



پارامترهای موثر در کنترل پیچش ساختمان های نامتقارن توسط میراگرهای اصطکاکی

جمال الدین برزویی^۱، محمد رضا منصوری^۲، عبدالرضا سروقد مقدم^۳
(دریافت: ۸۸/۴/۳۱، پذیرش: ۸۸/۱۰/۱۰)

چکیده

نتایج حاصل از زلزله های گذشته نشان می دهد که پیچش سازه جزء عوامل موثر در خرابی سازه ها می باشد. یکی از روش های کاهش پاسخ های سازه، استفاده از تجهیزات استهلاک انرژی، نظیر میراگرها از جمله میراگر اصطکاکی می باشد. هدف از این مقاله بررسی پارامترهای موثر و روند تعیین مقادیر بهینه آن ها در کنترل پیچش ساختمان های نامتقارن توسط میراگرهای اصطکاکی می باشد. برای این منظور ساختمان های فولادی بر اساس یک مدل متقارن پایه به ازای خروج از مرکزیت های مختلف سختی و مقاومت، مشخصات میراگر اصطکاکی و چیدمان مختلف میراگر اصطکاکی با فرض توزیع بار لغزشی به صورت خطی بین میراگرها با نرم افزار OpenSees مدل شده و مورد تحلیل قرار گرفته اند و پاسخ های حاصل از ساختمان مجهز به میراگر برای حالات مختلف توزیع مقایسه شده اند و پارامترهای موثر در رفتار نظیر حالات بهینه ی وضعیت قرارگیری میراگرها و بار لغزشی بهینه میراگر اصطکاکی مورد مطالعه قرار گرفته اند. در نهایت نتیجه گرفته می شود در صورتی که پارامترهای ذکر شده در حالت بهینه در سازه با خروج از مرکزیت سختی مورد استفاده قرار گیرد میراگرهای اصطکاکی توانایی کنترل پیچش ضعیف و قوی سازه های نامتقارن را دارا می باشند.

کلمات کلیدی

پیچش سازه، ساختمان نامتقارن، استهلاک انرژی، میراگر اصطکاکی

Effective Parameters in Torsional Control of Irregular Building with Frictional Damper

J.Borzouie, M.R.Mansouri, A.S.Moghadam

ABSTRACT

Studying the behavior of asymmetric structures in past earthquakes shows that torsion was one of the main factors of failure of the buildings. One of the methods of reducing the responses of a structure is using energy dissipation devices. The main contribution of this study is determining of effective parameters and their values of friction dampers load to reduce the adverse effects of torsion in stiffness eccentric structures. For this purpose steel building models have been analyzed in OpenSees program for various stiffness and strength eccentricity and different distribution and properties of frictional dampers. Finally the responses of the structure have been compared for different cases of damper distribution and change in effective parameters that influence suitable distribution and optimum slip load of frictional dampers.

Key words

Torsion, Irregular Building, Energy Dissipation, Friction Damper

۱. کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، a.borzouie@iiees.ac.ir (نویسنده مسئول)
۲. دکترای مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، m.mansouri@iiees.ac.ir
۳. استادیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، moghadam@iiees.ac.ir



احتمال وقوع پیچش در یک سازه به دلیل عواملی نظیر ملاحظات معماری، عدم قطعیت در مولفه های جانبی و پیچشی می باشد. نتایج حاصل از زلزله های گذشته نشان از خرابی بالاتر سازه های نامتقارن نسبت به سازه های متقارن به دلیل تمرکز تغییر شکل الاستیک و غیر الاستیک در چند المان خاص می باشد [۱]. راه حلی که آیین نامه ها برای کنترل پیچش سازه نامتقارن پیشنهاد می کنند مبتنی بر کاهش خروج از مرکزیت سختی توسط تغییر سختی و مقاومت المان های مقاوم در برابر زلزله می باشد که با توجه به وارد شدن سازه به محدوده غیر خطی در زلزله های بزرگ از اعتبار روش فوق کاسته می شود. مقاومت یک سازه در برابر زلزله وابسته به سختی، شکل پذیری و میرایی آن سازه می باشد. میراگرها قابلیت تامین میرایی سازه بدون وارد شدن المان های سازه به قسمت غیرخطی را دارند. میراگرها در انواع گوناگون مانند میراگر اصطکاکی، ویسکوز، ویسکوالاستیک و جاری شونده می باشند. در این تحقیق میراگر اصطکاکی مورد ارزیابی قرار می گیرد.

بعد از معرفی اولین میراگر در سال ۱۹۸۲ توسط پال و مارش ساخت انواع میراگرهای اصطکاکی و کاربرد آن ها در بهبود عملکرد سازه روز به روز گسترش یافت [۲]. فیتزگرالد و همکاران در سال ۱۹۸۹ اتصالات پیچ دار شیاردار که مبتنی بر استهلاک انرژی بین ورق های فولادی است را معرفی کردند [۳]. مولا در سال ۲۰۰۰ نوع جدیدی از میراگر اصطکاکی که عملکرد آن مبتنی بر اصطکاک حاصل از دوران مهاربند در قسمت اتصال میباشد را معرفی کرد [۴].

کاهش پاسخ سازه مجهز به میراگر اصطکاکی ناشی از ترکیبی از سختی و میرایی ناشی از عملکرد میراگر اصطکاکی و مهاربند متصل به آن می باشند. تا زمانی که لغزش در میراگر رخ نداده باشد سختی مهاربند مجهز به

میراگر حاکم بر عملکرد سازه می باشد هنگامی که نیرو در میراگر از بار لغزشی از پیش تعیین شده فراتر رود استهلاک انرژی به دلیل لغزش در میراگر در سازه حاصل می گردد. با معرفی میراگرهای اصطکاکی مختلف مطالعه بر عملکرد و اصول طراحی سازه مجهز به میراگر اصطکاکی گسترش یافت. در سال ۱۹۹۳ اسکال به بیان میرایی بهینه برای یک سازه پرداخت [۵]. در سال ۱۹۹۳ چری روشی را برای تخمین سریع بار لغزشی میراگرهای اصطکاکی ارائه داد [۶]. در سال ۲۰۰۰ یوامین و چری مطالعاتی را در زمینه طراحی سازه های با میراگرهای اصطکاکی با استفاده از روش بار جانبی انجام دادند [۷]. در سال ۲۰۰۵ روبرت لوی و همکاران روشی را برای طراحی قاب های مهاربندی شده به وسیله ی میراگرهای اصطکاکی بر اساس رکوردهای مختلف زلزله ارائه کردند [۸]. در سال ۲۰۰۶ کیم و چو روشی را برای بهسازی سازه های مجهز به میراگر اصطکاکی بر اساس جابه جایی طبقه آخر مطرح کردند [۹].

کاربرد میراگر اصطکاکی برای کنترل پیچش سازه نامتقارن نیز مورد توجه تعدادی از محققین قرار داشته است. در سال ۱۹۹۱ و ۲۰۰۰ پکاو و همکاران مطالعاتی را در زمینه کنترل پیچش سازه ی نامتقارن به وسیله ی میراگر اصطکاکی انجام دادند که نتایج آن منجر به ارائه مکان بهینه میراگر و بار لغزشی بهینه شد [۱۰ و ۱۱]. در سال ۲۰۰۵ مطالعات دلارا و همکاران بر روی کنترل پیچش سازه نامتقارن با استفاده از میراگرهای اصطکاکی منجر به معرفی مرکز تعادل تجربی به عنوان شاخص مناسب از عملکرد سازه مجهز به میراگر اصطکاکی و بررسی مکان بهینه مرکز تعادل تجربی شد [۱۲].

در بررسی حاضر عملکرد میراگر اصطکاکی در بهبود عملکرد سازه نامتقارن مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این هدف میراگرهای اصطکاکی با بارهای لغزشی مختلف و چیدمان های مختلف برای کنترل پیچش سازه نامتقارن به سازه با خروج از مرکزیت های سختی و مقاومت مختلف



سیستم های مجهز به میراگر بر اساس FEMA450(2003) استفاده شده است [۱۳].

۲-۲- مدل های نامتقارن

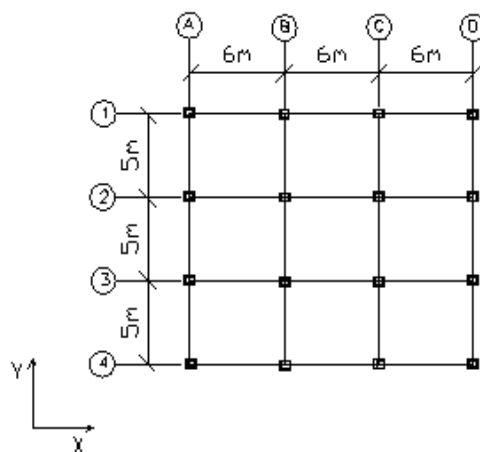
مدل های نامتقارن بر اساس خروج از مرکزیت سختی و مقاومت ایجاد شده است. مدل حول محور X متقارن و نامتقارنی ها حول محور Y اعمال شده است. بر این اساس ابعاد مقاطع تیر و ستون در دو قاب نزدیک به لبه سخت (قاب های محور A,B شکل ۱) افزایش و دو قاب نزدیک به لبه نرم (قاب های محور C,D شکل ۱) کاهش داده شده است. این تغییرات به صورتی اعمال شده است که مقاومت نهایی در راستای Y نسبت به مدل اولیه ثابت بماند. لازم به ذکر است که در تمامی مدل ها خروج از مرکزیت جرمی در راستای X,Y برابر صفر می باشد. مشخصات مدل های مورد استفاده در جدول شماره ۱ آمده است. در این جدول e_s خروج از مرکزیت سختی، e_r خروج از مرکزیت مقاومت، T_y زمان تناوب جانبی، T_0 زمان تناوب پیشگی T_1 و T_2 زمان تناوب اول و دوم سازه می باشد. لازم به ذکر است که لبه ای از دیافراگم که مرکز جرم بین آن لبه و مرکز دوران است به عنوان لبه نرم و لبه مقابل به عنوان لبه سخت نامگذاری میگردد. در ساختمان یک طبقه مرکز سختی دران منطبق بر یکدیگر می باشند.

اضافه شده و توسط برنامه OpenSees تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی تحت ۷ زلزلهی مختلف بر روی آن ها انجام شده است. در نهایت بار لغزشی بهینه و مرکز بار لغزشی بهینه میراگرهای اصطکاکی برای خروج از مرکزیت های سختی متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مدل های تحلیلی

۲-۱- مدل متقارن پایه

در این مطالعه سازه فولادی قاب خمشی با مهاربند مجهز به میراگر اصطکاکی در یک طبقه به ارتفاع ۳/۳ متر که در هر راستا ۳ دهانه دارد مورد بررسی قرار گرفته است. پلان سازه در شکل شماره (۱) نشان داده شده است:



شکل (۱): پلان سازه مورد مطالعه

سازه اولیه به صورت قاب خمشی بر اساس آیین نامه فولاد ایران و استاندارد ۲۸۰۰ برای حالت متقارن برای منطقه ای با پهنه خطر نسبی بسیار زیاد ($A=0.35g$) و خاک سخت ($T_s=0.5sec$) طراحی شده است. در طراحی از ضوابط کاهش برش پایه برای

جدول (۱): مشخصات مدل های ۱ تا ۶

Model No	% e_s	% e_r	YStength (ton)	T_y (sec) (Uncoupled)	T_θ (sec) (Uncoupled)	T_1 (sec)	T_2 (sec)
1	-5.0	-5.0	153.2	0.3919	0.3061	0.3973	0.3036
2	-10.0	-10.0	152.8	0.396	0.3091	0.4146	0.3005
3	-10.0	-5.0	152.4	0.3895	0.3063	0.4112	0.297
4	-15.0	-10.0	152.8	0.386	0.3045	0.4331	0.2867
5	-20.0	-15.0	153.2	0.3817	0.3007	0.4607	0.2751
6	-25.0	-20.0	153.4	0.3655	0.2946	0.4944	0.2589

۲-۳- توزیع میراگرها:

میراگرهای اصطکاک با قرار گیری در مهاربندهای در راستای Y به سیستم اضافه شده اند. برای توزیع میراگرها بین مدل های مختلف فرض های زیر در نظر گرفته شده است:

۱- برای بررسی اثر تغییر مشخصات میراگر اصطکاک (بار لغزشی) بر عملکرد سازه مقطع مهاربندها در تمام مدل ها یکسان فرض شده است .

۲- با گذشت زمان، تغییرات دما و اثرات محیطی باعث تغییر در مقدار بار لغزشی به میزان حداکثر $\pm 15\%$ می شود. بنابراین بار لغزشی نهایی میراگرهای اصطکاک 15% کمتر از نیروی کمانش مهاربند فرض می شود. تا لغزش در میراگر اصطکاک قبل از کمانش مهاربند رخ دهد.

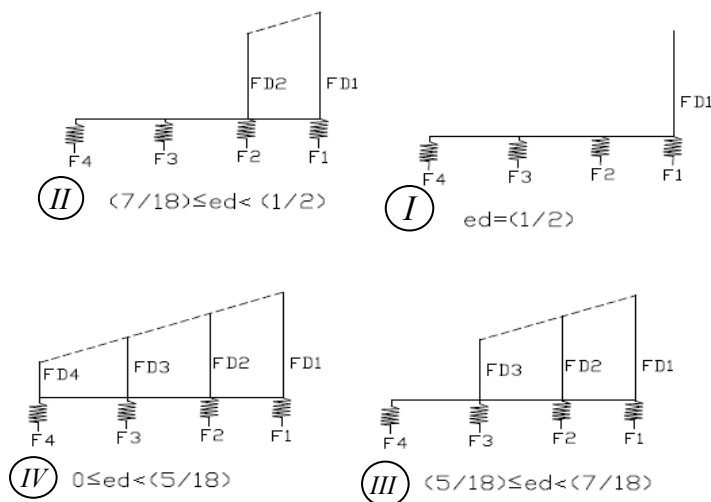
۳- برای اعمال خروج از مرکزیت بار لغزشی، توزیع بار لغزشی بین میراگرهای اصطکاک به صورت خطی فرض شده است. برای بررسی عملکرد میراگر اصطکاک مرکز بار لغزشی بین $0.5 \leq e_d \leq -0.5$ تغییر می کند. مرکز بار لغزشی در هر مرحله برابر است با:

$$e_d = \frac{1}{\sum SL} \left(\sum_{i=1}^4 SL_i \times X_i \right)$$

که SL برابر نیروی است که میراگر اصطکاک تحت آن نیرو شروع به لغزش و استهلاک انرژی می کند و اصطلاحاً بار لغزشی نامیده می شود، X فاصله میراگر اصطکاک و مرکز

جرم می باشد. بنابر این توزیع میراگرهای اصطکاک مطابق شکل (۲) در نظر گرفته می شود. همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است بر اساس خروج از مرکزیت بار لغزشی و با فرض توزیع بار لغزشی بین میراگرهای اصطکاک چهار چیدمان کلی میراگرهای اصطکاک در نظر گرفته شده است. در هر مرحله بار لغزشی میراگر شماره ۱ را بر اساس درصدی از بار کمانش مهاربند اختصاص داده و در مرحله بعد به ازای خروج از مرکزیت بار لغزشی مختلف در بازه $0.5 \leq e_d \leq -0.5$ با گام های $\Delta e_d = 0.05$ مرکز بار لغزشی میراگرهای اصطکاک و در نتیجه بار لغزشی میراگر های شماره ۲، ۳، ۴ تغییر داده می شود. برای بررسی عملکرد سازه مجهز به میراگر اصطکاک بر این اساس بار لغزشی میراگر شماره ۱ (بیشترین بار لغزشی در هر مرحله) بر اساس درصدی از مقاومت جانبی سازه (R_y) برابر مقادیر: $0.5 - 4 - 8 - 12 - 16 - 20 - 24 - 28 - 32 - 36 - 40$ تن انتخاب شده است.





شکل (۲): توزیع بار لغزشی بین میراگرهای اصطکاکی بر اساس خروج از مرکزیت بار لغزشی

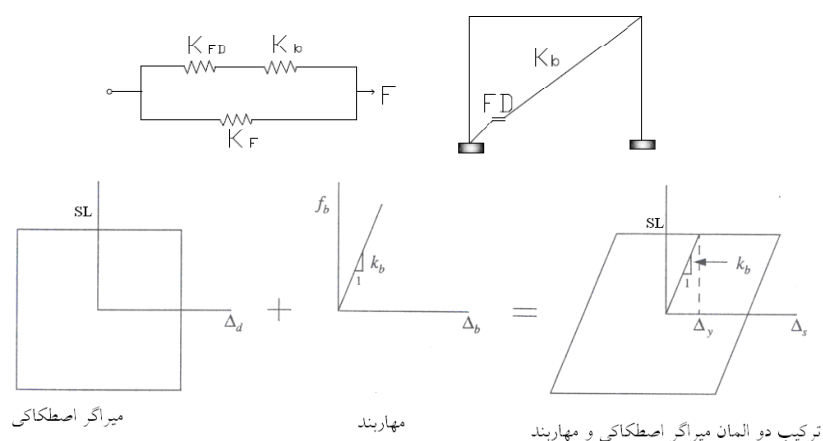
۲-۴- مدل‌سازی میراگر اصطکاکی

برای مدل‌سازی میراگر اصطکاکی، میراگر اصطکاکی و مهاربند به صورت یک المان ترکیبی در نظر گرفته می‌شود. تا قبل از لغزش میراگر اصطکاکی سختی المان مجموع برابر سختی مهاربند می‌باشد. بعد از لغزش سختی المان ترکیبی صفر می‌باشد. همچنین با توجه به این که بیشترین مقدار بار لغزشی میراگر اصطکاکی کمتر از نیرویی است که باعث کمانش مهاربند می‌شود بنابراین نقطه تسلیم این المان دو خطی برابر بار لغزشی میراگر اصطکاکی می‌باشد. برای مدل‌سازی المان ترکیبی در برنامه OpenSees از المان truss با اختصاص hysteretic material استفاده شده است. برای

مدلسازی تیرها و ستون‌ها از المان فیبری و فولاد با مقاومت سخت شونده استفاده شده است. مدل‌سازی ترکیب میراگر و قاب در شکل (۳) نشان داده شده است. K_B معرف سختی مهاربند، K_F سختی قاب، SL بار لغزشی میراگر اصطکاکی، K_{FD} سختی میراگر اصطکاکی که برابر بینهایت می‌باشد.

۲-۵- مشخصات رکورد زلزله‌های مورد استفاده

تحلیل تاریخیچه زمانی تحت زلزله‌های جدول (۲) انجام شده است. که به شتاب $0.75g$ هم پایه شده‌اند و به مدل‌ها در راستای Y اعمال شده‌اند. کلیه شتابنگاشت‌ها از نوع دور از گسل بوده و بر روی خاک سخت نوع B (بر طبق مشخصات NEHRP) برداشت شده‌اند.



شکل (۳): عملکرد ترکیبی میراگر اصطکاکی و مهاربند

جدول (۲): مشخصات زلزله های مورد استفاده در تحلیل تاریخیچه زمانی

No.	Earthquake	Year	Magnitude	Duration(sec)	PGA (g)	Site	Distance
1	Chi-Chi	1999	7.6m	35	0.413	TCU047	33
2	Manjil	1990	7.4mw	25	0.184	Qazvin	49
3	Imperial Valley	1979	6.5m	40	0.169	Cerro Prieto	26.5
4	Kern County	1952	7.4mw	25	0.175	Taft	41
5	N. Palm Spring	1986	6m	20	0.228	San Jacinto	32
6	Northridge	1994	6.7m	20	0.256	LA-Century	25.4
7	San Fernando	1971	6.6m	20	0.324	Castaic	25

۳- نتایج تحلیل

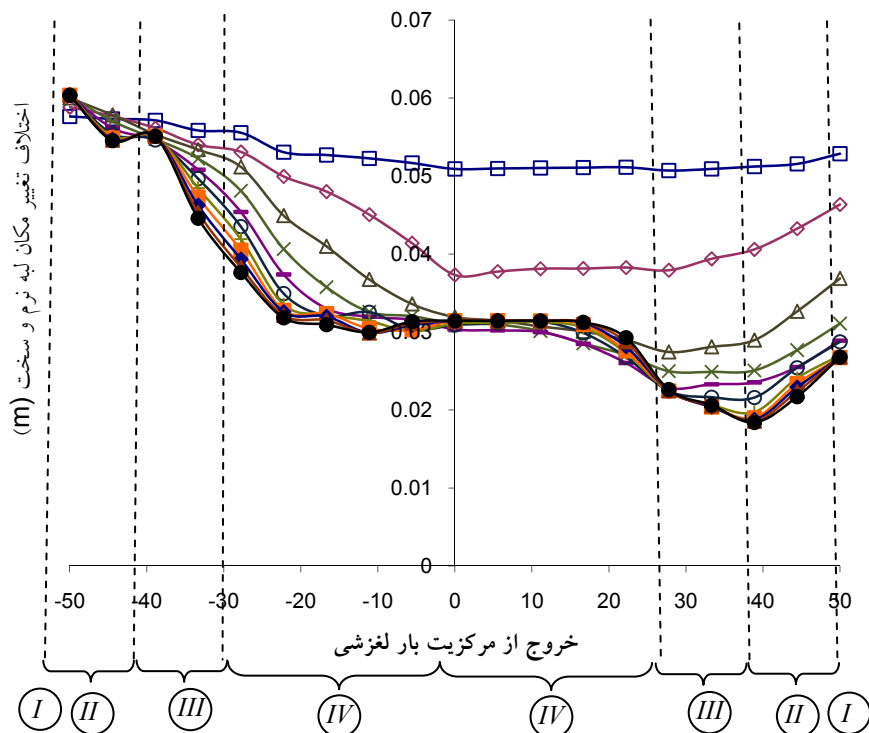
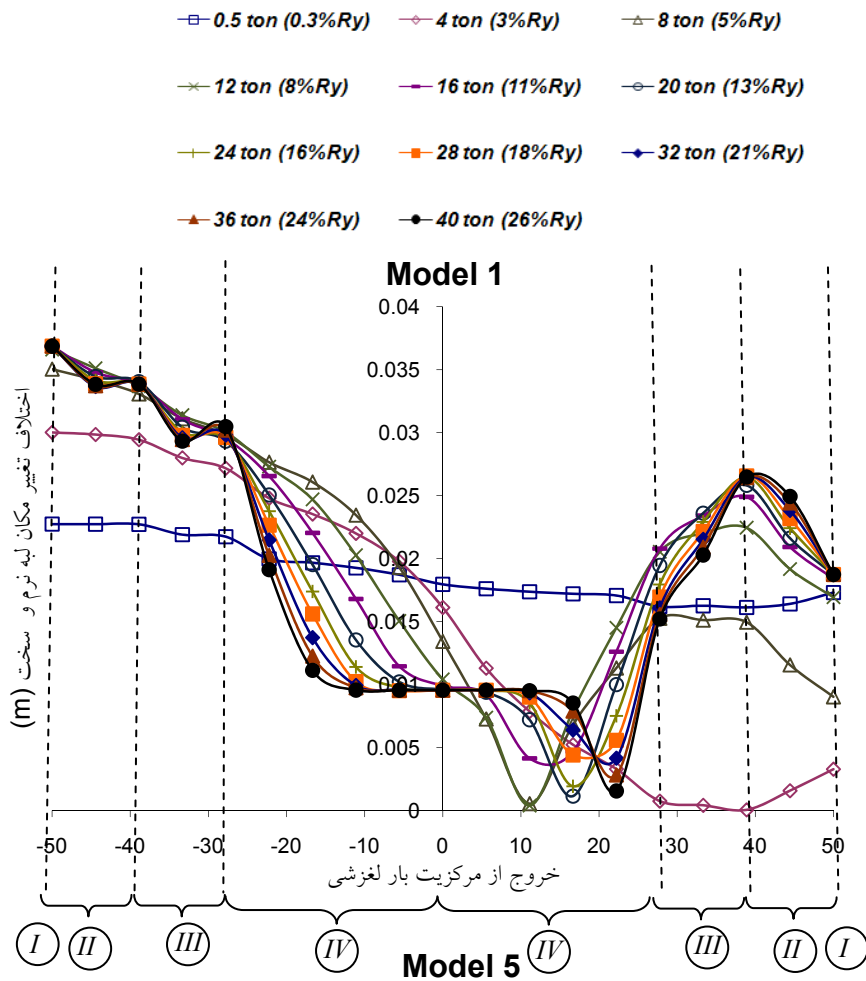
برای ۷ زلزله انجام شده است و نتایج میانگین حاصل از ۷ زلزله می باشد. که u_{right} تغییر مکان لبه نرم، u_{left} تغییر مکان لبه سخت و θ_{CM} دوران مرکز جرم می باشد. در شکل ۴ اختلاف تغییر مکان لبه نرم و سخت سازه نامتقارن به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی و مرکز بار لغزشی در مدل ۱ و ۵ نشان داده شده است. اعداد پایین نمودار بیانگر تعدا قاب مجهز به میراگر اصطکاکی بر اساس شکل (۲) می باشد.

$$RATIO1 = \frac{\left(\left\| E(u_{right})_{max} \right\| - \left\| E(u_{left})_{max} \right\| \right)_{withFD}}{\left(\left\| E(u_{right})_{max} \right\| - \left\| E(u_{left})_{max} \right\| \right)_{withoutFD}} \quad (1)$$

$$RATIO2 = \frac{(\theta_{cm})_{withFD}}{(\theta_{cm})_{withoutFD}} \quad (2)$$

برای بررسی عملکرد میراگر اصطکاکی برای هر کدام از مدل های ۱ تا ۶ مرکز بار لغزشی از ۹- متر تا ۹+ متر (۱۹ نقطه) تغییر و بار لغزشی میراگر شماره ۱ (بیشترین بار لغزشی در هر مرحله) بر اساس درصدی از مقاومت جانبی سازه (R_p) برابر مقادیر: ۰/۵-۸-۱۲-۱۶-۲۰-۲۴-۲۸-۳۲-۳۶-۴۰ تن انتخاب شده است. برای تعادل پیچشی در یک سازه نامتقارن لازم است که در ابتدا تغییر مکان لبه سخت و نرم را حداقل کرد (تعادل پیچشی ضعیف) و در مرحله بعد مقدار تغییر مکان لبه ها را کاهش داد. (تعادل پیچشی قوی) در این مطالعه بیشینه اختلاف تغییر مکان دو لبه به عنوان شاخص برای ارزیابی تعادل پیچشی ضعیف استفاده شده است. شاخص RATIO1 اختلاف بیشینه تغییر مکان لبه نرم و سخت در حالت سازه مجهز به میراگر اصطکاکی نسبت به سازه بدون میراگر اصطکاکی (رابطه ۱) که به صورت غیر همزمان بررسی شده و برای ارزیابی تعادل پیچشی ضعیف مطرح شده است. دوران مرکز جرم به عنوان شاخصی برای ارزیابی تعادل پیچشی قوی مطرح شده است که بر این اساس شاخص RATIO2 که نشانگر دوران مرکز جرم در حالت سازه مجهز به میراگر اصطکاکی نسبت به سازه بدون میراگر اصطکاکی (رابطه ۲) مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل ها





شکل ۴: اختلاف تغییر مکان لبه نرم و سخت بر حسب مرکز بار لغزشی برای مقادیر مختلف بار لغزشی (SL) در مدل های ۱ و ۵

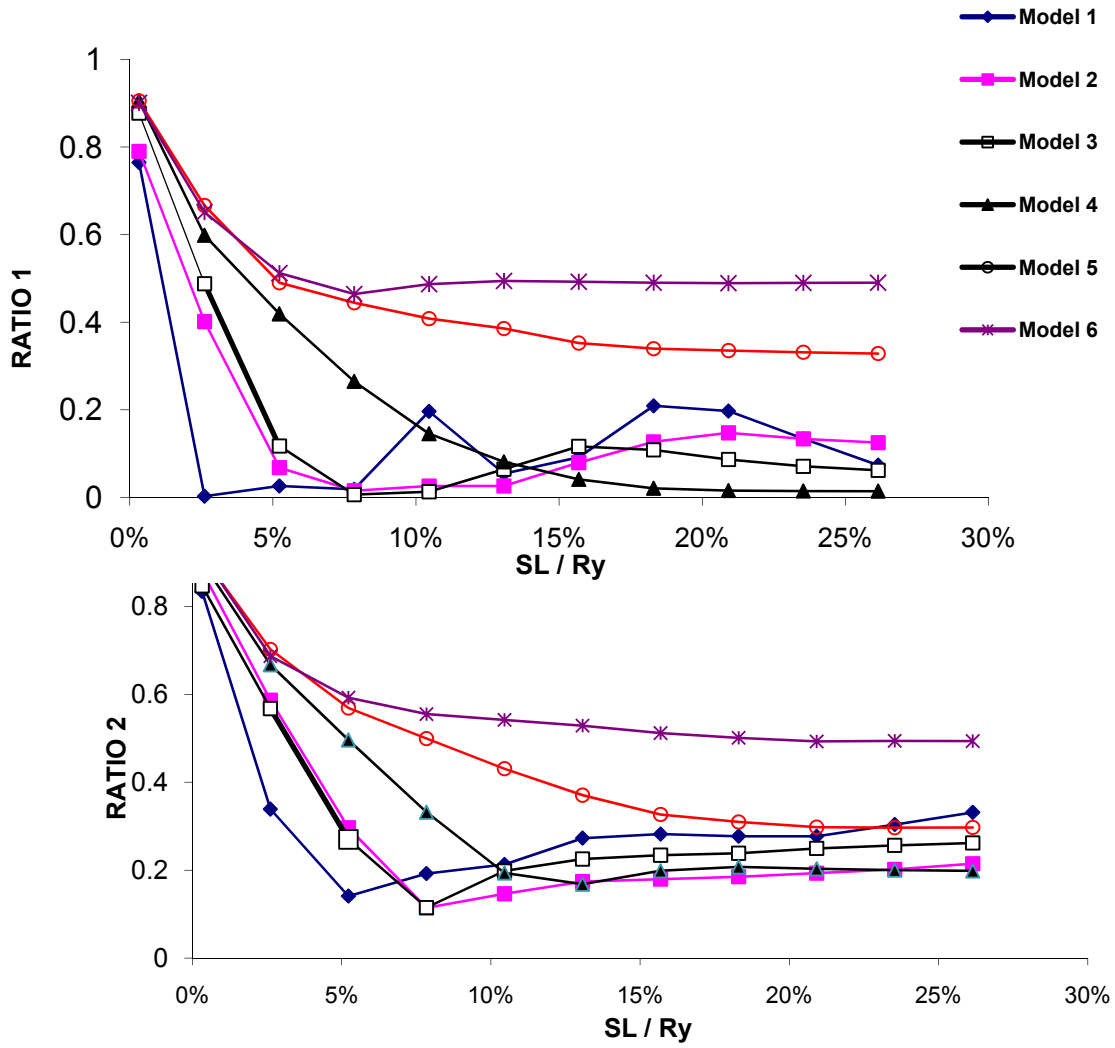
بر اساس شکل (۴) در مدل شماره ۱ مرکز بهینه بار لغزشی به ازای تمام بارهای لغزشی در لبه نرم و در حالتی که تمام قاب‌ها مجهز به میراگر اصطکاکی باشند قرار می‌گیرد. اختلاف قابل توجه پاسخ در بارهای لغزشی مختلف به ازای مرکز بار لغزشی ثابت در ناحیه IV نشان می‌دهد که میراگرهای اصطکاکی در این قسمت لغزش کرده و تعادل پیچشی به وسیله استهلاك انرژی حاصل از میراگر اصطکاکی می‌باشد. برای مدل شماره ۵ مرکز بهینه بار لغزشی در لبه نرم در ناحیه II قرار می‌گیرد. اختلاف ناچیز پاسخ در این ناحیه به ازای بارهای لغزشی مختلف در مرکز بار لغزشی ثابت نشان می‌دهد که مقدار لغزش میراگرهای اصطکاکی ناچیز بوده و تعادل پیچشی ناشی از سختی مهاربندها می‌باشد.

در شکل (۵) تغییرات پاسخ سازه با بار لغزشی برای خروج از مرکزیت های مختلف سختی و مقاومت نشان داده شده است. بر این اساس پاسخ سازه نامتقارن به ازای مقادیر مختلف بار لغزشی بستگی به میزان خروج از مرکزیت دارد. بر همین اساس دو پاسخ کلی را می‌توان مطابق شکل (۶) در نظر گرفت:

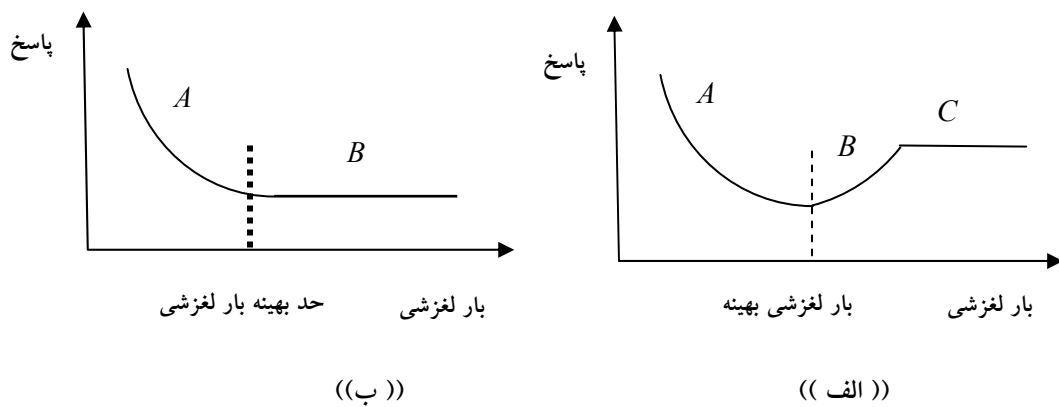
در حالت اول پاسخ ساده شده سازه با خروج از مرکزیت های سختی و مقاومت پایین (مدل ۱-۲-۳) مطابق شکل (۶-الف) می‌باشد در بارهای لغزشی پایین با کوچکترین نیروی لغزش رخ می‌دهد و عملاً اثر سختی مهاربندها در عملکرد سازه مجهز به میراگر اصطکاکی ناچیز می‌باشد. افزایش بار لغزشی باعث افزایش استهلاك انرژی در میراگر اصطکاکی و همچنین وارد شدن اثر سختی مهاربند و در نتیجه بهبود عملکرد سازه مجهز به میراگر اصطکاکی می‌شود که علت شیب منفی قسمت A همین موضوع می‌باشد. با افزایش بار لغزشی پاسخ سازه به کمترین مقدار ممکن می‌رسد که بار لغزشی معادل این نقطه برابر بار لغزشی بهینه (Optimum Slip Load) می‌باشد. در بارهای لغزشی بالا نیروی لازم برای لغزش میراگر اصطکاکی بالاتر می‌باشد بنابراین مقدار استهلاك انرژی توسط میراگر اصطکاکی کاهش می‌یابد. در

قسمت B در شکل (۶-۱) افزایش بار لغزشی باعث کاهش استهلاك انرژی می‌شود بنابراین با افزایش بار لغزشی مقدار پاسخ سازه افزایش یابد. در نهایت برای قسمت C مقدار لغزش میراگر اصطکاکی محدود می‌باشد که باعث می‌شود کاهش پاسخ تابع سختی مهاربند اصطکاکی باشد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که در سازه های با خروج از مرکزیت سختی و مقاومت پایین نقطه تعیین کننده کمترین پاسخ، تابع اثر استهلاك انرژی میراگرهای اصطکاکی می‌باشد و اثر سختی مهاربند ناچیز می‌باشد. در حالت دوم برای سازه با خروج از مرکزیت سختی و مقاومت بالا (مدل ۴-۵-۶) در شکل (۶-ب) نشان داده شده است. قسمت A این نمودار مشابه قسمت A شکل (۶-الف) می‌باشد. با افزایش بار لغزشی پاسخ سازه به کمترین مقدار ممکن می‌رسد و بعد از این نقطه تغییر بار لغزشی تغییری در پاسخ سازه ایجاد نمی‌کند. بار لغزشی معادل این نقطه برابر، حد بهینه بار لغزشی می‌باشد. در قسمت B افزایش بار لغزشی باعث تغییر در استهلاك انرژی میراگر نمی‌شود و سختی مهاربند عامل اصلی تعادل پیچشی در سازه‌های با خروج از مرکزیت زیاد می‌باشد.

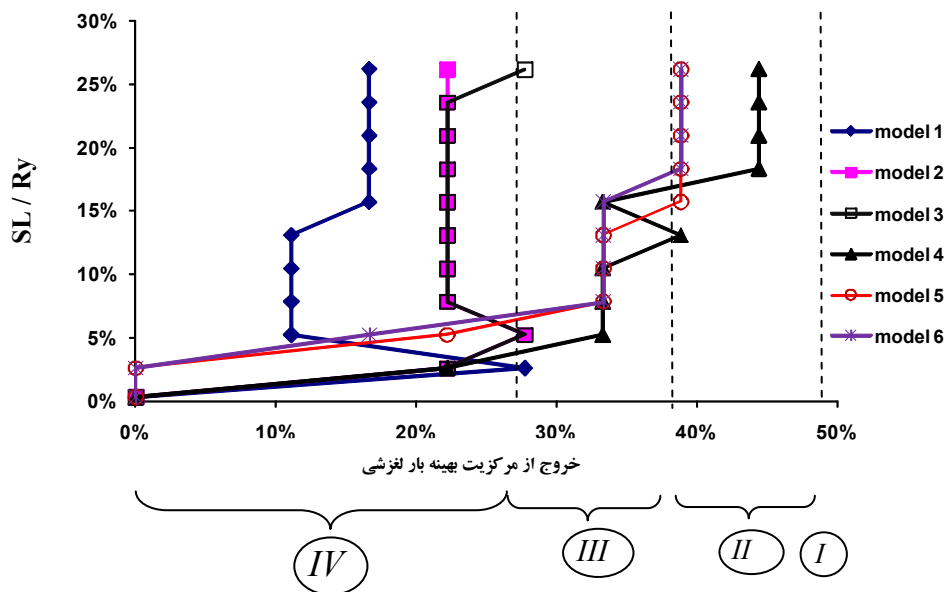
بر اساس جدول (۱) مرکز سختی مدل شماره ۲ و ۳ یکسان بوده (۱۰٪) و دارای مرکز مقاومت متفاوتی می‌باشند (۱۰٪ و ۵٪) با توجه به اختلاف ناچیز پاسخ‌های مدل شماره ۲ و ۳ در بارهای لغزشی مختلف در شکل شماره ۵ مشخص است که می‌باشد در مورد مدل‌ها و سطح زلزله در نظر گرفته شده در این مطالعه محدوده رفتار غیر خطی حاکم بر عملکرد سازه نمی‌باشد. در بارهای لغزشی پایین به دلیل این که سازه وارد حالت غیر خطی می‌شود این اختلاف زیاد می‌باشد.



شکل (۵): پاسخ سازه - بار لغزشی برای خروج از مرکزیت های مختلف سختی و مقاومت بر اساس RATIO1 و RATIO2



شکل (۶): تغییرات پاسخ - بار لغزشی



شکل (۷): بار لغزشی بهینه برای خروج از مرکزیت های مختلف سختی و مقاومت

اصطکاک و استهلاک انرژی حاصل از میراگر اصطکاک می- باشد.

۲- نسبت درصد مشارکت سختی مهاربند متصل به میراگر اصطکاک و استهلاک انرژی حاصل از میراگر اصطکاک در کاهش پاسخ سازه نامتقارن وابسته به : مقدار بار لغزشی میراگر های اصطکاک، خروج از مرکزیت بار لغزشی میراگر های اصطکاک و خروج از مرکزیت سختی و مقاومت سازه نامتقارن می باشد.

۳- روند کلی تغییرات پاسخ نسبت به بار لغزشی وابسته به مقدار خروج از مرکزیت سختی و مقاومت می باشد.

۴- تغییرات پاسخ سازه با بار لغزشی برای سازه با خروج از مرکزیت سختی و مقاومت کم مطابق شکل (۸) می باشد.

لازم به ذکر است که حداقل پاسخ در بار لغزشی بهینه به دست می آید.

در شکل (۷) مرکز بهینه بار لغزشی به ازای مقادیر مختلف خروج از مرکزیت سختی و مقاومت و بار های لغزشی مختلف نشان داده شده است. اعداد نشان داده شده در قسمت پایین نمودار بیانگر تعداد قاب مجهز به مهاربند و میراگر اصطکاک بر اساس شکل (۲) می باشد.

همانطور که در شکل (۷) مشخص است مرکز بهینه بار لغزشی برای خروج از مرکزیت های کم در قسمت IV قرار می گیرد. که نشان می دهد که تمام قاب ها مجهز به میراگر اصطکاک می باشند. با افزایش مقدار خروج از مرکزیت سختی و مقاومت مرکز بهینه بار لغزشی به سمت لبه نرم حرکت می کند و بنابر این تعداد قاب های مجهز به مهاربند و میراگر اصطکاک مطابق شکل (۲) کاهش می یابد. لازم به ذکر است که این نتایج کاملاً منطبق بر نمودارهای شکل (۴) می- باشد.

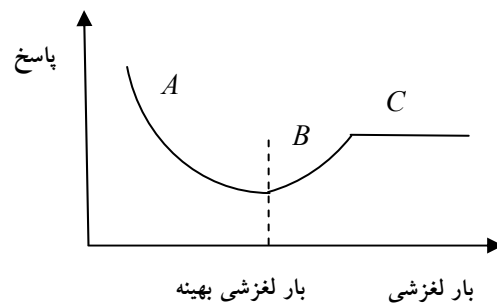
۴- جمع بندی

۱- تعادل پیشگی در سازه نامتقارن به وسیله میراگر های اصطکاک به وسیله اثر توام سختی مهاربند متصل به میراگر

باشد لذا لازم است که مشخصات مهاربند متصل به مهاربند نیز مورد بررسی قرار بگیرد که می تواند موضوع مطالعات آتی باشد.

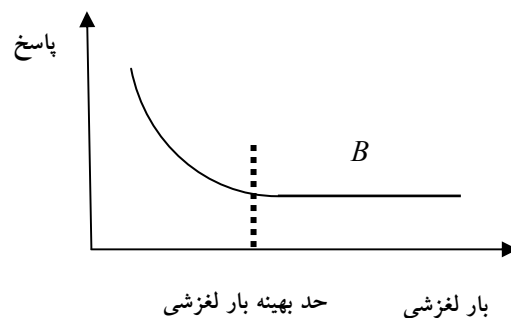
۵- مراجع

1. De la lera J.C et al "Torsional balance asymmetric structures with frictional dampers: analytical results", earthquake engineering and structural dynamics 2005; 34:1089-1108
2. Pall S , Marsh C "Response of friction damped braced frames " journal .of structural engineering 1982;108(6) :1313-1323
3. Fitzgerald T.F et al " Slotted bolted connection in a seismic design for concentrically braced connections "earthquake spectra 1989;5(2):
4. Mualla I.H "Experimental and computational evaluation of novel friction damper device ";PHD thesis Dept of structural engineering and materials ,technical university of Denmark 2000.
5. Scholl R "Fundamental design issues for supplemental damping applications" Earthquake spectra 1993;9(3)
6. Morsechi M.P, Singh " Design of yielding metallic and friction dampers for optimal seismic performance" earthquake engineering and structural dynamics 2003;32():1291-1311
7. Yoamin Fu, Sheldon C " Design of friction damped structures using lateral force procedure" earthquake engineering and structural dynamics 2000; 29():989-1010
8. Levy R , Lavan O,Rutenberg A " Seismic design of friction-damped braced frames based on historical records" earthquake spectra 2005; 21(3):761-778
9. Kim J, Choi H "Displacement based design of supplemental dampers for seismic retrofit of a framed structure" journal of structural engineering 2006; 132(6) :873
10. Pekau O ,Grimond R " Controlling seismic response of eccentric structures by friction dampers "earthquake engineering and structural dynamics 1991; 20() :505 -521
11. Pekau O et al "Improved deployment of friction dampers in asymmetric multistory buildings" 12 WCEE 2000
12. De la Llera J.C et al " Torsional balance of plan asymmetric structures with frictional dampers: analytical results", earthquake engineering and structural dynamics 2005 ;34():1089-1108
13. FEMA, 450, The 2003 NEHRP Recommended Provisions For New Buildings And Other Structures, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.



شکل (۸): تغییرات پاسخ - بار لغزشی برای سازه با خروج از مرکزیت سختی و مقاومت کم

۵- تغییرات پاسخ سازه با بار لغزشی برای سازه با خروج از مرکزیت سختی و مقاومت زیاد مطابق شکل (۹) می باشد. تغییرات پاسخ بعد از حد بهینه بار لغزشی محدود می باشد.



شکل (۹): تغییرات پاسخ - بار لغزشی برای سازه با خروج از مرکزیت سختی و مقاومت زیاد

۶- اختلاف پاسخ در خروج از مرکزیت های سختی یکسان و خروج از مرکزیت مقاومت متفاوت ناچیز می باشد که نشان می دهد در مورد مدل ها و سطح زلزله در نظر گرفته شده در این مطالعه محدوده رفتار غیر خطی حاکم بر عملکرد سازه نمی باشد. در بارهای لغزشی پایین به دلیل این که سازه وارد حالت غیر خطی می شود این اختلاف زیاد می باشد.

۷- برای خروج از مرکزیت سختی ۲۵٪، بیشترین کاهش پاسخ در بار بهینه لغزشی نسبت به سازه بدون میراگر ۴۰٪ می باشد. بنابر این مشخص می شود که با افزایش خروج از مرکزیت سختی تنها تغییر مشخصات میراگر اصطکاکی (بار لغزشی، مرکز بار لغزشی) نمی تواند کنترل کننده پاسخ سازه