تقسیم اسکلت ساختمان بتنی منظم به بخش‌های مجزا و دارای اندرکنش دینامیکی و استفاده ازمیراگر به منظور کاهش پاسخ لرزه‌ای

سید مجتبی مرتضوی اصل
دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب ،ایران
mojtabamortazaviasl@gmail.com

محمود حسینی
دانشیار پژوهشگاه بین المللی زلزله و دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
Mahmood.hosseini@gmail.com

کلید واژه‌ها: *اتلاف انرژی، میراگر ، سیستم انفعالی، کاهش پاسخ لرزه ای، شتابنگاشت*

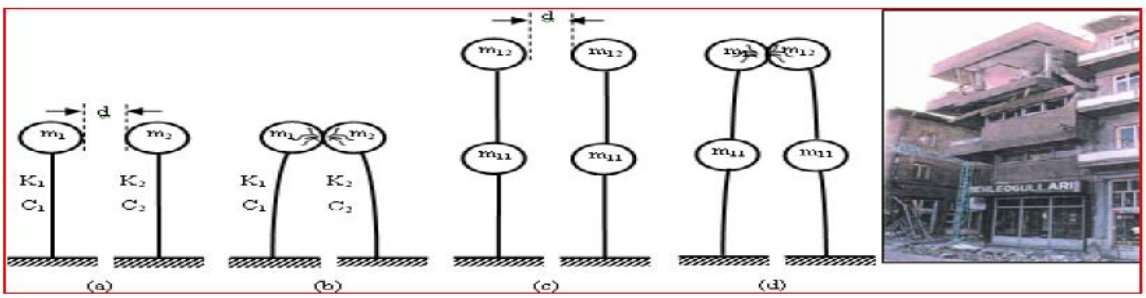
چکیده

جاذب های انرژی و استفاده از آنها برای جذب انرژی وارد شده توسط حرکت زمین به سازه می تواند تا حد زیادی از حساسیت سازه در مقابل حرکات زمین بکاهد. فناوری بکارگیری میراگرها یکی از قدرتمندترین روش هایی است که با تامین ظرفیت بالای جذب انرژی می‌تواند در مقاوم‌سازی سازه در مقابل زلزله کاربرد داشته باشد. در این مطالعه ابتدا ساختمان بتنی مسلح با تعداد طبقات ۵، ۸ و ۱۱ با پلان منظم طبق ضوابط ویرایش سوم آیین نامه زلزله ایران طراحی شده است.سپس به منظور کاهش پاسخ، هریک از ساختمان ها به دو قسمت هسته و پوسته در سه شکل تقسیم شده و سپس هسته و پوسته توسط سیستم های اتلاف انرژی انفعالی در تراز طبقات به هم وصل شده و برای تحلیل از برنامه Perform 3D استفاده شده که قابلیت مدلسازی سه بعدی و در نظر گیری همزمان مولفه ها را داراست و سازه را تحت تاثیر تاریخچه زمانی چند شتاب نگاشت قرار داده و نتایج با هم مقایسه شده است.بهترین نتایج زمانی حاصل می شود که پوسته حدود سه برابر هسته باشد.

مقدمه

برخورد ساختمان های مجاور که از همدیگر به خوبی جدا نشده اند، به دلیل مدهای نوسانی و زمان تناوب متفاوت رخ می‌دهد. نیروهای برخورد تابعی از جرم طبقات هستند.در طی زمین لرزه، ساختمان ها به خاطر جرم زیادشان، با نیروهای زیاد به هم برخورد می‌کنند. برخورد سازه‌ای خطری جدی است و باید در زمان طراحی و ساخت مورد بررسی قرار گیرند.[Dogan and Gunaydin,2009]

رفتار مودال متفاوت دو ساختمان مجاور باعث انواع برخورد متفاوت می شود. این امر برخورد را پیچیده تر می کند. در تحلیل دینامیکی سازه ها، ساختمان ها با تشکیل جرم های متمرکز در ترازهای طبقه مدلسازی شده است. مدل های برخورد سیستم های یک درجه آزادی (SDOF) و چند درجه آزادی (MDOF) در شکل(۱) آورده شده است. تراز بالاترین طبقه ساختمان های مجاور همیشه یکسان نیست. بنابراین، ممکن است برخوردها در ترازهای متفاوت اتفاق بیفتند. [Dogan and Gunaydin,2009]



شکل(۱): مدل برخورد ساختمان های مجاور در ترازهای طبقه [Dogan and Gunaydin,2009]

(a) قبل از برخورد (SDOF)، (b) مورد برخورد (SDOF)، (c) قبل از برخورد (MDOF)،(d) مورد برخورد (MDOF)

طراحی ساختمان ها در برابر زلزله های قوی بر این اساس است که ساختمان 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 ساختمان های شکل‌پذیر تغییرشکل‌های بزرگ غیرالاستیک ایجاد می گردد که ممکن است پس از زلزله ، ساختمان مورد نظر تخریب و بازسازی شود که هزینه زیادی خواهد داشت و هدف این است که ساختمان را به سمت ساختمان تعمیرپذیر هدایت کرد. در سال های اخیر با توسعه وسایل موثر در استهلاک انرژی لرزه ای 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 فرکانس ها، دوام زلزله و... خصوصیات سازه مثل خواص دینامیکی سازه مانند پریود طبیعی و میرائی و خواص مقاومت و... مرتبط می باشد.نتیجه استفاده از مستهلک کننده انرژی بعلت افزایش میرایی، کاهش دامنه نوسان سازه و به دنبال آن کاهش پاسخ لرزه ای آن می باشد.[Bakeri , 2012]

سیستم های جدید حفاظت سازه ای را می توان به سه گروه تقسیم کرد:

۱.جداساز لرزه ای ۲. کنترل فعال ۳. کنترل انفعالی

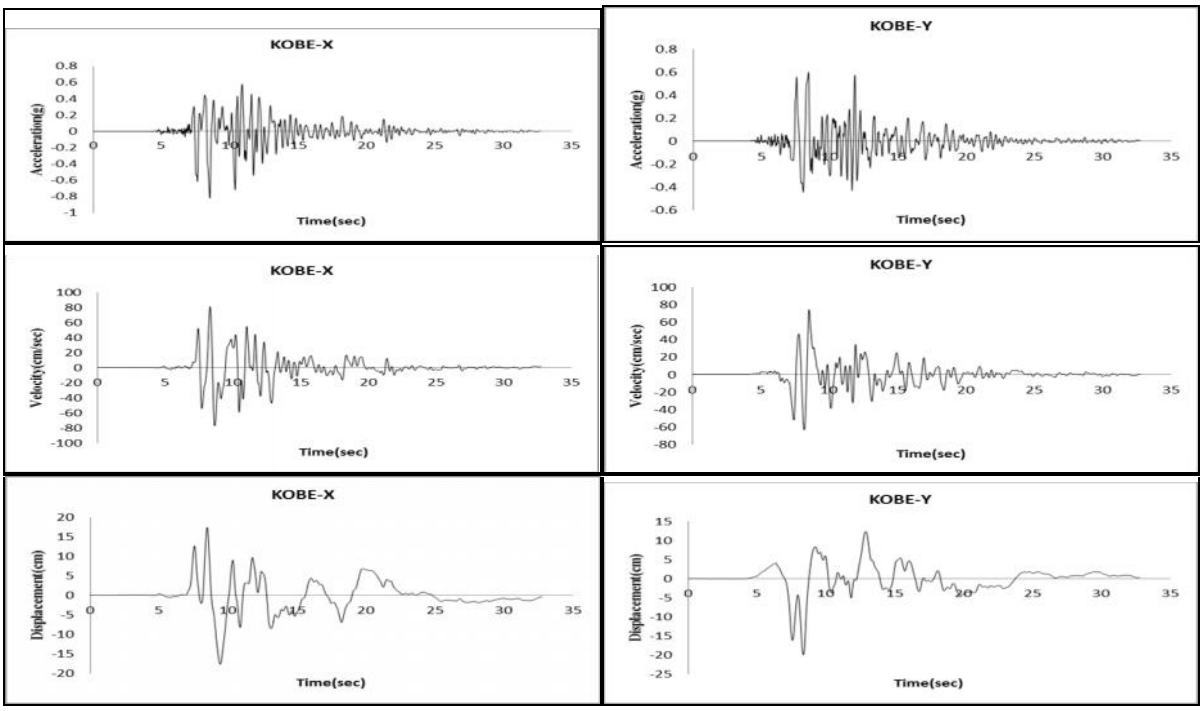
سیستم جداساز لرزه ای عموماً در شالوده سازه نصب می شود. با استفاده از قابلیت جذب انرژی و نرمی آن، سیستم های جداساز بخشی از انرژی ورودی زمین لرزه را منعکس و بخش دیگر را قبل از اینکه به سازه منتقل شود جذب می نماید. اثر نهایی، افزایش پریود سازه و در نتیجه کاهش تقاضای اتلاف انرژی بر روی سیستم سازه ای است که باعث پایداری بیشترآن می شود.[Bharti et al. , 2010] سیستم های کنترل فعال برپایه اطلاعات پاسخ بدست آمده از سازه و انرژی خارجی وارد شده به سازه استوار می باشد که باعث تولید نیروی مناسب برای کاهش پاسخ ناخوشایند سازه می شود. این وسایل شامل جرم فعال، تاندون فعال می باشند. 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 می گردد. یک سیستم کنترل فعال قادر می باشد مشخصات دینامیکی سازه را تغییر دهد.[Filiatrault and cherry ,1987]

مفهوم کنترل انفعالی، اضافه کردن وسایل استهلاک انرژی به سازه می باشد. در واقع وسایلی که برای به کار افتادن نیاز به انرژی خارجی ندارند، وسایل کنترل انفعالی نامیده می شوند. این سیستم ها از این نظر که با قطع منبع انرژی که در هنگام زلزله محتمل هستند به کار خود ادامه می دهند، قابل اطمینان تر هستند. این وسایل هزینه نگهداری پائینی دارند. البته اکثر وسایل کنترل انفعالی بعد از مرحله ای مانند لغزش اصطکاک، تسلیم شدن فلز، تغییرشکل در اجسام یا مایعات ویسکوالاستیک به کار می افتند و به همین خاطر می توان آنها را طوری طراحی کرد که بعد از سطح مشخصی به کار افتاده و در نیروهای جانبی کم فعالیت نکنند. استفاده از وسایل کنترلی انفعالی هم در بهسازی سازه‌ها و هم در طراحی اولیه سیستم های سازه ای 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 می تواند جایگزین این سختی اضافی شوند.[Jangid and Patel,2010]

تاکنون در خصوص تقسیم اسکلت ساختمان به دو بخش هسته و پوسته به منظور کاهش پاسخ لرزه‌ای تحقیقاتی صورت نگرفته است و از این نظر موضوع فوق جدید می‌باشد.در ادامه به معرفی مشخصات ساختمان مورد نظر پرداخته شده است.

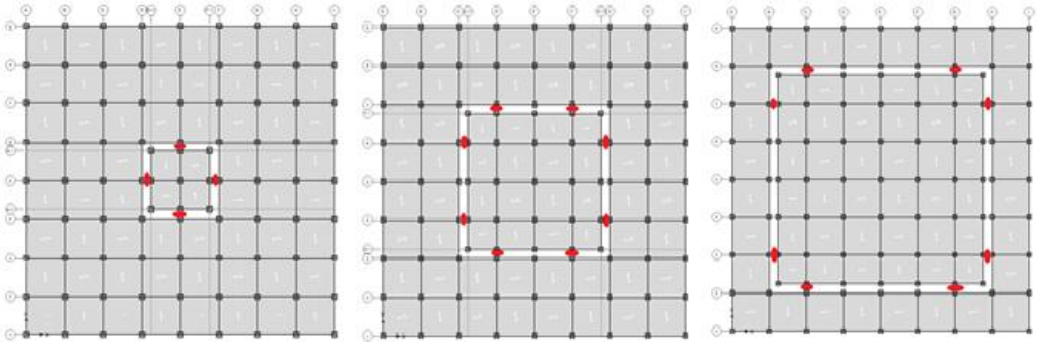
مشخصات سازه‌های مورد بررسی

مدل هایی که در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفته اند شامل ساختمان های قاب خمشی بتنی متوسط ۸ دهانه ۵، ۸ و ۱۱ طبقه می‌باشند. در این ساختمان ها، ارتفاع طبقات ۳.۵ متر و طول دهانه ها ۵ متر لحاظ شده است. محل سازه ها خاک تیپ ۲ با خطرنسبی زیاد و نوع کاربری ساختمان ها از نوع بیمارستان و با اهمیت خیلی زیاد فرض شده است. همچنین اتصال ستون به پی گیردار است. سیستم سقف تمامی مدل‌ها از نوع تیرچه بلوک می باشد. در نتیجه سقف ها صلب بوده و لذا تمامی نقاط روی یک طبقه با یکدیگر حرکت می کنند و هیچگونه نیرو و تغییرشکلی در آنها ایجاد نخواهد شد.ساختمان های موردنظر به صورت منظم در پلان می باشند. سیستم باربر جانبی در جهت x و y به صورت قاب خمشی بتنی متوسط با ضریب رفتار ۷ می باشد. در بررسی مدل ها، پاسخ ها در جهت محور x مورد بررسی قرار گرفته و اثر همزمانی مولفه‌های زلزله مورد بررسی قرار می گیرد.پس از مشخص شدن نمونه های مورد بررسی، اولین قدم بارگذاری ثقلی براساس آیین نامه ۵۱۹ و مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و بارگذاری جانبی برای نیروهای زلزله مطابق روش استاتیکی و آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم انجام شده است. بار مرده و زنده طبقات به ترتیب ۶۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمربع بوده است. طراحی مدل ها با استفاده از آیین نامه سازه های بتنی(مبحث نهم مقررات ملی) انجام شده است. به منظور اعمال نیروی شلاقی در ساختمان های ۸ و ۱۱ طبقه از آیین نامه UBC94 استفاده شده است.به منظور طراحی ساختمان ها در جهت اطمینان از تحلیل استاتیکی معادل در ETABS و برای تجزیه و تحلیل بررسی میزان تاثیر میراگر از تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت زلزله کوبه، نورتریج و طبس در نرم افزار Perform 3D استفاده شده است. زلزله کوبه مطابق شکل(۲) به بیشینه شتاب منطقه یعنی ۰.۳g مقیاس شده و سپس به سازه اعمال شده است.

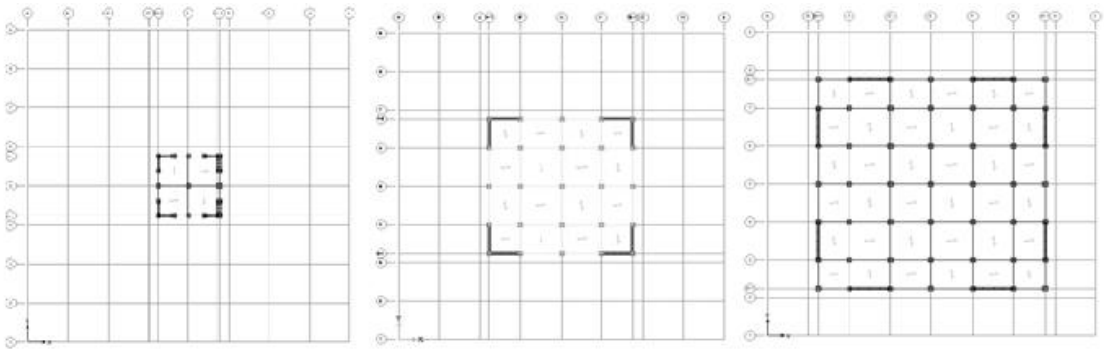


شکل(۲): تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییرمکان زلزله کوبه در جهت طولی و عرضی

ساختمان ها در چهار حالت ساده، ساده بهینه(با اصلاح مقادیر تیر ها و ستون ها)،با دیوار برشی بهینه نسبی و با دیوار برشی قوی طراحی شده و تحلیل برای سه حالت ۴، ۱۶ و ۳۶ چشمه ای نشان داده شده در شکل(۳) صورت گرفته است. در حالت ساده ساختمان به طور یکپارچه طراحی شده است، در ساده بهینه هسته ساختمان به صورت مجزا طراحی شده است که در نتیجه آن مقاطع در هسته ساختمان بهینه شده‌اند. حالت دیوار برشی بهینه نسبی با موقعیت قرارگیری دیوارهای برشی در شکل(۴) طراحی شده است و دیوار برشی قوی سازه‌ای با مقاطع اولیه طراحی شده در حالت ساده و دیوارهای برشی است.



شکل(۳): سازه در حالت ۴، ۱۶ و ۳۶ چشمه ای



شکل(۴): موقعیت قرارگیری دیوارهای برشی در حالات مختلف ۴، ۱۶ و ۳۶ چشمه ای

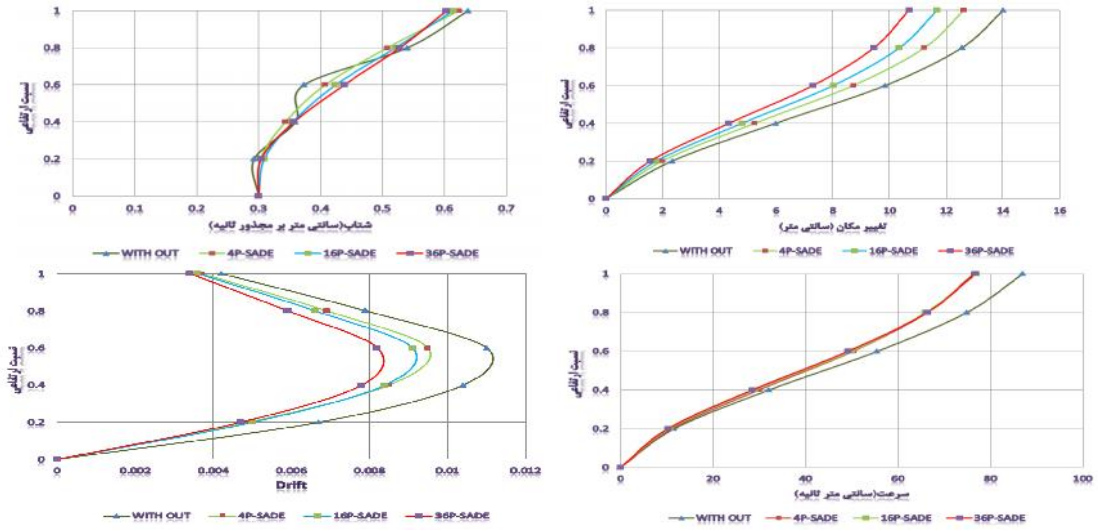
تعریف سطوح عملکرد مفاصل پلاستیک نیز بر اساس دستورالعمل نشریه ۳۶۰ انجام گرفته است. این سطوح شامل سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه(IO)، سطح عملکرد آستانه فرو ریزش(CP) و سطح عملکرد ایمنی جانی(LS)، متناظر با دوران ها و تغییر مکان های پلاستیک اعضاء می باشد.

معیار انتخاب میراگر و تاثیر آن برپاسخ تغییرمکانی ساختمان ها

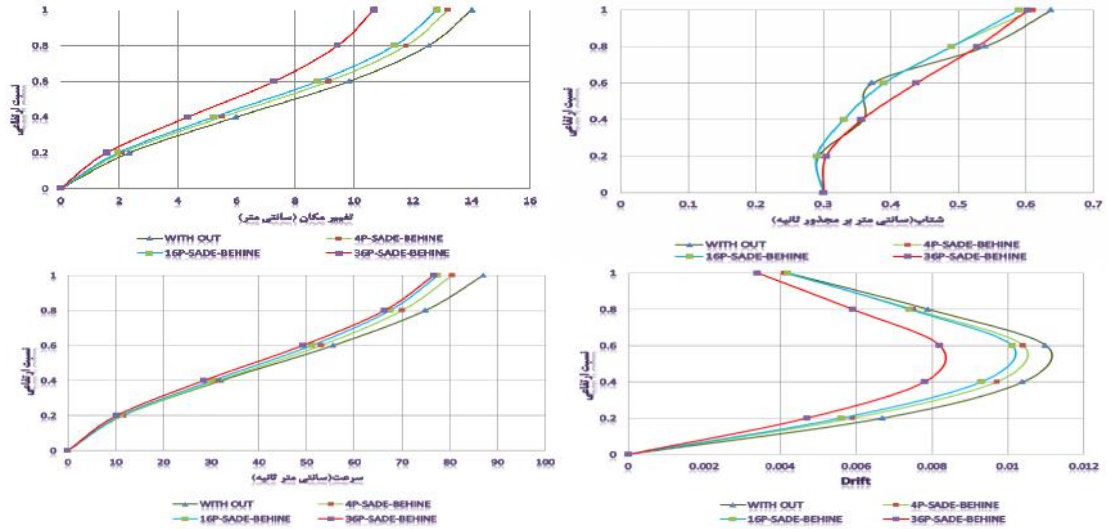
در این مطالعه از میراگر ویسکوز استفاده شده است که با سعی و خطا برای کمترین مقدار تغییرمکان جانبی، انتخاب شده است. میراگر ویسکوز از جمله اتلاف کننده های وابسته به سرعت است. در سازه های ۵ طبقه در ۳ طبقه بالا، در سازه های ۸ طبقه در ۴ طبقه بالا و در سازه‌های ۱۱ طبقه در ۶ طبقه بالا و مطابق با شکل(۳) از میراگر استفاده شده است. (نقطه های رنگی محل قرارگیری میراگر ها است).

بررسی تاثیر میراگر بر پاسخ لرزه‌ای

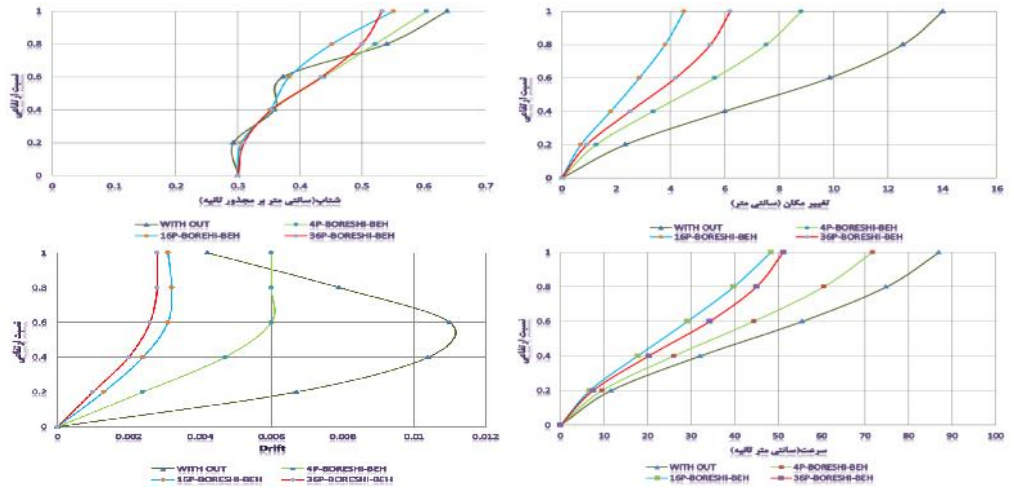
در ادامه تاثیر استفاده از میراگر بر شتاب، تغییرمکان، Drift و سرعت سازه ۵ طبقه در سه وضعیت ۴، ۱۶ و ۳۶ چشمه ای در چهار حالت ساده، ساده بهینه، دیوار برشی بهینه نسبی و دیوار برشی قوی، در مقایسه با سازه بدون میراگر در نمودارها نشان داده شده است. نتایج برای سازه‌های ۸ و ۱۱ طبقه در جداول(۲) و(۳) ارائه شده است. اشکال (۵)تا (۸) تاثیر میراگر در کاهش پاسخ لرزه ای ساختمان ۵ طبقه تحت اثر زلزله کوبه در چهار حالت را نشان می دهد.



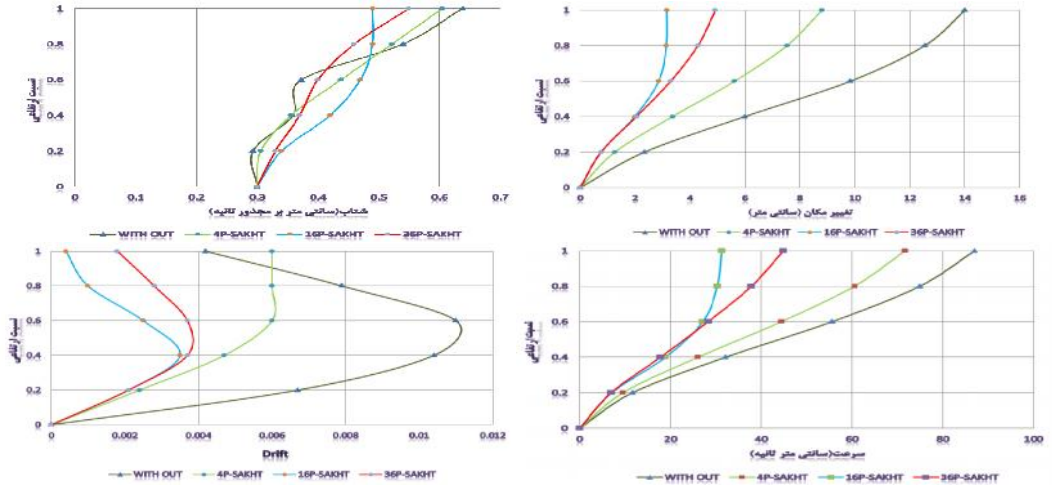
شکل(۵): تاثیر میراگر در پاسخ لرزه‌ای سازه ۵ طبقه در حالت ساده تحت زلزله کوبه



شکل(۶): تاثیر میراگر در پاسخ لرزه‌ای سازه ۵ طبقه در حالت ساده بهینه تحت زلزله کوبه



شکل(۷): تاثیر میراگر در پاسخ لرزه‌ای سازه ۵ طبقه در حالت دیوار برشی بهینه نسبی تحت زلزله کوبه



شکل(۸): تاثیر میراگر در پاسخ لرزه‌ای سازه ۵ طبقه در حالت دیوار برشی قوی تحت زلزله کوبه

جداول (۱) تا (۳) نتایج عددی مربوط به ساختمان‌های ۵، ۸ و ۱۱ طبقه را تحت زلزله کوبه ارائه می کنند .نتایج مشابه برای زلزله های نورتریج و طبس در گزارش اصل پروژه (مرتضوی، ۱۳۹۳) می باشد.

جدول(۱): مقایسه عددی ساختمان‌های ۵ طبقه تحت زلزله کوبه

شتاب											
برشی قوی			برشی بهینه نسبی			ساده بهینه			ساده		
۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p
۰.۱۳۸	۰.۲۳۲	۰.۰۵۲	۰.۱۶۵	۰.۱۳۶	۰.۰۵۲	۰.۰۵۵	۰.۰۷۵	۰.۰۴۴	۰.۰۵۵	۰.۰۳۸	۰.۰۲۴
تغییر مکان											
برشی قوی			برشی بهینه نسبی			ساده بهینه			ساده		
۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p
۰.۶۴۸	۰.۷۷۵	۰.۳۷۲	۰.۵۵۸	۰.۶۷۹	۰.۳۷۲	۰.۲۳۸	۰.۰۸۳	۰.۰۵۷	۰.۲۳۸	۰.۱۶۷	۰.۰۹۹
Drift											
برشی قوی			برشی بهینه نسبی			ساده بهینه			ساده		
۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p
۰.۶۶۴	۰.۶۸۲	۰.۴۵۵	۰.۷۴۵	۰.۷۰۹	۰.۴۵۵	۰.۲۵۵	۰.۰۸۲	۰.۰۵۵	۰.۲۵۵	۰.۱۷۳	۰.۱۳۶
سرعت											
برشی قوی			برشی بهینه نسبی			ساده بهینه			ساده		
۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p
۰.۴۸۴	۰.۶۴۱	۰.۱۷۶	۰.۴۱۲	۰.۴۴۵	۰.۱۷۶	۰.۱۱۹	۰.۱۰۹	۰.۰۷۵	۰.۱۱۹	۰.۱۱۶	۰.۱۲۲

مقدار شتاب در حالت برشی بهینه نسبی و برشی قوی در حالت های ۱۶ و ۳۶ چشمه ای به مقدار تقریبی ۲۰٪ بهبود پیدا کرده و کاهش یافته است همچنین این مقدار کاهش در ماکزیمم تغییرمکان طبقات ۶۵٪ و در دریفت نیز ۶۵٪ و سرعت نیز حدود ۴۵٪ می باشد. در حالت‌های ساده و ساده بهینه مقدار کاهش، چشمگیر نمی باشد.

جدول(۲): مقایسه عددی ساختمان های ۸ طبقه تحت زلزله کوبه

شتاب											
برشی قوی			برشی بهینه نسبی			ساده بهینه			ساده		
۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p
۰.۰۵۳	۰.۰۱۶۵	۰.۰۲۱	-۰.۰۱۱	-۰.۰۲۷	۰.۰۲۱	-۰.۰۹۱	۰.۰۲۱	۰.۰۲۱	-۰.۰۹۱	-۰.۰۵۹	-۰.۰۱۴
تغییر مکان											
برشی قوی			برشی بهینه نسبی			ساده بهینه			ساده		
۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p
۰.۴۰۲	۰.۵۴۸	۰.۰۸۵	۰.۱۵۹	۰.۰۱۱۹	۰.۰۸۵	۰.۰۱۷	۰.۰۲۳	۰.۰۱۵	۰.۰۱۷	۰.۰۱۱	۰.۰۱۱
Drift											
برشی قوی			برشی بهینه نسبی			ساده بهینه			ساده		
۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p
۰.۴۲۰	۰.۵۶۸	۰.۱۳۶	۰.۲۴۷	۰.۱۴۸	۰.۱۳۶	۰.۰۲۵	۰.۰۴۹	۰.۰۲۵	۰.۰۲۵	۰.۰۱۲	۰.۰۲۵
سرعت											
برشی قوی			برشی بهینه نسبی			ساده بهینه			ساده		
۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p
۰.۲۸۲	۰.۴۱۲	۰.۰۹۸	۰.۲۱۶	۰.۱۳۹	۰.۰۹۸	۰.۰۵۲	۰.۰۲۶	۰.۰۱۸	۰.۰۵۲	۰.۰۳۹	۰.۰۲۱

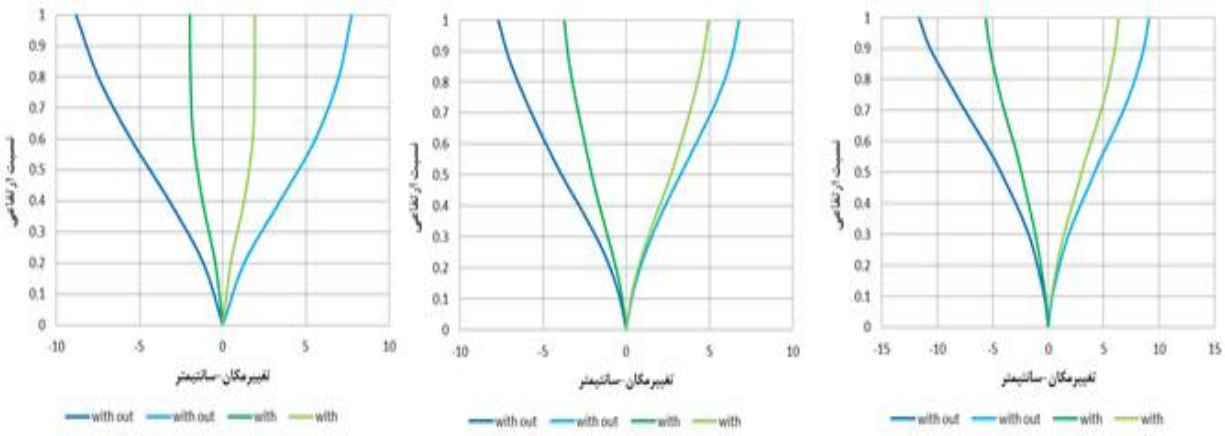
مقدار شتاب در حالت ۱۶ چشمه ای برشی قوی و ۳۶ چشمه ای برشی قوی به مقدار تقریبی ۵٪ و مقدار تغییرمکان در حالت ۱۶ چشمه ای برشی قوی حدودا ۵۵٪ و در حالت ۳۶ چشمه ای حدودا ۴۰٪ کاهش یافته است. همچنین مقدار دریفت هم در حالت ۱۶ چشمه ای حدود ۵۵٪ و در حالت ۳۶ چشمه ای حدود ۴۰٪ کاهش یافته است. در حالت ۱۶ چشمه ای مقدار سرعت حدود ۴۰٪ کم شده است.

جدول(۳): مقایسه عددی ساختمان های ۱۱ طبقه تحت زلزله کوبه

شتاب											
برشی قوی			برشی بهینه نسبی			ساده بهینه			ساده		
۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p
-۰.۰۴۵	۰.۰۶۴	۰.۰۸۳	۰.۱۷۸	۰.۱۲۰	۰.۰۸۳	-۰.۰۳۳	۰.۴۷۰	۰.۰۴۸	-۰.۰۳۳	۰.۰۰۸	۰.۰۳۳
تغییر مکان											
برشی قوی			برشی بهینه نسبی			ساده بهینه			ساده		
۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p
-۰.۰۳۳	۰.۱۴۴	۰.۰۳۴	۰.۰۷۷	۰.۰۱۹	۰.۰۳۴	-۰.۰۳۷	۰.۱۵۴	۰.۰۲۵	-۰.۰۳۷	-۰.۰۰۱	۰.۰۰۸
Drift											
برشی قوی			برشی بهینه نسبی			ساده بهینه			ساده		
۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p
۰.۰۸۷	۰.۲۳۲	۰.۱۳۰	۰.۱۴۵	۰.۰۸۷	۰.۱۳۰	۰.۰۲۹	۰.۲۷۵	۰.۰۷۲	۰.۰۲۹	۰.۰۴۳	۰.۰۴۳
سرعت											
برشی قوی			برشی بهینه نسبی			ساده بهینه			ساده		
۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p	۳۶p	۱۶p	۴p
۰.۱۰۴	۰.۲۱۱	۰.۰۵۹	۰.۰۹۷	۰.۰۴۹	۰.۰۵۹	-۰.۰۰۹	۰.۲۹۷	۰.۰۳۷	-۰.۰۰۹	۰.۰۱۶	۰.۰۳۱

بیشترین کاهش در شتاب مربوط به حالت ۱۶ چشمه ای ساده بهینه است که مقدار ۴۵٪ دارد. میزان کاهش در تغییرمکان جز در ۱۶ چشمه ای ساده بهینه و برشی قوی ناچیز بوده است. دریفت در ۱۶ چشمه ای بهینه ساده به میزان ۲۷٪ و در ۱۶ چشمه ای دیوار برشی قوی تقریب ۲۰٪ کاهش یافته است. میزان سرعت در حالت ۱۶ چشمه ای ساده بهینه به میزان ۳۰٪ ودر ۱۶ چشمه ای دیوار برشی قوی ۲۰٪ کاهش داشته است.

به منظور بررسی تاثیر میراگر در کاهش تغییرمکان ساختمان ها، میزان کاهش تغییرمکان در حالت دیوار برشی قوی در هر دو جهت مثبت و منفی قبل و بعد از استفاده از میراگر در شکل(۹) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، استفاده از میراگر باعث تقارن در رفتار سازه می‌شود.



شکل(۹): مقایسه تغییرمکان سازه ۵، ۸ و ۱۱ طبقه(به ترتیب از چپ به راست)
در حالت با و بدون میراگر در دو جهت مثبت و منفی در دیوار برشی قوی ۱۶ چشمه ای

مفاصل پلاستیک

مفاصل پلاستیک در حالت قابلیت استفاده بی وقفه در ساختمان‌ها در حالت دیوار برشی بهینه نسبی و دیوار برشی قوی در جدول(۴) آمده است.

جدول(۴): تعداد و محل مفاصل پلاستیک در ساختمان های ۵، ۸ و۱۱ طبقه

سازه ۵ طبقه					
دیوار برشی قوی		دیوار برشی بهینه نسبی			
۳۶ چشمه	۱۶ چشمه	۳۶ چشمه	۱۶ چشمه	کلی	
۲۱۷	۳۴	۱۹۳	۲۸	۳۱۶	تعداد مفاصل
تیر	تیروستون	تیروستون	تیر	تیروستون	محل آن
سازه ۸ طبقه					
۳۷۷	۳۸۳	۲۱۱	۲۰۷	۲۱۶	تعداد مفاصل
تیروستون	تیر	تیر	تیر	تیر	محل آن
سازه ۱۱ طبقه					
۲۸۸	۲۳۷	۱۳۰	۱۰۵	۱۲۸	تعداد مفاصل
تیر	تیر	تیر	تیر	تیر	محل آن

با توجه به جدول (۴) ملاحظه می گردد که تقسیم اسکلت ساختمان به دو بخش هسته و پوسته و استفاده از میراگر در ساختمان ۵ طبقه باعث کاهش تعداد مفاصل پلاستیک و محل تشکیل آن را از تیر و ستون ها به تیرها انتقال می دهد.

خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مطالعه سه ساختمان ۵، ۸ و ۱۱ طبقه بتنی به چهار صورت ساده، ساده بهینه، دیوار برشی بهینه نسبی و دیوار برشی قوی در Etabs و به روش استاتیکی معادل طراحی شده و پس از آن در سه حالت ۴، ۱۶ و ۳۶ چشمه ای و با قرارگیری میراگر تحت زلزله های کوبه، نورتریج و طبس در نرم‌افزار Perform 3D تحلیل دینامیکی انجام شده است و در بررسی پاسخ لرزه‌ای ساختمان ها نتایج زیر حاصل شد:

۱. تقسیم اسکلت ساختمان و استفاده از میراگر در ساختمان ۵ طبقه باعث کاهش تعداد مفاصل پلاستیک و همچنین محل تشکیل آن را از تیر و ستون به تیر ها انتقال می دهد.
۲. صرفاً تقسیم بندی ساختمان به دو بخش هسته و پوسته باعث کاهش پاسخ لرزه ای ساختمان ها نمی‌شود.

۳. همیشه افزایش نسبت میرایی میراگر ویسکوز باعث کاهش پاسخ نمی شود بلکه نقطه بهینه ای وجود دارد کـه تـا آن نقطـه پاسـخ کـاهش و سپس افزایش می یابد.
۴. بیشترین کاهش ها در ساختمان های ۱۶ چشمه ای ملاحظه گردید(پوسته حدود سه برابر هسته) و این نشان دهنده آن است که در تقسـیم بندی ساختمان ها در پلان هم نقطه بهینه وجود دارد که از نظر اقتصادی هم مقرون به صرفه باشد.
۵. تقسیم بندی و استفاده از میراگر ویسکوز در ساختمان های کوتاهتر نتایج بهتری می دهد.
۶. استفاده از میراگر ها در اتصال دو ساختمان به منظور کاهش پاسخ لرزه ای، در ساختمان های نرم تر، باعث نتایج بهتر می‌شود.
۷. استفاده از میراگر به طور کلی باعث کاهش ۴۰٪ شتاب، ۶۰ ٪ تغییر مکان و دریفت و همچنین ۵۰ ٪سرعت خواهد شد.
۸. استفاده از میراگر علاوه بر کاهش پاسخ لرزه‌ای، باعث تقارن در حرکت رفت و برگشتی سازه خواهد شد.

مراجع

Bakeri AE (2012), Optimal Design of Hysteretic Dampers Connecting 2-MDOF Adjacent Structures for Random Excitations, *International Journal of Engineering (IJE)*, Vol. 6 , Issue 3

Bharti, SD, Dumne SM, Shrimali MK (2010). 'Seismic response analysis of adjacent buildings connected with MR dampers'. Engineering Structures, 32,2122-2133

Dogan M, Gunaydin A (2009),'Pounding Of adjacent Rc Building During Seismic Loads', *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University*, Vol. XXII, No.1

Filiatrault A and cherry S (1987). "Performance evaluation of friction damped steel frame under simulated earthquake loads", earthquake spectra, 3(1), 57-58

Patel CC , Jangid RS (2010), 'Seismic Response of Adjacent Structures Connected With Maxwell Dampers',*Asian Journal Of Civil Engineering (Building And Housing)*,Vol. 11, No. 5 Pp. 585-603