

Evaluation of Nonlinear Seismic Behavior of Reinforced Concrete Flexural Frames with Special Ductility with and without Viscous Dampers on the Floors Level

Siamak Barmaki

Department of Civil Engineering, Urmia branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran
Ashkan Khodabandehlou*

Department of Civil Engineering, Urmia branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran
a.Khodabandehlou@iaurmia.ac.ir*

DOI : 10.30495/CIVIL.2023.708011

Keywords:

Reinforced concrete moment frame, viscous damper, modal strain energy, nonlinear static analysis

Abstract

The main goal of this research is to evaluate the nonlinear seismic behavior of special RC moment with and without viscous dampers at the floor level. In this research, 2 high-rise three-dimensional RC building frames of 12 and 16 stories, each frame with 8 models, 4 models with and 4 models without viscous damper at the floor level, located in the area with High seismicity on type 3 soil is considered. In order to seismic analysis of frames with and without viscous dampers, nonlinear static analysis method was used according to the second appendix of Iran earthquake regulations, fourth edition. The initial dimensions of the structural elements of the studied frames and the thickness of the roof slabs have been determined in ETABS-V15 and SAFE2014 software, respectively, and finally, modeling, gravity and lateral loading, and nonlinear static analysis of the studied frames have been performed in the SAP2000-V19 software. The results show that the change in the sections of beams and columns from square to rectangle in frames with and without viscous damper causes an increase in the relative lateral displacement of the floors, as well as an increase in the number of openings along the Y axis (model 1 compared to 3), and an increase in the length of the opening along the Y axis (model 1 Compared to 4), in frames with and without viscous damper, it reduces the absolute lateral displacement of floors.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می باشد).

ارزیابی رفتار لرزه‌ای غیرخطی قاب‌های خمشی بتن آرمه با شکل‌پذیری ویژه با و بدون میراگرهای ویسکوز در تراز طبقات

سیامک برمکی

گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
اشکان خدابنده‌لو*

گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران
a.Khodabandehlou@iaurmia.ac.ir*

تاریخ پذیرش: ۲۰ مهر ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: ۰۱ تیر ۱۴۰۲

چکیده

هدف اصلی از این پژوهش ارزیابی رفتار لرزه‌ای غیرخطی قاب‌های خمشی بتن آرمه با شکل‌پذیری ویژه با و بدون میراگرهای ویسکوز در تراز طبقات می‌باشد. بدین منظور متغیرهای تغییر مکان هدف، تغییر مکان جانبی مطلق و نسبی طبقات، برش پایه، دوره تناوب اصلی موثر قاب‌های خمشی بتن آرمه طراحی شده مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در تحقیق حاضر ۲ قاب ساختمانی بلند مرتبه بتن آرمه سه بعدی ۱۲ و ۱۶ طبقه که هر کدام از قاب‌ها با ۸ مدل که ۴ مدل با سیستم سازه‌ای قاب خمشی ویژه و ۴ مدل با سیستم سازه‌ای قاب خمشی ویژه با میراگر ویسکوز در تراز طبقات، واقع در منطقه با لرزه‌خیزی زیاد بر روی خاک نوع ۳، در نظر گرفته شده است. به منظور تحلیل لرزه‌ای قاب‌های با و بدون میراگر ویسکوز از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی طبق پیوست دوم آیین نامه زلزله ایران ویرایش چهارم استفاده شده است. مدل سازی، بارگذاری ثقلی و جانبی، تحلیل استاتیکی غیرخطی قاب‌های مورد مطالعه در نرم افزار SAP2000-V19، انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که تغییر در مقاطع تیرها و ستون‌ها از مربع به مستطیل در قاب‌های با و بدون میراگر ویسکوز سبب افزایش تغییر مکان جانبی نسبی طبقات همچنین افزایش تعداد دهانه در امتداد محور Y (مدل نسبت به ۳)، و افزایش طول دهانه در امتداد محور Y (مدل نسبت به ۴)، در قاب‌های با و بدون میراگر ویسکوز، سبب کاهش تغییر مکان جانبی مطلق طبقات می‌گردد. همچنین در مدل‌های ۱ تا ۴ قاب‌های ۱۲ و ۱۶ طبقه با میراگر نسبت به حالت بدون میراگر، مقادیر تغییر مکان جانبی مطلق و نسبی طبقات کاهش می‌یابند.

کلید واژگان: قاب خمشی بتن آرمه، میراگر ویسکوز، انرژی کرنشی مودال، تحلیل استاتیکی غیرخطی

لرزه طولانی مدت جلوگیری کنند بنابراین پژوهش حاضر در جهت ارزیابی رفتار لرزه‌ای غیرخطی قابهای خمشی بتن آرمه با شکل‌پذیری ویژه در حالت با و بدون استفاده از میراگرهای ویسکوز در تراز طبقات آن می‌باشد [۷]. امروزه مشخص شده است که رفتار هر سیستم سازه ای در هنگام زلزله تا حد زیادی توسط ظرفیت استهلاک انرژی آن از طریق رفتار شکل پذیر تعیین می‌شود و این رفتار شکل پذیر به نوبه خود می‌تواند به وسیله شکست موضعی ناگهانی و ناپایداری‌های دینامیکی تحت تاثیر قرار گیرد [۸]. هنگام وقوع زلزله انرژی بسیار زیادی به سازه وارد می‌شود و طراحی سازه به گونه‌ای که چنین انرژی عظیمی را در محدوده تغییر شکل‌های الاستیک به خود جذب و اتلاف نماید، معقول نیست. زیرا علاوه بر غیر اقتصادی بودن، اغلب با شرایط معماری طرح نیز ناسازگار شده و سازه در عمل غیر قابل اجرا خواهد شد. لذا همواره تلاش مهندسان سازه و زلزله بر آن بوده که ساختمان هایی با توان اتلاف انرژی غیرالاستیک در برابر زلزله طراحی کنند. بطوریکه هنگام اعمال نیروهای دینامیکی قوی نظیر زلزله، سازه از محدوده الاستیک خارج شده و بواسطه تشکیل مفاصل پلاستیک^۱ وقوع تغییر مکان‌های چرخه‌ای غیرالاستیک در اعضا، انرژی وارده جذب و تلف شود [۹]. در این میان قاب خمشی ویژه^۲ در برابر نیروی جانبی زلزله تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه‌ای را تحمل می‌کند. در طراحی اعضا و اتصالات این نوع قابها باید سعی شود که در نزدیکی دو انتهای تیر، مفصل‌های پلاستیک تشکیل شود و ظرفیت دورانی آنها به حدی باشد که دوران نظیر تغییر مکان جانبی نسبی طبقه^۳ حداقل به ۰،۰۴، رادیان برسد که حدود ۰،۰۳، رادیان آن در ناحیه فرا ارتجاعی باشد [۱۰]. از طرفی تلاش‌های متنوعی در بکارگیری روش‌ها و تکنولوژی‌های نوین در زمینه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله انجام شده‌است. یکی از مهمترین این روش‌ها استفاده از سیستم‌های کنترلی در کاهش ارتعاشات لرزه‌ای سازه‌ها است [۹]. امروزه استفاده از میراگرها از متداول‌ترین روش‌ها برای کنترل سازه می‌باشد. این سیستم‌ها برای بهبود عملکرد سازه‌ای و کاهش آسیب های سازه‌ای تحت زمین لرزه‌های بزرگ استفاده می‌شوند. هزینه ساخت، عامل اصلی در طراحی سازه‌های مختلف است. در نتیجه، آنها باید طوری طراحی شوند که بهترین عملکرد را در زلزله با همان هزینه سازه‌های متداول از خود نشان دهند [۱۱]. هدف اصلی سیستم‌های کنترلی، کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای سازه بوسیله جذب انرژی منتقل شده به سازه‌ها و یا تغییر در فرکانس آن می‌باشد. سیستم‌های کنترل غیر فعال با استفاده از جذب یا انعکاس قسمتی از انرژی ورودی ناشی از زلزله به سازه از آنها محافظت کرده و جهت کارکرد به منبع انرژی

ارتعاشات زمین در حین وقوع زلزله می‌تواند به ساختمان‌ها و تجهیزات موجود در آنها آسیب شدیدی برساند. روش‌های ابداعی جهت افزایش کارایی و ایمنی سازه‌ها در برابر خطرات طبیعی از جمله زلزله در دست تحقیق و ارائه می‌باشد. از نقطه نظر انرژی برای طراحی لرزه‌ای مناسب می‌بایست، مقدار انرژی هیسترتیک مستهلک شده توسط سازه کاهش یابد. این عمل توسط سیستم‌های کنترلی در سازه‌ها به دو طریق زیر صورت می‌گیرد:

۱- کاهش مقدار انرژی ورودی به سازه
 ۲- معرفی مکانیزم‌های اضافی اتلاف انرژی در سازه، بطوریکه سهم عمده‌ای از انرژی ورودی را مستهلک کرده و در نتیجه خسارات وارد شده به سازه اصلی در اثر استهلاک انرژی هیسترتیک را کاهش دهند [۲-۱].

استفاده از سیستم‌های اتلاف انرژی غیرفعال به دلیل مزایای آنها، انقلابی در صنعت مهندسی سازه ایجاد کرده است [۳]. سیستم‌های اتلاف انرژی غیرفعال یک گزینه موثر برای کنترل پاسخ جانبی دینامیکی ساختمان‌های بلند، که یک مورد خاص از این سیستم‌ها میراگرهای ویسکوز مایع هستند میراگر ویسکوز از جمله سیستم‌های کنترلی است که در بسیاری از صنایع مختلف مانند ارتش، هوا و فضا، پل و سازه‌های ساختمانی استفاده می‌شود [۴]. میراگرهای ویسکوز به عنوان سیستم‌های ارجح اتلاف انرژی مازاد جهت کنترل ارتعاش سازه، به عنوان راهکاری ابتکاری جهت کنترل جابجایی جانبی در نظر گرفته شده‌اند. امکان نصب این میراگرها در موقعیت‌های گوناگون و تبیین آن در رویکردهای طراحی لرزه‌ای فعلی، بکارگیری این میراگرها را در صنعت ساختمان متداول کرد [۵]. از ویژگی‌های میراگرهای ویسکوز مایع می‌توان به قابلیت اتلاف انرژی زیاد، پایین بودن هزینه تعمیر و نگهداری و تولید نیروهای خروجی ناشی از نیروهای الاستیک، اشاره کرد. بنابراین این میراگرها تنش در سازه را افزایش نمی‌دهند [۶]. از طرفی زمین لرزه‌های نزدیک گسل، از نوع ارتعاشی با مدت زمان کوتاه، سبب خسارات زیادی به سازه‌های ساختمانی می‌شوند. اگرچه میراگرهای ویسکوز لزوماً برای زمین لرزه های نزدیک گسل موثر نیستند، اما دارای مزایایی هستند که قادر به کاهش هر دو مورد جابجایی و شتاب هستند. بنابراین به نظر می‌رسد که هنگام طراحی میراگرهای ویسکوز ترجیح داده می‌شود که پاسخ لرزه‌ای را جهت زمین لرزه‌های با شدت کم تا متوسط کاهش دهند و از تغییر شکل زیاد ناشی از زمین لرزه‌های با شدت بالا، مانند زمین

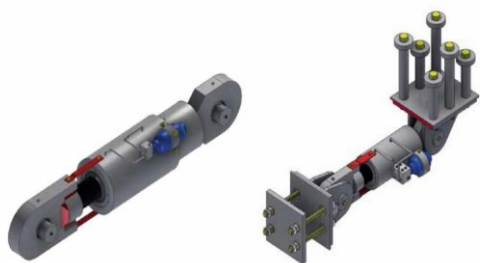
³ Relative Lateral Displacement of the Floor

¹ Plastic joints

² Special Moment Frame

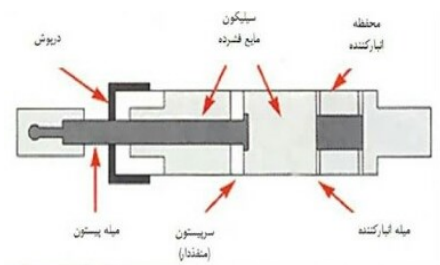


نیروی فشاری قرار می‌گیرد، حجم مایع داخل استوانه کاهش می‌یابد که در نتیجه آن میله پیستونی حرکت می‌کند. کاهش حجم منجر به ایجاد نیروی مقاومی می‌شود. این نیرو نامطلوب است و معمولاً می‌توان از آن با استفاده از میله عبوری که داخل میراگر به سر پیستون متصل شده است و در نهایت از انتهای دیگر میراگر عبور می‌کند، جلوگیری نمود. روش دیگر برای جلوگیری از نیروی مقاوم، استفاده از یک مخزن است. یک مخزن با جمع آوری حجم مایعاتی که توسط میله پیستونی جابجا می‌شود و ذخیره آن در محل قرارگیری، کار می‌کند (شکل ۲). بطوریکه فضایی که با عقب رفتن میله ایجاد شده با مایع پر می‌شود [۱۳].



شکل ۱- میراگر ویسکوز مایع [۱۵]

میراگرهای ویسکوز مایع سیستم‌های اتلاف انرژی موثری هستند که در برابر افزایش پاسخ‌های سازه‌ای ناشی از اثرات باد و زلزله مقاومت می‌کنند. همچنین می‌توانند جابجایی عرضی و طولی یا قائم را کاهش دهند و در انواع مختلف سازه‌ها نصب شوند [۱۵].



شکل ۲- اجزای اصلی میراگر ویسکوز مایع

این میراگر برای تأمین نیروی لازم برای کنترل ارتعاش سازه به سیستم خارجی احتیاج ندارد [۳]. همچنین ارتعاشات ناشی از باد شدید و زمین لرزه را کاهش می‌دهند و سیستم‌هایی هستند که با حرکت مایع درونشان، موجب توزیع انرژی فعال لرزه‌ای و اثر ناچیز آن در بین سازه‌ها می‌شوند و تنها برای اعمال آزادانه میرایی کنترل شده یک

خارجی نیاز ندارند. غیرفعال بودن این سیستم‌های کنترلی بدین معنی است که عامل کنترل کننده تا پیش از تحریک سازه غیرفعال است، با شروع تحریک سازه سیستم فعال شده و شروع به فعالیت کنترل خود می‌نماید و پس از خاتمه تحریک دوباره به حالت غیرفعال باز می‌گردد این سیستم‌ها مجهز به وسایلی هستند که مشخصات سازه‌ای مثل شکل‌پذیری^۱، مقاومت و غیره را اصلاح کرده و یا انرژی را مستهلک می‌نماید. بنابراین طی این عمل ارتعاشات سازه کاهش می‌یابد [۲]. سیستم‌های غیرفعال کنترل سازه در وهله اول شامل سیستم‌های اتلاف انرژی هستند هدف اصلی سیستم‌های اتلاف انرژی، کاهش جابجایی سازه‌ها در اثر زلزله‌ها می‌باشد. اتلاف انرژی جایگزین بهتری به جای افزایش سختی و مقاومت متداول طرح‌ها می‌باشد و انتظار می‌رود که به سطوح عملکردی^۲ قابل قیاسی برسند [۱۲ و ۱۳]. میراگر ویسکوالاستیک، میرایی^۳ و سختی سازه را که به جابجایی و سرعت وابسته هستند و اثر میرایی را که به پاسخ جابجایی و سرعت بستگی دارد، را افزایش می‌دهد. میراگر ویسکوز مایع به سرعت وابسته است که عمدتاً به پاسخ سرعت سازه‌ها جهت اتلاف انرژی ورودی لرزه‌ای بستگی دارد. در میان این سیستم‌ها، میراگر ویسکوز مایع به دلیل محدوده وسیع فرکانس میرایی لرزه‌ای، هزینه کم و نگهداری آسان، کاربرد بیشتری دارد [۱۴]. میراگرهای ویسکوز فعلی با ویژگی‌های از جمله عدم حساسیت به دما، وابستگی به سرعت، سختی ذخیره شده خیلی کم در محدوده فرکانس پایین و فعال‌سازی با جابجایی کم مشخص می‌شوند [۱۵ و ۱۶].

۱-۱- میراگر ویسکوز

میراگر ویسکوز مایع در مقایسه با اندازه فیزیکی خود از توانایی جذب انرژی بالایی برخوردار می‌باشد (شکل ۱). بنابراین این نوع میراگرها می‌توانند برای استهلاک انرژی ناشی از زلزله در سازه‌ها مورد استفاده قرار گیرند [۹]. از میراگرهای ویسکوز در یک سازه بلند در مناطق لرزه ای استفاده می‌شود [۱۲]. لازم به ذکر است که برخی از المان‌های یک ساختمان بلند تحت زلزله شدید، ناحیه پلاستیک را تجربه می‌کنند، در حالی که اعضای دیگر می‌توانند در ناحیه الاستیک باقی بمانند. بنابراین استفاده از سیستم میراگر ویسکوز مایع برای کاهش میزان خسارت با جذب انرژی ورودی ناشی از زلزله مناسب است [۳]. میراگرهای ویسکوز مایع شامل یک سر پیستونی با دریچه‌های موجود واقع در یک استوانه پر از مایع بسیار چسبناک از سیلیکون یا مشابه نوعی روغن می‌باشند. هنگامی که سر پیستونی در داخل مایع حرکت می‌کند، انرژی به کمک جابجایی مایع در میراگر اتلاف می‌شود. مایع داخل استوانه تقریباً تراکم ناپذیر است و هنگامی که میراگر تحت

³ Damping

¹ Ductility

² Performance Levels



عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و جدید می‌باشد. میراگر ویسکوزماید بدون افزایش قابل توجه نیروهای لرزه‌ای بر روی اعضا بمنظور کاهش فروریزش سازه، میرایی مازاد ایجاد می‌کند. بنابراین می‌توان آن را به عنوان یک راه حل مناسب که در تطبیق با الزامات طراحی لرزه‌ای روز افزون می‌باشد، جهت مقاوم سازی سازه‌های موجود استفاده کرد [۱۵]. با توجه به تغییر مکان‌های جانبی بیش از حد مجاز آیین‌نامه‌ای قاب‌های خمشی در ساختمان‌های بلند و آسیب وارد بر المان‌های سازه‌ای این ساختمان‌ها درحین وقوع زمین لرزه‌های شدید، که علت آن افزایش نیروی جانبی وارده بر طبقات مختلف ناشی از خروج رفتار سازه از محدوده خطی به غیرخطی می‌باشد. به همین علت سیستم سازه‌ای نوینی در ساختمان‌ها که متشکل از قاب‌های خمشی و یک سیستم کنترل غیر فعال نیروی جانبی لرزه‌ای به نام میراگر ویسکوز که مانع از ورود سازه به محدوده غیرخطی می‌گردد، مطرح می‌شود. بنابراین بکارگیری سیستم سازه‌ای قاب خمشی بتن‌آرمه به همراه میراگر ویسکوز در ساختمان‌های بلندمرتبه که موجب افزایش شکل‌پذیری قابها و اتلاف بیشتر انرژی لرزه‌ای و به تبع آن کاهش جابجایی‌های جانبی و دریافت طبقات، برش پایه و کاهش ابعاد المان‌های سازه‌ای، کاهش وزن کلی ساختمان و آسیب‌های لرزه‌ای وارد بر المان‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای می‌شود، ضرورت می‌یابد.

۱- معرفی مدل‌های مورد بررسی

در تحقیق حاضر ۲ قاب ساختمانی بلندمرتبه بتن‌آرمه سه بعدی ۱۲ و ۱۶ طبقه که هر یک از قاب‌ها با ۸ مدل ۴ مدل با سیستم سازه ای قاب خمشی ویژه و ۴ مدل با سیستم سازه‌ای قاب خمشی ویژه با میراگر ویسکوز با موقعیت قرارگیری میراگرهای ویسکوز در دهانه های کناری قاب‌های پیرامونی ساختمانی در دوامتداد X و Y، که سیستم سازه‌ای سقف از نوع دال بتن‌آرمه معمولی با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر و واقع در منطقه با لرزه خیزی زیاد و بر روی خاک نوع ۳، در نظر گرفته می‌شوند که به شرح جدول ۱، می‌باشد. جهت تعیین مشخصات مصالح فولادی و بتنی در محدوده خطی و غیرخطی از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ویرایش پنجم ودستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود طبق جدول ۲، استفاده می‌گردد [۲۰ و ۲۱]. جهت بارگذاری ثقلی قاب‌ها از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان استفاده شده است [۲۲]. در شکل‌های ۳ و ۴ نیز بترتیب منحنی تنش کرنش فولاد و بتن بکار برده شده در این مطالعه نشان داده شده است. جهت تحلیل خطی لرزه‌ای قاب‌های ساختمانی ۱۲ طبقه از روش استاتیکی و ۱۶ طبقه از روش دینامیکی طیفی طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران استفاده شده است [۲۳]. ابعاد اولیه المان

سازه برای محافظت در برابر باد، حرکت جانبی یا موارد لرزه‌ای از قبل تعیین شده، مناسب و در نظر گرفته می‌شوند [۱۲]. این میراگر انرژی وارده بریک سازه را در هنگام وقوع باد یا رخداد لرزه‌ای تلف می‌کند و به آن اجازه می‌دهد، در مقابل انرژی ورودی شدید مقاومت کرده و پیچش‌های آسیب‌رسان^۱، نیروها و شتاب‌های وارده بر سازه‌ها را کاهش دهد [۱۷]. در طی رخداد لرزه‌ای، مقدار زیادی انرژی به سازه وارد می‌شود. اگر سازه عاری از میرایی باشد، سختی آن کمتر و ارتعاش سازه بیشتر است، اما به دلیل میرایی ویسکوز مایع، سختی سازه افزایش و در نتیجه لرزش کاهش می‌یابد [۱۷]. نیروی میرایی ایجاد شده توسط میراگرهای ویسکوز مایع به خصوصیات فیزیکی مایع مورد استفاده در سیستم بستگی دارد [۱۵]. میراگر ویسکوز مایع معمولاً نیروهای میرایی را با استفاده از روزنه یا دهانه حلقوی میراگر ایجاد می‌کند. وقتی مایع از روزنه یا دهانه حلقوی عبور می‌کند، میراگر یک نیروی فشاری محرک را ایجاد می‌کند. اگر طول روزنه یا دهانه حلقوی طولانی باشد، ضروری نیست که اثر ورودی روزنه را در نظر بگیریم، اما وقتی طول روزنه کوتاه است، لازم است که اثر ورودی آن را در نظر بگیریم [۱۸]. در طراحی سازه‌هایی با میراگرهای ویسکوز مایع، تاثیر رفتار میراگر ویسکوز و توزیع میراگرها در امتداد ارتفاع سازه بر روی پاسخ سازه و همچنین هزینه سیستم کنترلی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است [۱۹]. هدف و مقصود اصلی از طراحی متداول سازه‌ها در مناطق لرزه‌ای حفاظت از زندگی بشر است. دستیابی به هدف مورد نظر جهت جلوگیری از فروریزش سازه، حتی اگر آسیب دیدگی ناشی از عملکرد لرزه‌ای بسیار شدید باشد، ضروری است. حفاظت از سازه‌ها مانند فرودگاه‌ها، مراکز آتش‌نشانی، نیروگاه‌های انرژی هسته‌ای، مراکز ارتباطی، بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های اتوبوس، موسسات و غیره در برابر زلزله جهت دستیابی به سطح ایمنی بالاتر بسیار مهم است. سازه ممکن است بعد از حرکت‌های لرزه‌ای تمامی قابلیت‌های خود را از دست بدهد. مقاوم‌سازی چنین سازه‌های متأثر از زلزله ممکن است در برخی موارد بسیار پیچیده یا حتی غیر ممکن باشد. بمنظور کاهش اثرات زیان آور زلزله بر پایداری سازه‌ها، ضروری است، با تهیه یک کاتالیزور^۲ در سازه، اثر حرکت لرزه‌ای بر سازه کاهش یابد. این امر می‌تواند با ارائه یک فناوری نو ظهور معروف به میراگر ویسکوز به دست آید. با توجه به رفتار میرایی میراگرهای ویسکوز، که نیروها را در اعضا کاهش می‌دهد و امکان ایجاد نیروهای کمتری را برای مقطع اعضای سازه فراهم می‌کند. این امر باعث می‌شود که ساخت سازه، مقرون به صرفه و دارای وزن کمتری باشد که از این نظر، پاسخ سازه در برابر حرکت لرزه‌ای کاهش می‌یابد [۱۳]. همچنین استفاده از میراگرهای ویسکوز مایع یک روش موثر برای بهبود

²Catalyst

¹Harmful Deflections

در این مطالعه ابتدا سه قاب نشان داده شده در شکل شماره ۱، با استفاده از الگوریتم فراکاوشی مرکز جرم در چهارچوب طراحی مبتنی بر عملکرد، با اعمال ضوابط هندسی، ضوابط طراحی بر اساس مقاومت نهایی، ضوابط عملکردی و تیر ضعیف و ستون قوی بصورت تک هدفه بهینه‌سازی شدند.

های سازه‌ای قاب‌های مورد بررسی و ضخامت دال‌های سقف به ترتیب در نرم افزار ETABS-V15 و SAFE2014، تعیین شده است که به شرح جداول ۳ تا ۱۰ بصورت زیر می‌باشد. در شکل ۵ نیز نحوه قرارگیری میراگر در ارتفاع طبقات در سازه ۱۶ طبقه نشان داده شده است.

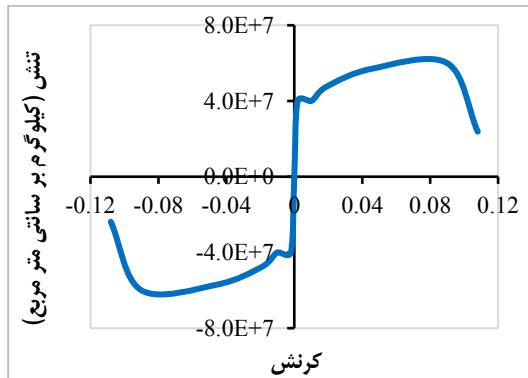
۲- روش تحقیق

جدول ۱- مشخصات مصالح

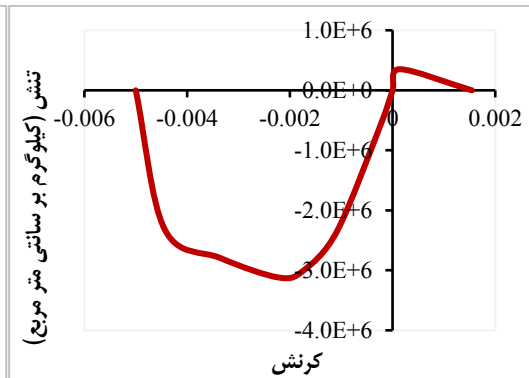
شکل المان‌های سازه‌ای قاب‌ها (تیرها و ستون‌ها) با و بدون میراگر	ارتفاع طبقات قاب‌ها با و بدون میراگر	طول دهانه قاب‌ها درامتداد (X-Y) بدون و با میراگر	تعداد دهانه قاب‌ها درامتداد (X-Y) بدون و با میراگر	قاب‌ها			
				مدل‌های بدون میراگر		مدل‌های با میراگر	
				۱۲ طبقه	۱۶ طبقه	۱۲ طبقه	۱۶ طبقه
مربعی	۳/۲	۵-۵	۴-۴	۱	۱	۱	۱
مستطیلی	۳/۲	۵-۵	۴-۴	۲	۲	۲	۲
مربعی	۳/۲	۵-۵	۴-۵	۳	۳	۳	۳
مربعی	۳/۲	۵-۶	۴-۴	۴	۴	۴	۴

جدول ۲- مشخصات مصالح فولادی و بتنی در محدوده خطی

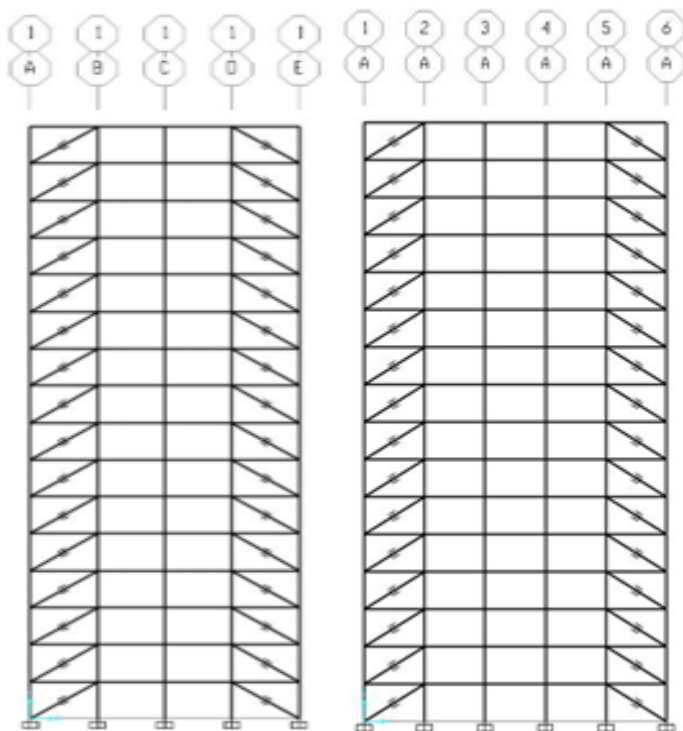
میزان		مشخصات فنی
فولاد (آر ماتور AIII)	بتن (C25)	
-	۲۵۰	مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)
$2/0.1 \times 10^{10}$	$2/5 \times 10^9$	مدول الاستیسیته (کیلوگرم بر متر مربع)
۰/۳	۰/۲	نسبت پواسون
۷۸۵۰	۲۴۰۰	چگالی (کیلوگرم بر متر مکعب)
۴۰۰۰	-	تنش تسلیم (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)
۶۰۰۰	-	تنش گسیختگی (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)
۴۶۰۰	-	تنش تسلیم مورد انتظار (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)
۶۹۰۰	-	تنش گسیختگی مورد انتظار (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)



شکل ۳- تنش-کرنش مصالح فولادی در محدوده غیرخطی (Park)



شکل ۴- تنش-کرنش مصالح بتنی در محدوده غیرخطی (Mander)



شکل ۵- نحوه قرارگیری میراگر در قابهای ۱۶ طبقه مورد مطالعه در این تحقیق

جدول ۳- ابعاد تیرها و ستون‌ها (مربعی) در قاب ۱۲ طبقه مدل ۱ با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی

طبقات	ابعاد ستون (سانتی متر)	ابعاد تیر (سانتی متر)
۱-۲	C۶۵×۶۵-۲۴φ۲۵	B۶۵×۶۵-۱۴φ۲۰
۳-۴	C۶۰×۶۰-۲۴φ۲۲	B۶۰×۶۰-۱۴φ۱۸
۵-۶	C۶۰×۶۰-۲۴φ۲۲	B۶۰×۶۰-۱۴φ۱۸
۷-۸	C۵۵×۵۵-۲۰φ۲۲	B۵۵×۵۵-۱۲φ۱۸
۹-۱۰	C۵۰×۵۰-۲۰φ۲۰	B۵۰×۵۰-۱۲φ۱۶
۱۱-۱۲	C۴۵×۴۵-۱۶φ۲۰	B۴۵×۴۵-۱۰φ۱۶

جدول ۴- ابعاد تیرها و ستون‌ها (مستطیلی) در قاب ۱۲ طبقه مدل ۲ با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی

طبقات	ابعاد ستون (سانتی متر)	ابعاد تیر (سانتی متر)	
		Y	X
۱-۲	C۵۵×۷۵-۲۴φ۲۵	B۵۵×۶۵-۱۲φ۲۰	B۷۵×۶۵-۱۶φ۲۰
۳-۴	C۵۵×۷۵-۲۴φ۲۵	B۵۵×۶۵-۱۲φ۲۰	B۷۵×۶۵-۱۶φ۲۰
۵-۶	C۵۰×۷۰-۲۴φ۲۲	B۵۰×۶۰-۱۲φ۱۸	B۷۰×۶۰-۱۶φ۱۸
۷-۸	C۴۵×۶۵-۲۰φ۲۲	B۴۵×۵۵-۱۰φ۱۸	B۶۵×۵۵-۱۴φ۱۸
۹-۱۰	C۴۰×۶۰-۲۰φ۲۰	B۴۰×۵۰-۱۰φ۱۶	B۶۰×۵۰-۱۴φ۱۶
۱۱-۱۲	C۳۵×۵۵-۱۶φ۲۰	B۳۵×۴۵-۸φ۱۶	B۵۵×۴۵-۱۲φ۱۶

جدول ۵- ابعاد تیرها و ستون‌ها (مربعی) در قاب ۱۲ طبقه مدل ۳ با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی



ابعاد تیر (سانتی متر)	ابعاد ستون (سانتی متر)	طبقات
B۶۵×۶۵-۱۴φ۲۰	C۶۵×۶۵-۲۴φ۲۵	۱-۲
B۶۰×۶۰-۱۴φ۱۸	C۶۰×۶۰-۲۴φ۲۲	۳-۴
B۶۰×۶۰-۱۴φ۱۸	C۶۰×۶۰-۲۴φ۲۲	۵-۶
B۵۵×۵۵-۱۲φ۱۸	C۵۵×۵۵-۲۰φ۲۲	۷-۸
B۵۰×۵۰-۱۲φ۱۶	C۵۰×۵۰-۲۰φ۲۰	۹-۱۰
B۴۵×۴۵-۱۰φ۱۶	C۴۵×۴۵-۱۶φ۲۰	۱۱-۱۲

جدول ۶- ابعاد تیرها و ستون‌ها (مربعی) در قاب ۱۲ طبقه مدل ۴ با و بدون میراگرهای ویسکوز غیر خطی

ابعاد تیر (سانتی متر)	ابعاد ستون (سانتی متر)	طبقات
B۷۰×۷۰-۱۶φ۲۰	C۷۰×۷۰-۲۸φ۲۵	۱-۲
B۶۵×۶۵-۱۴φ۲۰	C۶۵×۶۵-۲۴φ۲۵	۳-۴
B۶۰×۶۰-۱۴φ۱۸	C۶۰×۶۰-۲۴φ۲۲	۵-۶
B۵۵×۵۵-۱۲φ۱۸	C۵۵×۵۵-۲۰φ۲۲	۷-۸
B۵۰×۵۰-۱۲φ۱۶	C۵۰×۵۰-۲۰φ۲۰	۹-۱۰
B۴۵×۴۵-۱۰φ۱۶	C۴۵×۴۵-۱۶φ۲۰	۱۱-۱۲

جدول ۷- ابعاد تیرها و ستون‌ها (مربعی) در قاب ۱۶ طبقه مدل ۱ با و بدون میراگرهای ویسکوز غیر خطی

ابعاد تیر (سانتی متر)	ابعاد ستون (سانتی متر)	طبقات
B۷۰×۷۰-۱۶φ۲۰	C۷۰×۷۰-۲۸φ۲۵	۱-۲
B۶۵×۶۵-۱۴φ۲۰	C۶۵×۶۵-۲۴φ۲۵	۳-۴
B۶۵×۶۵-۱۴φ۲۰	C۶۵×۶۵-۲۴φ۲۵	۵-۶
B۶۰×۶۰-۱۴φ۱۸	C۶۰×۶۰-۲۴φ۲۲	۷-۸
B۵۵×۵۵-۱۲φ۱۸	C۵۵×۵۵-۲۰φ۲۲	۹-۱۰
B۵۰×۵۰-۱۲φ۱۶	C۵۰×۵۰-۲۰φ۲۰	۱۱-۱۲
B۴۵×۴۵-۱۰φ۱۶	C۴۵×۴۵-۱۶φ۲۰	۱۳-۱۴
B۴۰×۴۰-۱۰φ۱۲	C۴۰×۴۰-۱۶φ۱۸	۱۵-۱۶

جدول ۸- ابعاد تیرها و ستون‌ها (مستطیلی) در قاب ۱۶ طبقه مدل ۲ با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی

طبقات	ابعاد تیر (سانتی متر)		ابعاد ستون (سانتی متر)
	Y	X	
۱-۲	B۶۰×۶۰-۱۶φ۱۸	B۸۰×۶۰-۲۰φ۱۸	C۶۰×۸۰-۲۸φ۲۵
۳-۴	B۵۵×۵۵-۱۶φ۱۶	B۷۵×۵۵-۲۰φ۱۶	C۵۵×۷۵-۲۴φ۲۵
۵-۶	B۵۵×۵۵-۱۴φ۱۴	B۷۵×۵۵-۱۸φ۱۴	C۵۵×۷۵-۲۴φ۲۵
۷-۸	B۵۵×۵۵-۱۴φ۱۴	B۷۵×۵۵-۱۸φ۱۴	C۵۵×۷۵-۲۴φ۲۵
۹-۱۰	B۵۰×۵۰-۱۲φ۱۴	B۷۰×۵۰-۱۶φ۱۴	C۵۰×۷۰-۲۴φ۲۲
۱۱-۱۲	B۴۵×۵۰-۱۲φ۱۴	B۶۵×۵۵-۱۶φ۱۴	C۴۵×۶۵-۲۰φ۲۲
۱۳-۱۴	B۴۰×۵۰-۱۰φ۱۴	B۶۰×۵۰-۱۴φ۱۴	C۴۰×۶۰-۲۰φ۲۰
۱۵-۱۶	B۳۵×۴۵-۱۰φ۱۰	B۵۵×۴۵-۱۴φ۱۰	C۳۵×۵۵-۱۶φ۲۰

جدول ۹- ابعاد تیرها و ستون‌ها (مربعی) در قاب ۱۶ طبقه مدل ۳ با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی

طبقات	ابعاد ستون (سانتی متر)	ابعاد تیر (سانتی متر)
۱-۲	C۷۰×۷۰-۲۸φ۲۵	B۷۰×۷۰-۱۶φ۲۰
۳-۴	C۶۵×۶۵-۲۴φ۲۵	B۶۵×۶۵-۱۴φ۲۰
۵-۶	C۶۰×۶۰-۲۴φ۲۲	B۶۰×۶۰-۱۴φ۱۸
۷-۸	C۶۰×۶۰-۲۴φ۲۲	B۶۰×۶۰-۱۴φ۱۸
۹-۱۰	C۵۵×۵۵-۲۰φ۲۲	B۵۵×۵۵-۱۲φ۱۸
۱۱-۱۲	C۵۰×۵۰-۲۰φ۲۰	B۵۰×۵۰-۱۲φ۱۶
۱۳-۱۴	C۴۵×۴۵-۱۶φ۲۰	B۴۵×۴۵-۱۰φ۱۶
۱۵-۱۶	C۴۰×۴۰-۱۶φ۱۸	B۴۰×۴۰-۱۰φ۱۴

جدول ۹- ابعاد تیرها و ستون‌ها (مربعی) در قاب ۱۶ طبقه مدل ۴ با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی

طبقات	ابعاد ستون (سانتی متر)	ابعاد تیر (سانتی متر)
۱-۲	C۷۵×۷۵-۲۸φ۲۵	B۷۵×۷۵-۱۶φ۲۰
۳-۴	C۷۰×۷۰-۲۸φ۲۵	B۷۰×۷۰-۱۶φ۲۰
۵-۶	C۶۵×۶۵-۲۴φ۲۵	B۶۵×۶۵-۱۴φ۲۰
۷-۸	C۶۰×۶۰-۲۴φ۲۲	B۶۰×۶۰-۱۴φ۱۸
۹-۱۰	C۵۵×۵۵-۲۰φ۲۲	B۵۵×۵۵-۱۲φ۱۸
۱۱-۱۲	C۵۰×۵۰-۲۰φ۲۰	B۵۰×۵۰-۱۲φ۱۶
۱۳-۱۴	C۴۵×۴۵-۱۶φ۲۰	B۴۵×۴۵-۱۰φ۱۶
۱۵-۱۶	C۴۰×۴۰-۱۶φ۱۸	B۴۰×۴۰-۱۰φ۱۴

۳- تجزیه و تحلیل یافته‌ها

در این مطالعه به علت اینکه قاب‌های ۱۲ طبقه طبق قسمت الف بند ۲-۳ آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران ویرایش ۴ جزء ساختمان‌های

منظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از تراز پایه هستند، همچنین در خصوص قاب‌های ۱۶ طبقه به علت همپایه‌سازی برش‌های پایه استاتیکی نسبت به دینامیکی، از روش تحلیل استاتیکی معادل، طبق



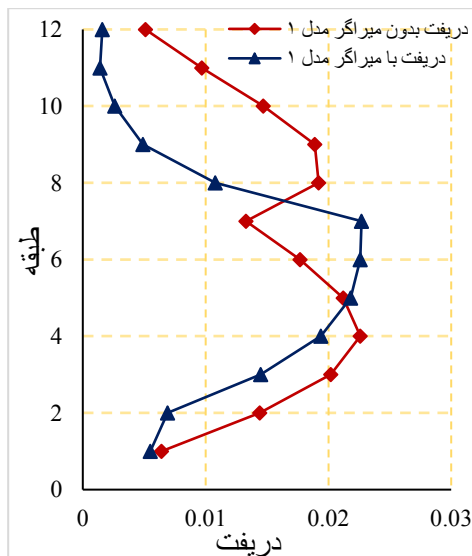
بند ۳-۳ آیین‌نامه مذکور نیروی جانبی زلزله به صورت استاتیکی در امتداد و جهات مختلف به سازه اعمال می‌شود، استفاده شده است. در جدول ۱۱، دوره تناوب تجربی قاب‌های ۱۲ و ۱۶ طبقه با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی نشان داده شده است. در جدول ۱۲ نیز زمان تناوب مود اول (T1)، قاب‌های ۱۲ و ۱۶ طبقه مجهز به میراگرهای ویسکوز غیرخطی نشان داده شده است. میزان تغییر مکان هدف مدل‌های ۱ تا ۴ قاب‌های ۱۲ و ۱۶ طبقه در مرحله اول تحلیل به صورت جدول ۱۳ می‌باشد. در شکل‌های ۶ تا ۱۳ نمودار جابجایی نسبی طبقات برای حالت با و بدون میراگر برای سازه‌های ۱۲ و ۱۶ طبقه نشان مدل‌های یک تا چهار نشان داده شده است.

جدول ۱۱- دوره تناوب تجربی قاب‌های ۱۶ و ۱۲ طبقه با و بدون میراگرهای

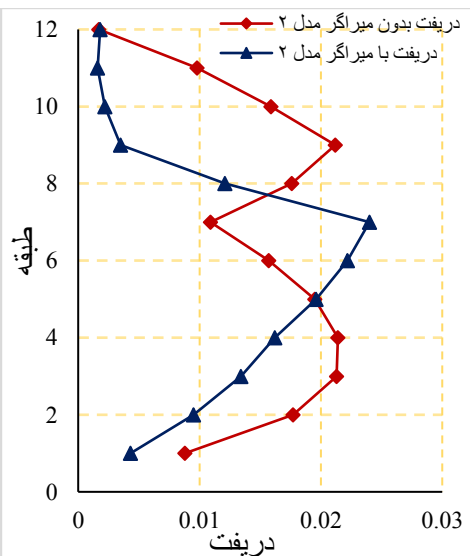
دوره تناوب	ویسکوز غیرخطی		مدل	نوع قاب
	ارتفاع	ارتفاع		
۱/۳۳۳	۳۸/۴	۳/۲	۴ الی ۱	۱۲ طبقه
۱/۷۲۷	۵۱/۲	۳/۲	۴ الی ۱	۱۶ طبقه

(X, Y)، قاب‌های ۱۲ و ۱۶ طبقه با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی در امتداد (TA جدول ۱۲- دوره تناوب تحلیلی)

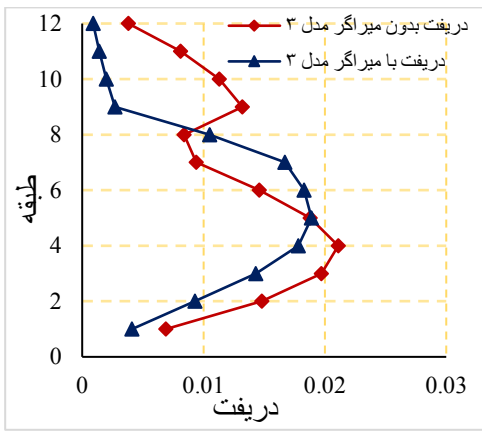
قاب	مدل	TA(S)				۱/۲۵TE(S)			
		بدون میراگر		با میراگر		بدون میراگر		با میراگر	
۱۲ طبقه	۱	۱/۴۰۳۸	۱/۴۰۳۸	-/۹۰۲	-/۹۰۲	۱/۶۶۶۳	۱/۶۶۶۳	۱/۶۶۶۳	۱/۶۶۶۳
	۲	۱/۳۷۰۸	۱/۳۸۸۶	۰/۸۸۷۸	۰/۹	۱/۶۶۶۳	۱/۶۶۶۳	۱/۶۶۶۳	۱/۶۶۶۳
	۳	۱/۴۲۵	۰/۹۵۷۵	۱/۳۶۷	۰/۹۳۲۲	۱/۶۶۶۳	۱/۶۶۶۳	۱/۶۶۶۳	۱/۶۶۶۳
	۴	۱/۴۴۸۹	۰/۹۶۱۲	۱/۵۴۸۵	۰/۸۸۹۷	۱/۶۶۶۳	۱/۶۶۶۳	۱/۶۶۶۳	۱/۶۶۶۳
۱۶ طبقه	۱	۱/۷۴۷	۱/۷۵۴۳	۱/۰۵۹۷	۱/۰۶۱۴	۲/۱۵۸۸	۲/۱۵۸۸	۲/۱۵۸۸	۲/۱۵۸۸
	۲	۱/۹۷۰۹	۱/۹۷۹۱	۱/۳۴۰۸	۱/۳۳۸۶	۲/۱۵۸۸	۲/۱۵۸۸	۲/۱۵۸۸	۲/۱۵۸۸
	۳	۱/۸۶۷۶	۱/۸۲	۱/۳۹۴۷	۱/۳۷۵۵	۲/۱۵۸۸	۲/۱۵۸۸	۲/۱۵۸۸	۲/۱۵۸۸
	۴	۱/۹۱۸۱	۲/۰۳۹۵	۱/۴۰۹۸	۱/۳۲۹	۲/۱۵۸۸	۲/۱۵۸۸	۲/۱۵۸۸	۲/۱۵۸۸



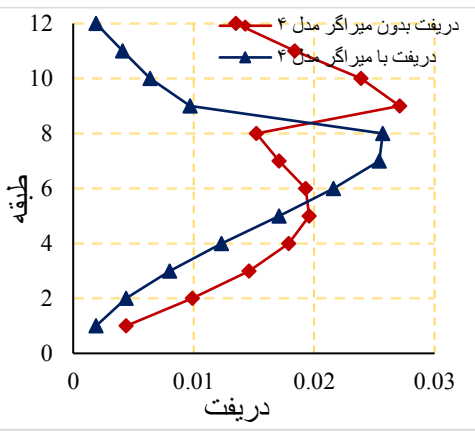
شکل ۶- نمودار مقایسه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات مدل ۱ قاب ۱۲ طبقه با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی



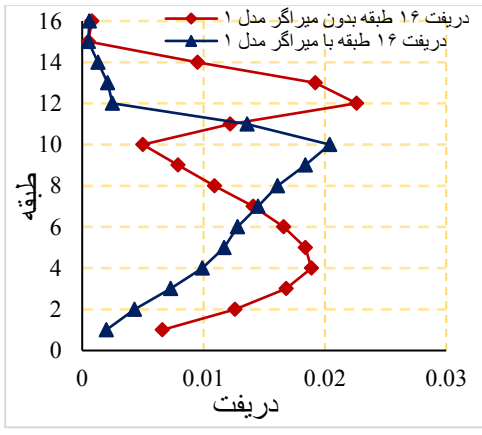
شکل ۷- نمودار مقایسه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات مدل ۲ قاب ۱۲ طبقه با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی



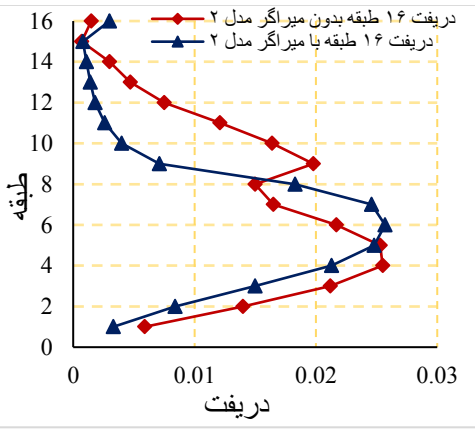
شکل ۸- نمودار مقایسه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات مدل ۳ قاب ۱۲ طبقه با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی



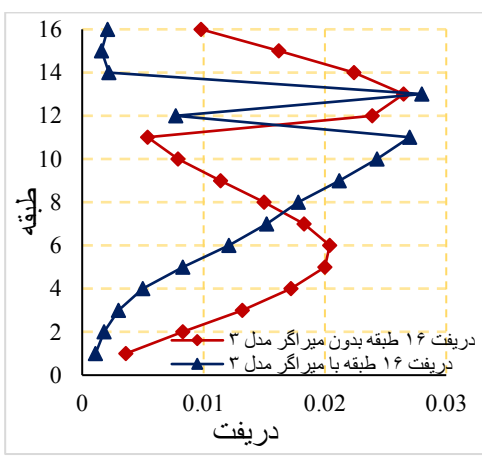
شکل ۹- نمودار مقایسه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات مدل ۴ قاب ۱۲ طبقه با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی



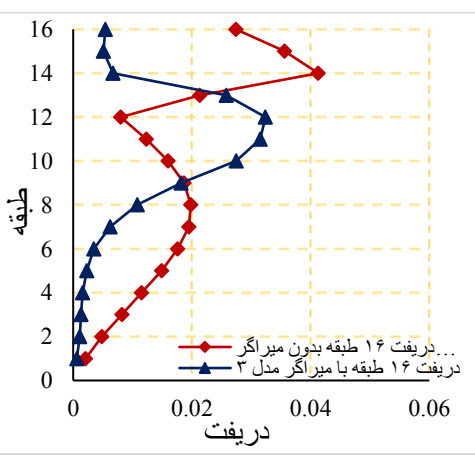
شکل ۱۰- نمودار مقایسه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات مدل ۱ قاب ۱۶ طبقه با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی



شکل ۱۱- نمودار مقایسه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات مدل ۲ قاب ۱۶ طبقه با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی



شکل ۱۲- نمودار مقایسه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات مدل ۳ قاب ۱۶ طبقه با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی



شکل ۱۳- نمودار مقایسه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات مدل ۴ قاب ۱۶ طبقه با و بدون میراگرهای ویسکوز غیرخطی



۴- نتیجه گیری

در این قسمت نتایج کلی بدست آمده در این مطالعه پرداخته شده و سپس به محدودیت‌های موجود در این پژوهش اشاره می‌گردد.

(۱) افزایش تعداد دهانه درامتداد محور Y ، (مدل نسبت به ۳) در قاب ۱۲ طبقه بدون میراگر ویسکوز در تراز طبقات درامتداد (X, Y) سبب کاهش ۵۰٪ تغییر مکان جانبی نسبی می‌گردد.

(۲) افزایش تعداد دهانه درامتداد محور Y ، (مدل نسبت به ۳) در قاب ۱۲ طبقه با میراگر ویسکوز در تراز طبقات در امتداد (X, Y) سبب کاهش ۴۵٪ تغییر مکان جانبی نسبی می‌گردد.

(۳) در مدل ۳ قاب ۱۲ طبقه با میراگر نسبت به بدون میراگر ویسکوز در تراز طبقات در دو امتداد (X, Y) تغییر مکان جانبی نسبی طبقات ۸۴ درصد کاهش داشته‌اند.

(۴) افزایش تعداد دهانه در امتداد محور Y (مدل نسبت به ۳) در قاب ۱۶ طبقه بدون میراگر ویسکوز در تراز طبقات در امتداد (X, Y) سبب افزایش تغییر مکان جانبی نسبی طبقات ۹۷ درصد می‌گردد.

(۵) افزایش تعداد دهانه درامتداد محور Y (مدل نسبت به ۳) در قاب ۱۶ طبقه با میراگر ویسکوز در تراز طبقات در امتداد (X, Y) سبب افزایش تغییر مکان جانبی نسبی طبقات ۸۸ درصد می‌گردد.

(۶) در مدل ۳، قاب ۱۶ طبقه با میراگر نسبت به بدون میراگر ویسکوز در تراز طبقات در دو امتداد (X, Y) ، تغییر مکان جانبی نسبی طبقات ۹۱ درصد کاهش داشته‌است.

(۷) با توجه به نتایج مذکور می‌توان بیان نمود، که افزایش تعداد دهانه درامتداد محور Y (مدل نسبت به ۳) در قاب‌های ۱۲ و ۱۶ طبقه بدون و با میراگر ویسکوز در تراز طبقات در دو امتداد (X, Y) سبب افزایش تغییر مکان جانبی نسبی طبقات می‌گردد. همچنین در مدل‌های ۱ و ۳ قاب‌های ۱۲ و ۱۶ طبقه با میراگر نسبت به بدون میراگر ویسکوز در تراز طبقات در دو امتداد (X, Y) ، متغیرهای فوق کاهش می‌یابند.

منابع

[۱] آندرسن. ج.، آرنولد. ک.، طراحی سازه‌های ضد زلزله. مرکز نشر دانشگاهی. ۱۳۸۸؛ ص ۳۹.

[۲] دستورالعمل استفاده از میراگرها در طراحی و مقاوم‌سازی ساختمانها (ضابطه شماره ۷۶۶)، معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی، امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران، مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی، معاونت تحقیقات، سازمان مجری ساختمان‌ها و تاسیسات دولتی و عمومی معاونت برنامه ریزی و مهندسی؛ ص ۱۱۵، ۱۱۴، ۱۱۳.

[3] Shariati A, Kamgar R, Rahgozar R. Optimum Layout of Nonlinear Fluid Viscous Damper for Improvement the Responses of Tall Buildings. International Journal of Optimization in Civil Engineering, 2020;10 (3): 411-440.

[4] Huergo H, Ivan F, Hernandez B, Hugo H, Patlan P, Carlos M. A Continuous-iscrete Approach for Pre-design

of Flexible-base Tall Buildings with Fluid Viscous Dampers. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2020; Vo 1131, P2.

[5] Milanchian, R, Hosseini, M. Study of Vertical Seismic Isolation Technique with Nonlinear Viscous Damper for Lateral Response Reduction. Journal of Building Engineering, 2019; Vol23, P145.

[6] Domenico D, Dario D, Ricciardi R, Giuseppe G. Improved Stochastic linearization Technique for Structures with Nonlinear Viscous Dampers. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2018; Vol113, P415.

[7] Akehashi A, Hiroki H, Takewaki T, Izuru I. Comparative Investigation on Optimal Viscous Damper Placement for Elastic-plastic m-dof Structures: Transfer Function Amplitude or Double Impulse. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2020; Vol130, P1.

[۸] برگی. خ. اصول مهندسی زلزله. تهران: موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۴؛ ص ۴۱۶، ۴۱۷.

[۹] بابائی. م.، مرادی. م. بهینه‌سازی چند هدفه کنترل نیمه فعال سازه‌ها با استفاده از میراگرهای ویسکوز به کمک الگوریتم رقابت استعماری. نشریه علمی-پژوهشی سازه و فولاد، ۱۳۹۸؛ شماره ۲۵، ص ۴۵، ۴۶.

[۱۰] مقررات ملی ساختمان ایران مبحث دهم، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان، ویرایش چهارم، ۱۳۹۲؛ ص ۲۲۰.

[11] Hashemi M. Viscous Damper Placement Optimization in Concrete Structures Using Colliding Bodies Algorithm and Story Damage Index. International Journal of Optimization in Civil Engineering, 2020; 10 (1): 53-54.

[12] Sudheer kumar, K, Vinod, Y. Seismic Response Analysis of Rc Framed Structure Using Dampers. International Journal of Recent Technology and Engineering, 2019; 7 (6C2): 377.

[13] Zolekar, M, Sagade S, Prof A. Effect of Viscous Dampers on Response Reduction Factor for Rc Frame Using Response Spectrum Analysis. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2019; 06 (07): 3597-3598.

[14] Hu G. Seismic Mitigation Performance of Structures with Viscous Dampers Under Near-fault Pulse-type Earthquakes. Engineering Structures, 2020; 203: 2



[15] Kookalani S, Shen D. Effect of Fluid Viscous Damper Parameters on the Seismic Performance. *Journal of Civil Engineering and Materials Application*, 2020; 4 (3):141-143.

[16] Shen H. Design Method of Structural Retrofitting Using Viscous Dampers Based on Elastic-plastic Response Reduction Curve. *Engineering Structures*, 2020; 208:1-2.

[17] Lakshmi S, Ushasri P. Study of Seismic Energy Dissipation and Effect in Multistory RC Building with and without Fluid Viscous Dampers. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 2019; 8(7): 2482-2485.

[18] Jiao X, Zhao Y, Ma W. Nonlinear Dynamic Characteristics of a Micro-vibration Fluid Viscous Damper. *Asian Journal of Civil Engineering*, 2018; 19(6):1167-1168.

[19] Moradpour S, Dehestani M. Optimal DDBD Procedure for Designing Steel Structures with Nonlinear Fluid Viscous Dampers. *Structures*, 2019; 22: 155.

[۲۰] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان، ویرایش پنجم، ۱۳۹۹، صص ۳۵۰، ۳۵۱.

[۲۱] دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه شماره ۳۶۰) ، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، ۱۳۹۲.

[۲۲] مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، بارهای وارد بر ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، ویرایش چهارم، ۱۳۹۸.

