

بهبود رفتار لرزه‌ای قابهای خمشی فولادی به کمک میراگرهای ویسکوز و تعیین نیروی میرایی مناسب آنها

سید مهدی زهرائی، استاد قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساختهای عمرانی، دانشکده عمران
دانشگاه تهران

امید محمدی، کارشناس ارشد سازه

mzahrai@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۰۳/۲۰

چکیده:

سیستمهای اتلاف انرژی در سازه‌ها در چند دهه اخیر به طور گسترده برای کاهش نیروهای ناشی از زلزله و باد و همچنین کاهش جابجایی‌های ساختمانها در حد مجاز آیین‌نامه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یک نوع از این مستهلک کننده‌ها به عنوان سیستم‌های کنترل غیرفعال، میراگرهای ویسکوز می‌باشند که مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته‌اند. میراگرهای ویسکوز از یک پیستون روزنه‌دار درون سیلندری که حاوی سیالی با غلظت زیاد می‌باشد تشکیل شده‌اند. استهلاک این میراگر از طریق هل دادن و عبور سیال چسبنده از سوراخهای پیستون انجام می‌شود. این میراگرها بر دو نوع خطی و غیرخطی می‌باشند که نوع کاربردی و معمول آن میراگرهای خطی با ضریب توانی سرعت یک می‌باشد. درعمل مقادیر مناسب نیروی میرایی این سازه‌ها با توجه به روش شرح داده شده در FEMA273 تعیین شده و در سه حالت کنترل شده توسط تغییرمکان، سرعت و شتاب، بدست می‌آیند.

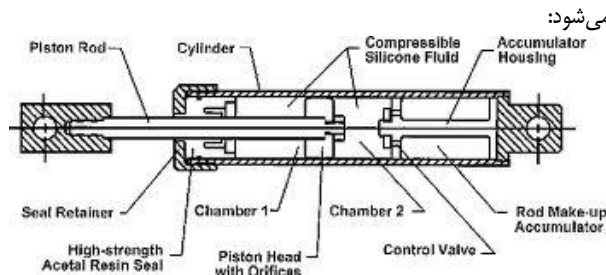
در این تحقیق، به بررسی تأثیر افزودن میراگرهای ویسکوز بر پاسخ لرزه‌ای قابهای خمشی پرداخته شده است. برای این منظور سه قاب خمشی فولادی با ۳ دهانه، و تعداد طبقات ۱، ۳ و ۶ و میراگرهایی ویسکوز با ضریب توانی ۱، ۰/۸ و ۰/۶ انتخاب شده‌اند. این سازه‌ها تحت تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی با نرم افزار Opensees ناشی از سه شتاب نگاشت ال سنترو، کوبه و نرتریج قرار گرفته و پاسخ آنها شامل تغییرمکان، شتاب و برش پایه در حالت با و بدون میراگرهای ویسکوز با یکدیگر مقایسه شده است. در پایان با توجه به پاسخ آنها در سه حالت کنترل شده توسط تغییرمکان، سرعت و شتاب، نیروی میرایی مناسب آنها بر مبنای شتاب و برش پایه حداکثر بدست آمده از FEMA273 برای سازه ۱ طبقه ۹۴/۷، ۳ طبقه ۲۴۰/۱ و سازه ۶ طبقه ۵۵۷/۱ کیلونیوتن تعیین شده است.

کلید واژگان: نیروی میرایی، میراگرهای ویسکوز، استهلاک انرژی، رفتار لرزه‌ای، تحلیل تاریخچه زمانی.

۱- مقدمه

میرایی خاصیتی است که توسط آن سیستم‌های فیزیکی مثل سازه‌ها انرژی ورودی ناشی از تحریکات خارجی را جذب و مستهلک می‌کند. انرژی کرنشی و پاسخ سازه به خصوص در حوالی وضعیت تشدید، جایی که میرایی بر پاسخ حاکم است توسط میرایی کاهش می‌یابد [۱]. به طور کلی میراگرهای الحاقی برای کاهش پاسخ دینامیکی سازه از قبیل جابجایی، شتاب و نیرو در بارگذاری زلزله و همچنین باد به کار برده می‌روند. کار و ساز این میراگرها به صورتی است که مقداری از انرژی ورودی به سازه را تحت تحریکات لرزه‌ای جذب و مستهلک می‌کند. روشهای مختلفی برای طراحی سازه‌های با عملکرد مطلوب در برابر زلزله پیشنهاد شده است. معمولاً در این روشها مقاومت مورد نیاز در برابر زلزله با استفاده از ترکیبی از سختی، شکل‌پذیری و همچنین استهلاک انرژی تأمین می‌شود. مقدار میرایی ذاتی در یک سازه یا ساختمان بسیار کم می‌باشد و در نتیجه استهلاک انرژی در محدوده رفتار ارتجاعی سازه نیز ناچیز خواهد بود و این بدان معنی است که سازه در برابر تحریکات قوی لرزه‌ای به ناچار باید با تغییرشکل‌های ماندگار در اعضای خود انرژی ورودی به سازه را مستهلک نماید. اما از آنجایی که این تغییرشکل‌های ماندگار در اعضا ممکن است پایداری سازه را به مخاطره اندازد، معقول است که این اتلاف انرژی از قبل توسط طراح در اعضای پیش بینی شده صورت گیرد تا در صورت از بین رفتن کارایی این عضو پایداری سازه به مخاطره نیفتد. یکی از کاربردی‌ترین و مؤثرترین روشهای کنترل نیروهای وارد شده و افزایش اتلاف انرژی ناشی از آن، استفاده از میراگرها در کاهش پاسخ سازه‌ها می‌باشد [۲ و ۳]. از میان آنها، میراگرهای ویسکوز در سالهای اخیر برای کنترل لرزه‌ای سازه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

میراگرهای ویسکوز از یک پیستون روزه‌دار درون سیلندری که حاوی سیالی با چسبندگی زیاد، عموماً روغن سیلیکون می‌باشد تشکیل شده‌اند. استهلاک این میراگر از طریق هل دادن و عبور مایع از داخل سوراخ پیستون انجام می‌شود. کارایی این میراگرها طی آزمایشات سخت به خوبی اثبات شده است و بیش از ۴۵ سال است که در بخشهای نظامی و تجاری از آنها استفاده شده است. در شکل‌های ۱ تا ۳، ساختمان مربوط به این میراگر و چند نمونه از آنها که توسط شرکت تیلور ساخته شده مشاهده می‌شود:

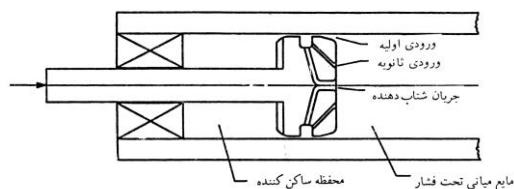


شکل (۱) میراگر ویسکوز روزه‌دار [۱ و ۴]



شکل (۲) چند نوع میراگر ویسکوز ساخته شده توسط شرکت تیلور [۵]

جنس پیستون در این میراگر از فولاد ضد زنگ می‌باشد که یک کلاهدک سوراخ دار برنزی بر روی آن قرار دارد. درون سیلندر را از مایعی با لزجت زیاد که عموماً روغن سیلیکون است پر می‌کنند. چگونگی موقعیت سوراخ بر روی کلاهدک پیستون در شکل (۳) نشان داده شده است [۲].



شکل (۳) برشی طولی از یک میراگر ویسکوز [۲]

روغن سیلیکون حاوی اکسیژن و کوارتز است که ضمن ساکن و پایدار ماندن برای مدتی طولانی، غیر قابل اشتعال و غیر سمی نیز می‌باشد. قشر جداکننده آب بند در این میراگر دارای فناوری منحصر به فرد و بالایی می‌باشد [۴]. رابطه بین نیرو و سرعت در این میراگرها را می‌توان بصورت رابطه زیر بیان نمود.

$$F = CV^\alpha$$

(۱)

که در آن F نیروی میراگر، V سرعت نسبی عبور سیال از روزه‌ده، C ضریب میرایی که با توجه به مشخصات میراگر تعیین می‌شود و α یک توان که رفتار میراگر را بیان می‌کند که مقدار آن عموماً از ۰/۳ تا ۱/۹۵ می‌تواند تغییر کند. میراگرهایی با $\alpha = 1$ را میراگرهای ویسکوز خطی

دادند [۹]. موسی‌نژاد و پورزینی در سال ۱۳۸۷ تأثیر کاربرد میراگرهای ویسکوز را در کاهش ارتعاشات لرزه‌ای یک ساختمان ۱۲ طبقه مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه با نوشتن معادله سازه با میراگرها و انتقال آن به فضای حالت و با کمک الگوریتم LQR مقادیر بهینه نیرو برای هر میراگر به صورت تابعی از زمان محاسبه و پاسخ سازه را تعیین نمودند. در پایان نتایج حاصل از تحلیل‌های انجام شده حاکی از آن بوده، که این نوع میراگرها می‌توانند ارتعاشات سازه را به میزان قابل توجهی کاهش دهند [۱۰].

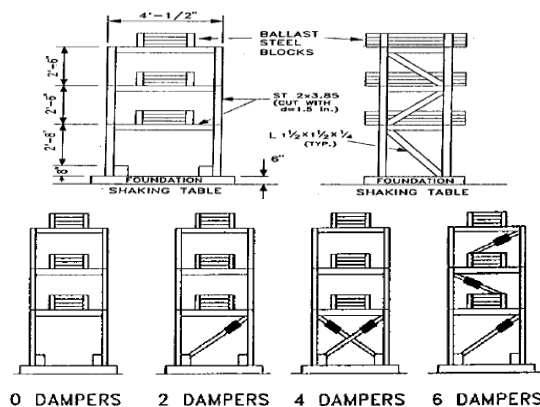
Howang در سال ۲۰۰۹ به معرفی میراگرهای ویسکوز و انواع خطی و غیرخطی و خصوصیات مکانیکی این میراگرها پرداخته و نسبت میرایی مؤثر سازه با میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی را محاسبه و فاکتورهای ترکیبات بارگذاری این میراگرها که در FEMA273 با CF2 و CF1 مشخص شده‌اند را شرح داده و در پایان یک مثال از طراحی سازه با میراگرهای ویسکوز خطی را بیان نمود [۱۱]. Miyamoto و همکاران در سال ۲۰۱۰، به بررسی کاربرد میراگرهای ویسکوز مایع در یکسری ساختمانهای شاخص یک تا ۱۰ طبقه پرداخته و با اعمال ۴۴ رکورد زلزله تحت تحلیل دینامیکی افزاینده، بهبود عملکرد سازه‌ها را در مقابل حداکثر زلزله محتمل نشان دادند [۱۲]. Roh و Reinhorn در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۰، پاسخ دینامیکی سازه را با کاهش مقاومت آن، کاهش داده‌اند در حالیکه افزایش تغییرمکان ناشی از این کاهش مقاومت با استفاده از میراگرهای ویسکوز کنترل شده است. آنها یک مدل سازه‌ای با مقیاس $\frac{1}{3}$ در دانشگاه بوفالو از این نوع سیستم را مورد آزمایش قرار داده و نتیجه گرفتند که در سازه‌هایی که مقاومت جانبی کم باعث کاهش پاسخ شتاب ناشی از زلزله می‌شود، برای کنترل جابجایی‌ها می‌توان از میراگرهای ویسکوز استفاده نمود [۱۳]. چرختاب بسیم و استکانچی در سال ۱۳۸۹ با استفاده از روش زمان دوام به عنوان روشی نوین برای تعیین عملکرد سازه با حداقل تعداد آنالیز تاریخچه زمانی، عملکرد کل سازه را ارزیابی نموده و از آن برای یافتن چیدمان بهینه میراگرها ویسکوز در قاب فولادی ضعیف با هدف رسیدن به عملکرد مطلوب استفاده کرده‌اند. قاب‌های مورد بررسی به صورت غیرخطی مدل شده، بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام یافته و آیین نامه 4IASCE معیار طراحی عملکردی بوده است [۱۴].

Silwal و همکاران در سال ۲۰۱۵ برای بهبود رفتار سازه‌های فولادی تحت بارهای لرزه‌ای چند سطحی، یک سیستم فوق ارتجاعی ویسکوز را پیشنهاد داده و کارایی آنرا در کاهش پاسخ لرزه‌ای با مطالعه آزمایشگاهی و تحلیلی روی یک قاب خمشی ویژه ۶ طبقه فولادی، نشان دادند [۱۵]. همچنین آنها در سال ۲۰۱۶ ضمن مطالعه مقاومت گسیختگی لرزه‌ای قاب خمشی فولادی ۹ طبقه با میراگر ویسکوز فوق ارتجاعی تحت بار

می‌نامند که در آن نیروی میراگر متناسب با سرعت می‌باشد. در این نوع میراگرها، میراگر رفتاری کاملاً لزج خواهد داشت. میراگرهایی با $\alpha < 1$ و $\alpha > 1$ را میراگرهای ویسکوز غیرخطی می‌نامند که میراگرهایی با $\alpha > 1$ معمولاً به علت اتلاف انرژی کم و ماهیت نیروی اینرسی در آن عملاً کاربرد سازه‌ای کمتری دارند ولی میراگرهایی با $\alpha < 1$ در کم کردن بیشینه سرعت در تحریکات لرزه‌ای بسیار سودمند هستند. در دهه اخیر مطالعات زیادی بر روی میراگرهای ویسکوز و تأثیر آن در سازه‌های مختلف توسط محققان انجام شده است.

Uetani و همکاران در سال ۲۰۰۳ به شرح روش نوینی برای طراحی بهینه سازه‌ها با میراگرهای غیرفعال پرداخته و یک مثال کاربردی واقعی را برای روش طراحی بهینه ساختمانهای با سیستم قابی مجهز به میراگرهای هیسترتیک بیان نمودند. همچنین به بیان روش طراحی سازه‌های مجهز به میراگرهای ویسکوز پرداختند. مرحله اول شامل طراحی سختی کاهش یافته مدل ساختمان برشی با میراگرهای ویسکوز می‌باشد و در مرحله بعد طراحی بهینه برای این ساختمان‌ها که در معرض بارهای استاتیکی قرار گرفته‌اند می‌باشد [۶]. Martinez-Rodrigo و Romero در سال ۲۰۰۳ پاسخ دینامیکی یک ساختمان چند طبقه فولادی با قاب خمشی مقاوم مجهز به میراگرهای ویسکوز مایع که در معرض بارهای لرزه‌ای قرار گرفته را به طور عددی بررسی نموده و پاسخ دینامیکی سازه در دو حالت مقاوم سازی شده با میراگرهای خطی و غیرخطی و شاخصهای عملکرد سازه را در هر دو روش مقاوم‌سازی مورد بررسی قرار دادند. در ساختمان فولادی ۶ طبقه که در دو حالت با میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی تحلیل شده به این نتیجه رسیده‌اند که نیروی های بیشینه در میراگرهای ویسکوز غیرخطی به مقدار ۳۵٪ کمتر از حالت میراگرهای ویسکوز خطی است که برای مقاوم‌سازی با عملکردی مشابه، مقاوم‌سازی شده است [۷].

Hwang و همکاران در سال ۲۰۰۶ مطالعه آزمایشی بر روی ساختمانهای بتن مسلح قاب خمشی با میراگرهای ویسکوز انجام داده‌اند و به ارزیابی تجربی تأثیر کاربرد میراگرهای ویسکوز در ساختمانهای بتن مسلح قاب خمشی با دیوارهای بتن مسلح ضعیف (منحصر به ساختمانها مطابق با آیین‌نامه طراحی تایوان) پرداخته‌اند. این ساختمان‌ها دارای دیوار خارجی بتن مسلح ضعیف و دیوارهای پارتیشن داخلی است که در مقاومت و سختی سازه به حساب نمی‌آیند، با ترکیب این سیستم به همراه میراگرهای ویسکوز می‌توان تغییرات نسبی طبقات را در حد مجاز و کمتر کنترل کرد، که از نتایج این تحقیق به شمار می‌آید [۸]. باقری و فلاح در سال ۱۳۸۷ کاربرد مؤثر این نوع میراگر که موجب کاهش قابل ملاحظه‌ای در پاسخ لرزه‌ای ساختمان شده را بررسی نموده و یک ساختمان ده طبقه را در دو حالت کنترل شده توسط میراگرها ویسکوز و کنترل نشده، تحت شتاب‌نگاشت سه زلزله مختلف مورد بررسی قرار

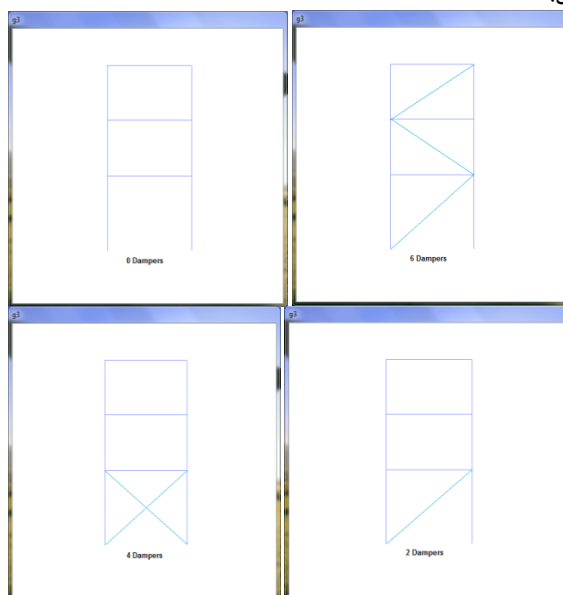


شکل (۴) مدل آزمایشگاهی ساختمان سه طبقه فولادی در مقیاس ۱/۴ با تعداد میراگرهای مختلف [۲۰].

جدول (۱) نتایج آزمایشگاهی مدل سازه سه طبقه [۲۰]

وزن	تعداد میراگر	نیروی برش پایه اوج طبقه	
		اوج جابجایی نسبی طبقه (%)	ارتفاع
۰	۰	۰/۲۹۵	۱/۴۹۸
۲	۲	۰/۱۹۶	۰/۸۶۵
۴	۴	۰/۱۵۹	۰/۶۶۰
۶	۶	۰/۱۳۸	۰/۵۱۰

این سازه در نرم افزار Opensees مدل شده (شکل ۵) و تحت ۵۰ درصد شتابنگاشت زلزله ال سنترو با ضریب ۰/۵ تحلیل تاریخچه زمانی شده است. نتایج حاصل از این تحلیل را در نرم افزار مورد نظر مطابق جدول (۲) می باشد.



شکل (۵) مدل عددی همان ساختمان سه طبقه فولادی در مقیاس ۱/۴ با تعداد میراگرهای مختلف در نرم افزار Opensees.

دینامیکی افزایشنده، توانایی بالای سیستم در برابر خرابی را با کمترین تغییرمکانهای ماندگار بدست آوردند [۱۶].

Lin و همکاران در سال ۲۰۱۵ روشی برای تحلیل پاسخ مودال ساختمانهای نامتقارن در پلان با میراگرهای ویسکوز غیرخطی ارائه دادند و نتیجه گرفتند که روند تحلیل ساده شده پیشنهادی منجر به برآورد رضایتبخشی از پاسخ لرزه‌ای چنین سازه‌هایی با میراگرهای ویسکوز غیرخطی می‌شود [۱۷]. Brodersen و همکاران در سال ۲۰۱۶ با شبیه‌سازی هیبرید یک میراگر ویسکوز هیبرید متشکل از ترکیب سری یک کمک فنر ویسکوز و یک محرک فعال نشان دادند که سیستم کنترل برای مدهای فرکانسی بالا فعال شده و موجب جابجایی لازم در محرک می‌شود [۱۸]. Kim و همکاران در سال ۲۰۱۶ با بررسی عملکرد لرزه‌ای قاب خمشی خرابی ویژه با میراگر ویسکوز نشان دادند که هدف عملکردی مطلوب تامین می‌شود و نقش میراگرها در وضعیت خسارت نهایی مهم خواهد بود [۱۹].

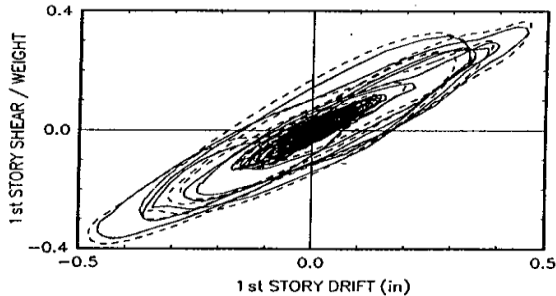
در این مقاله، تأثیر افزودن میراگرهای ویسکوز بر پاسخ لرزه‌ای قابهای خمشی بررسی شده است. برای این منظور سه قاب خمشی فولادی با ۳ دهانه، و تعداد طبقات ۱، ۳ و ۶ و میراگرهایی ویسکوز با ضریب توانی ۰/۸ و ۰/۶ انتخاب شده‌اند. این سازه‌ها تحت تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی با نرم افزار Opensees ناشی از سه شتاب نگاشت ال سنترو، کوبه و نرتریچ قرار گرفته و پاسخ آنها شامل تغییرمکان، شتاب و برش پایه در حالت با و بدون میراگرهای ویسکوز با یکدیگر مقایسه شده است.

۲- صحت سنجی مدل‌سازی عددی

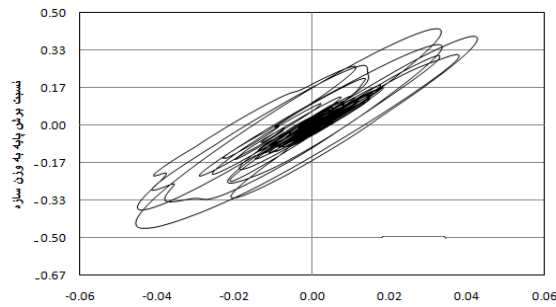
برای کنترل صحت مدل‌سازی با نرم‌افزار مورد استفاده، یک ساختمان سه طبقه فولادی که در مقیاس ۱/۴ توسط Constantinou و Symans [۲۰] تحت ۶۶ آزمایش شبیه‌سازی شامل پنج حرکت زمین لرزه‌های مختلف قرار گرفته در نظر گرفته شد. این آزمایشات بر روی ساختمان به صورت بدون میراگر با ۲، ۴ و ۶ میراگر انجام گرفت (شکل ۴). جرم کل طبقات این مدل سازه ای برابر با ۲۹۰۰ kg بود که به طور یکسان در هر طبقه توزیع شده بود. سازه مورد نظر تحت ۵۰ درصد شتابنگاشت زلزله ال سنترو مورد آزمایش قرار گرفته است. جدول (۱) نتایج حاصل از این آزمایش را نشان می‌دهد.

جدول (۲) نتایج تحلیل مدل سازه سه طبقه در نرم افزار Opensees.

زمین لرزه	تعداد میراگر	اوج جابجایی نسبی طبقه (%)	
		وزن	ارتفاع
El centro 50%	۰	۰/۲۹	۱/۵
	۲	۰/۱۷۹	۰/۲۷۵
	۴	۰/۱۱۶	۰/۵۳۹
	۶	۰/۱۰۵	۰/۴۷۷



(الف)



(ب)

شکل (۷) الف: رفتار هیستریزس مدل آزمایشگاهی تحت زلزله ال سنترو (۱۵۰٪).
 ب: رفتار هیستریزس مدل عددی Opensees تحت زلزله ال سنترو (۱۵۰٪).

۳- مدل‌های عددی

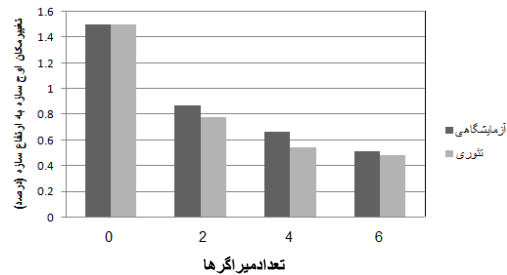
برای تأمین هدف این تحقیق ۳ قاب خمشی فولادی با ۳ دهانه و تعداد طبقات ۱، ۳ و ۶ انتخاب شده است. فرض شده است که این سازه‌ها در منطقه‌ای با خطر نسبی زیاد قرار دارند. سازه‌ها پس از انتخاب برای تحلیل ارتجاعی به منظور طراحی، در نرم افزار SAP مدلسازی و بارگذاری شده اند. نتایج تحلیل‌ها در طراحی مورد استفاده قرار گرفته و جزئیات اعضا برای تمام قابها مشخص گردید. با توجه به اهداف تحقیق حاضر، ۳ قاب خمشی فولادی با تعداد طبقات و دهانه‌های مختلف به شرح جدول (۳) در منطقه ای با خطر نسبی زیاد مطابق استاندارد ۲۸۰۰ [۲۱] مورد مطالعه قرار گرفت.

جدول (۳) مشخصات سازه‌های انتخاب شده

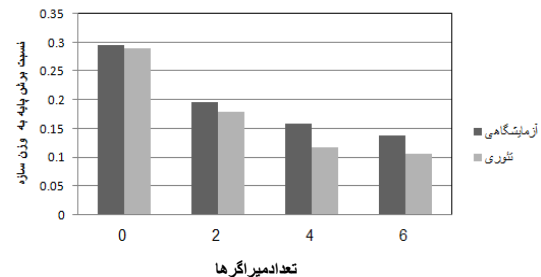
تعداد دهانه	تعداد طبقه
۳	۱
۳	۳
۳	۶

در شکل‌های (۶) و (۷) مقایسه نتایج حاصل از مدل آزمایشگاهی و مدل تحلیل شده توسط نرم افزار Opensees مشاهده می‌شود. در این نمودارها حداکثر پاسخ سازه (شتاب، نسبت برش پایه به وزن سازه و نسبت تغییرمکان جانبی به ارتفاع آن) در بام سازه و در دو حالت آزمایشگاهی و تئوری نشان داده شده است.

همانطوری که از این نمودارها استنباط می‌شود، نتایج حاصل از تحلیل توسط نرم‌افزار ذکر شده همخوانی خوبی با نتایج حاصل از بارگذاری آزمایشگاهی مدل انتخاب شده دارد بطوری که میانگین اختلاف این نتایج برابر با عددی بین ۵ تا ۸/۵ درصد می‌باشد، که البته یکی از دلایل این اختلاف عدم وجود اطلاعات کامل نمونه آزمایشگاهی برای مدل نمودن دقیق آن در نرم افزار Opensees می‌باشد.



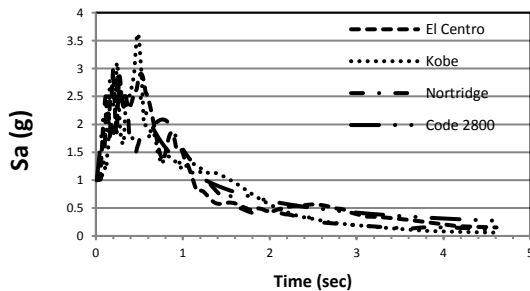
الف



ب

شکل (۶) الف: مقایسه تغییرمکان اوج سازه به ارتفاع (٪) در دو حالت آزمایشگاهی و تئوری. ب: مقایسه برش پایه سازه در دو حالت آزمایشگاهی و تئوری.

حذف اختلاف بین حداکثر شتاب زمین در آنها، این شتابنگاشتها براساس روش شرح داده شده در استاندارد ۲۸۰۰ با طیف طرح استاندارد همپایه شده اند. با استفاده از این روش می‌توان طیف‌های کشورهای مختلف را بدون در نظر گرفتن حداکثر شتاب زمین در آنها، از نظر شکلی مورد مقایسه قرار داد.



شکل (۸) طیف پاسخ شتاب نگاشت زلزله‌ها با میرایی ۵٪

۵- تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی سازه‌ها

هر یک از سازه‌های انتخاب شده در این تحقیق تحت تحلیل تاریخیچه زمانی با میراگرهای ویسکوز خطی ($\alpha = 1$) و غیرخطی ($\alpha = 0.8$ و 0.6) تحت سه شتاب نگاشت الاسترو، کوبه و نرتریجدر حالت غیرخطی و خطی مورد تحلیل قرار گرفته‌اند. مدل این سازه‌ها در شکل ۹ نشان داده شده‌اند. همچنین برای بررسی رفتار لرزه‌ای، در حالت بدون استفاده از میراگرهای ویسکوز نیز مورد تحلیل تاریخیچه زمانی خطی و غیرخطی قرار داده شده‌اند.

قابها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که در محدوده قابهای ساختمانی متعارف و معمول باشند. ارتفاع طبقات برای قابها مورد مطالعه ۳ متر و عرض دهانه‌ها ۴ متر در نظر گرفته شده است. فرض شده است که قابهای انتخاب شده، قابهای میانی ساختمانی با اهمیت متوسط مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ باشند. برای پوشش سقفهای طبقات و بام، سیستم دال بتنی با جزئیات متعارف در ساختمانیها در نظر گرفته شده است. زمین محل احداث ساختمان نیز از نوع II فرض شده است

پس از این مرحله، سازه برای تحلیل‌های غیرارتجاعی شامل تحلیل تاریخیچه زمانی خطی و غیرخطی در نرم افزار Opensees مدل‌سازی شدند. در این نرم‌افزار برای اعضای سازه‌ای (تیر و ستون) از المان‌های *Elastic Beam Column* و *Beam Column Nonelastic* استفاده شده است. تفاوت عمده این دو المان در غیرخطی و خطی بودن آنها می‌باشد. در المان *Elastic Beam Column* نوع رفتار این اعضاء الاستیک در نظر گرفته می‌شود و تنها خصوصیتی از مقطع از جمله همان اینرسی حول محور مورد نظر و ضریب الاستیسیته مورد نیاز است اما برای المان نوع دوم یک مصالح و یک مقطع باید تعریف نمود که نرم‌افزار خصوصیات آن را محاسبه خواهد نمود. همچنین برای مدل نمودن میراگرها در این نرم‌افزار باید از المان *truss* استفاده کرد چرا که در اتصال میراگرهای ویسکوز به سازه ما تنها نیروی محوری را نیاز داشته و این میراگر نباید تحت خمش و برش قرار گیرد و المان *truss* این مزیت را دارد که فقط در مقابل نیروهای محوری عکس العمل نشان می‌دهد. برای مدل کردن رفتار میراگرها طبق رابطه $F = CV^\alpha$ از مصالح ویسکوز استفاده شده است

۴- شتاب‌نگاشتهای زلزله ورودی

برای تهیه ورودی‌های تحلیل‌های تاریخیچه زمانی، از شتابنگاشتهای سه زلزله مخرب استفاده شده است (جدول ۴). انتخاب حداقل سه شتاب نگاشت براساس توصیه استاندارد ۲۸۰۰ برای تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه‌ها است.

جدول (۴) نگاشتهای استفاده شده در تحلیل تاریخیچه زمانی سازه‌ها

زلزله	محل وقوع	سال وقوع	PGA(g)
نرتریج	آمریکا	۱۹۹۴	۰/۳۴۴
کوبه	ژاپن	۱۹۹۵	۰/۶۹۴
السترو	آمریکا	۱۹۴۰	۰/۳۱۹

طیف‌های پاسخ این نگاشتها به همراه طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ [۲۱] در شکل (۸) نشان داده شده است برای تأثیر یکسان این شتابنگاشتها و

جدول (۵) حداکثر برش پایه در سازه یک طبقه با و بدون میراگر (kN)

سازه	میراگر	α	Elcentro	Kobe	Northridge
یک طبقه	ندارد	-	۳۳۱/۹۹۰۳	۴۵۹/۶۸۳	۳۴۳/۴۵۲۸
	دارد	۱	۲۳۴/۱۹۲۴	۳۹۳/۳۱۳۳	۲۲۰/۶۸۴۱
	دارد	۰/۸	۱۷۱/۱۲۷۷	۳۵۷/۹۵۰۷	۱۷۶/۰۸۶۲
دارد	۰/۶		۱۱۴/۹۶۵۷	۳۰۵/۰۷۳۶	۱۳۴/۴۳۱۶

جدول (۶) حداکثر برش پایه در سازه سه طبقه با و بدون میراگر (kN)

سازه	میراگر	α	Elcentro	Kobe	Northridge
سه طبقه	ندارد	-	۴۶۰/۴۹۸	۶۴۸/۰۱۹	۴۸۸/۴۲۱
	دارد	۱	۲۴۴/۰	۴۷۹/۴	۲۴۳/۴۵
	دارد	۰/۸	۱۸۳/۰	۳۷۲/۰	۲۰۰/۰۱
دارد	۰/۶		۱۰۴/۳	۲۷۴/۴	۱۳۳/۰

جدول (۷) حداکثر برش پایه در سازه شش طبقه با و بدون میراگر (kN)

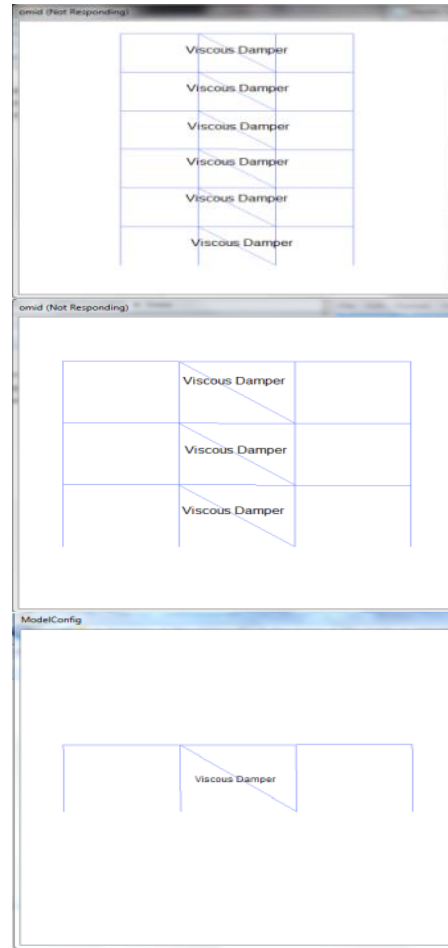
سازه	میراگر	α	Elcentro	Kobe	Northridge
شش طبقه	ندارد	-	۵۵۶/۸۱۱	۹۸۷/۰۹۶	۷۵۲/۴۹
	دارد	۱	۲۳۲/۱۷۸۲	۵۱۲/۳۹۱	۲۸۹/۳۷۴۵
	دارد	۰/۸	۱۲۶/۳۷۸۳	۳۵۵/۲۹۵۱	۱۰۸/۳۸۴۵
دارد	۰/۶		۸۸/۷۰۸۱	۲۸۸/۹۴۶۲۸	۷۰۴/۴۴۰۳

جدول (۸) حداکثر تغییرمکان جانبی بام سازه یک طبقه با و بدون میراگر (m)

سازه	میراگر	α	Elcentro	Kobe	Northridge
یک طبقه	ندارد	-	۰/۰۱۵۹	۰/۰۲۲۳۶۸۹	۰/۰۱۶۴۴۸۹
	دارد	۱	۰/۰۱۱۰	۰/۰۱۸۹	۰/۰۱۰۵۵۳
	دارد	۰/۸	۰/۰۰۸۱۷	۰/۰۱۷۱	۰/۰۰۸۴۲
دارد	۰/۶		۰/۰۰۵۴۹	۰/۰۱۴۶	۰/۰۰۶۴۱

جدول (۹) حداکثر تغییرمکان جانبی بام سازه سه طبقه با و بدون میراگر (m)

سازه	میراگر	α	Elcentro	Kobe	Northridge	طبقه
سه طبقه	ندارد	-	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۸۲۲	۰/۰۱۳۹۵۶۳	۱
	دارد	۱	۰/۰۰۸۹۳	۰/۰۲۰۲	۰/۰۰۵۸۳	
	دارد	۰/۸	۰/۰۰۶۳۲	۰/۰۱۴۴	۰/۰۰۶۹۵	
سه طبقه	دارد	۰/۶	۰/۰۰۳۲۶	۰/۰۰۹۳۵	۰/۰۰۴۱۸	۲
	ندارد	-	۰/۰۳۹۹۹۳	۰/۰۵۹۲۹	۰/۰۴۱۵	
	دارد	۱	۰/۰۲۱۷	۰/۰۴۶۴	۰/۰۲۰۰	
سه طبقه	دارد	۰/۸	۰/۰۱۴۴	۰/۰۳۳۱	۰/۰۱۵۷	۳
	دارد	۰/۶	۰/۰۰۶۴۸	۰/۰۱۹۷	۰/۰۰۸۳۶	
	ندارد	-	۰/۰۸۰۶۴۹	۰/۱۴۵۱۳	۰/۰۸۱۹	
سه طبقه	دارد	۱	۰/۰۳۰۹۵۹	۰/۰۶۴۱	۰/۰۲۷۹	۳
	دارد	۰/۸	۰/۰۱۹۳۴	۰/۰۴۶۹	۰/۰۲۱۱	
	دارد	۰/۶	۰/۰۰۷۸۵	۰/۰۲۲۶	۰/۰۱۰۲	



شکل (۹) مدل سازه های مورد مطالعه با میراگرهای ویسکوز

۶- تعیین نیروی میرایی در میراگر ویسکوز

نیروی میرایی میراگرها با روش طراحی شرح داده شده در FEMA273 در سه حالت کنترل شده توسط تغییرمکان، سرعت و شتاب بدست آمده است [۲۲]. سپس سازه‌ها تحت سه زلزله الاسترو، کوبه و نرتریج مورد تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی قرار گرفته و نیروهای حاصل از این تحلیل برای میراگرها با نیروهای حاصل از روش ذکر شده در بالا مقایسه شده و نیروی میرایی مناسب هر یک از سازه‌ها تعیین شده است. نتایج حاصل از پاسخ هیستریزس سازه‌ها نشان داد که در سازه یک طبقه، میراگر تاثیر زیادی نداشته که این امر ناشی از وارد نشدن رفتار سازه در محدوده غیرارتجاعی و تاثیر میراگرها در سازه‌هایی با ارتفاع بیشتر می‌باشد ولی در پاسخ هیستریزس سازه‌های سه طبقه و شش طبقه کاملاً مشهود بوده که با حلقه‌های بزرگتر نشان از اتلاف انرژی بیشتر در این حالت دارد. در جداول (۵) تا (۱۶) مقادیر حداکثر پاسخ سازه‌ها تحت تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی آورده شده است.

جدول (۱۲) حداکثر سرعت جانبی سازه سه طبقه با و بدون میراگر (m/s)

طبقه	Northridge	Kobe	Elcentro	α	میراگر	سازه
۱	۰/۱۵۲۵۴۶	۰/۲۳۲	۰/۱۵۹۹۱۵	-	ندارد	سه طبقه
	۰/۰۷۵۹۹۱	۰/۲۵۷	۰/۱۳۱۸۰۹	۱	دارد	
	۰/۰۶۹	۰/۲۰۳	۰/۰۹۶۳	۰/۸	دارد	
	۰/۰۵۱۳	۰/۱۵۴	۰/۰۵۳۳	۰/۶	دارد	
۲	۰/۳۹۸۰۰۷	۰/۶۴	۰/۴۶۰۱۰۳	-	ندارد	سه طبقه
	۰/۱۹۰۶۰۹	۰/۶۱۷	۰/۳۱۸۳۴۶	۱	دارد	
	۰/۱۵۲۸	۰/۴۶۳	۰/۲۱۷۹۱۳	۰/۸	دارد	
	۰/۱۰۰۵۶۳	۰/۳۰۲	۰/۰۹۸۲۶۶	۰/۶	دارد	
۳	۰/۶۴۳۴۴۱۱	۰/۸۷۷	۰/۸۴۹۸۵۴	-	ندارد	سه طبقه
	۰/۲۷۸۳۱۷	۰/۸۷۲	۰/۴۴۸۷۴۲	۱	دارد	
	۰/۲۰۰۳۸۵	۰/۶۲۱	۰/۲۹۱۳۵۲	۰/۸	دارد	
	۰/۱۲۰۱۰۲	۰/۳۵۷	۰/۱۱۶۲۹۵	۰/۶	دارد	

جدول (۱۳) حداکثر سرعت جانبی سازه شش طبقه با و بدون میراگر (m/s)

طبقه	Northridge	Kobe	Elcentro	α	میراگر	سازه
۱	۰/۰۸۱۹	۰/۱۵۸	۰/۰۷۰۸۲۴۲	-	ندارد	شش طبقه
	۰/۰۵۵۰	۰/۰۹۸۶	۰/۰۵۱۱۱۹۲	۱	دارد	
	۰/۰۲۵۵	۰/۰۸۷۶	۰/۰۳۰۷	۰/۸	دارد	
	۰/۰۱۶۲	۰/۰۹۰۶	۰/۰۲۷۸	۰/۶	دارد	
۲	۰/۲۲۵۸۱۳	۰/۴۲۷	۰/۲۰۰۱۳۱	-	ندارد	شش طبقه
	۰/۱۸۳۷۷	۰/۲۰۹	۰/۱۰۹۴۶۳	۱	دارد	
	۰/۰۶۲۸	۰/۱۸۷	۰/۰۹۷۱۶۷	۰/۸	دارد	
	۰/۰۶۵۱	۰/۱۹۲	۰/۱۱۲۱۰۲	۰/۶	دارد	
۳	۰/۴۱۰۰۶۸	۰/۷۲۸	۰/۳۸۶۳۴	-	ندارد	شش طبقه
	۰/۱۷۶۹۹۹	۰/۳۴۱	۰/۱۸۱۹۶۷	۱	دارد	
	۰/۱۰۲۹۸۷	۰/۳۴۳	۰/۱۸۸۰۴۲	۰/۸	دارد	
	۰/۱۲۷۴۲۵	۰/۳۷۴	۰/۲۱۹۸۹۶	۰/۶	دارد	
۴	۰/۶۰۴۹۵۷	۱/۰۵	۰/۵۹۳۸۹۲	-	ندارد	شش طبقه
	۰/۲۳۰۰۳۱	۰/۴۷۸	۰/۲۵۶۸۶۶	۱	دارد	
	۰/۱۷۱۴۰۳	۰/۵۱۴	۰/۲۹۳۷۴۱	۰/۸	دارد	
	۰/۱۹۵۵۶۳	۰/۵۷۹	۰/۳۳۸۱۳۶	۰/۶	دارد	
۵	۰/۸۲۵۰۹۷	۱/۳۷	۰/۸۰۹۵۵۶	-	ندارد	شش طبقه
	۰/۲۷۵۰۳۸	۰/۶۰۹	۰/۳۲۸۱۷۹	۱	دارد	
	۰/۲۴۰۳۶۵	۰/۶۸۸	۰/۳۴۳۵۷۸	۰/۸	دارد	
	۰/۲۶۴۲۹۴	۰/۷۹۲	۰/۴۵۷۴۴۱	۰/۶	دارد	
۶	۰/۹۹۰۲۹۷	۱/۶۷	۰/۹۸۶۰۵۲	-	ندارد	شش طبقه
	۰/۳۰۹۱۷۷	۰/۷۲۸	۰/۳۹۰۵۴۹	۱	دارد	
	۰/۳۰۷۶۸۹	۰/۸۵۶	۰/۵۰۳۸۳۷	۰/۸	دارد	
	۰/۳۳۹۶۹۳	۰/۹۹۷	۰/۵۷۷۸۸۴	۰/۶	دارد	

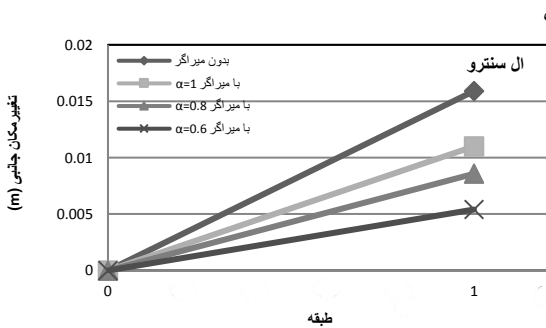
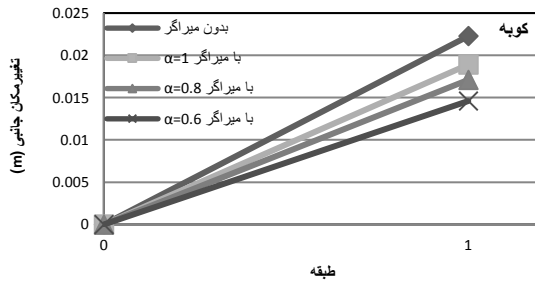
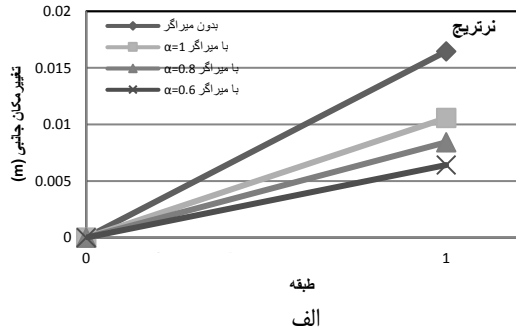
جدول (۱۰) حداکثر تغییر مکان جانبی سازه شش طبقه با و بدون میراگر (m)

طبقه	Northridge	Kobe	Elcentro	α	میراگر	سازه
۱	۰/۰۱۰۱	۰/۰۱۸	۰/۰۱۰۱	-	ندارد	شش طبقه
	۰/۰۰۵۳۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۴۳۶	۱	دارد	
	۰/۰۰۱۸۵	۰/۰۰۸۷۸	۰/۰۰۲۳۴	۰/۸	دارد	
	۰/۰۰۱۲۷	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۱۶۴	۰/۶	دارد	
۲	۰/۰۳۲۳۷۱۶	۰/۰۵۶۳	۰/۰۳۱۳	-	ندارد	شش طبقه
	۰/۰۱۰۴۸۹۴	۰/۰۲۳۹	۰/۰۰۸۷۴	۱	دارد	
	۰/۰۰۵۴۳	۰/۰۲۱۱	۰/۰۰۶۳۶	۰/۸	دارد	
	۰/۰۵۰۷	۰/۰۲۰۷	۰/۰۰۶۳۰	۰/۶	دارد	
۳	۰/۰۷۰۷۲۹	۰/۱۱۳	۰/۰۶۲۸	-	ندارد	شش طبقه
	۰/۰۱۴۷	۰/۰۳۵۶	۰/۰۱۳۸	۱	دارد	
	۰/۰۱۰۲	۰/۰۳۳۵	۰/۰۱۱۵	۰/۸	دارد	
	۰/۰۰۹۸۸	۰/۰۳۳۹	۰/۰۱۲۵	۰/۶	دارد	
۴	۰/۱۱۶	۰/۱۷۵	۰/۰۹۲۵	-	ندارد	شش طبقه
	۰/۰۱۸۶	۰/۰۴۶۲	۰/۰۱۸۸	۱	دارد	
	۰/۰۱۵۳	۰/۰۴۶	۰/۰۱۷۷	۰/۸	دارد	
	۰/۰۱۵۱	۰/۰۴۹۵	۰/۰۱۹۴	۰/۶	دارد	
۵	۰/۱۴۹	۰/۲۲۸	۰/۱۱۴	-	ندارد	شش طبقه
	۰/۰۲۲۸	۰۵۵۲	۰/۰۲۳۵	۱	دارد	
	۰/۰۲۰۵۴۵۶	۰/۰۵۷۹	۰/۰۲۴۰	۰/۸	دارد	
	۰/۰۲۰۳۲۶۹	۰/۰۰۶۳۷	۰/۰۲۶۵	۰/۶	دارد	
۶	۰/۱۶۸۰	۰/۲۷۱	۰/۱۲۷	-	ندارد	شش طبقه
	۰/۰۲۶۶۲۹۴	۰/۰۶۲۱	۰/۰۲۷۶	۱	دارد	
	۰/۰۲۵۴۴۵	۰/۰۶۸۴	۰/۰۳۰۰	۰/۸	دارد	
	۰/۰۲۵۲۶۹	۰/۰۷۷۲	۰/۰۳۳۳	۰/۶	دارد	

جدول (۱۱) حداکثر سرعت جانبی سازه یک طبقه با و بدون میراگر (m/s)

Northridge	Kobe	Elcentro	α	میراگر	سازه
۰/۳۵۵۳۵۲	۰/۵۰۹	۰/۳۶۱۸۱۳	-	ندارد	یک طبقه
۰/۳۳۲۳۲۵	۰/۴۴۶	۰/۲۷۸۰۸۵	۱	دارد	
۰/۱۸۲۸۱۳	۰/۳۸۱	۰/۲۱۴۱۹۶	۰/۸	دارد	
۰/۱۰۳۹۴۲	۰/۲۹۶	۰/۱۱۹۶۴۶	۰/۶	دارد	

اشکال (۱۰) تا (۱۵) پاسخ‌های جابجایی و شتاب سازه‌های مورد مطالعه را تحت تحلیل تاریخچه زمانی حاصل از سه شتاب نگاشت السنترو، کوبه و نرتریج نشان می‌دهد. در اکثر پاسخ سازه‌ها بخصوص در تغییر مکانهای طبقات میراگرها باعث کاهش پاسخ سازه‌ها شده‌اند، که این امر با افزایش تعداد طبقات سازه بیشتر نمایان می‌گردد.



شکل (۱۰) حداکثر تغییر مکان جانبی سازه یک طبقه در حالت بدون میراگر و با میراگر تحت زلزله الف: نرتریج ب: کوبه ج: السنترو

همانطور که از این نمودارها نتیجه می‌شود استفاده از میراگرهای ویسکوز در این سازه‌ها در مقایسه با سازه‌های بدون میراگر در کاهش تغییر مکان طبقات تأثیر محسوسی داشته‌اند، که این مقدار کاهش در سازه‌هایی مجهز به میراگرهایی با ضریب توانی سرعت (α) کوچکتر بیشتر می‌باشد به طوری که مشاهده می‌شود سازه‌های مجهز به میراگرهایی با ضریب توانی

جدول (۱۴) حداکثر شتاب بام جانبی سازه یک طبقه با و بدون میراگر (m/s^2)

سازه	میراگر	α	Elcentro	Kobe	Northridge
یک طبقه	ندارد	-	۹/۵۱۹۲۱	۱۱/۷	۹/۲۳۶۹۴
	دارد	۱	۷/۶۳۱۳۲	۱۰/۸	۶/۱۵۴
	دارد	۰/۸	۶/۳۶۳۱۴	۹/۶۲	۴/۳۹۹۹۹
	دارد	۰/۶	۴/۳۹۷۰۲	۷/۴۸	۲/۵۶۰۶۴

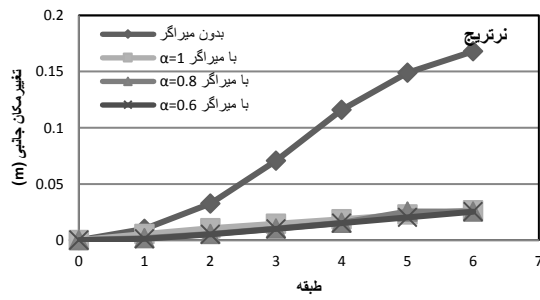
جدول (۱۵) حداکثر شتاب بام جانبی سازه سه طبقه با و بدون میراگر (m/s^2)

سازه	میراگر	α	Elcentro	Kobe	North	طبقه
سه طبقه	ندارد	-	۳/۳۱۰۲۵	۵/۱۷	۲/۴۰۶۶۱	۱
	دارد	۱	۲/۷۴۰۴۳	۴/۷۳	۲/۱۸۸۶۸	۱
	دارد	۰/۸	۲/۷۲۴۲۱	۳/۵۴	۱/۸۷۴۴۹	۱
	دارد	۰/۶	۱/۹۰۹۵۱	۳/۵۷	۱/۲۴۳۳۷	۱
سه طبقه	ندارد	-	۵/۶۷۶۷۹	۷/۷۹	۵/۴۶۶۸۹	۲
	دارد	۱	۴/۸۷۱۷	۸/۹۷	۴/۲۲۶۵۶	۲
	دارد	۰/۸	۴/۹۹۳۵۷	۷/۴۰	۳/۷۵۵۳۳	۲
	دارد	۰/۶	۴/۴۰۲۶	۵/۷۲	۲/۷۶۶۶۸	۲
سه طبقه	ندارد	-	۱۰/۳۴۰۶	۱۲	۸/۰۹۲۵۴	۳
	دارد	۱	۷/۰۳۹۴	۱۲/۸	۵/۳۴۹۲	۳
	دارد	۰/۸	۴/۹۹۳۵۷	۱۰/۱	۴/۶۵۵۵۸	۳
	دارد	۰/۶	۵/۵۴۷۸۲	۷/۶۵	۳/۴۹۸۲۶	۳

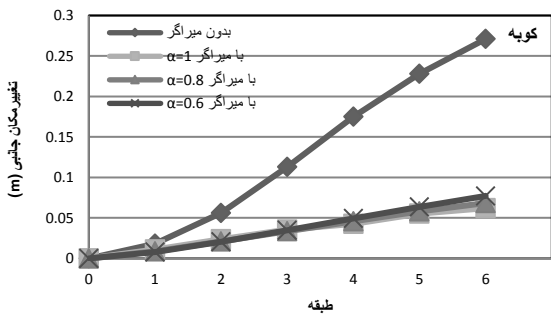
جدول (۱۶) شتاب جانبی سازه شش طبقه با و بدون میراگر (m/s^2)

سازه	میراگر	α	Elcentro	Kobe	Northridge	طبقه
شش طبقه	ندارد	-	۲/۶۱۳۱۲	۲/۸۴	۱/۴۴۹۱۴	۱
	دارد	۱	۰/۸۰۱۱۷۹	۱/۸۰	۰/۷۹۱۷۷۵	۱
	دارد	۰/۸	۰/۵۵۰۷۸۴	۲/۳۸	۰/۵۲۵۰۳۶	۱
	دارد	۰/۶	۰/۵۷۰۸۵۳	۲/۷۸	۰/۴۲۲۴۴۱	۱
شش طبقه	ندارد	-	۵/۹۶۴۰۱	۷/۵۵	۳/۱۵۵۳۳	۲
	دارد	۱	۱/۸۳۰۳۳	۴/۰۹	۱/۸۳۰۷۹	۲
	دارد	۰/۸	۲/۰۲۵۷	۴/۷۷	۱/۶۷۲۸۸	۲
	دارد	۰/۶	۲/۲۰۱۷	۵/۶۴	۱/۵۲۰۵۳	۲
شش طبقه	ندارد	-	۶/۹۹۸۵۵	۹/۸۴	۴/۷۷۵۹۱	۳
	دارد	۱	۲/۸۴۶۹۲	۶/۳۸	۲/۸۴۰۵۹	۳
	دارد	۰/۸	۳/۶۳۴۸۶	۶/۸۶	۲/۸۳۷۹۶	۳
	دارد	۰/۶	۴/۲۲۷۳۷	۷/۷۲	۳/۰۰۰۳۶	۳
شش طبقه	ندارد	-	۶/۱۵۷۶۵	۹/۶۷	۵/۶۱۲	۴
	دارد	۱	۳/۹۱۷۰۴	۸/۷۰	۳/۹۱۲۱۲	۴
	دارد	۰/۸	۵/۰۲۲۸۶	۸/۵۷	۴/۲۱۹۶۴	۴
	دارد	۰/۶	۶/۰۵۴۳۴	۹/۵۰	۴/۶۰۲۶۵	۴
شش طبقه	ندارد	-	۶/۶۶۸۴۹	۱۰/۴	۶/۳۶۵۹۶	۵
	دارد	۱	۴/۹۸۵۰۱	۱۰/۸	۴/۸۴۱۶۳	۵
	دارد	۰/۸	۶/۲۵۸۶۵	۱۱	۵/۴۹۵۹۴	۵
	دارد	۰/۶	۷/۷۱۴۵۴	۱۲/۲	۶/۱۱۱۹۷	۵
شش طبقه	ندارد	-	۷/۱۱۸۵۴	۱۰/۲	۷/۲۴۸۸۷	۶
	دارد	۱	۵/۹۱۳۷۵	۱۲/۸	۵/۶۲۳۹۴	۶
	دارد	۰/۸	۸/۵۴۳۱۵	۱۳/۸	۶/۶۶۰۳۲	۶
	دارد	۰/۶	۱۰/۴۷۴۷	۱۴/۹	۷/۴۸۲۸۲	۶

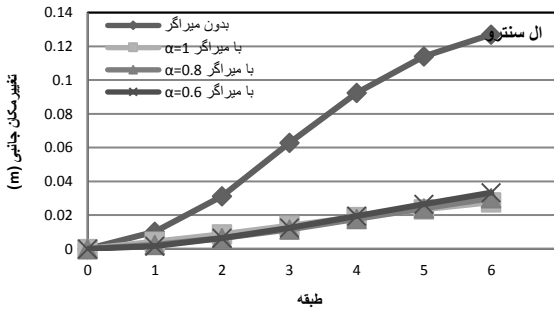
سرعت ۰/۶ کمترین مقدار تغییرمکان جانبی را دارند. تحت زلزله السنترو تغییرمکان جانبی بام در سازه یک طبقه به ترتیب به مقدار ۳۶٪، ۴۸٪ و ۷۲٪، در زلزله کوبه ۱۵٪، ۲۳٪ و ۳۶٪ و در زلزله نرتریج ۳۱٪، ۴۸٪ و ۶۵٪ به ترتیب در سازه مجهز به میراگرهای ویسکوز با مقادیر α ، ۱، ۰/۸ و ۰/۶ کاهش یافته است. همچنین مقادیر کاهش تغییرمکان بام در سازه سه طبقه تحت زلزله‌های السنترو ۶۶٪، ۷۴٪ و ۸۸٪، کوبه ۵۵٪، ۶۹٪ و ۸۳٪ و نرتریج ۶۱٪، ۷۶٪ و ۹۰٪ و در سازه شش طبقه تحت زلزله‌های السنترو ۸۴٪، ۸۵٪ و ۸۵٪، کوبه ۷۷٪، ۷۵٪ و ۷۲٪ و نرتریج ۷۸٪، ۷۶٪ و ۷۴٪ می‌باشد.



الف



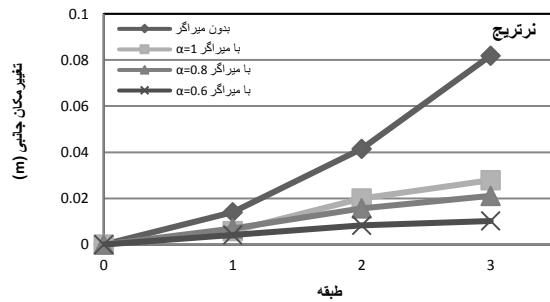
ب



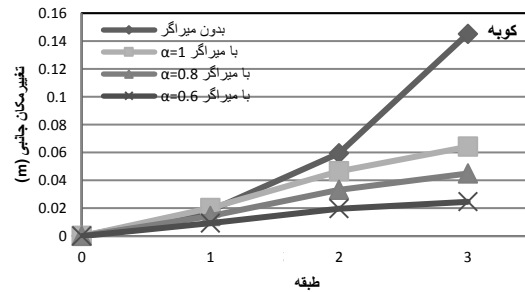
ج

شکل (۱۲) حداکثر تغییرمکان جانبی سازه شش طبقه در حالت بدون میراگر و با میراگر تحت زلزله الف: نرتریج ب: کوبه ج: السنترو

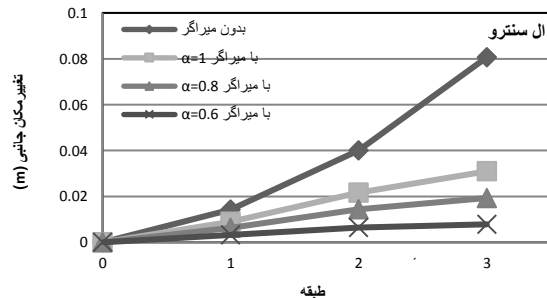
اما آنچه که از نمودارهای مربوط به تغییرمکان سازه‌های سه طبقه و شش طبقه برداشت می‌شود این است که افزایش α تأثیری زیادی بر کاهش پاسخ تغییرمکان نداشته، البته باید ذکر کرد که در طبقات سازه این کاهش از مقادیر گفته شده در بالا که مقداری زیاد به نظر می‌رسد کمتر می‌باشد.



الف

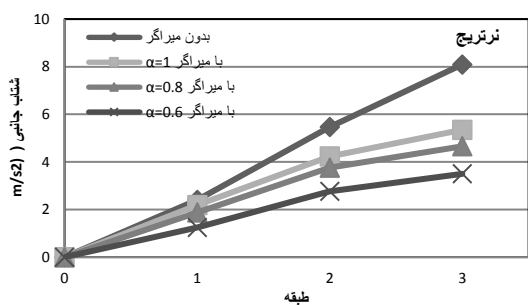


ب

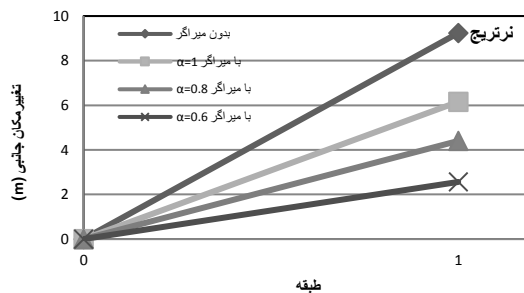


ج

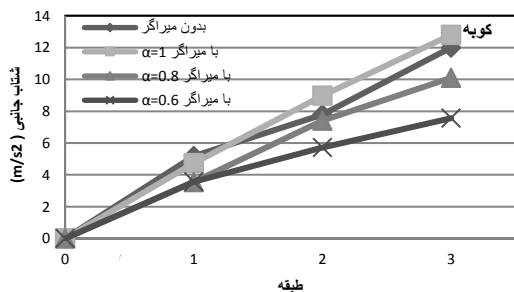
شکل (۱۱) حداکثر تغییرمکان جانبی سازه سه طبقه در حالت بدون میراگر و با میراگر تحت زلزله الف: نرتریج ب: کوبه ج: السنترو



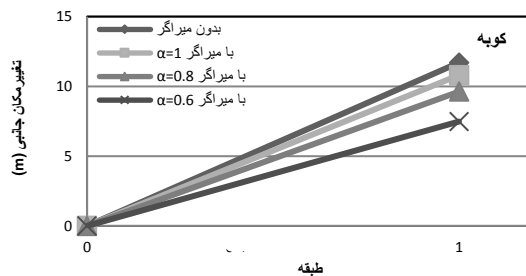
الف



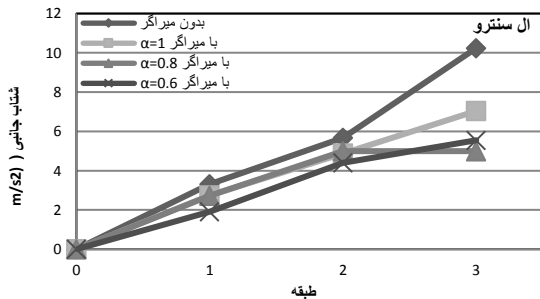
الف



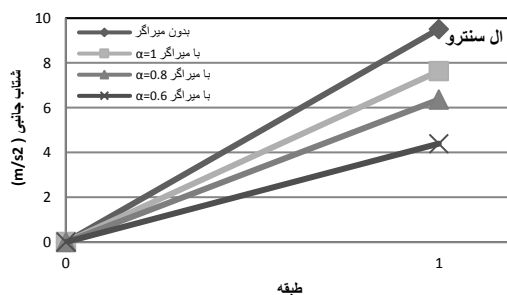
ب



ب



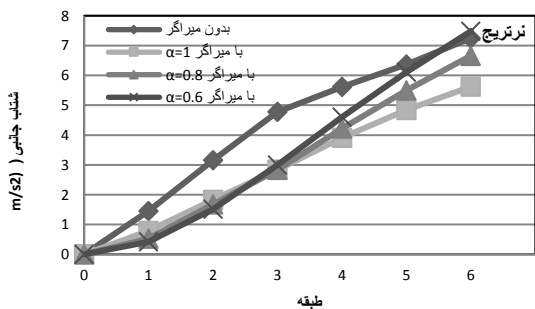
ج



ج

شکل (۱۴) حداکثر شتاب جانبی سازه سه طبقه در حالت بدون میراگر و با میراگر تحت زلزله الف: نرتریج ب: کوبه ج: ال سنترو

شکل (۱۳) حداکثر شتاب جانبی سازه یک طبقه در حالت بدون میراگر و با میراگر تحت زلزله الف: نرتریج ب: کوبه ج: ال سنترو



الف

در پاسخ شتاب سازه‌ها برخلاف دو پاسخ تغییرمکان و سرعت معمولاً در مقایسه با سازه‌های بدون میراگر این کاهش دیده نمی‌شود و با افزایش مقدار ضریب α این کاهش کمتر می‌باشد. این امر در زلزله کوبه نسبت به دو زلزله دیگر کاملاً مشهود است، مقادیر این کاهش برای طبقه بام سازه‌های یک طبقه به ترتیب (۳۳٪، ۵۲٪، ۷۲٪)، (۸٪، ۱۱٪، ۳۶٪) و (۲۰٪، ۳۳٪، ۵۴٪) و در سازه سه طبقه (۳۴٪، ۴۲٪، ۵۷٪)، (۶٪، ۱۶٪، ۳۶٪) و (۳۱٪، ۵۱٪، ۴۶٪) و در شش طبقه (۲۲٪، ۸٪، ۳٪-)، (۲۵٪-، ۱۷٪-، ۴۶٪-) و (۲۸٪، ۲۰٪-، ۴۷٪-) هستند.

۳- با توجه به شتاب حداکثر و برش پایه حداکثر بدست آمده از FEMA273 نیروی میرایی مناسب برای سازه یک طبقه ۹۴/۷، سازه سه طبقه ۲۴۰/۱، سازه شش طبقه ۵۵۷/۱ کیلو نیوتن می‌باشد.

مراجع:

[۱] زهرائی. سید مهدی، "کنترل غیرفعال ارتعاشات" ترجمه و اضافات (تألیف جرم ج. کارنر)، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۸۹.

[۲] تیو، مهران؛ کریمخانی، بابک. "سیستم‌های اتلاف انرژی غیرفعال در مهندسی سازه" ترجمه ی تألیف تی. تی. سونگ و جی. اف. دارگوش، پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ۱۳۸۱.

[۳] زهرائی. سید مهدی و محمدیان. محمدرضا، مفاهیم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، انتشارات فدک ایستاتیس، تهران، ۱۳۹۲ (چاپ دوم).
[4] Soong, T.T and Dargush G.F., "Passive energy dissipation systems in structural engineering", Wiley and Sons, 1997, London.

[5] <http://www.taylordevices.com/>

[6] Uetani, K., Tsuji, M. and Takewaki, I., "Application of an optimum design method to practical building frames with viscous dampers and hysteretic dampers", Journal of Engineering Structure, Vol. 25, Issue 5, April 2003, pp. 579-592.

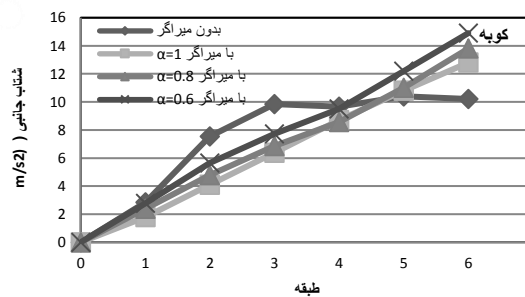
[7] Martinez-Rodrigo, M., Romero, M.L., "An optimum retrofit strategy for moment resisting frames with nonlinear Viscous dampers for seismic applications", Journal of Engineering Structure, Vol. 25, Issue 7, June 2003, pp. 913-925.

[8] Hwang, J.S., Tsai, C.H., Wang, S.J. and Hwany, Y.N., "Experimental study of RC building structure with supplemental viscous dampers and lightly reinforced walls" Journal of Engineering Structure, Vol. 28, Issue 13, Nov. 2006, pp. 1816-1824.

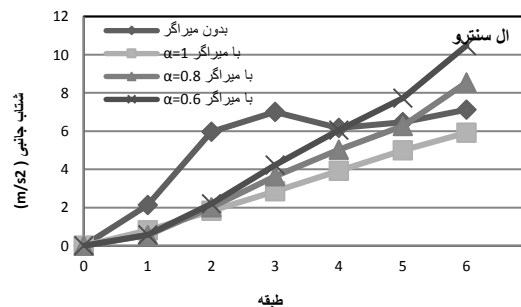
[۹] باقری، منیره؛ فلاح، نصرت. "تعیین چیدمان بهینه میراگرهای ویسکوز در کنترل سازه‌های ساختمانی به کمک الگوریتم ژنتیک" چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.

[۱۰] موسی‌نژاد، طاهره؛ پورزینلی، سعید. "کنترل لرزه‌ای ساختمانهای بلند با استفاده از میراگرهای ویسکوز نیمه فعال" چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.

[11] Hawang, J.S., "Seismic Design of Structures with Viscous Dampers" International Training Programs for Seismic Design of Building Structures Hosted by



ب



ج

شکل (۱۵) حداکثر شتاب جانبی سازه شش طبقه در حالت بدون میراگر و با میراگر تحت زلزله الف: نرتیج ب: کوبه ج: الاسترو

۷- نتیجه گیری:

با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی انجام شده برای هر سازه در حالات مختلف بدون میراگر و با میراگرهای خطی و غیرخطی، نتایج به شرح زیر بیان می‌شود:

۱- برش پایه در حداکثر تغییر مکان برای سازه یک طبقه برابر با $۲۲۵/۱۲kN$ ، سازه سه طبقه $۴۹۱/۸۵kN$ ، سازه شش طبقه $۶۹۸/۵kN$ در حداکثر شتاب برای سازه یک طبقه در مقادیر α ۱، $۰/۸$ و $۰/۶$ برابر با $۲۲۴/۱$ ، $۲۳۷/۰$ و $۲۵۷/۲$ ، سازه سه طبقه ۴۷۰ ، $۴۹۵/۸$ و $۵۵۵/۶$ و سازه شش طبقه $۷۶۸/۳$ و ۷۰۲ کیلو نیوتن می‌باشد.

۲- در تحلیل سازه‌ها به روش تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی برش پایه در شرایط α برابر با ۱، $۰/۸$ و $۰/۶$ تحت زلزله‌های، نرتیج، کوبه و الاسترو برای سازه یک طبقه به ترتیب برابر با $(۲۳۱/۲، ۳۹۳/۳، ۲۲۰/۷)$ ، $(۱۷۶/۰۸، ۳۵۷/۹۵، ۱۷۱/۱۲)$ و $(۱۳۴/۴۳، ۳۰۵/۰۷، ۱۱۴/۹۶)$ ، برای سازه سه طبقه برابر با $(۲۴۴/۰، ۴۷۹/۴، ۲۴۴/۰)$ ، $(۳۷۲، ۲۰۰، ۱۸۳)$ و $(۱۳۳، ۲۷۴/۴، ۱۰۴/۳)$ و برای سازه شش طبقه برابر با $(۲۸۹/۴، ۵۱۲/۴، ۲۳۲/۲)$ ، $(۱۰۸/۴، ۳۵۵/۳، ۱۲۶/۴)$ و $(۷۰/۴۴، ۲۸۸/۹۴، ۸۸/۷)$ کیلو نیوتن می‌باشد.

National Center for Research on Earthquake Engineering Sponsored Department of International Programs, National Science Council-2009.

[12] Miyamoto, K., Gilani A.S.J., Wada, A., "Collapse hazard and design process of essential building with dampers", Proceedings of China/USA Symposium for the Advancement of Earthquake Sciences and Hazard Mitigation Practices, 2010, Beijing, China.

[13] Roh, H. and Reinhorn, A.M., "Modeling and Seismic Response of Structures with concrete rocking columns and viscous", Engineering Structure, Vol. 32, Issue 8, Aug. 2010, pp. 2096-2107.

[۱۴] چرختاب، بسیم؛ استکانچی، همایون. "کاربرد روش زمان در طراحی بهینه میراگرهای ویسکوز بر پایه عملکرد لرزه‌ای قابهای فولادی" پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، اردیبهشت ۱۳۸۹.

[15] Lin, J.L., Liu, T.H., Tsai, K.C., "Real-valued modal response history analysis for asymmetric-plan buildings with nonlinear viscous dampers", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 77, 2015, pp. 97-110.

[16] Silwal, B., Michael, R.J., Ozbulut, O.E. "A superelastic viscous damper for enhanced seismic performance of steel moment frames", Engineering Structures, Vol. 105, 2015, pp. 152-164.

[17] Silwal, B., Ozbulut, O.E., Michael, R.J., "Seismic collapse evaluation of steel moment resisting frames with superelastic viscous damper", J. of Constructional Research, Vol. 126, 2016, pp. 26-36.

[18] Brodersen, M.L., Ou, G., Høgsberg, J., Shirley Dyke, S., "Analysis of hybrid viscous damper by real time hybrid simulations", Engineering Structures, Vol. 126, 2016, pp. 675-688.

[19] Kim, J., Lee, J., Kang, H., "Seismic retrofit of special truss moment frames using viscous dampers", J. of Constructional Research, Vol. 123, 2016, pp. 53-67.

[20] Constantinou, M.C. and Symans, M.D., "Experimental and Analytical Investigation of Seismic Response of Structures with Supplemental Fluid Viscous Dampers", Report NO. NCEER-92-0032, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, 1992.

[۲۱] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله. استاندارد ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم، ۱۳۸۴.

[22] FEMA273, NEHRP Guidelines and Commentary for the seismic Rehabilitation of buildings, Report No.273, 1997, Washington, D.C.

Seismic Behavior Upgrade of Steel Moment Frames Using Viscous Dampers and Determination of Their Proper Damping Forces

Seyed Mehdi Zahrai*, Professor, Center of Excellence for Engineering and Management of Civil Infrastructures, School of Civil Engineering, the University of Tehran
Omid Mohammadi, M.Sc. in Structural Engineering, Tehran Central branch of Azad University
mzahrai@ut.ac.ir

Abstract:

Energy dissipation systems have been broadly used in structures during the recent decades in order to reduce earthquake and wind forces as well as reduction of structural lateral drifts within the code limits. Viscous damper is considered as one of the energy dissipation systems which are classified as velocity-dependent dampers among passive control systems and have been paid attention and their further detailed properties taken into account by many researchers. Viscous damper consists of a piston with some orifices inside the cylinder which contains highly viscous fluid. Energy dissipation of this damper is through pushing viscous fluid out of the orifices.

These are two types of these dampers: linear and nonlinear from which linear type with velocity power of one is more practical. The structural damping force is usually set according to the procedure described in FEMA273 and are optimized by three controlled modes of displacement, velocity and acceleration.

This study examines the effect of adding viscous dampers on seismic behavior of steel moment frames. For this purpose, three steel moment frames of 1, 3 and 6-story all in 3 bays, with viscous dampers having power factor of 1, 0.8 and 0.6 are selected. These sample structures are subjected to the nonlinear time history analysis under the El Centro, Kobe and Northridge earthquakes, and their response including displacement, acceleration and base shear is compared in two cases of with and without viscous dampers.

Finally, regarding nonlinear time history analysis results based on the structural behavior in three modes controlled by displacement, velocity and acceleration, proper damping forces are specified as 94.7, 240.1 and 557.1 kN respectively for one, three and six story structures based on maximum acceleration and base share obtained from FEMA273.

Keywords: Damping force, Viscous Damper, Energy dissipation, Seismic behavior, Time-history analysis