



**شرکت مهندسی و عمران آلتین یول تبریز**  
**درک بیشتر مهاربندهای کمانش تاب (BRB)**

BY KIMBERLEY ROBINSON, S.E., AND CAMERON BLACK, PE., PH.D.



ترجمه مقاله ای در مجله تخصصی

[MODERN STEEL CONSTRUCTION APRIL 2011](#)

مهندسی ، طراحی و ساخت مهاربند کمانش تاب (BRB)

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

## درک بیشتر مهاربندهای کمانش تاب (BRB)

BY KIMBERLEY ROBINSON, S.E., AND CAMERON BLACK, PE., PH.D.

اطلاعاتی برای کمک به شما برای آنچه می‌خواهید طراحی کنید  
و طراحی آنچه شما می‌توانید.

مهاربند کمانش تاب (BRB) در اواخر دهه ۱۹۹۰ در ایالات متحده معرفی شد و پس از آن در بیش از ۳۵۰ سازه از این نوع مهاربند استفاده گردیده است. در طول ۱۰ سال، این تکنولوژی به سطح مهمی از تکامل در زمینه تحقیق، تدوین آئین نامه‌های مربوطه و اجراء رسیده است. آئین نامه مربوط به قاب مهاربند کمانش تاب (BRBF) که جزئی جدائی ناپذیر از سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی است، از سال ۲۰۰۵ تدوین شده و تحت پوشش هر دو مقررات لرزه ای AISC (ANSI/AISC 341-05) و نسخه جدید (341-10) و ASCE/SEI 7-10 در آمده است.

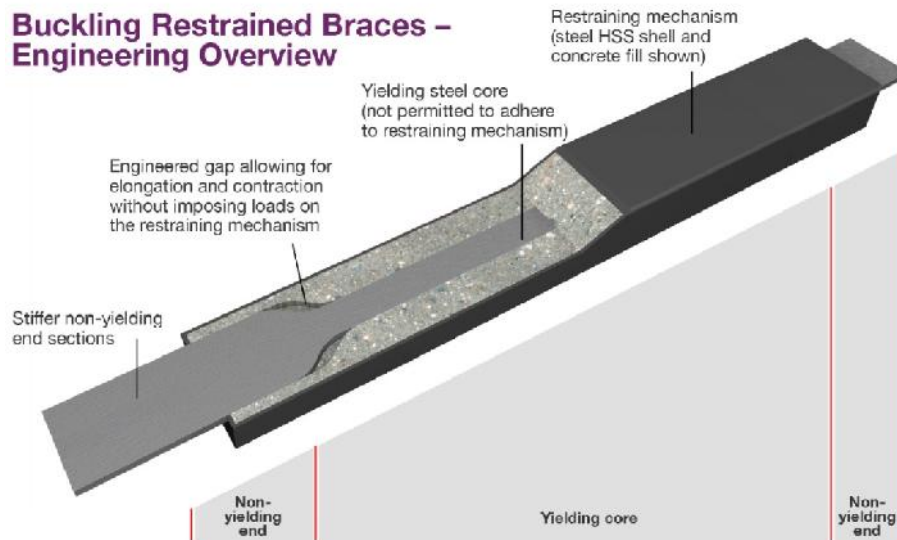
در سالهای اخیر سطح آگاهی عمومی از BRB ها و BRBF در جامعه مهندسی بصورت قابل توجهی رشد داشته که گواه آن تعداد زیاد تحقیق، مقاله‌های تجاری در مجلات و سخنرانی در کنفرانس‌ها برای پوشش این سیستم می‌باشد. با این حال و با تمام اطلاعات در دسترس، بسیاری از مهندسان هنوز در مورد مفهوم، و بطور خاص در مورد چگونگی طراحی و ویژگیهای این محصول ناآگاه هستند.

### اجزاء یک BRB

ویژگی اصلی یک BRB کمانش نکردن آن می‌باشد. توانائی تسلیم شدن BRB در هر دو حالت فشاری و کششی و استهلاک انرژی زلزله با رفتار تقریباً متقارن، مزایای مهمی را نسبت به سیستمهای مهاربندی متداول به وجود می‌آورد.

BRB ها دو جزء اصلی دارند (شکل ۱) که کارهای متمایزی انجام می‌دهند در حالیکه از هم جدا شده اند. قسمت باربر BRB هسته فولادی آن است که در برابر کمانش کلی توسط غلاف بیرونی پر شده با بتن مهار شده است. این غلاف بندی مکانیزم جزء پایدار یا مقاوم در برابر کمانش (کمانش تاب) است. از اتصال هسته

فولادی به بتن در روند ساخت جلوگیری می گردد تا اطمینان حاصل شود که اجزاء BRB جدا باقی بمانند و از عملکرد مرکبی که رفتار آن را تغییر می دهد جلوگیری شود.



▲ Fig. 1: Components of a buckling-restrained brace.

در تشکیل یک پیکربندی به عنوان BRBF ، BRB معمولاً در یک قاب مهاربندی شده همگرا قرار می گیرد. این سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی اغلب در مناطق با خطر زلزله خیزی زیاد و بسیار زیاد استفاده می شود، بدون در نظر گرفتن اینکه طراحی حاکم بر سازه برای نیروی باد بوده یا زلزله. سیستم های BRBF نسبت به سیستمهای مهاربندی متداول از لحاظ اقتصادی به صرفه بوده بطوریکه مهندس بهتر می تواند نیازهای لرزه ای و سپس اندازه اتصالات و نیز فونداسیون ها را تخمین بزند. سیستمهای BRBF همچنین می توانند برای پل ، انفجار و کاربردهای لرزه ای کمتر در قسمت هایی که شکل پذیری زیاد و خواص کمانش ناپذیری BRB در آنها ممکن است هنوز یک مزیت اساسی باشد ، مورد بررسی قرار گیرند.

سیستمهای BRBF عملکرد چرخه ای محکمی نشان می دهند و ظرفیت شکل پذیری زیادی دارند ، که در فاکتورهای پاسخ لرزه ای یعنی  $R$  منعکس شده است. هنگامی که اتصالات تیرها به ستونها در قاب مقاوم در برابر نیروهای جانبی خمشی است  $R=8$  ؛ و در غیر اینصورت  $R=7$  ( موردی که در آئین نامه ASCE7-10 مجاز نمی باشد). آزمایشهای انجام یافته روی BRB ها تا کنون نشان داده اند که آنها توانائی مقاومت در برابر رویدادهای لرزه ای متعدد را بدون گسیختگی و یا از دست دادن مقاومت دارند.

### طراحی و مشخصات

طراحی یک سیستم BRBF آسان و سر راست است. مهندسان معمولاً از روش نیروی جانبی معادل که در ASCE/SEI 7 ارائه شده ارائه شده استفاده می کنند ، مگر اینکه یک روش تجزیه و تحلیل دیگری انتخاب شود. برای زمان تناوب تخمینی سازه ،  $T_a$  از مقادیر  $C_r$  و  $X$  ضمیمه R مقررات لرزه ای یا روش های بخش 12.8.2 آئین نامه ASCE/SEI 7-10 باید استفاده شود. یک منبع خوب برای روش طراحی با BRB کتاب " طرح لرزه ای قابهای مهاربند کمانش تاب " نوشته **Walterio A. Lopez** و **Rafael Sabelli** می باشد.

سوالی که اغلب در پروژه های BRBF پرسیده می شود این است که چه اطلاعاتی را مهندس سازه باید در نقشه های طرح به منظور نیل به عملکرد مورد نظر قرار دهد. مهندس محاسب باید فرضیات طراحی ، شاخص های قابل قبول و شرح الزامات آئین نامه ANSI/AISC 341-10 را بیان نماید. این اطلاعات می تواند با موارد لازم برای حصول اطمینان از اینکه BRB ها بصورت صحیح تخمین زده شده اند ، قیمت گذاری ، طراحی ، جزئیات بندی و نصب شده اند شروع گردد ، نظیر تعداد BRB ، اندازه ، طول و نوع اتصال آنها . همچنین ، اطلاعات اضافی لازم است تا اطمینان حاصل شود BRB ها هدف طراحی را برآورده می کنند و برای پاسخ لرزه ای سازه کافی می باشند. اینها شامل فاکتورهای طراحی و فاکتورهای اصلاحی مقاومت مجاز ماکزیمم هم می شوند.

نقشه های طراحی باید شامل آیتم های زیر باشند :

۱- **پارامترهای طرح لرزه ای و روش آنالیز بکار گرفته شده.** شامل اطلاعاتی نظیر تغییر مکان نسبی طبقه طرح و مقادیر  $I C_d R$  و  $I$  که در طرح استفاده شده است. علاوه بر این نقشه ها باید نشان دهند چه روش آنالیزی برای بدست آوردن نیروهای طراحی مهاربند بکار گرفته شده است ، که برای تعیین دقیق کرنشهای طراحی مهاربند و فاکتورهای اصلاحی مقاومت متناظر مهم است تا در طراحی مهاربند استفاده شوند.

۲- **محدوده مجاز مقاومت تسلیم هسته فولادی،  $F_{ysc}$**  در نظر گرفتن محدوده ای در حدود  $2700 \text{ kg/cm}^2$  تا  $3200 \text{ kg/cm}^2$  بطور کلی عمل پذیرفته شده ای است. به هر حال در این مورد با سازنده BRB می توانید در ارتباط باشید.

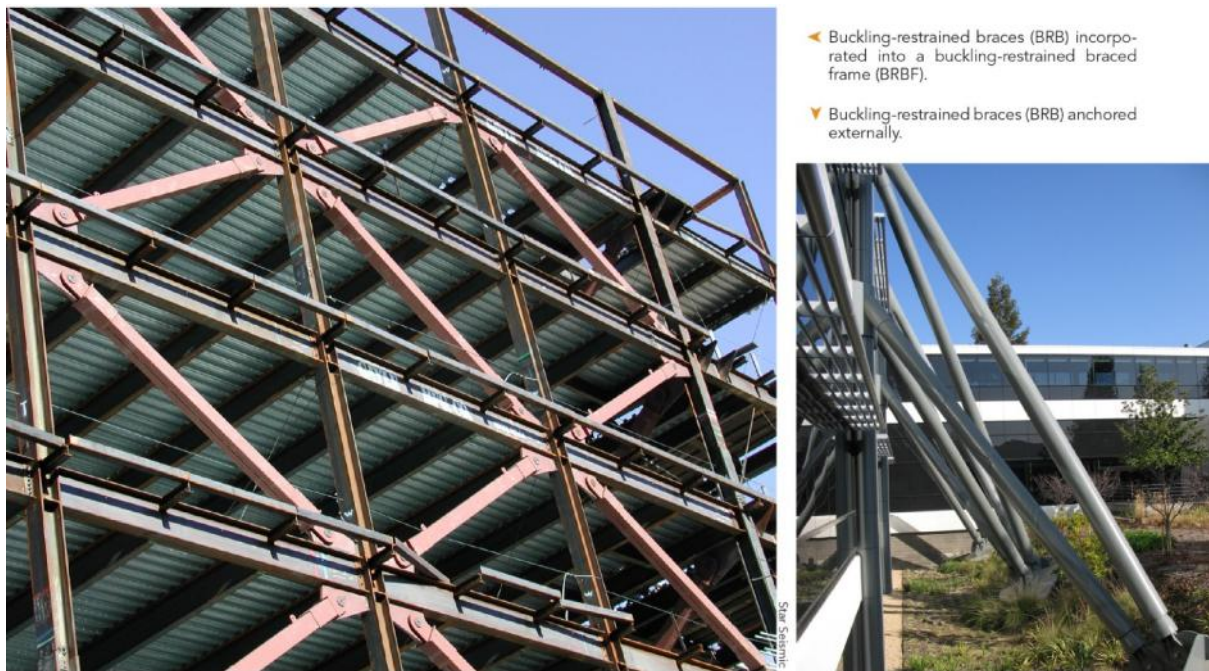
۳- **تنوع مجاز در مقاومت لازم BRB.** دو گزینه برای مطابقت با الزامات مقاومت BRB در AISC 341 وجود دارد. اول اینکه می توان مساحت هسته فولادی را ثابت نگه داشت و اجازه داد مقاومت تسلیم هسته تغییر کند. یا اینکه می توان مقاومت تسلیم هسته را ثابت نگه داشت و اجازه داد مساحت هسته فولادی تغییر کند. گزینه دوم منجر به اضافه مقاومت کمتر BRB بلکه منجر

## درک بیشتر مهارندهای کمناش تاب (BRB)

به بی ثباتی سختی BRB می گردد. BRB ها با مقاومتهای مشخصه یکسان می توانند چنان سختی داشته باشند که باعث شود به اندازه ۲۰٪ با هم فرق داشته باشند که دلیل آن اختلاف در طول کلی یا طول مقاطع داخلی مهاربند بوده که ممکن است در نهایت منجر به رفتار غیر عمدی سیستم گردد.

۴- **تنوع مجاز در سختی BRB** مشخص کردن یک سختی مینیمم یا هم یک سختی مینیمم و هم یک سختی ماکزیمم. این مورد بصورت یک فاکتور اصلاحی سختی در نقشه ها و یا بصورت یک مقدار سختی موثر داده می شود. همچنین ارائه یک راهنما که چطور تولید کننده BRB می تواند از اطلاعات داده شده استفاده نماید.

۵- **تعریف روش برای مشخص کردن کرنش های BRB** کرنشهای محاسبه شده BRB باید از تستهای موفق مهاربند کمتر باشند. بعنوان یک نتیجه ، تولید کننده BRB کرنشهای BRB را برای مطابقت با آئین نامه تعیین می کند و ملزم به ارائه اثبات برای این انطباق می باشد.



۶- **ماکزیمم مقاومت اصلاحی مجاز مهاربند.** تیرهای قابی ، ستونهای قابی و اتصالات BRBF با استفاده از فاکتورهای اصلاحی مقاومت وابسته به BRB مانند و کنترل می شوند. این فاکتورها باید از تولید کننده BRB در طراحی سازه تبعیت کنند.

۷- **جزئیات اتصال BRB ( حتی بصورت شماتیک ) شامل محل و تیپ بندی اتصال ستون/تیر.** در صورت درخواست محاسب ، سازنده BRB طراحی و جزئیات بندی اتصال مهاربند به ورق اتصال را انجام می دهد و یا حتی طراحی و جزئیات بندی کل ورق اتصال را انجام می دهد.



## درک بیشتر مهارندهای کمانش تاب (BRB)

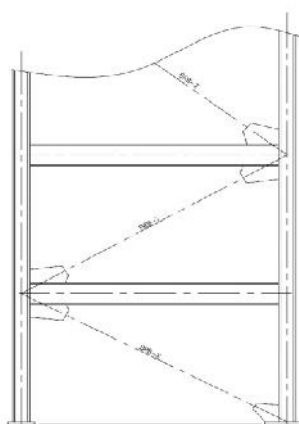
انجام این کار نیاز به یک حداقل سطح از اطلاعات در مورد نقشه های طراحی دارد. حالت های محدودیت اتصال که شامل بارهای ثقلی و غیره از مسئولیت های مهندسی است که طراحی اتصال را برای سازه انجام می دهد.

شکل ۲ یک مثال از یک جدول مهاربند ارائه داده است که بطور موثری آیتم های لیست شده در قسمتهای قبلی و یادداشتهای مربوطه را در بر می گیرد.

گرچه روند طراحی و مشخص کردن BRBF بطور کلی سر راست و ساده است ، همه می توانند از منافع ملاحظه کردن درسهای پروژه های گذشته برای اجتناب از دوباره درس گرفتن از همان درسها با هزینه بیشتر بهره ببرند. با در نظر گرفتن این ذهنیت ، دو پیشنهاد در زیر ارائه می گردد .

به وضوح سطح نیرو را برای نیروهای داده شده در نقشه های طراحی بیان کنید. نیروی مهاربند روی نقشه مشخص شود بصورت مقاومت محوری طراحی مهاربند ،  $P_{ysc}$  ، سطح نیروی واقعی که در آن مهندس نیاز دارد مهاربند تسلیم شود، (همان طور که در آئین نامه AISC341 تعریف شده است ) ، یک مقدار "  $P_u$  " ، یا بار واقعی گرفته شده از مدل ساختمان و شاید گرد شده به بالا برای ساخت تیپهای مهاربند کمتر. نقشه های طراحی باید شامل هر دو رویکرد استفاده شده ( ASD در مقابل LFRD ) و معادله ای که نشان می دهد تولید کننده چطور آنرا در نظر گرفته و برای بارها از آن استفاده کرده است ، باشد.

برای مهندس مهم است که درک درستی از روابط متقابل بین سختی ، مقاومت و مقاومت اصلاحی ماکزیمم مهاربند داشته باشد و این واقعیت که معمولا ممکن نیست بصورت تصادفی این سه را مشخص کرد. در طول مراحل طراحی ، با تولید کننده BRB سختی تعیین شده BRB را بررسی نمائید تا مقاومت درخواستی عملی باشد.



▲ Fig. 2: Example of a buckling-restrained braced frame and schedule with notes.

Braced Frame	Brace Type	$P_{ysc}$ or $P_u$ (kips)	$A_{sc}$ (in <sup>2</sup> )	Stiffness Modifier (SM)
BF-1	BRB-X		X	
	BRB-Y		Y	
	BRB-Z		Z	

### Notes

1. Buckling restrained braces are to be tested per the provisions of AISC 341-05. Supplier to submit proof of each brace's compliance with the qualified load and strain ranges.
2.  $P_{ysc}$  given is the design axial strength ( $A_{sc} F_{ysc}$ ), or  $P_u$  given is the governing code level force in the brace, using LFRD force levels  $P_u \leq 0.9 A_{sc} F_{y min}$ .
3.  $F_{ysc}$  is the actual yield stress of the steel core as determined by a coupon test.  $38 \text{ ksi} \leq F_{ysc} \leq 46 \text{ ksi}$ . Charpy testing required when thickness of the core material exceeds 2 in.
4. Brace stiffness  $K_{br}$  to be  $SM \times (A_{sc} E / L) \pm 10\%$ , where the values for Stiffness Modification Factor (SM) and  $A_{sc}$  are taken from the table and L is the workpoint-workpoint length of the brace.
5. Brace strains to be calculated from design interstory drifts, or Brace strains to be calculated as  $P_{service} / K_{br}$  where  $P_{service} = P_u / \rho$  ( $\rho$  = code redundancy factor and  $I$  = code importance factor).
6. Maximum  $\alpha\beta$  not to exceed X.XX. Maximum  $\beta$  not to exceed X.XX.