

## عملکرد میراگرهای ویسکوز و اصطکاکی در بهبود پاسخ لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده جرمی

سیده شکیبا موسوی

دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

S.mousavi@iiees.ac.ir

منصور ضیایی‌فر

دانشیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

Mansour@iiees.ac.ir

کلیدواژه‌ها: میراگر ویسکوز، میراگر اصطکاکی، جداسازی شده جرمی، تجهیزات جاذب انرژی

### چکیده

یکی از ویژگی‌های اصلی دستاوردهای نوین در زمینه‌ی طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، افزایش انعطاف‌پذیری و افزودن تجهیزات اتلاف انرژی است. انعطاف‌پذیری سازه، به کاهش شتاب‌ها و نیروهای ناشی از زلزله کمک می‌کند و با ایجاد تغییر شکل‌های نسبی زیاد، پتانسیل اتلاف انرژی در سیستم سازه‌ای را فراهم می‌آورد. لذا در طراحی لرزه‌ای بر این اساس، سیستم سازه‌ای معمولاً از دو زیرسیستم جرم و سختی تشکیل شده است که تجهیزات اتلاف انرژی مابین این دو زیرسیستم قرار می‌گیرند. انعطاف‌پذیری زیرسیستم جرمی، به کاهش اثرات زلزله در این بخش از سازه کمک می‌کند. زیرسیستم سختی با ایجاد تکیه‌گاه مناسب برای تجهیزات اتلاف انرژی، در کنترل تغییر شکل‌های زیرسیستم جرمی نقش ایفا می‌کند. (Ziayefar et al., 2012)

در این تحقیق، سازه‌ی جداسازی شده‌ای با میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی، میراگر اصطکاکی، تحت اثر بارگذاری لرزه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است و اثر هر یک از این میراگرها در کاهش پاسخ سازه (تغییر مکان، شتاب و برش پایه و ...) بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد اتصال دو زیرسیستم جرم و سختی با فرکانس‌های مختلف، به‌واسطه‌ی میراگرها در کاهش پاسخ ناشی از زلزله در دو زیرسیستم جرم و سختی بسیار مؤثر است. همچنین میراگر اصطکاکی در رنج‌های پایین نیرو، در کاهش پاسخ لرزه‌ای در زیرسیستم جرمی مؤثرتر از میراگر ویسکوز خطی عمل می‌کند. همچنین افزودن درصدی از نیروی اصطکاک به میراگرهای ویسکوز می‌تواند عملکرد این میراگرها را بهبود بخشد.

### مقدمه

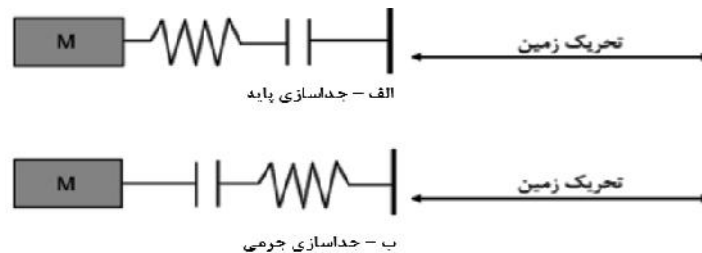
در روند جدید طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، برای مقابله با انرژی ورودی به سازه، دو دیدگاه وجود دارد. در دیدگاه اول با افزایش پیوند سازه، نیروهای وارده به سازه کاهش می‌یابند که سیستم‌های جداسازی از پایه در این دسته قرار می‌گیرند. دیدگاه دوم افزودن میرایی اضافی به میرایی ذاتی سازه است که شامل مکانیزم‌های اتلاف انرژی است. هدف از اضافه نمودن تجهیزات جاذب انرژی به ساختمان‌ها، هدایت انرژی زلزله به عناصری که برای این منظور طراحی شده‌اند تا بدین ترتیب انرژی ورودی به سیستم باربر ثقلی کاهش یابد. در این حالت با قرار دادن میراگرها در محل‌های مناسب می‌توان قسمت عمده‌ای از انرژی زلزله را مستهلک و اثرات زلزله را به حداقل رساند. از آنجایی‌که عناصر جاذب انرژی در سیستم باربر ثقلی ساختمان مشارکتی ندارند، می‌توانند بعد از وقوع زلزله به راحتی تعمیر یا تعویض گردند. در این سیستم‌ها که به‌عنوان روش‌های مدرن طراحی لرزه‌ای شناخته می‌شوند، کاهش پاسخ سازه‌ها از طریق افزایش پیوند و میرایی صورت می‌گیرد، نیازی به در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه نمی‌باشد و تحلیل طراحی آن‌ها در حالت خطی انجام می‌پذیرد که سبب می‌گردد محاسبات پیچیده و نیازمند دقت زیاد در انجام تحلیل‌ها و تفسیر نتایج کاهش یابد و در ضمن تحلیل و طراحی سازه‌های با سطح عملکرد بالاتر با استفاده از تجهیزات جاذب انرژی در عمل رواج یابد. (Nekooei and Ziayefar, 2008)

### سازه‌های جداسازی شده جرمی

در روش‌های جداسازی لرزه‌ای همچون جداسازی پایه، نرمی لایه‌های جداگر سبب افزایش پیوند سازه و کاهش نیروهای وارده به سازه می‌شود. در این روش علاوه بر جرم سازه، سیستم سختی جانبی آن نیز از زمین جدا می‌گردد (شکل ۱-الف). از آنجایی‌که جرم عامل اصلی جاذب



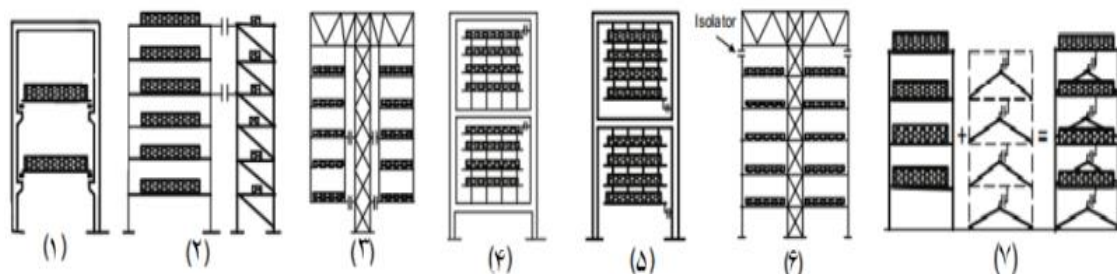
انرژی در سازه است اگر بتوان فقط جرم را از منبع ایجاد انرژی (زمین) جدا نمود، می توان کارایی سیستم را بالا برد و در ضمن هزینه های ساخت را کاهش داد که در یک طبقه بندی با نام روش های جداسازی جرمی<sup>۱</sup> قرار می گیرند (Ziyaeifar and Noguch, 1998 و Ziyaeifar, 2002). این که بتوان تمامی جرم ساختمان را از سیستم سختی جانبی آن جدا نمود غیرممکن است، اما راه حل هایی مناسبی وجود دارد که بتوان مقدار عمده ای از جرم سیستم را جدا نمود. چندین نمونه از روش های جداسازی شده جرمی در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۱: نمایش شماتیک روش های جداسازی لرزه ای

در شکل (۲-۱) جرم تک تک طبقات از سازه اصلی توسط ایزولاتورهای لرزه ای جدا شده که موجب افزایش پیروی و ایجاد ظرفیت افزایش میرایی در محل اتصال سازه به جرم طبقات شده است. شکل (۲-۲) سازه به دو زیرسیستم سخت و نرم تقسیم شده است، در نتیجه پیروی زیرسیستم نرم افزایش یافته و تغییر مکان سازه نرم توسط میراگر موجود بین دو سیستم کنترل می شود؛ که در این مطالعه به بررسی رفتار لرزه ای این نوع سازه های جداسازی شده جرمی پرداخته شده است.

شکل (۲-۳) سازه به دو قسمت سخت و نرم تقسیم شده است که یک هسته سخت مرکزی که در بام به یک خرپا توسط کابل متصل شده است نقش تحمل وزن طبقات پایین را عهده دار است. طبقات آویزان به صورت آونگ عمل کرده و پیروی ارتعاشی بالایی دارند و تغییر مکان های طبقات توسط میراگرهای متصل به هسته سخت کاهش می یابد. در شکل (۲-۴) و (۲-۵) طبقات سازه در مجموعه ای بزرگ تر با پیوندهای بلند که توسط میراگر به سازه اصلی (سخت) وصل شده اند. در شکل (۲-۶) هسته ای T شکل، به اجزای سازه ای سخت (ستون های قائم) توسط میراگرها متصل شده است. شکل (۲-۷) دو قسمت سخت و نرم در داخل یکدیگر قرار دارند که در ساختمان ها متداول است. قسمت نرم قاب اصلی سازه با رفتار خمشی است که توسط میراگر به قسمت سخت این سیستم که مهاربندها هستند، متصل شده است.

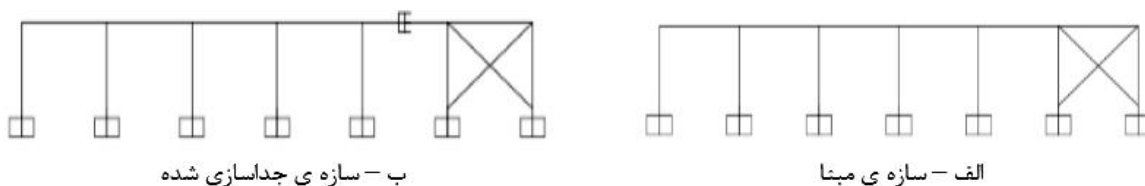


شکل ۲: روش های مختلف جداسازی جرمی

## مدل سازی سازه جداسازی شده جرمی

### بررسی مدل

ابتدا یک مدل ساده مطابق شکل (۳) برای بررسی رفتار کلی سازه های مورد مطالعه، در نرم افزار سپ مدل شده است.



شکل ۳: مدل کلی سازه ی مورد مطالعه

## 1. Mass Isolation

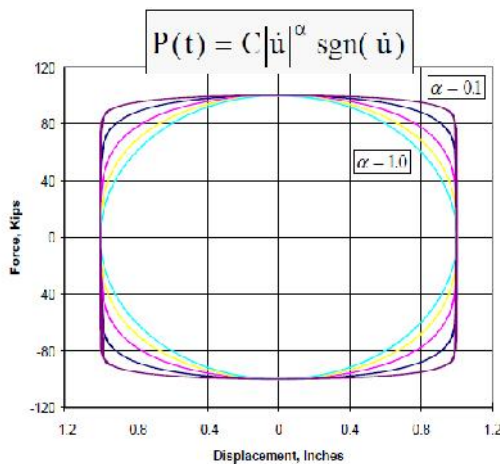


در این مثال، سازه‌ی مبنا شکل (۳-الف) کوتاه بوده و پریود ارتعاش آن در محدوده‌ی ۰.۶ ثانیه است. با جداسازی قسمت سخت و نرم سازه شکل (۳-ب)، دو زیر سازه حاصل می‌شود که پریود زیرسیستم سخت در محدوده‌ی ۰.۵ ثانیه و زیرسیستم نرم ۲.۵ ثانیه است. سپس این دو بخش از سازه به وسیله‌ی میراگرهای مختلف به هم متصل می‌شوند. در مشابه‌سازی با سازه‌ی اولیه فرض می‌شود که ثابت میرایی میراگر به بی‌نهایت میل می‌کند. در این حالت دو سازه‌ی نرم و سخت به هم متصل شده که پریود سازه‌ی حاصل همان ۰.۶ ثانیه خواهد شد. بررسی رفتاری و عملکردی سازه‌ی جداسازی شده در مقایسه با سازه‌ی مبنا، در سه فاز انجام گرفته است:

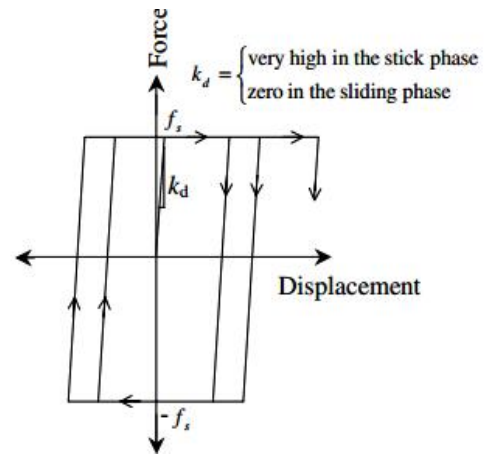
- در مرحله نخست عملکرد سازه‌ی جداسازی شده هنگامی که دو زیرسیستم جرم و سختی توسط میراگر ویسکوز خطی، غیرخطی ( $\Gamma = 0.3$ ) و اصطکاکی به هم متصل شده‌اند، بررسی می‌شود.
- در مرحله‌ی دوم با افزودن درصدی از نیروی اصطکاک (۵ تن) به میراگر ویسکوز، بهبود در عملکرد رفتاری سازه‌ی جداسازی شده، در صورت استفاده از این نوع میراگرها مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- در مرحله‌ی سوم، نتایج حاصل از دو گام پیشین به بهبود عملکرد لرزه‌ای قاب هفت طبقه، تعمیم داده می‌شود.

### بررسی میراگرهای مورد استفاده

شکل (۴) منحنی چرخه‌ای یک میراگر اصطکاکی را نشان می‌دهد. در شکل (۵) مقایسه منحنی نیرو-تغییر مکان میراگر ویسکوز خطی و غیرخطی به فرم  $F = CV^\Gamma$  آورده شده است. سطح زیر منحنی در میراگر ویسکوز غیرخطی ( $\Gamma < 1$ ) به مستطیل نزدیک‌تر است و در اتلاف انرژی ورودی مؤثرتر از میراگرهای خطی ( $\Gamma = 1$ ) عمل می‌کند.



شکل ۵: منحنی نیرو-تغییر مکان میراگر ویسکوز خطی و غیرخطی



شکل ۴: منحنی چرخه‌ای یک میراگر اصطکاک

معادله‌ی حرکت دو سازه‌ی متصل شده با میراگر ویسکوز و با میراگر اصطکاکی به ترتیب در رابطه‌ی (۶-۱) و رابطه‌ی (۶-۲) آورده شده است:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + C_d \dot{x}^\Gamma + Kx = -M\ddot{x}_g \quad (1)$$

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = -M\ddot{x}_g + F_D \quad (2)$$

در رابطه‌ها  $M, C, K$  به ترتیب ماتریس جرم، میرایی و سختی دو سازه متصل شده با میراگر،  $-M\ddot{x}_g$  نیروی زلزله،  $F_D$  نیروی ایجاد شده در میراگر اصطکاکی است که به کاهش نیروی ناشی زلزله در دو زیرسیستم جرم و سختی کمک می‌کند.  $C_d$  میرایی افزوده شده به سیستم ناشی از حضور میراگر ویسکوز بین دو زیرسیستم جرم و سختی است. (Bhaskararao and Jangid2004)

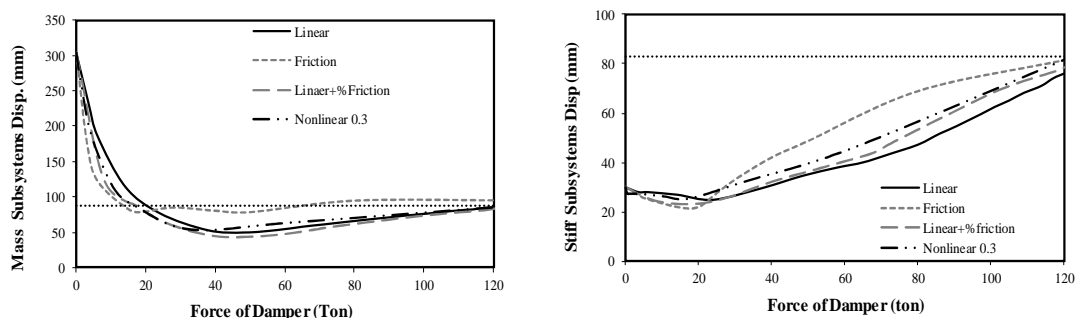
### مطالعات تاریخی زمانی مدل جداسازی شده

در این بخش رفتار لرزه‌ای سازه‌ی جداسازی شده در مقایسه با سازه‌ی مبنا (قسمت نرم و سخت به صورت صلب به یکدیگر متصل هستند)، تحت زلزله سنترو مورد بررسی قرار گرفته است.

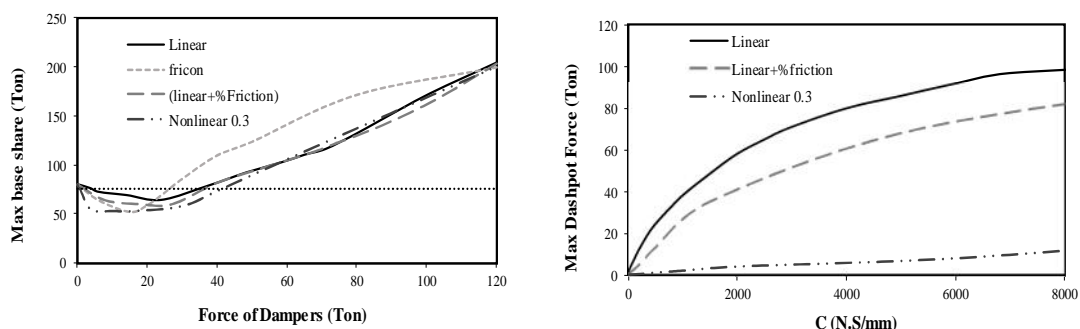
در طراحی لرزه‌ای به روش‌های کلاسیک، نیروی محاسبه شده از آنالیز الاستیک با فرض شکل‌پذیری سیستم سازه‌ای، بر ضریب رفتار (R) تقسیم می‌شود. در این روش سازه با داشتن مفاصل پلاستیک متعدد تحت بارگذاری لرزه‌ای قرار می‌گیرد که سطح عملکرد مناسبی در زلزله‌های بزرگ نخواهد داشت. در روش‌های نوین طراحی لرزه‌ای، مسئله عملکرد سازه در سطوح بالاتر مطرح می‌شود که بر این اساس سازه پس از زلزله باید در محدوده‌ی عملکردی بالاتری نسبت به سازه‌های شکل‌پذیر قرار داشته باشد. در سازه‌های جداسازی شده، حضور میراگر در محدوده‌ی نیرویی خاصی، باعث بهبود عملکرد و کاهش نیروهای ایجادشده در آن نسبت به سازه‌ی اصلی می‌گردد. در مدلی که برای سازه‌های جداسازی شده جرمی مطرح شده است، سازه‌ی سخت همانند روش‌های طراحی کلاسیک بر اساس نیرو (برش پایه) طراحی می‌شود تا در حین زلزله بتواند نیروهای ناشی از سازه نرم را تحمل کند و در صورتی امکان‌پذیر است که سازه سخت وارد مرحله تشکیل مکانیزم و یا تغییر مکان‌های پلاستیک بالا نشود. در این مطالعه به منظور دستیابی به نقطه‌ی عملکردی بالاتر در سازه جداسازی شده در مقایسه با سازه‌ی مبنا، انتظار می‌رود نیروهای طراحی سازه‌ی جداسازی شده به میزان  $\frac{1}{3}$  نیروی الاستیک سازه در حالت غیر جداسازی (هنگامی که دو سازه سخت و نرم به صورت صلب به هم متصل شده‌اند) برسند. (گیدفر و ضیایی فر ۱۳۸۹) این خط ( $\frac{1}{3}$  برش پایه در سازه مبنا) به صورت نقطه‌چین افقی در شکل (۸) قابل مشاهده است. اگر تغییر مکان الاستیک در سازه‌ی مبنا را معیار طراحی زیرسیستم نرم قرار دهیم، برای دستیابی به عملکرد بالاتر در سازه‌ی جداسازی شده نسبت به سازه‌ی مبنا، ترجیح داده می‌شود که تغییر مکان‌های آن در محدوده‌ای کمتر از تغییر مکان‌های سازه‌ی مبنا باشد. این خط به شکل نقطه‌چین افقی در نمودارهای نیرو  $\Delta$  تغییر مکان زیرسیستم جرمی رسم شده است. اگر تغییر مکان زیرسیستم سخت را معادل نیروی ایجادشده در المان‌ها و در نتیجه افزایش میزان فولاد مصرفی در زیرسیستم سخت در نظر بگیریم، با افزایش نیرو در میراگرهای موجود بین دو زیرسیستم، میزان تغییر مکان ایجادشده در دو زیرسیستم سازه‌ای ابتدا کاهش می‌یابد تا به مقدار کمینه‌ی برسد از این نقطه به بعد با افزایش نیروی ایجادشده در میراگر، تغییر مکان در دو زیرسیستم افزایش می‌یابد که حتی از مقدار بهینه برای بهبود عملکرد سیستم سازه‌ای (خط نقطه‌چین) نیز فراتر می‌رود.

## نتایج مطالعه‌ی تاریخی‌ی زمانی مدل جداسازی شده

در نمودارهای زیر عملکرد سازه‌ی جداسازی شده، با میراگر خطی، میراگر غیرخطی ( $\tau = 0.3$ )، میراگر اصطکاکی، میراگر خطی که دارای درصدی نیروی اصطکاک (۵ تن اصطکاک) است نشان داده شده است.



شکل ۶: حداکثر تغییر مکان زیرسیستم جرم و سختی در زلزله‌ی سنترو



شکل ۸: حداکثر برش پایه کل تحت زلزله‌ی سنترو

شکل ۷: حداکثر نیروی میرایی میراگرها در زلزله‌ی سنترو

نتایج حاصله از شکل (۶) مبین آن است، جداسازی موجب کاهش تغییر مکان در زیرسیستم جرم و سختی و بهبود عملکرد نسبت به سازه‌ی مبنا شده است. در شکل (۸) میزان برش پایه سازه جداسازی شده بیش از ۴۰٪ نسبت به سازه مبنا کاهش یافته است که می‌توان با طراحی سازه به روش‌های جداسازی، ضمن کاهش فولاد مصرفی، میزان تقاضای لرزه‌ای در سازه را به میزان چشم‌گیری کاهش داد. همان‌طور که در نمودار

(۷) قابل مشاهده است، حساسیت نیروی میرایی به تغییرات ضریب میرایی، در میراگر خطی بیشتر از حالت غیرخطی است که با افزودن درصدی از نیروی اصطکاک به میراگر خطی، می توان از این میزان کاست.

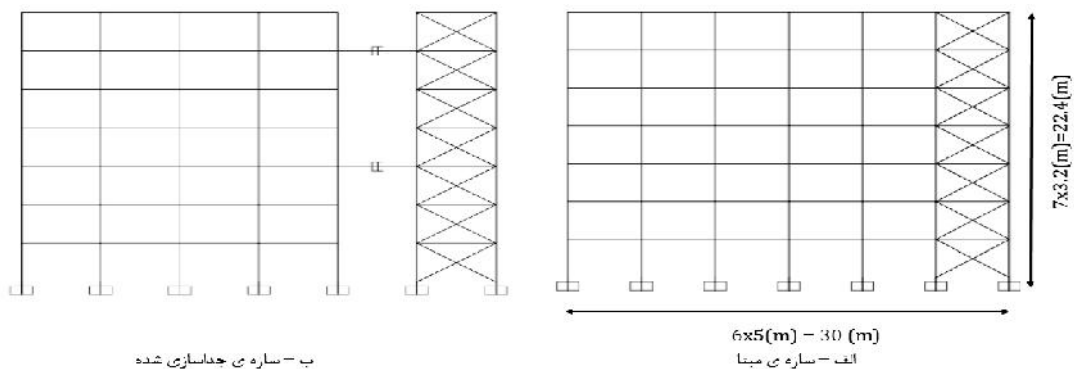
با توجه به نمودارهای فوق، عملکرد میراگر اصطکاک در محدوده نیروهای کم مناسب است و با افزایش نیروی ایجاد شده در میراگر میزان برش پایه و تغییر مکان در دو زیرسیستم نرم و سختی سریعاً افزایش می یابد که نسبت به سایر میراگرها نقش بسزایی در بهبود عملکرد رفتاری سازه های جداسازی شده نداشته است.

برتری میراگر غیرخطی در کاهش میزان برش پایه و کمتر بودن حساسیت پاسخ سازه به تغییرات نیرویی، در این میراگر است زیرا در حالت غیرخطی نیروی حاصله میراگر  $(F=CV^r)$ ، با توجه به سرعت کمتر از یک برای  $V$ ، نیازمند ثابت میرایی  $(C)$  بزرگی است تا نیروی حاصله بتواند نقش مؤثری در کنترل رفتار سازه و پایین آوردن تغییر مکان های آن داشته باشد که می توان با استفاده از این میراگر عملکرد سازه را به طور مناسبی بهبود بخشید.

در نمودارهای فوق، اگر هدف، بهبود عملکرد سازه با استفاده از میراگر خطی باشد، این میراگر در کاهش میزان برش پایه و تغییر مکان در دو زیرسیستم جرم و سختی، به نحو مؤثری عمل کرده است. همچنین با افزودن درصدی از نیروی اصطکاک به این میراگر عملکرد آن بهبود یافته است. در ادامه به بررسی رفتار لرزه ای قاب هفت طبقه جداسازی شده با استفاده از میراگر خطی و میراگر خطی که دارای درصدی نیروی اصطکاک (۵ تن) است، پرداخته می شود.

### نتایج مطالعات تاریخچهی زمانی قاب هفت طبقه جداسازی شده

در این بخش یک قاب هفت طبقه مطابق با استاندارد ۲۸۰۰، مطابق شکل (۹) در نرم افزار سپ مدل سازی شده است.



ب - سازه ی جداسازی شده

الف - سازه ی مبنا  
6x5(m) = 30(m)

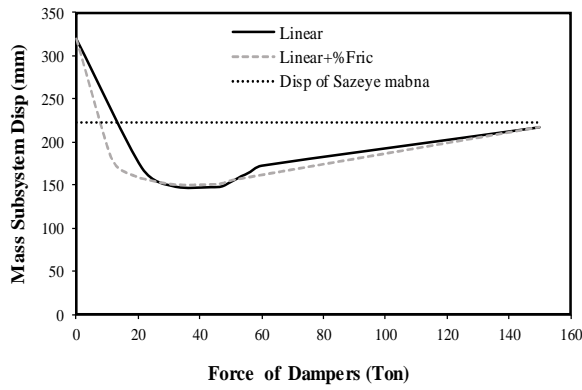
شکل ۹: مدل سازه ی هفت طبقه و محل قرار دادن میراگرها

پریود سازه ی مدل شده ۰.۶ ثانیه است؛ که پس از جداسازی پریود زیرسیستم جرمی به ۲.۲۵ و زیرسیستم سخت به ۰.۴۶ ثانیه رسیده است. برای بررسی عملکرد لرزه ای قاب مورد مطالعه، هفت شتاب نگاشت مطابق جدول انتخاب شده که بر اساس ضوابط موجود در آیین نامه ۲۸۰۰ ایران هم پایه شده اند. در ادامه میانگین پاسخ لرزه ای سازه برای هفت شتاب نگاشت هنگامی که دو زیرسیستم جرم و سختی به وسیله میراگر ویسکوز خطی و میراگر ویسکوز خطی که دارای درصدی نیروی اصطکاک است، در مقایسه با سازه ی مبنا (قسمت نرم و سخت به صورت صلب به یکدیگر متصل هستند) آورده شده است.

جدول (۱): مشخصات هفت زلزله مورد استفاده برای تحلیل لرزه ای

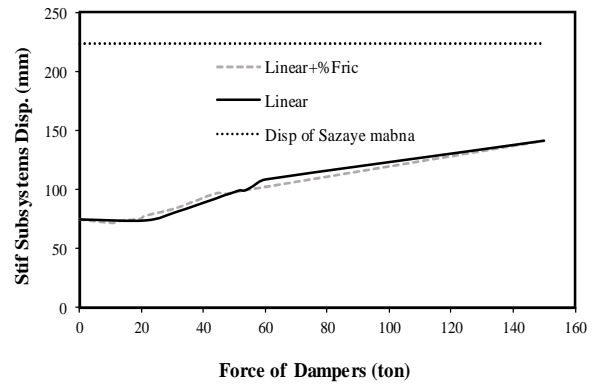
نام زلزله	مشخصات ایستگاه	مدت زمان زلزله (ثانیه)	PGA(g)
IMPERIAL VALLEY	10/15/79 2316, EL CENTRO ARRAY #11, 230	40	0.399
KOBE	01/16/95 2046, NISHI-AKASHI, 090 (CUE)	21	0.52
LANDERS	3/92 18:49, COOLWATER, TR (SC)	28	0.4
LOMA PRIETA	PRIETA 10/18/89 00:05, GILROY ARRAY #3	40	0.5718
SUPERSTITION HILLS	11/24/87 13:16, POE, 270 (USGS STATION t	23	0.3971
CAPE MENDOCINO	04/25/92 1806, RIO DELL OVERPASS FF, 360	18	0.5606
SAN FERNANDO	02/09/71 14:00, LA HOLLYWOOD STOR LOT	28	0.2109



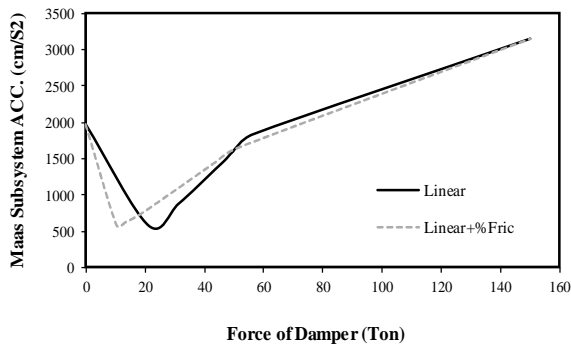


ب- حداکثر تغییر مکان زیرسیستم نرم

شکل ۱۰: میانگین حداکثر تغییر مکان زیر سازه‌ی نرم و سخت برای هفت زلزله

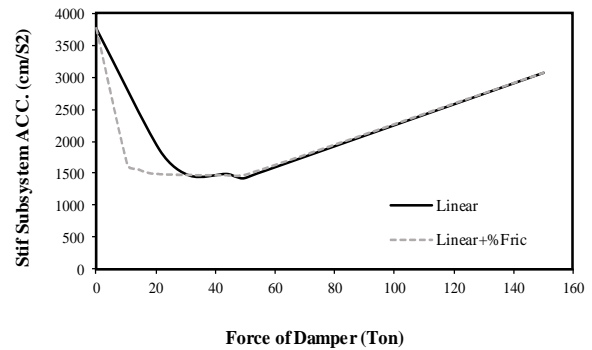


الف- حداکثر تغییر مکان زیرسیستم سخت

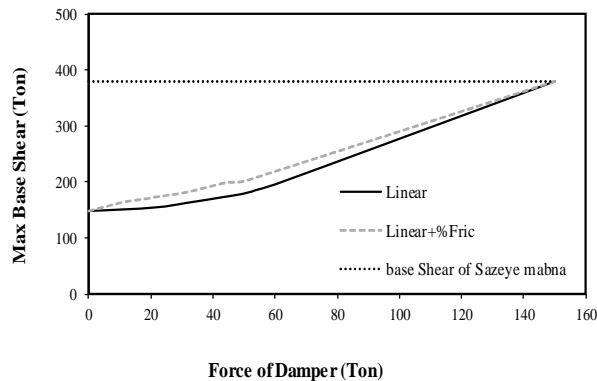


ب- حداکثر شتاب زیرسیستم نرم

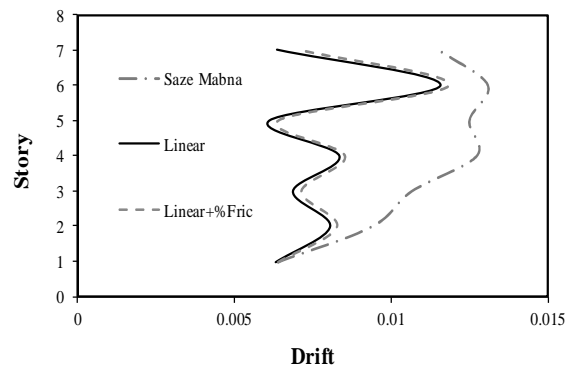
شکل ۱۱: میانگین حداکثر شتاب در زیر سازه‌ی نرم و سخت برای هفت زلزله



الف- حداکثر شتاب زیرسیستم سخت



(۱۳): میانگین برش پایه کل تحت هفت زلزله



شکل ۱۴: مقایسه میزان دررفت در زیرسیستم نرم شکل

از روند نمودارهای فوق مشخص است با جداسازی سازه و قرار دادن میراگرها مابین زیرسیستم جرم و سختی در دوطبقه، می‌توان عملکرد سازه‌ی مینا را بهبود بخشید. همچنین با افزودن درصدی از نیروی اصطکاک به میراگرهای ویسکوز، با صرف نیروی کمتر می‌توان به همان سطح عملکردی بهینه با میراگر ویسکوز خطی دست یافت.

به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در هر دو بخش از مدل‌سازی، سازه‌های جداسازی شده جرمی از عملکرد لرزهای بهتری در مقایسه با سازه‌ی مینا برخوردار هستند که سازه‌های معمول این تفاوت عملکردی را باید با رفتار غیرخطی خود به‌صورت مفاصل پلاستیک که اغلب قابل تعمیر بعد از زلزله نمی‌باشند، جبران کنند؛ بنابراین می‌توان روش‌های جداسازی جرمی را به‌عنوان یکی از روش‌های نوین طراحی لرزهای نام برد که در عین بالا بردن عملکرد لرزهای سیستم سازه‌ای، به لحاظ سهولت در اجرا و اقتصادی بودن، قابل‌رقابت با روش‌های متداول طراحی لرزهای می‌باشند.

## نتیجه گیری

در این مطالعه عملکرد سازه‌ی جداسازی شده در مقایسه با سازه‌ی مینا، در سه مرحله مورد بحث و بررسی قرار گرفت. هدف اصلی از انتخاب این سه مرحله، ارزیابی توانایی هر یک از میراگرها (ویسکوز خطی و غیرخطی، اصطکاکی و میراگر ویسکوز خطی که دارای درصدی نیروی اصطکاکی است) در بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده و دستیابی به نقطه‌ی عملکردی بالاتر در این گونه سازه نسبت به سازه‌های معمول است.

با افزودن درصدی از نیروی اصطکاکی به میراگرهای ویسکوز خطی علاوه بر بهبود عملکرد سازه، می‌توان به ظرفیت بالاتری از اتلاف انرژی در این میراگرها دست یافت و رفتار میراگرهای خطی را بهبود بخشید. جداسازی جرمی که موجب افزایش پیوند سازه‌ی جداسازی شده می‌شود که می‌توان تقاضای لرزه‌ای سازه را، به محدوددهی سازه‌هایی با پیوند بلند رساند و در نتیجه از میزان نیروی حاصله در اعضا به نحو مؤثری کاست. نتایج حاصله مبین آن است که چنانچه دقت کافی در تعیین ثابت میرایی بهینه برای هر یک از میراگرها بکار گرفته شود، می‌توان به نتایج مشابهی از عملکرد، در هر گروه از میراگرها دست یافت.

طی بررسی‌ها برای تعیین محل مناسب قرارگیری میراگرها در سازه‌ی هفت طبقه، به جای قرار دادن میراگر در همه‌ی طبقات، دو میراگر یکی در طبقه‌ی سوم و دیگری در طبقه‌ی ششم قرار داده شده که نتایج نشان می‌دهد عملکرد سیستم سازه‌ای نسبت به حالتی که دو سازه به صورت صلب به هم متصل هستند بهبود یافته است که به نوبه‌ی خود کاهش هزینه‌ی ساخت و خرید میراگرها را نیز به دنبال دارد.

## مراجع

گیدفر س (۱۳۸۵) بررسی یک الگوریتم کنترل نیمه فعال برای سازه‌های جداسازی شده جرمی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

Bhaskararao AV and Jangid RS (2004) Seismic response of Adjacent Buildings Connected With Dampers , *The 13th Engineering World Conf. on Earthquake*, Paper No.3143

Nekooei M and Ziyaeifar M (2008) Spectral Investigation on the Seismic Behaviour of Vertical Mass Isolated Structures Against Earthquake, *The 14th Engineering World Conf. on Earthquake*

Ziyaeifar M, Gidfar S and Nekooei M (2012) A model for Mass Isolation study in seismic design of structures, *STRUCTURAL CONTROL AND HEALTH MONITORING Struct. Control Health Monit.* 2012;19:627-64

Ziyaeifar M (2002) Mass isolation, concept and techniques, *European Earthquake Eng.*, 2:

Ziyaeifar M and Noguchi (1998) Partial mass Isolation in tall Buildings, *Earthquake Eng Struct. Dyn.*, 27: 49-65