

بررسی عملکرد سه روش کنترل غیرفعال در بهبود پاسخ لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی

سید مهدی زهرائی*^۱، مجید صادق آذر^۲ و رضا زینالی^۳

^۱دانشیار قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، دانشکده عمران، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

^۲دانشیار دانشکده عمران، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

^۳دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۸۵/۰۷/۰۱، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۱۳۹۰/۰۶/۱۲، تاریخ تصویب ۱۳۹۰/۰۶/۲۸)

چکیده

امروزه به منظور کنترل ارتعاشات سازه‌ای در برابر نیروهای زلزله، از سیستم‌های مستهلک کننده انرژی استفاده می‌شود تا ضمن تمرکز تغییرشکل‌های غیرارتجاعی به هنگام زلزله در این سیستم‌ها، امر ترمیم و بهسازی سازه‌ها نیز سهولت یابد. در این مقاله تاثیر کاربرد سه روش کنترل غیرفعال به کمک میراگر ویسکوالاستیک، میراگر جرمی تنظیم شده و جداسازی در کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها مانند تغییرمکان، برش پایه و شتاب ایجاد شده در سازه مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور ۶ نمونه قاب ساختمانی خمشی با ارتفاع‌های مختلف از ۵ تا ۳۰ طبقه توسط نرم افزارهای اجزای محدود غیرخطی دینامیکی مدل شدند. برای مطالعه رفتار عددی قاب‌ها در حالات مختلف، مقاطع متعارف برای سازه‌های نمونه در نظر گرفته شد. سپس سازه‌ها با استفاده از شتابنگاشت زلزله السنترو تحلیل تاریخچه زمانی شده و نتایج بدست آمده برای قاب‌ها بررسی شدند. بر اساس نتایج این مقاله، به کمک جداسازی لرزه‌ای نیروی برشی، تغییرمکان و شتاب طبقات سازه کاهش چشمگیر یافتند در حالیکه دو روش دیگر باعث افزایش حداکثر شتاب شدند. اضافه کردن میراگر ویسکوالاستیک در سازه به علت افزایش سختی سازه باعث افزایش برش پایه در قاب‌ها گردید ولی افزودن میراگر جرمی تاثیر چندانی در این رابطه نداشت.

واژه‌های کلیدی: کنترل سازه، میراگر ویسکوالاستیک، میراگر جرمی تنظیم شده، جداسازی لرزه‌ای، تحلیل غیرخطی دینامیکی.

مقدمه

زلزله کاهش می‌یابد. هزینه این وسائل اضافی در حدود ۱ تا ۲٪ هزینه کلی قاب فلزی است، بنابراین استفاده از وسائل استهلاک انرژی در کل مقرون به صرفه می‌باشد. مطالعه این وسائل باعث ایجاد فلسفه طراحی جدیدی می‌شود که روی افزایش ظرفیت استهلاک انرژی در سازه تاکید دارد و سازه به جای مقاومت در برابر زلزله، در مقابل آن کنترل می‌شود. به عبارت دیگر انرژی زلزله بجای جذب شدن در اعضای سازه‌ای و خرابی آنها در این میراگرها جذب می‌شود [۱].

در این تحقیق میراگر ویسکوالاستیک، میراگر جرمی تنظیم شده و جداسازی لرزه‌ای بر روی قاب‌های فلزی مشخص مدل شده و آنالیز غیر خطی دینامیکی انجام گردیده‌اند که نتایج حاصل با حالت قاب بدون میراگر مقایسه و سرانجام برای افزایش توانایی طراحی در انتخاب سیستم کنترل موثر، کارایی میراگرهای مختلف با هم

امروزه کنترل ارتعاش در سازه به کمک سیستم‌های مستهلک کننده انرژی صورت می‌گیرد. این امر به کاهش پاسخ تغییر مکان یا شتاب سازه در برابر بارهای جانبی زلزله منجر می‌شود. در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها با وسائل جذب انرژی، باید نیازهای مقاومت آئین نامه‌ها را بدون این وسائل تامین نموده و بوسیله میرائی بهبود یافته توسط میراگرها محدودیت تغییرمکان جانبی را رعایت کرد. بسیاری از قاب‌های خمشی فولادی نیازهای مقاومتی سازه را تامین می‌کنند ولی جهت کنترل تغییر مکان جانبی به فولاد بیشتری نسبت به نیاز مقاومتی احتیاج دارند. با افزودن میراگرها نیاز به مقاطع قویتر به علت محدود شدن تغییرمکان از بین می‌رود، همچنین با توجه به اتلاف انرژی توسط میراگرها، خرابی سازه در هنگام

جداسازی لرزه‌ای

جداسازی لرزه‌ای به جای افزایش ظرفیت لرزه‌ای سازه، بر مبنای مفهوم کاهش نیاز لرزه‌ای قرار دارد. سیستم جداساز، با سختی افقی پایینی که بین سازه و پی ایجاد می‌کند، ساختمان یا سازه را از مولفه‌های افقی حرکت زمین جدا می‌سازد. استفاده صحیح از این فن‌آوری سبب بهبود رفتار سازه‌ها شده و آنها را حتی در حین لرزه‌های بزرگ، عمدتاً در محدوده ارتجاعی باقی نگه می‌دارد [۱ و ۶].

کمورو و همکاران در سال ۲۰۰۵ امکان استفاده از جداسازی لرزه‌ای در ساختمان‌های بلند مثل ساختمان MT در شهر سندایی تا ۶۰ متر ارتفاع را با تغییراتی در روند طراحی و استفاده از مواد با مقاومت بالا نشان دادند. با جمع‌آوری اطلاعات لرزه نگارهای نصب شده در سازه در زمان زلزله آفمی یاگی ۲۰۰۳ عملکرد موثر جداسازی در این ساختمان‌های بلند را بیان کردند [۷]. زهرائی و نادرپور در سال ۲۰۰۸ کاربرد روش جداسازی پایه در بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی ۴ و ۸ طبقه با قاب خمشی را مطالعه نمودند. نتایج تحقیق نشان دهنده کاهش تغییرمکان نسبی و شتاب در حدود ۳۰ الی ۴۰ درصد و نیز کاهش تا ۹۰ درصد برای قاب‌های مهاربندی شده نسبت به حالت سازه با پایه‌های ثابت بوده است [۸].

میراگر جرمی تنظیم شده

یک سیستم میراگر جرمی تنظیم شده (TMD)، وسیله‌ای متشکل از یک جرم، فنر و یک میراگر است که به منظور کاهش پاسخ دینامیکی سازه، به آن متصل می‌گردد. با تنظیم فرکانس میراگر به میزان فرکانس سازه، و ارتعاش میراگر در فاز مقابل حرکت سازه، انرژی توسط نیروی اینرسی میراگر تلف می‌شود. پینکاو و همکاران در سال ۲۰۰۳ به جای بررسی تاثیر میراگر جرمی برای کاهش تغییرمکان سازه، کاهش خسارت سازه را مورد توجه قرار دادند. آنها با مدلسازی عددی یک ساختمان ۲۰ طبقه بتن مسلح مدل شده بصورت یک سیستم یک درجه آزادی غیرارتجاعی معادل تحت زلزله ۱۹۸۵ مکزیکو نشان دادند که اگرچه میراگر جرمی، حداکثر جابجایی سازه جداسازی شده پس از تسلیم را کاهش نداد اما به میزان قابل توجهی از خسارت تحمیلی به سازه

مقایسه شده است. شایان ذکر است که این مقایسه به ندرت تا به حال انجام گرفته است و آنچه که غالباً دنبال شده، کاربرد یکی از روش‌های کنترل غیرفعال برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها و کاهش ارتعاشات آنها در هنگام زلزله به کمک استهلاک انرژی ناشی از افزودن میراگرهاست. لذا مقایسه تاثیر سه سیستم کنترل بر روی رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی مشخص، نوآوری عمده این مقاله است.

میراگرهای ویسکوالاستیک

میراگرهای ویسکوالاستیک با چند ورق فولادی و ویسکوالاستیک اغلب از جنس پلیمر با خاصیت الاستیک و ویسکوز، تحت اثر تحریکات جابجایی قسمتی از انرژی را مستهلک می‌کنند. لی و همکاران در سال ۲۰۰۳ با ارائه تحلیل لرزه‌ای ساختمان‌های مجهز به میراگرهای ویسکوالاستیک، توانایی موثر این میراگرها در کاهش ارتعاشات جانبی سازه‌ها تحت زلزله‌های مختلف را نشان دادند [۲]. سمیح و اوزان نیز در سال ۲۰۰۳ به کمک میراگرهای ویسکوالاستیک بعنوان وسائل جذب انرژی در ساختمان‌ها، مزایا و معایب افزودن آنها به سه مدل قاب فولادی ۷ طبقه، و قاب‌های بتن مسلح ۱۰ و ۲۰ طبقه را بررسی کردند و مطالعه تحلیلی تاریخچه زمانی ارائه دادند. نتایج تغییرمکان و شتاب مطلق بام ساختمان‌ها نشان داد که این میراگرها مثل پدال ترمز موجب کاهش شدید پاسخ لرزه‌ای متناسب میرایی قطعات ویسکوالاستیک می‌شوند [۳].

مین و همکاران در سال ۲۰۰۴ با ارائه روند طراحی میراگرهای ویسکوالاستیک و بررسی نتایج آزمایشگاهی یک ساختمان فولادی ۵ طبقه یک دهانه با میراگرهای ویسکوالاستیک در طبقات ۱ و ۲، مشخصات مکانیکی میراگرها و دینامیک سازه تحت تحریک هارمونیک و ظرفیت میراگرهای ویسکوالاستیک برای ایجاد نسبت میرایی لازم را به دست آوردند و کاهش پاسخ دینامیکی بطور مطلوب را نشان دادند [۴]. زو و همکاران در سال ۲۰۰۴ با بررسی پارامترها و موقعیت بهینه میراگرهای ویسکوالاستیک، پاسخ خوبی را برای ساختمان بتنی با میراگرهای ویسکوالاستیک روی میز لرزه نشان دادند [۵].

کنترلی مناسب دید داده شود. جهت بررسی اثر استفاده از روش‌های کنترل سازه در بهبود رفتار سازه، ۶ قاب ساختمانی مختلف به شرح زیر طراحی شد [۱۱ و ۱۲].

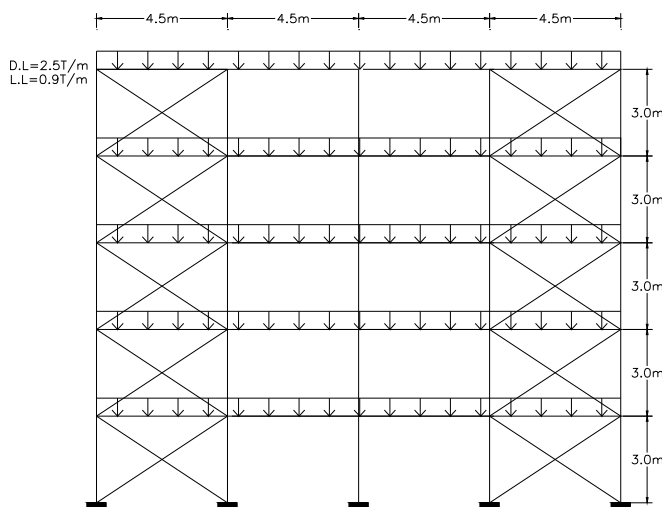
هندسه مدل‌ها

مدل‌های در نظر گرفته شده ۶ قاب ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، و ۳۰ طبقه با سیستم مقاوم جانبی قاب خمشی فولادی هستند. تمامی قاب‌های در نظر گرفته شده دارای چهار دهانه ۴/۵ متر می‌باشند که ارتفاع طبقات برابر ۳ متر می‌باشد (شکل ۱ برای جداسازی لرزه‌ای). بارگذاری در نظر گرفته شده برای این قاب‌ها عبارت است از بار مرده به میزان ۲۵ kN/m و سربار زنده به میزان ۹ kN/m که به صورت خطی بر روی تیرها اعمال می‌گردد. مقاطع در نظر گرفته شده برای تیرها و ستون‌های این قاب‌ها از مقاطع I شکل (بال پهن وتیر ورق I شکل) انتخاب گردیده است. طراحی این قاب‌ها با استفاده از روش تحلیل طیفی با طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ برای خاک نوع III انجام گرفت [۱۲].

کاست. این امر در رابطه با طراحی بر اساس عملکرد با استفاده از میراگر جرمی اهمیت زیادی دارد [۹]. زهرائی و قنادی در سال ۲۰۰۸ با بررسی کاربرد میراگر جرمی تنظیم شده در بالای ساختمان‌های ۱۵ تا ۳۰ طبقه در معرض زلزله نشان دادند که اگرچه کاهش جابجایی تا ۳۰٪ رخ می‌دهد لیکن وابستگی زیادی به مشخصات رکورد زلزله وجود دارد طوریکه با کاربرد تنها یک میراگر جرمی و تنظیم آن با فرکانس مد اول سازه ممکن است در برخی موارد بخصوص برای شتاب حتی نتیجه معکوس گرفته شود [۱۰].

مطالعه عددی قاب‌ها با سه روش کنترل

در این تحقیق جهت بررسی رفتار سازه‌ها با میراگر، چند نوع از روش‌های کنترل غیرفعال در سازه: جداسازی لرزه‌ای، میراگر جرمی تنظیم شده و میراگر ویسکوالاستیک مورد بررسی قرار می‌گیرند. مقایسه رفتار لرزه‌ای در این سه حالت کنترل با توجه به وابستگی به عوامل مختلف موثر بر موضوع، مشکل به نظر می‌رسد لیکن هدف آن است که به طراح برای انتخاب سیستم



شکل (۱): قاب فولادی مهاربندی شده ۵ طبقه برای جداسازی لرزه‌ای

افزار قابلیت تحلیل غیرخطی سازه بر اساس رفتار غیرخطی مصالح (فولاد) و انجام تحلیل استاتیکی و دینامیکی خطی، تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی (تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی) را داراست.

تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

برای بدست آوردن رفتار واقعی سازه بدون میراگر از نرم افزار Seismostruct استفاده گردید [۱۳]. این نرم

پارامترهای استفاده شده در جدول (۱) ارائه شده که w نیروی فشاری در پی، K_{d1} سختی جانبی جداگر، D_d ارتفاع کل جداگر، G مدول برشی سکانتی، β کرنش برشی ناشی از فشار بار قائم، γ کرنش برشی ناشی از تغییر مکان لرزه‌ای، t_r ارتفاع کل لاستیک، A سطح لایه فولاد و a ضلع ورق مربعی را بیان می‌کنند. همچنین S ، E_c ، K_v ، EI به ترتیب ضریب شکل، ضریب یانگ، سختی قائم و سختی خمشی جداگر هستند.

استفاده از میراگر جرمی تنظیم شده TMD

در این تحقیق برای قاب‌های طراحی شده، یک میراگر در طبقه آخر در نظر گرفته شد. تحلیل استفاده شده برای این مدل‌ها تحلیل تاریخچه زمانی خطی است. در این مدل‌ها شتابنگاشت السنترو به عنوان زلزله ورودی در نظر گرفته شد. پارامترهای سختی K ، میرایی C و جرم m استفاده شده برای TMD در مدل‌های مختلف به صورت جدول (۲) در نظر گرفته شد.

تحلیل استفاده شده در این تحقیق، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی است که در آن از رکوردهای مقیاس شده زلزله السنترو با شتاب حداکثر $0.35g$ استفاده شده است.

با توجه به فلسفه رفتار خطی سازه با میراگر، جهت سهولت مدل سازی سازه با میراگر از نرم افزار SAP2000 استفاده شد. این نرم افزار قابلیت تحلیل دینامیکی غیرخطی با رعایت رفتار غیرخطی برای وسایل استهلاک انرژی و رفتار خطی برای اعضای سازه‌ای را دارا بوده و با توجه به قابلیت بالقوه در مدل کردن میراگرها با المان Link، استفاده از این نرم‌افزار برای تحلیل سازه‌های با میراگر مناسب می‌باشد [۱۴].

استفاده از جداگرهای لرزه‌ای

جداسازها با المان جداگر لاستیکی و نمودار نیرو-تغییر مکان دو خطی، برای ۵ ستون قاب‌های طراحی شده یکسان فرض شد. برای یکنواخت شدن عملکرد هر ۵ جداساز حرکت گره‌های پای ستون در جهت زلزله به هم مقید گردید. طراحی انجام گرفته برای جداگرهای لرزه‌ای بر اساس آیین نامه UBC97 می‌باشد [۱۵].

جدول ۱: پارامترهای در نظر گرفته شده برای جداسازها

	w (ton)	Kd1 (ton/m)	Dd (m)	G (t/m ²)	β	γ	t_r (m)	A (m ²)	a(m)	S	E_c (t/m ²)	K_v (t/m)	EI (t.m ²)
5 story	250	32.2	0.29	40	0.15	1.5	0.2	0.16	0.40	0.5	68	54	0.05
10 story	510	65.7	0.29	40	0.15	1.5	0.2	0.33	0.57	0.7	138	227	0.41
15 story	775	99.8	0.29	40	0.15	1.5	0.2	0.50	0.71	0.9	210	524	1.43
20 story	1040	133.9	0.29	40	0.15	1.5	0.2	0.67	0.82	1.0	282	943	3.46
25 story	1310	168.7	0.29	40	0.15	1.5	0.2	0.84	0.92	1.1	355	1496	6.92
30 story	1550	199.6	0.29	40	0.15	1.5	0.2	1.00	1.00	1.2	420	2095	11.46

جدول ۲: پارامترهای در نظر گرفته شده برای TMD

	K (ton/m)	C (ton.s/m)	m (ton.s ² /m)
5 story	30.0	1.18	1.00
10 story	7.0	1.41	1.93
15 story	7.5	1.41	2.53
20 story	11.9	1.74	3.47
25 story	11.3	1.89	4.31
30 story	10.0	1.96	5.25

سازه های دارای میراگر ویسکوالاستیک

برای مدل کردن میراگر ویسکوالاستیک در نرم‌افزار SAP2000 از المان دمپر استفاده شد که بر اساس مدل Maxwell بصورت یک دمپر و فنر سری است و رابطه نیروی غیرخطی-تغییر مکان به صورت زیر می‌باشد:

$$f = kd_k = cd_c^{\text{exp}} \quad (1)$$

که در آن k سختی فنر، c ضریب میرایی میراگر، c_{exp} ثابت میرایی، d_k تغییر مکان فنر و d_c سرعت ایجاد شده در میراگر می‌باشد.

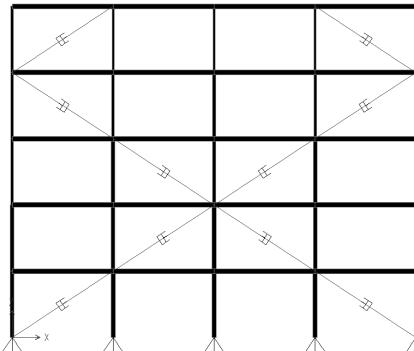
اضافه شده است ولی میراگر جرمی به بالای قاب‌های خمشی فولادی افزوده شده است.

بررسی نتایج عددی

پس از تحلیل مدل‌های بدون سیستم‌های مستهلک کننده توسط نرم‌افزار Seismostruct و قاب‌های با سیستم‌های مستهلک کننده انرژی توسط نرم‌افزار SAP2000، تغییرمکان‌ها و شتاب‌های ایجاد شده در سازه مشخص شدند. در نمودارهای ۳ الی ۸ منحنی‌های پوش تغییرمکان طبقات قاب‌ها ارائه شده است. همانطور که مشخص می‌باشد، تقریباً در تمامی قاب‌ها سه روش استفاده شده باعث کاهش تغییرمکان‌ها می‌گردند. روش جداسازی لرزه‌ای در سازه‌های کم طبقه که رفتار لرزه‌ای تقریباً صلبی دارند، بسیار موثر می‌باشد و به طور قابل ملاحظه‌ای موجب کاهش تغییرمکان‌های نسبی طبقات می‌گردد ولی با افزایش طبقات کارایی این روش کمتر می‌شود. اگرچه لغزش بزرگی در پایه ساختمان ایجاد می‌شود ولی تغییرمکان نسبی طبقات به مراتب کمتر از روش‌های دیگر کنترل است.

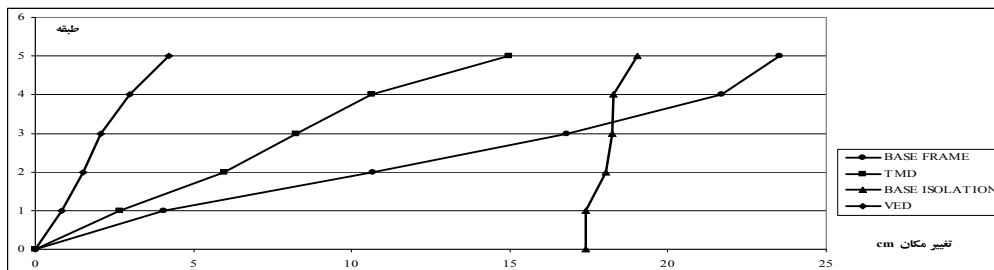
نحوه قرار گیری میراگرهای ویسکوالاستیک

با توجه به اینکه بهینه کردن میراگرها اصل مهمی در استفاده از روش‌های استهلاک انرژی می‌باشد، در این تحقیق نیز چیدمان‌های مختلف برای میراگرها در دهانه‌ها و طبقات بررسی شد و حالتی از چیدمان که دارای بهترین عملکرد بود برای استفاده از قاب‌ها در نظر گرفته شد که در شکل (۲) مشخص می‌باشد.

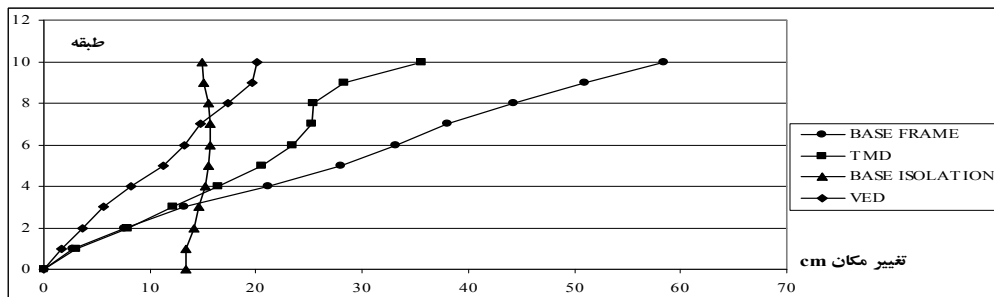


شکل (۲): مدل قاب ۵ طبقه در نرم افزار SAP2000 با VED

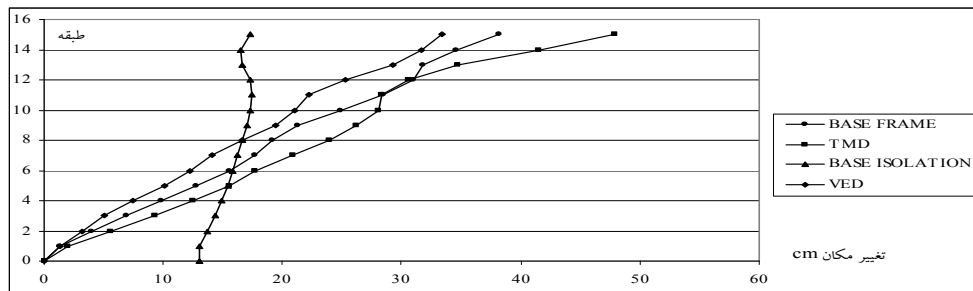
پارامترهای مورد استفاده برای میراگر (سختی و میرایی) نیز بهینه گشتند، تا بهترین اثر را در سازه داشته باشند. شایان ذکر است که برای دو حالت جداسازی و میراگر ویسکوالاستیک، مهاربندی نیز در قاب‌های فولادی



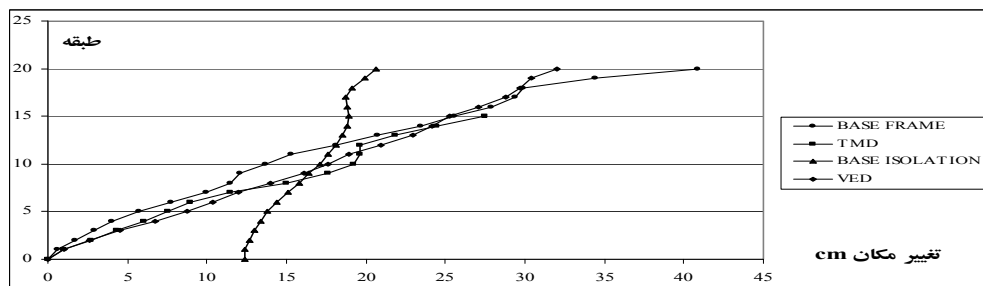
شکل (۳): حداکثر تغییر شکل طبقات قاب ۵ طبقه تحت زلزله السنترو



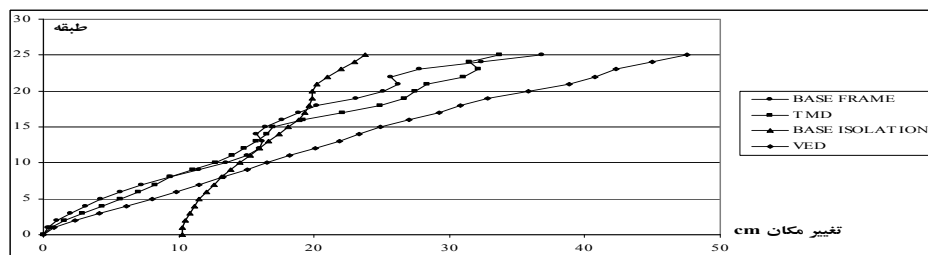
شکل (۴): حداکثر تغییر شکل طبقات قاب ۱۰ طبقه تحت زلزله السنترو



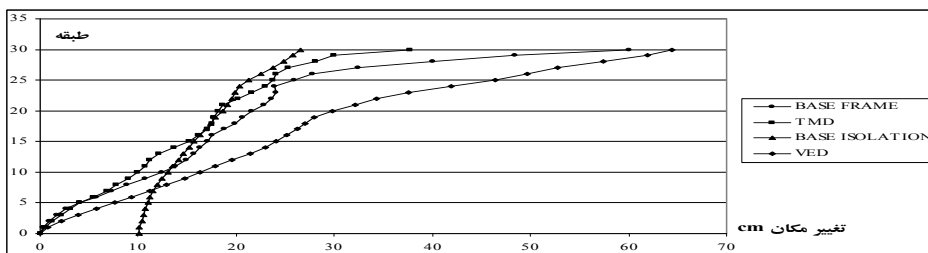
شکل (۵): حداکثر تغییر شکل طبقات قاب ۱۵ طبقه تحت زلزله السنترو



شکل (۶): حداکثر تغییر شکل طبقات قاب ۲۰ طبقه تحت زلزله السنترو



شکل (۷): حداکثر تغییر شکل طبقات قاب ۲۵ طبقه تحت زلزله السنترو



شکل (۸): حداکثر تغییر شکل طبقات قاب ۳۰ طبقه تحت زلزله السنترو

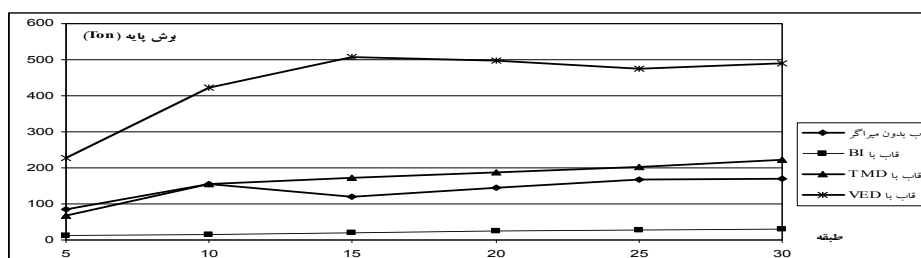
طبقات سازه کم می‌شود. البته این روش برای ساختمان‌های با قاب خمشی تاثیر کمتری دارد که بخاطر بالا بودن پریود قاب‌های خمشی است.

در ادامه نمودارهای برش پایه و حداکثر شتاب ایجاد شده در سازه ارائه شده است (اشکال ۹ و ۱۰). میراگر ویسکوالاستیک در قاب‌های مهاربندی نصب می‌شود که

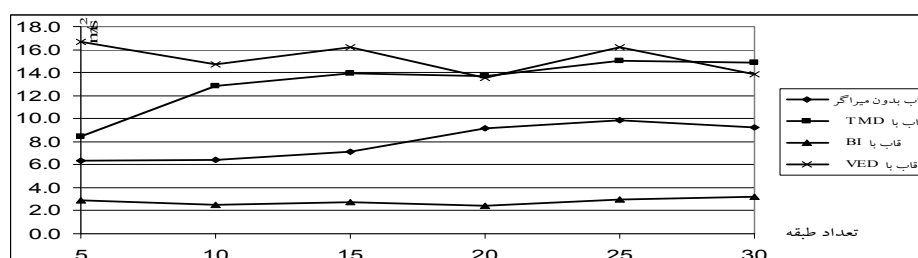
در واقع روش جداسازی بر اساس کاهش نیاز لرزه‌ای عمل می‌کند و با جدا کردن حرکت افقی سازه از زمین به وسیله تکیه‌گاه‌های با سختی افقی کم ولی سختی قائم زیاد، و ایجاد تغییر مکان‌های زیاد در این تکیه‌گاه‌های لغزشی، موجب کاهش چشمگیر نیروی ورودی زلزله به سازه می‌شود و در نتیجه تغییر مکان‌ها و شتاب‌های

برش پایه ایجاد شده در سازه جداسازی شده بسیار کمتر از روش‌های دیگر کنترل است که این مسئله به علت ماهیت جداسازی لرزه‌ای یعنی کاهش نیروی وارده به سازه می‌باشد (شکل ۹).

موجب افزایش زیاد سختی نسبت به قاب خمشی و کاهش سختی نسبت به حالت مهاربندی شده می‌گردد. لذا نیروهای برشی و شتاب طبقات در حالت استفاده از میراگر ویسکوالاستیک از حالت‌های دیگر کنترلی و حتی حالت قاب خمشی تنها بیشتر شده است. در تمامی قاب‌ها



شکل (۹): برش پایه قاب‌ها تحت زلزله الاسترو



شکل (۱۰): شتاب حداکثر ایجاد شده در قاب‌ها تحت زلزله الاسترو

افزایش برش پایه تا حدود ۲ برابر و شتاب تا حدود ۲/۵ برابر، ولی در عین حال موجب کاهش شدید جابجایی طبقات می‌گردد.

میراگر جرمی در بام، تغییر مکان‌های جانبی ناشی از زلزله را برای قاب‌های ۵ تا ۳۰ طبقه این مقاله، تا ۵۰٪ کاهش داده است. البته کارایی این روش خیلی به نوع شتاب نگاشت و رکورد زلزله وابسته است. سازه دارای جداساز لرزه‌ای باعث کاهش چشمگیر شتاب ایجاد شده در طبقات سازه و رساندن به کمتر از نصف می‌شود. لذا این روش بهترین گزینه برای استفاده در ساختمان‌های کمتر از ۱۰ طبقه و دارای تجهیزات حساس می‌باشد.

تقدیر و تشکر

این تحقیق با حمایت پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران در قالب پروژه تحقیقاتی ۸۱۰۸۰۲۰/۱/۰۳ انجام شده که به این وسیله تقدیر می‌شود؛ اما کلیه نتایج و نظرهای ارائه شده مربوط به مولفان است.

نتیجه گیری

افزافه کردن میراگر ویسکوالاستیک در نمونه‌های ۵ تا ۳۰ طبقه قاب خمشی به علت افزایش سختی، باعث

به دلیل مشابه شتاب طبقات نیز کاهش قابل توجهی دارد در حالیکه در همه قاب‌ها، میراگرهای ویسکوالاستیک و میراگرهای جرمی تنظیم شده باعث افزایش حداکثر شتاب‌های ایجاد شده در طبقات سازه‌ها حتی نسبت به حالت قاب خمشی تنها شده اند (شکل ۱۰).

بر اساس نتایج این تحقیق، کاربرد جداسازی لرزه‌ای برای ساختمان‌های کوتاه‌تر و سخت‌تر و در مقابل میراگر جرمی برای ساختمان‌های به نسبت بلندتر مناسب‌تر عمل می‌کنند. میراگرهای ویسکوالاستیک نیز در طبقات پائین ساختمان‌ها استفاده می‌شوند و بخوبی تغییر مکان‌ها را کاهش می‌دهند منتها شتاب طبقات قدری افزایش می‌یابد. لذا برای کاهش نیروها، تغییر مکان‌ها و شتاب‌های طبقات، بهترین روش کاربرد جداسازی لرزه‌ای است.

مراجع

- 1- Zahrai, S.M. (2010), Passive control of vibrations, the Univ. of Tehran Press, Tehran, Iran, In Farsi.
- 2- Lee, D.G., Hong, S., Kim, J. (2002), Efficient seismic analysis of building structures with added viscoelastic dampers, *Engineering Structures* 24, pp 1217-1227
- 3- Semih S.T., Ozan U. (2003). Reduction of earthquake response of plane frame buildings by Viscoelastic dampers, *Engineering Structures* 25, pp 1755-1761
- 4- Min, K.W., Kim, J., Lee, S.H. (2004), Vibration tests of 5-storey steel frame with viscoelastic dampers, *Engineering Structures* 26, pp 831-839
- 5- Xu, Z.D., Zhao, H.T., Li, A.Q. (2004), Optimal analysis and experimental study on structures with Viscoelastic dampers, *Journal of Sound and Vibration* 273 (2004) 607-618.
- 6- Zahrai, S.M. (2006), Introduction to base isolation and its effect on bridge performance, Transportation Research Center Press, Ministry of Transportation, Tehran, Iran, In Farsi.
- 7- Komuro, T., Nishikawa, Y., Kimura, Y., Isshiki, Y. (2005), Development and realization of base isolation system for high-rise buildings, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 3, No. 2, pp 233-239.
- 8- Zahrai, S.M., Naderpour, H. (2008), Nonlinear dynamic response of base-isolated structures with different characteristics of superstructures and isolators", CSCE Annual Conference, June 10-13, 2008, Quebec, QC, Canada.
- 9- Pinkaew. T., Lukkunaprasit. P., Chatupote. P. (2003), Seismic effectiveness of tuned mass dampers for damage reduction of structure. *Engineering Structures*. 25(1). pp 39-46.
- 10- Zahrai, S.M. & Ghannadi-Asl A. (2008). "Seismic Performance of TMDs in Improving the Response of MRF Buildings", *Scientia Iranica*, Vol. 15, No.1.
- 11- Building & Housing Research Center, Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Standard 2800, 3rd Edition, 2004.
- 12- Zeynali Seylab, R. (2006), Technical comparison of energy dissipation systems in steel structures, M.Sc. thesis completed at the school of Civil Engineering, the Univ. of Tehran, In Farsi.
- 13- SeismoStruct User Manual, Ver 3. 10, (2004). SeismoSoft.
- 14- SAP 2000 Software and User Guide, Ver. 8.3.1, (2000) Computers and Structures.
- 15- UBC (1997). Uniform building code, International Conference of Building Officials, Whittier, CA.