



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و شش، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۳، صفحه ۱۵۷ تا ۱۶۴  
Vol. 46, No. 2, Winter 2014, pp. 157- 164



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)  
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)  
(AJSR - CEE)

## مطالعه آزمایشگاهی نوع جدیدی مهاربند کمانش تاب تمام فولاد (*S-BRB*)

فریدون اربابی<sup>۱\*</sup>، معین تبرک<sup>۲</sup>

۱- استاد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله  
۲- کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

(دریافت ۱۳۹۱/۱۱/۲، پذیرش ۱۳۹۲/۷/۴)

### چکیده

مهاربندها از ابتدایی‌ترین سامانه‌های باربر جانبی هستند که برای مقابله با بارهای ناشی از زلزله و باد ابداع شده‌اند. در ابتدا از این سامانه بصورت بسیار ساده‌ای استفاده می‌شد اما با پیشرفت علم و شناخت معایب و توجه به مسائل اقتصادی، نوع مهاربندها تغییر کرد و این تغییرات سبب بوجود آمدن پیچیدگی‌ها و مشکلات جدیدی شد. با شناخت بیشتر رفتار و روش عملکرد مهاربندهای ساده، استفاده از آنها افزایش یافت اما یکی از مهمترین مسائل مهاربندها مسئله کمانش آنها است. در سال ۱۹۷۳ میلادی برای رفع این مشکل، نوعی ابتدایی از مهاربند کمانش تاب ابداع شد. در مهاربندهای کمانش تاب معمول، یک غلاف فولادی از کمانش عضو تحت بارهای محوری جلوگیری می‌کند که این موضوع باعث افزایش باربری مهاربند می‌شود. با افزایش تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، انواع مختلفی از مهاربندهای کمانش تاب پیشنهاد شده است که در این مقاله نیز هدف، معرفی نوع جدیدی از مهاربندهای کمانش تاب است که دارای ویژگی‌هایی از جمله سبکی، راحتی در ساخت، امکان بازبینی هسته پس از وارد شدن بار و غیره نسبت به نوع معمولی آن است. بدین منظور آزمایش‌هایی بر روی ۶ نمونه با مقیاس ۱:۴ صورت گرفت که نتیجه آزمایش‌ها، نشان از رفتار مناسب و جذب انرژی بالای این نوع مهاربند در صورت رعایت جزئیات مناسب را دارد.

### کلمات کلیدی

مهاربند کمانش تاب، مهاربندهای همگرا، مهاربند کمانش ناپذیر تمام فولاد، میراگر غیرفعال، اعضای قطری شکل‌پذیر.

\* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: f. arbabi@iiees.ac.ir

## ۱- مقدمه

قاب‌های خمشی در حین زلزله‌های بزرگ تغییر مکان‌های جانبی زیادی می‌دهند. به همین دلیل توجه ویژه‌ای در طراحی برای محدود کردن جابجایی‌های نسبی طبقات لازم است بطوری که پتانسیل خرابی به علت رفتار غیرخطی هندسی و شکل‌پذیری اتصالات تیر به ستون کاهش یابد تا از خرابی بیش از اندازه اعضای غیرسازه‌ای اجتناب شود.

به دلایل گفته شده و نیز مسائل اقتصادی، مهندسان بطور فزاینده‌ای از قاب‌های فولادی مهاربندی شده هم‌محور به عنوان سامانه‌های سازه‌ای مقاوم در برابر بارهای جانبی استفاده کرده‌اند. با این وجود خرابی‌های متعددی در قاب‌های مهاربندی شده هم‌محور در زلزله‌های گذشته مانند زلزله‌های مکزیک<sup>۱</sup> (۱۹۸۵)، لوما پریتا<sup>۲</sup> (۱۹۸۹)، نورث‌ریج<sup>۳</sup> (۱۹۹۴)، [۵] و یا هیوگو-کن نانبو<sup>۴</sup> (۱۹۹۵)، [۶]، [۷]، [۸] نگرانی‌هایی را در مورد ظرفیت تغییر شکل نهایی این نوع سازه بوجود آورده است.

دلایل متعددی برای عملکرد نامناسب قاب‌های مهاربند شده متعارف بیان شده است. به عنوان مثال مهاربندهای منفرد اغلب فقط محدودیت شکل‌پذیری یا ظرفیت استهلاک انرژی را تحت بارهای دوره‌ای دارند [۹] و یا اینکه بسیاری از دیتایل‌های<sup>۵</sup> اتصالات متداول، مستعد رفتار ترد هستند. مهاربندها به دلیل رفتار غیرمستقر در کشش و فشار و همچنین نشان دادن مقاومت قابل توجه در محدوده غیرارتجاعی دارای رفتاری پیچیده هستند (شکل ۱-الف). این رفتار پیچیده در نتیجه تفاوت‌های مهم میان توزیع نیروهای داخلی و تغییر مکان‌های قابل پیش‌بینی بر اساس روش‌های طراحی مرسوم در مدل‌های رفتاری الاستیک و روند واقع‌گرایانه‌تر تحلیل غیرخطی است [۱۰]، [۱۱].

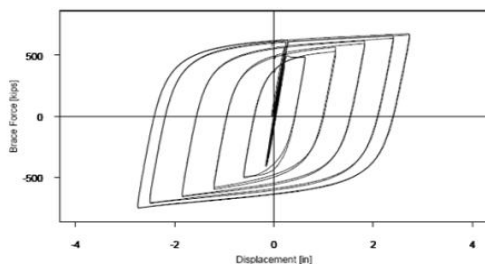
پیامد این اختلاف‌ها در رفتار دو چیز است:

اغلب مهاربندهای انتخابی برای بعضی طبقات بسیار قوی‌تر از مقدار مورد نیاز می‌باشند در صورتیکه مهاربندها در دیگر طبقات دارای ظرفیت بسیار نزدیک به مقدار مورد نیاز هستند. توزیع نیروهای طراحی در تیرها و ستون‌ها اغلب اختلاف زیادی

با زلزله حقیقی محتمل دارند. این اختلاف‌ها در محاسبات به متمرکز شدن خرابی زلزله در طبقات ضعیف می‌انجامد. محل متمرکز خرابی‌ها حتی بیشتر از ظرفیت شکل‌پذیری در مهاربندهای مرسوم و اتصالاتشان است. بعلاوه کمانش جانبی در مهاربندهای معمولی ممکن است سبب خرابی‌های قابل توجه در اعضای غیرسازه‌ای شود.

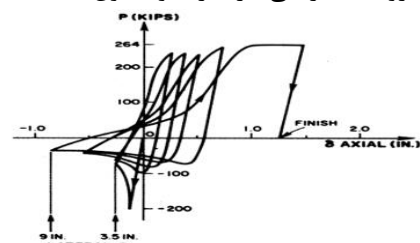
در واکنش به این مشاهدات و نگرانی‌ها، طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده در دهه ۹۰ به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر یافت و مفهوم قاب‌های با مهاربند ویژه مطرح شد [۱۲]، [۱۳]. از میان پیکربندی‌های جدید، به طور قابل ملاحظه‌ای، تحقیقات برای بهبود عملکرد قاب‌های مهاربندی شده هم‌محور معمولی صورت گرفت [۱۱]. همچنین از مهاربندهای ویژه‌ای که دارای رفتار ترکیبی [۱۴]، فلز جاری شونده [۱۵]، به کارگیری مواد با عملکرد بالا [۱۶] و یا از اصطکاک و میرایی ویسکوز [۱۷] بهره می‌برند، استفاده فراوان گردید. با شناخت بیشتر رفتار و روش عملکرد مهاربندهای کمانش‌تاب، استفاده از آنها افزایش یافت. در این نوع، یک غلاف فولادی، از کمانش آن تحت بارهای محوری جلوگیری می‌کند که باعث افزایش باربری مهاربند می‌شود (شکل ۱-ب). طبق تحقیقات انجام شده، مهاربندهای کمانش‌تاب با عضو محصور کننده خارجی را می‌توان به ۳ دسته تقسیم بندی نمود: (۱) محصور شدن هسته جاری شونده توسط عضو قوطی شکل پر شده از بتن یا ملات [۱۸]، [۱۹]؛ (۲) محصور شدن هسته جاری شونده به وسیله پانل بتنی یا بتن مسلح [۲۰] - [۲۲]؛ (۳) محصور شدن هسته جاری شونده با اعضای تمام فولادی [۲۳] - [۲۷]؛ که مورد آخر را مهاربندهای کمانش‌تاب تمام فولادی می‌نامند.

هدف این پژوهش معرفی و مطالعه آزمایشگاهی نوع جدیدی از مهاربندهای کمانش‌تاب تمام فولادی است که دارای ویژگی‌هایی از جمله سبکی، راحتی در ساخت، امکان بازبینی هسته پس از وارد شدن بار نسبت به نوع معمولی است



(ب) بعد از اصلاح (مهاربند کمانش‌تاب)

شکل (۱): منحنی‌های رفتاری عضو مهاری

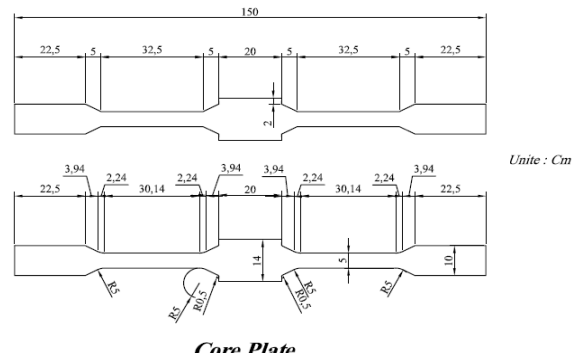


(الف) قبل از اصلاح (مهاربند معمولی)

## ۲- مشخصات مدل

در این نوع مهاربند مانند دیگر مهاربندهای کمناش تاب متداول، اصلی‌ترین عضو باربر و جاذب انرژی، هسته است بنابراین می‌توان گفت که شکل و جزئیات هسته مهاربندی که بیشترین کارایی و جذب انرژی را داشته باشد تقریباً مهم‌ترین بخش کار است از این رو بیشترین توجه معطوف به رفتار مناسب هسته است. هسته این نوع مهاربند به صورت یک ورق نازک با ضخامت ۵ میلی‌متر در داخل غلافی فولادی است که در اینجا برای غلاف از دو عضو قوطی شکل با ابعاد ۴×۶۰×۱۲۰ سانتی‌متر به طول ۱۱۵ سانتی‌متر در بالا و پائین مقطع هسته استفاده می‌شود. جزئیات بیشتر مربوط به اندازه قسمت‌های مختلف هسته، در شکل (۲) آورده شده است.

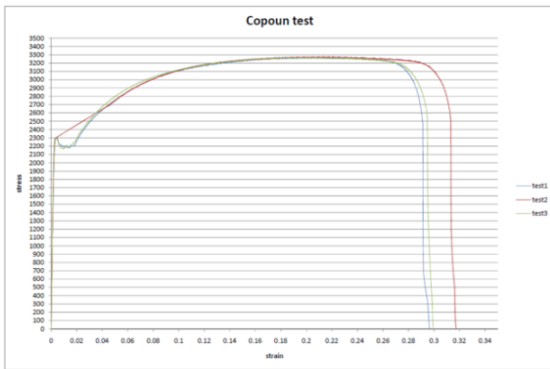
همانطور که از شکل (۲) مشخص است، هسته را می‌توان به ۴ بخش مجزا تقسیم نمود. این بخش‌ها به ترتیب شامل قسمت اتصال، قسمت تبدیلی، بخش جاذب انرژی و قسمت بزرگ شده وسط هستند. سطح مقطع هسته در قسمت جذب کننده انرژی مهاربند طوری در نظر گرفته شده که در آن کاهشی حدود ۵۰٪ سطح مقطع کل را داشته باشد. در حقیقت می‌توان گفت این قسمت‌ها نقش فیوزهایی که کنترل کننده و هدایت‌گر قسمت جاری شونده هسته مهاربند هستند را ایفا می‌کنند تا دیگر قسمت‌های مهاربند در حالت الاستیک باقی بمانند.



شکل (۲): اندازه‌های هسته S-BRB

## ۲-۱- آزمایش کشش

قبل از انجام آزمایش بر روی نمونه‌های اصلی، ۳ آزمایش کشش انجام شد. هدف از انجام اینکار بدست آوردن مقادیر تنش و کرنش حد نهایی و حد جاری شدن و مدول الاستیسیته فولاد مورد استفاده در نمونه‌های اصلی مهاربندهای کمناش تاب است. بر اساس این آزمایش‌ها، نمودار تنش-کرنش نشان داده شده در زیر برای فولاد مورد استفاده بدست آمد.



شکل (۳): نتایج آزمایش‌های کشش انجام شده بر روی نمونه استاندارد

## ۳- مراحل ساخت

با توجه به تجربیات آزمایشهای گذشته که ساخت همزمان نمونه‌ها باعث عدم توسعه و بهبود عملکرد آنها می‌شد و همچنین محدود بودن تعداد نمونه‌ها و امکانات در این پژوهش، بنای کار بر این نهاده شد که هر نمونه پس از ساخت، آزمایش و با بررسی و مشخص شدن معایب آن از این اطلاعات در جهت بهبود نمونه بعدی استفاده گردد. بر این اساس فرم نمونه‌ها و جزئیات آنها، نمونه به نمونه تغییر و توسعه یافت. برخی از این تغییرات را می‌توان در تصاویر مربوط به شکل (۴) دید.

در نمونه اول با توجه به محاسبات تئوری و فرض‌های صورت گرفته پیش از انجام آزمایش، هسته و اعضای محصورکننده مهاربند بدون هیچگونه قطعه اضافی‌ای سرهم شده و با جوش به یکدیگر متصل شدند که در نتیجه با مشخص شدن مشکلات آن در نمونه‌های بعدی مجبور به ایجاد اصلاحاتی شدیم. در نمونه دوم برای رفع کمناش قسمت اتصال، قطعات مستطیل شکلی به طول ۵ و ارتفاع ۴ سانتی‌متر با جوش به آن متصل گردید که با دیدن دوباره ضعف در این ناحیه، در دو نمونه بعد نیز از قطعات قویتر و با طول بیشتری بهره گرفته شد. پس از تقویت این قسمت و مرتفع شدن تقریبی مسائل آن، دیده شد که قوطی‌های محصورکننده توان جلوگیری از کمناش موضعی در ابتدای ناحیه جاری شونده را ندارند به همین دلیل در دو نمونه آخر تلاش‌ها برای رفع این مشکل صورت گرفت که در نهایت برای تقویت آنها قطعاتی ناودانی شکل ساخته شدند که تفاوتشان در این دو نمونه در طول آنها است.

## ۴- پروتکل‌های بار وارده

یکی از اهداف این پژوهش تحقیقاتی علاوه بر بررسی رفتار این نوع مهاربند کمناش تاب، مقایسه نتایج بدست آمده از آن با نتایج حاصله از آزمایش قبلی انجام شده در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله بر روی مهاربندهای کمناش تاب

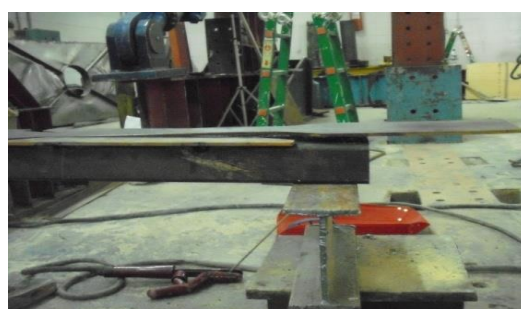
۴.۳ دور بارگذاری با تغییر شکل متناظر با  $1/0 \delta_{bm}$   
 ۴.۴ دور بارگذاری با تغییر شکل متناظر با  $1/5 \delta_{bm}$   
 ۴.۵ دور بارگذاری با تغییر شکل متناظر با  $2/0 \delta_{bm}$   
 ۴.۶ دور بارگذاری با تغییر شکل متناظر با  $1/0 \delta_{bm}$   
 $\delta_{by}$ : تغییرمکان محوری نمونه متناظر با اولین تسلیم در کشش  
 $\delta_{bm}$ : تغییرمکان محوری نمونه متناظر با تغییرمکان نسبی طبقه ۱٪

محصور در غلاف بتنی بوده است. برای این منظور بارگذاری انتخابی برای مهاربندهای مورد آزمایش علاوه بر دارا بودن شرایط جدید آئین‌نامه AISC 2005 برای مهاربندهای کمانش‌تاب، طوری در نظر گرفته شد که رفتار بدست آمده از مهاربند تا حدود زیادی شبیه رفتار نمونه‌های مورد آزمون قبلی باشد. با توجه به مطالب گفته شده، حالت کلی بارگذاری انتخابی برای مهاربندها عبارتند از:

۱.۶ دور بارگذاری با تغییر شکل متناظر با  $\delta_{by}$   
 ۲.۴ دور بارگذاری با تغییر شکل متناظر با  $0/5 \delta_{bm}$



نمونه دوم



نمونه اول



نمونه چهارم



نمونه سوم

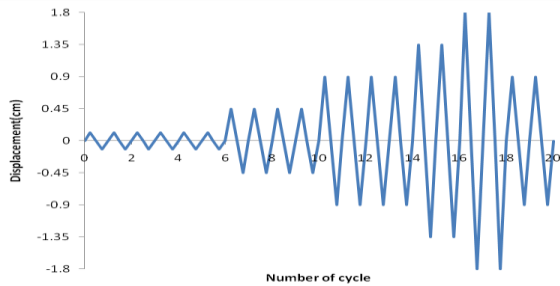
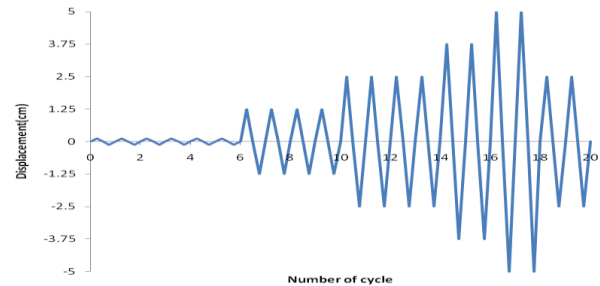


نمونه ششم



نمونه پنجم

شکل (۴): تغییرات ایجاد شده در نمونه‌ها در جهت بهبود عملکرد مهاربند

شکل (۶): پروتکل بار با  $\delta bm=0/9cm$ شکل (۵): پروتکل بار با  $\delta bm=2/5cm$ 

آزمایشگاهی این محصول کاملاً جدید و انحصاری صورت گرفت. در آزمایش‌های انجام شده تمام نمونه‌ها به جز نمونه دوم رفتاری بسیار خوب و در حد انتظار از خود نشان دادند که در نمونه شماره ۲ پس از انجام اصلاحات و انجام دوباره آزمایش با پروتکل بار دوم، رفتار نسبتاً خوبی را از خود نشان داد. به‌طور کلی می‌توان گفت در نمونه‌های مورد نظر، فرم خرابی غالب کمناش قسمت ابتدایی در ناحیه اتصال در نزدیک فک دستگاه یونیورسال بود که این مسئله در چند نمونه اولیه به خوبی به چشم می‌خورد اما در نمونه‌های آخر چون تمرکز بیشتری بر روی رفع این مشکل نهاده شد، در نتیجه فرم خرابی تا حدودی تغییر کرد ولی در هر صورت اینگونه می‌توان گفت که فرم گسیختگی کلی در همه نمونه‌ها، کمناش موضعی خارج از صفحه هسته است. هیچکدام از نمونه‌ها به دلیل استفاده از اعضای محصورکننده با ممان اینرسی بالا و نیز به دلیل طول کم، مشکل کمناش کلی نداشتند اما به دلیل ضخامت کم این قوطی‌ها یا تقویت ناکافی در بعضی قسمت‌ها و یا ضعیف نمودن آنها در قسمت‌های اتصالی به دلیل ایجاد شیار برای عبور عضو صلیبی، کمناش موضعی به حالت خرابی همه نمونه‌ها تبدیل شد. در نمونه شماره ۲ به دلیل ترس از آسیب رسیدن به دستگاه، فاصله‌ایی در حدود یک سانتی‌متر به عنوان فاصله<sup>۷</sup> بین عضو صلیبی و فک‌ها در نظر گرفته شد که به دلیل تاب موجود در ورق هسته این عامل موجب خرابی آن و از دست رفتن این نمونه شد. در نمونه‌های آخر نیز که تقریباً می‌توان گفت نسبت به بقیه دارای فرم خرابی بهتری بودند، باز هم کمناش موضعی عامل خرابی بود با این تفاوت که در آنها به دلیل تدابیر اندیشیده شده، این کمناش موضعی به داخل ناحیه جاری‌شونده هسته کشیده شد. منحنی‌های نیرو در برابر تغییرمکان مهاربندها در شکل (۷) آورده شده‌اند. برای مقایسه بهتر نمونه‌های مختلف با یکدیگر نمودارهای جذب انرژی آنها نیز آورده شده. این نمودار کمک فراوانی به درک بهتر رفتار و میزان جذب انرژی هر نمونه در مقایسه با نمونه‌های دیگر می‌تواند بدهد چون به عنوان مثال پروتکل بار در برخی نمونه‌ها با بقیه تفاوت دارد از اینرو فقط تکیه بر داده‌های منحنی نیرو- تغییرمکان یا منحنی شکل‌پذیری

در ابتدای آزمایش با توجه به مقادیر بدست آمده از تحلیل‌های عددی برای مهاربندها و مشخصات غیرخطی فولاد تصور می‌شد که مهاربندها بتوانند تا مقاومت نهایی، بار تحمل کرده و جذب انرژی بالایی داشته باشند از اینرو پروتکل بار وارده بر ۴ نمونه اول با تغییرمکان نسبی طبقه ۲/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (شکل (۵)) اما در ادامه با مشاهده مشکلات بوجود آمده و عدم رفتار مناسب نمونه‌ها تصمیم بر آن شد که عامل متناظر با تغییرمکان نسبی طبقه برای ۲ نمونه آخر در حدود ۲/۵ برابر کوچکتر در نظر گرفته شود که البته این مقدار بسیار نزدیکتر به میزان واقعی تغییرمکان نسبی توصیه شده در آئین‌نامه‌های طراحی است. مطابق توضیحات، برای نمونه‌های آخر مهاربندهای کمناش تاب اصلاح شده تغییرمکان متناظر با تغییرمکان نسبی طبقه برابر ۰/۹ سانتی‌متر اختیار شد (شکل (۶)).

#### ۵- بررسی کلی و مقایسه نتایج آزمایش‌ها

در این تحقیق پس از انجام مطالعات کافی و اطلاع از نتایج تحقیقات صورت گرفته در دیگر نقاط دنیا، روند ساخت و آزمایش بصورت مرحله به مرحله انجام شد بدین‌صورت که ابتدا هر نمونه ساخته شد و بعد از انجام آزمایش و به منظور مشاهده مشکلات بوقوع پیوسته در آن باز می‌شد و با توجه به تجربیات حاصله، اقدام به شروع ساخت نمونه بعد می‌شد که اینکار تا نمونه آخر ادامه داشت. با وجود وقتگیر و پر زحمت شدن روند آزمایش، نتایج حاصله نشان از مؤثر بودن روش انتخابی، حل مسائل قابل وقوع در مهاربند و همچنین امکان اصلاح آنها در نمونه‌های بعدی را داشت.

یکی از معایب مهاربندهای کمناش تاب معمول که از یک غلاف و ملات داخل آن برای جلوگیری از کمناش هسته استفاده می‌شود، صرف زمان زیاد ساخت برای مقاوم‌شدن ملات است. همچنین کنترل کیفیت این مهاربندها کاری مشکل است. تحقیق حاضر مبتنی بر مطالعه روی مهاربندهای کمناش تاب تمام فولادی به منظور دستیابی به این دانش فنی و بومی‌سازی آن در کشور برای رفع نیازهای داخلی و خارجی است که برای رسیدن به این اهداف برنامه‌ریزی‌ایی برای مطالعه عددی و



بازرسی و در صورت سالم بودن دوباره با جوش دادن ناحیه باز شده از این عضو استفاده نمود.

در نهایت می توان خلاصه نتایج حاصله را بصورت زیر بیان کرد:

۱- با توجه به جذب انرژی بالای این نوع مهاربند، تقریباً می توان از جذب بیشترین مقدار نیروی زلزله توسط این اعضا اطمینان حاصل نمود که این امر سبب به حداقل رسیدن آسیب های وارده به اعضای دیگر از جمله تیرها و ستون ها و باقی ماندن در ناحیه الاستیک خواهد شد ولی برای بررسی مقدار این جذب انرژی و درصد آن و دانستن عملکرد درست آنها باید آزمایش هایی در قاب نیز انجام شود.

۲- با توجه به تئوری های مقاومت مصالح در صورت محبوس بودن اعضا فشاری، ظرفیت باربری حدود ۱۰٪ به دلیل سخت شدگی افزایش می یابد که نتایج بدست آمده گواه این موضوع هستند.

۳- به دلیل برابری تقریبی نیروهای کششی و فشاری در این نوع مهاربند، امکان تشکیل مفاصل محوری در آنها وجود دارد که این موضوع باعث می گردد در مقایسه با قاب های خمشی که مفاصل خمشی پلاستیک در آنها بیشتر بصورت موضعی تشکیل می شوند، امکان خستگی کمتر و استهلاک انرژی بیشتری برای عضو وجود داشته باشد.

۴- نتایج آزمایش های صورت گرفته نشان دادند یکی از

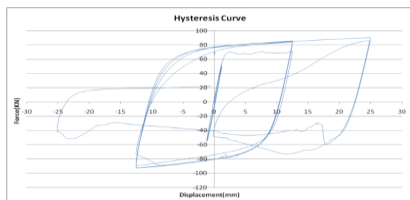
یا دیگر پارامترها نمی تواند درک درستی از رفتار هر کدام نسبت به بقیه بدهد.

با دقت در منحنی های فوق دیده شد که رفتار نمونه ها به ترتیب نسبت به نمونه های قبلی رفته رفته بهتر می شوند که این مسئله را می توان ناشی از درک درست اشکالات موجود و انتخاب روش مناسب برای رفع و حل آن دانست. همچنین مقدار انرژی جذب شده بطور کلی در هر کدام از نمونه ها نسبت به نمونه قبلی افزایش داشت اما این مسئله بطور مطلق نبود چون در بعضی حتی با وجود تدابیر اندیشیده شده، کاهش نیز دیده شد که به عنوان مثال این کاهش در نمونه های دوم و ششم به چشم می خورد.

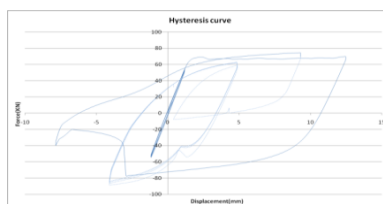
## ۶- نتیجه گیری

سیستم مهاربندهای کمانش تاب معمول علاوه بر مزایای فراوان دچار مشکلاتی از قبیل وزن زیاد و یا دست نیافتن به رفتار ایده آل و موردنظر در حین آزمایش ها بود. زیرا به دلیل وجود بتن و از بین رفتن فاصله ای به عنوان گپ<sup>۷</sup> در طول هسته، فلز و بتن با یکدیگر در تماس قرار گرفته و موجب بوجود آمدن حالت های خرابی ناخواسته ای در این نوع مهاربندها می شوند به همین دلیل استفاده از نوع جدیدی از این مهاربندهای کمانش تاب که تماماً از فولاد باشند<sup>۸</sup>، مطرح گردید. نوآوری این مدل پیشنهادی در سبکی، سادگی اجرا، نداشتن جزئیات زیاد و نیز

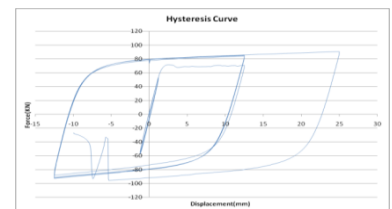
نمونه شماره ۳



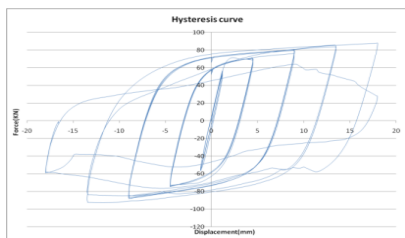
نمونه شماره ۲



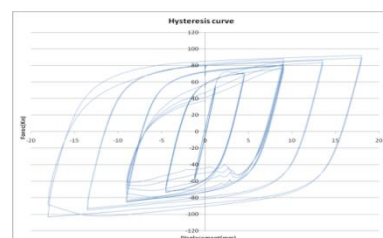
نمونه شماره ۱



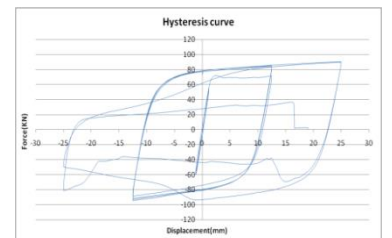
نمونه شماره ۶



نمونه شماره ۵



نمونه شماره ۴



شکل (۷): منحنی های نیرو-تغییر مکان مهاربندهای کمانش تاب مورد آزمایش

اصلی ترین مشکلات موجود در این نوع مهاربندها مسئله کمانش موضعی آنهاست ولی در مهاربندهای کمانش تاب محصور در غلاف بتنی به دلیل استفاده از بتن به عنوان یک عضو محصورکننده جانبی با ممان اینرسی و سختی بالا، این امر

داشتن دو ناحیه فیوز مانند به منظور کنترل و محدود کردن قسمت جاری شونده است. همچنین در این مدل به منظور بازرسی هسته پس از اعمال بار به آن، می توان با بریدن جوش یک طرف، بدون ایجاد جابجایی های ناخواسته در هسته، آن را

کمانش تاب در کشور با امکانات موجود میسر است و نیازی به استفاده از مواد و مصالح گران قیمت و وارداتی نیست.

### تقدیر و تشکر

این پژوهش در پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (IIIEES) در پاییز و زمستان ۱۳۹۰ در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد انجام پذیرفت. در اینجا لازم می دانم از همه کسانی که در به انجام رساندن این کار تحقیقاتی بنده را یاری نمودند مراتب سپاسگذاری خود را اعلام دارم علی الخصوص جناب آقای پروفسور اربابی که همواره با پیشنهادات ارزنده اینجانب را در انجام این کار راهنمایی نمودند، تشکر می کنم.

بصورت حالت خرابی غالب بروز نمی یافت به همین دلیل از این پس باید به این مطلب توجه ویژه ای نمود.

۵- با توجه به اینکه مقدار نیروی مقاوم در کشش و فشار برای این نوع مهاربندها تقریباً با هم برابر هستند در نتیجه لازم نیست که برخلاف مهاربندهای معمول فقط برای فشار طراحی شوند که این مطلب موجب بالا رفتن ظرفیت آنها در طراحی و رسیدن به حداقل فاصله بین نیاز و تقاضا در سازه در طبقات مختلف می گردد.

۶- با توجه به مورد گفته شده می توان از این نوع مهاربندها در دهانه های قاب بصورت تکی استفاده نمود که این امر سبب دستیابی به فضاهای مناسب معماری برای بازشوها می شود. نتایج این آزمایش ها نشان دادند که امکان ساخت این نوع مهاربند

### ۷- مراجع

- [۸] Tremblay R, Filiatrault A, Bruneau M, Nakashima M, Prion H, DeVall R., "Seismic design of steel buildings: lessons from the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake", Canadian Journal of Civil Engineering; 23(3):pp. 56- 727, 1996.
- [۹] Tang X, Goel S., "A fracture criterion for tubular bracing members and its application to inelastic dynamic analysis of braced steel structures", Proceedings, Ninth World Conference on earthquake Engineering, 9WCEE Organizing Committee, Tokyo, Vol. 4, pp. 285- 290, 1989.
- [۱۰] Jain A, Goel S., "Seismic response of eccentric and concentric braced steel frames with different proportions", UMEE 79R1, Department of Civil Engineering, University of Michigan, pp. 88, 1979.
- [۱۱] Khatib I, Mahin S., "Dynamic inelastic behavior of chevron braced steel frames". Fifth Canadian Conference on Earthquake Engineering, Balkema. pp. 211- 220, 1987.
- [۱۲] AISC, "Seismic provisions for structural steel buildings", April 15 , American Institute of steel Construction, Inc., Chicago, IL, 1997.
- [۱۳] ICBO (International Conference of Building Officials), Uniform building code. Whittier, California, 1997.
- [۱۴] Liu Z, Goel S., "Investigation of concrete-filled steel tubes under cyclic bending and buckling", "Research Report UMCE 87- 3. Department of Civil Engineering, University of Michigan, pp. 226, 1987.
- [۱۵] Kamura H, Katayama T, Shimokawa H., "Energy dissipation characteristics of hysteretic dampers with low yield strength steel", Proceedings, US- Japan Joint Meeting for Advanced Steel Structures, Building Research Institute, Tokyo, 2000.
- [۱] FEMA., "Recommended Seismic Design Provisions for New Moment Frame Buildings Report FEMA 350", Federal Emergency Management Agency, Washington DC, 2000
- [۲] Oosteraas J, Krawinkler H., "The Mexico earthquake of September 19, 1985- behavior of steel buildings". Earthquake Spectra; 5(1): pp. 51- 88, 1989.
- [۳] Kim H, Goel S., "Seismic evaluation and upgrading of braced frame structures for potential local failures", UMCEE 24- 92 , Department of Civil Engineering and Environmental Engineering, University of Michigan, 290, 1992.
- [۴] Tremblay R, Filiatrault A, Timler P, Bruneau M., "Performance of steel structures during the 1994 Northridge earthquake", Canadian Journal of Civil Engineering; 22(2): pp. 60- 338, 1995.
- [۵] Krawinkler H, Anderson J, Bertero V, Holmes W, Theil Jr Ch., "Northridge earthquake of January 17, 1994", reconnaissance report, Vol.2- steel buildings. Earthquake Spectra, 11, Suppl., pp. 25- 47, C, Jan, 1996.
- [۶] Architectural Instrument of Japan, Steel Committee of Kinki Branch, "Reconnaissance report on damage to steel building structures observed from the Hyogoken-Nanbu (Hashin/Awaji earthquake)", AIJ, Tokyo, pp. 167, 1995.
- [۷] Hisatoku T., "Reanalysis and repair of a high-rise steel building damaged by the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake". Proceedings, 64<sup>th</sup> Annual Convention, Structural Engineers Association of California, Sacramento, CA, pp. 21- 40, 1995.

Narihara H., Tsujita O., Koeteka Y., "The experimental study on buckling restrained braces (Part 1 experiment on pin connection type)", Summaries of technical papers of annual meeting, Architectural Institute of Japan; vol. 9. pp. 911-912, 2000. [۲۷]

#### ۸- زیر نویس ها

<sup>۱</sup> Mexico 1985

<sup>۲</sup> Loma Prieta 1989

<sup>۳</sup> Northridge 1994

<sup>۴</sup> Hyogo-ken Nanbu 1995

<sup>۵</sup> Details

<sup>۶</sup> Coupon test

<sup>۷</sup> gap

<sup>۸</sup> All-steel

Ohi K, Shimawaki Y, Lee S, Otsuka H., "Pseudo dynamic tests on pseudo-elastic bracing system made from shape memory alloy", Bulletin of earthquake Resistance Structure Research Center; 34:pp. 8- 21, 2001. [۱۶]

Aiken I.D, Nims D.K, Kelly J.M., "Comparative study of four passive energy dissipation systems", Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, 25. pp. 175- 192, 1992. [۱۷]

Watanabe A., Hitomoi Y., Saeki E., Wada A., Fujimoto M., "Properties of brace encased in buckling-restraining concrete and steel tube", 9<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering. Vol.IV, pp. 719- 724, 1988. [۱۸]

Inoue K., Sawaizumi S., Higashibata Y., "Stiffening requirements for unbounded braces encased in concrete panels", Journal of Structural Engineering, ASCE 127; pp. 712- 719, 2001. [۱۹]

Iwata M., Murai M., "Buckling-restrained brace using steel mortar planks; performance evaluation as a hysteretic damper", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35, pp. 1807- 1826, 2006. [۲۰]

Ding YK., Zhang YC., Zhao JX., "Tests of hysteretic behavior for unbounded steel plate brace encased in reinforced concrete panel", Journal of Constructional steel Research; 65 pp. 1160- 1170, 2009. [۲۱]

Nagao T., Takahashi S., "A study on the elastoplastic behavior of unbounded composite bracing (Part 1 experiments on isolated members under cyclic loading)", Journal of Structural and Construction Engineering; 415. pp. 105- 115, 1990. [۲۲]

Satake N., Mase S., Terada T., Isoda K., "Development of unbounded brace damper restrained by channel section steel (Part 2 static loading test using full-scale specimens)", Summaries of technical papers of annual meeting, Architectural Institute of Japan; vol. 9. pp. 665-666, 2001. [۲۳]

Ma N., Wu B., Zhao JX., Li H., Ou JP., Yang W., "Full scale test of all-steel buckling restrained braces", Proceeding of the 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, 2008. [۲۴]

Murase Y., Morishita K., Inoue K., Tateyama E., "Structural design method of the long brace with axial hysteresis dampers at both end (Part 1 analysis on the buckling restraint conditions)", Journal of Structural and Construction Engineering; 578, pp. 131- 138, 2004. [۲۵]

Fukuda K., Makino T., Ichinohe Y., "Development of brace-type hysteretic dampers. Summaries of technical papers of annual meeting", Architectural Institute of Japan; vol. 8. pp. 867- 868, 2004. [۲۶]