

هفتمین همایش ملی فن آوری های نوین صنعت ساختمان

07 National Conference of New
Construction Industry Technologies



«راهکارهای اجرایی مهاربند های BRB»

حامد نوفرستی

- دکتری مهندسی زلزله
- مدرس دوره های ارتقای پایه ساز مان نظام مهندسی خراسان رضوی
- مدرس دانشگاه آزاد مشهد
- کارشناس رسمی دادگستری





فهرست مطالب

- معرفی سیستم مهاربند کمانش تاب BRB
- الزامات سیستم و اعضا
- روش تایید مهاربند های کمانش تاب
- نمونه اجرای مهاربند های کمانش تاب
- نمونه تاییدیه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

بخش ۱

معرفی سیستم مهاربند کمانش تاب BRB





معرفی سیستم مهاربند کمانش تاب BRB

❖ تاریخچه

- ایده اولیه و فناوری مهاربند کمانش تاب برای اولین بار توسط مهندس ژاپنی به نام واکابایاشی در دهه ۱۹۸۰ در انستیتوی فناوری توکیو مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت.
- در سال ۱۹۸۸ - ۱۹۸۹ اولین نمونه عملی مهاربندهای کمانش تاب در دو ساختمان فولادی در ژاپن بکار گرفته شدند و این مهاربندها تا دهه ۱۹۹۰ در حدود ۱۶۰ ساختمان ژاپن نیز مورد استفاده قرار گرفتند.
- با رواج سیستم مهاربند کمانش تاب و عملکرد لرزه ای خوب آن در کشور ژاپن، این سیستم نوین مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت و توسعه آن به کشورهای نظیر آمریکا، کانادا، چین، ترکیه و نیوزلند رسید.
- پس از زلزله نورثریج در سال ۱۹۹۴، پژوهشگران آمریکا باتوجه به تجربیات زلزله اخیر، شروع به بازبینی آیین نامه آمریکا کردند. در نهایت اولین مهاربند کمانش تاب در آمریکا در سال ۱۹۹۸ در ساختمان دانشکده علوم گیاهی و زیست محیطی دانشگاه کالیفرنیا استفاده شد.



معرفی سیستم مهاربند کمانش تاب BRB

- مهاربند کمانش تاب (کمانش ناپذیر-Buckling Restrained Brace)، مهاربندی است که در برابر کمانش، تاب آوری داشته باشد. تاب آوری مهاربند کمانش تاب به معنی جلوگیری از کمانش نیست، بلکه به معنی کنترل کردن کمانش است.

❖ اجزای تشکیل دهنده

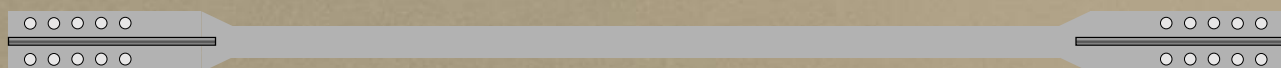
- هسته
- غلاف
- لایه جداکننده
- نایمه انتقالی
- نایمه اتصال



هسته فولادی
+
غلاف



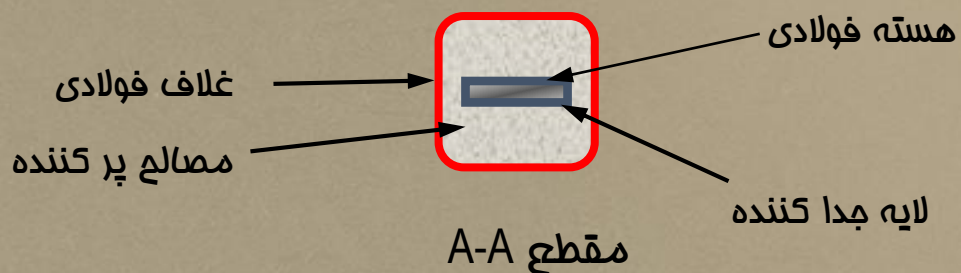
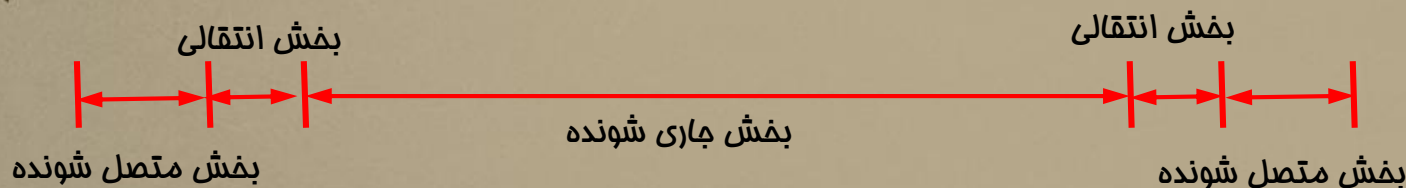
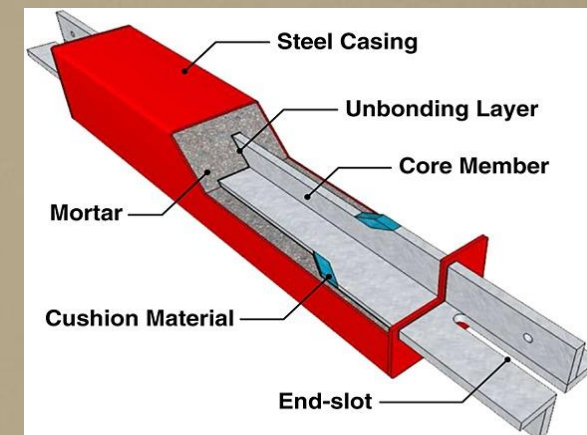
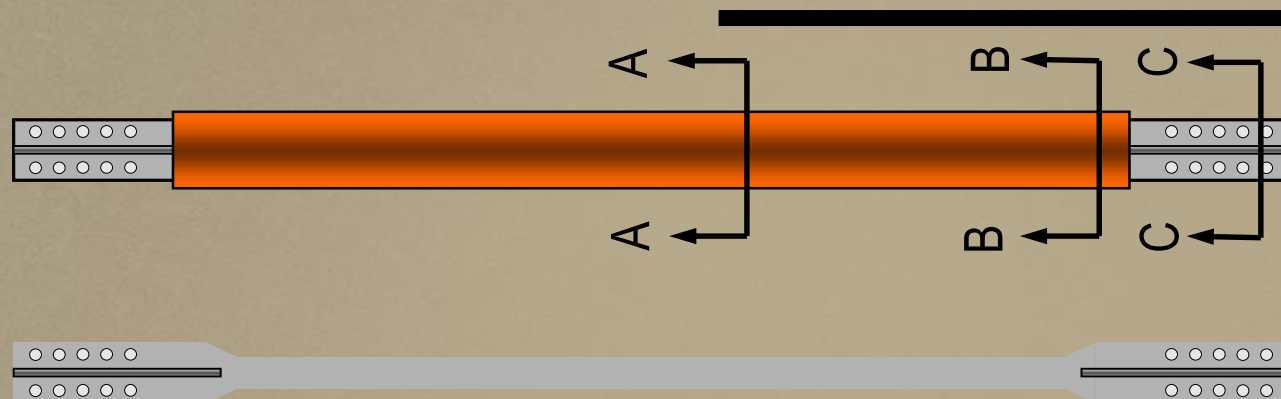
غلاف



هسته فولادی



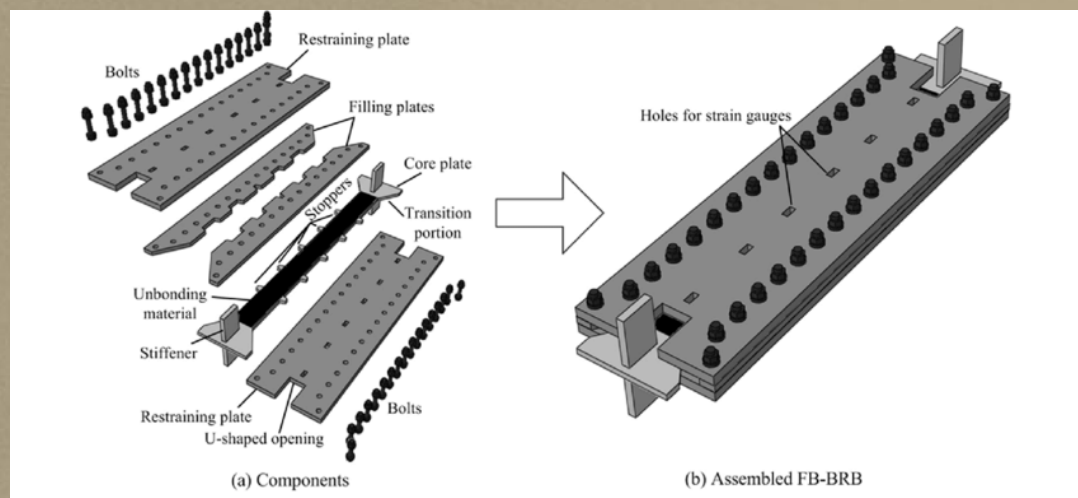
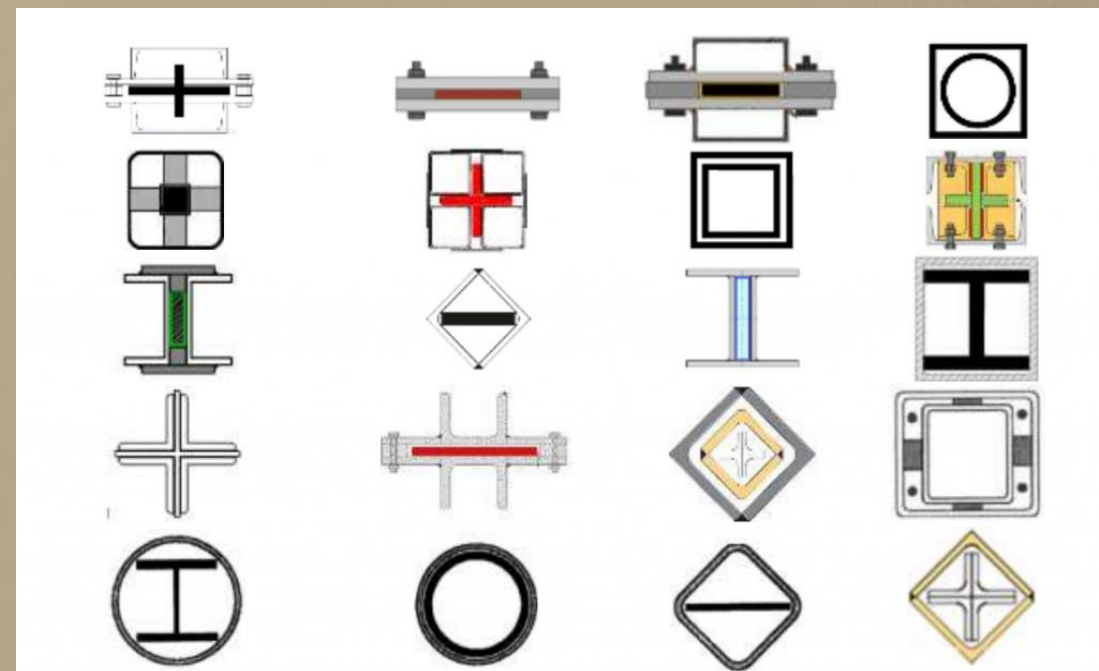
معرفی سیستم مهاربند کمانش تاب BRB

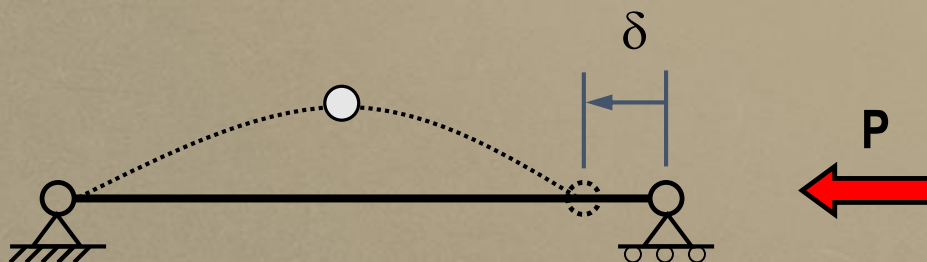
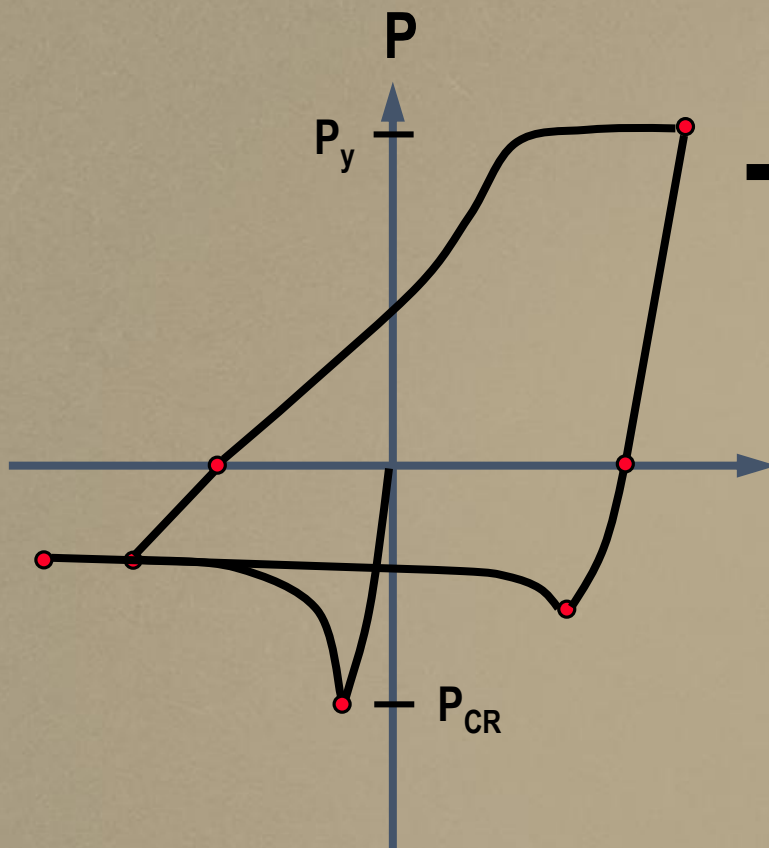




معرفی سیستم مهاربند کمانش تاب BRB

❖ انواع مقاطع مورد استفاده





معرفی سیستم مهاربند کمانش تاب BRB

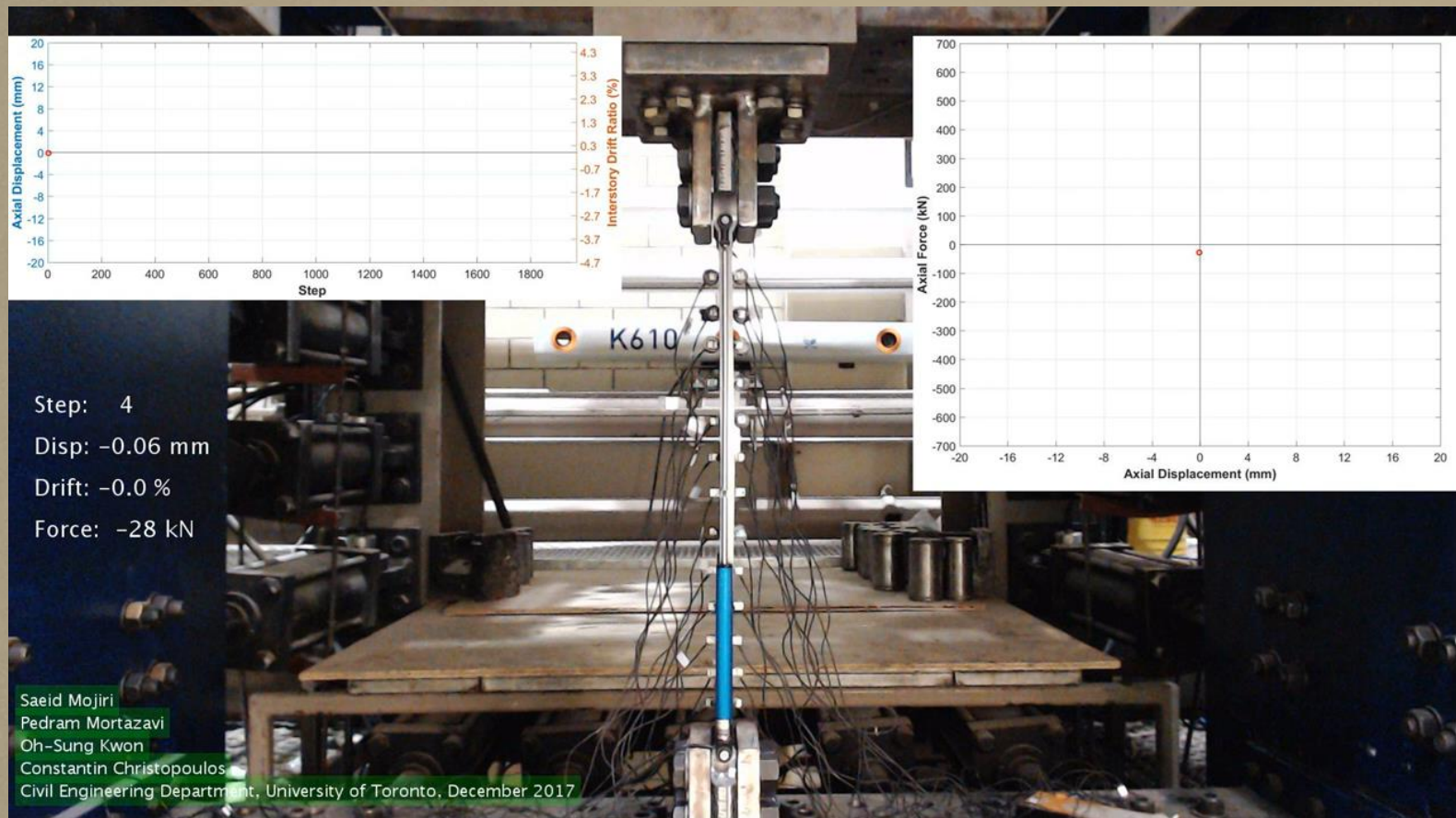
❖ رفتار مهاربند معمولی

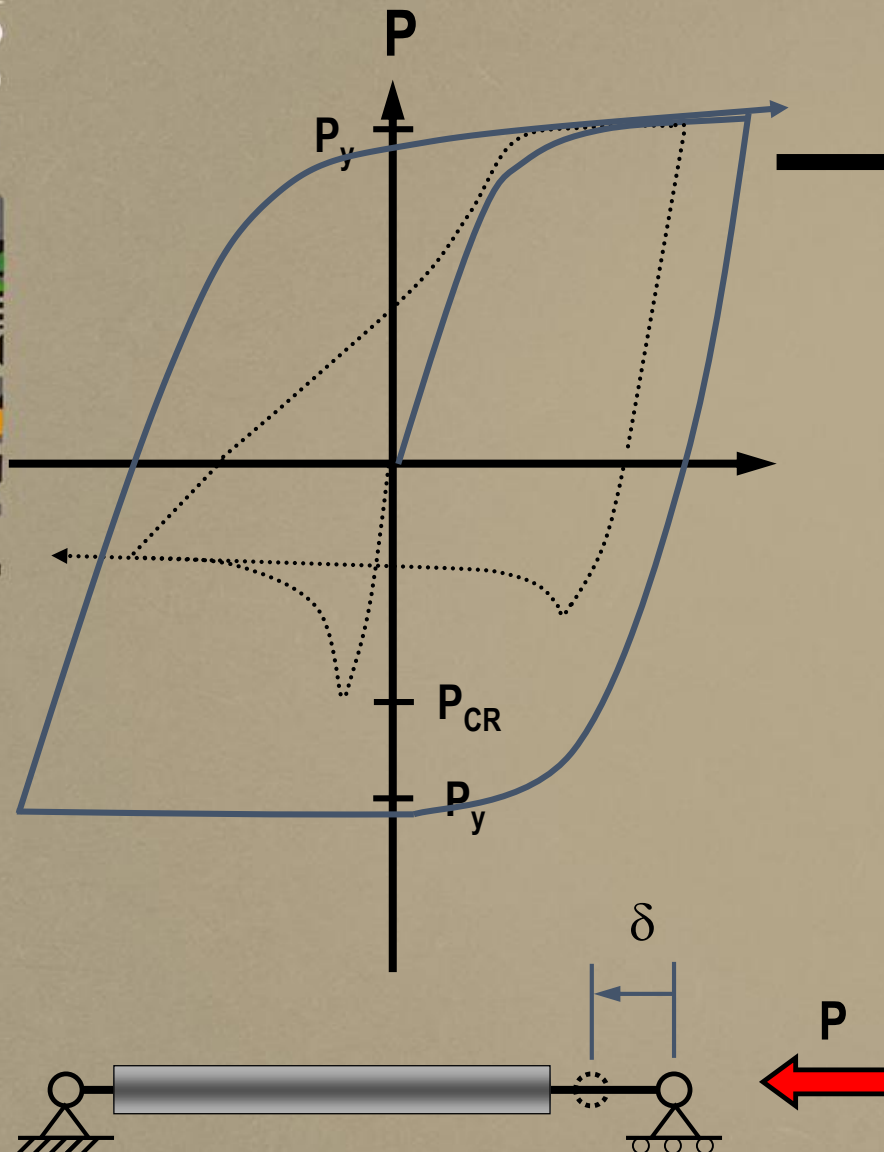
- در کشش جاری می شود
- در فشار دچار کمانش می شود
- تفاوت مقاومت کششی و فشاری قابل توجه می باشد





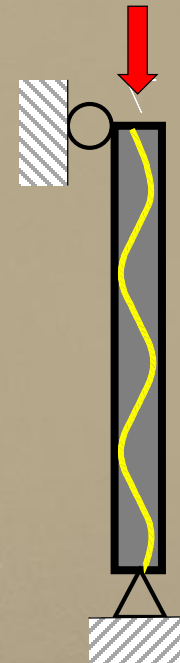
معرفی سیستم مهاربند کمانش تاب BRB





معرفی سیستم مهاربند کمانش تاب BRB

- رفتار مهاربند کمانش تاب
- در کشش و فشار جاری می شود و رفتار شکل پذیر دارد
- در فشار دچار کمانش نمی شود
- رفتار مشابه در کشش و فشار





The Feasibility of Using Buckling-Restrained Braces for Long-Span Bridges:

Full-Scale BRB Testing Dynamic Near-Fault Protocols

Specimen 3



December 13, 2012
Real-time videos

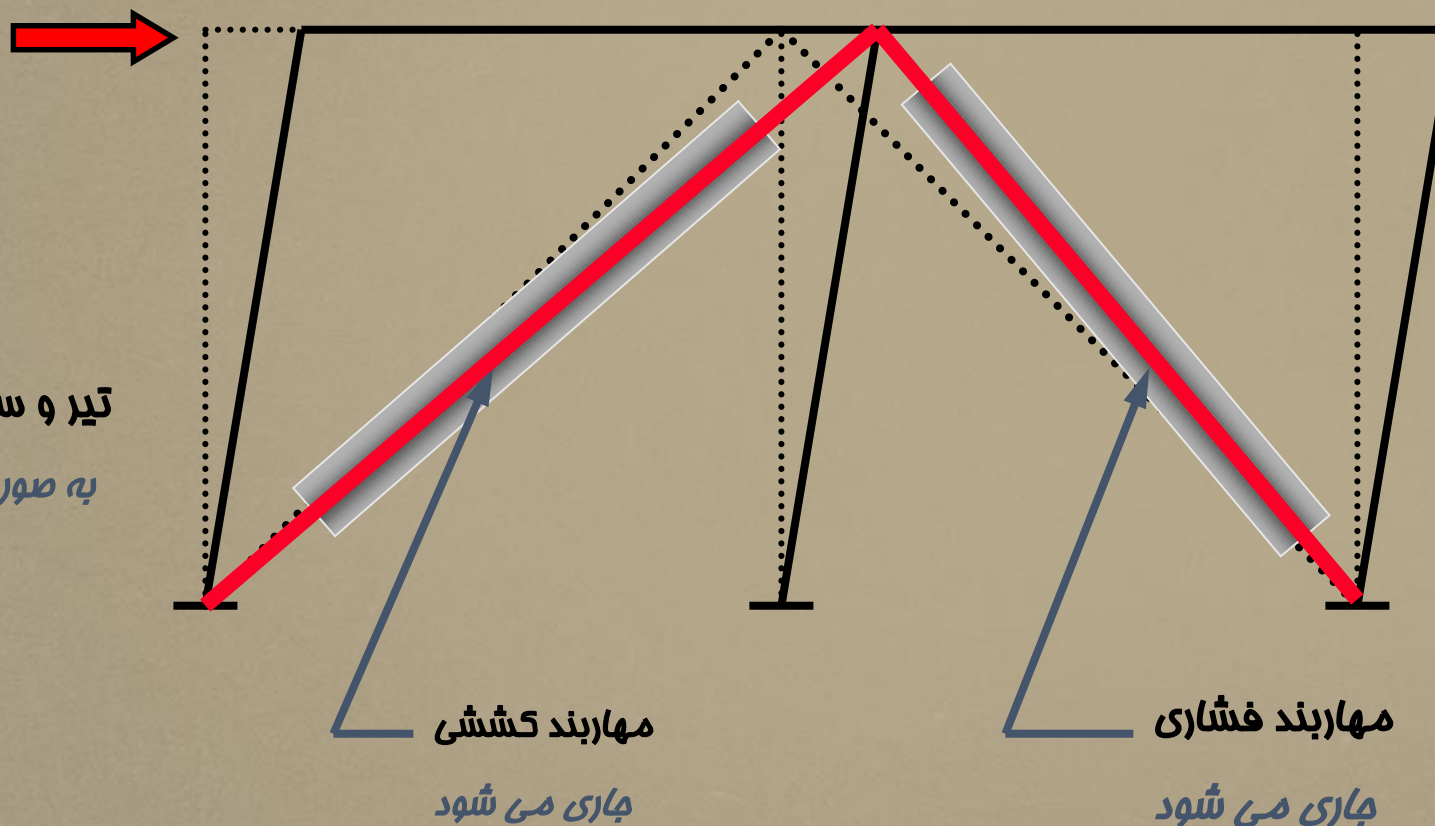




معرفی سیستم مهاربند کمانش تاب BRB

- پاسخ سیستم در برابر بارهای لرزه ای

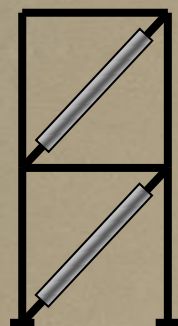
تیر و ستون
 به صورت الاستیک باقی می ماند



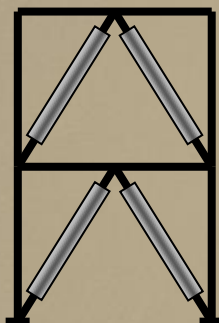


معرفی سیستم مهاربند کمانش تاب BRB

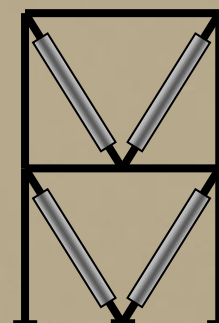
• انواع حالت های مهاربندی در سیستم BRB



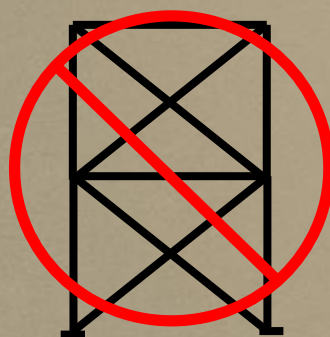
قطری



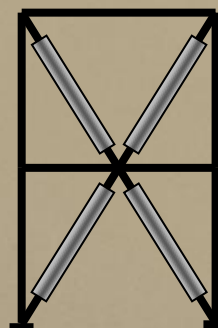
مهاربند ۸



مهاربند ۷



ضربدری



ترکیب ۷ و ۸ (X در دو طبقه)

معرفی سیستم مهاربند کمانش تاب BRB

❖ کاربرد سیستم کمانش تاب بعنوان مهار جانبی

سیستم سازه	R	Ω	Cd	Hm
قاب سافتمانی + مهاربند کمانش تاب	7	2.5	5	50
سیستم دوگانه (قاب خمشی + مهاربند کمانش تاب)	8	2.5	5	200

• در صورت امر از شرایط زیر می توان قاب ساده با مهاربند کمانش تاب را تا ارتفاع ۷۵ متر از تراز پایه افزایش داد:

✓ زمین سافتگاه از نوع ۲، ۳ و یا ۴ جدول ۲-۴ استاندارد ۲۸۰۰ باشد.

✓ ساختمان از نوع پیچشی شدید در پلان نباشد.

✓ ساختمان در هر امتداد اصلی در دو طرف مرکز جرم دارای سیستم مقاوم جانبی باشد.

بخش ۲

الزامات سیستم





الزامات سیستم مهاربند کمانش تاب

- جزییات عضو مهاربندی باید به نحوی انجام پذیرد که **تخیر شکل های مورد انتظار** را تامین نماید.
- **تخیر شکل های مورد انتظار**، $2 \Delta_{bm}$ بر اساس **تخیر مکان جانبی** نسبی طرح طبقه تعیین می گردد.

$$\left. \begin{array}{l} 2C_d \times \Delta_E \\ \text{ارتفاع طبقه} \times 0.02 \end{array} \right\} \text{تخیر شکل های مورد انتظار} = \text{بزرگترین دو مقدار}$$



$$\beta = \frac{C_{max}}{T_{max}}$$

$$\omega = \frac{T_{max}}{F_{ysc} A_{sc}}$$

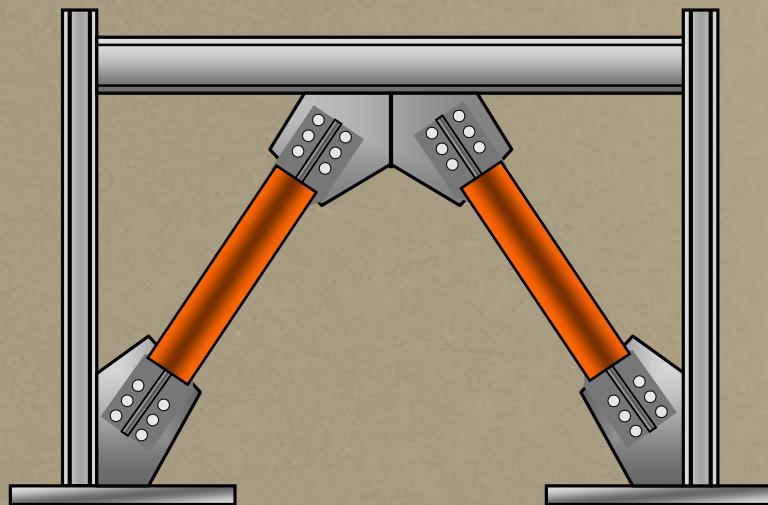
الزامات سیستم مهاربند کمانش تاب

❖ برای اینکه یک مهاربند، کمانش تاب (BRB) تلقی شود باید شرایطی تامین شود:

- عملکرد متقارن آن تحت بارهای کششی و فشاری است. عملکرد متقارن مهاربند کمانش تاب بر اساس چرخه های نیرو - جابه جایی تعیین می شود. به این منظور آیین نامه شاخص ضریب تعدیل مقاومت فشاری بتا (B) را برای این اعضا تعریف می نماید.

- مقدار β از آزمون های تایید عملکرد مهاربند برای تخییر شکل مورد انتظار به دست می آید.
- ضریب تعدیل سفت شوندگی کرنشی (ω)

- ضریب تعدیل سفت شوندگی کرنشی از تقسیم بار نهایی کششی T_{max} به بار متناظر با نقطه تسلیم عضو هسته P_{ysc}



الزامات سیستم مهاربند کمانش تاب

• این شاخص بیانگر ویژگی سفت‌شوندگی عضو هسته بعد از تسلیم‌شدگی کششی است. به عبارت دیگر عضو هسته باید قادر باشد بعد از تسلیم دارای سفتی مثبت و مقاومت افزایشی بوده و دچار زوال در تحمل بار نشود.

• ضریب ω نیز بر اساس آزمون تایید عملکرد مهاربند کمانش تاب به دست می آید.

❖ محدودیت ها و ضوابط سیستم کمانش تاب در مهاربند های ۷ و ۸

- پیوستگی تیرهای واقع در مد فاصل ستون ها در دهانه مهاربند
- رعایت محدودیت های شکل پذیری متوسط در تیر و ستون ها
- الزام مهار جانبی تیرهای دهانه مهاربندی شده برای جلوگیری از کمانش پیچشی-جانبی (مگر آنکه تیر بدون مهار جانبی دارای مقاومت خارج از صفحه و سفتی کافی برای تامین پایداری در بین دو انتهای مهار شده باشد).



الزامات سیستم مهاربند کمانش تاب

- ممنوعیت استفاده از مهاربند های K شکل
- رعایت ضوابط حداقل طاقت شیار در صورت استفاده از ورق های با ضخامت بیش از ۵۰ میلی متر
- ممنوعیت استفاده از وصله در هسته فولادی
- عدم مشارکت موثر سیستم محدود کننده کمانش در انتقال نیروی محوری
- جلوگیری از کمانش موضعی و کلی هسته فولادی توسط سیستم محدود کننده کمانش در تخییر شکل های مورد انتظار
- آزمون های تایید مهاربند کمانش تاب، میبایست الزامات سیستم محدود کننده کمانش را برآورده نمایند.

❖ جوش های بحرانی لرزه ای

- جوش شیار و وصله ستون
- جوش اتصال ستون به کف ستون
- جوش اتصالات تیر به ستون

❖ در صورت اتصال ورق گاست پلیت به هر دو عضو تیر و ستون:

- در حالتیکه نیاز دوران در محل اتصال تیر به ستون ۰.۰۲۵ (رادیان باشد، اتصال از نوع ساده فرض می شود.
- محل وصله ستون ها مشابه ضوابط ماکه بر الزامات عمومی لرزه ای اتصالات می باشد.
- وصله مستقیم ستون ها باید با استفاده از جوش شیارى با نفوذ کامل انجام شود.
- وصله غیر مستقیم ستون ها می تواند از نوع جوشى یا پیچى باشد.

بخش ۳

روش تایید مهاربند های کمانش تاب





روش تایید مهاربند کمانش تاب

❖ آزمایش انطباق اعضای مهاربندی

- طراحی مهاربند ها باید بر اساس آزمایش های چرخه ای ارزیابی کفایت صورت پذیرد.
- ارزیابی، حداقل بر مبنای دو آزمایش چرخه ای موفق انجام می شود.
- یک آزمایش بر روی قاب مهاربندی شده صورت می گیرد.
- یک آزمایش بر روی مهاربند تنها یا به صورت قاب مهاربندی شده انجام می شود.

❖ نتایج مورد ارزیابی بر اساس یکی از دو روش زیر به دست می آیند:

- آزمایش هایی که در پژوهش های معتبر انجام و گزارش شده یا بر روی مهاربندهای پروژه های دیگری انجام و گزارش شوند.
- آزمایش هایی که به طور خاص برای پروژه حاضر انجام می شوند.



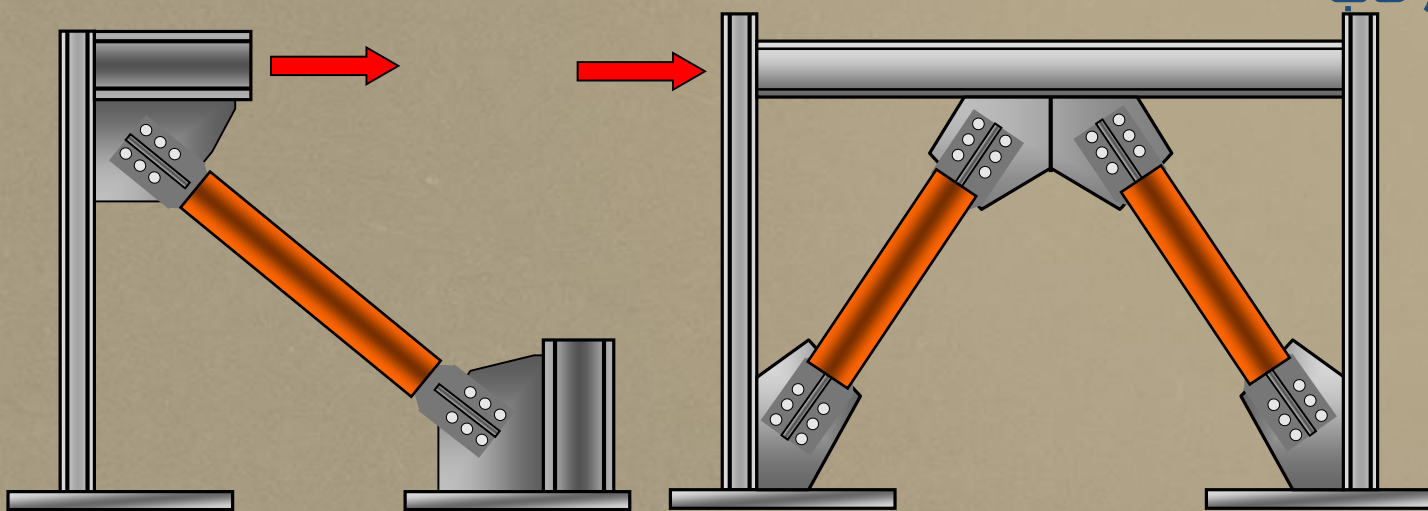
روش تایید مهاربند کمانش تاب

- ارزیابی و تایید مهاربند کمانش تاب، حداقل بر مبنای دو آزمایش چرخه ای موفق انجام می شود.
- یک آزمایش بر روی قاب مهاربندی شده صورت می گیرد.
- یک آزمایش بر روی مهاربند تنها یا باز به صورت قاب مهاربندی شده انجام می شود.

❖ هدف از انجام آزمایش مهاربند کمانش تاب نصب شده در قاب

- اطمینان از طراحی مهاربند در تامین تخییر شکل مورد نیاز
- اطمینان از رفتار چرخه ای یکسان مهاربند نصب شده و تنها

Axial + Rotational Loading

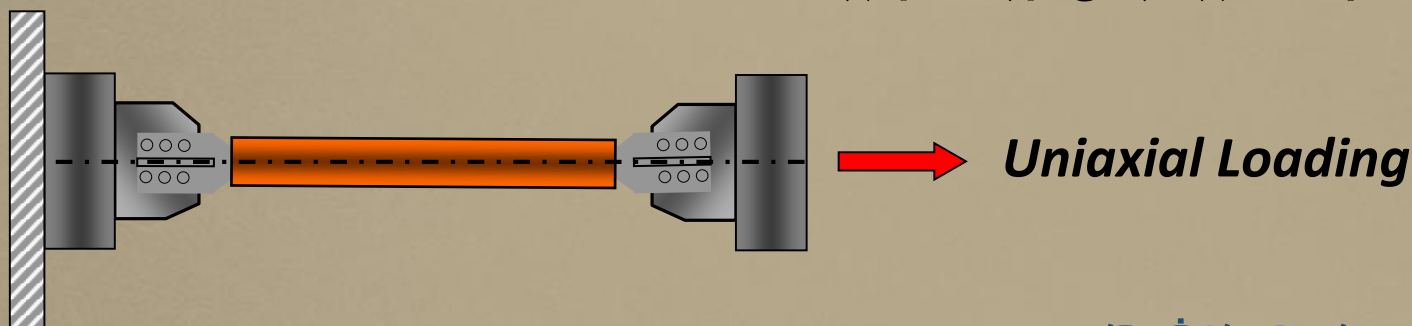




روش تایید مهاربند کمانش تاب

❖ هدف از آزمایش مهاربند کمانش تاب تنها

- اطمینان از تامین مقاومت و تخریر شکل غیر الاستیک مهاربند
- تعیین حداکثر نیروی مهاربند به منظور طراحی اجزای مجاور



❖ برقی ضوابط آزمون مهاربند های کمانش تاب

- میزان مقاومت تسلیم هسته فولادی مهاربند در نمونه آزمایش (Specimen) نسبت به مهاربند اصلی (Prototype)

$$0.3 [P_{ysc}]_{\text{prototype}} \leq [P_{ysc}]_{\text{specimen}} \leq 1.2 [P_{ysc}]_{\text{prototype}}$$



روش تایید مهاربند کمانش تاب

❖ برخی ضوابط آزمون مهاربند های کمانش تاب

- میزان مقاومت تسلیم هسته فولادی مهاربند نصب شده در قاب در نمونه آزمایش (Specimen) نسبت به مهاربند اصلی (Prototype)

$$[P_{ysc}]_{specimen} \geq 0.9 [P_{ysc}]_{prototype}$$

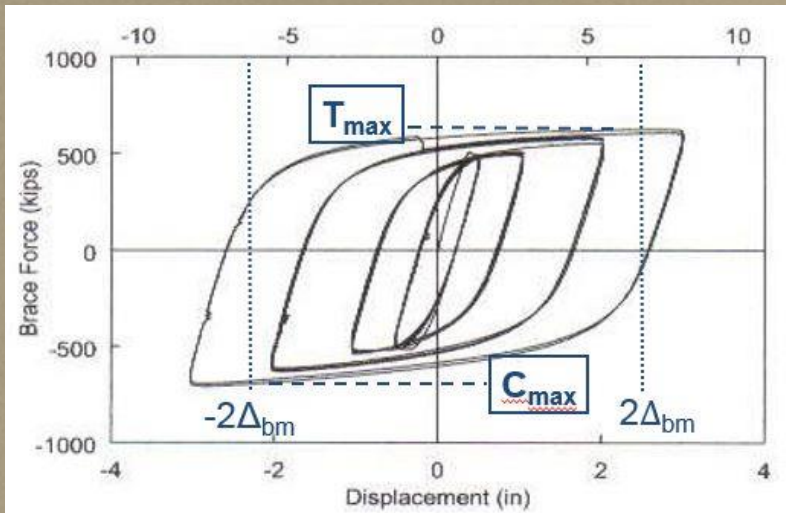
- استفاده از روش طراحی مدون و یکسان در طراحی نمونه آزمایشی و مهاربند اصلی
- شکل یکسان در مقطع و وضعیت قرارگیری هسته فولادی در نمونه آزمایش و مهاربند اصلی
- وضعیت مهاربندی مهاربند اصلی و نمونه آزمایش یکسان باشد.
- رویه های همسان در کنترل کیفیت نمونه آزمایش و مهاربند اصلی



روش تایید مهاربند کمانش تاب

❖ معیارهای پذیرش

- برای هر تیپ مهاربند، حداقل یک آزمایش نمونه نصب شده در قاب که ضوابط آیین نامه را برآورده نماید.
- برای هر تیپ مهاربند، حداقل یک آزمایش نمونه مهاربند تنها که ضوابط آیین نامه را برآورده نماید.
- ✓ در بازه پروتکل بارگذاری چرخه ای:
 - عدم گسیختگی و ناپایداری مهاربند و یا خرابی در بخش متصل شونده
 - سختی افزاینده مثبت (بدون کاهش مقاومت)
 - در آزمایش نمونه مهاربند تنها



$$T_{max} \geq P_{ysc} \quad \text{and} \quad C_{max} \geq P_{ysc}$$

$$C_{max} \leq 1.5 T_{max}$$



روش تایید مهاربند کمانش تاب

❖ مزایای سیستم BRB

- این مهاربند با تسلیم هسته فولادی، لوپ هیسترتیس توپر یا به اصطلاح چاقی را تولید می کند. بنابراین اتلاف انرژی خوبی دارد.
- هم در کشش و هم در فشار تقریباً یک رفتار را از خود نشان داده که این امر آن را نسبت به مهاربندهای معمولی برجسته و متمایز می سازد.
- دیوار غیر سازه ای اطراف آن به واسطه عدم کمانش آسیب نخواهد دید.
- مدل سازی آن در نرم افزارهای متداول امکان پذیر است.

❖ معایب سیستم BRB

- نیاز به دقت بالا در ساخت و تولید دارد، مخصوصاً در کنترل ابعادی مین ساخت.
- روند تولید در کارخانه ممکن است با نمونه تست گرفته شده متفاوت باشد. بتن مورد نیاز برای هسته، مواد جداکننده هسته فولادی از بتن دور آن و سایر موارد اینچینی می بایستی به دقت کنترل گردند.

بخش ۴

نمونه اجرای مهاربند های کمانش تاب





نمونه های اجرایی



❖ مھار جانبی در محل اتصال مھاربند به تیر



نمونه های اجرایی

❖ نمونه اتصال عظیم مهاربند کمانش تاب





نمونه های اجرایی

❖ یکپارچگی تیر در دهانه اتصال و استفاده از سفت کننده





نمونه های اجرایی

❖ نمونه اتصال مهاربند به ورق گاست





نمونه های اجرایی

❖ مهاربند قطری BRB



بخش ۵

نمونه تاییدیه مرکز تحقیقات





نمونه تاییدیه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دفتر علم، صنعت سازی و فناوری های نوین

تایید فن ساختمانی
تاریخ صدور: ۱۳۹۷/۰۲/۱۴
تاریخ اعتبار: ۱۳۹۷/۰۲/۱۴

۶- کلیات

سیستم مهارتشی کماتش تاب (کمانش تاب) نوع جدیدی از سیستمهای مهارتشی همراه با شکل پذیری و اتلاف انرژی قابل توجه هستند که با هدف بهبود رفتار لرزه ای مهارتشی متداول طراحی شده اند.

۷- معرفی محصول سیستم

این نوع مهارتشی دارای یک هسته فولادی هستند که درون غلافی از جنس فولاد قرار گرفته و درون این غلاف با گروت یا بتن ریخته می شود. هسته فولادی می تواند مقاطع صیقلی ورق مسطح یا صیقلی شکل باشد. مهارتشی کماتش تاب بگونه ای ساخته و طراحی می شود که هسته بتواند در راستای طولی مستقل از سازه و کار چگونگی از کماتش عمل کند به بیان دیگر، تمام نیروی محوری که به مهارتشی وارد می شود توسط هسته تحمل می شود یا چگونگی از کماتش هسته این امان می تواند در رفتار حملات کششی جاری شده و بدین ترتیب توانایی جذب انرژی آن به طور چشمگیری افزایش می یابد.

جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دفتر خانه صنعت سازی و فناوری های نوین

تایید فن ساختمانی
تاریخ صدور: ۱۳۹۷/۰۲/۱۴
تاریخ اعتبار: ۱۳۹۷/۰۲/۱۴

۶- بررسی انطباق خواص محصول و اجزاء تشکیل دهنده آن با الزامات

به منظور بررسی کارایی و عملکرد رفتاری سیستم مهارتشی کماتش تاب، مطالعات عددی و آزمایشگاهی جامعی در مرکز بررسی محصولات ساخته شده توسط شرکت بناراد بریس کیان انجام شده است. قاب فولادی دارای مهارتشی کماتش تاب با استفاده از امکانات موجود و مجهز آزمایشگاه و بر اساس آیین نامه AISC 341-16 تست گردیده است. نتایج آزمایشات با ابعاد واقعی بر روی این اعضا نشان می دهد که قابهای مجهز به مهارتشی کماتش تاب تولید شرکت بناراد بریس کیان عملکرد مناسبی داشته و رفتار پایدار و نسبتاً مقارنی تحت فشار و کشش از خود به نمایش می گذارند. همچنین شکل پذیری و قابلیت جذب انرژی این قابها از قابهای مهارتشی ویژه بیشتر می باشد، که این شکل پذیری بالا نتیجه محصور نمودن هسته فولادی مهارتشی در مقابل کماتش می باشد.

مقدار ضریب β (ضریب تعدیل مقاومت فشاری) و ضریب ω (ضریب تعدیل سخت شدگی کرنشی) در این مهارتشی بر اساس نمونه های تست شده شرکت بناراد بریس کیان در تغییر مکان جانبی نسبی مختلف بر اساس جدول ۱ می باشد:

جدول ۱- مقادیر ضرایب تعدیل نیروی مهارتشی کماتش تاب	Drift (%)	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%
β	1.1	1.11	1.21	1.25	
ω	1.03	1.36	1.52	1.60	

مهارتشی تولیدی شرکت بناراد بریس کیان ضوابط پذیرش استاندارد AISC 341-16 را به شرح زیر ارضاء می کنند:

الف) منحنی های نیرو - تغییر شکل حاصله به صورت پایدار و تکرار شونده با سختی مثبت افزایشی می باشد.

ب) هیچگونه گسیختگی یا ناپایداری در مهارتشی رخ نداده و اتصالات انتهایی مهارتشی بدون عیب و نقص هستند.

ج) در هر چرخه بارگذاری که در آن تغییر شکل از Δ_p بزرگتر است، نیروهای کششی و فشاری حداکثر از مقاومت اسمی هسته بیشتر می باشند.

د) در هر چرخه بارگذاری که در آن تغییر شکل از Δ_p بزرگتر است، نسبت نیروی فشاری حداکثر به نیروی کششی حداکثر از ۱/۵ کوچکتر می باشد.



نمونه تاییدیه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دبیرخانه صنعتی سازی و فناوری های نوین



تأیید فنی ساختمانی

تاریخ صدور: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

تاریخ اعتبار: ۱۴۰۲/۰۷/۲۷

۸-۴- طراحی مهاربندها بر این پایه استوار است که مهاربندهای کماتش تاب برای سطح نیروی لرزه ای کاهش یافته طراحی شوند و به حد تسلیم برسند و تغییر شکل های غیر ارتجاعی را در طول زلزله طرح را تحمل نمایند. در حالی که سایر اجزای سیستم که بر اساس ظرفیت مهاربندها طراحی شده اند در محدوده الاستیک باقی بمانند.

۸-۵- تغییر شکل مورد انتظار مهاربند کماتش تاب بزرگترین مقدار بین ۷٪ ارتفاع طبقه و دو برابر تغییر مکان نسبی طرح (مطابق تعریف استاندارد ۲۸۰۰) طبقه می باشد.

۸-۶- سه روش تحلیل شامل روش تحلیل استاتیکی معادل، روش تحلیل طیفی پاسخ مودال و روش تحلیل تاریخچه زمانی برای تحلیل پاسخ لرزه ای سازه های مجهز به مهاربندهای کماتش تاب مجاز می باشد. همچنین استفاده از روش های تحلیل غیرخطی مطابق با ضوابط آیین نامه ASCE

جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دبیرخانه صنعتی سازی و فناوری های نوین



تأیید فنی ساختمانی

تاریخ صدور: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

تاریخ اعتبار: ۱۴۰۳/۰۷/۲۷

در جدول ۱ ارائه شده است

۸-۱۰- ضریب تطبیق سخت شدگی کرنشی، ۵۰ برابر با نسبت بیشترین نیروی کششی اندازه گیری شده از آزمون های تایید عملکرد مهاربند (برای تغییر شکل های مورد انتظار) به نیروی تسلیم اندازه گیری شده Rypysc نمونه آزمون می باشد مقادیر حاصله از آزمایشات انجام شده بر روی نمونه های تولیدی شرکت بناراد بريس کيان در جدول ۱ ارائه شده است.

۸-۱۱- اعضای تیر و ستون باید الزامات اعضای با شکل پذیری متوسط را تأمین نمایند.

۸-۱۲- تست کشش (کوپن) ورق های فولادی به کار رفته در هسته مهاربند باید بر اساس ضوابط یکی از استانداردهای ASTM A6, ASTM A370 یا ASTM E8 باشد. در صورتیکه ضخامت ورق مصرفی ۵۰ میلیمتر یا بیشتر باشد، باید حداقل الزامات سختی را برآورده نمایند. استفاده از وصله در منطقه جاری شدن هسته فولادی مهاربندها ممنوع است.

۸-۱۳- سیستم مهاربند کماتش تاب (غلاف پیرامونی هسته مهاربند، تیرها و ستون های قاب مهاربندی و ورق اتصال (کاست پلِت)) باید از کماتش موضع، و کلی، هسته فولادی برای تأمین، تغییر شکل های مورد نیاز جلوگیری کند.



مراجع

- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان- ویرایش پنجم ۱۴۰۱
- فناوری های نوین مورد استفاده در صنعت ساختمان- ۱۴۰۱
- AISC 360-22 - Specification for Structural Steel Buildings.
- AISC 341-22 – Seismic Provision for Structural Steel Buildings.