

## ارزیابی لرزه‌ای قاب‌های فولادی مختلف با المان‌های مقاوم سازه‌ای

بهداد آقائی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، تهران، ایران  
b\_ghaei1989@yahoo.com

رضا اسمعیل آبادی

عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، تهران، ایران  
reza\_1350@yahoo.com

**کلید واژه‌ها:** ارزیابی لرزه‌ای قاب‌های فولادی، مهاربندهای کمانش‌تاب، میراگرهای اصطکاکی پال، بار بهینه لغزش، تحلیل دینامیکی غیرخطی.

### چکیده

مهاربندهای کمانش‌تاب و میراگرهای اصطکاکی به علت داشتن رفتار یکسان تحت بارگذاری چرخه‌ای و قابلیت جذب انرژی بالا و کارایی مناسب در میان سیستم‌های کنترل غیرفعال جایگاه خوبی دارند. در این پژوهش، ارزیابی لرزه‌ای بر روی قاب‌های فولادی در سه حالت سیستم قاب خمشی (MRF)، قاب خمشی مهاربندی شده با مهاربند همگرای ضربدری (CBF) و قاب خمشی به همراه مهاربند کمانش‌ناپذیر (BRBF) و مقایسه میان آن‌ها به منظور بدست آوردن عملکرد ایمن در مقابل زلزله صورت گرفته است. بدین منظور بر روی سه قاب با ارتفاع‌های مختلف ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه، تحلیل دینامیکی غیرخطی با استفاده از هفت شتاب نگاشت مختلف به وسیله نرم‌افزار Perform 3D انجام شده است و نتایج حاصل از جابجایی نسبی و برش طبقات ارائه و کارایی هر یک از سیستم‌های مذکور مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نتایج نشان‌دهنده آن است که مهاربندهای کمانش‌ناپذیر اثرات مثبت در پاسخ سازه دارند و میزان این تأثیر در قاب‌های هم‌محور ضربدری کمتر می‌شود.

### مقدمه

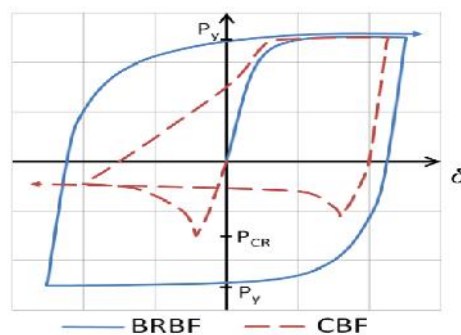
در دهه‌های اخیر، یکی از موضوعات اساسی تحقیقات، معرفی راهکارهای گوناگون برای کاهش پاسخ سازه در برابر نیروهای دینامیکی می‌باشد. بدین منظور استفاده از سیستم‌های کنترل در سازه‌ها یکی از راه‌های مؤثر در کاهش ارتعاشات آن‌ها و حفاظت اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای می‌باشد. سیستم‌های کنترل بر اساس استفاده از منابع انرژی به چهار گروه اصلی شامل سیستم‌های کنترل غیرفعال، نیمه‌فعال، فعال و مرکب طبقه‌بندی می‌شوند. سیستم‌های کنترل غیرفعال برای عملکرد نیاز به منبع انرژی خارجی نداشته و نیروی کنترل توسط حرکت سازه ایجاد می‌شود. از میان سیستم‌های کنترل غیرفعال، مهاربندهای کمانش‌ناپذیر به علت مقاومت در برابر کمانش و دارا بودن رفتار غیرالاستیک متقارن در کشش و فشار سبب بهبود رفتار سازه می‌شوند. استفاده از این نوع مهاربندها در دهه ۱۹۸۰ میلادی در ژاپن شروع شد. تحلیل پایداری مهاربندهای کمانش‌ناپذیر توسط Cameron Black و همکاران در سال ۲۰۰۲ به طور کامل مورد بررسی قرار گرفت (Black et al., 2002). Balck و همکاران نشان دادند که در شروع کمانش پلاستیک به سبب فشار تک محوری، تنش برشی و کرنش برشی به مدول برشی مماسی  $G_1$  بستگی دارد. در سال ۲۰۰۶، Choi و Kim روشی را برای طراحی قاب‌های دارای مهاربند کمانش‌ناپذیر با استفاده از طیف انرژی هیستریزس ارائه کردند (Choi and Kim, 2006). در این روش فرض شده است که تیرها و ستون‌ها تحت بارهای ثقلی در حالت الاستیک باقی می‌مانند و استهلاک انرژی و خسارات ناشی از آن فقط در مهاربند کمانش‌ناپذیر اتفاق می‌افتد. در سال ۲۰۱۰ Fahnstock و Miller و Eatherton سعی کردند با تغییر ساختار BRB مقدار رانش حداکثر و جابجایی پسماند را کاهش دهند. آنها با استفاده از چهار میلگرد از جنس نیکل تیتانیوم رفتار غیرخطی BRB را بهبود بخشیدند و توانستند کمبود سختی بعد از تسلیم آن را جبران کنند (Miller et al., 2012). تست‌های Fahnstock و Wagle (Wagle and fahestock, 2010) در سال ۲۰۱۰ نشان داد که رفتار محلی و کلی سازه بسته به اینکه اتصال گیردار یا غیرگیردار باشد متفاوت است. آن‌ها با استفاده از تحلیل عددی به بررسی تأثیر اتصال بر عملکرد BRB پرداختند و نشان دادند که علت عملکرد نامطلوب BRB در قاب‌های گیردار صرفاً ناشی از خرابی به وجود آمده در اتصال می‌باشد. از دیگر سیستم‌های کنترل غیرفعال، میراگرهای اصطکاکی به دلیل دارا بودن مکانیزم ساده، عدم حساسیت به تغییرات دما و تأثیر اصطکاک



در کاهش انرژی ناشی از زلزله یکی از راه‌های بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌ها محسوب می‌شوند. اولین میراگر اصطکاکی بنام میراگر اصطکاکی پال توسط Marsh و Pall در سال ۱۹۸۲ معرفی شد که در محل تقاطع بادبندهای ضربدری قرار می‌گیرد (Pall and Marsh, 1982). در سال ۲۰۰۲، Mualla و Belev نیز یک میراگر اصطکاکی جدید با مکانیزم اصطکاکی ساده‌ای را پیشنهاد و مورد آزمایش قرار داده‌اند. این میراگر از سه ورق فولادی و یک پیچ پیش تنیده تشکیل شده است. در میان ورق‌های فولادی دو بالشتک اصطکاکی برای جلوگیری از کمانش وجود دارد و بادبندها به صورت پیش کشیده استفاده شده‌اند. با اعمال نیروی جانبی بر اثر بوجود آمدن تغییر مکان بین طبقه‌ای، پیچشی در وسیله اصطکاکی (پیچ) ایجاد می‌شود که به وسیله نیروهای اصطکاکی بین بالشتک‌ها مقابله می‌شود (Mualla and Belev, 2002). Lee و همکاران در سال ۲۰۰۸ با انجام آنالیزهای عددی روی ۵ ساختمان چند طبقه با پروده‌ها و طبقات متفاوت، روش قابل قبولی برای تعداد میراگرهای اصطکاکی، محل نصب و چگونگی توزیع بار لغزش بین آن‌ها ارائه داده‌اند. همچنین رابطه‌ای تجربی برای بهینه‌سازی تعداد میراگر پیشنهاد داده‌اند (Lee et al., 2008).

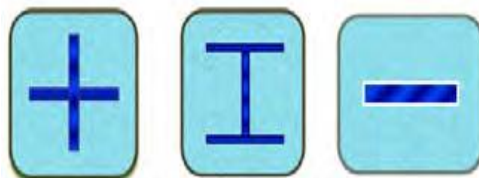
## مهاربندهای کمانش ناپذیر

مهاربندهای مقاوم در برابر کمانش (BRB) نوع جدیدی از مهاربندهای هم‌مرکز هستند که در مقابل کمانش محافظت شده‌اند. در نتیجه این مهاربند دارای رفتار غیرالاستیک متقارن در کشش و فشار می‌باشد. این ویژگی سبب افزایش قابلیت اتلاف انرژی و شکل‌پذیری سیستم می‌شود و سازه رفتار بسیار پایدارتری را از خود نشان می‌دهد.

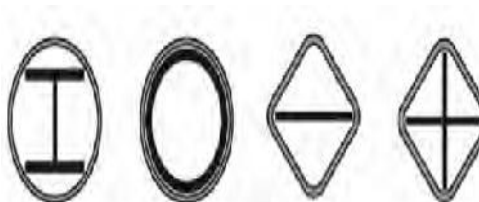


شکل ۱: رفتار لرزه‌ای مهاربند سنتی و مهاربند کمانش ناپذیر [۱۱]

این نوع از بادبندها متشکل از یک هسته فولادی و شکل‌پذیر با قابلیت جاری شدن تحت هر دو نیروی کششی و فشاری می‌باشد. برای حذف کمانش، هسته تحت بار فشاری، هسته میان یک غلاف فولادی قرار داده شده و سپس این غلاف توخالی با استفاده از مصالح پرکننده، ماده مجزا یا درز هوا بین ماده پرکننده و هسته فولادی استفاده می‌گردد. مهاربند BRB از چهار قسمت قابل تفکیک از نظر رفتار تشکیل می‌شود. در شکل ۲ مقاطع نمونه برای استفاده در مهاربند BRB نشان داده شده است (دهقان، فاطمه). این سامانه عموماً متشکل از مصالح پرکننده مانند ملات و غلاف فولادی همچون مقاطع توخالی فولادی می‌باشد. ولی مهاربندهای BRB که در آنها از مصالح پرکننده استفاده نشده نیز پیشنهاد شده‌اند که در شکل ۳ نشان داده شده است (Xie, 2005).

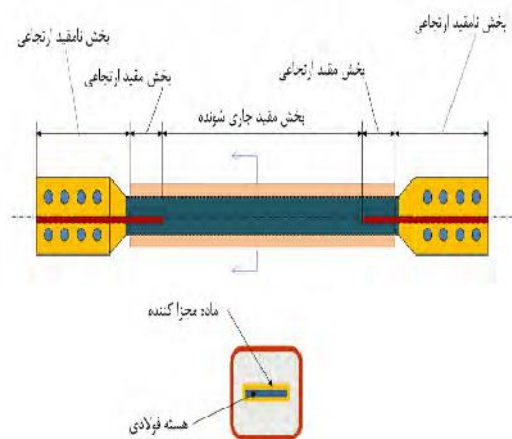


شکل ۲: نمونه مقاطع مهاربند BRB با مصالح پرکننده (دهقان، ۱۳۸۹)



شکل ۳: نمونه مقاطع مهاربند BRB بدون مصالح پرکننده (Xie, 2005)

در شکل ۴ بخش‌های تفکیک شده‌ی مهاربند BRB از لحاظ رفتار نشان داده شده است (دهقان، ۱۳۸۹).



شکل ۴: بخش‌های تفکیک شده‌ی مهاربند BRB از لحاظ رفتاری (دهقان، ۱۳۸۹)

اجزای سازنده مهاربند کمانش ناپذیر شامل ۴ قسمت زیر می‌باشد:

#### الف. بخش مقید جاری شونده

این بخش که ممکن است سطح مقطعی با اشکال مختلف چون مستطیل و دایره و یا صلیبی شکل داشته باشد و به گونه‌ای طراحی می‌شود که تحت بارگذاری چرخه‌ای در هر دو حالت فشاری و کششی جاری شود. برای این منظور استفاده از فولاد نرمه که شکل‌پذیری بالایی دارد (مانند A36) مناسب می‌باشد، مقاومت تسلیم نسبتاً ثابت جهت طراحی ظرفیتی مطلوب مهاربند یکی از مهم‌ترین مشخصات فولاد مورد استفاده در این بخش می‌باشد.

#### ب. بخش مقید ارتجاعی

این بخش که توسط ماده پرکننده مقید شده است، در امتداد بخش جاری شونده مقید، قرار گرفته است. جهت حصول اطمینان از پاسخ ارتجاعی و عدم جاری شدن این بخش، سطح مقطع آن نسبت به سطح مقطع بخش قبلی بزرگتر در نظر گرفته می‌شود. برای جلوگیری از بروز تمرکز تنش در نقاط خاص از این بخش، این افزایش سطح بایستی به صورت تدریجی و با شیبی ملایم صورت پذیرد.

#### ج. بخش نامقید ارتجاعی

بخش انتهایی دو سر مهاربند که قطعه اتصال به قاب می‌باشد، قابل طراحی برای اتصال توسط جوش یا پیچ و مهره‌ای برای نصب در محل عضو به قاب می‌باشد، این قسمت در غلاف فولادی مقید نشده و پاسخ این ناحیه ارتجاعی خواهد بود.

#### د. ماده مجزاکننده

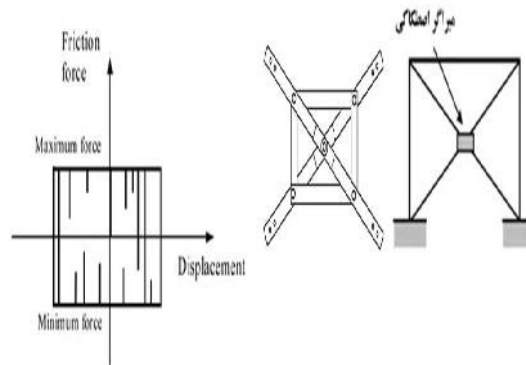
این ماده برای کمینه رساندن و حذف نیروی محوری از هسته به غلاف از طریق اصطکاک در اثر تغییر طول هسته تحت بارهای فشاری و کششی و ایجاد امکان برای افزایش سطح مقطع هسته به علت پدیده پواسون تحت بار فشاری استفاده می‌گردد. تا کنون مواردی چون رزین‌ها، انواع پلی‌اتیلن-ها، گریس سیلکون و یا نوار قیری به عنوان ماده مجزاکننده مورد استفاده قرار گرفته‌اند و انتظار می‌رود تا بخش مقید جاری شونده کمانش‌های کم دامنه را تحت موده‌های بالاتر تجربه نمایند. مقدار درز موجود بایستی به اندازه‌ای باشد تا امکان افزایش سطح هسته در فشار را به راحتی میسر سازد. در غیراینصورت اصطکاک بین هسته افزایش یافته و مصالح پرکننده موجب تحمیل بارهای محوری به غلاف فولادی (سامانه کمانش تابی) می‌گردد. از طرفی در صورتیکه این درز بیش از حد لازم انتخاب شود موجب می‌شود تا دامنه کمانش هسته و در نتیجه مقدار انحنا هسته‌ی کمانش یافته افزایش یابد که باعث کاهش عمر هسته جاری شونده به علت خستگی در خمش می‌گردد. همچنین در تعیین اندازه درز بایستی ضریب پواسون ۰.۳ در محدوده ارتجاعی و ۰.۵ در محدوده تسلیم در نظر گرفته شود و مقدار درز تابعی از بیشینه مقدار کرنش طراحی می‌باشد.

### میراگرهای اصطکاکی

این نوع میراگر بر اساس مکانیزم اصطکاک بین اجسام صلب نسبت به یکدیگر عمل می‌کند. در حقیقت اصطکاک یک مکانیزم عالی اتلاف انرژی است و به صورت گسترده و موفقیت‌آمیزی در ترمزهای خودرو و اتلاف انرژی جنبشی به کار می‌رود. از مصالحی که برای سطوح لغزنده استفاده شده‌اند، می‌توان به لایه‌های لنت ترمز روی فولاد، فولاد روی فولاد، فولاد روی برنج را نام برد. انتخاب فلز پایه برای میراگر اصطکاکی بسیار مهم است. مقاومت بالا در مقابل خوردگی، اغلب می‌تواند ضریب اصطکاک فرض شده را برای عمر موردنظر وسیله کاهش دهد. آلیاژ فولاد کم‌کربن

زنگ زده و می‌پوسد و خواص سطح مشترک آن‌ها در طی زمان تغییر می‌کند. آزمایشات بر روی فولاد ضد زنگ در تماس با برنج، خوردگی اضافی‌ای را نشان نداد و از این جهت این مواد برای استفاده در میراگرهای اصطکاکی مناسب هستند. وسایل اصطکاکی کارایی بسیار خوبی دارند و پاسخ آن‌ها از دامنه فرکانس و تعداد سیکل‌های بارگذاری مستقل است. تمام میراگرهای اصطکاکی موجود در واقع به یک صورت عمل می‌کنند. به این صورت که یک قسمت ثابت قرار گرفته و قسمت دیگر به صورت دینامیکی بر روی آن می‌لغزد. لغزش روی داده در سطح مشخصی از نیرو اتفاق افتاده و بر اساس قانون اصطکاک کلمب حرکت می‌کند. به این صورت که تا سطح مشخصی از نیرو هیچ حرکتی روی نمی‌دهد، اما بعد از این سطح لغزش و حرکت آغاز می‌شود.

پال و مارش میراگر اصطکاکی ویژه‌ای را بنام میراگر اصطکاکی پال معرفی کردند که در محل تقاطع بادبندهای ضربداری قرار می‌گیرد (شکل ۵) (Pall and Marsh, 1982). این میراگر شامل یک بادبند و چند سری ورق فولادی به همراه پیچ‌های اصطکاکی می‌باشد که در بخش میانی بادبند نصب می‌شوند. ورق‌های فولادی توسط پیچ‌های پرمقاومت به یکدیگر متصل شده که نسبت به یکدیگر تحت نیروی مشخصی لغزش می‌کنند.



شکل ۵: نحوه فرارگیری میراگر اصطکاکی PALL بر روی بادبند ضربداری و منحنی هیستریزس ایده‌آل آن (Pall and Marsh, 1982)

این میراگر طوری طراحی می‌شود که در برابر بارهای سرویس معمولی و زلزله‌های متوسط نلغزد. یعنی اینکه از پیش وسیله برای نیروی خاصی طراحی می‌کنند که تا رسیدن به آن نیرو، وسیله وارد عمل نشود و سازه به صورت ارتجاعی باقی بماند. اما بعد از این نیروی خاص، لغزش اتفاق می‌افتد و میراگر اصطکاکی انرژی زیادی جذب می‌کند و پریود طبیعی سازه را تغییر می‌دهد. لغزش سیستم باعث تغییر زمان تناوب سازه می‌شود و امکان تغییر مود اصلی نوسان سازه را در طول یک زلزله شدید فراهم کرده و احتمال پدیده تشدید را کاهش می‌دهد.

### معرفی قابهای مورد مطالعه

در این مقاله سه قاب ۳ دهانه در طبقات ۵، ۱۰ و ۱۵ با اتصال صلب تیر به ستون انتخاب شده است. ارتفاع طبقات ۳ متر و طول دو دهانه کناری ۶ متر و طول دهانه میانی ۴ متر می‌باشد. اتصالات پای ستون نیز گیردار فرض شده است. در تیرها، ستون‌ها و مهاربندهای همگرای ضربداری از فولاد ST37 با حداقل تنش تسلیم  $F_y=2400$  مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی) استفاده شده است. بارگذاری مطابق با مبحث ششم آیین‌نامه ایران انجام شده است. سازه‌ها با اهمیت متوسط در منطقه‌ای با خطر نسبی بسیار زیاد و خاک نوع ۳ مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ایران (۱۳۸۴) انتخاب شده‌اند. از آنجا که ضوابط و پارامترهای لرزه‌ای طراحی مهاربندهای کمانش‌ناپذیر در آیین‌نامه‌های داخلی موجود نیست، لذا از ضوابط پیشنهادی بخش لرزه‌ای آیین‌نامه فولاد آمریکا (AISC-2005) استفاده شده است. مطابق با این آیین‌نامه ضریب رفتار BRBF با اتصال صلب تیر به ستون  $R=8$ ، ضریب تشدید تغییرمکان  $C_d=5$  و فاکتور اضافه مقاومت  $\Omega = 2.5$  توصیه گردیده است. مقادیر ضریب رفتار و همچنین ضریب تشدید تغییرمکان بدون در نظر گرفتن ضریب تنش مجاز  $Y$  و برای طراحی در حالت حدی بیان شده است. در طراحی مهاربندها طول هسته جاری شونده  $0.7$  طول کل آن‌ها (بین دو نقطه عملکرد مهاربند) و سختی مؤثر مهاربند  $1/4$  برابر سختی محاسبه شده با لحاظ هسته مهاربندی به تنهایی می‌شود. بدین منظور سطح مقطع نواحی الاستیک نیز شش برابر هسته جاری شونده فرض شده است. در طراحی تیرها از مقاطع IPE و ستون‌ها از Box و بادبندهای همگرای ضربداری از دوبل ناودانی استفاده شده است. در طراحی مهاربندهای کمانش‌ناپذیر از مقطع صلیبی شکل با مصالح پرکننده استفاده شده است.

جهت طراحی میراگر اصطکاکی پال یک تنش تسلیم ساختگی در کشش برای مهاربند تعریف می‌گردد که در واقع همان تنش در مهاربند کششی، هنگام لغزش دستگاه اصطکاکی است. یک تنش تسلیم هم که معمولاً مقدار کوچکی می‌باشد در فشار برای مهاربندها تعیین می‌شود که در واقع تنش در زمان کمانش مهاربند فشاری است. البته اگر بار لغزش کمتر از بار کمانش مهاربندها باشد، تنش تسلیم فشاری همان تنش لغزش دستگاه اصطکاکی در نظر گرفته می‌شود. این روش مدل‌سازی به وسیله آقایان Pall و Marsh ابداع گردیده است (Pall and Marsh, 1982).

برای انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی از نرم‌افزار Perform 3D استفاده شده است. جهت مدل‌سازی رفتار غیرخطی در تیرها و ستون‌ها و مهاربندهای همگرای ضربدری از پارامترهای معیار پذیرش در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود (۱۳۸۵) استفاده شده است. برای شبیه‌سازی رفتار غیرخطی مهاربند کمانش‌ناپذیر از مدل غیرالاستیک BRB به صورت ایده‌آل دوخطی موجود در نرم‌افزار، بدون در نظر گرفتن افت مقاومت و با حدود تسلیم مشابه در کشش و فشار استفاده می‌شود. در مدل‌سازی ساده میراگرهای اصطکاکی، تنها کافی است سیستم‌های اصطکاکی را با دو مهاربند قطری معمولی که در کشش و فشار به تسلیم می‌رسند، جایگزین نماییم. برای مدل کردن بادبند مجهز به میراگر اصطکاکی از عنصر Simple bar و برای رفتار غیرخطی آن از مؤلفه Inelastic bar استفاده شده است.

مهم‌ترین پارامتر در طراحی میراگرهای اصطکاکی، تعیین بار لغزش بهینه می‌باشد. بار لغزشی که باعث می‌شود سازه بهترین پاسخ را داشته باشد، بار بهینه لغزش نامیده می‌شود. برای تعیین بار لغزش به روش مستقیم، محدوده‌ای برای بار لغزش میراگر در نظر گرفته شده و پاسخ سازه به ازای هر مقدار و تحت تحریک زلزله مورد نظر با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی بدست می‌آید (دهقان؛ ۱۳۸۹). معمولاً جابه‌جایی و شتاب طبقه بام و برش پایه به عنوان پاسخ‌های سازه‌ای برای ارزیابی بار لغزش بهینه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه برای بار لغزش، مقدار ۲۰ تن برای قاب ۵ طبقه، محدوده ۲۰ تا ۴۰ تن برای قاب ۱۰ طبقه و محدوده ۲۰ تا ۵۰ تن برای قاب ۱۵ طبقه در نظر گرفته شده است. در جدول ۱ مقاطع به کار رفته در قاب‌های خمشی در ارتفاعات ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه نشان داده شده است.

جدول ۱- مقاطع به کار رفته در قاب‌های خمشی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه

نوع سازه	طبقه	تیرهای خارجی	تیر میانی	ستون‌های خارجی	ستون‌های میانی
قاب ۵ طبقه	۱	IPE 400	IPE 360	BOX 30x30x1	BOX 30x30x1.5
	۲	IPE 400	IPE 360	BOX 30x30x1	BOX 30x30x1
	۳	IPE 400	IPE 360	BOX 25x25x1	BOX 30x30x1
	۴	IPE 360	IPE 270	BOX 25x25x1	BOX 25x25x1
	۵	IPE 360	IPE 270	BOX 20x20x1	BOX 20x20x1
قاب ۱۰ طبقه	۱	IPE 450	IPE 450	BOX 40x40x2	BOX 40x40x2
	۲	IPE 450	IPE 450	BOX 40x40x1	BOX 40x40x1.5
	۳	IPE 450	IPE 450	BOX 40x40x1	BOX 40x40x1.5
	۴	IPE 450	IPE 450	BOX 40x40x1	BOX 40x40x1
	۵	IPE 450	IPE 450	BOX 30x30x1	BOX 40x40x1
	۶	IPE 400	IPE 400	BOX 30x30x1	BOX 40x40x1
	۷	IPE 400	IPE 400	BOX 30x30x1	BOX 30x30x1
	۸	IPE 400	IPE 330	BOX 25x25x1	BOX 30x30x1
	۹	IPE 360	IPE 270	BOX 25x25x1	BOX 25x25x1
	۱۰	IPE 330	IPE 270	BOX 25x25x1	BOX 25x25x1
قاب ۱۵ طبقه	۱	IPE 550	IPE 550	BOX 50x50x2	BOX 50x50x2
	۲	IPE 550	IPE 550	BOX 40x40x2	BOX 50x50x2
	۳	IPE 600	IPE 550	BOX 40x40x2	BOX 40x40x2
	۴	IPE 600	IPE 500	BOX 40x40x2	BOX 40x40x2
	۵	IPE 600	IPE 500	BOX 40x40x1.5	BOX 40x40x2
	۶	IPE 600	IPE 500	BOX 40x40x1.5	BOX 40x40x1.5
	۷	IPE 600	IPE 500	BOX 40x40x1.5	BOX 40x40x1.5
	۸	IPE 550	IPE 500	BOX 40x40x1.5	BOX 40x40x1.5
	۹	IPE 500	IPE 500	BOX 30x30x1.5	BOX 40x40x1.5
	۱۰	IPE 500	IPE 400	BOX 30x30x1.5	BOX 40x40x1.5
	۱۱	IPE 500	IPE 400	BOX 30x30x1.5	BOX 30x30x1.5
	۱۲	IPE 500	IPE 400	BOX 30x30x1	BOX 30x30x1.5
	۱۳	IPE 450	IPE 300	BOX 30x30x1	BOX 30x30x1
	۱۴	IPE 400	IPE 300	BOX 25x25x1	BOX 25x25x1
	۱۵	IPE 400	IPE 300	BOX 25x25x1	BOX 25x25x1



## معرفی شتاب نگاشت‌های مورد استفاده

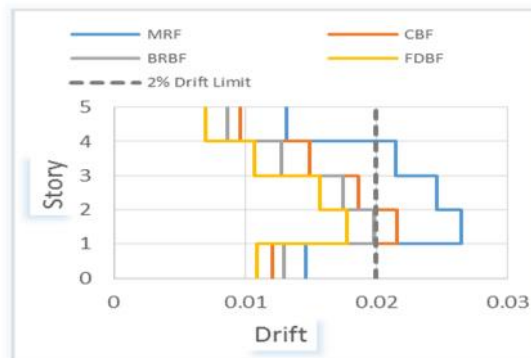
به منظور انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی از هفت شتاب نگاشت مختلف به عنوان تاریخچه زمانی حرکت شدید زمین استفاده شده است. تمامی شتاب نگاشت‌ها از نظر محتوای فرکانسی به نحوی فیلتر گردیده‌اند که خواص آن‌ها با خاک نوع ۳ در آیین‌نامه ۲۸۰۰ (۱۳۸۴) همخوانی داشته باشد. در جدول ۲ می‌توان شتاب نگاشت‌های به کار رفته را ملاحظه نمود.

جدول ۲- شتاب نگاشت‌های استفاده شده

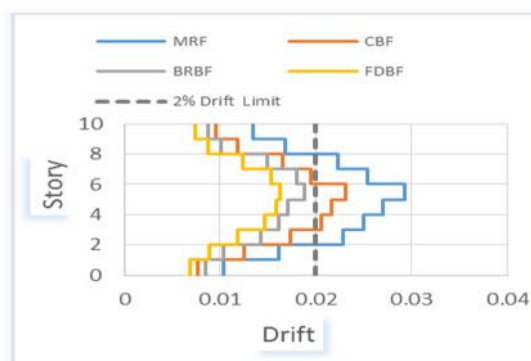
شتاب نگاشت	سال وقوع	بیشینه شتاب حرکت زمین (g)
ABBAR	۱۹۹۰	۰.۵۵
BAM	۲۰۰۳	۰.۵۰
ELCENTRO	۱۹۴۰	۰.۴۴
KOBE	۱۹۹۵	۰.۳۷
TABAS	۱۹۷۸	۰.۵۸
TAFT	۱۹۵۲	۰.۴۵
TARZANA	۱۹۹۴	۰.۴۴

## نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی

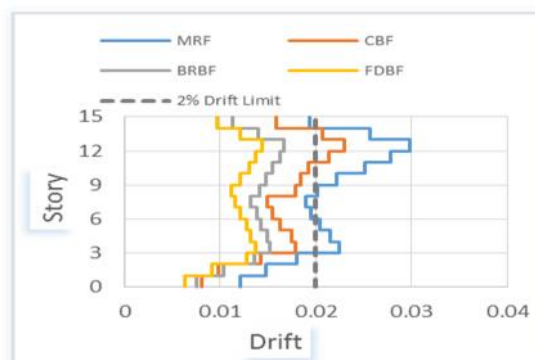
ارزیابی لرزه‌ای بر روی قاب‌های فولادی در سه حالت سیستم قاب خمشی (MRF)، قاب خمشی مهاربندی شده با مهاربند همگرای ضربدری (CBF) و قاب خمشی به همراه مهاربند کمانش‌ناپذیر (BRBF) و مقایسه میان آن‌ها به منظور بدست آوردن عملکرد ایمن در مقابل زلزله صورت گرفته است. بدین منظور بر روی سه قاب با ارتفاع‌های مختلف ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه، تحلیل دینامیکی غیرخطی با استفاده از هفت شتاب نگاشت مختلف به وسیله نرم‌افزار Perform 3D انجام شده است و نتایج حاصل از جابجایی نسبی و برش طبقات ارائه و کارایی هر یک از سیستم‌های مذکور مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل‌های ۱ تا ۳ حداکثر جابجایی نسبی طبقات (دریفت طبقات) در انواع سیستم‌های سازه‌ای مورد مطالعه در قاب‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه نشان داده شده است.



شکل ۱: تغییر مکان نسبی طبقات در قاب ۵ طبقه

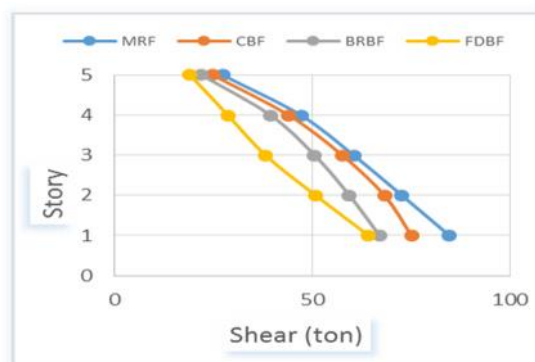


شکل ۲: تغییر مکان نسبی طبقات در قاب ۱۰ طبقه

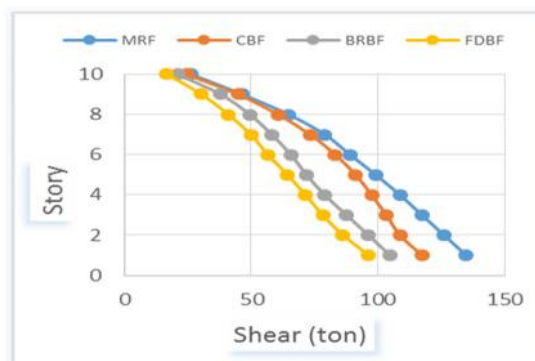


شکل ۳: تغییر مکان نسبی طبقات در قاب ۱۵ طبقه

همان‌گونه که در شکل‌های ۱ تا ۳ مشاهده می‌شود، حداکثر جابجایی نسبی طبقات در سیستم‌های FDBF و BRBF نسبت به سیستم MRF و CBF کاهش یافته است که میزان این کاهش نسبت به سیستم MRF بالاتر می‌رود. همچنین تغییر مکان نسبی سیستم‌های MRF و CBF در برخی طبقات از حد مجاز عبور کرده‌اند ولیکن افزودن میراگر اصطکاکی و مهاربند کمانش‌تاب بر روی سازه باعث شده است تا تغییر مکان نسبی این سیستم‌ها در هیچ‌یک از طبقات از حد مجاز فراتر نرود و به خوبی باعث کنترل تغییر مکان نسبی در سازه شود. در قاب ۵ طبقه که نماینده‌ای از سازه‌های کوتاه مرتبه می‌باشد، حداکثر جابجایی نسبی طبقات در تمامی سیستم‌های مورد مطالعه در طبقه دوم رخ داده است. در قاب ۱۰ طبقه که نماینده‌ای از سازه‌های میان مرتبه می‌باشد، حداکثر تغییر مکان جانبی طبقات در طبقه ششم رخ داده است. در قاب ۱۵ طبقه که نماینده‌ای از سازه‌های بلند مرتبه می‌باشد، ماکزیمم دررفت در تمامی سیستم‌ها در طبقه ۱۳ اتفاق افتاده است. مشاهده می‌شود که استفاده از میراگر اصطکاکی و مهاربند کمانش‌تاب در قاب خمشی، باعث کاهش چشمگیری در پاسخ‌ها شده است که میزان این کاهش در سیستم CBF به نسبت دو سیستم دیگر کمتر می‌باشد. همچنین با افزایش تعداد طبقات، میزان کاهش پاسخ در سیستم‌های FDBF و BRBF بیشتر شده و این مسئله به خوبی تاثیر استفاده از میراگر اصطکاکی و مهاربند کمانش‌تاب در سازه‌های با ارتفاع بلند را نمایش می‌دهد. در شکل‌های ۴ تا ۶ برش طبقات در انواع سیستم‌های سازه‌ای مورد مطالعه در قاب‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه نشان داده شده است.

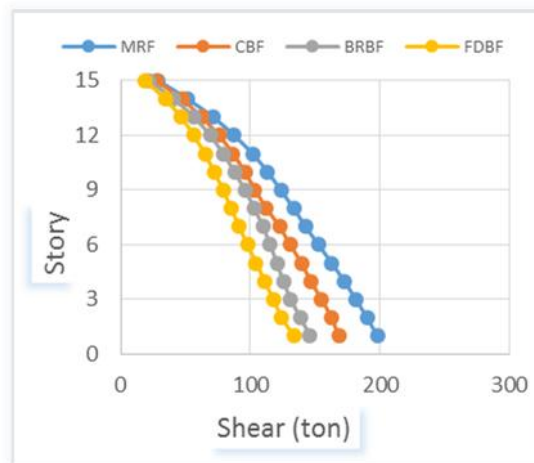


شکل ۴: برش طبقات در قاب ۵ طبقه



شکل ۵: برش طبقات در قاب ۱۰ طبقه





شکل ۶: برش طبقات در قاب ۱۵ طبقه

با توجه به شکل‌های ۴ تا ۶ می‌توان دریافت که افزودن انواع سیستم‌های مهاربندی مورد مطالعه جهت بهسازی سازه، مقدار برش طبقات را کاهش می‌دهد. این مقدار در سیستم BRBF بیشتر از سیستم CBF و کمتر از سیستم FDBF می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

- (۱) کاربرد میراگرهای اصطکاکی و مهاربندهای کمانش‌ناپذیر در کنار قاب‌های خمشی به علت افزایش دادن نرمی سیستم مهاربندی و همچنین به کارگیری در بهسازی لرزه‌ای در حال افزایش است. استفاده از این مهاربندها می‌تواند ضعف بسیاری از سازه‌های مجهز به سیستم قاب‌های خمشی و سازه‌های موجود بابدندی شده که بر اساس فرض تحمل کشش در اعضا مهاربندی طراحی شده‌اند را مرتفع کند.
- (۲) در بین انواع میراگرها، مدل‌سازی میراگرهای اصطکاکی ساده‌تر از بقیه میراگرهاست. در صورتیکه مدل‌سازی میراگرهای ویسکوز و میراگرهای آلیاژهای تغییرشکل ماندگار بسیار پیچیده است. از طرفی اصطکاک منبع اتلاف انرژی ارزانه‌تری نسبت به سایر منابع است و این ساخت میراگرهای اصطکاکی را ارزانه‌تر می‌سازد و در آن انرژی به جای رفتار غیرالاستیک اعضای اصلی سازه‌ای به صورت مکانیکی مستهلک می‌شود. بنابراین میراگر اصطکاکی پال به علت سادگی در مکانیزم ساخت، عدم احتیاج به مصالح خاص و گران‌قیمت و قابلیت تولید و آزمایش این وسایل، می‌تواند به عنوان یکی از بهترین روش‌های کنترل ارتعاشات لرزه‌ای به ویژه سازه‌های فولادی در ایران به شمار آید.
- (۳) مهاربندهای کمانش‌ناپذیر و میراگرهای اصطکاکی نقش بسیار قابل توجهی در کنترل تغییرمکان نسبی (Drift) سازه داشته و نقایص بسیاری از قاب‌های خمشی و قاب‌های خمشی مهاربندی شده‌ی همگرا با مهاربند ضربداری را در این زمینه پوشش می‌دهند.
- (۴) مهاربندهای کمانش‌ناپذیر و میراگرهای اصطکاکی سبب کاهش چشمگیری در کاهش برش پایه سازه شده و نقایص بسیاری از قاب‌های خمشی و قاب‌های خمشی مهاربندی شده‌ی همگرا با مهاربند ضربداری را در این زمینه پوشش می‌دهند.
- (۵) با بالا رفتن تعداد طبقات در قاب‌ها به این نتیجه رسیدیم که کارایی استفاده از مهاربندهای کمانش‌ناپذیر و میراگرهای اصطکاکی در کاهش پاسخ‌های سازه به مراتب بالاتر می‌رود و نیاز به استفاده از این سیستم‌ها در سازه‌های مرتفع‌تر بیشتر احساس می‌شود.

## مراجع

- آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم، ۱۳۸۴
- "دستورالعمل بهسازی ساختمان‌های موجود"، نشریه شماره ۳۶۰، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، ۱۳۸۵
- دهقان ف (۱۳۸۹) عملکرد لرزه‌ای و ضریب رفتار قاب‌های بتن مسلح دارای مهاربند کمانش‌تاب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۷
- مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم، بارهای وارده بر ساختمان، ۱۳۸۵



AISC, seismic provisions for structural steel buildings, 2005, AISC

Miller DJ, Fahnestock LA and Eatherton MR (2012) Development and experimental validation of a nickel-titanium shape memory alloy self-centering buckling-restrained brace, *Engineering Structures*. 40:p.288-298

Wigle, VR and Fahnestock LA (2010) Buckling-restrained braced frame connection performance, *Journal of Constructional Steel Research* 66(1): 65-74

Black CJ, Markis N and Aiken I (2002), Component testing, stability analysis and characterization of Buckling-Restrained Unbonded Braces, Technical Rep. No. PEER Report 2002/8, Pacific Earthquake Engineering Research Center. Univ. of California at Berkeley, Berkeley, Calif

Choi H and Kim J (2006) Energy-based seismic design of buckling-restrained braced frames using hysteretic energy spectrum , *Engineering Structures*, 28(2006), 304-311.

Xie Q (2005) State of the art of buckling-restrained braces in Asia, *Journal of Constructional Steel Research*, 61(6): p.727-748

Pall AS and Marsh C (1982) Response of friction damped braced frames, *Journal of Structural Division*, ASCE, 108(6), pp.1313-1323

Mualla IH and Belev B (2002) Performance of steel frames with a new friction damper device under earthquake excitation, *Engineering Structures*, 24(3). pp 365-371

Lee SH, Park JH , Lee SK and Min KW (2008) *Engineering Structures*, Volume 30, Issue 4, Pages 930-940