بهبود رفتار لرزهای قابهای مهاربندی همگرا با استفاده از یک میراگر حلقهای نوین

یاشار بخشایش' , فرشته امامی'

۱ گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، معماری و هنر، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران ، ایران

چکیدہ :

اگرچه مهاربندهای همگرا سختی و مقاومت بالایی دارند، به دلیل کمانش عضو مهاربندی تحت بارهای چرخهای، ظرفیت اتلاف انرژی و شکل پذیری نامطلوبی دارند. یکی از راهکارای مناسب جهت بهبود رفتار مهاربندها استفاده از میراگرهای فولادی است. بنابراین، در این مقاله، یک میراگر حلقه ای فولادی نوین با هدف بهبود عملکرد میراگر حلقه ای معمول معرفی می شود. به منظور مطالعه رفتار میراگر پیشنهادی ابتدا صحت سنجی نمونه آزمایشگاهی انجام شد و سپس رفتار چرخهای میراگر پیشنهادی با استفاده از نرم افزار آباکوس بررسی شد. نتایج پاسخ چرخهای نشان میدهد که میراگر پیشنهادی دارای منحنی چرخهای پایدار، متقارن و بدون کاهش ناگهانی سختی و مقاومت هستند. بنابراین می توان از آن به عنوان یک عضو شکل پذیر استفاده شود. همچنین در مقایسه با میراگر حلقه ای معمول، اتلاف انرژی و سختی میراگر پیشنهادی به طور میانگین به ترتیب ۳٫۷ و ۴٫۳ برابر بیشتر است. برای غلبه بر مشکلات مهاربندهای همگرا، میراگر پیشنهادی به مهاربند قطری متصل شد. نتایج نشان میدهد که میراگر پیشنهادی با داشتن رفتار جرخهای پایدار و متقارن موجب بهبود منحنی چرخهای مهاربند همگرا شده است و با متمرکز کردن عمده آسیب میتواند نقش یک فیوز سازه ای را ایفا کند. در نهایت یک تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی جهت مقایسه قاب مهاربندی همگرا با و بدون میراگر انجام شد. نتایج نشان میدهد میراگر پیشنهادی میتواند حداکثر برش پایه را به طور میانگین در حدود ۹۴ درصد کاهش دهد. همچنین اضافه کردن میراگر پیشنهادی به قاب مهاربندی همگرا، دریفت برخی طبقات را کاهش میدهد. واژگان کلیدی: قاب مهاربندی همگرا، میراگر فولادی، رفتار چرخهای، تحلیل چرخهای

Enhancing The Seismic Behavior of Concentrically Braced Frames Using An Innovative **Steel Ring Damper**

Abstract

Although Concentric braces have high stiffness and strength, they develop undesirable energy dissipation capacity and ductility due to the bracing member buckling under cyclic loading. Using steel dampers is one of the appropriate methods to improve the braces behavior. Therefore, in this paper, an innovative steel ring damper is introduced with the aim of improving the performance of conventional ring dampers. In order to study the behavior of the proposed damper, first the verification of the experimental specimen was performed, and then the hysteretic behavior of the proposed damper was investigated using Abaqus software. The hysteresis curve results demonstrate that the proposed damper has a stable and symmetric hysteresis curve without stiffness and strength degradation. Therefore, it can be used as a ductile member. Also, in comparison with the conventional ring damper, the energy dissipation and stiffness of the proposed damper are on average 3.7 and 4.3 times greater, respectively. To overcome the disadvantages of concentric braces, the proposed damper was installed on the diagonal brace. The results indicate that the proposed damper, with its stable and symmetric hysteretic behavior, has enhanced the hysteresis curve of the concentric braces and can play a role of a structural fuse due to the concentration of most of the damage. Finally, a nonlinear time-history analysis was conducted to compare the concentrically braced frame with and without a damper. The results show that the proposed damper can decrease the maximum base shear about 94% on average. Also, adding the proposed damper to the concentrically braced frame decreases the story drift of some stories.

Keywords: Concentrically Braced Frame, Steel Damper, Hysteretic Behavior, Cyclic Analysis

۱–مقدمه

پس از زلزله نورثریج (۱۹۹۴) بسیاری از اتصلات خمشی سازههای فولادی که بر اساس آئین نامههای وقت طراحی شده بودند متحمل خسارات شدیدی شدند. مطالعات گستردهای برای توسعه اتصالات جدید انجام شدهاست که دارای رفتار غیرارتجاعی قابل توجهی هستند؛ مانند اتصالات با مقطع تیر کاهش یافته (RBS) [۳-۱] و فلنجی (End-Plate) [۵٫۴]. با این حال معیارهای طراحی سختگیرانه این اتصالات تردیدهایی را برای جامعه مهندسی در مورد استفاده گسترده از این سیستمها به وجود آورده است [۶]. همچنین به علت این که عملکرد لرزهای این اتصالات براساس ظرفیت دوران پلاستیک تیر و ستون میباشد، تعمیر سازه آسیبدیده پس از زلزلههای شدید نیازمند تلاش و هزینه زیادی است [۵٫۲].

برای غلبه بر انواع این مشکلات، سیستم های اتلاف کننده انرژی برای کنترل آسیب در سازهها مورد استفاده قرار گرفته اند[۱۰,۹]. ابزارهای اتلاف کننده انرژی به منظور افزایش میرایی، سختی و مقاومت سازه بر روی سیستم سازه نصب میشوند. علاوه بر عملکرد لرزهای مطلوب یک سیستم در برابر بارهای اعمالی، سهولت اجرا و ملاحظات اقتصادی مسائل مهم دیگری هستند که باید برای کارایی مناسب یک سیستم در نظر گرفته شوند. دلیل اصلی برای استفاده از ابزارهای اتلاف کننده انرژی در یک سازه، اتلاف انرژی ورودی تحریک زلزله است. از این رو میتوان آسیب وارده به اعضای سازه ای را به حداقل رساند. میراگرهای فلزی پرکاربردترین نوع ابزارهای اتلاف کننده انرژی هستند. مکانیزم اتلاف انرژی تمام میراگرهای فلزی براساس تغییر شکلهای غیرخطی مواد فلزی میباشد و عمدتا برای بهبود رفتار قابهای مهاربندی همگرا استفاده میشوند.

قابهای مهاربندی همگرا از جمله سیستمهای رایج باربر جانبی در سازههای فولادی هستند. سختی الاستیک و مقاومت بالا یکی از مزایای قابهای مهاربندی همگرا است؛ با این وجود، یکی از معایب آنها، شکلپذیری و ظرفیت اتلاف انرژی پایین آنها در اثر کمانش عضو تحت بارگذاری فشاری است [۱۳–۱۱]. میراگرهای فلزی متعددی برای بهبود رفتار چرخهای قابهای مهاربندی همگرا پیشنهاد شده است. از جمله میراگرهای ADAS [۱۶–۱۴]، TADAS [۱۸٫۱۷] که انرژی لرزهای را از طریق تسلیم خمشی ورقها تلف میکنند. مهاربندهای کمانش تاب (BRBs) جهت حل مشکلات مهاربندهای همگرا معرفی شدند [۱۲–۱۹]. مهاربند کمانش

تاب از یک هسته مرکزی و غلاف پیرامونی تشکیل شده است. هسته مرکزی از طریق تسلیم محوری وظیفه اتلاف انرژی لرزهای را بر عهده دارد و غلاف پیرامونی از کمانش هسته مرکزی جلوگیری میکند. اگرچه مهاربندهای کمانش تاب رفتار چرخهای پایدار و متقارنی دارند و ضعفهای مهاربندهای متداول را بر طرف میکند، با این وجود استفاده از آنها در ساختمانهای متداول به دلیل هزینه بالا و مشکلات ساخت و اجرا توجیه اقتصادی ندارد. میراگر حلقهای نوع دیگری از میراگرهای فلزی است که همانند میراگر ADAS از طریق تغییر شکلهای خمشی انرژی لرزهای را اتلاف میکند [۲۲]. عباس نیا و همکاران برای اولین بار میراگر حلقهای را معرفی کردند [۲۲]. نتایج مطالعه آزمایشگاهی آنها نشان داد که میراگر حلقهای در قاب مهاربندی همگرا از کمانش مهاربند جلوگیری می کند و انرژی لرزهای را تلف می کند [۲۲]. بزاز و همکاران به صورت عددی رفتار میراگر حلقهای در قاب مهاربندی دروازهای را بررسی کردند [۲۳]. آزندریانی و همکاران به صورت عددی و پارامتریک رفتار میراگر حلقهای را بررسی کردند و روابط لازم برای طراحی آن را ارائه کردند [۲۴]. همچنین در مطالعهای دیگر، آزندریانی و همکاران یک میراگر دوحلقهای جدید را معرفی کردند. آنها یافتند که میراگر پیشنهادی رفتار چرخهای و ظرفیت اتلاف انرژی میراگر حلقهای معمول را بهبود میبخشد [۲۵]. معتمدی و همکاران استفاده از میراگر حلقهای در قاب مهاربندی X شکل را پیشنهاد کردند [۲۶]. نتایج نشان داد که سیستم ییشنهادی می تواند شکل پذیری قاب مهاربندی را تقویت کند [۲۶]. احتشامی و همکاران یک میراگر نوین جهت استفاده در سیستم مهاربندی معرفی کردند [۲۷]. سیستم پیشنهادی شامل چندین مقطع ${
m U}$ شکل فولادی و مکعبهای لاستیکی بود که به ترتیب نقش اتلاف کننده انرژی و فراهم کننده سختی پس از تسلیم را داشتند [۲۷]. مطالعات متعددی با استفاده از سیستم مهاربندی شورون و میراگر برشی جهت بهبود رفتار مهاربندهای همگرا انجام شده است [۳۲–۲۸]. میراگر برشی به طور متداول از یک جان برشی (وظیفه اتلاف انرژی) و دو ورق بال (جهت حفظ پایداری ورق جان) تشکیل شده است.

اگرچه میراگرها و مهاربندهای متنوعی جهت رفع نواقص سیستم مهاربندی همگرا توسعه داده شدهاند، با این حال دارای مشکلاتی همچون هزینه ساخت بالا، سختی اجرا و سختی تعویض پس از زلزله هستند. از این رو در این مقاله، یک میراگر حلقه ای جدید معرفی میشود که دارای ساختی آسان است و به راحتی پس از زلزلههای شدید جایگزین میشود. همچنین میراگر پیشنهادی دارای ویژگیهایی مانند رفتار پایدار و ظرفیت اتلاف انرژی مطلوبی میباشد. در ابتدا یک نمونه آزمایشگاهی صحت سنجی شد و یک مطالعه عددی بر روی میراگر پیشنهادی انجام شد. در نهایت جهت بررسی اثر میراگر بر رفتار قاب مهاربندی همگرا، دو قاب مهاربندی همگرا با و بدون میراگر تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قرار گرفتند. در ادامه به معرفی این میراگر و ارائه نتایج بدست آمده از مطالعه عددی انجام شده در این مقاله پرداخته شده است.

۲- معرفی میراگر پیشنهادی

۲-۱- هندسه میراگر

اجزاء میراگر پیشنهادی شامل یک حلقه فولادی با سخت کننده و دو ورق خمشی بوده که بوسیله یک جدار محاط میشود. عمده تفاوت میراگر پیشنهادی با میراگر حلقهای معمول، وجود دو ورق خمشی است که باعث بهبود عملکرد لرزهای میراگر میشود. نمای شماتیک میراگر در قاب مهاربندی همگرا و جزئیات میراگر در شکل ۱ نشان داده شده است. جدار محاط کننده سهمی در تحمل نیروی اعمالی ندارد. با این وجود، از آنجایی که به ورق گاست متصل میشود، شرایط مرزی مقید در برابر جابهجایی را برای حلقه فولادی و ورقهای خمشی ایجاد میکند. انتظار میرود حلقه فولادی، صفحات خمشی و سخت کنندهها در برابر بار اعمالی مقاومت نشان دهند. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده برای ساخت و نصب آسان است. از آنجایی که این سر بالا را حذف کرد و زمان ساخت و اجرا را کاهش داد. این مزایا باعث می شود این میراگر اقتصادی باشد. علاوه بر این، محدود کردن تسلیم در میراگر پیشنهادی منجر به تمرکز آسیب در میراگر می شود و اعضای سازهای خارج از میراگر الاستیک باقی خواهند ماند. این موضوع باعث کاهش هزینه های تعمیر پس از زلزله های شدید می شود.



۲-۲- روش طراحی

میراگر پیشنهادی برای جذب و اتلاف انرژی هنگام ورود به منطقه غیر خطی طراحی میشود. از سوی دیگر، سیستم متشکل از میراگر و مهاربند قطری باید طوری باشد که تسلیم میراگر، حالت حاکم بر رفتار سیستم باشد. بنابراین میراگر باید به گونهای طراحی شود که شکل پذیری و مقاومت خوبی داشته باشد. بر اساس مطالعه آزندریانی و همکاران [۲۴] مقاومت تسلیم حلقه فولادی برابر خواهد بود با :

$$P_{ring} = \frac{8M_P}{D} \tag{1}$$

که در آن
$$M_P$$
 و D به ترتیب لنگر پلاستیک و قطر حلقه فولادی میباشد.
با فرض آنکه مفاصل پلاستیک در دو انتهای ورقهای خمشی تشکیل میشود، مقاومت ورقهای خمشی برابر است با [۳۳]:
 $P_{Plate} = \frac{2bt^2 F_y}{2H}$
(2)

 $P_F = P_{Ring} + P_{plate}$

برای اینکه تسلیم میراگر پیشنهادی قبل از کمانش عضو مهاربندی رخ دهد، باید مهاربند بر اساس ظرفیت واقعی میراگر طراحی شود تا الاستیک باقی بماند. بدین منظور رابطهی زیر باید ارضا گردد :

$$P_F \leq \Phi P_n$$

که در آن P_F مقاومت میراگر بر اساس معادله (3) و P_n مقاومت فشاری اسمی اعضای فشاری و Φ ضریب کاهش مقاومت فشاری مطابق با AISC360-16 [۳۴] میباشد.

۳- مطالعه عددی

(3)

(4)

۳–۱– مدلسازی المان محدود

در این بخش، جزییات مدلسازی المان محدود نمونهها در نزم افزار آباکوس [۳۵] ارایه شدهاست. به منظور مش بندی دقیق این نمونهها، از المان Solid سه بعدی (C3D8R) که یک المان مکعبی ۸ گرهی خطی با انتگرال کاهش یافته است، استفاده شد [۳۵]. همچنین، میزان ریز بودن المانها نیز برای تعیین یک مش بهینه که نتایج دقیق را با زمان محاسباتی کمتر فراهم می کند، مورد بررسی قرارگرفت. مصالح فولاد بر اساس معیار تسلیم وون مایسز و سخت شوندگی کینماتیک مدلسازی شد[۳۵]. از فولاد با تنش تسلیم MPA ۵۰% و تنش نهایی ۴۸۰ MPa برای نمونهها مطابق با مطالعه عباس نیا و همکاران [۲۲] استفاده شد. علاوه براین، منحنی تنش-کرنش فولاد دوخطی با مدول الاسیسیته ۲۱۰GPa و نسبت پواسن ۲۰ تعریف شد. برای تحلیل نمونهها از تحلیل استاتیک جنرال استفاده شد [۳۵]. همچنین جهت در نظر گرفتن امکان رفتار غیر خطی و احتمال تغییر شکلهای بزرگ، غیرخطی-های هندسی در نظر گرفته شد [۳۵]. جهت وقوع کمانش به ویژه در مدلهای مهاربند، نقص اولیه در مدلسازی در نظر گرفته شد. بدین منظور، ابتدا یک تحلیل الاستیک کمانش انجام شد و سپس مود اول هر نمونه در نظر گرفته شد.

۳-۲- صحت سنجی مدلهای المان محدود

در این بخش، صحت سنجی نتایج آزمایشگاهی برای ارزیابی دقت مدلهای المان محدود میراگر پیشنهادی انجام میشود. نمونه CT20 از میراگرهای حلقهای آزمایششده توسط عباس نیا و همکاران [۲۲] و نمونه SPS1 از قابهای مهاربندی با میراگر برشی مطالعه زهرایی [۳۰] برای تایید نتایج مدلسازی المان محدود تحت بارگذاری چرخهای انتخاب شدند. جزییات هندسی، شرایط مرزی و پروتکل بارگذاری نمونهای آزمایشگاهی در شکل ۲ آورده شدهاند. به طور مثال در نمونه میراگر حلقهای، مطابق با شرایط آزمایشگاه یک مرزی و پروتکل بارگرای ترای تایید نتایج مدلسازی المان محدود تحت بارگذاری چرخهای انتخاب شدند. جزییات هندسی، شرایط مرزی و پروتکل بارگذاری نمونهها در شکل ۲ آورده شدهاند. به طور مثال در نمونه میراگر حلقهای، مطابق با شرایط آزمایشگاه یک مرزی و پروتکل بارگذاری نمونهها در شکل ۲ آورده شدهاند. به طور مثال در نمونه میراگر حلقهای، مطابق با شرایط آزمایشگاه یک آنتهای میراگر در برابر جابهجایی مقید شد و به انتهای دیگر آن بارگذاری اعمال شد[۲۲]. شکل ۳ پاسخ چرخهای نمونههای آزمایشگاهی را آزمایشی میراگر در برابر جابهجایی مقید شد و به انتهای دیگر آن بارگذاری اعمال شد[۲۲]. شکل ۳ پاسخ چرخهای نمونههای آزمایشگاهی را آزمایشگاهی را آزمایشگاهی را آزمایشگاهی را آزمایشگاهی را آزمایشگاهی را آزمایشی بینی کرده است. مطالعات گذشته پیشنهاد کردهاند که کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) برای ارزیابی آسیب نمونههای پیش بینی کرده است.

¹ General Static

آزمایشگاهی مناسب است [۲۴ و۲۵] . از این رو در این مطالعه، کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) به منظور بررسی نواحی شکست در مدلهای عددی استفاده شد[۳۵]. در شکل ۴ حالت شکست مدل المان محدود و نمونه آزمایشگاهی [۲۲] مقایسه شده است. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، بیشترین کرنش پلاستیک معادل (PEEQ) در نواحی رخ داد که با نواحی شکست آزمایش سازگار است. پاسخ چرخهای و تغییر شکل بهدستآمده از مدلسازی المان محدود با نتایج آزمایشگاهی دارای تطابق خوبی



شکل ۲. جزییات هندسی، شرایط مرزی و پروتکل بارگذاری نمونههای آزمایشگاهی: الف) میراگر حلقهای [۲۲] و ب) قاب مهاربندی با میراگر برشی [۳۰].







شکل۴. مقایسه نواحی آسیب نمونه آزمایشگاهی [۲۲] و عددی

۳-۳- جزییات مدلهای عددی

این بخش به معرفی جزییات مدلسازی عددی و نمونههای مطالعه پارامتریک می پردازد. شکل ۵ مش بندی مدل المان محدود میراگر پیشنهادی را نشان می دهد. همچنین در شکل ۵، شرایط مرزی و محل بارگذاری چرخهای نشان داده شده است. شرایط مرزی برای حالتی که میراگر در قاب مهاربندی قرار دارد اعمال شد. بدین منظور صفحه جدار محاط کننده میراگر در برابر جابهجایی و دوران محدود شد. علاوه براین، بارگذاری بر روی ورق اتصالی به مهاربند اعمال شد. بارگذاری چرخهای از نوع جابجایی بر اساس پروتکل بارگذاری FEMA-461 [77] به نمونهها اعمال شد (شکل۶). حداکثر جابهجایی اعمالی به نمونهها مطابق با مطالعه آزندریانی و ممکاران [۲۴]، TOT, در نظر گرفته شد. مشخصات مدلهای عددی در جدول ۱ آورده شده است. از نامهای مخفف برای نامگذاری اعونهها استفاده شد به طوری که نمونه میراگر حلقهای پیشنهادی PRD و میراگر حلقهای معمول RD نامگذاری شد. همچنین اعداد آورده شده بعد از PDP و RD به ترتیب معرف طول حلقه میراگر (L)، قطر حلقه میراگر (D) و نسبت قطر به ضخامت حلقه میالند (شکل (۱۱)). لازم به ذکر است بقیه پارامترها در بخش ۲٫۲ معرفی شدند. مبنای انتخاب ابعاد حلقه فولادی بر اساس میباشد. همچنین جهت ملاحظات معماری، ارتفاع و طول حلقه فولادی مشابه نمونه آزمایشگاهی صحت سنجی شده در بخش ۲٫۲ میباشد. همچنین جهت ملاحظات معماری، ارتفاع و طول حلقه فولادی مشابه نمونه آزمایشگاهی صحت سنجی شده در بخش ۲٫۲ میباشد. همچنین جهت ملاحظات معماری، ارتفاع و طول حلقه فولادی مشابه نمونه آزمایشگاهی صحت سنجی شده در بخش ۲٫۲ میباشد. همچنین جهت ملاحظات معماری، ارتفاع و طول حلقه فولادی مشابه نمونه آزمایشگاهی صحت سنجی شده در بخش ۲٫۲ میباشد. همچنین جهت ملاحظات معماری، ارتفاع و طول حلقه فولادی مشابه نمونه آزمایشگاهی صحت سنجی شده در بخش ۲٫۲

											ای عددی	جدول ۱: ابعاد مدلها
نمونهها			نهادی	ەاى پىشا	يراگر حلق	m) ابعاد م	m)	نمونهها		ی معمول	ميراگر حلقها:	(mm) ابعاد
	L	D	t	$^{D}/_{t}$	Н	b	ť'	_	L	D	t	$^{D}/_{t}$
PRD100-200-5.71	100	200	5.71	35	129	100	8	RD100-200-5.71	100	200	5.71	35
PRD100-200-6.67	100	200	6.67	30	129	100	8	RD100-200-6.67	100	200	6.67	30
PRD100-200-8	100	200	8	25	129	100	8	RD100-200-8	100	200	8	25
PRD100-200-10	100	200_	10	20	129	100	8	RD100-200-10	100	200	10	20
PRD100-200-13.33	100	200	13.33	15	129	100	8	RD100-200-13.33	100	200	13.33	15
		h h				_	_			1		



شکل۵. مش بندی و شرایط مرزی مدل عددی میراگر پیشنهادی



شکل ۶. پروتکل بارگذاری FEMA-461 [۳۶].

۴. تحلیل و بررسی نتایج

۴–۱– رفتار چرخهای



شکل۷. منحنی چرخهای میراگر پیشنهادی



شکل۹. کانتور تنش مایسز (Pa) میراگر پیشنهادی

۲-۴- بهبود رفتار مهاربند همگرا

در این قسمت به منظور بررسی تاثیر میراگر پشنهادی بر روی رفتار مهاربندهای همگرا یک مطالعه عددی انجام شده است. بدین منظور مدلهای مورد مطالعه تحت بارگذاری چرخهای مطابق با پروتکل بارگذاری ذکر شده در بخش ۳٫۳ قرارگرفتند. لازم به ذکر است که جزییات مدلسازی مهاربندها مطابق با بخش ۳٫۱ میباشد. به منظور مقایسه مهاربندها، از مقطع باکس با عرض ۶۰ میلی متر و ضخامت ۴ میلی متر به طول های ۴متر و ۴٫۵ متر برای مدلسازی مهاربندها استفاده شد. در شکل ۱۰ منحنی چرخهای نمونه مهاربند با میراگر با نمونه مهاربند قطری مقایسه شده است. مطابق شکل ۱۰ قابلیت ارزشمند میراگر پیشنهادی برای تقویت منحنی چرخهای مهاربندهای همگرا نشانداده شده است. بررسی حلقههای پاسخ چرخهای نمونههای مهاربند قطری نشان دهنده عدم تقارن در رفتار کششی و فشاری به علت کمانش مهاربند است که تصدیق کننده رفتار غیر شکل پذیر مهاربند همگرا است. اما بر خلاف مهاربندهای همگرا، مهاربندهای مجهز شده به میراگر پیشنهادی با داشتن حلقههای چرخهای پایدار و رفتار متقارن در کشش و



شکل ۱۰. مقایسه منحنی هیسترزیس مهاربند قطری با و بدون میراگر پیشنهادی

یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی عملکرد لرزهای اجزاء سازهای، مقدار اتلاف انرژی است. مقادیر انرژی اتلافی کل مدلهای مورد مطالعه از نتایج المان محدود استخراج شد و مقادیر آن ها در شکل ۱۰ ارائه شدهاست. همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، نمونه مهاربند با میراگر به علت عملکرد یکسان در کشش و فشار و داشتن منحنی چرخهای چاق ، دارای مقدار اتلاف انرژی بیشتری (حدود ۲۸ درصد) نسبت به مهاربندهای همگرا متناظر خود میباشد.



شکل ۱۱. مقایسه تنش ها و تغییر شکل مهاربند قطری با و بدون میراگر پیشنهادی

شکل ۱۱ توزیع تنش مایسز و تغییر شکل مدل های مهاربند در انتهای بارگذاری چرخهای را نشان میدهد. همانطور که نشان داده شده است، در مدل مهاربند قطری اثر المان ها دچار تسلیم شده اند و تمرکز تنش در ناحیه کمانش کرده مهاربند مشاهده میشود. با این حال، در مدل مهاربند با میراگر، میراگر حلقهای از کمانش مهاربند جلوگیری کرده و عمده تسلیم در ورقهای میراگر دیده میشود. به عبارت دیگر مهاربند در طی بارگذاری چرخهای الاستیک باقی مانده و میراگر پیشنهادی با متمرکز کردن عمده آسیب می تواند به عنوان فیوز سازهای عمل کند.

۵- تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی

به منظور بررسی اثر میراگر پیشنهادی بر روی رفتار قابهای مهاربندی همگرا، دو قاب ۴ طبقه و ۸ طبقه انتخاب شدند. قاب انتخابی دارای سه دهانه به طول ۴ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر است. شکل ۱۲ قاب مهاربندی را نشان می دهد. فرض شده است که قاب انتخابی در منطقه با لرزه خیزی بالا و خاک نوع ۲ مطابق با ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ [۳۷] قرار گرفته است. جهت طراحی این قاب از آیین نامه AISC360-16 [۴۳] استفاده شد. بارگذاری شامل بار مرده ۱۵۰۰ kgf/m و بار زنده ۵۰۰ kgf/m می باشد. مشخصات مقاطع دو قاب در شکل ۱۲ آورده شده است. لازم به ذکر است اتصال تیر به ستون به صورت مفصلی در نظر گرفته شده است.

جهت انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی از نرم افزار SAP2000 [۳۸] استفاده شده است. به منظور در نظر گرفتن اثرات غیرخطی، از مفاصل متمرکز مطابق با نشریه FEMA-356 [۳۹] استفاده شد. همچنین برای مدلسازی غیرخطی میراگر از المان غیرخطی لینک استفاده شد[۳۸]. شکل ۱۳ قاب مدلسازی شده با المان لینک را نشان میدهد [۳۸]. به منظور اطمینان از نتایج حاصل از نرم افزار SAP2000، یک مدل از میراگر در نرم افزار فوق مدلسازی گردید و نتایج آن با نرم افزار اباکوس مقایسه شد. شکل ۱۴ مقایسه منحنی هیسترزیس بین دو نرم افزار را نشان میدهد. مطابق شکل، دو منحنی دارای تطابق مناسبی میباشند. تفاوت جزئی بین پاسخها را می توان به رویکر متفاوت دو نرم افزار در مدلسازی نسبت داد. مطالعات متعددی از رکوردهای پیشنهادی FEMA-P695 جهت انجام تحلیلهای لرزهای استفاده کردهاند [۲۲–۴۰]. از این رو، برای انتخاب رکوردهای زلزله در این مطالعه، از رکوردهای پیشنهادی حوزه دور FEMA-P695 [۳۳] استفاده شد. مشخصات رکوردهای انتخابی در جدول ۲ آورده شده است. رکوردهای انتخابی مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ [۳۷] مقیاس شدند. به دلیل تحلیل دو بعدی قابها، در هر زلزله انتخابی از مولفه افقی با حداکثر شتاب بزرگتر استفاده شد[۳۷]. سپس طیف میانگین رکوردها با طیف طرح آیین نامه مقایسه گردید و ضرایب مقیاس بدست آمد. ضریب مقیاس زلزله ها در جدول ۳ آورده شده است. همچنین شکل ۱۵ طیف شتاب رکوردها و طیف طراحی آیین نامه را نشان می دهد.





شكل۱۴. مقايسه منحنى هيسترزيس نرم افزار سپ (SAP2000) و آباكوس (Abaqus)

	ر کورد های زلزله	جدول ۳: ضريب مقياس
	قاب ۴ طبقه	قاب ۸ طبقه
نام زلزله	ضريب مقياس	ضريب مقياس
Imperial Valley, 1979	0/69	0/58
Kobe (Japan), 1995	3/24	2/13
Loma Prieta, 1989	0/86	0/61
Landers, 1992	3/5	2/36
Kocaeli (Turkey), 1999	0/71	0/82
Northridge, 1994	0/31	0/42
Manjil, 1990	0/45	0/57
23 2 1/5 60 1 0/5 0		2800 Northridge Imperial valey Kobe (Shin-Osaka) Kocaeli (Duzce) Landres Loma Prieta Manjil (Abbar) Scaled AVR
0 0/5 1 1/5	2 2/5 T (sec)	3 3/5 4

۵–۱– نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

جدول ۴: بیشینه برش پایه قاب ۴ طبقه

پس از انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، تاریخچه برش پایه تحت زلزلههای مختلف برای قاب مهاربندی همگرا بدون میراگر و با میراگر استخراج گردید. شکل ۱۶ مقایسه تاریخچه زمانی برش پایه در دوقاب مهاربندی ۴ طبقه را نشان میدهد. مطابق شکل، با اضافه شدن میراگر به قاب مهاربندی، تاریخچه برش پایه به شکل چشم گیری کاهش پیدا میکند. به منظور مقایسه بهتر، بیشینه برش پایه قاب مهاربندی همگرا ۴ و ۸ طبقه به ترتیب در جدول ۴ و ۵ نشان داده شده است. مطابق جدول ۴، بیشینه برش پایه قاب ۴ طبقه در رکوردهای مختلف زلزله بین ۹۱ تا ۹۷ درصد کاهش پیدا کرده است (حدود ۵۹ درصد میانگین). همچنین مطابق جدول ۵، بیشینه برش پایه قاب ۸ طبقه در رکوردهای مختلف زلزله بین ۸۴ تا ۹۲ درصد کاهش پیدا کرده است (مدود میانگین). همچنین مطابق جدول میتوان نتیجه گرفت، میراگر پیشنهادی برش پایه قاب مهاربندی ۴ طبقه را بیشتر کاهش پیدا کرده است. در نهایت مجهز کردن قاب مهاربندی همگرا به میراگر پیشنهادی منجر به کاهش برش پایه و بهبود عملکرد سازه ای می می و می است.

زلزله	(kgf) قاب مهاربندی همگرا	(kgf) قاب مهاربندی همگرا مجهز به میراگر پیشنهادی	(%) کاهش
Imperial Valley	32156	1431	95/55
Kobe	60767	5012	91/75
Loma Prieta	46132	2101	95/45
Landers	57257	3665	93/59
Kocaeli	42715	1265	97/04
Northridge	19422	623	96/79
Manjil	19851	1324	94/34
Average	39757	2174	94/93
		برش پایه قاب ۸ طبقه	جدول ۵: بیشینه
زلزله	(kgf) قاب مهاربندی همگرا	(kgf) قاب مهاربندی همگرا مجهز به میراگر پیشنهادی	(%) کاهش
Imperial Valley	35296	3282	90/70
Kobe	83646	9094	89/13
Loma Prieta	54675	4280	92/17
Landers	85231	12940	84/82
Kocaeli	49280	6159	87/50
Northridge	34033	5504	83/83
Manjil	34267	3852	88/76
Average	53775	6444	88/13

حداکثر تغییر مکان بام قاب مهاربندی همگرا با و بدون میراگر تحت رکوردهای زلزله استخراج گردید. جدول ۶ و ۷ به ترتیب مقادیر حداکثر تغییر مکان بام را برای قاب ۴ طبقه و ۸ طبقه نشان میدهند. مطابق انتظار با اضافه کردن میراگر به قاب مهاربندی، حداکثر تغییر مکان بام برای اکثر رکورد زلزله ها افزایش یافته است. علت این افزایش را میتوان به کاهش سختی جانبی قاب مهاربندی با اضافه کردن میراگر نسبت داد. با این حال حداکثر تغییر مکان بام در برخی زلزلهها با اضافه کردن میراگر کاهش اندکی داشته است. با اضافه کردن میراگر پیشنهادی به قاب مهاربندی همگرا، حداکثر تغییر مکان بام به صورت میانگین در قاب ۴ طبقه ۱۱٬۸۱ درصد و در قاب ۸ طبقه ۲۰٬۸۹ درصد افزایش داشته است.



۴ طبقه	قاب	مکان بام	تغيير	حداكثر	جدول ۶:
--------	-----	----------	-------	--------	---------

زلزله	(m) قاب مهاربندی همگرا	(m) قاب مهاربندی همگرا مجهز به میراگر پیشنهادی	(%) تغييرات
Imperial Valley	0/027	0/0184	-31/85
Kobe	0/098	0/17	+73/47
Loma Prieta	0/045	0/0355	-21/11
Landers	0/11	0/1405	+27/73
Kocaeli	0/0305	0/0286	-6/23
Northridge	0/0125	0/0166	+32/80
Manjil	0/0127	0/0137	+7/87
Average	0/048	0/0605	+11/81

جدول ۷: حداکثر تغییر مکان بام قاب ۸ طبقه

زلزله	(m) قاب مهاربندی همگرا	(m) قاب مهاربندی همگرا مجهز به میراگر پیشنهادی	(%) تغييرات
Imperial Valley	0/0408	0/0394	-3/43
Kobe	0/1995	0/1954	-2/06
Loma Prieta	0/0792	0/0603	-23/86
Landers	0/1613	0/3125	+93/74
Kocaeli	0/0729	0/1085	+48/83
Northridge	0/051	0/0923	+80/98
Manjil	0/0459	0/056	+22/01
Average	0/093	0/123	+30/89

مقدار دریفت طبقات قاب مهاربندی همگرا با و بدون میراگر تحت رکوردهای زلزله محاسبه گردید. شکل ۱۷ و ۱۸ حداکثر دریفت هر طبقه را برای قاب ۴ طبقه و ۸ طبقه نشان میدهند. همانطور که نشان داده شده است، با اضافه کردن میراگر به قاب مهاربندی حداکثر دریفت در برخی طبقات کاهش و در برخی دیگر افزایش یافته است. همانطور که ذکر گردید علت این افزایش به دلیل کاهش سختی قاب مهاربندی بعد از مجهز شدن به میراگر است که منجر به افزایش جابهجایی می شود. با این حال حداکثر دریفت از مقدار مجاز آیین نامه ۲۸۰۰ [۳۷] در تمامی رکوردها کمتر بوده است. مقدار دریفت مجاز استاندارد ۲۸۰۰ برای قاب ۴ طبقه و ۸ طبقه به ترتیب برابر با ۲٫۵ و ۲ درصد می باشد [۳۷]. در نهایت می توان نتیجه گرفت اگرچه اضافه کردن میراگر پیشنهادی باعث افزایش دریفت در برخی طبقات شده است، ولی همچنان دریفت حاصله بسیار کمتر از دریفت مجاز آیین نامه می باشد.





شکل ۱۸. مقایسه دریفت طبقات قاب مهاربندی همگرا ۸ طبقه با و بدون میراگر

۶. نتیجهگیری

در این تحقیق به منظور بهبود رفتار مهاربندهای همگرا یک میراگر حلقهای جدید معرفی شده است. این میراگر دارای سهولت ساخت و تعویض پس از زلزله میباشد. ابتدا یک مدل آزمایشگاهی از میراگر حلقهای جهت تایید نتایج، در نرم افزار آباکوس صحت سنجی شد. سپس یک مطالعه پارامتریک بر روی میراگر پیشنهادی انجام شد و رفتار آن با میراگر حلقهای معمول مقایسه شد. در نهایت به منظور بررسی تاثیر میراگر پشنهادی بر روی رفتار مهاربندهای همگرا یک مطالعه عددی انجام شد و نتام شد و نتایج شد و

۱- نمونه میراگر پیشنهادی دارای پاسخ چرخهای پایدار، بدون کاهش سختی و مقاومت است. میراگر پیشنهادی نسبت به میراگر حلقه ای معمول دارای حلقههای چرخهای چاق تری است. میراگر پیشنهادی به طور میانگین باعث افزایش ۳٫۷ برابر اتلاف انرژی و ۴٫۳ برابر سختی نسبت به میراگر حلقه ای معمول شده است.

۲-مطابق انتظار، منحنی چرخهای مدل مهاربند قطری تحت بارهای فشاری عملکرد خوبی نداشت که علت آن کمانش مهاربند در این مدل بوده است. اما بر خلاف مدل ذکر شده، در مدل مهاربند با میراگر، میراگر پیشنهادی با رفتار متقارن در کشش و فشار، موجب تقویت منحنی چرخهای مهاربندهای همگرا شده است.

۳- با استفاده از میراگر پیشنهادی، اتلاف انرژی مهاربند همگرا حدودا ۲۸٪ بهبود مییابد. همچنین بررسی شاخص معیار مایسز نشان داد که اکثر المانهای مهاربند از حالت الاستیک خارج شدند. با این حال در مدلهای مهاربند با میراگر، خسارت در ورقهای میراگر متمرکز شده است و مهاربند الاستیک باقی مانده است. این موضوع تایید میکند که میراگر پیشنهادی با متمرکز کردن عمده آسیب میتواند نقش فیوز سازهای را ایفا کند.

۴- تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی نشان میدهد، مجهز کردن قاب مهاربندی همگرا به میراگر پیشنهادی، بیشینه برش پایه را به طور چشمگیری کاهش میدهد. مقدار متوسط کاهش برش پایه در قاب ۴ طبقه در حدود ۹۴ درصد و در قاب ۸ طبقه در حدود ۸۸ درصد میباشد. بنابراین میراگر رفتار لرزهای قاب مهاربندی همگرا را بهبود میبخشد.

۵- مطابق انتظار در قابهای مهاربندی مجهز به میراگر، حداکثر تغییر مکان بام برای اکثر رکورد زلزله ها افزایش یافت. علت این افزایش را می توان به کاهش سختی جانبی قاب مهاربندی مجهز به میراگر نسبت داد. با این حال حداکثر تغییر مکان بام در برخی زلزلهها با اضافه کردن میراگر کاهش اندکی داشته است. حداکثر تغییر مکان بام در مرا و در قاب ۴ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ درصد و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ درصد و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین یافت. می از در می توان ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ درصد و در مان ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ درصد و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به طور میانگین ۱۱٬۸۱ در می و در قاب ۸ طبقه به در قاب ۱۰ در می و در قاب ۸ طبقه به طرد می از در می و در قاب ۸ طبقه به طرد می از در می می و در قاب ۱۰ در می و در قاب ۱۰ در می از در می و در می و در می می و در در و در می و د

۶- با اضافه کردن میراگر به قاب مهاربندی همگرا حداکثر دریفت در برخی طبقات کاهش و در برخی دیگر افزایش یافته است. با این حال حداکثر دریفت از مقدار مجاز استاندارد ۲۸۰۰ در تمام نتایج رکوردها کمتر بوده است. اگرچه اضافه کردن میراگر پیشنهادی باعث افزایش دریفت در برخی طبقات شده است، ولی همچنان دریفت حاصله بسیار کمتر از دریفت مجاز استاندارد ۲۸۰۰ میباشد.

واژه نامه

تحليل استاتيكي جنرال General static analyses , نرم افزار آباكوس Abaqus software

المان ساليد Solid element ,سخت شوندگی کينماتيکی Kinematic hardening

References

[1] Jin, J. and El-Tawil, S., 2005. Seismic performance of steel frames with reduced beam section connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 61(4), pp.453-471. <u>https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2004.10.006</u>

[2] Zahrai, S.M., Mirghaderi, S.R. and Saleh, A., 2017. Tubular Web Reduced Beam Section (TW-RBS) connection, a numerical and experimental study and result comparison. *Steel Compos. Struct., Int. J*, 23(5), pp.571-583. https://doi.org/10.12989/scs.2017.23.5.571.

[3] Saleh, A., Mirghaderi, S.R. and Zahrai, S.M., 2016. Cyclic testing of tubular web RBS connections in deep beams. *Journal of Constructional Steel Research*, 117, pp.214-226. <u>https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2015.10.020</u>

[4] Shi, G., Shi, Y., Wang, Y. and Bradford, M.A., 2008. Numerical simulation of steel pretensioned bolted end-plate connections of different types and details. *Engineering Structures*, *30*(10), pp.2677-2686. <u>https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.02.013</u>

[5] Coelho, A.M.G. and Bijlaard, F.S., 2007. Experimental behaviour of high strength steel end-plate connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 63(9), pp.1228-1240. <u>https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2006.11.010</u>

[6] Shariati, M., Tahir, M.M., Wee, T.C., Shah, S.N.R., Jalali, A. and Khorami, M., 2018. Experimental investigations on monotonic and cyclic behavior of steel pallet rack connections. *Engineering Failure Analysis*, 85, pp.149-166. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.08.014

[7] Oh, S.H., Kim, Y.J. and Ryu, H.S., 2009. Seismic performance of steel structures with slit dampers. *Engineering* structures, 31(9), pp.1997-2008. <u>https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.03.003</u>.

[8] Mahyari, S.L., Riahi, H.T. and Hashemi, M., 2019. Investigating the analytical and experimental performance of a pure torsional yielding damper. *Journal of Constructional Steel Research*, *161*, pp.385-399. <u>https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.07.010</u>

[9] Housner, G., Bergman, L.A., Caughey, T.K., Chassiakos, A.G., Claus, R.O., Masri, S.F., Skelton, R.E., Soong, T.T., Spencer, B.F. and Yao, J.T., 1997. Structural control: past, present, and future. *Journal of engineering mechanics*, *123*(9), pp.897-971. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1997)123:9(897)

[10] Soong, T.T. and Dargush, G.F., 1997. Passive energy dissipation systems in structural engineering. Wiley.

[11] Sabelli, R., Mahin, S. and Chang, C., 2003. Seismic demands on steel braced frame buildings with buckling-restrained braces. *Engineering Structures*, 25(5), pp.655-666. <u>https://doi.org/10.1016/S0141-0296(02)00175-X</u>

[12] Razavi, M., Sheidaii, M. (2014). A Comparative Study on Seismic Performance of Zipper and Special Chevron Braced Frames', *Ferdowsi Civil Engineering*, 25(1), pp. 59-72. doi: 10.22067/civil.v25i1.35797.

[13] Asghari, A. (2016). 'Evaluating the Ductility of X-braced Frames which are Braced in two Middle Adjacent Spans', *Ferdowsi Civil Engineering*, 27(2), pp. 57-74. doi: 10.22067/civil.v27i2.33325.

[14] Khazaei, M., 2013. Investigation on dynamics nonlinear analysis of steel frames with steel dampers. *Procedia Engineering*, 54, pp.401-412. <u>https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.03.036</u>

[15] Xia, C. and Hanson, R.D., 1992. Influence of ADAS element parameters on building seismic response. *Journal of Structural Engineering*, *118*(7), pp. 1903-1918. <u>https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1992)118:7(1903)</u>

[16] Gray, M.G., Christopoulos, C. and Packer, J.A., 2014. Cast steel yielding brace system for concentrically braced frames: Concept development and experimental validations. *Journal of Structural Engineering*, *140*(4), p.04013095. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST_1943-541X.0000910

[17] Mahmoudi, M. and Abdi, M.G., 2012. Evaluating response modification factors of TADAS frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 71, pp.162-170. <u>https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.10.015</u>

[18] TahamouliRoudsari, M., Eslamimanesh, M.B., Entezari, A.R., Noori, O. and Torkaman, M., 2018, June. Experimental assessment of retrofitting RC moment resisting frames with ADAS and TADAS yielding dampers. In *Structures* (Vol. 14, pp. 75-87). Elsevier. <u>https://doi.org/10.1016/j.istruc.2018.02.005</u>

[19] Maurya, A., Eatherton, M.R., Matsui, R. and Florig, S.H., 2016. Experimental investigation of miniature buckling restrained braces for use as structural fuses. *Journal of Constructional Steel Research*, *127*, pp.54-65. https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2016.07.019

[20] Ebadi Jamkhaneh, M., Homaioon Ebrahimi, A. and Shokri Amiri, M., 2018. Seismic performance of steel-braced frames with an all-steel buckling restrained brace. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 23(3), p.04018016. https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.000038

[21] Iwata, M., Kato, T. and Wada, A., 2000. Buckling-restrained braces as hysteretic dampers. *Behavior of steel structures in seismic areas*, pp.33-38.

[22] Abbasnia, R., Vetr, M. G., Ahmadi, R., Kafi, M. A. (2009). 'AN ANALYTICAL AND EXPERIMENTAL STUDY ON THE DUCTILITY OF STEEL RINGS', *Sharif Journal of Civil Engineering*, vol. 25(51.1), pp. 41-48.

[23] Bazzaz, M., Andalib, Z., Kheyroddin, A. and Kafi, M.A., 2015. Numerical comparison of the seismic performance of steel rings in off-centre bracing system and diagonal bracing system. *Journal of Steel and Composite Structures*, *19*(4), pp.917-937. https://doi.org/10.12989/scs.2015.19.4.917

[24] Azandariani, M.G., Abdolmaleki, H. and Azandariani, A.G., 2020. Numerical and analytical investigation of cyclic behavior of steel ring dampers (SRDs). *Thin-Walled Structures*, *151*, p.106751. <u>https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106751</u>

[25] Azandariani, M.G., Rousta, A.M., Usefvand, E., Abdolmaleki, H. and Azandariani, A.G., 2021, February. Improved seismic behavior and performance of energy-absorbing systems constructed with steel rings. In *Structures* (Vol. 29, pp. 534-548). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.11.041

[26] Motamedi, M., Hafezi, M. and Yekrangnia, M., Analytical Study of Steel Ring Connections as Hysteretic Metallic Damper Analytical Study of Steel Ring Connections as.

[27] Moeini, M.E., Razavi, S.A., Yekrangnia, M. and Khaloo, A., 2021. Numerical Study on An Innovative Elastomeric- Steel Cushion Damper. *ce/papers*, 4(2-4), pp.1719-1724.

[28] Shayanfar, M.A., Barkhordari, M.A. and Rezaeian, A.R., 2012. Experimental study of cyclic behavior of composite vertical shear link in eccentrically braced frames. *Steel & Composite Structures*, 12(1), pp.13-29. https://doi.org/10.12989/scs.2011.12.1.013

[29] Shayanfar, M.A., Rezaeian, A.R. and Zanganeh, A., 2014. Seismic performance of eccentrically braced frame with vertical link using PBPD method. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 23(1), pp.1-21.

[30] Zahrai, S.M., 2015. Cyclic testing of chevron braced steel frames with IPE shear panels. *Steel and Composite Structures*, *19*(5), pp.1167-1184. https://doi.org/10.12989/scs.2015.19.5.1167

[31] Zahrai, S.M. and Vosooq, A.K., 2013. Study of an innovative two-stage control system: Chevron knee bracing & shear panel in series connection. *Structural Engineering and Mechanics*, 47(6), pp.881-898. https://doi.org/10.12989/sem.2013.47.6.881

[32] Zahrai, S.M. and Moslehi Tabar, A., 2013. Analytical study on cyclic behavior of chevron braced frames with shear panel system considering post-yield deformation. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 40(7), pp.633-643. https://doi.org/10.1139/cjce-2012-0430

[33] Rousta, A.M., Azandariani, M.G., Ardakani, M.A.S. and Shoja, S., 2022, November. Cyclic behavior of an energy dissipation system with the vertical steel panel flexural-yielding dampers. In *Structures* (Vol. 45, pp. 629-644). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.09.047

[34] ANSI, AISC 360–16. Specification for Structural Steel Buildings, 2016. American Institute of Steel Construction: Chicago-Illinois.

[35] Abaqus, F.E.A., 2011. Analysis User's Manual 6.14. Dassault Systemes Simulia Corp., Providence, RI.

[36] Federal Emergency Management Agency (2007) Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components, FEMA Report 461, Washington, USA.

[37] Iranian Standard 2800, 2014), Regulations for the design of buildings against earthquakes, standard 2800, Fourth edition.

[38] CSI, 2015. Analysis reference manual for SAP2000, Etabs, safe and CSIBridge. Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA, USA.

[39] FEMA 356. (2000). Pre-standard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency. Publication No. 356, Washington (DC).

[40] Ghadimi Moghadam, H., Emani, F., Mansoori, M. R. (2024). 'Seismic Evaluation of Multi-Span Reinforced Concrete Bridges with Ultra High-Performance Concrete Piers Using Fragility Curves', *Ferdowsi Civil Engineering*, 37(1), pp. 45-70. doi: 10.22067/jfcei.2024.84877.1261.

[41] Mohammadi Dehcheshmeh, E., Broujerdian, V. (2021). 'Investigation of the Behavior of Self-Centering Base- and Double-Rocking Walls Subjected to Far-Field and Near-Field Earthquakes', *Ferdowsi Civil Engineering*, 34(1), pp. 53-76. doi: 10.22067/jfcei.2021.68094.1008.

[42] Tafreshi, F., Rajabi, E., Golestani, Y. (2025). 'Seismic Evaluation of Steel Frames with Dual Linked-Column- Frame under Successive Earthquakes', *Ferdowsi Civil Engineering*, (), pp. -. doi: 10.22067/jfcei.2025.90190.1324.

[43] FEMA P695 (2009). "Quantification of building seismic performance factors," Rep. FEMA P695, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.