

مطالعه‌ی عملکرد سازه‌ای قاب‌های مهاربندی شده با مهاربند A شکل و قاب‌های مهاربندی واگرا (EBF) در برابر تحریکات زلزله

امیربطوئی^{آ*}، سعیدپورزینلی^ب

^آ ایران، رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه

^ب ایران، رشت، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، استاد سازه

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: amirbatueii@gmail.com

چکیده

امروزه سیستم‌های متعددی جهت مقاومت در برابر بارهای جانبی در انواع قاب‌های سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیت کنترل پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها و نیاز به افزایش قابلیت جذب و اتلاف انرژی ورودی در هنگام وقوع زلزله، می‌توان از روش‌های مختلفی در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بهره گرفت که از این روش‌ها می‌توان به استفاده از مهاربند در سازه‌ها و یا استفاده از روش‌های نوین مانند سیستم‌های مستهلک کننده انرژی یا میراگرها اشاره نمود. در مطالعه‌ی حاضر، عملکرد نوع خاصی از قاب‌های مهاربندی ترکیبی با میراگرهای منحنی شکل فولادی (A-brace) بررسی گردیده است. میراگرهای منحنی شکل فولادی به‌عنوان المان‌های افزاینده سختی و میرایی سازه، می‌توانند به‌منظور استهلاک انرژی برای کنترل و کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها در هنگام وقوع زلزله مورد استفاده قرار گیرند. همچنین از دیگر سیستم‌های لرزه بر مطرح در مهندسی سازه که در این مطالعه مورد مقایسه قرار گرفته است، سیستم مهاربندی واگرا (EBF) می‌باشد. در مطالعه‌ی حاضر، عملکرد لرزه‌ای سیستم مهاربندی واگرا با سیستم مهاربندی شده با میراگرهای منحنی شکل فولادی (A-brace) در سازه‌های فولادی، تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه دور و نزدیک مورد مقایسه قرار گرفته است. برای این منظور، قاب‌های چهار، هشت و دوازده طبقه برای مطالعات عددی انتخاب و در نرم‌افزار سپ ۲۰۰۰ مدل‌سازی شده و تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد که میزان دررفت در قاب‌های با مهاربندی واگرا در مقایسه با مهاربندهای A شکل در اکثر طبقات کمتر می‌باشد. میزان تغییر مکان بام در قاب‌های با مهاربند واگرا به‌طور متوسط در حدود ۵۳ درصد کمتر از تغییر مکان بام در قاب با مهاربند A شکل می‌باشد.

کلمات کلیدی: میراگر منحنی شکل فولادی؛ قاب‌های فولادی؛ مهاربند واگرا؛ تحلیل غیرخطی.

۱- مقدمه

با توجه به تجربیات حاصل از وقوع زلزله‌های شدید در سراسر جهان، بدیهی است که عملکرد نامناسب برخی از سازه‌ها در برابر زلزله، می‌تواند باعث از دست دادن جان افراد و همچنین خسارات اجتماعی و روانی بسیاری شود. به‌طور مثال، زلزله سال ۲۰۰۳ میلادی در بم یکی از مهم‌ترین زلزله‌های ایران بوده است. در این زلزله ۶/۷ ریشتری چهل‌وپنج هزار نفر جان خود را از دست دادند و بیش از سی هزار نفر زخمی شدند و حدود ۸۰ درصد ساختمان‌ها به‌طور کامل فروریختند [۱]. زلزله سرپل ذهاب کرمانشاه که یکی دیگر از تلخ‌ترین حادثه‌های ایران بود، در سال ۲۰۱۷ میلادی رخ داد که در این حادثه نیز بیش از ۶۲۰ نفر جان باختند و حدود ۱۰/۰۰۰ نفر زخمی شدند. این زلزله ۷/۳ ریشتر قدرت داشت و حداقل هشت شهر از جمله قصر شیرین، ازگله، ثلاث باباجانی، گیلان

غرب، سرپل ذهاب، دالاهو، اسلام‌آباد غرب و جوانرود و همچنین حدود ۲۰۰۰ روستا در اثر این زمین‌لرزه به شدت آسیب‌دیده‌اند [۲]. با توجه به وجود گسل‌های فراوان و لرزه‌خیزی زیاد در ایران، این کشور همواره در معرض خطر زلزله‌های شدید قرار دارد. در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، انتخاب یک سیستم مناسب مقاوم در برابر بارهای جانبی از بین سیستم‌های مختلف، نیاز به بررسی ویژه‌ای دارد. در این راستا، باید به مزایا و معایب هر یک از سیستم‌های موجود توجه کرد و سپس با توجه به نیازهای لرزه‌ای سازه، یک سیستم مناسب انتخاب شود. قاب‌های خمشی دارای شکل‌پذیری قابل توجه ای هستند، باین‌حال تغییر شکل بیش‌ازحد به دلیل سختی کم، کاربرد این سیستم را محدود می‌کند. مهاربندهای همگرا^۱ به دلیل سختی و مقاومت زیاد، در سازه‌های فولادی به‌عنوان یکی از مهاربندهای پرکاربرد در نظر گرفته می‌شوند، باین‌حال، سیستم مهاربندی همگرا از نظر معماری محدودیت‌هایی را به دنبال دارد. در ابتدا، این نوع مهاربندها صرفاً جهت مقاومت در برابر نیروهای جانبی و اثرات ناشی از آن‌ها بر تغییر شکل و تغییر مکان نسبی قابل توجه خصوصاً در ساختمان‌های بلندمرتبه مدنظر قرار گرفتند و به رفتار واقعی آن‌ها توجه نشده بود. با پیشرفت علم مهندسی زلزله و بررسی پدیده‌های شکل‌پذیری و ظرفیت جذب و استهلاک انرژی در سازه‌ها، محدودیت‌های مهمی مثل کماتش اعضا و یا ظرفیت پایین جذب انرژی در مهاربندهای همگرا مشخص شدند [۳].

مهاربند واگرا^۲ به‌عنوان یک سیستم مناسب برای مقابله با نیروی زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحقیقات گسترده‌ای نیز در این زمینه انجام شده است که نشان می‌دهد سیستم‌های با مهاربندی واگرا، قابلیت ترکیب سختی زیاد در محدوده الاستیک را با ظرفیت استهلاک انرژی در محدوده غیر الاستیک دارا می‌باشد. امروزه طراحان سازه در مناطق لرزه‌خیز از قاب‌های مهاربندی شده واگرا به علت سیستم‌های لرزه‌ای مناسب برای طراحی و مقاوم‌سازی سازه‌ها استفاده می‌کنند. پیکربندی این قاب‌ها شامل وجود یک خروج از مرکزیت افقی و یا قائم در انتهای عضوهای مهاربندی است. سیستم واگرا را می‌توان به‌عنوان ترکیبی بین قاب‌های مهاربندی شده همگرا و قاب‌های متداول خمشی عنوان کرد که سعی می‌کند مزایای فردی هر سیستم مانند سختی سیستم همگرا و شکل‌پذیری سیستم خمشی را باهم ترکیب کند و معایب مربوطه را نیز به حداقل برساند [۴ و ۵].

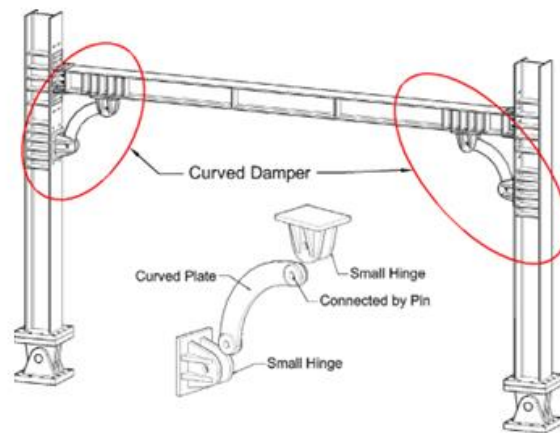
هسو و هالیم در سال ۲۰۱۷، یک سیستم میرایی جدید به نام میراگرهای منحنی شکل فولادی را معرفی کردند (شکل (۱)). این سیستم می‌تواند عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی را کنترل و بهبود بخشد. سیستم میرایی پیشنهادی با مشخصات میراگرهای مختلف از نظر خروج از مرکزیت و زاویه میراگر استفاده شد. اضافه شدن این نوع میراگر به قاب خمشی فولادی باعث بهبود سختی و اتلاف انرژی شد. این میراگر در محل اتصال تیر به ستون استفاده می‌شود. از مقایسه‌ها مشخص شد که استحکام و اتلاف انرژی قاب‌های آزمایشی با میراگرهای منحنی شکل، بدون توجه به ابعاد میراگر، در مقایسه با قاب خمشی به‌طور هم‌زمان افزایش می‌یابد [۶].

هسو و هالیم در سال ۲۰۱۸، برای افزایش بیشتر عملکرد سازه‌ای قاب فولادی، یک طرح بهبودیافته که به‌طور هم‌زمان شکل‌پذیری قابل توجه قاب خمشی و سختی مهاربند را حفظ می‌کند، پیشنهاد کردند (شکل (۲)). در این طرح، مهاربند با یک میراگر منحنی شکل فولادی (Scd)^۳ که قبلاً توسط همین محققان در سال ۲۰۱۷ عنوان شده بود، ترکیب می‌شود تا یک طرح عضو مهاربندی جدید به نام مهاربند A شکل (A-brace) تشکیل بدهند. مجموعه‌ای از آزمایش‌های بار چرخه‌ای بر روی میراگرهای منحنی شکل فولادی و مهاربندهای A شکل، با ابعاد مختلف میراگر، انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که میرایی قابل‌توجهی در مهاربند پیشنهادی به دست آمد که مکانیسم مؤثری برای ارتقاء ویژگی‌های دینامیکی سازه‌ها فراهم می‌کند. همچنین از نتایج آزمایش‌ها مشخص شد که مهاربندهای پیشنهادی تغییر شکل بزرگی معادل با درiftی در حدود ۵٪ را، بدون کماتش موضعی میراگر تحمل کردند (این پدیده را می‌توان به خاصیت شکل‌پذیری ورق فولادی و مکانیسم خمشی مؤثر از طریق خروج از مرکزیت میراگر نسبت داد) [۳].

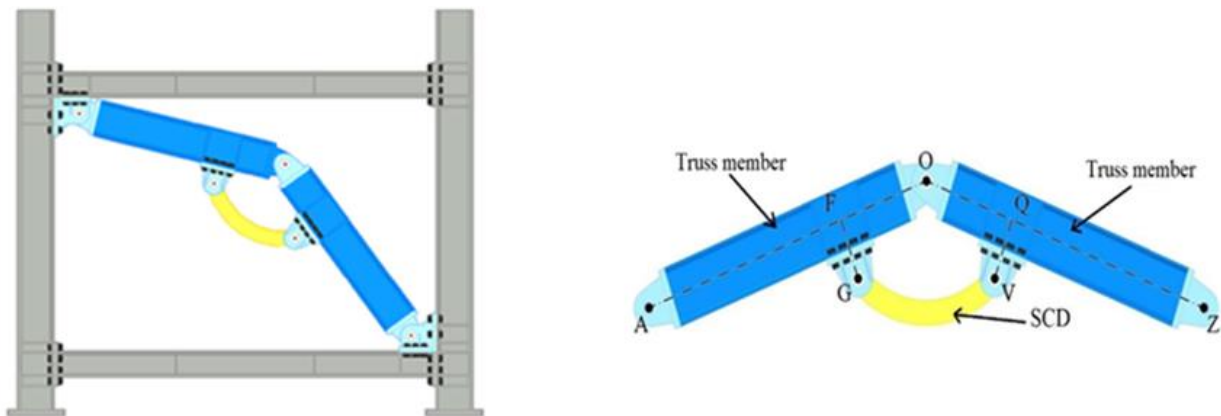
^۱ Concentrically Braced Frames

^۲ Eccentrically Braced Frames

^۳ Steel curved damper



شکل ۱. سیستم میرایی میراگرهای منحنی شکل فولادی [۶].



شکل ۲. طرح مهاربند A شکل [۳].

در سال ۲۰۲۰ هسو و هالیم به بررسی عملکرد قاب مهاربندی شده ابتکاری (A-brace) تحت بار چرخه‌ای پرداختند. آن‌ها برای ارزیابی، قاب‌های مدل‌سازی شده را تحت شتاب‌نگاشت‌هایی با حوزه دور و نزدیک قراردادند. طرح مهاربند پیشنهادی، شامل بخش‌هایی از مهاربند از پیش تغییر شکل یافته، میراگر منحنی شکل فولادی (Scd) و مکانیسم اهرمی برای تقویت تغییر شکل میراگر منحنی شکل فولادی برای اتلاف مؤثر انرژی می‌باشد. ابتدا مجموعه‌ای از آزمایش‌های بارگذاری چرخه‌ای بر روی قاب‌های فولادی با مهاربندهای A شکل پیشنهادی انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد که قاب‌های مهاربندی شده (مهاربندهای A شکل) سختی بالاتری نسبت به قاب خمشی در هر دو مرحله الاستیک و غیر الاستیک دارند. همچنین استحکام و اتلاف انرژی بهتری نشان می‌دهد و تغییر شکل سازه هم نسبت به قاب خمشی با توجه به سختی بیشتر، کمتر می‌باشد [۷].

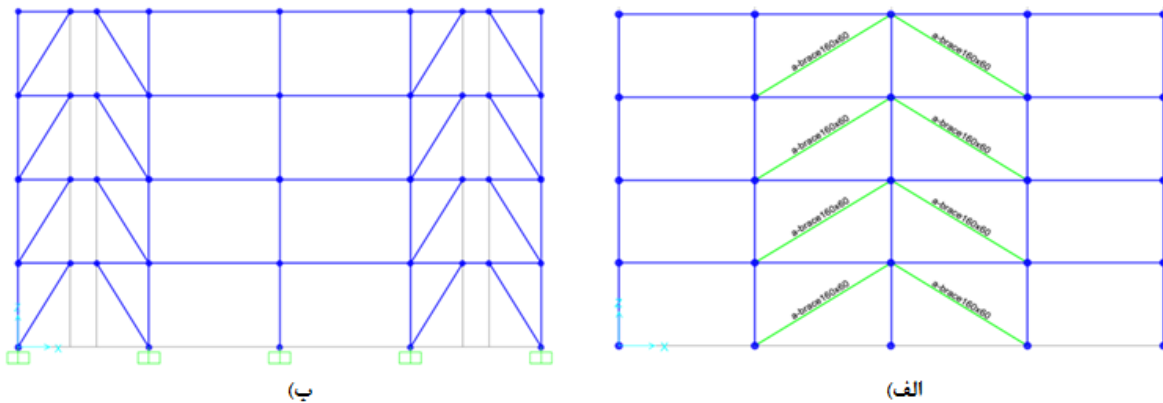
در سال ۲۰۲۰ قبوسی و همکاران، تحقیقی در مورد بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌های قاب پورتال با استفاده از میراگر منحنی شکل فولادی انجام دادند. این مطالعه نشان می‌دهد که میراگرهای پیشنهادی تأثیرات مثبت قابل توجهی بر بهبود عملکرد لرزه‌ای قاب پورتال متقارن و تک‌شیب سقف شیب‌دار دارند. این مطالعه همچنین میراگرها را بهینه کرده و یک زاویه میراگر جدید با تأثیرات بهتر بر عملکرد لرزه‌ای قاب پورتال در طول بارگذاری چرخه‌ای معرفی کرد [۸].

در مطالعه حاضر، به مقایسه‌ی عملکرد طرح‌های مهاربندی جدید (A-brace) که ترکیبی از یک جفت مهاربند، میراگر منحنی شکل فولادی و مکانیسم تغییر شکل تقویت شده است، با مهاربند واگرا ارائه می‌گردد. در این مطالعه، عملکرد قاب مهاربندی ابتکاری (A-brace) و قاب مهاربندی واگرا بر روی قاب‌های مهاربندی شده‌ی ساختمانی چندطبقه تحت ده شتاب‌نگاشت ثبت شده در

حوزه‌های دور و نزدیک گسل موردبررسی قرار می‌گیرد. جهت دستیابی به این هدف، سازه‌های چهار، هشت و دوازده طبقه در نرم‌افزار سپ ۲۰۰۰ [۹]، مدل‌سازی شده و تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قرار گرفتند. برای صحت سنجی نتایج مدل ذکرشده، سازه مقاله مرجع هسو وهالیم در سال ۲۰۲۰ مدل‌سازی شده و از صحت نتایج اطمینان حاصل شد.

۲- روش تحقیق و جزئیات مدل‌سازی

در تحقیق حاضر، برای مقایسه‌ی جامع عملکرد مهاربند A شکل و مهاربند واگرا از قاب سازه‌ای فولادی دوبعدی چهار، هشت و دوازده طبقه برای هر سیستم ذکرشده استفاده شده است. تنوع در تعداد قاب‌ها برای ارزیابی اثربخشی سیستم‌های ذکرشده در سازه‌های فولادی می‌باشد. شکل (۳) نمایی از قاب چهار طبقه مورد مطالعه برای هر دو سیستم را نشان می‌دهد. هندسه‌ی بقیه قاب‌ها هم مشابه شکل (۳) می‌باشد که در آن‌ها فقط ارتفاع قاب‌ها تغییر می‌کند.



شکل ۳. نمای سازه چهار طبقه مدل‌سازی شده: الف) قاب با مهاربند A شکل، ب) قاب با مهاربندی واگرا.

تمامی قاب‌های انتخابی دارای چهار دهانه می‌باشند. طول دهانه‌ها برابر با پنج‌متر و ارتفاع طبقات برابر با $3/2$ متر در نظر گرفته شده است. برای ارزیابی اثربخشی این سیستم‌ها در عملکرد سازه‌ها، لازم است ابتدا قاب‌های سازه‌ای در نرم‌افزار سپ ۲۰۰۰ مدل‌سازی شود. در سیستم مهاربند واگرای مدل‌سازی شده، طول تیر پیوند یک متر می‌باشد. برای مقاطع فولادی تیرها، از تیورورق استفاده شده است و برای مقاطع ستون‌ها و مهاربندهای واگرا نیز از مقطع جعبه‌ای (Box) استفاده شده است. مقاطع، با توجه به ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱۰]، فشرده لرزه‌ای انتخاب شده‌اند. برای بارگذاری‌های اعمال شده به قاب‌های فولادی، از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان [۱۱] و ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ [۱۲] استفاده شده است. مرجع طراحی نیز در نرم‌افزار سپ ۲۰۰۰ آیین‌نامه AISC-341-16 [۱۳] بوده است. فرض شده است که سازه مورد نظر در منطقه‌ای با خطر نسبی زیاد و بر روی خاک نوع ۳ بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ قرار دارد. ضریب اهمیت سازه یک (کاربری مسکونی) در نظر گرفته شده است. بار مرده و بار زنده به ترتیب ۷۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته شده است. همچنین مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی

نوع فولاد	مدول الاستسیته (گیگاپاسکال)	تنش نهایی (مگاپاسکال)	تنش تسلیم (مگاپاسکال)	ضریب پواسون
ST37	۲۰۰	۳۷۰	۲۴۰	۰/۳

به‌منظور در نظر گرفتن مسائل اجرایی سازه‌های فولادی، ابعاد مختلف ستون‌ها، تیرها، مهاربندها و میراگرهای منحنی شکل فولادی (میراگر استفاده شده در مهاربند A شکل) در طبقات مختلف به کار گرفته شده است. هندسه و محل قرارگیری جزئیات اعضا در

سازه چهار طبقه در شکل (۳) نشان داده شده است. در سیستم مهاربندی با مهاربند ترکیبی A شکل در قاب‌های سازه‌های چهار، هشت، دوازده طبقه از میراگرهای با ابعاد مختلف استفاده شده است که در جدول (۲) نمایش داده شده است.

جدول ۲. ابعاد هندسی میراگرهای استفاده شده در مهاربند ترکیبی A

مهاربند A شکل	عمق میراگر (میلی‌متر)	ضخامت میراگر (میلی‌متر)
A-Brace 160x60	۱۶۰	۶۰
A-Brace 170x60	۱۷۰	۶۰
A-Brace 190x60	۱۹۰	۶۰

برای طراحی اولیه قاب از روش تحلیل استاتیکی معادل استفاده شد. مشخصات لرزه‌ای تحلیل استاتیکی معادل مطابق استاندارد ۲۸۰۰ به شرح جدول (۳) است.

جدول ۳. مشخصات لرزه‌ای تحلیل استاتیکی معادل برای قاب چهار طبقه

سیستم قاب	A	T	I	R	B	C
مهاربند واگرا	۰/۳	۰/۵۴	۱	۷	۲/۷۵	۰/۱۱۷۹
A-Brace	۰/۳	۰/۵۴	۱	۵	۲/۷۵	۰/۱۶۵

برای بررسی بیشتر اثر مهاربند A شکل و مهاربند واگرا در سازه‌های فولادی در بهبود عملکرد لرزه‌ای، قاب‌های انتخابی تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قرار گرفتند. برای این منظور پنج شتاب‌نگاشت حوزه دور از گسل و پنج شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک گسل از سایت Peer [۱۴] انتخاب شد که در ادامه درباره‌ی آن توضیح بیشتری ارائه خواهد شد.

۱-۲ انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها

در سال‌های اخیر با پیشرفت چشم‌گیر نرم‌افزارهای مهندسی و روش‌های طراحی سازه‌ها، استفاده از تحلیل‌های غیرخطی مورد توجه زیادی قرار گرفته است. در این روش‌ها هدف آن است که عملکرد سازه در هنگام وقوع زلزله تا حدی قابل پیش‌بینی شود. به همین منظور برای رسیدن به این هدف، تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی سازه‌ها می‌تواند نزدیک‌ترین رفتار و عملکرد سازه را به طراح نشان دهد. به همین منظور، برای تحلیل غیرخطی سازه‌ها می‌بایست از شتاب‌نگاشت زلزله‌های مناسب استفاده شود. شتاب‌نگاشت‌هایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا، در هنگام وقوع زلزله باشند. در مطالعه‌ی حاضر شتاب‌نگاشت‌ها با استفاده از پارامترهایی مانند سرعت موج برشی در خاک محل ثبت شتاب‌نگاشت‌ها انتخاب شده‌اند. همان‌طور که بیان شد، در مجموع ده شتاب‌نگاشت حوزه دور و نزدیک گسل از سایت Peer استخراج و مورد استفاده قرار گرفتند. برای اصلاح و همچنین مقیاس رکوردهای زلزله از نرم‌افزار SeismoSignal [۱۵] استفاده شده است. شتاب‌نگاشت‌های انتخابی در جداول (۴) و (۵) ارائه شده‌اند. با توجه به ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ این ده شتاب‌نگاشت دارای سرعت موج برشی در محدوده ذکر شده در این استاندارد برای خاک نوع ۳ که خاک انتخاب شده در این مطالعه است، می‌باشند.

جدول ۴. مشخصات شتاب‌نگاشت‌های انتخابی در حوزه دور از گسل

زلزله	سال وقوع	ایستگاه	بزرگی	سرعت موج برشی	مؤلفه زلزله
Imperial Valley-06	۱۹۷۹	Delta	۶/۵۳	۲۴۲/۰۵	IMPVALL.H_H-DLT352
Kobe, Japan	۱۹۹۵	Shin-Osaka	۶/۹	۲۵۶	KOBE_SHI090
Kocaeli, Turkey	۱۹۹۹	Duzce	۷/۵۱	۲۸۱/۸۶	KOCAELI_DZC270
Loma Prieta	۱۹۸۹	Capitola	۶/۹۳	۲۸۸/۶۲	LOMAP_CAP000
Superstition Hills-02	۱۹۸۷	El Centro Imp. Co. Cent	۶/۵۴	۱۹۲/۰۵	SUPER.B_B-ICC000

جدول ۵. مشخصات شتاب‌نگاشت‌های انتخابی در حوزه نزدیک از گسل

زلزله	سال وقوع	ایستگاه	بزرگی	سرعت موج برشی	مؤلفه زلزله
Lomap_WVC270	۱۹۸۹	Saratoga - W Valley Coll	۶/۹۳	۳۴۷/۹	
SUPER.B_B-PTS225	۱۹۸۷	Parachute Test Site	۶/۵۴	۳۴۸/۶۹	
KOCAELI_YPT150	۱۹۹۹	Yarimca	۷/۵۱	۲۹۷	
DENALI_PS10-047	۲۰۰۲	TAPS Pump Station #10	۷/۹	۳۲۹/۴	
MONTENE.GRO_UL0000	۱۹۷۹	Ulcinj - Hotel Olimpic	۷/۱	۳۱۸/۷۴	

۳- مطالعات عددی

در این بخش، نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی مدل‌های مختلف معرفی شده در قسمت قبلی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نتایج ارائه شده در این قسمت، از میانگین‌گیری حداکثر نتایج به دست آمده از ده شتاب‌نگاشت انتخابی می‌باشد که در بخش قبل اشاره شده است.

۱-۳ تعیین پاسخ‌های مختلف قاب‌های انتخابی

جدول (۶) میزان برش پایه، تغییر مکان طبقه بام و شتاب طبقه بام قاب مهاربندی واگرا و جدول (۷) میزان برش پایه، تغییر مکان طبقه بام و شتاب طبقه بام قاب با مهاربند ترکیبی A شکل را نشان می‌دهند. مقایسه‌ی نتایج بیانگر آن است که میزان برش پایه در قاب مهاربند واگرا از قاب دارای مهاربند A شکل کمی بیشتر می‌باشد به طوری که از این نظر برای هیچ‌کدام از دو سیستم مزیت خاصی نمی‌توان قائل شد. یکی از پارامترهای مهمی که در طراحی سازه‌ها نقش مهمی دارد، تغییر مکان طبقه بام می‌باشد. تغییر مکان نقش به سزایی در عملکرد اعضای غیر سازه‌ای ساختمان دارد. نتایج نشان می‌دهند که تغییر مکان طبقه بام در قاب با مهاربند A شکل به مراتب نسبت به قاب سازه واگرا بیشتر می‌باشد و این به دلیل کاهش سختی قاب با مهاربند A شکل نسبت به مهاربند واگرا می‌باشد. در ضمن مقدار شتاب طبقه‌ی بام نیز در دو سیستم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

جدول ۶. میزان برش پایه، تغییر مکان طبقه بام و شتاب طبقه بام با قاب مهاربندی واگرا

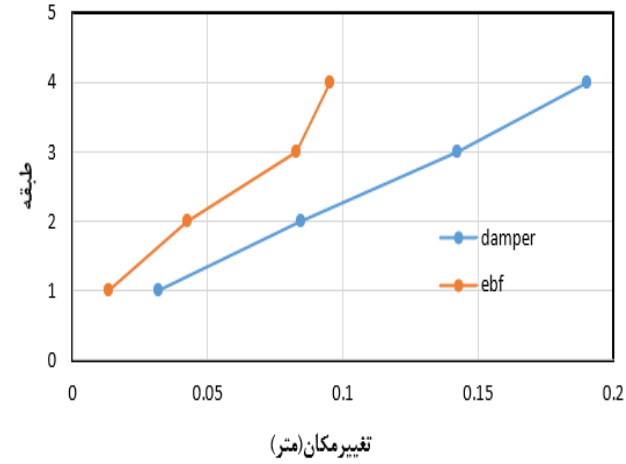
تعداد طبقه	شتاب طبقه بام (متر بر مجذور ثانیه)	تغییر مکان طبقه بام (سانتی‌متر)	برش پایه (تن)
چهار	۸/۵۹	۹/۵۲	۳۰۷/۱۹
هشت	۹/۶۵	۱۹/۴۷	۴۴۱/۹۴
دوازده	۹/۳	۴۳/۲۵	۵۴۲/۱۶

جدول ۷. میزان برش پایه، تغییر مکان طبقه بام و شتاب طبقه بام با قاب با مهاربند ترکیبی A شکل

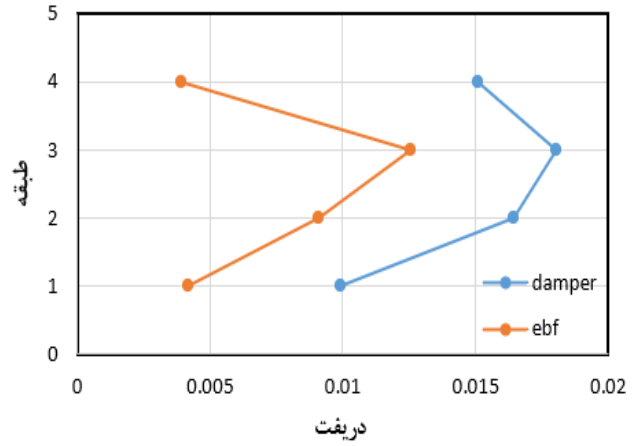
تعداد طبقه	شتاب طبقه بام (متر بر مجذور ثانیه)	تغییر مکان طبقه بام (سانتی‌متر)	برش پایه (تن)
چهار	۸/۸۶	۱۹/۰۴	۳۰۵/۶۱
هشت	۸/۲۹	۴۶/۰۹	۴۲۶/۰۱
دوازده	۷/۹۴	۴۹/۵۳	۵۳۶/۷۲

در اشکال (۴) و (۵) نیز به ترتیب دریافت طبقات و تغییر مکان طبقات در قاب‌های مهاربندی واگرا و قاب دارای مهاربند ترکیبی A شکل تحت شتاب‌نگاشت‌های انتخابی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. دریافت طبقات از موارد حائز اهمیت در بررسی سطح عملکرد سازه‌ها می‌باشد، زیرا میزان آسیب‌های وارده به اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای در هر طبقه، رابطه مستقیمی با میزان دریافت آن

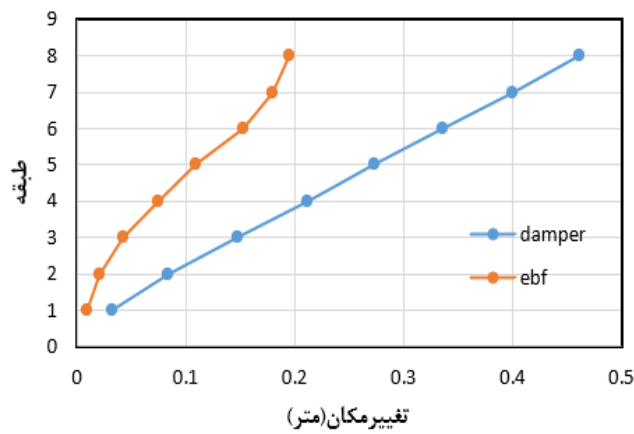
طبقه دارد. از بررسی نتایج مشخص می‌شود که قاب با مهاربند واگرا به مراتب نسبت به قاب با مهاربند A شکل میزان دررفت و تغییر مکان طبقات کمتری دارد و این به دلیل سختی بالای سازه دارای مهاربند واگرا نسبت به مهاربند A شکل می‌باشد. در اینجا لازم به یادآوری است که اصولاً مهاربند A شکل جهت بهبود رفتار قاب‌های خمشی ارائه شده است و به طوری که ملاحظه گردید از نظر عملکرد با مهاربند واگرا قابل رقابت نمی‌باشد.



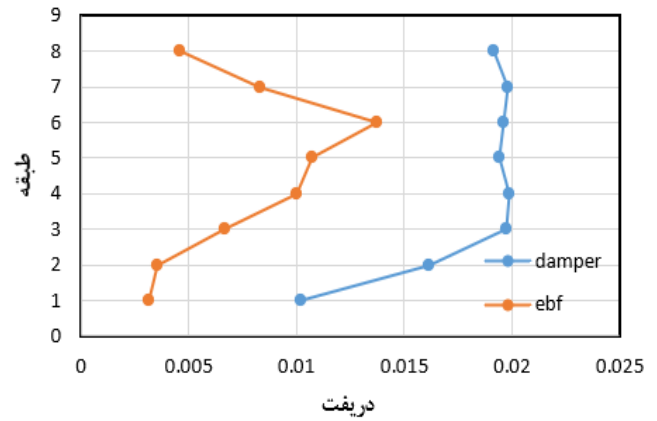
تغییر مکان (متر)



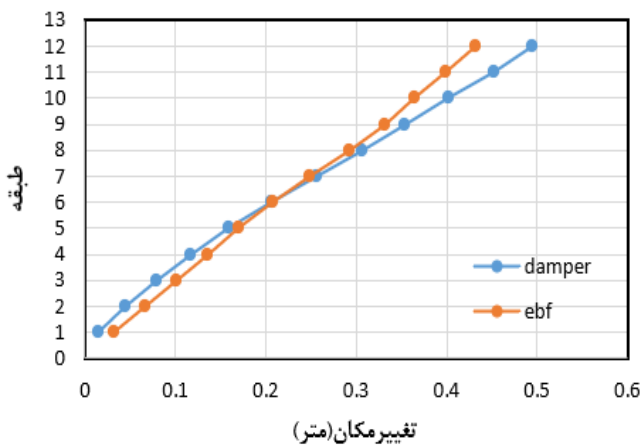
دررفت



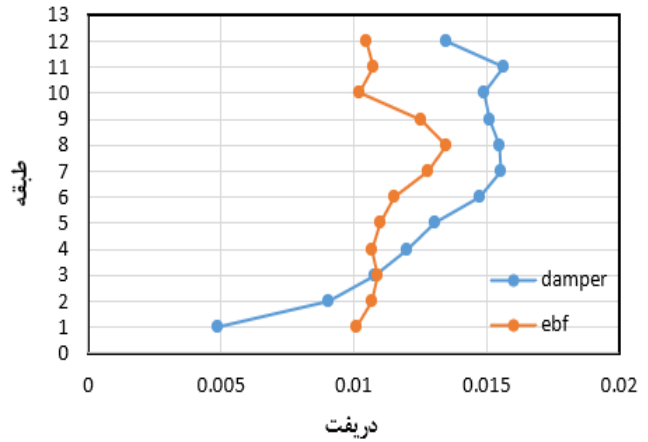
تغییر مکان (متر)



دررفت



تغییر مکان (متر)



دررفت

شکل ۵. تغییر مکان قاب مهاربندی واگرا و قاب با مهاربند A

شکل ۴. دررفت قاب مهاربندی واگرا و قاب با مهاربند A

۴- نتیجه‌گیری

این مطالعه باهدف بررسی و مقایسه دو سیستم مهاربندی واگرا و سیستم مهاربند نوظهور A شکل انجام شد. بدین منظور تعدادی قاب دوبعدی در ارتفاع‌های متفاوت و با استفاده از اعضای سازه‌ای مختلف (استفاده از میراگر با هندسه‌های مختلف در مهاربند پیشنهادی A شکل) تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی (با انتخاب ده عدد شتاب‌نگاشت از حوزه‌های دور و نزدیک) مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفتند. بررسی‌ها نشان داد که میزان دررفت در قاب‌های با مهاربندی واگرا در مقایسه با مهاربندهای A شکل در اکثر طبقات کمتر می‌باشد. میزان تغییر مکان بام در قاب‌های با مهاربند واگرا به‌طور متوسط در حدود ۵۳ درصد کمتر از تغییر مکان بام در قاب با مهاربند A شکل می‌باشد. همچنین نتایج حاصل بیانگر آن است که میزان برش پایه و شتاب طبقه‌ی بام در این دو سیستم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. بنابراین در مجموع با توجه به نتایج حاصل در این مطالعه می‌توان عنوان نمود که سازه دارای قاب با مهاربند واگرا، به دلیل سختی بالا، در برابر زمین‌لرزه عملکرد بهتری نسبت به قاب با مهاربند A شکل داشته است؛ اما این نکته را می‌توان عنوان کرد که در صورت بروز مشکل در سیستم مهاربند واگرا، پس از وقوع زلزله، امکان تعویض مهاربند مشکل خواهد بود و سازه از نظر اقتصادی متحمل هزینه اضافی می‌شود، اما در مهاربند A شکل، مکانیسم به‌گونه‌ای است که کمانش و شکست ابتدا در میراگر مهاربند رخ بدهد؛ بنابراین با تعویض میراگر می‌توان دوباره از مهاربند استفاده کرد که این امر از نظر اقتصادی بسیار مقرون‌به‌صرفه می‌باشد.

مراجع

1. H. Ramazi, H. Soltani Jigheh, "The Bam (Iran) Earthquake of December 26, 2003: From an engineering and seismological point of view." *Journal of Asian Earth Sciences* 27, no. 5 (2006).
2. K. Amini Hosseini, Y. Izadkhah, B. Mansouri, M. Ghayamghamian, "Preparedness and emergency response aspects of Sarpol-e Zahab (Kermanshah), Iran earthquake of November 12, 2017." *Journal of Seismology and Earthquake Engineering* 20, no. 4 (2018).
3. H-L. Hsu, H. Halim, "Brace performance with steel curved dampers and amplified deformation mechanisms." *Engineering Structures* 175 (2018).
4. M. Engelhardt, "Behavior of long links in eccentrically braced frames." (1990).
5. C. Roeder, E. Popov, "Inelastic behavior of eccentrically braced steel frames under cyclic loadings." *NASA STI/recon technical report N 78* (1977).
6. H-L. Hsu, H. Halim, "Improving seismic performance of framed structures with steel curved dampers." *Engineering Structures* 130 (2017).
7. H-L. Hsu, H. Halim, "Steel A-braced frame upgrade performance under various load characteristics." *Journal of Constructional Steel Research* 175 (2020).
8. A. Ghabussi, J. Asgari Marnani, M. Rohanimanesh, "Improving seismic performance of portal frame structures with steel curved dampers." In *Structures*, vol. 24, pp. 27-40. Elsevier, 2020.
9. SAP 2000 CSI. "Integrated Software for Structural Analysis and Design." (2020).
۱۰. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمانی ایران، "مبحث دهم مقررات ملی ساختمان" وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۲.
۱۱. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمانی ایران، "مبحث ششم مقررات ملی ساختمان" وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۸.
۱۲. آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، "استاندارد ۲۸۰۰" مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. ویرایش چهارم، ۱۳۹۸.
13. AISC 341-16. "Seismic provisions for structural steel buildings." *American Institute of Steel Construction* (2016).
14. Center, P. E. E. R. "PEER Ground Motion Database, PEER Center." *University of California, Berkeley, CA, USA*, <https://ngawest2.berkeley.edu> (2023).
15. Seissoft, L. T. D. "Seismosignal." *Pavia, Italy* (2012).