مجله علمی – پژوهشی مهندسی عمران مدرس دوره ۲۳، شماره ۵، سال ۱۴۰۲ صفحات ۵۱ تا ۲۷



مطالعات پارامتریک میراگر اصطکاکی سیلندری تخت با لنت ترمز در قاب مهاربند قطری تحت بارگذاری چرخهای

احسان سلطانی برافتابی ٬ محمد هادی علیزاده الیزیی ۲*، رضا اسمعیل آبادی ۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده فنی و مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن ۲- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن ۳- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن

Alizadeh.elizei@iau.ac.ir

تاریخ پذیرش ۱٤۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت ۱٤۰۱/۱۰/۱۵

چکیدہ

میراگرهای اصطکاکی پیشساخته به سرعت در حال گسترش هستند تا بتوانند مقاومت سیستمهای سازهای را در مقابل زلزل افزایش دهند وانرژی های ایجاد شده از زلزله در سازه را مستهلک کنند. در این مقاله یک نوع میراگر اصطکاکی جدید به نام میراگر اصطکاکی سیلندری تخت با استفاده از لنت ترمز در قاب مهاربند قطری طراحی گردیده است که عملکرد و مقاومت لرزه ای این سیستم و همچنین میران اتلاف انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. عملکرد میراگر در بارهای لغزشی ۱۱/۱ و ۱/۱۰ در سطوح المان سیلندری و مهاربند داخلی و خارجی را نشان می دهد. هندسه خاص و ابعاد میراگر در بارهای لغزشی ۱۱/۱ و ۱/۱۰ در سطوح المان سیلندری و مهاربند داخلی و خارجی قرار گیری میراگر از جمله متغیرهای مورد بررسی در این مقاله هستند. عملکرد لرزه ای قاب مورد نظر توسط ۸۰ مدل مختلف که هر مدل از میراگر با ضخامتهای لنت ترمز ۲/۵ و ۵ میلی متر و چگونگی قرار گیری متغیرهای تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. مدل های بهینه مورد نظر در نرمافزار آباکوس مدلسازی و تحت تحلیل و طراحی قرار گیری متغیرهای تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. مدل های بهینه مورد جذب انرژی است. نتایج نشان می دهد که سایش سطوح اصطکاکی صفحات فولادی و لنت ترمز با توجه به تغیر مکانها و میرایی کابل ها بسیار نظر در نرمافزار آباکوس مدلسازی و جدت تحلیل و طراحی قرار گرفت. هدف این سیستم کاهش جابهجایی نسبی افتی قاب و بالا بردن میزان بود با انرژی است. نتایج نشان می دهد که سایش سطوح اصطکاکی صفحات فولادی و لنت ترمز با توجه به تغیر مکانها و میرایی کابل ها بسیار نظر به عنوان یک عضو مستقل مقاوم در برابر لرزه در سازه های حیاتی در زلزای های بو و قری را نشان می دهد. مطالعه عددی میراگر مورد نظر به عنوان یک عضو مستقل مقاوم در برابر لرزه در سازه های حیاتی در زلزای های متوس مو و قوی را تأیید می کند.

واژگان كليدى: ميراگر اصطكاكى سيلندرى تخت، لنت ترمز، كابل فولادى، اتصالات پيچى، قاب مهاربند قطرى، بارگذارى چرخەاي.

۱- مقدمه

فولاد به عنوان یکی از اصلی ترین مصالح مورد استفاده در سازه قابلیت بسیار بالایی در جذب انرژی دارد. به این معنا که فولاد پس از تسلیم شدن و با ورود به ناحیه غیرالاستیک،

می تواند جابهجایی های بزرگی را بدون آنکه افت قابل ملاحظهای در مقاومت آن ایجاد شود تحمل نماید. در صورتی که یک عضو سازهای چنین رفتاری داشته باشد و بتواند در هنگام زلزله انرژی ورود به سازه را مستهلک نماید، این رفتار

۵١

احسان سلطاني برافتابي و همكاران

سبب می شود که سایر بخش های ساختمان مانند تیرها و ستون ها سالم باقی مانده و آسیب سازهای جدی نبینند. امروزه در بسیاری از سازهها، المان هایی به عنوان فیوز سازهای طراحی می شوند تا با خرابی این المان که با جذب انرژی زلزله همراه خواهد بود، سایر اعضای سازه آسیب جدی نبینند.

در سیستمهای سازهای با مهاربند، المانهای مهاربندی وظیفه تامین شکل پذیری مورد نیاز سازه را دارند اما به دلیل اینکه معمولا تحت نیروی های فشاری پس از چند سیکل بارگذاری، مهاربندهای فولادی دچار کمانش می شوند قابلیت جذب انرژی آنها به شدت کاهش می یابد و در نتیجه جذب انرژی مطلوب را نخواهد داشت که همین اتفاق سبب خرابی سازه و المانهای مختلف آن می شود. با بررسی رفتار سیستم مهاربندی در خرابی سازهها مشخص شد که بزرگترین مشکل این سیستم رفتار نامتقارن مهاربندها در کشش و فشار میباشد به این معنا که مهاربند در کشش تسلیم شده و جذب انرژی می نماید اما در فشار به دلیل کمانش نمی تواند عملکرد مطلوب داشته باشد. همچنین با توجه به وجود زمین لرزههای شدید و اعمال نیروهای اینرسی موجود به سازه استفاده از انواع سیستم های میرایی وابسته به جابهجایی و سرعت میتوان با مستهلک کردن انرژی های اعمال شده به سازه پاسخ دینامیکی را کاهش داد. امروزه انواع سیستمهای میرایی برای تولید عملکرد قابل مقایسه با یک سیستم سازهای مقاوم در برابر نیروهای لرزهای استفاده شده است که می توان به اهداف عملکردی بالاتر نیز دست یافت. با این حال باید محدودیتهای جابه جایی نسبی (دریفت) را رعایت کنند [1]. استفاده از میراگرهای اصطکاکی در قاب مهاربندی فولادی برای اولین بار توسط پال أو همکارانش ارایه شد[2]. سامانی و میرط اهری در سال ۲۰۱۵ میراگر اصطکاکی نیمه فعال را با استفاده از میراگرهای قابل تنظيم بيان كرد [3].

1-Drift 2- Pall

در سال ۲۰۲۱ پارونسو و همکاران به بررسی آزمایشگاهی میراگر اصطکاکی لغزشی با مصالح کامپوزیتی برای سازه های مقاوم در برابر زلزله عنوان شده است [4]. مارتينز ٤ و همكاران در سال ۲۰۱۷ آزمایش و عملکرد یک دمپر اصطکاکی جدید برای کنترل ارتعاشات لرزهای را عنوان کرد [5]. در سال ۲۰۲۳ کیم ⁶و همکاران ارزیابی عملکرد آزمایشگاهی میراگر اصطکاکی الاستیک را بیان می کنند که می تواند با اعمال یک ماده جدید آسیب را کاهش دهد [6]. بارباگالو^٦ یک سیستم میراگر اصطکاکی مهاربندی فولادی در سازه بتن مسلح و مقاومسازی را پیشنهاد کرد[7]. بیات و زهرایی تاثیر میراگرهای اصطکاکی بر بهبود عملکرد لرزهای قابهای فولادی صلب و نیمه صلب را نشان میدهـد [8]. میرزایـی فـرد و میرطـاهری و رحمـانی میراگر اصطکاکی سیلندری با استوانه و سیلندر را عنوان کردنـد [9]. در سال ۲۰۲۳ کوچ ۷ و همکاران به بررسی ویژگی های ساختاری یک قاب خمشی سیستم دوگانه و قاب مهاربندی شده متحدالمرکز با میراگر اصطکاک پرداخته است [10]. حیدری و آقاکوچک رفتار یک مهاربند فولادی جدید با قابلیت مرکز گرایی برای افزایش استهلاک انرژی را بیان کرد [11]. احمد جبار[^] وهمکاران کاربرد پیوندهای برشی I شکل را در قاب های فولادی CBF بیان میکند و می تواند از کمانش اعضای قاب جلوگیری کند و رفتار قاب را بهبود ببخشد و ساخت سادهای دارد و مقرون به صرفه است [12]. لینجی^۹ و همکاران روشی برای افزایش سختی و اتلاف انرژی از اتصالات تیر – ستون بتنی پیش ساخته ارایه دادند که با استفاده از میراگرهای اصطکاکی متغیر به کار میرود[13]. لی هـووا ۱۰ یک سیستم شبکهای اصطکاکی که از نوارهای فولادی تشکیل شده است رامعرفی کردهاند که تحت بارگذاری چرخهای قرار

- 3- Paronesso
- 4- Martinez
- 5- Kim
- 6- Barbagallo
- 7- Couch
- 8- Ahmad Jabbar
- 9- Linjie
- 10- Li-Hua

می گیرد و این سیستم سبب کاهش جابهجایی می شود و از آسیب در سازه جلوگیری می کند [14]. در سال ۲۰۱۷ مارتینز^۱ و کورادلی^۲ آزمایش و عملکرد یک دمپر اصطکاک جدید برای کنترل ارتعاشات لرزهای را عنوان کرد که روی ستون ها نصب شده است و یک دستگاه پیش بارگذاری نیروی طبیعی مورد نیاز برای ایجاد اصطکاک را فراهم می کند [15]. وانگ⁷ و همکاران میراگر اصطکاکی با سطح قوس (AFD)³ را پیشنهاد کرد که در آن نیروی اصطکاکی با پیش فشرده سازی الاستومر پلی یورتان (PUE)⁶ که با جابهجایی به دلیل سطوح اصطکاکی منحنی آن تغییر می کند، تامین می شود [16]. به تازگی لی⁷ و همکاران [17] نوع جدیدی از میراگر هیبریدی را برای حفاظت لرزهای چند سطحی سازهها پیشنهاد کرد.

سیستم یک درجه آزادی با میراگر اصطکاکی را مطابق شکل (۱) در نظر گرفته شد. از آنجایی که نیروی اصطکاک با جهت سرعت تغییر میکند، دو حالت در نظرگرفته شد. حالت اول هنگامی که X، مثبت یا منفی و $\frac{dx}{dt}$ حتماً مثبت باشد. این حالت با نیمی از سیکل، متناظر است که جرم از چپ به راست حرکت



11- Martinez

12- Curadelli

- 13- Wang
- 14- Arc-surfaced Frictional Damper
- 15- Polyurethane Elastomer
- 16- Lee

$$m \ddot{x} + kx = -\mu N \tag{1}$$

پاسخ به صورت رابطه ۲ است. با توجه به رابطه ۳ و ثابتهای A₁هو A₂، براساس شرایط اولیه در این نیمه سیکل، به دست آمد.

$$\mathbf{x}(t) = A_1 \cos \omega_n t + A_2 \sin \omega_n t - \frac{\mu N}{k} \tag{(Y)}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{(1)}$$

حالت دوم $\frac{dx}{dt}$ مقداری منفی دارد. جرم از راست به چپ حرکت میکند(شکل پ). معادله حرکت به صورت رابطه ٤ و پاسخ معادله به صورت رابطه ٥ است.

$$m\ddot{x} + kx = \mu N \tag{(1)}$$

$$x(t) = A_3 \cos \omega_n t + A_4 \sin \omega_n t + \frac{\mu N}{k}$$
 (0)

رابطههای ۱ و ٤ را در قالب یک رابطه به صورت رابطه ۲ بازنویسی شد. در رابطه اخیر، از تابع علامت استفاده شد که به صورت رابطه ۷ و رابطه ۵ را به صورت رابطه ۱۰ به دست آمده است.

$$m \dot{x} + \mu mgsgn + kx = 0 \tag{(9)}$$

$$sgn(y) = \begin{cases} -1 & \text{if } x < 0 \\ 0 & \text{if } x = 0 \\ 1 & \text{if } x > 0 \end{cases}$$
(V)

$$A_3 = x_0 - \frac{\mu N}{k} \tag{(A)}$$

$$A_4 = 0 \tag{9}$$



Fig. 2. Free vibrations with friction damper

موقعیتی که $\frac{\mu N}{k} \ge x_n \le x_n$ باشد، نیروی فنر (kx) از نیروی اصطکاک μN کمتر است و در نتیجه، در این نقطه، جرم متوقف می شود. از این رو، تعداد نیم سیکل هایی (r) که پیش از توقف سپری می شود، با توجه به روابط ۲۰ و ۲۱ قابل تعریف است.

$$x_0 - r \frac{2\mu N}{L} \le \frac{\mu N}{L} \tag{(1)}$$

$$r \ge \left[\frac{x_0 - \frac{\mu N}{k}}{\frac{2\mu N}{k}}\right] \tag{(1)}$$

در سیستم میراگر جدید ارایه شده با توجه به نوع عملکرد پیش بینی شده می توان عملکرد لرزهای را توسعه داد و اهداف عملکرد سازهای را در برابر زلزله تغییر داد همچنین در این سیستم از چند نوع بار لغزش متفاوت استفاده شده است تا عملکرد سیستم را در برابر تحرکات زلزله در سطوح شدت برزهای مختلف مقایسه کند. در این روش سعی شده است به پژوهشگران و مهندسان مدلی معرفی شود که یک سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی زلزله و باد با تحرکات بالا ارایه شود. نوآوری موجود در این مقاله مطالعه و بررسی رفتارهای میراگر اصطکاکی با استفاده از یک پیکربندی خاص توام با یک المان بررسی شد سپس آزمایشهای بارگذاری چرخهای روی نمونه پارامترهای بارگذاری و پیکربندی بر عملکرد میراگر اصطکاکی پارامترهای بارگذاری و پیکربندی بر عملکرد میراگر اصطکاکی

۲- معرفی میراگر سیلندری تخت چندسطحی

میراگر اصطکاکی سیلندری تخت از چند سطوح مختلف تشکیل شده است که توسط المانهایی مانند صفحات فولادی مهاربند، لنت ترمز، المان سیلندری فولادی، کابل فولادی، پیچ فولادی و مهاربندها به هم اتصال دارند. با توجه به شکل (۳ و ٤) وضعیت و موقعیت قرارگیری سطوح اصطکاکی روی

$$x(t) = \left(x_0 - \frac{\mu N}{k}\right) \cos \omega_n t + \frac{\mu N}{k} \tag{(1)}$$

این پاسخ فقط برای نیمی از سیکل که در بازه زیر معتبراست. $t = \frac{\pi}{\omega t} \ge 0 \le t \le \frac{\pi}{\omega}$ (۱۱)

هنگامی که معادله ۱۱ برقرار باشد، جرم به دورترین موقعیت خود در سمت چپ میرسد و جابهجایی آن به صورت رابطه ۱۲ نوشته می شود.

$$-x_{1} = x \left(t = \frac{\pi}{\omega_{n}}\right) = \left(x_{0} - \frac{\mu N}{k}\right) \cos \pi + \frac{\mu N}{k} = -\left(x_{0} - 2\frac{\mu N}{k}\right)$$
(17)

$$-\left[x_0 - \left(\frac{2\mu N}{k}\right)\right] \tag{17}$$

برای محاسبه
$$x(t=0)$$
و $x(t=0)$ ، باید به ترتیب $x(t=0)$

$$x(t=0) = -\left(x_0 - \frac{2\mu N}{k}\right) \tag{12}$$

$$x = -\omega_n \left(x_0 - \frac{\mu n}{k} \sin \omega_n t \right) \Longrightarrow x \quad (t = 0) = 0 \tag{10}$$

سپس ثابتهای رابطه ۲ تعیین شد که $\frac{3\mu N}{k}$ و $A_1 = x_0 - \frac{3\mu N}{k}$ و $A_2 = 0$ قابل محاسبه است. بازنویسی رابطه ۲ با ثابتهای به دست آمده به صورت رابطه ۱۷ است. برای محاسبه $\left(t = \frac{2\pi}{\omega_n} \right)$ و $x \left(t = \frac{2\pi}{\omega_n} \right)$ ، باید به ترتیب

مقدار x و x را در لحظه $\frac{2\pi}{\omega_n}$ و با کمک رابطه ۱۰ مقدار x مشخص شد که با توجه به روابط ۱۸ و ۱۹ به دست آمده است.

$$x(t) = \left(x_0 - \frac{3\mu N}{k}\right) \cos \omega_n t - \frac{\mu N}{k} \tag{1Y}$$

$$x\left(t = \frac{2\pi}{\omega_n}\right) = x_0 - \frac{4\mu N}{k} \tag{1A}$$

$$\dot{x}\left(t=\frac{2\pi}{\omega_n}\right)=0$$
(19)

این مقادیر، شرایط اولیه حرکت در نیمسیکل سوم هستند و به این ترتیب، تا زمان توقف، حرکت ادامهدار خواهد بود. در

¹⁻ Flat Cylindrical Friction Damper



Fig. 3. FCFD damper configuration



Fig. 4. FCFD Damper Modeling

۳- اصول کارکرد و عملکرد سیستم استهلاک انرژی

در طراحی ساختار داخلی میراگر طبق مقاله Fitzgerald, Anaglos و همکاران با توجه به مدل سازوکاراصطکاکی میزان نیروها و جابه جایی اعضای داخلی میراگر طبق اتصالات پیچی شیاردار و دیاگرام نیرو – جابه جایی در کشش و فشار در شکلهای (٦ و٧ و٨) محاسبه شد. در شکل (٥) می توان مشاهده کرد که صفحات میراگر در حالت بدون لغزش روی یکدیگر قرار می گیرند. زمانی که مهاربند تحت فشار قرار می گیرد با توجه به شکل (٦) و محل بارگذاری انتهای عضو سبب فشرده شدن مهاربند شده و از نقطه اولیه به اندازه X به سمت چپ جابه جا می شود پس از

یکدیگرنشان داده شده است که از یک سری سوراخهای با طول بلند روى صفحات فولادى لغزنده و المان سيلندري تخت و سوراخهای دایروی شکل روی لنت ترمز، کابلهای فولادی تشکیل شده است. سطوح اصطکاکی چند سطحی از لنتهای ترمز به ضخامت۲/۵ و ۵ میلیمتر و صفحات المان سیلندری و صفحات فولادی ۱۰ میلیمتر تشکیل شده است که با اتصال از طریق کابلهای فولادی قابلیت لغزش روی یکدیگر هم در فشار هم در کشش مهاربند را فراهم میکنند و از طریق پیچ های پیشتنیده با یکدیگر متصل می شوند. با توجه به نیروی فشاری وارد شده از طریق پیچها بر سطوح لغزشی و همچنین ضریب اصطکاک لنتهای ترمز، نیروی اصطکاکی به وجود می آید که در هنگام لغزش سطوح مختلف روی یکدیگر، ساییده میشوند و تولید گرما میکنند. سیستم استهلاک انرژی از عضوهای داخلی و خارجی تشکیل شدهاند. عضوهای خارجی از دو مقطع باکس تشکیل شده است که مقطع کوچکتر داخل مقطع بزرگتر قرار میگیرد و انتهای آنها به ستون و تیر گیردار مىشود. عضوهاى داخلى شامل المان سيلندرى، پيچ فولادى، کابل فولادی و لنت ترمز است که در شکل (۳ و ٤) نشان داده شده است. استفاده از دمپرهای متشکل از چند واحد سطوح اصطکاک می تواند نیروی اصطکاکی را تا ۲۰۰۰ کیلو نیوتن افزایش دهد. همچنین استفاده از چندین سطوح اصطکاک مختلف در میراگر عملکرد بسیار بالایی در ساختمانهای بلند مرتبه دارد. ساخت میراگر اصطکاکی موردنظر در کارگاه و کارخانه ها با انجام آزمایشات دقیق انجام می گیرد که از لحاظ اقتصادی بسیار مقرون به صرفه است. در جدول (۱) خواص مكانيكي المان قطري نشان داده شده است.

جدول ۱. خواص مکانیکی فولاد مصرفی [18]

Elasticity modulus (MPa)	Yield stress (MPa)	Ultimate stress (MPa)	Density (kg/m3)	Poisson ratio
۲	٤١١	٤٨٨	٧٨٥٠	۰/٣

Table 1. Mechanical properties of diagonal element[18]

کابل های فولادی شل هستند و در فشار عمل نمیکند. همچنین زمانی که مهاربند تحت کشش قرار می گیرد در شکل (۷) با توجه به محل بارگذاری، انتهای عضو کشیده می شود تا از نقطه اولیه به اندازه X به سمت راست جابهجا شود و پس از جابهجایی ٤ سانتی متر و افزایش نیروی لغزش المان سیلندری کابل های فولادی کشیده می شود. در همین حرکت سطوح روی یگدیگر شروع به لغزش می نمایند و دستگاه اتلاف انرژی نیروی ایجاد شده را از طریق اصطکاک و کشش کابل های فولادی تلف می کند. برای محاسبه مشخصات و هندسه میراگر و طراحی میراگرهای اصطکاکی روابط زیر اعمال شده است:

۱– محاسبه زمان تناوب T_b (سازه مهاربندی)، T_u (سازه بدون مهاربند)، T_g (پریود غالب زمین).

$$T_{g} = \frac{2\pi}{65 - 7.5 \,M_{L}} \to 5 < M_{L} < 7 \qquad (\gamma\gamma)$$

$$T_g = \frac{2\pi}{27 - 0.09R} \to 10 \,\text{km} < R < 160 \,\text{km}$$
 (YY)

$$0.2 \le \frac{T_{\rm b}}{T_{\rm u}} \le 0.8 \tag{71}$$

$$0.05 < \frac{Tg}{T_u} \le 20 \tag{Yo}$$

$$0.005 \le \frac{a_g}{g} \le 0.4 \tag{77}$$

(ag) - محاسبه شتاب مبنای طرح (
$$a_g$$
)
-۳ کنترل مقادیر زمان تناوبهای به دست امده در فرمول
-۳ β , α
- محاسبه مقادیر α , α
= $\frac{(-1.24N_s - 0.31)T_b}{m} + 1.04N_s + 0.43$ [19] (۲۷)

$$\beta = \frac{(-1.07N_{\rm s} - 0.1)T_{\rm b}}{T_{\rm u}} + 1.01N_{\rm s} + 0.45 \ [19] \ (\Upsilon\Lambda)$$

فشرده کردن المان سیلندری میشود و لغزش صفحات روی یکدیگر موجب استهلاک انرژی میشود.









Fig. 6. Slippage of FCFD damper plates in pressure



Fig. 7. Slippage of FCFD damper plates in tension

در این میان با توجه به اینکه میزان نیروی لغزش در زیر صفحات بالا و پایین مهاربند کوچکتر است ابتدا مهاربند حرکت کرده و سپس با افزایش نیروی لغزش المان سیلندری شروع به لغزش مینماید و ساییده میشود که در این حالت کشش کابل مستهلک می شود و تمام سیستم استهلاک انرژی و مهاربند در حالت الاستیک باقی می ماند. کابل ها تا زمانی که خرابی رخ ندهد الاستیک هستند، بنابراین مدل نیروی سیستم کابل یک خط مستقیم است، همانطور که در شکل (۹) نشان داده شده است. سختی کابل طبق رابطه ۲۹ قابل محاسبه است. $K = \frac{EA}{L}$ که در آن E مدول یانگ کابل ها، A کل سطح مقطع یک گروه از کابل ها، و I طول کابل است. نیروی لغزش با توجه به رابطه ۳۰ محاسبه می شود: $f = n_1 n_2 \mu N$ (۳۰) که در آن n تعداد پیچهای با استحکام بالا، 2n تعداد سطوح

که در آن ۱۱ معداد پیچهای با استحکام باد، ۱۵ مقدار بارهای اصطکاکی، µ ضریب اصطکاک است و N مقدار بارهای پیشتنیده در پیچها است. طراحی سطح مقطع اعضای داخلی و خارجی با توجه به رابطه ۳۱ و نیروی کابل از طریق رابطه ۳۲ به شرح زیر است:

$$A = \frac{F_i}{\sigma_v} \tag{(71)}$$

$$F = KX \tag{(m)}$$

پیچهای اتصال با استفاده از معادله ۳۳ طراحی میشوند:

 $N_{\nu}^{b} = n_{\nu} \cdot \frac{pd^{2}}{4} f_{\nu}^{b} > F_{VC} / n_{b} = 2k_{0}x / n_{b}$ (۳۳) n_{ν} در آن N_{ν}^{b} ظرفیت باربری برشی هر پیچ اتصال است، n_{ν} مقدار طراحی تعداد سطح برشی ، b قطر پیچ اتصال است. f_{ν}^{b} مقدار طراحی مقاومت برشی پیچ اتصال است و nb تعداد پیچهای باربر در یک طرف است. درشکل (۹) رابطه نیرو-جابهجایی در سطوح اصطکاکی و کابل نمایش داده شده است.





Fig. 9. Force-displacement relationship in friction surfaces and steel cable

eta , lpha , lpha مقادیر , lpha مقادیر lpha , lpha



Fig. 8. Design slip load spectrum[19]

$$rac{V_0}{m.a_g}$$
محاسبه مقدار معدار -٦

۷- محاسبه مقدار
$$V_0^{0}$$
 و نیروی برش اصطکاکی

۸– محاسبه نیروی برش اصطکاکی برای هر میراگر و به هر لنت ترمز و در نظر گرفتن زاویه انتقال نیرو

۹- محاسبه ابعاد و هندسه صفحه لنت اصطکاکی و مقطع میراگر براساس ظرفیت برش اصطکاکی لنت مورد استفاده مبتنی بر اطلاعات کارخانه سازنده که از جمله به روابط ۲۲ و ۲۵ اشاره کرد. برای ارزیابی عملکرد دمپر پیشنهادی بر اساس کدهای ASCE7-16 و ASCE7-16 طراحی شدند.

۳-۱- فرضیات طراحی

 ۱) سختی محوری در اعضای مهاربند و سیستم استهلاک انرژی بسیار بالاتر از کابلهای فولادی در نظر گرفته شده است.

 ۲) با توجه به نیروی محوری ایجاد شده در مهاربند و سیستم استهلاک انرژی با توجه به طراحی محافظه کارانه کمانش در اعضای داخلی رخ نمیدهد.
 ۳) با توجه به عملکرد مهاربند و سیستم استهلاک انرژی تمام نیروی وارد شده از طریق اصطکاک سطوح روی یکدیگر و

٤- طرح بارگذاری

در بارگذاری چرخهای، به صورت رفت و برگشتی، بارگذاری بر سازه اعمال می شود و می توان آثار کاهش ظرفیت در حین بارگذاری چرخهای را مشاهده نمود. حاصل یک بارگذاری چرخهای، معمولاً نمودارهای نیرو در برابر جابه جایی ایجاد شده هستند که از روی آنها می توان به عملکرد لرزهای عضو مورد مطالعه بهتر دست یافت. در این پروژه از پروتکل های بارگذاری SAC که در آیین نامه-AISC/ANSI358 اس قرار دارد استفاده شده است که در شکل (۱۰) قابل مشاهده است [20].









در خصوص طراحی خاص تیر و ستونها در این مقاله از مدل آزمایشگاهی مقاله Charles W. Roeder و همکاران استفاده شده است که ابعاد و اندازه تیرها و ستون ها و همچنین اتصالات و گاست پلیتها طبق آیین نامه AISC طراحی شده

اند و مورد آزمایش قرارگرفته است. قاب سه بعدی در طول ۳/٦۷ متر و ارتفاع طبقات ۳/٦۷ متر و طبق استاندارد ASCE7-16 طراحی شده است و سازه دارای میراگر برای کنترل و پارامترهای پاسخ لرزهای است. در شکل (۱۱) ابعاد قاب با میراگر اصطکاکی FCFD نشان داده شده است.

٥- مطالعات پارامتريک

با توجه به پیکربندی سیستم سازهای میراگر، مطالعات پارامتریک برای این سیستم در نظر گرفته شده است. صفحات لنت ترمز، شماره پیچ، تعداد پیچها، نیروهای لغزشی در صفحات اصطكاكي، قطر كابلها، نيروى كابل، آرايش پيچها، ضريب اصطكاك لنت ترمز، چيدمان صفحات فولادي و لنت ترمز بر روی هم در هر کدام از ویژگیهای گفته شده در این سیستم را می توان مورد مطالعه قرار داد. در این نوع میراگر از دو نوع لنت ترمز با سطوح اصطكاك متفاوت استفاده شده است به صورتی که در دو لنت ترمزهای کناری با ضریب اصطکاک ۱۱/۰و در لنتهای ترمز وسط از ضریب اصطکاک۱٦/۰ استفاده شده است. و نیروی لغزشی ایجاد شده در میراگر به گونهای باید باشد که قبل از کمانش شروع به لغزش نماید. سپس در زمان لغزش با توجه به سطوح اصطکاک تعريف شده در لنت ترمز ابتدا سطوحي كه نيروى لغزش کمتری برای حرکت آنها به وجود میآید شروع به حرکت و لغزش مینماید سپس در اثر جابهجایی بیشتر و اعمال نیروی لغزش بزرگتر سطوح اصطكاك بزرگتر شروع به حركت مینماید و سبب کاهش پاسخ اعمال شده به سازه می شود.(فرض بر این است که نیروی لغزشی میراگر حداکثر ۸۵ درصد نيروي كمانش مهاربند خواهد بود).

در جدول شماره (۳) قطرهای متفاوتی از کابل برای سیستم میراگر مورد بررسی قرار گرفت. در مدلسازی این نوع میراگر از دو گروه کابل تشکیل شده است و هر گروه شامل ٤ عدد کابل میباشد و این کابلها با توجه به ابعاد میراگر در هر مدل عددی میزان انتقال نیرو و جابهجاییها را نمایش میدهد. با توجه به ماهیت و عملکرد کابلها همانطور که انتظار میرود 11

نوع پیچ و مهره با ابعاد و تعداد و آرایش متفاوت به کار گرفتـه شد. نیروهای مربوط به هریک از پیچها با توجه به جـدول (۲) اعمال شده است و مشاهده شد میزان جذب انرژی با تغییر پیچ و مهرهها اندک میباشد.

$$T_b = \frac{M_v}{kd_b} \tag{75}$$

با استفاده از رابطه ۳۲ و همچنین جدول شماره (۱۰–٤–۲) در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان میزان پیش تنیدگی پیچ ها ارايه شده است [21].

همیشه در حالت کششی هستند پس با توجه به هندسه میراگر فقط زمانی که مهاربند در کشش باشد عمل میکنند و زمانی که مهاربند در فشار باشد نیروی کابل صفر میباشد. نیروی کابلها با توجه به فرآیندهای بارگذاری در شکل (۱۲) نمایش داده شده است. پنج گروه کابل ذکر شده به صورت جداگانه تحت بارگذاری سیکلی قرار گرفته است و همانطور که مشاهده می شود میزان نیروی کابل با توجه به افزایش قطر کابل افزایش مى يابد.

				• •						
Size of bolt	Fy	Fu	Fy/Fu	Elongation	Poisson's ratio					
	(MPa)	(MPa)		(%)						
A325-12	660	810	0.81	10	0.3					
A325-16	660	810	0.81	11	0.3					
A325-20	660	810	0.81	14	0.3					
A325-22	660	810	0.81	17	0.3					

پیچھای اتصال	مشخصات	۲.	جدول
--------------	--------	----	------

able 2. Specification of connection bolts

جدول ۳. مشخصات کابل های مورد استفاده

number	Diameter (mm)	Ultimate elongation	Ultimate strain	Elastic modulus	Poisson's ratio	Cross- sectional area
		(mm)	(‰)	(GPa)		(\mathbf{mm}^2)
1	14	25.36	12.10	109.43	0.3	72.5
2	17	25.36	12.56	109.43	0.3	107.8
3	20	25.36	12.90	109.43	0.3	152.36
4	21.5	25.36	13.52	109.43	0.3	186.6
5	26	25.36	14.73	109.43	0.3	258.4

Table 3. Specifications of cables used



تست آزمایشگاهی ۳ نمونه مختلف از میراگرهای اصطکاکی با دیسکهای خاص اصطکاکی پرداخته شده است. ابتدا مدلسازی میراگر اصطکاکی در نرم افزار آباکوس طبق جدول (٤ و ٥) انجام شده و در انتها خروجی نمودار هیسترزیس در نرم افزار آباکوس استخراج شد. در شکل (۱۳) ابعاد و مدلسازی میراگر

٦- راستی آزمایی عددی و مدل آزمایشگاهی راستی آزمایی روی پژوهش آزمایشگاهی سانو [22] و همکاران در سال ۲۰۲۰ استفاده شده است که به مطالعه و

```
1- Sano
```

سانو و تمرکز تنش اصطکاکی در نرم افزار آباکوس نشان داده ۷- نتایج مدلهای اجزاء محدود شده است. در شکل (۱٤) منحنی هیسترزیس به دست آمده از مدلسازی میراگرهای مورد نظر با توجه به ابعاد و اندازههای نرمافزار آباکوس و مدل آزمایشگاهی پژوهش سانو و همکاران قاب در نرم افزار آباکوس مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده به صورت جداگانه دیده میشود که به دلیل مدلسازی صحیح و شد میزان تمرکز تنش در لنت ترمز و محل سطوح لغزش روی مناسب پیچها، صفحات اصطکاکی، اختصاص اندرکنش یکدیگر با توجه به افزایش بارهای وارد شده بسیار بالاست و مناسب، المانبندي بهينه و مناسب بوده است. همانطور كه ديده به طور کلی تمرکز تنش در میراگر نسبت به قاب مورد نظر میشود هماهنگی بسیار مناسبی بین مدل نرمافزاری و آزمایشگاهی در خروجی مدلسازی شده در نرم افزار آباکوس با مقاله سانو و همكاران ديده مي شود.

بیشترین جذب انرژی را نشان میدهد. در شکل (۱۵) کرنش المان سيلندري نشان داده شده است.

جدول ٤. مشخصات مصالح مدلسازی در آباکوس

Ma	iterial	Density	modulus Young's N/mm ²	υ
	Steel	7850	$2.05 imes 10^5$	0.3

Table 4. Specifications of modeling materials in Abaqus

جدول ٥. مشخصات مصالح پلاستیک در آباکوس

Hardening	yield stress N/mm ² for ts ≤ 40 mm	yield stress N/mm ² for ts > 40 mm	yield stiffness ratio	reloading stress yiel ratio	Sliding force
Isotropic	357.5	324.5	0.001	0.7	800 to 1100
	TT 11 5	G 10 11 C 1		A 1	

 Table 5. Specifications of plastic materials in Abaqus





Fig. 13. Laboratory dimensions, modeling and stress concentration in the frictional area of the damper in the research of Sano et al.





Fig. 14. Output of hysteresis diagram and proper matching between Abaqus validation diagram and Sano et al.'s article in Abaqus software

میراگر از چپ به راست- A بیان کننده ضـخامت لنـت ترمـز-

قطر کابل-قطر پیچ-تعداد پیچ قرار می گیرند. در جـدول (٦) بـا

توجه به محدودیت نوشتار فقط ضخامت ٥ میلیمتر لنت ترمز

با افزایش نیروی لغزش در سطوح المان سیلندری با توجه به

افزایش نیروی اصطکاک و همچنین افزایش تعداد پیچها میزان

انرژی جذب شده افزایش مییابد. تغییرمکان به وجود آمده در اثر تعداد چرخههای بارگذاری اعمال شده نشان میدهد که

نیروی لغزش در المان سیلندری میزان انرژی بالاتری را جذب

میکند بنابراین تغییرات نیروی لغزش با توجه به سطوح اصطکاک و تعداد آنها، تعداد و شماره پیچ، نیروی پیش تنیدگی

متفاوت می باشد که در شکل (۱۷) نشان داده شده است.

با توجه به حرکت رفت و برگشتی مهاربند و المان سیلندری روی لنت ترمز میزان تنش فون مایسز در اطراف سوراخ های با طول بلند بیشتر از بقیه نقاط است.

در شکل (۱٦) انواع مدله ای میراگر در قاب و قاب مهاربندی تنها را نشان میدهد که افزایش نیرو سبب افزایش تنش در اطراف سوراخ های با طول بلند و پیچها قرار میگیرد و میراگر به گونهای طراحی شده است که با خرابی هر المان در میراگر قابلیت تعویض وجود دارد. نیروی لغزش در صفحات بالا و پایین میراگر P¹sip و در صفحات اصطکاکی وسط P²sip نامیده میشود. طول سوراخهای بلند (Ls) ، نیروی کشش کابل ها در کشش (Pc-T) ، نیروی پیشتنیدگی در پیچها(Nb) است. برای نامگذاری مدل ها طبق قرارداد ابتدا نام

شکل ۱۵. کرنش المان سیلندری میراگر

لحاظ شده است.



Fig. 15. Damper cylindrical element strain

شکل ۱۲. نمونه ای از خروجی تنش فون مایسز در قاب مهاربندی شده با میراگر و بدون میراگر با اعضای داخلی و خارجی میراگر



Fig. 16. An example of von Mises stress output in a braced frame with and without dampers with internal and external damper members.

	(د)	-1	ورد استعاد	يرا درها م 	ت و مدن م	۰ . مستحصا	جدون			
Number	Model	P' _{slip} (kn)	P ² slip (kn)	$\frac{\mathbf{P}_{slip}}{\mathbf{P}_{slip}^{1}}$	Δ_{C-max} (cm)	Δ_{T-max} (cm)	Р _{С-т} (kn)	N _b (kn)	∨ (kn)	Ls (cm)
1	Fcfd-A-14-12-6	264	384	1.45	9.58	9.11	240	50	2276	10
2	Fcfd-A-14-12-12	528	768	1.45	8.36	8.06	155	91	2947	20
3	Fcfd-A-14-12-18	792	1152	1.45	7.22	7.01	120	142	4244	30
	Fcfd-A-14-12-24	480	698	1.45	8.84	8.38	228	50	2687	<u> </u>
6	Fcfd-A-14-16-12	960	1397	1.45	8.64	9.24	133	91	4032	20
7	Fcfd-A-14-16-18	1441	2096	1.45	7.32	7.13	113	142	4858	30
	Fcfd-A-14-16-24	1921	2795	1.45	7.28	8.71	87	176	5745 3742	<u> </u>
10	Fcfd-A-14-20-0	1499	2181	1.45	8.47	7.14	129	91	5295	20
11	Fcfd-A-14-20-18	2249	3271	1.45	7.98	7.79	106	142	6412	30
12	Fcfd-A-14-20-24	2999	4362	1.45	7.52	7.28	75	176	7945	30
13	Fcfd-A-14-22-6 Fcfd-A-14-22-12	929	2703	1.45	8.35	8.08	189	<u> </u>	4036	10
15	Fcfd-A-14-22-12	2787	4055	1.45	7.38	7.02	92	142	7767	30
16	Fcfd-A-14-22-24	3717	5406	1.45	7.48	7.94	55	176	1019	30
17	Fcfd-A-17-12-6	264	384	1.45	9.66	9.33	411	50	2137	10
18	Fcfd-A-17-12-12 Fcfd-A-17-12-18	528	1152	1.45	8.44	8.02	378	91	2886	20
20	Fcfd-A-17-12-24	1056	1536	1.45	7.9	7.36	176	176	4741	30
21	Fcfd-A-17-16-6	480	698	1.45	8.91	7.37	372	50	2612	10
22	Fcfd-A-17-16-12	960	1397	1.45	8.72	8.12	310	91	3878	20
$\frac{23}{24}$	Fcfd-A-17-16-18	1441	2096	1.45	8.51	7.22	223	142	4693	30
24	Fcfd-A-17-20-6	749	1090	1.45	8.73	8.05	311	50	3624	<u> </u>
26	Fcfd-A-17-20-12	1499	2181	1.45	8.55	7.85	261	91	5024	20
27	Fcfd-A-17-20-18	2249	3271	1.45	8.04	7.22	201	142	6223	30
28	Fcfd-A-17-20-24	2999	4362	1.45	7.63	7.88	88	176	7736	30
30	Fcfd-A-17-22-12	1858	2703	1.45	7.98	7.36	183	91	5753	20
31	Fcfd-A-17-22-18	2787	4055	1.45	7.52	7.12	11	142	7527	30
32	Fcfd-A-17-22-24	3717	5406	1.45	7.38	7.08	63	176	9712	30
33	Fcfd-A-20-12-6	264	384	1.45	9.63	9.25	583	<u>50</u> 01	2057	10
35	Fcfd-A-20-12-12	792	1152	1.45	7.32	7.02	321	142	3946	30
36	Fcfd-A-20-12-24	1056	1536	1.45	7.53	8.08	205	176	4527	30
37	Fcfd-A-20-16-6	480	698	1.45	8.88	8.14	528	50	2503	10
38	Fcfd-A-20-16-12 Fcfd-A-20-16-18	960	2096	1.45	8.77	8.22	476	91	3614	20
40	Fcfd-A-20-16-24	1921	2795	1.45	7.98	7.18	213	176	5457	30
41	Fcfd-A-20-20-6	749	1090	1.45	8.67	8.25	483	50	3428	10
42	Fcfd-A-20-20-12	1499	2181	1.45	8.43	8.02	385	91	4789	20
43	Fcfd-A-20-20-18 Fcfd-A-20-20-24	2249	4362	1.45	8.1	7.75	223	142	<u> </u>	<u> </u>
45	Fcfd-A-20-22-6	929	1351	1.45	8.36	7.89	415	50	3631	10
46	Fcfd-A-20-22-12	1858	2703	1.45	8.03	7.68	285	91	5508	20
47	Fcfd-A-20-22-18	2787	4055	1.45	7.61	7.06	144	142	7327	30
48	FCIG-A-20-22-24 Ecfd-A-21 5-12-6	264	384	1.45	9.44	8.99	648	50	1932	<u> </u>
50	Fcfd-A-21.5-12-0	528	768	1.45	8.39	8.08	588	91	2618	20
51	Fcfd-A-21.5-12-18	792	1152	1.45	7.43	7.05	432	142	3787	30
52	Fcfd-A-21.5-12-24	1056	1536	1.45	7.52	8.11	311	176	4406	30
53	Fcfd-A-21.5-16-12	<u>480</u> 960	1397	1.45	8.75	8.24	538	<u> </u>	3532	20
55	Fcfd-A-21.5-16-18	1441	2096	1.45	8.20	7.95	422	142	4308	30
56	Fcfd-A-21.5-16-24	1921	2795	1.45	7.83	8.33	313	176	5336	30
57	Fcfd-A-21.5-20-6	749	1090	1.45	8.59	8.21	577	50	3376	10
<u> </u>	Fcfd-A-21.5-20-12 Fcfd-A-21.5-20-18	2249	3271	1.45	8.05	7.54	329	142	5938	<u> </u>
60	Fcfd-A-21.5-20-24	2999	4362	1.45	7.68	7.13	206	176	7341	30
61	fcfd-A-21.5-22-6	929	1351	1.45	8.32	7.88	544	50	3513	10
<u> </u>	fcfd-A-21.5-22-12 fcfd-A-21-5-22-19	1858	2703	1.45	8.1	7.56	475	91	5328	20
<u> </u>	Fcfd-A-21.5-22-18	<u>∠/8/</u> 3717	4055 5406	1.45	7.12	7.86	<u> </u>	142	9246	30
65	Fcfd-A-26-12-6	264	384	1.45	9.48	9.14	877	50	1876	10
66	Fcfd-A-26-12-12	528	768	1.45	8.45	7.98	796	91	2532	20
67	Fcfd-A-26-12-18	792	1152	1.45	7.51	7.10	613	142	3587	30
<u> </u>	Fcfd-A-26-16-6	480	698	1.45	8.72	8.22	445 806	50	2311	<u> </u>
70	Fcfd-A-26-16-12	960	1397	1.45	8.48	8.09	715	91	3413	20

جدول ٦. مشخصات و مدل میراگرها مورد استفاده(ادامه دارد)

/ شماره ۵ / سال ۱٤۰۲	دوره بيست و سوم '						لارس	عمران م	شى مهندسى	جله علمي – پژوه
71	Fcfd-A-26-16-18	1441	2096	1.45	8.12	7.76	583	142	4222	30
72	Fcfd-A-26-16-24	1921	2795	1.45	7.63	7.37	367	176	5189	30
73	Fcfd-A-26-20-6	749	1090	1.45	8.49	8.15	733	50	3245	10
74	Fcfd-A-26-20-12	1499	2181	1.45	8.26	7.89	679	91	4517	20
75	Fcfd-A-26-20-18	2249	3271	1.45	8.12	7.68	519	142	5778	30
76	Fcfd-A-26-20-24	2999	4362	1.45	7.52	7.95	316	176	7145	30
77	Fcfd-A-26-22-6	929	1351	1.45	8.29	7.79	689	50	3328	10
78	Fcfd-A-26-22-12	1858	2703	1.45	7.98	7.33	492	91	5147	20
79	Fcfd-A-26-22-18	2787	4055	1.45	7.32	6.95	321	142	6989	30
80	Fcfd-A-26-22-24	3717	5406	1.45	7.05	7 44	188	176	9145	30

Table 6. Specifications and models of dampers used



Fig. 17. Slip force changes in analytical models

۹- ياسخ هيسترزيس

شکل حلقههای هیسترتیک کامل است، شکل شماره (۱۸) تعداد ٤٠ نمودار هیسترزیس با رفتار غیر خطی مدلهای ذکر شده، تحت بارهای سیکلی را نشان داده است که متشکل از چندین حلقه ناشی از سیکلهای مختلف بارگذاری است. با توجه به نمودارهای استخراج شده رفتار قاب مهاربندی شده با میراگر اصطکاکی سیلندری تخت، تحت بارگذاریهای متناوب به صورت یکنواخت نشان داده شده است و همچنین سطح زیر نمودار یا به عبارتی سطح محصورشده بین نمودارهای هیسترزیس نشان دهنده انرژی مستهلک شده توسط قاب مهاربندی شده با میراگر است و هرچه تعداد پیچ با شماره پیچ و قطر کابل افزایش می یابد انرژی بیشتری توسط سازه جذب می شود و سازه شکل پذیرتر است. وجود تعداد سیکل های بارگذاری متعدد تا قبل از گسیختگی میزان پایداری و قابلیت اطمینان را در انواع مدلهای فرض شده نمایش میدهد.در طول فرآيند بارگذاري، سختي مهاربند بيشتر بدون تغيير باقیمانده است. با توجه به زیاد بودن تعداد مدلها و محدودیت تعداد ٤٠ نمودار با توجه به ضخامت ٢/٥ و ٥ میلی متر و ابعاد متفاوت پیچها و کابلها ارایه شده است. در شکل (۱۹) میزان میرایی و لغزش سطوح اصطکاکی روی یکدیگر نشان داده شده

است که با توجه به زیاد بودن مدلها با توجه به متغیرهای تحقیق میزان بیشینه متغیرها ملاک عمل قرار گرفته است.

۱۰-نتیجه گیری

برای کنترل ارتعاشات ناشی از زلزله انواع بسیاری از مدل های سیستمهای مهاربندی توسعه داده شده است. با توجـه بـه تحقیقات انجام شده در مورد میراگرهای اصطکاکی و عملکرد آن در سیستم های مهاربندی یک سیستم جدید از میراگر اصطکاکی چند سطحی طراحی شد و قابهایی مهاربندی شده با سیستم میرایی جدید در این تحقیق با توجه به عملکرد لرزه ای آن به صورت عددی بررسی شد. در این پروژه نیروی لغزشی با توجه به تعداد پیچها و شماره پیچ و همچنین نیروی پیشتنیدگی هر پیچ مورد ارزیابی قرار گرفت.

۱-در هر میراگر نیروی لغزش اول برای تغییرمکان با دامنه کمتر طراحی، و پس از رسیدن به جابهجایی مورد نظر و افـزایش نیروی لغزش وارد فاز تغییرمکان نهایی و استهلاک انـرژی تـا لحظه توقف شد.

۲–مطالعه قاب مهاربندی قطری با میراگر و بدون میراگر نشان میدهد که کنترل پاسخ در قاب مهاربندی شده با میراگر به صورت قابل توجهی افزایش می یابد و میراگر به راحتی در داخل قاب مهاربندی شده جانمایی می شود.



۳- مطالعات عددی نشان میدهد که در قابهای مهاربندی شده با میراگر با توجه به متغیرهای بررسی شده با افزایش تعداد پیچ، شماره پیچ و شماره کابل، برش پایه کوچکتری را تجربه کرده است.
٤- با افزایش نیروی مهاربندی میزان اصطکاک سطوح بیشتر شده و جذب انرژی افزایش مییابد.





بسیار قابل ملاحظه برش پایه می شود. میزان نیروهای ایجاد شده در چشمه اتصال تیر به ستون در دهانه مجهز به میراگر نسبت به قاب مهاربندی ضربدری و قطری بین ۷۵ تا ۸۵ درصد کمتر است.

مراجع

[1]ASCE7-16. 2017. "Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures", Reston (Virginia): American Society of Civil Engineers.

[2] Baktash, P., Marsh, C., Pall, A. 1983. "Seismic tests on a model shear wall with friction joints", *Journal of Canadian Civil Engineering*, 10 (1) 52–59.

[3] Samani, H.R., Mirtaheri, M., Zandi, A.P. 2015. "Experimental and numerical study of a new adjust-able frictional damper", *Journal of Constructional Steel Research*, 112, 354-362.

[4] Paronesso, M., & Lignos, D. G. (2021). Experimental study of sliding friction damper with composite materials for earthquake resistant structures. *Engineering Structures*, 248, 113063.

[5] Martinez, C.A., Curadelli, O. 2017. "Testing and performance of a new friction damper for seismic vibration control", *Journal of Sound and Vibration*, 399, 60-74.

[6] Kim, Y. C., Lee, H. W., & Hu, J. W. (2023). Experimental Performance Evaluation of Elastic Friction Damper. *Case Studies in Construction Materials*, e01823.

[7] Barbagallo, F., Bosco, M., Floridia, A., Marino, E., & Rossi, P.P. 2020. "Design for seismic upgrading of existing RC frames by friction dampers", *International Journal*, 37(1-2020).

[8] Bayat, M., Zahrai, M. 2016. "Impact of friction dampers on improving seismic performance of rigid and semi-rigid steel frames", *Struct Steel*, *19*(2), 67–74.

[9] Mirzaeeaifrd, H., Mirtaheri, M., Samani, H.R. 2016. "Effect of Cylindrical Frictional Dampers on Seismic Response of Steel Structures", *Modares Civil Engineering Journal*, 16(1), 227-236.

[10] Couch, L., Tehrani, F. M., Naghshineh, A., & Frazao, R.2023. Shake Table response of a dual system with inline friction damper. *Engineering Structures*, 281, 115776.

[11] Heidari, M., Aghakouchak, A. 2019. "Introduction and Investigation of a New Steel Brace with Self-Centering and Energy Dissipating Capabilities", *Modares Civil Engineering journal*, 19(1), 117-129..

[12] Alshimmeri, A.J.H., Ghamari, A., El Naggar, H. 2021. "Utilizing I-shaped shear links as dampers to improve the behavior of concentrically braced frames", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 30(18), 1895.

[13] Huang, L., Zhou, Z., Huang, X., & Wang, Y. 2020. "Variable friction damped self-centering precast concrete beam–column connections with hidden corbels: Experimental investigation and theoretical", *Engineering Structures*, 206-110150. ٥- با افزایش قطر کابلها میزان دمپینگ به طور قابل توجهی افزایش می یابد و هزینه ساخت و تعمیر و نگهداری آن بسیار پایین می آورد.
 ٦- در هر گروه کابلی با توجه به افزایش شماره پیچ، تعداد پیچ سبب افزایش نیروی لغزش و میزان جذب انرژی شده است و همراه با افزایش قطر کابل نیز موارد ذکر شده به طور قابل توجی مجددا افزایش می یابد.

۷-افزایش ضخامت لنت ترمز از ۲/۵ میلیمتر به ۵ میلیمتر سبب افزایش جذب انرژی شد که بین ۸ تا ۱۵ درصد میباشد. ۸-نیروی پیش تنیدگی در هر پیچ با توجه به شماره پیچ طبق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان محاسبه شد. و با توجه به مطالعات ذکرشده عملکرد میراگر قابل اعتماد و پیش بینی بوده است.

۹-چند سطحی بودن میراگر اصطکاکی و همچنین اضافه کردن نیروی لغزش دوم سبب افزایش میزان جذب انرژی به صورت قابل ملاحظهای میباشد که نیاز هر سازه را در هر زمین لرزهای تامین مینماید.

۱۰- با توجه به فرضیه های ذکر شده در مقاله و همچنین مدلسازی انجام شده هیچ گونه تغییر شکل ماندگاری در در اجزای داخلی و خارجی میراگر مشاهده نشده است و سیستم در حالت خطی باقی می ماند و ویژگی های مصالح الاستیک در نظر گرفته شده است.

۱۱- در مدلسازی میراگر اصطکاکی با توجه به اینکه میراگر در عضو مهاربندی شده قرار گرفته است در ابتدای بارگذاری که میراگر لغزش نمی کند سختی کل قاب برابر با سختی مهاربند قطری است.اتصالات مفصلی سختی قاب را کاهش می دهد و اعضای اصلی قاب رفتاری خطی خواهند داشت و به علت اتلاف انرژی در اتصالات شکل پذیری سازه افزایش می یابد. با اتلاف انرژی در اتصالات تیر به ستون به جای تشکیل مفصل پلاستیک در تیر، اتصال تسلیم می شود و اتلاف انرژی را انجام می دهد بنابراین لنگر تسلیم اتصال کمتر از لنگر تسلیم تیر است و با افزودن مهاربندهای مورب میزان سختی سازه در قاب مهاربندی را عضوهای قطری بر عهده می گیرند. درنتیجه دوره سازه کم می شود و ضریب بازتاب افزایش می یابد از طرف دیگر با اضافه شدن میراگر اصطکاکی مورد نظر با توجه به هندسه، عملکرد خاص سبب افزایش شکل پذیری و کاهش [20]AISC/ANSI358-10.2010.PrequalifiedConnections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications. In. Chicago.

[21] Ministry of Roads and Urban Development of Iran, Topic 10 National Building Code. Tehran, (2013). (in persian)

[22] Sano,T., Shirai,K., Suzui,Y., & Utsumi,Y., 2020." Dynamic loading tests and seismic response analysis of a stud-type damper co-posed of multiple friction units with disc springs", *Journal of Earthquake Engng Struct Dyn.* 2020;1–22.

[23]Fitzgerald, T. F., Anagnos, T., Goodson, M., & Zsutty, T. 1989. Slotted bolted connections in aseismic design for concentrically braced connections. *Earthquake spectra*, *5*(2), 383-391.

[24] Roeder, C. W., Lumpkin, E. J., & Lehman, D. E. 2011. A balanced design procedure for special concentrically braced frame connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 67(11), 1760-1772.

[14] Zhu, L.H., Li, G., Li, H.N., & Fallah, N. 2018. "A lattice-shaped friction device and its perfor-mance in weak-story prevention", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 27(15), e1535.

[15] Martinez, C.A., Curadelli, O. 2017. "Testing and performance of a new friction damper for seismic vibration control", *Journal of Sound and Vibration*, 399: 60-74.

[16] Wang, G., Wang, Y., Yuan, J., Yang, Y., & Wang, D. 2017. "Modeling and experimental investigation of a novel arc-surfaced frictional damper", *Journal of Sound and Vibration*, 389, 89-100.

[17] Lee, C.H., Kim, J., Kim, D.H., Ryu, J., & Ju, Y.K. 2016. "5", *Eng Struct*, 114:75–92.

[18] Kiadarbandsari, S., Nezamabadi, M. F., Abbasi, H., & Vayeghan, F. Y. 2022. Analytical and experimental investigation of steel friction dampers and horizontal brake pads in chevron frames under cyclic loads. In *Structures* (Vol. 40, pp. 256-272). Elsevier.

[19] Filiatrault, A., Cherry, S., "Seismic Design Spectra for Friction-Damped Structures", Journal of Structural Engineering, ASCE, 1990, 116 (5), 1334-1355.

Parametric Studies of Flat Cylindrical Friction Damper with Brake Pad in Diagonal Brace Under Cyclic Loading

E. Soltani Baraftabi¹, M. H. Alizadeh Elizii^{2*}, R. Esmailabadi³

1- Ph.D. student, Faculty of Technical and Civil Engineering, Islamic Azad University, Rodehan branch

2- Assistant Professor, Civil Engineering and Technical Faculty, Islamic Azad University, Rodehan branch

3- Assistant Professor, Civil Engineering and Technical Faculty, Islamic Azad University, Rodehan branch

Received: 05/01/2023 Accepted: 21/06/2023

Alizadeh.elizei@iau.ac.ir

Abstract

Nowadays, according to the performance of prefabricated friction dampers, which are expanding rapidly, they can increase the resistance of structural systems against earthquakes and depreciate the energies created by earthquakes in the structure. To control the vibrations of the structure at one level, it is very important to use passive control systems. But in the design at different levels, they cannot depreciate the incoming energy from the earthquake. Friction dampers focus on displacement variable and are mostly used in steel structures. The friction damper works according to the rules of a Coulomb damper or a friction brake that converts kinetic energy into heat through friction.

In this article, a new type of friction damper called a flat cylindrical friction damper has been designed using brake pads in the diagonal brace, and the performance and seismic resistance of this system as well as the amount of energy loss have been investigated. The configuration of the damper is designed in such a way that grooved bolt connections and twin steel cables of different sizes and thicknesses are used. And the way the internal and external components are placed in the damper is such that innovation in tension and pressure has been created. Also, the movement of the cylindrical element in the damper has increased the amount of friction due to the presence of two types of brake pads with friction coefficients of 0.11 and 0.16 and bolt connections. It shows the performance of the damper by different sliding force at different friction levels. Geometric dimensions, thickness of brake pad, number of bolts, size of bolts, diameter of cables, sliding force, location of damper are among the variables investigated in this article. The role of brake pads, steel cables and bolt connections is very important and economically very affordable. The seismic performance of the intended frame has been investigated by 80 different modeling of the damper and the placement of the research variables. The desired optimal models were modeled in Abaqus software and analyzed and designed. The aim of this system is to reduce the relative horizontal displacement of floors and increase the amount of energy absorption. The increase in the axial force created in multiple loading cycles has always caused damage to the damper components and frames. In this article, it has been tried to use a special multi-level geometry that, in addition to reducing the axial force created in the damper, reduces the relative displacement of the frame, damages in the elements and increases the ductility. The results show that the friction surfaces of steel plates and brake pads is very high due to the displacement and damping of the cables And with the consumption of energy and its absorption by the damper in cyclic loads, displacement control is easily done. It also shows the seismic response of structures in terms of frame and damper displacement, base shear forces, energy absorption. Numerical study confirms the intended damper as an independent seismic resistant member in critical building structures when high seismic performance or seismic resilience in moderate and strong earthquakes is desirable.

Keyword: Flat cylindrical friction damper, Brake pad, Steel cable, Bolt connections, Diagonal brace frame, Cyclic loading.