www.icivil.ir

پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

ارائه کتابها و جزوات رایگان مهندسی عمران

بهترین و برترین مقالات روز عمران

انجمن های تخصصی مهندسی عمران

فروشگاه تخصصی مهندسی عمران

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

دانشگـــاه آزاد اســـلامی واحـــد اراک

دانشکـــده فنـــی و مهنـــدسی

گـــروه عمـــران

درس:

پـــــروژه تخصصـــــی

دیـــــوار برشـــــی فـــــولادی

استـــــاد راهنمـــــا:

جنـــــاب آقـــــای دکتـــــر حبیبـــــی

تهیـــــه و تنظیـــــم:

رضـــــا مشهـــــدی

شمـــــاره دانشجـــــویی:

۹۱۰۰۲۴۹۰۷

فهـــــــرست مطالـــــــب پـــــــروژه:

مطالب.....صفحه

دیوار برشی چیست؟.....۶

انواع دیوار برشی.....۶

مزایای دیوار برشی.....۷

معایب دیوار برشی.....۸

نیروهای وارد بر دیوار برشی.....۸

دیوار برشی راه حل مقابله با زلزله.....۹

دیوار برشی فولادی چیست؟.....۱۲

انواع دیوار برشی فولادی.....۱۴

تاریخچه دیوار برشی فولادی.....۱۵

میدان کششی قطری.....۱۶

مزایای کلی دیوار برشی فولادی.....۱۷

مزایای معماری دیوار برشی فولادی.....۱۹

مزایای رفتاری دیوار برشی فولادی.....۲۰

مزایای سازه ای دیوار برشی فولادی.....۲۱

استفاده از دیوار برشی فولادی.....۲۲

مطالعات آزمایشگاهی روی دیوار برشی فولادی.....۳۰

سیستم دیوار برشی فولادی با ستون‌هایCFT ۳۵

سازه های فولادی سردنورد شده (CFS) با دیوار برشی فولادی.....۳۶

ترمیم وتقویت سازه های بتنی توسط دیوار برشی فولادی.....۳۸

مزایای استفاده از دیوار برشی فولادی جدار نازک برای مقاوم سازی سازه های فولادی.....۴۱

مقاوم سازی دیوار برشی فولادی بازشودار با الیاف FRP به روش عددی.....۴۳

بررسی اثر سختی ستونها بر رفتار دیوارهای برشی فولادی جدار نازک.....۴۵و۴۸

دیوارهای برشی فولادی تقویت شده قطری.....۴۷

تأثیر تقویت تیر بر روی دیوارهای برشی فولادی.....۵۳

بررسی رفتار دیوار برشی فولادی به روش اجزا محدود.....۵۴

تحلیل دیوارهای برشی.....۵۵

الزامات عمومی طراحی دیوارهای برشی فولادی.....۶۰

نحوه مدل کردن دیوار برشی فولادی در Etabs ۶۸

جزئیات اجرایی دیوار برشی فولادی.....۷۱

ملاحظاتی درباره استفاده از دیوار برشی فولادی.....۷۳

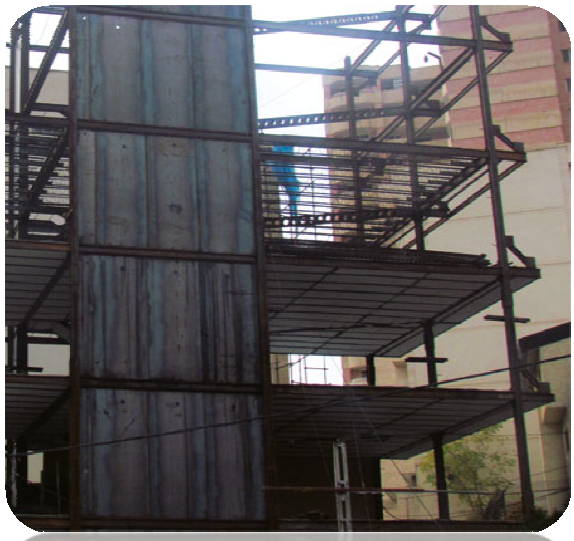
مقایسه دیوار برشی فولادی و سایر سیستم های باربر جانبی.....۷۵و۷۹و۸۰و۸۱

دیوار برشی فولادی در ایران.....۸۳

نتیجه گیری.....۸۵

منابع و مراجع.....۸۶

Email:Reza.mashhadi1@gmail.com



Email:Reza.mashhadi1@gmail.com

دیـــــوار بـــــرشی چیـــــست؟

در ابتدای بحث بهتر است ، با دیوار برشی و وظیفه آن آشنا شویم.

در مهندسی سازه، دیوار برشی دیواری است که از قطعات مهاری (قطعات برشی) ساخته شده و وظیفه خنثی کردن اثر بارهای جانبی وارد بر سازه را برعهده دارد. دیوار برشی برای مقابله با بارهای جانبی متداولی همچون بار باد و بار زلزله طراحی می شود.

دیوارهای برشی نوعی از سیستم های سازه ای است که مقاومت جانبی ساختمان یا سازه را تأمین می کند. بارهای جانبی در یک صفحه و در طول بعد قائم دیوار اعمال می شوند. این نوع از بارها، معمولاً به وسیله اعضای دیافراگم یا جمع کننده یا پسار، به دیوار منتقل می گردند. این دیوارها از چوب، بتن و مصالح بنایی ساخته می شوند.

انـــــواع دیـــــوار بـــــرشی:

۱.دیوار برشی بتن مسلح ۲.دیوار برشی فولادی ۳.دیوار برشی مرکب ۴.دیوار برشی مصالح بنایی

۱.دیوار برشی بتن مسلح: یکی از مطمئن ترین روش های مقابله با نیروهای جانبی است. قرارگیری آن در پلان باید تا حد الامکان متقارن باشد. مرکز ثقل هر طبقه در حوالی مرکز صلبیت دیوارهای برشی باشد.

الف) بتن درجا: در دیوار برشی درجا به منظور یکنواختی و پیوستگی میلگردهای دیوار، به قاب محیطی قلاب می شوند.
ب) بتن پیش ساخته: در دیوارهای برشی پیش ساخته یکنواختی و پیوستگی با تهیه کلیه های ذوزنقه شکل در طول لبه های پانل و یا از طریق اتصال پانل ها به قاب توسط میخ های فولادی صورت می گیرد.

۲.دیوار برشی فولادی: برای مقاوم سازی ساختمان های فولادی به کار می رود و با اتصالاتش سبب تقویت تیر و ستون های اطراف می شود و مزایایی همچون اجرای آسان، وزن کم، اقتصادی بودن، شکل پذیری زیاد، نصب سریع و جذب انرژی بالا دارد.

۳.دیوار برشی مرکب:

الف) ورق های تقویت شده فولادی مدفون در بتن مسلح

ب) خرپاهای ورق فولادی مدفون در داخل دیوار بتن مسلح

۴.دیوار برشی مصالح بنایی: دیوارهای برشی مسلح نظیر دیوارهای با آجر توخالی و پر شده با دوغاب.

مـــــزایـــــای دیـــــوار بـــــرشی:

۱.افزایش چشمگیر سختی ساختمان به نحوی که بر اثرات ثانویه نقش مؤثری دارد. این مزیت خود به خود موجب افزایش درجه ایمنی در مقابل شکست یا ریزش ساختمان می شود.

۲.کاهش قابل ملاحظه خسارت به عناصر غیر سازه ای که در اکثر موارد هزینه آن ها کمتر از هزینه اعضای سازه ای نیست.

۳.اثر قابل توجه در ایجاد آرامش خیال و تأمین امنیت روانی ساکنین ساختمان های بلند مرتبه در هنگام وقوع زلزله.

۴.دیوارهای برشی قادرند حتی پس از پذیرش ترک های زیاد، بارهای ثقلی که برای آن ها هم طراحی شده اند تحمل کنند. این پدیده را بطور کامل نمی توان از ستون ها انتظار داشت.

۵.شکل پذیری بالا.

معـــــایب دیـــــوار بـــــرشی:

۱.امکان شکست برشی در صورت عدم طراحی مناسب

۲.ایجاد نیروی بالا رانش در صورت عدم تخمین صحیح تعداد دیوارها و قرارگیری نامناسب آن ها.

نیـــــروهـــــای وارد بـــــر دیـــــوار بـــــرشی:

۱.نیروی برشی متغیر که مقدار آن در پایه حداکثر می باشد.

۲.لنگر خمشی متغیر که مقدار آن مجدداً در پای دیوار حداکثر است و ایجاد کشش در یک لبه (لبه نزدیک به نیروها) و فشار در لبه متقابل می نماید و با توجه به امکان عوض شدن جهت نیروی باد یا زلزله در ساختمان، کشش باید در هر دو لبه دیوار در نظر گرفته شود.

۳.نیروی محوری فشاری ناشی از وزن طبقات که روی دیوار برشی تکیه دارد.

در صورتیکه ارتفاع دیوار برشی کم باشد، غالباً نیروی برشی حاکم بر طراحی آن خواهد بود. لیکن اگر ارتفاع دیوار برشی زیاد باشد، لنگر خمشی حاکم بر طراحی آن خواهد بود. به هر حال دیوار باید برای هر دو نیروی فوق کنترل و در مقابل آن ها مسلح گردد.

دیـــــوار برشـــــی راه‌حـــــل مقـــــابله با زلـــــزله:

علم مهندسی زلزله ساختمان‌ها در سال ۱۹۵۰ میلادی هم زمان با فعالیت‌های گسترده بازسازی پس از پایان جنگ جهانی دوم شروع گردید.

تلاش‌های اولیه به منظور مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، براساس فرضیاتی نه چندان دقیق بر روی واکنش سازه در اثر ارتعاش زمین صورت گرفت که بدلیل کمبود ابزار تحلیل مناسب و سوابق اطلاعاتی کافی در مورد زلزله، روش‌های ناقصی بودند. مشاهده عملکرد سازه‌ها در هنگام وقوع زلزله و همچنین مطالعات تحلیلی و کارهای آزمایشگاهی و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های چهار دهه اخیر، امکان ارایه روشی مدرن برای طراحی سازه‌های مقاومت در برابر زلزله را فراهم آورده است.

در طی دهه ۱۹۵۰، سیستم "قاب خمشی شکل‌پذیر" از سیستم "قاب خمشی" که در آن زمان تنها سیستم مقاوم در ساختمان‌های چندین طبقه بتنی و فولادی بود ، منشا گرفت و به دلیل رفتار مناسب این سیستم در برابر زلزله، کاربرد آن تا اواخر دهه ۱۹۷۰ ادامه یافت. در طی این مدت سیستم‌های جدیدتر و کارآمدتری نظیر دیوارهای برشی و یا خرپاها برای تحمل فشار جانبی باد در ساختمان‌های بلند رایج شدند و تقریباً روش ساخت به صورت قاب تنها در این ساختمان‌ها، کنار گذاشته شد.

تحقیقات تجربی و تئوری انجام شده در سراسر جهان طی دهه‌های ۶۰ و ۷۰ و ۸۰ میلادی منجر به جمع‌آوری اطلاعات مفصلی در رابطه با واکنش سیستم‌های ساختمانی دارای دیوار برشی در هنگام زلزله شد که این مطالعات بر اهیمت قاب خمشی شکل‌پذیر در کاهش بار زلزله تأکید داشتند. با توجه به اینکه سازه‌های دارای صلبیت بیشتر (یعنی شکل‌پذیری کمتر) در هنگام زلزله، تحت نیروهای به مراتب قوی‌تری قرار می‌گیرند و از آنجا که وجود دیوار برشی در ساختمان‌ها باعث افزایش صلبیت آنها می‌شود، کاربرد دیوارهای برشی، نامناسب تشخیص داده شد و بیشتر ساختمان‌ها به روش قاب خمشی ساخته شدند. برای نمونه در برخی از کشورها خصوصاً کشورهای توسعه نیافته بدون رعایت حداقل ضوابط شکل‌پذیری، قاب‌های ساختمانی از انواع شکننده و فاقد قابلیت تحمل زلزله‌های قوی بدون وارد آمدن آسیب شدید به ساختمان، اجرا شدند و همانگونه که در زمین لرزه‌های چهار دهه اخیر مشاهده شد، بسیاری از ساکنین خود را در "تله‌های مرگ" گرفتار کردند. آنچه در زیر می‌آید، بیان خلاصه‌ای از رفتار سازه‌های دیوار برشی است که در حوادث زمین لرزه‌های ۳۰ سال اخیر قرار داشته‌اند.

زلـــــزله مـــــاه مه ســـــال ۱۹۶۰ شیـــــلی:

اولین گزارش در ارتباط با رفتار ساختمان‌های دارای دیوار برشی، مربوط به این زلزله می‌باشد تجربیات در زلزله شیلی، کاربرد دیوارهای برشی در زلزله‌های شدید را درکاهش خسارات سازه‌ای و غیرسازه‌ای، تأیید می‌کند. در چند مورد، دیوارهای برشی ترک خورده‌اند اما رفتار کلی ساختمان تغییر نکرده است.

زلـــــزله مـــــاه ژوئیه ســـــال ۱۹۶۳ یوگســـــلاوی:

در این زمین‌لرزه، دیوارهای بتنی غیرمسلح بکار رفته (مثلاً در هسته ساختمان و یا در طول آن) توانستند با مهار کردن پیچش بین طبقات از خسارات عمده جلوگیری کنند و تنها در چند مورد استثنائی قسمت‌های تحتانی تیرهای محیطی، در اثر لرزش‌های شدید، جدا شده بود.

زلـــــزله مـــــاه فـــــوریه ســـــال ۱۹۷۱ ســـــن فـــــرناندو (کـــــالیفرنیا):

پس از وقوع این زلزله، ساختمان ۶ طبقه مرکز پزشکی IN-DIAN HILL با سیستم مرکب قاب و دیوار برشی، تنها نیاز به ترمیم داشت در حالیکه ساختمان ۸ طبقه بیمارستان HOLLY CROSS در کنار آن بدلیل اینکه سیستم قاب تنها در آن بکار رفته بود. به شدت آسیب دید و نهایتاً تخریب شد.

زلـــــزله مـــــاه مـــــارس ســـــال ۱۹۷۷ بخـــــارست (رومـــــانی):

در این زلزله که ۳۵ ساختمان چندین طبقه به طور کامل ویران شد، صدها ساختمان بلند و برج‌های آپارتمانی که در آنها از دیوارهای بتنی در امتداد کریدورها و یا سرتاسر ساختمان استفاده شده بود، بدون خسارات عمده، سالم و قابل استفاده باقی ماندند.

زلـــــزله مـــــاه اکتبـــــر ســـــال ۱۹۸۵ مکـــــزیکوسیتی (مکـــــزیک):

ویرانی‌های این زلزله در مکزیک، به خوبی عواقب عدم استفاده از دیوارهای برشی تقویت کننده را نشان داد. در این زمین‌لرزه حدود ۲۸۰ ساختمان چند طبقه با سیستم قاب تنها، به دلیل نداشتن دیوار برشی به طور کامل تخریب شده و از بین رفتند.

زلـــــزله مـــــاه دســـــامبر ســـــال ۱۹۸۸ ارمنســـــتان:

زلزله ارمنستان در سال ۱۹۸۸ دلیل دیگری بر نتایج منفی حذف دیوارهای برشی در ساختمان‌های چندین طبقه است. در این زمین‌لرزه ۷۲ ساختمان به دلیل نداشتن دیوار برشی، به کلی ویران شده و ۱۴۹ ساختمان در چهار شهر Leninakam و Spitak و Kirovakanو Stepomavanدچار آسیب‌های شدید شدند. با این وجود کلیه ۲۱ ساختمان با پانل‌های بزرگ

موجود در این چهار شهر هیچگونه آسیبی ندیده و در میان ویرانه‌های ساختمان‌های دیگر، پابرجا ماندند.

دیـــــوار برشـــــی فـــــولادی چیســـــت؟

دیوار برشی فولادی، صفحه فولادی نوعی سیستم جدید مقاوم در برابر بارهای جانبی بوده که نسبت سایر سیستم های مقاوم در برابر بار جانبی دارای عملکرد بهتری می باشد. در این سیستم، نیروهای جانبی توسط دیافراگم های کف طبقات به صورت افقی به صفحه، تیر و ستون های این نوع دیوارمنتقل می شود. قاب فولادی محیطی هر صفحه ممکن است دارای اتصال تیر به ستون به صورت ساده (مفصلی) و یا ممان گیر (گیردار) باشد. همچنین صفحه می تواند با سخت کننده یا بدون آن باشد. علاوه بر این، صفحه ممکن است توسط پیچ و یا جوش به قاب محیطی اش متصل گردد.

رفتار اصلی دیوار برشی صفحه ای فولادی مقاومت در برابر برش افقی طبقه و مقابله با لنگر واژگونی ناشی از بارهای جانبی است. پانل دیوار برشی صفحه ای فولادی شامل یک ورق نازک فولادی با ضخامت ۳ تا ۱۰ میلی متر، دو ستون و تیرهای افقی کف می باشد، که به این تیرها و ستون ها عناصرمرزی می‌گویند. صفحه فولادی دیوار برشی فولادی همراه با دو ستون مجاور، مانند یک تیر ورق قائم (طره) رفتار می نماید. در این تیر ورق قائم، ستون ها بعنوان بال های تیر ورق و صفحه فولادی دیوار مانند جان آن، رفتار می کند. تیرهای افقی کف، اصولاً بعنوان سخت کننده های عرضی در این تیر ورق قائم تلقی می شود.

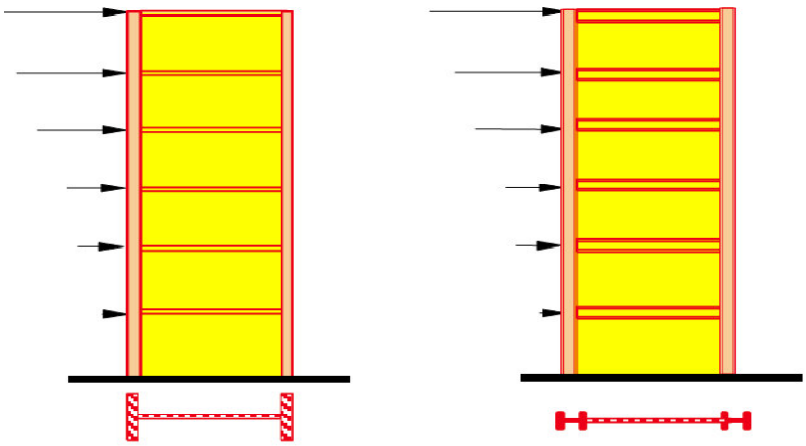
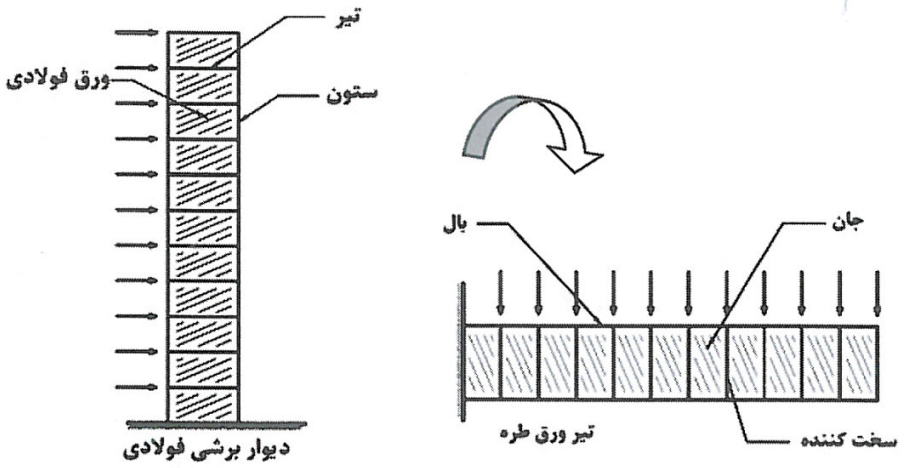


Plate Girder

Steel Plate Shear Wall

در اکثر مواقع، تولید اعضای اسکلت فلزی در محل کارخانه و با تعبیه المان های لازم جهت اتصال ورق های فولادی (به صورت پیچی و یا جوشی) صورت می گیرد. پس از حمل به کارگاه و نصب اسکلت فلزی و ورق های فولادی توسط جرثقیل در محل خود قرار داده و پس از نصب موقت و سریع آن ها در مرحله بعد اتصال دائم و کامل ورق ها به المان های اطراف تأمین می شود.

پس از حوادث ۱۱ سپتامبر گروهی از دانشمندان با تلفیق این سامانه و سامانه دیوارهای برشی بتی درصدد ایجاد سازه های غیر قابل نفوذ و مقاوم در برابر بارهای لرزه ای و انفجاری به شکل کاملاً اقتصادی هستند.



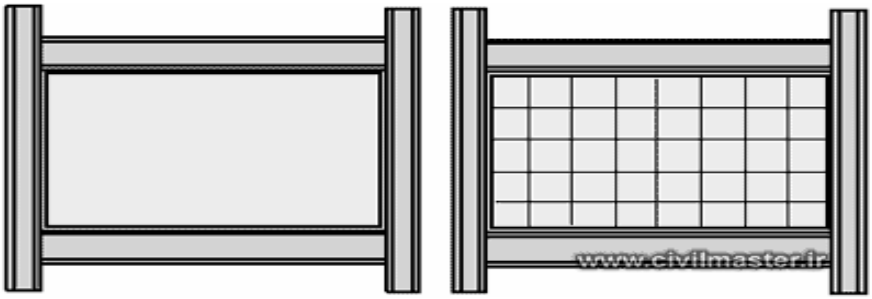
مشابهت دیوار برشی فولادی به تیر ورق طره فولادی

انـــــواع دیـــــوار برشـــــی فـــــولادی:

۱.دیوارهای فولادی برشی بدون سخت کننده: در این نوع دیوارها ورق جان مقاومت فشاری ناچیزی دارد و بنابراین کمانش بر اثر بارهای کوچک به وجود می‌آید ازطرف دیگر، بارهای جانبی توسط مقاومت کششی قطری به وجود آمده درجان دیوار تحمل می‌شود که این عملکرد همانند میدان‌های کششی به وجود آمده در تیرورق‌ها است.

۲. دیوار برشی فلزی شامل سخت‌کننده: دراین نوع دیوارها سخت‌کننده‌ها ظرفیت کمانشی ورق جان دیوار برشی را افزایش می‌دهد.

۳. دیواربرشی فلزی مرکب (ترکیب بتن وفلز): دراین سیستم سختی موردنیاز برای ورق فلزی جان دیوارتوسط بتن آرمه تأمین می‌شود. از بتن سخت‌کننده می‌توان دریک طرف یا هر دو طرف ورق جان دیوار استفاده کرد.



تـــــاریخچه دیـــــوار برشـــــی فـــــولادی:

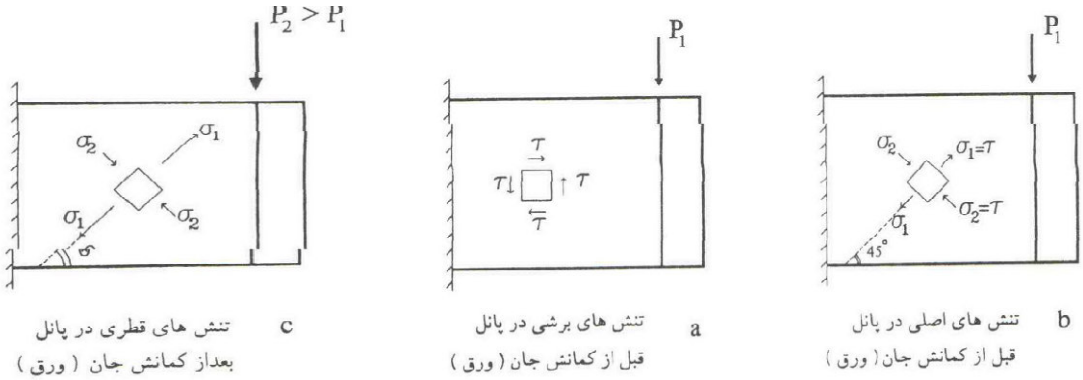
دیوار برشی فولادی از دهه ۱۹۷۰ میلادی به عنوان سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی در ساختمان ها به ویژه در ساختمان های بلند مورد توجه قرار گرفته است. سیستم مذکور در دو زلزله شدید نورث ریج آمریکا و کوبه ژاپن و همچنین در آزمایشگاه ها از خود رفتار بسیار مناسبی را نشان داده است.

این پدیده نوین که در جهان به سرعت رو به گسترش می باشد، در ساخت ساختمان های جدید و همچنین تقویت ساختمان های موجود به خصوص در کشورهای زلزله خیزی همچون آمریکا و ژاپن به کار گرفته شده است. تکنولوژی طراحی و ساخت دیوار برشی فولادی طی سال های اخیر پیشرفت چشمگیری داشته است و ضوابط طرح و اجرای آن در آیین نامه های مختلف مانند آیین نامه فولاد، آیین نامه لرزه ای AISC و ضوابط FEMA 450 وارد شده است.

میـــــــدان کششـــــــی قطـــــــری:

اساس ایده دیوارهای برشی فولادی نازک که در ۱۵ سال اخیر بطور جدی مورد توجه قرار گرفته است، بهره گیری از میدان کشش قطری است که در اینگونه دیوارها ایجاد می شود. مقاومت این گونه دیوارها بطور عمده مقاومت پس کمانشی ورق های نازک یا در واقع مقاومت ناشی از میدان کشش قطری است که پس از کمانش ورق فولادی در آن ایجاد می شود.

شکل زیر، یک پانل برشی را نشان می دهد. ورق فولادی جان تا قبل از کمانش، تحت اثر برش خالص می باشد که تنش های 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 و صفحه جان چروکیده می شود طبیعتاً ورق فولادی در جهت، افزایش تنش را نمی تواند تحمل کند ولی در جهت دیگر یعنی $\sigma 1$ ،که ورق تحت اثر تنش های کششی قرار دارد، تنش های مذکور می تواند 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 می شود. این پدیده در تیر ورق ها مشهود است.



c تنش های قطری در پانل بعداز کمانش جان (ورق)

a تنش های برشی در پانل قبل از کمانش جان (ورق)

b تنش های اصلی در پانل قبل از کمانش جان (ورق)

مـــــزایـــــای کلـــــی دیـــــوار برشـــــی فـــــولادی:

۱.کاهش وزن فولاد مصرفی:

وزن اندک ورق فولادی، ساده شدن الزامات طراحی به دلیل رفتار مناسب سیستم (و دارا بودن ضریب رفتار بالا) به همراه عملکرد مؤثر در کنترل تغییرشکل های سازه ای به واسطه داشتن سختی جانبی زیاد، منجر به کاهش وزن اسکلت طراحی شده می شود.

۲. ایمنی و مقاومت بالای لرزه ای بواسطه پیوستگی، شکل پذیری و استحکام بالای ورق فولادی و اتصالات آن.

۳.اجرای آسان: به دلیل

۳-۱. استفاده از اتصال مفصلی با جوش گوشه در همه اتصالات قاب به جز اتصال اعضای احاطه کننده ورق فولادی

۳-۲. حمل و نصب آسان ورق فولادی به دلیل وزن کم، انعطاف بالا و برش کاری و آماده سازی آن در محل کارخانه.

۳-۳. کوچک بودن بعد جوش اتصال ورق فولادی و اجرای آن تنها با یک عبور (پاس) جوش. همچنین امکان حذف جوش و اجرای اتصال به کمک پیچ و مهره. (کاهش حجم جوشکاری سازه نسبت به سایر سازه های فولادی).

از دیگر مزیت‌های دیوار برشی فولادی می‌توان به افزایش قابل توجه سرعت اجرا اشاره کرد. این موضوع خصوصاً در مقایسه با سیستم دیوار برشی بتنی بسیار بارز است. در سیستم دیوار برشی بتنی هر چقدر که سرعت اجرای سقف با استفاده از تکنولوژی‌های نوین افزایش یابد، باز هم با توجه به اینکه اجرای بتن سقف و دیوار باید به طور همزمان صورت گیرد اجرای سقف منوط به اجرای دیوار شده و در نهایت سرعت پروژه کاهش می‌یابد.

در مقابل در سیستم دیوار برشی فولادی به این علت که اجرای سیستم باربر جانبی همزمان با نصب اسکلت انجام می‌شود و پایداری جانبی سازه تامین می‌گردد، اجازه بتن ریزی و اجرای همزمان سقف‌ها بدون هیچ محدودیتی به پیمانکار داده می‌شود.

این موضوع باعث انجام فعالیت‌های اجرایی پروژه به صورت همزمان شده و به شدت سرعت اجرا را افزایش می‌دهد.

۴. کاهش هزینه آهن آلات اسکلت تا ۵۰ درصد.

۵. کاهش هزینه ساخت بنا حداقل تا متری ۱۰۰۰۰۰ تومان.

۴. کاهش هزینه فوندانسیون بواسطه سبک سازی سازه و درنتیجه کاهش هزینه ها.

۵. افزایش سرعت اجرای ساختمان نسبت به سایر سیستم ها بویژه سازه های بتنی.

۶. سیستمی مناسب و کم هزینه جهت مقاوم سازی بنا های قدیمی و آسیب دیده.

۷. استفاده از مصالح ساختمانی متداول و عمدتاً مقاطع تیر آهن ساده و یا لانه زنبور.

۸. صنعتی سازی:

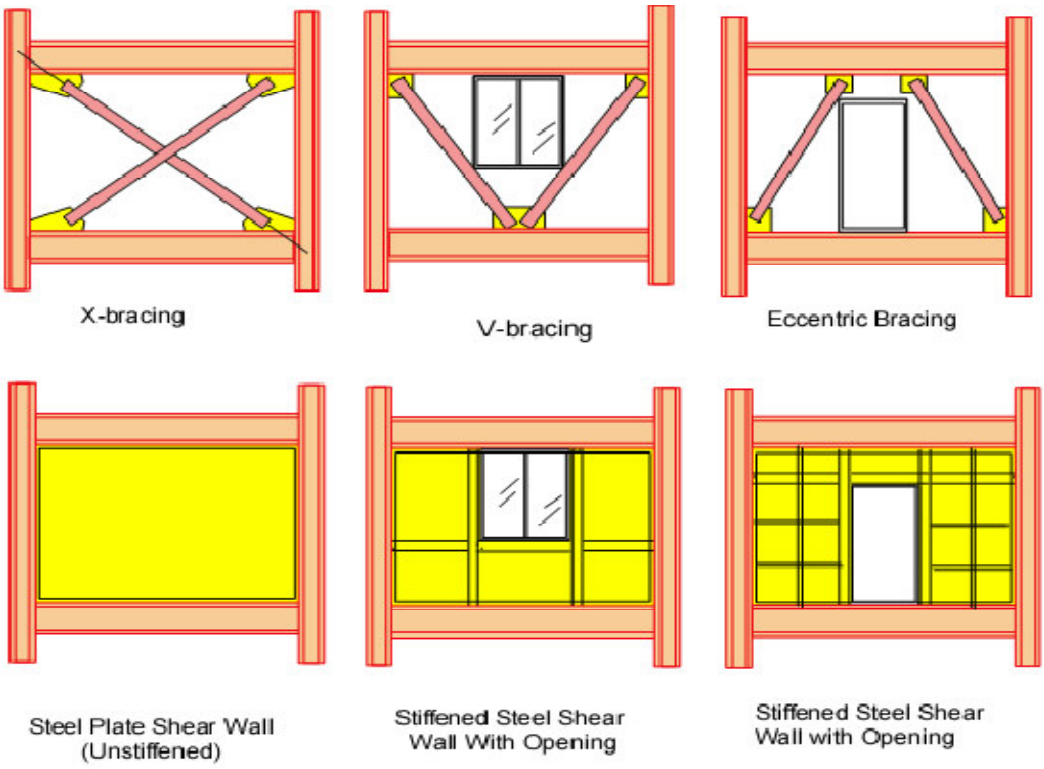
با توجه به دقت بالای مورد نیاز در اجرای دیوار برشی فولادی، فرآیند ساخت آن در کارخانه و با اعمال مراحل کنترل کیفیت انجام می‌گردد.

استفاده از تکنولوژی‌های نوین جوشکاری، انجام آزمون‌های جوش و افزایش سرعت از مزایای بارز اجرای اسکلت در کارخانه است. از سوی دیگر با جایگزینی ابزار اتصال پیچ به جای جوش امکان کنترل کیفیت اتصال به مراتب ارتقا می‌یابد.

مـــــزایـــــای معمـــــاری دیـــــوار برشـــــی فـــــولادی:

۱. اشغال کمتر فضای معماری نسبت به سایر سیستم های باربر جانبی. (به علت ملاحظات اجرایی ضخامت ورق از ۴ میلی‌متر شروع شده و نهایتا بر حسب مشخصات پروژه تا ۱۰ میلی‌متر افزایش می‌یابد. در دیوار برشی بتنی ضخامت دیوار از حدود ۳۰ سانتی‌متر شروع شده و در پروژه‌های بزرگتر دیوارهایی با ضخامت تا حدود ۸۰ سانتی‌متر و یا بیشتر نیز به چشم می‌خورد. این کاهش ضخامت خصوصا در پروژه‌های تجاری که مقدار زیربنای مفید معماری بسیار حایز اهمیت است و سود اقتصادی قابل توجهی را با خود به همراه دارد.)

۲. امکان تعبیه بازشو (درب یا پنجره): در دیوارهای برشی فولادی مشروط به در نظر گرفتن سخت کننده های لازم امکان تعبیه بازشو در هر ابعادی وجود دارد در حالی که این امکان در سیستم مهاربندی V محدود است و در مهاربندی X وجود ندارد و در دیوار برشی بتنی با محدودیت اندازه و جزئیات اجرایی دشوار مواجه است.



مـــــزایـــــای رفتـــــاری دیـــــوار برشـــــی فـــــولادی:

۱. شکل پذیری و قابلیت جذب انرژی بالاتر نسبت به سیستم های مهاربندی و دیوار برشی بتن آرمه.

۲. عدم حساسیت ویژه به نحوه اجرای اتصالات جوشی بر خلاف سیستم قاب خمشی که در آن در صورت شکست جوش اتصال تحت بار جانبی، ریزش طبقه و خرابی پیش رونده رخ خواهد داد.

۳. ایمنی تامین شده توسط دیوار برشی فولادی به دلیل دارا بودن درجه نامعینی زیاد و پیوستگی جوش به کار رفته در اتصال آن از سیستم های مهاربندی و قاب خمشی بالاتر و با سیستم دیوار برشی بتن آرمه قابل مقایسه است.

۴. در سیستم دیوار برشی فولادی در شرایط وقوع زلزله تسلیم و خرابی در ورق فولادی قابل تعویض و تا حد کمتری در نقاط انتهایی تیرهای بالا و پایین آن متمرکز شده و سایر تیرها و ستون های سازه از وقوع تسلیم در امان خواهند ماند در نتیجه هزینه بازسازی ساختمان پس از زمین لرزه به حداقل رسانده می شود.

مـــــــزایـــــــای سازه ای دیـــــــوار برشـــــــی فـــــــولادی:

۱.عملکرد مؤثر در کنترل تغییر مکان جانبی به دلیل سختی نسبتاً بالا.

۲.کاهش بار زلزله وارد شده به سازه به دلیل وزن سبک سیستم در مقایسه با دیوار برشی بتنی.

۳.اشغال تعداد دهانه های کمتری نسبت به سازه های مهاربندی و دیوار برشی بتنی.

۴.سرعت اجرای سیستم و کنترل دقت اجرا به مراتب بالا با توجه به امکان ساخت قطعات این سیستم در کارخانه و نصب آن در محل.

۵.استفاده از مصالح یکسان (فولاد) در ساخت دیوار برشی و قاب های فولادی مجاور.

استفـــــاده از دیـــــوار هـــــای برشـــــی فـــــولادی:

از سال ۱۹۷۰ میلادی، دیوار برشی فولادی به عنوان اولین گزینه در میان سیستم های پایداری در برابر بارهای جانبی در چندین ساختمان مهم و مدرن استفاده شده است. در ابتدا و در طول دهه ۷۰ میلادی دیوارهای برشی فولادی در ژاپن و در ساختمان های جدید و در آمریکا برای بهبود لرزه ای ساختمان های موجود استفاده شدند. در دهه ۷۰ و ۸۰ میلادی در آمریکا و در کانادا دیوارهای برشی بدون سخت کننده در برخی از ساختمان ها دیوارهای برشی فولادی پوشیده شده از یک لایه بتن مطابق آنچه که در دیوارهای برشی مرکب داریم استفاده می شدند.

کاربردهای سیستم در ایالات متحده:

۱. هتل ۳۰ طبقه در لاس تگزاس

۲. بیمارستان ۶ طبقه سیلمار در لس آنجلس (۱۹۸۰)

۳. بیمارستان سیلمار در زلزله های ویتیر و نورتریج (سال های ۱۹۸۷ و ۱۹۹۴) تنها متحمل خسارات اندک غیرسازه ای شد.

۴. ساختمان ۲۲ طبقه دادگستری در سیاتل واشنگتن

۵. ساختمان ۵۲ طبقه در سانفرانسیسکو کالیفرنیا

کاربردهای سیستم در ژاپن و سایر نقاط جهان:

۱. ساختمان ۵۲ طبقه اداری در توکیو (۱۹۷۵)

۲. ساختمان ۲۰ طبقه اداری در توکیو (۱۹۷۰)

۳. برج ۳۵ طبقه کوپه ژاپن

۴. ساختمان ۷۵ طبقه در تیانجین چین

-ساختمان ۲۰ طبقه اداری (Nippon) در توکیو ژاپن (۱۹۷۰):

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.

دیوارهای برشی فولادی در ابعاد (۱۲ فوت و ۲ اینچ در ۹ فوت) در حدود (۳۷۱ در ۲۷۵ سانتی متر) با سخت کننده در راستای افق و قائم بودند. ضخامت ورق دیوارهای برشی در محدوده ی (۱/۲ تا ۳/۱۶ اینچ) بودند. در هنگام طراحی، بارهای ثقلی به دیوارهای برشی فولادی اعمال نشده بودند بلکه دیوارهای فولادی طوری طراحی شده بودند تا در برابر بارهای طراحی پیچشی خارجی مقاوم باشند.

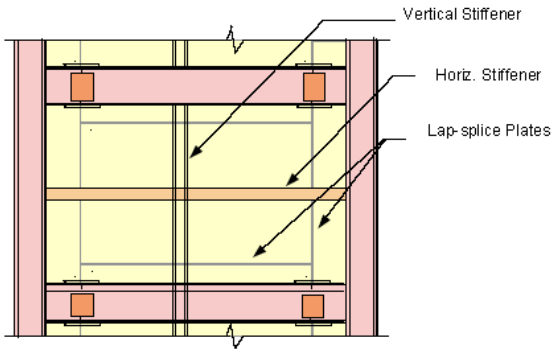
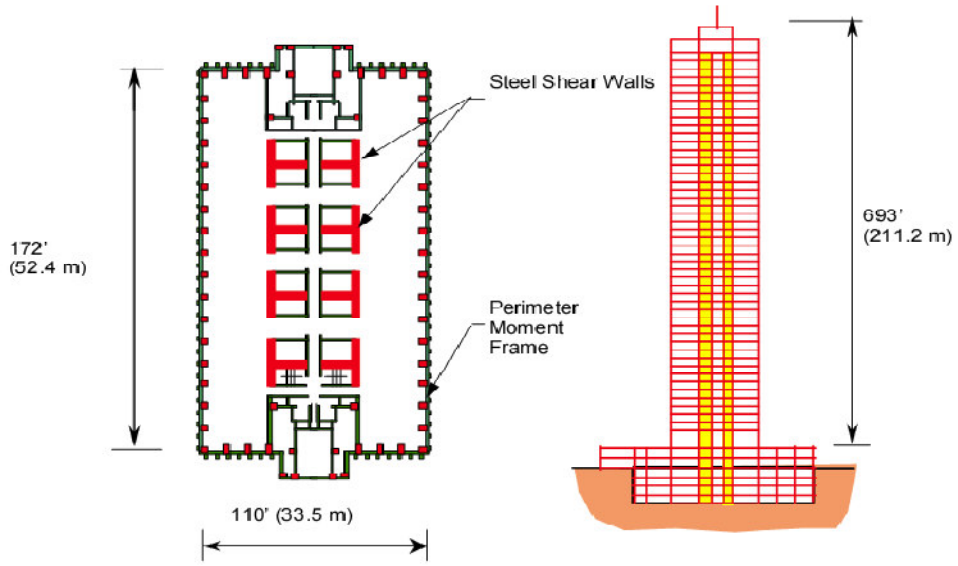


Figure 2.2. Details of steel shear walls used in Nippon Steel Building

-ساختمان ۵۱ طبقه (Shinjuku Nomura) در توکیو:

این ساختمان در ابتدا براساس دیوارهای برشی بتنی طراحی شده بود اما سپس طرح این سازه به دیوار 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 ۱۶/۵ فوت طول داشتند و در دو جهت قائم و افق از سخت کننده استفاده شده بود. پانل ها به وسیله پیچ به Box های محاطی و ستون های فولادی H شکل متصلند.



-هتل ۳۰ طبقه در دالاس، تگزاس:

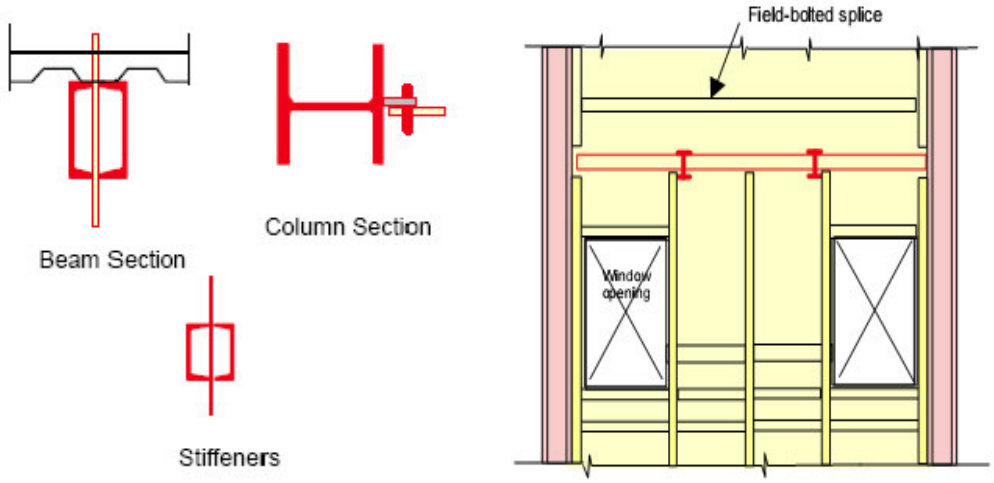
این ساختمان یک نمونه بسیار خوب استفاده موثر از دیوارهای برشی فولادی با کمترین ارتعاش اما با بارهای باد نسبتاً بزرگ می باشد. این سازه دارای سیستم مهاربندی فولادی در جهت طولی و سیستم دیوار برشی در حدود ۶۰٪ بارهای ثقلی و ستون های بال پهن در مرز دیوارها ۴۰٪ بقیه بارها را تحمل می کنند. با استفاده دیوارهای برشی فولادی به عنوان عناصر تحمل کننده بارهای ثقلی در حدود یک سوم از میزان فولاد در تیرها و ستون ها در مقایسه با قاب های خمشی فولادی صرفه جویی می شود. در این سازه، بار باد به عنوان مبنای با بارهای جانبی قرار گرفته و تحت بار باد طراحی بیشترین جا به جایی نسبی طبقات ۰/۰۰۲۵ بود. Drift نسبتاً پایین، ناشی از سختی در پلان نسبتاً بالای دیوارهای برشی فولادی می باشد.

-بیمارستان ۶ طبقه در لس آنجلس، کالیفرنیا:

لس آنجلس با خطر زلزله بالاست و این ساختمان مثالی خوب برای به کارگیری این سامانه در منطقه با خطر زلزله بسیار بالا می باشد. در نوامبر ۱۹۷۰ این بیمارستان به بهره برداری رسید و پس از ۱۰ هفته در اثر زلزله این ساختمان تخریب گشت. این سازه با بتن مسلح ساخته شده بود که در دو طبقه اول از قاب های خمشی و در چهار طبقه بالا ترکیب دیوار برشی و قاب های خمشی بود.

در ساختمان جدید کل بار قائم توسط قاب فضایی فولادی تحمل می شد 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. پانل های فولادی در این ساختمان ۲۵ فوت ارتفاع دارند و ضخامتشان ۵/۸ و ۳/۴ اینچ است. دیوارها دارای بازشو، پنجره و سخت کننده می باشند.



پانل های فولادی به صفحات لچکی جوش شده و به ستون ها پیچ شده اند. تیرها مانند سخت کننده ها متشکل از دو ناودانی به شکل قوطی می باشند. این بیمارستان به شتاب سنج هایی مجهز شد. در ۱۷ ژانویه ۱۹۹۴ زلزله قوی Northbridge بوقوع پیوست که دراین زلزله در جهت افقی شتاب ماکزیمم 0.91g و در جهت قائم، شتاب ماکزیمم 0.6g بود. در بام شتاب افقی 2.3g و در جهت قائم 1.7g بود. این نشان از یک زلزله قوی روی ساختمان دارد. به سازه این ساختمان صدمه ای وارد نشد و به اجزای غیر سازه ای صدمات کمی وارد شد. از نقطه نظر اقتصادی مصرف فولاد در هر متر مربع زیربنا اگر از قاب خمشی استفاده شده بود $1915N/m^2$ ولی در سیستم دیوار برشی فولادی در هر متر مربع $957.5N/m^2$ استفاده شد و ۵۰٪ در مصرف فولاد صرفه جویی به عمل آمد.

-به کارگیری دیوار برشی فولادی با نقطه تسلیم پایین در ژاپن:

در سال های اخیر به کارگیری 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 تسلیم فولاد A-36 و دارای کرنش بیشینه ای حدود دو برابر فولاد A-36 می باشد که در نتیجه بسیار شکل پذیر بوده و می تواند به شکل بسیار موثرتری در استهلاک انرژی در سازه به کار می رود.

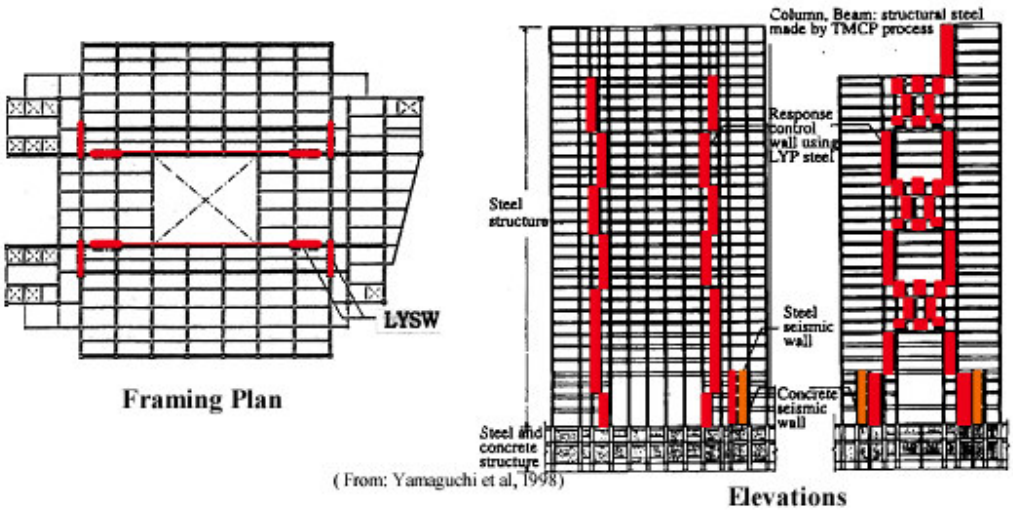
شکل زیر ساختمانی را نشان می دهد که در آن فولاد با نقطه تسلیم پایین در هسته آسانسور و باکس پله به کار رفته است. پانل های همراه با سخت کننده ها، تقویت شده و به صورت خمشی پیچ شده اند.

(photos: Nippon Steel, Japan)

فولاد به کار رفته در این ساختمان دارای تنش نهایی کششی (ksi)29-43.5 و نقطه تسلیم (ksi)11.6-17 که درصد افزایش طول گسیختگی در حدود ۵۰٪ می باشد. دیوارها از پانل هایی به ضخامت ۱/۴ تا ۱ اینچ و ابعاد تقریبی (۱۴ فوت و ۹ اینچ) و (۹ فوت و ۱۰ اینچ) تقویت شده با سخت کننده های افقی و قائم می باشند.

اتصال دیوارهای برشی به ستون های لبه ای به وسیله پیچ های اصطکاکی انجام شده است. دیوارها طوری طرح شده اند که تحت بار باد، الاستیک باقی مانده و تحت نیروی زلزله جاری شوند.

گزارش طراحان نشان می دهد که در اثر به کارگیری فولاد با نقطه تسلیم پایین میزان تغییر مکان نسبی جانبی تا حدود ۳۰٪ کاهش می یابد. از مطالب عنوان شده در مرجع می توان استنباط نمود که علت انتخاب دیوارهای برشی فولادی با نقطه تسلیم پایین در مقایسه با سایر فولادها کاهش اثرات خمشی می باشد. همچنین این سامانه می تواند از انباشتگی بارهای قائم روی دیوارها جلوگیری کند، در نتیجه این دیوارها تحت اثر برش و اثرات خمشی نسبتاً کمی واقع می شوند.



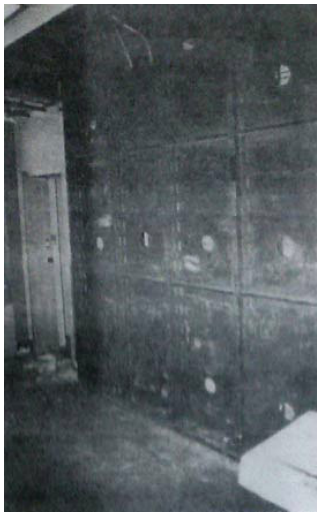
-ساختمان مرکز درمانی در چارلستون:

پس از زلزله ۱۹۷۱ سان فرناندو و تخریب دو بیمارستان و کشته شدن ۴۶ نفر بسیاری از ساختمان ها مورد بازنگری مجدد قرار گرفتند که یکی از این ساختمان ها مرکز درمانی چارلستون بود. این بیمارستان چندین ساختمان مجموعاً به وسعت ۳۲۵۰۰ متر مربع را شامل می شود. اسکلت از نوع بتن مسلح و سقف ها دال بتن مسلح می باشد. سامانه مقاوم در برابر بارهای جانبی در برابر باد طراحی شده بود. تیم طراحی به این نتیجه رسیدند که بهترین راه تقویت ساختمان های بتنی در برابر بارهای جانبی استفاده از دیوار برشی بتنی می باشد، اما به خاطر آنکه این کار:

۱.باعث تعطیلی بیمارستان می شد.

۲.امکان تغییر کاربری را در آینده سخت می کرد.

۳.در دیوارهای برشی فولادی می توان پنجره تعبیه کرد یا در باز کرد لذا از دیوارهای برشی فولادی استفاده شد.



-ساختمان کتابخانه ایالتی اورگان:

این ساختمان در سال ۱۹۳۷ ساخته شده بود و از لحاظ تاریخی بایستی حفظ می شد. پس از مورد مطالعه قرار گرفتن این سازه مشخص شد که در مقابل بارهای جانبی استحکام این سازه بسیار کم است. سازه این ساختمان بتنی با تیرها و ستون های مستطیل شکل بود. با توجه به موارد پایین دیوار برشی فولادی پیشنهاد گردید:

۱.نیازی به تعطیل کردن کتابخانه نبود زیرا امکان ساخت قطعات دیوار برشی در کارگاه و نصب آن در محل می باشد.

۲.جلوگیری از اشغال فضا و زیربنا تا حد امکان به دلیل اینکه دیوارهای برشی فولادی نسبت به دیوارهای برشی بتنی بسیار کمتر جا می گیرند. در مدت بازسازی، کتابخانه تعطیل نشد و قطعات به گونه ای ساخته شده بودند که به وسیله دو کارگر قابل حمل و نصب بودند.

مـــــطالعـــــات آزمـــــایشـــــگاهی روی دیـــــوار هـــــای برشـــــی فـــــولادی:

یکی از مسائل شناخته شده در تیرورق ها، میدان کششی قطری است .وقتی ورق کمانش میکند، مقاومت سازه با تشکیل میدان کششی وارد مرحله جدیدی از رفتار خود می شود بگونه ای که درجهت فشاری ورق مقاومت نمی کند اما در جهت کششی مانند اعضای کششی قابهای مهاربندی شده همچنان مقاومت می کند .در دیوارهای برشی فولادی نیز این رفتار بخوبی دیده می شود .بنابراین می توان از نتیجه تحقیقات گذشته برروی رفتار پس کمانشی تیرورقها برای دیوارهای برشی فولادی نیز بهره جست.

Wagner نخستین پژوهش مهم را برروی رفتار پس کمانشی تیر ورق انجام داد اوبا انجام آزمایش هایی نظریه میدان کششی قطری را ارائه داد .از آنجا که وضعیت تنش تعریف شده بوسیله تئوری میدان کششی خالص Wagner شرایط حدی است ودراغلب پانلهای برشی قبل از کمانش وضعیتی کامل وضعیتی بین برش خالص و کشش خالص حاکم است Kuhn تئوری میدان کششی ناقص را مطرح نمود .پس ازایشان، Basler مطالعات دیگری انجام داد.او سختی خمشی بالها را نیز در محاسبه تیر ورقها وارد کرد. Herzog نیز توانست از طریق روابط تجربی ظرفیت نهایی تیر ورقها را پیش بینی نماید.

Kulak و همکارانش اولین آزمایشها را بطورخاص برروی دیواربرشی فولادی انجام دادند .این

آزمایش ها درآزمایشگاه های دانشگاه Alberta کانادا انجام شد .سپس پژوهشگران دیگری در آمریکا، ژاپن، انگلستان و سایر کشورها انجام گرفت .

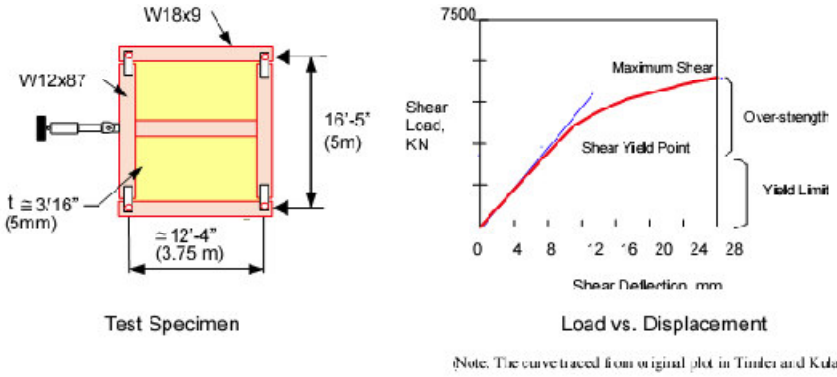
مطالعات نظری وآزمایشگاهی روی دیوارهای برشی فولادی:

پس از چندین کاربرد موفقیت آمیز دیوار برشی فولادی در کشورهای گوناگون، مطالعات جدی بر روی این سامانه جدید آغاز شد .گروه های مختلفی در کشورهای پیشرفته و دانشگاه های معتبر جهان مطالعات نظری آزمایشگاهی را همزمان پیش بردند .مطالعات نظری بیشتر برای

یافتن روش های طراحی دقیق تر دیوار برشی فولادی پیش بینی رفتار بهتر آن با تحقیقات آزمایشگاهی همراه بوده است .در مطالعات آزمایشگاهی گاهی بار بصورت یکنوا برروی نمونه قرار گرفته وگاهی هم بار چرخه ای برای شبیه سازی بار لرزه ای مورد نظر بوده است.

-تحقیقات انجام شده در کانادا:

محققین دانشگاه Alberta در کانادا آزمایشهایی را بر روی دیوارهای برشی فولادی بدون سخت کننده انجام داده اند .خلاصه ای از این آزمایشها در ادامه آورده شده است.



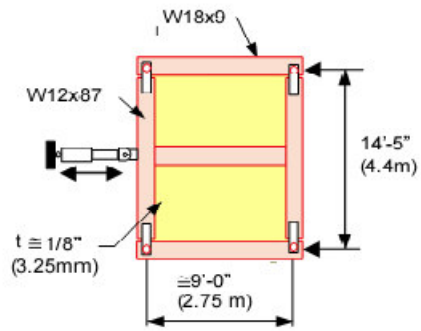
Test Specimen

Load vs. Displacement

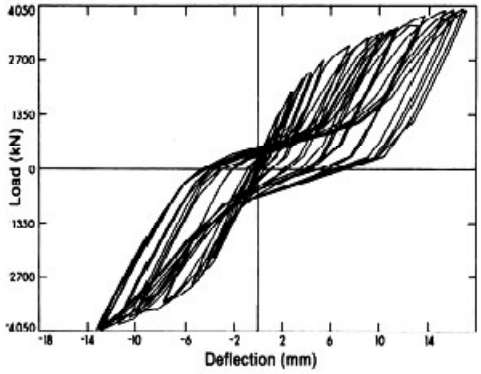
(Note: The curve traced from original plot in Timler and Kulak, 1983)

پاسخ حلقه های پسماند نیرو -تغییر مکان این سیستم سازه ای، نشانگر رفتار شکل پذیر و افزایش قابل توجه مقاومت می باشد .در این نمونه شکل پذیری به خوبی مشاهده شده است . قبل از این Thorbun بر اساس تحقیقات نظری خود، رابطه ای را برای زاویه انحنای میدان کشش مطرح کرده بودکه همخوانی خوبی با نتایج این آزمایش از خود نشان داد.

شکل زیر، یک نمونه آزمایش شده توسط Timler و Kulak را تحت بار چرخه ای نشان می دهد .این شکل همچنین پاسخ حلقه های پسمان نیرو -تغییر مکان بار چرخه ای و تغییر مکان دیوار برشی مورد نظر را نشان می دهد. آزمایش افزایش مقاومت تا دو برابر با شکل پذیری قابل توجه را نشان می دهد.

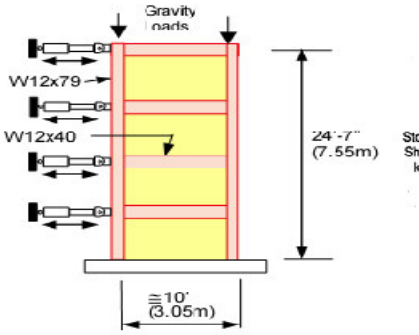


Test Specimen

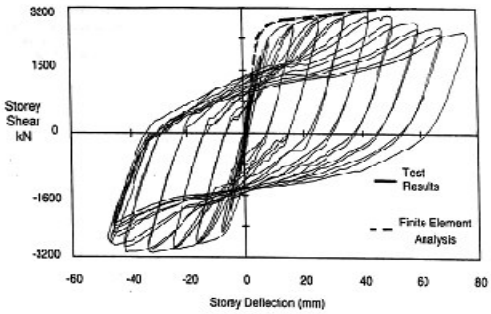


Load vs. Displacement
(Curves from: Timler and Kulak, 1983)

Driver در سال ۱۹۹۸ نتایج بار گذاری چرخه ای یک نمونه ۴ طبقه دیوار برشی فولادی را منتشر ساخت. این نمونه که در شکل زیر، نشان داده شده است از یک سامانه دوگانه دیوار برشی جوش شده به یک قاب خمشی ویژه با مقیاس ½ تشکیل شده است و پاسخ طبقه اول پانل فولادی دیوار برشی را تحت بار چرخه ای نشان می دهد. مد خرابی در اثر گسیختگی ستون سمت چپ ناشی از اثرات حرارتی اتصال جوشی ستون به صفحه می باشد. محققین، مد خرابی را مربوط به کمانش موضعی ستون که در چرخه ۲۰ در اثر دامنه تغیر مکان زیاد در ناحیه بال ستون ها ایجاد شده، می دانند. قبل از خرابی، نمونه رفتار بسیار شکل پذیری از خود نشان می دهد. خرابی حاصل از رفتار کل سامانه نمی باشد. خرابی در ستون جائیکه به تیر وارد کننده نیرو متصل شده، احتمالاً در اثر تمرکز تنش در محل اتصال به دستگاه آزمایش می باشد. این تمرکز تنش در سازه های واقعی به وجود نمی آیند. بهر حال حتی با وجود خرابی زود هنگام ستون در این نمونه، رفتار رفت و برگشتی نمونه نشان دهنده افزایش مقاومتی معادل 1/3 و شکل پذیری بسیار خوبی را نشان می دهد.



Test Specimen

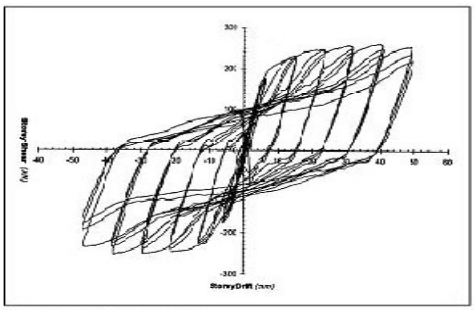


Load vs. Displacement
(Curves From: Driver et al, 1998)

اخیراً محققین دانشگاه British Colombia یک مجموعه از آزمایش های بارگذاری چرخه ای دیوار برشی فولادی را تکمیل کرده اند. در این مطالعات بارهای برشی چرخه ای به دو نمونه یک طبقه وارد شده اند. پاسخ حلقه های پسماند نیرو-تغییرمکان یکی از نمونه ها را پس از آزمایش نشان می دهد. قاب مرزی در هر دو نمونه یک قاب خمشی است که یک سامانه دوگانه را ایجاد می کند. دو نمونه فقط در جزئیات صفحه لچکی و تیر فوقانی باهم فرق دارند.

(Photo: Curtsey of C. Ventura))

Test Specimen

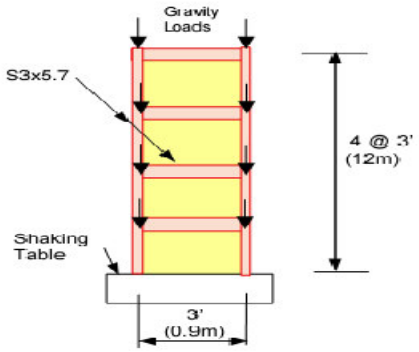


(Curves from: Lubell, 1997)

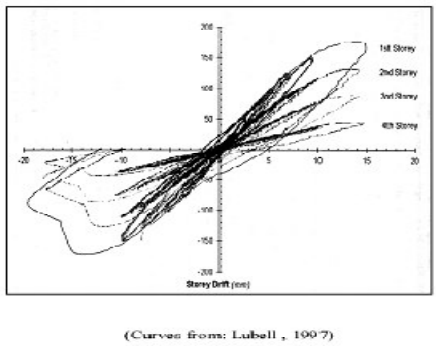
Load vs. Displacement

در نمونه دوم اتصال قویتری برای پایه و تیر فوقانی در نظر گرفته شده است .نمونه یک تغییر شکل غیر الاستیک قابل ملاحظه ای از خود نشان داد، بطوریکه شکل پذیری بسیار خوبی نشان داد .افزایش مقاومت در حدود ۱/۵ برابر بود. محققین به این نتیجه رسیدند که دیوار برشی فولادی در دو نمونه یک طبقه به مقدار قابل توجهی از مقاومت خمشی مورد نیاز قاب می کاهد چرا که یک سامانه باد بند مورب ایجاد شده است که این خود سبب کاهش میزان چرخش اتصالات تیر و ستون می گردد.

در آزمایشهای میز لرزان یک نمونه ۴ طبقه با مقیاس ۳۰% از هسته مقاوم مرکزی یک ساختمان مسکونی به کار رفت. شکل زیر نمونه را نشان می دهد. ابعاد هر طبقه این نمونه تقریباً مثل نمونه یک طبقه می باشد. قاب مورد نظر، یک قاب خمشی با اتصالات صلب بود که سبب ایجاد یک سامانه دوگانه می شود. اعضاء از پروفیل های S3×5/7 (پروفیل کانادایی S75×8) تشکیل شده اند .تیرهای بام از پروفیل S8×23 (پروفیل کانادایی S200×34) می باشند . نمونه مورد نظر، افزایش مقاومتی حدود ۱/۲ داشته و شکل پذیری بیشتری در مقایسه با نمونه یک طبقه از خود نشان داد. شکل زیر، پاسخ حلقه های پسماند نیرو-تغییر مکان را برای طبقه اول نشان می دهد.

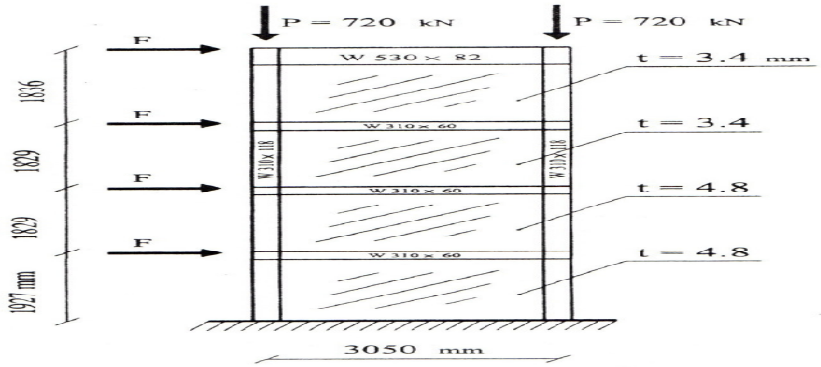


Specimen on Shaking Table



Hysteresis Response

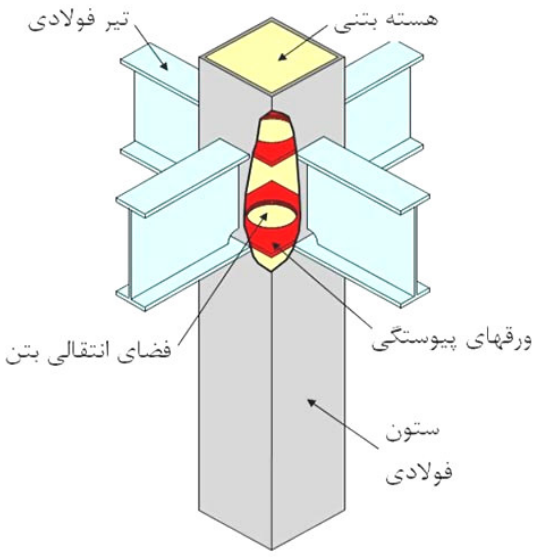
آزمایش مهم دیگری در دانشگاه Alberta در کانادا انجام شده است. درشکل زیر یک دیوار برشی فولادی چهارطبقه که به ۵۰ تا ۶۰ درصد ابعاد واقعی می باشد دیده می شود .سامانه مذکور، علاوه بر بارهای چرخه ای F، بار قائم P را نیز تحمل می کند.



سیـــــــستـــــــم دیـــــــوار برشـــــــی فـــــــولادی با ستـــــــون‌هایCFT

ستون‌های با مقطع فولادی قوطی شکل پر شده توسط بتن و یا به اختصار CFT (Concrete Filled Tube)، ترکیب هوشمندی از بتن و فولاد هستند که مجموعه‌ای از مزایای ستون‌های بتن آرمه و فولادی را دارا می‌باشند. شکل‌پذیری بیشتر نسبت به ستون های بتن مسلح به علت حضور پررنگ‌تر فولاد در مقطع، اجرای بسیار سریعتر نسبت به اسکلت‌های بتنی بدلیل تولید اسکلت فولادی در کارخانه و اجرای سریع اتصالات در محل کارگاه، و همچنین کاهش قابل توجه ابعاد مقاطع ستون‌ها نسبت به ستون‌های بتنی از جمله مزایای این ستون‌ها است. استفاده از ستون‌های CFTدر سیستم دیوار برشی فولادی ترکیب مهندسی هوشمندانه‌ای است که به خوبی پاسخگوی نیازهای معماری و سازه‌ای این سیستم است.

از مزایای سیستم دیوار برشی فولادی با ستون‌های CFT میتوان به کاهش وزن فولاد مصرفی، ایمنی و مقاومت بالای لرزه‌ای بواسطه پیوستگی و شکل‌پذیری بالای ورق‌های فولادی و اتصالات آن، و اجرای آسان بدلیل تولید اعضای اسکلت فلزی و پانل دیوار در کارخانه و استفاده از اتصال مفصلی با جوش گوشه در همه اتصالات قاب به جز اتصال اعضای احاطه کننده ورق فولادی اشاره کرد.



سازه های فولادی سردنورد شده (CFS) با دیوار برشی فولادی:

استفاده از فرآیند نورد سرد در تولید سازه های فولادی سابق زیادی در نقاط مختلف جهان دارد. در این میان سازه های فولادی سبک سرد نورد شده LSF بیشتر شناخته شده می باشند. این سازه ها که بیشتر در مناطق آمریکایی شمالی و استرالیا در احداث بناهای یک و دو طبقه فوق سبک کاربرد دارند، در سال های اخیر نیز در برخی مناطق ایران مورد استفاده قرار گرفته اند. استفاده از مقاطع فولادی سرد نورد شده با ضخامت کمتر از ۲ میلیمتر به صورت دیوارهای باربر در این سازه ها امکان انبوه سازی در طبقات و هماهنگی با طرح های معماری متنوع را بسیار محدود می نماید.

با توجه به لزوم بومی سازی روش های ساخت و ساز متناسب با شرایط اقلیمی و اجرایی موجود در کشور سیستم سازه های CFS که به کلی با سیستم LSF متفاوت می باشند، اخیراً از سوی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران مورد تأیید قرار گرفته است. در این روش، به عنوان اولین و تنها سیستم ساخت و ساز صنعتی نوین و بومی در ایران، مقاطع فولادی سرد نورد شده با ضخامت ۵ تا ۲۰ میلی متر و تنوع بسیار زیاد در شکل و ابعاد مورد استفاده قرار می گیرند. این مقاطع با سرعت بسیار زیاد (۱۰ تا ۲۰ متر طول پروفیل در هر دقیقه) به صورت کاملاً مکانیزه در کارخانه های نورد سرد تولید می گردند؛ پروفیل در صورت نیاز و با توجه به شکل مقطع توسط ورق های لقمه و پیچ و مهره در کارخانه دوبل شده و پس از رنگ آمیزی و شناسه گذاری جهت نصب به کارگاه ساختمانی حمل می گردند. با توجه به تنوع بسیار کم مقاطع گرم نورد شده در بازار ایران، استفاده از مقاطع سرد نورد شده امکان افزایش تیپ بندی در روند طراحی و کاهش مصرف آهن مصرفی را به راحتی امکان پذیر می نماید.

شایان ذکر است که در سازه های CFS از ورق های فولادی آهن سیاه معمولی (ST37) به عنوان مواد خام استفاده می گردد. قیمت کمتر ورق های فولادی مورد استفاده در این سازه ها در مقایسه با مقاطع گرم نورد شده موجود در بازار، امکان استفاده از مقاطع بهینه و متنوع جهت هر

عضو سازه به همراه کاهش چشمگیر زمان اجرا و در نتیجه بازگشت سریع تر سرمایه از مهم ترین دلایل کاهش قیمت تمام شده سیستم CFS در مقایسه با سایر روش های ساخت و ساز به شمار می آیند.

دیوارهای برشی فولادی در سازه های CFS به عنوان عناصر باربر جانبی مورد استفاده قرار می گیرند که خود بر تسهیل روند اجرا، شکل پذیری و رفتار لرزه ای بسیار مطلوبی را پدید می آورد. از آنجا که در هر سیستم ساخت و ساز مناسب لازم است کلیه عناصر اصلی سازه شامل عناصر باربر ثقلی و جانبی به همراه دیافراگم های سقف سازگار و هماهنگ با یکدیگر باشند، معمولاً استفاده از تیرچه های فلزی با جان باز و عرشه های فولادی به عنوان سیستم سقف در سازه های CFS توصیه می گردد.

تیرچه های فلزی با جان باز به عنوان خرپای فلزی ساده معادل مقاطع لانه زنبوری در سازه های رایج مورد استفاده قرار می گیرند.

عرشه های فولادی با قرار گیری بر روی تیرچه های فلزی امکان انجام سریع عملیات بتن ریزی دال های سقف در طبقات مختلف را فراهم می آورند.

سازه های CFS در نهایت ظاهری مشابه سازه های فلزی رایج با اتصالات ساده پیچ و مهره ای خواهند داشت. افزایش سرعت وکیفیت اجرا به همراه کاهش هزینه های پروژه ها از مزایای اصلی این سیستم ساخت و ساز به شمار می آیند. با توجه به اینکه سیستم فوق مورد تأیید مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران قرار گرفته و کلیه اجزای آن نیز براساس آیین نامه های معتبر داخلی و بین المللی قابل طراحی و اجرا می باشند، امید است به عنوان یک روش ساخت و ساز بومی و هماهنگ با شرایط اجرایی کشور در آینده نزدیک با استقبال سازندگان مسکن به ویژه انبوه سازان محترم مواجه گردد.

ترمیم وتقویت سازه های بتنی توسط دیوار برشی فولادی:

گزارش اولیه تحقیقات انجام شده در تابستان سال ۲۰۰۰ میلادی در آزمایشگاه سازه دیویس هال دانشگاه برکلی کالیفرنیا نشان می دهد، ظرفیت دیوار های برشی فولادی برای مقابله با خطراتی مانند زلزله، طوفان و انفجار در مقایسه با دیگر سیستم ها مثل قاب های ممان گیر ویژه حداقل ٪ ۲۵ بیشتر می باشد. در آزمایشگاه های تحقیقاتی استفاده گردیده است که ظرفیت آن حدوداً ۶۶۷۰KN می باشد . آزمایشهای مذکور نشان میدهد، دیوار برشی فولادی دارای شکل پذیری بسیار بالائی هستند. به لحاظ اهمیت موضوع بودجه این تحقیقات که به منظور دستیابی به یک سیستم مطمئن جهت ساخت ساختمان های فدرال آمریکا برای آنکه بتوانند در مقابل خطراتی مانند زلزله، طوفان و بمب مقاومت نمایند، توسط بنیاد ملی علوم آمریکا و اداره خدمات عمومی آمریکا تأمین گردیده است.

معرفی سیستم دیوار برشی فولادی برای تقویت سازه های بتنی ساخته شده:

سال ۱۹۹۵ زلزله در Hugoken-Nanbu4 که زلزله مهیبی بود ، باعث کشته و مجروح شدن انسانهای زیادی شد. ساختمان های بسیاری آسیب جدی دیدند و ساختمان هایی که قبل از سال ۱۹۸۱و مخصوصاً قبل از ۱۹۷۱ ساخته شده بودند، خسارت شدیدی را متحمل گردیدند و حتی برخی از آنها فرو ریختند.

این امر نشانگر این است که آیین نامه و مقررات قدیمی برای طراحی ساختمان بنحو مناسبی نیروهای زلزله و شکل پذیری سازه ای را در نظر نگرفته اند.

در سال ۱۹۹۹ زلزله در chi –chi تایوان نیز باعث زیان فراوان و تخریب بسیاری از سازه ها شد. دوباره این ساختمانهایی که قبل از سال ۱۹۸۳ طراحی و ساخته شده بودند، تخریب شدند و بعد از زمین لرزه ۱۹۹۹ تمام مقررات و آیین نامه های زلزله مورد بازبینی قرار گرفته و همه مقررات

قبلی لغو شدند . ضرایب لرزه ای منطقه ای در هرناحیه تایوان تولید و ایجاد گردید. برای مثال شتاب زمین لرزه در منطقه Taichung از 0.23g به 0.33g افزایش یافت.

در نتیجه تقریبا همه ساختمانها در Taichung مطابق با مقررات طراحی جدید احتیاج به مقاوم سازی پیدا کردند.

هدف این پروژه افزایش و بهبود بخشیدن مقاومت لرزه ای ساختمانهای بتن مسلح می باشد . این پروژه شامل سه زیرمجموعه است که شامل:

۱. پیدا کردن و پی بردن به میزان کمبود مقاومت لرزه ای ساختمانهای بتن آرمه موجود بر اساس آیین نامه جدید

۲. مساله نیروهای وارد بر سازه کناری و همجوار بعلت تغییر مکان های بیش از اندازه جانبی آن ها

۳. تحقیق در مورد دو روش برای جذب انرژی توسط پانل های برشی فولادی و بادبند فولادی برای بهبود مقاومت لرزه ای سازه های موجود.

مقاومت لرزه ای سازه ها با استفاده از مقاومت نهایی پایین در قابهای مهار بندی و پانلهای برشی:

کمانش قاب مهاربندی شده (بادبند):

تجربیات قبلی نشان می دهد که ساختمان هایی که مطابق مقررات امروزی طراحی وساخته نشده اند نمی توانند درمقابل نیروی زلزله مقاومت کرده و متحمل خسارت هایی می شوند. در تایوان این ساختمان ها اکثراً سازه های بتن آرمه هستند و نیاز به ترمیم برای بهبود مقاومت لرزه ای دارند. قاب های ممان گیر (BIB) و پانل های برشی فولادی ثابت شده که دارای مقاومت بالا و شکل پذیری بالا و حلقه های هیستریسس ثابتی وپایداری دارد. قاب مهار شده با بادبند شامل

المان های باربر و المان های مهاربندی برای بارهای جانبی هستند. بارهای محوری توسط المانهای حمال (تیر) مهار می شوند و که تکیه گاههای جانبی المان کار جلو گیری از کمانش عضو را به عهده دارند . دیوار برشی فولادی ساخته شده ازLYP مانند یک المان باربر برشی زمانی که به خوبی طراحی شود، می تواند رفتار خوبی در برابر نیروهای لرزه ای داشته باشد. در این تحقیق قاب های ممان گیر و دیوار برشی فولادی برای مقاوم سازی قاب های بتنی مورد استفاده شده اند و کارایی هر یک از آنها مورد آزمایش قرار می گیرد.

نتیجه گیری:

۱. مقاومت تسلیم و مقاومت نهایی فولاد LYP متأثر از نسبت کرنشی است . مقاومت نهایی پانلهای برشی ساخته شده از فولاد LYP به سرعت بارگذاری آن بستگی دارد. در این مطالعه اختلاف مقاومت نهایی با سرعت بالا و کم حدوداً ٪۱۶ است.

یعنی اگر سرعت بارگذاری به طور سریع باشد ٪۱۶ بیشتر از حالتی است که بطور کند بارگذاری شود.

۲. ساخت و طراحی صحیح پانلهای برشی ساخته شده از فولاد LYP فولاد به چرخش نسبی ٪ ۵ رسیده است که لازمه اتلاف انرژی بالایی است.

۳. تحت بار پانل برشی ابتدا تسلیم موضعی رخ می دهد و با افزایش بار کمانش پانل رخ می دهد ودر نتیجه پانل به بیرون قوس برداشته وباعث کشش مقطع می شود. بعد از تسلیم شدن کامل پانل نوارهای بیرونی صفحه از همه آخر باعث جذب انرژی می شود. یعنی ابتدا وسط صفحه باعث جذب انرژی شده و کم کم که به نقطه تسلیم می رسند این جذب انرژی به طرف پانل منتقل می شود که در آخر تمام صفحه به نقطه تسلیم می رسند. که باعث اتلاف و جذب انرژی بسیار زیادی می شوند.

مزایای استفاده از دیوار برشی فولادی جدار نازک برای مقاوم سازی سازه های فولادی:

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 مقاو م 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 مقاو م 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 کمانش 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 تغییرشکل های مناسب برای جذب بیشتر انرژی نشود. (تعیین محدوده به ینه سختی ستون های نگهدارنده نیاز به مطالعات بیشتری دارد.) اندرکنش سازه اولیه و دیوار برشی به گونه ای است که موجب تقویت سازه اولیه شده و نیروهای وارد شده به اجزاء سازه اولیه را تعدیل می کند.

۴. در مراحل اولیه بارگذاری سازه اولیه در باربری جانبی شرکت می کند 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 عمدتا توسط دیوار برشی صورت می گیرد.

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 می نماید.

مقاوم سازی دیوار برشی فولادی بازشودار با الیاف FRP به روش عددی:

۱. در دیوار برشی فولادی بازشودار با افزایش حدود هر ۳ درصد مساحت بازشو، کاهش ۳ درصدی ظرفیت برشی و کاهش ۵ درصدی سختی سیستم، کاهش ۳ درصدی جذب انرژی و کاهش یک درصدی تنش فون مایسس و همچنین افزایش یک تا ۲ درصدی کمانش خارج از صفحه به دست می آید.

۲. در دیوارهای برشی فولادی تأثیر پهنا در کاهش ظرفیت ها بیشتر از ارتفاع بوده به طوری که بازشوهایی که پهنای کمتری دارند ، ظرفیت برشی (۲ تا ۶ درصد)، سختی (۶ تا ۱۱ درصد) و جذب انرژی (تا ۶ درصد) بیشتری دارند. کمانش (۴ تا ۱۲ درصد) بیشتری دارند.

۳. در دیوارهای برشی فولادی جا به جایی پهنا و ارتفاع تأثیر قابل توجهی بر روی پارامترها ندارد.

۴.در دیوار برشی فولادی با ۶ تا ۱۷ درصد بازشو: ضریب اصلاح نیروی برشی برای هر پهنایی تا ارتفاع ۷۰۰ میلی متر (در مقیاس واقعی ۱۴۰۰ میلی متر) بین ۰/۵۹ تا ۰/۸۸ تغییر می کند.

۵. به طور کلی در دیوارهای برشی فولادی توزیع تنش در اعضاء مرزی بسیار متغیر بوده که با افزودن انواع سخت کننده ها توزیع تنش در این اعضاء یکنواخت میگرد. در دیوارهای برشی فولادی بازشودار تقویت شده با FRP، عموماً با اضافه شدن سخت کننده ها تنش ها در دیوار به حد قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. این در حالی است که تنش های بزرگتری در سخت کننده ها به وجود می آید که نشان از افزایش ظرفیت پس کمانشی و توسعه بهتر عملکرد میدان کششی در ورق پرکننده آن ها می باشد.

۶. بیشترین تأثیر بر روی کاهش کمانش خارج از صفحه را به ترتیب سخت کننده های افقی- قائم ، قائم، ضربدری دارند.

۷. سخت کننده های FRP باعث افزایش سختی الاستیک، ظرفیت برشی و مقاومت در دیوار میشوند.

۸. سخت کننده های افقی-قائم در افزایش سختی سیستم (تا ۱۵ درصد)، جذب انرژی (تا ۲۲ درصد) و ظرفیت برشی (تا ۲۴ درصد) بسیار مؤثرند. این در حالی است که این سخت کننده ها مؤثرترین نوع آرایش سخت کننده ها (به دلیل محصور کردن محیط بازشو و پیوستگی سخت کننده های دور تا دور بازشو) در کاهش کمانش خارج از صفحه هستند.

۹. افزودن سخت کننده های قطری، بر خلا ف دیوار برشی فولادی بدون بازشو، بر روی کمانش خارج از صفحه در دیوار برشی بازشودار اثر چندانی ندارد. اما باعث بهبود رفتار هیسترزیس دیوار برشی شده و اضافه کردن این نوع سخت کننده به عنوان عامل تقویتی دیوارهای برشی فولادی بازشودار سبب افزایش ظرفیت باربری (تا ۲۶ درصد)، جذب انرژی (تا ۲۲ درصد) و سختی سیستم (تا ۱۸ درصد) می گردد. سخت کننده های قطری، سبب نزدیک شدگی ستونها می شوند و میزان نزدیک شدگی توسط این نوع سخت کننده ها، بیش از زمانی است که از سخت کنندههای افقی، قائم و افقی-قائم توأماً استفاده می گردد. از این نظر، استفاده از این نوع سخت کننده ها، بر معایب سیستم می افزاید.

۱۰. افزودن سخت کننده های ضربدری، کمانش خارج از صفحه در دیوار برشی بازشودار نسبت به سخت کننده های قطری دارند . به طوری که تا ۲۵ درصد موجب کاهش کمانش خارج از صفحه ورق می گردد. سخت کننده های ضربدری به عنوان عامل تقویتی دیوارهای برشی فولادی بازشودار سبب افزایش ظرفیت (تا ۴۸ درصد)، جذب انرژی (تا ۳۳ درصد) و سختی سیستم (تا ۳۸ درصد) می گردد.

۱۱. دیوار برشی فولادی بازشودار تقویت شده با FRP میتواند با ضریب رفتار ۱۵ معادل گردد.

بررسی اثر سختی ستونها بر رفتار دیوارهای برشی فولادی جدار نازک:

هدف اصلی این تحقیق بررسی اثر سختی ستون های نگهدارنده دیوار برشی بر جنبه های گوناگون عملکرد دیوارهای برشی فولادی جدار نازک بود. برای این امر چهار مدل با مقیاس ½ ساخته شده و تحت بارگذاری چرخه ای آزمایش شدند .نتایج به دست آمده حاکی از آن است که:

۱.دیوارهای برشی فولادی جدار نازک یک سیستم باربر جانبیِ مناسب، برای جذب انرژی ناشی از نیروهای جانبی می باشد .منحنی های هیسترزیس این دیوارها پایدار و با سطح محصور شده زیاد می باشند.

۲. با افزایش سختی ستون ها ظرفیت باربری این دیوارها افزایش می یابد. همچنین افزایش سختی ستون افزایش سختی دیوار و شکل پذیری و نیز افزایش میزان استهلاک انرژی دیوار را در پی خواهد داشت اما میزان این افزایش زیاد و قابل ملاحظه نمی باشد.

۳. در آزمایش ها مشاهده شد که برای این نسبت عرض دهانه به ارتفاع دیوار برشی، ستون های ضعیف و نیمه قوی هم، توانایی ایجاد میدان کششی قطری در ورق را دارند و در این مدل ها نیز ورق دیوار برشی کمانش کرده و تا مرز گسیختگی پیش رفت .این امر بیانگر آن است که در طراحی دیوارهای برشی اگر به ستون های نگهدارنده دیوار بار محوری بزرگی اعمال نشود الزامی به استفاده از ستون های قوی و بسیار سخت نمی باشد و می توان با ستون های ضعیف هم از خواص تشکیل میدان کششی قطری در استهلاک انرژی نیروهای جانبی و دستیابی به یک سیستم باربر جانبی اقتصادی و ایمن بهره جست. میزان سختی بهینه با استفاده از مطالعه و آزمایشات بیشتر قابل دستیابی است.

۴.یکی از مزایای مهم این دیوارهای برشی نحوه خرابی آن ها می باشد .همانطور که در گزارش آزمایش ذکر شد درصورتیکه از اتصالات و ستون های مناسبی برای این سیستم استفاده شود بعد

از بارگذاری و باربرداری های متوالی خرابی دیوار با تسلیم و گسیختگی ورقِ پرکننده دیوار شروع می شود که این نوع خرابی به صورت ترد و شکننده نمی باشد و این امر نقش به سزایی در بالا بردن ضریب ایمنی جانی ساکنین ساختمان دارد. شکل پذیری این دیوارها بسیار خوب بوده و درآزمایش های انجام شده شکل پذیری حدود ۱۴ به دست آمده است.

۵. آزمایشات انجام شده نشان دادند که چنانچه طراحی دیوار برشی طوری صورت گیرد که از کمانش ستون های نگهدارنده در خارج از صفحه دیوار برشی جلوگیری شود، کمانش داخل صفحه ستون ها توسط ورق دیوار برشی مهار می شود و شکل پذیری خوبی در سیستم حاصل می شود. در حالی که ادبیات علمی و مطالعات انجام شده شکل پذیری کمتری را برای دیوارهای برشی فولادی با نگهدارنده های سخت و پرمقاومت، گزارش کرده اند.

دیوارهای برشی فولادی تقویت شده قطری:

۱. دیوارهای برشی فولادی تقویت نشده که به خوبی طراحی و اجرا شده باشند و دارای اعضای مرزی مناسبی بر مبنای روابط پیشنهادی در این تحقیق باشند، رفتار غیر خطی مناسبی داشته و پدیده باریک شوندگی در این سیستم نیز در صورتی که از اتصالات صلب بین تیرو ستون استفاده شود تا حد مطلوبی کاهش می یابد.

۲. منحنی های هیسترزیس دیوارهای سخت شده قطری بویژه با سخت کننده های گوشه، spsw(sl)، نسبت به دیوارهای سخت نشده مشابه با آن spsw2 دوکی شکلتر بوده و جذب انرژی بیشتری را داشته است.

۳. سخت کننده های قطری باعث افزایش ظرفیتهای برشی حد الاستیک و حد نهایی و همچنین شکل پذیری دیوار شده اند.

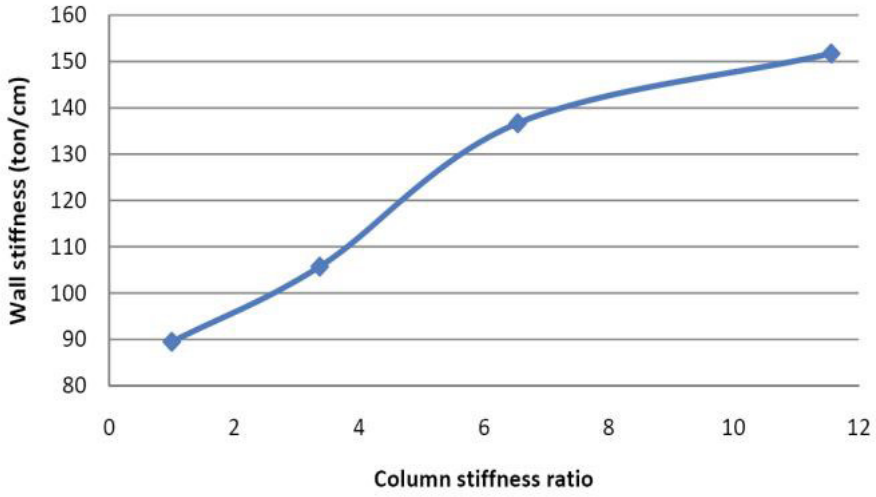
۴. جابه جایی های نسبی بالایی که تمام نمونه ها تحمل کرده اند (۶/۳ تا ۷/۴ درصد) نمایانگر ضریب شکل پذیری بالای این سیستم های باربر جانبی اعم از تقویت نشده و تقویت شده قطری و یا با بازشوی استراتژیک می باشد.

۵. نتایج آزمایش بر روی نمونه دیوار برشی فولادی تقویت شده قطری با بازشوی استراتژیک نشان میدهد که این سیستم علی رغم وجود بازشو دارای منحنی های هیسترزیس پایدار بوده و به صورت یک سیستم جاذب انرژی مناسب عمل نموده است.

بررسی اثر سختی ستون ها بر رفتار دیوارهای برشی فولادی جدار نازک:

اثر سختی ستونها بر سختی دیوار برشی:

سختی یکی از عوامل تعیین کننده ای است که برای بررسی رفتار سازه ها و از جمله دیوار برشی مورد استناد و استفاده قرار می گیرد .برای بررسی اثر سختی ستونها بر روی سختی دیوار برشی از نمودارهای نیرو- تغییرمکان به دست آمده برای هر یک از دیوارها استفاده گردید. شیب این نمودارها بیانگر سختی الاستیک هر یک از دیوارها می باشد. نمودار سختی دیوار بر اساس سختی خمشی ستونها در شکل زیر آورده شده است.



همانطور که مشاهده می شود با افزایش سختی ستونها، سختی دیوارها افزایش می یابد اما این نسبت افزایش قابل ملاحظه نیست به عنوان مثال در نمونه سوم در حالی که سختی ستونها نسبت به نمونه اول ۶/۵ برابر شده سختی دیوار افزایش زیادی نداشته و ۱/۵۳ برابر شده یعنی تنها ۵۳ درصد افزایش در سختی دیوار به وجود آمده است که قابل ملاحظه نیست .از این نمودار می توان نتیجه گرفت در مواردی که نیاز به سختی بالا در دیوار داریم (مواردی از قبیل کنترل اثرات $P-\Delta$ جلوگیری از آسیب دیدن اجزاء غیرسازه ای، حفظ تجهیزات و لوازم حساس در ساختمانهای خاص و تأمین ایمنی و...). افزایش سختی دیوار با استفاده از افزایش سختی ستون

ها اقتصادی و معقول نمی باشد و باید با استفاده از پارامترهای دیگر از جمله ضخامت ورق به سختی مورد نظر رسید.

اثر سختی ستونها بر شکل پذیری دیوار برشی:

از دیگر عوامل مهم در تحلیل رفتار دیوارهای برشی شکل پذیری است که رابطه نزدیک با مقاومت سازه در مقابل نیروهای زلزله دارد. هرقدر ضریب شکل پذیری سازه بزرگ تر و مقاومت آن کاهش کمتری داشته باشد، قدرت جذب انرژی آن در حالت غیرارتجاعی بیشتر بوده و رفتار مطلوبتری خواهد داشت. شکل پذیری هر سازه ارتجاعی-خمیری برابر نسبت جابجایی نهایی خمیری به جابجایی تسلیم آن است. در این تحقیق نیز شکل پذیری دیوارهای برشی و اثر سختی ستون ها بر شکل پذیری دیوارها بررسی شده است که در جدول زیر آورده شده است. البته متأسفانه در اثر شکست اتصال تیر به ستون در نمونه های سوم و چهارم ضریب شکل پذیری به دست آمده برای این دو دیوار کمتر از مقدار واقعی آن می باشد. مضافاً اینکه به دلیل محدودیت امکانات آزمایشگاهی و نیز رعایت ایمنی ابزار آزمایش، بارگذاری ها تا خرابی دیوار ادامه داده نشدند.

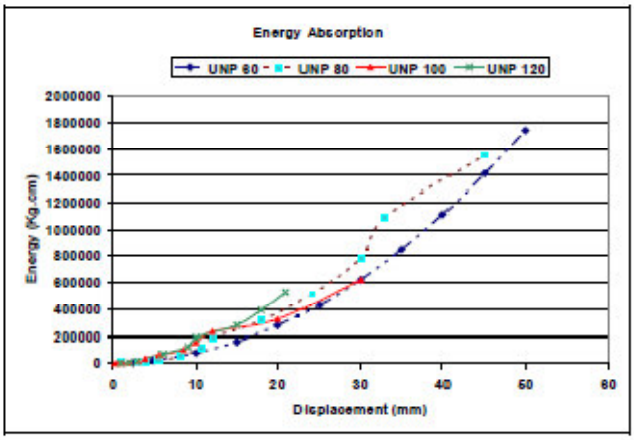
	نمونه اول	نمونه دوم	نمونه سوم	نمونه چهارم
نیمرخ ستون ها	2UNP 60	2UNP80	2UNP100	2UNP120
جابجایی تسلیم Δy (mm)	۳/۸	۳/۵	۳	۲/۹
جابجایی خمیری نهایی Δu(mm)	۴۹	۵۲	۲۹	۲۶
ضریب شکل پذیری	۱۲/۹	۱۴/۹	۹/۷	۹

ستون های UNP80 با مقاومت در برابر کمانش، زمینه را برای جذب انرژی دیوارها فراهم نمودند و باعث شدند دیوارها تا مراحل بیشتری برای جذب انرژی حضور مؤثر داشته باشند .اما این امر در مورد ستون های با سختی بیشتر کمتر مشاهده شد. به طوری که در نمونه های با ستون UNP100 و UNP120 میزان باربری قاب به گونه ای بود که نیروی زیادی به اتصالات

قاب وارد گردید و دیوار از این قسمت دچار شکست گردید و امکان جذب بیشتر انرژی و بهره برداری از شکل پذیری دیوارها میسر نشد. همانطور که مشاهده می شود دیوارهای برشی جدارنازک از ضریب شکل پذیری بسیار خوبی برخوردار هستند و این مقدار با افزایش سختی ستونها تا حدی افزایش می یابد.

اثر سختی ستون ها بر جذب و اتلاف انرژی:

سطح زیر منحنی نیرو-تغییرمکان نمایشگر انرژی جذب شده توسط سیستم مورد آزمایش است. رفتار هیسترزیس سازه ها مبین درصد جذب انرژی سیستم می باشد به گونه ای که اگر چرخه های هیسترزیس به صورت له شده باشند، نشان دهنده استعداد کم مقاومت در برابر زلزله بوده و سازه توان اندکی از خود برای جذب و اتلاف انرژی بروز میدهد و اگر حلقه های هیسترزیس به صورت پرحجم باشد، به نشانه استعداد خوب مقاومت در برابر زلزله بوده و سازه ظرفیت زیادی جهت اتلاف انرژی دارد. در این تحقیق نیز برای بررسی میزان جذب و استهلاک انرژی توسط دیوارها و همچنین نحوه اثر سختی ستون ها بر میزان جذب و استهلاک انرژی، منحنی های هیسترزیس نیرو-تغییرمکان هر یک از دیوارها رسم گردید و مساحت محصور شده توسط نمودارها که بیانگر میزان جذب و اتلاف انرژی میباشد محاسبه گردید. انرژی تجمعی جذب شده توسط دیوارها بر اساس جابجایی تیر تراز میانی در نمودار شکل زیر آورده شده است.



نتایج، نشانگر آن است که در هر چهار مدل، جذب انرژی و استهلاک آن در سیکلهای متوالی افزایش می یابد و این نشاندهنده آن است که دیوارهای برشی فولادی جدار نازک دارای چرخه های پایدار هیسترزیس و رفتار لرزه ای خوب میباشند از سوی دیگر عدم تنزل مقاومت و افت سختی در چرخه های هیسترزیس در اینگونه دیوارها بیانگر شکل پذیری زیاد و ظرفیت بالای جذب انرژی در این سیستم میباشد .که این خصلت دیوارهای برشی جدارنازک امکان استفاده از این دیوارها را در مقاوم سازی سازه های موجود فراهم می کند. همچنین مشاهده شد در این دیوارها با افزایش سختی ستونها بر میزان جذب انرژی افزوده میشود اما افزایش، چندان قابل ملاحظه نیست.

نتیجه گیری:

هدف اصلی این تحقیق بررسی اثر سختی ستون های نگهدارنده دیوار برشی بر جنبه های گوناگون عملکرد دیوارهای برشی فولادی جدار نازک بود. برای این امر چهار مدل با مقیاس ½ ساخته شده و تحت بارگذاری چرخه ای آزمایش شدند . نتایج به دست آمده حاکی از آن است که:

دیوارهای برشی فولادی جدار نازک یک سیستم باربر جانبیِ مناسب، برای جذب انرژی ناشی از نیروهای جانبی میباشد .منحنی های هیسترزیس این دیوارها پایدار و با سطح محصور شده زیاد می باشند.

با افزایش سختی ستونها ظرفیت باربری این دیوارها افزایش می یابد .همچنین افزایش سختی ستون افزایش سختی دیوار و شکل پذیری و نیز افزایش میزان استهلاک انرژی دیوار را در پی خواهد داشت اما میزان این افزایش زیاد و قابل ملاحظه نمی باشد.

در آزمایش ها مشاهده شد که برای این نسبت عرض دهانه به ارتفاع دیوار برشی، ستون های ضعیف و نیمه قوی هم، توانایی ایجاد میدان کششی قطری در ورق را دارند و در این مدل ها نیز ورق دیوار برشی کمانش کرده و تا مرز گسیختگی پیش رفت. این امر بیانگر آن است که در

طراحی دیوارهای برشی اگر به ستون های نگهدارنده دیوار بار محوری بزرگی اعمال نشود الزامی به استفاده از ستون های قوی و بسیار سخت نمی باشد و می توان با ستون های ضعیف هم از خواص تشکیل میدان کششی قطری در استهلاک انرژی نیروهای جانبی و دستیابی به یک سیستم باربر جانبی اقتصادی و ایمن بهره جست. میزان سختی بهینه با استفاده از مطالعه و آزمایشات بیشتر قابل دستیابی است.

یکی از مزایای مهم این دیوارهای برشی نحوه خرابی آن ها می باشد . همانطور که در گزارش آزمایش ذکر شد درصورتیکه از اتصالات و ستون های مناسبی برای این سیستم استفاده شود بعد از بارگذاری و باربرداری های متوالی خرابی دیوار با تسلیم و گسیختگی ورقِ پرکننده دیوار شروع می شود که این نوع خرابی به صورت ترد و شکننده نمی باشد و این امر نقش به سزایی در بالا بردن ضریب ایمنی جانی ساکنین ساختمان دارد. شکل پذیری این دیوارها بسیار خوب بوده و درآزمایش های انجام شده شکل پذیری حدود ۱۴ به دست آمده است.

آزمایشات انجام شده نشان دادند که چنانچه طراحی دیوار برشی طوری صورت گیرد که از کمانش ستون های نگهدارنده در خارج از صفحه دیوار برشی جلوگیری شود، کمانش داخل صفحه ستون ها توسط ورق دیوار برشی مهار می شود و شکل پذیری خوبی در سیستم حاصل می شود. در حالی که ادبیات علمی و مطالعات انجام شده شکلپذیری کمتری را برای دیوارهای برشی فولادی با نگهدارنده های سخت و پرمقاومت، گزارش کرده اند.

تأثیر تقویت تیر بر روی دیوارهای برشی فولادی:

۱. در دیوار برشی فولادی با ورق نازک که امکان وقوع کمانش و تشکیل میدان قطری وجود دارد، با تقویت تیرهای میانی به نتایج تحلیل به روش د کتر صبوری –روبرتس نزدیک تر می گردیم، به دیگر سخن نتایج تحلیل به روش دکتر صبوری –روبرتس با فرض ممان اینرسی بی نهایت برای تیرهای میانی بدست آمده اند و محاسبات انجام یافته به طریق اجزا محدود نیز همین نتیجه گیری را بدست می دهد. ولیکن فرض ممان اینرسی بی نهایت باعث کاهش مقادیر جابجائی جانبی می گردد که عملاً با استفاده از ممان اینرسی واقعی، دیدیم که در یک سیستم چهار طبقه، این جابجائی ممکن است تا ۱۱ ٪ نیز افزایش یابد و این فرض برخلاف جهت اطمینان می باشد ,ولیکن آزمایش آلبرتا نشان می دهد در عمل ,روش دکتر صبوری_روبرتس نتایج نزدیک به واقع تری را , حتی نسبت به روش اجزا محدود , بدست می دهد.

۲. در دیوارهای برشی فولادی تقویت شده که امکان وقوع کمانش و تشکیل میدان قطری وجود ندارد، با تقویت تیرهای میانی از نتایج تحلیل به روش دکتر صبوری –روبرتس، دورتر می شویم، به عبارتی مق ادیر جابجائی جانبی کمتر می گردد. بنابراین در این گونه سیستمها فرض ممان اینرسی بی نهایت درجهت اطمینان می باشد , بطوریکه در یک سیستم چهار طبقه، این جابجائی ممکن است تا ۱۰ ٪ نیز کاهش یابد.

۳. مقادیر تنش های اصلی در سیستمهای دیوار برشی فولادی تقویت نشده، با افزایش ممان اینرسی تیرهای میانی کاهش می یابد، به عبارتی افزایش ممان اینرسی تیرهای میانی نقش مثبتی در پراکندگی تنش های ایجاد شده در صفحه فولادی ایفا می کند.

۴. مقادير تنش هاي اصلي در سيستم ديوار برشي فولادي تقويت شده، با افزايش ممان اينرسي تيرهاي ميانی تغيير محسوسي از خود نشان نمي دهد .به عبارتي بيشتر نقش پراكندگي تنش ها در اين سيستم بر عهده المان هاي سخت كننده صفحه فولادي مي باشد.

بررسی رفتار دیوار برشی فولادی به روش اجزا محدود:

سیستم دیوار برشی فولادی رفتار شکل پذیری بسیار خوبی دارد. با استفاده از المان های پوسته ای و یا میله ای می توان رفتار پیچیده این گونه سازه ها را تحت بارگذاری چرخه ای پیش بینی کرد. جهت تسریع در بررسی و مطالعات عمیق تر می توان به نتایج به دست آمده از مدل ساده میله ای اتکا نمود. مؤثرترین پارامتر بر رفتار این سیستم، ضخامت ورق فولادی می باشد. افزایش ضخامت ورق به نحو مؤثری سبب افزایش شکل پذیری سیستم می گردد و ظرفیت باربری را افزایش می دهد ولی این افزایش تا حد شکننده شدن ورق مجاز است و برای افزایش بیشتر شکل پذیری سیستم استفاده از سخت کننده الزامی می گردد. در دهانه های بدون بازشو ورق سخت کننده توصیه می گردد و در دهانه های دارای بازشو استفاده از سخت کننده در اطراف بازشو الزامی است. در این سیستم ستون باید به گونه ای طراحی شود که قبل از جاری شدن کامل ورق، گسیخته نگردد و عملکرد استهلاک انرژی سیستم توسط ورق به خوبی انجام پذیرد. تیر تأثیر کمی بر رفتار این سیستم دارد. در انتخاب محل دیوار برشی باید دهانه های بزرگتر را انتخاب نمود زیرا در این حالت اتلاف انرژی و سختی بیشتر می گردد.

تحـــــــلیل دیـــــــوارهـــــــای برشـــــــی:

در این بخش به روش های تحلیل دیوارهای برشی و تعیین نیروهای اعضای آن از قبیل ورق پر کننده دیوار، اجزای مرزی افقی (HBE)، اجزای مرزی قائم (VBE) و اتصالات پرداخته می شود. تحلیل دیوار برشی و اجزای آن از دو جنبه قابل اهمیت است.

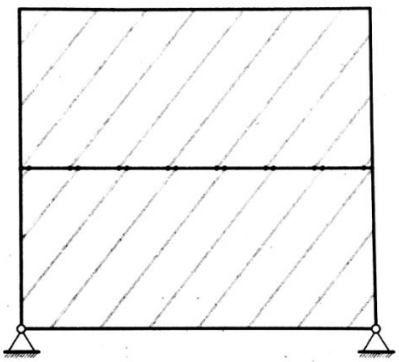
۱.در طراحی لرزه ای دیوارهای برشی فولادی، ورق جان نقش فیوز (عضو شکل پذیر) را داشته و نیروی کششی آن به عنوان مؤلفه شکل پذیر قلمداد می شود. اعضای مرزی HBE و VBE و اتصال فرمانبردار نیروهای ورق جان هستند و به عنوان اعضای غیر شکل پذیر لازم است رفتار آن ها در محدوده ارتجاعی باقی بماند. نیروهای طراحی ورق جان براساس نیروهای زلزله کاهش یافته با منظور نمودن ضریب رفتار R محاسبه می شود. هر چند نیروهای طراحی اعضای مرزی و اتصالات را می توان براساس ظرفیت مورد انتظار ورق پر کننده دیوار تعیین کرد، لیکن کلیه اعضای سیستم دیوار برشی فولادی شامل اعضای شکل پذیر و غیر شکل پذیر باید قادر باشند نیروهای حاصل از زلزله را تحمل کنند. بنابراین تعیین نیروهای داخلی کلیه اعضا با یک روش تحلیل مناسب ضروری است.

۲.برای تعیین تغییر مکان جانبی سازه نیاز به تحلیل سیستم دیوار برشی فولادی می باشد. تغییر مکان جانبی نسبی طبقات و افزایش آن براساس پدیده ای P-Delta ممکن است بهره برداری سازه را دچار مشکل کند. چون از طرفی در بعضی موارد در طراحی دیوارهای برشی فولادی ممکن است سختی سیستم و تغییر مکان جانبی آن تعیین کننده باشد، لذا تحلیل سیستم باربر جانبی برای تعیین تغییر مکان ها ضروری است. روش های گوناگونی براساس مدل های مختلف برای

تحلیل دیوار های برشی فولادی توسط پژوهشگران ارائه و پیشنهاد شده است. در این بخش مطابق دستورالعمل طراحی شماره ۲۰ آئین نامه AISC به سه روش مدل سازی از قرار مدل نواری، مدل اجزای محدود با جز غشاء ارتوتروپیک و تحلیل غیر خطی اشاره می شود.

مـــــــدل نـــــــواری:

یکی از مدل های رایج در تحلیل دیوار برشی فولادی استفاده از مدل نواری است. در این روش، ورق جان توسط یک سری اعضای قطری موازی که فقط به کشش کار می کنند مدل می شود. روش مدل نواری نتایج قابل قبولی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی از خود نشان داده است. در این آئین نامه طراحی دیوارهای برشی فولادی کانادا (CAS2001) ، مدل نواری به عنوان یک روش مناسب تحلیل سیستم توصیه شده است. در این مدل باید حداقل از ۱۰ المان نواری در هر پانل استفاده شود.



شکل ۱۰-۲۲ نمونه مدل نواری برای تحلیل سازه

همان گونه که در شکل ملاحظه می شود، انطباق تلافی نوارها در یک نقطه در بالا و پایین المان مرزی افقی (HBE) ضروری نیست و تقسیم بندی تیر (HBE) به المان های خمشی قاب

براساس تعداد تقسیم بندی نوارها تعیین می شود. به عنوان مثال تیر طبقه میانی شکل به ۱۶ قطعه تقسیم شده است.

برای ساده سازی مدل می توان از میانگین زوایای میدان کششی پانل های دیوار برشی برای تمام ارتفاع سیستم استفاده کرد. در این صورت طول هر قطعه از تیر برای n نوار چنین است:

$$\Delta_x=\frac{1}{n}(L+h.\tan\alpha)$$

در این رابطه:

Δ_x: طول قطعه تیر بین گره ها

L: عرض پانل

h: ارتفاع پانل

n: تعداد نوارها

موقعیت گره ها در ستون براساس موقعیت گره ها در تیر تعیین می شود.

A_s: مساحت معادل نوار چنین محاسبه می شود:

$$A_s=\frac{(L.\cos\alpha+h.\sin\alpha)t_w}{n}$$

به دلیل وابستگی مدل نواری به زاویه α، چرخه های تکراری سعی و خطا برای تعیین پارامترهای ممکن است طولانی و بعضاً خسته کننده باشدو اصلاح ابعاد ستون در هر مرحله باعث تغییر زاویه α و در نتیجه تغییر در موقعیت گره های تیر و دگرگونی در کمیت های خواهد شد. استفاده از زاویه میدان کشش میانگین برای پانل ها در کلیه طبقات می تواند تا حدودی این مشکل را برطرف کند. در هر حال در صورتی که انحراف زاویه میدان کشش طبقات از ۵ درجه تجاوز کند، استفاده از زاویه میانگین میدان کشش می تواند منجر به کاهش دقت نتایج شود.

مـــــــدل غشـــــــایی ارتوتروپیـــــــک:

به کارگیری المان های غشایی در مدل اجزای محدود یکی از روش های مناسب مدل سازی در تحلیل سیستم دیوار برشی فولادی است. استفاده از المان غشایی با خواص ارتوتروپیک به دلیل لزومدر منظور نمودن مقاومت کششی و فشاری ورق نازک جان است. چون کشش در راستای قطری ورق جان شکل می گیرد، لذا لازم است محورهای محلی متناسب با جهت زاویه α در المان های غشایی اختیار گردد. چون تنش های محاسباتی در قطر فشاری ورق صفر و ناچیز است، لذا خصوصیات ماده ای در امتداد زاویه α خواص واقعی ماده و در جهت عمود بر آن با سختی صفرو یا مقادیر بسیار کم باید در نظر گرفته شود.

ضمناً توصیه می شود که سختی برشی داخل صفحه المان صفر یا بسیار اندک منظور شود. در غیر این صورت احتمال این که بخشی از لنگر واژگونی توسط تنش های قائم در ورق جان تحمل شود (که در واقعیت قادر به مشارکت در تحمل نیروها نمی باشد) وجود خواهد داشت. علت این امر را چنین می توان توجیه کرد که ورق پرکننده دیوار برشی در حوالی ستون به اندازه کافی صلب

است، لیکن در سایر نقاط ورق جان سختی اندکی دارد و تحت تنش های فشاری کمی دچار ناپایداری موضعی می گردد.

نکته قابل توجه در دیوارهای برشی فولادی در مناطق با لرزه خیزی زیاد این است که نیروهای طراحی ستون عمدتاً براساس ظرفیت دیوار برشی تعیین می شوند و نیروهای طراحی با مدل تحلیلی سازه نامربوط خواهد بود. در ساختمان های بلند مرتبه که در آن ها نرمی (انعطاف پذیری) دیوار در اثر نرمی محوری ستون قابل مقایسه با نرمی برشی سازه است، افزایش سختی خمشی سازه اهمیت چندانی نخواهد داشت.

المان غشایی مورد استفاده در مدل تحلیلی براساس ضرورت رفتار کششی ورق جان می باشد و تعداد المان ها باید به اندازه کافی برای دست یابی به نیروهایی که موجب خمش در المان های

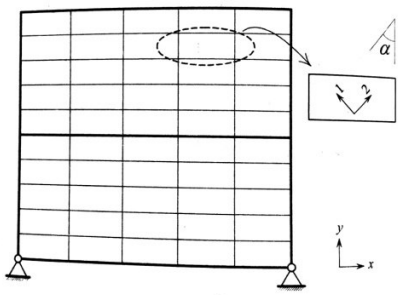
مرزی می شوند، باشد. آستانه اصل استفاده از حداقل چهار المان در هر جهت (در مجموع ۱۶ المان در هر پانل) را برای مدل تحلیلی دیوار برشی ضروری می داند.

در نرم افزارهای مهندسی برای تحلیل رفتار درون صفحه دیوار برشی با استفاده از المان های غشایی می توان از المان های چهار گره ای یا سه گره ای استفاده کرد.

فرمول بندی المان های چهار گره ای به مراتب از فرمول بندی المان های سه گره ای (مثلثی) دقیق تر می باشد. المان سه گره ای تنها برای نواحی انتقال و مرزی پیشنهاد می گردد. هر چند فرمول بندی سختی المان سه گره ای آسان است، لیکن بازیابی تنش ها در این حالت از دقت کافی برخوردار نیست. بهترین نتایج برای المان های چهار گره ای در حالتی به دست می آید که این زوایا در حالت ۹۰ درجه و یا حداقل بین ۴۵ تا ۱۳۵ درجه باشند.

در شکل زیر، نحوه شبکه بندی یک دیوار برشی فولادی با المان های چهار گره ای غشایی ناهمسانگرد (ارتوتروپیک) که در آن هر پانل در هر جهت به صورت مساوی به پنج قسمت تقسیم شده است نشان داده می شود.

محورهای محلی المان ها به گونه ای انتخاب می شود تا راستای زاویه میدان کشش به خوبی در نظر گرفته شود. مدل تحلیلی مبتنی بر استفاده از المان های غشایی ناهمسانگرد دارای مزایایی نسبت به روش متداول مدل نواری می باشد. در این مدل تکرار ها در هر مرحله به آسانی و با تغییر راستای زاویه α براساس روند متداولی که نرم افزارهای مهندسی در این ارتباط دارند انجام می شود.



شکل ۱۰-۲۳ مدل غشایی ناهمسانگرد دیوار برشی

تحلیـــــل غیـــــــرخطـــــــی:

در طراحی لرزه ای سازه های فولادی برای لحاظ نمودن واقعی رفتار غیر الاستیک سازه، به کار گیری یک تحلیل غیر خطی مفید و کارآمد می باشد. در روش تحلیل نواری استفاده از المان های غیر خطی خرپایی برای منظور کردن مناسب اثرات تنش های تسلیم کششی یکنواخت جان بر روی اجزای مرزی افقی (HBE) و قائم (VBE) توصیه می شود.

استفاده از المان های غیر خطی غشایی ناهمسانگرد در تحلیل المان محدود دیوارهای برشی به شرط وجود در نرم افزارهای موجود مهندسی جهت مدل کردن دقیق تر دیوار مفید می باشد.

چنانچه از مدل غیر خطی استفاده شود، در این صورت اجزای مرزی افقی و قائم می توانند در مقابل مودهای ناخواسته مانند کمانش در اثر رفتار غیر الاستیک با اعمال تغییر شکل های مناسب به قاب کنترل کننده باشند. تغییر مکان های مورد نظر می تواند حاصل از تسلیم کامل کششی ورق جان باشند و یا به هر روش دیگری محاسبه شوند. دستور العمل FEMA356 اطلاعات مفیدی برای نحوه ی محاسبه تغییر مکان ها ارائه می دهد. تحلیل پوش-اور بهترین روش برای دستیابی به نیروهای واقعی اجزای مرزی است. نیروهای محوری و خمشی که با استفاده از این روش برای اعضای مرزی به دست می آیند، کمتر از نظایر آن ها در حالتی هستند که نیروها از طریق طرح براساس ظرفیت حاصل می شوند.

الـــزامـــات عمـــومی طـــراحی دیـــوارهـــای برشـــی فـــولادی:

در این بخش به الزامات عمومی دیوارهای برشی مطابق آئین نامه AISC 341 پرداخته می شود. این الزامات برای طراحی اولیه این سیستم باربر جانبی لرزه ای در مناطق با خطر لرزه خیزی کم و متوسط و زیاد و خیلی زیاد معتبر و قابل کاربرد است.

طـــــراحی اولیـــــه:

قبل از هر تحلیلی، تعیین اندازه و ابعاد اولیه ورق جان و اعضای قائم (VBE) و افقی (HBE) ضروری است. تعیین ابعاد اولیه اعضای دیوار برشی فولادی براساس فرضیات ساده کننده ای جهت تعیین نیروهای این اعضا انجام می شود.

طـــــراحی اولیـــــه ورق جـــــان:

در گام اول فرض می گردد که ورق جان کل نیروی برشی حاصل از زلزله در سیستم دیوار برشی فولادی را تحمل کند. برای تعیین ظرفیت برشی ورق جان، داشتن α مقدار زاویه میدان کشش ضروری است. چون زاویه α طبق رابطه زیر به خصوصیات هندسی اعضای مرزی و ابعاد دیوار وابسته است، لذا در طرح اولیه باید برای زاویه α مقداری را فرض کرد. نمونه های طراحی دیوارهای برشی نشان داده است که انتخاب زاویه α در محدوده ۳۰ درجه تا ۵۵ درجه تخمین اولیه مناسبی است.

$$۱)\ \tan^4\alpha=\frac{1+\frac{t.L}{2A_c}}{1+t.h[\frac{1}{A_b}+\frac{h^3}{360LI_c}]}$$

ظرفیت اسمی برشی ورق جان را می توان مطابق رابطه زیز تعیین کرد.

$$۲)\ V=\frac{1}{2}F_y tL\sin 2\alpha$$

آئین نامه AISC341 از ضریب ۰/۴۲ به جای ۰/۵ در رابطه بالا استفاده کرده است. دلیل انتخاب ۰/۴۲ اعمال ضریب اضافه مقاومت ورق جان معادل ۱/۲ می باشد ($\frac{0/5}{1/2} \cong 0/42$). از طرف دیگر آئین نامه از L_{cf} فاصله بین دو بر ستون به جای L فاصله محور تا محور ستون برای ارزیابی ظرفیت اسمی برشی ورق جان استفاده کرده است.

بنابراین V_n ظرفیت اسمی برشی ورق جان چنین خواهد بود:

۳) $V_n = 0.42 F_y t_w L_{cf} \sin 2\alpha$

براساس تحقیقات برمن و برونو مقدار V_n که از رابطه بالا تعیین می شود کمتر از مقاومت نظری ورق جان براساس تسلیم کششی یکنواخت در امتداد زاویه α می باشد که منعکس کننده تفاوت بین اولین تسلیم تا تسلیم کامل ورق جان در اثر توزیع غیر یکنواخت تنش در محدوده ارتجاعی است.

در طراحی به روش تنش مجاز با استفاده از رابطه زیر، t_w حداقل ضخامت ورق جان چنین خواهد بود:

۴) $t_w \geq \frac{1.67 V_a}{0.42 F_y L_{cf} \sin 2\alpha}$

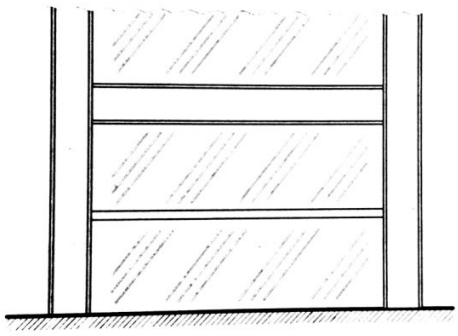
در رابطه بالا، V_a نیروی برشی موجود در دیوار در اثر ترکیبات متعارف بارگذاری است. استفاده از ورق های با ضخامت کمتر از ۶ میلی متر ($\frac{1}{4}$in) مراقبت های ویژه ای را در هنگام ساخت و نصب ایجاب می کند. در هر حال به کارگیری ورق های نازک در دیوارهای برشی فولادی از مزایای این سیستم است که حمل و نقل آن را آسان می کند.

طـــــراحی اولیـــــه ستـــــون (VBE)

پس از تعیین ضخامت ورق جان، I_c ممان اینرسی مقطع ستون (VBE) براساس حداقل سختی مورد نیاز تعیین می شود.

۵) $I_c \geq \frac{0.00307 t_w . h^4}{L}$

در مناطق با لرزه خیزی متوسط و کم معمولاً رابطه بالا، معیار کنترل کننده برای انتخاب ستون (VBE) می باشد. هنگامی که ارضای رابطه بالا آسان نباشد، می توان از اعضای افقی میانی به عنوان تقویت در فاصله بین دو طبقه برای تأمین سختی VBE استفاده کرد.



شکل ۱۰-۲۴ دیوار برشی فولادی با تقویت افقی میانی

تقویت افقی میانی در شکل بالا، باید سختی کافی خارج از صفحه برای جلوگیری از کمانش ورق جان را داشته باشد. بدین منظور ممان اینرسی ورق تقویت افقی باید شرایط رابطه زیر را برآورده نماید.

۶) $I_{st} \geq a t_w^3 j$

در این ارتباط زاویه α باید براساس خصوصیات پانل های بالا و پایین تقویت افقی محاسبه گردد. اتصال صلب ورق تقویت افقی به ستون های کناری توصیه نمی شود و در عوض اتصالی با انعطاف پذیری چرخشی مناسب تر خواهد شد.

نسبت $\frac{L}{h}$ در دیوارهای برشی فولادی باید بین مقادیر ۰/۸ تا ۲/۵ باشد ($0/8 \leq \frac{L}{h} \leq 2/5$). براساس تحقیقات انجام گرفته دیوارهای برشی با نسبت های کم $\frac{L}{h}$ دارای متفاوت با آن چه انتظار می رود

می باشند. بنابراین می توان با استفاده از تقویت های افقی ارتفاع h را کاهش تا نسبت $\frac{L}{h}$ افزایش یابد. هم چنین رفتار دیوارهای برشی با نسبت های $\frac{L}{h}$ زیاد به دلیل انعطاف پذیری تیر (HBE) چندان قابل پیش بینی نیست. از این رو توصیه می شود ضابطه $0/8 \leq \frac{L}{h} \leq 2/5$ همواره ارضا گردد.

طـــــراحی اولیـــــه تیـــــر (HBE)

به منظور طراحی اعضای مرزی افقی (HBE) می توان از نیروهایی که در راستای زاویه α به تیر

اعمال می شود، استفاده کرد. نیروهای اعمالی به تیر براساس ضخامت ورق های بالا و پایین آن تعیین می شود. در مناطق با خطر لرزه خیزی کم نیروهای اعمالی به تیر را می توان براساس شکل زیر به دست آورد.

W_a نیروی اعمالی به تیر (HBE) را می توان براساس اختلاف اثرات مؤلفه های قائم تنش های کششی در ورق جان در بالا و پایین تیر توسط رابطه زیر محاسبه کرد.

۷) $W_a = [\frac{V}{L_{cf}.\tan\alpha}]_i - [\frac{V}{L_{cf}.\tan\alpha}]_{i+1}$

در این رابطه:

W_a: شدت بار گسترده یکنواخت اعمال شده به تیر در اثر کشش ورق جان

V_a: نیروی برشی موجود در ورق جان

$[]_i$ و $[]_{i+1}$: به ترتیب مربوط به ورق جان در ترازهای i و i+1

شدت بار W_a باید به بارهای ثقلی اعمال شده به تیر مطابق ترکیبات بارگذاری مناسب افزوده شود. I_{HBE} سختی مورد نیاز تیر باید مطابق رابطه زیر باشد.

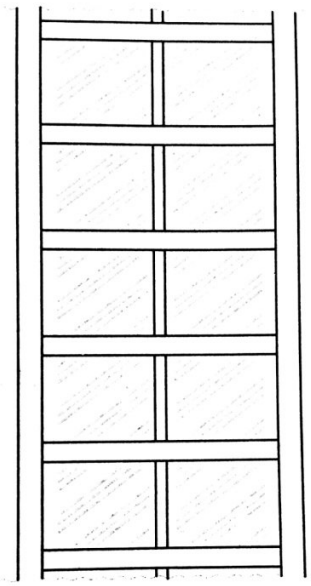
$$I_{HBE} \geq 0.003 \frac{(\Delta t_w) l^4}{h} \quad (۸)$$

در مناطق با خطر لرزه خیزی کم، تعیین ابعاد تیر براساس W_a از رابطه ۷ و همراه بارهای ثقلی، و کنترل ممان اینرسی آن توسط رابطه ۸ انجام می شود. با این وجود این معیار انعطاف پذیری تیر و ستون را در محاسبه سختی لازم در نظر نمی گیرد. به عنوان یک راه حل جایگزین می توان با انجام یک تحلیل غیر خطی اثرات انعطاف پذیری اعضای مرزی را منظور کرد.

در سیستم دیوارهای برشی فولادی تیرهای طبقات اول و آخر تحت نیروهای قابل ملاحظه ای

ناشی از عملکرد میدان کشش در ورق جان قرار دارند. این وضعیت برای تیرهای با دهانه های بزرگ بحرانی تر نیز خواهد بود.

بنابراین لازم است تیرهای طبقات اول و آخر موجود در دیوارهای برشی به نحو مناسبی طراحی شوند. بارهای اعمالی به تیرهای طبقه پایین به دلیل ضخامت بیشتر ورق جان قابل ملاحظه تر می باشند. از این رو برای تأمین مقاومت خمشی این گونه تیرها از شمع هایی که در فاصله بین دو ستون قرار می گیرند، استفاده می شود. به عنوان یک راه حل مناسب می توان برای کاهش مقاومت خمشی مورد نیاز کلیه تیرها به ویژه تیرهای واقع در طبقات اول و آخر از اعضای قائم مطابق شکل زیر استفاده کرد. ممان اینرسی این اعضای قائم باید شرایط رابطه ۶ را برآورده کند.



شکل ۱۰-۲۵ دیوار برشی فولادی با اعضای قائم میانی

در این وضعیت زاویه α براساس خصوصیات هندسی پانل فولادی کامل محصور بین دو ستون (VBE) تعیین می شود. علت این امر عدم وابستگی رابطه ۱ به ممان اینرسی تیر می باشد. کمیت $\frac{L}{h}$ براساس هر یک از ابعاد طرفین عضو قائم محاسبه و کنترل می شود.

اعضای قائم (ستون های کمکی) در شکل بالا براساس واکنش تکیه گاهی تیرها تحت بارگذاری W_a طراحی می شوند. با فرض شرایط مرزی گیردار برای تیر (HBE) نیروی محوری اعضای قائم در طبقه iأم $P(i)$ از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$P(i)=\sum_{i}^{n}\frac{1}{2}w_{a(i)}L_{cf}$$

$P(i)$ نیروی حاصل از رابطه بالا، ناشی از بارهای زلزله است و باید با نیروهای ثقلی به طور مناسب ترکیب شود.

در دهانه های بزرگ دیوار برشی، کاهش ابعاد اعضای مرزی افقی (HBE) که با تعبیه اعضای قائم حاصل می شود منجر به طرحی اقتصادی خواهد شد. این موضوع در تأمین ضابطه تیر ضعیف

ستون قوی که در مناطق با خطر لرزه خیزی زیاد ضروری است، حائز اهمیت می باشد.

طـــــــراحی نهـــــــایی:

پس از آن که طراحی اولیه ورق جان و اعضای مرزی انجام گرفت، مدل قاب و دیوار برشی به منظور تعیین نیروهای طراحی اعضا در اثر بارهای ناشی از زلزله تحلیل می گردد. چون تغییر در اندازه ضخامت ورق جان تأثیر قابل ملاحظه ای در ابعاد اعضای مرزی دارد از این رو چنان چه علاقمند به دستیابی به طرحی اقتصادی و بهینه باشیم لازم است یک روند آزمون و خطا دنبال شود.

در مناطق با خطر لرزه خیزی کم، طراحان دو انتخاب به شرح زیر را در پیش رو دارند.

۱.نیروهای حاصل از مدل تحلیلی می تواند مستقیماً برای تعیین ابعاد ورق جان و اعضای مرزی مورد استفاده قرار گیرد.

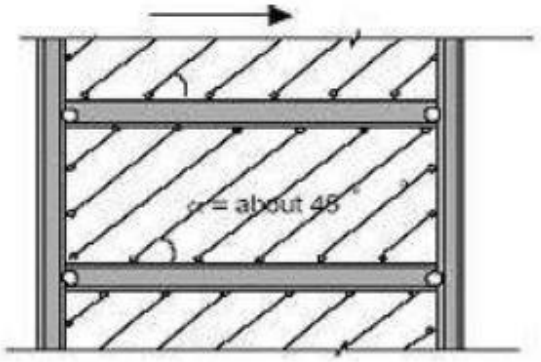
۲.طراحی اعضای دیوار برشی براساس فرض توزیع یکنواخت تنش در ورق جان انجام گیرد. در صورتی که از بند ۲ استفاده شود، لازم است ورق جان ضخامت کافی برای حصول مقاومت مورد نظر را داشته باشد.

نحـــوه مـــدل کـــردن دیـــوار برشـــی فـــولادی در Etabs:

برای مدل کردن دیوار برشی فولادی تاکنون ۲ نوع مدل رفتاری پیشنهاد شده است:.

الف)مدل رفتاری براساس اندرکنش صفحه با قاب محیطی معروف اندرکنش که توسط صبوری و رابرتز ارائه شده است.

ب)مدل رفتاری براساس جایگزینی تعدادی نوار مورب به جای ورق پر کننده دیوار معروف به مدل نواری که توسط توربرن ارائه شده است.



روش دوم به عنوان ضمیمه آیین نامه فولاد کانادا (CSA S16-01) و همچنین در آیین نامه مشخصات لرزه ای سازه های فولاد آمریکا (AISC 2005) مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به این موضوع ما در این جا نحوه مدل کردن دیوار برشی فولادی با استفاده از مدل نواری را توضیح می دهیم.

در این روش، سطح ورق دیوار برشی با تعدادی نوار فولادی مورب معادل سازی و جایگزین می شود که ضخامت این نوارها همان ضخامت دیوار بوده ولی عرض آن ها از روابطی که در زیر اشاره می شود، به دست می آید. لازم به ذکر می باشد که براساس مطالعاتی که انجام شده، تعداد نوار های معادل جایگزین ۱۰ عدد پیشنهاد شده است:

$$t=\frac{2\,V_s\Omega_s}{F_y L \sin 2\alpha}$$

که در این رابطه:

t :عرض نوار فولادی جایگزین

V_s :برش طبقه

Ω_s :ضریب اضافه مقاومت برابر ۱/۱ تا ۱/۵

F_y :تنش تسلیم مربوط به ورق

L :عرض دهانه دیوار برشی

α :زاویه تشکیل میدان کشش قطری در صفحه نوار فولادی که از حل رابطه زیر بدست می آید:

$$\tan^4\alpha=\frac{1+\frac{t.L}{2A_c}}{1+t.h\left[\frac{1}{A_b}+\frac{h^3}{360LI_c}\right]}$$

A_c :سطح مقطع ستون کناری

I_c :ممان اینرسی ستون کناری

A_b:سطح مقطع تیر

h:ارتفاع طبقه

n :تعداد نوارها که براساس مطالعات ۱۰ فرض می شود.

به منظور اطمینان از کفایت سختی ستون های کناری دیوار به منظور جلوگیری از کمانش آن ها، باید ممان اینرسی ستون ها رابطه زیر را برآورده نماید:

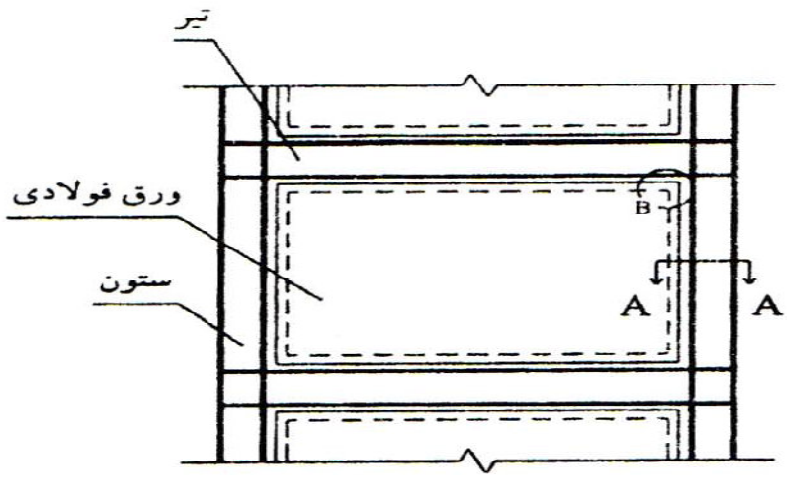
$$I_c \geq \frac{0.0030}{L}$$

در این روش، آیین نامه طراحی سازه های فولادی کانادا (CAN/CSA S16-01/2001) ضوابطی را نیز برای ستون های و... الزام دارد که آن ها را نیز باید کنترل کرد.

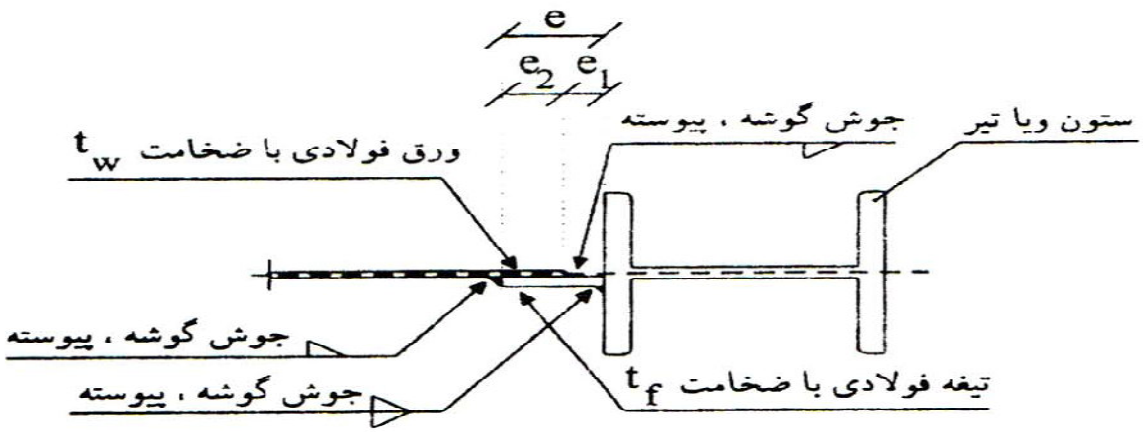
جزئیات اجرایی دیوار برشی فولادی:

در شکل زیر یک نمونه از دیوار برشی فولادی به همراه جزئیات اجرای آن آورده شده است. مشاهده می شود که ورق فولادی بوسیله یک تیغه فولادی به تیرها وستونهای اطراف متصل شده است .این نوع اتصای جای بازی کافی برای ورق فولادی ایجاد نموده واجراء را تسهیل میکند .اتصال ورق به تیغه بوسیله جوش ویا پیچ ومهره انجام می شود. در صورت استفاده از جوش بایستی جوشها بصورت پیوسته در تمام طول اجرا شوند .با توجه به اهمیت اتصال ورق فولادی به تیرها وستونها، جوشهای تیغه ها به ستونها وتیرها و همچنین جوشها ویا پیچ های ورق فولادی به تیغه (در صورت استفاده از پیچ ومهره برای اتصال ورق فولادی به تیغه) باید براساس نیروهای وارده طوری طراحی شوند که از ضریب اطمینان بالایی برخوردار باشند.
مطالعات انجام شده نشان می دهد که لازمست ضخامت تیغه فولادی، tf بیش از ضخامت ورق فولادی، tw، باشد که توصیه می شود [$tf > 1.2\ tw$] باشد .عرض تیغه فولادی e باید به فواصل مورد نیاز برای e1 و e2 که در شکل نشان داده شده اند، طوری انتخاب شوند که اثر جوشها روی هم باعث تضعیف اتصال نگردد. در صورت استفاده از پیچ برای اتصال ورق فولادی

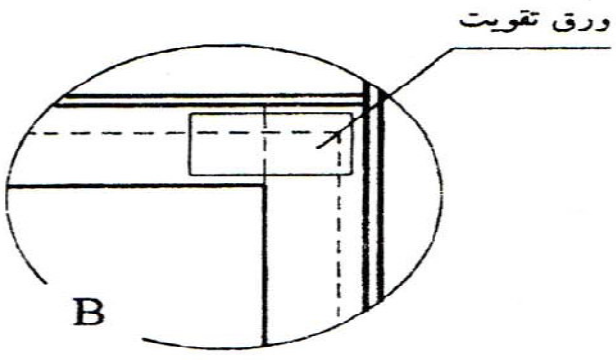
به تیغه این فواصل را محاسبات مربوط به این نوع اتصال با توجه به نیروهای وارده تعیین می نمایند. آزمایشها نشان می دهد به علت شدت میدان کشش قطری که دروسط ورق ودر اطراف قطر آن بیشتر می باشد، در گوشه های پانل در محل اتصال ورق به تیغه ها، و تیغه به تیرها وستونها تمرکز تنش ایجاد شده و در اثر بارهای رفت وبرگشتی ناشی از زلزله پارگی رخ دهد. درمجموع در سیستم دیوارهای برشی فولادی به علت گستردگی مصالح و اتصالات، تعدیل تنش ها به مراتب بهتر از سیستم های دیگر مثل قابها و مهاربندیها که بطور معمول در آنها مصالح دسته شده و اتصالات بصورت متمرکز می باشد، صورت گرفته و رفتار سیستم بخصوص در حالت پلاستیک وتحت اثر بارهای رفت و برگشتی مناسبت می باشد.



a دیوار برشی فولادی



b مقطع A - A

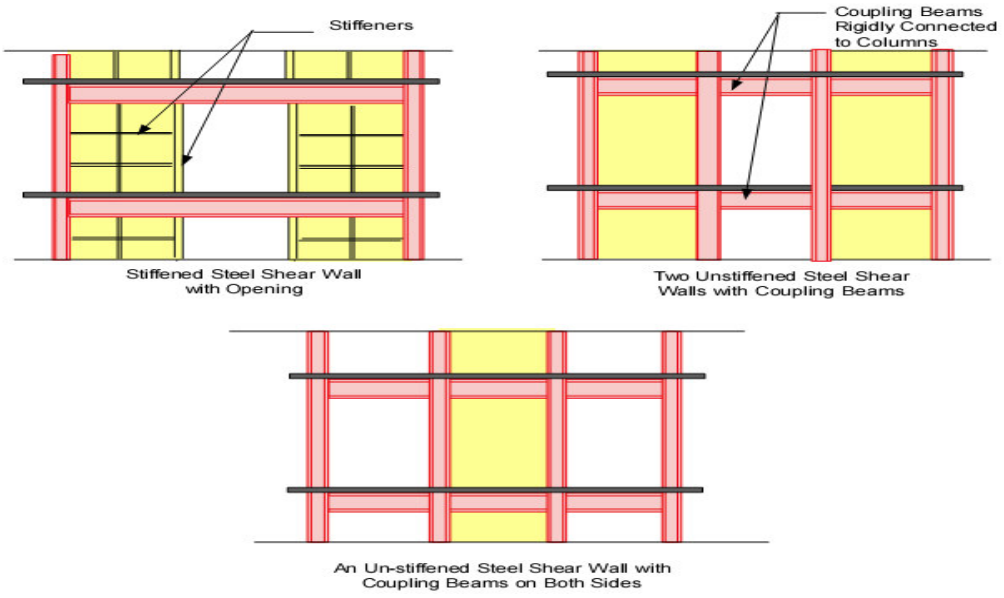


c نمای پشت جزئیات B

مـــــلاحظاتی دربـــــاره استـــــفاده از دیـــــوارهـــــای برشـــــی فـــــولادی:

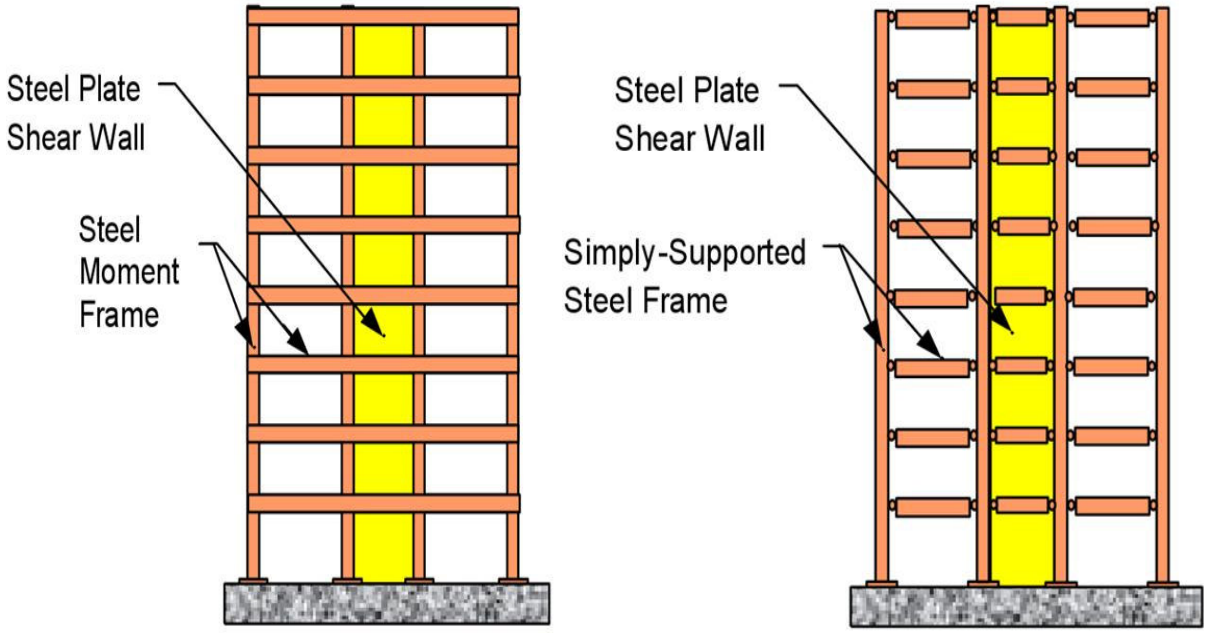
۱. دراوایل استفاده از دیوارهای برشی در آمریکا، دیوارها دارای سخت کننده های افقی وقائم بودند ودر ژاپن اگرچه همه دیوارها دارای سخت کننده بودندجوش این قبیل سخت کننده ها به دیوارهای برشی باعث کاهش تنش تسلیم برشی دیوارها می شد. در سالهای اخیر تحقیقات وآزمایشات واقع گرایانه نشان دادکه دیوارهای برشی فلزی بدون سخت کننده شکل پذیر ترند ورفتار موثرتری دارند.

۲. مقایسه قابهای بادبندی شده که بازشوهای پنجره در آنها جای داده شده اند ودیوارهای برشی فولادی نشان می دهد که در دیوارهای برشی فولادی هم بازشوها قرار می گیرند اما باید اطراف باز شوها از سخت کننده استفاده شود. توجه شودکه در دیوارهای برشی فولادی بدون سخت کننده برای حفظ پیوستگی میدان کششی، باز شوها فقط می توانند در وسط ارتفاع از سطح ستون ها و وسط تیرها قرار گیرند .راه حل دیگر این است که دو دیوار برشی مجزا از هم داشته باشیم که بوسیله دو تیر کوپلی به طور صلب به هم وصل شده اند. این سیستم از دیوارهای برشی ترکیب شده با سیستم تیرکوپلی خیلی موثر تر واقع می شوند ومی توانند عملکرد بهتری داشته باشند.



نـــــوع اتصـــــال تیـــــر به ستـــــون:

در این سیستم، اتصال بین تیرها و ستون ها می تواند ساده یا صلب باشد و برخلاف تیر ورق ها که بال ها به علت ضعیف بودن، نقش به سزایی در گرفتن نیروهای برشی ندارند در دیوارهای برشی فولادی به علت قوی بودن ستون ها این اجزا می توانند نقش خوبی در باربری داشته باشند.



مقایسه دیوارهای برشی مرکب با لایه بتنی و دیوارهای برشی فولادی:

معرفی سیستم دیوارهای برشی مرکب:

این نوع دیوارهای برشی شامل یک صفحه فلزی به همراه لایه یا لایه های بتنی در طرفین می باشد که در صورت استفاده از دو لایه بتنی در دو طرف صفحه فولادی، این ورق در وسط قرار می گیرد و در صورت استفاده از دو ورق فولادی در دو طرف لایه بتنی، حالت ساندویچی به خودمی گیرد.

مزایای دیوارهای برشی مرکب:

اگر دو دیوار یکی به صورت دیوار برشی بتنی و دیگری به صورت دیوار برشی مرکب طراحی شود و هدف از هر دوی آن ها تحمل یک نیروی برشی ثابت باشد، مشاهده خواهد شد که دیوار برشی مرکب نسبت به دیوار برشی بتنی دارای سختی جانبی و مقاومت برشی بیشتری خواهد بود. از طرف دیگر دیوار برشی مرکب نسبت به دیوار برشی بتنی از ضخامن و در نتیجه وزن کمتری برخوردار است که منجر به کاهش نیروهای زلزله نیز خواهد شد به علاوه اینکه از نقطه نظر معماری نیز به دلیل سطح اشغال کمتر دیوار برشی مرکب، برتری آن نسبت به نوع بتنی مشابه خود مشخص می گردد.

در یک دیوار برشی فولادی اگر از نوع نازک و بدون سخت کننده باشد، نیروی برشی طبقه توسط تئوری عمل میدان کشش قطری، ورق فولادی تحمل می شود و این وضعیت در حالتی رخ می دهد که قطری های موجود در ناحیه فشاری کمانش کنند چرا که اگر امکان وقوع کمانش خارج از صفحه وجود نداشته باشد، امکان تشکیل میدان کشش قطری نیز وجود نخواهد داشت، پس نتیجه اینکه در یک دیوار برشی فولادی نازک و بدون سخت کننده، ظرفیت برشی سیستم تابعی از ظرفیت تسلیم کششی می باشد.

لذا به دلیل اینکه در دیوار برشی مرکب، پوشش های بتنی در اطراف ورق فولادی مانع از کمانش خارج از صفحه این ورق خواهند شد، تسلیم برشی به وقوع می پیوندند.

(ظرفیت برشی در حالت تسلیم برشی، از ظرفیت برشی در حالت تسلیم کششی بیشتر است.)

در حالت دیوار برشی مرکب وجود پوشش بتنی به عنوان لایه محافظ در هنگام حریق می تواند مؤثر باشد، به علاوه اینکه بتن می تواند به عنوان یک عایق صوتی و حرارتی نیز عمل نماید.

در صورتی که دیوار برشی مرکب از نوع بدون درز باشد، خود بتن اطراف ورق فولادی نیز مقداری از برش طبقه را توسط میدان فشار قطری تحمل می نماید.

معرفی قسمت های مختلف سیستم دیوار برشی مرکب از نظر عملکردی:

-ورق فولادی:

ورق فولادی به عنوان یک المان اصلی و پایه در دیوارهای برشی مرکب عمل می کند. بهتر است این ورق از نوع فولاد های با تنش حد تسلیم یا تنش حد جاری شدن پایین تر انتخاب شوند به عنوان مثال استفاده از فولاد نرمه نسبت به فولاد های با مقاومت بالا ارجح است.

دلیل این برتری این است که فولادهای با تنش حد تسلیم پایین تر تمایل بیشتری به تسلیم دارند و زودتر به نقطه تسلیم برشی می رسند.

از طرفی باید دقت شود که وظیفه اصلی ورق فولادی در دیوار برشی مرکب فقط تأمین مقاومت و سختی نبوده، بلکه تأمین شکل پذیری بالا نیز مورد توجه می باشد.

-پوشش بتنی:

عملکرد لایه های بتنی در یک یا دو طرف ورق فولادی برای تحمل برش طبقه با تشکیل میدان فشار قطری امکان پذیر می باشد. یعنی در حالت دیوار برشی مرکب بدون درز که لایه بتنی به المان های مرزی و ستون های دو طرف دیوار می چسبند، می تواند باعث افزایش سختی و

مقاومت گردد.

البته عملکرد اصلی لایه بتنی بر روی ورق فولادی جلوگیری از کمانش خارج از صفحه ورق فولادی بتواند در بیشتر نقاط به حد تسلیم خود برسد. این اتصال لایه بتنی به ورق فولادی توسط برشگیرها انجام می شود.

-برشگیرها:

همانطور که در قسمت قبلی گفته شد وظیفه برشگیرها اتصال لایه بتنی به ورق فولادی می باشد تا بتن بتواند مانع از کمانش خارج از صفحه ورق فولادی شود.

البته امکان دارد در بعضی موارد برشگیرها علاوه بر تحمل برش، وظیفه تحمل کشش ناشی از کمانش موضعی ورق فولادی را نیز بر عهده داشته باشند.

برای بتنی که در محل اجرا می شود از برشگیرهای جوش شده و برای بتن پیش ساخته از بولت برای وصل کردن صفحات فولادی به بتن استفاده می شود.

-تیر و ستون:

ستون ها و تیرهای دو طرف ورق فولادی علاوه بر اینکه به عنوان یک المان مرزی برای پاسخگویی به نیرو هایی که توسط عملکرد میدان کششی از صفحه فولادی به تیر و ستون ها وارد می شود، عمل می نمایند علاوه بر آن به عنوان یک المان مرزی برای پاسخگویی به نیروهایی که توسط عملکرد میدان فشاری از لایه های بتنی اطراف ورق فولادی به تیرها و ستون ها وارد می شود نیز مؤثر می باشند.

مقایسه دیوارهای برشی مرکب با لایه بتنی و دیوارهای برشی فولادی:

۱.میزان تغییر مکان ها در دیوار برشی مرکب نسبت به دیوار برشی فولادی و یا قاب خمشی کاهش می یابد.

۲.با افزایش پوشش بتنی سختی دیوار برشی مرکب افزایش می یابد و تغییر مکان جانبی کاهش می یابد.

۳.حلقه های هیستر زیس دیوار برشی مرکب منظم تر و پایدارتر از دیوار برشی فولادی است.

مقایسه سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی و دیوار برشی فولادی و مهاربند ضربدری یا شورون

۱.با توجه به نقطه عملکرد استفاده از سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی فولادی برای ساختمان های متوسط و بلند مناسب تر از سیستم دوگانه خمشی و بادبندهای همگرا می باشد..

۲.استفاده از سیستم دوگانه قاب خمشی و بادبند ضربدری به نسبت سیستم دوگانه قاب خمشی و بادبند شورون مناسب تر به نظر می رسد، زیرا بادبند شورون امکان ایجاد مفصل پلاستیک در ستون و به تبع امکان وقوع شکست ترد را افزایش می دهد.

۳.میزان استهلاک انرژی در سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی فولادی بیشتر از سیستم دوگانه قاب خمشی و بادبندهای همگرا می باشد.

۴.ضریب رفتار بدست آمده برای سیستم دوگانه قاب خمشی متوسط و دیوار برشی فولادی برای ساختمان های کوتاه (۶/۵) و برای ساختمان های بلند و متوسط این ضریب (۹) از ضریب رفتار مندرج در آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم برای سیستم قاب خمشی متوسط و بادبند ضربدری (۶) بزرگتر می باشد.

مزایا نسبت به سیستم قاب خمشی:

تا ۵۰ درصد وزن کمتر اسکلت:

سختی جانبی بسیار بالاتر سیستم دیوار برشی فولادی در مقایسه با سیستم قاب خمشی سبب کنترل مؤثرتر تغییرشکل های سازه می شود. این عامل در کنار ضریب رفتار بالاتر سیستم (تا ۲.۵ برابر) که منجر به کاهش بارهای لرزه ای آن می شود کاهش چشمگیر وزن اسکلت را به همراه دارد.

اجرای آسان تر و سریعتر:

جوش های نفوذی کامل اتصالات قاب های خمشی منجر به دشواری و کندی اجرای آن می شوند در حالی که در سیستم دیوار برشی فولادی جز در دهانه های دیوار سایر اتصالات از نوع مفصلی هستند.

مقـــایسه کلـــی سیستـــم هـــای بـــاربـــر جـــانبی:

پارامترهای مورد مقایسه	سیستم سازه ای			
	دیوار برشی فولادی	قاب خمشی متوسط (ویژه)	قاب مهاربندی شده هم محور (برون محور)	دیوار برشی بتنی متوسط (ویژه)
ضریب رفتار	۱۰	۷ (۱۰)	۶ (۷)	۷ (۸)
سختی جانبی	زیاد	کم	متوسط	خیلی زیاد
بار مرده ناشی از وزن اعضا به غیر از تیر و ستون	خیلی کم	ـــــــ	متوسط	زیاد
سرعت و سهولت اجرا	آسان	متوسط	متوسط	دشوار
میزان اشغال فضای معماری توسط اسکلت سازه ای	ناچیز	زیاد	زیاد	خیلی زیاد
امکان تعبیه بازشو	مقدور	بدون مشکل	غیر ممکن (محدود)	پرهزینه و خیلی دشوار
ایمنی سازه	خیلی زیاد	متوسط (زیاد)	کم (متوسط)	زیاد
هزینه بازسازی و استفاده مجدد پس از وقوع زلزله	خیلی کم	خیلی زیاد	زیاد (خیلی زیاد)	خیلی زیاد
نیاز به نیروی متخصص جهت اجرا	خیر	بلی	خیر	بلی

وزن فـــــولاد:

وزن تقریبی فولاد ST37 به کار رفته به ازای هر متر مربع زیر بنا در جدول زیر برای سیستم های مختلف آمده است:

بخش سازه ای	سیستم سازه ای		
	دیوار برشی فولادی	قاب خمشی فولادی ویژه	قاب خمشی فولادی + دیوار برشی بتنی متوسط
تیر و ستون های اسکلت	۵۵	۸۰	۶۰
اجزای اتصال تیر و ستون های اسکلت	۵	۱۶	۱۲
سقف سازه ای	۱۵	۱۵	۱۵
مجموع	۷۵	۱۱۱	۸۷

فعالیت های گروه مهندسی باستان پل در زمینه بومی سازی و پیاده سازی سیستم دیوار برشی فولادی در ایران:

توسعه نرم افزار طراحی دیوار برشی فولادی:

با توجه به فرایند پیچیده و زمان‌بر طراحی دیوار برشی فولادی یکی از موانع مهم گسترش استفاده از این سیستم است چرا که نرم افزارهای فعلی طراحی سازه، فاقد قابلیت طراحی این سیستم هستند. برای حل این مشکل، متخصصین شرکت باستان پل با همکاری دانشگاه صنعتی امیرکبیر اقدام به توسعه نرم‌افزار طراحی دیوار برشی فولادی نموده اند. به کارگیری این نرم‌افزار به این شرکت توان امتحان گزینه های متعدد طراحی و رسیدن به بهینه ترین حالت طراحی را داده است. به علاوه با دارا بودن این نرم‌افزار امکان ارائه دفترچه محاسبات طراحی فراهم شده است تا کنترل صحت محاسبات انجام گرفته برای مخاطبین دارای دانش فنی و مراجع قانونی به راحتی امکان پذیر شود.

مزایا و قابلیت های نرم افزار:

-طراحی سیستم دیوار برشی فولادی بر مبنای آیین نامه طراحی لرزه ای سازه ای فولادی ایالات متحده (AISC 341-10) و تفسیر آن

-کاهش زمان فرآیند پر تکرار و زمان بر طراحی دیوار برشی فولادی به روش دستی با یک فرآیند نرم افزاری بسیار سریع تر

-کاهش خطاهای ناشی از عوامل انسانی و نیز حذف تقریب های اجتناب ناپذیر موجود روش دستی

-امکان ترسیم نقشه جزئیات اجرایی به صورت اتوماتیک

-امکان استفاده از ستونهای قوطی شکل پرشده با بتن جهت کاهش ابعاد ستونها و وزن فولادی

مصرفی و....

گزارشی از یک پروژه مسکونی طراحی شده به کمک سیستم دیوار برشی فولادی توسط شرکت :

-پروژه ۱۰ طبقه مسکونی به متراژ ۷۷۰ مترمربع در هر طبقه و متراژ کلی ۷۷۰۰ مترمربع

-موقعیت پروژه: منطقه مرزداران در شهر تهران

-سیستم سقف سازه: کامپوزیت معمولی

-طراحی سازه با سه گزینه «قاب خمشی فولادی ویژه»، « قاب خمشی فولادی + دیوار برشی بتنی متوسط» و «سیستم دیوار برشی فولادی ویژه» انجام گرفته است.

-فولاد مصرف شده در دو سیستم «قاب خمشی فولادی ویژه» و «قاب خمشی + دیوار برشی بتن آرمه» از نوع St37 درنظر گرفته شده است و در ساخت ستون های این دو سیستم از مقاطع قوطی شکل استفاده شده است.

در سیستم دیوار برشی فولادی، ستون ها ازمقاطع قوطی پر شده با بتن (CFT) انتخاب شده است. در ساخت ستون ها و تیرهای اطراف دیوارها از فولاد پر مقاومت ST52 استفاده شده است. اتصال گیردار تیرها به ستون ها از نوع شاخه ای RBS در نظر گرفته شده است. ورق های فولادی به کار رفته دارای حداقل ضخامت ۳ میلی متر و از نوع فولاد ST37 بوده اند.

Email:Reza.mashhadi1@gmail.com

نتیجه گیری:

برای مقابله با بارهای جانبی نظیر باد و زلزله، تاکنون سامانه های مختلفی پیشنهاد گردیده است. یکی از جدیدترین آن ها دیوار برشی فولادی می باشد که درچندین ساختمان بلند و مهم در مناطق لرزه خیز جهان مانند آمریکا و ژاپن بکار رفته است. دیوارهای برشی فولادی در مقایسه با سایر سامانه های مقاوم در برابر بارهای جانبی مانند بادبندها و دیوارهای برشی بتنی از مزیت های نسبی خوبی برخوردارند .از آزمایش های انجام شده ومطالعات صورت گرفته چنین برمی آید که سامانه دیوار برشی فولادی ازسختی ومقاومت قابل توجهی نسبت به سایر سامانه ها برخوردار است. پیوستگی محیط این سامانه، باعث شده تا شکل پذیری بسیارخوبی نشان دهد و باتوجه به سختی و مقاومت خوب خود باعث استهلاک انرژی بسیار زیادی شود. در مواردی که این سامانه به اجرا در آمده، برطبق محاسبات اقتصادی حتی تا حدود ۵۰ %صرفه جویی به عمل آمده است. از طرفی بسیار راحت اجرا می شود و هیچ گونه پیچیدگی خاص در آن وجود ندارد و امکان ایجاد بازشو در آن تقریباً به هر شکلی وجود دارد وکمبود سختی و مقاومت ناشی از آن را نیز می توان با ایجاد سخت کننده هایی در اطراف باز شو جبران کرد.

از مطالب عنوان شده دراین تحقیق می توان چنین نتیجه گرفت که سیستم دیوار های برشی فولادی می تواند در صورت محاسبه و اجرای صحیح، جایگزینی مناسب برای سایر سیستم های باربر جانبی (مهاربندی ها و دیوارهای برشی بتنی) در برابر بارهای لرزه ای (باد و زلزله) باشد . زیرا از مزیتهای نسبی خوبی نسبت به سیستم های قبلی برخوردار است.

Email:Reza.mashhadi1@gmail.com