



تحلیل ساختمانهای فولادی ۴ و ۸ طبقه مجهز به میراگر اصطکاکی

با استفاده از نرم افزار ABAQUS

هدی میرسیفی^۱، مهدی اژدری مقدم^۲، منصور قلعه نوی^۳،

بهروز کشتگر^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی زاهدان

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشجوی دکتری دانشگاه سیستان و بلوچستان

usb.mirseifi@gmail.com

چکیده

معمولاً طراحی ساختمانها در برابر زلزله های قوی بر این اساس استوار است که سازه بتواند با شکل پذیری خود انرژی زلزله را جذب و مستهلک نماید. در سالهای اخیر به توسعه ابزار موثر در استهلاک انرژی لرزه های القاء شده در سازه اهمیت بیشتری داده شده است به نحوی که پاسخ سازه در نهایت الاستیک باقی بماند. مقدار انرژی سازه به چندین عامل بستگی دارد که برخی از آنها با مشخصات حرکت زمین مانند خصوصیات دامنه، محتوای فرکانسها، دوام زلزله و... خصوصیات سازه مثل خواص دینامیکی سازه مانند پیوند طبیعی و میرایی و خواص مقاومت و... مرتبط می باشد. استفاده از مستهلک کننده انرژی بعلت افزایش میرایی، کاهش دامنه نوسان سازه و به دنبال آن کاهش پاسخ لرزه ای آن می باشد. میراگر اصطکاکی یکی از انواع میراگرهای غیرفعال است که در محل تقاطع مهاربندری ضربداری این نوع میراگر مورد استفاده قرار گرفته و طوری طراحی می شود که حین زلزله های خفیف یا پاد نلغزد اما حین زلزله های شدید تحت نیروی از پیش تعیین شده، شروع به لغزش می کند. این لغزش، انرژی ورودی را بطور مکانیکی تلف می کند و از جاری شدن مهاربند و دیگر عضوهای سازه جلوگیری می کند، بنابراین عملکرد استفاده بی وقفه سازه را بعد از رخداد زلزله مهیا می کند. میرایی، انرژی جنبشی را جذب و از تشدید (فرکانس طبیعی سازه منطبق بر فرکانس زمین لرزه) جلوگیری می کند. اساس روش استفاده از این نوع میراگر بر پایه افزایش میرایی و کاهش دامنه نوسان و به دنبال آن کاهش پاسخ لرزه ای استوار است. این نوع میراگر نیرویی ثابت در خلاف جهت حرکت ساختمان وارد می کند که با حرکت ساختمان مخالفت می کند. در این میان انتخاب میراگرهای غیرفعال به خاطر کم هزینه بودن و تکنولوژی مناسبتر نسبت به میراگرهای فعال و امکان استفاده آنها در داخل کشور، ارجحیت دارد. بر این اساس، در این مقاله با استفاده از مدلسازی ساختمانهای ۴ و ۸ طبقه مجهز به میراگر اصطکاکی که تحت تاثیر زلزله طبس و السنترو قرار گرفته اند، با استفاده از نرم افزار ABAQUS تحلیل دینامیکی غیرخطی بصورت دو بعدی انجام گردیده و پاسخ این نوع سازه ها بازای میراگر موجود مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: میراگر فعال، میراگر غیرفعال، جداساز لرزه ای، میراگر اصطکاکی، نرم افزار ABAQUS



تحلیل ساختمانهای فولادی ۴ و ۸ طبقه مجهز به میراگر اصطکاکی با استفاده از نرم افزار ABAQUS

هدی میرسیفی^۱، دکتر مهدی اژدری مقدم^۲، دکتر منصور قلعه نوی^۳، مهندس بهروز کشتگر^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی زاهدان

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشجوی دکتری دانشگاه سیستان و بلوچستان

Usb.mirseifi@gmail.com

خلاصه

معمولاً طراحی ساختمانها در برابر زلزله های قوی بر این اساس استوار است که سازه بتواند با شکل پذیری خود انرژی زلزله را جذب و مستهلک نماید. در سالهای اخیر به توسعه ابزار موثر در استهلاک انرژی لرزه های القاء شده در سازه اهمیت بیشتری داده شده است به نحوی که پاسخ سازه در نهایت الاستیک باقی بماند. مقدار انرژی سازه به چندین عامل بستگی دارد که برخی از آنها با مشخصات حرکت زمین مانند خصوصیات دامنه، محتوای فرکانسها، دوام زلزله و... خصوصیات سازه مثل خواص دینامیکی سازه مانند پریود طبیعی و میرائی و خواص مقاومت و... مرتبط می باشد. استفاده از مستهلک کننده انرژی بعلت افزایش میرایی، کاهش دامنه نوسان سازه و به دنبال آن کاهش پاسخ لرزه ای آن می باشد. میراگر اصطکاکی یکی از انواع میراگرهای غیرفعال است که در محل تقاطع مهاربندری ضربدری این نوع میراگر مورد استفاده قرار گرفته و طوری طراحی می شود که حین زلزله های خفیف یا باد نلغزد اما حین زلزله های شدید تحت نیروی از پیش تعیین شده، شروع به لغزش می کند. این لغزش، انرژی ورودی را بطور مکانیکی تلف می کند و از جاری شدن مهاربند و دیگر عضوهای سازه جلوگیری می کند، بنابراین عملکرد استفاده بی وقفه سازه را بعد از رخداد زلزله مهیا می کند. میرایی، انرژی جنبشی را جذب و از تشدید (فرکانس طبیعی سازه منطبق بر فرکانس زمین لرزه) جلوگیری می کند. اساس روش استفاده از این نوع میراگر بر پایه افزایش میرایی و کاهش دامنه نوسان و به دنبال آن کاهش پاسخ لرزه ای استوار است. این نوع میراگر نیرویی ثابت از خلاف جهت حرکت ساختمان وارد می کند که با حرکت ساختمان مخالفت می کند. در این میان انتخاب میراگرهای غیرفعال به خاطر کم هزینه بودن و تکنولوژی مناسب تر نسبت به میراگرهای فعال و امکان استفاده آنها در داخل کشور، ارجحیت دارد. بر این اساس، در این مقاله با استفاده از مدلسازی ساختمانهای ۴ و ۸ طبقه مجهز به میراگر اصطکاکی که تحت تاثیر زلزله طیس و السترو قرار گرفته اند، با استفاده از نرم افزار آباکوس ABAQUSE تحلیل دینامیکی غیرخطی بصورت دو بعدی انجام گردیده و پاسخ این نوع سازه ها بازای میراگر موجود مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: میراگر فعال، میراگر غیرفعال، جداساز لرزه ای، میراگر اصطکاکی، نرم افزار آباکوس

۱. مقدمه

طراحی ساختمانها در برابر زلزله های قوی بر این اساس است که سازه بتواند با شکل پذیری خود انرژی زلزله را جذب و مستهلک نماید. شکل پذیری در مهندسی سازه تغییرشکل غیرالاستیک مواد در ناحیه مورد انتظار است اگرچه در سازه های شکل پذیر تغییرشکل های بزرگ غیرالاستیک ایجاد می گردد که ممکن است پس از زلزله از نقطه نظر هزینه و ایمنی سازه مورد استفاده قرار نگیرد. در سالهای اخیر به توسعه وسایل موثر در استهلاک انرژی لرزه های القاء شده در سازه اهمیت بیشتری داده شده است که پاسخ سازه را در نهایت الاستیک نگه دارد. مقدار انرژی سازه به چندین عامل بستگی دارد که برخی از آنها با مشخصات حرکت زمین مانند خصوصیات دامنه، محتوای فرکانسها، دوام زلزله و... خصوصیات سازه مثل خواص دینامیکی سازه مانند پریود طبیعی و میرائی و خواص مقاومت و... مرتبط می باشد. استفاده از مستهلک کننده انرژی بعلت افزایش میرایی، کاهش دامنه نوسان سازه و به دنبال آن کاهش پاسخ لرزه ای آن می باشد [۱].

سیستم های جدید حفاظت سازه ای را می توان به سه گروه تقسیم کرد (شکل ۱):

۱. جداساز لرزه ای ۲. کنترل فعال ۳. اتلاف انرژی غیرفعال



روش جداساز لرزه‌ای در حال حاضر بسته به حساسیت سازه در اکثر کشورها استفاده می‌شود. سیستم جداساز لرزه‌ای عموماً در شالوده سازه نصب می‌شود. با استفاده از قابلیت جذب انرژی و نرمی آن، سیستم های جداساز بخشی از انرژی ورودی زمین‌لرزه را منعکس و بخش دیگر را قبل از اینکه به سازه منتقل شود جذب می‌نماید. اثر نهایی، افزایش پریود سازه و در نتیجه کاهش تقاضای اتلاف انرژی بر روی سیستم سازه‌ای است که باعث پایداری بیشتر آن می‌شود [۲].

سیستم های کنترل فعال بر پایه اطلاعات پاسخ بدست آمده از سازه و انرژی خارجی وارد شده به سازه استوار می‌باشد که باعث تولید نیروی مناسب برای کاهش پاسخ ناخوشایند سازه می‌شود. این وسایل شامل جرم فعال، تاندون فعال و سختی متغیر فعال می‌باشند. شتاب زمین و پاسخ سیستم اعم از جابجائی و سرعت و شتاب در محل مشخصی هر لحظه تعیین گشته و نیروی کنترل به سازه توسط محرک هایی اعمال می‌گردد. یک سیستم کنترل فعال قادر می‌باشد مشخصات دینامیکی سازه را تغییر دهد. در مقایسه با سیستم های کنترل غیرفعال، سیستم کنترل فعال استراتژی شکل پذیری دارد ولی قبل از استفاده گسترده، مطالعات بیشتری لازم است. بر پایه مطالعات تجربی انجام یافته ممکن است به این نتیجه برسیم که کنترل فعال روش موفقی برای کنترل و تخفیف خطر زلزله می‌باشد بویژه زمانی که همراه وسایل کنترل غیرفعال به صورت ترکیبی در کنترل سازه ها استفاده شود [۳].

مفهوم کنترل غیرفعال، اضافه کردن وسایل استهلاک انرژی به سازه می‌باشد. در واقع وسایلی که برای به کار افتادن نیاز به انرژی خارجی ندارند، وسایل کنترل غیرفعال نامیده می‌شوند. این سیستم ها از این نظر که با قطع منبع انرژی که در هنگام زلزله محتمل هستند به کار خود ادامه می‌دهند، قابل اطمینان تر هستند. این وسایل هزینه نگهداری پائینی دارند. البته اکثر وسایل کنترلی غیرفعال بعد از مرحله‌ای مانند لغزش اصطکاک، تسلیم شدن فلز، تغییر شکل در اجسام یا مایعات و اسکوالاستیک به کار می‌افتند و به همین خاطر می‌توان آنها را طوری طراحی کرد که بعد از سطح مشخصی به کار افتاده و در نیروهای جانبی کم فعالیت نکنند. استفاده از وسایل کنترلی غیرفعال هم در بهسازی سازه ها و هم در طراحی اولیه سیستم های سازه‌ای موثر هستند، به عنوان مثال سازه به یک سختی اضافی نیاز دارد تا پاسخ دینامیکی سازه را جذب و انرژی لرزش را با تغییر فرکانس اولیه کاهش داده و به سازه در جلوگیری از تشدید کمک کند، این وسایل می‌تواند جایگزین این سختی اضافی شوند [۴].

در صورتی که خسارتی جدی به این وسایل وارد آید به آسانی می‌توانند جایگزین و تعویض شوند. این نوع سیستمها به دلیل مسایل اقتصادی و نگهداری و تکنولوژی خاص خود کمتر می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند و تنها در برخی از کشورها در حال انجام می‌باشد. سطح بالای حفاظت لرزه‌ای سازه های قابی، کاهش فوق العاده در تعمیرات مورد نیاز بعد از زلزله های شدید و قابل استفاده بودن ساختمانها بعد از چنین زلزله هایی سبب می‌شود که هزینه های اضافی ایجاد شده برای این تجهیزات پوشش داده شود. در مقابل سیستم های کنترل فعال، این سیستم ها نیازی به منابع نیروی خارجی ندارند [۱].

۲. مدل‌های مورد مطالعه

در این بخش ۸ مدل سازه‌ای با سیستم قاب ساختمانی ساده انتخاب، طراحی و بررسی شده است. فلسفه انتخاب سیستم قاب ساختمانی ساده این بوده است که بیشتر ساختمانهای ساخته شده و در حال ساخت در ایران، این نوع سیستم سازه‌ای را دارند. ۸ مدل ساختمانی مختلف (۴ و ۸ طبقه) از نظر تعداد طبقات و دهانه بررسی شده است.

سیستم سقفها از نوع صلب بوده، لذا تمامی نقاط روی یک طبقه با یکدیگر حرکت می‌کنند و در نتیجه هیچ گونه نیرو و تغییر شکل محوری در آنها ایجاد نخواهد شد. مقاطع مورد استفاده در ستونها *IPB* و تیرها از نوع *IPE* در نظر گرفته شده است. فولاد مصرف شده در ساختمانها از نوع فولاد نرمه ساختمانی با مدول الاستیسیته 210×10^3 است. طراحی مدلها نیز براساس آیین نامه سازه های فولادی ایران و براساس روش تنشهای مجاز انجام شده است.

بطور کلی، کلیه رکوردهای زلزله خواص مختلفی مثل شتاب پیک را در طول حرکت و دامنه فرکانس های محدود تحت تاثیر قرار می‌دهند و بنابراین تاثیرات مختلفی بر روی سازه دارند. بنابراین مقاوم سازی مدلها با استفاده از میراگرهای اصطکاکی پال انجام شده و مدلهای تقویت شده به روش تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت دو رکورد نرمالیزه شده طیس و السترو بررسی شده است.

۳. تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی قابها

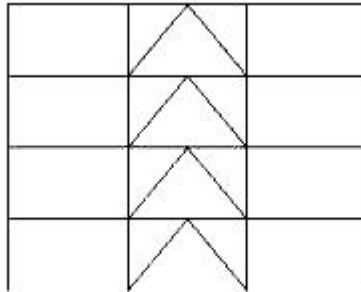
روشهای المان محدود برای مدل کردن، تحلیل و بررسی تاثیرات میراگر بصورت پاسخ لرزه‌ای ساختمانها بکار رفته است. به منظور بررسی دقیق عملکرد لرزه‌ای مدلها، تحلیل غیرخطی تاریخیچه زمانی مدلها با استفاده از نرم افزار آباکوس (*ABAQUSE/Standard Version 6.6*) برای رکورد



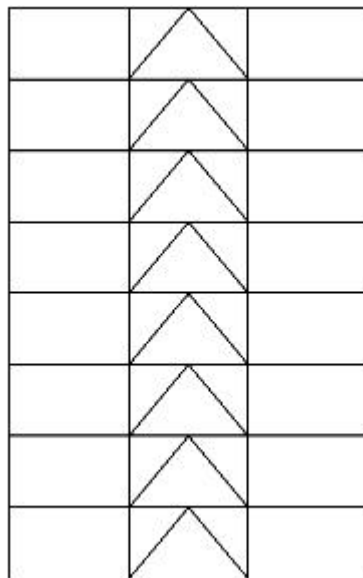
نرمالیزه شده طیس و السترو انجام شده است. در این تحلیل، ماتریس های جرم، سختی و میرایی، مونتاز و معادلات تعادل دینامیکی هر نقطه از زمان حل می شود. پاسخ سازه ای برای گامهای زمانی انتخاب شده از شتاب نگاشت لرزه ورودی بدست می آید. در این بررسی، جابجایی ها و انرژی جذب شده توسط میراگر از نتایج تحلیل بدست می آید و با سازه بدون استهلاك مقایسه می شود.

۴. نحوه مدل سازی در نرم افزار

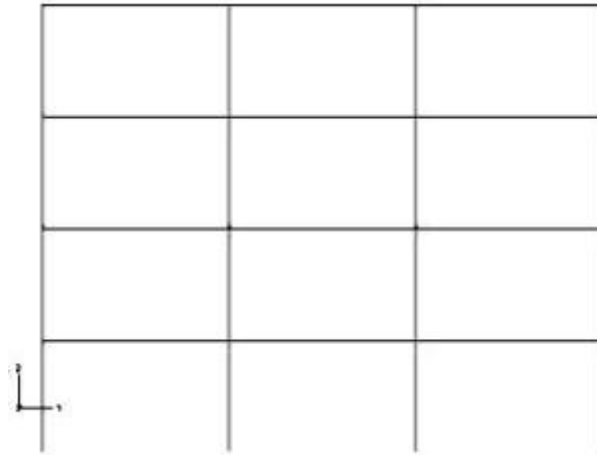
پس از مدل کردن قابها همان طوری که در شکل های ۱ تا ۴ نشان داده شده، به منظور در نظر گرفتن رفتار واقعی المانها نیاز است مصالح بگونه ای دقیق تعریف گردند. بدین منظور چگالی، مدول الاستیسیته و نسبت پواسون مصالح مصرفی مشخص می شوند. در مرحله بعد نوع اتصالات مشخص و مدل را مونتاز کرده و سپس بارگذاری های لازم که شامل بارهای استاتیکی و دینامیکی است به سازه اعمال می گردد. در ادامه مش بندی المان را انجام داده و سپس اجرای مدل مورد نظر بطور استاتیکی و دینامیکی انجام شد. بعد از اتمام اجرا با توجه به مشخصات هر المان نتایج مورد نظر که در اینجا فقط جابجایی و انرژی جذب شده توسط میراگر مورد نظر بود را می توان استخراج نمود.



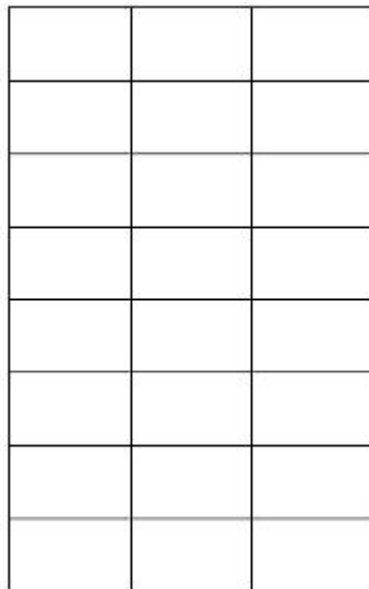
شکل ۱- مدل ۴ طبقه مجهز به میراگر



شکل ۲- مدل ۸ طبقه مجهز به میراگر



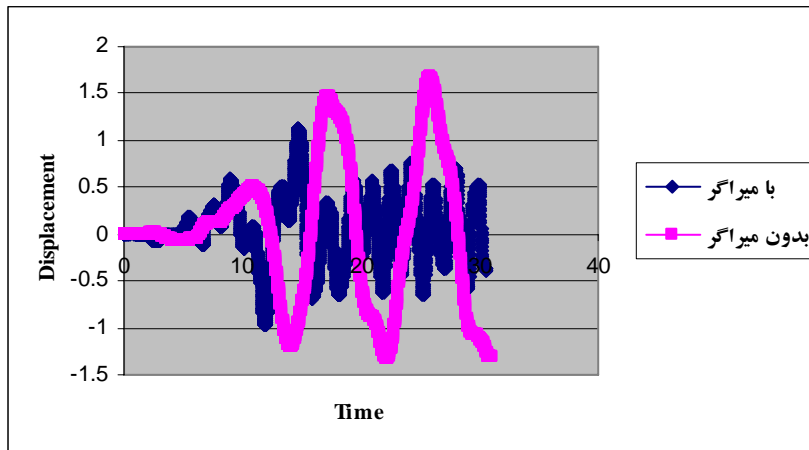
شکل ۳- مدل ۴ طبقه بدون میراگر



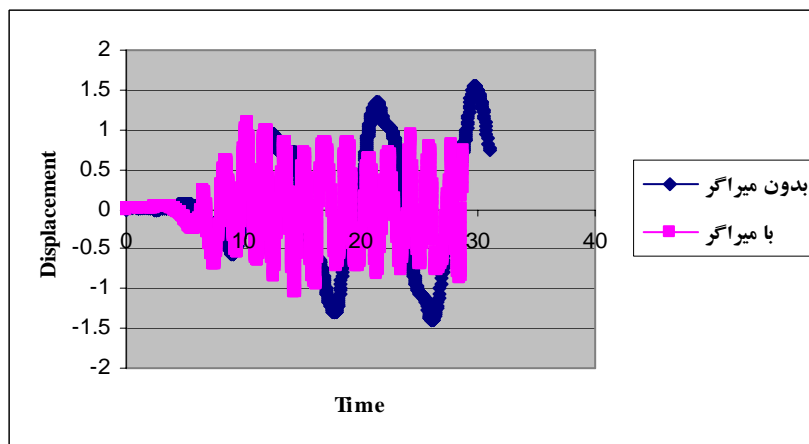
شکل ۴- مدل ۸ طبقه بدون میراگر

۵. مقایسه پاسخ مدل به تحریک زلزله در دو حالت با میراگر و بدون آن

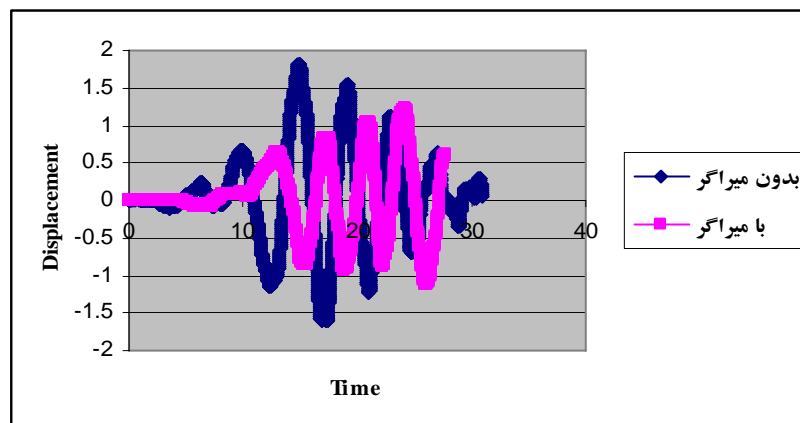
جهت بررسی تاثیر میراگر اصطکاکی در کنترل و کاهش ارتعاشات سازه‌ای ناشی از زلزله، نمودارهای تغییر مکان یک ساختمان قبل و بعد از استفاده از میراگر در یک نمودار ارائه می‌گردد (شکلهای ۵ تا ۸). همانطوری که از شکل ۵ برمی‌آید، میراگرهای اصطکاکی نصب شده بر روی سازه به مقدار قابل توجهی دامنه ارتعاشات سازه تحت اثر زلزله را کاهش می‌دهند. این تاثیر بویژه زمانی اهمیت می‌یابد که این مقدار کاهش دامنه ارتعاشات باعث می‌شود تا سازه از گرفتار شدن در چرخه تغییر شکل های خمیری که موجب تغییر شکل های بسیار زیادی به سازه می‌گردد، مصون بماند. لذا از تحمیل تغییر شکل های فوق العاده زیاد به سازه جلوگیری می‌شود. در شکل های ۹ تا ۱۲ دیده می‌شود که میزان انرژی موجود در ساختمانهای دارای میراگر بیشتر از ساختمانهای بدون میراگر است و این امر بدین دلیل است که میراگر نصب شده در سازه از وارد شدن آن به ناحیه غیر خطی جلوگیری می‌کند و سازه همواره در ناحیه خطی باقی می‌ماند.



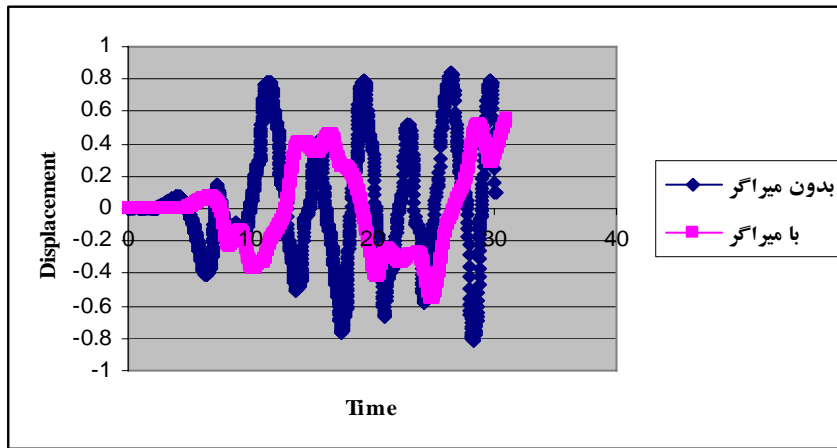
شکل ۵- نمودارهای تاریخچه زمانی ساختمان ۴ طبقه با و بدون میراگر تحت زلزله طبس



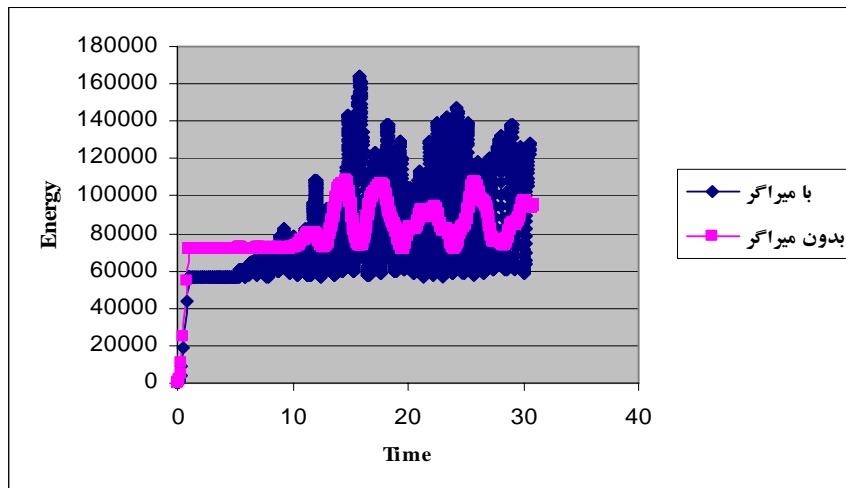
شکل ۶- نمودارهای تاریخچه زمانی ساختمان ۴ طبقه با و بدون میراگر تحت زلزله استرو



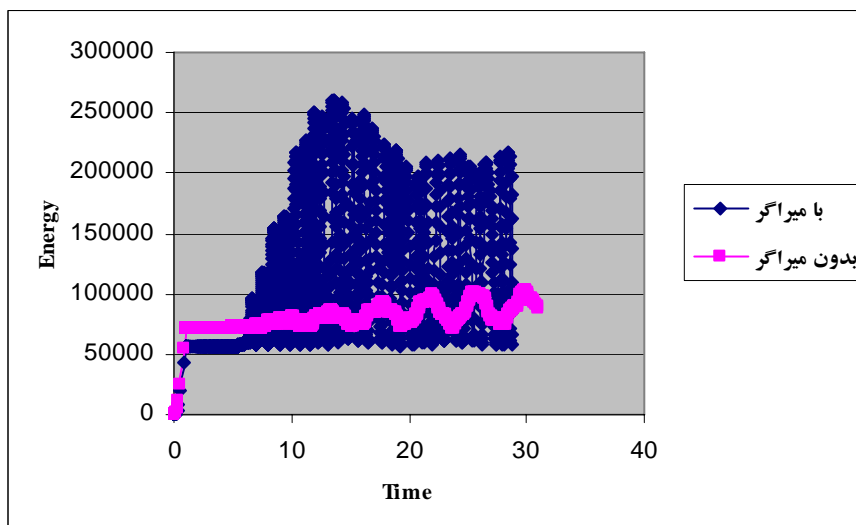
شکل ۷- نمودارهای تاریخچه زمانی ساختمان ۸ طبقه با و بدون میراگر تحت زلزله طبس



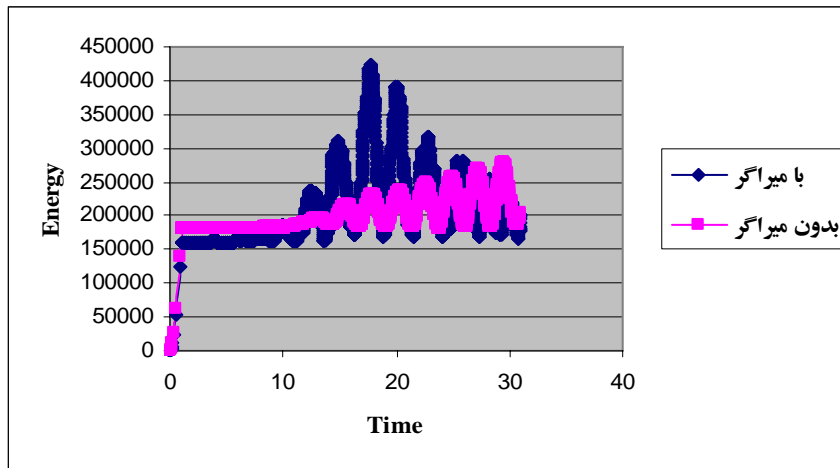
شکل ۸- نمودارهای تاریخچه زمانی ساختمان ۸ طبقه با و بدون میراگر تحت زلزله السترو



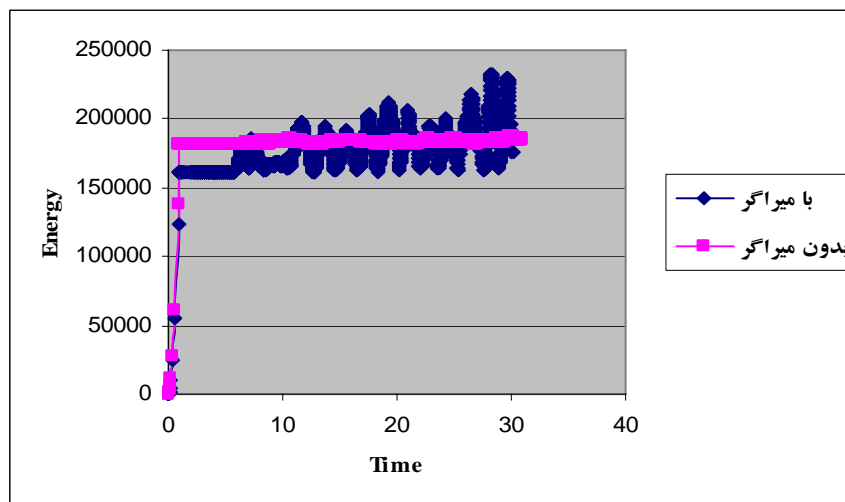
شکل ۹- نمودارهای میزان انرژی ساختمان ۴ طبقه با و بدون میراگر تحت زلزله طبس



شکل ۱۰- نمودارهای میزان انرژی ساختمان ۴ طبقه با و بدون میراگر تحت زلزله السترو



شکل ۱۱- نمودارهای میزان انرژی ساختمان ۸ طبقه با و بدون میراگر تحت زلزله طیس



شکل ۱۲- نمودارهای میزان انرژی ساختمان ۸ طبقه با و بدون میراگر تحت زلزله الاسترو

۶. نتیجه گیری

با توجه به تحلیل‌های انجام شده و نتایج حاصل برای محدوده مدل‌های مورد مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از میراگرهای اصطکاکی پال در سازه باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه خواهد شد. برطبق نتایج حاصل حداکثر تغییر مکان قابهای مقاوم سازی شده با میراگرها برای رکوردهای زلزله‌های مختلف می‌تواند تا ۲۰ درصد مقدار متناظر برای قاب مقاوم سازی نشده کاهش یابد. نتایج حاصل از تحلیل غیرخطی مدل‌ها نیز نشان می‌دهد که انرژی جذب شده بوسیله میراگرها روند افزایشی دارند. در هر حال با استفاده از میراگرهای اصطکاکی پال، با مصرف فولاد برابر و حتی کمتری نسبت به حالت بدون میراگر، می‌توان به یک سطح عملکرد مطلوب یا حتی بالاتر از حد انتظار رسید.

۷. مراجع

۱. کرمی محمدی ر. سرمست ح.، استفاده از قابهای مهاربندی شده با میراگرهای اصطکاکی برای سبک سازی در سازه‌ها، اولین همایش بین‌المللی زلزله و سبک سازی ساختمان، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم، ایران، ۱۳۸۴

2. Pall, A.S. and Pall, R. (1989). "Friction-Dampers Used for Seismic Control of New and Existing Building in Canada", ATC-17-1, Proceeding of a Seminar and Workshop on Base Isolation and Passive Energy Dissipation, Applied Technology Council, 675-686.



3. Filiatrault, A. and cherry, S. (1987). "Performance evaluation of friction damped steel frame under simulated earthquake loads", earthquake spectra, 3(1), 57-58.
4. Pall, A.S. and Marsh, C. (1982). "Response of Friction Damped Braced Frame", Journal Struct. Div., ASCE, 108(ST6), 16 June 1982, PP1313-1323.