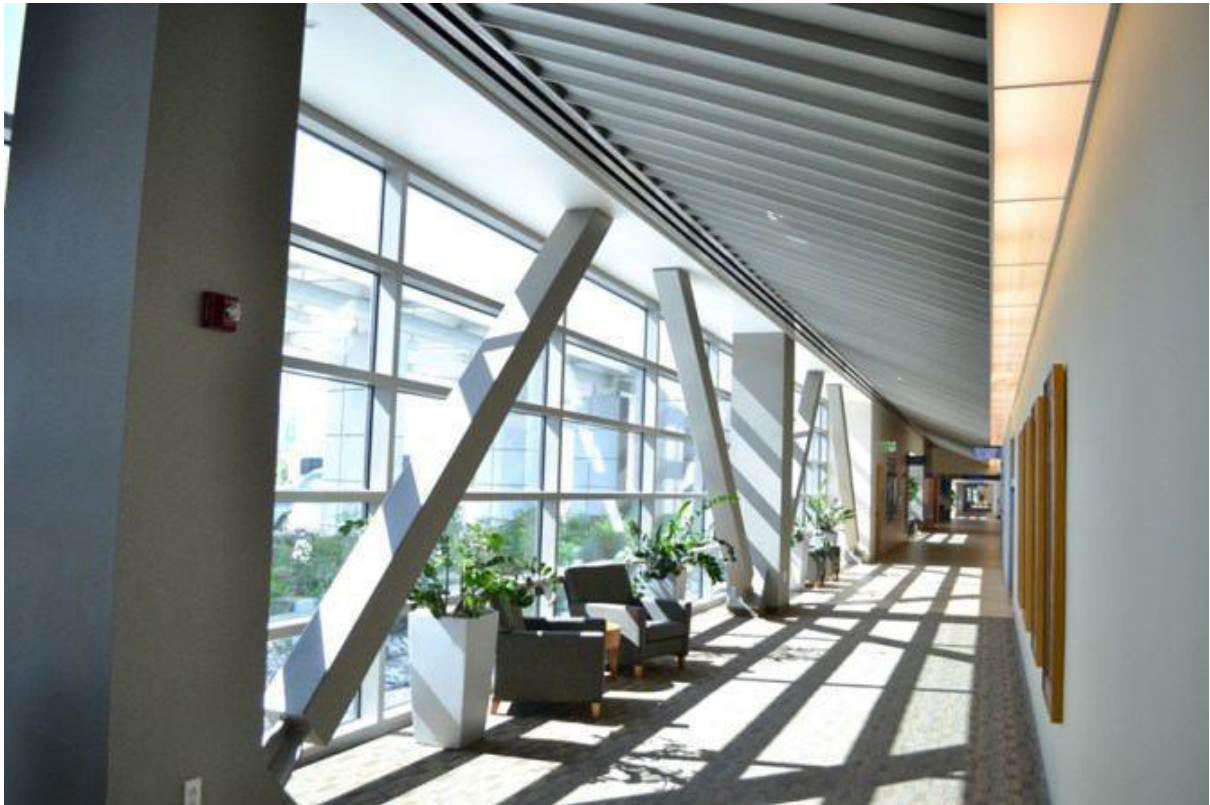




## شرکت مهندسی و عمران آلتین یول تبریز طراحی قاب های مهاربندی شده کمانش تاب

BY Rafael Sabelli, S.E., AND Walterio Lopez, S.E.



ترجمه مقاله ای در مجله تخصصی

MODERN STEEL CONSTRUCTION March 2004

مهندسی ، طراحی و ساخت مهاربند کمانش تاب (BRB)

[www.altinyoletabriz.ir](http://www.altinyoletabriz.ir)

## طراحی قاب های مهاربندی شده کمانش تاب

BY Rafael Sabelli, S.E., AND Walterio Lopez, S.E.

**المان های مهاربندی کمانش تاب به طراحان روشی را برای اضافه نمودن بیشتر ظرفیت استهلاک انرژی لرزه ای در سیستم های قاب مهاربندی شده ارائه می دهد.**

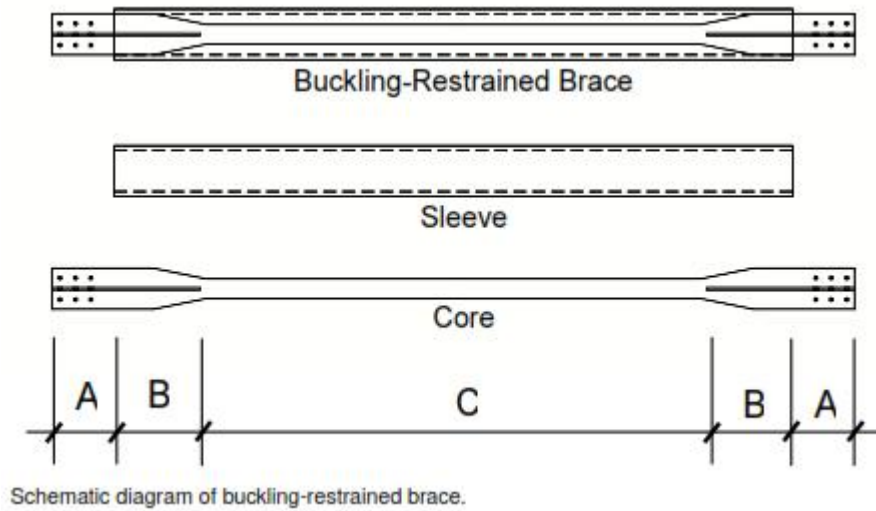
قاب مهاربندی شده کمانش تاب (BRBF) نوع نسبتاً جدیدی از سیستم قاب مهاربندی شده همگرا می باشد. BRBF از شکل پذیری فولاد به صورت موثرتری نسبت به قاب های مهاربندی شده مرسوم استفاده می کند، همانند قاب های مهاربندی شده همگرای ویژه (SCBF) یا قاب های مهاربندی شده همگرای معمولی (OCBF)، که شکل پذیری آنها بستگی به کمانش مهاربند دارد. در کشور ژاپن مهاربند های کمانش تاب به صورت گسترده ای به عنوان دمپرهای هیسترتیک در قاب های خمشی استفاده شده است. طراحی عملی این مهاربندها در سال ۱۹۹۹ به ایالات متحده معرفی شد و استفاده از آنها بیشتر به عنوان سیستم اصلی مقاوم در برابر بارهای لرزه ای ساختمان ها عمومیت یافته است.

### نیاز به یک CBF بهتر

قاب مهاربندی شده همگرا (CBF) یکی از سیستم های مقاوم بسیار موثر در برابر بارهای جانبی می باشد. با این حال، CBF ها هنگامی که در معرض تقاضای شکل پذیری بزرگ قرار می گیرند مستعد مدهای رفتاری بسیار غیرشکل پذیر شناخته شده اند. چنین مدهائی شامل کاهش شدید مقاومت و سختی به دلیل شکل پذیری تیر، ناشی از مقاومت های کششی و فشاری نامتعادل، شکست اتصال و گسیختگی اعضاء می باشد. به طور سنتی، CBF ها به عنوان سیستم های با مقاومت بالا و شکل پذیری کم تلقی شده اند. در سال های اخیر، مقررات ساختمانی به صورت ضمنی روش های جلوگیری یا پیش بینی مدهای نامطلوب را در طراحی صحیح، تناسب بندی و جزئیات بندی قاب های مهاربند همگرا برای ایجاد یک سیستم شکل پذیرتر به رسمیت شناخته اند. یک طبقه بندی جدید تحت عنوان، "قاب های مهاربند همگرای ویژه"، معرفی شد که توصیه های بسیاری را که حاصل نتایج آزمایشات در دانشگاه میشیگان بود با هم ترکیب کرد.

در قاب های طراحی شده بر اساس الزامات SCBF، منشاء اصلی شکل پذیری قاب، قابلیت غیرارتجاعی محوری مهاربندها می باشد. با وجود اینکه تسلیم کششی مهاربند ها به عنوان رفتار المان شکل پذیر نسبتاً

خوب در نظر گرفته می شود، کمانش فشاری منجر به تنزل چشمگیر ظرفیت و سختی مهاربند می شود و تشکیل مفصل پلاستیک در مهاربند، عامل محتمل گسیختگی مهاربند می باشد. کمانش مهاربندها نشان دهنده محدودیت شدید برای شکل پذیری آنها و عملکرد سیستم می باشد.



علاوه بر این، عدم تعادل بین ظرفیت فشاری و ظرفیت کششی، که در سیستم الاستیک قابل توجه و بعد از کمانش نیز چشمگیر می باشد، می تواند منجر به پاسخ نامطلوب سیستم گردد. قاب های با مهاربند قطری تک، مستعد دررفت غیرالاستیک تجمعی در امتدادی که مهاربند بصورت فشاری بارگذاری شده می باشند. قاب های مهاربندی شده ۷ و ۸ در معرض کاهش سختی تیر هائی هستند که انتظار می رود در برابر نیروهای نامتعادل منتج از اختلاف بین ظرفیت مهاربند در کشش و ظرفیت مهاربند در فشار ( هرچند اندک) مقاومت کنند. برای SCBF های چند طبقه، کاهش مقاومت و سختی یک مهاربند در فشار، متعاقباً منجر به تمرکز دررفت غیرارتجاعی در همان طبقه خواهد شد. برای همه SCBF ها، کاهش مهاربندها، قابلیت ایجاد پاسخ شدید را افزایش می دهد؛ شکست مهاربندها می تواند منجر به سطح بسیار پائینی از قابلیت اعتماد نسبت به عملکرد مطلوب شود.

### مزایای یک BRB

در مقابل، مهاربندهای کمانش تاب (BRB) هیچکدام از مشخصات رفتار نامطلوب مهاربند های مرسوم را ندارند. مهاربندهای کمانش تاب در کنار تسلیم فشاری همانند رفتار تسلیم کششی، رفتار هیسترتیک متعادل و کاملی دارند. BRB ها از طریق جداسازی مقاومت در برابر تنش و کمانش خمشی هنگام مقاومت فشاری به این هدف نائل می شوند. هسته فولادی شکل داده شده در برابر تنش های محوری مقاومت می

کند. یک غلاف، که آنهم از فولاد، بتن، کامپوزیت و یا دیگر سازه ها می تواند باشد مقاومت کمانشی هسته را فراهم می آورد. بدلیل اینکه هسته فولادی در مقابل کمانش مهار شده است، کرنش های محوری، تقریباً بصورت یکنواخت در سراسر مقطع گسترش می یابد. در صورت طراحی و جزئیات بندی صحیح BRB ها، مفصل های پلاستیک همراه با کمانش تشکیل نخواهند شد. این امر همچنین به BRB ها اجازه می دهد تا برای رسیدن به مقاومت فشاری بسیار زیاد طراحی شوند. بدلیل کاهش نیافتن مقاومت مصالح در دسترس بخاطر ناپایداری، طول موثر هسته می تواند صفر در نظر گرفته شود.



در برخی از موارد معمول استفاده از BRB، هسته به سه قسمت تقسیم می شود: قسمت تسلیم پذیر، با یک مقطع کاهش یافته در داخل قسمتی که توسط غلاف، مهار جانبی می شود؛ قسمت های انتقالی ( با سطح مقطع بزرگتر از قسمت تسلیم پذیر که آنهم بطریق مشابه مهار شده می باشد) در دو سمت قسمت تسلیم پذیر؛ و قسمت های اتصال که تا پس از غلاف امتداد داشته و معمولاً توسط ورق های اتصال به قاب متصل می شوند.

به منظور تطبیق تسلیم محوری هسته فولادی و جلوگیری از ناپایداری غلاف، جزئیات بندی اتصالات انتهایی BRB باید توانائی انتقال نیروها به هسته را بدون امکان گسترش تنش های قابل توجه در غلاف فراهم آورند. اتصالات انتهایی همچنین باید طوری طراحی شوند تا مانع مد های ناپایداری کلی مهاربند شوند، بنابراین آنها باید برای داشتن مقاومت تسلیم بزرگتر از هسته داخل غلاف طراحی شوند تا اینکه تسلیم در طول محدودی از هسته محدود شود. بدلیل اینکه طول قسمت تسلیم پذیر وقتیکه BRB در معرض تغییر شکل غیراتجاعی است تغییر می کند، دو انتهای غلاف طوری جزئیات بندی می شوند که سطوح بزرگتر هسته، متحمل تغییر شکل های مورد انتظار نشوند.

با محدود کردن رفتار غیرارتجاعی به تسلیم محوری هسته فولادی، مهاربند می تواند به شکل پذیری زیادی دست پیدا کند. شکل پذیری مصالح فولادی شامل کل طول مهاربند می شود. بنابراین عملکرد هیسترتیک این مهاربندها شبیه مصالح هسته فولادی می باشد. مهاربندهای با مصالح هسته که سختی کرنشی قابل توجهی دارند نیز سخت شدگی کرنشی از خود نشان خواهند داد.

بدلیل اینکه کرنش ها در یک منطقه محدودی مانند مفصل پلاستیک متمرکز نشده اند، مهاربندها می توانند مقدار زیادی انرژی مستهلک کنند. آزمایشات، عمر خستگی کوتاه (LCF) مهاربندها را نشان داده اند؛ این ظرفیت مطلوب بوده و بیش از تقاضاهای ایجاد شده از آنالیزهای دینامیکی غیر خطی می باشد.

چنین آنالیزهائی همچنین نشان می دهند که استفاده از مهاربندهای با این نوع رفتار هیسترتیک می تواند منجر به سیستم هائی با عملکرد بسیار خوب شود. انتظار می رود دررفت ها بطور قابل توجهی از SCBF کمتر شود آنها هم بخاطر دو جنبه از رفتار BRBF. نخست اینکه، تقاضاهای غیرارتجاعی بدلیل توانائی تامین نسبت های تقاضا به ظرفیت تقریباً یکنواخت، روی طبقات متعدد پخش می شود. دوم اینکه وقتی BRBها بر اساس آئین نامه طراحی شوند در معرض شکست تحت تقاضاهای ناشی از زلزله های در نظر گرفته شده قرار نخواهد گرفت. BRBF در مقابل رفتاری که SCBF دارد، به بارگذاری لرزه ای با تامین سطح قابل اعتماد بسیار بیشتر و عملکرد مطلوب تری پاسخ می دهد.

مطالعات آنالیزی پاسخ BRBF همچنین برای تخمین تقاضاهای شکل پذیری حداکثر روی BRBها مورد استفاده قرار گرفته است. BRBها باید برای مطابقت با تغییر شکل های غیرارتجاعی بدون اجازه دادن به رفتار مد های نامطلوب همانند ناپایداری کلی مهاربند یا تحمل قسمت های تسلیم ناپذیر هسته در غلاف، طراحی و جزئیات بندی شوند.

### طراحی BRBF

قاب های مهاربندی شده کمانش تاب (BRBF) با روش نیروی جانبی معادل طراحی می شوند. همانطور که در روند طراحی برای دیگر انواع قاب مهاربندی شده همگرا، روش بار لرزه ای کاهش یافته برای مدل الاستیک خطی جهت تعیین مقاومت و سختی لازم قاب ها، بکار می رود. برای انواع ساختمان های متداول، این سیستم تمایل به حاکم بودن مقاومت دارد. برای BRBF با مهاربند های تناسب بندی شده مطابق این روش، تفاوت بین مد های تغییر شکل ارتجاعی و غیرارتجاعی نسبت به SCBF بسیار کمتر چشمگیر است. بخاطر همین، آنالیز غیرارتجاعی (غیرخطی) معمولاً نیاز نیست، هرچند چنین آنالیزی تخمین بسیار بهتری از تقاضاهای شکل پذیری مهاربند به دست می دهد.

معمولاً، قاب ها توسط نرم افزار یا دستی مدل می شوند، بطوریکه بارهای لرزه ای توسط نیروهای محوری در قاب ها و اعضای مهاربندی تحمل می شوند. ( قاب های با خروج از مرکزیت کم در اتصالات بطور عمده مورد استفاده قرار نمی گیرند، گرچه مجازند؛ در این صورت نیروهای خمشی حاصل از چنین شرایطی باید در نظر گرفته شوند.) ذکر این نکته ضروری است که اتصالات تیر - ستون به شرایط نوع گیردار نزدیک تر است تا نوع مفصلی. بنابراین بهتر است نیروهای خمشی منتج از این قید برای طراحی هر دو عضو و اتصال در نظر گرفته شود. طراحان باید انطباق دوران ها با اتصالات مفصلی را نشان دهند. این رویه برای تمام قاب های مهاربندی شده با اتصالات ورق اتصال بکار می رود.

مدلسازی صریح ورق اتصال برای طراحی متعارف لازم نیست. با این حال مدلسازی آن به عنوان یک نقطه صلب مفید است چراکه اولاً تخمین دوران لازم اتصال مهاربند برای نشان دادن کفایت یک طراحی مهاربند تست شده را ممکن می کند و ثانیاً برای مدلسازی صحیح سختی مهاربند مفید است، چراکه قسمت تسلیم پذیر مهاربند کمک قابل توجهی به شکل پذیری آن می کند.

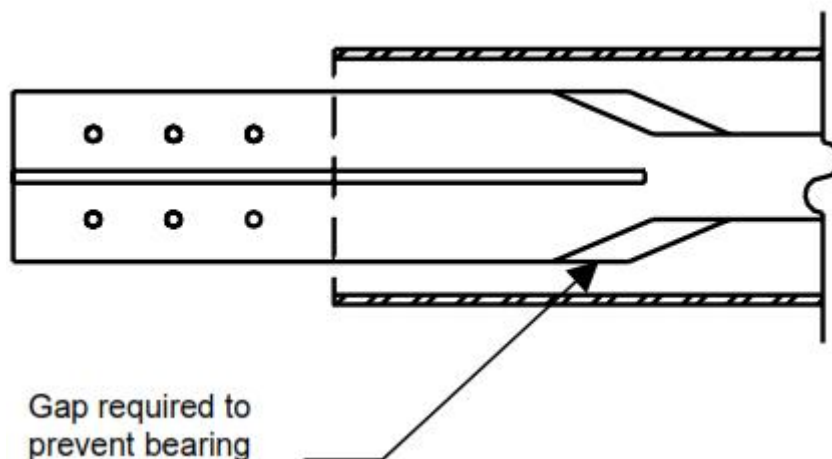
طراحان مدل های پیچیده ای از ورق های اتصال برای عملکرد بالاتر ایجاد کرده اند. مدل های المان محدود، ظرفیت دورانی اتصالات گست شده را به منظور نشان دادن کفایت عملکرد قاب در شکل پذیری قابل توجه، مورد بررسی قرار می دهند. عملکرد این اتصالات به تحقیقات بیشتری نیاز دارد.

مهاربند ها با شکل پذیری کافی ( هم ماکزیمم و هم تجمعی ) جهت اطمینان از مقاومت در برابر تقاضاهای بارگذاری لرزه ای نیاز به تجزیه و تحلیل دارند. برای اطمینان از این درجه از شکل پذیری، طراحی مهاربند بر اساس آزمایش های موفق که نشانگر رفتار هیستریزس پایدار و کامل فقط با اضافه مقاومت فشاری متوسط همراه با اثبات شکل پذیری لازم و استهلاک مقدار معینی از انرژی انجام می پذیرد.

**BRB** ها برای مقاومت کافی طراحی می شوند، سایر اعضای قاب می توانند با استفاده از اصول طراحی ظرفیتی طراحی شوند. نیروهای مربوط به نیروهای ماکزیمم مورد انتظار که مهاربندها برای تغییر شکل های مورد انتظار استفاده می شوند به عنوان مقاومت های لازم تیرها، ستون ها و اتصالات مهاربندی استفاده می شوند.

به دلایل زیر این نیروهای ماکزیمم مورد انتظار، بطور قابل توجهی از نیروهای طراحی مهاربند بیشتر هستند: اضافه سختی در نظر گرفته شده برای مهاربند، استفاده از فاکتور مقاومت، اضافه مقاومت فشاری مهاربند، کرنش سخت شدگی مهاربند در تغییر شکل های بزرگ و تحت بارگذاری غیر الاستیک چرخه ای تکرار شونده. سهم دو عامل اخیر، از نتایج آزمایش های **BRB** انجام شده برای کنترل کردن مهاربندهای بکار برده شده در ساخت و ساز تعیین می شود.

طراحی BRBF با آئین نامه ANSI/AISC 341-10 تحت عنوان " ضوابط لرزه ای برای طراحی ساختمان های سازه فلزی " انجام می پذیرد.



محققان و تولید کنندگان، انواع مختلف BRB را در نقاط لرزه خیز دنیا از جمله ایالات متحده، ژاپن و تایوان توسعه داده اند. اتصالات مهاربند به گسست می توانند بصورت با انتهای ثابت یا پین باشند. مهاربند ها می توانند دارای هسته فولادی تکی یا چند هسته ای در غلاف تک یا غلاف چندتائی متصل باشند. هسته ها می توانند بصورت ورق تکی، مفتولی، شکل کاهش یافته و یا مقطع پیش ساخته باشند؛ همچنین جهت هسته نیز می تواند مختلف باشد. غلاف ها می توانند فولاد ساده، بتن، یا ترکیبی از آن دو باشد. همچنین روش های مختلفی برای جلوگیری از انتقال تنش به هسته توسعه داده شده است. از آنجائیکه استفاده از هر BRB با آزمایش های موفق پیش بینی شده است، همه انواع BRB مجاز می باشند.

BRBF می تواند مهاربندهائی با پیکربندی های زیاد داشته باشد. بدلیل اینکه هیچگونه کاهش مقاومت و سختی در مهاربندها مجاز نیست و بدلیل اینکه مقاومت های فشاری و کششی تقریباً برابر هستند، پیکربندی قطری تک بدون جریمه مجاز می باشد. پیکربندی قطری تک همچنین یک روش جایگزین برای بدست آوردن مزایای مقاومت های بالای ممکن برای BRB ها می باشد. مهاربندی K مجاز نمی باشد.

پیکربندی شورون ( ۷ یا ۸ ) در BRBF بسیار محبوب می باشد، بطوریکه برای قاب، مقداری بازشو ایجاد می کند. بدلیل تعادل بین مقاومت فشاری و کششی مهاربند، تیر فقط کافی است در برابر بارهای ساده مقاومت کند؛ همچنین محدودیت خیز برای جلوگیری از جابجائی تیر در امتداد قائم اعمال می شود.

دیگر پیکربندی های BRBF هم ممکن است. BRB ها می توانند تا زمانیکه طراحان تقاضاهای شکل پذیری را با BRB ها محدود می کنند با مهاربندهای مرسوم ترکیب شوند.

### آزمایش

بدلیل اینکه طراحی قاب های مهاربندی شده کمانش تاب بر اساس رفتار هیستریزیس عالی مهاربند ها پیش بینی شده است، برای اطمینان از آن عملکرد، آزمایش مهاربند ها را ضوابط لرزه ای مقرر داشته است.

آزمایشات برای این در نظر گرفته شده است تا اطمینان حاصل شود مهاربند کمانش تاب استفاده شده، توانائی تامین ظرفیت شکل پذیری ماکزیمم و تجمعی کافی، شامل تغییر شکل های دورانی لازم را داشته باشد. آزمایشات همچنین روش های کنترل کیفیت استفاده شده در ساخت مهاربندها را ارزیابی می کند و فاکتورهای اضافه مقاومت برای طراحی را فراهم می آورد.

هرچند ضوابط لرزه ای به رفتار هیستریزیس مهاربندها رسیدگی می کند، الزامات آزمایشات این اطمینان را می دهد که مد های شکست قطعی، عملکرد مهاربند و سیستم را محدود نمی کند. موارد مذکور شامل مد های کلی، مانند ناپایداری کلی مهاربند، و مد های موضعی نظیر لهیدگی یا پیچش اتصالات می باشند که از تسلیم هسته فولادی در سطح نیروی پیش بینی شده جلوگیری خواهد کرد.

### مشخصات

مهاربند های کمانش تاب معمولاً بصورت کارخانه ای تولید می شوند تا ساخت، یک سازنده مخصوص بجای یک پیمانکار یا تولید کننده فولاد، آنها را تولید می کند. مشخصات باید به تیپ مهاربند ها توجه نماید و شامل محاسبات طراحی مهاربند مربوطه، روند کنترل کیفیت و نیز اسناد آزمایش های موفقیت آمیز تیپ مهاربندها برای استفاده در پروژه باشد.

همانطور که اشاره شد، الزامات آزمایشات به سازنده مهاربند واگذار شده است. سازندگان آزمایشات زیادی توسعه داده اند و برای پروژه های زیادی آنها می توانند مهاربند تامین کنند بدون نیاز به آزمایشات مخصوص پروژه.

دانش انحصاری زیادی در طراحی و ساخت مهاربند های کمانش تاب وجود دارد، بنابراین طراحان و سازندگان باید ارتباطی برقرار نمایند که به طراح اطمینان دهند که مهاربند ها بصورت صحیح طراحی و کاملاً درست ساخته شده اند و به سازندگان اطمینان دهند که اسرار معامله افشاء نخواهد شد.

ملزم کردن سازنده برای مستند کردن طراحی و متدولوژی کنترل کیفیت و پیگیری آن در ساخت مهاربندهای نمونه اصلی مورد علاقه طراح است ( الزامات مقررات لرزه ای ). سازندگان باید اطمینان حاصل کنند که چنین اطلاعاتی به اشتراک گذاشته نخواهند شد.



## ملاحظات عملکرد

تمایل مقررات لرزه ای برای کمک به ایجاد سازه های قاب مهاربندی شده کمانش تاب با توان عملکرد حداقل و همچنین سایر سیستم ها در یک رویداد لرزه ای می باشد، ایجاد آئین نامه ها چنین عملکردی را با عنوان تامین ایمنی جانی مشخص می نماید. همچنین مشخص شده که BRBF می تواند برای تامین عملکرد لرزه ای فوق العاده طراحی شود، این همان هدف مقررات است.

## نتیجه

مهاربندهای کمانش تاب از شکل پذیری ذاتی فولاد برای تامین شکل پذیری به وسیله جلوگیری از تمرکز بیش از حد کرنش غیر الاستیک استفاده می کنند. قاب ها با استفاده از چنین مهاربند هائی می توانند به عنوان یک سیستم موثر و کارآمد مقاوم در برابر بارهای لرزه ای طراحی شوند. با استفاده از مقررات لرزه ای توسعه داده شده توسط AISC و SEAOC ، مهندسان می توانند یک سیستم با عملکردی بیش از الزامات مورد نیاز آئین نامه ساختمانی طراحی کنند. بعضی از شرکت های خاص، مهاربندهائی توسعه داده اند که احتیاجات مهندسان را برآورد می کند و اطلاعات تست هائی را برای ارضاء الزامات آزمایشات برای پروژه های زیاد گرد آورده اند. از آنجاکه یک عملکرد بهتر از الزامات ایمنی جانی آئین نامه های ساختمانی مطلوب است، آنالیز اضافی و ملاحظات طراحی، مناسب است.