

Investigation the Effects of Multiple Tuned Mass Damper on Reduction of Seismic Parameters of Tall Buildings Regular and Irregular on Plan in Steel Flexible Structures Under Near and Far-Fault Earthquakes

Mohsen Khazaei¹, Reza Vahdani^{2*}, Ali Kheyroddin³

1- Phd student, Department of Civil engineering, Semnan University, Semnan, , Iran

2- Assistant Professor, Department of CivilEngineering, Semnan University, Semnan, Iran

3- Professor, Department of Civil Engineering, Semnan University, Seman, Iran

ABSTRACT

The tuned mass damper is one of the latest structural control system that helps the structure to damp the dynamics loads. So far using the Tuned Mass Damper (TMD) on the roof or a few dampers was installed at several points at the height of the building or other levels of the building was popular, but this system has some disadvantages like considering a significant mass as overhead which requires special material and enough space to install. Therefore, in this research the efficiency of Multiple Tuned Mass Damper (MTMD) in tall building is investigated. Also the effects of MTMD on regular and irregular tall moment resisting buildings are studied. The 10,15 and 20 story buildings with regular and irregular U and L shapes are modelled, analysed and designed, using the SAP 2000. Then the models equipped with MTMD and analysed in nonlinear dynamic mode under the earthquake records of the near and far fault, using OPENSEES. Afterwords, the models compared considering different earthquake records. finally the results showed the MTMD on the roof had seismic performance with 40% reduction of the base shear, 30% reduced absolute displacement of the stories and 35% smaller acceleration, which increased the efficiency of the models and the situation have improved their seismicity.

ARTICLE INFO

Receive Date: 18 March 2019

Revise Date: 20 May 2021

Accept Date: 01 June 2019

Keywords:

Multiple Tuned Mass Damper
Steel Structure
Tall building
Irregularity on plan
Nonlinear Dynamic Analysis

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2019.176558.1811

*Corresponding author: Reza Vahdani
Email address: rvahdani@semnan.ac.ir

بررسی اثرات میراگر جرمی چندگانه در کاهش پارامترهای لرزه ای ساختمانهای بلند قاب خمشی فولادی منظم و دارای نامنظمی در پلان تحت زلزله های حوزه دور و

نزدیک

محسن خزائی^۱، رضا وهدانی^{۲*}، علی خیرالدین^۳

۱- دانشجوی دکتری زلزله دانشگاه سمنان، ایران

۲- استادیار، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان، ایران

۳- استاد، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه سمنان، ایران

چکیده

میراگر جرمی تنظیم شده نوع جدیدی از سیستمهای کنترل سازه می باشد که باعث افزایش اتلاف انرژی میرایی تحت نیروهای خارجی در سازه می گردد. تاکنون در بیشتر موارد تنها یک میراگر جرمی تنظیم شده (*TMD (Tuned Mass Damper)* در بام ساختمان و یا چند میراگر محدود در چندین نقطه در ارتفاع ساختمان نصب می شد، که این مستلزم در نظر گرفتن جرم قابل توجه در نقاطی از سازه به عنوان سربار و همچنین در نظر گرفتن فضایی قابل توجه برای نصب این جرم و از آن مهمتر پیش بینی جرمی که جرم مورد نیاز را تامین کند می باشد. لذا در این تحقیق کارایی میراگر جرمی تنظیم شده توزیعی در طبقات (*MTMD*) در ساختمان بلند مورد بررسی قرار گرفته و به اثرات میراگر جرمی چندگانه بر روی ساختمان های بلند قاب خمشی فولادی منظم و دارای نامنظمی در پلان پرداخته شده است. مدل‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰ طبقه با پلان های منظم و دارای نامنظمی به شکل *L, U* در نرم افزار *SAP2000* مورد تحلیل و طراحی قرار گرفته، سپس در نرم افزار *OPENSEES* مجهز به میراگر جرمی چندگانه شده و تحت رکورد های دور و نزدیک از گسل تحلیل دینامیکی غیرخطی شده و مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته اند. نتایج نشان می دهد که میراگر جرمی که در طبقات بام قرار گرفته اند از نظر برش حدود ۴۰ درصد کاهش، از نظر جابجایی مطلق طبقات حدود ۳۰ درصد کاهش و از نظر شتاب طبقات حدود ۳۵ درصد کاهش بوده که باعث افزایش کارایی مدل ها شده و وضعیت لرزه ای آنها را بهبود بخشیده اند.

کلمات کلیدی: میراگر جرمی چندگانه، قاب خمشی فولادی، ساختمان بلند، نامنظمی در پلان، تحلیل دینامیکی غیرخطی

| سابقه مقاله: | | شناسه دیجیتال: | | | |
|-----------------|------------|----------------|-----------------------|------------|---|
| دریافت | بازنگری | پذیرش | انتشار آنلاین | چاپ | doi: |
| ۱۳۹۷/۱۲/۲۷ | ۱۴۰۰/۰۲/۳۰ | ۱۳۹۸/۰۳/۱۱ | ۱۳۹۸/۰۳/۱۱ | ۱۴۰۰/۰۲/۳۰ | 10.22065/JSCE.2019.176558.1811 |
| | | | | | https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2019.176558.1811 |
| *نویسنده مسئول: | | | رضا وهدانی | | |
| پست الکترونیکی: | | | rvahdani@semnan.ac.ir | | |

۱- مقدمه

پدیده زلزله علمی است که به ساختار زمین و مکانیسم وقوع زلزله می پردازد. کارشناسان فجایع و بلایای طبیعی امروزه زمین لرزه را مهیب ترین نیروی ویرانگر در طبیعت توصیف کرده اند که می تواند ساختار اقتصادی، سیاسی و فرهنگی جامعه را فرو ریزد. در ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله، هدف آن است که ابتدا از تلفات و صدمات جانی جلوگیری شود، سپس بین هزینه اضافی برای مقاوم کردن ساختمان در برابر زلزله و هزینه احتمالی تعمیر خسارت ناشی از زلزله در طول عمر ساختمان موازنه برقرار شود. بنابراین هدف اصلی در ساختمانهای ارزان قیمت مقاوم در برابر زلزله باید جلوگیری از فروریختن ساختمانها و تلفات ناشی از آن باشد و در زلزله های بزرگ انتظار داشت که ساختمان ترک خورده و نیاز به تعمیر داشته باشد [1]. پیشرفتهای انجام شده صنعت ساختمان در قرن اخیر، گرایش روزافزونی در زمینه احداث ساختمانهای بلند مرتبه در جهان بوجود آورده است. بلندمرتبه سازی به لطف اختراع آسانسور و مصالح ساختمانی ارزان قیمت امکان یافته است. از دیدگاه طراحی، یک ساختمان را بلند در نظر می گیریم، هنگامی که تحلیل و طراحی سازه ای آن تحت تاثیر بارهای جانبی بویژه نوسانات بوجود آمده توسط این بارها باشد. بطور کلی می توان گفت از نظر سازه ای، ساختمانی بلند است که ارتفاع آن باعث شود در طراحی آن شرایط ویژه لحاظ شود و یا سازه ای که پیوند آن از ۱,۵ ثانیه بیشتر باشد. سازه های بلند برای کنترل ارتعاش به وسایل میرایی نیاز دارند. روشهای کنترل ارتعاش مختلف شامل غیرفعال، نیمه فعال، فعال و هیبرید می باشد و فاکتورهای مختلفی از قبیل کارایی، وزن، هزینه وسیله و هزینه اجرا، نگهداری و ایمنی روی انتخاب نوع خاص وسیله کنترل ارتعاش اثر می گذارد. یک میراگر جرمی TMD یک نوع سیستم میرایی غیرفعال است که به عنوان یک جرم ثانویه به سازه اصلی وصل می شود و از طریق فنر و میرایی متصل باعث کاهش پاسخ دینامیکی سازه می شود که بطور گسترده برای کنترل سیستم های مهندسی و سایر سازه های مهندسی عمران استفاده می شود [2,3]. متأسفانه افزایش ارتفاع اغلب با افزایش نرمی و کمبود میرایی سازه همراه است که در نتیجه باعث افزایش حساسیت سازه نسبت به باد و زلزله می شود. نسل جدید تحقیقات درباره ساختمان های بلند به تغییر در طراحی سازه، آئرو دینامیک ساختمان و استفاده از میراکننده های کمکی می پردازد. جدول ۱ ابزارهای کاهش ارتعاشات ناشی از باد و زلزله را نشان می دهد.

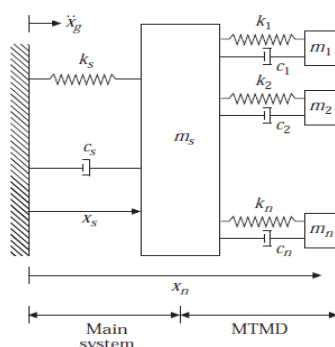
جدول ۱: ابزارها و روش های کاهش ارتعاشات ناشی از باد و زلزله [4]

| وسیله | نوع | شیوه و روش |
|--------------------|---------|---|
| طراحی آئرو دینامیک | غیرفعال | بهبود خواص آئرو دینامیکی به منظور کاهش ضریب نیروی باد |
| طراحی سازه | غیرفعال | افزایش جرم ساختمان و در نتیجه کاهش نسبت جرمی هوا به ساختمان افزایش سختی یا فرکانس طبیعی برای کاهش اندازه بی بعد سرعت باد |
| میراکننده های کمکی | غیرفعال | افزودن موادی با خاصیت اتلاف انرژی، افزایش نسبت میرایی ساختمان اضافه کردن سیستم های جرمی به منظور افزایش میزان میرایی |
| | فعال | کنترل نیرو از طریق اثرات اینرسی با هدف حداقل کردن پاسخ سازه |
| | | کنترل نیروهای آئرو دینامیکی برای کاهش ضریب نیرو یا حداقل کردن پاسخ سازه |
| | | تغییر سختی برای اجتناب از تشدید |

۲- تاریخچه تحقیقات

در سالهای اخیر تئوری TMD برای کاهش ارتعاشات ساختمانهای بلند و سایر سازه های مهندسی عمران به کار گرفته شده است. در این سیستم وزنه ای به جرم مشخص در محل مشخصی از سازه نصب گردیده و توسط یک فنر و یک میراگر با ضرایب سختی و میرایی مشخص، دامنه ارتعاشات سازه در مود اول کنترل می گردد، البته هرگاه تحریک خارجی به نحوی باشد که سهم مودهای بالاتر در پاسخ سازه بیشتر از مود اول باشد ممکن است سیستم جرم میراگر تنظیم شده اثر معکوس داشته و دامنه ارتعاشات را افزایش دهد. ایده اولیه TMD اولین بار توسط فرهام در سال ۱۹۰۹ ارائه و سپس توسط اورموندروید و دن هارتوک در سال ۱۹۵۶ مطالعه شد. استفاده از نوسانگر یکدرجه آزادی غیرخطی بعنوان یک TMD برای یک سازه خطی توسط رابرسون در سال ۱۹۵۵ و سپس توسط فرانکلین در سال ۱۹۵۶

مورد بررسی قرار گرفت [5]. برای کاربردهای لرزه ای، تعدادی از محققین (Chen, 1996, Clark, 1988) نشان دادند که سیستم TMD انفرادی در کاهش پاسخ های لرزه ای موثر نیستند. دو علت برای این مورد وجود دارد: اولاً، بارهای زلزله به نوعی ضربه ای هستند و سرعت به مقادیر ماکزیمم می رسند. ثانیاً، تکنایهای زلزله شامل طیف گسترده ای از مولفه های فرکانسی است و اغلب شامل ارتعاشات مشخصی در هر دو مود اساسی و مودهای بالاتر سازه های ساختمانی بلند می باشد. میراگر تک جرمی برای فرکانس های اساسی تنظیم شده است و قادر به کنترل مودهای بالاتر ارتعاشی نیست. در گزارشات اشاره شده است که میراگر جرمی تک می تواند پاسخ های مودهای بالاتر را به علت کوپل بین مودهای اساسی و بالاتر تقویت کند. با توجه به عیوب استفاده از میراگر جرمی تک، محققین زیادی سیستم MTMD یعنی میراگرهای جرمی تنظیم شده چندگانه را پیشنهاد داده اند، که مودهای مختلف را تنظیم و هدایت می کند و در جاهای مختلف سازه قرار می گیرد [6,7]. مک نامارا در سال ۱۹۷۷ تاثیر جداسازی ارتعاش TMD تحت نویز سفید و کاربرد این روش تحت ارتعاشات ناشی از باد ساختمان را بررسی کرد. کار بر روی TMD توسط واربروتون و همکاران [11] در سال ۱۹۸۰ برای تعیین مقادیر بهینه مشخصات TMD که به سازه های الاستیک، صفحات راست گوشه و پوسته های استوانه ای که تحت بارهای تناوبی قرار داشتند متصل شده بود، گسترش یافت. واربروتن ویژگی های بهینه میراگر برای یکسری از تحریکات و پارامترهای پاسخ را محاسبه کرد. ویلاورده [9] در سال ۱۹۹۴ برای بررسی TMD سه سازه مختلف شامل یک قاب دوطبقه ۱۰ طبقه برشی و یک قاب سه طبقه و یک پل سه بعدی را تحت ۹ نوع زلزله مختلف مورد آزمایش قرار داد. ویرشینگ [10] در سال ۱۹۷۴ مشکل بهینه سازی مشخصات TMD و نسبت میرایی و فرکانس طبیعی که به ساختمان چند طبقه متصل شده است را حل کرد و پاسخ اولین مود سازه اصلی مجهز به یک TMD را تحت ارتعاش جانبی زمین نویز سفید گاو سن تحلیل کرد. ابه و ایگوشا [11] و جانگید [12] تاثیر میراگر تنظیم شده چند جرمی را روی سازه اصلی مورد بررسی قرار دادند. آنها با استفاده از تحلیل مجانب برای مقاومت ظاهری دستگاههای الحاقی به این نتیجه رسیدند که چندین زیر میراگر با فرکانس های طبیعی نزدیک به هم که به اندازه کافی محدوده فرکانس وسیعی را پوشش می دهند را می توان با یک میرایی معادل که متناسب با جرم های میراگرها است نشان داد.



شکل ۱: مدل سازه ای میراگر جرمی چندگانه [12]

لی [13] در سال ۲۰۰۲ تاثیر ارتعاشات زمین پهن باند را بر روی انواع مختلف طرح های MTMD خطی بررسی کرد. با استفاده از فاکتور بزرگنمایی دینامیکی تغییر مکان و همچنین فاکتور بزرگنمایی دینامیکی شتاب، به عنوان ملاک طراحی بهینه با ۵ مدل میراگرهای MTMD با ترکیبات مختلف سختی، جرم و ضریب میرایی و نسبت میرایی مقایسه شدند. کریم و همکاران [4] در سال ۱۹۹۵ روش کنترل به کمک MTMD ها را که به یک سازه مرتعش متصل شده بودند را در مقیاس حقیقی مورد بررسی قرار دادند. نتایج، کشفیات و مطالعات قبلی را تایید کرد و نشان داد که کارایی MTMD به محدوده فرکانس های طبیعی آنها بیشتر از نسبت میرایی با تعداد میراگرهای الحاقی حساس است. عبدالله و همکاران [14] در مورد سازه های مجاور با استفاده از Shared Tuned Mass Damper (STMD) یا سیستم میرایی جرمی تنظیم شده مشترک برای کاهش ارتعاش سازه ها و کاهش اثرات POUNDING را بررسی کردند. با توجه به اتصال STMD به هر دو سازه، مشکل تنظیم سختی و میرایی حل خواهد شد. نتایج بررسی آنها نشان دهنده عملکرد بهتر سیستم STMD نسبت به TMD است و روش موثری برای کاهش اثرات ضربه به ساختمان های مجاور و کاهش ارتعاشات می باشد. زهرایی و همکاران [15] اثر میراگرهای جرمی تنظیمی در کنترل ساختمان های تحت زلزله از طریق مطالعه اثر کنترل ارتعاش میراگر جرمی روی ساختمان های ۸، ۵ و ۱۰ و ۱۵ طبقه

قاب خمشی ویژه در هر دو راستا را بررسی کردند. الکس توآن و شانگ [16] روی کاهش اثرات میراگر جرمی روی پاسخ دینامیکی برج تایپه ۱۰۱ تحقیق کردند با این توضیح که برج تحت بار باد و تحریک زلزله قرار دارد. نتایج شبیه سازی شده با تست تونل باد و رکوردهای مورد نظر مقایسه شد. نتایج حاکی از تاثیر میراگر در کاهش ارتعاش باد بود، اگر چه خیلی تاثیر زیادی در کاهش ارتعاش نیروی زلزله نداشت. سوچیتا و اهر [17] به بررسی پاسخ لرزه ای ساختمان بتنی با پلان نامنظم تحت نیروی زلزله با تحلیل پوش آور پرداختند. مدل ها براساس IS 1893-2002 با پلان نامنظم و شکل L تحلیل و با پلان نامنظم با تعداد طبقات ۵ و ۱۰ و ۱۵ مقایسه شده است. سوتو [2] در تحقیق خود از هشت سری مختلف معادلات ارائه شده برای تنظیم پارامترهای میراگر جرمی با ساختمان ۵ طبقه با پلان و ارتفاع نامنظم استفاده کرده و یک ساختمان ۱۵ طبقه و ۲۰ طبقه با پلان نامنظم را در معرض بارگذاری لرزه ای قرار داد. سپس عملکرد میراگر جرمی دو جهته با میراگر جرمی پاندولی با ۳ سازه مختلف با پلان و نامنظمی در ارتفاع از فرم ۵ تا ۲۰ طبقه و پرپود از رنج ۰.۵۵ تا ۴.۲۵ ثانیه در معرض زلزله لوما پریتا قرار گرفته و مقایسه شده اند. سوتو و عادل [18] به بررسی کنترل ارتعاش ساختمانهای بلند مرتبه نامنظم با استفاده از میراگر جرمی و میراگرهای جرمی دو جهته پرداختند. واکر و همکاران [19] به بررسی پلان با نامنظمی های مختلف با روش های تحلیلی طی زلزله پرداختند. والموندسون و همکاران [20] در تحقیق خود حدود جرم، مقاومت و سختی برای ساختمان های منظم بوسیله آیین نامه UBC را بررسی کردند. سازه های انتخابی دو بعدی با ۵، ۱۰ و ۲۰ طبقه بوده و نامنظمی با تغییر در خواص یک طبقه یا کف ایجاد شده است. ردی و همکاران [21] به این نتیجه رسیدند که میراگر جرمی با درصد جرمی ۵ تاثیرگذارتر است و ابعاد میراگر باید متناسب با فرکانس سازه باشد. باقری و همکاران [22] از یک میراگر ویسکوز به همراه میراگر جرمی برای کنترل ارتعاش سازه ها استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که میراگر جرمی بطور مشخص باعث کاهش پاسخ سازه می شود و پیشنهاد کردند میراگر جرمی بهینه (ترکیب میراگر جرمی و ویسکوز) بدون نیاز به میراگر ویسکوز با عملکرد مناسب بکارگیری شود. وانگ و همکاران [23] میراگر جرمی را برای کنترل ارتعاشات گردابی عرشه پل بکار گرفتند و به این نتیجه رسیدند که میراگر جرمی عملکرد خوبی در کاهش پاسخ نوسانات عرشه پل دارد. لی و همکاران [24] روش طراحی جدیدی برای میراگر جرمی غیرخطی براساس فرکانس پرشی ارائه کردند که براساس آن میراگر جرمی نسبت به روش طراحی خطی عملکرد بهتری از خود نشان می دهد. لو و همکاران [25] مدل های ۵ و ۲۰ طبقه را به عنوان ساختمانهای غیرخطی مبنا جهت مقایسه میراگرهای جرمی بهینه و میراگر ذرات بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد میراگر ذرات نسبت به میراگر جرمی اثرات کنترلی بهتری از خود نشان داده که نتایجی از قبیل چرخش بیشینه مفاصل پلاستیک، جذب انرژی و همچنین جابجایی نسبی بین سازه اصلی و میراگر مورد نظر می باشد. لین و همکاران [26] یک نوع میراگر جرمی بنام TSMD (Top-Story Mass Damper) ابداع کردند که با استفاده از خواص مودال سه درجه آزادی مودهای ارتعاشی سه گانه در ساختمان با پلان نامتقارن درجهته فرمول بندی شده است، که عملکرد آن بوسیله تابع پاسخ فرمانس و پاسخ های لرزه ای یک سازه یک طبقه و ۲۰ طبقه با پلان نامتقارن مورد تایید قرار گرفته است.

۳- روابط حاکم بر میراگر جرمی تنظیم شده

جهت تعیین پارامترهای MTMD از روش سادک و همکاران [27] (طبق روابط که در روابط ۱ تا ۴ به آنها اشاره شده است) که برای سازه های چند درجه آزادی ارائه شده، به عنوان مقادیر اولیه و نمونه استفاده می گردد.

$$f = \frac{1}{1 + \mu\phi} \left[1 - \beta \sqrt{\frac{\mu\phi}{1 + \mu\phi}} \right] \quad (1)$$

$$\xi = \phi \left[\frac{\beta}{1 + \mu} + \sqrt{\frac{\mu}{1 + \mu}} \right] \quad (2)$$

$$M_n = \frac{\left(\sum_1^n m_i \phi_{i,n} \right)^2}{\sum_1^n m_i \phi_{i,n}^2} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 m_{TMD} &= \mu \cdot M_n \\
 K_{TMD} &= \omega_0^2 f^2 m_{TMD} \\
 C_{TMD} &= 2\xi \omega_0 f m_{TMD}
 \end{aligned} \tag{4}$$

که در روابط f فرکانس بهینه که نسبت فرکانس میراگر به فرکانس سازه است، ξ درصد میرایی بهینه، μ نسبت جرمی که نسبت جرم میراگر به جرم سازه است، ϕ دامنه شکل مود در مکان قرارگیری TMD بطوریکه ضریب سهم مودی برابر واحد باشد، M_n جرم موثر مود اول یا هر مود که میراگر برای کنترل آن تنظیم شده است. m_{TMD} , K_{TMD} , C_{TMD} بترتیب میرایی، سختی و جرم میراگر TMD است.

۴- معرفی مدل های سازه ای

۴-۱- فرضیات و بارگذاری

مشخصات مکانیکی فولاد مصرفی ST37 بصورت زیر است:

| | | |
|------------------------------------|-------|-------------------------|
| تنش تسلیم (F_y) | | ۲۴۰۰ kg/cm ² |
| تنش نهایی (F_u) | | ۳۷۰۰ kg/cm ² |
| ضریب پواسون (ν) | | ۰/۳ |
| تنش تسلیم مورد انتظار (F_{yE}) | | ۲۶۴۰ kg/cm ² |
| تنش نهایی مورد انتظار (F_{uE}) | | ۴۰۷۰ kg/cm ² |

تنش تسلیم مورد انتظار (F_{yE}) و تنش نهایی مورد انتظار (F_{uE}) مصالح طبق FEMA-356 برابر $F_{yE} = 1.1F_y$ و $F_{uE} = 1.1F_u$ است. برای مشارکت نکردن جرم المانها در تعیین مرکز جرم سازه‌ها، جرم مصالح در نرم افزار صفر وارد شده است. با اعمال دیافراگم صلب در طبقات، حرکت گره‌های هر طبقه در جهت افقی نسبت به هم مقید شده است، بنابراین تیرها تحت بارگذاری، تغییر طول محوری ندارند. ۵۰٪ ناحیه اتصال بصورت ناحیه‌ی صلب انتهایی برای تیرها و ستونها در نظر گرفته شده است. بار مرده طبقات برابر 500 kgf/m^2 و بار زنده طبقات 200 kgf/m^2 فرض شده است. بار زلزله در تحلیل استاتیکی خطی با محاسبه‌ی ضریب زلزله (C) و بار موثر لرزه‌ای به دست می‌آید. متغیرهای موثر در ضریب زلزله که از رابطه‌ی $C=ABI/R_u$ به دست می‌آید، بصورت جدول ۲ در نظر گرفته شده است. جرم موثر لرزه‌ای در سازه‌های مورد بررسی جهت محاسبه برش پایه‌ی استاتیکی، ناشی از بارهای ثقلی شامل تمام بار مرده به اضافه ۲۰٪ بار زنده می‌باشد.

جدول ۲: پارامترهای مدل ۱۰ طبقه

| R _u | T | T ₁ | T _s | K | B | C |
|----------------|------|----------------|----------------|------|-------|-------|
| ۷,۵ | 1.07 | 0.15 | 0.7 | 1.42 | 1.632 | 0.076 |

۴-۲- طراحی اعضای سازه‌ها

بعد از تحلیل استاتیکی خطی، المان‌های سازه‌ها در نرم افزار Sap2000.v.19.2 طراحی شدند. برای طراحی اعضا، آیین نامه‌ی AISC360-10 مورد استفاده قرار گرفته است. در طراحی اعضا، ضوابط لرزه‌ای آیین نامه اعمال شده است. مقاطع مورد استفاده برای تیرها و HEB و برای ستونها BOX است.

۵- زمین لرزه‌های انتخابی

برای تعیین میزان تاثیر سیستم کنترلی ۱۱ شتاب نگاشت مربوط به ۱۱ زمین لرزه‌ی مختلف حوزه نزدیک و ۱۱ زمین لرزه مربوط به حوزه دور انتخاب شده است. مشخصات رکوردهای انتخابی در جدول ۳ و ۴ آورده شده است. در انتخاب شتاب نگاشت‌ها سعی شده است از شتاب نگاشت‌های متنوع استفاده شود، بطوریکه زلزله‌های با PGA زیاد و کم و همچنین زلزله‌های نزدیک و دور از گسل در شتاب نگاشت‌های انتخابی وجود داشته باشد تا تاثیرات محتوای فرکانسی رکوردهای زلزله نیز در نظر گرفته شوند.

جدول ۳: مشخصات زلزله‌های حوزه نزدیک گسل

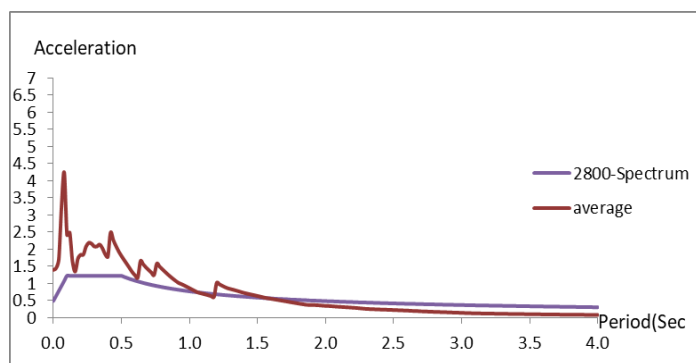
| Duration(sec) | Ts(sec) | Energy(J) | ARIANS(m/sec) | PGV(cm/s) | PGA(g) | رکورد | ردیف |
|---------------|---------|-----------|---------------|-----------|--------|---------------------|------|
| 86 | 3.48 | 12667204 | 77.72 | 1689 | 0.32 | Ala | 1 |
| 37.36 | 0.78 | 419609 | 53.64 | 417 | 0.59 | bam | 2 |
| 26.48 | 0.9 | 132708 | 15.47 | 261.38 | 0.44 | chi-thy | 3 |
| 12.48 | 0.42 | 365805 | 10.308 | 312 | 0.56 | chi-tcu | 4 |
| 8.49 | 0.24 | 76400 | 9.1 | 250.12 | 0.43 | imperial-array | 5 |
| 11.34 | 1.22 | 63358 | 23.26 | 206 | 0.63 | kobe-takatory | 6 |
| 56.34 | 1.52 | 526123 | 28.8 | 321 | 0.49 | silakhor | 7 |
| 15.35 | 0.52 | 199331 | 18.5 | 245 | 0.447 | yermica | 8 |
| 12.616 | 0.92 | 230580 | 17.79 | 267 | 0.26 | zanjiran | 9 |
| 7.5 | 0.12 | 20432 | 11.92 | 151.27 | 0.49 | Northridge - silmar | 10 |
| 14.15 | 0.16 | 22748 | 0.226 | 4.55 | 0.352 | Duzce | 11 |

جدول ۴: مشخصات زلزله‌های حوزه دور از گسل

| Duration(sec) | Ts(sec) | Energy(J) | ARIANS(m/sec) | PGV(cm/s) | PGA | رکورد | ردیف |
|---------------|---------|-----------|---------------|-----------|-------|----------------|------|
| 28.515 | 0.62 | 75459 | 19.78 | 130.79 | 0.6 | chi- chy | 1 |
| 15.8 | 0.98 | 46558 | 22.94 | 178.062 | 0.15 | chi- tap | 2 |
| 12.515 | 0.32 | 18811 | 10.89 | 148.23 | 0.24 | imperial-oak | 3 |
| 1.75 | 0.16 | 331 | 3.4 | 38.78 | 0.26 | imperial- out | 4 |
| 17.04 | 0.6 | 20778 | 18.515 | 110.64 | 0.14 | kobe | 5 |
| 10.78 | 0.3 | 10165 | 15.37 | 107.85 | 0.23 | loma | 6 |
| 25.71 | 0.16 | 25445 | 24.4 | 83.79 | 0.13 | manjil-ghazvin | 7 |
| 10.44 | 0.36 | 4952 | 12.52 | 73.34 | 0.1 | northridge | 8 |
| 24.16 | 0.24 | 21838 | 18.57 | 79.5 | 0.1 | tabas-ferdos | 9 |
| 38.87 | 0.68 | 113959 | 42.206 | 206.162 | 0.1 | bursa | 10 |
| 12.48 | 0.14 | 24658 | 0.61 | 10.8 | 0.235 | Cape | 11 |

۵-۱- همپایه نمودن شتاب نگاشت‌ها

طبق آئین نامه ۲۸۰۰، شتاب نگاشت‌های استفاده شده برای تحلیل سازه باید هم پایه شوند. برای همپایه سازی شتابنگاشت‌ها، بعد از مقیاس کردن شتاب نگاشت‌ها نسبت به حداکثر مقدار خود (PGA)، طیف پاسخ شتابنگاشت‌ها برای میرایی ۵ درصد تهیه می شود. سپس از طیف‌های بدست آمده شتاب نگاشت‌ها، متوسط گیری شده و در محدوده زمان تناوب های 0.2T و ۱.۵T مقایسه می شود، بطوری که طبق آئین نامه ۲۸۰۰، طیف متوسط باید ۱/۴ برابر بیشتر از طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ قرار گیرد. بعد از آنکه طیف پاسخ رکوردهای زلزله تهیه شدند، متوسط آنها با طیف استاندارد ۲۸۰۰ مقایسه شده و مقیاس گشته است که نتیجه آن در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲: مقایسه متوسط طیف پاسخ رکوردهای زلزله با طیف استاندارد ۲۸۰۰

۶- مشخصات میراگر جرمی تنظیم شده (TMD)

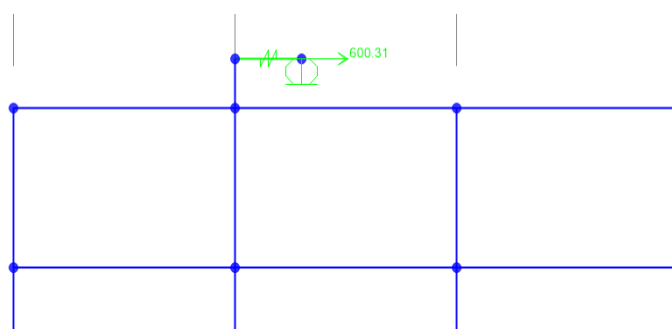
نسبت جرم و فرکانس میراگر جرمی به سازه اصلی به ترتیب برابر 0.03 و $1/25$ در نظر گرفته شده است و با استفاده از روابط حاکم بر میراگر جرمی پارامترهای مرتبط با میراگر جرمی محاسبه و برای مدل ۱۰ طبقه منظم و نامنظم در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵: پارامترهای طراحی میراگر جرمی در مدل ۱۰ طبقه منظم و نامنظم

| مدل | μ | m_d (kg) | k_d (ton/m) | C_c (ton/sec) | C_d (ton/sec) |
|---------------|--------|------------|---------------|-----------------|-----------------|
| ۱۰ طبقه منظم | 0.03 | 22779 | 496.65 | 212.3 | 22.07 |
| ۱۰ طبقه L شکل | 0.03 | 16297 | 311.93 | 142.59 | 14.83 |
| ۱۰ طبقه U شکل | 0.03 | 17531 | 227.2 | 126.22 | 13.12 |

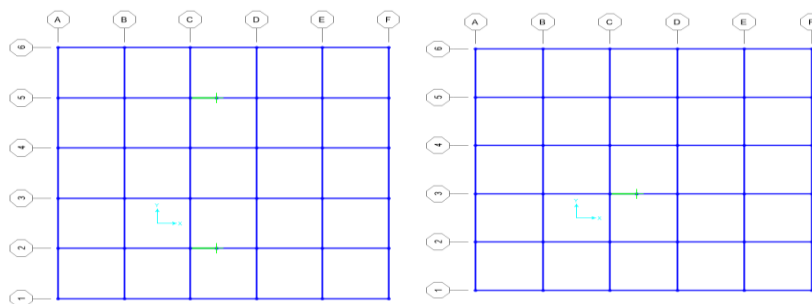
۷- مشخصات هندسی مدلها و جانمایی میراگرها

پلان بکار رفته در مدلها بصورت مربعی منظم و نامنظم که دهانه های ۵ متری به تعداد ۵ دهانه برای مدلهای منظم در نظر گرفته شده است. پلان های نامنظم با توجه به تعریفی که از نامنظمی هندسی در پلان در آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۴ اشاره شده است، تهیه و برای تحلیل در نرم افزار SAP2000 و بصورت المان لینک همانند شکل ۳ تعریف شده است.

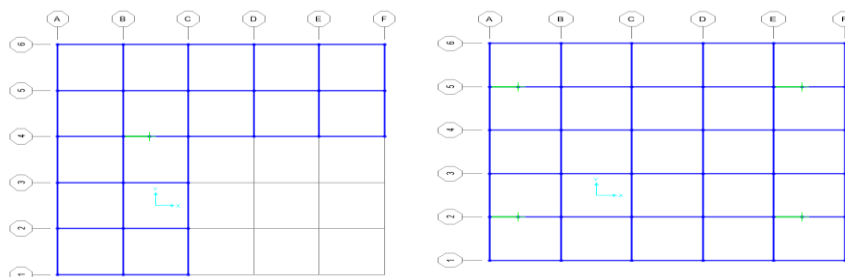


شکل ۳: اعمال جرم در میراگر جرمی تنظیم شونده

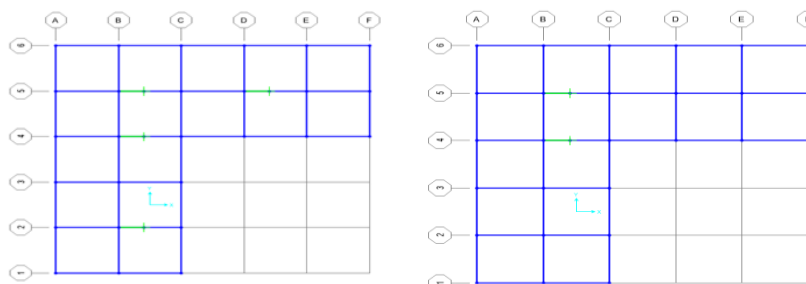
در مرحله اول این تحقیق، میراگرها در سه حالت استفاده شده است. ابتدا میراگرها در یک نقطه از بام، در حالت دوم در دو نقطه از بام و در حالت سوم در چهار نقطه از بام قرار گرفته اند. نحوه قرارگیری میراگرها در اشکال ۴ الی ۸ آورده شده است.



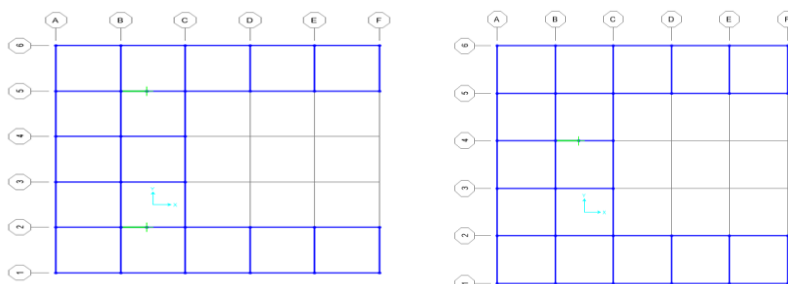
شکل ۴. میراگر در یک نقطه (سمت راست) و دو نقطه (سمت چپ) از مدل منظم



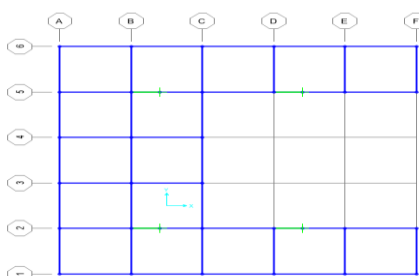
شکل ۵. میراگر در چهار نقطه از مدل منظم (سمت راست) و یک نقطه از مدل نامنظم L شکل (سمت چپ)



شکل ۶. میراگر در دو نقطه از مدل نامنظم L شکل (سمت راست) و چهار نقطه از مدل نامنظم L شکل (سمت چپ)



شکل ۷. میراگر در یک نقطه از مدل نامنظم U شکل (سمت راست) و دو نقطه از مدل نامنظم U شکل (سمت چپ)



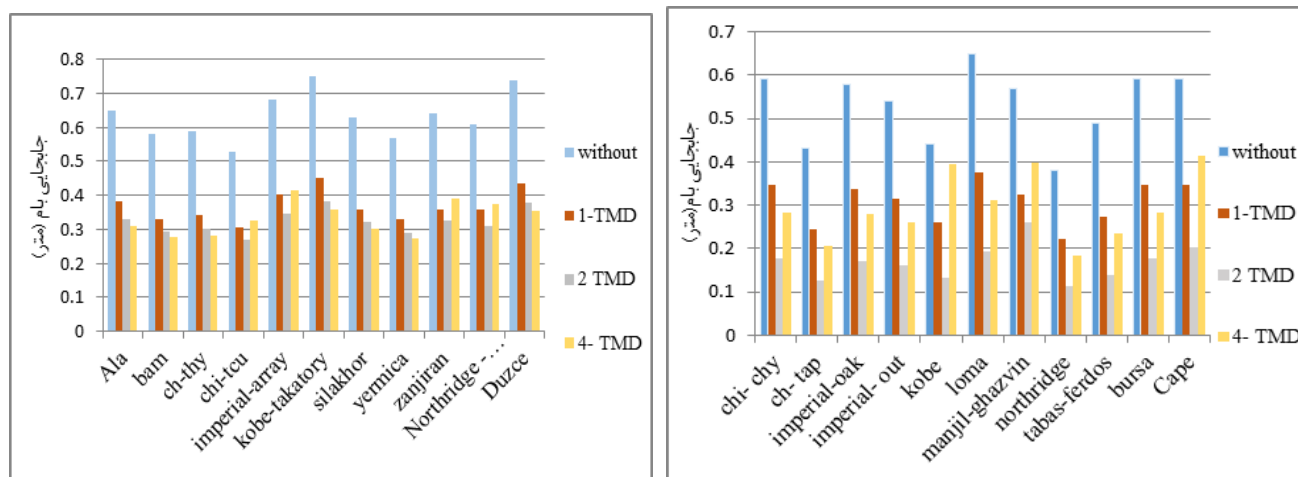
شکل ۸. میراگر در چهار نقطه از مدل نامنظم U شکل

۸- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی

میراگرهای جرمی پاسخ سازه‌ها را بر اساس افزودن جرم سازه و تغییر در ماتریس سختی و جرم سازه‌های سه‌بعدی که نهایتاً باعث تغییر در مقدار زمان تناوب موثر سازه شده و سازه از محدوده‌ی حساس به شتاب خارج گشته و از اینرو مقدار نیروهای وارد بر سازه کاهش می‌یابد. وقتی میراگر در یک موقعیت از سازه قرار می‌گیرد، امکان کنترل پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها چندان قابل توجه نبوده و تاثیر زیادی در کنترل پاسخ سازه‌هایی که تاثیر موده‌ای بالاتر در آنها بیشتر است ندارد. از اینرو وقتی میراگر در بیش از یک نقطه قرار می‌گیرد، با کنترل تاثیر موده‌ای بالاتر، امکان کنترل پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها بیشتر فراهم شده و از این طریق سازه تحت کنترل درمی‌آید.

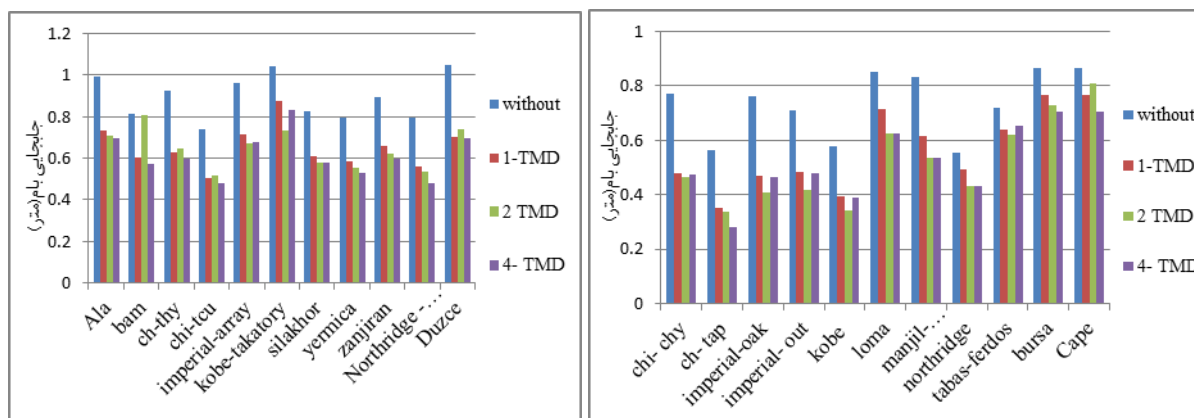
۸-۱- بررسی نتایج جابجایی بام

برای ارزیابی تاثیر میراگرهای جرمی تنظیم شونده در پاسخ لرزه‌ای سازه‌های منظم و نامنظم در حالت‌های مختلفی که برای قرارگیری میراگر در سازه در نظر گرفته شده است، ماکزیمم جابجایی جانبی بام برای رکوردهای دور و نزدیک استخراج شده است. در این تحقیق میراگرها در سه حالت، یک، دو و چهار گانه در طبقه بام قرار داده شده‌اند. رکوردهایی که در این تحقیق استفاده شده است، ۱۱ رکورد برای حوزه نزدیک و ۱۱ رکورد برای حوزه دور است. در این بخش مقدار جابجایی برای هر رکورد در حالت بدون میراگر و با میراگرهای مختلف بصورت نمودار ستونی آورده شده است. نتایج این بخش برای مدل‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه در اشکال ۹ الی ۱۱ آورده شده است.



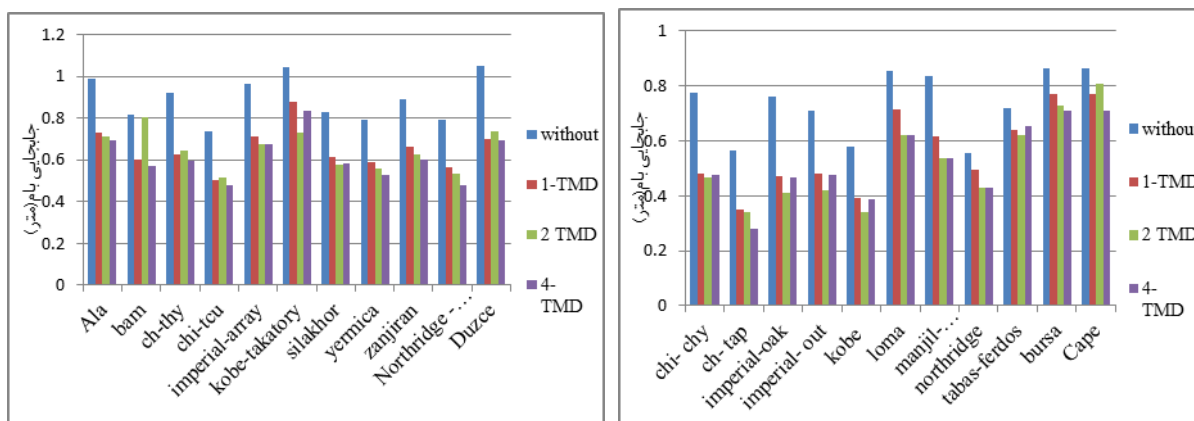
شکل ۹: بیشینه جابجایی بام تحت زلزله‌های حوزه دور از گسل (راست) و حوزه نزدیک گسل (چپ) در مدل ۱۰ طبقه

با توجه به نتایج حاصل از جابجایی ماکزیمم بررسی شده برای سازه ۱۰ طبقه در حالت بدون میراگر جرمی و با حالت‌های مختلفی که تعداد میراگر جرمی در آنها متفاوت بوده است، می‌توان مشاهده نمود که استفاده از میراگر جرمی تنظیم شونده در رکوردهای حوزه نزدیک و دور از گسل مقدار جابجایی سازه ۱۰ طبقه را بصورت قابل توجهی کاهش می‌دهد. آنچه که مشاهده می‌شود این است که تغییر در تعداد میراگر باعث تغییر در میزان کاهش نیز شده است. بیشترین مقدار کاهش جابجایی برای رکوردهای حوزه نزدیک در حالت استفاده از یک میراگر برابر ۴۳ درصد است. این میزان جابجایی کاهش یافته نسبت به حالت بدون میراگر بررسی شده است. همچنین بیشترین مقدار کاهش جابجایی برای حالت استفاده از دو میراگر برابر ۴۹ درصد بوده و در حالت استفاده از چهار میراگر این مقدار ۵۲ درصد را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از رکوردهای حوزه دور نیز نشان دهنده‌ی این است که در حالت استفاده از یک میراگر مقدار جابجایی کاهش یافته نسبت به حالت بدون میراگر برابر ۴۵ درصد، در حالت دو میراگر برابر ۷۰ درصد و در حالت استفاده از چهار میراگر برابر ۵۲ درصد است.



شکل ۱۰: بیشینه جابجایی بام تحت زلزله های حوزه دور از گسل (راست) و نزدیک گسل (چپ) در مدل ۱۵ طبقه

نتایج حاصل از مقدار جابجایی های کاهش یافته در اثر استفاده از میراگرهای جرمی برای سازه ۱۵ طبقه نشان دهنده این است که، تغییر در نوع میراگر برای این سازه نیز مقدار جابجایی کاهش یافته را تغییر داده است. بیشترین مقدار کاهش در زلزله های حوزه نزدیک برای حالت استفاده از یک میراگر برابر ۳۳ درصد است. این مقدار برای حالت استفاده از دو میراگر به ۳۵ درصد رسیده است. همچنین در حالت استفاده از چهار میراگر در سازه ۱۵ طبقه مقدار جابجایی کاهش یافته برابر ۴۰ درصد شده است. با ارزیابی صورت گرفته در نتایج رکوردهای حوزه دور از گسل مشاهده می شود که در حالت استفاده از یک میراگر مقدار جابجایی کاهش یافته برابر ۳۸ درصد بوده و در حالت استفاده از دو میراگر و چهار میراگر به ترتیب برابر ۴۰ و ۵۰ درصد شده است. نتایج حاصل نشان دهنده رفتار متفاوت سازه دارای میراگر در مقابل زلزله ای حوزه نزدیک و دور از گسل است که دارای محتوای فرکانسی متفاوتی هستند.

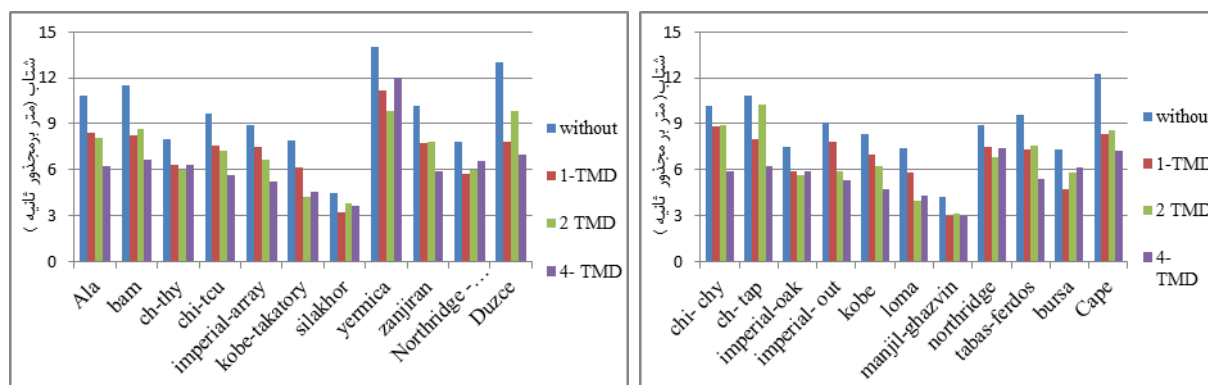


شکل ۱۱: بیشینه جابجایی بام تحت زلزله های حوزه دور از گسل (راست) و حوزه نزدیک گسل (چپ) در مدل ۲۰ طبقه

بررسی صورت گرفته برای سازه ۱۰ و ۱۵ طبقه برای سازه ۲۰ طبقه هم تکرار شده است. در این سازه هم اثرات زلزله های حوزه نزدیک و دور از گسل در مقدار جابجایی کاهش یافته سازه ۲۰ طبقه بررسی شده است. نتایج نشان می دهند که در این سازه هم تغییر تعداد و موقعیت میراگر جرمی در طبقه بام باعث تغییر در مقدار کاهش جابجایی می گردد. مقدار کاهش برای حالت یک میراگر در زلزله های حوزه نزدیک گسل به ۳۲ درصد رسیده است. از طرفی در حالتی که از دو میراگر استفاده شده است این مقدار به ۳۹ درصد رسیده و در حالت استفاده از چهار میراگر به ۴۴ درصد رسیده است. تغییر موقعیت میراگر در سازه ۲۰ طبقه برای رکوردهای حوزه دور نیز نشان دهنده این است که، در حالت استفاده از یک میراگر مقدار کاهش برابر ۲۸ درصد بوده که این مقدار در حالت استفاده از دو و چهار میراگر به ترتیب برابر ۲۵ و ۴۱ درصد است.

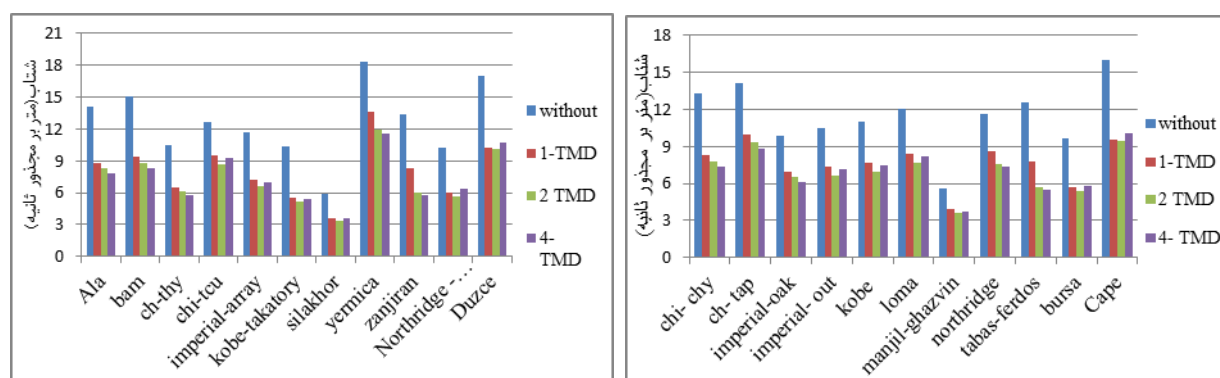
۸-۲- بررسی شتاب بام

بر اساس یافته های محققین می توان گفت که، میراگرهای جرمی تنظیم شونده بیشترین تاثیر را در مقدار شتاب سازه ها داشته و با خارج کردن سازه از ناحیه حساس به شتاب، مقدار پاسخ لرزه ای سازه ها را کنترل می نماید. در این بخش، مقدار شتاب ماکزیمم طبقه بام برای رکوردهای دور و نزدیک برای سازه های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه بررسی شده است و مقدار شتاب در حالت بدون میراگر نسبت به حالت با میراگر در حالت های مختلف ارزیابی شده و در شکل های ۱۲ تا ۱۴ آورده شده است.



شکل ۱۲: بیشینه شتاب بام تحت زلزله های حوزه دور از گسل (راست) و حوزه نزدیک گسل (چپ) در مدل ۱۰ طبقه

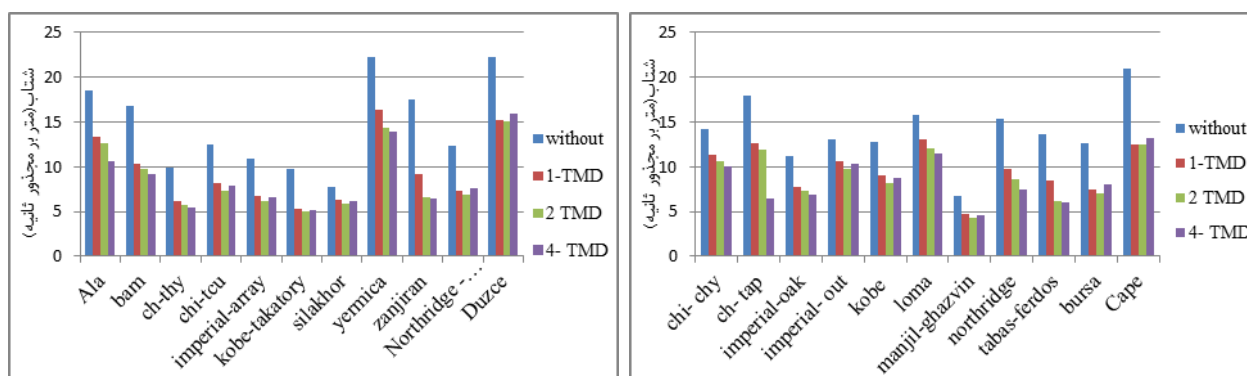
از آنجایی که شتاب طبقات یک سازه تحت تاثیر میزان شتاب انتقالی از زمین و مشخصات دینامیکی سازه می باشد، لذا در حالت استفاده از میراگر جرمی مقدار جرم سازه افزایش یافته و با افزایش زمان تناوب سازه، مقدار شتاب طبقات کاهش می یابد. این موضوع برای سازه ۱۰ طبقه در حالت استفاده از میراگرهای جرمی نسبت به حالت بدون میراگر بررسی شده که نتایج جالبی استخراج شده است. مقدار شتاب طبقات سازه ۱۰ طبقه در یک جرم ثابت تحت تاثیر موقعیت میراگر قرار گرفته و با تغییر موقعیت و تعداد میراگر مقدار کاهش در آن نیز تغییر پیدا کرده است. این مهم برای رکوردهای حوزه نزدیک و دور از گسل و تاثیرات محتوای فرکانسی رکوردهای زلزله نزدیک و دور نیز بررسی شده است. آنچه که مشاهده می گردد این است که، بیشترین مقدار کاهش شتاب برای رکوردهای حوزه نزدیک در حالت استفاده از یک، دو و چهار میراگر به ترتیب برابر ۲۸، ۴۶ و ۴۶ درصد است. همچنین نتیجه برای زلزله های حوزه دور به ترتیب نشان دهنده ۳۶، ۴۶ و ۴۶ درصد کاهش است. نتایج تاثیر تعداد میراگر در میزان کاهش شتاب سازه تحت تاثیر رکوردهای حوزه دور و نزدیک را نشان می دهد.



شکل ۱۳: بیشینه شتاب بام تحت زلزله های حوزه دور از گسل (راست) و حوزه نزدیک گسل (چپ) در مدل ۱۵ طبقه

نتایج بررسی شتاب طبقات برای سازه ۱۵ طبقه نیز نشان دهنده تاثیر تغییر تعداد میراگر در میزان شتاب کاهش یافته سازه است. نتایج عددی نشان دهنده این است که، در حالت استفاده از میراگرهای جرمی، کاهش شتاب سازه برای حوزه نزدیک و دور از گسل تقریباً نزدیک بهم است. بیشترین مقدار کاهش برای سازه ۱۵ طبقه در رکوردهای حوزه نزدیک برای یک میراگر برابر ۴۰ درصد و با دو و

چهار میراگر به ترتیب ۴۶ و ۴۳ درصد است. این مقدار برای رکوردهای حوزه دور با استفاده از یک، دو و چهار میراگر به ترتیب ۳۸، ۴۲ و ۳۹ درصد است.

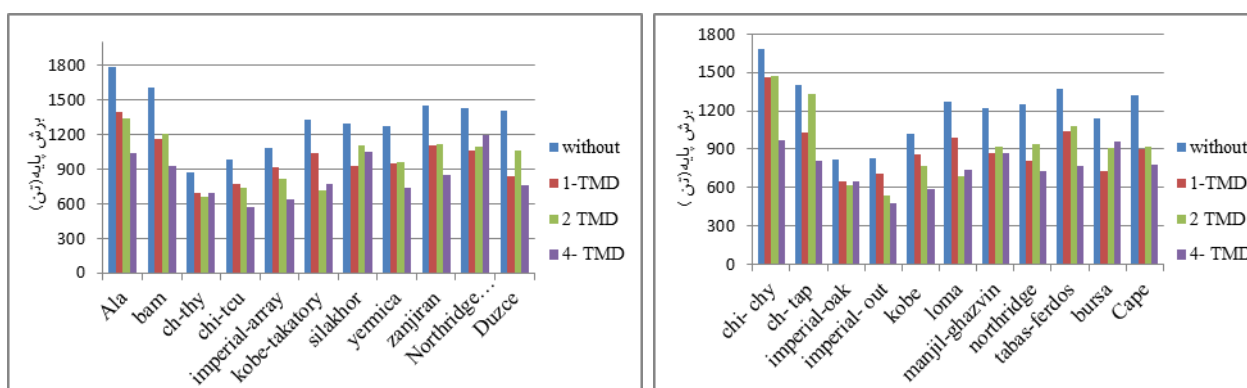


شکل ۱۴: بیشینه شتاب بام تحت زلزله های حوزه دور از گسل (راست) و حوزه نزدیک گسل (چپ) در مدل ۲۰ طبقه

با بررسی مقدار شتاب طبقه بام برای سازه ۲۰ طبقه نیز مشاهده می گردد که، استفاده از میراگر جرمی تنظیم شونده مقدار شتاب طبقه بام را تحت رکوردهای حوزه نزدیک و دور از گسل به صورت قابل توجهی کاهش داده است. این مهم در حالتی که تعداد میراگر در یک جرم ثابت افزایش یافته است، دچار تغییر شده و با افزایش میراگر تا حدودی مقدار کاهش شتاب برای رکوردهای حوزه نزدیک و دور تا حدودی افزایش یافته است. میزان حداکثر کاهش شتاب برای رکوردهای حوزه نزدیک در حالت استفاده از یک میراگر ۳۵ درصد بوده و با افزایش میراگر به دو عدد، مقدار کاهش شتاب در سازه ۲۰ طبقه به ۴۲ درصد و در حالت استفاده از چهار میراگر، مقدار کاهش شتاب به ۴۷ درصد رسیده است. نتایج فوق برای رکوردهای دور از گسل در حالت های یک، دو و چهار میراگر به ترتیب به ۲۹، ۲۵ و ۳۹ درصد رسیده است.

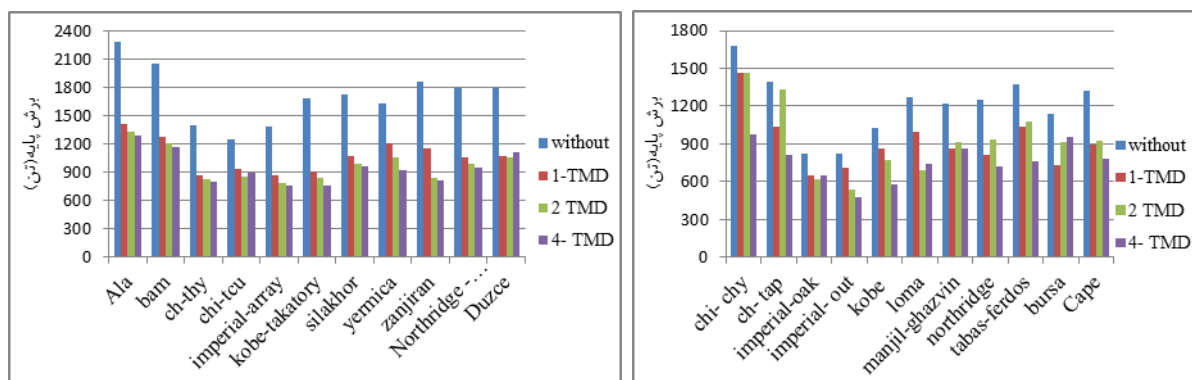
۸-۳- بررسی برش پایه

با تغییر در مقدار شتاب وارد بر سازه ها، مقدار برش پایه نیز در یک جرم ثابت کاهش می یابد. در این بخش ماکزیمم برش پایه حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی برای رکوردهای حوزه نزدیک و دور از گسل آورده شده است. با ارزیابی برش پایه، میان تاثیرات میراگرهای جرمی تنظیم شونده در بازتاب نیروی زلزله به سازه ها ارزیابی شده و استهلاک نیرو در حالت های مختلفی که برای میراگر جرمی چندگانه در نظر گرفته می شود مشخص می گردد و مقدار برش پایه در حالت بدون میراگر نسبت به حالت با میراگر در حالت های مختلف ارزیابی شده و در شکل های ۱۵ تا ۱۷ آورده شده است.



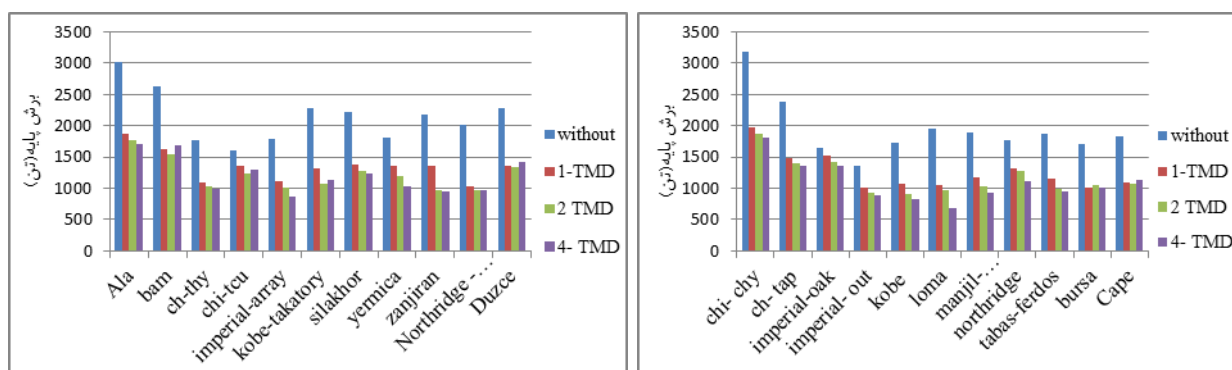
شکل ۱۵: برش پایه تحت زلزله های حوزه دور از گسل (راست) و حوزه نزدیک گسل (چپ) در مدل ۱۰ طبقه

برش پایه سازه‌ها از آن جهت مهم است که با تغییر شتاب وارد بر سازه‌ها مقدار برش پایه نیز تغییر پیدا می‌نماید. با بررسی مقدار شتاب سازه‌ی ۱۰ طبقه تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل در حالت بدون میراگر و با میراگر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دهنده‌ی این است که به تناسب کاهش شتاب وارد بر سازه مقدار برش پایه نیز در اثر استفاده از میراگر جرمی تنظیم شونده کاهش پیدا کرده است. این مقدار کاهش برای میراگرهای مختلف متفاوت بوده، بطوری که در حالت استفاده از یک میراگر بیشترین مقدار کاهش برای رکوردهای نزدیک برابر ۴۰ درصد و برای رکوردهای دور از گسل برابر ۳۶ درصد بوده است نتایج فوق برای حالت دو میراگر به ترتیب برای رکوردهای نزدیک و دور برابر ۴۶ و ۴۲ درصد بوده و در حالت استفاده از چهار میراگر برابر ۴۶ و ۴۴ درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶: برش پایه تحت زلزله‌های حوزه دور از گسل (راست) و حوزه نزدیک گسل (چپ) در مدل ۱۵ طبقه

نتایج حاصل از برش پایه سازه ۱۵ طبقه نشان دهنده‌ی این است که، بیشترین مقدار کاهش برای حالت استفاده از یک میراگر در رکوردهای حوزه نزدیک برابر ۳۷ درصد و برای رکوردهای دور ۲۶ درصد است. مقدار برش پایه در سازه ۱۵ طبقه با دو میراگر در رکوردهای نزدیک گسل ۲۵ درصد کاهش و در رکوردهای دور از گسل ۴۶ درصد را نشان داده است. همچنین برای حالت استفاده از چهار میراگر بیشترین مقدار کاهش ۴۵ درصد برای رکوردهای نزدیک و ۴۲ درصد برای رکوردهای دور از گسل است.



شکل ۱۷: برش پایه تحت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل (راست) و دور از گسل (چپ) در مدل ۲۰ طبقه

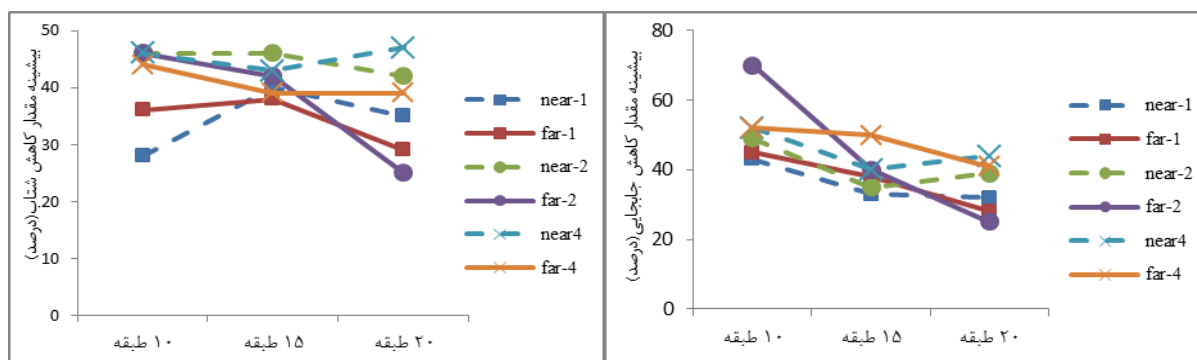
نتایج حاصل از برش پایه سازه ۲۰ طبقه نیز نشان دهنده‌ی این است که، بیشترین مقدار کاهش برای حالت استفاده از یک میراگر در رکوردهای حوزه نزدیک برابر ۳۱ درصد و برای رکوردهای دور از گسل برابر ۲۵ درصد است. مقدار برش پایه در سازه ۱۵ طبقه در حالت استفاده از دو میراگر در رکوردهای نزدیک گسل ۳۴ درصد کاهش و در رکوردهای دور از گسل ۳۱ درصد را نشان داده است. همچنین برای حالت استفاده از چهار میراگر بیشترین مقدار کاهش برابر ۴۱ درصد برای رکوردهای نزدیک و ۳۴ درصد برای رکوردهای دور از گسل است.

۸-۴- بررسی تغییرات بیشینه جابجایی، شتاب و برش پایه مدل‌های منظم

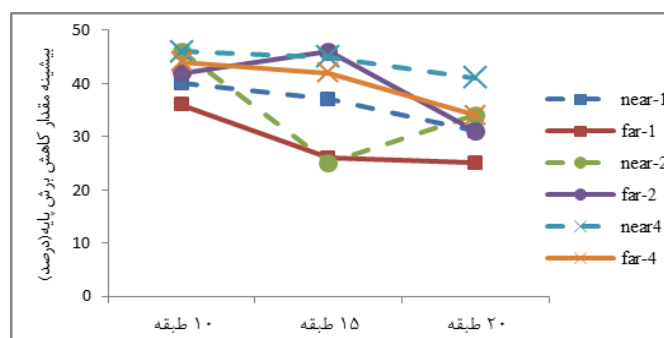
برای بررسی تاثیرات میراگرها در طبقات مختلف برای رکوردهای دور و نزدیک، مقدار کاهش حداکثر در رکوردهای دور و نزدیک برای هر کدام از میراگرها در مدل‌های منظم ارزیابی شده است. از بین ۱۱ رکورد حوزه نزدیک بیشترین مقدار کاهش و از بین ۱۱ رکورد حوزه دور بیشترین مقدار کاهش برای هر کدام از مدل‌ها استخراج شده و نتایج در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶: بررسی تغییرات بیشینه جابجایی، شتاب و برش پایه در مدل‌های منظم ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه

| سازه | یک میراگر | | دو میراگر | | چهار میراگر | |
|--------------|------------|----------|------------|----------|-------------|----------|
| | حوزه نزدیک | حوزه دور | حوزه نزدیک | حوزه دور | حوزه نزدیک | حوزه دور |
| جابجایی | | | | | | |
| ۱۰ طبقه منظم | 43 | 45 | 49 | 70 | 52 | 52 |
| ۱۵ طبقه منظم | 33 | 38 | 35 | 40 | 40 | 50 |
| ۲۰ طبقه منظم | ۲۲ | ۲۸ | ۲۹ | ۲۵ | ۲۴ | ۴۱ |
| شتاب | | | | | | |
| ۱۰ طبقه منظم | ۲۸ | ۳۶ | ۴۶ | ۴۶ | ۴۶ | ۴۴ |
| ۱۵ طبقه منظم | ۴۰ | ۳۸ | ۴۶ | ۴۲ | ۴۳ | ۳۹ |
| ۲۰ طبقه منظم | ۳۵ | ۲۹ | ۴۲ | ۲۵ | ۴۷ | ۳۹ |
| برش پایه | | | | | | |
| ۱۰ طبقه منظم | ۴۰ | ۳۶ | ۴۶ | ۴۲ | ۴۶ | ۴۴ |
| ۱۵ طبقه منظم | ۳۷ | ۲۶ | ۲۵ | ۴۶ | ۴۵ | ۴۲ |
| ۲۰ طبقه منظم | ۳۱ | ۲۵ | ۳۴ | ۳۱ | ۴۱ | ۳۴ |



شکل ۱۸: بررسی تغییرات بیشینه مقدار کاهش جابجایی (راست) و کاهش شتاب (چپ) در مدل‌های منظم



شکل ۱۹: بررسی تغییرات بیشینه مقدار کاهش برش پایه در مدل‌های منظم

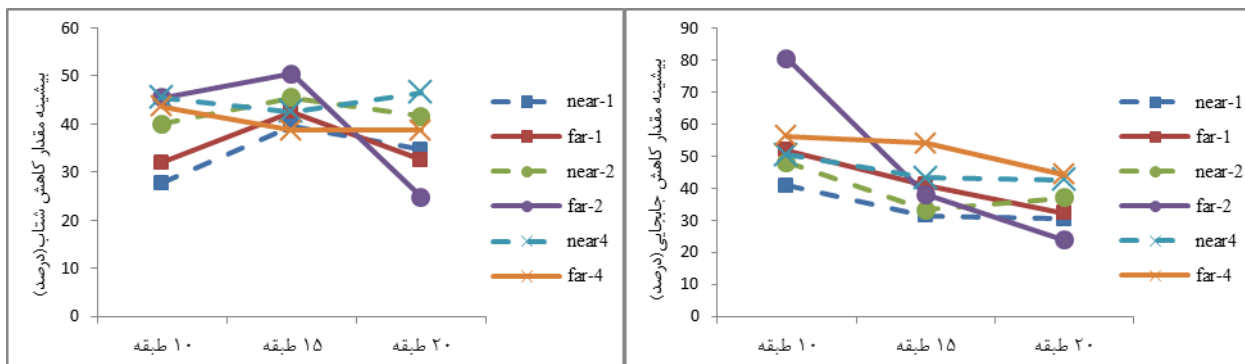
نتایج بیشینه کاهش جابجایی مدل‌ها نشان دهنده این است که استفاده از یک میراگر در مدل ۱۰ طبقه نسبت به مدل ۱۵ و ۲۰ طبقه برای رکوردهای حوزه نزدیک تاثیر بیشتری در کاهش جابجایی داشته است. همچنین نتیجه فوق در رکوردهای دور از گسل نیز صادق است. استفاده از ۲ میراگر در سازه‌های ۱۰ طبقه نسبت به دو سازه دیگر تاثیر بیشتری در کاهش و کنترل جابجایی طبقه بام دارد.

ولی کمترین مقدار تاثیر برای مدل ۱۵ طبقه است. آنچه که مشهود است در رکوردهای حوزه دور استفاده از ۲ میراگر کنترل بسیار خوبی در سازه ۱۰ طبقه داشته و با افزایش طبقات این تاثیر به دلیلی تغییر مشخصات دینامیکی سازه تغییر یافته است. در حالت استفاده از چهار میراگر برای رکوردهای نزدیک گسل، بیشترین مقدار تاثیر برای مدل ۱۰ طبقه است ولی در رکوردهای دور بیشترین مقدار کاهش جابجایی در اثر استفاده از میراگرهای جرمی در مدل ۱۵ طبقه است. همانطور که مشاهده می شود طیف نمودار سازه ها در رکوردهای نزدیک گسل از مشابهت خاصی برخوردار است ولی سازه های تحت تاثیر رکوردهای دور از گسل دارای پراکندگی می باشند. در مورد تعداد میراگرها بیشترین کاهش مربوط به بکارگیری دو میراگر در سازه ده طبقه می باشد و بیشترین تاثیرات کاهش مربوط به استفاده از چهار میراگر در مدلها می باشد. نتایج حداکثر شتاب مدلها نیز نشان دهنده این است که استفاده از یک میراگر در مدل ۱۵ طبقه نسبت به مدل ۱۰ و ۲۰ طبقه برای رکوردهای حوزه نزدیک تاثیر بیشتری در کاهش شتاب داشته است. همچنین نتیجه فوق در رکوردهای دور از گسل نیز صادق است. در رکوردهای حوزه نزدیک استفاده از ۲ میراگر نیز در سازه های ۱۵ طبقه نسبت به دو سازه دیگر تاثیر بیشتری در کاهش و کنترل شتاب طبقه بام دارد، اما در رکوردهای دور از گسل استفاده از میراگرهای جرمی مقدار شتاب را برای سازه های ۱۰ طبقه نسبت به دو سازه دیگر بهتر کنترل نموده است. در حالت استفاده از چهار میراگر برای رکوردهای نزدیک، بیشترین مقدار تاثیر در کاهش شتاب طبقه بام برای مدل ۲۰ طبقه است ولی در رکوردهای دور بیشترین مقدار کاهش شتاب بام در اثر استفاده از میراگرهای جرمی در مدل ۱۰ طبقه است. نتایج نمودارها نشان دهنده بیشترین درصد کاهش شتاب در سازه های تحت تاثیر رکوردهای نزدیک گسل می باشد که بیشترین کاهش مربوط به استفاده از چهار میراگر در رکورد نزدیک گسل در سازه ۲۰ طبقه نشان داده شده است. میانگین درصد کاهش شتاب مربوط به مدلها تحت تاثیر رکوردهای دور از گسل بوده که می تواند ناشی از محتوای فرکانسی پایین تر رکوردهای دور از گسل نسبت به رکوردهای نزدیک گسل در نظر گرفته شود. نتایج حداکثر شتاب وارد بر مدلها نشان دهنده این است که، استفاده از یک میراگر در مدل ۱۰ طبقه نسبت به مدل ۱۵ و ۲۰ طبقه برای رکوردهای حوزه نزدیک تاثیر بیشتری در کاهش برش پایه داشته است. همچنین نتیجه فوق در رکوردهای دور از گسل نیز تقریباً صادق است. نتایج نشان دهنده این است که استفاده از ۲ میراگر نیز در سازه های ۱۰ طبقه نسبت به دو سازه دیگر تاثیر بیشتری در کاهش برش پایه دارد و این اختلاف نسبت به دو مدل دیگر برای رکوردهای حوزه نزدیک قابل تامل است اما در رکوردهای دور از گسل بیشترین تاثیر میراگرهای جرمی در کنترل برش پایه مربوط به سازه ۱۵ طبقه است. نمودارها نشان دهنده بیشترین کاهش برش پایه مدلها در استفاده از دو و چهار میراگر در رکورد نزدیک و دور از گسل در سازه ده طبقه می باشند. استفاده از دو و چهار میراگر و گستردگی جرم متمرکز در سطح پلان سازه باعث تاثیرات بهتر و بهینه تر در جذب انرژی زلزله، میزان جابجایی و دیگر پارامترهای زلزله در مدلها می شود.

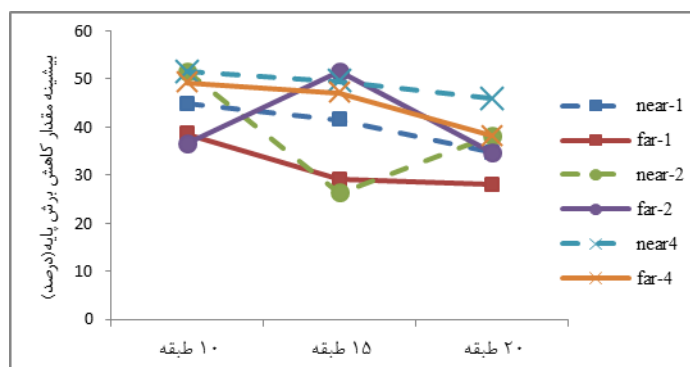
۸-۵- بررسی تغییرات بیشینه جابجایی، شتاب و برش پایه مدلهای نامنظم L شکل

جدول ۷: بررسی تغییرات بیشینه جابجایی، شتاب و برش پایه در مدلهای نامنظم ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه L شکل

| سازه | یک میراگر | | دو میراگر | | چهار میراگر | |
|---------------|------------|----------|------------|----------|-------------|----------|
| | حوزه نزدیک | حوزه دور | حوزه نزدیک | حوزه دور | حوزه نزدیک | حوزه دور |
| جابجایی | | | | | | |
| ۱۰ طبقه L شکل | ۴۱ | ۵۲ | ۴۸ | ۸۱ | ۵۱ | ۵۶ |
| ۱۵ طبقه L شکل | ۲۲ | ۴۱ | ۲۳ | ۲۸ | ۴۳ | ۵۴ |
| ۲۰ طبقه L شکل | ۳۱ | ۳۲ | ۳۷ | ۲۴ | ۴۳ | ۴۴ |
| شتاب | | | | | | |
| ۱۰ طبقه L شکل | ۲۸ | ۳۲ | ۴۰ | ۴۶ | ۴۵ | ۴۴ |
| ۱۵ طبقه L شکل | ۴۰ | ۴۳ | ۴۵ | ۵۰ | ۴۳ | ۳۹ |
| ۲۰ طبقه L شکل | ۳۵ | ۳۳ | ۴۲ | ۲۵ | ۴۷ | ۳۹ |
| برش پایه | | | | | | |
| ۱۰ طبقه L شکل | ۴۵ | ۳۹ | ۵۲ | ۳۶ | ۵۱ | ۴۹ |
| ۱۵ طبقه L شکل | ۴۲ | ۲۹ | ۲۶ | ۵۱ | ۴۹ | ۴۷ |
| ۲۰ طبقه L شکل | ۳۴ | ۲۸ | ۳۸ | ۳۵ | ۵۰ | ۳۸ |



شکل ۲۰: بررسی تغییرات بیشینه مقدار کاهش جابجایی (راست) و کاهش شتاب (چپ) در مدل‌های نامنظم L شکل

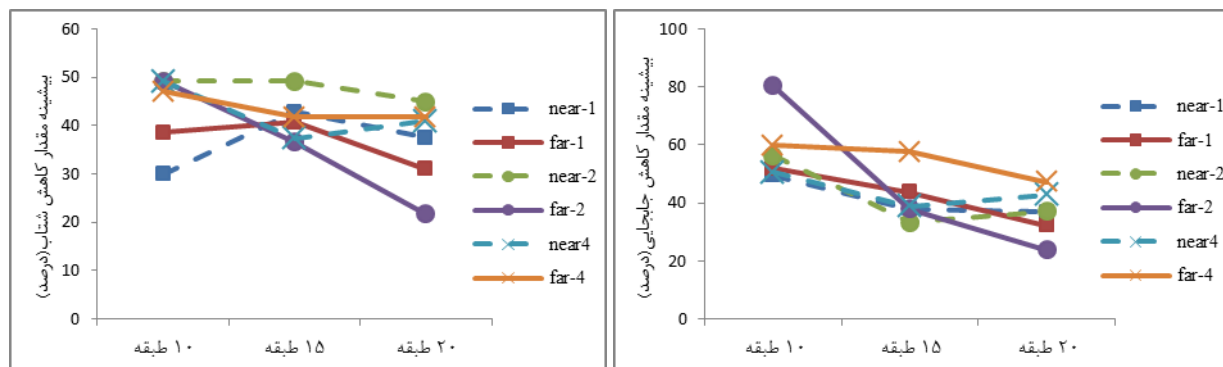


شکل ۲۱: بررسی تغییرات بیشینه مقدار کاهش برش پایه (راست) در مدل‌های نامنظم L شکل

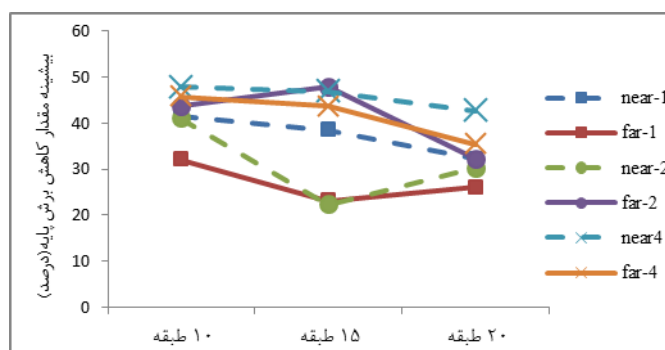
۸-۶- بررسی تغییرات بیشینه جابجایی، شتاب و برش پایه مدل‌های نامنظم U شکل

جدول ۸: بررسی تغییرات بیشینه جابجایی، شتاب و برش پایه در مدل‌های نامنظم ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه U شکل

| سازه | یک میراگر | | دو میراگر | | چهار میراگر | |
|---------------|------------|----------|------------|----------|-------------|----------|
| | حوزه نزدیک | حوزه دور | حوزه نزدیک | حوزه دور | حوزه نزدیک | حوزه دور |
| جابجایی | | | | | | |
| ۱۰ طبقه L شکل | 50 | 52 | 56 | 80 | 51 | 59 |
| ۱۵ طبقه L شکل | 38 | 43 | 33 | 38 | 39 | 58 |
| ۲۰ طبقه L شکل | 36 | 32 | 37 | 24 | 43 | 48 |
| شتاب | | | | | | |
| ۱۰ طبقه L شکل | 30 | 39 | 49 | 49 | 49 | 47 |
| ۱۵ طبقه L شکل | 43 | 41 | 49 | 36 | 37 | 42 |
| ۲۰ طبقه L شکل | 37 | 31 | 44 | 22 | 41 | 42 |
| برش پایه | | | | | | |
| ۱۰ طبقه L شکل | 42 | 33 | 41 | 44 | 47 | 46 |
| ۱۵ طبقه L شکل | 38 | 23 | 22 | 47 | 46 | 44 |
| ۲۰ طبقه L شکل | 33 | 26 | 31 | 32 | 42 | 35 |



شکل ۲۲: بررسی تغییرات بیشینه مقدار کاهش جابجایی (راست) و کاهش شتاب (چپ) در مدل‌های نامنظم U شکل



شکل ۲۳: بررسی تغییرات بیشینه مقدار کاهش برش پایه در مدل‌های نامنظم U شکل

۹- نتیجه گیری

در این تحقیق تأثیرات میراگر جرمی چندگانه در ساختمان‌های بلند منظم و نامنظم فولادی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. افزایش روزافزون اجرای ساختمان‌های بلند بدلیل اقتصادی و فنی، باعث می‌شود که تحقیق در مورد کنترل چنین سازه‌هایی در برابر نیروهای زلزله و باد و بازدهی آنها از لحاظ فنی افزایش یابد. نامنظم بودن پلان نیز از مسائلی است که مهندسان طراح و متخصصان زلزله با آن مواجه می‌شوند. در این تحقیق از گستره وسیعی از رکوردهای حوزه دور و نزدیک گسل با شدت‌ها و پارامترهای زلزله ای متفاوت استفاده شده است و میراگرها با توجه به روابط دینامیکی طراحی و نصب شده و مدل‌ها مورد تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان دهنده تأثیرگذاری مطلوب تر کاربرد تعداد بیشتر میراگر در مدل‌ها نسبت به میراگر تک جرمی می‌باشد. قرار گرفتن میراگرها در بیش از یک نقطه باعث کاهش بیشتر پاسخ لرزه‌ای در سازه‌ها شده و میزان کاهش برای هر کدام از پاسخ‌ها از قبیل برش پایه، جابجایی و شتاب طبقات افزایش می‌یابد. وقتی که میراگرها در نقاط مختلفی قرار می‌گیرند، توزیع جرم در سطح طبقه افزایش یافته و از این طریق نیرویی که از طریق شتاب جرمی بر سازه وارد می‌گردد چندان قبال توجه نبوده و از اینرو کاهش پاسخ‌ها نیز بیشتر می‌شود، اما زمانی که جرم متمرکز در یک نقطه از سازه قرار می‌گیرد، شتاب وارد بر آن بخش بیشتر بوده و کنترل چندان در روی پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها ایجاد نمی‌گردد. نتایج نشان دهنده‌ی آن است که در اکثر رکوردهای دور و نزدیک، وقتی میراگرها در چهار نقطه متقارن در پلان قرار می‌گیرند با کنترل مقدار پیچش در سازه‌های نامنظم و توزیع جرم مناسب بین المان‌های مقاوم جانبی تلاش داخلی اعضای مقاوم در یک طبقه بصورت مشترک در تحمل نیروی فزاینده ناشی از جرم متمرکز مشارکت نموده و مقدار پاسخ لرزه‌ای نیز بخاطر افزایش زمان تناوب سازه و کاهش شتاب وارد بر طبقات کاهش می‌یابد. آنچه که مشاهده می‌گردد این است که تأثیر میراگرهای جرمی برای رکوردهای مختلف زلزله دارای تفاوت‌های قابل توجهی است، دلیل این موضوع آن است که مشخصات و محتوای فرکانسی رکوردها در حوزه دور و نزدیک دارای تفاوت‌هایی از قبیل حداکثر شتاب زمین (PGA)، بزرگی، فاصله از گسل، میزان انرژی آزاد شده و مدت دوام هستند، لذا اضافه نمودن میراگر جرمی باعث تغییر مشخصات دینامیکی شده و فرکانس موثر سازه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین در رکوردهای که فرکانس غالب رکورد به فرکانس سازه نزدیک می‌گردد، میراگرها کنترل چندان مناسبی بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها از خود نشان نمی‌دهند.

در مورد بیشینه جابجایی، با افزایش طبقات تاثیرگذاری میراگر در کاهش جابجایی کمتر شده است، بطوریکه در مدل ۱۰ طبقه کاهش جابجایی بیشتری نسبت به مدل ۲۰ طبقه رخ داده است. همچنین با افزایش طبقات راندمان و افزایش عملکرد میراگرها در حوزه دور از گسل نسبت به رکوردهای نزدیک گسل کاهش پیدا کرده است. در تعداد میراگرهای یکسان با افزایش طبقات در حوزه دور از گسل کاهش تغییرات شتاب و در حوزه نزدیک با افزایش بیشینه شتاب مدلها را مواجه هستیم. بطور کلی میراگرهای چندگانه در حوزه نزدیک گسل عملکرد بهتری در کاهش شتاب مدلها داشته که این مورد در جابجایی طبقات نیز صادق است. در مورد برش طبقات بیشترین کاهش در حوزه نزدیک گسل بوده و با افزایش تعداد میراگرها مشهود است و با افزایش طبقات تغییراتی هر چند کم در کاهش برش طبقات مشاهده می شود. آنچه پرواضح است تاثیر ۴۰ درصدی بطور میانگین در کاهش جابجایی، برش پایه و شتاب طبقات مدلها در استفاده از میراگرهای جرمی چندگانه مشخصا مبین عملکرد بسیار مناسب این وسیله در بهبود عملکرد سازه ها می باشد.

مراجع

- [1] Bargi, Kh. (2007). *Fundamentals of Earthquake Engineering*. First Edition. University of Tehran.
- [2] Soto, M. (2012). *Investigation of Passive Control of Irregular Building Structures using Bidirectional Tuned Mass Damper*. MSC, The Ohio State University.
- [3] Abbasi, M. (2012). *Investigating and evaluating the performance of mass-dampers regulated in reducing the non-elastic seismic requirements of tall buildings*. MSC. University of rajae Tehran.
- [4] Kareem, A. and Kijewski, T. and Tamura, M. (1999). Mitigation of motions of tall building with specific example of recent application. *Journal of Wind and Structure*, Vol 2(3), pp 201-251.
- [5] Carlisle, M. (2013). *Experimental Investigation into a Passive Auto-Tuning Mass Damper*. MSC, University of the Witwatersrand.
- [6] Clark, A. (1988). *Multiple Passive Tuned Mass Dampers for Reducing Earthquake induced Building Motion*. Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering. Tokyo-Kyoto, Japan, Vol 5, pp 779-784.
- [7] Chen, G. (1996). *Multi-stage tuned mass damper*. Proceedings of the 11th World Conference on Earthquake Engineering. Acapulco, Mexico, Paper No. 1326.
- [8] Warburton, G. B. Ayorinde, E. O. (1982). Optimum absorber Parameters for Simple Systems. *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol 8(3), pp 197-217.
- [9] Villaverde, R. and Koyama, L. (1993). *Damped Resonant Appendages to Increase Inherent Damping in Buildings*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol 22, pp 491-507.
- [10] Wirsching, P. and Campbell, G. W. (1974). *Minimal Structural Response under Random Excitation using the Vibration Absorber*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol 2, pp 303-12.
- [11] Abe, M. and Igusa, T. *Tuned Mass Dampers for Structures with Closely Spaced Natural Frequencies*. *Journal of Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, Vol 24(2), pp 247-261.
- [12] Jangid, R. S. (1995). *Dynamic Characteristics of Structures with Multiple Tuned Mass Dampers*. *Structural Engineering and Mechanics*. Vol 28, pp 1041-1049.
- [13] Li, C. (2000). *Performance of Multiple Tuned Mass Dampers for Attenuating Undesirable Oscillations of Structures under the Ground Acceleration*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol 29, pp 1405-1421.
- [14] Abdullah, M. and Richardson, Hanif. (2001). *Use of a Shared Tuned Mass Damper (STMD) to Reduce Vibration and Pounding in adjacent Structures*. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol 30, pp 1185-1201.
- [15] Zahrai, S. M. and Ghannadi, A. (2008). *Seismic Performance of TMDs in Improving the Response of MRF Building*. *Scientia Iranica*, Vol 15, No 1, pp 21-33.
- [16] Tuan, A. and Shang, G. Q. (2014). *Vibration Control in a 101-Storey Building using a Tuned Mass Damper*. *Journal of Applied Science and Engineering*, Vol 17, No 2, pp 141-156.

- [17] Hirde,S. and Aher.R. (2016). Seismic Evaluation of Irregular Structures. International Journal of Engineering Research, No 5, pp 750-755.
- [18] Soto,M.G. and Adeli,H. (2014). Optimum Tuning Parameters of Tuned Mass Damper for Vibration Control of Irregular High Rise Building Structures. Journal of Civil Engineering and Management, Vol 20(5), pp 609-620.
- [19] Wakchaure,M.R. and Shirish.A, and Nikam,R. (2012). Study of Plan Irregularity on High-Rise Structures. International urnal of Innovative Research&Development, Vol 1(8), PP 269-281.
- [20] Valmundson,E. and Nau,J.M. (1997). Seismic Response of Building Frames with Vertical Structural Irregularities. Journal of Structure Engineering, ASCE, Vol 123 (1) , pp 30-41.
- [21] Siva Konda Reddy,B. and Madhavi,L. and Srikanth,CH. (2018). Analysis of Irregular High Raised RCC Buildings by Using Tuned Mass Damping System. International Journal of Advanced Engineering Research and Science(IJAERS), Vol 5(3),
- [22] Bagheri,S. and Rahmani-Dabbagh,V. (2018). Seismic Response Control with Inelastic Tuned Mass Damper. Journal of Engineering Structures, Vol 172,pp 712-722.
- [23] Wang, W. and Wang,X. and Hua,X. and Song,G. and Chen, Z. and Chen, Z. (2018). Vibration Bridge Deck by a Single- Side Pounding Tuned Mass Damper. Journal of Engineering Strucures, Vol 173, pp 61-75.
- [24] Li, Luya. and Peng, Cui. (2017). Novel Approach of a Nonlinear Tuned Mass Damper with Duffing Stiffness. Journal of Engineering Mechanics , Vol 143(4), 04017004.
- [25] Lu, Zheng, and Kun, Li, and Ying, Zhou. (2018). Comparative Studies on Structures with a Mass Damper and Particle Damper. Journal of Aerospace Engineering. 31(6), 04018090.
- [26] Lin, Jui-Liang. (2017) Top-Story Mass Dampers for Seismic Control of the First Triplet of Vibration Modes of Two-Way Asymmetric-Plan Buildings. Journal of Vibration and Control. 23(18), pp 2962-2976.
- [27] Sadek,F. and Mohraz,B. and Taylor,A.W. and Chung, R.M. (1997). A Method of Estimating the Parameters of Tuned Mass Dampers for Seismic Applications. Earthquake Engineering & Structural Dynamic, Vol 26, pp 617-635.