

Investigation of base Shear in the Steel Structure with Rotational Friction Damper Influenced by the Soil-structure Interaction

Saeed Abachi

Department Of Civil Engineering, Kish International Branch, Islamic Azad University, Kish Island
Iran

*Aliraza Lork

Department Of Civil Engineering, Safadasht Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Ali Nikkhoo

Department Of Civil Engineering, University of Science and Culture, Tehran, Iran

Lork@Safaiiau.ac.ir

DOI: 10.30495/CIVIL.2022.697808

Keywords:

Rotational Friction
Damper;
nonlinear analysis;
base shear;
earthquake;
lateral control

Abstract

Rotational friction dampers (RFDs) have been proposed as one of the passive control tools in order to increase the seismic performance and lateral control of structures and the loss of input energy of earthquakes through friction in their rotating plates. Apply of the rotational friction dampers will reduce shear stress and improve the dynamic response of the structures. In the nonlinear analysis and design of structures, the underlying soil is usually assumed to be rigid, if the flexibility effect of the structure bed is used, the dynamic characteristics of the structures will be different. Examining the behavior of structures by considering the effects of soil and structure interaction can give us a more accurate understanding of the behavior of structures, and this is while in most of the designed structures, the effects of soil stiffness and possible elevation of the foundation is not considered. In this article, a typical ten-story building is considered and in it, with type two hard soil and type three soft soil, the performance of the damper with different damping capacity and interaction effect was analyzed with SAP 2000 software. Shear stress in different floors of the structure was analyzed in four cases: with dampers and with the effect of soil interaction and with dampers without the effect of soil interaction, without dampers with the effect of soil interaction, and without dampers and without the effect of soil interaction. The graphs showed how much the rotational friction damper can be useful in reducing the shear in different floors of the building, taking into account the effect of soil and structure interaction. Three earthquake records were utilized for this research and at the end, the results were compared with each other. The results indicated that the use of rotational friction dampers reduced the shear in all cases and the analysis of the sliding load of the damper and the required capacity of the structure were also obtained.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license: (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

بررسی برش در یک سازه فولادی دارای میراگر اصطکاکی دورانی با تاثیر اثر اندرکنش خاک و سازه

سعید عباچی

دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران، واحد بین الملل کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، کیش، ایران

علیرضا لرک*

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد صفادشت، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

علی نیکخو

دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران

Lork@Safaiiau.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۰۲ شهریور ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: ۱۱ اردیبهشت ۱۴۰۱

چکیده

میراگرهای اصطکاکی دورانی (RFD) به عنوان یکی از ابزارهای کنترل غیرفعال به منظور افزایش عملکرد لرزه‌ای و کنترل جانبی سازه‌ها و اتلاف انرژی ورودی زلزله‌ها از طریق اصطکاک در صفحات دوار آنها پیشنهاد شده است. استفاده از میراگرهای اصطکاکی دورانی، باعث کاهش برش و بهبود پاسخ دینامیکی سازه‌ها خواهد شد. در تحلیل غیرخطی و طراحی سازه‌ها معمولاً خاک زیرین را صلب فرض می‌کنند، در صورتی که اگر اثر انعطاف‌پذیری بستر سازه استفاده شود، خصوصیات دینامیکی سازه‌ها متفاوت خواهد بود. بررسی رفتار سازه‌ها با در نظر گرفتن اثرات اندرکنش خاک و سازه می‌تواند ما را به درک صحیح‌تری از رفتار سازه‌ها نایل سازد و این در حالی است که در عمده‌ی سازه‌های طراحی شده، اثرات سختی خاک و همچنین بلند شدگی احتمالی شالوده در نظر گرفته نمی‌شود. در این مقاله یک ساختمان ده طبقه نمونه در نظر گرفته شده و در آن با خاک سخت تپ دو و خاک نرم تپ سه، عملکرد میراگر با ظرفیت میرایی‌های مختلف و اثر اندرکنش، با نرم‌افزار SAP 2000 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و برش در طبقات مختلف سازه، در چهار حالت با میراگر و با اثر اندرکنش خاک و با میراگر بدون اثر اندرکنش خاک و بدون میراگر با اثر اندرکنش خاک و بدون میراگر و بدون اثر اندرکنش خاک، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نمودارها نشان داد که چه میزان میراگر اصطکاکی دورانی می‌تواند در کاهش برش در طبقات مختلف ساختمان، با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه مفید واقع شود. برای این تحقیق از سه رکورد زلزله استفاده شده است، و در انتها نتایج با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج حاصله حاکی از آن است که بکارگیری میراگرهای اصطکاکی دورانی، برش را در همه حالات کاهش داد و نیز تجزیه تحلیل بار لغزش میراگر و ظرفیت مورد نیاز سازه، نیز بدست آمد.

کلید واژگان: میراگر اصطکاکی دورانی، تحلیل غیر خطی، برش، زلزله، کنترل جانبی

۱- مقدمه

بسیار خوبی را توانستند از آزمایش خود در زمینه کنترل جانبی ساختمان بدست آورند.

۲- شرح و ویژگی های میراگر اصطکاکی دورانی (RFD)

پیکربندی اصلی میراگر اصطکاکی دورانی (RFD) شامل صفحات فولادی است که توسط پیچ فولادی ضد زنگ، قطعات فولادی و فنر صفحه‌ای و قطعات اصطکاکی، با هم فشرده و به شکل یک دستگاه T شکل در می‌آید. در داخل صفحات فولادی، دیسک‌های اصطکاکی مدور ساخته شده از مواد کامپوزیتی با تکنولوژی بالا قرار دارند. برای حفظ فشار ثابت در لایه‌های صفحه و اصطکاک مورد محاسبه شده، چندین چشمه دیسک، صفحات فولادی خارجی و فنرهای سخت استفاده می‌شود. ظرفیت لغزش دستگاه و پتانسیل تخلیه انرژی آن می‌تواند به راحتی با اضافه کردن لایه‌های بیشتر صفحات فولادی و پد اصطکاک افزایش یابد.

فرهمنادز و همکاران [8] در مقاله ای ارزیابی تلفات لرزه‌ای سازه‌های فولادی مجهز به میراگرهای اصطکاکی دورانی تحت تحریکات دینامیکی تشدیدکننده را مورد آزمایش قرار داده و نتایج آن از قبیل برش و جابجایی سازه را در مقاله تحقیقاتی خود به ثبت رساندند.

عماد موالا [9] اولین بار توانست میراگرهای اصطکاکی دورانی را در دانشگاه فنی دانمارک نمونه‌سازی کند.

شیرخانی و همکاران [10] سه سازه ۳، ۷ و ۱۱ طبقه را مدل کردند و رفتار قاب‌های فولادی مجهز شده به میراگر اصطکاکی دورانی را مورد بررسی قرار داده و نتایج آن در ژورنال تحقیق در سازه‌های فولادی به ثبت رسیده است.

میرزا باقری و همکاران [11] بررسی تجربی و عددی میراگرهای چند واحدی اصطکاکی دورانی در فریم‌های فولادی تحت جابجایی جانبی را انجام دادند.

جراحی و همکاران [12] بهینه‌سازی همزمان فرارگیری و پارامترهای میراگرهای اصطکاکی دورانی برای قاب‌های فولادی لرزه‌ای مقاوم بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه، بررسی نمودند.

تخلیه انرژی میراگر بستگی به لحظه کششی Ms و زاویه چرخش کششی Θ بین صفحات عمودی و افقی دارد. دستگاه T شکل و ارتباط آن با چرخش لحظه‌ای بصورت ایده‌آل در شکل ۱ نشان داده شده است.

رویکرد متعارف در طراحی مقاوم در برابر زلزله، باعث می‌شود تا مهندسان و طراحان به سمت سازه‌های انعطاف پذیر در هنگام زلزله و نیروهای جانبی روی آورند، حال از آنجا که بیشترین نقاط ایران و همچنین شهر تهران بر روی کمربند زلزله قرار گرفته است، رویکرد باید به سمت استفاده کردن از قطعات و تکنولوژی‌های جدید در صنعت ساختمان و سازه باشد، لذا از آنجایی که جان انسان‌ها در اولویت است، سازه‌ها باید بگونه‌ای طراحی شوند که در هنگام زلزله، کمترین آسیب به جان انسان‌ها وارد شود، از طرف دیگر در سازه‌های با اهمیت بالا، مانند بیمارستان‌ها و مراکز استراتژیک، در هنگام زلزله‌های شدید، علاوه بر اینکه هیچگونه آسیبی نباید به جان انسان وارد شود، سازه بایستی بعد از زلزله عملکرد خوبی داشته باشد.

Gaowa و همکاران [1] کارایی و عملکرد میراگرهای اصطکاکی دورانی را برای کنترل جانبی ساختمان بررسی و نتایج خوبی را بدست آوردند.

نیلسون و موالا [2] در آزمایش خود به این نتیجه رسیدند که سیستم میرایی نصب شده در ساختمان بگونه‌ای طراحی و نصب گردد که کل بارهای دینامیکی را جذب و مستهلک کند.

توجه به طبقه بندی Soong و Dargush [3] سه سیستم و تکنولوژی پیشرفته در دنیا برای محافظت سازه از نیروهای جانبی وجود دارد یکی از آنها جدا ساز پایه و فونداسیون است دومین آنها سیستم-های کنترل نیمه فعال و سومین آنها سیستم‌های کنترل غیر فعالی می‌باشد که میراگرهای اصطکاکی دورانی از نوع غیر فعال است. در هر کدام از این سه گزینه، دستگاه‌های میراگر از انواع مختلف می‌توانند استفاده شوند، اما معمولاً آنها جزء کلیدی سیستم‌های میرایی و مستهلک کننده انرژی می‌باشند. بسته به نوع واکنش میراگرها نسبت به نیروی وارده و یا سرعت نیروی جانبی وارده با سازه FEMA-365 [4] سه نوع اصلی دستگاه میرایی انرژی وجود دارد.

الف) دستگاه‌های وابسته به جابجایی (مانند میراگرهای فلزی و میراگرهای اصطکاکی)

ب) میراگرهای وابسته به سرعت (میراگر مایع لزج، میراگرهای ویسکوز الاستیک، و غیره).

ج) انواع دیگر (میراگرهای آلیاژی حافظه دار هوشمند، دستگاه‌های خود محور و غیره).

جزئیات جامع از مکانیزم تخلیه انرژی و مدل سازی ریاضی این دستگاه‌ها همگی با هم متفاوت بوده که در مقاله [5] می‌توان پیدا کرد. فصل ۱۵ FEMA 450 [4] دارای روش‌های طراحی میراگرها می‌باشد.

موالا و همکاران [6]، در آزمایشگاه، میراگرهای اصطکاکی دورانی را مورد آزمایش چرخه هیسترزیس قرار دادند.

لیتو و همکاران [7] یک ساختمان با مقیاس واقعی با سیستم میراگر اصطکاکی دورانی بر روی صفحه لرزان مورد آزمایش قرار دادند و نتایج

میراگرهای وابسته به جابجایی (میراگرهای فلزی، میراگرهای اصطکاکی و غیره) نسبتاً ارزان و با دوام و نشان‌دهنده واکنش دقیق (قابل پیش‌بینی) هستند تا با توجه به ظرفیت مورد نیاز در یک فریم در یک طبقه خاص، قاب‌ها و اعضای سازه را با خیال راحت طراحی کنیم. با این حال، پاسخ آنها غیر خطی است و این موضوع تجزیه و تحلیل را پیچیده می‌کند. این میراگرها بسته به مکان‌های آنها در سازه اصلی ممکن است به تأثیرات دما و تغییرات دراز مدت (انقباض، خزش و غیره) حساس باشند. به طور خاص، بعضی از قطعات فلزی میراگرهای اصطکاکی دورانی ممکن است دارای مشکلات خستگی کمی در دراز مدت شوند، در حالی که برخی از قطعات فولادی میراگرها ممکن است از تخریب سطوح در تماس با فضای بیرون و رطوبت و تغییر ضریب اصطکاک در طول زمان رنج ببرند. کاربرد میراگرهای اصطکاکی دورانی برای حفاظت لرزه‌ای ساختمان‌ها و سازه‌های دیگر است.

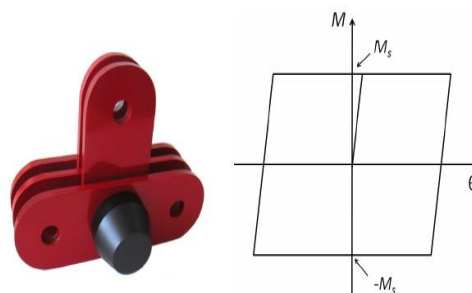


شکل ۴ - استفاده از RFD در قاب یک سازه فولادی با بادبند شورون

پس از استفاده موفق از دستگاه‌های RFD برای جداسازی پایه ساختمان‌های متوسط، تصمیم گرفتند از آنها در ساختمان‌های بلند استفاده کنند. نخستین ساختمان بلند در ایران که مجهز به میراگر Damptech بود، بیمارستان مهدی کلینیک در تهران است. با توجه به طراحی این سازه بلند، میراگرها در ترکیب با بادبند V نصب شده‌اند. برای رسیدن به ظرفیت لغزش مورد نظر ۱۵۰۰ تا ۲۲۵۰ کیلونیوتن، میراگرها با چهار اتصالات اصطکاکی و چندین لایه از ورق‌های فولادی و قطعات اصطکاکی طراحی شده‌اند.

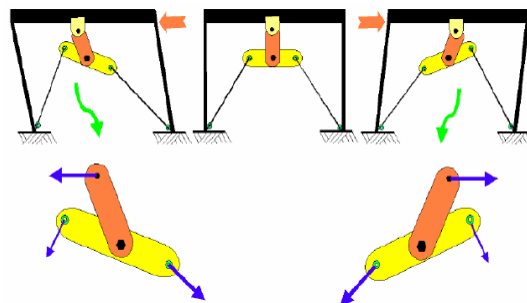
نخستین ساختمان بلند در دنیا که به میراگر اصطکاکی دورانی مجهز شد، یک برج ۴۴ طبقه در اوزاکا بود.

یکی از بزرگترین شرکتهای ساختمانی ژاپن به نام Takenaka Corp [14] برای یک ساختمان بلند با ارتفاع ۳۰۰ متر میراگر نصب کردند و برای روش عملکرد بهتر، نمونه‌های اولیه دستگاه در دو



شکل ۱ میراگر اصطکاکی T شکل و رابطه چرخشی لحظه‌ای ایده‌آل

ساده‌ترین روش نصب میراگر در یک قاب یک طبقه که در شکل ۲ نشان داده شده، صفحات عمودی با اتصال پین به تیر متصل می‌شوند. صفحات افقی توسط بادبند‌های فولادی به پایه‌های ستون متصل می‌شوند.



شکل ۲ میراگر اصطکاکی دورانی اصطکاکی T شکل یک طبقه

میراگر اصطکاکی دورانی شکل ۳ توسط شرکت Damptech [13] دانمارک ساخته شده که ظرفیت آن 5000KN می‌باشد که بصورت تجاری تولید شده و این نوع میراگر در نوع خود یکی از بزرگترین میراگرهای دنیا می‌باشد.



شکل ۳ تست میراگر اصطکاکی دورانی ظرفیت بزرگ در آزمایشگاه دانشگاه دانمارک

اثر اندرکنش خاک و سازه را برای قاب خمشی بتونی بلندتر از هفت طبقه و قاب خمشی بتونی بلندتر از ۳ طبقه که به ترتیب بر روی خاک تیپ ۳ با $375 < V_s < 175$ و خاک نوع چهار با $V_s < 175$ قرار گرفته‌اند، الزامی دانستند، و در حالت کلی در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه برای قاب‌های بتونی خمشی، در صورتی که رابطه (۱) کمتر از ۱۰ باشد الزامی است.

طباطبائی فر و فتاحی [16] اثر اندرکنش دینامیکی خاک و سازه در پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های منفرد و مجاور با ارتفاع ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه را به کمک میز لرزان مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، رابطه ولتسوس و میک [17]، درجه اهمیت اندرکنش را در همه مدل‌ها بر روی خاک نوع ۳ و ۴ تقریباً یکسان برآورد کرد. این محققین، با اعمال نسبت ابعادی سازه $\frac{h}{r}$ و عمق خاک بستر سنگی، H_s رابطه $20 < \frac{4rH_s f_s}{h^2 f}$ را ارائه دادند که این رابطه درجه اهمیت اندرکنش خاک و سازه در ساختمان‌های بلند را افزایش می‌دهد، در صورتی که برای ساختمان‌های کوتاه نتایج مشابهی حاصل می‌شود. همچنین با توجه به آزمایش‌های دینامیکی، در ساختمان‌های معمولی با پی صلب سطحی، محدود کردن این رابطه به کمتر از ۱۰ طبقه کافی است [18].

۳- حرکت زمین در زلزله

برای نشان دادن حرکت واقعی زمین، سه زوج شتاب نگاشت متعلق به مولفه‌های افقی سه زلزله مختلف ثبت شده که دارای ویژگی‌های زیر باشد انتخاب گردیدند:

شتاب نگاشت‌ها متعلق به زلزله‌هایی باشند که شرایط زلزله طرح را ارضاء کنند و در آنها اثر بزرگا، فاصله از گسل، ساز و کار چشمه لرزه زا در نظر گرفته شده باشد.

ساختگاه‌های شتاب نگاشت‌ها باید به لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی، تکنیکی، لرزه‌شناسی و بخصوص مشخصات لایه‌های خاک با زمین محل ساختمان، تا حد امکان، مشابهت داشته باشند.

مدت زمان حرکت شدید زمین در شتاب نگاشت‌ها حداقل برابر با ۱۰ ثانیه یا سه برابر زمان تناوب اصلی سازه، هر کدام بیشتر است، باشد.

مدت زمان حرکت شدید شتاب نگاشت‌ها را می‌توان از روش‌های معتبر مانند روش توزیع تجمعی انرژی، تعیین کرد [19].

۴- مقیاس شتاب نگاشت‌ها

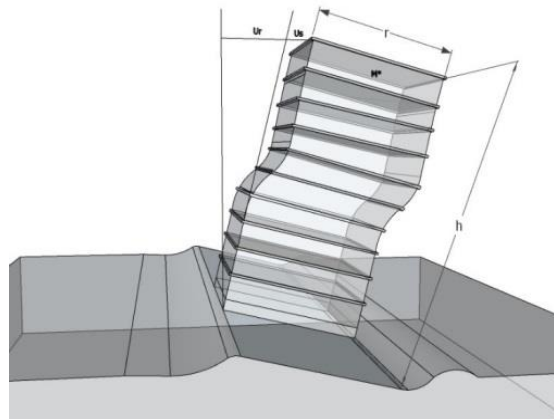
زوج شتاب نگاشت‌های انتخاب شده برای تحلیل سه بعدی سازه‌ها باید به روش زیر به مقیاس در آورده شوند:

هر زوج شتاب نگاشت به مقدار حداکثر خود مقیاس شود. بدین معنی که حداکثر شتاب در مولفه‌ای که دارای بیشینه‌ای بزرگتری هست، برابر با شتاب ثقل g گردد.

آزمایشگاه DTU و آزمایشگاهی در ژاپن (شکل ۵ چپ) مورد آزمایش قرار گرفتند. نصب در سایت در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ آزمایش تست نمونه اولیه (سمت چپ) و نصب کامل ظرفیت های بزرگ در ژاپن (راست)



شکل ۶- در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه

بر اساس مطالعات veltos & mick در صورتی که رابطه زیر برقرار باشد، مطالعات اندرکنش خاک و سازه الزامی است.

$$\frac{V_s}{fh} < 20 \quad (۱)$$

همانگونه که از شکل ۶ مشخص است V_s سرعت برشی خاک f فرکانس طبیعی سازه با پای صلب h ارتفاع کل سازه است. این رابطه همه سیستم‌های با مقاومت جانبی شامل سیستم‌های صلب و انعطاف پذیر را پوشش می‌دهد.

همانطور که استحکام سازه در برابر خاکی که بر روی آن قرار گرفته است، فاکتور اصلی لزوم در نظرگیری اثر اندرکنش خاک و سازه است، سازه‌های با فاکتور اصلاح پاسخ کمتر (فاکتور رفتار)، در مقایسه با سازه‌های شکل پذیر، طبق رابطه فوق، بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد. طباطبائی فر و معصومی [15] برای یافتن معیارهای مشخص جهت در نظر گرفتن اثر اندرکنش در طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی بتونی با فاکتور اصلاح پاسخ بالا، رابطه ارائه شده توسط ولتوس و میک را برای قاب‌های ۳، ۵، ۷، ۱۰ طبقه، برای انواع خاک مطابق دسته بندی آیین نامه ۲۸۰۰ ایران، محاسبه کردند. این محققین در نظر گرفتن

طیف پاسخ شتاب هر یک از زوج شتاب نگاشت‌های مقیاس شده با منظور کردن نسبت میرایی ۵٪ تعیین گردد.

طیف‌های پاسخ هر زوج شتاب نگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات با یکدیگر ترکیب شده و یک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شود.

هر زوج شتاب نگاشت چنان مقایسه شود که برای هر پریود در محدوده $0.2T$ الی $1.5T$ ، مقدار متوسط طیف جذر مجموع مربعات مربوط به تمام زوج مولفه‌ها، بیش از ده درصد از $1/3$ برابر مقدار متناظر طیف طرح استاندارد نشود. T زمان تناوب اصلی ساختمان است. ضریب مقیاس تعیین شده باید در شتاب نگاشت‌های مقیاس شده در بند اول ضرب شود و در تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار گیرد. در مواردی که تحلیل سازه به صورت دو بعدی انجام می‌شود، طیف مولفه بزرگتر شتاب نگاشت باید با طیف استاندارد مقایسه گردد.

۵- محاسبات تحلیل دینامیکی سازه

در این روش، تحلیل دینامیکی سازه با اثر دادن شتاب زمین به صورت تابعی از زمان، در تراز پایه و محاسبات پاسخ مدل ریاضی سازه با فرض رفتار غیر خطی انجام می‌شود. در این تحلیل نسبت میرایی را می‌توان ۵٪ منظور کرد، مگر آنکه بتوان نشان داد مقدار دیگری برای سازه مناسب‌تر است. شتاب زمین بر اساس شتاب نگاشت‌هایی که با شرایط یاد شده در آئین نامه ۲۸۰۰ قید شده اند، تعیین می‌شود. هر زوج شتاب نگاشت عنوان شده در آن بند همزمان در دو جهت عمود بر یکدیگر، در امتدادهای اصلی سازه، به آن اثر داده می‌شوند و بازتاب‌های سازه به صورت توابعی از زمان تعیین می‌گردند. بازتاب نهایی سازه برابر با حداکثر بازتاب‌های بدست آمده از تحلیل با سه زوج شتاب نگاشت می‌باشد.

۶- نتایج حاصل از تحلیل سازه

در این بخش نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها در قالب نمودارهای مختلف آورده شده است. پارامترهای مورد بررسی در این نمودارها شامل؛ برش در سه رکورد زلزله معروف دنیا، از یک گسل در ایالات متحده، مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته است. کلیه پارامترهای نام برده شده به صورت تاریخچه زمانی در بازه زمانی که برای تحلیل قاب تحت اثر بار در نظر گرفته شده بود، توسط نرم افزار SAP2000 تحلیل شده است. در کنار هر نمودار مقادیر ماکزیمم و مینیمم هر یک از محورهای آن نوشته شده است، که به منظور مقایسه هر پارامتر در حالت‌های مختلف تحلیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

سازه مورد تحلیل یک ساختمان ده طبقه، فاصله هر دهانه پنج متر و ارتفاع کف تا کف آنها ۳٫۴ متر می‌باشد، مساحت هر طبقه ۶۲۵ متر مربع و متراژ کل ۶۲۵۰ متر مربع می‌باشد، ساختمان مورد تحلیل از این جهت بزرگ گرفته شده که جابجایی طبقات در منحنی‌ها و

همچنین برش به وضوح دیده شود، در ضمن اثر میراگرها در ساختمان‌های بلند بیشتر از ساختمان‌های کوتاه می‌باشد.

۷- مشخصات سازه برای تحلیل در خاک تپ دو

تعداد طبقات : ۱۰ طبقه

ارتفاع ساختمان : ۳۴ متر

مشخصات سازه در راستای X:

سیستم سازه : سیستم قاب خمشی

سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی: قاب خمشی فولادی متوسط

$$R_u = 5; H_m = 50m; \Omega_o = 3; C_d = 4$$

مشخصات سازه در راستای Y:

سیستم سازه : سیستم قاب خمشی

سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی: قاب خمشی فولادی متوسط

$$R_u = 5; H_m = 50m; \Omega_o = 3; C_d = 4$$

مشخصات ساختمانی:

محل اجرای پروژه: شهر تهران

خطر نسبی زلزله: خیلی زیاد

نسبت شتاب مبنای طرح : ۰٫۳۵

نوع خاک : تپ II

محاسبه تناوب سازه

اثر میانقاب در نظر گرفته نشده است.

$$T_x = 0.08 \times H^{0.75} = 0.08 \times (34.0)^{0.75} \\ = 1.13 \text{ Sec}$$

$$T_y = 0.08 \times H^{0.75} = 0.08 \times (34.0)^{0.75} = 1.13 \text{ Sec}$$

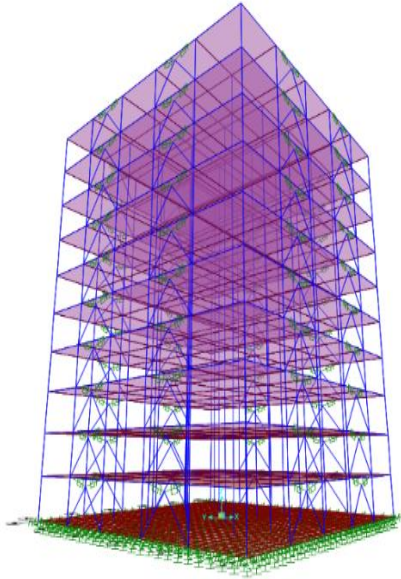
مشخصات خاک:

$$\text{soil type II: } T_o = 0.1; T_s = 0.5; S = 1.5; S_o \\ = 1$$

محاسبه ضریب بازتاب در راستای X:

$$T > T_s \Rightarrow B1 = (S + 1) \times (T_s / T) = 1.11$$

شده است یعنی هر طبقه هشت میراگر و مجموعاً "هشتاد میراگر" در طبقات در نظر گرفته شده است.



شکل ۸ ساختمان مدل شده سه بعدی با فنر برای خاک اصطکاکی دورانی

$$A = 0.35, T_s \leq T < 4 \Rightarrow$$

$$N = .7 \times (T - T_s) / (4 - T_s) + 1 \Rightarrow N = 1.13$$

$$B = 1.25$$

محاسبه ضریب بازتاب در راستای

$$T > T_s \Rightarrow B1 = (S + 1) \times (T_s / T) = 1.11$$

$$A = 0.35, T_s \leq T < 4 \Rightarrow$$

$$N = .7 \times (T - T_s) / (4 - T_s) + 1 \Rightarrow N = 1.13$$

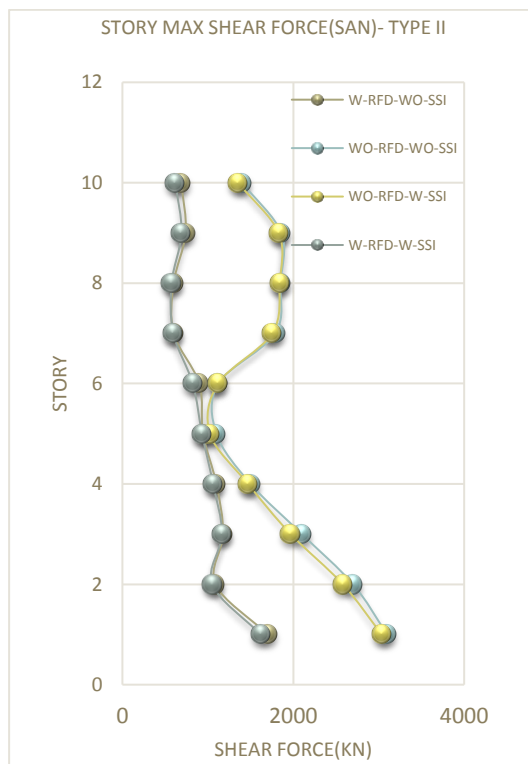
$$B = 1.25$$

محاسبه ضریب زلزله:

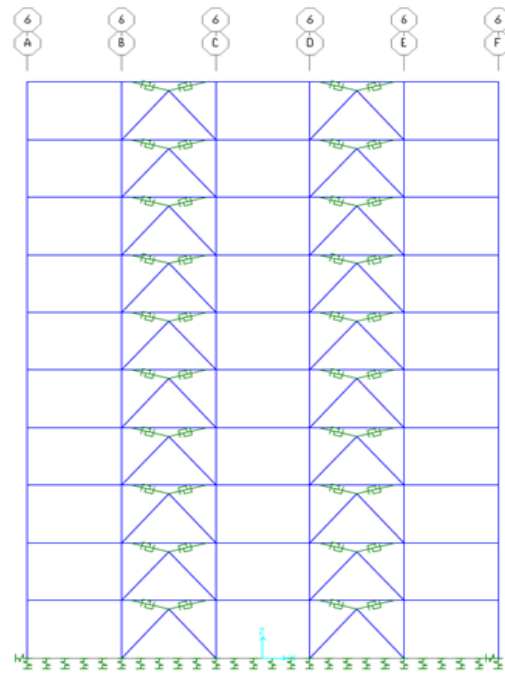
$$C_{min} = 0.12 \times A \times I = 0.0420$$

$$C_x = A \times B_x \times I / R_{ux} = 0.35 \times 1.25 \times 1.0 / 5 = 0.0874 > C_{min} \times O.K$$

$$C_y = A \times B_y \times I / R_{uy} = 0.35 \times 1.25 \times 1.0 / 5 = 0.0874 > C_{min} \times O.K$$



شکل ۹- نمودار منحنی ماکزیمم برش در رکورد (زلزله سن فرناندو با خاک تپ دو)



شکل ۷ ساختمان مدل شده ده طبقه با میراگر اصطکاکی دورانی

همانگونه که در ساختمان مورد تحلیل شکل ۷، ۸ مشاهده می کنید، در هر طبقه در هر ضلع ساختمان دو میراگر با سختی متناسب نصب

در تحلیل و تجزیه نمودارهای (شکل های ۹ و ۱۰ و ۱۱) که مربوط به سه رکورد زلزله از یک گسل در ایالات متحده آمریکا می باشد کمترین برش مربوط به استفاده کردن میراگر در سازه می باشد. از نتیجه ای که از بررسی سه منحنی بدست می آید، استفاده کردن از میراگر در کنترل برش مفید بوده ولیکن در خاک تیپ دو و سخت در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه تاثیر زیادی نخواهد داشت.

۹- مشخصات پروژه برای تحلیل در خاک تیپ سه

مشخصات سازه عیناً مانند خاک تیپ دو است.

$$R_u = 5; H_m = 50m; \Omega_o = 3; C_d = 4$$

مشخصات سازه در راستای Y:

سیستم سازه: سیستم قاب خمشی

سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی: قاب خمشی فولادی متوسط

$$R_u = 5; H_m = 50m; \Omega_o = 3; C_d = 4$$

مشخصات ساختگاه:

محل اجرای پروژه: شهر تهران

خطر نسبی زلزله: خیلی زیاد

نسبت شتاب مبنای طرح: ۰٫۳۵

نوع خاک: تیپ III

محاسبه تناوب سازه

اثر میانقاب در نظر گرفته نشده است.

$$T_x = 0.08 \times H^{0.75} = 0.08 \times (34.0)^{0.75} \\ = 1.13 \text{ Sec}$$

$$T_y = 0.08 \times H^{0.75} = 0.08 \times (34.0)^{0.75} = \\ 1.13 \text{ Sec}$$

مشخصات خاک:

$$\text{soil type III: } T_o = 0.15; T_s = 0.7; S = 1.75; S_o \\ = 1.1$$

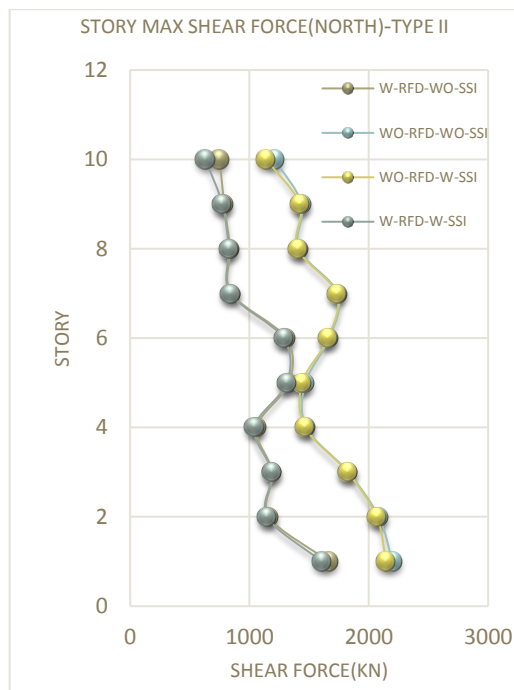
محاسبه ضریب بازتاب در راستای X:

$$T > T_s \Rightarrow B1 = (S + 1) \times (T_s / T) = 1.71$$

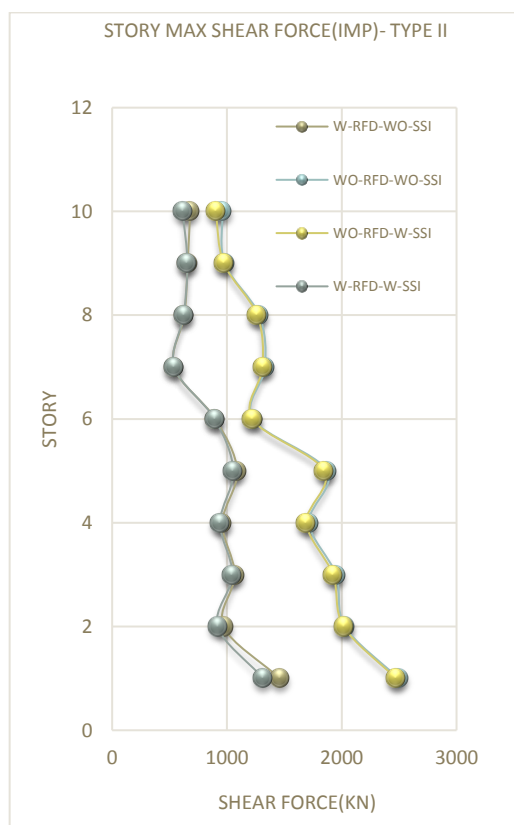
$$A = 0.35, T_s \leq T < 4 \Rightarrow$$

$$N = .7 \times (T - T_s) / (4 - T_s) + 1 \Rightarrow N = 1.09$$

$$B = 1.25$$



شکل ۱۰- نمودار منحنی ماکزیمم برش در رکورد (زلزله نورتریج با خاک تیپ دو)



شکل ۱۱- نمودار منحنی ماکزیمم برش در رکورد (زلزله امپریال ولی با خاک تیپ دو)

محاسبه ضریب بازتاب در راستای V:

$$T > T_s \Rightarrow B1 = (S + 1) \times (T_s/T) = 1.71$$

$$A = 0.35, T_s \leq T < 4 \Rightarrow$$

$$N = 1.09$$

$$B = 1.25$$

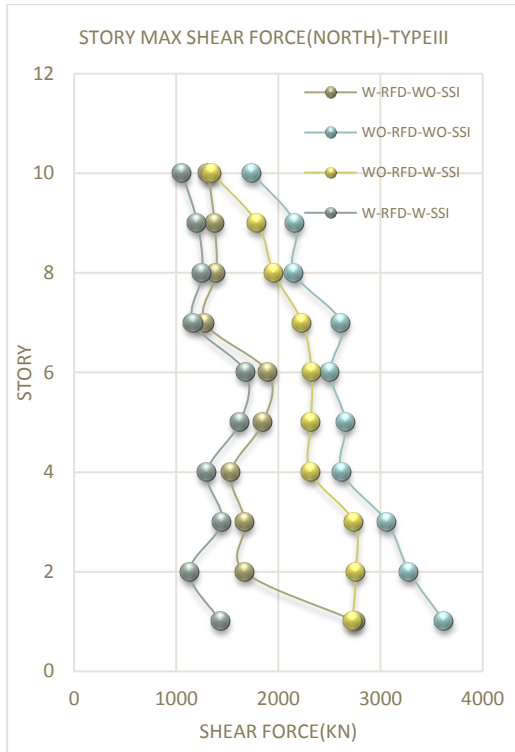
محاسبه ضریب زلزله:

$$C_{min} = 0.12 \times A \times I = 0.0420$$

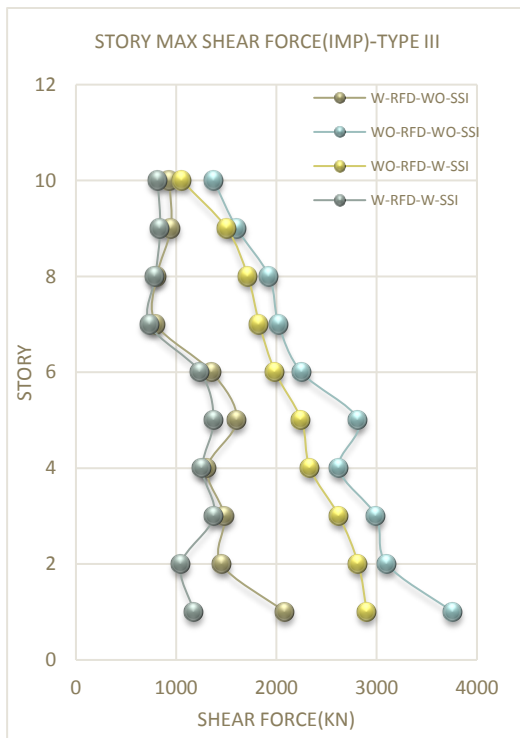
$$C_x = A \times B_x \times I/R_{ux} = 0.35 \times 1.85 \times 1.0/5 = 0.1304 > C_{min} O.K$$

$$C_y = A \times B_y \times I/R_{uy} = 0.35 \times 1.85 \times 1.0/5 = 0.1304 > C_{min} O.K$$

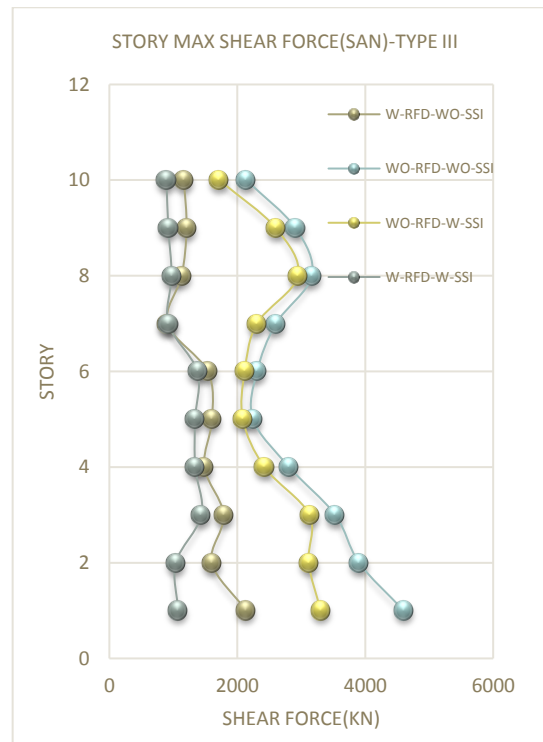
مانند مرحله اول تمامی چهار حالت را برای خاک تیپ سه عیناً تکرار خواهیم کرد.



شکل ۱۳- نمودار منحنی ماکزیمم برش در رکورد (زلزله نورتریج با خاک تیپ سه)



شکل ۱۴- نمودار منحنی ماکزیمم برش در رکورد (امپریال ولی با خاک تیپ سه)



شکل ۱۵- نمودار منحنی ماکزیمم برش در رکورد (زلزله سن فرناندو با خاک تیپ سه)

باید رسم مقادیر SPI بر حسب بارهای لغزش برای ۳ زلزله (شکل ۱۵)، باشد، حال باید باری را پیدا کنیم که بطور میانگین مقادیر SPI را در ۳ زلزله کمینه نماید.

همانطور که در شکل ۱۵ مشاهده می شود بار 16000 KG را می توان بعنوان بار لغزش انتخاب نماییم، ابتدا یک نمونه میراگر به اسم RFD(160KN) را به نرم افزار SAP معرفی می نماییم و سازه را آنالیز می کنیم سپس شاخص جذب انرژی و انرژی تلف شده توسط میراگرها را در طبقات بررسی می کنیم. در مرحله اول از روی نمودارهای هیستریزس و شاخص های انرژی جذب شده توسط سازه و انرژی تلف شده توسط میراگرها در طبقات مشخص گردید، حال میراگرهای با بار لغزش 160 KN در طبقات یک تا سه به خوبی عمل کرده و توانسته مقدار بیشتری از انرژی ورودی را اتلاف نمایند ولی در طبقات بالاتر به دلیل اینکه انرژی وارد به میراگرها کمتر از 160KN (حد نیروی لغزش) بیشتر شده، بنابراین میراگرها عمل نکرده و بصورت یک بادبند عمل نموده که رفتار سازه را تغییر داده است، بنابراین سه تیپ میراگر معرفی می نماییم که نیروی لغزش میراگرهای دیگر را با طی فرآیند بالا و بررسی شاخص جذب انرژی برابر با 120KN و 60KN قرار می دهیم.

طبقات یک تا سه میراگر RFD(160KN)

طبقات چهار تا هشت میراگر RFD(120KN)

طبقات نه تا ده میراگر RFD(60KN)

از آنجا که در نرم افزار SAP2000 امکان مدل سازی مستقیم رفتار میراگر اصطکاکی وجود ندارد آن را با المان دیگری با رفتار هیستریک مشابه می توان مدل کرد.

برای مدل کردن این نوع میراگر از المان LINK-PLASTIC WEN استفاده می نماییم. رفتار نیروی جابجایی این المان یک نمودار دو خطی است که با ۴ پارامتر سختی اولیه، سختی پس از جاری شدن، بار تسلیم (نیروی لغزشی) و YIELD EXPONENT تعیین می گردد.

این پارامترها را باید به گونه ای تعیین کرد که شکل مستطیلی حلقه های هیستریزس میراگر اصطکاکی را بسازد، برای مدل سازی میراگر در نرم افزار با استفاده از این LINK باید سختی اولیه را یک عدد بزرگ (به اندازه ای که ماتریس سختی به واگرایی نرسد)، سختی پس از جاری شدن را برابر صفر و بار تسلیم را برابر با بار لغزش میراگر قرار می دهیم.

در زیر نمودار هیستریزس (نیرو جابجایی) نشان داده شده در شکل ۱۰ هر کدام از میراگرها برای سه زلزله در طبقات نشان داده شده است و با توجه به اینکه شکل حلقه های هیستریزس مستطیلی شکل شده،

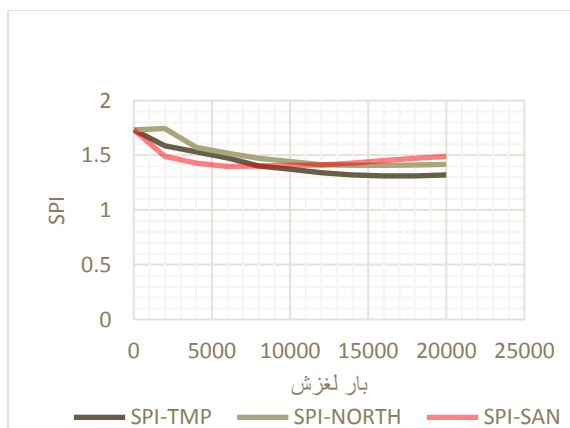
با دیدن نمودارهای (شکل های ۱۲ و ۱۳ و ۱۴) که مربوط به رکورد زلزله های امپریال ولی، سن فرناندو و نورتریچ و با در نظر گرفتن خاک تیپ سه تحلیل شده است، می توان نتیجه گرفت که در خاک های نرم مانند تیپ سه و تیپ چهار باید حتما در طراحی سازه ها بخصوص سازه های بلند مرتبه، اثر اندرکنش خاک و سازه دیده شود.

در نمودارهای (شکل های ۱۲ و ۱۳ و ۱۴) منحنی خط بنفش مربوط به سازه ده طبقه با اثر اندرکنش خاک و با میراگر اصطکاکی دورانی می باشد، همانگونه که در نمودارهای (شکل های ۱۲ و ۱۳ و ۱۴) مشاهده می شود نصب میراگر در سازه، باعث تغییرات برش نسبتاً خطی شود، در هر سه رکورد زلزله، در خاک تیپ سه، برش تقریباً بین ۱۰۰۰ کیلونیوتن و ۲۰۰۰ کیلونیوتن قرار گرفته است، در صورتی که در منحنی های قرمز که اثر اندرکنش خاک و سازه دیده نشده و در سازه میراگر هم نصب نشده است، برش در تراز اول تقریباً حدود ۴۰۰۰ کیلو نیوتن شده که حتی در زلزله سن فرناندو برش بیش از ۴۰۰۰ کیلو نیوتن شده است.

۹- مدل سازی و صحت سنجی

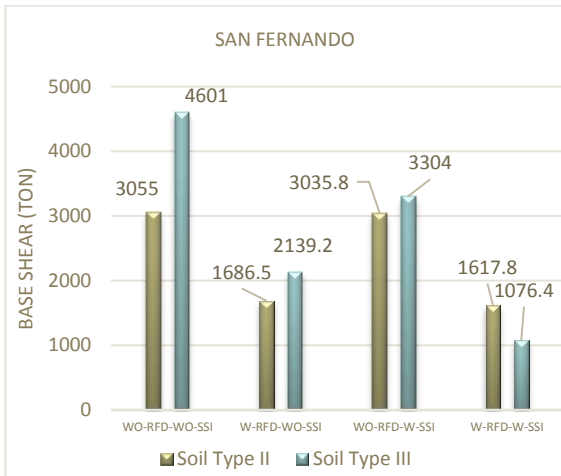
شتاب نگاشت هایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می گیرند باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا، در هنگام زلزله، باشند و متعلق به زلزله هایی باشند که شرایط زلزله طرح را ارضاء می نماید و در آنها اثر بزرگا، فاصله از گسل، ساز و کار چشمه لرزه زا در نظر گرفته شده باشد، همچنین ساختمانگاه شتاب نگاشت ها از لحاظ لرزه شناسی، زمین شناسی، تکنیکی و بخصوص مشخصات لایه های خاک با زمین مورد بررسی، تا حد امکان مشابهت داشته باشد.

مدت زمان حرکت شدید زمین در شتاب نگاشت ها حداقل برابر با ۱۰ ثانیه یا سه برابر زمان تناوب اصلی سازه، هر کدام بیشتر است، باشد. مدت زمان حرکت شدید شتاب نگاشت ها را می توان از روش های معتبر مانند روش توزیع تجمعی انرژی، تعیین کرد.

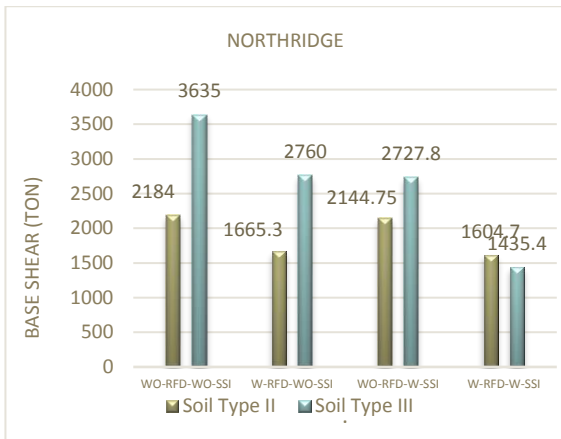


شکل ۱۵- نمودار کمینه کردن بار لغزش

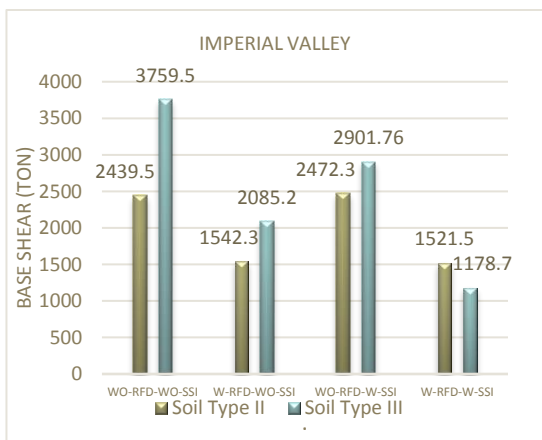
و بدون اثر اندرکنش، بدون میراگر و با اثر اندرکنش، بدون میراگر و بدون اثر اندرکنش مقایسه می‌گردد.



شکل ۱۷- نمودار مقایسه برش در رکورد زلزله سن فرناندو با خاک تیپ ۳و۲



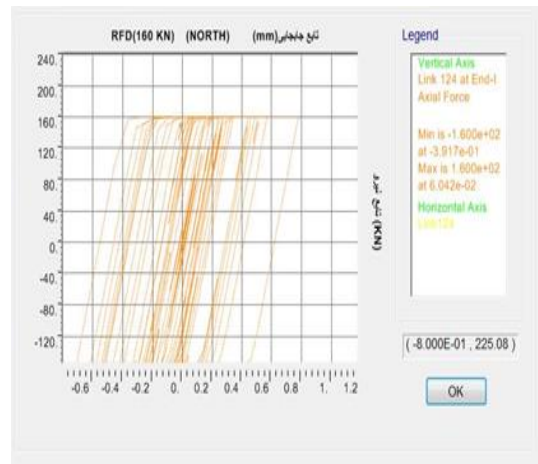
شکل ۱۸- نمودار مقایسه برش در رکورد زلزله سن فرناندو با خاک تیپ ۳و۲



شکل ۱۹- نمودار مقایسه برش در رکورد زلزله امپریال ولی با خاک تیپ ۳و۲

و نیز نشان می‌دهد که میراگرها به خوبی عمل کرده و درصد بالای از انرژی وارد به میراگرها به خوبی میرا گردیده است.

روش تحلیل منحنی‌های هیستریزس برای اشکال پایین بدین شرح می‌باشد، با توجه به زمان رکورد هر یک از زلزله‌های استفاده شده در این تحقیق که شامل سه زلزله سن فرناندو، نورتریج و امپریال ولی می‌باشند، در واقع سه میراگر ۱۶۰ کیلو نیوتنی برای طبقات یک تا سه استفاده شده است و به محض وارد آمدن زلزله، در چرخه هیستریزس شروع به حرکت می‌کند و در واقع جابجایی‌ها در جهت رفت و برگشت آنقدر انجام می‌شود تا زمان زلزله تمام شود و در این رفت و برگشت در چرخه زلزله در واقع عمل میرایی بصورت گرما ظاهر می‌شود، چرخه هیستریزس دقیقاً باید مانند شکل ۹ باشد، اگر در تحلیل و خروجی برنامه Sap بصورت خط افقی باشد، نشان دهنده این است که زلزله نتوانسته میراگر را به حرکت وا دارد و در واقع قابی که برای آن میراگر طراحی شده است حرکت نکرده و مانند بادبند عمل می‌کند ولی چون قرار بوده برای آن قاب میراگر نصب شود و نه بادبند، در اینصورت اگر میراگر با ظرفیت بالانصب شود و در زلزله عمل نکند، جابجایی و دریافت طبقات بیشتر خواهد بود و در واقع میراگر اثر معکوس خواهد گذاشت، لذا طراحی درست میراگر و انتخاب ظرفیت درست آنها و بازبینی منحنی‌های هیستریزس و حرکت رفت و برگشت آنها بسیار حائز اهمیت می‌باشد، به همین سبب بعد از انتخاب میراگرهای مناسب باید منحنی‌های هیستریزس به دقت تجزیه و تحلیل گردند که برای هر رکورد زلزله مطمئن شویم میراگر به حرکت در می‌آید و در چرخه هیستریزس تا انتهای زمان زلزله درست عمل می‌کند.



شکل ۱۶- نمودار هیستریزس میراگر RFD(160KN) نصب شده در طبقه اول برای زلزله نورتریج 6-B-C

۱۰- تجزیه و تحلیل نتایج

حال در این مقاله، برش طبقات را در سازه بین خاک تیپ دو و خاک تیپ سه با چهار حالت یاد شده، با میراگر و با اثر اندرکنش، با میراگر

از مقایسه سه نمودار (شکل‌های ۱۷ و ۱۸ و ۱۹) که مربوط به برش در سه زلزله نورتریچ و سن فرناندو و امپریال ولی می‌باشد در دو نوع تیپ خاک دو و سه با هم مقایسه شده و مقایسه در چهار حالت با میراگر و با اندرکنش، با میراگر و بدون اندرکنش، بدون میراگر و با اندرکنش و بدون میراگر و بدون اندرکنش مقایسه شده است می‌توان نتیجه گرفت که برش پایه در خاک تیپ سه بیشتر از خاک تیپ دو می‌باشد و می‌توان تمامی چهار حالت را مشاهده نمود.

۱۱- نتیجه گیری

در بیشتر موارد، زلزله‌های شدید صدمات جبران ناپذیری به سازه‌ها وارد می‌سازد و انرژی ورودی بالایی را به سازه‌ها در مدت زمان کمی اعمال می‌کنند. این نیروها در سازه‌ها باید توسط سیستم‌هایی مهار و جذب و میرا شوند که سیستم‌های کنترل لرزه‌ای می‌باشند، در این مقاله، از سیستم غیر فعال میراگر اصطکاکی دورانی استفاده شد، اصلی ترین موضوع در طراحی و استفاده از میراگر، مشخص کردن نیروی لغزش بهینه می‌باشد، برای عملکرد خوب در برابر نیروهای جانبی میراگر، این نیروها باید مقدار متناسب و کافی انتخاب شود، در این مقاله مقدار نیرو بر اساس شاخص عملکرد و یا SPI استفاده شده که در آن کمینه سه نیروی زلزله در نظر گرفته شده است، در این پژوهش با سازه ده طبقه متقارن، در چهار حالت مختلف با میراگر و بدون میراگر و نیز با اثر اندرکنش و بدون آن تحت سه شتاب نگاشت، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با در نظر گرفتن برش طبقات و اثر اندرکنش خاک و سازه و نیز الگوی بهینه بار لغزش میراگر، بررسی شد که در زیر آورده شده است.

در منحنی‌های ماکزیمم برش پایه در سه رکورد زلزله مورد تحقیق، همانگونه که در دو تیپ خاک به خوبی قابل مشاهده است، بیشترین برش پایه در طبقات پائین ساختمان مورد نظر در حالت بدون میراگر و بدون تاثیر اندرکنش خاک و سازه می‌باشد، همانطور که در این منحنی‌ها ملاحظه می‌کنیم، هرچه طبقات بالاتر می‌رود برش در طبقات بالا تقریباً با در نظر گرفتن اثر اندرکنش و بدون آن و نیز با استفاده از میراگر و بدون آن، خیلی نزدیک هم می‌گردند و تاثیر آنها در طبقات بالا برای برش کمتر از طبقات پائین خواهد بود. در ترکیب بار لغزش با افزایش ارتفاع سازه نوعی ثبات و نزدیکی نسبت‌های برش در همه شتاب نگاشت‌ها دیده می‌شود.

در حالتی که تاثیر اندرکنش خاک و سازه دیده شود، نسبت‌های انرژی ورودی سازه تقلیل پیدا کرده و به علت انعطاف‌پذیر بودن خاک زیر سازه مقداری از انرژی ورودی علاوه بر تاثیر میراگر اصطکاکی دورانی به علت اندرکنش خاک و سازه تلف می‌شود و به ظرفیت لرزه ای سازه یاری میکند.

و نیز میرایی خاک در کاهش نیروها و تغییر شکل‌های قاب نقش بسزایی داشته و در واقع اثر اندرکنش خاک و سازه در خاک‌های نرم سبب کاهش نیروها و در نتیجه تغییر شکل‌های کمتری در قاب مجهز به میراگر اصطکاکی دورانی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش، برای سازه با ارتفاع ۳۵ متر و رکورد سه زلزله انتخاب شده، بررسی شده است ولیکن پیشنهاد میشود که در تحقیقات آتی از سازه‌های بلند تر و یا بزرگتر و نیز سازه‌های غیر متقارن استفاده شود تا نتایج کامل تری را بدست آوریم.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هم فکری تمام اعضای مجله علمی پژوهشی آنالیز سازه و زلزله و دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه کمال سپاسگزاری و تشکر را دارند.

۱۲- مراجع

- [1] Gaowa Xu, Jinping Ou. Seismic performance of combined rotational friction and flexural yielding metallic dampers. Journal of Building Engineering. 2022; 49.
- [2] Mualla IH, Nielsen L. A Friction Damping System Low Order Behavior and Design. Department of Civil Engineering DTU-bygning. 2002; R-030.
- [3] Soong T, Dargush G. Passive Energy Dissipation System in Structural Engineering. Journal of Structural Control. 1997; 6(1): 172-172.
- [4] Karbaschi M, Anvar S. Evaluating Accuracy of FEMA – 365 Proposed Equation for Effective Damping Ratio for Viscous and Visco-elastic Dampers. Amirkabir Journal of Civil Engineering. 2018; 50(2): 304-314.
- [5] Alataby E, Kadhim J, Ahmed M. Study on the Effect of Distribution of Viscous Damper for Steel Frame Structure. Journal of Physics: Conference Series. 2021.
- [6] Mualla IH, Belev B. Performance of steel frames with a new friction damper device under earthquake excitation, Engineering Structures. 2002; 24(3): 365-371.
- [7] Liao W, Mualla IH, Loh C. Shaking table test of a friction damped frame structure. The Structural Design Of Tall And Special Buildings. 2004; 13: 45-54.
- [8] Shirkhani A, Farahmand Azar B, Charkhtab Basim M. Seismic loss assessment of steel structures equipped with rotational friction dampers subjected to intensifying dynamic excitations. Engineering Structures. 2021; 238.
- [9] Mualla IH. Experimental evaluation of new friction damper device. 2000; 12WCEE, no 1048 .
- [10] Shirkhani A, Mualla IH, Shabakhty N, Mousavi R. Behavior of steel frames with rotational friction dampers by endurance time method. Journal of Constructional Steel Research. 2015; 107: 211-222.

[11] Mirzabagheri S, Sanati M, Aghakouchak A, Khadem S. Experimental and numerical investigation of rotational friction dampers with multi units in steel frames subjected to lateral excitation. Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2015; 15(2): 479-491.

[12] Jarrahi H, Asadi A, Khatibinia M, Etedali S, Samadi A. Simultaneous optimization of placement and parameters of rotational friction dampers for seismic-excited steel moment-resisting frames. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2020; 136.

[13] DAMPTECH Company, Brouchure Of Friction Damper Devices, Denmark, Web Site Address

<http://www.damptech.com>

[14] Yamashita K, Hamada J, Onimaru S, Higashino M.

Seismic behavior of piled raft with ground improvement supporting a base-isolated building on soft ground in Tokyo. Soils and Foundations. 2012; 52(5): 1000-1015.

[15] Tabatabaifard H, Massumi A. A simplified method to determine seismic responses of reinforced concrete moment resisting building frames under influence of soil-structure interaction. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2010; 30(11): 1259-1267.

[16] Tabatabaifard H, Fatahi B, Samali B. Effects of soil dynamic properties and bedrock depth on seismic response of building frames incorporation soil-structure interaction. Theory And Practice: Proceedings Of The 5Th Asia-Pacific Conference On Unsaturated Soils, Pattaya, Thailand. 2012; 504-509.

[17] Veletsos A, Meek J. Dynamic behavior of building-foundation system. Earthquake Engineering and structural dynamic. 1974; 3 (2): 121-138.

[18] حسین‌زاده ن.، ناطقی ف. مطالعه اندرکنش خاک - سازه در ساختمانهای منفرد و مجاور هم روی میز لرزان. قسمت اول: نتایج آزمایشگاهی دینامیکی ". چهارمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی ومهندسی زلزله. ۱۳۸۲ تهران.

[19] BHRC. Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings. Standard no. 2800-05. 4rd ed. Tehran: Building and Housing Research Center; 2۰۱۴

