دانشگاه شمال
دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته عمران _ سازه

بررسی و مقایسه عملکرد لرزه ای قابهای بتنی بهسازی شده توسط مهاربند های زانویی و غیر هم محور(واگرا)

استاد راهنما :
دکتر سیروس غلامپور

استاد مشاور :
دکتر محمود حسن پور

نگارش :
محمد مهدی همدانی

تابستان ۸۹

چکیده

در این پایان نامه نتیجه رفتار استاتیکی غیر خطی (Push Over) و دینامیکی غیر خطی (Time History Direct Integration) روی قاب های بتنی بهسازی شده با بادبند های فلزی زانوئی (KBF) و واگرا (EBF) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه سازه های بتنی طراحی شده توسط آئین نامه ۲۸۰۰ دقیقا بر اساس معیار های دستورالعمل بهسازی لرزه ای نمی باشند، لذا نیاز به بهسازی لرزه ای در آن ها احساس می شود. در این پایان نامه سعی شده با توجه به مزایای سیستم بادبند فلزی، از آن جهت بهسازی ساختمان های مورد نظر که از نوع قاب خمشی با شکل پذیری متوسط می باشند استفاده شود. در فصل دوم این رساله در ابتدا نحوه مدلسازی اولیه و طراحی مدل های دو بعدی ۳ ، ۵ و ۷ طبق ضوابط آئین نامه های آبا و ۲۸۰۰ زلزله و در نهایت اضافه کردن سیستم بادبند زانوئی(KBF) و غیر هم محور (EBF) واختصاص مفاصل پلاستیک به مدل های اولیه توضیح داده خواهد شد. در فصل سوم دو نوع تحلیل غیر خطی استاتیکی و دینامیکی به اختصار شرح داده می شود و در ادامه روش انجام هر کدام از تحلیل های فوق بر روی مدل های تهیه شده از فصل دوم به تفصیل بیان خواهد شد. در فصل چهارم که مهمترین فصل این رساله نیز می باشد به تشریح و مقایسه نتایج از جمله پارامترهای مهمی نظیر ظرفیت باربری، شکل پذیری و... و ارائه نمودار های بدست آمده از تحلیل های انجام شده بر روی دو نوع قاب بهسازی شده توسط سیستم بادبند زانوئی(KBF) و غیر هم محور (EBF) نسبت به حالت قبل از بهسازی پرداخته خواهد شد و در نهایت در فصل آخر نتایج بدست آمده بصورت کلی ارائه و پیشنهاداتی را برای تکمیل و توسعه این تحقیق ارائه خواهد شد. لازم به ذکر است که کلیه مراحل مربوط به مدلسازی، طراحی و تحلیل های استاتیکی و دینامیکی غیر خطی توسط نرم افزار SAP 2000 v14.1 انجام می گیرد.

بررسی نتایج تحلیل ها نشان می دهد که ظرفیت باربری یک قاب بتنی با شکل پذیری متوسط افزایش و تغییر مکان نهایی و جابجائی نسبی طبقات با اضافه کردن سیستم بادبندی فلزی زانوئی (KBF) و واگرا (EBF) می تواند کاهش یابد . همچنین پس از بهسازی توسط سیستم بادبند زانوئی (KBF) اتلاف انرژی زلزله افزایش یافته و این سیستم نسبت به سیستم بادبند واگرا (EBF) سختی بیشتری را فراهم کرده و شکل پذیری قاب بتنی را کاهش می دهد . از این بررسی ها می توان نتیجه گرفت هر دو سیستم بادبندی می تواند برای بهسازی در مقابل زلزله با توجه به سطوح عملکرد مختلف مورد استفاده قرار گیرد .

کلمات کلیدی: تحلیل استاتیکی غیر خطی ، تحلیل دینامیکی غیر خطی ، بادبند زانوئی ، بادبند واگرا ، بهسازی لرزه ای

۱-۱ مقدمه

در کشور ما ایران، تقریبا هم زمان با اکثر کشور های زلزله خیز جهان، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور دستورالعمل بهسازی ساختمان های موجود را منتشر کرده و در اختیار دست اندرکاران قرار داد. بر اساس این دستوالعمل، وقتی صحبت از بهسازی لرزه ای ساختمانی به میان می آید، مفهومش این است که ساختمان مزبور، کم یا بیش، عملکرد لازم را در برابر زلزله ندارد. بهسازی لرزه ای را می توان نوعی بهینه سازی در بهسازی دانست که شاخصه اصلی آن تأمین ایمنی بطور نسبی، متناسب با مقدورات و امکانات، برای تمام اجزاء وعناصر ساختمان، اعم از سازه ای و غیر سازه ای است و این امر را می توان جوهر اصلی بهسازی لرزه ای دانست.

عملکرد ساختمان، همانطور که می دانیم مشتمل بر دو مؤلفه است، عملکرد سازه ای و عملکرد غیر سازه ای. عملکرد سازه ای، بدون شک به سازه ساختمان مربوط می شود و عملکرد غیر سازه ای اقلام معماری و تأسیساتی را شامل می گردد.

لذا می توان نتیجه گرفت که مقاوم سازی جزئی از یک کل به نام بهسازی لرزه ای است و اطلاق نام جزء به کل وکاربرد واژه مقاوم سازی به جای بهسازی لرزه ای گمراه کننده است و این شبهه را ایجاد می کند که همانند یک قرن پیش، هنوز فقط به مقاومت می اندیشیم و می خواهیم سازه و اجزاء سازهای ساختمان موجود را چنان تقویت کنیم که در برابر زلزله مقاومت کند. این کار اگر غیر ممکن نباشد،بسیار مشکل، پر هزینه و زمان بر است، در حالی که بهسازی لرزه ای جامع نگر و فراگیر است و همه اجزاء و عناصر ساختمان، اعم از سازه ای و غیر سازه ای را شامل می شود و می تواند در درجات مختلف صورت گیرد و می توان با رعایت موازین بهسازی لرزهای، متناسب با امکانات، درجه ایمنی مورد نیاز را کم یا زیاد اختیار نمود و زمان و هزینه لازم برای بهسازی را کاهش یا افزایش داد.به عبارت دیگر، تفاوت میان مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای، تفاوت موجود بین یک جزء محدود و غیر قابل انعطاف با یک کل فراگیر و انعطاف پذیر است. اگر بهسازی به منظور جبران نابسامانی ها و بازگرداندن ساختمان سازه یا اجزاء و عناصر آن به وضع اولیه باشد، بازگرداندن کیفیت یا باز گرداندن به وضع اولیه گفته می شود. اگر بهسازی به منظور پاسخ گویی به تغییر و تحول شرایط بهره برداری و سنگین تر شدن وظایف مورد انتظار از ساختمان باشد، اعم از اینکه در ساختمان، سازه ساختمان یا اجزاء و عناصر آن، فروپاشیدگی به وجود آمده باشد یا خیر، ارتقاء کیفیت یا ارتقاء وضع نامیده می شود.

به طور کلی بهسازی لرزه ای عبارت است از اصلاح خرد مندانه ویژگی های سازه ای ساختمان موجود به منظور بهبود عملکرد در زلزله های آینده. به دلیل گوناگونی ساختمان ها و تنوع نواقص و کاستی های موجود و با توجه به گوناگونی اهداف بهسازی، روش های بهسازی نیز متفاوت و بسیار می باشد. تاکنون تحقیقات و مطالعات زیادی در زمینه چگونگی تقویت سازه های ساختمانی در سراسر جهان انجام یافته است و نتایج چشمگیری نیز به دست آمده است.

عموما در موارد زیر بهسازی سازه های متعارف متداول است :

- ساختمان های آسیب دیده در اثر وقوع زلزله.
- ساختمان هایی که کاربری آن ها تغییر داده شده است.
- ساختمان هایی که به دلایل تغییر ضوابط آیین نامه ها مقاومت مورد نیاز را ندارند.
- ساختمان هایی که قرار است طبقات اضافی روی آن ها ساخته شود.
- ساختمان هایی که در سازه آن توسط ساکنین یا افراد نا آگاه دخل و تصرف شده است.
- ساختمان هایی که آثار ضعف به صورت ترک در آن ها پدیدار شده است.

هدف از بهسازی لرزه ای عبارت از دستیابی به مقاومت بیشتر، شکل پذیری بیشتر و آمیزه ای مناسب از این دو هدف به منظور پاسخ گویی به توان لرزه ای مورد نیاز سازه است.بنابر هدف فوق، اصول زیر برای بهسازی مطرح می شود :

الف) افزایش مقاومت

این روش غالبا هنگامی مورد استفاده قرار می گیرد که مقاومت سازه ساختمانی کافی نبوده و بالا بردن شکل پذیری آن میسر نباشد.روش افزایش مقاومت روشی مناسب برای ساختمان های کوتاه تا متوسط است.

ب) افزایش شکل پذیری

اگر مقاومت یک سازه ساختمانی کافی نباشد و بهسازی آن از طریق بادبند و دیوار های جانبی امکان پذیر نباشد،اصلاح شکل پذیری آن می تواند به عنوان یک گزینه امکان پذیر مورد توجه قرار گیرد.

ج) افزایش مقاومت و شکل پذیری

ترکیب مقاومت و شکل پذیری مستلزم تعادلی مناسب بین مقاومت و سختی است.یک سازه ساختمانی ممکن است دارای عدم پیوستی سختی در طبقات باشد.

در ادامه این فصل توضیحات مفصلی در ارتباط با روشهای بهسازی ارائه خواهد شد.

۲-۱ تاریخچه تحقیقات انجام شده در مورد استفاده از مهاربند های فولادی در بهسازی لرزه ای قاب های بتن مسلح

۱-۲-۱ مقدمه

بررسی و مطالعه قابهای بادبندی شده از دیرباز مورد توجه پژوهشگران بوده است، ولی مطالعه قابهای بتن مسلح بادبندی شده تقریباً جدید بوده و پیشینه تحقیقاتی چندانی ندارد. پژوهشهایی که در ادامه به صورت فهرستوار به آنها اشاره می‌شود غالباً جدید بوده و اکثراً زوایای دیدی غیر از موضوع پژوهش حاضر در آنها مد نظر بوده است که به دودسته کلی تحقیقات آزمایشگاهی و تحقیقات تئوری تقسیم شده اند.

۲-۲-۱ تحقیقات آزمایشگاهی انجام گرفته

بیشتر تحقیقات آزمایشگاهی انجام گرفته روی قابهای بتن مسلح مقاوم‌سازی شده به کمک مهاربندهای فولادی در ژاپن انجام گرفته است. اکثر این تحقیقات بر روی قابهای یک طبقه و یک دهانه مقیاس شده، با استفاده از تکنیکهای مختلف مقاوم‌سازی انجام گرفته است.

در سال ۱۹۸۰، سوگانو و فوجی مورا (Sugano and Fujimura) روی تعدادی قابهای بتن مسلح بادبندی شده با بادبندیهای K و X و همچنین قابهای مشابه مقاوم شده با میانقابهای بنایی و بتنی آزمایشهایی را هدایت کردند. هدف از این بررسیها تعیین میزان تأثیر هر یک از سیستمها در افزایش مقاومت دورن صفحه‌ای و شکل‌پذیری قابها بود. [۱]

در سال ۱۹۸۴ هیگاشی، اندو و شیمیزو (Higashi)، (Endo and Shimizu انواع روشهای مقاوم سازی قابهای بتن مسلح موجود را با انتخاب مدلهایی از قاب یک دهانه و سه طبقه مقاوم شده با روشهای مختلف، مورد آزمایش قرار دادند. رفتار تمام نمونه‌ها به صورت مدلهای قاب غیر الاستیک تحلیل شده و رابطه بار – تغییر مکان به دست آمده از تحلیل با نتایج آزمایش همخوانی خوبی نشان داد. روشهای مقاوم سازی به کار رفته در این پژوهش عبارت بودند از پانلهای پیش ساخته بتنی، بادبندهای فولادی، قاب فولادی و دیوارهای میانقاب. [۲]

در سال ۱۹۸۵ جونز(Jones)یک مطالعه آزمایشگاهی را بر روی قاب بتن مسلح که به وسیله اعضاء خرپایی مقاوم‌سازی شده بود انجام داد. قاب مقاوم‌سازی شده تحت بار جانبی رفت و برگشتی قرار گرفت. در این تست اعضاء فولادی بوسیله چسب اپوکسی به اعضای بتنی متصل شده بودند. نتایج نشان داد که مقاومت جانبی قاب مهاربندی شده شش برابر قاب اولیه گردید، البته اتصالات طی تستها گسیخته شدند. [۲]

در سال ۱۹۸۷ و ۱۹۹۱ بوش و همکاران (Bush et-at) سیستم قاب فولادی بادبندی شده پیچیده‌ای را در یک قاب بتنی مورد استفاده قرار داده و به افزایش قابل توجهی در مقاومت برشی درون صفحه‌ای قاب دست یافتند. [۳,۲]

در سال ۱۹۸۸ اوهیشی و همکاران (Ohishi et-at) و سگی گوچی و همکاران [49] -Segiguchi et) (at بررسیهای مشابهی روی استفاده از بادبندهای V شکل انجام دادند. [۴]

در سال ۱۹۸۹سوگنو (Sugno) بر اساس تحقیقات آزمایشگاهی گزارش کرد که سیستم‌های فولادی افزوده شده مقاومت و سختی قابهای بتن مسلح را بطور مشخصی بالا می‌برند.سیستم مهاربندی ضربدری مقاومت بالاتری را نسبت به سایر سیستمها نشان می‌دهد. [۵]

در سال ۱۹۹۰ گول و لی (Goel and Lee) مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌های بتن مسلح بـه کمـک سیسـتم بادبندی فولادی شکل‌پذیر را مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار دادند. در این پژوهش روی مدلی بـه مقیـاس ۲:۳ از یک قاب بتن مسلح دو طبقه مقاوم شده با سیستم بادبندی فولادی شـکل‌پـذیر، بـار سـیکلی اعمـال شـد. نتـایج آزمایش نشان دادند که قاب مقاوم شده از خود پایداری و نیز حلقه‌های هیسترزیس کاملی بروز می‌دهد. همچنین شکل‌پذیری و اتلاف انرژی خوبی تحت تغییر مکانهای سیکلی بدست آمد. [۶]

در سال ۱۹۹۱ وایلی، دال پینو و کوهن (Wyllie, Dal Pino and Cohen) گزارشـی در مـورد مقـاوم سازی ساختمان بتنی سالن دانشگاه برکلی کالیفرنیا، با بادبندی فولادی ارائه کردند. روش مورد اسـتفاده در ایـن پروژه، بکارگیری قابهای فولادی بادبندی شده در داخل قابهای بتن مسلح است. در این گزارش تصریح شده است که روش بادبندی فولادی بکار رفته، اقتصادی‌ترین روش برای مقاوم سازی بوده است. [۷]

در سال ۱۹۹۱ رودریگوز و پارک (Rodriguez and Park) در مقاله‌ای تحت عنوان تعمیر و مقاوم سازی ساختمانهای بتن مسلح برای مقاومت لرزه‌ای، روشهای تعمیر و مقاوم سازی را بخصوص برای ستونهای بتن مسلح مرور کرده‌اند. در این مقاله مقایسه‌ای بین روشهای مختلف مقاوم سازی صورت گرفته اسـت. ایـن مقایسـه نشـان می‌دهد که روش بادبندی فولادی یکی از روشهای کارآمد برای مقاوم سازی قابهای بتن مسـلح اسـت. همچنـین آماری که از ۱۵۷ ساختمان مقاوم شده در ژاپن گرفته شده نشان می‌دهد که ۳ سـاختمان بـه ایـن روش مقـاوم شده‌اند. [۸]

در سال ۱۹۹۲ ناطقی الهی و شهبازیاندر مقاله‌ای با عنوان بررسی روشهای تقویت سازه‌هـای موجـود در برابـر زلزله، تصریح کرده‌اند که سازه‌های بتنی را می‌توان با بادبند تقویت نمود. این سیسـتم حتـی از لحـاظ اقتصـادی می‌تواند ارزانتر از سازه بتنی تمام شود. تنها مشکل این سیستم تعبیه قاب فلزی مهاربندی شـده در داخـل قـاب بتنی می‌باشد که استفاده از آرماتورهای ریشه در داخل قاب بتنی توسط دریل و استفاده از اپوکسی جهت اتصـال قاب فلزی به قاب بتنی کاملاً مؤثر می‌باشد. [۹]

در سال ۱۹۹۲ سیامپی، پاولون و آنجلیس (Ciampi, Paolone and Angelis) روی طراحی لـرزه‌ای بادبندهای استهلاکی کار کردند. در مقاله ارائه شده توسط این محققین سیسـتم بادبنـدی اسـتهلاکی چـه بـرای سازه‌های جدید و چه برای سازه‌های موجود به منظور مقاوم سازی آنها پیشنهاد شده است، امـا تأکیـد مقالـه بـر ارتقاء ظرفیت لرزه‌ای ساختمانهای بتن مسلح است. قاب مدلی با یک درجه آزادی با بادبنـد اسـتهلاکی بادبنـدی شده و طیف پاسخ غیر الاستیک آن برای طراحی بادبندیها ترسیم شده است. نهایتاً متدولوژی طراحی بـه سـازه-های چند درجه آزادی تعمیم داده شده است. [۱۰]

در سال ۱۹۹۲ کانالز و وگا (Canales and Vega) در مقاله‌ای با عنوان تکنیکهای مقاوم سازی اسـتفاده شده در ساختمانهای مخابرات مکزیکو، به روش بادبندی فولادی قابهای بتن مسلح اشاره کـرده‌انـد. ایـن روش بـا استفاده از قابهای فلزی بادبندی شده در قابهای بتن مسلح انجام شده و قابهای فلزی با برشـگیرهایی بـه قابهـای بتنی متصل شده‌اند. [۱۱]

در سال ۱۹۹۲ هنسن، اکسیا و سـو (Hanson, Xia and Su)، در مقالـه‌ای بـا عنـوان طراحـی ابزارهـای میراکننده فولادی برای ساختمانها، به استفاده از بادبندی فولادی به همراه ابزارهای میراگر در سـاختمانهای بـتن مسلح اشاره کرده‌اند. [۱۲]

در سال ۱۹۹۲ تاگاوا، آوکی، هوانگ و ماسودا (Tagawa، Aoki، Huang and Masuda) در مقاله‌ای تحت عنوان مطالعه آزمایشگاهی روشهای جدید مقاوم سازی لرزه‌ای برای ساختمانهای بتن مسلح موجود، استفاده از قابهای فولادی بادبندی شده با بادبندی K یک طبقه و یک دهانه با مقیاس ۱:۲ انجام شده و نهایتاً این نتیجه حاصل شده است که مقاومت نهایی برشی و قاب بتن مسلح مقاوم شده را می‌توان به سادگی با جمع کردن مقاومت برشی المانهای فولادی و قاب بتن مسلح موجود بر پایه روشهای محاسباتی متداول به دست آورد. [۱۳]

در سال ۱۹۹۲ پینچرا و جیرسا (Pincheira and Jirsa) در مقاله‌ای با عنوان بادبندهای پس کشیده برای مقاوم سازی لرزه‌ای قابهای بتن مسلح، استفاده از بادبندهای پس کشیده را به عنوان روشی برای مقاوم سازی قابهای بتن مسلح غیر شکل پذیر با بررسی پاسخ دینامیکی غیر الاستیک دو ساختمان مورد ارزیابی قرار داده‌اند. ساختمانهای انتخاب شده در ردیف ساختمانهای کوتاه و متوسطی قرار می‌گیرند که در دهه ۶۰ در امریکا ساخته شده‌اند. این ساختمانها برای رکوردهای سه زلزله بزرگ بر روی زمینهای سخت و نرم تحلیل شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که سیستم بادبندی پس کشیده می‌تواند برای ساختمانهای کوتاه بر روی زمینهای سخت و نرم مورد استفاده قرار گیرد. این روش مقاوم سازی برای ساختمانهای متوسط واقع شده بر روی زمینهای سخت نسبت به ساختمانهای واقع شده بر روی زمینهای نرم خیلی مناسبتر است. [۱۴]

در سال ۱۹۹۴ گول و مسری (Goel and Masri)دریک تست ازمایشگاهی روی مقاومت لرزه‌ای قاب بتن مسلح دو طبقه و دو دهانه با سیستم دال- ستون انجام دادند. اعضای مهاربندی با مقطع تیوب با نسبت عرض به ضخامت ۱۴ و ضریب لاغری ۶۱ انتخاب شدند. ار آنجایی که مدل فاقد تیر بود از اعضای فولادی افقی که نقش تیر را بر عهده داشتند استفاده کرد.نتایج تست نشان می‌دهد تکنیک بکارگرفته شده افزایش چشم‌گیری را در سختی و مقاومت قاب بتن مسلح با پاسخ هیسترتیک پایدار نشان داد.کمانش و جاری شدن اعضای مهاربندی فولادی در طول تست دیده شده است. [۱۵]

در سال ۱۹۹۵ ماهری و صاحبی (Maheri and Sahebi) در مقاله‌ای با عنوان بررسی آزمایشگاهی قابهای بتن مسلح بادبندی شده با بادبندهای فولادی، گزارشی از یک مطالعه آزمایشگاهی را ارائه کرده‌اند. به منظور بررسی اثر بادبندهای فولادی بر قابهای بتن مسلح، یک رشته مطالعات آزمایشگاهی روی قابهای مدل با مقیاس ۱:۴ انجام شده است. چهار نمونه متفاوت از قابهای مدل تحت بارگذاری برشی سیکلی درون صفحه‌ای مورد آزمایش قرار گرفته است. قابها هم به صورت بادبندی شده و هم بدون بادبندی بوده و حالتهای بادبندی آزمایش شده از این قرار بوده‌اند: ۱- بادبندی ضربدی قطری، کششی و فشاری ۲- فقط بادبندی قطری کششی ۳- فقط بادبندی قطری فشاری. در مطالعه رفتار بادبندها تحت بارگذاری مشاهده شده که بابدبند کششی بر رفتارقاب حاکم است و سهم عمده‌ای از بار را می‌برد. در تمام حالتها، خرابی نهایی با خرابی بادبند کششی به دنبال خرابی بادبند فشاری همراه بوده است. از این مطالعه چنین برمی‌آمد که استفاده از بادبندی ضربدری باعث افزایش قابل توجهی، معادل سه برابر در مقاومت برشی قاب شده است. استفاده از تنها یک بادبند (کششی یا فشاری) نیز ظرفیت قاب را بیش از ۱۰۰٪ افزایش داده است. [۱۶]

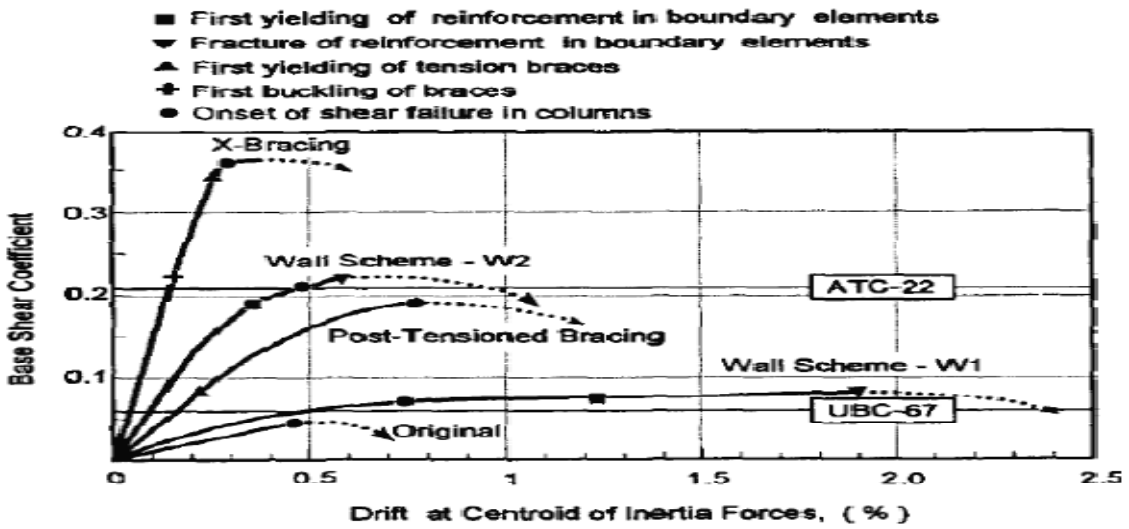
در سال ۱۹۹۵ ناطقی الهی (Nateghi –A) در مقاله‌ای با عنوان مقاوم سازی لرزه‌ای ساختمان بتن مسلح هشت طبقه، گزارشی از مقاوم سازی واقعی را ارائه کرده است. در این مقاله تصریح شده است که بعد از بررسی

چند روش مقاوم سازی، روش بادبندی فولادی قاب بتنی به عنوان مناسبترین روش تشخیص داده شده و مورد استفاده قرار گرفته است. تحلیل ساختمان بادبندی شده نتایج خوبی را از کاهش تغییر مکان افقی نشان می‌دهد. جزئیات اتصال بادبندی به قاب استفاده شده در این مقاله، مختص ایران بوده و در مقالات دیگر مشاهده نشده است. [۹]

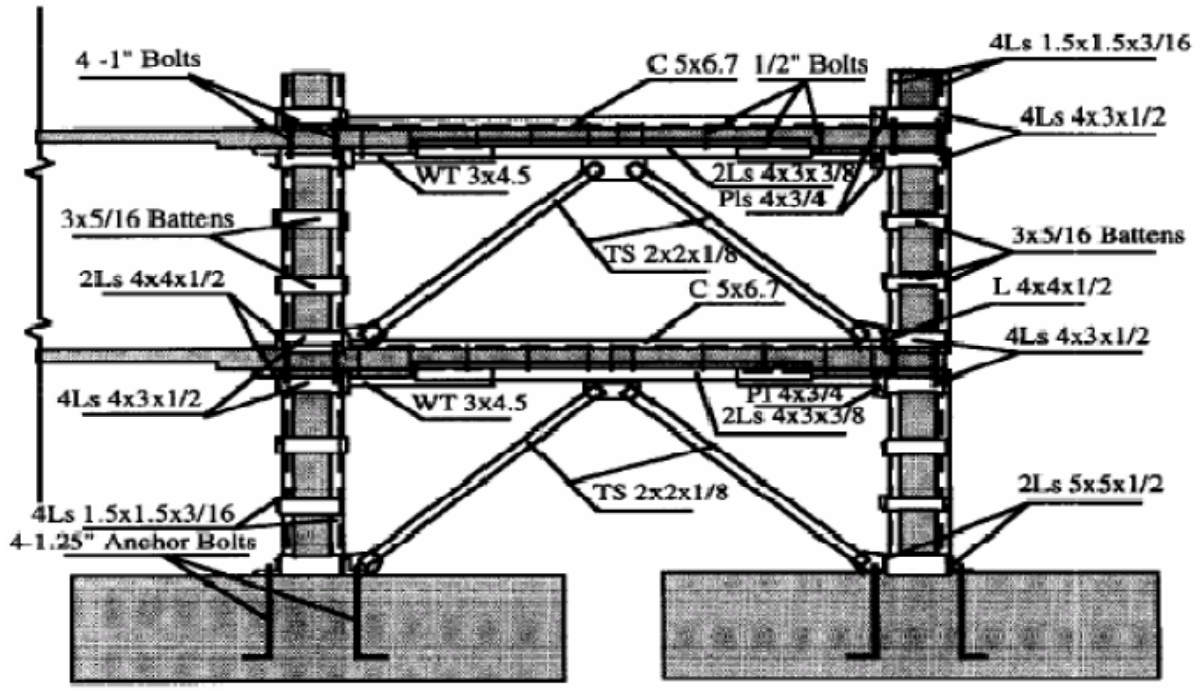
در سال ۱۹۹۵ ناطقی الهی (Nateghi –A) در مقاله‌ای تحت عنوان مقاوم سازی لرزه‌ای آپارتمان هشت طبقه بتن مسلح با استفاده از بادبندهای فولادی، مقاوم سازی ساختمان واقعی یاد شده در مورد قبل را مجدداً گزارش کرده است. [۱۷]

محققین مختلف دیگر بر روی مقاوم‌سازی ساختمانهای بتنی به کمک مهاربندهای فولادی بصورت آزمایشگاهی نتایج موفقی را برای این روش ارائه کردند.

در سال ۱۹۹۵ پینچرا و جیرسا (Pincheira and Jirsa) در مقاله‌ای با عنوان پاسخ لرزه‌ای قابهای بتن مسلح مقاوم شده با بادبندهای فولادی یا دیوارها، عملکرد لرزه‌ای طرحهای مختلف مقاوم سازی برای قابهای بتن مسلح غیر شکل پذیر با استفاده از تحلیل پاسخ استاتیکی غیر الاستیک و دینامیکی سه ساختمان نمونه را مورد استفاده قرار دادند. ساختمانهای نمونه انتخاب شده دارای جزئیات فولادگذاری معمول در قابهای قدیمی بوده و در رده ساختمانهای کوتاه و متوسط در مناطق با لرزه‌خیزی شدید ایالات متحده قرار می‌گیرد. طرحهای مقاوم سازی شامل نصب بادبندهای پس کشیده، بادبندهای فولادی و یا دیوارهای پر کننده (میانقاب) بتن مسلح بوده-اند. تحلیل دینامیکی برای پنج زمینلرزه که نماینده زلزله‌های بزرگ بر روی زمینهای سخت و نرم هستند، انجام شده است. پاسخهای ساختمانهای اصلی و مقاوم شده به صورت عباراتی از حداکثر تغییر مکانها، جابجایی های بین طبقه‌ای و رفتار پیش‌بینی شده اعضا مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که تنها یک راه حل وجود نداشته و طرحهای مختلف مقاوم سازی می‌تواند برای رسیدن به عملکرد مناسب مورد استفاده قرار گیرند. به هر حال، عملکرد رضایتبخش تنها برای طرحهایی حاصل شد که جابجاییهای جانبی را در ترازهایی که در اعضای آن تراز تحت بارهای ثقلی موجود خرابی قابل توجهی به وجود نیامده، کنترل کند. نتایج در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. [۱۸]



شکل۱-۱ مقایسه رابطه ضرایب برش پایه و دریفت برای ساختمان موجود و مقاوم‌سازی شده (Pincheira، Jirsa 1995)



شکل ۱-۲ قاب مقاوم سازی شده با مهاربندی (Goel، Masri 1996)

در سال ۱۹۹۶ مسری و گول (Masri and Goel) مقاله‌ای تحت عنوان طرح و آزمایش لرزه‌ای قاب بتن مسلح با دال قارچی که با بادبندی فولادی مقاوم شده است، ارائه کردند. این مقاله در رابطه با توسعه یک روش منطقی طراحی برای استفاده از بادبندی فولادی شکل‌پذیر به منظور مقاوم سازی سازه‌های ساختمانی بتن مسلح موجود با دال قارچی، که از نظر مقاومت لرزه‌ای ضعیف می‌باشند، بحث می‌کند. یک مدل از قاب بتن مسلح دو دهانه، دو طبقه با مقیاس ۱:۳ انتخاب شده تا ضعفهای لرزه‌ای سازه‌های موجود از این نوع را نشان دهد. روش طراحی، اجرا و نتایج آزمایش سیستم بادبندی فولادی برای مقاوم سازی قاب بتن مسلح در این آزمایش ارائه شده است. قاب مقاوم شده تحت ترکیبی از بارهای ثقلی و سیکلی جانبی قرار گرفته و تا ۲٪ ارتفاع قاب تغییر مکان جانبی داده است. رفتار قاب مقاوم سازی شده به طرز چشمگیری بهتر از قاب بتن مسلح اولیه است. تغییر مکان حداکثر طبقه اول ۲/۷۵٪ به دست آمده که به هنگام حرکتهای شدید زمین لرزه محتمل است. [۱۹]

در سال ۱۹۹۸ دو محقق مصری بکارگیری بادبندهای X و V شکل را در یک سازه ۵ طبقه بررسی نمودند.دراین تحقیق ضمن مقایسه دو مهاربند نسبت به یکدیگر یک ضریب لاغری بهینه نیز پیشنهاد کردند. در پایان عملکرد مهاربندهای ضربدری نسبت به بادبندهای V شکل بهتر ارزیابی شد.

درسال ۲۰۰۰ ابوالفاث وقباراه رفتار قابهای بتن مسلح مقاوم سازی شده با مهاربندهای هم مرکز را مورد بررسی قرار دادند. مطالعه روی یک قاب دو بعدی سه طبقه انجام پذیرفت ودر نهایت به این نتیجه رسیده شد که اولا توزیع یکنواخت مهاربندها در ارتفاع توزیع بهینه ای نمی باشد، ثانیا" میزان بهبود عملکرد لرزه ای سازه بهسازی شده به طور قابل ملاحظه ای به افزایش سطح باربری ساختمان بستگی دارد و با آنکه با بالا رفتن سختی سیستم میزان نیروی وارده به سیستم بیشتر میشود اما بطور میانگین کلیه سازه های مورد مطالعه قرار گرفته عملکرد لرزه ای بهتری داشتند. [۲۰]

درسال ۲۰۰۱ مجددا"ابوالفاث و قباراه در مقاله ای به بررسی قابهای بتن مسلح بهسازی شده با مهاربند های غیر هم مرکز پرداختند. دراین تحقیق بیشتر به بررسی تیر لینک بتنی پرداخته شد.آنها با ذکر این مطلب که نکته مهم در طراحی بادبندهای غیرهم مرکز به دست آوردن مقدار نیار تغییر شکل لینک می باشد در تحلیل ها تغییر شکل الاستیک وغیر الاستیک را درهردو مورد برش وخمش مورد ملاحظه قرار دادند. [۲۱]

در سال ۲۰۰۴ در سیزدهمین کنفرانس بین المللی زلزله کانادا ووجانگ کانگ و فومیا ایزاکی تکنیک های ساده لرزه ای قاب های بتن مسلح موجود با استفاده از قاب های مهاربندی فولادی ویا پانل های فولادی را ارائه نمودند.پس از انجام آزمایشات یک روش اتصال مهاربندها به ستون ها بوسیله جاکت های فولادی را ارائه کردند.

در سال ۲۰۰۷رهایی وعلی نیا با استفاده از بادبند های CBM به این نتیجه رسیدند که استفاده از بادبند CBM مقاومت نهایی قاب بتنی را به میزان ۲/۵برابر افزایش می دهد.این بهبود در رفتار لرزه ای، بیشتر نتیجه رفع ضعف کمانش الاستیک بادبندها در فشار است. [۲۲]

۳-۲-۱ تحقیقات تحلیلی انجام گرفته

در سال ۱۹۸۱ هیگاشی و اندو (Higashi and Ekdo) و نیز کاواماتا و اهنوما [۳۵] (Kavamata and Ohnuma) بر روی استفاده از بادبندهای هم مرکز و خارج از مرکز در قابهای بتنی مطالعاتی انجام دادند. نتایج، امکان استفاده مؤثر از این روشهای مقاوم سازی را نشان داد. [۲۳]

در سال ۱۹۸۷ بادوکس (Badoux) یک مدل تحلیلی برای قاب ساده با مهاربند فولادی افزوده شده در داخل قاب شبیه سازی کردد. در این مطالعه اعضای بتن مسلح بعنوان یک عضو خمشی ساده معرفی شدند. اثر اندرکنشی نیروی محوری و لنگر خمشی برای ستونها نادیده گرفته شده است. نتایج کمانش غیرالاستیک مهاربندها را تحت بار رفت و برگشتی نشان داد. [۲۴]

در سال ۱۹۹۰ بادوکس و جیرسا(Badoux and Jirsa) استفاده از بادبندهای فولادی برای افزایش مقاومت لرزه‌ای قابهای بتن مسلح را مورد آزمایش قرار دادند. این پژوهش یک مطالعه تحلیلی است که برای درک رفتار قابهای بادبندی شده تحت بارگذاری سیکلی جانبی بویژه برای قابها با ستونها کوتاه ضعیف انجام شده است. کمانش غیر الاستیک بادبندها بررسی شده و روش اصلاح تیرهای یک قاب بادبندی شده با ستونهای کوتاه ضعیف تشریح شده است. پژوهشگران به این نتیجه رسیده‌اند که بادبندی فولادی مزایای غیر سازه‌ای فراوانی بر دیگر طرحها داشته و می‌تواند با کمترین اخلال در کاربری نصب شود همچنین فضای زیادی را هم اشغال نمی‌کند. از جنبه سازه‌ای هم بادبندی فولادی برای مقاوم سازی جانبی یا سخت کردن ساختمانهای بتن مسلح چند طبقه خیلی مناسب است. سیستم بادبندی بایستی برای پاسخ الاستیک طرح و برای رفتار شکل پذیر دیتیل شود. برای محدود کردن کمانش غیره الاستیک بایستی نسبت لاغری بادبندها پایین نگه داشته شود. استفاده از بادبندهایی که یا کمانه نمی‌کنند (لاغری خیلی کم) و یا به صورت الاستیک کمانه می‌کنند (لاغری خیلی زیاد) بایستی مورد توجه قرار گیرد. در قابهای با ستونهای ضعیف و تیرهای قوی ترکیب بادبندی فولادی با اصلاح تیر می‌تواند رفتار قاب را به طرز قابل توجهی بهبود بخشد. [۲۴]

در سال ۱۹۹۱ میراندا (Miranda)یک مدل تحلیلی برای مطالعه عملکرد لرزه‌ای قاب بتنی مقاوم سازی شده با اعضای فولادی پیش‌کشیده آماده نمود. اثر اندرکنشی نیروی محوری و لنگر خمشی برای ستونها نادیده گرفته

شده است. مطالعه نشان می‌دهد اعضای فولادی کشیده شده مقاومت و سختی کافی را به قاب داده و آن را تحت بار لرزه‌ای در محدوده الاستیک نگه می دارد. [۲۵]

در سال ۱۹۹۲ یاماتو و یومه‌مورا (Yamamoto and Umemura) در مقاله‌ای تحت عنوان تحلیل قابهای بتن مسلح مقاوم شده با بادبندهای فولادی، نتایج تحلیل غیر خطی استاتیکی قابهای بتن مسلح مقاوم شده با بادبندهای فولادی را مورد بررسی قرار دادند. روش بادبندی این مقاله، استفاده از قابهای فولادی بادبندی شده در داخل قاب بتن مسلح است. در این تحقیق بر تأثیر ملات اتصال دهنده بین قاب فولادی و بتنی تأکید شده است. روش مورد بحث در ژاپن به کار رفته است. آزمایش بر روی قابهای یک دهانه، یک طبقه با مقیاس ۱:۳ انجام شده و نهایتاً نتایج آزمایش با نتایج تحلیلی مقایسه شده است. [۲۶]

در سال ۱۹۹۲ سوگانو (Sugano) در مقاله‌ای با عنوان تحقیق و طراحی برای مقاوم سازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود در ژاپن، روشهای به کار رفته برای مقاوم سازی ساختمانهای بتن مسلحی را که آسیبهای شدیدی از زلزله‌های مخرب اخیر تجربه کرده‌اند، تشریح کرده است. در این مقاله با مروری بر اطلاعات حاصل از تحقیقات موجود، تکنیکها و روشهای مقاوم سازی و رفتار سازه‌های مقاوم شده مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین طراحی عملی تشریح شده و بعضی از مثالهای طراحی برای مقاوم سازی قبل از زلزله ساختمانهای موجود ارائه شده است. در این مقاله مقایسه‌ای بین روشهای مختلف مقاوم سازی صورت گرفته که نشان دهنده رفتار مناسب قابهای بتن مسلح بادبندی شده است. همچنین طرحهای مختلف بادبندی قابهای بتن مسلح با هم مقایسه شده‌اند. از این مقایسه چنین برمی‌آید که بادبندی X بیشتر از سایر طرحها مقاومت سازه را افزایش می‌دهد. شایان ذکر است که روش بادبندی در این تحقیق، استفاده از قابهای فولادی بادبندی شده در قابهای بتنی است. [۵]

در سال ۱۹۹۲ پینچرا (Pincheira) در مقاله‌ای تحت عنوان ترفندهای طراحی برای مقاوم سازی لرزه‌ای قابهای بتن مسلح، برخی نتایج یک سری از مطالعات تحلیلی بر روی قابهای بتن مسلح نمونه مقاوم شده با بعضی از تکنیکهای عمومی را خلاصه کرده است. در این میان بادبندی پس کشیده و نیز بادبندی X شکل برای مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح مورد بحث قرار گرفته و برای سه زلزله، تغییر مکانهای قاب سه طبقه‌ای با دو سیستم یاد شده و نیز قاب با دیوارهای سازه‌ای مورد مقایسه قرار گرفته است. این مقایسه رفتار مناسب سیستمهای بادبندی شده را نشان می‌دهد. [۲۷]

در سال ۱۹۹۳ لوبو و همکاران (Lobo et –al) در مقاله‌ای با عنوان پاسخ غیر الاستیک سازه‌های بتن مسلح با بادبندهای ویسکو الاستیک، اضافه کردن بادبندی ویسکو الاستیک را برای کاهش ارتعاشات در سازه‌ها پیشنهاد کرده‌اند. بادبندهای ویسکو الاستیک می‌توانند به صورت مستهلک کننده انرژی به کار رفته و سازه را در حد الاستیک نگه دارند. [۲۸]

در سال ۱۹۹۴ بودای وهمکاران (Bouadi et al) رفتار لرزه‌ای ساختمانهای بتن مسلح با ستون کوتاه و تیر عمیق را که به کمک مهاربندهای فولادی برون‌محور مقاوم‌سازی شده بودند مدل سازی کردند. مهاربندها بصورت خارجی(external) به ساختمان وصل شدند. نتایج نشان می‌دهد که تغییر شکلها در قاب بتن مسلح کاهش یافته و در عوض سختی و مقاومت افزایش یافته است. مطالعه مقایسه‌ای را بین سیستم مهاربندی هم محور و برون محور انجام نداده است.

در سال ۲۰۰۳ ماهری و همکاران در یک کار آزمایشگاهی تست پوش اور را روی قاب دو دهانه با بادبند های زانوئی و ضربدری انجام دادند. نتایج نشان می‌دهد که تغییر شکلها در قاب بتن مسلح کاهش یافته و در عوض سختی و مقاومت افزایش یافته است. [۲۹]

در سال ۲۰۰۷ یوسف وهمکاران (M.A.Youssef) عملکرد لرزه ای قاب بتن مسلح با بادبند داخلی هم مرکز را در یک کار آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد قاب مهاربندی شده مقاومت جانبی بالاتری نسبت به قاب خمشی دارد و شکل پذیری کافی را فراهم می سازد. [۳۰]

در سالهای اخیر بخصوص بعد از سال ۲۰۰۰ میلادی مطالعات بر روی مقاوم‌سازی قابهای بتی مسلح به کمک مهاربندهای فولادی با پیشرفت مهندسی زلزله توسعه بیشتری یافته و ارزیابی ساختمانهای مقاوم‌سازی شده بر اساس یافته‌های اخیر انجام گرفته است. Abou Elfath H. ،Ghobarah A. بر روی رفتار قاب بتن مسلح غیرشکل پذیر مطالعه کردند. آنها مدل تحلیلی مناسب را به کمک تهیه مدل غیرخطی مصالح و مدلهای غیرخطی سینماتیکی فراهم آورده و رفتار قاب را تحت رکوردهای مختلف زلزله ارزیابی نمودند. [۲۰،۲۱]

در اغلب پژوهشهای ذکر شده، بادبندی به صورت غیر مستقیم و با واسطه یک قاب فولادی محصور در قاب بتنی به کار رفته است. این سیستم بادبندی غیر مستقیم نسبتاً ماهرانه، می‌تواند گران و از نظر اقتصادی مسأله‌دار باشد. قاب فولادی اضافی به همراه قاب بتنی ممکن است در حالتهایی، همانند ستونها یا تیرهای بتنی یک قاب موجود لازم باشد، اگر چه در مرحله طراحی قاب، بار اضافی انتقال یافته به وسیله بادبندی می‌تواند در بار طراحی گنجانده شود و نیاز به یک قاب فولادی گران قیمت برطرف گردد. عیب دیگر استفاده از بادبندی غیر مستقیم این است که، می‌تواند باعث اندرکنش دینامیکی بین قابهای فولادی و بتنی با رفتارهای دینامیکی متفاوت گردد و نتیجه آن کاهش مقاومت یک و یا هر دو عنصر باشد. از اینرو برای تعبیه یک سیستم بادبندی فولادی که از نظر اقتصادی جالب توجه و از نظر فنی ساده باشد، این پژوهش روی استفاده از بادبندی فولادی که به طور مستقیم به قاب بتنی متصل شده است، متمرکز می‌گردد.

۳-۱ روشهای مختلف بهسازی لرزه ای

۱-۳-۱ مقدمه

تجربه زلزله های اخیر و مطالعات انجام شده حاکی از آن است که برخی از سازه های بتن آرمه موجود بااینکه مقاومت خوبی در برابر بارهای ثقلی دارند اما در زمان وقوع زلزله عملکرد مناسبی از خود نشان نخواهند داد و جان ساکنان خود را به خطر خواهند انداخت. از طرفی تخریب و تجدید بنای برخی از آنها نیزهزینه زیادی را درپی خواهد داشت. لذا تدبیر روشی مناسب و اقتصادی جهت مقاوم سازی آنها امری اجتناب ناپذیر است. دلایل مختلفی برای نیاز به تقویت سازه های موجود وجود دارد، از جمله این دلایل می توان به نیاز به تعمیر و تقویت سازه های آسیب دیده در اثر زلزله و یا پدیده های طبیعی دیگر و یا نیاز به تقویت ساختمانهایی که اساساً بر طبق آیین نامه خاصی طراحی نشده و بنا به کاستی هایی آسیب پذیر تشخیص داده شده اند اشاره نمود. همچنین نیاز به تقویت سازه، بنا به تغییراتی که در آیین نامه های بارگذاری و یا مبانی طراحی ایجاد شده ویا کاربری ساختمان تغییر نموده باشد، از دلایل دیگر می باشند. از سوی دیگر زمین لرزه مهمترین عامل خسارت به ساختمانها در مناطق لرزه خیز بوده، همچنین تغییرات در آیین نامه های طراحی لرزه ای به مراتب بیشتر و سریعتر از آئین نامه های طراحی ثقلی روی داده و لذا بحث بهسازی در این مقوله بیشتر در رابطه با نیروهای زلزله مطرح می گردد.

درک توسعه یافته رفتار دینامیکی و عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها، سبب توسعه مهندسی زلزله در سالهای اخیر شده است. خصوصا شیوه طراحی بر اساس سطوح عملکرد امکان لحاظ کردن سطح عملکرد خاص را در تعیین پارامترهای مختلف تأثیرگذار شامل درجه اهمیت سازه، خطر پذیری لرزه‌ای و میزان خسارت پذیری اقتصادی در طرح لرزه‌ای سازه‌ها را فراهم آورده است. پیشرفتهای اخیر در حالی صورت پذیرفته است که بسیاری از ساختمانها در ایران بر اساس آیین نامه‌های قدیمی که خود بر پایه یافته‌ها و تحقیقات گذشته گردآوری گردیدند، طراحی و اجراء شدند. مطالعات اخیر و ارزیابی‌های خسارت پذیری ساختمانها حاکی از آن است که مقادیر نیروهای جانبی ناشی از زلزله در آیین نامه‌های قدیمی دست پایین ارزیابی شده است و این ساختمانها نمی‌توانند نیازهای لرزه‌ای آیین نامه‌های جدید را برآورده سازند. این پیشرفتها و تغییر آیین نامه لرزه‌ای، ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود را اجتناب ناپذیر می‌سازد. در سالهای اخیر تکنیکهای مقاوم سازی لرزه‌ای مختلفی پیشنهاد گردیده است و تحقیقات گسترده‌ای نیز بر روی هر یک از آنها صورت پذیرفته است. سه روش کلی برای مقاوم‌سازی ساختمانهای موجود وجود دارد. روش اول مقاوم سازی موضعی اعضای سازه ای است که عموما" شامل استفاده از الیاف FRP وهمچنین دور پیچ‌کردن (jacketing) اعضاء سازه‌ای در طول یا در دو انتها می‌باشد. روش دوم افزودن اعضاء سازه‌ای مانند مهاربندهای فولادی یا دیوارهای برشی بتنی و فولادی می‌باشد وروش سوم کاهش نیروهای وارد بر ساختمان در هنگام زلزله می باشد که شامل کاهش وزن ساختمان، استفاده از جداگرهای لرزه ای وافزایش میرایی ساختمان می باشند.

۲-۳-۱ تقویت موضعی اعضای سازه ای

۱-۲-۳-۱ کاربرد پلیمر الیافی FRP

امروزه پلیمرهای الیافی (FRP) به طرز گسترده ای در بهسازی سازه های بتن آرمه استفاده می شوند. نسبت بالای مقاومت به وزن، مقاومت در برابر خوردگی و حمل و نصب آسان، موادFRP را به عنوان گزینه ای

مورد توجه در بسیاری از پروژه های بهسازی مطرح کرده است. در سالهای اخیر تحقیقات زیادی در خصوص تقویت اعضای بتنی با FRP صورت پذیرفته است که عمدتا" به تقویت برشی و خمشی عضو سازه ای و افزایش محصور سازی ستون ها پرداخته اند. ظرفیت برشی ستونها و دیوارهای برشی با چسباندن الیافFRP در جهت عرضی قابل افزایش است. مضافا "محصور سازی نواحی مفصل پلاستیک در انتهای تیرها و ستونها با استفاده از ژاکتFRP به گسترش رفتار شکل پذیر کمک شایانی می نماید. دراین نوشتار ضمن معرفی خصوصیات پلیمرهای الیافی، مزایای کاربرد آنها نسبت به روشهای سنتی صفحات فولادی و یا ژاکت بتنی بیان خواهد شد.

در امر مقاوم سازی سازه های مهندسی عمران، الیاف رایج از نوع شیشه، آرامید و یا کربن هستند و رزین های متداول ازجنس اپوکسی، پلی استر ووینیل استر می باشند که در این میان اپوکسی ها از خواص مکانیکی و دوام بهتری برخوردارند.الیاف جزء اصلی در تحمل تنش ها بوده در حالی که رزین تنش ها را در میان الیاف توزیع می کند و الیاف را از سایش و خوردگی حفاظت می نماید.

۱-۳-۲-۱-۱ طبقه بندی پلیمرهای الیافی

بسته به نوع الیاف، پلیمرهای الیافی به سه گروه پلیمر الیاف – کربنی(CFRP)، پلیمر الیاف – شیشه ای(GFRP)و پلیمرالیاف – آرامیدی(AFRP) طبقه بندی می شوند. تمامی انواع الیاف دارای رفتار ارتجاعی خطی تا نقطه گسیختگی بوده – که گسیختگی در کرنش های بزرگ رخ می دهد – و بر خلاف فولاد دارای منطقه تسلیم مشخص نمی باشند.

الیاف شیشه ای کمترین قیمت را در میان پلیمرهای الیافی دارند. الیاف آرامیدی اولین بار در ۱۹۷۱ معرفی شدند و امروزه توسط چندین تولید کننده تحت نامهای تجاری مختلف تولید می شوند.

ساختار الیاف آرامیدی، غیر ایزوتروپ بوده و مقاومت بیشتری در جهت طولی لیف داراست. الیاف کربنی بر دو گونه اند : نوع اول (pitch) که بر مبنای مواد با وزن مولکولی بالا حاصله از نفت تصفیه شده یا زغال سنگ است ونوع دوم (pan) که از پلی اکریلونیترایل می باشد.

جدول شماره (۱-۱) مقایسه ای کیفی بین انواع پلیمرهای الیافی ارائه می کند. جدول شماره (۱-۲) خواص کمی الیاف مختلف را به عنوان مقادیری نمونه نشان میدهد. نکته قابل ذکر آنکه مقادیر جدول (۱-۲) برای خود الیاف به تنهایی (و نه با احتساب رزین) می باشند و مقادیر واقعی مجموعه مرکب الیاف و رزین بایستی از تولید کننده تهیه گردد.

جدول۱-۱ مقایسه کیفی بین ورقهای تولید شده ازانواع پلیمرهای الیافی

معیار	الیاف شیشه ای نوع E	الیاف کربنی	الیاف آرامیدی
مقاومت کششی	بسیار خوب	بسیار خوب	بسیار خوب
مقاومت فشاری	خوب	بسیار خوب	ناکافی
ضریب ارتجاعی	کافی	بسیار خوب	خوب
رفتار دراز مدت	کافی	بسیار خوب	خوب
رفتار خستگی	کافی	عالی	خوب
چگالی	کافی	خوب	عالی
مقاومت قلیایی	ناکافی	بسیار خوب	خوب
قیمت	بسیار خوب	کافی	کافی

جدول۱- ۲ خواص کمی انواع الیاف

الیاف	مقاومت کششی (N / mm^2)	ضریب ارتجاعی (KN / mm^2)	تغییر طول نسبی (%)	چگالی مخصوص
کربنی (PAN) : مقاومت بالا	۴۳۰۰ – ۴۹۰۰	۲۳۰ -۲۴۰	۱/۹ - ۲/۱	۱/۸
کربنی (PAN) : سختی زیاد	۲۷۴۰ – ۵۴۹۰	۲۹۴-۳۲۹	۰/۷ -۱/۹	۱/۷۸ - ۱/۸۱
کربنی (Pitch) : سختی بسیار زیاد	۲۶۰۰ – ۴۰۲۰	۵۴۰ – ۶۴۰	۰/۴ – ۰/۸	۱/۹۱ - /۲/۱۲
آرامیدی	۳۲۰۰-۳۶۰۰	۱۲۴ -۱۳۰	۲/۴	۱/۴۴
شیشه ای	۲۴۰۰ – ۳۵۰۰	۷۰-۸۵	۳/۵ – ۴/۷	۲/۶

۱-۳-۲-۱-۲ مقایسه بین FRP و فولاد در بهسازی سازه ها

پلیمرهای الیافی دارای مقاومتی حداقل دو تا بیش از ده برابر مقاومت فولاد هستند در حالیکه وزن آنها حدود یک چهارم وزن فولاد می باشد بنابراین موادFRP نسبت مقاومت به وزن بسیار بزرگتری از فولاد دارند . سبکی وزن مزایای قابل توجهی را به همراه می آورد، از آن جمله : کاهش هزینه های کارگر، سهولت حمل و نصب و کارکردن در محیط های با فضای دسترسی محدود. به علاوه برای چسباندن صفحات FRP در زیر دال عرشه پل ها و یا کف ساختمانها نیازی به برپایی داربست های مفصل نمی باشد. سادگی کارکردن با ورق های FRP سبب شده است که نصب آنرا به نصب کاغذ دیواری تشبیه کنند. از سوی دیگر حمل و نقل صفحات فولادی مستلزم استفاده از تجهیزات سنگین است همچنین برای نگهداشتن صفحات فولادی درجای خود – تا زمانی که ماده چسباننده صفحه فلزی و سطح بتنی به مقاومت کافی برسد – نیاز به شمع گذاری یا استفاده از پیچ برای اتصال صفحه به سطح بتن می باشد. اما در مورد صفحاتFRP ، همینکه صفحه به سطح بتنی چسبانده شد می توان بدون تکیه گاه رها شود و همچنان در جای خود بماند. بویژه نیاز به استفاده از پیچ برای اتصال صفح ەFRP به سطح بتن - که مستلزم ایجاد سوراخ در بتن بوده و احتمال صدمه زدن به آرماتورهای فلزی مقطع بتنی را پیش می آورد – کاملا " حذف می گردد. نکته دیگر امکان تولید مواد FRP در طولهای بسیار زیاد می باشد. اساسا "در عمل هیچ محدودیتی در ابعاد و هندسه موادFRP وجود ندارد. این انعطاف پذیری خود سبب سهولت در نصب می گردد، که از آن جمله موارد زیر قابل اشاره است:

- محل های قطع صفحات FRP در طول عضو بتنی کاسته می گردد.

- لایه های FRP نامنظمی درشکل سطوح بتنی را پذیرفته و می توانند به سادگی از انحناء سطوح پیروی کنند موادFRP می توانند به آسانی دراطراف و پشت لوله ها و تاسیسات نصب گردند.
- روی هم قرار دادن نوارهایFRP که برای تقویت در دو جهت متعامد قرار گرفته اند، بدلیل ضخامت کم نوار میسر می باشد.

مزیت قابل توجه دیگر پلیمرهای الیافی، مقاومت آنها در برابر خوردگی است. همچنین نیازشان به نگهداری کم بوده و اگر FRP در مدت بهره برداری خسارتی ببینند به راحتی – با افزودن یک لایه اضافی – قابل ترمیم خواهند بود. مضافا "کاربرد FRP در امر تقویت سازه ها، وزن سازه و یا ابعاد عضو را افزایش نمی دهد که این موضوع در مورد پل ها و یا سازه های با فضاهای محدود مانند تونل ها از اهمیت برخوردار است. از نقطه نظر تاثیرات زیست محیطی، بدلیل سبکی وزن پلیمرهای الیافی حمل و نقل آنها کمترین اثر را بر محیط زیست می گذارد. همه عوامل فوق الذکر موجب شده اند تا صفحاتFRP درعرصه مقاوم سازی جای صفحات فولادی را بگیرند بگونه ای که امروزه در کشور سوئیس حدود ۹۰ % موارد کاربرد تقویت با صفحات به پلیمرهای الیاف – کربنی اختصاص یافته است. هر چند که باید اشاره شود که حصول به فواید فراوان بر کاربرد منوط به فراهم آوردن حفاظت برای آن در برابر آتش می باشد.

۱-۳-۲-۱-۳ ملاحظات اقتصادی کاربرد FRP در بهسازی سازه ها

کاربردFRP برای تقویت اعضاء بتنی سبب افزایش مقاومت (محوری، خمشی، برشی، پیچشی) عضو و همچنین بهبود شکل پذیری می گردد حال آنکه تغییری در وزن سازه ایجاد نمی شود .گرچه قیمت پلیمرهای الیافی بر حسب وزن بالا می باشد ولی با ارزیابی بر حسب مقاومت فوق العاده بالای آنها و نیز در نظرگیری کل فرآیند مقاوم سازی و بررسی دراز مدت کاربرد این مواد، چه بسیار مواردی کهFRP با صرفه ترین راه حل مقاوم سازی در نظر گرفته شده است. نکاتی چون عدم اختلال در کاربری ساختمان درحین انجام تقویت و یا عدم توقف روند ترافیک برای پل در دست تعمیر و همچنین سرعت اجرای بهسازی از موارد قابل توجه در امکان سنجی نهایی کاربرد پلیمرهای الیافی می باشند.

۱-۳-۲-۱-۴ جمع بندی

تا حدود یک دهه پیش استفاده از ژاکتهای فولادی و یا بتنی تنها روشهای مقاوم سازی شناخته می شد اما ورود پلیمرهای الیافی به عرصه مهندسی عمران دریچه ای نو پیش روی محققان گشود. به طور خلاصه مجموعهFRP و بتن از یکسو جرم، سختی، میرایی و ارزانی بتن و از سوی دیگر سرعت ساخت، سبکی، مقاومت و دوام FRP را با هم ترکیب می سازد و سبب افزایش مقاومت و یا بهبود شکل پذیری سازه مقاوم شده می گردد.

۱-۳-۲-۲ بهسازی لرزه ای ستون ها با استفاده ازجاکت های فولادی

استفاده از جاکت های فولادی جهت بهسازی کاربرد گسترده ای دارد.این روش در ابتدا برای ستون ها با مقطع هندسی دایروی توسعه یافته است، این نوع از جاکت ها بسته به شکل مقطع عرضی ستون با اشکال هندسی مختلف نظیردایروی، بیضوی، مستطیلی ومربعی یافت می شود.جاکت های فولادی برخلاف مواد کامپوزیتی نظیر و... شکل پذیری خمشی افزایش یافته بیشتری را در ستون ها ایجاد می کنند و دسترسی بیشتری به مصالح کاربردی برای تقویت با جاکت های فولادی وجود دارد.

شکل۱-۳ استفاده ازجاکت های فولادی در مقاوم سازی موضعی ستون های بتنی

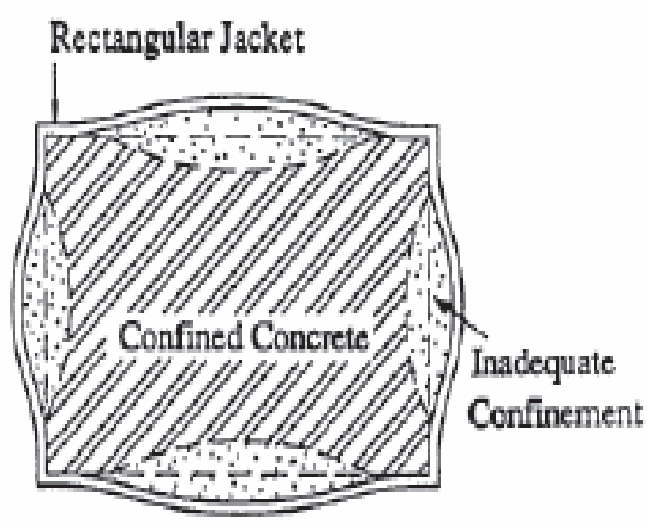
۱-۳-۲-۱ تاریخچه تحقیقات انجام شده درباره بهسازی با استفاده ازجاکت های فولادی

پژوهشگران مختلف، تحقیقاتی را برای استفاده از جاکت های فولادی برای تقویت لرزه ای ستون های بتن مسلح غیر شکل پذیرانجام دادند. tomii در ۱۹۸۷ بر اساس آزمایشاتی که انجام داده است نتیجه گرفت که لوله های فولادی در جلوگیری از خرابی برشی در ستون های کوتاه ساخته شده از بتن با مقاومت متوسط، موثربودند. tomii، sakinoوXiao در۱۹۸۷ ستون های کوتاه تقویت شده با جاکت های فولادی را در سازه های ساختمانی به منظور بررسی اثرات آن در جلوگیری از خرابی برشی و بهبود شکل پذیری مورد تحقیق قرار دادند. Aboutaha در ۱۹۹۴ استفاده از جاکت های فولادی به مقطع هندسی مستطیلی را برای تقویت ستون های بتن مسلح با مقطع مستطیلی پیشنهاد و مورد بررسی قرار داد. Priestley در ۱۹۹۴ تحقیقاتی را برای استفاده از جاکت ها با مقطع دایروی وبیضوی برای پایه ها وستون های بتن مسلح انجام داد. ایشان در ۱۹۹۴ همچنین تاثیر استفاده از جاکت ها با مقطع بیضوی را برای افزایش مقاومت برشی در ستون های بتن مسلح با مقطع مستطیلی مورد بررسی قرار داد.در ۱۹۹۶، Aboutaha سیستمی که در آن جاکت فولادی مستطیلی نسبتا نازکی به وسیله پیچ های مهاری به فنداسیون متصل می شد را مورد بررسی قرار دادودر آن کفایت محصور کنندگی به وسیله جاکت مورد تائید قرار گرفت. Xiaoوwu در ۲۰۰۳ بررسی تجربی درباره استفاده از جاکت های فولادی سخت شونده موضعی را برای ستون های بتن مسلح انجام دادند.

۱-۳-۲-۲ جاکت فولادی برای ستون ها با مقطع هندسی مستطیلی

جاکت ها با مقطع هندسی مستطیلی و مربعی برای انجام عمل تقویت در ستون ها کاربرد عملی چندانی ندارد. تاثیر اصلی این نوع از جاکت ها افزایش مقاومت برشی در ستون است. یک ستون تقویت شده به منظور بهبود مقاومت برشی معمولا احتیاج به افزایش شکل پذیری خمشی دارد که در جاکت های مستطیلی تنها در گوشه

های مقطع فراهم می شود. علت این امر را می توان به مقاومت کم این نوع از جاکت های فولادی مربعی و نیزضعف مقاومت برشی ستون ها در نواحی مستعد تشکیل مفصل پلاستیک در نظر گرفت. می توان با استفاده از سخت کننده ها رفتار جاکت های فولادی مستطیلی را بهبود بخشید و قابلیت کارایی آن را افزایش داد.



شکل ۱-۴ ستون با مقطع مستطیلی محصور شده به وسیله جاکت فولادی مستطیلی

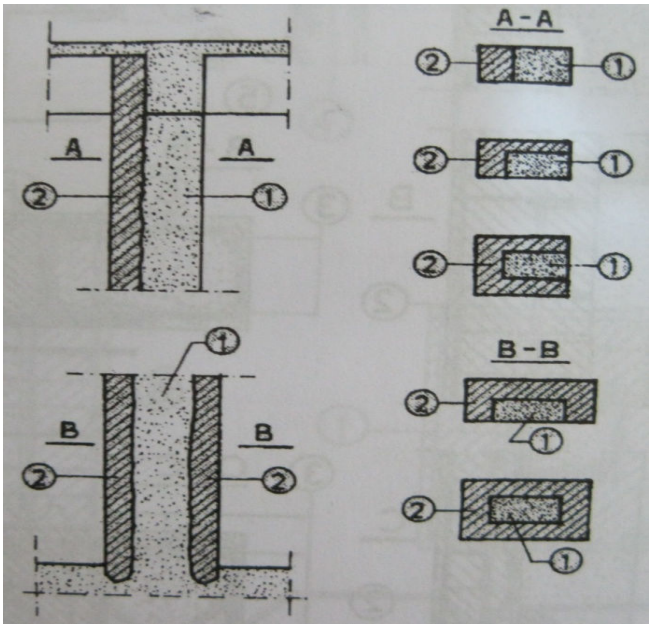
سیستم های جاکت فولادی علاوه بر اینکه محصور شدگی را برای ستون تأمین می کند، نسبت به تنگ های بسته متداول مزایای بیشتری دارند، از جمله :

- محصور شدگی و احاطه کردن بتن پوشش و افزایش سطح مؤثر و هسته مرکزی بتن در مقاومت نهائی.
- ایجاد سختی خمشی بزرگتر وتأمین مکانیزم محصور شدگی مناسب در مقایسه با تنگ بسته.
- داشتن عرض کافی در تماس مستقیم با ستون بتنی که امکان افزایش فاصله بین جاکت های فولادی را افزایش می دهد.

با توجه به تحقیقات انجام شده، تأثیر محصور شدگی در ستون های دایروی و بیضوی بیش از ستون های مربعی یا مستطیلی معادل می باشد، ازاین رو برای جاکت کردن ستون های مربع مستطیل برای افزایش محصورشدگی توصیه شده است از جاکت دایروی یا بیضوی استفاده شود و بین غلاف و ستون بتن آرمه با یک ماده پرکننده ضد انقباض پر شود.

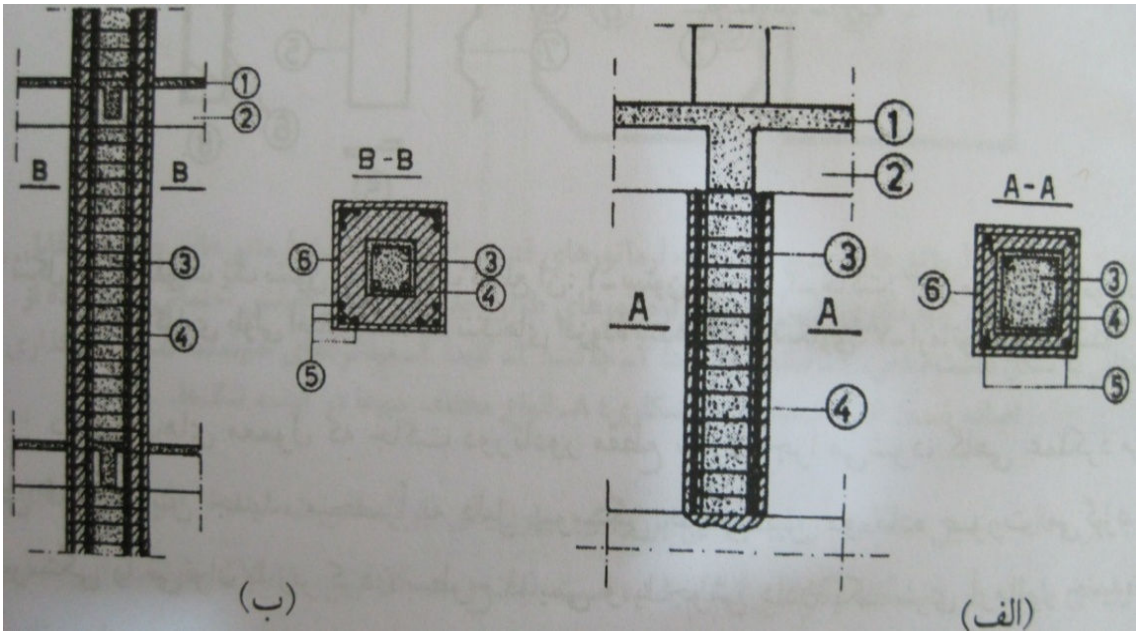
۱-۳-۲-۳ بهسازی لرزه ای ستون ها با استفاده ازجاکت های بتن آرمه

جاکتهای بتن آرمه زمانی بکار می روند که ستون ها دچار آسیب دیدگی جدی ویا مقاومت لرزه ای ناکافی باشند. بسته به شرایط محلی موجود، جاکتها دور تا دور ستون ها ویا فقط در یک یا چند ضلع ستون اجرا می شوند(شکل۱-۵).در حالت هایی که اجرای جاکت بتن آرمه فقط به ارتفاع خالص طبقه محدود می شود، مقاومت محوری و برشی ستون افزایش می یابد ولی مقاومت خمشی در اتصالات افزایش پیدا نمی کند. بنابراین توصیه می شود که جاکتها از سقف و دال کف رد شوند. (شکل۱-۶)



شکل۱-۵ آرایش جاکتهای بتن آرمه که برای تقویت ستون ها بکار می روند

در حالت های معمول که جاکت دور تا دور مقطع ستون اجرا می شود، گاهی عملکرد مرکب بتن قدیم و بتن جدید، منحصرا" به دلیل پیوستگی طبیعی بین دو ماده صورت می گیرد. این پیوستگی را می توان با زبر کردن سطح قدیمی ویا جوش دادن یک سری آرماتورخمیده بین آرماتور های جدید و قدیم تحکیم کرد. هنگامیکه ستون کاملا" آسیب دیده ویا آن که ارتفاع آن زیاد باشد و در نتیجه خطر کمانه کردن آرماتورهای جدید وجود داشته باشد، ایجاد اتصال فوق ضروری می باشد.



شکل۱-۶ جاکتهای بکاررفته در ستون ها(الف)اجرای جاکت درارتفاع یک طبقه، (ب)توسعه جاکت به طبقات بالاتر وپائین تر، ۱- دال، ۲- تیر، ۳- ستون موجود، ۴- جاکت، ۵- آرماتور گذاری طولی اضافه شده، ۶- تنگ های افزوده شده.

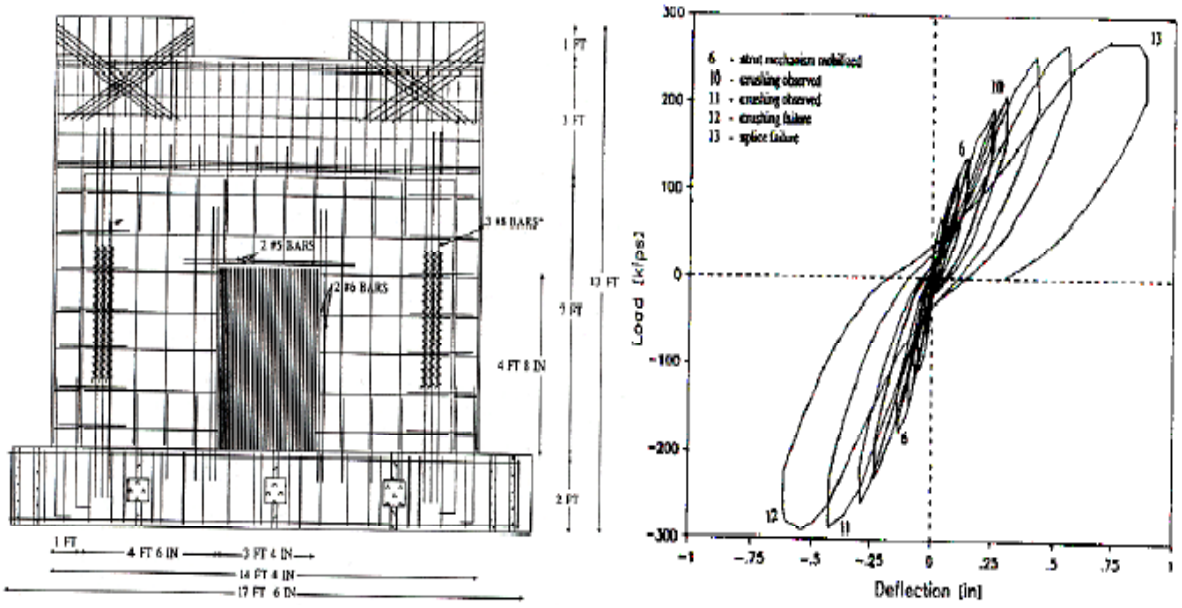
۱-۳-۳ افزودن اعضای سازه ای جدید

در خصوص روشهای تقویت عمومی ساختمان ازطریق افزودن اعضای سازه ای جدید، بررسی مقابله با نیروهای زلزله، استفاده از سیستم های برش گیر که درون صفحه خود در برابر نیروهای افقی زلزله مقابله می کنند از متداول ترین روشها می باشند. سیستم های تقویت عمومی را می توان به سه گروه تقسیم نمود. این سه گروه عبارتند از دیوارهای برشی، قابهای فولادی و مهاربندهای فولادی.

۱-۳-۳-۱ افزودن دیوارهای برشی

۱-۱-۳-۳-۱ اضافه کردن دیوار برشی بتن مسلح

افزودن دیوار برشی یکی از روشهای متداول بهسازی لرزه‌ای ساختمان می‌باشد. فلسفه استفاده از این روش افزایش سختی جانبی ساختمان می‌باشد. با این روش تغییر شکل جانبی و نسبی طبقات را با روش تقویت کلی بخوبی کنترل کرده و خسارات را در اعضای قاب سازه ای کاهش می دهیم و با توجه به وزن بالایی که به سازه موجود تحمیل می کند وحجم بالائی که دارد برای مقاوم سازی ساختمانهای کوتاه مرتبه توصیه میشود. این دیوارتمایل به سخت کردن سازه موجود دارد و برش پایه را افزایش می دهد و افزایش فشار برروی فنداسیون سازه موجود را دز پی دارد، که تقویت فنداسیون سازه موجود زیر دیوار برشی اضافه شده، هزینه بالایی را در پی دارد.



شکل۱-۷ نمونه دیوار برشی و منحنی تاریخچه زمانی بار- تغییرمکان آن (Jirsa، Kreger 1989)

از دیوارهای برشی آجری میانقاب نیز می توان برای افزایش مقاومت و سختی قابهای بتنی استفاده نمود. مشکلات اجرایی دیوارهای برشی آجری (مسلح و غیرمسلح) کمتر از مشکلات اجرای دیوارهای برشی بتنی بوده ولی توانایی های مقاومتی، سختی و شکل پذیری دیوارهای برشی بتنی را نخواهند داشت. همچنین وضعیت نامشخص اتصال میانقاب، قاب و اندرکنش دینامیکی بین دو عضو و امکان اتفاق شکستهای ترد ازمعایب دیوارهای برشی آجری می باشند.