

بررسی مقایسه‌ای تأثیر میراگرهای اصطکاکی-دورانی، ویسکوالاستیک، TADAS بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها

منصور قلعه نوی^{۱*}، آرش کریمی پور^۲، جمشید آزاد درمیان^۳

چکیده	اطلاعات مقاله
با توجه به اهمیت کنترل رفتار سازه‌ها در برابر بارهای جانبی نظیر زلزله، استفاده از میراگرها در سازه‌ها به منظور کنترل و بهبود پاسخ‌های سازه‌ای، رو به گسترش است. در این بررسی، تأثیر میراگرهای اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS بر رفتار و پاسخ‌های سازه قاب خمشی فولادی هشت طبقه با کاربری مسکونی واقع در مشهد، مورد بررسی قرار گرفت. این سازه‌ها در دو حالت مجهز به میراگر و بدون میراگر، با هم مقایسه شدند. برای اعمال نیروی زلزله از تاریخچه هفت زلزله استفاده شد. تاریخچه زلزله‌های مورد استفاده به کمک روش مجذور مجموع مربعات به دست آمد و با طیف خاک نوع سه هم‌پایه شد. سپس هریک از سازه‌ها تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی در نرم‌افزار SAP2000 مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در این بررسی، تغییر مکان طبقات، برش پایه و منحنی هیستریزیس هر طبقه به منظور تعیین تأثیر میراگرها بر رفتار سازه‌های مورد نظر، ارزیابی شد. نتایج به دست آمده از بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بررسی سازه مجهز به میراگر، مشخصات میراگرها باید براساس رفتار هر طبقه تنظیم شود و تنظیم میراگر با توجه به رفتار کلی سازه، نامناسب است.	دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۱۰ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۱۳
	واژگان کلیدی: میراگر اصطکاکی دورانی، میراگر ویسکوز، میراگر TADAS، تحلیل غیرخطی، منحنی هیستریزیس.

۱- مقدمه

تغییر تراز نوع سیستم مهاربندی در ارتفاع را مورد ارزیابی قرار دادند. طبق این بررسی معلوم شد که در تراز مشخصی از ارتفاع سازه، تغییر سیستم مهاربندی، باعث تغییر در الگوی تشکیل مفصل پلاستیک و رفتار سازه می‌شود. با توجه به مشکلات و ضعف‌های استفاده از سیستم‌های متداول نظیر مهاربندها، امروزه روش‌های مختلفی برای تولید مصالح دارای میرایی معلوم که اصطلاحاً میراگر نامیده می‌شوند، قابل اجرا هستند [۳]. یکی از انواع میراگرها، میراگر اصطکاکی است. میرایی در کلیه این میراگرها از طریق ایجاد اصطکاک بین ورق‌های متصل به هم پدید آمده، به وجود می‌آید. اساس کار این میراگر مبتنی بر تنظیم

کنترل و بهبود رفتار سازه‌ها تحت بارگذاری جانبی، از اهمیتی بسزا برخوردار است. روش‌های مختلفی برای بهبود رفتار جانبی سازه‌ها وجود دارد. از روش‌های متداول تقویت و افزایش سختی جانبی سازه‌ها استفاده از مهاربندها است. طبق بررسی رئیسی دهکردی و همکارانش [۱] بهسازی قاب‌های فولادی با مهاربندهای فولادی هم‌گرا باعث افزایش سختی و کاهش تغییر مکان‌های جانبی شده، ولی به دلیل کماتس مهاربند فشاری، سازه‌ها دچار افت ناگهانی مقاومت گردیده و رفتار شکل‌پذیری نداشته‌اند. در بررسی بیشتر کابلی و همکارانش [۲] رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی با

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: Ghalehnavi@um.ac.ir

۱. دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. کاشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

ساختمان تاریخی در تونس، مثال‌های هستند که با استفاده از میراگرهای ویسکوز از آسیب‌های لرزه‌ای محافظت شده اند. موسی‌نژاد و پورزینلی [۹] در سال ۱۳۸۷ تأثیر کاربرد میراگرهای ویسکوز را در کاهش ارتعاشات لرزه‌ای یک ساختمان دوازده طبقه مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه با نوشتن معادلات 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 کردند. در پایان، نتایج حاصل از تحلیل‌های انجام شده حاکی از آن بود که این نوع میراگرها می‌توانند ارتعاشات سازه را به میزان قابل توجهی کاهش دهند.

همان طور که گفته شد، امروزه توجهی ویژه به مکانیزم‌های اتلاف انرژی و کاهش پاسخ سازه‌ای به کمک این مکانیزم‌ها شده است. میراگرهای فلزی تسلیم‌شونده از جمله جاذب‌های انرژی زلزله هستند که در آن‌ها از تغییرشکل غیرالاستیک فلزات شکل‌پذیر مانند فولاد و سرب برای اتلاف انرژی استفاده می‌شود. در زمینه بررسی میراگرهای TADAS، تأثیر این میراگرها در بهسازی و کنترل بهتر سازه‌های بتن آرمه انجام شد. بررسی‌های انجام شده نشان داد که در سازه‌های بتن آرمه که سختی اعضای آن زیاد است، استفاده از میراگرهای TADAS زمانی می‌تواند بهترین عملکرد را داشته باشد که سختی اعضای آن بالا باشد [۱۰]. همچنین نحوه اجرا و طراحی بهینه این میراگرها ضمن معرفی پروژه‌های اجرا شده مشخص شد. تعیین پارامترهای سازنده میراگرهای TADAS بر نحوه مناسب عملکرد آن هنگام رخ دادن زلزله دارای اهمیت است.

برای نشان دادن رفتار دقیق‌تر این میراگرها مدل‌های جدیدتر و دقیق‌تری ارائه شده است [۱۱]. مطالعه حال حاضر، یک مدل ساده دوخطی با نیروی پسماند تغییرشکل است. پارامترهای طراحی جابه‌جایی عملکرد چنین میراگری به کمک سفت یا شل کردن اجزای آن قابل کنترل و تغییر است [۱۲].

در بررسی انجام شده توسط عسکری و همکاران [۱۳]، عملکرد قاب‌های مجهز به میراگر فلزی ورق مثلثی TADAS و پاسخ سازه به نیروی زلزله، در حالت قبل و بعد از مقاوم کردن آن با این نوع میراگر، مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور، سه قاب خمشی فولادی با تعداد طبقات ۵، ۱۰ و ۱۵ انتخاب شدند. همچنین برای افزایش

فرکانس ارتعاشی سیستم جرم و فنر با فرکانس ارتعاشی مود اول سازه است که دارای بیشترین انرژی ارتعاشی است. میراگر اصطکاکی دورانی، از انواع میراگرهایی است که با کمک دوران قطعاتش بر روی هم و با تبدیل نیروی ایجاد شده در اعضای قطری آن به نیروی اصطکاک بین قطعاتش، نیروی وارد بر سازه را کاهش داده، باعث بهبود رفتار سازه می‌شود. این میراگر اولین بار در سال ۲۰۰۰ میلادی توسط معله [۴] معرفی شد.

جلالی [۵] نشان داد که با توجه به کاهش نیروی لغزشی در ساختمان‌ها، با افزایش پیروید سازه، عملکرد میراگرها دورانی در ساختمان‌های بلندتر بهتر می‌شود و همچنین مقدار نیروی پیش‌کشیدگی در این میراگرها تأثیر چندانی بر عملکرد سازه ندارد. میرزا باقری و آقاچوک [۶] در خصوص میراگرهای دورانی به این نتیجه رسیدند که این میراگرها دارای رفتاری مناسب در قاب‌های خمشی هستند و موجب بهبود پاسخ‌ها و جذب انرژی ورودی بالا و شرایط ایمن و پایداری نسبت به قاب‌های مشابه می‌شوند. خزاعی نام و همکاران [۷] با افزودن تعداد صفحات میراگر اصطکاکی دورانی به این نتیجه رسیدند که با افزایش این صفحات، انرژی بیشتری توسط این میراگرها جذب و مستهلک می‌شود. این سیستم در ساختمان‌های فولادی و بتنی با تمهیدات خاص، قابل استفاده خواهد بود. آزمایش‌های بسیاری در دانمارک، ژاپن و تایوان روی میراگرهای اصطکاکی دورانی انجام شده است. مدل‌سازی‌های عددی در کنار کارهای آزمایشگاهی انجام گرفته و رفتار این میراگر پیش‌بینی شده است و در نهایت، پارامترهای مؤثر بر این میراگر، مورد شناسایی قرار گرفته است. این میراگر می‌تواند به صورت یک و چند واحد برای نیروی اصطکاکی مورد نظر استفاده شود.

نسل دیگر میراگرها، میراگرهای ویسکوز است. در این میراگرها انرژی ناشی از نیروی زلزله به صورت انرژی مورد نیاز جهت تغییرشکل سیال موجود در مخزن میراگر، مستهلک می‌گردد. به دنبال درک رفتار یک میراگر ویسکوز تحت نیرو در داخل ارفیس، میراگرهای ویسکوز طراحی و در سازه‌های مقاوم در مقابل زلزله به کار گرفته شده‌اند [۸]. تحقیق و کاربرد میراگرهای ویسکوز در مهندسی عمران تقریباً هم‌زمان با پایان جنگ سرد در سال ۱۹۹۰ م با تمرکز بر متوسط کردن پاسخ سازه در یک تکان لرزه‌ای بود. تالار شهر لس‌آنجلس، یک کلیسای مدیترانه‌ای در قبرس و یک

است که در این مطالعه، رفتار هیستریزیس برای هر طبقه از سازه به صورت مجزا انجام شده تا بتوان اثرگذاری هر نوع میراگر را در طبقات مختلف و در نهایت، در کل سازه مورد ارزیابی قرار داد.

۳- مدل سازی

با توجه به توسعه روزافزون علم و نیاز به استفاده از سیستم‌های جدیدتر، نرم‌افزارها پیشرفته‌تر شده، مکانیزم‌های جدیدی مورد مطالعه قرار گرفتند. در این بررسی، از نرم‌افزار SAP2000.V19 برای تحلیل، طراحی و مدل‌سازی میراگرهای اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS استفاده شده و اثر استفاده از این میراگرها بر ساختمانی هشت طبقه واقع در شهر مشهد بر روی خاک نوع III مورد بررسی قرار گرفته است. قاب ساختمانی از نوع فولادی متوسط بوده که در یک جهت قاب خمشی و در جهت دیگر مجهز به میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS است. سازه‌های مورد بررسی تحت اثر هفت رکورد زلزله هم‌پایه شده با طیف خاک نوع III آیین‌نامه ۲۸۰۰ و به کمک تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی مورد بررسی قرار گرفتند و نمودار هیستریزیس و جابه‌جایی نسبی طبقات در این سازه‌ها بررسی شده است.

۳-۱- هندسه مدل‌ها

سازه مورد بررسی، ساختمانی هشت طبقه در مشهد با کاربری مسکونی و منظم در پلان و ارتفاع بوده است. این سازه در یک جهت قاب خمشی و در جهت دیگر مجهز به میراگر است. در جهت میراگر سازه دارای چهار دهانه و در جهت قاب خمشی دارای سه دهانه است. ارتفاع طبقات ۳/۶ متر بوده، طول دهانه‌ها در جهت قاب خمشی و مجهز به میراگر نیز ۷/۶ متر در نظر گرفته شده است. در تیرها و ستون‌ها از پروفیل‌ها و برای کف طبقات از بتن استفاده شده است. مشخصات هندسی پروفیل‌ها و جنس مصالح مصرفی به ترتیب در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است.

دقت در تحلیل استاتیکی غیرخطی و تعیین تغییرمکان هدف و نقطه عملکرد، قاب‌های سه‌بعدی مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه نیز پارامترهای مؤثر بر رفتار و عملکرد لرزه ای سازه تعیین شدند. مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده، از برنامه SAP2000 حاکی از کاهش تغییرمکان بام ساختمان و افزایش سختی، مقاومت و بالا رفتن توانایی سازه مقاوم شده در استهلاک انرژی ورودی به سازه بود. در پژوهش زارعیان و همکاران [۱۴]، تأثیر میراگرهای TADAS بر رفتار و عملکرد لرزه‌ای قاب‌های بتن مسلح با شکل‌پذیری کم مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور تخمین پاسخ قاب‌های ۸ و ۲۱ طبقه مورد مطالعه، از نرم‌افزار OpenSees و تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی تحت هفت رکورد زلزله استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که پاسخ لرزه‌ای قاب‌های بهسازی شده به میزان قابل توجهی بهبود یافته است، به گونه‌ای که بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقات در قاب‌های ۸ و ۲۱ طبقه به ترتیب ۵۵ و ۷۷ درصد کاهش یافت و هدف بهسازی مینا برای قاب‌ها تأمین شد.

۲- اهمیت موضوع پژوهش

در پژوهش‌های پیشین، اثر استفاده از میراگرهای مختلف بر رفتار کلی سازه، نظیر بیشینه تغییرمکان طبقات، بیشینه برش پایه، لنگر واژگونی و حتی اثر آرایش میراگرها بر پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. افزون بر این، در مطالعات متعددی، اثر مشخصات میراگرها نیز مورد بررسی قرار گرفته، ولی تاکنون اثرگذاری نوع مختلف میراگرها که در این بررسی شامل اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS است، بر رفتار یک سازه مورد ارزیابی و مقایسه قرار نگرفته است. همچنین در مطالعات پیشین کمتر بررسی با تعداد زلزله هم‌پایه شده بالا و به‌صورت جامع انجام پذیرفته، اما در این بررسی، اثر هفت رکورد مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. آنچه تاکنون توسط محققان مورد مطالعه قرار گرفته، بررسی رفتار هیستریزیس کل سازه (بیشینه تغییرمکان و برش پایه) بوده

جدول ۱- مشخصات هندسی اعضا

عضو	نامگذاری	توضیحات
ستون	Box 50*50*25	ساخته شده از ورق‌های فولادی به عرض ۵۰ سانتی‌متر و ضخامت ۲۵ میلی‌متر
	Box 50*50*35	ساخته شده از ورق‌های فولادی به عرض ۵۰ سانتی‌متر و ضخامت ۳۵ میلی‌متر
	Box 60*60*30	ساخته شده از ورق‌های فولادی به عرض ۶۰ سانتی‌متر و ضخامت ۳۰ میلی‌متر
تیر	IPE 270	پروفیل نورد شده به ارتفاع ۲۷ سانتی‌متر
دال	shell	ساخته شده از بتن به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر

به کمک تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی تحت اثر هفت رکورد زلزله هم‌پایه شده با طیف خاک نوع III به انواع میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS مجهز شده، رفتار سازه تحت اثر رکورد زلزله مختلف و میراگرهای نام‌برده مورد بررسی قرار گرفت. رکورد زلزله‌های مورد استفاده با توجه به مؤلفه‌های افقی هر زلزله و به کمک روش مجذور مجموع مربعات با طیف خاک نوع III آیین‌نامه ۲۸۰۰ هم‌پایه شده است. مشخصات زلزله‌های استفاده شده در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳- مشخصات بارهای سازه‌ای

نوع بار	طبقه	مقدار بار
مرده	بام	۳۶۳ کیلوگرم بر مترمربع
	طبقات مسکونی	۲۳۹ کیلوگرم بر مترمربع
زنده	بام	۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع
	طبقات مسکونی	۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع

جدول ۲- مشخصات مصالح مصرفی

مصالح	مشخصات	توضیحات
فولاد	وزن مخصوص	۷۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب
	مدول الاستیسیته	۲/۱E۱۰ کیلوگرم بر مترمربع
	ضریب پواسن	۰/۳
	تنش تسلیم	۲۳۵ مگاپاسکال
بتن	تنش نهایی	۳۵۰ مگاپاسکال
	وزن مخصوص	۲۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب
	مدول الاستیسیته	۲/۳E۹ کیلوگرم بر مترمربع
	ضریب پواسن	۰/۱۵
	مقاومت فشاری	۳۰ مگاپاسکال

بارگذاری در سازه براساس مشخصات مصالح برای بار مرده و بر مبنای مبحث ششم برای بار زنده مطابق جدول ۳ در نظر گرفته شده است. همچنین طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ درصد مشارکت بار زنده برابر با ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است. سازه مورد نظر در ابتدا به کمک تحلیل طیفی مطابق با خاک نوع III با خطر نسبی زیاد طراحی شده است. سپس

جدول ۴- مشخصات رکورد زلزله‌های استفاده‌شده

رکوردها	ایستگاه	مؤلفه	PGA (g)	PVG (cm/s)	PGD (cm)	مدت زمان (ثانیه)	بزرگای	ضریب بزرگ‌نمایی
Imperial Valley 1940	El Centro Array	I-ELC180	۰/۳۱۳	۲۹/۸	۱۳/۳۲	۳۶/۸۲	۷	۱/۰۴۶
	El Centro Array	I-ELC270	۰/۳۱۳	۳۰/۲	۲۳/۹۱	۳۶/۸۲	۷	۱/۰۴۶
Kobe 1995	Takarazuka	TAZ090	۰/۶۹۴	۸۵/۳	۱۶/۷۵	۴۰	۶/۹	۰/۵۷۵
	Takarazuka	TAZ000	۰/۶۹۳	۶۸/۳	۲۶/۶۵	۴۰	۶/۹	۰/۵۷۵
Kocaeli 1999	Yarimca	YPT-060	۰/۲۶۸	۶۵/۷	۵۷/۰۱	۳۵	۷/۴	۱/۱۹
	Yarimca	YPT-330	۰/۳۴۹	۶۲/۱	۵۰/۹۷	۳۵	۷/۴	۱/۱۹
Loma Prieta 1989	Capitola	CAP000	۰/۵۲۹	۳۶/۵	۹/۱۱	۴۰	۶/۹	۰/۷۵۴
	Capitola	CAP090	۰/۴۴۳	۲۹/۳	۵/۵	۴۰	۶/۹	۰/۷۵۴
Northridge 1994	Sylmar-Olive	SYL-090	۰/۶۰۴	۷۸/۲	۱۶/۰۵	۴۰	۶/۷	۱/۳۱۸
	Sylmar-Olive	SYL-360	۰/۸۴۳	۱۲۹/۶	۳۲/۶۸	۴۰	۶/۷	۱/۳۱۸
Tabas 1978	Tabas	TAB-TR	۰/۸۵۲	۱۲۱/۴	۹۴/۵۸	۳۳	۶/۹	۰/۴۴۶
	Tabas	TAB-LN	۰/۸۳۶	۱۲۰/۷	۳۶/۹۲	۳۳	۶/۹	۰/۴۴۶
Chi-Chi, Taiwan 1999	CHY080	CHY080-N	۰/۹۰۲	۱۰۲/۴	۳۳/۹۷	۴۶	۷/۶	۱/۱۵۴
	CHY080	CHY080-W	۰/۹۶۸	۱۰۷/۵	۱۸/۶	۴۶	۷/۶	۱/۱۵۴

میراگرها اعتبارسنجی انجام و پس از بررسی صحت مدل‌سازی انجام‌شده، به بررسی نتایج پرداخته شده است.

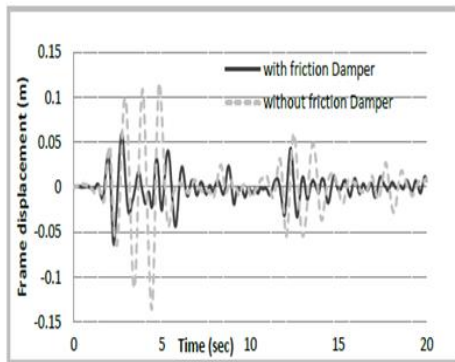
۴- اعتبار سنجی

۴-۱- میراگر اصطکاکی دورانی

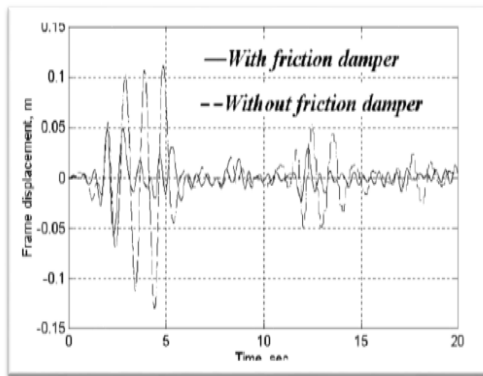
برای اعتبارسنجی مدل تحلیلی با میراگر اصطکاکی دورانی و اطمینان از صحت مدل ارائه‌شده، قاب یک طبقه یک

بعد از تحلیل و طراحی، سازه بدون میراگر دارای قاب خمشی در دو جهت تحت اثر زلزله به کمک تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور بررسی بهبود رفتار سازه با استفاده از میراگر، بیشینه تغییرمکان طبقات و منحنی هیستریزیس تغییرمکان نسبی طبقات در مقابل نیروی هر طبقه مورد بررسی قرار گرفته است. قبل از انجام تحلیل سازه مجهز به میراگر، برای هریک از

ساختمان سه طبقه فولادی در مقیاس 1/4 توسط Symans و Constantinou [۱۸] تحت ۶۶ آزمایش شبیه سازی شامل پنج حرکت زمین لرزه ای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش ها روی ساختمان به صورت بدون میراگر و با ۲، ۴ و ۶ میراگر مطابق شکل (۴) انجام گرفت. جرم کل طبقات این مدل سازه ای برابر با ۲۹۰۰ کیلوگرم بود که به طور یکسان در هر طبقه توزیع شده بود. سازه مورد نظر تحت ۵۰ درصد شتاب نگاشت زلزله ال سنترو مورد آزمایش قرار گرفته است. جدول ۵ نتایج حاصل از این آزمایش را نشان می دهد.



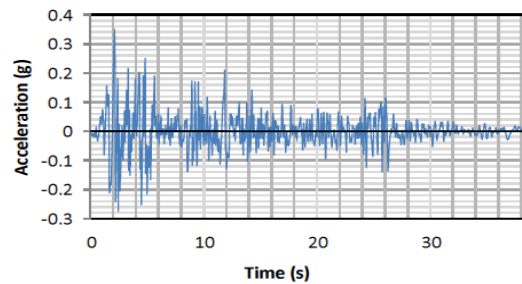
شکل ۲- پاسخ قاب با و بدون میراگر تحت تحریک زلزله، مدل شده در نرم افزار Drain-2DX توسط معله و بلو [۱۷]



شکل ۳- پاسخ قاب با و بدون میراگر تحت تحریک زلزله، مدل شده در نرم افزار SAP2000 در این بررسی

دهانه (با و بدون میراگر اصطکاکی دورانی) تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی زلزله ال سنترو، با استفاده از نرم افزار SAP2000 بررسی و با نتایج تحلیل معله و بلو که با نرم افزار Drain-2DX انجام شده، مورد مقایسه قرار گرفته است [۱۵].

قاب مدل شده توسط معله و بلو دارای ابعاد $4.6 \times 7.6 \text{ m}$ و ممان اینرسی $34 \times 10^6 \text{ mm}^4$ برای ستون هاست. همچنین برای وزن فرضی ۴۵۰ کیلو نیوتن پیروید ارتعاش ۱ ثانیه بوده و نسبت میرایی برابر ۵ درصد مقدار بحرانی منظور شده است. این قاب توسط میراگری با مشخصات $h_a = 0.2 \text{ m}$ ، $A_b = 201 \text{ mm}^2$ ، $M_f = 7 \text{ KNm}$ مجهز گردیده و مدل سازه ای رفتار اصطکاکی میراگر توسط پلاستیک خشک انجام شده است. قاب مذکور تحت مؤلفه شمالی- جنوبی رکورد زلزله ال سنترو با بیشینه شتاب $3.417 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ معادل 0.35g در مدت ۲۰ ثانیه قرار گرفته است [۱۶]. شکل (۱) این رکورد را نشان می دهد.



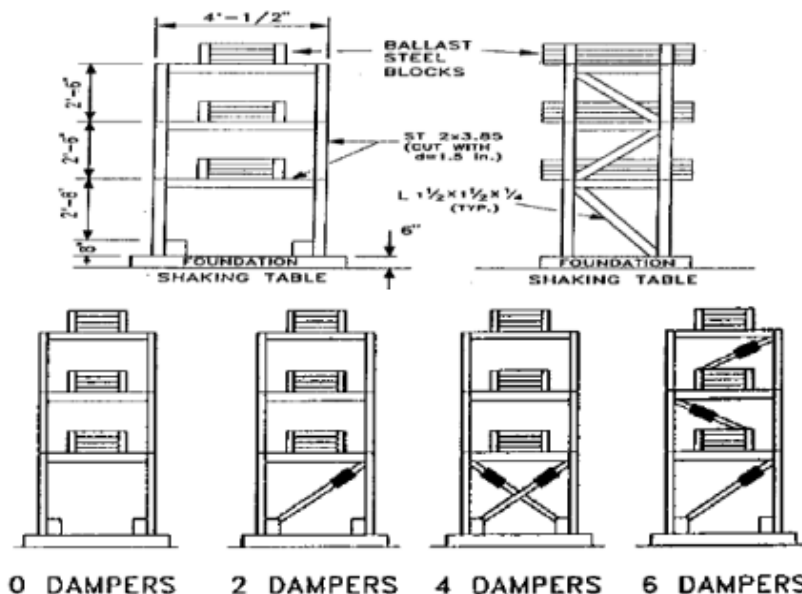
شکل ۱- نمودار تاریخچه زمان شمالی- جنوبی زلزله ال سنترو همان گونه که در شکل (۲) و (۳) مشخص شده است، تطابق قابل قبولی بین مدل معله و بلو و مدل به کاررفته در این تحقیق با نرم افزار SAP2000 وجود دارد و مدل پیشنهادی در این تحقیق به خوبی توانسته است رفتار میراگر اصطکاکی دورانی را مدل سازی کند.

۲-۴- میراگر ویسکوز

برای کنترل صحت مدل سازی با نرم افزار SAP، یک

جدول ۵- نتایج آزمایشگاهی مدل سازه سه طبقه [۱۹]

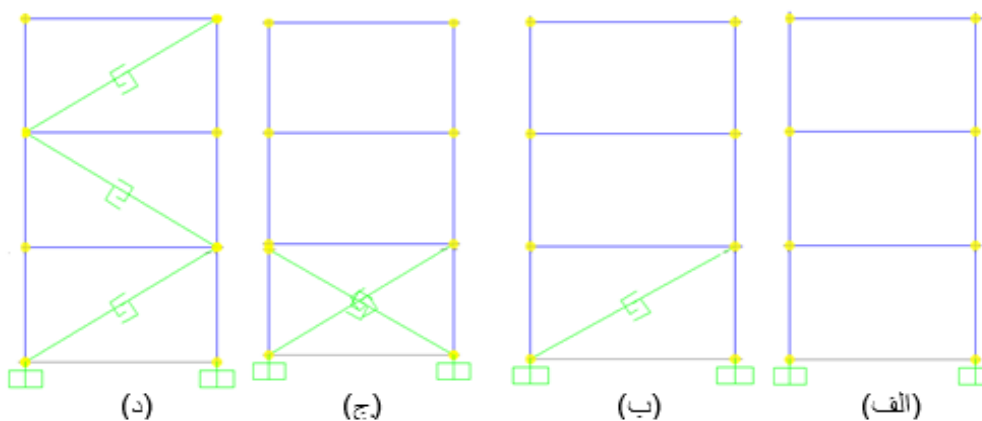
بیشترین جابه جایی طبقه	نیرو برش پایه بیشترین طبقه وزن سازه	تعداد میراگرها آزمایشگاهی مدل سازی	رکورد زلزله
۱/۴۹۸	۰/۲۹۵	۰	El-Centro 50%
۰/۸۶۵	۰/۱۹۶	۲	
۰/۶۶۰	۰/۱۵۹	۴	
۰/۵۱۰	۰/۱۲۸	۶	



شکل ۴- مدل آزمایشگاهی ساختمان سه‌طبقه فولادی در مقیاس 1/4 با تعداد میراگرهای مختلف [۱۹]

تحلیل تاریخچه زمانی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۶ نشان داده شده است.

این سازه در نرم‌افزار SAP2000.V19 مطابق شکل (۵) تحت ۵۰ درصد شتاب‌نگاشت زلزله ال سنترو به کمک



شکل ۵- مدل عددی ساختمان سه‌طبقه فولادی در مقیاس 1/4 با تعداد میراگرهای مختلف در نرم‌افزار SAP2000.V19

جدول ۶- نتایج تحلیل مدل سازه سه‌طبقه در نرم‌افزار SAP2000.V19

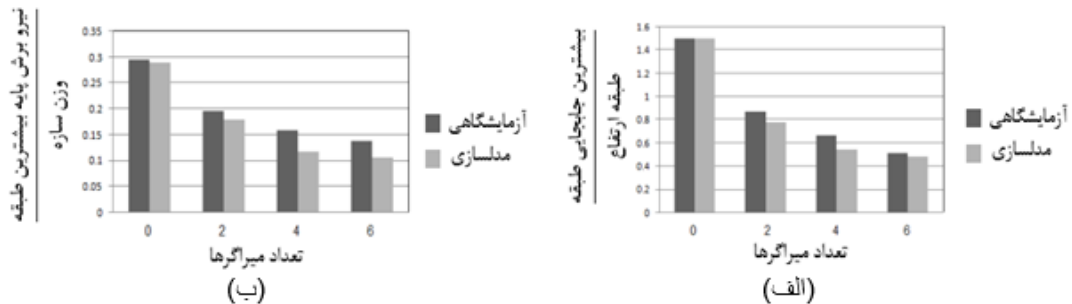
بیشترین جابه‌جایی طبقه	نیرو برش پایه بیشترین طبقه	تعداد میراگرها	رکورد زلزله
طبقه ارتفاع	وزن سازه		
۱/۵۰	۰/۲۰۹	۰	El Centro 50%
۰/۷۷۵	۰/۱۷۹	۲	
۰/۵۳۹	۰/۱۱۶	۴	
۰/۴۷۷	۰/۱۰۵	۶	

حالت آزمایشگاهی و تئوری نشان داده شده است. همان‌طور که از این نمودارها استنباط می‌شود، نتایج حاصل از تحلیل توسط نرم‌افزار هم‌خوانی خوبی با نتایج حاصل از

در شکل (۶) مقایسه نتایج حاصل از مدل آزمایشگاهی و مدل تحلیل‌شده توسط نرم‌افزار SAP2000.V19 مشاهده می‌شود. در این نمودارها حداکثر پاسخ در بام سازه و در دو

آزمایشگاهی برای مدل کردن دقیق آن در نرم افزار SAP2000.V19 است.

بارگذاری آزمایشگاهی مدل انتخاب شده دارد، به طوری که میانگین اختلاف این نتایج برابر با ۶ درصد است که البته یکی از دلایل این اختلاف، نبود اطلاعات کامل نمونه



شکل ۶- الف: مقایسه بیشینه تغییرمکان سازه به ارتفاع در دو حالت آزمایشگاهی و تئوری، ب: مقایسه برش پایه سازه در دو حالت آزمایشگاهی و تئوری

زمان تناوب مود اول سیستمها با توجه به بررسی قلعهنوی و پردل [۲۰] و مدل سازی انجام شده در این بررسی در جدول (۷) ارائه شده است. میراگر TADAS به صورت تیر منشوری معادل، مدل سازی و سایر پارامترهای طراحی میراگر با استفاده از مرجع [۲۱] انتخاب شده است.

• جدول ۷- مقایسه زمان تناوب مود اول سیستمهای مختلف

نوع سیستم	قاب خمشی متوسط بدون میراگر	قاب خمشی متوسط مجهز به میراگر TADAS
زمان تناوب مود اول به دست آمده توسط بررسی قلعهنوی و پردل [۱۷] برحسب ثانیه	۱/۷۵	۱/۰۷۹
زمان تناوب اول به دست آمده در این بررسی برحسب ثانیه	۱/۷۹	۱/۱

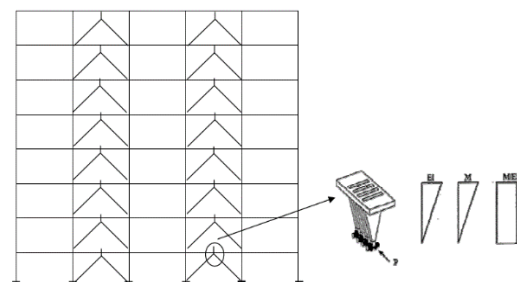
نتایج حاصل از تحلیل توسط نرم افزار، هم خوانی خوبی با نتایج حاصل از بارگذاری آزمایشگاهی مدل انتخاب شده دارد، به طوری که میانگین اختلاف این نتایج، برابر با ۴ درصد است. سپس صحت سنجی به منظور بررسی اثر استفاده از میراگرها بر پاسخهای سازه ای منحنی هیستریزس هر طبقه مورد بررسی قرار گرفته است.

۵- بحث و بررسی

به منظور بررسی پاسخهای سازه مسکونی هشت طبقه تحت اثر رکورد زلزله های مختلف، منحنی بار-تغییرمکان نسبی هر طبقه از سازه مورد بررسی و همچنین بیشینه جابه جایی

۴-۳- میراگر TADAS

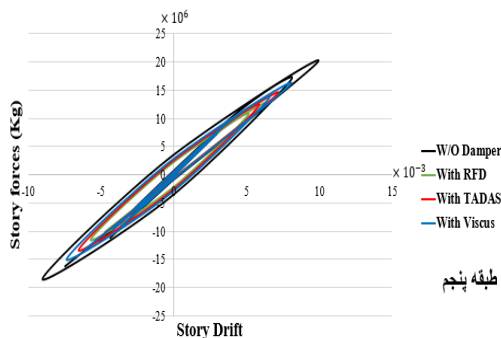
برای مقایسه سیستمها یک ساختمان فلزی هشت طبقه مطابق شکل (۷) و با توجه به بررسی قلعهنوی و پردل [۲۰] در نظر گرفته شده است. ساختمان مورد نظر دارای پلان متقارن با دهانه های ۴ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر است که در هر جهت از شش قاب با فواصل مساوی ۴ متر تشکیل شده است. بارگذاری تمام طبقات مشابه است. از این ساختمان یک قاب به صورت نمونه انتخاب شده که شمای کلی و هندسه آن در شکل (۷) نشان داده شده است. قاب مورد نظر با استفاده از نرم افزار SAP 2000 و با توجه به ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ و براساس ضریب رفتار اولیه $R=7$ طراحی شده است. سپس میراگرهای TADAS متناسب با برش هر طبقه طراحی و در سیستم قاب خمشی فولادی متوسط ذکر شده قرار گرفته و نهایتاً هر دو سیستم با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی بررسی شده است. به منظور تحلیل دینامیکی غیرخطی سیستمهای مورد مقایسه، زمین لرزه Elcentro انتخاب گردیده است.



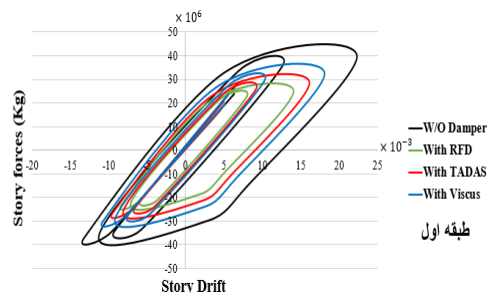
شکل ۷- شمای کلی و هندسه قاب تقویت شده توسط

TADAS

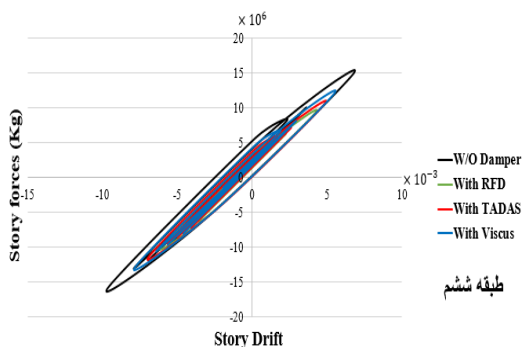
نسبی هر طبقه مورد مطالعه قرار گرفته است. از این رو، منحنی بار-تغییرمکان نسبی سازه تحت اثر زلزله CHI با استفاده از سه نوع میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در شکل‌های (۸) تا (۱۵) نشان داده شده است.



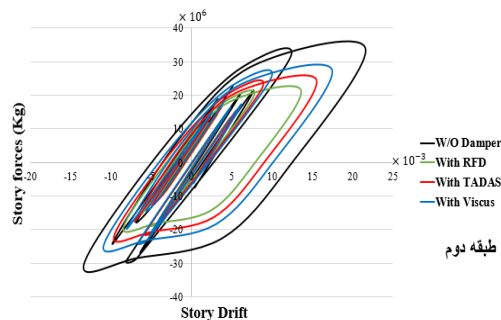
شکل ۱۲- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه پنجم تحت اثر زلزله Chi-Chi, Taiwan



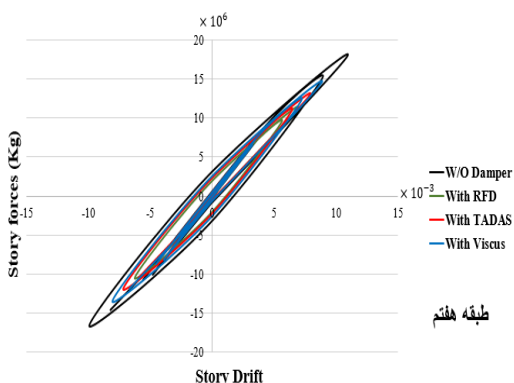
شکل ۸- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه اول تحت اثر زلزله Chi-Chi, Taiwan



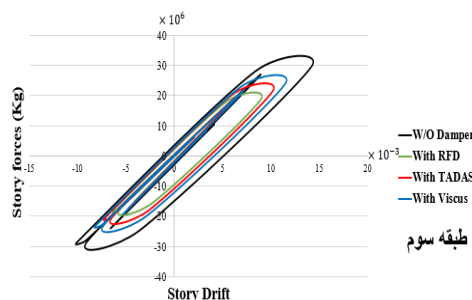
شکل ۱۳- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هشتم تحت اثر زلزله Chi-Chi, Taiwan



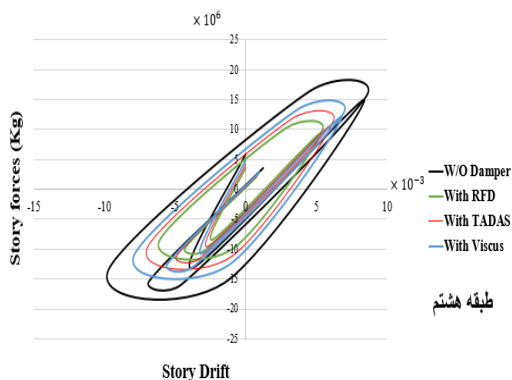
شکل ۹- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه دوم تحت اثر زلزله Chi-Chi, Taiwan



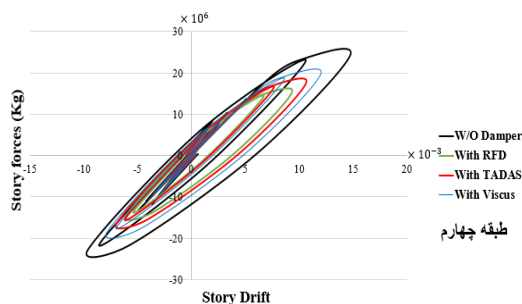
شکل ۱۴- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هفتم تحت اثر زلزله Chi-Chi, Taiwan



شکل ۱۰- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه سوم تحت اثر زلزله Chi-Chi, Taiwan

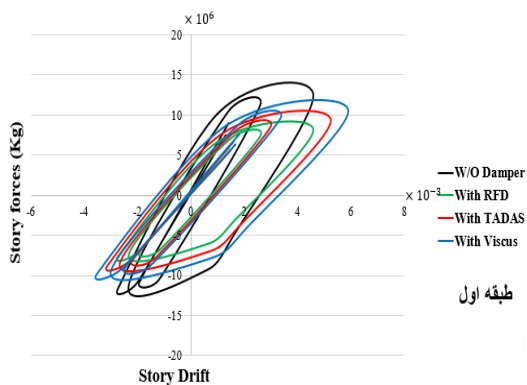


شکل ۱۵- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هشتم تحت اثر زلزله Chi-Chi, Taiwan

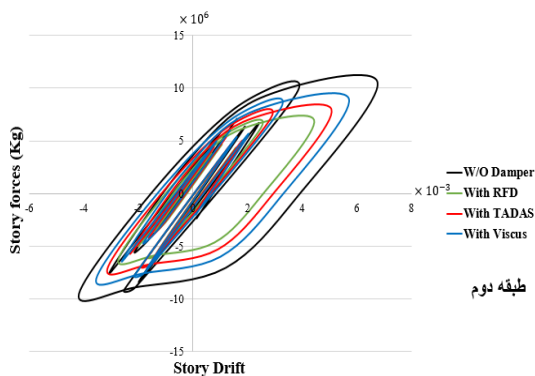


شکل ۱۱- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه چهارم تحت اثر زلزله Chi-Chi, Taiwan

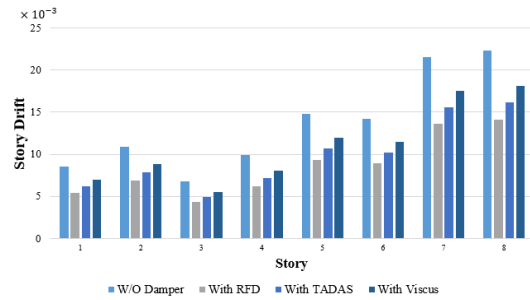
تا (۲۴) نشان داده شده است. با توجه به کمتر شدن شدت زلزله، جابه‌جایی نسبی طبقات کاهش پیدا کرده است. در این حالت نیز مطابق شکل‌های (۱۷) تا (۲۴) میراگر اصطکاکی دورانی، تأثیر بیشتری بر کاهش پاسخ‌های سازه داشته است. به‌منظور بررسی اثر میراگرها بر بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقات، مقدار جابه‌جایی نسبی هر طبقه تحت اثر زلزله Imperial Valley در شکل (۲۵) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۲۵) میراگر اصطکاکی دورانی تنظیم‌شده، بهترین عملکرد را در کاهش پاسخ‌های سازه داشته است. مطابق این شکل، جابه‌جایی نسبی طبقات فوقانی و تحتانی بیشتر بوده، لازم است در طبقات بالا برای کاهش پاسخ سازه و در طبقات پایین‌تر به دلیل بیشتر بودن نیروی برش طبقات از میراگرهایی با سختی بیشتر استفاده شود. تحت اثر زلزله مذکور، میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در طبقه اول به ترتیب به میزان ۳۳، ۲۸ و ۲۱ درصد، در طبقه چهارم به ترتیب ۳۱، ۲۵ و ۲۰ درصد و در طبقه آخر به ترتیب ۳۸، ۲۵ و ۱۸ درصد جابه‌جایی نسبی طبقات را کاهش می‌دهد.



شکل ۱۷- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه اول تحت اثر زلزله Imperial Valley



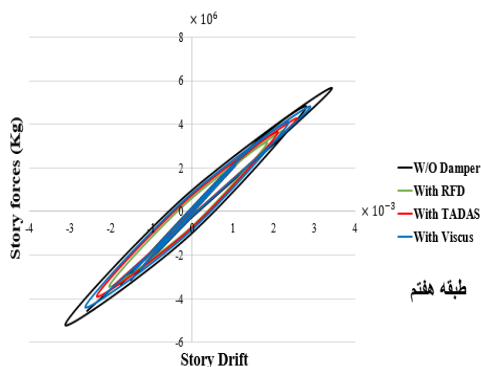
شکل ۱۸- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه دوم تحت اثر زلزله Imperial Valley



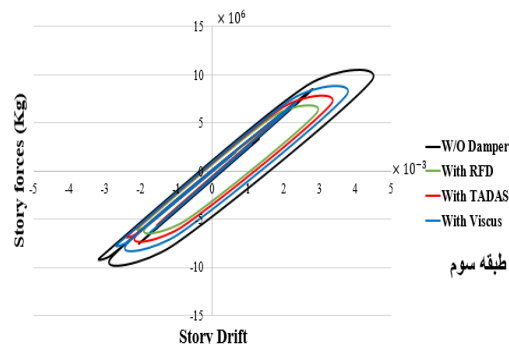
شکل ۱۶- اثر افزودن میراگر بر جابه‌جایی نسبی طبقات تحت اثر زلزله Chi-Chi, Taiwan

همان طور که از شکل‌های (۸) تا (۱۵) مشاهده می‌شود. میراگر اصطکاکی دورانی در بهبود و کاهش پاسخ‌های سازه، دارای عملکرد بهتری بوده است. نمودارهای به‌دست‌آمده مربوط به جابه‌جایی و نیروی متناظر با جابه‌جایی در هر طبقه است. همان طور که از شکل‌ها مشخص است، استفاده از میراگرها در طبقات بیشتر باعث بهبود رفتار طبقات انتهایی شده است. با توجه به شکل‌های (۸) و (۹) به دلیل زیاد بودن نیرو برشی در طبقات پایین‌تر سازه حلقه‌های چرخه‌ای بزرگ‌تر است. از این رو لازم است در طبقات پایین‌تر، از میراگرهایی با سختی بیشتر استفاده شود. در طبقه آخر (شکل ۱۵) به دلیل تأمین سختی طبقه تنها به کمک ستون‌های طبقه پایین‌تر آن و کمتر بودن سختی طبقه، حلقه‌های بار-تغییرمکان بزرگ‌تر شده است؛ در نتیجه، لازم است در طبقه آخر نیز از میراگر با سختی بیشتر استفاده شود. به‌منظور بررسی اثر میراگرها بر بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقات، مقدار جابه‌جایی نسبی هر طبقه تحت اثر زلزله Chi-Chi, Taiwan در شکل (۱۶) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱۶) میراگر اصطکاکی دورانی تنظیم‌شده، بهترین عملکرد را در کاهش پاسخ‌های سازه داشته است. مطابق این شکل، جابه‌جایی نسبی طبقات فوقانی و تحتانی بیشتر بوده، لازم است در طبقات بالا برای کاهش پاسخ سازه و در طبقات پایین‌تر به دلیل بیشتر بودن نیروی برش طبقات، از میراگرهایی با سختی بیشتر استفاده شود. طبق بررسی انجام‌شده، میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در طبقه اول به ترتیب به میزان ۴۴، ۳۳ و ۲۲ درصد، در طبقه چهارم به ترتیب ۴۰، ۳۰ و ۱۲ درصد و در طبقه آخر به ترتیب ۴۳، ۳۱ و ۲۲ درصد جابه‌جایی نسبی طبقات را کاهش می‌دهد.

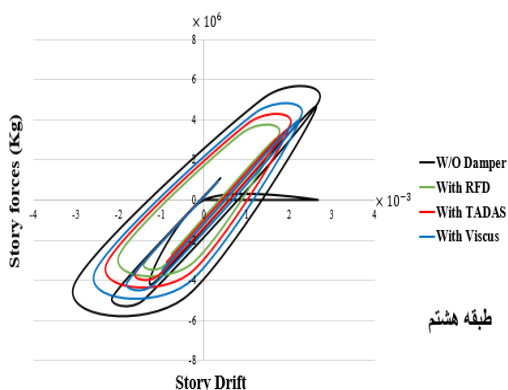
به‌منظور بررسی بیشتر، بار دیگر منحنی بار-تغییرمکان نسبی سازه تحت اثر زلزله Imperial Valley مورد بررسی قرار گرفت که نتایج این بررسی در شکل‌های (۱۷)



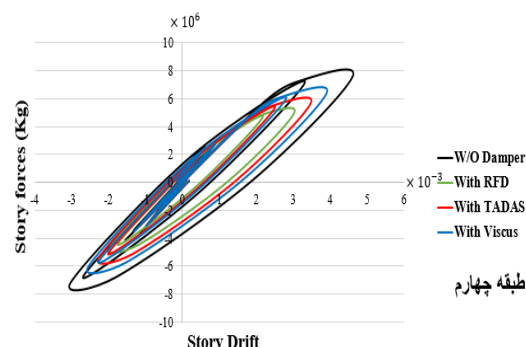
شکل ۱۹- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه سوم تحت اثر زلزله Imperial Valley



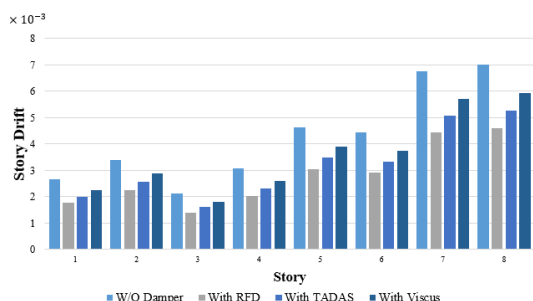
شکل ۲۰- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه چهارم تحت اثر زلزله Imperial Valley



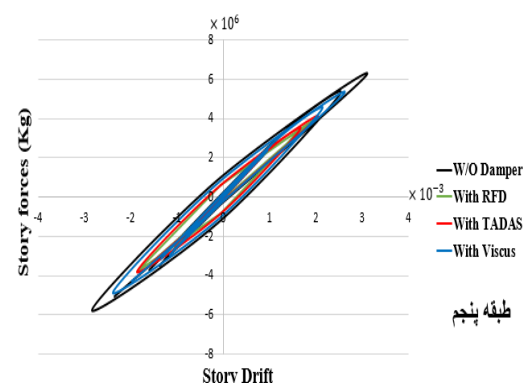
شکل ۲۱- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هشتم تحت اثر زلزله Imperial Valley



شکل ۲۲- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه پنجم تحت اثر زلزله Imperial Valley

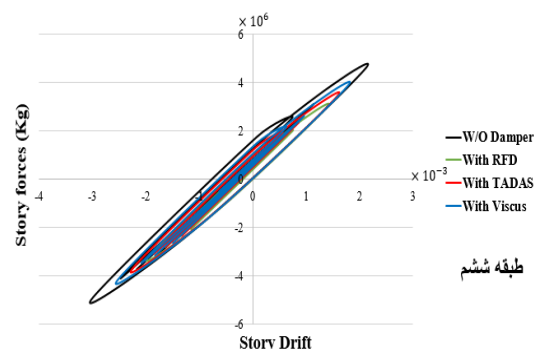


شکل ۲۳- اثر افزودن میراگر بر جابه‌جایی نسبی طبقات تحت اثر زلزله Imperial Valley

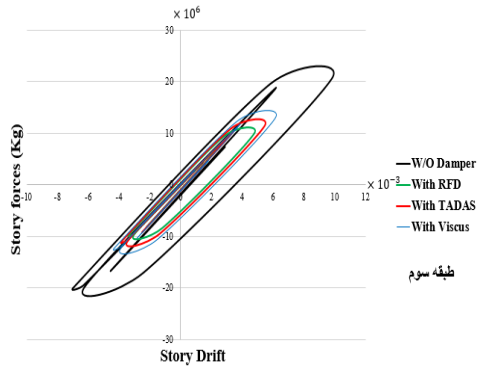


شکل ۲۴- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه سوم تحت اثر زلزله Imperial Valley

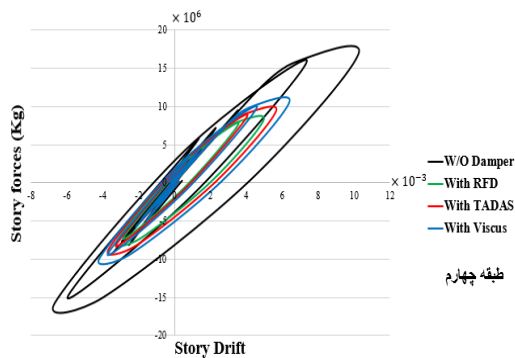
در بررسی رفتار تحت اثر رکورد زلزله Kobe مشخص شده است که رفتار طبقات سازه تحت اثر زلزله Kobe نسبت به زلزله‌های CHI-CHI و Imperial Valley منظم‌تر شد و حلقه‌های بار-تغییرمکان سازه تقریباً در هر چرخه، رفتاری یکسان داشته است. این موضوع را می‌توان اثر مشخصات زلزله بر رفتار سازه و هریک از میراگرهای تنظیم‌شده دانست. نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی در شکل‌های (۲۶) تا (۳۳) برای طبقات مختلف نشان داده شده است. همان طور که در این شکل‌ها دیده می‌شود، نسبت به دو زلزله قبل، سطح زیر حلقه‌ها برای زلزله‌های مختلف افزایش یافته



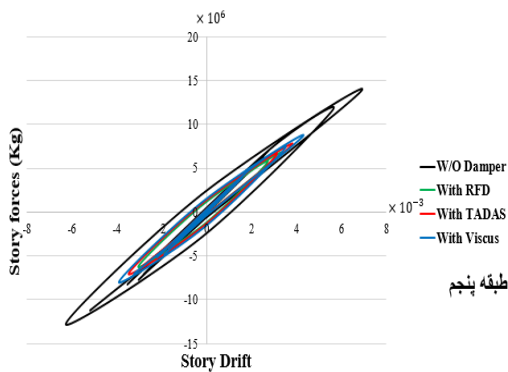
شکل ۲۵- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه ششم تحت اثر زلزله Imperial Valley



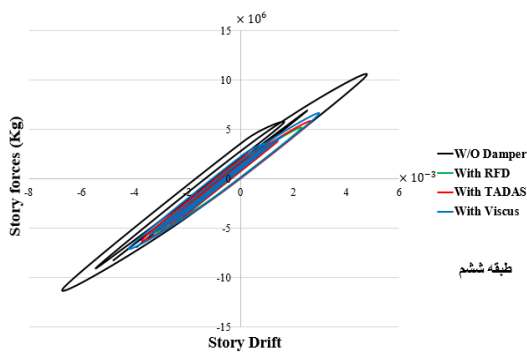
شکل ۲۸- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه سوم تحت اثر زلزله Kobe



شکل ۲۹- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه چهارم تحت اثر زلزله Kobe

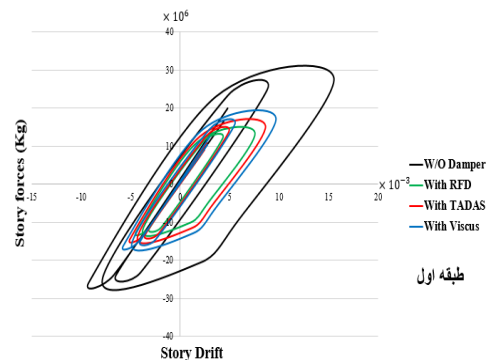


شکل ۳۰- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه پنجم تحت اثر زلزله Kobe

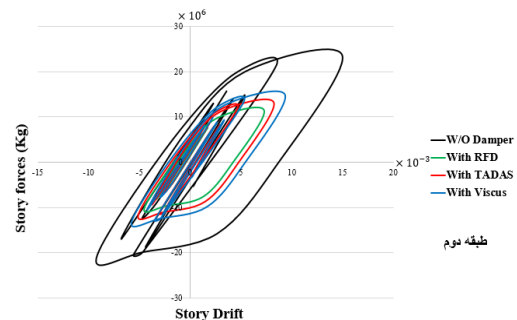


شکل ۳۱- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هشتم تحت اثر زلزله Kobe

است. این موضوع نشان می‌دهد که تحت اثر زلزله Kobe، میراگرها تأثیر بهتری بر کاهش پاسخهای سازه داشته‌اند که این اثرگذاری در طبقات ابتدایی و انتهایی نسبت به طبقات میانی بهتر بوده است. همان طور که در طبقات پنجم و شش مشاهده می‌شود، با مایل تر شدن نمودار، جابه‌جایی بیشتر تحت اثر نیروی کمتر اتفاق افتاده است که این موضوع می‌تواند منجر به بروز طبقه نرم شود. در نتیجه، در صورت استفاده از میراگرها باید دقت شود که در ازای بهبود رفتار سازه در طبقات ابتدایی و انتهایی، سازه دچار پدیده طبقه نرم در طبقات میانی نگردد. شایان ذکر است طبقه نرم مطابق تعریف آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، طبقه ای است که سختی جانبی آن کمتر از ۷۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود یا کمتر از ۸۰ درصد متوسط سختی های سه طبقه روی خود است. ساختمان با طبقه نرم، به ساختمان‌هایی می‌گویند که طبقات پایینی آن‌ها سختی بسیار کمتری از طبقات بالایی آن‌ها داشته باشند. این ساختمان‌ها به دلیل داشتن تعداد زیادی دهانه آزاد در طبقات پایینی، در برابر زلزله بسیار آسیب‌پذیر هستند؛ از این رو، هنگامی که طبقه نرم تشکیل شده است، یک طبقه از ساختمان تخریب می‌شود، در حالی که طبقه‌های تحتانی و فوقانی آن تخریب اصلی اتفاق نیفتد.

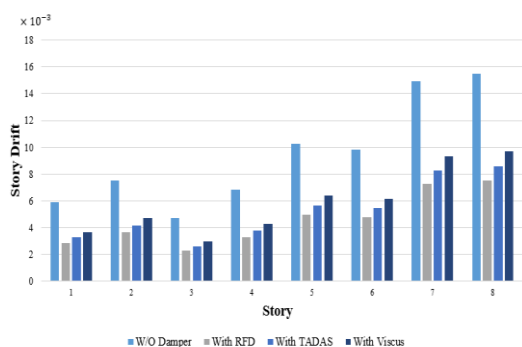


شکل ۲۶- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه اول تحت اثر زلزله Kobe



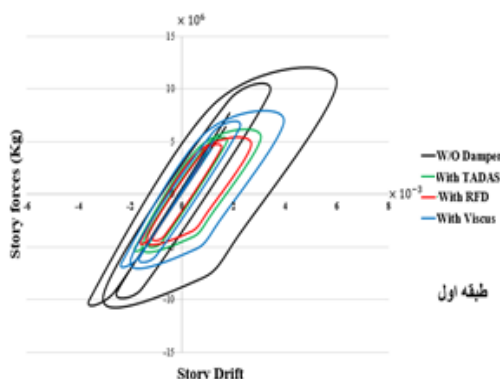
شکل ۲۷- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه دوم تحت اثر زلزله Kobe

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی زلزله‌های پیشین، میراگر اصطکاکی دورانی نسبت به میراگر ویسکوز و TADAS رفتار سازه را بیشتر بهبود می‌دهد. همچنین اثر استفاده از میراگرها در طبقات ابتدایی و فوقانی، بیشتر از طبقات میانی است، هرچند در طبقات ابتدایی به علت بیشتر بودن برش طبقه و در طبقات انتهایی به دلیل کمتر بودن سختی اعضا به‌خصوص در طبقه آخر، بهتر است از میراگر با سختی بیشتر استفاده کرد. به‌منظور بررسی اثر میراگرها بر بیشینه جابه‌جایی طبقات، مقدار جابه‌جایی نسبی هر طبقه تحت اثر زلزله Kocaeli در شکل (۴۳) نشان داده شده است.

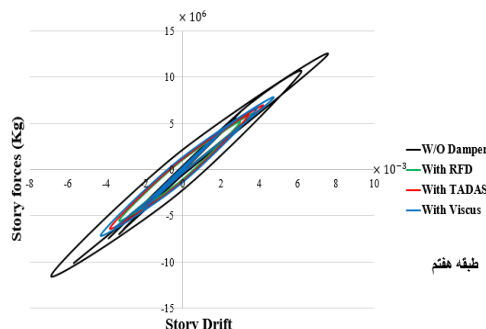


شکل ۳۴- اثر افزودن میراگر بر جابه‌جایی نسبی طبقات تحت اثر زلزله Kobe

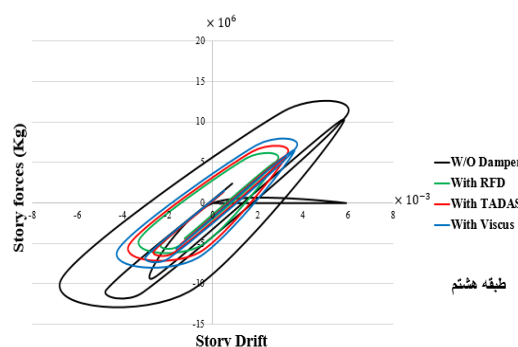
با توجه به شکل (۴۳) میراگر اصطکاکی دورانی تنظیم‌شده، بهترین عملکرد را در کاهش پاسخ‌های سازه داشته است. همچنین میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در طبقه اول به‌ترتیب به میزان ۵۴، ۵۰ و ۳۲ درصد، در طبقه چهارم به‌ترتیب ۵۷، ۴۸ و ۳۳ درصد و در طبقه آخر به‌ترتیب ۵۳، ۵۰ و ۳۵ درصد جابه‌جایی نسبی طبقات را کاهش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رفتار تمام طبقات در کاهش پاسخ سازه با استفاده از میراگرهای مختلف تقریباً یکسان است.



شکل ۳۵- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه اول تحت اثر زلزله Kocaeli



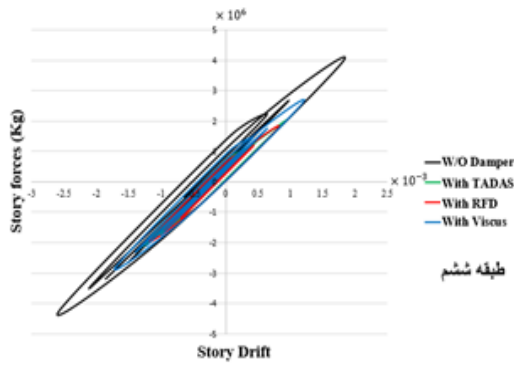
شکل ۳۲- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هفتم تحت اثر زلزله Kobe



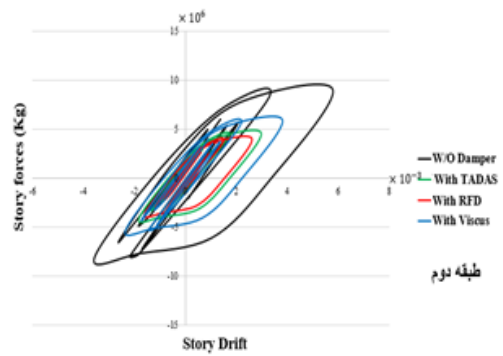
شکل ۳۳- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هشتم تحت اثر زلزله Kobe

استفاده از میراگرها باعث کاهش جابه‌جایی نسبی طبقات و کنترل بهتر رفتار سازه می‌شود. از این‌رو در شکل (۳۴) بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقات تحت اثر زلزله Kobe نشان داده است. همان‌طور که مشخص است تأثیر میراگر در طبقات ابتدایی و انتهایی بیشتر از طبقات میانی است. مطابق شکل (۳۴)، میراگر اصطکاکی دورانی تنظیم‌شده بهترین عملکرد را در کاهش پاسخ‌های سازه داشته است. مطابق این شکل، تحت اثر زلزله مذکور میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در طبقه اول به‌ترتیب به میزان ۶۴ درصد، ۵۰ درصد، ۳۵ درصد، در طبقه چهارم به ترتیب ۵۰ درصد، ۳۷ درصد، ۳۴ درصد و در طبقه آخر به ترتیب ۵۱ درصد، ۴۸ درصد و ۳۸ درصد جابه‌جایی نسبی طبقات را کاهش می‌دهد.

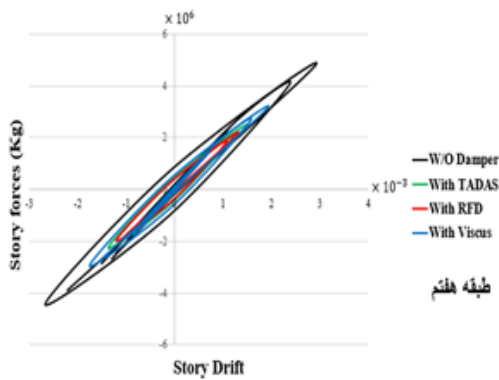
برای بررسی دقیق‌تر و کامل‌تر، سازه مورد نظر تحت رکورد زلزله Kocaeli مورد بررسی قرار گرفت و منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقات سازه مطابق شکل‌های (۳۵) تا (۴۲) به دست آمد. تحت اثر رکور این زلزله طبقات تقریباً رفتار مشابهی دارند و احتمال بروز طبقه نرم در آن‌ها کمتر از زلزله Kobe است. علت این موضوع را می‌توان به کمتر بودن شتاب زلزله Kocaeli نسبت به Kobe دانست. مطابق



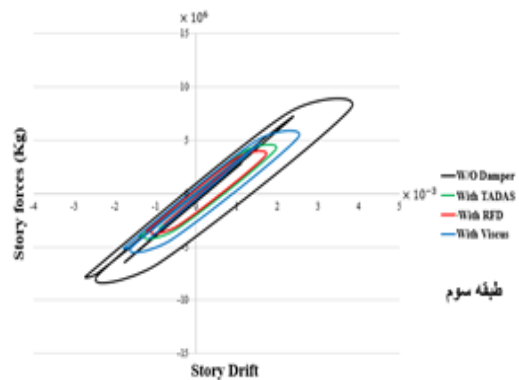
شکل ۳۶- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه دوم تحت اثر زلزله Kocaeli



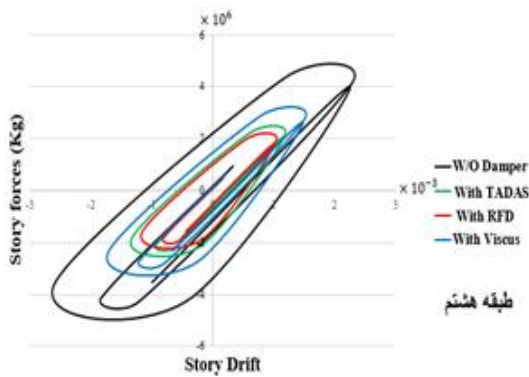
شکل ۳۷- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه سوم تحت اثر زلزله Kocaeli



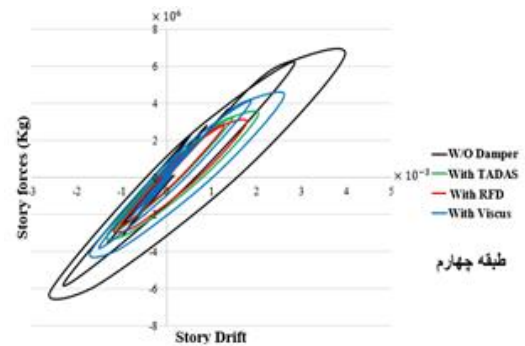
شکل ۳۸- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هفتم تحت اثر زلزله Kocaeli



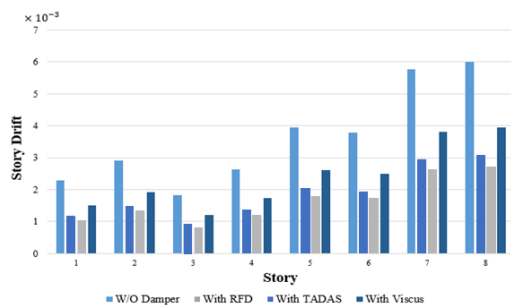
شکل ۳۹- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه سوم تحت اثر زلزله Kocaeli



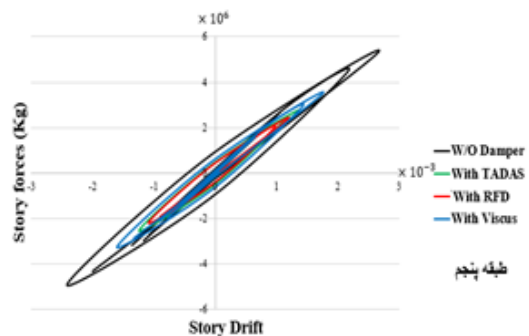
شکل ۴۰- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هشتم تحت اثر زلزله Kocaeli



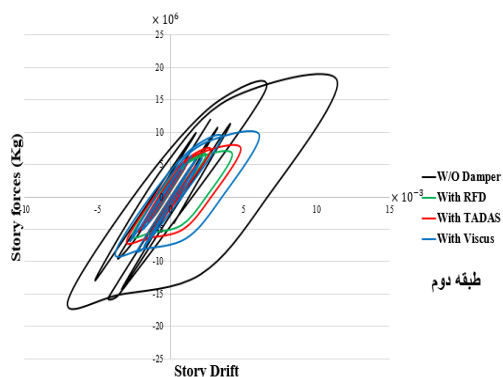
شکل ۴۱- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه چهارم تحت اثر زلزله Kocaeli



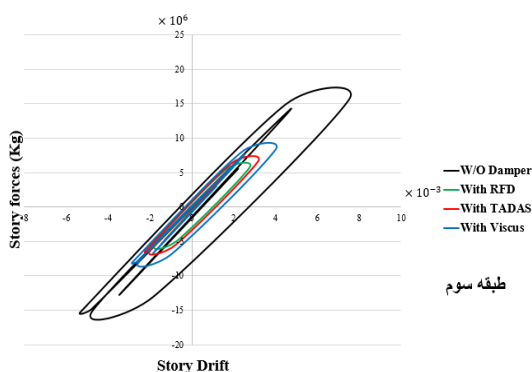
شکل ۴۲- اثر افزودن میراگر بر جابه‌جایی نسبی طبقات تحت اثر زلزله Kocaeli



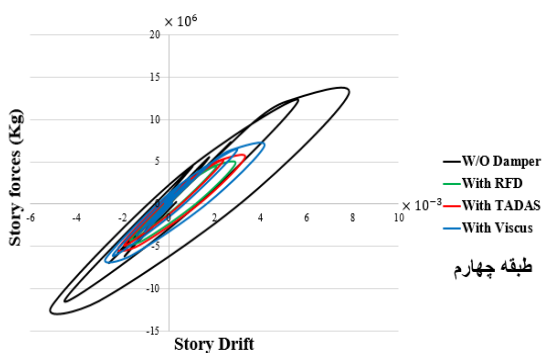
شکل ۴۳- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه پنجم تحت اثر زلزله Kocaeli



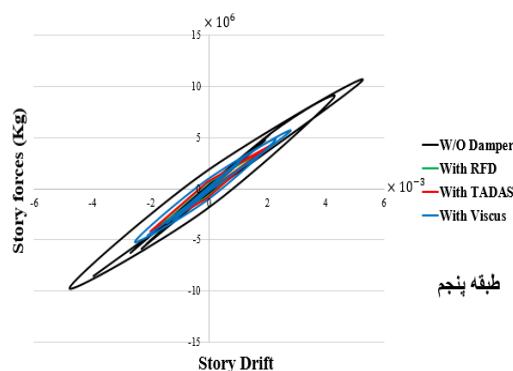
شکل ۴۵- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه دوم تحت اثر زلزله Loma Prieta



شکل ۴۶- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه سوم تحت اثر زلزله Loma Prieta

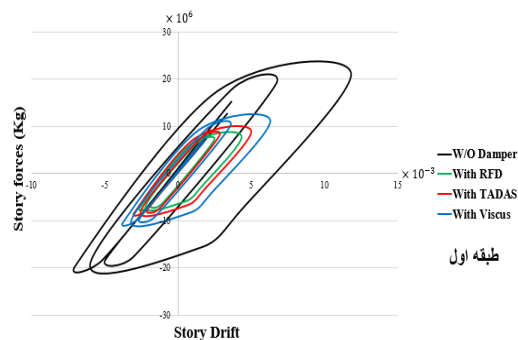


شکل ۴۷- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه چهارم تحت اثر زلزله Loma Prieta



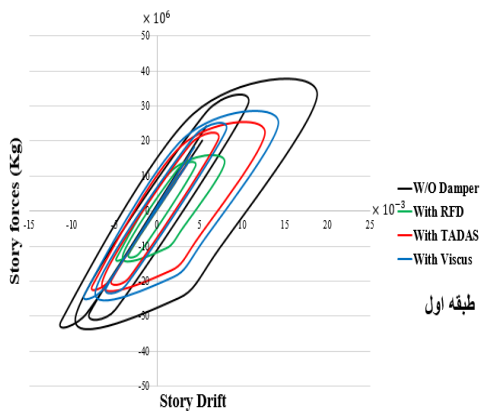
شکل ۴۸- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه پنجم تحت اثر زلزله Loma Prieta

از طرف دیگر، در بررسی رفتار سازه تحت اثر رکورد زلزله Loma Prieta، نتایج به‌دست‌آمده از پاسخ‌های بار-تغییرمکان نسبی هر طبقه در شکل‌های (۴۴) تا (۵۱) نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های (۴۴) تا (۴۷) و (۵۱) با توجه زیاد بودن سطح زیر نمودار مشخص می‌شود که استفاده از میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS باعث بهبود رفتار سازه بیشتر در طبقات ابتدایی و انتهایی شده است. همچنین با توجه به شکل (۴۸) و بروز تغییرمکان زیاد تحت اثر بار کمتر، می‌توان دریافت که احتمال وقوع طبقه نرم در این طبقه محتمل است و باید مشخصات میراگر را با توجه به رفتار هر طبقه تنظیم کرد. به طور کلی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در شکل‌های (۴۴) تا (۵۱) مشخص است که میراگر اصطکاکی دورانی نسبت به میراگر ویسکوز و TADAS پاسخ‌های سازه را بیشتر کاهش داده، رفتار سازه را بهتر می‌توان به کمک این میراگر کنترل کرد. با توجه به این بررسی مشخص می‌شود که استفاده از هر میراگر در طبقات نباید براساس دوره تناوب کلی سازه تنظیم شود و نیاز است با توجه به رفتار هر طبقه، میراگر مناسب با آن طبقه به کار گرفته شود. نتایج به‌دست‌آمده از بیشینه تغییرمکان نسبی هر طبقه با و بدون استفاده از میراگر در شکل (۵۲) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، مشخص می‌شود که میراگر اصطکاکی دورانی، تأثیر مثبت‌تری در کاهش پاسخ‌های سازه داشته است. طبق بررسی انجام‌شده میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در طبقه اول به ترتیب به میزان ۵۹، ۵۴ و ۴۷ درصد، در طبقه چهارم به ترتیب ۵۵، ۵۰ و ۴۲ درصد و در طبقه آخر به ترتیب ۶۵، ۶۰ و ۵۶ درصد جابه‌جایی نسبی طبقات را کاهش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رفتار تمام طبقات در کاهش پاسخ سازه با استفاده از میراگرهای مختلف تقریباً یکسان است.

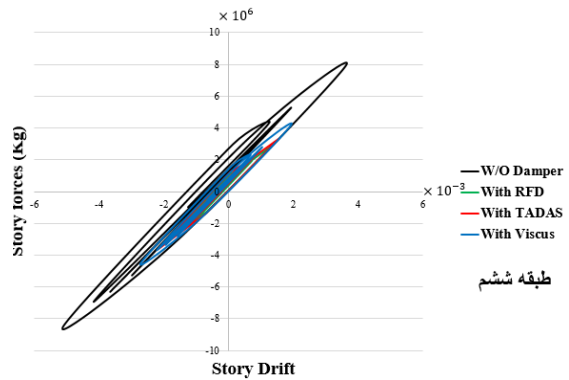


شکل ۴۴- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه اول تحت اثر زلزله Loma Prieta

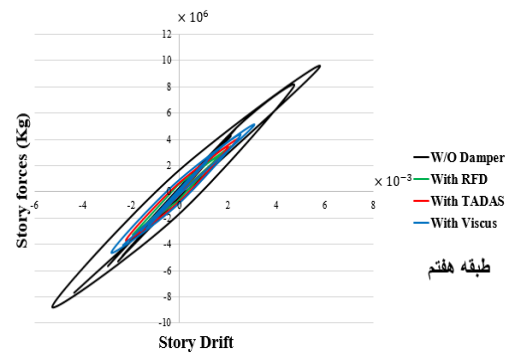
در بررسی دقیق تر و کامل تر، رفتار سازه تحت اثر رکورد زلزله Northridge مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بار-تغییرمکان نسبی طبقات این بررسی در شکل های (۵۳) تا (۶۰) نشان داده شده است. طبق این بررسی، مشخص می شود که میراگر اصطکاکی دورانی می تواند نسبت به میراگر ویسکوز و TADAS به مقدار قابل توجهی پاسخ های سازه را کاهش دهد. این کاهش قابل توجه می تواند باعث بروز طبقه نرم در طبقات پنجم و هفتم (شکل ۵۷ و ۵۹) شود؛ زیرا تغییرمکان بیشتر تحت اثر نیرویی کمتر اتفاق افتاده و نمودار مایل تر شده است. با توجه به بیشتر بودن سطح زیر منحنی شکل های (۵۳)، (۵۴) و (۶۰) مشخص می شود که استفاده از میراگر تنظیم شده مطابق با مود بحرانی سازه که در این بررسی مود اول بود، می تواند بیشتر پاسخ های طبقه های ابتدایی و انتهایی را بهبود بخشد. از این رو لازم است در صورت استفاده از میراگر در سازه مشخصات میراگر با توجه به رفتار هر طبقه برای آن طبقه تنظیم شده، مورد استفاده قرار بگیرد. اثر استفاده از میراگرهای به کاررفته بر جابه جایی نسبی طبقات، در شکل (۶۱) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، مشخص می شود که میراگر اصطکاکی دورانی، تأثیر مثبت تری بر کاهش پاسخ های سازه داشته است. طبق بررسی انجام شده میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در طبقه اول به ترتیب به میزان ۶۴، ۴۰ و ۱۹ درصد، در طبقه چهارم به ترتیب ۵۵، ۳۰ و ۲۲ درصد و در طبقه آخر به ترتیب ۵۷، ۳۲ و ۲۴ درصد جابه جایی نسبی طبقات را کاهش می دهد. همان طور که مشاهده می شود، رفتار تمام طبقات در کاهش پاسخ سازه با استفاده از میراگرهای مختلف تقریباً یکسان است.



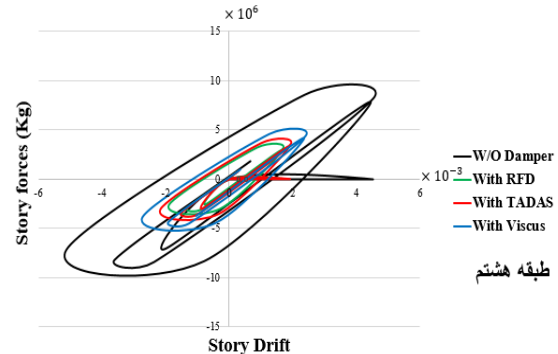
شکل ۵۳- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه اول تحت اثر زلزله Northridge



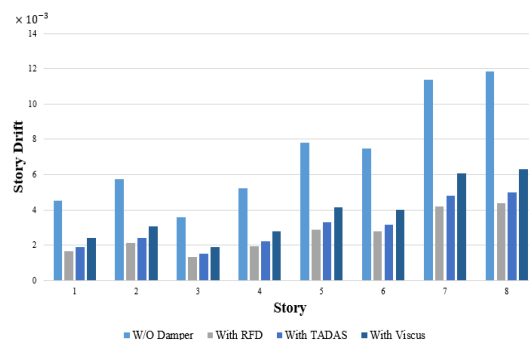
شکل ۴۹- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هشتم تحت اثر زلزله Loma Prieta



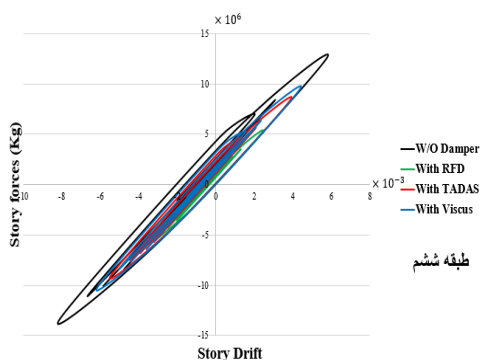
شکل ۵۰- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هفتم تحت اثر زلزله Loma Prieta



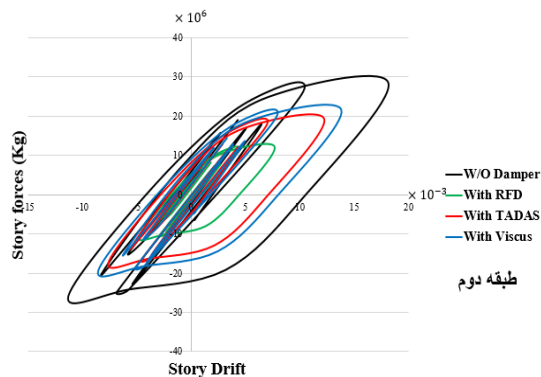
شکل ۵۱- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هشتم تحت اثر زلزله Loma Prieta



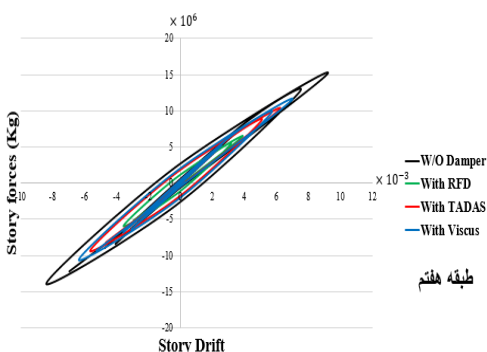
شکل ۵۲- اثر افزودن میراگر بر جابه جایی نسبی طبقات تحت اثر زلزله Loma Prieta



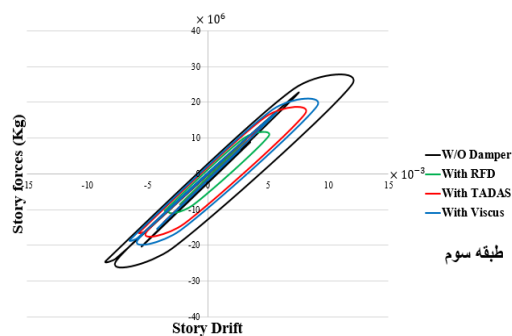
شکل ۵۸- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هشتم تحت اثر زلزله Northridge



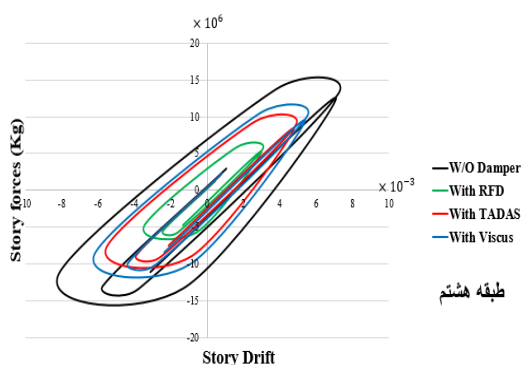
شکل ۵۴- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه دوم تحت اثر زلزله Northridge



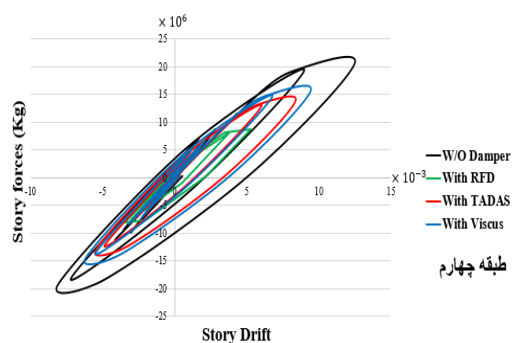
شکل ۵۹- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هفتم تحت اثر زلزله Northridge



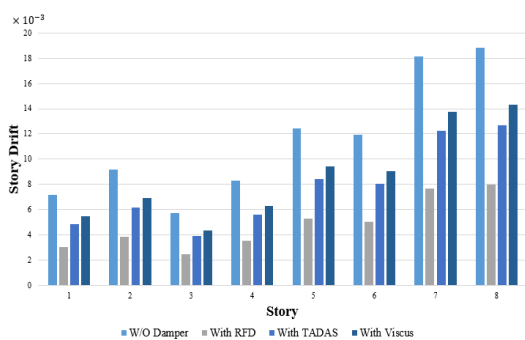
شکل ۵۵- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه سوم تحت اثر زلزله Northridge



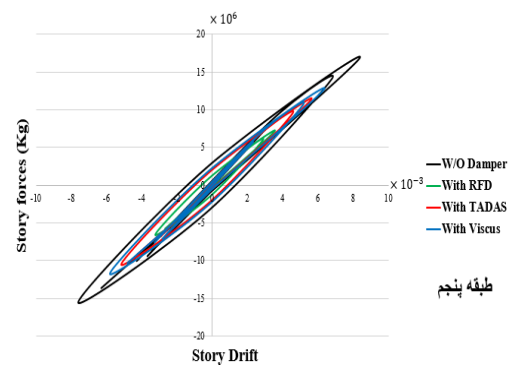
شکل ۶۰- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه نهم تحت اثر زلزله Northridge



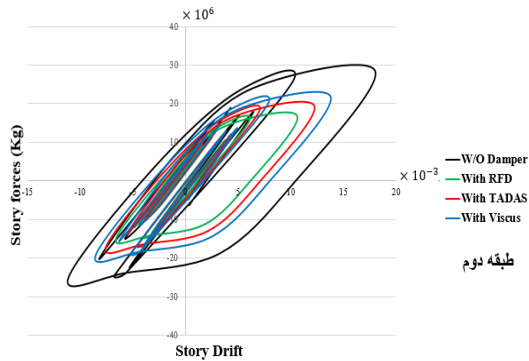
شکل ۵۶- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه چهارم تحت اثر زلزله Northridge



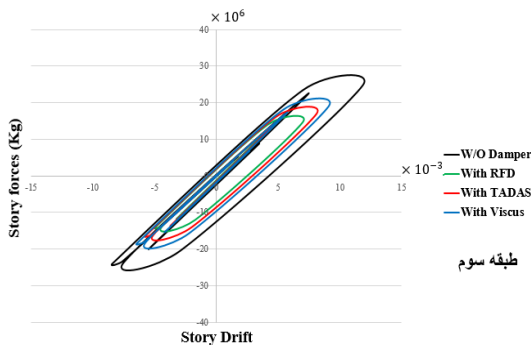
شکل ۶۱- اثر افزودن میراگر بر جابه‌جایی نسبی طبقات تحت اثر زلزله Northridge



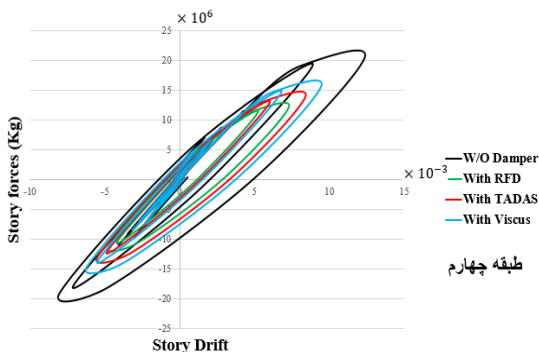
شکل ۵۷- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه پنجم تحت اثر زلزله Northridge



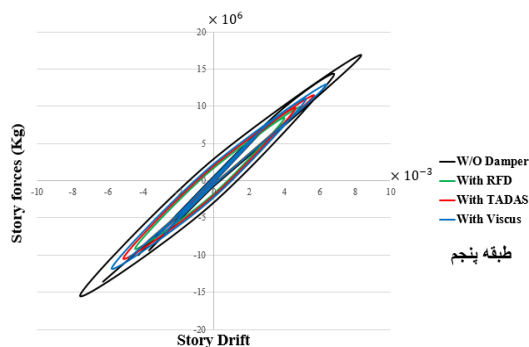
شکل ۶۳- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه دوم تحت اثر زلزله TABAS



شکل ۶۴- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه سوم تحت اثر زلزله TABAS

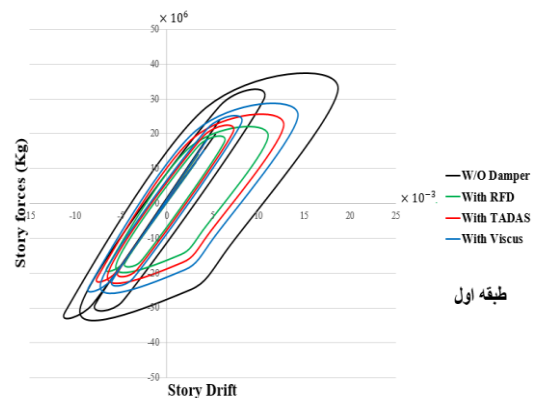


شکل ۶۵- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه چهارم تحت اثر زلزله TABAS

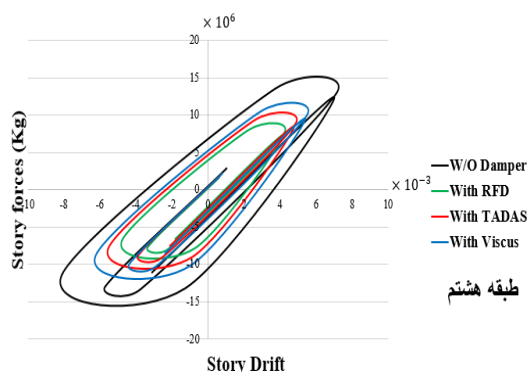


شکل ۶۶- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه پنجم تحت اثر زلزله TABAS

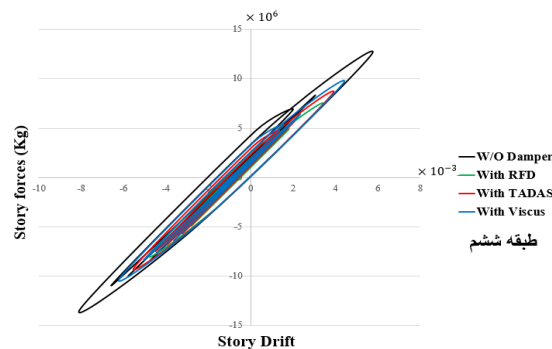
در نهایت، برای کامل تر شدن بررسی، رفتار سازه تحت اثر رکورد زلزله TABAS تحلیل شد. نتایج به دست آمده از پاسخ بار-تغییرمکان نسبی طبقات با و بدون میراگر در شکل (۶۲) تا (۶۹) نشان داده شده است. همان طور که از شکل های به دست آمده مشخص است، استفاده از میراگرها در طبقات بیشتر، باعث بهبود رفتار طبقات انتهایی شده است. با توجه به شکل های (۶۲) و (۶۳) به دلیل زیاد بودن نیرو برشی در طبقات پایین تر سازه حلقه های چرخه ای بزرگ تر است؛ از این رو لازم است در طبقات پایین تر، از میراگرهایی با سختی بیشتر استفاده شود. در طبقه آخر (شکل ۶۹) به دلیل تأمین سختی طبقه، تنها به کمک ستون های طبقه پایین تر آن و کمتر بودن سختی طبقه، حلقه های بار-تغییرمکان بزرگ تر شده است؛ در نتیجه لازم است در طبقه آخر نیز از میراگر با سختی بیشتر استفاده شود. به منظور بررسی اثر میراگرها بر بیشینه جابه جایی طبقات، مقدار جابه جایی نسبی هر طبقه تحت اثر زلزله TABAS در شکل (۷۰) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۷۰) میراگر اصطکاکی دورانی تنظیم شده، بهترین عملکرد را در کاهش پاسخ های سازه داشته است. مطابق این شکل، جابه جایی طبقات در طبقات فوقانی و تحتانی بیشتر بوده، لازم است در طبقات بالا برای کاهش پاسخ سازه و در طبقات پایین تر به دلیل بیشتر بودن نیروی برش طبقات، از میراگرهایی با سختی بیشتر استفاده شود. طبق بررسی انجام شده میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در طبقه اول به ترتیب به میزان ۴۴، ۳۳ و ۲۲ درصد، در طبقه چهارم به ترتیب ۴۰، ۳۰ و ۱۲ درصد و در طبقه آخر به ترتیب ۴۳، ۳۱ و ۲۲ درصد جابه جایی نسبی طبقات را کاهش می دهد.



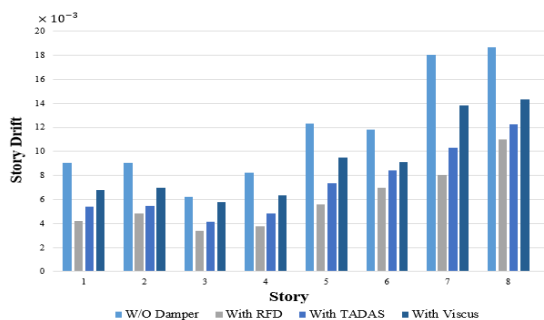
شکل ۶۲- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه اول تحت اثر زلزله TABAS



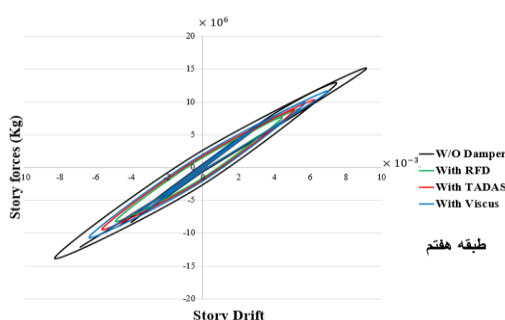
شکل ۶۹- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هشتم تحت اثر زلزله TABAS



شکل ۶۷- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هشتم تحت اثر زلزله TABAS



شکل ۷۰- اثر افزودن میراگر بر جابجایی نسبی طبقات تحت اثر زلزله TABAS



شکل ۶۸- منحنی بار-تغییرمکان نسبی طبقه هفتم تحت اثر زلزله TABAS

جابجایی نسبی طبقات در جدول (۸) ارائه شده است.

حال به منظور انجام ارزیابی دقیق تر، نتایج به دست آمده از

جدول ۸- جابجایی نسبی طبقات در سازه‌های مختلف تحت اثر زلزله‌های مختلف

With Viscus	With TADAS	With RFD	W/O damper	شماره طبقه	زلزله
۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۲۸	۱	Imperial Valley 1940
۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۳۴	۲	
۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۲۱	۳	
۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۳۰	۴	
۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۴۷	۵	
۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۴۴	۶	
۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۵۰	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۶۹	۷	
۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۷۰	۸	
۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۶۰	۱	Kobe 1995
۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۷۸	۲	
۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۵۰	۳	
۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۶۸	۴	
۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۵۰	۰/۰۱۱	۵	
۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۹۸	۶	
۰/۰۰۹۷	۰/۰۰۸۱	۰/۰۰۷۴	۰/۰۱۵	۷	
۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۸۶	۰/۰۰۷۷	۰/۰۱۵۸	۸	
۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۲۲	۱	Kocaeli 1999
۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۲۹	۲	
۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۹	۳	

۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۷	۴		
۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۳۹	۵		
۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۳۷	۶		
۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۵۸	۷		
۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۶۰	۸		
۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۴۴	۱		Loma Prieta 1989
۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۵۷	۲		
۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۳۸	۳		
۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۵۶	۴		
۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۷۹	۵		
۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۷۵	۶		
۰/۰۰۶۰	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۴۲	۰/۰۱۱۵	۷		
۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۴۲	۰/۰۱۱۹	۸		
۰/۰۰۵۶	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۷۲	۱	Northridge 1994	
۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۶۱	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۹۲	۲		
۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۵۹	۳		
۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۸۱	۴		
۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۵۸	۰/۰۱۲۱	۵		
۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۸۰	۰/۰۰۵۱	۰/۰۱۰۱	۶		
۰/۰۱۳۹	۰/۰۱۲۱	۰/۰۰۷۸	۰/۰۱۱۸	۷		
۰/۰۱۴۱	۰/۰۱۲۸	۰/۰۰۸۰	۰/۰۱۹۱	۸		
۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۹۲	۱	Tabas 1978	
۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۹۳	۲		
۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۶۱	۳		
۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۸۱	۴		
۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۵۸	۰/۰۱۲۱	۵		
۰/۰۰۹۲	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۶۸	۰/۰۱۱۹	۶		
۰/۰۱۳۸	۰/۰۱۰۲	۰/۰۰۸۰	۰/۰۱۸۰	۷		
۰/۰۱۴۴	۰/۰۱۲۲	۰/۰۱۱۰	۰/۰۱۸۶	۸		
۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۰۸	۱	Chi-Chi, Taiwan 1999	
۰/۰۰۸۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۶۲	۰/۰۱۱۱	۲		
۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۶۴	۳		
۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۰۰	۴		
۰/۰۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۴۵	۵		
۰/۰۱۲	۰/۰۱	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۴	۶		
۰/۰۱۶	۰/۰۱۵۵	۰/۰۱۳	۰/۰۲۲	۷		
۰/۰۱۸	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۴	۰/۰۲۳	۸		

۶- نتیجه گیری

در این بررسی، تأثیر میراگرهای اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS بر رفتار و پاسخ‌های سازه قاب خمشی فولادی هشت طبقه با کاربری مسکونی، واقع در مشهد مورد بررسی قرار گرفت. این سازه‌ها در دو حالت مجهز به میراگر و بدون میراگر، با هم مقایسه شدند. جهت اعمال نیروی زلزله، از

هفت تاریخچه زلزله استفاده شد. تاریخچه زلزله‌های مورد استفاده به کمک روش مجذور مجموع مربعات به دست آمد و با طیف خاک نوع سه هم‌پایه شد. سپس هریک از سازه‌ها تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی در نرم‌افزار SAP2000 مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. با توجه به بررسی انجام‌شده، نتایج زیر به دست آمد:

۱. میراگر اصطکاکی دورانی تنظیم‌شده نسبت به میراگر TADAS و ویسکوز، پاسخ‌های سازه را بهتر بهبود می‌بخشد.
۲. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از بررسی سازه تحت اثر رکورد زلزله‌های مختلف مشخص می‌شود که افزون بر مشخصات سازه، مشخصات زلزله نیز بر رفتار میراگر تأثیرگذار است؛ زیرا تحت اثر بعضی زلزله‌ها امکان بروز طبقه نرم وجود دارد.
۳. با توجه به نمودارهای بار-تغییر مکان نسبی طبقات به‌دست آمده، لازم است مشخصات میراگر بر حسب رفتار هر طبقه تنظیم شود و تنظیم میراگر با توجه به رفتار کلی سازه، نامناسب است.
۴. در استفاده از میراگرهای اصطکاکی-دورانی، ویسکوز و TADAS در تمام طبقات، پاسخ‌های به‌دست‌آمده از طبقات ابتدایی و انتهایی، بهبود بیشتری پیدا کرده‌اند.
۵. به دلیل زیاد بودن نیروی برش طبقات ابتدایی و کمتر بودن سختی طبقات انتهایی لازم است در این طبقات از میراگر با سختی بیشتری استفاده شود.
۶. طبق بررسی انجام‌شده، میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS تحت اثر رکورد زلزله CHI-CHI در طبقه اول به ترتیب به میزان ۴۴، ۳۳ و ۲۲ درصد، در طبقه چهارم به ترتیب ۴۰، ۳۰ و ۱۲ درصد و در طبقه آخر به ترتیب ۴۳، ۳۱ و ۲۲ درصد جابه‌جایی نسبی طبقات را کاهش می‌دهد.
۷. تحت اثر زلزله Imperial Valley میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در طبقه اول به ترتیب به میزان ۶۴، ۵۰ و ۳۵ درصد، در طبقه چهارم به ترتیب ۵۰، ۳۷ و ۳۴ درصد و در طبقه آخر به ترتیب ۵۱، ۴۸ و ۳۸ درصد جابه‌جایی نسبی طبقات را کاهش می‌دهد.
۸. طبق بررسی انجام‌شده تحت اثر زلزله Kobe میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در طبقه اول به ترتیب به میزان ۶۴، ۵۰ و ۳۵ درصد، در طبقه
۹. طبق بررسی انجام‌شده تحت اثر رکورد زلزله Kocaeli میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در طبقه اول به ترتیب به میزان ۵۴، ۵۰ و ۳۲ درصد، در طبقه چهارم به ترتیب ۵۷، ۴۸ و ۳۳ درصد و در طبقه آخر به ترتیب ۵۳، ۵۰ و ۳۵ درصد جابه‌جایی نسبی طبقات را کاهش می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، رفتار تمام طبقات در کاهش پاسخ سازه با استفاده از میراگرهای مختلف تقریباً یکسان است.
۱۰. طبق بررسی انجام‌شده تحت زلزله Loma Prieta میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در طبقه اول به ترتیب به میزان ۵۹، ۵۴ و ۴۷ درصد، در طبقه چهارم به ترتیب ۵۵، ۵۰ و ۴۲ درصد و در طبقه آخر به ترتیب ۶۵، ۶۰ و ۵۶ درصد جابه‌جایی نسبی طبقات را کاهش می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، رفتار تمام طبقات در کاهش پاسخ سازه با استفاده از میراگرهای مختلف تقریباً یکسان است.
۱۱. تحت اثر زلزله Northridge میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS در طبقه اول به ترتیب به میزان ۶۴، ۴۰ و ۱۹ درصد، در طبقه چهارم به ترتیب ۵۵، ۳۰ و ۲۲ درصد و در طبقه آخر به ترتیب ۵۷، ۳۲ و ۲۴ درصد جابه‌جایی نسبی طبقات را کاهش می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، رفتار تمام طبقات در کاهش پاسخ سازه با استفاده از میراگرهای مختلف تقریباً یکسان است.
۱۲. طبق بررسی انجام‌شده میراگر اصطکاکی دورانی، ویسکوز و TADAS تحت اثر زلزله TABAS در طبقه اول به ترتیب به میزان ۴۴، ۳۳ و ۲۲ درصد، در طبقه چهارم به ترتیب ۴۰، ۳۰ و ۱۲ درصد و در طبقه آخر به ترتیب ۴۳، ۳۱ و ۲۲ درصد جابه‌جایی نسبی طبقات را کاهش می‌دهد.

مراجع

- [۱] مرتضی رئیسی دهکردی، مرتضی علیزاده اسفیوخی و مهدی اقبالی، «ارزیابی کاربرد مهاربندهای فولادی هم‌گرا، واگرا و کمانش‌گریز در بهسازی لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال چهاردهم، شماره ۴۷، زمستان ۱۳۹۵، صفحه ۹۵-۱۱۴.

- [۲] سید علیرضا کابلی، محسن گرامی و عادل میرحاج، «بهبود رفتار لرزه‌های قاب‌های فولادی با تغییر تراز نوع سیستم مهاربندی در ارتفاع»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال هفتم، شماره ۱۷، تابستان ۱۳۸۸، صفحه ۴۱-۵۳.
- [۳] سیدمحمد زهرایی و هرمز امیرزاده شمس، «مطالعه عددی کاربرد میراگر فلزی لوزی شکل در تقویت لرزه‌ای قاب‌های فولادی میان‌مرتبه»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال ششم، شماره ۱۵، تابستان ۱۳۸۷، صفحه ۹-۱۹.
- [4] I.H. Mualla and B. Bellev, "Performance of Steel Frames with a New Friction Damper Device under Earthquake Excitation", Engineering Structures, 24, 2002, pp 365–371.
- [5] J. Vaseghi Amiri and S. Jalali, "Performance of steel moment frame equipped with rotational friction damper", steel and structure journal, In Persian, 2006, p. 5. DOI: 10.1007/s13296-017-1218-5. 8.
- [6] S. Mirzabgheri and A.A. Aghakouchak, "investigation performance of rotational friction dampers in steel moment frame using by dynamic and nonlinear static analysis", 6th National Civil Engineering Congress, In Persian, 2011.
- [7] S. Mirzabagheri, M. Sanati, A.A. Aghakouchak and S.E. Khadem, "Experimental and numerical investigation of rotational friction dampers with multi units in steel frames subjected to lateral excitation", Archives of Civil and Mechanical Engineering, In Press, Corrected Proof, 2014.
- [8] L.M. Moreschi and M.P. Singh, "Optimal seismic design with viscous dampers using genetic algorithms", journal of Structural Engineering, 1999.
- [9] T. Mousanejad and A. Porzainali, "Seismic controlling of high rise building using by semi active viscous damer", 4th National Civil Engineering Congress, In Persian, 2008.
- [10] M.S. Zareian, A.A. Hoseini and R. Mourshed, "investigation performance of reinforced concrete structures equipped with TADAS", 8th National Civil Engineering Congress, In Persian, 2014.
- [11] C.S. Tsai, C.S. Chen, B.J. Chen and W.S. Pong, "RADAS device technology for retrofitting damaged structures in 921 Chi-Chi earthquake", Proceedings of ASME, PVP, Seismic Engineering 2002, Vancouver, Vol. 1, 2002, pp. 221-228.
- [12] M. Jalali, "Improvement of Seismic Behavior of Steel Braced Frames Using Ductile Knee Element", MSc Thesis, Faculty of Engineering, University of Tehran, Iran, 2006.
- [13] M. Askari Norzane, A. Keihani and H. Ziaalghagh, "Investigation of the effect of TADAS on the seismic response of steel moment frame", 4th national congress of retrofitting and preserving sustainable buildings, 2012.
- [14] M. Zareiean, A.A. Hoseini and R. Morshed, "Investigation of structures using by TADAS", 8th National Civil Engineering Congress, In Persian, 2014.
- [15] L.O. Nielsen and I. H. Mualla "A Friction Damping system low order Behavior and design" Rapport BY G.DTU R-030, ISSN 1601-2917, 2002, ISBN87.7877-090-4
- [16] I.H. Mualla And B. Bellev, "Performance of Steel Frames with a New Friction Damper Device under Earthquake Excitation", Engineering Structures, 24, 2002, pp 365–371.
- [17] A. Malhotra, D. Carson, P. Gopal, A. Braimah, G.D. Giovanni and R. Pall, "Friction dampers for seismic upgrade of St. Vincent hospital, Ottawa", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada. 2004.
- [18] M.C. Constantinou and M.D. Symans, "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.
- [19] k.C. Tsai, H.W. Chen, C.P. Hong and Y.F. Su, "Design of steel Triangular Plate Energy Absorbers for seismic-resistant construction" journal of Earthquake, spectra, Vol. 9, No.3, 1993.
- [20] M. Ghalehnovi and M.A. Pordel, "the effect of TADAS in Reinforcing the intermediate steel moment frame", Master's Thesis, Ferdowsi university of Mashhad, In Persian, 2015.
- [21] k. C. Tsai, H. W. Chen, C. P. Hong, and Y. F. Su. "Design of steel Triangular Plate Energy Absorbers for seismic-resistant construction" journal of Earthquake, spectra, Vol. 9, No.3 ,1