

ارزیابی عملکرد میراگرهای اصطکاکی دورانی (RFD) در قابهای ساختمانهای فولادی

جواد واثقی امیری¹، مرتضی نقی پور²، سید قاسم جلالی³،

1- استادیار دانشکده عمران، بابل، خیابان شریعتی، دانشگاه صنعتی بابل

2- دانشیار دانشکده عمران

3- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه،

jalali_sgj@yahoo.com

خلاصه

میراگرهای وابسته به تغییر مکان به دو دسته میراگرهای تسلیمی و میراگرهای اصطکاکی تقسیم می شوند. مزیت های میراگرهای اصطکاکی بر میراگرهای تسلیمی بیشتر می باشد. یکی از جدیدترین میراگرهای اصطکاکی، میراگر اصطکاکی دورانی است که در سال 2000 معرفی شده است. میراگر اصطکاکی دورانی قوانین دستورالعمل بهسازی لرزه ای را ارضا می کند. به منظور بررسی عملکرد میراگرهای اصطکاکی باید به بررسی شاخص های عملکرد آن پرداخته شود. در این مقاله، ابتدا میراگر اصطکاکی دورانی در نرم افزار SAP 2000 مدل سازی شده و تطابق مناسبی با نتایج عددی قبلی حاصل شد. سپس با محاسبه شاخص های عملکرد، بار لغزش بهینه آن شناسایی گردید، و مشاهده شد که در نقطه عملکرد بهینه میزان خسارت سازه به شدت کاهش یافته است.

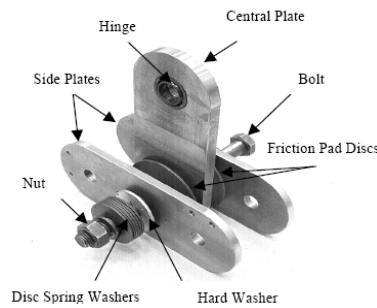
کلید واژه ها : میراگر، میراگر اصطکاکی دورانی، شاخص عملکرد نسبی، شاخص کارایی میراگر، انرژی هیستریزس

مقدمه

استهلاک انرژی در میراگرهای اصطکاکی به واسطه اصطکاک بین اجزای اصطکاکی و لغزیدن سطوح بر روی همدیگر می باشد. ترکیب بندی اجزای لغزنده اصطکاکی بر روی یکدیگر می تواند بسیار متنوع باشد، به همین دلیل میراگرهای اصطکاکی مختلفی به وجود آمده است. میراگر اصطکاکی دورانی (RFD) در سال 2000 توسط MUALLA معرفی شد. این میراگر به منظور بهسازی ساختمان های موجود و ساخت ساختمان های جدید بر مبنای شکل پذیری معرفی شد. لذا اهمیت بررسی این میراگر در مناطق لرزه خیز حائز اهمیت است. آزمایشات اولیه بر روی این میراگر در دانشگاه دانمارک انجام شد [1]، و آزمایشات تمام مقیاس در تایوان و بر روی میز لرزه صورت گرفت [2]. همه آزمایشات بیانگر کارایی مناسب میراگر تحت رویداد لرزه ای بوده است. از طرفی پاسخ سازه مجهز به میراگر تحت بارهای جانبی پیش بینی شده و تطابق مناسبی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی مشاهده شد [1و2]. در عملکرد میراگرهای اصطکاکی عواملی چون کاهش تغییر مکان، افزایش اتلاف انرژی میراگر، کاهش برش پایه و کاهش انرژی کرنشی الاستیک سازه موثر است. فاکتورهای فوق در دو شاخص کارایی میراگر و شاخص عملکرد نسبی میراگر موثر هستند که برای بررسی عملکرد میراگر به بررسی این شاخص های عملکرد پرداخته می شود [1]. نیروی بهینه لغزش مربوط به میراگرهای اصطکاکی، را می توان از شاخص های عملکرد به دست آورد. در بررسی میراگرهای اصطکاکی روش تحلیل مودال تاریخیچه زمانی غیر خطی کاربرد زیادی دارد. این تحلیل با در نظر گرفتن مودهای زیاد و المان های غیر خطی محدود دارای دقت مناسبی است [3]. با توجه به تحقیقات قبلی، که ذکر شد، هنوز تحقیقی بر روی عملکرد میراگر در ساختمان های واقعی انجام نشده است. در این تحقیق ابتدا به مدل سازی میراگر در نرم افزار SAP2000 پرداخته شد. میراگر اصطکاکی دورانی مورد نظر به صورت مرکزگرا بررسی می شود، که بیشترین حالت اتلاف انرژی را نیز دارد. به منظور بررسی اثر میراگر در ارتفاع سه ساختمان با تعداد طبقات سه، پنج و هشت طبقه مورد مطالعه قرار گرفت. سپس برای بررسی اثر شدت زلزله، ساختمان های مورد مطالعه تحت شتابهای مختلف کم الی خیلی زیاد بررسی شد.

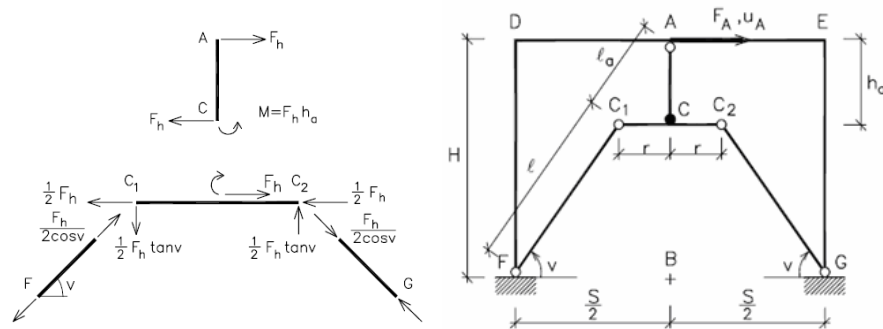
معرفی میراگر اصطکاکی دورانی

در شکل (1)، شمایی از میراگر اصطکاکی دورانی دیده می شود. اجزای اصلی میراگر یک صفحه عمودی و دو صفحه افقی است، که لایه های اصطکاکی بین آنها قرار می گیرد صفحه عمودی به تیر بالایی خود مفصل می شود. عملکرد میراگر و اتلاف انرژی آن، به واسطه دوران صفحات افقی در کنار صفحه قائم است، که ناشی از حرکت جانبی تیر بالایی قاب است. صفحات افقی و قائم و لایه اصطکاکی با یک پیچ به هم متصل می شوند. برای ثابت نگه داشتن نیروی بین صفحات از واشر فنری استفاده می شود، و برای جلوگیری از اثر این واشرهای فنری بر روی صفحات افقی بین آنها واشر سخت قرار می گیرد [4].



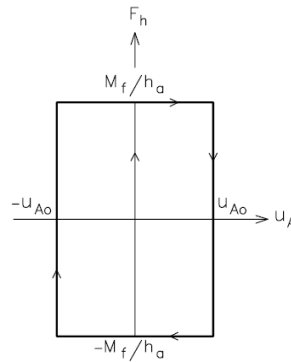
شکل (1): اجزای میراگر اصطکاکی دورانی

شکل (2) مدل یک قاب یک طبقه مجهز به میراگر اصطکاکی دورانی را نشان می دهد. مطابق شکل مفصل اصطکاکی در نقطه C قرار می گیرد. ماکزیمم اتلاف انرژی نیز در این حالت ایجاد می شود.



شکل (2): قاب مجهز به میراگر اصطکاکی دورانی هم مرکز

رفتار واقعی میراگر در مفصل اصطکاکی به صورت شکل (3) است، این رفتار مشابه رفتار اصطکاک کلمب است. در شکل (3)، F_h نیروی لغزش می باشد، این نیرو توسط تیر بالایی قاب به میراگر وارد می شود، و این نیرو در بازوی h لنگر اصطکاکی لغزش، M_f را می سازد. با تقسیم لنگر اصطکاکی بر بازوی دوران، لنگر اصطکاکی در آستانه لغزش و بعد از آن، به دو نیروی فشاری و کششی در مهارها تبدیل می شود، که در شکل (2) دیده می شود. اگر از تغییر شکل های الاستیک قاب صرف نظر کنیم، رفتار شکل (3) برای قاب مجهز به میراگر اصطکاکی دورانی صادق خواهد بود، و می توان دوران مفصل اصطکاکی را به تغییر مکان افقی قاب مرتبط کرد. اما اگر تغییر شکل های الاستیک مهارها مهم باشند، باید این تغییر شکل ها نیز کنترل شوند، تا از به کار افتادن میراگرها اطمینان حاصل شود.



شکل (3): رفتار مفصل اصطکاکی

دو نیروی فشاری و کششی در میله های مهاری توسط رابطه (1) به دست می آیند. برای جلوگیری از کمانش میله فشاری باید این میله ها توسط همین نیروها به دست آمده پیش کشیده شود.

$$F_a = \frac{M_f}{2h_a \cos(\nu)} \quad (1)$$

که در رابطه بالا M_f لنگر اصطکاکی، ν زاویه مهار و h_a بازوی میراگر است، که در شکل (2) دیده می شود. به جهت اینکه در هنگام اعمال بار خارجی دو برابر نیروی پیش کشیدگی در مهارها ایجاد می شود و هیچگاه نیروی درون مهارها از این مقدار بیشتر نمی شود، بنابراین مهارها باید برای دو برابر نیروی پیش کشیدگی و مطابق رابطه (2) طراحی شوند.

$$A_b = \frac{M_f}{\sigma_y h_a \cos(\nu)} \quad (2)$$

که در فرمول (2)، σ_y تنش تسلیم ماده میله مهاری است [5].

مهمترین نکته ای که در به کارگیری میراگرهای اصطکاکی باید در نظر گرفته شود، تعیین بار لغزش بهینه می باشد. به این منظور باید به بررسی شاخص های عملکرد میراگر پرداخته شده شود. فاکتورها و شاخص ها معمولا دارای مقادیری بین صفر و یک هستند. مقدار یک می تواند به این معنی باشد که یا نیروی لغزش صفر است و در میراگر اتلاف انرژی وجود ندارد، و یا اینکه مقدار نیروی لغزش میراگر بسیار زیاد بوده و میراگرها به کار نمی افتند. در حالت اول میراگر به صورت قاب خمشی عمل کرده و در حالت دوم میراگر به صورت قاب خمشی مهاربندی شده عمل می کند. در تعیین شاخص های عملکرد مقدار صفر یک مقدار آرمانی و تئوریک بوده و رسیدن به آن در حالت عملی غیر ممکن است. و به این جهت مقدار مینیمم آن انتخاب می شود. شاخص های بررسی شده در این مقاله در دو قالب شاخص کارایی میراگر و شاخص عملکرد نسبی میراگر بیان می شوند. شاخص کارایی میراگر توسط مؤالا معرفی شده است و به صورت زیر تعریف می شود:

$$SPI = \sqrt{R_d^2 + R_f^2 + R_e^2} \quad (3)$$

در رابطه بالا R_d فاکتور کاهش پاسخ، R_f فاکتور کاهش برش پایه و R_e فاکتور اتلاف انرژی میراگر است. سه فاکتور فوق در فرمول های (4)، (5) و (6) تعریف می شوند. با توجه به رابطه (3) و فاکتورهای موثر در آن، بهترین حالت عملکرد میراگر زمانی است، که شاخص عملکرد نسبی میراگر مینیمم شود.

$$R_d = \frac{D_f}{D_p} \quad (4)$$

$$R_f = \frac{V_f}{V_p} \quad (5)$$

$$R_e = \frac{(E_i - E_h)}{E_i} \quad (6)$$

که در روابط فوق D_f تغییر مکان سازه مجهز به میراگر اصطکاکی، D_p تغییر مکان سازه قاب خمشی اولیه، V_f برش پایه سازه مجهز به میراگر اصطکاکی، V_p برش پایه سازه قاب خمشی اولیه، E_i انرژی ورودی به سازه مجهز به میراگر اصطکاکی و E_h انرژی هستریتیک اتلاف شده توسط میراگر می باشد. در روابط بالا فرض بر الاستیک ماندن اعضای سازه می باشد [1]. شاخص عملکرد نسبی میراگر به صورت زیر تعریف می شود:

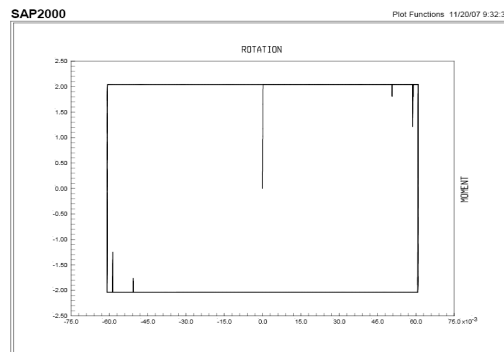
$$RPI = \frac{1}{2} \left(\frac{SEA}{SEA_{(o)}} + \frac{U_{\max}}{U_{\max(o)}} \right) \quad (7)$$

که SEA و U_{\max} به ترتیب مساحت زیر نمودار تاریخچه زمانی انرژی کرنشی الاستیک و ماکزیم انرژی کرنشی الاستیک سازه مجهز به میراگر اصطکاکی در طی یک نمودار تاریخچه زمانی تحت تحریک زلزله می باشد. $SEA_{(o)}$ و $U_{\max(o)}$ همین مقادیر اما مربوط به سازه قاب خمشی اولیه هستند [6]. هر دو شاخص عملکرد مفهومی برای نزدیک کردن سازه به حد الاستیک را دارا می باشند بنابراین در نقطه مینیمم شاخص ها، باید کمترین اعضا به حد جاری شدن برسند. بدین منظور در نقطه عملکرد بهینه باید میزان خسارت بررسی شود. میزان خسارت به صورت نسبت تعداد المان های جاری شده به کل المان های سازه بیان می شود.

در مورد استفاده از میراگرهای وابسته به تغییر مکان قوانینی در دستورالعمل بهسازی وجود دارد، و به این صورت می باشد، که اگر در یک طرف مرکز صلبیت ساختمان، در یک تراز کمتر از دو میراگر نصب شود، این میراگرها و اجزای متصل به آنها باید قادر به تحمل تغییر مکانهای برابر با 200% حداکثر تغییر مکان محاسبه شده برای آن وسیله تحت زلزله سطح خطر-2 باشند [7].

مدل پیشنهادی

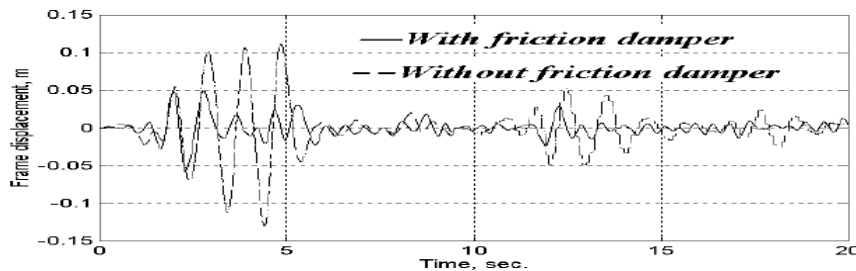
رفتار واقعی میراگر اصطکاکی در محل مفصل اصطکاکی در شکل (3) نشان داده شده است. مقدار نیروی برشی وارد شده به میراگر از تقسیم لنگر میراگر اصطکاکی بر ارتفاع میراگر به دست می آید. برای نشان دادن چنین رفتاری در نرم افزار SAP2000 از المان پلاستیک ون¹ در مدل سازی رفتار اتصال اصطکاکی استفاده شده است. این المان می تواند رفتاری مانند شکل (4) را از خود نشان دهد، که مطابق با رفتار اصطکاکی کلمب و شکل (3) است [8]. برای اثبات مدل سازی، مطابقت با نتایج عددی قبلی حاصل شد. شکل (5) و (6) مقایسه نتایج به دست آمده از مدل پیشنهادی مورد استفاده در این تحقیق و نتایج کار عددی موالا در بررسی پاسخ قاب مجهز به میراگر اصطکاکی دورانی را نشان می دهد. قاب در نرم افزار DRAIN-2DX مدل شده است، و تحت تحریک زلزله EL centro در جهت شمال-جنوب با $PGA=3.417$ متر بر مجذور ثانیه و در مدت 20 ثانیه، قرار می گیرد. ابعاد قاب $7.6m \times 4.6m$ ، تیر صلب و سختی ستونها $34 \times 10^6 mm^4$ می باشد. وزن کلی قاب $450KN$ بوده و پیوند لرزش 1 ثانیه می باشد، و میرایی سازه 5 درصد میرایی بحرانی است. از بادبندهایی با مساحت $201mm^2$ استفاده می شود. نیروی پیش کشیدگی بر اساس حداکثر نیروی ایجاد شده در طی زلزله تعیین می شود. ابعاد میراگر $r = 0.165m$ و $h_a = 0.2m$ است. مدل نهایی قاب مانند شکل (2) است. در شکل (5) پاسخ های به دست آمده در نرم افزار DRAIN-2DX را می توان دید [4].



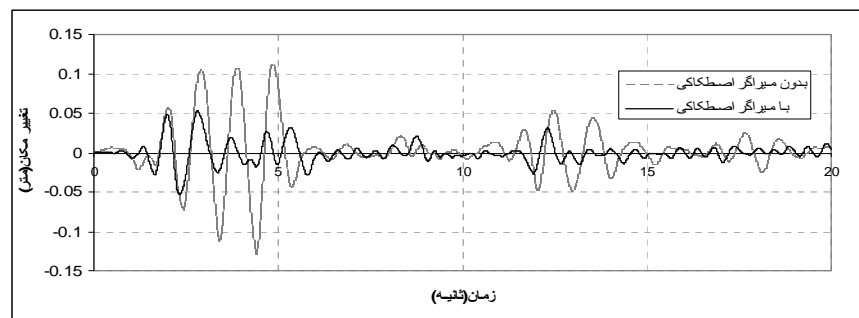
شکل (4) : منحنی پسماند به دست آمده در SAP2000

¹ - Plastic(WEN)

قاب و میراگر با مشخصات مذکور تحت زلزله مورد نظر در نرم افزار SAP2000، و با نیروی پیش کشیدگی صفر، مدل شده و به صورت آنالیز مودال تاریخچه زمانی غیر خطی تحلیل می شود. رفتار در مفصل اصطکاکی مانند شکل (4) است. در شکل (6) پاسخهایی را که در نرم افزار SAP2000 به دست آمده است را می توان دید [8]:



شکل (5): پاسخ قاب اولیه و مجهز به میراگر تحت تحریک زلزله، مدل شده در نرم افزار DRAIN-2DX



شکل (6): پاسخ به دست آمده برای قاب اولیه و مجهز شده به میراگر در نرم افزار SAP2000

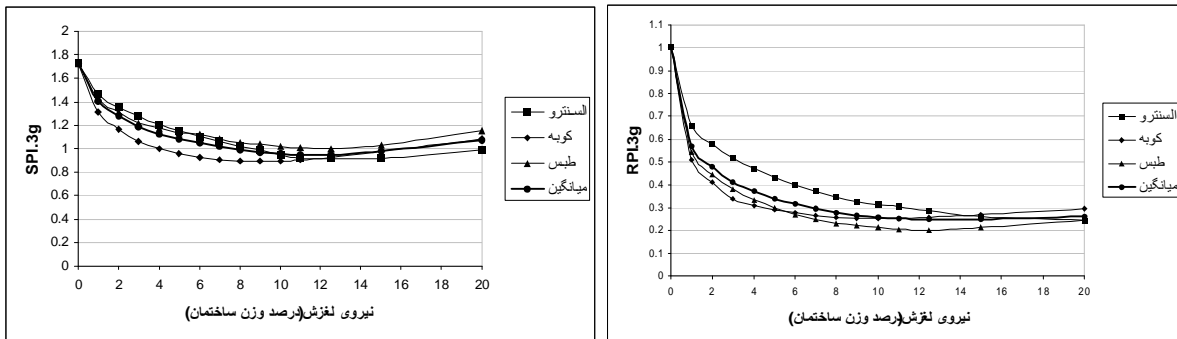
همانطور که از شکل (6) دیده می شود، مخصوصاً در نقاط ماکزیمم دقت نرم افزار SAP2000 مطابقت بسیار خوبی با پاسخ ملاحظه شده از شکل (5) دارد. انتظار می رفت که پاسخ ها دقیقاً برهم منطبق شوند، اما خطاهای ناچیزی در پاسخ های کوچک دیده می شود، که علت آن ناشی از دو عامل است. اول اینکه مدل ارائه شده در SAP2000 دقیقاً پلاستیک خشک نیست، و دوم اینکه پیش کشیدگی در مدل سازی انجام شده صفر در نظر گرفته شده است. این موضوع نشان می دهد، که نیروی پیش کشیدگی تاثیر بسیار زیادی بر پاسخ قابهای مجهز به میراگر اصطکاکی دورانی ندارد. به این موضوع در [1] نیز اشاره شده است.

بررسی میراگر اصطکاکی دورانی در قابهای فولادی

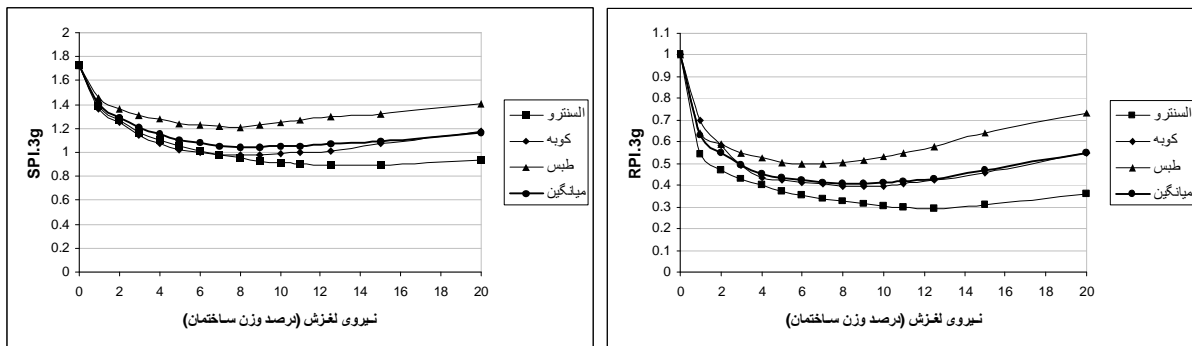
جهت بررسی اثر میراگرهای اصطکاکی دورانی در قابهای فولادی، قابهای سه، پنج و هشت طبقه مورد بررسی قرار می گیرند. در ساختمان ها مجموع نیروی لغزش همه میراگرها، برابر 0.125W ساختمان در نظر گرفته می شود. انتخاب چنین نیروی لغزشی در طراحی مهارها یک فرض اولیه است، و در صورتی که نیروی لغزش بهینه در بیشتر از این نیرو حاصل شد، لازم است که مهارها برای نیروی بیشتری طراحی شوند. اما اگر نیروی لغزش در 0.125W بتواند میزان خسارت را در حد نیروی لغزش بهینه کاهش دهد، می توان آن را به عنوان نیروی لغزش بهینه انتخاب کرد. به این منظور نیروی لغزش را از صفر تا 0.2W افزایش می دهیم، و شاخص های مطرح شده را محاسبه می کنیم. و این افزایش نیروی لغزش بیش از نیروی طراحی تنها برای بررسی عملکرد میراگر می باشد. همواره کنترل می شود، که مهارها حتی در نیروی لغزش 0.2W نیز به صورت الاستیک باقی بمانند [8]. وزن قاب سه طبقه، 155 تن، پنج طبقه 280 تن و هشت طبقه، 460 تن می باشد. نیروی برش لغزش را بر تعداد میراگرها به صورت مساوی تقسیم می کنیم، با استفاده از رابطه (2) و در نظر گرفتن ضریب تنش مجاز مهارها را طراحی می کنیم، در تمام ساختمان های مورد مطالعه مهارها، میله گرد و به قطر 34 میلیمتر جواگو بوده و استفاده شد. میراگر را به صورت هم مرکز و به صورت $\frac{1}{20}$ ابعاد قاب انتخاب می کنیم، و اجزای اتلاف کننده انرژی میراگرهای اصطکاکی از رفتار اصطکاک کلمب تبعیت می کنند.

قاب ها تحت سه شتاب نگاشت زلزله السنترو، کوبه و طیس با چهار شتاب مناطق تحت لرزه خیزی کم (PGA=0.2g)، متوسط (PGA=0.25g)، زیاد (PGA=0.3g)، و خیلی زیاد (PGA=0.35g)، مورد تحلیل قرار می گیرند.

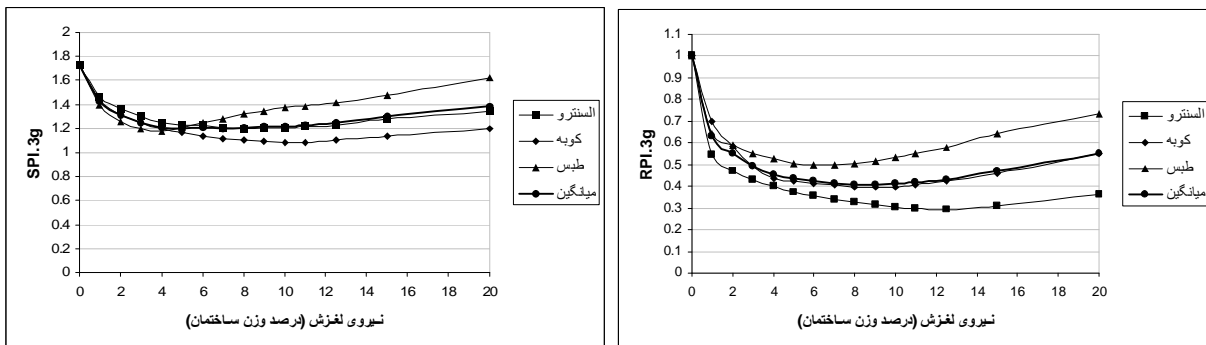
لازم به ذکر است که گرچه میراگر اصطکاکی دورانی با داشتن یک مفصل در محل اتصال به تیر شکل پذیری آن را بسیار بالا می برد، اما باید از مهارهایی همچون میله گرد و یا کابل هایی با مقاومت بالا استفاده کرد. نیروی لغزش در میراگرهای اصطکاکی دورانی در بازوی عمودی لنگر لغزش را ایجاد می کند، و این مهارها در هر لنگر لغزش خاص نیاز به یک پیش کشیدگی متناسب با آن را دارند، که از رابطه (1) محاسبه می شود. به این دلیل که لنگر لغزش مقدار مشخصی دارد، پس نیروی درون میله ها از حد خاصی تجاوز نمی کند، و این میراگر قادر است، قوانین دستورالعمل بهسازی لرزه ای ایران را اقلان کند. نهایت پس از طراحی اجزای میراگر و ترسیم شاخص های عملکرد میراگر نقطه مینیمم شاخص های عملکرد مشخص شد، و نیروی لغزش بهینه به دست آمد. این نیروی لغزش علاوه بر سه شتاب نگاشت، برای میانگین سه شتاب نگاشت نیز به دست آمده است. نمونه ای از این شاخص های عملکرد در شکل (7)، (8) و (9) نشان داده شده است.



شکل(7): راست - شاخص عملکرد نسبی میراگر، چپ - شاخص کارایی میراگر ساختمان سه طبقه تحت زلزله های 0.3g



شکل(8): راست - شاخص عملکرد نسبی میراگر، چپ - شاخص کارایی میراگر ساختمان پنج طبقه تحت زلزله های 0.3g



شکل(9): راست - شاخص عملکرد نسبی میراگر، چپ - شاخص کارایی میراگر ساختمان هشت طبقه تحت زلزله های 0.3g

با توجه به نمودارهای ارائه شده، مشخص می شود که، شاخص های عملکرد میراگر در محدوده 1/5 الی 2 درصدی نسبت به وزن سازه (15 الی 20 درصد نسبت به نیروی لغزش بهینه) مقادیر ثابتی را نشان می دهد. این موضوع قادر به تعدیل کردن خطاهای ساخت، نصب و عوامل محیطی است.

با توجه به نمودارهای به دست آمده، نیروی بهینه لغزش در قاب سه طبقه 15 درصد، در قاب پنج طبقه 10 درصد و در قاب هشت طبقه 7/5 درصد به دست آمد. این نیروی لغزش از میانگین دو شاخص و بدون توجه به مقوله طراحی مهارها بوده است. در نقطه بهینه عملکرد میزان خسارت بررسی می شود. میزان خسارت برای تمام سازه ها و تمام زلزله ها به جز قاب پنج طبقه تحت زلزله السنترو با $PGA=0.35g$ برابر صفر شد. در قاب پنج طبقه میزان خسارت از 66 به 15 درصد کاهش یافت. با افزایش PGA زلزله مقدار انرژی بیشتری به سازه وارد می شود. در نتیجه، به منظور اتلاف انرژی بیشتر در شتاب‌های بالاتر، نقطه بهینه شاخص‌های عملکرد جابجا می‌شود، و به تبع آن در شتاب نگاشت ها با افزایش ماکزیمم شتاب از $PGA=0.2g$ تا $PGA=0.35g$ ، نیروی لغزش بهینه افزایش می یابد. این افزایش در قاب سه طبقه، 7/5 درصد، در قاب پنج طبقه 4 درصد و در قاب هشت طبقه 2/5 درصد نسبت به وزن سازه است [8].

بحث و بررسی

میراگر در نرم افزار SAP2000 مدل سازی شد، و پاسخ آن با مدل سازی انجام شده در DRAIN-2DX مقایسه شد. شاخص های عملکرد نسبی میراگر و کارایی میراگر برای سه ساختمان سه، پنج و هشت طبقه مجهز به میراگر اصطکاکی دورانی به دست آمد. نقطه مینیمم این شاخص ها، نقطه عملکرد بهینه میراگر است. در نهایت بار لغزش بهینه به دست آمد.

به منظور به دست آوردن شاخص کارایی میراگر لازم است که، سه فاکتور کاهش تغییر مکان، کاهش برش پایه و کاهش انرژی مانده در ساختمان از روابط (4)، (5) و (6) محاسبه شود. کاهش هر کدام از این سه فاکتورها می تواند به معنای ایجاد نیروهای کمتر در سازه باشد و در نتیجه میزان خسارت در سازه کاهش می یابد، اما هیچ کدام از سه فاکتور فوق، نمی توانند بار لغزش یکسانی مطابق با فاکتورهای دیگر را بدهد. به کارگیری آنها در شاخص کارایی میراگر از رابطه (3)، جوابهای یکسانی را مطابق با شاخص عملکرد نسبی میراگر می دهد، که در نمودار (7)، (8) و (9) دیده می شود.

روابط (3) و (7) هر دو مفهومی در جهت کاهش نیروهای درون سازه و کاهش انرژی الاستیک سازه را دارند، بنابراین در نقطه بهینه لغزش ناشی از مینیمم این شاخص ها مطابق نمودارهای (7)، (8) و (9) باید حداقل میزان خسارت و اعضای که به تسلیم می رسند، وجود داشته باشد. با توجه به نتایج حاصله، عملکرد میراگر در هر سه ساختمان سه و پنج و هشت طبقه بسیار خوب بوده و تعداد اعضای را که در طی یک رویداد لرزه ای به تسلیم می رسند، را به شدت کاهش می دهد. به جز یک مورد در قاب پنج طبقه در تمام قابها و تمام زلزله ها، میزان خسارت برابر صفر شد. عملکرد میراگر با افزایش ارتفاع بهتر می‌شود، به طوری که با کاهش نیروی لغزش نیاز به پیش کشیدگی کمتری است، مقادیر نیروی لغزش بهینه در قاب سه طبقه 15 درصد، در قاب پنج طبقه 10 درصد و در قاب هشت طبقه 7/5 درصد به دست آمد. علت این امر نزدیک شدن پررود سازه مهارشده به سازه مهارنشده است، که موجب می شود سازه 8 طبقه رفتار قبلی خود را نیز داشته باشد، و میراگرها دوران بیشتری داشته باشند. این موضوع می تواند استفاده از مهارهایی همچون میله گرد و یا کابل را در کاربرد میراگر اصطکاکی دورانی توجیه کند.

ممکن است استفاده از یک شتاب نگاشت برای بررسی عملکرد میراگر مناسب نباشد، اما نتایج مربوط به مقدار میانگین نتایج به دست آمده از سه شتاب نگاشت قابل اطمینان است. هیچ نگرانی در مورد از کار افتادن میراگرها در شتاب های پایین تر وجود ندارد، به طوری که در شتاب های پایینتر و در نقطه عملکرد بهینه میراگر اتلاف 40 درصدی انرژی را توسط میراگر خواهیم داشت. دو شاخص کارایی میراگر و عملکرد نسبی میراگر جوابهای نسبتاً یکسانی داده است. این موضوع می تواند در مورد شاخص کارایی میراگر (که به دست آوردن آن ساده تر است) حائز اهمیت باشد. وزن میراگر و اجزای الحاقی به آن ممکن است به 2/5 درصد وزن اسکلت سازه نرسد، اما می تواند خرابی را در سازه به شدت کاهش دهد. این موضوع در بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود و همچنین به کارگیری در ساختمان های با اهمیت زیاد بسیار مهم است [8].

نتایج

- * استفاده از میراگر اصطکاکی دورانی موجب کاهش شدید میزان خسارت می شود.
- * با توجه به کاهش نیروی لغزش بهینه در ساختمان ها با پررود بالاتر، عملکرد میراگر اصطکاکی دورانی در ساختمان های بلند بهتر می شود.
- * برای بررسی دقیق میراگر و به دست آوردن نیروی لغزش بهینه می توان به میانگین پاسخ سه شتاب نگاشت مختلف اعتماد کرد.
- * دو شاخص کارایی میراگر و عملکرد نسبی میراگر جوابهای نزدیکی را دادند.

مراجع

- 1- Mualla, Imad And Bellev, Borislav, (2002) Performance of steel frames with a new friction damper device under earthquake excitation. Engineering Structures 24, 365–371.
- 2-Liao, Wen. Mualla, Imad And Loh, Chin, (2004) Shaking table test of a friction damped frame structure. Struct. Design Tall Spec. Build. 13, 45–54.

3- Chaidez , Servio Tulio de la Cruz, (2003) Contribution to the Assessment of the Efficiency of Friction Dissipators for Seismic of building. thesis, Barcelona, Spain

3- ویلسون، ادوارد ال - حبیب الله، اشرف - سهروردی، اقبال - موریس، رابرت (1380) تکنیک های عددی و حل گام به گام مسائلی در ETABS، SAP2000. SAFE . بابک کریمخانی، چاپ اول، انتشارات آذرباد

4- Mualla, Imad , (2002)Parameters Influencing the Behavior of a New Friction Damper Device. Technical University of Denmark, 2800 Lyngby, Denmark

5- Nielsen, Leif. Mualla, Imad, (2002) A Friction damping system Low order behavior and design. Report BYG·DTU, R-0302002, ISSN 1601-2917, ISBN 87-7877-090-4

6- Moreschi, Luis, (2000) Seismic Design of Energy Dissipation Systems for Optimal Structural Performance. Doctor of Philosophy in Engineering Mechanics, Blacksburg, Virginia

7- دفتر امور فنی و تدوین معیارها سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (1381) دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود. چاپ اول، انتشارات پژوهشکده بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

8- جلالی، سید قاسم، (1386) بررسی پارامتریک اثر میراگرهای اصطکاکی دورانی در قابهای ساختمانی با بادبندهای برون محور . پایان نامه کارشناسی ارشد،

دانشگاه مازندران