بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

عملکرد سیستم مهاربند کمانش‌تاب متناسب با ارتفاع سازه

استاد راهنما :

دکتر اردشیر دیلمی

دانشجو :

عبدالله رحیم‌زاده برزُکی

۱۳۹۰

چکیده

سال‌هاست که از قاب های مهاربندی شده به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی استفاده می شود ولی کمانش مه‌اربند فشاری در مهاربندهای معمول و نیز رفتار هیستر زیس نامتقارن این مهاربندها در فشار و کشش باعث می شود که نتوان از تمام مقاومت مهاربند به طور کامل استفاده کرد، و این خود دلیلی شد تا مهندسان دنبال سیستم مهار جانبی ای باشند که این مشکل را نداشته باشد . به علت اشکالات سیستم مهاربند همگرای معمول، امروزه استفاده از سیستم جدیدی به نام مهاربندهای کمانش ناپذیر (*Buckling Restrained Brace-BRB*) در حال توسعه است . شکل‌پذیری بالا، منحنی هیسترزیس متقارن و ظرفیت قابل توجه برای دریفت از خصوصیات این مهاربند هاست. همین مزایا کافی است تا مهندسان در صنعت ساخت و ساز از این مهاربندها استفاده کنند.

سیستم مهاربند کمانش‌تاب جایگزین مناسبی برای دیگر سیستم های سازه‌ای می‌باشد و علاوه بر کنترل دریفت سازه، می‌تواند انرژی ورودی به سازه را نیز تا حد زیادی مستهلک کند ولی سختی پس از کمانش کم *BRB* می‌تواند در سیستم‌های *BRBF* تغییر مکان‌های زیاد و دریفت پسماند به جای بگذارد . برای کاهش این ضعف استفاده از دو سیستم مهار جانبی به صورت سیستم دوگانه توصیه می‌شود. کاهش تغییر مکان پسماند، کاهش دریفت طبقه، کاهش دریفت زاویه‌ای طبقه از این مزایاست . طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ در ساختمان‌های با بیشتر از ۱۵ طبقه و یا بلندتر از ۵۰ متر، استفاده از سیستم قاب خمشی ویژه و یا سیستم دوگانه الزامی است . با توجه به این محدودیت آیین نامه و نیز محاسنی که برای سیستم دوگانه ذکر شد در این پایان نامه از سیستم دوگانه قاب خمشی متوسط به علاوه مها ربند هم‌محور استفاده شده است.

برای تعیین عملکرد سیستم مهاربند کمانش‌تاب متناسب با ارتفاع سازه (موضوع این پروژه)، سازه‌های ۹، ۱۲، ۱۵و ۱۸ طبقه با مهاربند های مرسوم طراحی می شوند، پس از آن سازه‌های ۹، ۱۲، ۱۵و ۱۸ طبقه‌ای با مهاربندهای کمانش تاب طراحی می‌شوند، در انتها نتایج سازه های با مهاربند مرسوم با نتایج حاصل از سازه های با مهاربند کمانش تاب قیاس می‌شود و به عنوان عملکرد سیستم مهاربند کمانش تاب معرفی می‌گردد. سازه‌های مذکور، ابتدا با استفاده از آیین‌نامه‌های ۲۸۰۰ و مبحث دهم به وسیله نرم افزار *ETABS* طراحی می شوند. در ادامه تحلیل دینامیکی غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار *Perform 3D* روی سازه‌ها انجام می‌شود.

نتایج حاصل از آنالیز نشان می دهد جایگزین‌کردن مهاربندهای کمانش‌تاب به جای مهاربندهای معمول در سازه های با سیستم دوگانه منجر به افزایش تغییر مکان و دریفت می شود، علاوه برآن در سیستم های سازه‌ای دوگانه با مهاربند کمانش‌تاب بر خلاف سازه های با مهاربند معمول هرچه سازه مرتفع تر می‌شود، دریفت بیشینه کاهش می یابد. به عبارت دیگر در سازه های بلند مرتبه تر عملکرد سازه با مهاربند کمانش تاب به لحاظ دریفت بهتر می شود. همچنین استفاده از سیستم مهاربند کمانش‌تاب به جای مهاربند معمول، در قاب خمشی (سیستم دوگانه) منجر به کاهش برش پایه در سازه ها می‌شود. ونیز سازه‌های با مهاربند کمانش‌تاب در طبقات، شتاب لرزه‌ای کمتری را تجربه می کنند. مقایسه نتایج مربوط به حداکثر تقاضای تغییرشکل محوری مهاربندها نشان می دهد عملکرد سیستم دوگانه با مهاربند کمانش تاب در سازه های مرتفع به لحاظ استهلاک انرژی بهتر است.

فصل اول

مقدمه

۱-۱ معرفی

استفاده از قاب‌های خمشی فولادی به عنوان سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی، در زلزله های شدید جابجایی‌های بزرگی را به همراه دارد و به همین دلیل طراحی آنها مستلزم توجه خاصی است، زیرا اکثر مشکلات این سیستم در اتصالات آنها است. افزون بر این استفاده از قاب های خمشی، فولاد مصرفی بیشتری نسبت به قاب های مهاربندی شده لازم دارد و با توجه به اینکه قاب‌های مهاربندی شده دریفت و تغییر مکان کمتری نسبت به قاب های خمشی از خود نشا ن دادند، قاب های مهاربندی شده همگرا مورد استقبال مهندسان قرار گرفت. البته کمانش مهاربند فشاری در مهاربندهای همگرای معمول و نیز رفتار هیستر زیس نامتقارن این مهاربندها در فشار و کشش باعث می شود که نتوان از تمام مقاومت مهاربند به طور کامل استفاده کرد، و این خود دلیلی شد تا مهندسان دنبال سیستم مهار جانبی ای باشند که این مشکل را نداشته باشد . به علت اشکالات سیستم مهاربند همگرای معمول، امروزه استفاده از سیستم جدیدی به نام مهاربندهای کمانش ناپذیر (*Buckling Restrained Brace-BRB*) در حال توسعه است. این مهاربندها شکل‌پذیری بالایی دارند و نیز منحنی هیسترزیس متقارنی دارند و ظرفیت قابل توجهی برای دریفت دارند. همین مزایا کافی است تا مهندسان از این سیستم در صنعت ساخت و ساز از آنها استفاده کنند.

بیشتر از ۴۰ سال است که بررسی انواع مختلف مهاربند مقاوم در کمانش با اشکال و مواد مختلف در ژاپن شروع شده است. این نوع مهاربندها در چند کشور دیگر هم گسترش چشمگیری یافته اند. این سیستم (*BRB*)، در ایالات متحده پس از زمین‌لرزه *North Ridge* که در سال ۱۹۹۴ درکالیفرنیا اتفاق افتاد مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت و به سرعت برای استفاده در مناطق با لرزه خیزی بسیار زیاد مورد استفاده قرار گرفت . سیستم قاب مهاربندی‌شده با مهاربند کمانش تاب (*BRBF*) با قاب های مهاربندی شده مرسوم تفاوت دارد.آزمایشات روی *BRB* رفتار هیسترزیس بسیار خوب تحت بارهای چرخه ای از آنها نشان داده است، چرا که فولاد هسته *BRB* تحت فشار است و کمانش نمی‌کند و جاری می‌شود و اتلاف انرژی دارد. این مشخصه از *BRB* سبب شده است که سیستم *BRBF* جایگزین مناسبی برای سیستم‌های مهاربندی مرسوم باشد.

در واکنش به رفتار جالب *BRBFs* آیین‌نامه‌های طراحی *BRBF* امروزه شامل *AISC05, SEA/ ASCE05* بوجود آمدند. همچنین این آیین‌نامه‌ها هم به صورت عملی هم به اندازه کافی سخت گیرانه توسعه یافتند تا سطح قابلیت اعتمادی برابر با دیگر سیستم‌های مقاوم در برابر زلزله فراهم کنند[۶].

۱-۲ زمینه تحقیق

در طراحی سازه ها باید کنترل خرابی‌های زلزله و کنترل تغییرشکل‌های ساختمان به طور توام لحاظ شود. در واقع تأمین ایمنی جانی برای ساکنان در زلزله های شدید باید در نظر گرفته شود . بدین منظور اگر سازه طوری طراحی شود که در برابر زلزله های شدید در محدوده ارتجاعی بماند، سازه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و در ضمن نمی توان بزرگترین زلزله‌ای که بر سازه در طی عمر خود تجربه می کند را به طور دقیق تعیین نمود. بر این اساس فلسفه طراحی در ساختمان های امروزی مبتنی بر این اصل است که سازه در برابر زلزله‌های کوچک در محدوده ارتجاعی بماند ولی در زلزله های متوسط و بزرگ وارد ناحیه غیر خطی شده و با حفظ پایداری خود نیروی زلزله را مستهلک کند.

همان‌طور که گفته شد سیستم مهاربند کمانش تاب جایگزین مناسبی برای دیگر سیستم های سازه‌ای می باشد و علاوه بر کنترل دریفت سازه، می تواند انرژی ورودی به سازه را نیز تا حد زیادی مستهلک کند ولی سختی پس از کمانش کم *BRB* می‌تواند در سیستم‌های *BRBF* تغییر مکان‌های زیاد و دریفت پسماند به جای بگذارد . برای کاهش این ضعف (دریفت پسماند) قاب خمشی فولادی می‌تواند با *BRBF* به صورت سیستم دوگانه درنظر گرفته شود. قاب خمشی فولادی (انعطاف‌پذیر) پس از جاری شدن *BRBF* در حالت الاستیک باقی می‌ماند و سختی اضافی که دریفت را محدود کند فراهم می‌کند.

در بررسی های محققین نشان داده شده است که استفاده دو سیستم مهار جانبی به صورت سیستم دوگانه مزیت های قابل توجهی نسبت به استفاده تنهای سیستم مهاربند کمانش‌تاب دارد. کاهش تغییر مکان پسماند، کاهش دریفت طبقه، کاهش دریفت زاویه‌ای طبقه از این مزایاست.

برای بررسی عملکرد سیستم مهاربند کمانش تاب متناسب با ارتفاع سازه که موضوع این پروژه می باشد، نیاز است ارتفاع سازه‌ها متغیر باشد. طبق بند ۲-۳-۸-۴ آیین‌نامه ۲۸۰۰ در ساختمان‌های با بیشتر از ۱۵ طبقه و یا بلندتر از ۵۰ متر، استفاده از سیستم قاب خمشی ویژه و یا سیستم دوگانه الزامی است و نمی توان در این سازه ها به قاب های مهاربندی شده اکتفا نمود . با توجه به این محدودیت آیین نامه ۲۸۰۰ و نیز محاسنی که برای سیستم دوگانه ذکر شد در این پایان نامه از سیستم دوگانه قاب خمشی متوسط به علاوه مهاربند هم‌محور استفاده شده است.

طبق تحقیقات انجام شده (*Di Sarno-2009*)، استفاده از جانمایی مهاربندها به صورت مگابریس (در هر دو طبقه یک ضربدر تشکیل می شود) نسبت به دیگر شکل بندی مهاربندها در ارتفاع سازه (هشتی، هفتی، قطری و ...) پاسخ لرزه‌ای بهتری برای سازه خواهد داشت. به همین دلیل مهاربندها در ارتفاع به صورت مگابریس جانمایی شده‌اند.

۱-۳ موضوع تحقیق

برای بررسی عملکرد مهاربندهای کمانش‌تاب با توجه به اثر ارتفاع در سازه‌ها دو راهکار می توان برگزید: اول آنکه سازه هایی با ارتفاع متفاوت با مهاربند کمانش‌تاب طراحی شود و پارامترهای مقایسه ای (مثل برش پایه، تغییر مکان جانبی، دریفت و...) بین خود این سازه ها قیاس شود و با توجه به افزایش ارتفاع ، درصد کاهش یا افزایش پارامترهای ذکر شده به عنوان عملکرد این سیستم معرفی شود. دوم آنکه سازه‌هایی با مهاربندهای معمول طراحی شود و پارامترهای ذکر شده در این سازه‌ها با سازه‌های با مهاربندکمانش‌تاب به عنوان عملکرد این سیستم قیاس شود . واضح است که در صورت برگزیدن راهکار دوم، راهکار اول نیز پوشش داده می شود.

در این پایان نامه از راهکار دوم استفاده شده است . یعنی برای تعیین عملکرد سیستم مهاربند کمانش تاب، سازه‌های ۹، ۱۲، ۱۵و ۱۸ طبقه با مهاربند های مرسوم طراحی می شوند ونتایج آن ها با سازه های ۹، ۱۲، ۱۵و ۱۸ طبقه‌ای که با مهاربندهای کمانش‌تاب طراحی می‌شوند، مقایسه می‌شوند.

۱-٤ شیوه تحقیق

در طرح کلاسیک سازه ها، ایمنی سازه ها با محدود نمودن تنش ها در حد جاری شدن مصالح حاصل می شود، اما حتی زلزله های متوسط ممکن است باعث جاری شدن بعضی از عناصر سازه‌ای شوند. بنابراین برای پیش‌بینی عملکرد ساختمان‌ها در مقابل زلزله نیاز به روش های تحلیل غیرخطی می باشد. با رعایت مفاد آیین نامه‌های طراحی انتظار می رود ساختمان‌ها در زلزله های خفیف و متوسط بدون وارد شدن خسارت عمده سازه ای و در زلزله های شدید بدون فرو ریختن، قادر به مقاومت باشند. ظرفیت تغییرشکل غیرارتجاعی کلی سازه بستگی به ظرفیت تغییرشکل تک تک اعضا سازه و نحوه ایجاد مفاصل پلاستیک (حفظ پایداری) در سازه دارد. رفتار سازه ها پس از محدوده ارتجاعی با روش های تحلیل دینامیکی غی رخطی بررسی می شود. به این منظور از چند شتاب‌نگاشت مربوط به زلزله‌های گذشته استفاده می‌شود و سپس سازه‌ها تحت این شتاب‌نگاشت‌ها تحلیل می‌شوند.

در این پایان نامه، ابتدا سازه های مذکور در بخش قبل با استفاده از آیین نامه‌های ۲۸۰۰ و مبحث دهم به وسیله نرم افزار *ETABS* طراحی می‌شوند. تمامی سازه‌ها به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که بتوانند سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) را ارضاء کنند. در ادامه تحلیل دینامیکی غیرخطی با استفاده از نرم افزار *Perform 3D* روی سازه‌ها انجام می‌شود. دلایل استفاده از نرم‌افزار *Perform* ومزایای استفاده از این نرم افزار در فصل های بعد ذکر می شود. در انتها نتایج سازه های با مهاربند مرسوم با نتایج حاصل از سازه‌های با مهاربند کمانش تاب قیاس می‌شود و به عنوان عملکرد سیستم مهاربند کمانش تاب معرفی می گردد و گفته می‌شود که: آیا این سیستم برای ساز ه‌های مرتفع نسبت به سازه های با ارتفاع کمتر بهتر رفتار می کند یا نه؟ روند افزایش یا کاهش تغییر مکان وبرش در طبقات چگونه خواهد بود؟ پارامترهای مهم در تعیین رفتار سازه، در سیستم دوگانه با مهاربند معمول وسیستم دوگانه با مهاربند کمانش‌تاب در طبقات مختلف چگونه تغییر می کند؟

فصل دوم

مهاربند مقاوم در برابر کمانش

۲-۱ مقدمه

در این بخش با انواع سیستم های سازه‌ای مقاوم در برابر زلزله در دو بخش سیستم های مقاوم جانبی کلاسیک و سیستم های مدرن مقاوم در برابر زلزله آشنا می شویم. اساس کار سیستم های کلاسیک، ایجاد مقاومت در برابر بارهای جانبی است در حالی که عملکرد سیستم های مدرن بر مبنا ی کنترل ارتعاشات سازه با اصلاح مشخصات آن شامل تغییر سختی، میرایی و ... استوار است.

۲-۲ سیستم‌های مقاوم جانبی کلاسیک

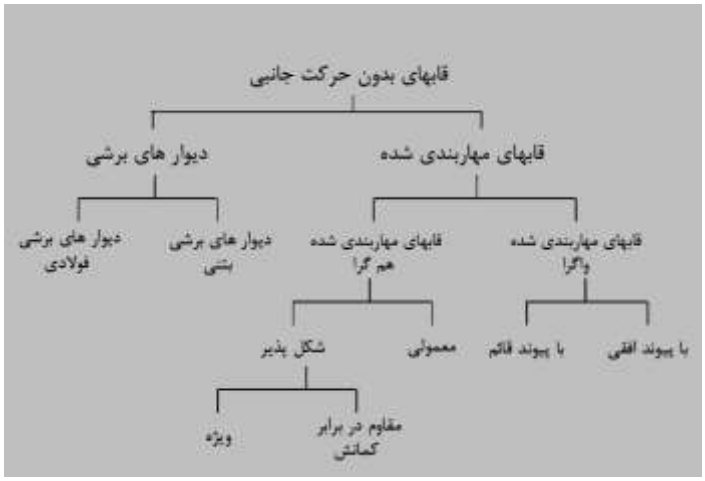
در یک تقسیم بندی انواع سیستم های مقاوم جانبی را می توان به صورت زیر دسته بندی کرد:

۲ ۲ ۱ سیستم سازه‌ای با دیوار باربر

این سیستم قدیمی‌ترین و آشناترین روش ساخت می باشد که امروزه به دلایل آیین نامه ای و نیروهای جانبی زیاد مورد توجه قرار نمی گیرد.

۲ ۲ ۲ سیستم های مهاربندی

در یک دسته بندی انواع سیستم های مهار بندی(قاب‌های بدون حرکت جانبی) را می توان بدین صورت داشت:

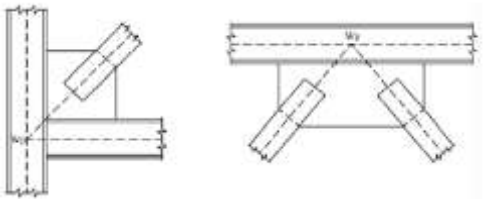


شکل ۲-۱- انواع سیستم های مهاربندی[۱۰]

در این قسمت به توضیح مختصری درباره هر کدام از این سیستم ها می پردازیم.

۱- قاب‌های مهاربندی شده همگرای معمول($OCBF$):

در این قاب‌ها تار خنثی در اعضای مختلف در هر اتصال از یک نقطه مشخص عبور می کند.



شکل ۲-۲- اتصال مهاربندهای هم محور[۱۰]

این سیستم از قدیمی ترین سیستم های سازه ای بوده که مورد توجه مهندسین در سالهای قبل و حتی امروزه میباشد. در این روش بارهای ثقلی بر قاب مفصلی وارد شده و به دلیل مفصلی بودن قاب سازه معین بوده و به صورت استاتیکی تحلیل میشود و بارهای جانبی بر مهاربندهای آن وارد شده و مهاربندها به روش‌های تقریبی یا دقیق قابل تحلیل است.لذا در سالهای دور به دلیل عدم وجود حسابگرهای ماشینی در سازه‌ها از این سیستم بیشتر استفاده می شد. آسیب‌های متعدد به قاب‌های با مهاربند همگرای مرسوم در زلزله‌های گذشته مثل زلزله سال ۱۹۸۵ مکزیکو و لوماپیتا در سال ۱۹۸۹ و نورتریج در سال ۱۹۹۴، توجه به ظرفیت تغییرشکل نهایی این گروه از سازه ها را افزایش داده است. چندین علت برای عملکرد ضعیف در قاب‌های مهاربندی متعارف (به عنوان مثال) در زیر بیان می‌شود:

- اینگونه مهاربندها دارای ظرفیت استهلاک انرژی و شکل پذیری محدودی هستند و اتصالات آن ها معمولاً رفتار ترد و شکننده را نشان داده است.

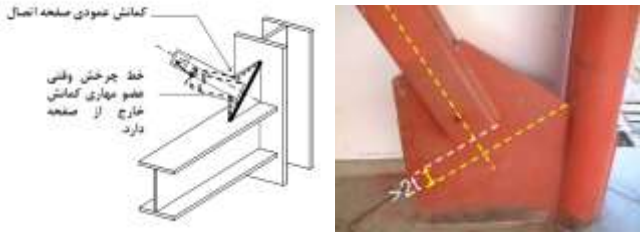
- رفتار هیسترتیک اینگونه مهاربندها دارای آشفتگی بوده و مشخصات غیرمتقارنی در مقابل فشار و کشش ارائه می‌نمایند.

- بخش عمده‌ای از مقاومت آن‌ها در بارگذاری یکنواخت و یا سیکلی مربوط به ناحیه غیرالاستیک از بین می‌رود.

به طور کلی می توان گفت رفتار آشفته این گونه سیستم‌های مهاربندی نتیجه ی تفاوت بین نیروها و تغییر شکل های داخلی پیش‌بینی شده با استفاده از روش‌های طراحی الاستیک متعارف با شیوه آنالیز غیرخطی واقع بینانه تر می‌باشد. اثر چنین تفاوتی در دو چیز نشان داده خواهد شد : یکی مهاربندهای انتخاب شده برای بعضی طبقات قوی تر از مقدار مورد نیاز بوده و دیگر این که توزیع نیروهای طراحی در تیرها و ستون ها اغلب خیلی متفاوت با آن ها در هنگام یک زلزله واقعی می باشد. این تفاوت‌ها سبب می‌شوند آسیب های ناشی از زلزله روی بعضی از طبقات که ضعیف تر هستند متمرکز شوند . هم‌چنین لازم به ذکر است که کمانش جانبی مهاربندهای مرسوم ممکن است باعث آسیب‌های اساسی در المان‌های غیرسازه‌ای مجاور گردند[۱۲].

۲- قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه($SCBF$):

پیکربندی این قاب‌ها مانند $OCBF$ است اما هدف از ابداع این نوع قاب‌ها افزایش شکل‌پذیری کل سیستم می باشد. در این سیستم کمانش عضو مهاری از داخل از صفحه با تمهیداتی به خارج از صفحه تبدیل گردیده است . با این عمل شرایطی فراهم می گردد تا نوعی مفصل پلاستیک برای استهلاک انرژی در سازه ایجاد گردد. مفصل بوجود آمده در صفحه اتصال است واز نوع خمشی است.



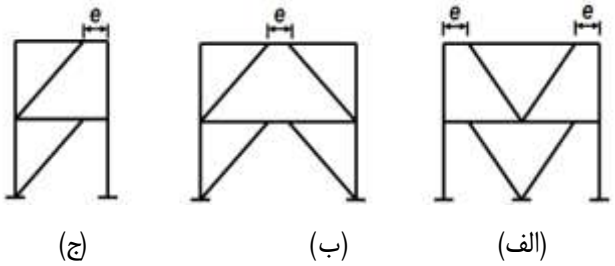
شکل ۲-۳- صفحه اتصال در مهار بند *SCBF* [۱۳]

۳ - قاب‌های مهاربندی شده خارج از مرکز(*EBF*):[۱۴]

در قاب‌های فولادی با مهاربندی واگرا (*EBF*)، بادبند به جای برخورد به محل اتصال تیر و ستون، به تیر برخورد می کند یا آنکه نقاط اتصال دو بادبند در روی تیر از هم فاصله دارند . به عبارت دیگر در این سیستم محل اتصال اعضای مهاربند بطور عمد در محل تلاقی تیر و ستون قرار نمی گیرد و در نتیجه از پیچیدگی محل اتصال جلوگیری می شود. قسمتی از تیر که بین محل اتصال بادبند و محل اتصال تیر به ستون، یا بین نقاط اتصال دو بادبند در روی تیر قرار دارد، تیر پیوند نامیده می‌شود. در بعضی از موارد از کلمات بادبند خمشی، خارج از مرکز و برون محور برای نامگذاری این نوع بادبندها استفاده می‌شود. این نوع مهاربندی در ابتدا فقط برای کنترل تغییر مکان‌های جانبی و رفع محدودیت‌های معماری مورد توجه بود و به رفتار واقعی آن توجهی نشده بود، اما با پیشرفت علم مهندسی سازه و توجه به مفاهیمی همچون شکل پذیری و ظرفیت جذب و استهلاک انرژی سازه ها، این سیستم به عنوان جایگزینی مناسب برای سیستم مهاربندی همگرا مطرح گردید. پیشرفت این سیستم مرهون تحقیقات گسترده و دامنه‌دار آقای پوپوف و انجام آزمایش های مختلف به رهبری ایشان در این زمینه می باشد. تحقیقات آقای پوپوف و همکارانشان در سال ۱۹۷۷ میلادی در مرکز تحقیقات زلزله ی دانشگاه برکلی (*EERC*) آغاز شد. نتیجه‌ی این تحقیقات مطرح شدن این سیستم به عنوان یک سیستم مطلوب در اکثر آیین‌نامه‌های ساختمانی و ارائه ضریب رفتار بالا برای این سیستم می‌باشد.

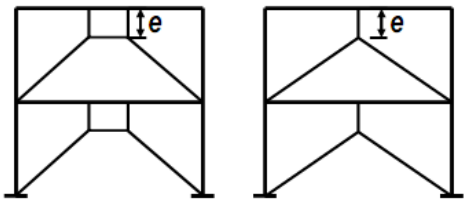
قاب‌های مهاربندی شده‌ی واگرا یک سیستم مقاوم در برابر زلزله می‌باشندکه با تشکیل گسترده‌ی مفصلهای پلاستیک، مقدار قابل توجه‌ای از انرژی مستهلک می گردد. این سیستم توانایی ایجاد سختی مناسب در ناحیه ی غیرخطی برای مقابله با زلزله های کوچک را دارد. شکل‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی خوب در ناحیه‌ی غیرخطی برای مقابله با زلزله‌های شدید از مشخصه‌های این سیستم است. رفتار غیرارتجاعی قاب‌های مهاربندی شده ی واگرا شدیداً وا بسته به طول تیر پیوند، نسبت به مقاومت خمشی به برشی آن، رعایت ضوابط مهارجان تیر پیوند و ... می‌باشد، بر همین اساس آزمایش های زیادی در این زمینه انجام شده است که بزرگترین آنها آزمایش یک ساختمان اداری ۶ طبقه با مقیاس واقعی در ژاپن در سال ۱۹۸۸ میلادی می‌باشد. این آزمایش بطور مشترک توسط آمریکا و ژاپن انجام شد و نتایج بسیار جالبی نیز در برداشت.

اولین ساختمان در سال ۱۹۸۰ میلادی با این نوع بادبند ساخته شد که ساختمان ۱۹ طبقه‌ی بانک آمریکا درسان دیگو کالیفرنیا بود. رفتار این ساختمان در زلزله ی ۱۷ اکتبر سال ۱۹۸۹ لوماپتیا مناسب بود. با شناخته شدن مزیت‌های منحصر به فرد این نوع بادبند، بعد از دهه‌ی هشتاد میلادی ساختمان‌های متعددی با این سیستم ساخته شدند و رفتار مناسبی در زلزله های شدید از خود نشان دادند که از جمله ی آنها می توان ساختمان ۴۴ طبقه‌ی امباکادرو در سانفرانسیسکو را نام برد . امروزه استفاده از قاب‌های *EBF* به عنوان یک راه موثر و اقتصادی در طراحی سازه های فولادی در برابر زمین لرزه بشمار می رود. طبق تحقیقات جدید، در حال حاضر تیرهای پیوند فقط در یک انتهای مهاربند قرار می گیرند و مهاربند در رأس دیگر به طور هم مرکز به محل اتصال تیر و ستون وصل می‌شود .



شکل ۲-٤- مهاربندهای واگرا با تیر پیوند افقی(*H-EBF*) [۱۰]

مهاربند قطری نشان داده شده در شکل (۲-۴-ج) برای دهانه‌های کوچک استفاده می شود، بطور کلی بهتر است این نوع قاب به صورت جفت‌هایی که در خلاف جهت یکدیگر بادبندی شده اند بکار رود تا بارهای رفت و برگشت را به نحو مطلوب تحمل کند. برای دهانه‌های بزرگتر سایر اشکال نشان داده شده در شکل (۲-۴) می‌توانند استفاده شوند. شکل (۲-۴- ب) معمولاً بهترین است، زیرا علاوه بر شکل متقارن، تیر پیو ند به ستون متصل نمی باشد و از شکل گیری ممانهای بزرگ (حدود یا برابر ممان پلاستیک) در نزدیکی ستون و از هر مسأله ی محتملی که در ارتباط با اتصال تیر پیوند به ستون وجود دارد اجتناب شده است. تمامی موارد نشان داده شده در شکل های (۲-۴) مربوط به حالت‌هایی است که تیر پیوند بصورت افقی می باشد، در بعضی از نوشته‌ها دسته ی دومی برای سیستم های واگرا در نظر می گیرند که در آنها تیر پیوند بصورت قائم قرار گرفته است و به آنها سیستم‌های واگرا با تیر پیوند قائم می گویند. در شکل (۲-۵) نمونه‌ای از این نوع قاب‌ها نشان داده شده است . این دسته از بادبندهای واگرا از کاربرد کمتری، بویژه در ساختمان ها، شاید بعلت نوپا بودن آنها در مقایسه با شکلهای (۲-۴) برخوردارند. واضح است که در تمامی حالات مختلف اعم از تیر پیوند افقی یا قائم، مهمترین قسمت تیر پیوند است و می بایست ضوابط خاصی را برای آن رعایت کرد.



شکل۲-۵- مهاربندهای واگرا با پیوند قائم(*V-EBF*) [۱۰]

البته با وجود محاسن ذکر شده، سیستم‌های EBF دارای معایبی نیز هستند که مهمترین آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

- هزینه اجرای بادبندهای واگرا کمی بیشتر از هزینه‌ی اجرای بادبندهای همگرا می‌باشد.
- عدم قابلیت تعویض آسان تیر پیوند پس از یک زلزله ی شدید، چرا که تیر پیوند بخشی از قاب اصلی است که تعویض آن به سهولت میسر نخواهد بود و ترمیم تیر پیوند در بسیاری از موارد مستلزم تعویض کامل تیر اصلی است.
- از آنجا که در این سیستم به منظور امکان ایجاد تسلیم و ن تیجتاً اتلاف انرژی بهتر است اتصال تیر به ستون و المان های قطری به تیر صلب باشد لذا مشکلات مربوط به اجرای اتصالات صلب در اجرای صحیح این سیستم‌ها مطرح می‌باشد.
- به منظور فعال کردن ظرفیت استهلاک انرژی پیوندهای برشی، المان های قطری سنگین مورد نیاز است که این المان‌های سنگین فقط در هنگام اعمال بارهای جانبی شدید به کار خواهند افتاد.
- در مقایسه با سیستم مهاربندی کمانش ناپذیر(BRBF) دارای شکل‌پذیری و ظرفیت استهلاک انرژی کمتر و تغییر مکان بیشتر می‌باشد و در نتیجه دارای خسارات غیرسازه‌ای بیشتری است.

۴ – قاب‌های مهاربندی‌شده با دیوار برشی فولادی(*SPSW*):[۱۵]

صفحات بر خلاف ستون ها که موقعی که به بار بحرانی کمانشی خود می رسند،کمانش کرده وگسیخته می گردند، بعد از کمانش نیز قدرت باربری زیادی از خود نشان می دهند. همین رفتار پس از کمانش صفحات باعث شده تا از آنها بیشتر استفاده شود.اخیراً از صفحات فولادی به عنوان دیوار برشی فولادی در کشورهای آمریکا وژاپن استفاده شده است. اساس ایده دیوار های برشی فولادی،بهره گیری از میدان کشش قطری است که پس از کمانش ورق فولادی در آن ایجاد می گردد . اولین کار جدی برای بررسی مقاومت پانلهای بر شی پس از کمانش جان آنها ، توسط واگنر در سال ۱۹۳۱ انجام گرفت.پس از وی دانشمندان بسیاری چون کوهن، باسلر، راکی، پورتر بر روی میدان کشش قطری تیر ورقها مطالعه نمودند.

برای دیوار برشی فولادی روش‌های تحلیل وطراحی مختلفی وجود دارد، از جمله: تشابه با دیوار برشی معمو لی، تشابه با مهاربند کششی در قاب مهاربندی شده، تشابه با تیر ورق، تقسیم به نوار های کششی، استفاده از تئوری صفحات ارتوتروپ.

صرفه‌جویی در مقدار مصرف فولاد، کاهش هزینه کلی فنداسیون، افزایش سرعت اجرا، شکل پذیری وجذب انرژی بالا، افزایش فضای مفید ساختمان ازمزایای سیستم دیوار برشی فولادی می باشد. در عین حال دو عامل مانع از گسترش اجرای این سیستم باربر جانبی شده است: کمبود اطلاعات مربوط به طراحی و کمبود اطلاعات راجع به رفتار لرزه ای این سیستم.

۵ – قاب‌های مهاربندی شده با مهار بند کمانش ناپذیر(*BRBF*):

در زلزله های اخیر نظیر زلزله مکزیکو، لوماپرتیا، نوتریج و ... در مهاربندهای همگرا آسیب هایی رخ داد. عملکرد ضعیف این سیستم چندین دلیل دارد. این بادبندها ظرفیت اتلاف انرژی و قابلیت شکل پذیری محدودی دارند ودر نتیجه منجربه شکست ترد سازه می شوند. رفتار هیسترزیس بابندهای فولادی بسیار پیچیده است که دلیل این پیچیدگی، غیر یکسان بودن رفتار مهاربند در کشش و فشار و همین طور کاهش مقاومت آن هنگام فشار می باشد.

از آنجایی که بسیاری از مشکلاتی که در بادبندهای هم مرکز ایجاد می شود به دلیل تفاوت در ظرفیت کشش ی و فشاری بادبند است، تحقیقات زیادی ا نجام شده تا بادبند رفتار الاستوپلاستیک ایده آلی از خود نشان دهد . یکی از شیوه ها برای رسیدن به تسلیم فولاد، استفاده از مکانیزم خارجی در محل کمانش است ، در این حالت هسته مرکزی مستقل از مکانیزم مقاوم در کمانش، می تواند تغییر طول دهد. به اقتضای مقاومت مواد و سطح و طولی از هسته که انتظار می رود در حالت الاستیک باشد و به تسلیم برسد، دامنه وسیعی از سختی و مقاومت برای بادبند می تواند حاصل شود. از آنجایی که از کمانش کلی و جزئی اجتناب می شود، ظرفیت غیر الاستیک زیادی حاصل می گردد [۱۶]و[۳۶]. در مجموع افزودن مهاربند مقاوم در کمانش به قاب باعث بهبود شکل پذیری، سختی و مقاومت سازه می شود. قاب‌های با مهاربند کمانش تاب از طریق تسلیم هسته فولادی مهاربندها در کشش و فشار، انرژی لرزه ای سیکلی را مستهلک می نمایند. این شکل استهلاک انرژی شکل پذیری تجمعی بسیار زیادتری را نسبت به قاب‌های با مهاربند همگرای متداول و مهاربند همگرای ویژه عرضه می کند. علت این امر آن است که کمانش در مهاربندهای معمولی، به شدت توانایی استهلاک انرژی را کاهش می دهد.در بخش های بعد درباره مهاربند کمانش‌تاب و سیستم مهاربندی آن، مفصل تر صحبت خواهیم کرد.

۲-۲-۳ سیستم قاب خمشی

یکی از رایج ترین شیوه ها برای مقابله با نیروهای زلزله استفاده از قاب خمشی در سازه است . بعد از جنگ جهانی دوم اجرای سازه‌های بتنی آغاز شده و ساختمانهای بتنی به دلیل اجرای هم زمان قاب آن به فرم قاب خمشی ساخته میشود البته میتوان سازه‌های فلزی را نیز به فرم قاب خمشی اجرا نمود . به هر حال در قاب خمشی نیروهای ثقلی و جانبی در تکیه گاههای تیرها لنگر خمشی ایجاد میکند و نیز تیرها و ستونها در تحمل تمامی نیروهای وارده باهم وارد عمل می شوند لذا تحلیل المانهای این نوع قاب‌ها باید همزمان انجام گیرد.از آنجایی که قاب‌های خمشی در هنگام وقوع زلزله های شدید متحمل جابجایی زیادی می

شوند، در هنگام طراحی باید محدودیت جابجایی میان طبقه ای که باعث بروز مشکلاتی نظیر شکست ترد یا شکل پذیر اتصالات تیر و ستون می شود را مد نظر قرار داد. در این نوع سازه‌ها خرابی های زیادی در اعضای غیر سازه ای ایجاد می شود[۱].

۲-۲-٤ سیستم دوگانه

گاهاً نیروهای جانبی به قدری زیاد بوده که المانهای تیر و ستون قاب خمشی به تنهایی قادر به تحمل آن نمی باشد لذا از مهاربندهای مختلف برای کمک به آنها استفاده می شود که نوع این مهاربندها ممکن است فلزی بوده و یا از دیوارهای برشی بدین منظور استفاده شود به هر حال باید ۳۰ درصد بارهای جانبی را خود قاب خمشی تحمل نماید (دیوارهای برشی خود انواع مختلفی دارند مثلا: دیوار برشی با المان مرزی – بدون المان مرزی – با باز شو – بدون باز شو – دیوار برشی کوپل و....)[۱].

۲-۳ سیستم‌های مدرن مقاوم در برابر زلزله

کنترل ارتعاشات سازه‌ها، بخشی از مهندسی سازه– زلزله است که هدف آن، کاهش پاسخ لرز ه‌ای سازه در اثر تحریک زلزله می باشد. این کاستن می تواند به طریق کاهش نیاز لرزه ای یا افزایش ظرفیت و یا با استفاده از هر دو صورت گیرد . امروزه پژوهشگران بسیاری در جهان به منظور کنترل ارتعاشات سازه ای در برابر نیروهای زلزله به سیستم های مستهلک‌کننده انرژی روی آورده‌اند. تقویت لرزه‌ای سازه‌ها نیز چون به منظور بهبود عملکرد لرزه ای سازه‌ها صورت می گیرد به نوعی می تواند بعنوان کنترل ارتعاشات سازه‌ای به حساب آید.

۲-۳-۱ انواع سیستم‌های کنترل ارتعاشات

سیستم‌های کنترل ارتعاشات را می‌توان براساس نحوه عملکردشان به چهار دسته تقسیم کرد.

۱- کنترل غیرفعال (*Passive control*)

۲- کنترل فعال (*Active control*)

۳- کنترل نیمه‌فعال (*Semi- active control*)

۴- کنترل مرکب یا هیبرید (*Hybrid control*)

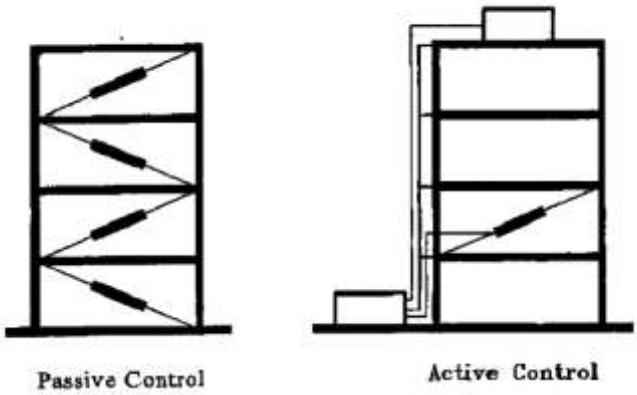
۲-۳-۱-۱ سیستم های کنترل غیرفعال (***Passive Control***)

در این گونه روش‌ها، عامل کنترل کننده ارتعاش در محلی مناسبی از سازه قرار می گیرد و عملاً تا قبل از تحریک سازه، بصورت غیرفعال رفتار می کند. با شروع تحریک (مثلاً زلزله) سیستم کنترلی به کار افتاده و عملکرد کنترلی خود (اعم از تغییر سختی، پریود، میرایی یا جرم) را در حین تحریک انجام می دهد و پس از خاتمه تحریک، مجدداً به حالت غیرفعال باز می گردد، که بدلیل جذب بخشی از انرژی ورودی به سازه، احتمالاً خرابی جزئی یا کلی در آن رخ خواهد داد . تکنیکهای زیادی از جمله تکنیک معروف و مرسوم جداسازی پایه (*Base Isolation*) مستهلک کننده‌های انرژی چون میراگرهای اصطکاکی، تسلیمی، ویسکوز، ویسکوالاستیک، جرم و مایع و مایع ستونی هماهنگ شده از جمله روش‌های کنترل غیرفعال محسوب می‌شوند. در واقع مشخصه‌ی اصلی این گونه سیستم‌ها آن است که عملاً در زمان تحریک سازه، نوع عملکرد سیستم کنترل غیرفعال عوض نشده و خواص آن از خارج سیستم قابل تغییر نمی باشد (شکل۲-۶)[۱۷]. هنگامی که مد اول سازه چند درجه آزادی مود غالب سازه

[۱] . گاهنامه مهندسی عمران- به نقل از سایت انجمن عمران دانشگاه صنعتی شاهرود.

باشد، می‌توان به راحتی با استفاده از میراگر جرمی پاسخ سازه در برابر ارتعاشات ناشی از زلزله را کاهش داد . همچنین میراگرهای جرمی بهترین گزینه برای کاهش ارتعاشات ناشی از زلزله برای سازه‌های بلند مرتبه‌ای چون برج‌های مخابراتی هستند[۵۵] .

مشاهده شده که این سیستم ها، بدلیل ثابت بودن خواص دینامیکی از جمله سختی، میرائی، جرم و فرکانس، تا حدی به فرکانس و دامنه تحریک ورودی به سازه و گاه به دما حساس بوده که در میزان کارایی آنها برای حالاتی مثل زلزله که تحریک ورودی به طور دقیق قابل پیش بینی نیست، تأثیر می گذارد. روش‌هایی از جمله استفاده از ترکیبی از سیستم ها به منظور کاهش این حساسیت ابداع و به کار گرفته شده است . با این حال روش کنترل غیرفعال از دیگر روش‌ها قابل اعتمادتر، و بدلیل سهولت در نصب و ترمیم و نگهداری و هزینه پائین تر، از قابلیت کاربرد بیشتری برخوردار است و هم اکنون سازه‌های بسیاری در دنیا به روش غیرفعال، کنترل ارتعاشی می‌شوند[۱۷].



شکل۲-٦- نمونه شماتیک کنترل فعال وغیر فعال

روش‌های کنترلی غیرفعال:[۱۱]

بطور کلی ایده‌های زیر در تقویت و کنترل غیرفعال سازه‌ها مطرح است:

۱) افزایش ظرفیت با افزایش مقاومت و سختی سازه

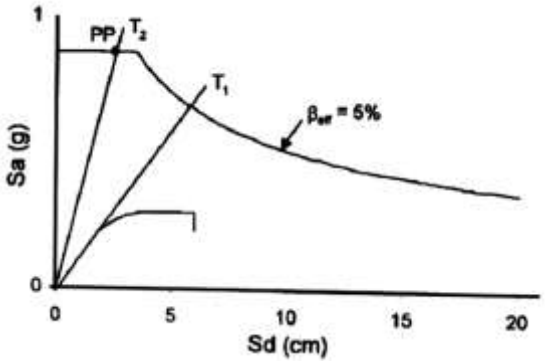
۲) کاهش نیاز با افزایش پریود ارتعاشی سازه

۳) کاهش نیاز با افزایش میرایی و ظرفیت استهلاک انرژی سازه

از جمله روش‌های سازگار با هر یک از ایده‌های مذکور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

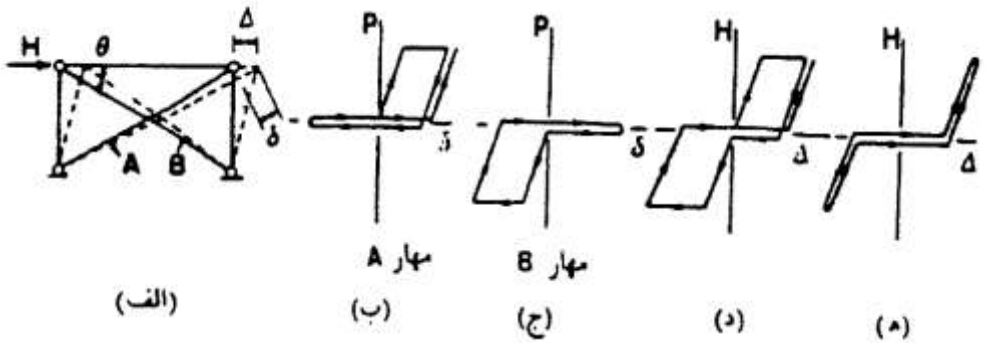
۱ - استفاده از مهاربند فولادی هم مرکز (*CBF*) [۱۱]

این تکنیک که جزو اولین و ابتدایی ترین روش‌های کنترل غیرفعال بحساب می آید، به روش تقویت سنتی موسوم است . این سیستم بخاطر دارا بودن سختی بالا، تأثیر بسزایی در کاهش جابجایی و دریفت طبقات دارد . عملکرد لرزه‌ای سازه‌های تقویت شده با این شیوه در شکل ۲-۷ نشان داده شده است . با توجه به شکل در این شیوه تقویت بخاطر کاهش پریود ارتعاشی و الاستیک ماندن اعضای سازه‌ای و رفتار خطی طیف ظرفیت، نیاز لرزه ای بسیار بالا خواهد بود. از این‌رو سازه بایستی به حداکثر نیاز لرزه‌ای پاسخگو باشد. این امر موجب افزایش برش پایه و نیروهای داخلی در اعضای سازه ای می‌گردد. در این شیوه تقویت بخاطر افزایش بار محوری ستونهای مهاربندی شده، معمولاً تقویت این ستون ها و پی ریزی آنها اجتناب‌ناپذیر است که این امر هزینه‌بر و گاهاً غیراجرایی است.



شکل۲-۷- عملکرد لرزه ای تقویت با *CBF* [۱۱]

کمانش مهاربند فشاری در مهاربندهای همگرای معمول و نیز رفتار هیستر زیس نامتقارن این مهاربندها در فشار و کشش باعث می شود که نتوان از تمام مقاومت مهاربند به طور کامل استفاده کرد. علت استهلاک انرژی هیسترزیس ناچیز سیستم مهاربندی CBF را می‌توان مطابق شکل ۲-۸ توجیه کرد.

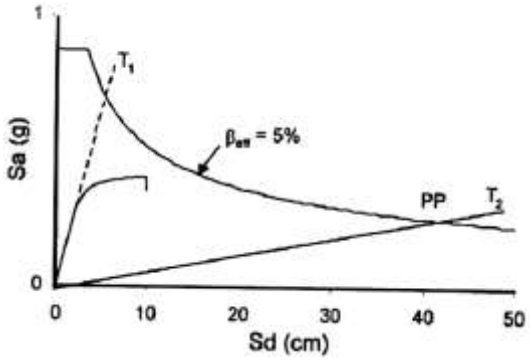


شکل۲-۸- تفسیر علت استهلاک کم انرژی در سیستم*CBF* [۱۱]

در این شکل P و Δ به ترتیب بار افقی تحمل شده توسط مهاربندی و دامنه ارتعاش افقی قاب است . مهاربندها لاغر و با مقاومت کمانشی ناچیز فرض می گردند. با توجه به اینکه تغییر شکل پلاستیک پسماند فقط در حالت کشش رخ می دهد و در مرحله برگشت، بعلت کمانش، تغییر شکل پلاستیک مرحله قبل جبران نمی‌شود، از این رو در سیکلهای متوالی با افزایش دامنه ارتعاش، این تغییر شکلهای پلاستیک بصورت تجمعی در مهاربند جمع شده و باعث ازدیاد طول مهاربند می گردد. از این رو مطابق شکل (د) مهاربند فقط وقتی اتلاف انرژی دارد که تغییر طول پلاستیک جدیدی را متحمل گردد . بطوریکه اگر مطابق شکل (ه) مهاربند تحت اثر بارهای تکراری با دامنه تغییر مکان ثابت باشد، بطوریکه منجر به تغییر طول پلاستیک جدیدی نشود، به هیچ وجه اتلاف انرژی نخواهد داشت.

۲ - استفاده از جداگرهای لرزه‌ای [۱۱]

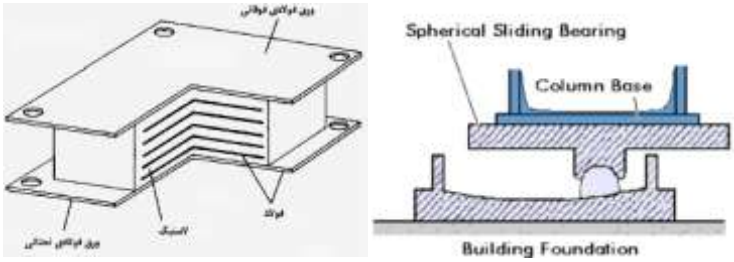
در این شیوه تقویت معمولاً از وسایلی با سختی برشی ناچیز بین سازه و فونداسیون استفاده می گردد. این امر سبب افزایش قابل توجه پریود ارتعاشی سازه می گردد. با صرفنظر از میرایی، عملکرد لرزه ای این روش کنترل در شکل ۲-۹ نشان داده شده است.



شکل۲-۹- عملکرد لرزه ای جداسازی لرزه ای[۱۱]

بنابراین با افزایش قابل توجه پریود ارتعاشی سازه، نیاز لرزه ای (S_a) در نقطه عملکرد کاهش می یابد. که در اثر آن سازه الاستیک مانده و آسیبهای سازه‌ای کاهش می‌یابد. اگر چه در این روش، دریفت طبقه‌ای کاهش می‌یابد ولی جابجایی صلب سازه افزایش می‌یابد. لذا وسایل جداگر لرزه‌ای بایستی از ظرفیت تغییر شکل جانبی بالایی برخوردار باشد. این روش کنترل، معمولاً نیاز به ملاحظات خاصی در امر پی سازی دارد و بکارگیری آن برای تقویت لرزه ای سازه‌های موجود از نظر اقتصادی و اجرایی به صرفه نیست. همچنین این شیوه کنترل معمولاً برای ساختمان‌های با پریود کوتاه (ساختمان‌های کم‌طبقه با سختی بالا) روی خاک سخت توصیه شده است چرا که برای ساختمان های بلند، که دارای پریود بالایی هستند، استفاده از وسایل جداگر لرزه ای باعث نزدیکتر شدن پریود ارتعاش سازه به پریود غالب زمین لرزه شود و تشدید در سازه رخ دهد . به بیان دیگر مسأله اندرکش بین خاک و سازه در این شیوه تقویت از اهمیت بسزایی برخوردار است.

سیستم های جدا سازی لرزه ای از تنوع بسیار زیادی برخوردار می باشند . سیستم‌های الاستومر (لاستیک طبیعی)، جداگر لاستیکی با هسته سربی (LRB)، لاستیک طبیعی با میرایی زیاد $(HDNR)$، جداگر اصطکاکی پس جهنده $(R\text{-}FBI)$، سیستم آونگ اصطکاکی وسیستم های فنری انواع مختلف سیستم های جداسازی لرزه ای می باشند . در شکل ۲-۱۰ (الف) و (ب) به ترتیب دو نمونه از جداگرهای لرزه‌ای مذکور نشان داده شده است.



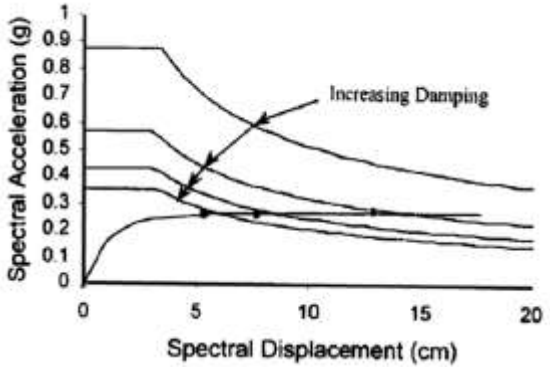
(ب) (الف)

شکل۲-۱۰- دونمونه ازجداگر های لرزه ای[۱۱]

۳ - استفاده از میراگرها یا مستهلک‌کننده‌های انرژی[۱۱]

افزایش میرایی در سازه، مطابق شکل ۲-۱۱، طیف نیاز الاستیک را کاهش داده و موجب کاهش جابجایی نیاز می‌گردد. برای افزایش میرایی سازه ها می توان از میراگرها یا ابزارهای مستهلک کننده انرژی استفاده کرد . بکارگیری میراگرها در سازه باعث می‌گردد که بخشی از انرژی زلزله که صرف ایجاد تغییر شکلهای پلاستیک در سازه اصلی می شود، به صورت‌های گوناگونی

توسط این میراگرها جذب و مستهلک گردد. بدین ترتیب آسیبهای لرزه‌ای فقط در میراگرها متمرکز می‌گردد و بدون اینکه نیازی به تعمیر سازه اصلی باشد، بعد از وقوع زلزله فقط کافیست در صورت نیاز این میراگر تعمیر یا تعویض گردند.



شکل۲-۱۱- تاثیر افزایش میرایی در کاهش نیاز[۱۱]

ابزارهای مستهلک کننده انرژی کلاً به سه دسته تقسیم می شوند:

- میراگرهای وابسته به جابجایی (میراگر فلز- سیلانی و میراگر اصطکاکی)
- میراگرهای وابسته به سرعت (میراگر ویسکوالاستیک و میراگر ویسکوز)
- میراگرهای وابسته به شتاب (میراگر جرم کوکی که در آن انرژی صرف به حرکت درآوردن جرم های صلب اضافی در سازه می گردد و میراگر جرم کوکی مایع که در آن انرژی صرف مواج کردن بشکه ها یا حوضچه های مایع اضافی در سازه می‌گردد).

عملکرد قطعات مستهلک‌کننده انرژی[۱۷]

جهت آشنایی با عملکرد قطعات مستهلک کننده انرژی، لازم است رابطه انرژی ورودی به سیستم مورد توجه قرار داده شود. البته میزان این انرژی وابسته به ویژگی های دینامیکی زلزله، سازه و خاک است که پس از ورود به سازه به صورت های مختلفی تبدیل می‌شود و به شکل زیر می‌باشد:

$$E_i = E_{k+} E_{s+} E_{h+} E_d \qquad (۱-۲)$$

$$E_i = E_{E+} E_D \qquad (۲-۲)$$

در این رابطه E_i قدر مطلق انرژی ورودی به سازه و کار انجام شده به لحاظ برش پایه حاصل از تغییر مکانهای پی سازه است. E_k قدر مطلق انرژی جنبشی سازه، E_s انرژی کرنشی الاستیک سازه، E_h انرژی کرنشی غیرالاستیک سازه یا انرژی پسماند و E_d انرژی میرایی در کل سازه بوده که می تواند مجموعی از انرژی میرایی ذاتی سازه و انرژی مستهلک شده توسط وسایل استهلاک انرژی باشد.

مجموع انرژی‌های جنبشی و کرنشی خطی، انرژی الاستیک سازه (E_E) را تشکیل داده و جمع انرژیهای کرنشی غیرخطی و انرژی میرائی کل سازه، انرژی تلف شده در درون سیستم (E_D) را تشکیل می‌دهند.

در روش‌های متداول طراحی، با بالا رفتن انرژی ورودی، از رفتار غیرالاستیک سازه استفاده می شود که باعث افزایش E_h در رابطه فوق می‌گردد. این عمل بطور غیرمستقیم باعث بالا رفتن نرمی سازه و در نتیجه کاهش انرژی ورودی می گردد. در حقیقت افزایش شکل‌پذیری سازه باعث می‌شود که مقداری از انرژی زلزله منعکس گردیده و انرژی کمتری وارد سیستم شود . البته بدین ترتیب در اعضای سازه‌ای، تغییرشکلهای غیرالاستیک اتفاق می‌افتد که پس از زلزله نیازمند بهسازی خواهند بود.

چنانچه بتوان با افزایش انرژی ورودی، انرژی تلف شده سیستم (E_D) را توسط قطعات مستهلک کننده انرژی، افزایش داد آنگاه رفتار غیر خطی در این قطعات، متمرکز شده ولذا اعضای سازه ای از ایمنی بیشتری برخوردار خواهند گردید . لذا معمولا میراگرهای مستهلک کننده انرژی طوری طراحی می شوند که در صورت افزایش شدت زلزله از حد سرویس، اولین اعضایی باشند که وارد مرحله غیر الاستیک گردیده و با جذب انرژی خود، مانع از آسیب دیدن اعضای سازه ای گردند. بدین ترتیب می توان میراگرهای مستهلک‌کننده انرژی را به عنوان خط اول دفاعی سازه در مقابل زلزله محسوب نمود[۱۷].

۲-۳-۱-۲ سیستم های کنترل فعال (*Active Control*)

در اینگونه روش‌ها، پاسخ سازه توسط اعمال نیروهایی در نقاط مختلف آن به صورت همزمان (*On-Line*) و با توجه به شرایط لحظه‌ای سازه کنترل می شود. این سیستم‌ها همواره آماده برای شروع فعالیت و کنترل ارتعاشات می باشند که اصطلاحاً *Active* نامیده می‌شوند. نحوه کار در آنها (مثلاً در مورد زلزله) معمولاً به این صورت است که سنسورهای دریافت کننده‌ی ارتعاشات زمین در فاصله‌ای از سازه و در پای سازه و در طبقاتی از سازه قرار گرفته و همگی به یک پردازنده مرکزی *CPU* متصل می‌شوند. ارتعاشات زمین و طبقات سازه در هر لحظه به *CPU* منتقل شده و بر روی آنها پردازش صورت می گیرد. شروع فعالیت سیستم کنترلی از مقایسه دامنه ارتعاشات ثبت شده توسط سنسورها با سطحی از ارتعاش که عملاً سازه در آن سطح، نیاز به کنترل دارد آغاز می شود، که به آن لحظه شروع (*Trigger*) می‌گویند. مثلاً چنانچه شتاب زمین از 0.05g بیشتر شود سیستم شروع به کار می کند. سپس پردازنده مرکزی با تجزیه و تحلیل اطلاعات و بر اساس برنامه‌ای که برای آن تعریف شده است، خواص بهینه (*Optimal*) را برای سیستم کنترل‌کننده ارتعاش تعیین و فرمان هایی را به جک‌ها (*Actuators*) می‌دهد که فعالیت خود را آغاز کنند. این محرکها ممکن است جرمی را حرکت داده (مثل *Active Mass Damper*) و یا کابلی را به کشش وادارند (مثل *Active Tendon*) در نهایت ارتعاشات سازه در حالت ایده آل بایستی به صفر برسد، ولی عملاً دستیابی به چنین سیستم کنترلی بدلیل عواملی مانند تأخیر زمانی و یا اشکالات در تخمین صحیح نیروی کنترل کننده، امکان پذیر نیست. بطور کلی، عملکرد سیستم های فعال نسبت به سیستم‌های غیرفعال بخصوص در تحریک های تصادفی مانند زلزله، بهتر ارزیابی شده و این روش در چند سال اخیر در ژاپن و آمریکا در بسیاری از سازه ها بخصوص سازه های بلند و سازه هایی که بر روی زمین‌های با خاک نرم بنا شده و امکان استفاده از تکنیکی مثل جداسازی پایه در آ نها وجود ندارد، و همچنین برای کنترل ارتعاشات سازه ها در برابر باد، استفاده شده و عملکرد مطلوبی از خود نشان داده است و بهینه کردن این روش‌ها همچنان ادامه دارد[۱۷].

یکی از اشکالات روش کنترل فعال، وجود تأخیر زمانی است که ناشی از زمان لازم جهت دریافت و انتقال سیگنال‌ها توسط سنسورها به پردازنده مرکزی، پردازش اطلاعات، ارسال پیام‌ها به محرک و شروع به کار محرک‌ها می‌باشد. این اشکال بخصوص در ابتدای شروع تحریک، جلوه می‌کند و در این مرحله کارایی سیستم کنترل فعال کاهش می‌یابد[۱۷]. به منظور رفع این نقص، از ترکیب دو سیستم کنترل فعال و غیرفعال استفاده می‌شود که در ادامه توضیح داده می‌شود.

۲-۳-۱-۳ سیستم‌های کنترل نیمه فعال (*Semi- active control*)

این سیستم‌ها نمی‌توانند انرژیی را به سیستم کنترل شده اضافه نمایند . اما یکسری خصوصیات مکانیکی دارند که می تواند به منظور بهبود عملکرد آن‌ها به کار گرفته شود. تغییرات در خصوصیات مکانیکی سیستم بر روی عکس‌العمل که از روی پاسخ‌های اندازه‌گیری شده و یا تحریک زمین به دست آمده پایه گذاری شده است. نیروی خارجی به منظور تغییر خصوصیات دستگاه مانند استهلاک یا سختی، و نه به منظور ایجاد یک نیروی کنترل به کار گرفته می‌شود و لذا نیاز به انرژی خیلی کم است. سیستم‌های کنترل نیمه فعال در مقایسه با سیستم های کنترل فعال، ساده تر و اقتصادی تر بوده ولی کارآیی آن ها اندکی کمتر است . این سیستم‌ها در مقابل سیستم‌های کنترل غیرفعال کارآیی بالاتر و مطمئن‌تری دارند. به طور کلی مزیت‌های این دسته وسایل شامل موارد زیر می‌باشد[۱۷]:

- عملکرد بهتر نسبت به مستهلک‌کننده‌های غیرفعال
- تطبیق‌پذیری و سازگاری بیشتر مستهلک کننده‌های نیمه‌فعال بدون نیاز به انرژی زیاد
- قابل اطمینان بودن به علت کارکرد به صورت سیستم مستهلک‌کننده غیرفعال در موقع عدم وجود انرژی.

۲-۳-۱-٤ روش‌های کنترل مرکب یا هیبرید (*Hybrid Control*)

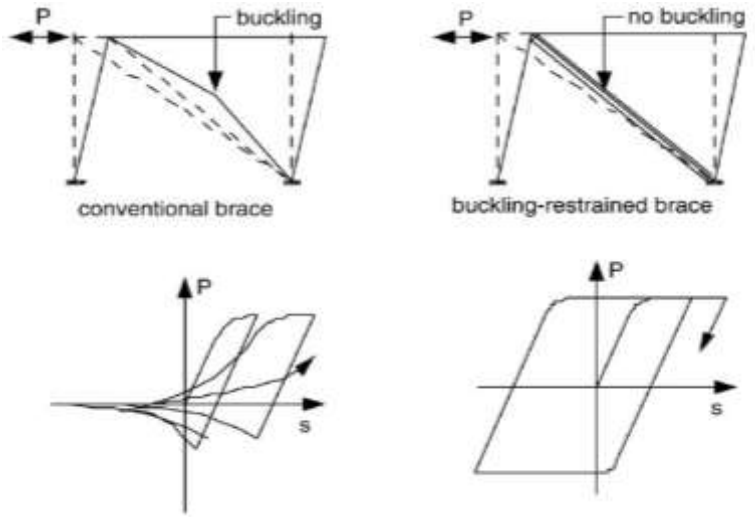
همانطور که ذکر شد این روش شامل دو سیستم کنترل فعال و غیرفعال بصورت توأم می باشد که در ابتدای تحریک، کاهش ارتعاشات سازه توسط سیستم غیرفعال صورت می‌گیرد و در زمانی که دامنه ارتعاشات از یک حد معینی فراتر رود سیستم فعال نیز وارد عمل می‌شود. در اینجا سیستم فعال ممکن است به فعالیت خود ادامه داده و یا در صورت عدم نیاز به آن ، از دور خارج شود. مقایسه نتایج، نشان‌دهنده عملکرد بهینه سیستم کنترل مرکب در کاهش ارتعاشات سازه می باشد و البته هزینه آن نیز بالاتر است[۱۸].

۲-٤ علت روی آوردن محققین به بادبند *BRB*

قاب‌های خمشی، یکی از رایج ترین سیستم های مقاوم جانبی هستند که انعطاف پذیری مناسبی در برابر طرح های معماری بخصوص در مورد تعبیهٔ بازشو دارند. داشتن شکل پذیری و استهلاک انرژی مناسب و تعدیل نیروهای کششی و فشاری سنگین به شالوده از دیگر مزایای این سیستم است. اما از آنجایی که قاب‌های خمشی در هنگام وقوع زلزله های شدید متحمل جابجایی زیادی می شوند، در هنگام طراحی باید محدودیت های جابجایی میان طبقه ای ، که باعث بروز مشکلاتی نظیر شکست ترد یا شکل پذیر اتصالات تیر و ستون می شود را مد نظر قرار داد. در این نوع سازه‌ها خرابی های زیادی در اعضای غیر سازه ای ایجاد می شود. به این منظور استفاده از قاب‌های فولادی با مهاربندهای هم مرکز بسیار مناسب است . امکان اجرای سریع و سادهٔ اتصالات اسکلت، پایین آمدن وزن اسکلت نسبت به قاب‌های خمشی و اقتصادی شدن طرح و محدود بودن تغییر مکانهای جانبی سازه از جمله مزایای سیستم های قاب ساختمانی ساده هستند . علیرغم نکات فوق، در زلزله های اخیر ن ظیر زلزله مکزیکو، لوماپریتا، نورتریج و ... در چنین مهاربندهایی آسیب هایی رخ داد . عملکرد ضعیف این سیستم چندین دلیل دارد . این بادبندها ظرفیت اتلاف انرژی و قابلیت شکل پذیری محدودی دارند و در نتیجه منجر به شکست ترد سازه می شوند . رفتار هیسترزیس بادبندهای فولادی بسیار پیچیده است که دلیل این پیچیدگی، غیر یکسان بودن رفتار مهاربند در کشش و فشار و همین طور کاهش مقاومت آن هنگامی که به طور یکنواخت در فشار یا به طور سیکلیک در محدوده غیر الاستیک بارگذاری می شود، می باشد[۱۲]و[۳۶].

از آنجایی که بسیاری از مشکلاتی که در بادبندهای هم مرکز ایجاد می شود به دلیل تفاوت در ظرفیت کشش ی و فشاری بادبند است، تحقیقات زیادی انجام شده تا بادبند رفتار الاستوپلاستیک ایده آلی از خود نشان دهد . یکی از شیوه ها برای رسیدن به تسلیم فولاد، استفاده از مکانیزم خارجی در محل کمانش است ، در این حالت هسته مرکزی مستقل از مکانیزم مقاوم در کمانش، می تواند تغییر طول دهد. به اقتضای مقاومت مواد و سطح و طولی از هسته که انتظار می رود در حالت الاستیک باشد و به تسلیم برسد، دامنه وسیعی از سختی و مقاومت برای بادبند می تواند حاصل شود. از آنجایی که از کمانش کلی و جزئی اجتناب می شود، ظرفیت غیر الاستیک زیادی حاصل می گردد [۱۶]و[۳۶]. در مجموع افزودن مهاربند مقاوم در کمانش به قاب باعث بهبود شکل‌پذیری، سختی و مقاومت سازه می شود. قاب‌های با مهاربند کمانش‌تاب از طریق تسلیم هسته فولادی مهاربندها در کشش و فشار، انرژی لرزه ای سیکلی را مستهلک می نمایند. این شکل استهلاک انرژی شکل پذیری تجمعی بسیار زیادتری را نسبت به قاب‌های با مهاربند همگرای متداول و مهاربند همگرای ویژه عرضه می کند. علت این امر آن است که کمانش در مهاربندهای معمولی، به شدت توانایی استهلاک انرژی را کاهش می دهد. این پدیده از روی دیاگرام های بار- تغییر مکان هیسترزیس *BRBF* و *CBF*ها تحت بارهای رفت و برگشتی قابل مشاهده است. در شکل۲-۱۲ رفتار هیستریتک مهاربند مقاوم

در کمانش با مهاربند معمولی مقایسه شده است. در صورتیکه مکانیزم مقاوم درکمانش دارای ابعاد مناسبی باشند، هسته می تواند در فشار جاری شده و مقاومت فشاری و کششی یکسانی را با رفتار منظم هیسترزیس تا کرنشهای بالای ۲٪ از خود بروز دهد.



شکل ۲-۱۲- مقایسه رفتار هیسترزیس مهاربند های معمولی و مهاربندهای کمانش‌تاب

در واکنش به رفتار جالب *BRBFs* آیین‌نامه‌های طراحی *BRBF* امروزه شامل *AISC05, SEA/ ASCE05* بوجود آمدند. همچنین این آیین‌نامه‌ها هم به صورت عملی هم به اندازه کافی سخت گیرانه توسعه یافتند تا سطح قابلیت اعتمادی برابر با دیگر سیستم‌های مقاوم در برابر زلزله فراهم کنند[۶]. همانطور که در مورد سیستم‌های کلاسیک و مدرن مقاوم در برابر زلزله صحبت شد، می‌توان گفت بادبندهای *BRB* تلفیقی از هر دو سیستم می باشند. زیرا با شکل بندی به صورت مهاربند یک نوع سیستم مهاربندی کلاسیک است و ثانیاً با داشتن رفتار هیسترزیس مطلوب، یک جاذب انرژی بسیار خوب محسوب می‌شود.

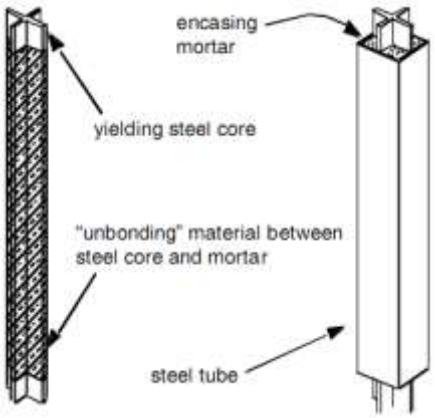
۲-۵ معرفی مهاربندهای کمانش‌تاب

درسال۱۹۷۱ برای اولین بار ایده بادبندهای کمانش‌تاب توسط پروفسور *Yoshino* درژاپن مورد بررسی قرار گرفت و طی سالیان بعد با آزمایشات انجام یافته توسط دیگر دانشمندان، بادبندهای کمانش‌تاب توسعه یافته تا به شکل امروزی خود برسد.

گفته می‌شود در سال ۱۹۸۵ پروفسور *Akira Wada* از موسسه صنعتی توکیو، همکاری مشترکی را با *Nippon Steel Corporation* در توسعه یک المان فشاری که مد گسیختگی کمانشی آن تحت فشار حذف شده است، آغاز نمود [۱۹]و[۴۲]. به روایت دیگر ایده ممانعت از کمانش اعضاء سازه ای توسط یک مهندس هندی به نام بنه سیردهارا (*Benne Sirdhara*) برای جلوگیری از کمانش ستون ها وافزایش باربری آنها در هندوستان مورد مطالعه قرار گرفت [۲۱]و[۴۳]. به هر حال مهاربند کمانش‌تاب، سیستم ثبت شده‌ی مبتکرانه ای است که در آن از کمانش مهاربند ممانعت گردیده و انرژی ناشی از زلزله با تغییرشکل پلاستیک مهاری ها، تحت سیکل های فشاری و کششی در بارگذاری با یک رفتار پسماند پاید ار مستهلک می شود. رفتار متقارن مهاربند این اجازه را می دهد تا مقاومت و سختی آن به گونه‌ای تنظیم شود که حدمطلوب و مجازی از جابه جایی طبقات به همراه بیشینه‌ی جذب انرژی در سازه حاصل گردد.

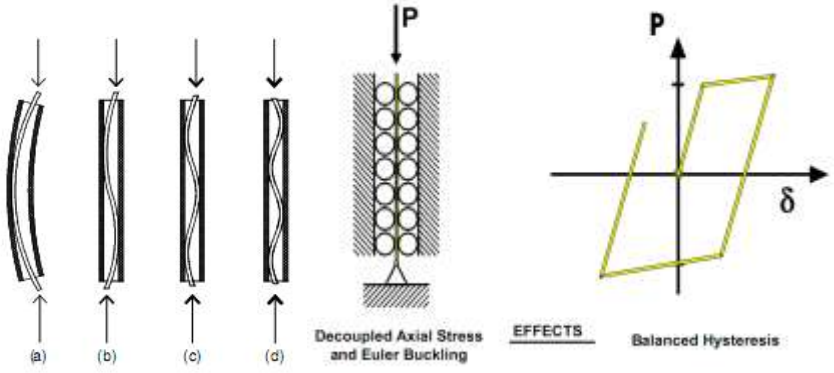
بیشتر از ۴۰ سال است که بررسی انواع مختلف مهاربند مقاوم در کمانش با اشکال ومواد مختلف در ژاپن شروع شده است . این نوع مهاربندها در چند کشور دیگر هم گسترش چشمگیری یافته اند. مفهوم *BRB* ساده است: جلوگیری از کمانش مهاربند بصورتی‌که رفتار یکسانی را در کشش و فشار ارائه کند. این مهاربندها از یک هسته فولادی شکل پذیر تشکیل یافته اند. هسته باید به گونه ای طراحی شود که هم در فشار و هم در کشش به حد تسلیم برسد . برای جلوگیری از کمانش کلی، هسته داخل

یک تیوب فولادی قرار می گیرد و فضای بین تیو ب و هسته فولادی با ملات یا بتن پر می شود (شکل ۲-۱۳). قبل از ریختن ملات، یک ماده غیر چسبنده در فضای خالی بین هسته و ملات قرار می گیرد تا انتقال نیروی محوری از هسته به ملات و مقطع توخالی (تیوب) به حداقل ممکن تقلیل یابد و در صورت امکان حذف شود، چرا که با انت قال بار فشاری به بتن ممکن است این بخش زودتر دچار خرابی شده و هسته نتواند در مدهای بالاتر کمانش کند[۲۳].



شکل ۲-۱۳- شمای کلی مهاربند کمانش‌تاب[۲۲]

مهاربندهای کمانش تاب، حلقه‌های رفتاری هیسترزیس متعادل و کاملی دارند (همان گونه که در شکل۲-۱۲مشاهده می‌شود). ضمناً رفتاری مشابه در تسلیم فشاری و کششی داشته که این رفتار از طریق ممانعت ا ز کمانش قسمت تحت فشار به دست می‌آید. در واقع با این علم قسمتی که بار محوری تحمل می کند از قسمت مقاوم در برابر کمانش (تغییر شکل جانبی) جدا و تجزیه می‌شود. نیروهای محوری توسط هسته فولادی تحمل می‌گردد و قسمت مقاوم در برابر کمانش غلافی است که از فولا د، بتن، مقطع مرکب و یا ساختارهای دیگر بوده و هسته فولادی را در برمی گیرد. در یک طراحی درست و اجرای مناسب از سیستم *BRB*، مفاصل پلاستیک نباید همزمان با کمانش مهاری تشکیل شود[۲۴]و[۴۲].



شکل۲-۱٤- مکانیزم عملکرد مهاربند *BRB*(کمانش در مود های بالاتر در هسته فولادی) [۲۴]

۲-۵-۱ پیکربندی مهاربند مقاوم در برابر کمانش

شکل ۲-۱۵ یک شمای کلی از مهاربند کمانش تاب رایج را نشان می دهد. هسته فولادی شامل سه قسمت می باشد: قسمت جاری شونده محصور شده که یک مقطع کاهش یافته‌ی داخل غلاف است، ناحیه تسلیم نشونده‌ی غلاف‌دار شده با سطح مقطعی بزرگتر نسبت به قسمت جاری شونده، قسمت تسلیم نشونده ی محصور نشده در غلاف که مربوط به ناحیه اتصال مهاربند است که از داخل غلاف بیرون آمده (بخش پیش‌آمده‌ی *BRB*) و به قاب متصل خواهد شد. بامحصور کردن هسته فولادی و ممانعت