

اثر جایگیری در ارتفاع میراگرهای جرمی بر روی کارایی آن‌ها در سازه‌های چند درجه آزادی

مرتضی بیگلی*

دانشجوی دکتری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

فرزان حداد شرق

استادیار، دانشکده مهندسی عمران، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

فیاض رحیم زاده رفوئی

استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

mbaigoly@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۲۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۶/۰۶

چکیده:

استفاده از میراگرهای جرمی تنظیم شده تک یا چندگانه یکی از روش‌های کاهش ارتعاشات سازه ناشی از زلزله در دهه‌های اخیر است. یکی از مشکلات استفاده از میراگرهای جرمی، فضای زیاد اشغال شده توسط این سیستم‌ها در سازه می‌باشد. این فضا گاهی می‌تواند مزاحمت‌هایی برای معماران سازه ایجاد نماید. نتایج پژوهش‌های پیشین نشان‌دهنده این موضوع است که میراگرهای تنظیم شده بر مود اول سازه، با قرارگیری در طبقه بام، بیشترین بازده را از خود نشان می‌دهند. ولی در برخی از سازه‌ها به دلیل محدودیت‌های معماری، اجرای آن‌ها در طبقه بام مشکل ساز می‌شود و مناسب است میراگرها در دیگر طبقات سازه قرار بگیرند. در این پژوهش اثر جایگیری میراگر در طبقات مختلف سازه بر روی کارایی آن‌ها تحت تحلیل‌های تاریخچه زمانی بررسی خواهد شد. برای این منظور سه سازه ۵، ۱۵ و ۲۵ طبقه طراحی شده و میراگرهای جرمی تک برای هر یک ارائه می‌گردد. سپس این میراگرها در طبقات مختلف سازه قرار گرفته و تحت تحلیل تاریخچه زمانی قرار می‌گیرند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تغییر مکان میراگرها اثرات قانون‌مندی بر روی کارایی میراگرها دارد. این اثرات در قالب یک رابطه که در این پژوهش بدست آمده است قابل پیش‌بینی می‌باشد.

کلید واژگان: میراگر جرمی، کنترل سازه‌ها، جایگیری میراگرها، تحلیل تاریخچه زمانی، سازه چند درجه آزادی

۱- مقدمه

چند درجه آزادی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها جرم میراگر را به صورت ضریبی از جرم مود اول سازه محاسبه کردند و به این نتیجه رسیدند که با استفاده از جرم مودی می‌توان از نتایج سازه‌های یک درجه، برای سازه‌های چند درجه آزادی نیز استفاده کرد.

Igusa and Xu [5]، چگونگی اثرگذاری میراگر چندتایی تحت تحریک ارتعاشات تصادفی را بر روی سازه بررسی کردند و رابطه‌ای را به عنوان تابع پاسخ مختلط فرکانسی برای سازه شکل ۱ ارائه نمودند. Abé and Fujino [6] در پژوهشی تاثیر پارامترهای میراگرهای جرمی چندتایی را بر روی پارامترهای مودی سازه نهایی از جمله فرکانس‌ها، میرایی و شکل‌های مودی بررسی کردند. Kareem and Kline [7] به این نتیجه رسیدند بهترین تعداد میراگرها در سیستم‌های چندگانه در بازه فرکانسی بهینه ۱۱ عدد است و با افزایش تعداد میراگرها تاثیر آنچنانی در پاسخ رخ نمی‌دهد. Jangid [8] و Bandivaddekar and Jangid [9]، با هدف مینیمم سازی پاسخ حالت پایدار سازه تحت تحریک هارمونیک، میراگرهای جرمی چندگانه را بهینه سازی کردند و با استفاده از روش جست و جوی عددی روابطی را برای مقادیر بهینه ارائه نمودند.

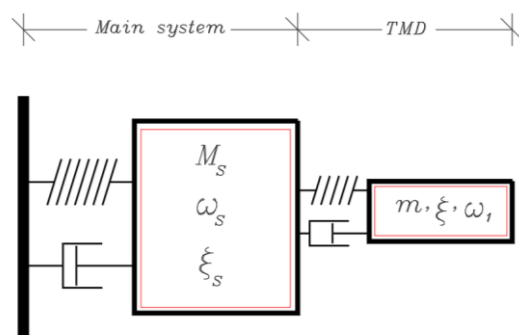
Farshidianfar and Soheili [10] پارامترهای طراحی TMD ها را برای کاهش ارتعاشات ساختمانهای بلند با توجه به اثر متقابل خاک و سازه بررسی کردند. Salvi and Rizzi [11]، با مدل سازی ۱۶ سازه مختلف و اعمال ۱۸ زلزله به سازه‌ها عملکرد مقادیر بهینه میراگرهای جرمی را مورد تحقیق قرار دادند. سازه‌های آنها بین ۱ تا ۴۰ طبقه ارتفاع داشتند و میراگر در طبقه بام و بر روی مود اول سازه تنظیم شد. آن‌ها نشان دادند در سازه‌هایی که ضریب جرم موثر دو مود اول سازه نهایی (برای سازه یک درجه آزادی + میراگر، مودهای اول و دوم) نزدیک به هم هستند، میراگرهای جرمی عملکرد مناسبی خواهند داشت. Sakr [12]، از جرم سقف به عنوان بخشی از جرم میراگرهای سیستم MTMD استفاده کردند. این روش عوارض ناشی از اضافه کردن جرم‌های عظیم مورد نیاز برای کنترل پاسخ سازه را کاهش می‌دهد و جرم سازه اصلی بدون بار اضافی باقی می‌ماند. Elias and et al [13]، اثر توزیع در ارتفاع میراگرهای جرمی تنظیم شده چندگانه را بر روی عملکرد دودکش‌ها در برابر نیروی باد بررسی کردند. Kim and Lee [14] توزیع خطی جرم را در سیستم های MTMD با استفاده از تئوری ارتعاشات تصادفی را بررسی کردند و اظهار داشتند که این نوع توزیع عملکرد مناسبی ندارد. Bekdas and et al [15] یک روش بهینه سازی جدید با استفاده از الگوریتم خفاش با چندین متغیر برای بهینه سازی TMD معرفی کردند. در این روش، پارامترهای طراحی مانند جرم، نسبت فرکانسی و نسبت میرایی TMD بهینه شده است. Baigoly and et al [16] با تعریف یک تابع هدف مبتکرانه مبتنی بر پاسخ‌های تحلیل طیفی، مقادیری بهینه برای پارامترهای بهینه میراگرهای جرمی را محاسبه کردند. تابع هدف آن‌ها بر اساس یکی کردن پاسخ‌های مودال سازه بدست آمده در تحلیل طیفی است.

یکی از مشکلات سیستم میراگر جرمی تنظیم شده، جایگیری زیاد آن است. در سازه‌های چند درجه آزادی، این سیستم‌ها اغلب در طبقه بام دارای بهترین کارایی هستند. با این وجود ممکن است به دلیل کاربردهای مختلف طبقه بام (به عنوان مثال روف‌گاردن)، اجرای میراگرها در طبقات بام غیر ممکن شود و بهتر است در دیگر طبقات سازه جایگیری گردد. جایگیری میراگر جرمی در دیگر طبقات باعث کاهش بازدهی آن‌ها می‌شود. هدف اصلی این پژوهش بررسی مقدار کاهش بازدهی میراگرهای جرمی تنظیم شده در صورت جایگیری آن در دیگر طبقات سازه است.

امروزه استفاده از سیستم‌های کنترل سازه از جمله میراگرهای جرمی یکی از روش‌ها معمول کاهش پاسخ بیشینه سازه در برابر ارتعاشات ناشی از زلزله است. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، میراگر جرمی تشکیل شده است از یک سیستم جرم و فنر و میرایی که به سازه اصلی متصل می‌شود. جرم میراگر همواره به صورت ضریبی از جرم سازه اصلی است که به صورت درصد مانند رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\mu = \frac{m}{M} \quad (1)$$

در رابطه بالا μ نسبت جرمی، m جرم میراگر و M جرم سازه اصلی می‌باشد. مقادیر معمول نسبت جرمی معمولاً بین ۰/۰۱ تا ۰/۱۰ انتخاب می‌شود.



شکل ۱- سیستم میراگر جرمی چندگانه

علاوه بر نسبت جرمی، نسبت فرکانسی و نسبت میرایی پارامترهای دیگر طراحی میراگرهای جرمی می‌باشند. نسبت فرکانسی به صورت رابطه زیر تعریف خواهد شد:

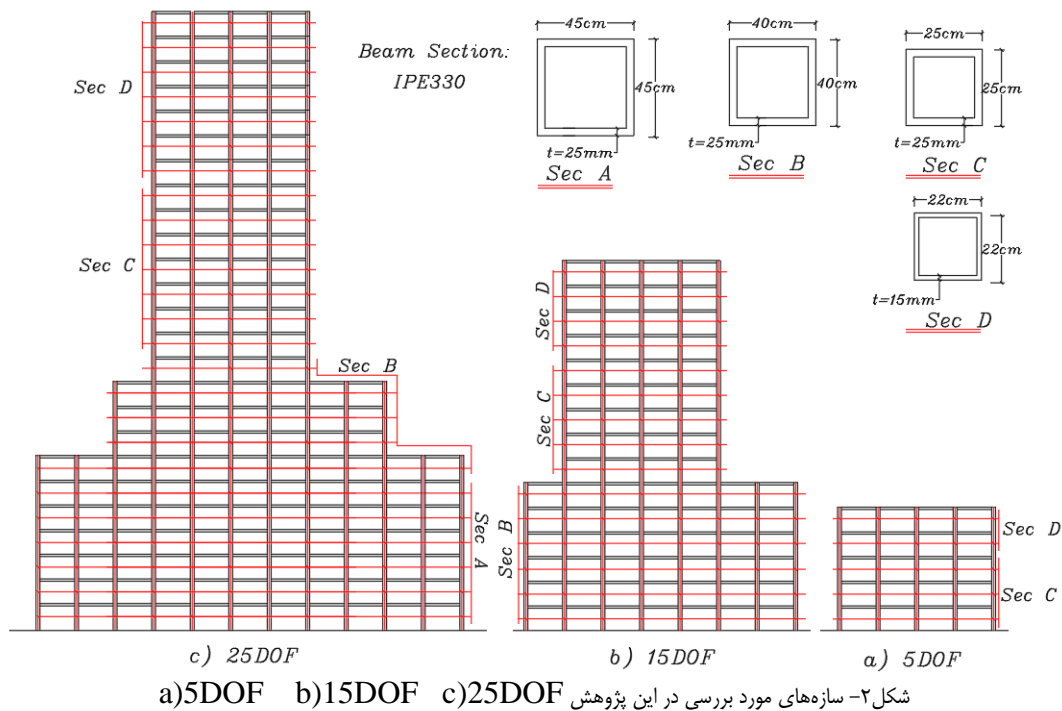
$$f = \frac{\omega_1}{\omega_s} \quad (2)$$

اولین بار Frahm [1] تئوری استفاده از میراگرهای جرمی را مطرح کرد. در این تئوری سازه اصلی و میراگر مورد استفاده فاقد میرایی بود. تئوری فرهام بعدها توسط Bishop and Welbourn [2] تکمیل تر شد. آن‌ها برای سازه اصلی میرایی در نظر گرفتند. Den Hartog [3] روابطی را برای پارامترهای طراحی میراگر جرمی بیان کرد. سازه اصلی در مدل دن‌هارتوگ، فاقد میرایی بود ولی برای میراگر، میرایی در نظر گرفته شد. Wirsching and Campbell [4] میراگر جرمی را برای سازه‌های

۲- معرفی سازه‌ها

سازه‌های مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. طول دهانه تیرها در تمامی سازه‌ها ۵ متر و ارتفاع طبقات ۳٫۲ متر می‌باشد. بارگذاری ثقیلی این سازه‌ها براساس مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان برای سازه‌هایی با کاربری مسکونی با عرض بارگیر ۶ متر برای تیرها، صورت گرفته است. همچنین بارگذاری جانبی براساس آئین نامه زلزله ۲۸۰۰ و طیف استاندارد منطبق بر خاک نوع ۳ انجام شد. سیستم لرزه‌ای سازه‌های زیر، قاب خمشی فولادی ویژه می‌باشد. در انتها، با استفاده از مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان مقاطع آن محاسبه گردید. این سازه‌ها در محیط SAP2000 طراحی و سپس برای تحلیل‌های تاریخچه زمانی در OpenSees مدل سازی شدند.

در این پژوهش، ۳ قاب ۵، ۱۵ و ۲۵ طبقه طراحی می‌شود. سپس برای سازه‌های ۵ و ۱۵ طبقه میراگر جرمی تنظیم شده با نسبت جرمی ۵ درصد و برای سازه ۲۵ طبقه، میراگر جرمی تنظیم شده با نسبت جرمی ۳ درصد طراحی می‌گردد که توضیحات تکمیلی آن در بخش ۳ مقاله ارائه خواهد شد. سپس این میراگرها به ترتیب در طبقات مختلف سازه قرار می‌گیرند و هر بار ۶۰ زلزله مختلف که در بخش ۴ معرفی می‌گردد، به آن‌ها اعمال می‌شود تا پاسخ بیشینه آن‌ها بدست آید. در انتها اثر جایگیری میراگرها در آن بررسی می‌شود.



براساس جداول موجود در پژوهش Baigoly and et al برای نسبت جرمی‌های فوق برداشت می‌گردند که این مقادیر در جدول زیر ارائه شده‌اند.
جدول ۱- ترکیب میراگرهای مورد استفاده در سازه‌ها

سازه	μ	f	ξ
5DOF	0.05	0.9315	0.103
15DOF	0.05	0.9315	0.103
25DOF	0.03	0.9574	0.0809

۳- معرفی میراگرهای جرمی تنظیم شده

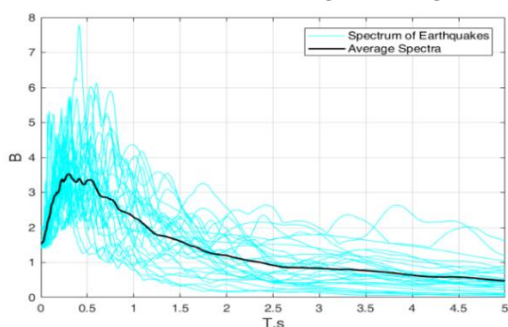
در این پژوهش میراگرهای جرمی تنظیم شده براساس پژوهش Baigoly and et al [16] طراحی شده‌اند. در پژوهش Baigoly and et al، نسبت جرمی میراگرها، براساس درصد کاهش ارتعاشات مورد نیاز سازه، انتخاب می‌گردد. از سویی دیگر به کمک تحلیل مودال، جرم موثر مود اول محاسبه شده و با ضرب آن در نسبت جرمی، جرم میراگر بدست می‌آید. همانطور که در بخش قبلی بیان شد، در پژوهش حاضر، برای سازه‌های ۵ و ۱۵ طبقه، نسبت جرمی ۵ درصد و برای سازه ۲۵ طبقه، نسبت جرمی ۳ درصد لحاظ می‌شود. این نسبت‌ها براساس مقادیر مورد استفاده در پژوهش Baigoly and et al انتخاب شده‌اند. در گام آخر، مقادیر نسبت فرکانسی و نسبت میرایی

۴- معرفی شتاب‌نگاشت‌ها

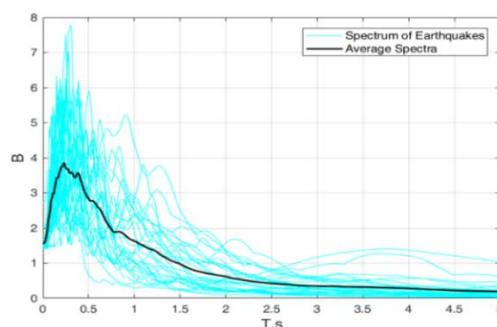
در آئین نامه‌های مختلف طراحی لرزه‌ای از جمله استاندارد ۲۸۰۰، سرعت موج برشی یکی از پارامترهای طبقه بندی خاک‌ها می‌باشد. همچنین در این آئین نامه پیشنهاد گردیده است که شتاب‌نگاشت‌های انتخابی برای استفاده در تحلیل تاریخچه زمانی بیشترین انطباق را از لحاظ لایه‌های خاک (میانگین سرعت موج برشی) با محل احداث سازه داشته باشد. همانگونه که در بخش ۲ بیان شد، طراحی سازه‌ها براساس طیف استاندارد خاک نوع ۳ انجام شده است. به همین دلیل ۳۰ شتاب‌نگاشت منطبق با خاک نوع ۳ با میانگین سرعت موج برشی 285.95 m/s آماده و به سازه اعمال می‌گردد. از سویی دیگر، برای بررسی نتایج این پژوهش بر دیگر زمین‌ها، ۳۰ شتاب‌نگاشت دیگر با میانگین سرعت موج برشی 708 m/s که منطبق بر خاک نوع ۲ هستند نیز در تحلیل تاریخچه زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تمامی این ۶۰ شتاب‌نگاشت دارای بزرگی ۶/۳ تا ۷ ریشتر و فاصله از گسل تقریباً ۱۲ تا ۲۰ کیلومتر می‌باشند. این رکوردهای زلزله از سایت Peer انتخاب شده‌اند.

روش‌های مقیاس سازی شتاب‌نگاشت‌ها در آئین نامه‌های مختلف تفاوت‌هایی باهم دارند و با پیچیده‌تر شدن روش آن دقت آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. اما روال معمول مقیاس سازی، به این صورت است که با اعمال ضرایب مناسب، شتاب‌نگاشت‌ها طوری مقیاس می‌شوند که در یک بازه پریودی در همسایگی پریود اصلی سازه، طیف پاسخ شبه شتاب آن‌ها، بیشترین انطباق را با ۱/۳ برابر طیف ساختگاه داشته باشند. برای مقیاس سازی بهتر است در گام اول PGA شتاب‌نگاشت‌ها به g مقیاس شوند و سپس طیف پاسخ آن‌ها با طیف موجود

در آئین نامه مقیاس گردد. شکل ۳، طیف پاسخ شتاب زلزله‌ها برای هر دو گروه شتاب‌نگاشت با $PGA=g$ را که با کمک نرم افزار SeismoSignal بدست آمده است را به همراه میانگین آن‌ها را نشان می‌دهد. توجه شود مقیاس کردن تمامی شتاب‌نگاشت‌ها، بر اساس طیف خاک نوع ۳ با پهنه لرزه‌ای با خطر زیاد انجام خواهد شد. پس از مقیاس سازی، ضرایب منحصر به فردی برای هر یک از زلزله‌ها بدست می‌آید که با ضرب کردن آن در شتاب نگاشت‌ها، پاسخ نهایی سازه تحت تمامی زلزله‌ها در نزدیکی هم و حدوداً برابر ۱/۳ برابر پاسخ طیف ساختگاه می‌شوند، بنابراین جابجایی سازه‌های بدون میراگر تقریباً برابر باهم است. پس از اضافه شدن میراگرها، برحسب محتوای فرکانسی زلزله‌ها، میراگرها کارایی مختلفی از خود نشان می‌دهند و نتایج متفاوت خواهد بود. در این پژوهش برای بررسی بهتر کارایی میراگرها از مقدار مطلق جابجایی بیشینه چشم پوشی شده و تنها درصد کاهش ارتعاشات توسط میراگرها بررسی می‌شود. در تحلیل‌های تاریخچه زمانی خطی، پس از اعمال ضریب اصلاحی مقیاس به هر زلزله، پاسخ سازه، با و بدون میراگر نیز دقیقاً با همان ضریب تغییر می‌کند. تغییر پاسخ سازه با میراگر و بدون میراگر با یک ضریب یکسان باعث می‌شود درصد کاهش ارتعاشات سازه با میراگر نسبت به سازه بدون میراگر ثابت باقی بماند. در نتیجه، درصد کاهش ارتعاشات در تحلیل تاریخچه زمانی خطی، مستقل از نحوه مقیاس سازی است. براساس آنچه که در آئین نامه ۲۸۰۰ گفته شده است، شتاب‌نگاشت‌های فوق برای سازه‌های تعریف شده مقیاس می‌شوند. در انتها سازه‌های معرفی شده در شکل ۲ به همراه میراگرهای جرمی تنظیم شده، با کمک نرم افزار OpenSees مدل می‌شوند و تحت تحریک ۶۰ شتاب نگاشت معرفی شده قرار می‌گیرند.



ب) شتاب نگاشت‌های منطبق بر خاک نوع ۳



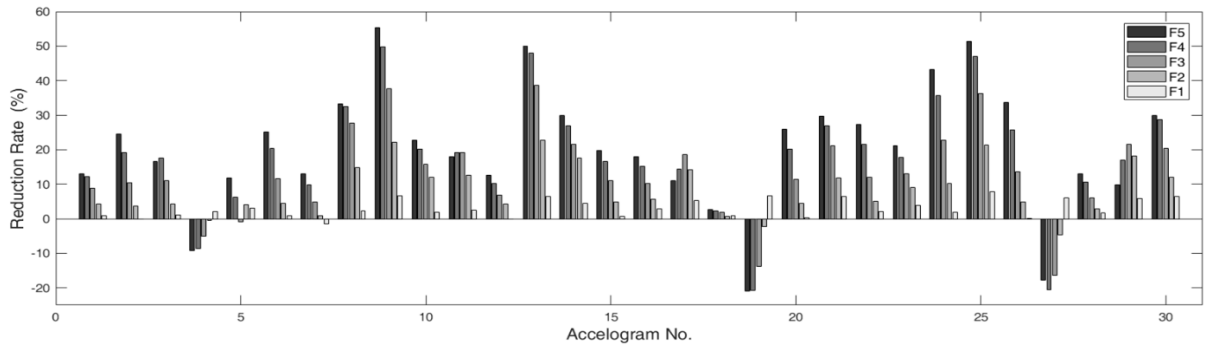
الف) شتاب نگاشت‌های منطبق بر خاک نوع ۲

شکل ۳- طیف پاسخ شتاب‌نگاشت‌های تعریف شده با $PGA=g$

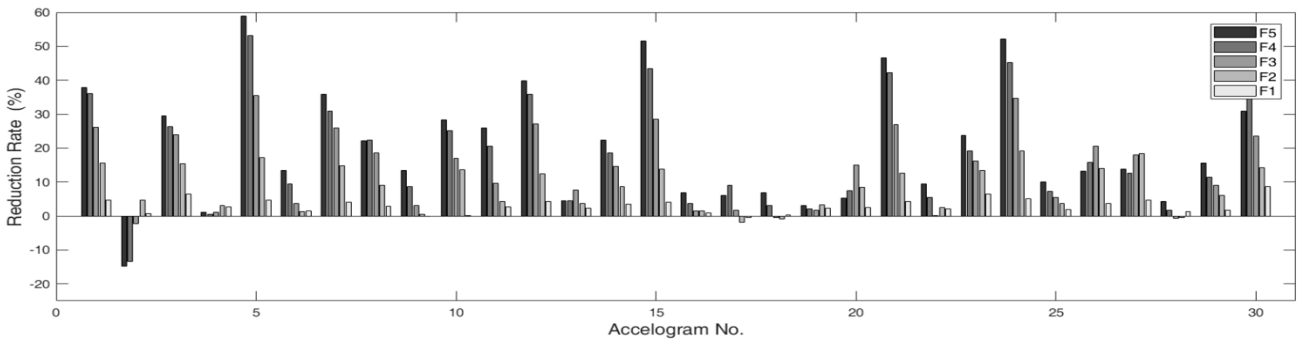
مقایسه با سازه‌های بدون میراگر محاسبه می‌شود. نتایج مربوط به درصد کاهش ارتعاشات در شکل‌های ۴ تا ۹ ارائه شده است. در شکل‌های زیر، F، طبقه قرار گیری میراگر است.

۵- خروجی تحلیل تاریخچه زمانی

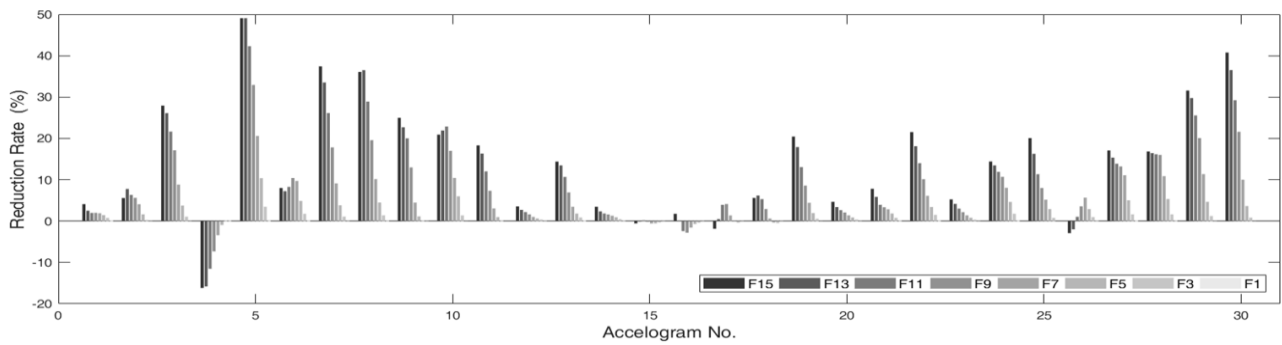
سازه‌های شکل ۲، با و بدون میراگرهای معرفی شده در بخش ۳ در نرم‌افزار OpenSees مدل سازی شده و سپس با ۶۰ شتاب‌نگاشت مختلف تحلیل می‌شوند. سپس درصد کاهش ارتعاشات سازه‌های مجهز شده به میراگر در



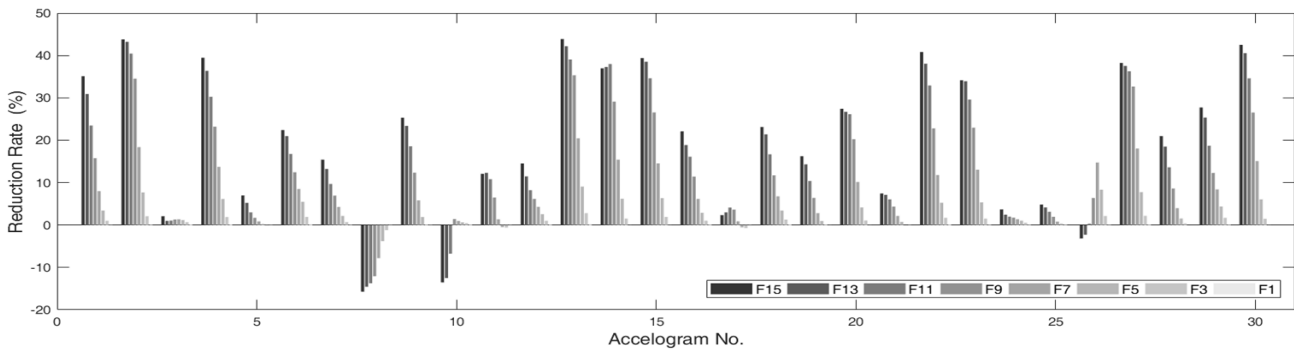
شکل ۴- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی برای سازه 5DOF در جایگیری های مختلف میراگرجرمی در شتابنگاشت های منطبق بر خاک نوع ۲



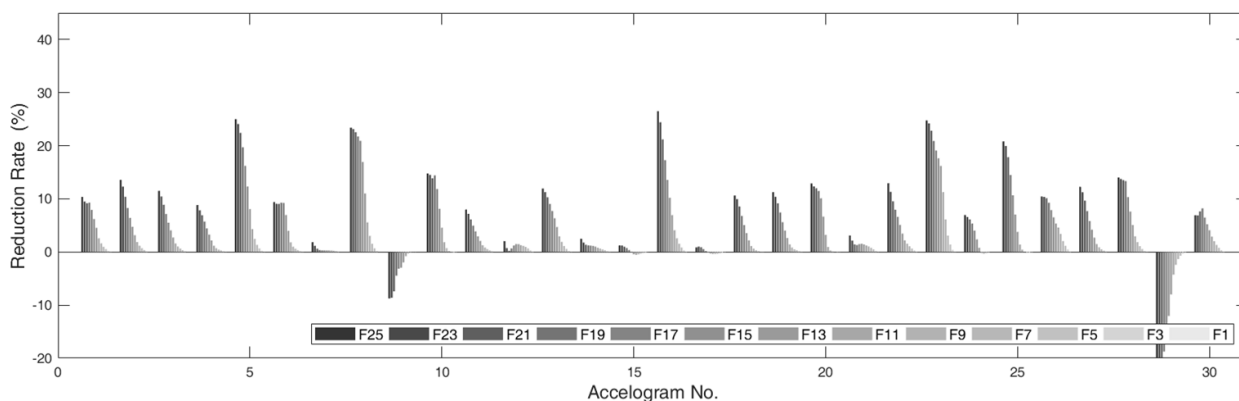
شکل ۵- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی برای سازه 5DOF در جایگیری های مختلف میراگرجرمی در شتابنگاشت های منطبق بر خاک نوع ۳



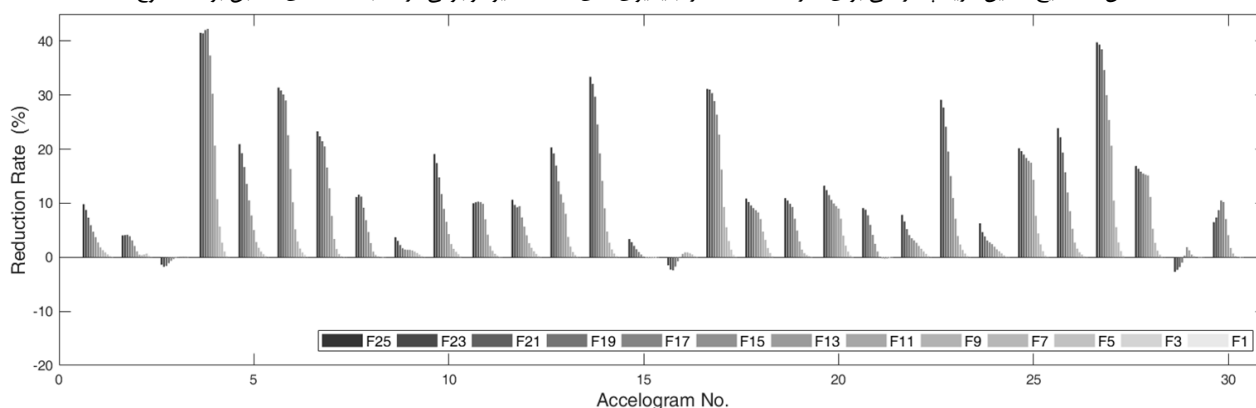
شکل ۶- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی برای سازه 15DOF در جایگیری های مختلف میراگرجرمی در شتابنگاشت های منطبق بر خاک نوع ۲



شکل ۷- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی برای سازه 15DOF در جایگیری های مختلف میراگرجرمی در شتابنگاشت های منطبق بر خاک نوع ۳



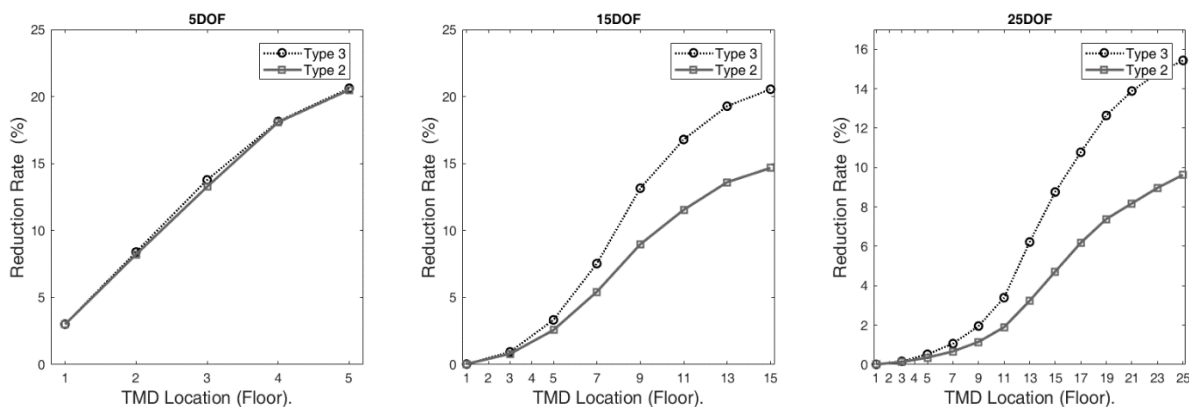
شکل ۸- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی برای سازه 25DOF در جایگیری های مختلف میراگر جرمی در شتابنگاشت های منطبق بر خاک نوع ۲



شکل ۹- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی برای سازه 25DOF در جایگیری های مختلف میراگر جرمی در شتابنگاشت های منطبق بر خاک نوع ۳

میراگرهای جرمی، در خاک نوع ۳ عملکرد بهتری نسبت به شتابنگاشت های منطبق بر خاک نوع ۲ ارائه می دهند.

در نمودارهای ۴ تا ۹ مشاهده می شود که بر طبق انتظار با پائین آمدن تراز ارتفاعی میراگرهای جرمی، کارایی آن ها نیز کاهش می یابد. شکل زیر، میانگین نتایج های شکل های فوق را نشان می دهد. در شکل ۱۰ مشاهده می شود که

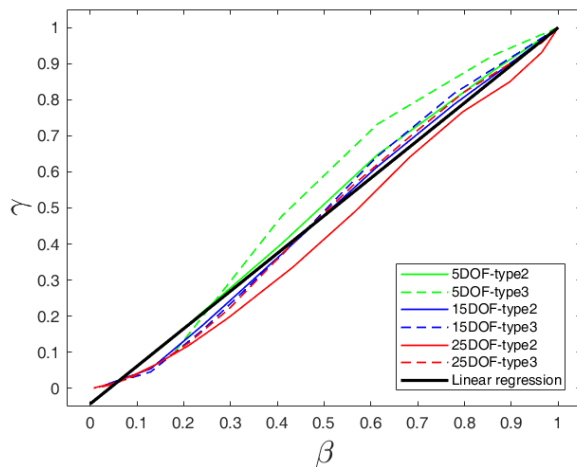


شکل ۱۰- میانگین نتایج تحلیل تاریخچه زمانی برای سازه معرفی شده در جایگیری های مختلف میراگر جرمی

توزیعی تقریباً خطی است. با رگرسیون خطی پیرامون نتایج سازه‌های مختلف رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\gamma(\beta) = 1.043\beta - 0.043 \quad (5)$$

در شکل ۱۲، علاوه بر نتایج سازه‌های مختلف، نمودار رابطه ۵ نیز رسم شده است.



شکل ۱۲- نمودار $\beta - \gamma$

در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که رفتار سازه‌ها در مقابل کاهش تراز ارتفاعی میراگرها تقریباً از معادله ۵ پیروی می‌کند. بنابراین با محاسبه β با توجه به شکل مودی و محل قرارگیری میراگرها، مقدار γ از رابطه ۵ بدست خواهد آمد. با ضرب این مقدار در بهترین جایگیری میراگرها، یعنی طبقه بام، می‌توان عملکرد میراگر جرمی تنظیم شده در هر طبقه از سازه را محاسبه کرد.

۶- نتیجه‌گیری

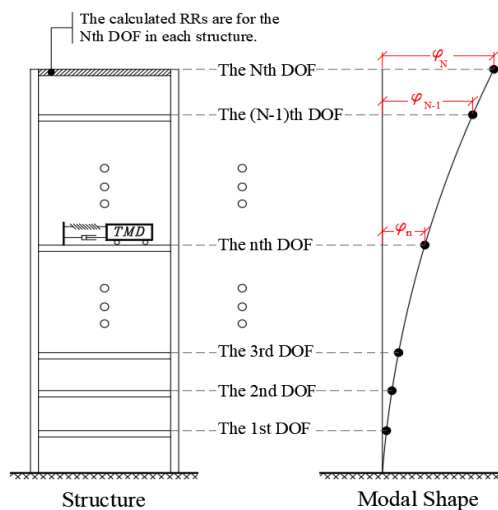
هدف این پژوهش ارزیابی اثر جایگیری میراگر جرمی تنظیم شده در طبقات مختلف سازه بر روی کارایی آن‌ها می‌باشد. برای دستیابی به این هدف ابتدا، ۳ سازه ۵، ۱۵ و ۲۵ طبقه طراحی شد. سپس برای هر سازه میراگر جرمی تک با نسبت جرمی ۵ درصد برای سازه ۵ و ۱۵ و ۳ درصد برای سازه ۲۵ طبقه طراحی گردید. این میراگرها در طبقات مختلف سازه قرار گرفت و در نهایت، سازه‌های بدست آمده تحت تحلیل ۶۰ شتاب‌نگاشت مختلف قرار گرفتند. نتایج این پژوهش نشان داد که با کاهش تراز ارتفاعی میراگرها، کارایی آن‌ها کاهش می‌یابد. این کاهش کارایی از رابطه ۵ پیروی می‌کند. نتایج این پژوهش می‌تواند

همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، تغییرات میانگین درصد کاهش ارتعاشات در سازه‌های مختلف، از یک الگوی تقریباً مشابه در تمامی سازه‌ها پیروی می‌کند. براساس پژوهش [17] Clark اگر جرم میراگر در مکانی که دارای بیشترین دامنه ارتعاشی در شکل مودی است قرار بگیرد، بهترین کارایی را از خود ارائه می‌دهد. با توجه به اینکه میراگرهای جرمی مورد استفاده در این پژوهش بر روی مود اول سازه تنظیم شده و این مود در طبقه بام دارای بیشترین دامنه ارتعاشی می‌باشد. نتیجه پژوهش کلارک با نمودارهای فوق کاملاً هماهنگی دارد. در این بخش اثر کاهش کارایی میراگرها به کاهش دامنه جابجایی آن‌ها در درجات آزادی مختلف سازه بررسی می‌شود. به همین منظور تغییر متغیرهای زیر تعریف می‌شود:

$$\gamma = \frac{RR_n}{RR_N} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{\varphi_n}{\varphi_N} \quad (4)$$

همانگونه که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، در روابط بالا، N مربوط به درجه آزادی است که بیشترین ارتعاش را در شکل مودی دارد (طبقه بام) و n مربوط به طبقه‌ای هست که میراگر در آن جایگیری گردیده. RR_N درصد کاهش ارتعاشات طبقه بام هنگامی که میراگر در طبقه n قرار گرفته و RR_n درصد کاهش ارتعاشات طبقه بام هنگامی که میراگر در طبقه n قرار گرفته است می‌باشد. φ_n و φ_N دامنه ارتعاشی طبقات بام و طبقه n در شکل مودی است.



با رسم نمودار $\beta - \gamma$ برای سازه‌های مختلف ارائه شده، شکل ۱۲ بدست می‌آید. در این شکل مشاهده می‌شود که نمودار $\beta - \gamma$ دارای

- Earthquake Engineering. 2017 Oct 1;101:67-80.
- 12) Sakr TA. Vibration control of buildings by using partial floor loads as multiple tuned mass dampers. HBRC journal. 2017 Aug 1;13(2):133-44.
 - 13) Elias S, Matsagar V, Datta TK. Distributed multiple tuned mass dampers for wind response control of chimney with flexible foundation. Procedia engineering. 2017 Jan 1;199:1641-6.
 - 14) Kim SY, Lee CH. Optimum design of linear multiple tuned mass dampers subjected to white-noise base acceleration considering practical configurations. Engineering Structures. 2018 Sep 15;171:516-28.
 - 15) Bekdaş G, Nigdeli SM, Yang XS. A novel bat algorithm based optimum tuning of mass dampers for improving the seismic safety of structures. Engineering Structures. 2018 Mar 15;159:89-98.
 - 16) Baigoly M, Shargh FH, Rofooei FR. A new study in designing MTMDs in SDOF and MDOF systems based on the spectral analysis method. Earthquakes and Structures [Internet]. 2020 Oct 25;19(4):243-59.
 - 17) Clark AJ. Multiple passive tuned mass dampers for reducing earthquake induced building motion. In Proceedings of the 9th world conference on earthquake engineering, Tokyo-Kyoto, Japan 1988 Aug 2 (Vol. 779, p. 784).
- کمک مهمی به طراحان سازه برای انتخاب بهترین مکان میراگر با توجه به محدودیت‌های معماری انجام دهد.
- ### ۷- منابع
- 1) Frahm H. Device for damped vibration of bodies. US Pat. 1909.
 - 2) Bishop RE, Welbourn DB. The problem of the dynamic vibration absorber. Engineering, London. 1952 Dec 19;174:769.
 - 3) Den Hartog JP. Mechanical vibrations. Courier Corporation; 1985.
 - 4) Wirsching PH, Campbell GW. Minimal structural response under random excitation using the vibration absorber. Earthquake Engineering & Structural Dynamics. 1973;2(4):303-12.
 - 5) Xu K, Igusa T. Dynamic characteristics of multiple substructures with closely spaced frequencies. Earthquake engineering & structural dynamics. 1992;21(12):1059-70.
 - 6) Abé M, Fujino Y. Dynamic characterization of multiple tuned mass dampers and some design formulas. Earthquake engineering & structural dynamics. 1994 Aug;23(8):813-35.
 - 7) Kareem A, Kline S. Performance of multiple mass dampers under random loading. Journal of structural engineering. 1995 Feb;121(2):348-61.
 - 8) Jangid RS. Optimum multiple tuned mass dampers for base-excited undamped system. Earthquake engineering & structural dynamics. 1999 Sep;28(9):1041-9.
 - 9) Bandivadekar TP, Jangid RS. Optimization of multiple tuned mass dampers for vibration control of system under external excitation. Journal of Vibration and Control. 2013 Sep;19(12):1854-71.
 - 10) Farshidianfar A, Soheili S. Ant colony optimization of tuned mass dampers for earthquake oscillations of high-rise structures including soil-structure interaction. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2013 Aug 1;51:14-22.
 - 11) Salvi J, Rizzi E. Optimum earthquake-tuned TMDs: Seismic performance and new design concept of balance of split effective modal masses. Soil Dynamics and

The Effect of Tuned Mass Damper Location on its Performance in MDOF Structures

Morteza Baigoly*

Department of College of Civil Engineering, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Farzan H. Shargh

Department of College of Civil Engineering, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Fayaz R. Rofooei

Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.

*mbaigoly@yahoo.com

Abstract:

The use of single or multiple tuned mass dampers is one of the methods to reduce earthquake vibrations caused by earthquakes in recent decades. One of the problems with using mass dampers is the large amount of space occupied by these systems in the structures. This space can sometimes make a lot of trouble for structural architects. The results of previous researches indicate that the dampers tuned on the first mode of the structure located on the roof floor, exhibit the highest efficiency. However, in some structures, due to architectural limitations, their implementation on the roof floor becomes problematic and it is appropriate to place dampers on other floors of the structure. In this research, the effect of damper placement on different floors of structures on their performance will be investigated under time history analysis. For this purpose, three structures of 5, 15, and 25 stories are designed and mass dampers are provided for each of them. These dampers are then placed on different floors of the structure and are analyzed. The results of this study present that the relocation of dampers has regulatory influences on the performance of dampers. These effects can be predicted in the form of an equation obtained in this study.

Keywords: Tuned mass dampers, Control of structures, Damper location, Time history analysis, MDOF systems