

## بررسی تأثیر نوع ساختگاه بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی مجهز به میراگرهای ویسکوز

مجید محمدی<sup>\*</sup>، محمد سلمانی سولا<sup>۲</sup>

۱- استاد، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران - زلزله، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

\*تهران، کد پستی ۱۹۵۳۷۱۴۵۱۵، mohammadi@iiees.ac.ir

### چکیده

یکی از عوامل موثر بر رکورد زلزله، نوع خاک ساختگاه است. معمولاً خاک‌های نرم اثر تشدیدکنندگی بیش‌تری دارند و باعث بروز رفتار غیرخطی بیش‌تری می‌گردند. به همین دلیل با تغییر ساختگاه از خاک نوع ۱ به خاک نوع ۴، ضرایب زلزله در استاندارد ۲۸۰۰ ایران نیز افزایش یافته و سازه‌های مستقر بر این نوع خاک‌ها عملاً قوی‌تر طراحی می‌شوند. در این پژوهش عملکرد سازه‌های مجهز به میراگر ویسکوز در تمامی ساختگاه‌ها نسبت به سازه‌های مشابه فاقد میراگر مقایسه می‌گردد تا کارایی میراگر ویسکوز در ساختمان‌های مستقر در انواع خاک‌ها مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور سازه‌های قاب خمشی فولادی متوسط ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه برای هر ۴ ساختگاه دارای خاک نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ طراحی و رفتار لرزه‌ای آن‌ها با سازه‌های مشابه دارای میراگر مقایسه می‌گردد. اعضای سازه‌ای و خصوصیات میراگر ساختمان‌های دارای میراگر بر اساس ASCE7-16 طراحی می‌شوند. تمامی سازه‌ها در نرم‌افزار OpenSees به صورت دوبعدی مدل‌سازی و با استفاده از شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه دور و نزدیک واقعی که در هر ۴ ساختگاه رخ داده‌اند، تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی غیرخطی می‌شوند. سازه‌های مورد نظر برای شهر تهران طراحی شده‌اند و در مطالعه رفتار واقعی آن‌ها در زلزله ۴۷۵ ساله، مولفه قائم و افقی زلزله‌های واقعی که شتاب مولفه افقی آن‌ها به  $0.35g$  نرمالایز شده، به آن‌ها اعمال شده است. نتایج تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی غیرخطی برای ۲۴ رکورد زلزله حوزه دور و ۱۰ رکورد حوزه نزدیک نشان می‌دهد که سازه‌های قاب خمشی متداول، با تغییر ساختگاه از خاک نوع ۱ به خاک نوع ۴، پاسخ بزرگ‌تر و عملکرد لرزه‌ای ضعیف‌تری از خود نشان می‌دهند. اما میراگرهای ویسکوز در سازه‌های مشابه، در هر ۴ ساختگاه پاسخ سازه‌ها را به خوبی کاهش می‌دهند و هر چه قدر خاک ساختگاه نرم‌تر باشد، میراگرهای ویسکوز، عملکرد موثرتری از خود نشان می‌دهند. بنابراین به کارگیری میراگرهای ویسکوز را می‌توان در انواع خاک‌ها به عنوان راهکاری برای بهبود عملکرد لرزه‌ای به کار برد.

### واژگان کلیدی

خاک ساختگاه، قاب خمشی فولادی، میراگر ویسکوز، زلزله حوزه دور، زلزله حوزه نزدیک، تحلیل تاریخچه‌زمانی غیرخطی

## Comparing seismic performance of using pipe damper in toggle and diagonal braces

M. Mohammadi, M. Salmani Soula

### Abstract

Soil type of building site is one the most effective parameters on the buildings seismic behavior. Site effect, which occurs mostly in softer soils fortifies the influence of earthquakes and apply greater seismic forces to the buildings. Therefore, the buildings in soft soils should be designed for greater lateral seismic forces, based on the codes such as Iranian Standard 2800. In the present research, performance of viscous dampers in buildings is investigated in all soil types from very stiff, type I to very soft soil, type IV. The main purpose of this paper is to find where viscous dampers have the most performance regarding different soil types. For this, some building frames having 5, 10 or 15 stories are designed on different soil types. It is assumed that the buildings have steel moment resisting structures. Each building on every soil type is designed twice: with and without viscous dampers, and their seismic behaviors are calculated under some earthquake records and compared. ASCE7-16 is based for designing the buildings having viscous dampers. The assumed buildings were analyzed for earthquake acceleration records of the corresponding soil type, with return period of 475 years, having PGA of 0.35g. Nonlinear time history analyses of the buildings under 24 far-field records and 10 near-field records show that: regular buildings, without viscous dampers, on softer soils are more vulnerable, and equipping them with viscous dampers is a good method to protect them in earthquakes and decreasing their responses and damages. Viscous dampers are more effective in buildings on softer soils. In summary, viscous dampers are always effective in decreasing the structural seismic responses and damages, and they are more effective in buildings on soft soils.

### Keywords

Soil type, Steel moment frame, Viscous damper, Far-field earthquakes, near-field earthquakes, Nonlinear time history analysis

کشورمان در موقعیتی قرار گرفته است که یکی از فعال‌ترین کمربندهای زلزله‌خیز جهان تحت عنوان «آلپ هیمالیا» از آن می‌گذرد. نتایج حاصل از زلزله طی سالیان گذشته نشان می‌دهد اگرچه برنامه‌ریزان، متخصصین و مجریان پندهایی از این حوادث گرفته و اصلاحات و تمهیداتی در جهت مقابله با این پدیده طبیعی صورت پذیرفته است؛ لیکن تا نقطه مطلوب، فاصله نسبتاً زیاد است. یکی از روش‌های نوین مقاوم‌سازی در برابر زلزله استفاده از میراگرهای ویسکوز است. این سیستم‌های جاذب انرژی زلزله، بین طبقات مختلف سازه نصب می‌شود و هنگام وقوع زلزله انرژی مخرب زلزله را جذب و معمولاً به صورت حرارت آزاد می‌کنند. میراگرهای ویسکوز بر اساس نیرویی که از ضریب میرایی میراگر و سرعت دو سر میراگر و تعداد میراگر در هر طبقه ساختمان به دست می‌آید، طراحی و انتخاب می‌شوند [۱].

توجه به اثر خاک در عملکرد سازه حین زلزله موضوعی است که در دهه‌های اخیر مورد توجه تحقیقات بسیاری قرار گرفته است. مشخصات ساختمان با توجه به نوع خاک می‌تواند نقش مهمی در تغییر عملکرد سازه و تغییر جابه‌جایی بین طبقات داشته باشد و با تغییر خاک ساختمان و تغییر فاصله از گسل و شدت زلزله، با تأثیر بر سرعت و نیروی نهایی میراگرها از عملکرد نهایی سازه کاسته شود. مسأله تأثیر ساختمان بر حرکات لرزه‌ای زمین از اوایل قرن بیستم مورد توجه محققین و دانشمندان قرار گرفته است که با بررسی آثار ایجادشده در اثر امواج زلزله در نقاط مختلف ساختمان و همچنین شرایط لایه‌های آبرفتی محل، تأثیر ساختمان را در تغییر خصوصیات مختلف امواج زلزله مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۲].

بار اکثر سازه‌ها توسط پی، به خاک منتقل می‌شود و امواج زلزله نیز پس از عبور از خاک به سازه وارد می‌شود. در نتیجه رفتار سازه‌ها در هنگام زلزله، متأثر از شرایط خاک زیر پی آن‌ها بوده و خصوصیات خاک در انتقال امواج زلزله از سنگ بستر به سازه تأثیر بسیار مهمی در طراحی سازه دارد. دقت در ساز و کار انتقال این امواج و در نتیجه تعیین و اعمال نیروی جانبی ناشی از زلزله به سازه در طراحی بهینه و ایمن آن بسیار حائز اهمیت است. بسته به خصوصیات سازه و خاک، نوسانات منتشرشده ناشی از زلزله از سنگ بستر می‌تواند تشدید و یا تضعیف گردد [۳].

در استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴] با توجه به انواع طبقه‌بندی نوع زمین و با در نظر گرفتن سرعت موج برشی میانگین‌گیری شده در

لایه‌های قرارگرفته در عمق ۳۰ متری سطح زمین، طیف‌های طرح مربوطه ارائه شده است.

وجود لایه سست و محل قرارگیری آن در ساختمان متراکم موجب تغییر رفتار لرزه‌ای ساختمان می‌شود. قرارگیری لایه سست در اعماق تحتانی موجب بروز رفتار غیرخطی بیش‌تری در ساختمان خواهد شد و هنگامی که لایه سست در اعماق تحتانی ساختمان قرار می‌گیرد، تشدید شتاب مقادیر کمتری از خود نشان می‌دهد. همچنین پریود دینامیکی ساختمان‌هایی که شامل لایه سست در اعماق تحتانی هستند، به علت رفتار غیرخطی ساختمان، مقادیر بیش‌تری نسبت به ساختمان‌های شامل لایه سست سطحی دارند. با افزایش شتاب حداکثر سنگ بستر و افزایش کرنش‌های ساختمان، پریود دینامیکی ساختمان‌های شامل لایه سست افزایش می‌یابد؛ لیکن این افزایش پریود دینامیکی در حالتی که لایه سست در اعماق تحتانی قرار دارد، از نرخ افزایشی بیش‌تری برخوردار است. به طور کلی ضخامت لایه سست در رفتار دینامیکی ساختمان مؤثر می‌باشد به طوری که با افزایش ضخامت لایه سست در اعماق تحتانی، رفتار غیرخطی بیش‌تری بروز می‌کند و پریود دینامیکی آبرفت افزایش می‌یابد و نسبت تشدید شتاب کاهش می‌یابد. هنگامی که لایه سست در سطح قرار گرفته است، تغییر ضخامت، موجب ایجاد رابطه مشخصی با پارامترهای لرزه‌ای سطحی نخواهد شد؛ لیکن در این حالت با تشدید شتاب روبه‌رو خواهیم بود [۵].

## ۲- طراحی سازه‌های بدون میراگر و سازه‌های پایه برای نصب میراگر ویسکوز

در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر تغییرات ساختمان بر رفتار سازه‌های مجهز به میراگر ویسکوز و دستیابی به نتایج مناسب، ۳ سازه ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه فولادی که تا حد امکان به ساختمان‌های موجود در ایران بیش‌تر نزدیک است انتخاب شده است و چون حداکثر ارتفاع سازه‌های مورد بررسی زیر ۵۰ متر است، مطابق جدول ۳-۴ استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴]، سیستم قاب خمشی فولادی متوسط ( $R_u = 5, \Omega_0 = 3, C_d = 4$ ) برای طراحی تمام سازه‌ها انتخاب شده است. در طراحی این سازه‌ها سعی شده مشابه آن‌چه در دفاتر مهندسی متداول است، سازه‌ها تا حد ممکن بهینه طراحی شوند.

برای بررسی نقش میراگر و مقایسه با سازه‌های متداول دو دسته سازه طراحی می‌شوند، یک دسته سازه‌های قاب خمشی

نیروی میراگرها برخی المان‌های سازه‌ها افزایش مقطع می‌یابند (نحوه انجام این کنترل، به تفصیل در بخش ۳ بیان شده است).

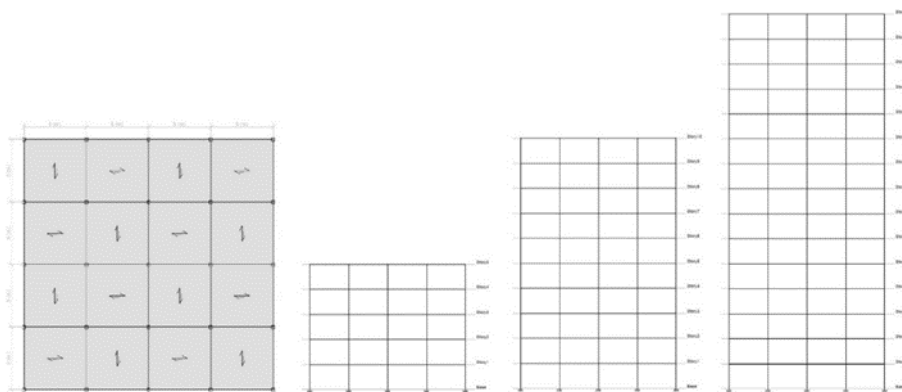
بنابراین ۳ سازه ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه برای هر ۴ نوع خاک، یک بار برای ۱۰۰ درصد نیروی زلزله به منظور مقایسه با سازه دارای میراگر و یک بار برای ۷۵ درصد نیروی زلزله برای الحاق میراگر، به منظور بررسی تغییرات ساختگاه در عملکرد میراگر طراحی شده‌اند. به عبارت دیگر ۱۲ سازه بدون میراگر و ۱۲ سازه پایه برای الحاق میراگر و در مجموع ۲۴ سازه طراحی می‌شوند. پلان و شکل هندسی سازه‌های بدون میراگر در شکل (۱) و در شکل (۲) پلان و شکل هندسی سازه‌های دارای میراگر و نحوه چیدمان میراگر در سازه‌ها نشان داده شده است. همچنین تمام سازه‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه دارای ۴ دهانه ۵ متری در هر دو جهت هستند و ارتفاع تمام طبقات ۳/۲ متر است. در سازه‌های با میراگر، میراگرهای ویسکوز در دو دهانه میانی قاب‌های بیرونی طبقات قرار گرفته‌اند (در هر جهت ۲ میراگر در دو قاب بیرونی طبقه و جمعاً ۴ میراگر در هر جهت قرار دارد یا به عبارتی در هر طبقه ۸ میراگر وجود دارد). محل تمام سازه‌ها شهر تهران (پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد) با کاربری مسکونی انتخاب شده و سیستم سقف طبقات از نوع تیرچه کرومیت است که طبق شکل‌های (۱) و (۲)، سقف‌ها به صورت شطرنجی قرار گرفته و بارها را انتقال می‌دهند. همان‌طور که اشاره شد، سیستم سازه‌ها قاب خمشی فولادی متوسط در هر دو جهت است که برای ۴ تیپ خاک نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ جداگانه طراحی شده‌اند.

در طراحی سازه‌ها از فولاد ساختمانی رایج در ایران S240 استفاده شده که دارای جرم حجمی ۷۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، مقاومت جاری شدن ۲۴۰ مگاپاسکال، ضریب پواسون ۰/۳ و مدول الاستیسیته ۲۰۰ گیگاپاسکال است. در ستون‌ها از مقاطع

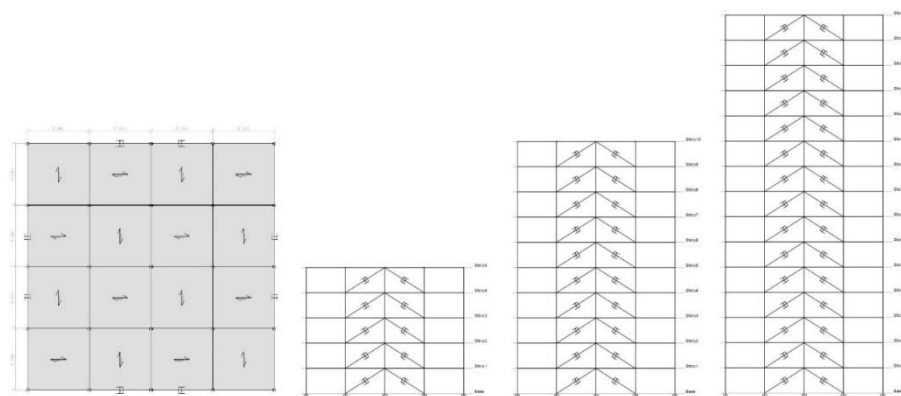
متوسط متداول (فاقد میراگر) که به تنهایی در برابر بار جانبی زلزله مقاومت کافی داشته و جوابگوی مقدار مجاز تغییر مکان نسبی طبقات بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴] هستند و دسته دوم سازه‌های قاب خمشی متوسطی هستند که دارای میراگر می‌باشند و بر اساس آیین‌نامه ۱۶ – ASCE7 [۶] طراحی شده‌اند. برای این ساختمان‌ها، سازه ابتدا برای حداقل برش پایه  $V_{min}$  طراحی می‌شود. در بند 18.2.1.1 فصل هجدهم آیین‌نامه ۱۶ – ASCE7 [۶] حداقل برش پایه ( $V_{min}$ ) برای سیستم‌های مجهز به میراگر از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$V_{min} = \max \left\{ \frac{V}{B_{V+1}}, 0.75V \right\} \quad (1)$$

در رابطه فوق  $V$ ، مقدار برش پایه سازه بدون میراگر و  $B_{V+1}$ ، ضریب کاهش طیف طراحی بر اثر افزایش میرایی است. دلیل این که سازه بدون در نظرگیری میراگر باید برای حداقل برش پایه خاصی طراحی شود این است که در طراحی سیستم‌های کنترل غیرفعال، سازه پایه یا به تعبیری سازه‌ای که میراگر در آن نصب می‌گردد، حداقل باید برای درصدی از برش پایه آیین‌نامه طراحی گردد تا بتواند بدون سیستم کنترلی یا بروز نقص در این گونه سیستم‌ها، مقاومت جانبی و پایداری لازم در برابر نیروی زلزله را داشته باشد و از لحاظ سطح عملکرد در حین زلزله از شرایط مناسبی برخوردار باشد. رابطه (۱) برای سازه‌های مفروضه در این تحقیق،  $V_{min}$  برابر  $0.75V$  گردید و به همین جهت سازه‌هایی که در این مرحله برای ۷۵ درصد برش پایه، طراحی می‌شوند، مطابق آیین‌نامه و کنترل‌های انجام‌شده در بخش طراحی میراگر ویسکوز، جوابگوی نیروی زلزله خواهند بود. پس از طراحی میراگرها و کنترل سازه‌ها فقط برای جوابگویی در برابر حداکثر



شکل ۱- پلان و شکل هندسی سازه‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه بدون میراگر در ۴ ساختگاه طراحی شده



شکل ۲- پلان و شکل هندسی سازه‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه دارای میراگر در ۴ ساختمانی طراحی شده

BOX و در تیرها از مقاطع IPE استفاده شده است.

بارهای ثقیلی وارد بر ساختمان شامل بارهای مرده و زنده است. مقدار بارهای مرده بر اساس جزئیات اجرایی سقف‌ها و دیوارها و مقدار بارهای زنده بر اساس کاربری قسمت‌های مختلف ساختمان از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان [۷] تعیین می‌گردد. در این تحقیق برای طبقات بار مرده  $450 \text{ kg/m}^2$ ، بار زنده قابل کاهش  $200 \text{ kg/m}^2$ ، بار زنده تیغه‌بندی  $105 \text{ kg/m}^2$ ، بار مرده دیوارهای پیرامونی  $700 \text{ kg/m}^2$  در نظر گرفته شده است. و برای بام بار مرده  $500 \text{ kg/m}^2$ ، بار زنده،  $150 \text{ kg/m}^2$  بار برف  $150 \text{ kg/m}^2$ ، بار دیوارهای پیرامونی (جان‌پناه)  $250 \text{ kg/m}^2$  در نظر گرفته شده است. با توجه به منظم بودن ساختمان در ارتفاع و پلان و کم‌تر بودن ارتفاع سازه‌های در نظر گرفته شده از ۵۰ متر طبق بند ۳-۲-۲ استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴] می‌توان برای محاسبه و اعمال نیروی جانبی زلزله از روش استاتیکی معادل استفاده نمود. ضرایب C و K زلزله با توجه به مشخصات سازه محاسبه و مورد استفاده قرار گرفته است. ترکیب بارهای طراحی سازه‌ها با توجه به مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۸] و استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴] انتخاب و تنظیم شده و سپس طراحی سازه‌ها به روش حالات حدی<sup>۱</sup> در نظر گرفته می‌شود و چون محل پروژه شهر تهران و با خطر نسبی خیلی زیاد است، اثر زلزله قائم در کل سازه منظور شده است. پس از مشخص شدن این الزامات، با رعایت ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴]، ۱۲ سازه بدون میراگر برای ۱۰۰ درصد ضریب زلزله و ۱۲ سازه پایه برای الحاق میراگر برای ۷۵ درصد ضریب زلزله در نرم افزار ETABS مدل‌سازی و تحلیل استاتیکی معادل شدند [۹] و سپس سازه‌ها طراحی و تمام

مقاطع مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۸] کنترل شدند. همچنین برای سازه‌های بدون میراگر تغییر مکان جانبی نسبت به طبقات مطابق بند ۳-۵ و رابطه ۳-۱۱ استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴] کنترل شده‌اند. از آن جایی که سازه‌های پایه برای الحاق میراگر بعداً با میراگر تجهیز و کنترل خواهند شد، نیازی به کنترل دریافت ندارند و مقاومت کافی در طراحی برایشان کافی است [۴ و ۶]. وزن فولاد مصرفی در سازه‌های پایه مجهز به میراگرهای ویسکوز نسبت به سازه‌های بدون میراگر به طور میانگین  $7 \text{ kg/m}^2$  کم‌تر به دست آمده است.

### ۳- طراحی سازه‌های با میراگر ویسکوز بر اساس آیین‌نامه ASCE7-16

برای طراحی و کنترل سازه‌های دارای میراگر از روابط ارائه شده در فصل ۱۸ آیین‌نامه ASCE7-16 [۶] استفاده شده است. آیین‌نامه ASCE7-16 [۶] روش‌های طراحی سازه به همراه میراگر را به طور کلی به ۳ بخش تقسیم می‌کند. اولین مورد روش‌های غیرخطی است که بدون محدودیت در طراحی به کار می‌روند. دومین مورد روش استفاده از طیف پاسخ است که در سازه‌هایی که دارای ۲ شرط زیر باشند می‌توان به کار برد:

(۱) در جهت مورد نظر و در هر طبقه حداقل دو میراگر وجود داشته باشد.

(۲) نسبت میرایی بحرانی کل در هر جهت از ساختمان بیش از ۳۵ درصد در مود اول سازه نشود.

در نهایت ساده‌ترین روش تحلیل سازه‌های همراه میراگر، روش ELF<sup>۲</sup> است. در این روش پاسخ سازه بر اساس ۲ مود اول و مود باقی‌مانده در نظر گرفته می‌شود. مود باقی‌مانده برای در نظر

<sup>2</sup> Equivalent Lateral Force Procedure

<sup>1</sup> Load and Resistance Factor Design (LRFD)

گرفتن اثر مودهای بالاتری است که می‌توانند اثر قابل توجهی در برآورد سرعت واقعی طبقات داشته باشند.

تمامی سازه‌ها در نرم‌افزار ETABS بر اساس روش تحلیل استاتیکی خطی طراحی و کنترل شده‌اند و تمامی میراگرها برای نتایج حاصل از این تحلیل طراحی می‌شوند؛ بنابراین برای طراحی میراگرها از روش ELF آیین‌نامه ASCE7-16 [۶] استفاده و کنترل‌ها مطابق آن با نرم‌افزار ETABS انجام خواهد پذیرفت و در نهایت با استفاده از روش تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی غیرخطی بررسی خواهند شد. لازم به ذکر است می‌توان تمامی میراگرها را بر اساس نتایج تحلیل تاریخچه‌زمانی غیرخطی سازه‌های طراحی شده برای ۷۵٪ برش پایه، بدون هیچ محدودیتی طراحی کرد؛ اما چون تعداد تحلیل‌ها و رکوردهای انتخابی زیاد و بیش از حد زمان‌بر است، به همین جهت از روش ELF استفاده و با روش دینامیکی غیرخطی بررسی می‌شود. میراگر ویسکوز انتخابی از نوع غیرخطی با توان سرعت برابر با ۰/۵ است که چیدمان انتخابی برای این میراگر قطری است.

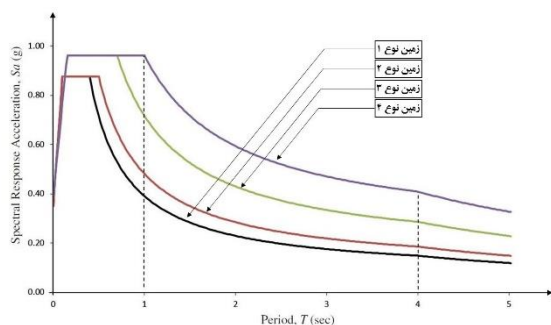
به منظور طراحی میراگرها ابتدا با توجه به شکل (۲-۱-ب) استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴] (ضریب شکل طیف طرح برای انواع زمین‌ها با خطر زیاد و خیلی زیاد) و با توجه به این که شهر تهران در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد قرار دارد و شتاب مبنای طرح ۰/۳۵ برابر شتاب ثقل زمین است، طیف پاسخ (مشابه آیین‌نامه ASCE7-16 [۶]: A.B) هر چهار ساختگاه برای خطر نسبی خیلی زیاد در شکل (۳) رسم شده است. سپس مشابه شکل (۴) طیف طراحی آیین‌نامه ASCE7-16 [۶]، مقادیر  $S_{D1}$  (مقدار شتاب طیف طراحی در پریود ۱ ثانیه) و  $S_{DS}$  (مقدار شتاب طیف طراحی در پریودهای کوتاه) برای هر چهار ساختگاه ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴] محاسبه و بر اساس این مقادیر، میراگرها برای ۴ ساختگاه مختلف طراحی شده‌اند.

برای محاسبه ضریب میرایی میراگر (C) از رابطه (۲) که توسط هوانگ و همکاران [۱۰] ارائه شده، استفاده شده است:

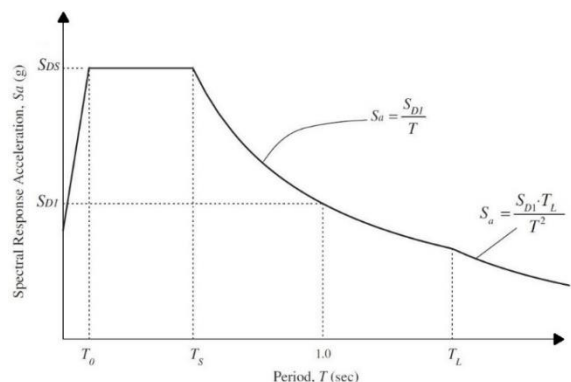
$$\beta_{V1} = \frac{T_1^{2-\alpha} \lambda \sum_j C_j |(f_h)_j (\phi_h)_{rj} - (f_v)_j (\phi_v)_{rj}|^{1+\alpha}}{(2\pi)^{3-\alpha} A^{1-\alpha} \sum_i m_i (\phi_h)_i^2} \quad (2)$$

در رابطه فوق،  $\beta_{V1}$  نسبت میرایی تولیدی میراگرهای ویسکوز است که ۱۵ درصد فرض شده،  $\alpha$  توان سرعت میراگر که برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است.  $T_1$  زمان تناوب مود اول

سازه،  $f_h$  ضریب بزرگنمایی افقی که بر اساس چیدمان میراگر تعیین می‌شود (در چیدمان میراگر قطری  $f_h = \cos\theta$  می‌باشد که با توجه به ابعاد دهانه محل قرارگیری میراگر برابر با ۰/۸۴ به دست می‌آید)،  $(\phi_h)_{rj}$  تغییر مکان نسبی مودی در جهت افقی و  $\phi_h$  جابه‌جایی مودی در مود اول است.  $f_v$  ضریب بزرگنمایی قائم و  $\phi_v$  جابه‌جایی مودی قائم است و به دلیل این که در سازه‌های مورد نظر که کم‌تر از ۱۵ طبقه هستند جابه‌جایی مودی قائم کم می‌باشد، از این دو پارامتر صرف نظر شده است. A برابر با جابه‌جایی واقعی بام می‌باشد و  $m_i$  جرم طبقه i ام است.  $C_j$  ضریب میرایی میراگر می‌باشد که با توجه به تعداد میراگرها در هر جهت (۴ میراگر در هر جهت) در این رابطه به دست می‌آید. برای هر ۱۲ سازه با میراگر توان سرعت میراگرها  $\alpha = 0.5$  در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- طیف طراحی (A.B) به دست آمده از استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴]



شکل ۴- طیف طراحی آیین‌نامه ASCE7-16 [۶]

به منظور طراحی و کنترل میراگرها مطابق فصل ۱۸ آیین‌نامه ASCE7-16 [۶]، در مرحله اول پاسخ سازه دارای میراگر را در هر یک از مودهای مؤثر جهت مورد نظر (در این پژوهش مودهای ۱، ۴ و ۷ جهت X سازه‌ها) محاسبه و با هم ترکیب شده و مقدار

برش پایه حاصل از ترکیب پاسخ مودها با مقدار برش پایه مجاز آیین نامه در رابطه (۱) کنترل می شوند. در مرحله دوم با توجه به جابه جایی به دست آمده از سازه دارای میراگر بر اساس روابط آیین نامه و جمع مجموع مربعات جابه جایی های مودی سازه پایه، مقدار تغییر مکان نسبی پس از نصب میراگر مطابق آیین نامه کنترل می شوند. در مرحله سوم، سیستم میراگر (سازه به همراه میراگر) باید در سه فاز حداکثر جابه جایی، حداکثر سرعت و حداکثر شتاب کنترل گردد. بنابراین بر اساس بند ۱۸-۷-۴-۵ آیین نامه ASCE7-16 [۶]، المان های سازه با میراگر را برای حداکثر مقداری که در یکی از سه فاز اتفاق افتاده کنترل نموده و المان هایی که جوابگوی حداکثر نیروی حاصل از میراگر نیستند، تغییر داده می شوند و میراگرها بازطراحی می شوند. این مرحله در نرم افزار ETABS با الحاق میراگر در سازه ها و اعمال حداکثر نیروی اتفاق افتاده در یکی از فازها، تمامی المان های اطراف میراگر برای این نیرو، کنترل و سازه ها و میراگرها بازطراحی شده و مقاطع و میراگرهای نهایی برای مدل سازی در OpenSees در نظر گرفته شده اند.

#### ۴- تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی سازه ها

همان طور که در بخش های قبلی نیز توضیح داده شد، به منظور طراحی سازه های قاب خمشی با استفاده از نرم افزار ETABS و مطابق مقررات ملی ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴] سازه ها تحت تحلیل استاتیکی خطی (معادل) قرار گرفتند و مقاطع تیر و ستون های لازم پس از مدل سازی، تحلیل، طراحی و کنترل به دست آمدند. در این بخش با استفاده از نرم افزار OpenSees و مشخصات سازه های طراحی شده، سازه های بدون میراگر و با میراگر الحاقی به صورت دوبعدی مدل سازی شده و با استفاده از شتاب نگاشت های زلزله های انتخابی، تحلیل دینامیکی غیرخطی (تاریخچه زمانی غیرخطی) می شوند.

#### ۵- شتاب نگاشت های مورد استفاده در پژوهش

به منظور انتخاب شتاب نگاشت ها با توجه به مشخصات ساختگاه ها و طیف خاک های استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴] و با رعایت ملزومات استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۴]، برای زلزله های حوزه نزدیک رکوردهای پالس دار تا فاصله ۲۰ کیلومتری از گسل و برای زلزله های حوزه دور رکوردهای بدون پالس از فاصله ۳۰ کیلومتری به بالا انتخاب شده اند. حداکثر زمان تناوب در سازه های

طراحی شده ۳ ثانیه می باشد. مدت زمان حرکت شدید زمین در انتخاب تمام شتاب نگاشت ها نباید کم تر از سه برابر زمان تناوب یا ۱۰ ثانیه باشد. رکوردهای زلزله ها از سایت PEER برداشته شده اند [۱۱]. مشخصات شتاب نگاشت های زلزله های حوزه دور در جدول (۱) و مشخصات شتاب نگاشت های زلزله های حوزه نزدیک در جدول (۲) آورده شده اند. به منظور کاهش اثرات دیگر رخدادها مانند مکانیزم گسلش و غیره، تلاش شد رخدادهایی انتخاب شود که در هر چهار ساختگاه ثبت شده باشند. زلزله هایی که در حوزه دور (فاصله ۳۰ تا ۱۰۰ کیلومتری) در هر چهار ساختگاه خاک نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ اتفاق افتاده باشد عبارتند از: ۶ رخداد Loma Prieta، Iwate، Chuetsu-oki، Chi-Chi، Tottori، Niigata که از تمام آن ها در این تحقیق استفاده شده است. در حوزه نزدیک فقط یک رخداد Parkfield است که در هر چهار ساختگاه اتفاق افتاده است که به همراه ۳ رخداد Chi-Chi، Loma Prieta، Niigata که در دو ساختگاه با خاک نوع ۲ و ۳ ثبت شده اند، انتخاب و استفاده می شوند.

برای محاسبه دریافت پسماند در سازه های مورد مطالعه، ۱۰ ثانیه شتاب صفر به انتهای هر کدام از مؤلفه های زلزله اضافه شده است. به عنوان نمونه، نمودار تاریخچه زمانی شتاب برای زلزله حوزه دور از گسل Loma Prieta در ساختگاه خاک نوع ۱ برای مؤلفه افقی بیشینه و مؤلفه قائم که با نرم افزار SeisMosignal ترسیم شده در شکل (۵) آمده است.

در نرم افزار OpenSees برای تعریف مشخصات غیرخطی فولاد و مشخصات میراگر به ترتیب از Steel02 و Viscous Damper استفاده شده و تیر و ستون ها با المان غیرخطی NonlinearBeamColumn و میراگرهای ویسکوز با المان TwoNodeLink مدل سازی شده اند [۱۲]. همچنین چون سازه ها قاب دوبعدی، در شهر تهران و با کاربری مسکونی هستند؛ بنابراین مؤلفه بزرگ تر افقی به همراه مؤلفه قائم به سازه اعمال شده است. از آن جایی که حداکثر شتاب زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال برای تهران  $g/0.35$  است، رکورد به گونه ای نرمالایز شده که بیشینه شتاب افقی آن  $g/0.35$  شود. به عبارت دیگر هدف این بوده که رفتار سازه های با و بدون میراگر در خاک های مختلف، تحت اثر زلزله ای که برای آن طراحی شده اند با هم مقایسه شوند. بنابراین ۳ سازه ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه با میراگر و ۳ سازه بدون میراگر هر یک برای هر ۴ ساختگاه (جمعاً ۲۴ سازه) طراحی و در نرم افزار OpenSees مدل سازی شدند. سپس هر یک از آن ها

تحت شتاب‌نگاشت‌های زلزله‌های حوزه نزدیک و حوزه دور که حداکثر شتاب افقی آن‌ها  $0.35g$  است تحلیل دینامیکی تاریخی‌هم‌زمانی غیرخطی شده‌اند که در مجموع ۲۰۴ تحلیل می‌شود.

جدول ۱- مشخصات شتاب‌نگاشت‌های استفاده‌شده برای زلزله‌های حوزه دور از گسل

| ردیف | نام رخداد   | سال وقوع | ایستگاه ثبت شده               | بزرگا | Rjb (km) | $V_{S-30}$ (m/sec) | نوع خاک | $PGA_{max}$ (g) |
|------|-------------|----------|-------------------------------|-------|----------|--------------------|---------|-----------------|
| ۱    | Chi-Chi     | ۱۹۹۹     | CHY102                        | ۷/۶۲  | ۳۶/۰۶    | ۸۰۴/۳۶             | ۱       | ۰/۰۴۹۵          |
| ۲    | Chi-Chi     | ۱۹۹۹     | HWA038                        | ۷/۶۲  | ۳۷/۵۴    | ۶۴۲/۷۳             | ۲       | ۰/۰۵۸۱          |
| ۳    | Chi-Chi     | ۱۹۹۹     | CHY088                        | ۷/۶۲  | ۳۷/۴۸    | ۳۱۸/۵۲             | ۳       | ۰/۲۱۱۵          |
| ۴    | Chi-Chi     | ۱۹۹۹     | CHY076                        | ۷/۶۲  | ۴۲/۱۵    | ۱۶۹/۸۴             | ۴       | ۰/۰۷۲۳          |
| ۵    | Chuetsu-oki | ۲۰۰۷     | FKSH07                        | ۶/۸   | ۷۷/۶۵    | ۸۲۸/۹۵             | ۱       | ۰/۰۴۴۶          |
| ۶    | Chuetsu-oki | ۲۰۰۷     | NIGH12                        | ۶/۸   | ۳۵/۴۱    | ۵۶۴/۲۵             | ۲       | ۰/۱۹۹۶          |
| ۷    | Chuetsu-oki | ۲۰۰۷     | NIG005                        | ۶/۸   | ۳۳/۸     | ۲۸۸/۷۲             | ۳       | ۰/۱۵۸۱          |
| ۸    | Chuetsu-oki | ۲۰۰۷     | NIG011                        | ۶/۸   | ۴۵/۵۴    | ۱۴۹/۹۷             | ۴       | ۰/۰۵۶۶          |
| ۹    | Iwate       | ۲۰۰۸     | MYGH04                        | ۶/۹   | ۴۰/۴۲    | ۸۴۹/۸۳             | ۱       | ۰/۲۲۷۴          |
| ۱۰   | Iwate       | ۲۰۰۸     | MYGH06                        | ۶/۹   | ۳۴/۴۶    | ۵۹۳/۱۲             | ۲       | ۰/۱۱۱۵          |
| ۱۱   | Iwate       | ۲۰۰۸     | IWT014                        | ۶/۹   | ۳۶/۷۵    | ۳۱۴/۶              | ۳       | ۰/۰۹۹۲          |
| ۱۲   | Iwate       | ۲۰۰۸     | MYG007                        | ۶/۹   | ۴۵/۵۵    | ۱۶۶/۷۵             | ۴       | ۰/۱۳۳۳          |
| ۱۳   | Loma Prieta | ۱۹۸۹     | So. San Francisco, Sierra Pt. | ۶/۹۳  | ۶۳/۰۳    | ۱۰۲۰/۶۲            | ۱       | ۰/۱۰۵۱          |
| ۱۴   | Loma Prieta | ۱۹۸۹     | Hayward City Hall - North     | ۶/۹۳  | ۵۴/۹۷    | ۷۳۵/۴۴             | ۲       | ۰/۰۵۰۳          |
| ۱۵   | Loma Prieta | ۱۹۸۹     | Hayward - BART Sta            | ۶/۹۳  | ۵۴/۰۱    | ۳۳۷/۸۸             | ۳       | ۰/۱۵۹۸          |
| ۱۶   | Loma Prieta | ۱۹۸۹     | Foster City - Menhaden Court  | ۶/۹۳  | ۴۵/۴۲    | ۱۲۶/۴              | ۴       | ۰/۱۱۸۶          |
| ۱۷   | Niigata     | ۲۰۰۴     | FKSH07                        | ۶/۶۳  | ۵۲/۱۵    | ۸۲۸/۹۵             | ۱       | ۰/۱۴۳۱          |
| ۱۸   | Niigata     | ۲۰۰۴     | NIGH07                        | ۶/۶۳  | ۴۰/۷۶    | ۵۲۸/۱۹             | ۲       | ۰/۱۲۹۳          |
| ۱۹   | Niigata     | ۲۰۰۴     | FKSH21                        | ۶/۶۳  | ۳۰/۵۵    | ۳۶۴/۹۱             | ۳       | ۰/۳۶۶           |
| ۲۰   | Niigata     | ۲۰۰۴     | NIG025                        | ۶/۶۳  | ۴۶/۶۶    | ۱۳۴/۵              | ۴       | ۰/۲۰۴۴          |
| ۲۱   | Tottori     | ۲۰۰۰     | OKYH02                        | ۶/۶۱  | ۷۰/۵۲    | ۱۰۴۷/۰۱            | ۱       | ۰/۰۳۱۷          |
| ۲۲   | Tottori     | ۲۰۰۰     | OKYH05                        | ۶/۶۱  | ۴۶/۷۵    | ۶۱۰/۲۲             | ۲       | ۰/۱۵۲۱          |
| ۲۳   | Tottori     | ۲۰۰۰     | OKYH03                        | ۶/۶۱  | ۴۹/۸۱    | ۳۱۶/۷۶             | ۳       | ۰/۱۳۲           |
| ۲۴   | Tottori     | ۲۰۰۰     | TTR005                        | ۶/۶۱  | ۴۵/۹۸    | ۱۶۹/۱۶             | ۴       | ۰/۱۹۲۵          |

۶- صحت‌سنجی تحلیل غیرخطی و المان میراگر ویسکوز برای مدل‌سازی میراگر ویسکوز در OpenSees، ماده ViscousDamper که توسط لیگنوس ارائه شده، به المان



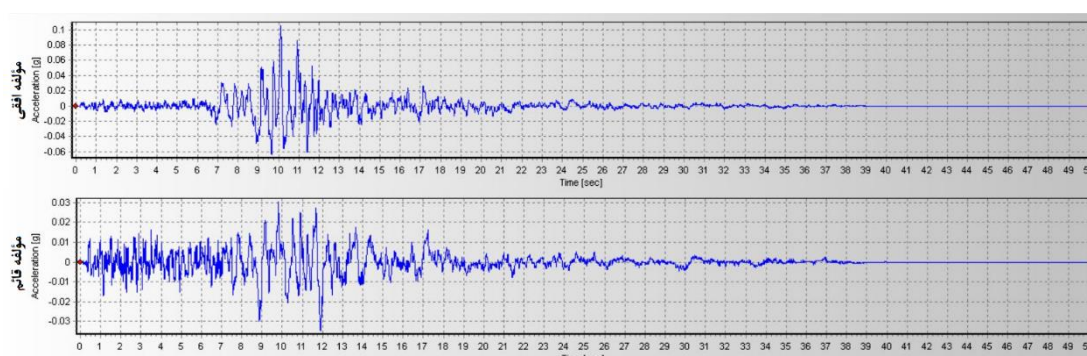
ویسکوز مطابق شکل (۶) که توسط لیگنوس در کتابخانه سایت OpenSees موجود است استفاده شد [۱۳].

شکل (۷) نمودار نیرو-جابجایی میراگر ویسکوز، نتیجه مدل

TwoNodeLink اختصاص داده شده است. برای صحت سنجی مدل‌سازی میراگر ویسکوز و تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی غیرخطی، از مشخصات مدل ۱ طبقه قاب خمشی دارای میراگر

جدول ۲- مشخصات شتاب‌نگاشت‌های استفاده شده برای زلزله‌های حوزه نزدیک گسل

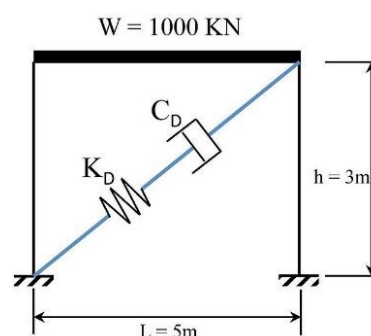
| ردیف | نام رخداد   | سال وقوع | ایستگاه ثبت شده         | بزرگا | Rjb (km) | $V_{S-30}$ (m/sec) | نوع خاک | $PGA_{max}$ (g) |
|------|-------------|----------|-------------------------|-------|----------|--------------------|---------|-----------------|
| ۱    | Chi-Chi     | ۱۹۹۹     | CHY024                  | ۷/۶۲  | ۹/۶۲     | ۴۲۷/۷۳             | ۲       | ۰/۲۸۱۷          |
| ۲    | Chi-Chi     | ۱۹۹۹     | CHY101                  | ۷/۶۲  | ۹/۹۴     | ۲۵۸/۸۹             | ۳       | ۰/۳۹۸           |
| ۳    | Loma Prieta | ۱۹۸۹     | Saratoga - Aloha Ave    | ۶/۹۳  | ۷/۵۸     | ۳۸۰/۸۹             | ۲       | ۰/۵۱۴۴          |
| ۴    | Loma Prieta | ۱۹۸۹     | Gilroy Array #2         | ۶/۹۳  | ۱۰/۳۸    | ۲۷۰/۸۴             | ۳       | ۰/۳۶۹۷          |
| ۵    | Niigata     | ۲۰۰۴     | NIG021                  | ۶/۶۳  | ۱۰/۲۱    | ۴۱۸/۵              | ۲       | ۰/۷۴۲۲          |
| ۶    | Niigata     | ۲۰۰۴     | NIGH11                  | ۶/۶۳  | ۶/۲۷     | ۳۷۵                | ۳       | ۰/۵۹۹۲          |
| ۷    | Parkfield   | ۲۰۰۴     | PARKFIELD - TURKEY FLAT | ۶     | ۴/۶۶     | ۹۰۶/۹۶             | ۱       | ۰/۲۴۵۳          |
| ۸    | Parkfield   | ۲۰۰۴     | Slack Canyon            | ۶     | ۱/۶      | ۶۴۸/۰۹             | ۲       | ۰/۳۴۹۱          |
| ۹    | Parkfield   | ۲۰۰۴     | Parkfield - Cholame 1E  | ۶     | ۱/۶۶     | ۳۲۶/۶۴             | ۳       | ۰/۴۴۰۳          |
| ۱۰   | Parkfield   | ۲۰۰۴     | Parkfield - Cholame 2WA | ۶     | ۱/۶۳     | ۱۷۳/۰۲             | ۴       | ۰/۶۲۳۷          |



شکل ۵- تاریخچه‌زمانی شتاب حوزه دور از گسل زلزله LomaPrieta خاک نوع ۱

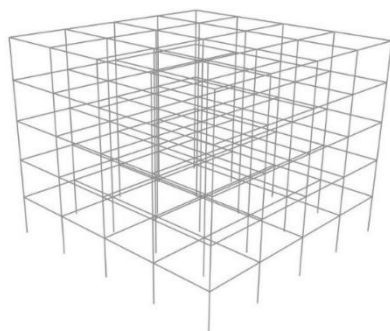
لیگنوس است که با نرم‌افزار SAP2000 صحت‌سنجی شده و شکل (۸) نمودار نیرو-جابجایی همان میراگر در تحقیق حاضر است که با استفاده از مشخصات مدل لیگنوس حاصل شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی غیرخطی و المان میراگر ویسکوز با دقت بالایی مشابه نتایج مدل ارائه‌شده در کتابخانه سایت OpenSees می‌باشد.

بنابراین با توجه به طولانی بودن تحلیل‌های سه‌بعدی و تعداد زیاد تحلیل‌ها در این تحقیق ترجیح داده شد که از مدل‌های

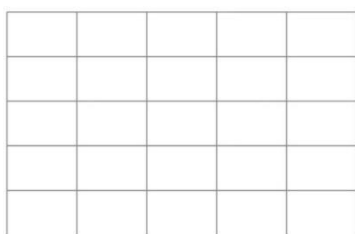


شکل ۶- قاب خمشی ۱ طبقه دارای میراگر [۱۳]

تحلیل‌ها، برش پایه، تغییر مکان نسبی طبقات، نیروی میراگرها و تغییر شکل پسماند میراگرها در اثر تغییر ساختگاه مورد مقایسه قرار می‌گیرند. البته به دلیل زیاد بودن تحلیل‌ها و نتایج، تلاش شده میانگین نتایج سازه‌های دارای میراگر در هر ساختگاه نسبت به سازه بدون آن و برای هر یک از حوزه‌های دور و نزدیک به صورت جداگانه ارائه شود.



(الف)

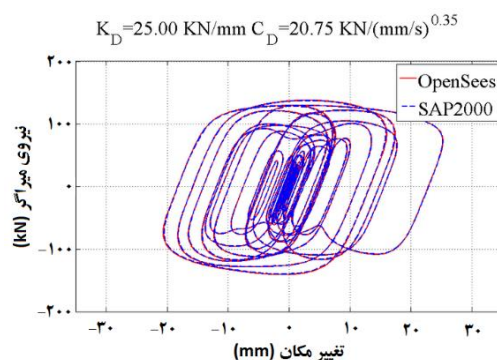


(ب)

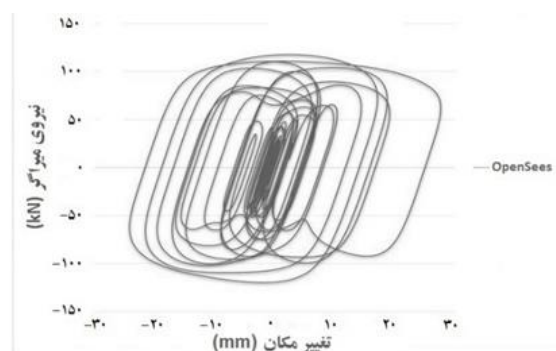
شکل ۹- سازه ۵ طبقه بدون میراگر در OpenSees

الف) مدل‌سازی سه‌بعدی، ب) مدل‌سازی دوبعدی

در شکل (۱۰) میانگین نسبت حداکثر برش پایه سازه‌ها در هر ساختگاه نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱۰) در ساختگاه‌های مختلف، وجود میراگر باعث کاهش برش پایه ساختمان شده است، به جز ساختگاه دارای خاک نوع ۱ که برش پایه تفاوت محسوسی نکرده است، با کاهش کیفیت خاک تفاوت برش پایه سازه دارای میراگر نسبت به سازه فاقد آن بیش‌تر می‌شود. ضمناً اثر میراگر در زلزله‌های حوزه دور بیش‌تر از زلزله‌های حوزه نزدیک است. البته این نتیجه‌گیری در مورد ساختگاه دارای خاک نوع ۱ صحیح نیست و در آن اولاً مقدار کاهش برش پایه اندک است و اثر میراگر در زلزله‌های حوزه نزدیک بیش‌تر شده است. جزئیات نتایج به‌دست‌آمده و پاسخ



شکل ۷- مقایسه نمودار نیرو-جابجایی میراگر ویسکوز در نرم‌افزارهای SAP و OpenSees توسط لیگنوس [۱۳]



شکل ۸- نمودار نیرو-جابجایی میراگر ویسکوز صحت سنجی شده در OpenSees در این تحقیق

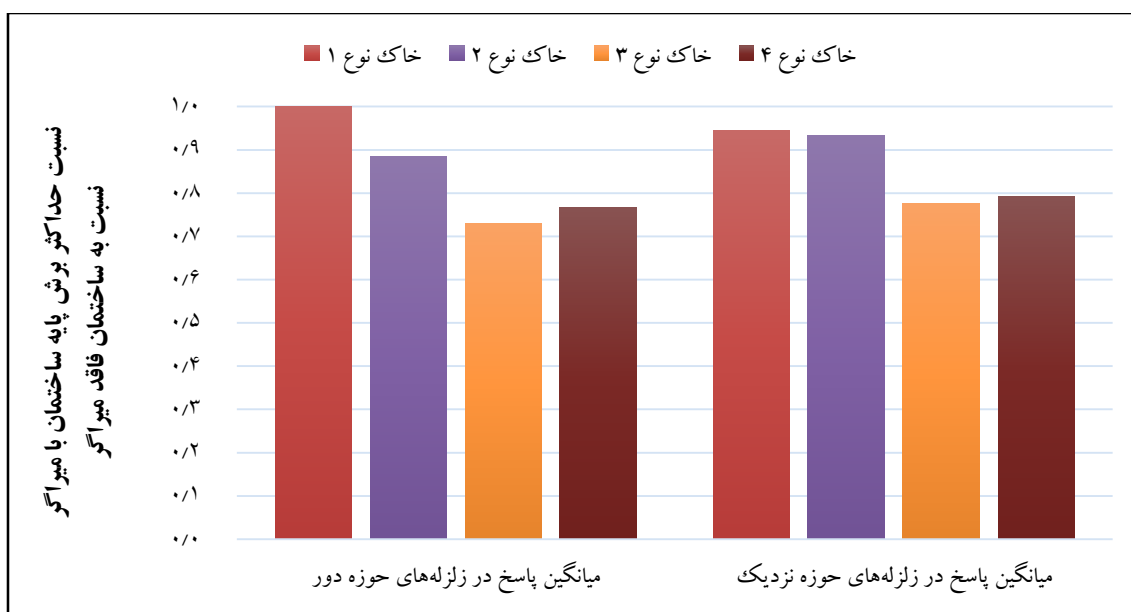
دوبعدی استفاده شود. برای این منظور از یکی از قاب‌های میانی استفاده و تلاش شد، جرم روی آن قاب به دقت درمحل دوبعدی تعریف شود. ضمناً به منظور کنترل دقت مدل‌سازی سازه‌های دوبعدی، سازه ۵ طبقه بدون میراگر برای خاک نوع ۱ به دو صورت سه‌بعدی و دوبعدی مشابه شکل (۹) در نرم‌افزار OpenSees مدل‌سازی و با رکورد زلزله LomaPrieta تحلیل شد که نتایج آن در جدول (۳) آمده است. نتایج طبق جدول (۳) گویای دقت مناسب تحلیل مدل‌سازی‌های دوبعدی می‌باشد.

#### ۷- نتایج به‌دست‌آمده، تجزیه و تحلیل آن‌ها

همان‌گونه که بیان شد در این تحقیق تلاش شده سه سازه ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه روی خاک‌های مختلف، هر کدام یک بار با و یک بار بدون میراگر طراحی و سپس تحت زلزله‌ای که برایش طراحی شده‌اند، یعنی زلزله‌ای با حداکثر شتاب افقی  $0.35g$  تحلیل و با یک‌دیگر مقایسه شوند. برای مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از

جدول ۳- مقایسه مقادیر نتایج تحلیل سبه‌بدی و دوبعدی OpenSees

| مقادیر                   | مدل دوبعدی OpenSees | مدل سبه‌بدی OpenSees |
|--------------------------|---------------------|----------------------|
| زمان تناوب مود اول (sec) | ۱/۱۵۳۶              | ۱/۱۵۰۴               |
| بیشینه جابجایی بام (cm)  | ۱۱/۲                | ۱۱/۱۷                |
| بیشینه دررفت طبقه        | ۰/۰۱۳۶              | ۰/۰۱۳۸               |
| بیشینه شتاب طبقه         | ۰/۶۹g               | ۰/۶۵g                |



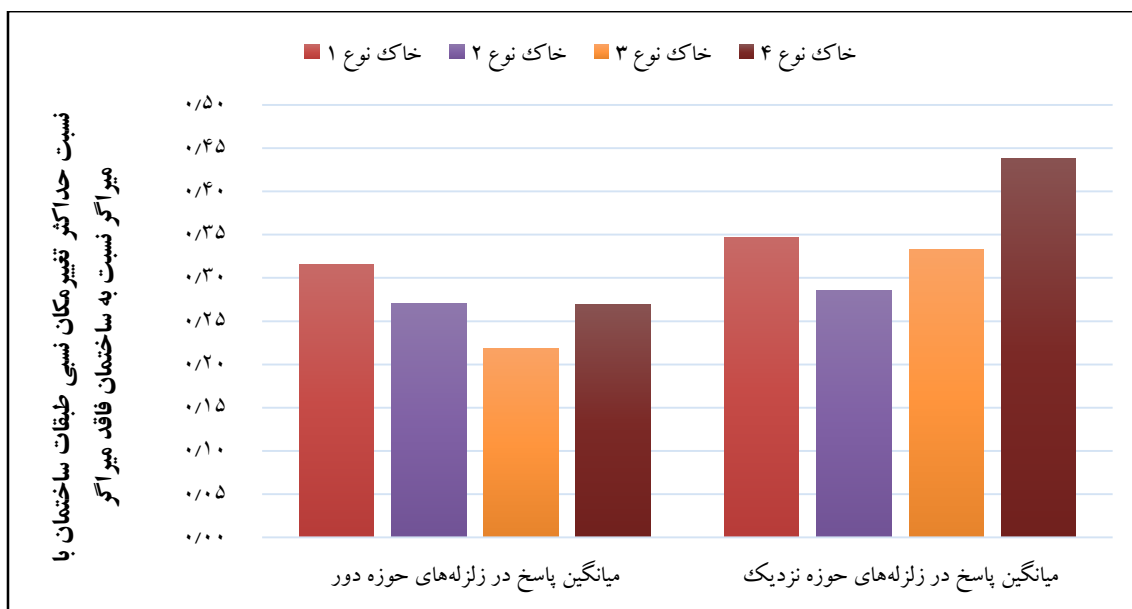
شکل ۱۰- میانگین نسبت حداکثر برش پایه سازه‌ها در هر ساختمانگاه

لازم به ذکر است در نتایج به دست آمده مشاهده شد که در حوزه دور از گسل، استفاده از میراگر در سازه‌های بلندتر اثر بیش‌تری در کاهش حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات دارد و استفاده از آن‌ها به صورت میانگین منجر به کاهش ۶۰ درصدی حداکثر جابه‌جایی طبقه بام در سازه‌ها می‌گردد. به منظور کنترل تامین سطح عملکرد ساختمان، تغییر مکان نسبی طبقات با مقادیر موجود در (جدول C1-3) آیین‌نامه FEMA-356 [۱۴] مقایسه گردید. برای تامین ایمنی جانی در سازه‌های قاب خمشی فولادی مقدار مجاز دررفت گذرا باید کم‌تر از ۲ درصد و دررفت پسماند کم‌تر از ۱ درصد باشد. نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشانگر این است که دررفت‌ها زیر ۲ درصد بوده و تمامی سازه‌ها برای سطح ایمنی جانی جوابگو هستند. ضمن این که در سازه‌های دارای میراگر تغییر مکان نسبی طبقات حتی حدود ۱ درصد یا همان سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه شده است.

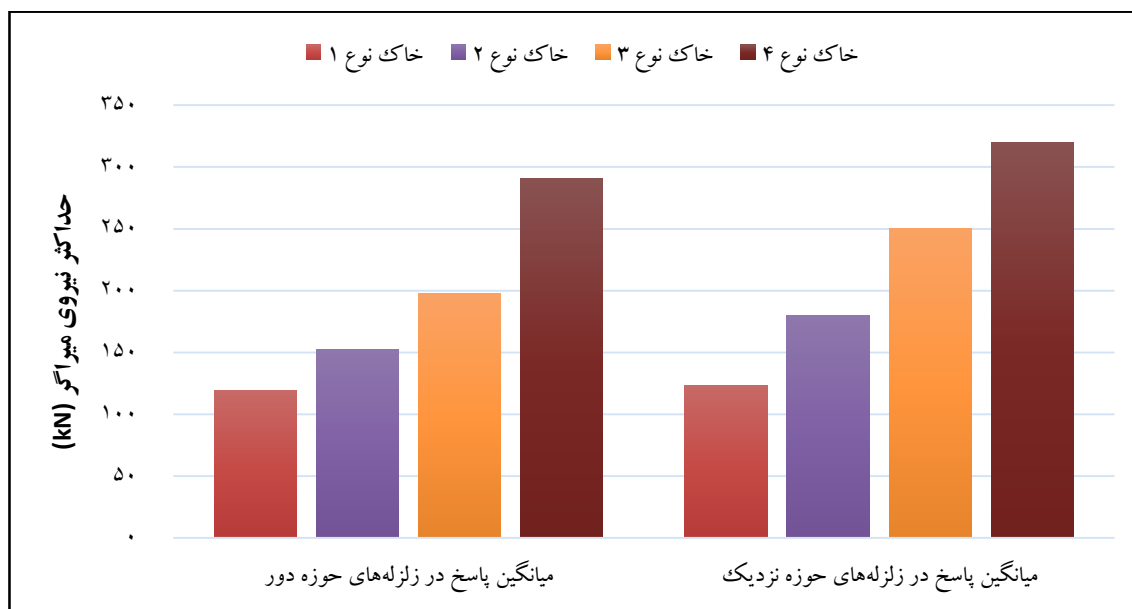
سازه‌ها به هر یک از رکوردهای مفروض در مرجع [۱] آمده است. شکل (۱۱)، میانگین نسبت حداکثر تغییر مکان نسبی سازه‌ها در هر ساختمانگاه در هر حوزه زلزله را نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۱۱)، سازه‌های دارای میراگر ویسکوز به صورت میانگین حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات را نسبت به سازه‌های بدون میراگر در حدود ۷۰ درصد کاهش داده‌اند که نشانگر عملکرد بسیار خوب این سیستم‌ها در کاهش آسیب‌های وارد به سازه‌ها است. ضمن این که وجود میراگر در زلزله‌های حوزه دور نقش موثرتری در کاهش دررفت طبقه دارد. بر همین اساس می‌توان نتیجه گرفت که زلزله‌های حوزه نزدیک برای سازه‌های دارای میراگر مخرب‌تر بوده و میراگرها عملکرد ضعیف‌تری در آن‌ها دارند. در زلزله‌های حوزه دور، میراگر بیش‌ترین و کم‌ترین تاثیر را به ترتیب در ساختمان‌های دارای خاک نوع ۳ و ۱ و برای زلزله‌های حوزه نزدیک در ساختمان‌های دارای خاک نوع ۲ و ۴ دارد.

در شکل (۱۲) عملکرد مورد نیاز از خود میراگرها مورد بررسی قرار گرفته که نشان می‌دهد حداکثر نیرویی که باید توسط میراگر ایجاد شود (ظرفیت مورد نیاز میراگر) با کاهش کیفیت خاک ساختمان افزایش می‌یابد. ضمن این که در زلزله‌های حوزه نزدیک نسبت به زلزله‌های حوزه دور نیاز به ایجاد نیروی بیش‌تری دارد.

با توجه به شکل (۳) حداکثر نیروی تولیدی میراگرهای ویسکوز با تغییر ساختمان از خاک نوع ۱ به سمت خاک نوع ۴ افزایش یافته است و با افزایش ارتفاع و طبقات سازه‌ها، نیروی میراگرهای طبقات پایین‌تر افزایش می‌یابد. نیروی تولیدی میراگرهای ویسکوز در تمامی ساختمان‌ها در زلزله‌های حوزه نزدیک نسبت به زلزله‌های حوزه دور بیش‌تر می‌شود.



شکل ۱۱- میانگین نسبت حداکثر تغییر مکان نسبی سازه‌ها در هر ساختمان در هر حوزه زلزله



شکل ۱۲- میانگین حداکثر نیروی میراگر ویسکوز سازه‌ها در هر ساختمان در هر حوزه زلزله

## ۸- نتیجه گیری

یکی از معضلات طراحان، وجود خاک سست در محل است که می تواند باعث تشدید امواج زلزله و افزایش دررفت طبقات و در نتیجه ایجاد خطرات بیش تر برای ساکنین ساختمان ها گردد. بر اساس یافته های تحقیق اخیر، استفاده از میراگرهای ویسکوز غیرفعال می تواند تا حد قابل توجهی پاسخ لرزه ای سازه ها را در این گونه ساختمان ها کاهش، میزان ایمنی ساختمان را افزایش و در عین حال وزن اسکلت را کاهش دهد.

در این تحقیق تلاش شد سه سازه ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه روی خاک های مختلف، هر کدام یک بار با و بدون میراگر طراحی و سپس رفتار آن ها در زلزله مشابه زلزله طرح، یعنی زلزله ای با حداکثر شتاب افقی  $g_{0.35}$ ، تحلیل و با یکدیگر مقایسه شوند. برای این منظور برش پایه، حداکثر دررفت طبقات و همچنین ظرفیت مورد نیاز برای میراگر در آن ها با یکدیگر مقایسه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق، سازه های قاب خمشی فولادی دارای میراگر در مقایسه با سازه های قاب خمشی فولادی بدون میراگر، مقدار برش پایه در خاک های نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ در زلزله های حوزه دور به ترتیب به مقدار ۱۷٪، ۱۹٪، ۳۱٪ و ۲۴٪ و در زلزله های حوزه نزدیک ۵٪، ۱۱٪، ۲۲٪ و ۱۹٪ کاهش می یابد. به همین ترتیب مقدار تغییر مکان نسبی طبقات در زلزله های حوزه دور ۶۸٪، ۷۳٪، ۷۸٪ و ۷۵٪ و در زلزله های حوزه نزدیک ۶۶٪، ۷۴٪، ۶۸٪ و ۶۶٪ کاهش می یابد. البته باید توجه نمود که با کاهش کیفیت خاک محل و همچنین در زلزله های حوزه نزدیک، نیرویی که انتظار می رود میراگر بتواند تحمل کند و در نتیجه هزینه آن بیش تر می شود.

در طراحی ساختمان های معمولی (فاقد میراگر)، برای کنترل تغییر مکان نسبی طبقات، باید مقاطع را تقویت نمود. هر چند که در طراحی های معمول که بر اساس تحلیل های استاتیکی خطی است، تغییر مکان نسبی طبقات در هر ۴ ساختمان تقریباً یکسان است ولی نتایج تحلیل های غیرخطی نشان می دهد که تغییر مکان نسبی طبقات با تغییر ساختمان از خاک نوع ۱ به سمت خاک نوع ۴ با افزایش روبرو است و در خاک های نرم تر مقدار حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات به راحتی به ۲ درصد (سطح عملکرد ایمنی جانی) می رسد و حتی ممکن است تحت برخی رکوردهای زلزله های حوزه نزدیک، این مقدار تا آستانه فروریزش هم پیش رود. این در حالی است که در شرایط مشابه تمام سازه های دارای میراگر، با وجود این که برای ۲۵ درصد نیروی زلزله کم تر طراحی

شده اند، مقدار دررفت عملاً به ۱ درصد (سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه) محدود می شود. بر اساس نتایج این تحقیق می توان نتیجه گرفت که در سازه هایی که در ساختمان های نرم تر قرار دارند استفاده از میراگرهای ویسکوز می تواند تأثیر بیش تری در بهبود عملکرد لرزه ای سازه و کاهش خسارت داشته باشد، ضمن این که کاهش نیروی برش پایه مفروض در طراحی عملاً منجر به کاهش ۱۵ درصدی وزن فولاد مصرفی در سازه می شود. بنابراین توصیه می گردد از این گونه میراگرها در ساخت ساختمان های با اهمیت خیلی زیاد و زیاد، مانند بیمارستان ها، برج های مسکونی یا تجاری و فضاهایی که محل تجمع جمعیت زیاد است و عملاً نیاز به عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه است، استفاده شود.

## ۸- مراجع

[۱] سلیمانی سولای، م. (۱۳۹۶)، "بررسی تأثیر نوع خاک ساختمان بر رفتار لرزه ای ساختمان فولادی مجهز به میراگرهای ویسکوز"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد غرب.

[2] Seed, H.B. (1975), "Earthquake Effects on Soil-Foundation System", Foundation Eng, Handbook, Winterkom and Frang, pp. 700-732.

[۳] حیدری، ش. و باقریان، س. (۱۳۹۴)، "زلزله و تأثیر نوع خاک در محتوای طیف حاصل"، دومین کنفرانس ملی مهندسی عمران، معماری و توسعه اقتصاد شهری، شیراز، ایران.

[۴] "آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰"، (۱۳۹۸)، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ویرایش چهارم.

[۵] پورپاک، ح.، خان بابازاده، ه. و جانعلی زاده، ع. (۱۳۸۴)، "بررسی پارامتریک تأثیر ساختمان بر حرکات لرزه ای زمین در شهر تهران با نگرش به آیین نامه ۲۸۰۰ ایران"، دومین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، ایران.

[6] ASCE, (2016), "Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-16)", American Society of Civil Engineers, New York, USA.

[۷] "مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بارهای وارد بر ساختمان"، (۱۳۹۲)، وزارت راه و شهرسازی معاونت مسکن و ساختمان، ویرایش سوم.

[۸] "مبحث دهم مقررات ملی ساختمان طرح و اجرای ساختمان های

فولادی"، (۱۳۹۲)، وزارت راه و شهرسازی معاونت مسکن و ساختمان، ویرایش چهارم.

- [9] CSI, (2016), Integrated Building Design Software, ETABS 2016 Ultimate Version 16.0.3 Build 1567, Computers and Structures INC, Berkeley, California.
- [10] Hwang, J.S., Huang, Y.N., Yi, S.L. and Ho, S.Y. (2008), "Design formulations for supplemental viscous dampers to building structures", Journal of Structural Engineering, V. 134, No. 1, pp. 22-31.
- [11] PEER Strong Ground Motion Database of the Pacific Earthquake Engineering Research Center, Available: <http://peer.berkeley.edu/>.
- [12] PEER, (2016), Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSees), Version 2.5.0 (rev 6248). Berkeley, University of California, Available: <http://opensees.berkeley.edu/>.
- [13] PEER, (2016), (OpenSees), Example:Dynamic Analyses of 1-Story Moment Frame with Viscous Dampers, Berkeley, University of California, Available: [http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Dynamic Analyses of 1-Story Moment Frame with Viscous Dampers/](http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Dynamic_Analyses_of_1-Story_Moment_Frame_with_Viscous_Dampers/).
- [14] ATC, (2000), Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Report No. FEMA-356, Applied Technology Council, Redwood City, CA, USA.