

مقدمه مولف

همانگونه که ما در زمین زندگی می کنیم، ضروری است سازه هایی بسازیم که بتوانند در برابر نیروی ثقلی، علاوه بر تقاضای تحمیل شده توسط پدیده های طبیعی نظیر زلزله ها، بادهای قوی و بارش برف سنگین مقاومت کنند. مهندسان سازه عهده دار طراحی ساختمان ها یا پل های موثر و برازنده هستند، در حالیکه متضمن آنند که سازه بطور ایمن در برابر این تقاضاها بتواند بایستد. دستیابی به این اهداف چالش برانگیز نیاز به نبوغ بالایی دارد. با وجود اینکه عمده سازه ها از چوب، بتن مسلح یا فولاد تشکیل می شوند، که تمام آنها مصالح اقتصادی با مشخصات سازه ای خوب هستند، ثابت شده فولاد بطور منحصر بفردی مفید است. اوزان واحد چوب، بتن مسلح و فولاد 0.5، 2.4 و 7.85 تن بر متر مکعب می باشند. با این حال، چوب سختی کمی داشته و در اتصالات بویژه نسبتاً ضعیف است. در حالیکه بتن اقتصادی بود و مقاومت فشاری آن 30-10 % فولاد است و از مقاومت کششی آن تقریباً چشم پوشی می شود. برای غلبه بر این محدودیت ها، فولاد در اتصالات یا برای تامین ظرفیت کششی، استفاده می شود. فولاد یک منبع معرکه ای بوده، سختی 10 برابر بیشتر از بتن و مقاومت های کششی و فشاری برابر و شکل پذیری بالایی را تامین می کند. برای سازه های بتن مسلح یا چوبی، مقاطع توپر نظیر اشکال دایره ای یا مستطیلی عموماً نیاز می باشند. با این حال، اعضای فولادی را می توان به آسانی در همه انواع و شکل های مختلف من جمله مقاطع I/H، نبشی، ناودانی، لوله و جعبه ای نصب نمود. این امر به استفاده موثر از مصالح منجر شده و سازه های سبک تری تولید می کند. برای بهره مندی از مزایای کامل فولاد به عنوان مصالح سازه ای، ضروری است که برخی معیارهای طراحی مهم را که در زیر خلاصه شده اند در نظر بگیریم:

- 1. دیتیل بندی:** فولاد در بدو امر به صورت ورق های فولادی گرم نورد شده در کارخانه فولاد تولید شده و سپس در کارخانه اسکلت فولادی برای دستیابی به هندسه مطلوب عضو، برش خورده، وصله و خم می خورد. قاب های مدرن هم با پیچ کردن و هم جوشکاری مونتاژ می شوند که به دوره های زمانی کوتاه ساخت (بویژه در مقایسه با سازه های بتنی) منجر می شود. بنابراین، یک سازه دارای دیتیل بندی خوب و ملاحظات فرآیند ساخت و ساز برای دستیابی به یک طرح خوب، ضروری است.
- 2. خیز:** با وجود اینکه مشخصات مصالح فولاد نظیر سختی و مقاومت نسبتاً بزرگ بوده، مساحت مورد نیاز و ممان اینرسی عموماً در قیاس با سازه های چوبی و بتن مسلح کوچکتر هستند. بنابراین، اعضای فولادی اغلب لاغرتر، با عملکردی که بواسطه خیز عضو، تغییرشکل ها یا ارتعاشات کلی سازه ای به ما تحمیل می شود. به علاوه، کمانش پیچشی جانبی و خمشی مسائل حیاتی هستند و باید توجه به کمانش موضعی (هنگامیکه ورق در مقایسه با عرض نازک است) معطوف گردد.
- 3. تنش:** کلاس های مقدماتی مهندسی سازه به طور مکرر روی توزیع تنش به علت ممان های خمشی و نیروی محوری تمرکز می کنند. با وجود اینکه مقاومت امری ضروری است، نیاز است که کنترل های متعدد

دیگری نیز برای اجتناب از ناپایداری یا خیزهای بزرگ ناخواسته انجام شود. کمانش اعضای فولادی لاغر تحت فشار از حداقل سال 1799 هنگامیکه Iron Bridge در انگلستان ساخته شد، زنگ خطر را برای مهندسان به صدا در آورده است. یکی از مشهورترین نظریه ها در خصوص رفتار کمانش مدل Shanley می باشد که ظرفیت کمانشی غیرالاستیک اعضای ستون را در نظر می گیرد.

فشاری محوری خالص تنش های یکنواخت تولید می کند، ولی برای اطمینان از پایداری، سختی خمشی نیز نیاز است. با این حال، اعضای دارای نسبت لاغری متوسط، زیر حد مقاومت کمانش الاستیک اوایلر دچار کمانش خواهند شد. این امر به دلیل ممان های ناپایدار کننده $P-\delta$ بوده که ناشی از نواقص هندسی، علاوه بر تسلیم زود هنگام به دلیل تنش های پسماند فشاری در حد نهایی ظرفیت سطح مقطع عضو می باشد. در نتیجه، مقاومت فشاری اعضای غیر فشرده پیش از نیروی محوری اسمی تسلیم خرابی به بار می آورد.

رفتار کمانشی اعضای سازه ای حتی تحت بارگذاری تک محوری یکنواخت پیچیده می باشد. مهاربندهای مورد استفاده برای مقابله با نیروهای لرزه ای تحت اثر بارهای سیکلی هستند که رفتار کمانشی را بیش از پیش پیچیده می کند. تقاضاهای شکل پذیری پلاستیک می تواند با بزرگ کردن یا کوتاه نمودن مهاربندها برای افزایش بار کمانشی محدود شود ولی این امر می تواند تقاضاهای بزرگتری را روی تیرها، ستون ها و پی تحمیل کند. مقاومت های فشاری و پیچشی متعادل نشده تقاضاهای بزرگی روی تیرها بویژه در مهاربندهای جناقی ایجاد می نماید. رابطه کوپله بین سختی جانبی و ظرفیت محوری علمکرد مهاربند را پیچیده می کند. وقتی این دو تابع ایزوله می شوند، رفتار هیسترتیک عموماً ساده سازی شده و رفتار پایدار تکرار پذیر، بدست می آید. یک استثناء مهم این است که کمانش محدود شده ولی کاملاً حذف نشده است. همچنان یک فاصله جداکننده (هسته فولادی از ملات پیرامونی) برای سازگاری انبساط عرضی پواسون عضو هسته مورد نیاز است که امکان تشکیل طول موج های دامنه کوچک مود بالاتر کمانش را به ما می دهد. مهاربندهای کمانش ناپذیر رفتار هیسترتیک کاملاً منحصر بفردی را فراهم نموده و طیف وسیعی از کاربردها را دارند که تنها به واسطه ذکاوت مهندس طراح، محدود می باشند. مهاربندهای کمانش ناپذیر مدرن نه تنها برای ساختمان ها، بلکه برای پل های دهانه بلند و سایر سازه ها نیز قابل استفاده می باشند. در حالیکه مهاربندهای کمانش ناپذیر در ژاپن ساخته شدند، اکنون بطور گسترده در سراسر دنیا استفاده می شوند. برای استفاده مناسب از مهاربندهای کمانش ناپذیر، اینجانب حقیقتاً از مهندسان سازه و محققین انتظار دارم محتوای این کتاب را عمیقاً مطالعه و بررسی نمایند.

Akira Wada

استاد بازنشسته دانشگاه، انستیتو تکنولوژی Tokyo

۲۰۱۸

مقدمه مترجمان

به نام خداوند جان آفرین حکیم سخن در زبان آفرین

خدا را شاکریم که توانستیم اثر ارزشمند دیگری را با موضوعی هیجانی، جدید و به روز تحت عنوان مهاربند های BRB ترجمه و گردآوری نموده و به پایان برسانیم تا با افتخار تقدیم جامعه مهندسی کشور و جویندگان تشنه علم بنماییم. شروع آشنایی بنده با انجمن JSSI به چندین سال پیش بر می گشت که با جستجو در اینترنت با انجمن ژاپنی (انجمن جداسازی لرزه ای و سیستم های اتلاف انرژی ژاپن یا JSSI) آشنا گردیدم و مدتی با ارکان مختلف آن با ایمیل در ارتباط بودم تا اینکه متوجه انتشار کتاب جدید دکتر Wada (رییس انجمن JSSI) تحت عنوان "مهاربند های کمانش تاب" گردیدم. چند نفری این کتاب را در ایران داشتند که البته بیشتر آنها از طریق اینجانب متوجه وجود این کتاب شده بودند! با اصرار از طرف اینجانب بابت دریافت کتاب، متأسفانه دوستان همکاری نکرده و کتاب را در اختیار ما قرار ندادند، که البته با زحمات زیاد بالاخره این کتاب را نیز تهیه کردیم و به ایران آورده و مانند چندین کتاب دیگر، این اثر نیز ترجمه شد و در اختیار طالبان علم قرار گرفت.

باری... پس از تورق این کتاب دریافتم که این کتاب یک کتاب طراحی صفر تا صد نیست، خلاف آن چیزی که در ذهنم بود. این کتاب در واقع مجموعه نکات ساخت، تولید، آزمایشات، نکات تجربی حاصل از تحقیقات و توسعه Wada و همکاران، عمدتاً در ژاپن و در شرکت Sumitomo بوده است. در هر حال این امر به هیچ وجه از ارزش های این کتاب کم نمی نماید. اما، به خواننده عزیز قویاً توصیه می گردد، همانطور که بارها در مراجع این کتاب از کتاب Bruneau نام برده است، کتاب دیتیل ها و طراحی ساختمان های فولادی مقاوم در برابر زلزله را رویکرد رفتارشناسی اعضاء به روش LRFD نوشته Bruneau و همکاران را که توسط همین مترجمان در نشر دانشگاهی فرهنگد ترجمه شده است را مطالعه فرمایند. در کتاب مذکور از صفر تا صد طراحی ابتدایی سیستم های BRB توضیح داده شده است و ذهن مخاطب محترم در این رابطه باز می گردد، خصوصاً دوستان فصل صفحه بایند و طراحی BRB را از این کتاب می بایستی مطالعه نمایند. پس از مطالعه مرجع مذکور، نکات زیادی در این کتاب مدنظر خوانندگان عزیز قرار خواهد گرفت.

از آنجا که این کتاب، یک کتاب کاملاً تخصصی است، تلاش شده با دقت بالایی ترجمه شود، ولی از ترجمه برخی از موارد ساده مثل ترجمه نوشته های داخل اشکال دیگر صرف نظر شده است، زیرا که هم هزینه بردار و هم دست و پاگیر بوده و در میان متن اصل مطلب انتقال یافته است. این کتاب به صورت اسکن شده ترجمه شد، تمامی اشکال در فوتوشاپ رتوش گردید و تا حد ممکنه جداول تایپ گردیدند، در هر حال

دسترسی به نسخه Preprint آن نداشتیم. بنابراین اگر کیفیت عکس هایی در برخی از موارد با کیفیت نمی باشد، از عهده و توان ما خارج بوده است.

نویسندگان این کتاب چندین محقق ژاپنی هستند، نگارش انگلیسی توسط ژاپنی ها خاص، سنگین و ثقیل الفهم می باشد. این کتاب چند بار مورد ویرایش قرار گرفته است، ولی ممکن است سبک نگارنده بر دل برخی از خوانندگان محترم ننشیند، در هر حال، کتابی به روز با این عنوان در دنیا تا امروز، وجود نداشته است. بنابراین، از سعه صدر شما در تحمل گویش خاص و بعضاً پیچیده نویسندگان ژاپنی پیشاپیش عذر خواهی می نمایم. البته نسخه دیجیتال این کتاب به همراه حدود 10000 جلد، مرجع دیگر در مهندسی سازه و زلزله در کانال جداسازی لرزه ای به آدرس t.me/seismicisolation وجود دارد که اکثریت دوستان اهل تحقیق و جست و جو با این کانال آشنایی کامل چندین ساله دارند.

ساختار این کتاب از چند بخش کلی تشکیل گردیده است. ترجمه اصل کتاب buckling restrained braces and applications اثر Takeuchi و Wada به همراه موارد تکمیلی که در انتهای کتاب به صورت پیوست آمده است. از آنجا که احساس گردید برخی از دیتیل ها لازم است به پرنیت شده همراه محاسبان و مجریان در این کتاب باشد، دیتیل های مرجع شرکت تولید کننده آمریکایی BRB به نام Starseismic در پیوست A.5 آورده شده است. در پیوست A.6 فلوچارت های طراحی BRB برگرفته از NEHRP Seismic Design Technical Brief No. ۱۱: Seismic Design of Steel Buckling-Restrained Braced Frames آمده است. از آنجا که همیشه در طلب ترجمه بخش مثال طراحی BRB از کتب 5 گانه راهنمای طراحی لرزه ای SEAOC بودم، از جلد چهارم این مجموعه ارزشمند به طور کامل مثال طراحی BRB را ترجمه و به پیوست در آورده ایم (برگرفته از کتاب ۲۰۱۲ IBC SEAOC structural/seismic design manual volume ۴ examples for steel-framed buildings) در انتها، در پیوست A.8 مجموعه نکات مرتبط با BRB از آخرین ویرایش کتاب راهنمای طراحی لرزه ای SEAOC با عنوان SEAOC Blue Book Seismic Design Recommendations ۲۰۱۹ آورده شد تا آنکه مطالب کتاب تا حد توان تکمیل قرار گیرد و این مرجع بتواند هر چه جامع تر و کاربردی تر قرار گیرد.

توجه داریم که آیین نامه های ایران که برگرفته از آیین نامه های آمریکایی مانند IBC-AISC-ACI-ASCE می باشند، به همین ترتیب در مباحث لرزه ای از همین مراجع استفاده می نماید. در آیین نامه ۷ ASCE، BRB یک میراگر در نظر گرفته نشده و یک نوع سیستم باربر جانبی در نظر گرفته شده است و ضوابط آن در AISC منعکس گردیده است، اما تحت شرایط خاصی و اخذ تاییده از BCJ در ژاپن، در این کشور می توان این سیستم را میراگر در نظر گرفت. بنابراین طراحان محترم به این موضوع توجه نمایند

که شیوه برخورد با BRB مشابه با یک "مهاربند" است تا یک "میراگر". این مهاربند در زلزله رفتار بسیار بهتری را دارد، ولی در هر حال غیر قابل استفاده پس از یک زلزله قوی می باشد و می بایستی پس از زلزله آنرا تعویض نمود (بر اساس بازبینی کارشناسان فنی). در انتهای کتاب در این مورد توضیح داده شده و تلاش محققان برای رفع نقص ذاتی این مهاربند در ترکیب آن با میراگر آلیاژ حافظه دار SMA و میراگر های ویسکوز برای افزودن توان خود مرکز بازگرداندگی، منعکس گردیده است. انتظار مترجمان آن است که انشالله طراحان به دور از جانب داری و جنجال تولیدکنندگان و واردکنندگان تجهیزات اتلاف انرژی با دیدی باز به مشخصات فنی هر محصولی بنگردند و از آنها برای پروژه خود استفاده نمایند.

در گردآوری و ترجمه این کتاب، نهایت تلاش برای کاهش حجم کتاب از 400 صفحه به 300 صفحه انجام پذیرفته است. تلاش شده است که حتی یک صفحه اضافه و خالی باقی نماند و این اثر با حداقل قیمت به خوانندگان محترم برسد. فونت کتاب میترا 12 انتخاب گردیده و تا حد توان بهینه سازی در آن انجام پذیرفته شده است. با تمام تلاشهای صورت گرفته این کتاب خالی از نقص و ایراد نخواهد بود، از کلیه مخاطبین محترم تقاضا دارم که برای ارسال انتقادات و پیشنهادات خود با آیدی تلگرام @alirezasaalehin یا شماره 021-66953774 انتشارات فرهنگد ارتباط برقرار نمایند.

توضیحات فصول و چیدمان کتاب در مقدمه نویسنده اصلی کتاب منعکس گردیده پس بنابراین سخن را کوتاه می نمایم. در آخر لازم می دانم از زحمات و دلسوزی های دوست و پشتیبان چندساله خودم جناب مهندس علی حیدری که واقعاً بی هیچ چشم داشتی، بدون ربالی اخذ هزینه، از روی سخاوت و بزرگ منشی برای ترجمه این اثر نهایت همکاری را نموده اند کمال تشکر را بنمایم. همچنین از جناب آقایان علیرضا فرهنگزادگان که همیشه در زمینه چاپ و نشر کتاب، حقیر را پشتیبانی نموده اند نیز به نوبه خود تشکر می نمایم. همکاری اینجانب (علیرضا صالحین) با انتشارات فرهنگد در این چند سال با وجود فشار فوق العاده هزینه ها و شرایط خاص حاکمه، عالی بوده و به چاپ بیش از 20 جلد کتاب ارزنده انجامیده است.

مهندس علیرضا صالحین ، مهندس علی حیدری

تابستان 1399

فهرست مطالب

فصل اول: اجزاء و تاریخچه مهاربندهای کمانش ناپذیر

- 1.1 اجزاء مهاربندهای کمانش ناپذیر صفحه 15
- 1.2 تاریخچه ساخت و توسعه صفحه 17
- 1.3 انواع BRB ها صفحه 19

فصل دوم: فواصل و طراحی مقیدکننده

- طراحی مقیدکننده صفحه 24
- 2.2 فاصله جداکننده (بین هسته فولادی و ملات پیرامونی) صفحه 30
- 2.3 مصالح هسته و اضافه مقاومت صفحه 32
- 2.4 مدل های تحلیلی هیسترتیک صفحه 35
- 2.5 الزامات کیفی برای هیسترتیس پایدار صفحه 38

فصل سوم: گسیختگی برآمدگی موضعی

- 3.1 گسیختگی ناشی از کمانش موضعی صفحه 40
- 3.2 تخمین تقاضای نیروی برون گرا صفحه 42
- 3.3 تخمین طول موج کمانش موضعی صفحه 43
- 3.4 تخمین ظرفیت لوله فولادی صفحه 45
- 3.5 نتایج آزمایشات و ارزیابی صفحه 51
- 3.6 مقاومت مورد نیاز ملات صفحه 62
- 3.7 معیار کمانش موضعی برای مقیدکننده دایروی صفحه 62
- 3.8 خلاصه صفحه 63

فصل چهارم: طراحی اتصال و پایداری سراسری

- 4.1 جزئیات تیپ اتصال و نیروهای طراحی صفحه 66
- 4.2 ناپایداری سراسری شامل اتصالات صفحه 67
- 4.3 شرایط پایداری در پیکره بندی یکطرفه صفحه 77
- 4.4 شرایط پایداری در پیکره بندی جناقی یا چورون صفحه 93
- 4.5 ارزیابی پارامترهای کلیدی صفحه 103
- 4.6 طراحی اتصال در مقابل تغییر شکل درون صفحه ای صفحه 107

فصل پنجم: ظرفیت تغییر شکل تجمعی

- 5.1 شکست ناشی از خستگی سیکل پائین صفحه 114
- 5.2 اثر فاصله جداکننده صفحه 129
- 5.3 اثر طول هسته پلاستیک صفحه 139

فصل ششم: مشخصات فنی آزمایش عملکرد برای BRB

- 6.1 پیکره بندی آزمایش صفحه 142
- 6.2 ادامه دادن آزمایش و پروتکل بارگذاری صفحه 145
- 6.3 الزامات کیفیت سنجی صفحه 150
- 6.4 بازرسی پس از زلزله صفحه 151

فصل هفتم: کاربردهای BRBF

- 7.1 مفهوم تاب آوری در برابر صدمه صفحه 157
- 7.2 ارزیابی پاسخ BRBF صفحه 168

صفحه 185	7.3 بهسازی لرزه ای با BRB ها
صفحه 196	7.4 ارزیابی پاسخ بهسازی BRB ها برای قاب های RC
صفحه 213	7.5 اتصالات مستقیم برای قاب های RC
صفحه 232	7.6 کاربرد برای خرپاها و سازه های فضایی
صفحه 248	7.7 مفاهیم قاب ستون فقرات
	ضمایم و پیوست ها
صفحه 266	A.1 دیتیل های تیپ BRB
صفحه 268	A.2 فتر دورانی در اتصالات
صفحه 274	A.3 ظرفیت کمانشی BRB
صفحه 281	A.4 پخش لنگر $P-\delta$ در ناحیه اتصال (چشمه اتصال)
صفحه 282	A.5 دیتیل های اجرایی شرکت Starseismic
	A.6 فلوچارت های طراحی BRB از NEHRP Seismic Design Technical Brief
صفحه 291	No. ۱۱
	A-7 مثال طراحی برگرفته از کتاب 2012 IBC SEAOC structural/seismic design
صفحه 293	manual volume 4 examples for steel-framed buildings
	A.8 مجموعه نکات مرتبط با BRB از SEAOC Blue Book Seismic Design
صفحه 327	Recommendations 2019

نشانه گذاری

a_c خیز اولیه در میان دهانه در قسمت مقید شده

a_{eq} پاسخ شتاب مدل SDOF متشکل از فنر و قاب

a_f پاسخ شتاب مدل SDOF متشکل از قاب

a_r نقص اولیه انتهای مقید کننده

c_r ضریب توزیع لنگر $P-\delta$ مدل انتهایی مقیدکننده

e خروج از مرکزیت نیروی محوری

h_0 نسبت میرایی اولیه

h_B عمق تیرها

h_d نسبت میرایی BRB

h_{eq} نسبت میرایی معادل متوسط برای دامنه تصادفی

h_{eq}' نسبت میرایی معادل متوسط برای دامنه ثابت

h_f نسبت میرایی برای قاب RC

i_c شعاع ژیراسیون در ناحیه اتصال

l_B طول صفر مهاری

l_p نصف درازای طول موج کمانش موضعی

$L_{p,s}$ طول موج کمانشی درون صفحه ای

$L_{p,w}$ طول موج کمانشی برون صفحه ای

n_i تعداد سیکل های دامنه کرنش $\Delta\epsilon_i$

m_i جرم هر طبقه

ρ نسبت سختی سکانت قاب در یک طبقه معین به سختی اولیه

S_r فاصله بین هسته و مقیدکننده (بازای سطح)

S_{rw} فاصله بین هسته و مقیدکننده در محور ضعیف (بازای سطح)

$S_{r\delta}$ فاصله بین هسته و مقیدکننده در محور قوی (بازای سطح)

t_c ضخامت ورق هسته

t_m ضخامت ملات بین هسته و سطح داخلی دیواره لوله فولادی

t_r ضخامت مقیدکننده

U_d تغییرشکل محوری BRB

y_r تغییرشکل کلی خارج از صفحه در انتهای مقیدکننده

y_{re} تغییرشکل خارج از صفحه انتهای مقیدکننده به علت خمش اتصال

y_{rs} تغییرشکل خارج از صفحه انتهای مقیدکننده به علت دوران فنر صفحه بادی

y_{r1} تغییرشکل نهایی خارج از صفحه انتهای مقیدکننده در انتهای اتصال ستون (پیکره بندی جناقی)

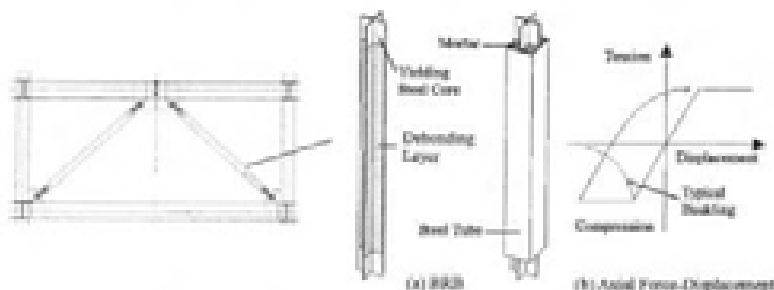
y_{r2} تغییرشکل نهایی خارج از صفحه انتهای مقیدکننده در اتصال تیر

فصل اول

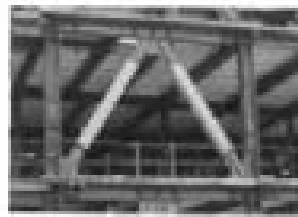
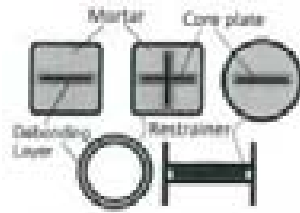
ساخت و تاریخچه مهاربندهای کمانش ناپذیر

1.1 اجزای مهاربندهای کمانش ناپذیر

مهاربند کمانش ناپذیر (BRB) یک وسیله لرزه ای متشکل از هسته تسلیم شونده محوری و مکانیسم مهار محوری-دکوپله می باشد که مانع از کمانش کلی می شود. مطابق شکل 1.1.1 مقید کنند کمانش اغلب از یک مقطع توخالی فولادی محیطی تشکیل می شود که با ملات پر شده و یک لایه نچسبیده (جدا کننده) هسته را احاطه کرده است. با این حال، تعدادی دیگر از شکل های مقیدکننده و ترکیبات مصالح در حال حاضر مطابق شکل های 1.1.2 و 1.1.3 استفاده می شوند. لایه نچسبیده باریک یا شکاف موجود بین هسته و مقید کننده یک جنبه اصلی از BRB های مدرن بوده و انتقال بار محوری را به مقید کننده با ایجاد یک سطح اصطکاکی اندک و سازگاری انبساط جانبی هسته ناشی از اثرات پواسون، محدود می سازد. تحت تقاضاهای فشاری و پیش از تسلیم، هسته با شکل های مود بطور فزاینده بالاتر که پیش از حضور مقیدکننده مطابق شکل 1.1.4 ایجاد می گردد، شروع به کمانش خواهد کرد. زمانیکه کمانش در عوض اینکه کاملاً حذف شود، محدود شده باشد، تسلیم کاملاً محوری نیست. در نتیجه، BRB ها ظرفیت خستگی تجمعی مشابه را به عنوان آزمایش کوپن تک محوری بدست نمی آورد. با این حال، مشخصه های اتلاف انرژی غالب بوده و بطور مطلوبی در برابر سایر سیستم های شکل پذیر قابل مقایسه می باشند.

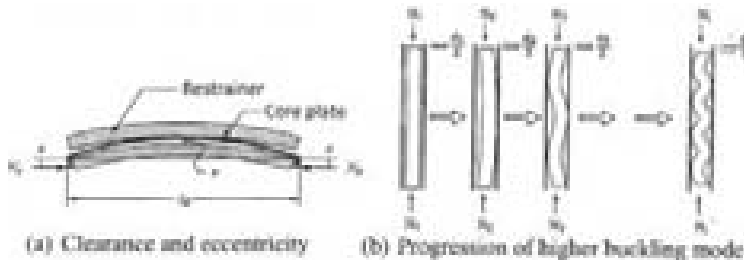


شکل 1.1.1 مفهوم مهاربند کمانش ناپذیر



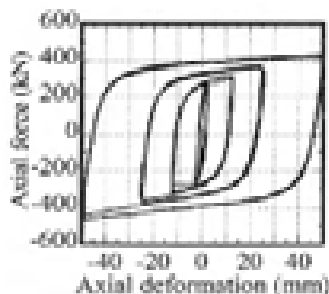
شکل 1.1.2 انواع مقید کننده

شکل 1.1.3 کاربرد تیپ BRB



شکل 1.1.4 مودهای کمانش داخل مقیدکننده

به این دلیل، BRB ها به عنوان میراگرهای هیسترتیک استفاده می شوند. مشخصه های هیسترتیک به محض اینکه کل سطح مقطع تسلیم شود، پایدار بوده و تقریباً متقارن می باشند، جز اندکی تفاوت در هیسترتیس مصالح پایه مطابق شکل 1.1.5. از آنجائیکه از کمانش ممانعت می شود، هیچ تنزل [مقاومتی] در طول سیکل های فشاری نباید قابل رویت باشد. با این حال، نیروی نرمال یا عمودی مرتبط با کمانش مود بالاتر به اصطکاک و اندکی انتقال بار به مقیدکننده منجر می شود که به افزایش نیروی فشاری آشکار ختم می شود. علیرغم این رفتار اضافه مقاومت منحصر بفرد، BRB ها می توانند با استفاده از المان های خرابایی و قوانین هیسترتیس مصالح تک محوری، با فرض اینکه کرنش در کل طول هسته پلاستیک گسترش می یابد، مدل شود.

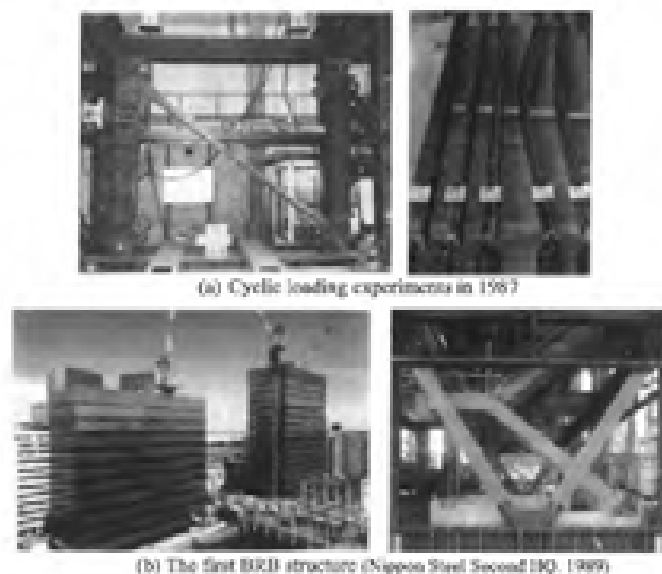


شکل 1.1.5 هیسترتیس یک BRB مناسب طراحی شده

1.2 تاریخچه ساخت

مفاهیم اساسی مهاربندهای کمانش ناپذیر به دهه 1970 بار می گردد وقتی موفقیت کمی از محققین در ژاپن و هند گزارش شده بود. Takeda و همکاران (1.1) در سال 1972 تلاش کردند تا رفتار پس کمانشی مهاربندهای H را با محصور کردن مقطع فولادی در بتن مسلح بهبود بخشند و بهبود عملکرد را تأیید نمودند. با این حال چون هیچ مکانیسم جدایش یا گسیختگی بین هسته و مقیدکننده وجود ندارد، مقیدکننده سهم قابل ملاحظه ای از نیروی فشاری را دریافت، ترک خورده و در نهایت کمانش کلی را تجربه نمود. Kimora و همکاران (1و2) عملکرد مهاربندهای متشکل از یک مهاربند سنتی مدفون در یک لوله فولادی پر شده با ملات را گزارش نمودند. در حالیکه سیکل های پلاستیک پایدار اندکی بدست آمد، روشن شد که تغییر شکل عرضی ملات به یک فضای خالی دائمی منجر شد که باندازه کافی برای کمانش موضعی جا فراهم نمود. در سال 1973 واکابایاشی و همکاران (1.3) یک دیوار بتنی پیش ساخته با مهاربندهای ورق فولادی درون آن را بطور مجزا با یک لایه جدا شونده پیشنهاد دادند. در سال 1979 موچیزوکی و همکاران (1.4) یک مهاربند با یک ورق هسته جداشونده و مقیدکننده بتن مسلح را پیشنهاد نمودند.

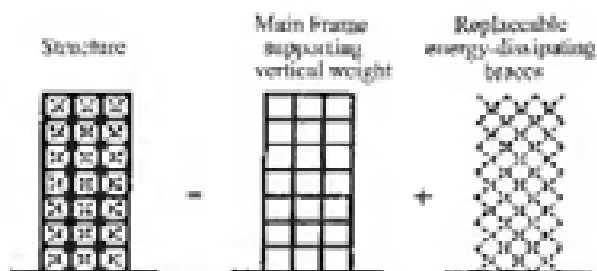
اولین مهاربند کمانش ناپذیر بوسیله Wada و همکاران (1و5)[1.6](شکل 1.2.1) در سال 1988 ساخته شد. آنها از لوله های فولادی مستطیلی با ملات پرکننده به عنوان مقیدکننده استفاده نموده و مشخصات فنی بهترین مصالح چسبنده را برای دستیابی به رفتار هیسترتیس و پایدار استفاده کردند. به علاوه، تئوری مبنایی برای طراحی مقیدکننده تعیین شده و اولین کاربرد عملی آن بلافاصله انجام شد. در سال 1989 BRB ها (مهاربندهای نچسبیده) در 10 ساختمان قاب فولادی 15 طبقه مطابق شکل 1.2.1 به عنوان اولین پروژه در سراسر جهات که از پیکیره بندی BRB ها استفاده می کند، بکار رفتند (Fujimoto و همکاران 1990)[1.7]. BRB ها بزودی محبوبیت فراوانی پیدا کرده و سایر پیکیره بندی ها، بویژه نوع لوله در لوله تمام فولادی مطابق شکل پائین سمت چپ 1.1.2 افزایش یافتند نیز استفاده شدند. در خلال دهه 1990 BRB ها حدوداً در 160 ساختمان در ژاپن استفاده شدند. برخی از اینها مطابق شکل 12.2 تا 20 متر طول داشت. در جولای سال 1992، سازه متحمل خرابی بوسیله Wada، ایواتا و همکاران[1.8](شکل 1.2.3) پیشنهاد شد که از BRB به عنوان میراگرهای الاستو پلاستیک اتلاف کننده انرژی داخل یک قاب اصلی الاستیک استفاده نموده، اکنون بطور معمولی در ژاپن استفاده می شود. پیشنهادات طراحی AIJ در ابتدا BRB ها را در راهنمای طراحی در سال 1996 گنجانده شده است[1.9].



شکل 1.2.1 اولین BRB های اجرایی



شکل 1.2.2 BRB های Jumbo برای مرکز معاهده بین المللی Osaka (1997)



شکل 1.2.3 مفهوم متحمل خرابی

همه‌انگهی و همکاری با دانشگاهیان آمریکا بزودی به کاربرد بین‌المللی اولیه با ساخت ساختمان علوم زیست محیطی و گیاهی در UC Davis در سال 1998 منجر شد و پس از آن آزمایشی در دانشگاه برکلی در سال 2000 انجام شد [1.10] (شکل 1.2.4a). ساختمان‌های متعدد دیگری با BRB بزودی در سراسر کالیفرنیا شامل کاربردهای بهسازی لرزه‌ای مطابق شکل 1.2.4b ساخته شدند. در سال 2002 راهنمای طراحی برای قاب مهاربندی کمانش ناپذیر (BRBF) در ضوابط لرزه‌ای برای ساختمان‌های سازه‌ای فولادی (ANSI/AISC 342-05) گنجانده شد [1.11]. در طول این سال‌های اولیه انتقال تکنولوژی به بازارهای بین‌المللی، مجموعه‌ای از نشست‌ها در خصوص سازه‌های کنترل‌غیرفعال در انستیتو تکنولوژی Tokyo برگزار شد و پیشرفت‌های آئین‌نامه، طراحی و کاربردهای نوع آورانه BRB به اشتراک گذاشته شد [1.12]. در خلال دهه بعدی، BRB ها در کشورهای متعددی از تایوان در اوایل دهه 2000 تا کاربردهای اخیر در نیوزیلند به عنوان بهسازی کلیسای کریس چارچ افزایش یافت. BRB ها اکنون بطور گسترده‌ای در مناطق لرزه‌ای در سراسر دنیا شناخته شده‌اند، در حالیکه تحقیقات پیشرو در کشورهای نظیر ژاپن، تایوان، چین، آمریکا، کانادا، ترکیه، ایران، ایتالیا، رومانی، نیوزیلند و شیلی در حال انجام است.



(a) Plant & Environmental Sciences, UC Davis



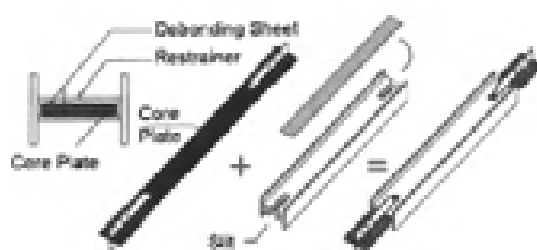
(b) Bennett Federal Building
Retrofit Salt Lake City

شکل 1.2.4 کاربردهای اولیه در آمریکا در دهه اول 2000

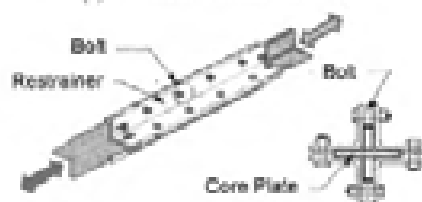
1.3 انواع BRB ها

در حالیکه برخی از تامین‌کنندگان بصورت بین‌المللی صادرات انجام می‌دهند، طیف قابل ملاحظه‌ای از طرح‌های منحصر بفرد BRB بطور محلی در کشورهای متعدد استفاده می‌شوند که بواسطه شکل مقیدکننده و/یا مصالح هسته، مصالح مجزاکننده، شکل هسته و نوع اتصال متمایز می‌باشند. انواع مشخص در شکل 1.3.1 نشان داده شده‌اند. محبوب‌ترین ظاهر BRB از یک هسته فولادی مستطیلی یا صلیبی مهارشده توسط یک مقطع توخالی دایره‌ای یا مستطیلی پرشده با ملات مطابق شکل 1.3.1a [1.14-1.16] می‌باشد.

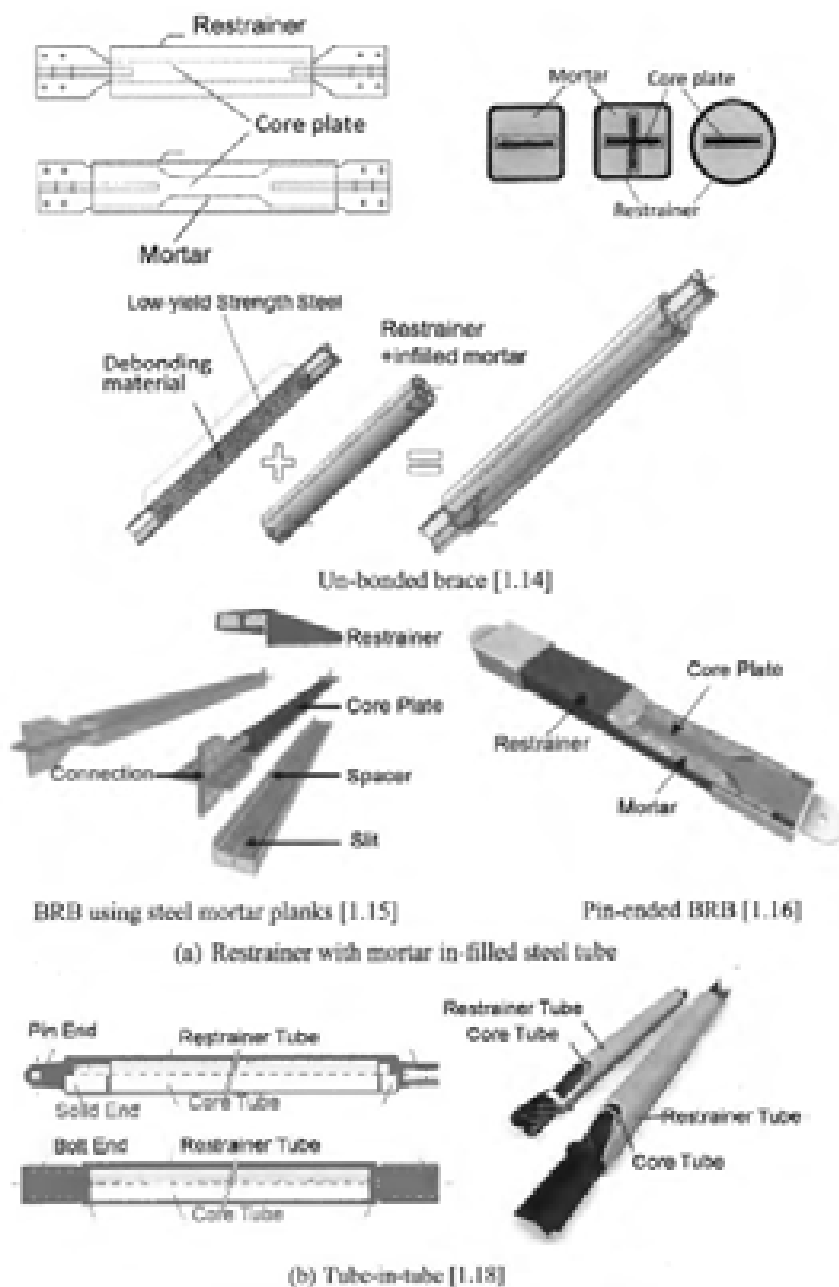
در طول زمان نصب، هزینه و وزن می تواند از برخی دیگر از طرح ها متفاوت باشد، این نوع از BRB با فرض اینکه از معیار طراحی مشخص شده در فصول 3 تا 5 تبعیت می شود، بهترین عملکرد را عرضه می کند. تغییرات متعدد این نوع طرح با استفاده از مقیدکننده های جایگزین یا مصالح پرکن پیشنهاد شده است علیرغم اینکه مصالح خاص مورد استفاده برای لایه جداکننده نوعاً منتشر نمی شود [ترکیب محرمانه دارد]. اتصالات انتهایی می تواند بصورت پیچی، جوشی یا مفصلی دسته بندی شده و تامین کنندگان معمولاً دارای حق امتیاز انواع مزایای آن می باشند. بدون توجه به ترکیبات خاص، عملکرد BRB به رواداری ها و کیفیت ساخت حساس است. بنابراین، مهم است که هر سیستم یا تولید کننده جدید با آزمایش در مقیاس کامل مطابق فصل 6 اعتبارسنجی شود. شکل (b) 1.3.1 BRB از نوع لوله در لوله را نشان می دهد [1.16]. عضو هسته تسلیم شونده یک مقطع توخالی دایروی با مقیدکننده کمانشی تامین شده با یک لوله دایره ای ثانویه قرار گرفته در هر دو طرف در درون آن یا بیرون می باشد. با وجود اینکه مقیدکننده در ممانعت از کمانش کلی مفید است، کمانش موضعی هنوز می تواند رخ دهد که به اصطکاک و تمایل برای تمرکز کرنش های پلاستیک در نزدیک انتهای عضو، منتهی می شود. شکل (c) 1.3.1 یک پیکره بندی تمام فولادی با مقیدکننده که به صورت طولی جوش شده، را نشان می دهد. این نوع از BRB چون ملات پرکننده نیاز نیست، سبک وزن می باشد، با وجود اینکه ورق های مقیدکننده برای ارضاء الزامات سختی خمشی نیاز است که ضخیم تر باشند. از این گذشته، ممانعت از کمانش موضعی همانطور که در فصل 3 بحث گردیده است، به علت اینکه نیروهای برون صفحه ای ناشی از کمانش موضعی عضو هسته مستقیماً تقاضاهای متمرکز روی دیواره های مقیدکننده اعمال می کنند، دشوار تر هم هست. شکل (d) 1.3.1 یک پیکره بندی دیگر تمام فولادی را نشان می دهد که در آن مقیدکننده می تواند در کارگاه پیچ شود. در حالیکه این شکل و ظاهر دارای مزایایی در زمینه بازرسی و مونتاژ است، اتصالات پیچی باید بدقت برای نیروهای برون صفحه ای، به علت کمانش مود بالاتر طراحی شوند. همچنین، دستیابی به انتقال ممان قابل ملاحظه در انتهای مقیدکننده دشوار است که برای ارضاء الزامات پایداری بحث شده در فصل 4 مفید است. حتی در تمامی این BRB ها، رواداری فاصله بستگی به فرآیند برپایی دارد که اثراتی رو عملکرد دارد. بنابراین، عملکرد این نوع از BRB ها، نیز باید با آزمایشات اندازه واقعی و مدل واقعی توصیف شده در فصل 6 تأیید گردد.



(c) All steel welded restrainer



(d) All steel bolted restrainer



شکل 1.3.1 انواع معروف شکل و ظاهر BRB ها

- ۱.۱ Takeda T, Takemoto Y, Furuya Y: An experimental study on moment frame with steel braces Part ۳, Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, ۱۹۷۲; ۴۷: ۱۳۸۹-۱۳۹۰. (in Japanese)
- ۱.۲ Kimura K, Takeda Y, Yoshioka K, Furuya N, and Takemoto Y: An experimental study on braces encased in steel tube and mortar, Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, ۱۹۷۶; ۵۱: ۱۰۴۱-۱۰۴۲. (in Japanese)
- ۱.۳ Wakabayashi M, Nakamura T, Kashiwara A, Morisono T, Yokoyama H: Experimental studies on Precast concrete wall including un-bonded braces under cyclic loading Part ۱, Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, ۱۹۷۳; ۴۸: ۱۰۴۱-۱۰۴۲. (in Japanese)
- ۱.۴ Mochizuki S, Murata Y, Ando S, Takahashi S: An experimental study on the buckling behavior of steel braces with concentric axial forces Part ۱, Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, ۱۹۷۹; ۵۴: ۱۶۲۳-۱۶۲۴. (in Japanese)
- ۱.۵ Fujimoto M, Wada A, Saeki E, Watanabe A, Hitomi Y: A study on the unbounded brace encased in buckling-restraining concrete and steel tube, Journal of Structural Engineering, ۱۹۸۸; ۳۴B: ۲۴۹-۲۵۸. (in Japanese)
- ۱.۶ Watanabe A, Hitomi Y, Saeki E, Wada A, Fujimoto M: Properties of brace encased in buckling-restraining concrete and steel tube, Proc. of ۹th World Conference on Earthquake Engineering, ۱۹۸۸; IV: ۷۱۹-۷۲۴.
- ۱.۷ Fujimoto M, Wada A, Saeki E, Takeuchi T, Watanabe A: Development of unbonded brace, Quarterly Column, ۱۹۹۰; (۱۱۵): ۹۱-۹۶.
- ۱.۸ Wada A, Iwata M, Huang YH: Seismic Design Trend of Tall building after the Kobe Earthquake, Proc. Int. Post-SMIRT Conj Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Control of Vibrations of Structures, Taormina, Italy; ۱۹۹۷: ۲۵-۲۷
- ۱.۹ Architectural Institute of Japan: Recommendations for Stability Design of Steel Structures, ۱۹۹۶
- ۱.۱۰ Clark P, Aiken I, Kasai K, Ko E, Kimura I: Design Procedure for buildings incorporating hysteretic damping devices, ۶th annual convention SEAOC, CA; ۱۹۹۹: ۳۵۵-۳۷۱
- ۱.۱۱ AISC: Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC ۳۴۱-۰۵), ۲۰۰۲.
- ۱.۱۲ Tokyo Institute of Technology: Proceedings of Passively controlled structure symposium; ۲۰۰۰, ۲۰۰۱, ۲۰۰۲, ۲۰۰۴.
- ۱.۱۳ Tsai KC, Lai JW, Hwang YC, Lin SL, Weng CH: Research and application [۱.۱۴] [۱.۱۵] [۱.۱۶] [۱.۱۷] [۱.۱۸] of double-core Buckling-restrained Braces in Taiwan, ۱۳th World Conference on Earthquake Engineering, ۲۰۰۴: Paper No. ۲۱۷۹. Nippon Steel Sumikin Engineering: Unbonded brace, <http://www.unbondedbrace.com/> Iwata M, Murai M: Buckling - restrained brace using steel mortar planks; performance evaluation as a hysteretic damper, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, ۲۰۰۶; ۳۵(۱۴): ۱۸۰۷- ۱۸۲۶.
- Star Seismic: Star Seismic, <http://www.star seismic.net/>
- Core Brace: Core Brace, <http://www.corebrace.com/>
- JFE Steel engineering: Double tube braces, <https://www.jfecivil.com/system/device/products/>