

## ارزیابی لرزه‌ای و انتخاب جانمایی بهینه میراگر اصطکاکی سیلندری در سازه‌های فلزی

حمید میرزائی فرد\*<sup>۱</sup>، مسعود میرطاهری<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

### چکیده

در این مقاله، به ارزیابی لرزه‌ای و انتخاب جانمایی بهینه سازه‌های فولادی مجهز به میراگر اصطکاکی سیلندری پرداخته شده است. میراگر اصطکاکی سیلندری شامل دو عنصر اصلی، شفت (استوانه توپر) و سیلندر (استوانه توخالی) می‌باشد. این دو عنصر به‌طور کامل درون هم قرار می‌گیرند. اگر نیروی محوری میراگر بیش از نیروی اصطکاک بین شفت و سیلندر شود، شفت داخل سیلندر حرکت می‌کند که منجر به جذب قابل توجه انرژی و کاهش پاسخ‌های سازه خواهد شد. به منظور ارزیابی سازه‌های مجهز به میراگر اصطکاکی سیلندری، قاب فولادی ۶ طبقه با و بدون میراگر اصطکاکی سیلندری تحت شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه السترو قرار داده شده و پاسخ‌های سازه از قبیل تغییر مکان، برش پایه و... در هر دو حالت مقایسه شده‌اند. نتایج نشان‌دهنده بهبود قابل توجه عملکرد سازه مجهز به میراگر اصطکاکی سیلندری می‌باشد. سپس با در نظر گرفتن نصب این میراگر در موقعیت‌های مختلف به منظور جذب انرژی، پاسخ‌های سازه در موقعیت‌های مذکور بررسی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد جانمایی قطری دارای کمترین پاسخ لرزه‌ای بوده و دارای بیشترین میزان جذب انرژی و نهایتاً بهینه‌ترین موقعیت قرارگیری میراگر می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** میراگر اصطکاکی سیلندری، جذب انرژی، تحلیل غیرخطی، جانمایی بهینه

## Evaluation of Seismic Behavior and Select Optimal Situation of Cylindrical Frictional Dampers in Steel Structures

Hamid Mirzaefard\*<sup>1</sup>, Masoud Mirtaheri<sup>2</sup>

1- M.Sc. in Structural Engineering, Department of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

### Abstract

In this investigation, seismic response of steel structures utilizing Cylindrical Frictional Dampers (CFD) is studied. CFD is an innovative frictional damper which comprises two principal elements, the shaft and the hollow cylinder. These two elements are assembled such that one is shrink-fitted inside the other. If the damper's axial force overcomes the static friction load, the shaft inside the cylinder will move and results in considerable mechanical energy absorption. To assess the efficacy of CFD 6 story steel frame are constructed and analyzed.

\* مؤلف مسئول: حمید میرزائی فرد، h\_mirzaefard@sina.kntu.ac.ir

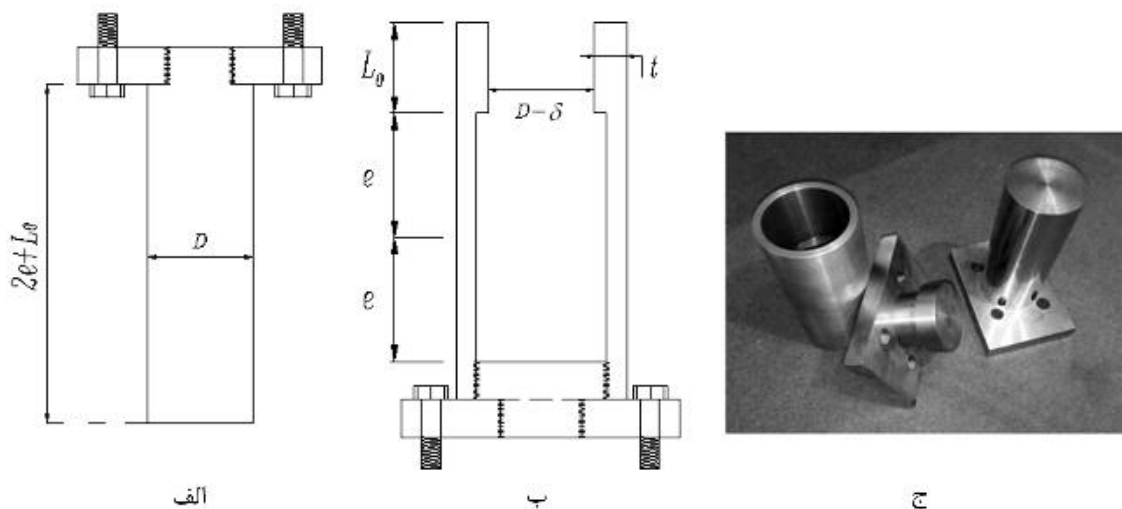
تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۴/۳۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۹/۲۳

Nonlinear time history analyses are applied to the frames and clear distinction has been drawn between the frames comprising CFD and the counterparts without CFD to emphasize the effectiveness of CFD in altering seismic responses. The results show that CFD extremely improves the seismic response of the structure. Considering that we can install this damper in various situations to absorb energy, the behavior of this damper is evaluated in these situations. Response of structure (such as displacement, base shear, etc) represents the best and most effective position and optimal situation of the damper which is in diagonal brace.

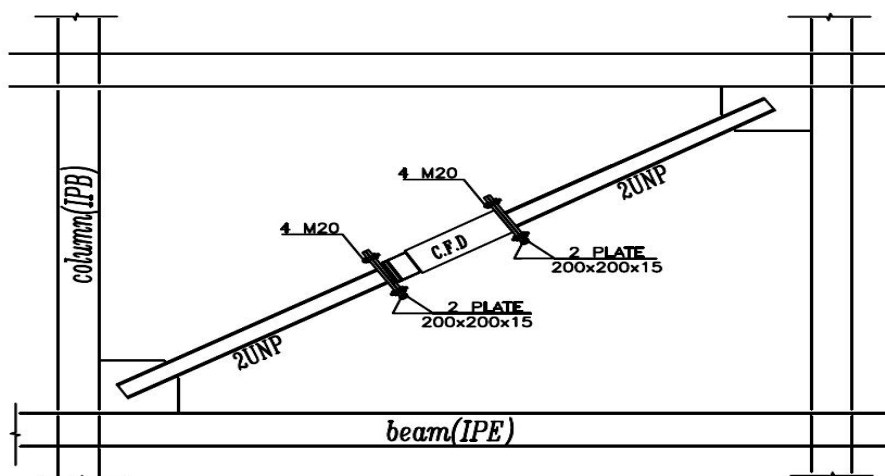
**Keywords:** Cylindrical frictional dampers, Energy absorption, Non-linear analyses, Optimal situation

## ۱- مقدمه

میراگرهای اصطکاکی و در کل مکانیزم اصطکاک به علت داشتن عملکرد ساده و عدم نیاز به مصالح و تکنولوژی خاص، به عنوان یکی از بهترین راه‌های ارتقاء رفتار لرزه‌ای سازه‌ها محسوب می‌شود. یکی از انواع میراگرهای اصطکاکی، میراگر اصطکاکی سیلندری<sup>۱</sup> (CFD) می‌باشد. این میراگر از دو بخش اصلی به علاوه اتصالات لازم جهت الحاق به سازه یا هر سیستم لرزنده یا تحت اثر ضربه تشکیل شده است. دو بخش اصلی این میراگر عبارت‌اند از بخش استوانه‌ای توپر یا شفت (شکل الف) [۱] و بخش لوله‌ای شکل یا سیلندر (شکل ب) [۱] که جنس و مشخصات هندسی آنها نظیر قطر، ضخامت و طول، بر اساس ظرفیت مورد نیاز، طراحی و محاسبه می‌شود. قسمتی از قطر داخلی بخش لوله‌ای که در ناحیه  $L_0$  قرار داشته و در شکل نشان داده شده است، از قطر بخش استوانه به اندازه‌ی معینی کوچک‌تر می‌باشد. یعنی در دمای همسان، استوانه نمی‌تواند داخل لوله قرار گیرد. با ایجاد اختلاف دمای مناسب بین لوله و استوانه، قطر داخلی لوله افزایش یافته و استوانه داخل آن قرار می‌گیرد. پس از تعادل گرمایی فشار لازم بین سطوح تماس (سطح جانبی استوانه و سطح داخلی قسمت لوله‌ای شکل) ایجاد شده و این تنش‌های عمودی حلقوی و شعاعی بین سطوح تماس که حاصل از کرنش تحمیلی می‌باشد، سبب ایجاد اصطکاک بین دو بخش اصلی این میراگر می‌شود. در اثر اعمال نیروی محوری کافی به میزان بار طراحی لغزش به دو سر این میراگر، بخش استوانه‌ای داخل بخش لوله‌ای با غلبه بر اصطکاک حرکت خواهد کرد و سبب جذب انرژی مکانیکی قابل توجهی خواهد شد. در شکل ۱د جزئیات اتصال مهاربند به میراگر قطری نشان داده شده است [۱و۲].



<sup>1</sup> Cylindrical Friction Damper



شکل ۱: میراگر اصطکاکی سیلندری، الف) بخش استوانه توپر ب) لوله خارجی ج) میراگر ساخته شده د) جزئیات اتصال میراگر به مهاربند قطری

## ۲- بار لغزش

انرژی جذب شده در سازه‌های مهاربندی مجهز به میراگر اصطکاکی سیلندری،  $E_d$  به شرح ذیل بیان می‌شود:

$$E_d = \sum_{i=1}^n E_{di} = \sum_{i=1}^n \int F_{si} |y_i| dt \quad (1)$$

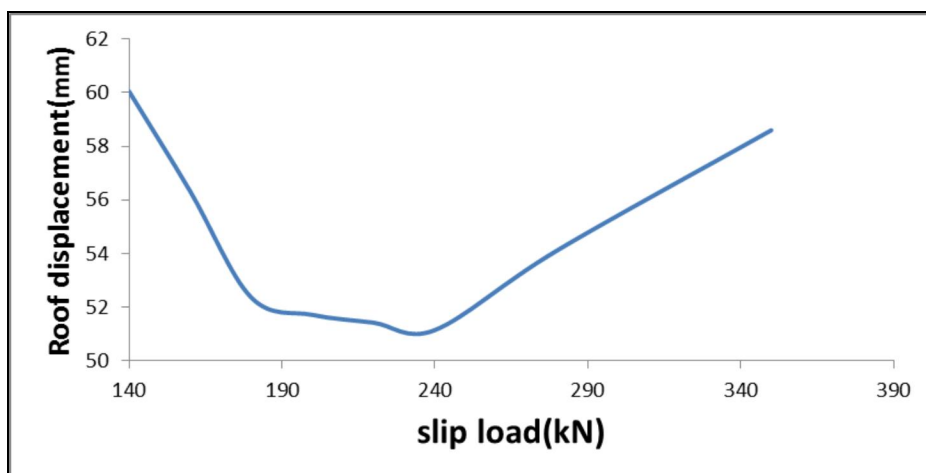
که در آن  $n$  تعداد کل میراگرها،  $E_{di}$  انرژی جذب شده در یک میراگر،  $F_{si}$  بار لغزش میراگر و  $y_i$  تغییر مکان میراگر می‌باشد. اگر بار لغزش<sup>۱</sup> میراگر زیاد باشد (بزرگ‌تر از کماتش عضو مهاربندی که میراگر در آن قرار دارد)، انرژی جذب شده برابر با صفر است، زیرا هیچ لغزشی رخ نمی‌دهد. در این حالت قاب مانند یک قاب مهاربندی شده رفتار می‌کند. از سوی دیگر، اگر بار لغزش بیش از حد کم باشد، لغزش بیش از حد رخ می‌دهد اما با توجه به مقدار کمی از لغزش، انرژی جذب شده ناچیز است. در این حالت قاب مانند یک قاب خمشی رفتار می‌کند. بین این دو حالت حدی، بار لغزشی از میراگر را می‌توان یافت که بیشترین میزان انرژی جذب شده در آن رخ می‌دهد. این بار لغزش، بار لغزش بهینه<sup>۲</sup> می‌باشد.

به منظور یافتن بار لغزش بهینه، بار لغزش‌های مختلف باید مورد بررسی قرار گیرد. به عنوان نمونه برای اولین بار، ۸۰٪ بار کماتش عضو به عنوان بار لغزش میراگر انتخاب شده است. پس از آن، مطالعه پارامتریک در هر زمین لرزه صورت می‌گیرد و بار لغزشی که کمترین تغییر مکان بام در آن رخ دهد به عنوان بار لغزش بهینه انتخاب می‌شود.

به عنوان مثال در شکل ۲ نمودار تغییر مکان بام بر حسب بار لغزش تحت شتاب‌نگاشت زمین لرزه السترو ۱۹۴۰ نشان داده شده است. بار لغزشی که کمترین تغییر مکان بام را نشان می‌دهد بار لغزش بهینه میراگر اصطکاکی سیلندری (در اینجا ۲۴۰ کیلو نیوتن) می‌باشد.

<sup>1</sup> Slippage load

<sup>2</sup> Optimum slippage load

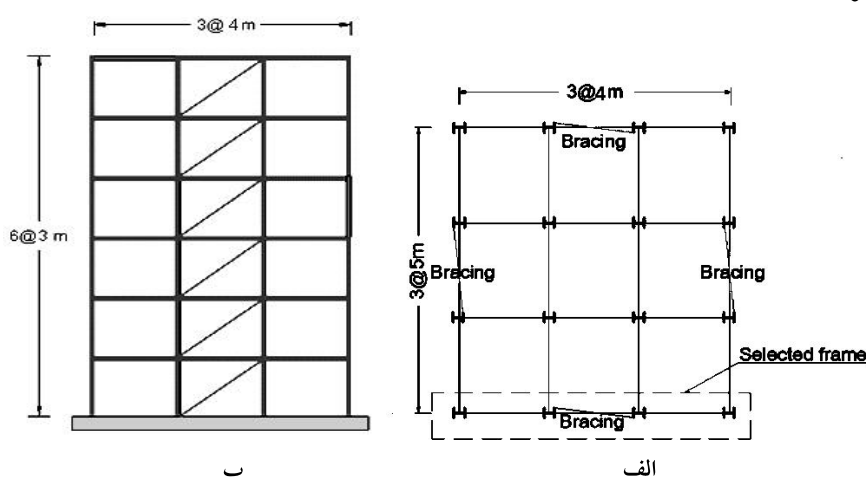


شکل ۲: بار لغزش بر حسب تغییر مکان بام در زمین لرزه السترو ۱۹۴۰

همان طور که دیده می شود میزان بار لغزش بهینه به طور کامل وابسته به زمین لرزه ای خارجی است [۱] و [۶].

### ۳- ارزیابی لرزه ای سازه های مجهز به میراگر اصطکاکی سیلندری

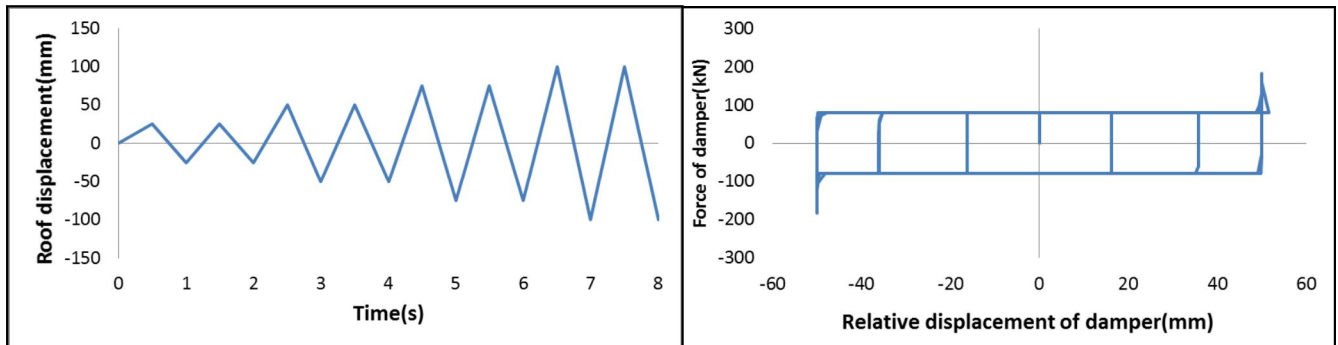
در این بخش به بررسی پاسخ های لرزه ای سازه های مجهز به میراگر اصطکاکی سیلندری می پردازیم. به منظور طراحی سازه قاب ۶ طبقه ۳ دهانه در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد و کاربری مسکونی در نرم افزار SAP2000 طراحی شده است. ارتفاع طبقات ۳ متر، سطح بارگیر تیرهای اصلی برابر ۵ متر و طول دهانه ۴ متر در نظر گرفته شده است. قاب نمونه (شکل ۳ الف) یک قاب کناری از یک سازه سه دهانه است که در هر راستا دارای دو دهانه مهاربندی می باشد. به طوری که نیمی از بار و جرم دهانه خود را تحمل می کند (شکل ۳ ب). با توجه به وجود میراگر در میان مهاربندها و لغزش میراگر و احتمال ناپایداری سازه هنگام اعمال شتاب نگاشت اتصالات تیر به ستون و پای ستون گیردار فرض شده اند. مصالح از نوع فولاد st-37 و با فرض رفتار الاستوپلاستیک کامل می باشند. فرضیات لرزه ای در قاب مورد نظر رعایت گردیده است [۳ و ۴].



شکل ۳: ابعاد قاب مدل شده در نرم افزار. الف) نما ب) پلان

پس از طراحی، مدل اجزاء محدود آنها به کمک نرم افزار ABAQUS6-11 ساخته شده است. تیرها، ستون ها و بادبندها با استفاده از

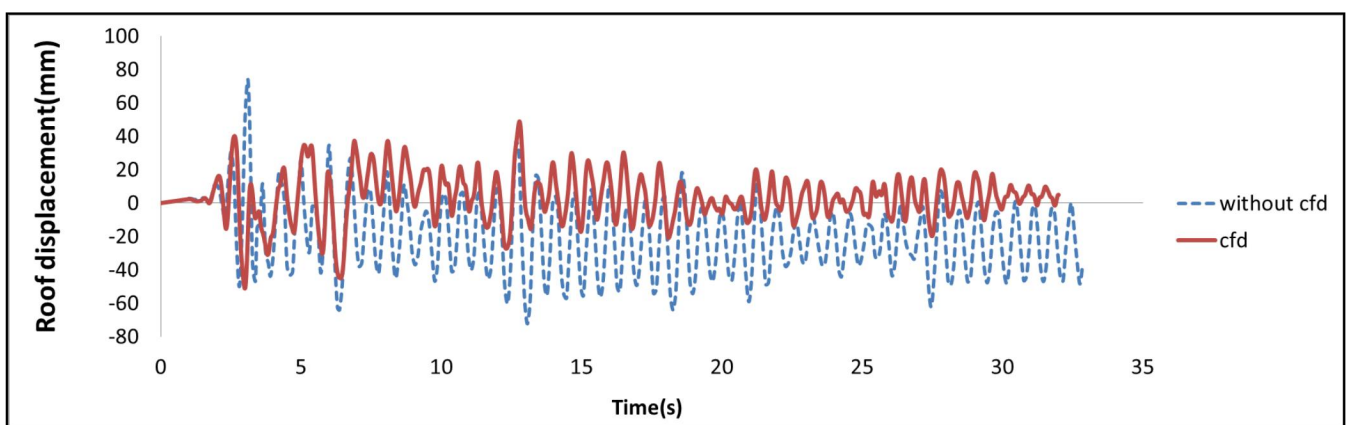
المان‌های غیرخطی مدل گردیده است. به منظور مدل‌سازی میراگر اصطکاکی سیلندری از المان Connector انتقالی در یک‌جهت در وسط مهاربند استفاده گردیده است سپس با استفاده از میرایی رایلی و نسبت میرایی رایلی معادل ۰.۵٪، ضرایب ماتریس جرم و سختی تعیین گردیده و به قاب‌ها اعمال شده است. در شکل ۴ بار چرخه‌ای اعمال شده به قاب مجهز شده به میراگر اصطکاکی سیلندری و نیز رفتار المان Connector مدل شده به‌عنوان میراگر تحت بار نشان داده شده است.



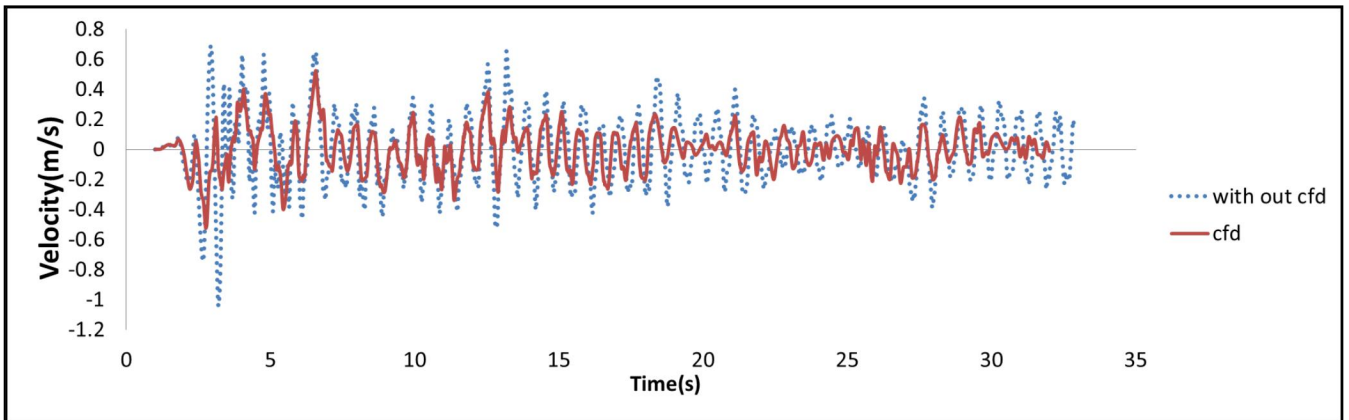
شکل ۴: الف) بار چرخه‌ای اعمال شده ب) رفتار المان مدل شده به‌عنوان میراگر

همان‌طور که در شکل ۴ ب دیده می‌شود تا قبل از یک نیروی مشخص (نیروی لغزش) هیچ‌گونه تغییر مکان نسبی در میراگر مشاهده نمی‌شود و پس از آن بدون آن‌که نیروی اضافی به میراگر وارد شود، میراگر شروع به لغزش کرده و بعد از یک تغییر مکان نسبی مشخص (در اینجا  $\pm 50\text{mm}$ ) استوانه به انتهای لوله رسیده و تغییر مکان نسبی میراگر به صفر رسیده و نیروی محوری داخل میراگر افزایش می‌یابد. این رفتار مطابق با میراگر ساخته شده توسط میرطاهری و همکاران [۱] می‌باشد.

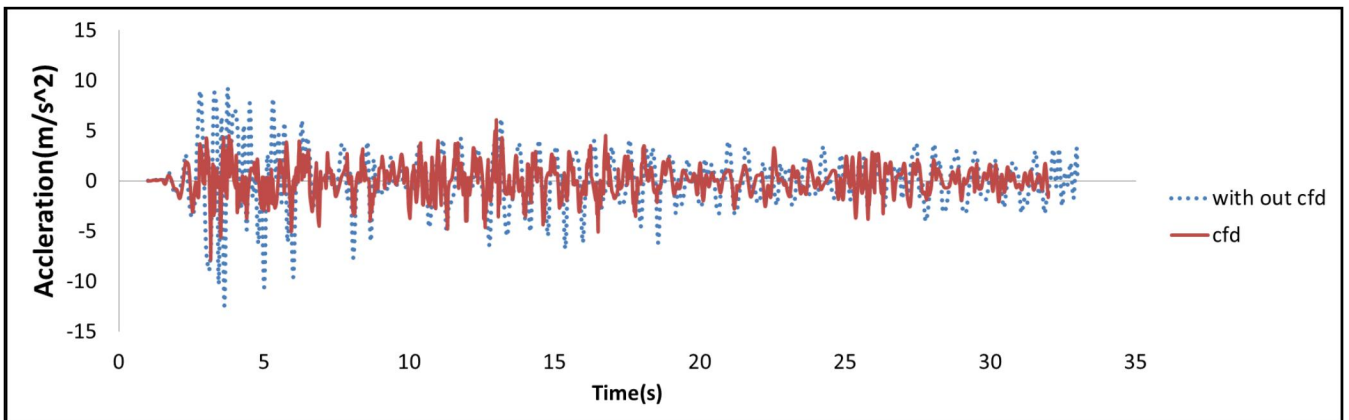
حال قاب مدل‌شده را تحت شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه السترو قرار می‌دهیم و بار لغزش بهینه آن را به دست می‌آوریم. سپس پاسخ‌های لرزه‌ای آن از قبیل تغییر مکان، سرعت، شتاب و برش پایه را با حالت بدون میراگر (در حالتی که مهاربندهای آن دارای برون‌محوری به‌اندازه یک‌هزارم طول مهاربند برای کمانش مهاربندها می‌باشد) مقایسه می‌نماییم. شکل ۵ نمودار پاسخ‌های سازه را تحت زمین‌لرزه السترو ۱۹۴۰ نشان می‌دهد.



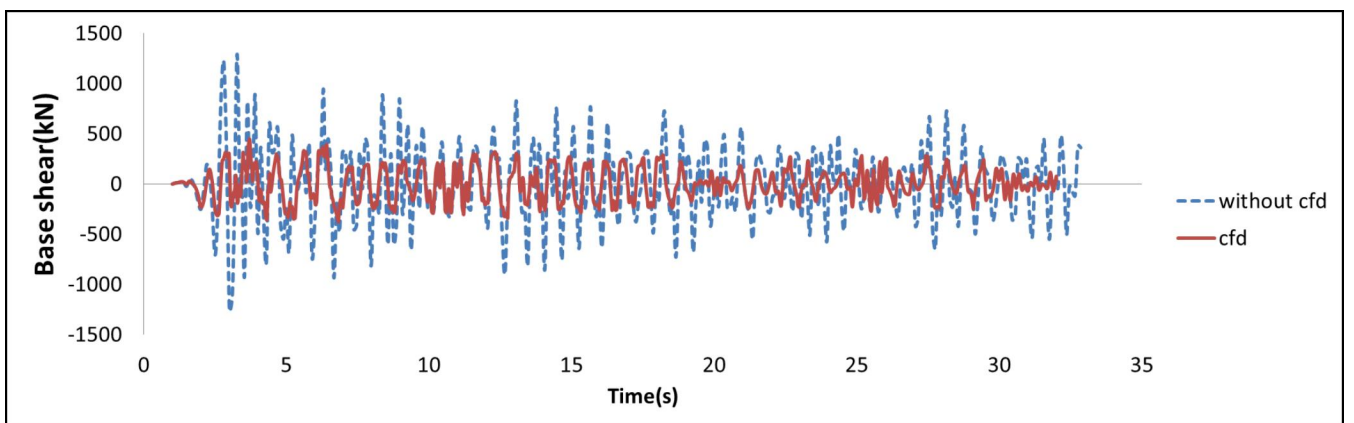
الف



ب



ج



د

شکل ۵: پاسخ‌های لرزه‌ای قاب تحت زمین‌لرزه السترو (الف) تغییر مکان بام (ب) سرعت بام (ج) شتاب بام (د) برش پایه

در جدول ۱ بیشینه تغییر مکان، سرعت، شتاب بام و برش پایه قاب ۶ طبقه ۳ دهانه با و بدون میراگر اصطکاکی سیلندری تحت زمین‌لرزه‌های السترو و همچنین میزان کاهش پاسخ سازه در مقایسه با حالت دارای میراگر اصطکاکی سیلندری نشان داده شده است.

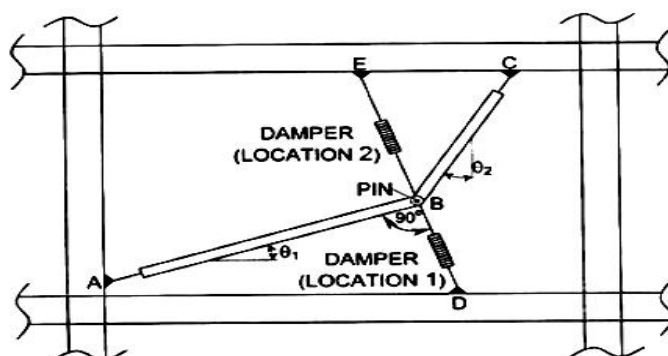
جدول ۱: پیشینه پاسخ سازه با میراگر اصطکاکی سیلندری و بدون میراگر

درصد کاهش	با میراگر اصطکاکی سیلندری	بدون میراگر	پیشینه پاسخ سازه
٪۳۱	۵۱	۷۴	تغییر مکان بام (mm)
٪۵۰	۰/۵۲	۱/۰۴	سرعت بام (m/s)
٪۳۸	۷/۷۲	۱۲/۴۴	شتاب بام (m/s <sup>2</sup> )
٪۶۵	۴۴۸	۱۲۹۰	برش پایه (kN)

همان‌طور که در شکل ۵ و جدول ۱ دیده می‌شود پاسخ‌های سازه‌ای در قاب مجهز به میراگر اصطکاکی سیلندری کمتر از سازه‌های مهاربندی شده می‌باشد که دلیل آن را می‌توان جذب انرژی در میراگر اصطکاکی سیلندری، تولید کمتر مفاصل پلاستیک در سازه و جلوگیری از کماتش مهاربند در سازه‌های مجهز به این نوع میراگر دانست.

#### ۴- انتخاب جانمایی بهینه میراگر اصطکاکی سیلندری

در این بخش با توجه به این‌که میراگر اصطکاکی سیلندری را می‌توان در موقعیت‌های مختلف در یک سازه نصب کرد، به انتخاب مناسب‌ترین و مؤثرترین محل قرارگیری این نوع از میراگر جهت کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای می‌پردازیم. سازه‌های دارای مهاربند تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای و یا سرعت کمی در برابر زلزله دارند و برخی می‌پندارند که این سازه‌ها برای میراگرهایی که وابسته به تغییر مکان (میراگر اصطکاکی سیلندری) و یا سرعت (میراگر ویسکوز) هستند مناسب نمی‌باشند. به این دلیل که تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای و یا سرعت زیاد باعث اتلاف انرژی بیشتر در این سازه‌ها می‌شود. از فرمول ۱ نیز می‌توان دریافت انرژی جذب شده در میراگر اصطکاکی سیلندری به تغییر مکان و نیروی لغزش آن وابسته می‌باشد و هرچه این دو عامل بیشتر باشد انرژی جذب شده در میراگر بیشتر می‌باشد. مطالعاتی در زمینه افزایش کارایی میراگرها در زمین‌لرزه‌های کوچک در سال ۲۰۰۰ در دانشگاه بوفالو صورت گرفت که منجر به ارائه روش‌هایی برای بزرگنمایی حرکت و انتخاب جانمایی مناسب در میراگر شد. دو حالت بزرگنمایی معرفی شده عبارت بودند از مهاربند زانویی<sup>۱</sup> و قیچی جک<sup>۲</sup>. مهاربند زانویی در شکل ۶ [۸] نشان داده شده است.



شکل ۶: جانمایی مهاربند زانویی

<sup>۱</sup> Toggle-brace<sup>۲</sup> Scissor-jack

نبود خمش در زانوها باعث کوچک شدن مقاطع و همچنین ساده شدن اتصالات می‌شود. میراگر به‌طور عمود بر ضلع AB نصب می‌شود. تغییر مکان نسبی بین نقطه A و C برابر تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای (u) می‌باشد که با تغییر مکان میراگرها (برای چرخش‌های کوچک) بین نقاط B و D و E و B و D (u<sub>D1</sub>) و E و B و D (u<sub>D2</sub>) طبق روابط زیر رابطه دارند.

$$u_{D1} = f_1 u \quad (2)$$

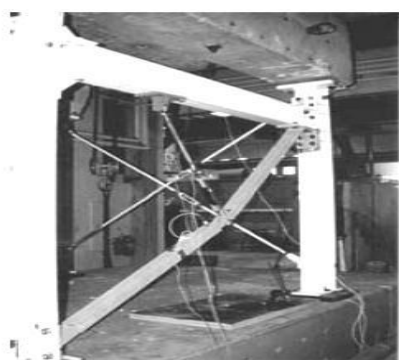
$$u_{D2} = (f_1 + \sin \theta_1) u = f_2 u \quad (3)$$

که در آن  $f_1$  و  $f_2$  برابرند با:

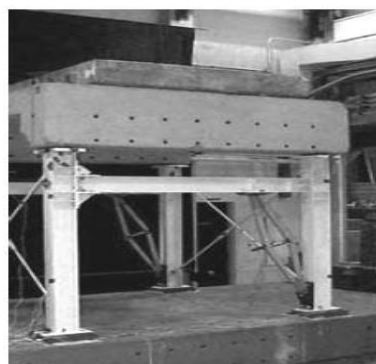
$$f_1 = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} \quad (4)$$

$$f_2 = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} + \sin \theta_1 \quad (5)$$

با در نظر گرفتن فرمول‌های ارائه شده ضریب بزرگنمایی حرکت (f) فقط وابسته به  $\theta_1, \theta_2$  می‌باشد. همچنین در حالت قرار گرفتن میراگر در بالا (حالت دوم شکل ۵) ضریب بزرگنمایی بزرگ‌تری نسبت به حالت اول به وجود می‌آید. در شکل ۷ [۸] مهاربند زانویی و جک برشی نشان داده شده است.



ب



الف

شکل ۷: الف) مهاربند زانویی ب) قیچی جک

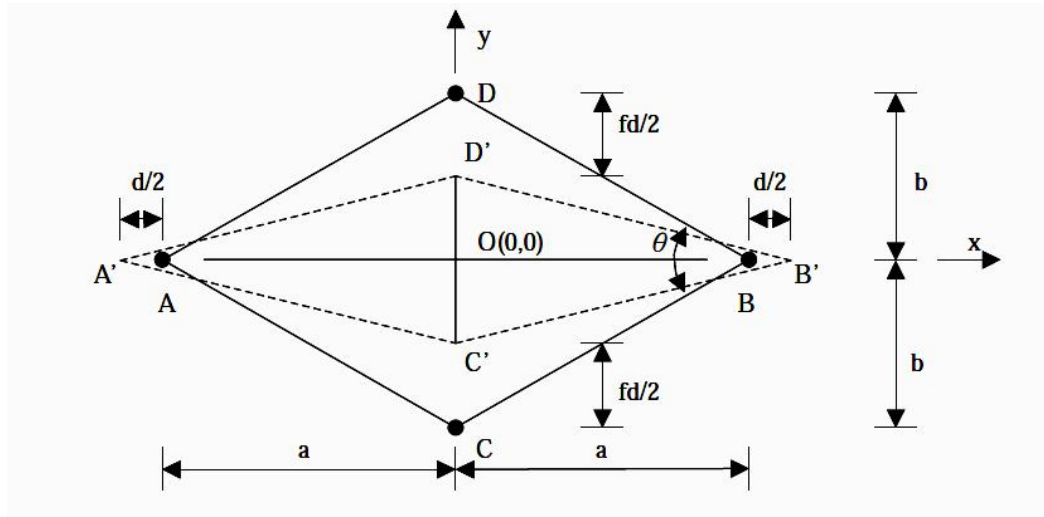
در شکل ۸ [۸] ضریب بزرگنمایی حرکت برای جانمایی‌های مختلف میراگر برای سازه یک درجه آزادی نشان داده شده است.

Diagonal		$f = \cos \theta$
Chevron		$f = 1.00$
Lower Toggle		$f = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2)}$
Upper Toggle		$f = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} + \sin \theta_1$
Reverse Toggle		$f = \frac{\alpha \cos \theta_1}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} - \cos \theta_2$
Scissor-Jack		$f = \frac{\cos \psi}{\tan \theta_3}$

شکل ۸: ضریب بزرگنمایی حرکت برای جانمایی‌های مختلف میراگر برای سازه یک درجه آزادی

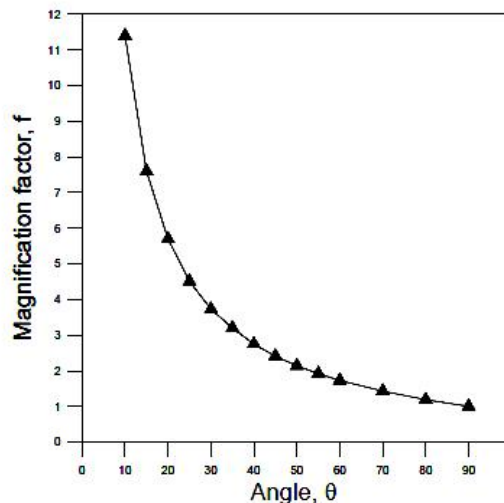


نوع دیگری از بزرگنمایی حرکت سیستم لوزی شکل<sup>۱</sup> می باشد. سیستم لوزی شکل مطابق شکل ۹ دارای ۴ ضلع مساوی AD, DB, BC و AC می باشد. هنگامی که نقاط A و B به اندازه  $\pm \frac{d}{2}$  به هم نزدیک یا دور می شوند نقاط C و D به اندازه  $f \frac{d}{2}$  از هم دور یا به هم نزدیک می شوند که میزان ضریب بزرگنمایی حرکت (f) به  $\theta$  وابسته می باشد [۹].



شکل ۹: سیستم لوزی شکل

در شکل ۱۰ ضریب بزرگنمایی حرکت (f) نسبت به زاویه  $\theta$  رسم شده است [۹].

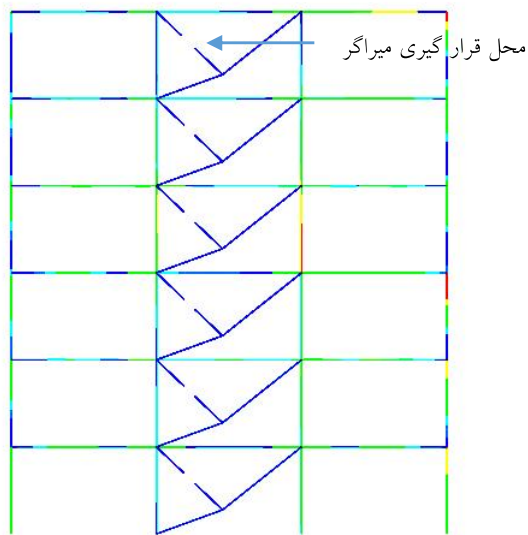


شکل ۱۰: ضریب بزرگنمایی حرکت (f) بر حسب زاویه ( $\theta$ )

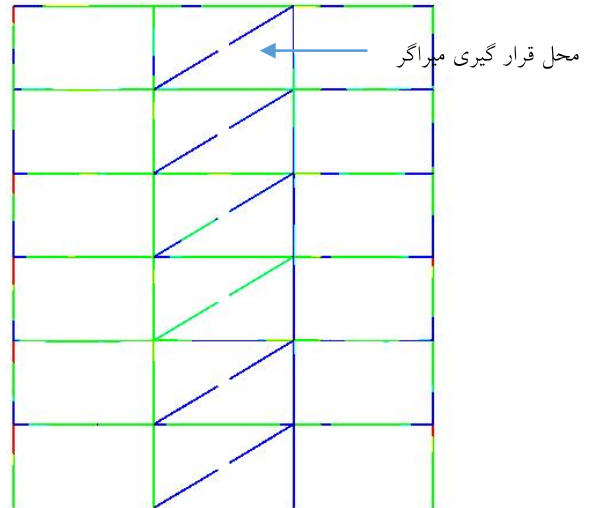
با توجه به مطالب گفته شده به انتخاب جانمایی بهینه در مورد میراگرهای اصطکاکی سیلندری می پردازیم.

<sup>1</sup> Rhombus brace

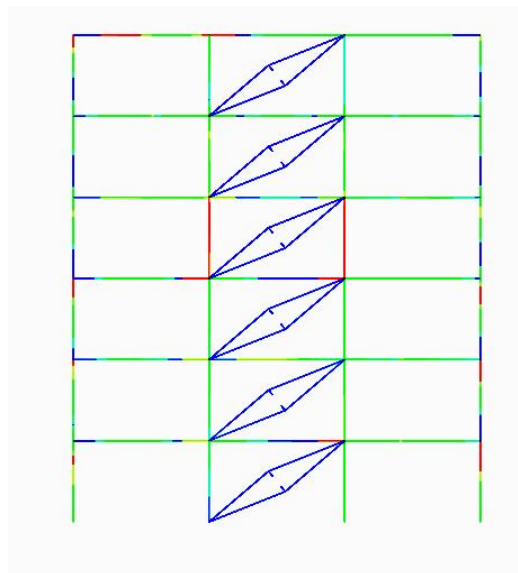
ابتدا مدل اجزاء محدود ساختمان ۶ طبقه ۳ دهانه در سه حالت جانمایی میراگر اصطکاکی سیلندری (مهاربند قطری، مهاربند زانویی و مهاربند لوزی شکل) ساخته شده است (شکل ۱۱)، سپس سازه تحت شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه السنترو-۱۹۴۰ قرار گرفته است و میزان بار لغزش بهینه در حالت‌های مختلف جانمایی مطابق جدول ۲ به دست آمده است.



ب) مهاربند زانویی  $\theta_1 = 20^\circ$  و  $\theta_2 = 40^\circ$



الف) مهاربند قطری



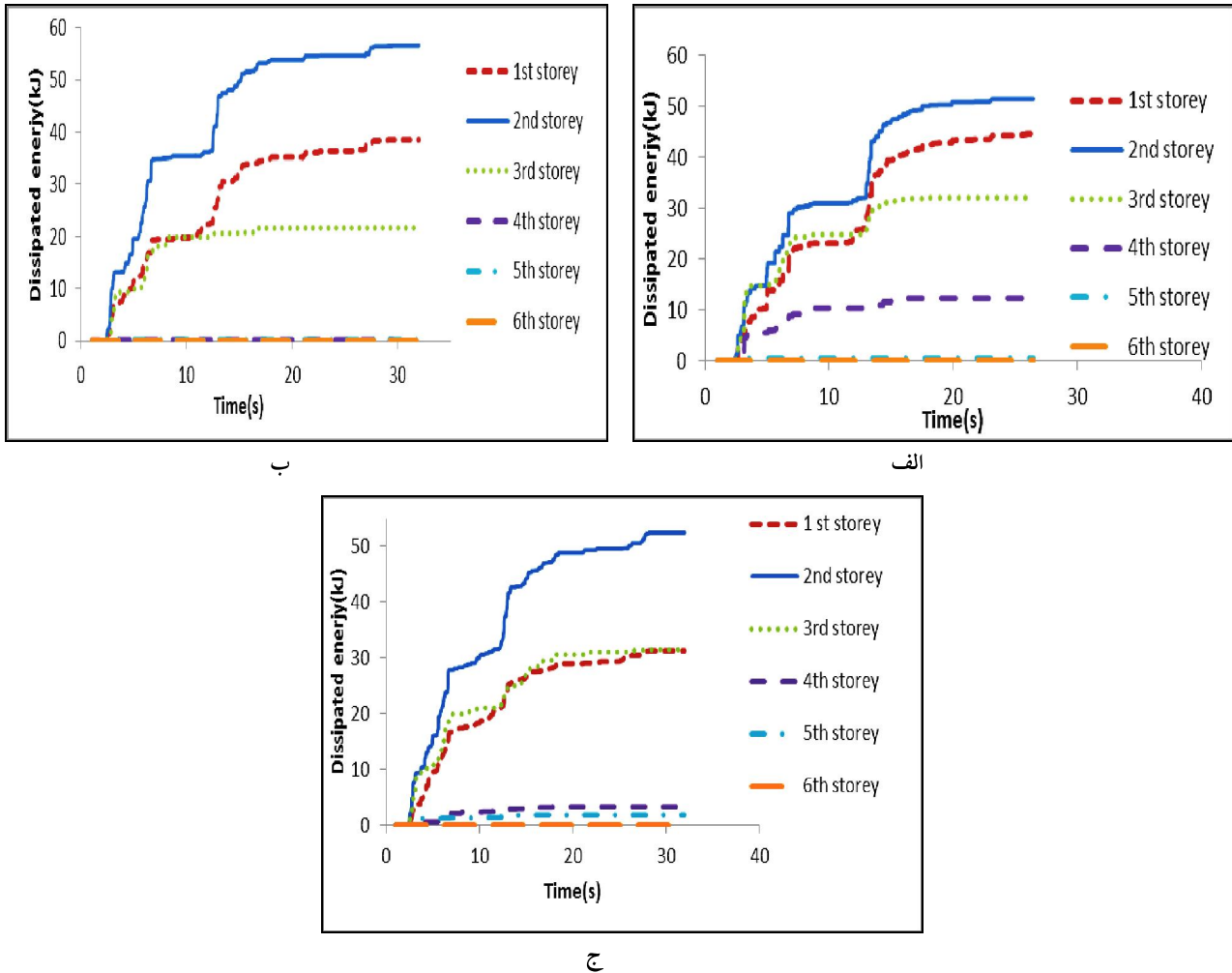
ج) سیستم لوزی شکل  $\theta = 21^\circ$

شکل ۱۱: جانمایی مختلف میراگر اصطکاکی سیلندری الف) مهاربند قطری ب) مهاربند زانویی ج) سیستم لوزی شکل

جدول ۲: بار لغزش بهینه میراگر با جانمایی مختلف

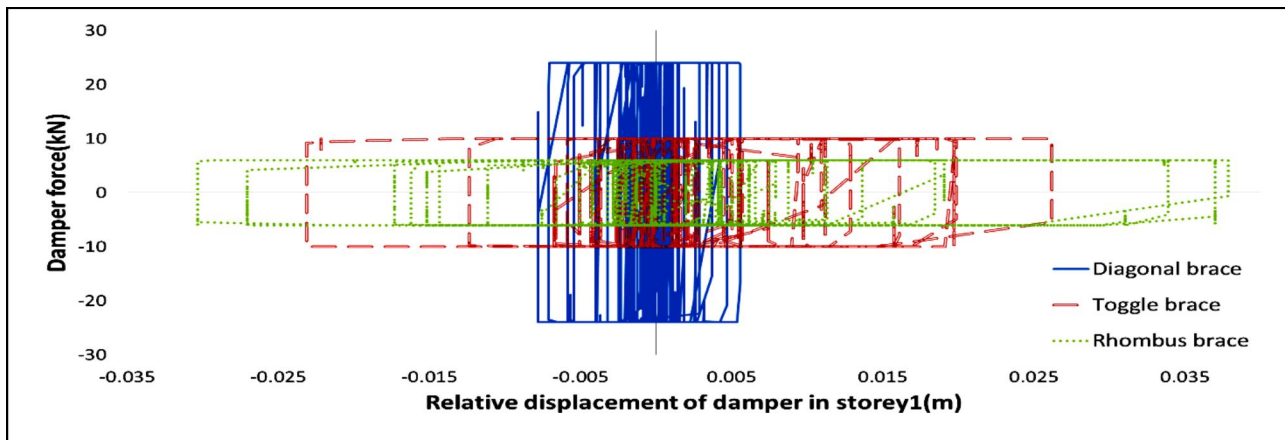
سیستم لوزی شکل	محل قرار گیری میراگر	
	مهاربند زانویی	مهاربند قطری
بار لغزش بهینه (kN)	۱۰۰	۲۴۰

با توجه به موقعیت‌های مختلف قرارگیری میراگر، انرژی جذب‌شده (مساحت داخل نمودار نیرو-تغییر مکان میراگر اصطکاکی سیلندری) در هر میراگر در طبقات مختلف قاب مطابق شکل ۱۲ می‌باشد.



شکل ۱۲: انرژی جذب‌شده در میراگر اصطکاکی سیلندری (الف) مهاربند قطری (ب) مهاربند زانویی (ج) سیستم لوزی شکل

همان‌طور که در شکل ۱۲ می‌توان دید جذب انرژی در میراگرهای طبقه چهارم، پنجم و ششم در حالت مهاربند زانویی و سیستم لوزی شکل بسیار ناچیز می‌باشد. همچنین بیشترین میزان جذب انرژی در هر سه حالت در میراگر واقع در طبقه دوم می‌باشد. در شکل ۱۳ منحنی هیستریزس میراگر اصطکاکی سیلندری واقع در طبقه اول مربوط به جانمایی‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱۳: منحنی‌های هیستریزس میراگر اصطکاکی سیلندری طبقه اول مربوط به جانمایی‌های مختلف

همان‌طور که دیده می‌شود تغییر مکان میراگر اصطکاکی سیلندری در حالت لوزی شکل بیشتر از مهاربند زانویی و مهاربند زانویی بیشتر از مهاربند قطری می‌باشد. در جدول ۳ مجموع انرژی جذب‌شده در تمامی میراگرها با جانمایی‌های مختلف در هر قاب به دست آمده است.

جدول ۳: مجموع انرژی جذب‌شده در میراگرها با جانمایی‌های مختلف

سیستم لوزی شکل	انرژی تجمعی جذب‌شده در میراگرهای اصطکاکی سیلندری (kJ)	
	مهاربند زانویی	مهاربند قطری
۱۲۰/۰۴	۱۱۴/۶۵	۱۴۰/۰۸۴

با توجه به جدول ۳ می‌توان دریافت مجموع انرژی جذب‌شده در میراگرهای واقع در مهاربند قطری بیشتر از سیستم لوزی شکل و سیستم لوزی شکل بیشتر از مهاربند زانویی است. گرچه سیستم‌های لوزی شکل و مهاربند زانویی دارای تغییر مکان بیشتری نسبت به میراگر واقع در مهاربند قطری بودند؛ ولی مجموع انرژی جذب‌شده توسط میراگرها (مساحت داخل نمودار نیرو-تغییر مکان) بیشتر از سایر حالات می‌باشد.

حال پاسخ‌های لرزه‌ای سازه در هر سه حالت جانمایی میراگر اصطکاکی سیلندری به دست آمده‌اند. در جدول ۴ بیشینه پاسخ سازه با جانمایی‌های مختلف آورده شده است.

جدول ۴: بیشینه پاسخ سازه با جانمایی‌های متفاوت میراگر اصطکاکی سیلندری

سیستم لوزی شکل	مهاربند زانویی	مهاربند قطری	پاسخ سازه
۶۵	۵۵	۵۱	تغییر مکان بام (mm)
۰/۶۴	۰/۶۱	۰/۵۲	سرعت بام (m/s)
۷/۷۷	۷/۲۵	۷/۷۲	شتاب بام (m/s <sup>2</sup> )
۶۴۸/۶	۴۶۲/۸	۴۴۷/۸	برش پایه (kN)

با توجه به جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت مهاربند قطری بهترین حالت برای جانمایی میراگر اصطکاکی سیلندری می‌باشد. گرچه جانمایی زانویی و سیستم لوزی شکل باعث افزایش تغییرشکل میراگر اصطکاکی سیلندری گردید اما مجموع انرژی جذب شده در حالت قرارگیری در مهاربند قطری بیشتر از سایر موارد و نهایتاً پاسخ‌های لرزه‌ای در حالت قرارگیری در مهاربند قطری کمتر از حالت‌های دیگر می‌باشد.

## ۵- نتیجه گیری

- ۱- پاسخ سازه‌های مجهز به میراگر اصطکاکی سیلندری کمتر از سازه‌های مهاربندی شده می‌باشد که دلیل آن را می‌توان اتلاف انرژی در میراگر اصطکاکی سیلندری، تولید کمتر مفاصل پلاستیک در سازه و جلوگیری از کمانش مهاربند در سازه‌های مجهز به این نوع میراگر دانست.
- ۲- در حالت‌های مختلف جانمایی میراگر اصطکاکی سیلندری، بیشترین میزان انرژی جذب شده توسط میراگر در موقعیت مهاربند قطری و سپس سیستم لوزی شکل و بعد از آن مهاربند زانویی می‌باشد.
- ۳- در حالت‌های مختلف جانمایی میراگر اصطکاکی سیلندری، کمترین پاسخ‌های لرزه‌ای مربوط به میراگر در موقعیت مهاربند قطری و سپس سیستم لوزی شکل و بعد از آن مهاربند زانویی می‌باشد.

## ۶- مراجع

- [1] Mirtaheri Masoud, Zandi Amir Peyman, Sharifi Samadi Sahand, Rahmani Samani Hamid "Numerical and experimental study of hysteretic behavior of cylindrical friction dampers" Journal of Constructional Steel Research, 2010.
- [2] Kyung-Won Mina, Ji-Young Seonga, Jinkoo Kimb "Simple design procedure of a friction damper for reducing seismic responses of a single-story structure", 2010.
- [3] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان "طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی"، وزارت مسکن و شهرسازی، دفتر مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۸.
- [4] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد ۸۴-۲۸۰۰ (ویرایش سوم)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم، ۱۳۸۴.
- [5] Constantinou MC, Mokha A, Reinhorn AM. Teflon bearings in base isolation, II: Modeling. Journal of Structural Engineering 1990
- [6] Li C, Reinhorn AM. Experimental and analytical investigation of seismic retrofit of structures with supplemental damping: Part II- Friction devices. Technical report NCEER-95-0009. Buffalo (NY): State University of New York at Buffalo; 1995.
- [7] Lee SH, Park JH, Lee SK, Min KW. Allocation and slip load of friction dampers for a seismically excited building structure based on storey shear force distribution. Engineering Structures 2008.
- [8] Bozorgnia Bertero "Earthquake Engineering"- chapter 12-Seismic Energy Dissipation Systems for Buildings
- [9] Deh-Shiu Hsu1, Ming-Che Hsu2, and Yung-Feng "Rhombus mechanism with fluid damper" Lee3 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6, 2004.
- [10] Fu-Sheng Lin1, Yung-Feng Lee2, and Deh-Shiu Hsu3 stability of rhombus mechanism damper system 4th International Conference on Earthquake Engineering Taipei, Taiwan October 12-13, 2006.