



Research Article

Comparison of Seismic Behavior of Strengthened Steel Structure with Viscous, Yield and Friction Dampers in Low, Medium and High Rise Buildings

Vahid Saberi^{1*}, Hamid Saberi², Davood Sohrabi³, Romina Nourian⁴

1 -Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Eyvanakey University, Semnan, Iran

2 -Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Eyvanakey University, Semnan, Iran

3 -MSc, Department of Civil Engineering, Eyvanakey University, Semnan, Iran

4- BSc, Department of Civil Engineering, Eyvanakey University, Semnan, Iran

Received: 12 June 2022; Revised: 17 July 2022; Accepted: 28 July 2022; Published: 28 July 2022

Abstract

Passive control method, which is one of the solutions for strengthening and designing structures under earthquake loadings, has different sub-branches. One of these methods is to improve the existing weak buildings by using different types of damper. The seismic behaviour of the strengthened structure with different type of dampers is one of the main issues in choosing the strengthening method. Due to the energy absorption property, dampers have many applications in both construction and retrofitting. During an earthquake, these devices are activated and convert the earthquake input energy into heat energy, in other words, it absorbs the incoming energy. In previous studies, the use of this damper in various structures has been evaluated, but there is no specific category to investigate its effect on various types of steel structures in terms of height and type of damper. In this paper, the performance of this type of dampers in steel structures with different heights is discussed. The effect of using this type of dampers on the response of the structure such as the story drifts and the base shear is investigated and its performance is compared in steel structures with different heights. In the study of displacement, base shear and energy absorption parameters for three structures of 3, 6 and 12 floors, it was observed that viscous dampers had the best response to friction dampers and ADAS.

Keywords:

Seismic design, Energy absorption, Steel structures, Viscous damper, Yield damper, Friction damper

Cite this article as: Saberi V, Saberi H, Sohrabi D, Nourian R. (2022) Comparison of Seismic Behavior of Strengthened Steel Structure with Viscous, Yield and Friction Dampers in Low, Medium and High Rise Buildings. *Civ Proj J*, 4(4), 11–34. <https://doi.org/10.22034/cpj.2022.346851.1142>

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2022 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: saberi.vahid@gmail.com



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

مقایسه رفتار لرزه ای سازه فولادی بهسازی شده با سه نوع میراگر ویسکوز، تسلیمی و اصطکاکی در سازه های کوتاه مرتبه، میان مرتبه و بلند مرتبه

وحید صابری^{۱*}، حمید صابری^۲، داود سهرابی^۳، رومینا نوریان^۴

۱- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه غیرانتفاعی ایوانکی، سمنان، ایران

۲- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه غیرانتفاعی ایوانکی، سمنان، ایران

۳- کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه غیرانتفاعی ایوانکی، سمنان، ایران

۴- کارشناسی عمران، دانشگاه غیرانتفاعی ایوانکی، سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۲۲ خرداد ۱۴۰۱؛ تاریخ بازنگری: ۲۶ تیر ۱۴۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۰۶ مرداد ۱۴۰۱؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۶ مرداد ۱۴۰۱

چکیده

روش کنترل غیر فعال که یکی از راهکارهای مقاوم سازی و طراحی سازه ها در برابر زلزله که زیرشاخه های مختلفی دارد. یکی از این روش های بهسازی ساختمان های ضعیف موجود با استفاده از انواع میراگرها می باشد. رفتار لرزه ای سازه بهسازی شده با میراگرهای مختلف یکی از مسایل اساسی در انتخاب روش بهسازی است. با توجه به خاصیت جذب انرژی، میراگرها دارای کاربردهای زیادی در هر دو زمینه احداث و مقاوم سازی می باشد. در طی زلزله این وسایل فعال شده و انرژی ورودی زلزله را به انرژی گرمایی تبدیل می کند و به عبارت دیگر انرژی وارده را جذب می کند. در پژوهش های قبلی، به موضوع کاربرد این میراگر در سازه های مختلف پرداخته شده است لیکن دسته بندی مشخصی برای بررسی میزان تاثیر آن در انواع سازه های فولادی به لحاظ ارتفاع و نوع میراگر وجود ندارد. در این مقاله به بررسی عملکرد این نوع میراگر ها در سازه های فولادی با ارتفاع مختلف پرداخته می شود. تاثیر استفاده از این نوع میراگرها بر پاسخ سازه نظیر تغییر شکل نسبی طبقه و برش پایه طبقات بررسی شده و عملکرد آن در سازه های فولادی با ارتفاع مختلف مقایسه می گردد. در بررسی پارامترهای تغییر مکان، برش پایه و جذب انرژی برای سه سازه ۳ و ۶ و ۱۲ طبقه مشاهده شد که میراگر ویسکوز بهترین پاسخ را نسبت به دو میراگر اصطکاکی و ADAS در بر داشته است.

کلمات کلیدی:

طراحی لرزه ای، جذب انرژی، سازه های فولادی، میراگر ویسکوز، میراگر تسلیمی، میراگر اصطکاکی

۱. مقدمه

لرزش سازه‌ها می‌تواند باعث آسیب و تخریب سازه‌ای گردد. لرزش‌هایی که بر اثر نیروی حاصل از زلزله ایجاد می‌گردد مقیاس وسیعی دارند و باعث شده‌اند سازه‌ها حتی در کشورهای پیشرفته نیز آسیب پذیر باشند. برای مقابله با نیروی زلزله فلسفه طراحی به‌صورتی است که اجزاء سازه‌ها با استقامت و شکل‌پذیری لازم طراحی شوند. خاصیت شکل‌پذیری سازه باعث می‌شود که اعضاء سازه پس از تحریک توسط نیروهای لرزه‌ای وارد محدوده رفتار غیرخطی شده و در نتیجه انرژی وارد بر سازه با استفاده از میرایی ذاتی مصالح مستهلک گردد. باید به این نکته توجه کرد که تغییر شکل پلاستیک اعضاء منجر به آسیب معینی به سازه می‌گردد این آسیب باید در حد قابل قبول محدود گردد.

امروزه برای اینکه صدمات و آسیب اعضاء سازه را کاهش دهند از وسایل مختلف افزایش میرایی سازه و اتلاف انرژی در سازه‌ها بهره می‌گیرند. میرایی پدیده‌ای است که باعث می‌شود ارتعاش آزاد یک سیستم به تدریج مستهلک شود. در میرایی، انرژی جنبشی ارتعاشی سیستم بنا به مکانیسم‌های مختلفی مانند اصطکاک مستهلک می‌گردد. میرایی به دو روش ایجاد مفصل پلاستیک در بخش‌های معینی از سازه ایجاد می‌گردد که معمولاً بیش از یک مکانیسم در این نوع تولید میرایی مشارک دارند مانند، اصطکاک داخلی بین ذرات مصالح سازه‌ای، باز و بسته شدن ترک‌های میکروسکوپی در اعضاء بتنی، اصطکاک در اجزای اتصالات سازه‌های فولاد، درگیری و اصطکاک بین عناصر سازه‌ای و غیرسازه‌ای (میانقاب)، پلاستیسیته در تعدادی از کریستال‌های مصالح به‌دلیل تمرکز تنش درحالی‌که تنش متوسط هنوز در ناحیه الاستیک خطی قرار دارد، ورود اعضاء سازه‌ای به ناحیه رفتار خمیری یا پلاستیک. در روش دوم با افزودن اعضاء اضافی در سازه به نام میراگر، میرایی مورد نیاز تولید می‌گردد. روش‌های تولید میرایی که قبلاً بیان شد به‌طور معمول ناشی از خصوصیات مصالح اعضاء سازه‌ای و اتصالات آنها در قاب ساختمانی می‌باشد. از این میرایی در جذب و اتلاف انرژی وارد بر سازه و همچنین در طراحی سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مثلاً طراحی قاب‌های خمشی با شکل‌پذیری مورد نیاز. یعنی با تشکیل مفاصل پلاستیک در بعضی از نقاط مشخص اعضاء (معمولاً تیرها سپس در ستون‌ها)، سازه را شکل‌پذیر می‌سازند. اما این روش مخصوصاً برای سازه‌های بلند غیراقتصادی است. از این جهت برای تولید میرایی لازم جهت جذب و اتلاف انرژی در سازه از دستگاه‌هایی به نام میراگر استفاده می‌گردد. مقایسه رفتار سازه‌های کوتاه و میان مرتبه با بکارگیری سه نوع میراگر مختلف (ویسکوز، اصطکاکی و تسلیمی) هدف اصلی این مقاله بوده که تاکنون کمتر به آن پرداخته شده است و میتواند ملاک موثری در انتخاب نوع میراگر محسوب شود.

۱.۱. میراگرها و انواع آنها

انرژی ورودی به سازه را در حالت غیرخطی می‌توان به چهار قسمت انرژی جنبشی، انرژی میرایی، انرژی کرنشی (پتانسیل) و انرژی تسلیم (هسترتیک) تقسیم کرد. هر چه انرژی کرنشی سازه کاهش یابد، سازه به سمت ایمنی و اعضاء تسلیم‌شده کمتر پیش می‌رود، که این امر با افزایش هر یک از سه انرژی دیگر امکان‌پذیر است. بر این اساس می‌توان سه دسته میراگر تعریف کرد.

۱- میراگرهای متناسب با انرژی جنبشی و به عبارتی وابسته به شتاب، مانند: میراگرهای جرمی

۲- میراگرهای متناسب با انرژی ویسکوز و به عبارتی وابسته به سرعت، مانند: میراگرهای ویسکوز

۳- میراگرهای متناسب با انرژی هسترتیک و به عبارتی وابسته به تغییر مکان، مانند: میراگرهای تسلیمی و میراگرهای

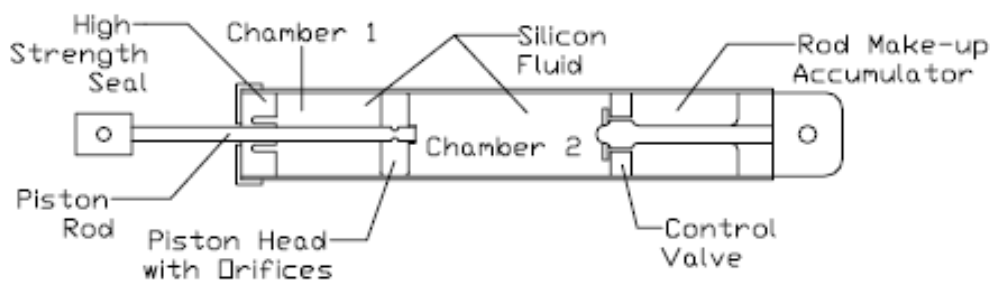
اصطکاکی

در این مقاله به بررسی عملکرد سه نوع میراگر در سازه‌های به تعداد طبقات مختلف پرداخته شده است که در مورد این میراگرها توضیحات مختصری ارائه می‌گردد.

۱.۱.۱.۱. میراگر ویسکوز

دو نوع میرایی در هنگام لرزش برای وسایل جاذب انرژی وجود دارد. وسایل کنترل تسلیمی و اصطکاکی جزء انواع هسترتیک هستند، آن‌ها دارای نیروی محدودی و وابسته به نیرو هستند و بر پایه سرعت تحریک، نیروی داخلی‌شان افزایش پیدا نمی‌کند. از طرف دیگر میراگرهای ویسکوز، محدود به نیرو نیستند و نیروی داخلی آن‌ها وابسته به سرعت تحریک است. میراگرهای ویسکوز اولین بار در نیمه پایانی قرن ۱۹ برای خنثی‌سازی اثرات ضربه توپ‌ها در کشتی استفاده شد. در نیمه اول قرن بیستم یک کمپانی اتومبیل‌سازی به‌صورت گسترده‌ای استقامت آن‌ها را افزایش داده و آن‌ها را برای نیازهای سیستم‌های معلق وسایل نقلیه استفاده کرد. در طی جنگ سرد میراگرهای ویسکوز برای جداسازی سیلواها و سنگ‌های پرتاب موشک استفاده شد، به‌علاوه استفاده و توسعه آن برای توپ‌های بزرگ و کشتی جنگی افزایش یافت. در پایان سال ۱۹۸۰ نوع کوچکی از این میراگرها به‌صورت گسترده‌ای توسط پیمانکاران نظامی برای کاربرد بخش غیرنظامی استفاده شد. پیمانکاری نظامی به نام تیلور، آزمایش‌هایی را در همکاری با مرکز ملی مهندسی زلزله در دانشگاه نیورک در بوفالو انجام داد و بر روی تطبیق‌پذیری میراگرهای ویسکوز در کاربردهای ساختمانی برای مقابله با حرکت ناشی از باد و زلزله تحقیق کرد. از آن‌پس در بیش از ۱۱۰ کاربرد سازه‌های بزرگ میراگرهای ویسکوز به کار گرفته شد. [۸-۱]

میراگرهای ویسکوز در ابعادی به طول ۴۰ سانتی‌متر تا ۴/۱ متر استفاده شدند. محدوده نیروی خروجی آن‌ها از ۴۴/۵ کیلو نیوتن تا ۹ مگا نیوتن است. یک میراگر ویسکوز تنها از چند بخش تشکیل شده است. قسمت اساسی آن یک پیستون است، که حرکت رفت و برگشتی دارد. مایع از روزه‌ها عبور کرده و سرعت مایع تولیدکننده نیرو می‌باشد. شکل (۱) جزئیات یک میراگر ویسکوز را نشان می‌دهد.

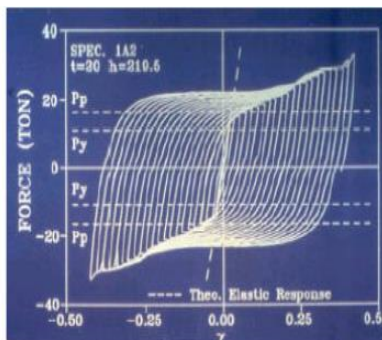


شکل ۱. میراگر ویسکوز تیلور به همراه جزئیات آن [۹].

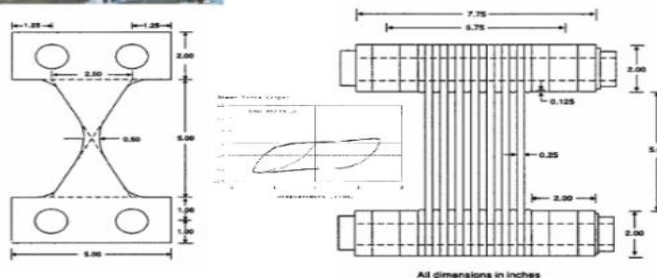
۲.۱.۱.۱. میراگرهای تسلیمی (فلزی)

میراگرهای تسلیمی وسایل فلزی هستند که می‌توانند انرژی را در یک زلزله در اثر تغییرات غیر الاستیک فلزات تلف کنند. این میراگرها در حقیقت در حالات خمشی، پیچشی، محوری و یا برشی تسلیم می‌شوند. اولین عقیده در استفاده از میراگرهای هیستریزس به‌منظور مقاومت سازه‌ها در هنگام زلزله توسط کار نظری کلی و اسکینر شروع شد. میراگرهای تسلیمی به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

اشکال خاص مثلثی یا X- شکل: این دو نوع علاوه بر شکل در جهت قرارگیری صفحات نیز باهم متفاوت هستند. تسلیم به‌صورت یکنواخت در مقطع عرضی فلزی پخش می‌شود، اشکال (۲) و (۳) دو نوع میراگرهای تسلیمی رایج مثلثی و X- شکل را نشان می‌دهد. مدل X- شکل رفتار بسیار منظمی در طی بارهای تناوبی دارد. این میراگرها در فرم برون‌محور بر روی پاشنه بابدند قرار می‌گیرند و به تیر بالا متصل می‌شوند.



شکل ۲. میراگر تسلیمی مثلثی شکل (TADAS) و منحنی پسماند آن [۱۰].



شکل ۳. میراگر تسلیمی X-شکل (ADAS) [۱۰].

۳.۱.۱. میراگرهای اصطکاکی

این نوع میراگر بر اساس مکانیزم اصطکاک بین اجسام صلب نسبت به یکدیگر عمل می‌کند. در حقیقت اصطکاک یک مکانیزم عالی اتلاف انرژی است و به صورت گسترده و موفقیت‌آمیزی در ترمزهای خودرو و اتلاف انرژی جنبشی به کاررفته است. مصالح گوناگونی برای سطوح لغزنده استفاده شدند. از آن‌ها می‌توان به لایه‌های ترمز روی فولاد، فولاد روی فولاد، فولاد روی برنج، و در اتصالات پیچ شده لغزنده به ترکیب گرافیت با برنز روی فولاد ضدزنگ و دیگر آلیاژهای فلزی نام برد. انتخاب فلز پایه برای میراگر اصطکاکی بسیار مهم است. اغلب خوردگی می‌تواند ضریب اصطکاک فرض شده را برای عمر موردنظر وسیله کاهش دهد. در حقیقت، آلیاژ فولاد کم کربن زنگ‌زده و می‌پوسد و خواص سطح مشترک آن‌ها در طی زمان تغییر می‌کند و از طرفی برنج و برنز در زمان تماس با آلیاژ کم کربن، میزان خوردگی را افزایش می‌دهند. در مقایسه فولاد ضدزنگ در تماس با برنج خوردگی اضافی نگران‌کننده‌ای را نشان نداد و از این جهت این مواد برای استفاده در میراگرهای اصطکاکی مناسب هستند [۱۱].

تحلیل لرزه‌ای زیر مجموعه‌ای از تحلیل سازه‌ها و بطور کلی محاسبه پاسخ یک سازه ساختمانی (یا سازه‌های غیر ساختمانی مانند پل و...) در برابر زمین‌لرزه است. این بخشی از روند طراحی سازه، مهندسی زلزله یا ارزیابی و مقاوم سازی سازه‌هایی است که در مناطق زلزله خیز باید احداث گردند. لذا تحلیل دقیق و منطبق بر شرایط آیین‌نامه‌های معتبر جهانی ضرورت است. با توجه به برنامه کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله و مقاوم سازی ساختمان‌ها، تاسیسات زیربنایی و شریان‌های حیاتی در برابر زلزله، تامین اهداف بهسازی متفاوت برای ساختمان‌های مهم و تاسیسات زیربنایی و به تبع آن تحلیل خطر و تعیین طیف طرح در سطوح مختلف، اجتناب ناپذیر است. در بررسی این پدیده در مقاله حاضر سعی شده تا سه نوع مختلف از میراگرها در سازه‌های فولادی با تعداد طبقات مختلف و در برابر زلزله‌های مختلف مورد بررسی قرار داده شوند.

۲. صحت سنجی

برای بررسی صحت مدل‌سازی نرم‌افزاری نمونه آزمایشگاهی مجهز به میراگر ویسکوز، مطابق شکل (۴) که رفتار لرزه ای آن توسط Kuo-Chun Chang و همکاران [۱۲] گزارش شده، در نظر گرفته می‌شود. نمونه آزمایشگاهی، یک قاب سه طبقه، با مقیاس دو سوم مقیاس واقعی می‌باشد که با میراگر ویسکوز غیرخطی مقاوم‌سازی شده و آن را بر روی میز لرزان تحت ارتعاش مؤلفه شمال-جنوب زلزله السنترو با بیشینه شتاب زمین 0.34g قرار دادند.



شکل ۴. نمونه آزمایش شده توسط Kuo-Chun Chang و همکاران [۱۲].

ابعاد قاب آزمایش شده ۳ متر در ۲ متر در ۲ متر در پلان و ارتفاع طبقات ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۲ متر، ۱/۷۵ متر و ۱/۷۵ متر می‌باشد. وزن طبقات به ترتیب ۳۲/۹ کیلونیوتن در طبقه اول، ۳۲/۹ کیلونیوتن در طبقه دوم و ۲۲/۷ کیلونیوتن در طبقه سوم می‌باشد. مشخصات مقاطع سازه فوق در جدول (۱) مشخص شده است.

جدول ۱. مشخصات مقاطع سازه آزمایش شده [۱۲].

	Section	H×B (mm)	t _w (mm)	t _f (mm)	Area (cm ²)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)
Column	H100×100	100×100	6	8	21.04	369	133
Beam	H125×60	125×60	6	8	16.14	394	29
Brace	Tube891	-	-	-	10.69	97.02	-

مقاومت جاری شدن و نهایی که از آزمایش کشش بدست آمده به ترتیب برابر ۰/۳۴ کیلونیوتن بر میلی‌مترمربع و ۰/۴۵ کیلونیوتن بر میلی‌مترمربع برای تیرها و ۰/۳۲ کیلونیوتن بر میلی‌مترمربع و ۰/۴۵ کیلونیوتن بر میلی‌مترمربع برای ستون‌ها می‌باشد. معادله حرکت دینامیکی سازه با ابزار میرایی الحاقی به صورت زیر است:

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

در این رابطه، Γx نیروی مربوط به ابزار میرایی، \bar{M} جرم این وسایل و F حاوی نیروهای ناشی از بارهای ایرودینامیکی می‌باشند. با فرض $\bar{M} = 0$ و $\Gamma x = f_{\Gamma}$ می‌توان نوشت:

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

برای یک سازه چند درجه آزادی (با یک درجه آزادی در هر طبقه)، بردار نیروی میراگر f_T در بر گیرنده جزء افقی نیروی میراگرها در هر طبقه است، بطوریکه:

$$f_T = \left((n_1 p_1 - n_2 p_2) (n_2 p_2 - n_3 p_3) \dots (n_j p_j - n_{j+1} p_{j+1}) \dots (n_N p_N) \right)^T \quad (3)$$

که n_j تعداد میراگرهای به طور یکنواخت متصل شده به سازه در طبقه j ام و p نیروی افقی مربوط به هر میراگر است که در این پژوهش از میراگرهای ویسکوز غیرخطی با روابط (۱ تا ۳) استفاده شده است [۱۳-۱۶].

ثابت میرایی و توان سرعت استفاده شده در این پژوهش، از آزمون خواص میراگر تحت تحریک افقی سینوسی در فرکانس های ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ کیلوهرتز بدست آمده است. بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش، رابطه بین نیروی میراگر (F_d) و سرعت (V) برای میراگرهای طبقه ۱، ۲ و ۳ عبارتند از:

$$F_{d,1F} = 0.47 V^{0.51} kN \times \left(\frac{s}{mm} \right)^{0.51} \quad (4)$$

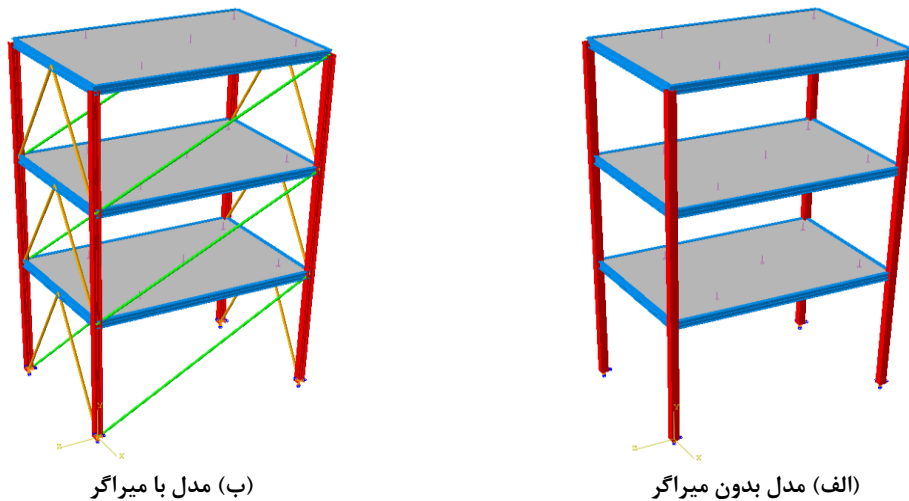
$$F_{d,2F} = 0.44 V^{0.48} kN \times \left(\frac{s}{mm} \right)^{0.48} \quad (5)$$

$$F_{d,3F} = 0.17 V^{0.55} kN \times \left(\frac{s}{mm} \right)^{0.55} \quad (6)$$

که در آن V سرعت نسبی دو سر میراگر می باشد. همچنین $F_{d,1F}$ ، $F_{d,2F}$ و $F_{d,3F}$ به ترتیب نیروی میرایی میراگرهای طبقه ۱، ۲ و ۳ می باشند. وزن، ظرفیت نیرویی و ماکزیمم مقدار جابجایی پیستون به ترتیب ۰/۱۵۶ کیلونیوتن، ۲۲/۲۵ کیلونیوتن و ± 101 میلیمتر می باشند.

برای اتصال دو قسمت مختلف یک مدل که در یک مکان مشخص با هم در تماس هستند از اتصال دهنده‌ها استفاده می شود. در این پژوهش برای مدلسازی میراگر ویسکوز غیرخطی از اتصال دهنده Translator استفاده شده است. این میراگر که ترکیبی از میراگرهای SLOT و ALIGN می باشد امکان تعریف سختی، میرایی و اصطکاک را در جهت u_1 فراهم نموده و باقی درجات آزادی را بسته می بندد.

مدل ساخته شده با نرم افزار Abaqus در شکل (۵) نشان داده شده است. برای مدل سازی تیرها و ستون ها از المان تیر تیمو شینکو استفاده شده که در نرم افزار با B31 نامگذاری شده است برای مدل سازی سقف ها از المان پوسته استفاده می شود. و نیز برای مدلسازی میراگر ویسکوز غیرخطی از المان Translator استفاده شده است.



شکل ۵. مدل ۳ بعدی ساخته شده با میراگر در نرم افزار آباکوس.

وزن هر طبقه به صورت گسترده به سقف آن طبقه اعمال شده است. باید توجه داشت که مهاربندهای موجود در جهت عمود بر راستای بادبندهای دارای میراگر، تأثیری ناچیزی بر نتایج تحلیل دارند.

برای ارزیابی نتایج مدلسازی نرم افزاری حاضر، ابتدا قاب مورد نظر بدون وجود میراگر مورد تحلیل اجزای محدود قرار گرفت. سپس مقادیر مودهای اول، دوم و سوم از نرم افزار استخراج گردید. همان گونه که در جدول (۲) مشاهده می شود، مقادیر فرکانس ۳ مود اول سازه بدون میراگر که با نرم افزار مدل سازی شده است با نتایج آزمایشگاهی تطابق خوبی دارند.

جدول ۲. مقایسه فرکانس (بر حسب هرتز) ۳ مود اول کار آزمایشگاهی با نتایج تحلیل اجزای محدود (بدون وجود میراگر)

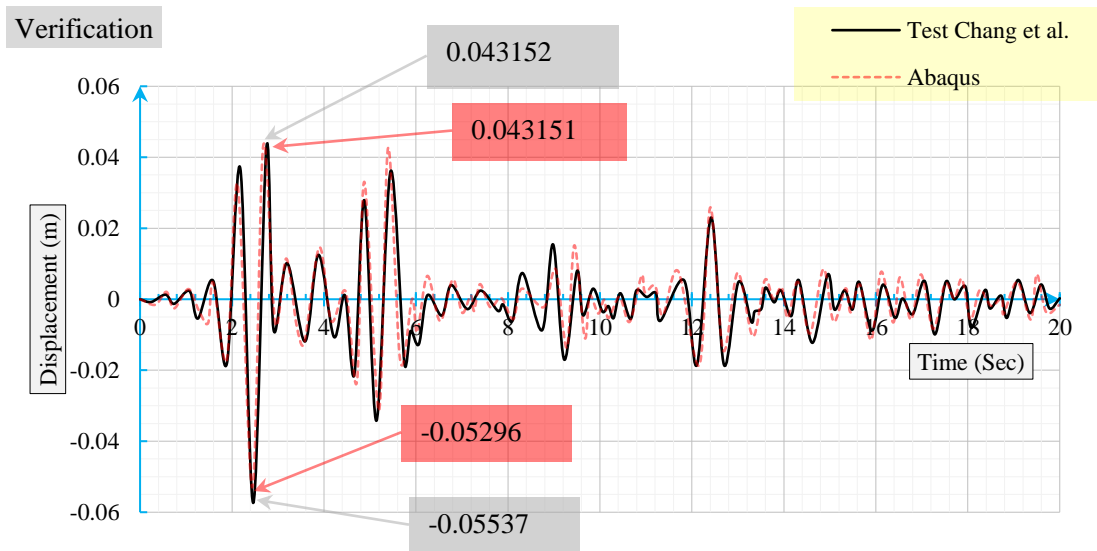
Mode	Experimental frequency (H)	Numerical frequency (H)
1	1.81	1.82
2	5.92	5.95
3	10.42	10.57

میرایی سازه با مقادیر α و β طبق رابطه رایلی محاسبه و در مدل اعمال می شود. مقادیر فرکانس بدست آمده از نرم افزار مطابق جدول (۲)، برای مود اول $1/82$ و برای مود دوم $5/95$ می باشد که در رابطه مذکور استفاده شده است.

$$\alpha = \frac{2 \times \xi \times \omega_1 \times \omega_2}{(\omega_1 + \omega_2)} = \frac{2 \times 0.015 \times (2 \times \pi \times 1.82) \times (2 \times \pi \times 5.95)}{2 \times \pi \times (1.82 + 5.95)} = 0.262705 \quad (7)$$

$$\beta = \frac{2 \times \xi}{(\omega_1 + \omega_2)} = \frac{2 \times 0.015}{2 \times \pi \times (1.82 + 5.95)} = 0.0006144 \quad (8)$$

که ω_1 و ω_2 فرکانس مودهای اول و دوم سازه و ξ میرایی مورد اول سازه و برابر $1/5$ درصد می باشد. نتایج آزمایشگاهی و عددی بدست آمده برای تغییر مکان بام تحت زلزله السنترو در شکل (۶) قابل مشاهده می باشد.



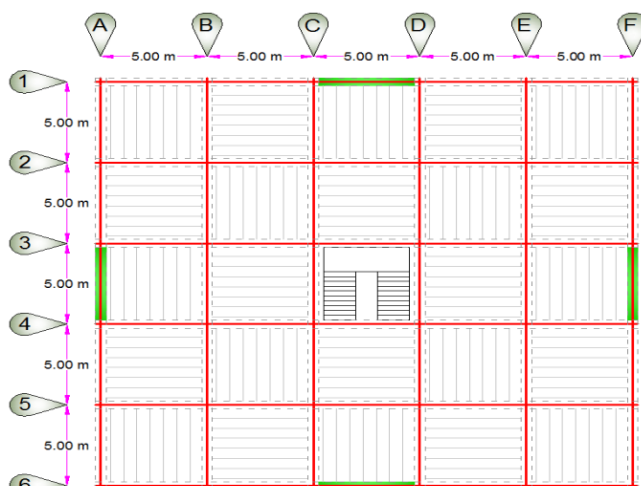
شکل ۶. مقایسه تغییر مکان بام در دو حالت آزمایشگاهی و عددی.

همان طور که از شکل (۶) قابل مشاهده است نتایج تطابق خوبی با هم دارند. تغییر مکان ماکزیمم در مطالعه آزمایشگاهی در بدترین حالت در بخش منفی نمودار در مطالعه آزمایشگاهی به میزان $53/37$ میلیمتر حاصل شده که در مدل عددی با $4/25$ درصد اختلاف به میزان $52/96$ میلیمتر بدست آمده است.

مقادیر گزارش شده در صحت سنجی مبین این امر است که می توان با دقت بالایی به پاسخهای بدست آمده از مطالعه حاضر اعتماد نمود.

۳. معرفی مدل‌ها

در این پژوهش سه سازه ۳ و ۶ و ۱۲ طبقه در حالات با و بدون میراگر تحلیل می‌شوند. حالت با میراگر به سه زیربخش میراگر ویسکوز، میراگر اصطکاکی و میراگر شیری تقسیم می‌شود. این سازه‌ها در برابر هفت زلزله مختلف نیز مورد بررسی قرار خواهند گرفت. برای دستیابی به این هدف ابتدا سازه‌ها به صورت سه بعدی در نرم‌افزار Etabs آنالیز طراحی می‌شوند. مدل‌ها دارای پنج دهانه ۵ متری در هر جهت می‌باشند. همچنین ارتفاع کلیه طبقات ۳ متر اختیار شده‌اند. با توجه به شکل (۷) پلان سازه منظم و اتصالات تیرها به صورت گیردار در نظر گرفته شده است. موقعیت میراگرها نیز در این شکل مشخص شده است اما در ایتبس فقط مدل قاب خمشی طراحی می‌شود و اثر اعمال نمودن میراگرها توسط نرم‌افزار آباکوس در مدل بررسی خواهد شد.

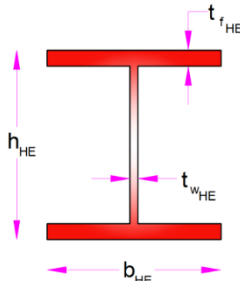
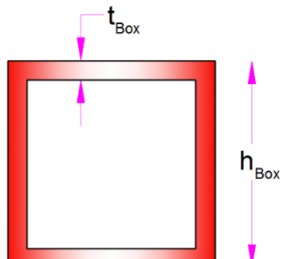


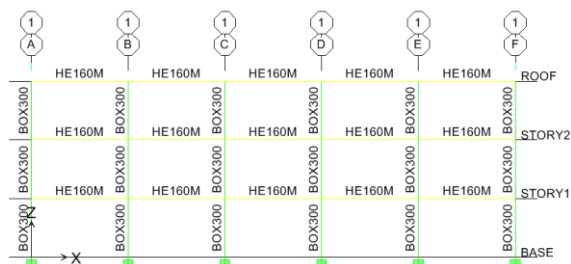
شکل ۷. پلان تیرریزی، سطح بارگیر قاب پیرامونی و موقعیت نصب میراگرها.

۱.۳. طراحی قاب‌ها

طراحی سه قاب ۳ و ۶ و ۱۲ طبقه در این بخش مطابق با آیین‌نامه‌های موجود و تحلیل طیفی صورت می‌پذیرد که در ادامه مقاطع بدست آمده برای تیر و ستون در هر سه قاب در جدول (۳) و اشکال (۸ تا ۱۰) ارائه شده است.

جدول ۳. مقاطع مورد استفاده و ابعاد آنها (میلیمتر).

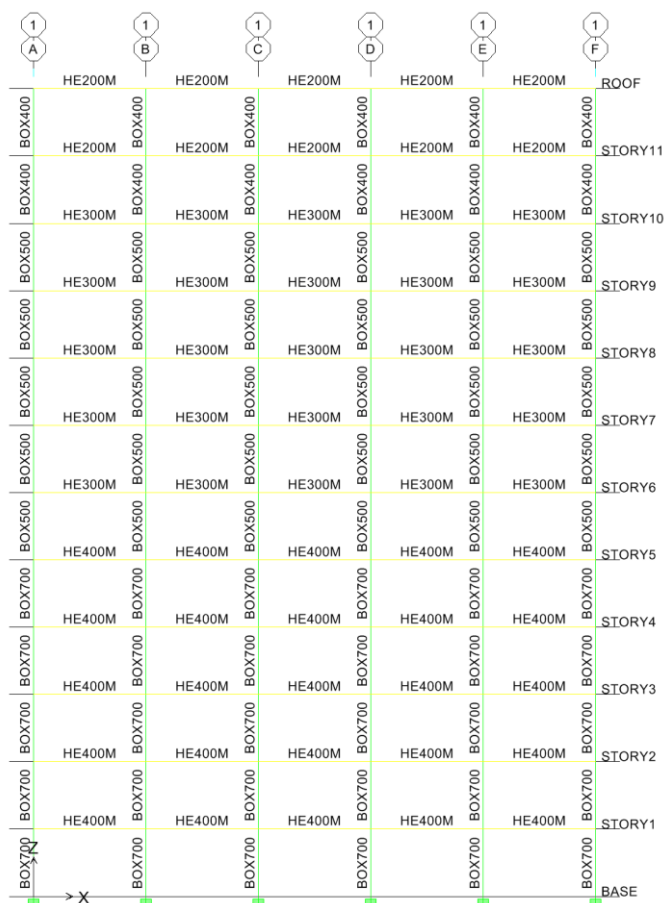
				
t_{Box}		h_{Box}		#Section Number
15		300		300
20		400		400
25		500		500
25		700		700
t_{fHE}	t_{wHE}	b_{HE}	h_{HE}	#Section Number
23	14	166	180	160
25	15	206	220	200
39	21	310	340	300
40	21	307	432	400



شکل ۸. قاب و مقاطع سازه مدل ۳ طبقه.



شکل ۹. قاب و مقاطع سازه مدل ۶ طبقه.



شکل ۱۰. قاب و مقاطع سازه مدل ۱۲ طبقه.

۴. تحلیل لرزه‌های قاب‌ها

رفتار سازه‌های فولادی مقاوم‌سازی شده با سه نوع میراگر ویسکوز، اصطکاکی و ADAS در مواجهه با زمین‌لرزه‌هایی با ماهیت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور، سه قاب خمشی فولادی ۳، ۶ و ۱۲ طبقه با استفاده از نرم‌افزار ایتبس طراحی شدند و یک قاب پنج دهانه از هر کدام از این سازه‌ها، با و بدون در نرم‌افزار آباکوس شبیه‌سازی شدند. در ادامه، شتاب-نگاشت‌های هفت زمین‌لرزه ثبت شده در مناطق مختلف بر این سازه‌ها اعمال شد. بنابراین با شبیه‌سازی ۳ مدل در ۳ حالت و تحت ۷ زلزله، ۶۳ حالت مختلف رفتار این سیستم سازه‌ای مورد بحث قرار داده شده است. در نهایت، رفتار سازه بصورت دقیق و جامع مورد آنالیز و بحث قرار دادند تا پاسخ جامعی از عملکرد این سیستم سازه‌ای برای ادامه این بحث در پژوهش‌های آتی در دست باشد. پاسخ‌های هر کدام از سه سازه مذکور تحت هفت زمین‌لرزه، که در این پژوهش پس از انجام تحلیل دینامیکی اجزای محدود توسط آباکوس استخراج شدند، در زیر لیست شده‌اند:

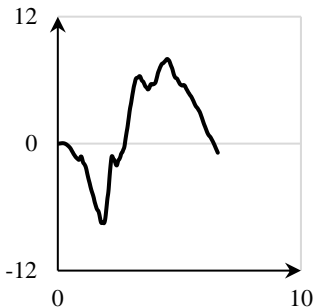
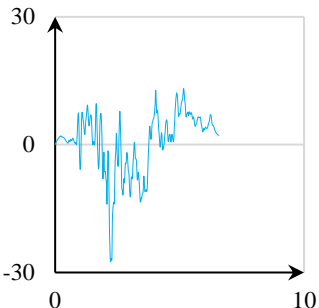
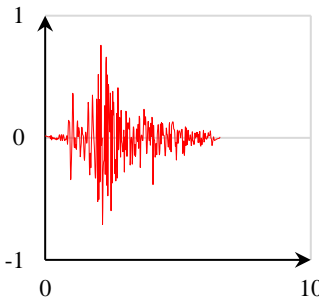
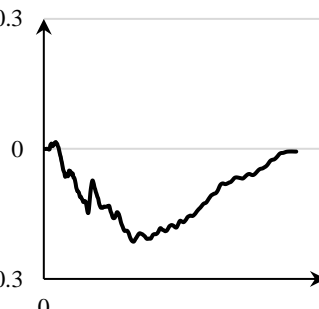
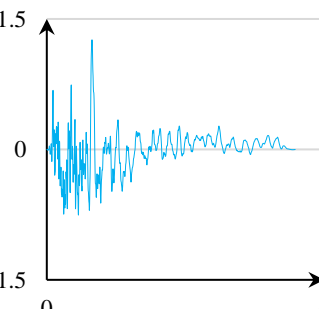
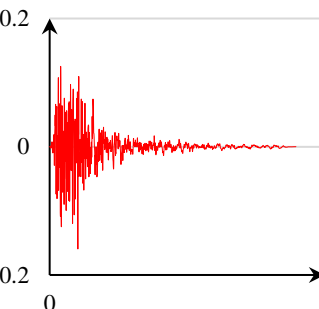
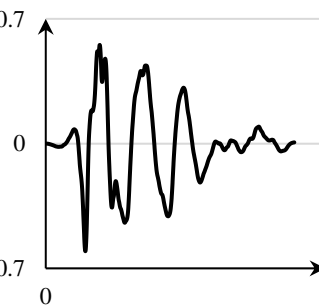
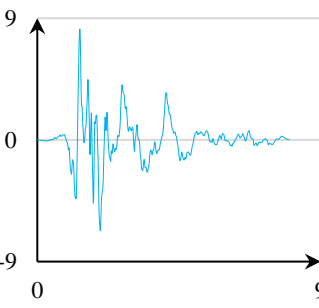
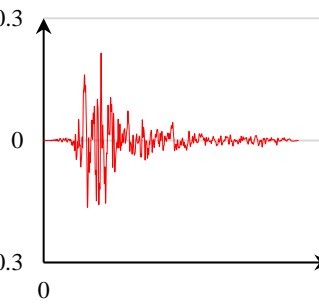
- تاریخچه زمانی عکس‌العمل تکیه‌گاهی ایجاد شده در ستون‌های همکف؛
- کانتورهای رنگی تنش؛
- بیشینه برش پایه؛
- بیشینه تغییرمکان ایجاد شده در مدل‌ها؛
- انرژی مستهلک شده در سازه‌ها.

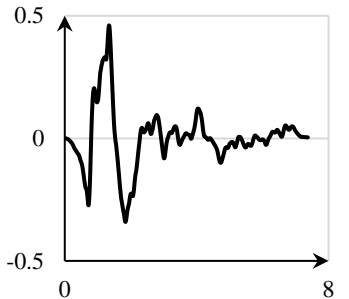
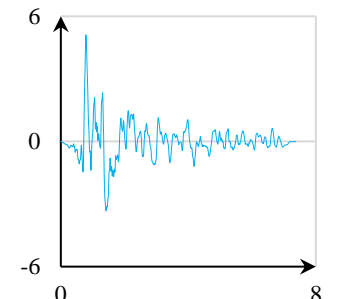
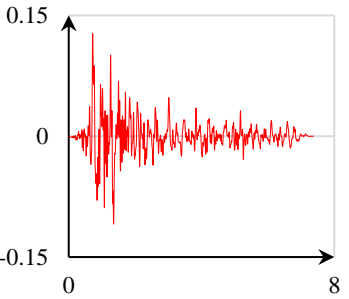
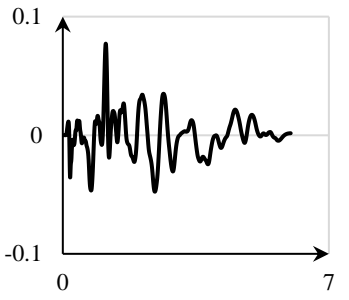
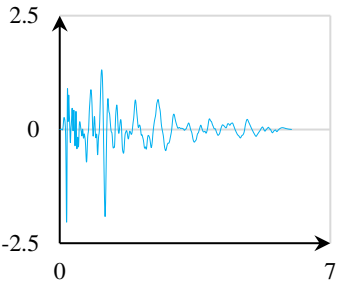
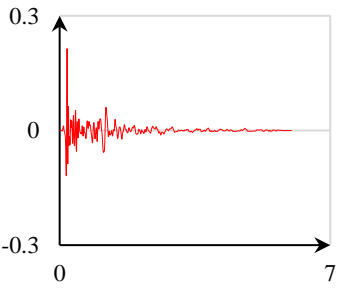
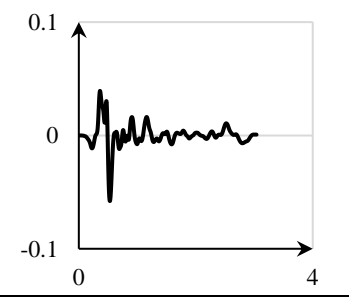
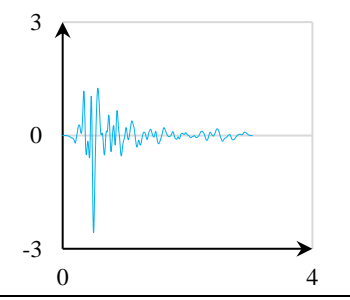
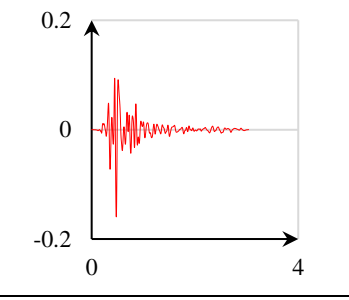
۱.۴. مشخصات رکوردهای اعمالی

برای انجام تحلیل دینامیکی و انتخاب و اعمال طیف زمین‌لرزه در مدل، هفت زمین‌لرزه با ماهیت‌های متفاوت انتخاب شد (جدول ۴) و به پای ستون‌ها بصورت طیف شتاب اعمال شد. از آنجاییکه طیف شتاب بدست آمده از شتاب‌نگاشت‌های موجود بر اساس شتاب گرانش زمین می‌باشند لذا برای تبدیل این طیف به واحد استاندارد SI تمامی مقادیر شتاب توسط نرم‌افزار، در مقدار گرانش زمین (عدد ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه) ضرب شدند. در ادامه طیف شتاب و سرعت و تغییرمکان زمین در اثر زلزله ارائه خواهد شد که با استفاده از نرم‌افزار SEISMOSIGNAL بدست آمده‌اند. لازم به ذکر است، نمودارهای ارائه شده از چپ به راست بیانگر، شتاب، سرعت و تغییرمکان زلزله مربوطه می‌باشند. بعد افقی نمودارها نیز بیانگر زمان است. به منظور نامگذاری نمودارهای پاسخ سازه در برابر هر زلزله برای ایجاد ایجاز، از کد ثبت رویداد زلزله و یا RSN زلزله که در سایت PEER به هر زلزله اختصاص داده می‌شود، استفاده شده است.

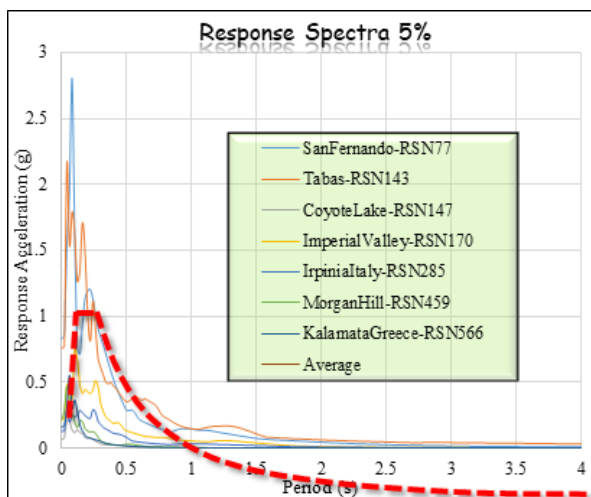
جدول ۴. نمودار مشخصات زمین لرزه‌های گسل نزدیک مورد استفاده در مطالعه حاضر.

Pacoima Dam ایستگاه لرزه‌نگاری ثبت زلزله: Pacoima Dam بهترین تابع در اصلاح خط پایه: Quadratic نام اختصاری مورد استفاده در مطالعه حاضر: 77		San Fernando (1) نام زلزله: San Fernando (1) کد RSN زلزله: 77 تاریخ وقوع (میلادی): 9/2/1971	

<p>ایستگاه لرزه‌نگاری ثبت زلزله: طبس</p> <p>بهترین تابع در اصلاح خط پایه: Constant</p> <p>نام اختصاری مورد استفاده در مطالعه حاضر: 143</p>	<p>نام زلزله: طبس (2)</p> <p>کد زلزله: RSN 143</p> <p>تاریخ وقوع (میلادی): 16/9/1978</p>	
		
<p>ایستگاه لرزه‌نگاری ثبت زلزله: Glory Array</p> <p>بهترین تابع در اصلاح خط پایه: Linear</p> <p>نام اختصاری مورد استفاده در مطالعه حاضر: 147</p>	<p>نام زلزله: Coyote Lake (3)</p> <p>کد زلزله: RSN 147</p> <p>تاریخ وقوع (میلادی): 6/8/1979</p>	
		
<p>ایستگاه لرزه‌نگاری ثبت زلزله: County Center</p> <p>بهترین تابع در اصلاح خط پایه: Linear</p> <p>نام اختصاری مورد استفاده در مطالعه حاضر: 170</p>	<p>نام زلزله: Imperial Valley (4)</p> <p>کد زلزله: RSN 170</p> <p>تاریخ وقوع (میلادی): 15/10/1979</p>	
		
Empty cell for the final row		

<p>ایستگاه لرزه‌نگاری ثبت زلزله: Bangoli Irpinio</p> <p>بهترین تابع در اصلاح خط پایه: Linear</p> <p>نام اختصاری مورد استفاده در مطالعه حاضر: 285</p>	<p>نام زلزله: Irpinia Italy (5)</p> <p>کد زلزله: 285</p> <p>تاریخ وقوع (میلادی): 23/11/1980</p>	
		
<p>ایستگاه لرزه‌نگاری ثبت زلزله: Glory Array</p> <p>بهترین تابع در اصلاح خط پایه: Cubic</p> <p>نام اختصاری مورد استفاده در مطالعه حاضر: 459</p>	<p>نام زلزله: Morgan Hill (6)</p> <p>کد زلزله: 459</p> <p>تاریخ وقوع (میلادی): 24/4/1984</p>	
		
<p>ایستگاه لرزه‌نگاری ثبت زلزله: Kalamata</p> <p>بهترین تابع در اصلاح خط پایه: Linear</p> <p>نام اختصاری مورد استفاده در مطالعه حاضر: 566</p>	<p>نام زلزله: Kalamata Greece (7)</p> <p>کد زلزله: 566</p> <p>تاریخ وقوع (میلادی): 15/9/1986</p>	
		

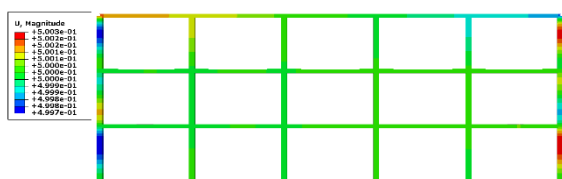
یکی از پرکاربردترین مفاهیم در مهندسی زلزله، طیف پاسخ شبه شتاب مربوط به شتاب نگاشت می‌باشد. طیف پاسخ یک شتاب نگاشت شامل طیف پاسخ جابجایی، سرعت و شتاب می‌شود. برای بدست آوردن طیف پاسخ یک شتاب نگاشت کافی است تا پاسخ سیستم‌های یک درجه آزادی با پریودهای نوسانی مختلف را بدست آورد. سیستم یک درجه آزادی شامل یک جرم، یک سختی و یک میرایی می‌باشد. برای این منظور نیز از نرم‌افزار SEISMOSIGNAL استفاده شده است و شتاب پاسخ مربوط به هفت زمین‌لرزه مذکور، در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



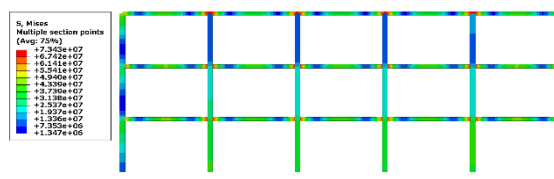
شکل ۱۱. طیف شتاب پاسخ در برابر پریودهای مختلف زلزله‌های گسل نزدیک.

۲.۴. نتایج تحلیل لرزه‌ای قاب سه طبقه

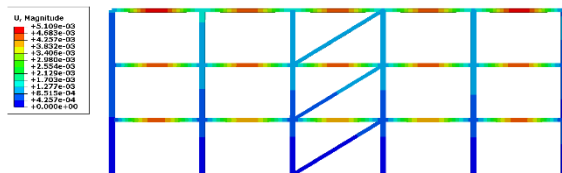
در شکل (۱۲-۱۹) نتایج حاصل از تحلیل قاب سه طبقه که توسط میراگرهای مختلف مقاوم‌سازی شده است، در مقابل زمین‌لرزه ارائه شده است. مقایسه تغییرمکان ایجاد شده در قاب‌های سه طبقه با میراگر نیز در شکل (۲۰) ارائه شده است.



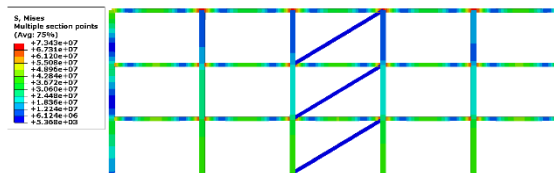
شکل ۱۳. کانتور تغییرمکان قاب خمشی سه طبقه



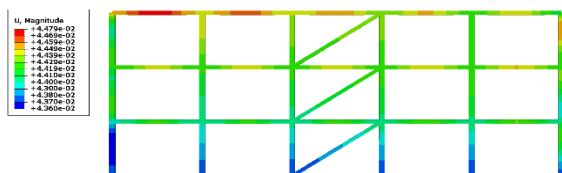
شکل ۱۲. کانتور تنش قاب خمشی سه طبقه



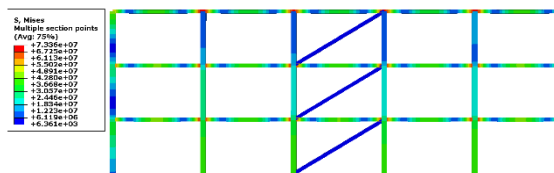
شکل ۱۵. کانتور تغییرمکان قاب سه طبقه با میراگر ویسکوز



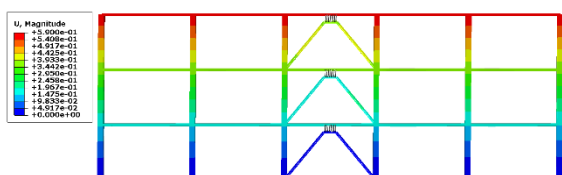
شکل ۱۴. کانتور تنش قاب سه طبقه با میراگر ویسکوز



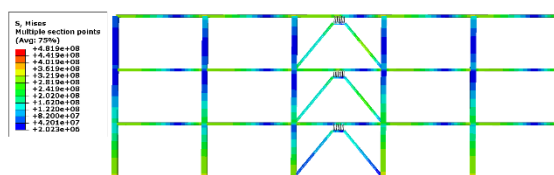
شکل ۱۷. کانتور تغییرمکان قاب سه طبقه با میراگر اصطکاکی



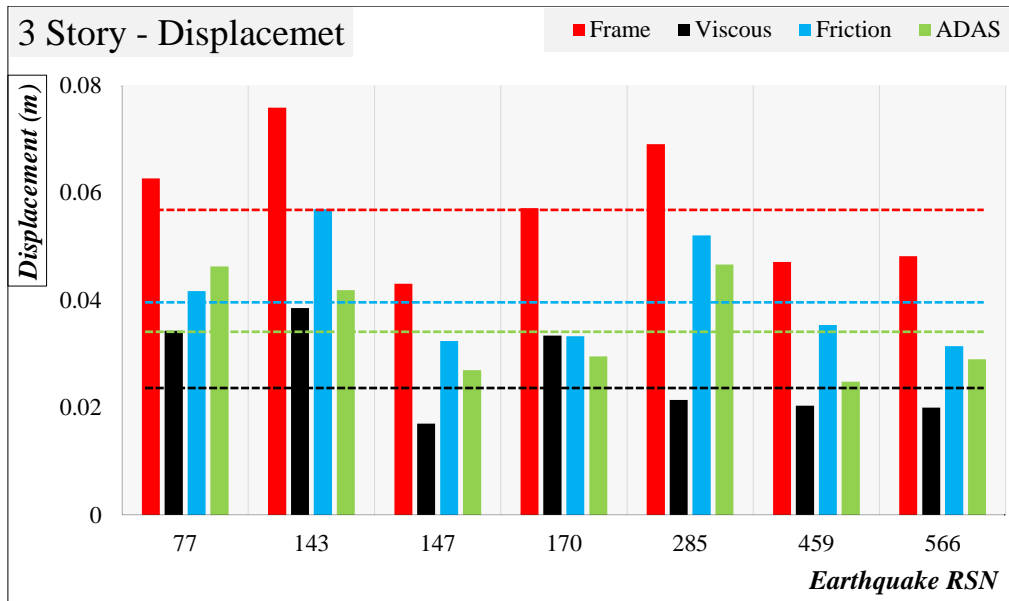
شکل ۱۶. کانتور تنش قاب سه طبقه با میراگر اصطکاکی



شکل ۱۹. کانتور تغییرمکان قاب سه طبقه با میراگر ADAS

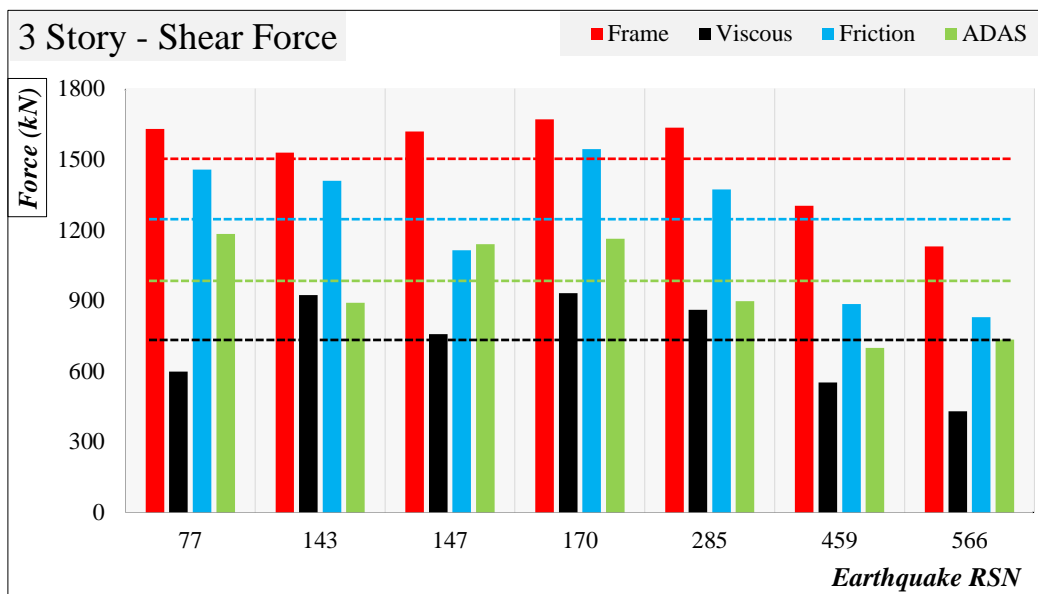


شکل ۱۸. کانتور تنش قاب سه طبقه با میراگر ADAS



شکل ۲۰. مقایسه تغییرمکان ایجاد شده در قاب‌های سه طبقه با میراگر.

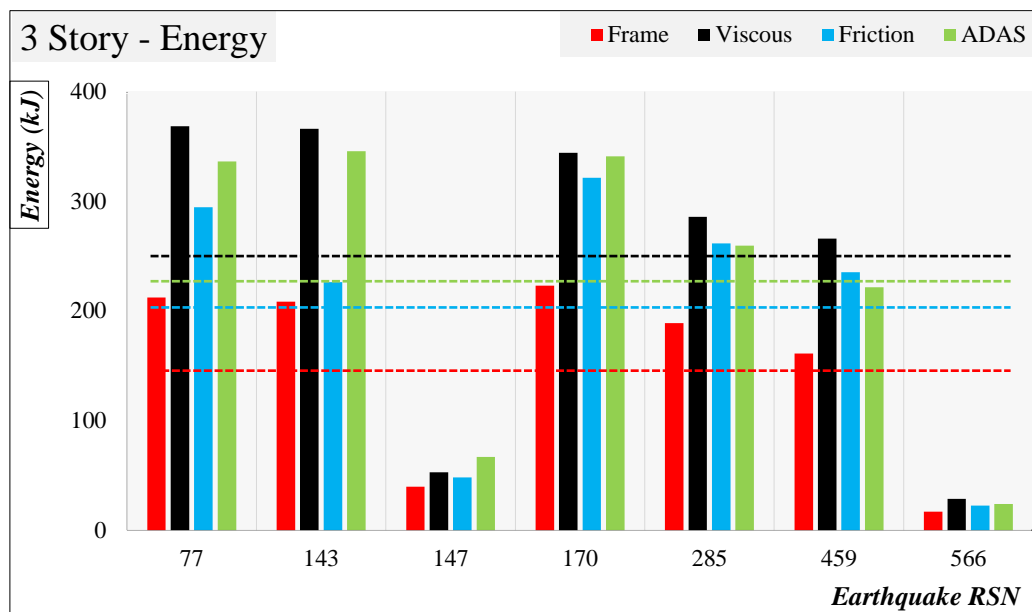
با توجه به شکل (۲۰) مشاهده می‌شود که میانگین تغییرمکان ایجاد شده در قاب بدون میراگر در برابر شتاب هفت زلزله اعمالی به میزان ۵/۷ سانتیمتر بوده است. نصب میراگر ویسکوز در این قاب سبب شده تا تغییرمکان پس از ۵۴ درصد کاهش به ۲/۶ سانتیمتر نزول یابد. استفاده از میراگرهای اصطکاکی و ADAS نیز سبب شد تا تغییرمکان سازه به ترتیب به ۴ سانتیمتر و ۳/۵ سانتیمتر کاهش یابد. در این مورد دیده می‌شود که استفاده از میراگر ویسکوز، با بیشترین کاهش در تغییرمکان بام سازه، بهترین عملکرد را از خود نشان داده است. با نگاهی به شکل (۲۱) نیز دیده می‌شود که باز هم میراگر ویسکوز بهترین عملکرد را داشته است. میانگین برش پایه رخ داده در سازه سه طبقه بدون میراگر در برابر هفت زمین‌لرزه مذکور به مقدار ۱۵۰۱ کیلونیوتن بوده است. استفاده از میراگر ویسکوز سبب کاهش برش پایه به میزان ۷۲۱/۳ کیلونیوتن شده است. همچنین میراگرهای اصطکاکی و ADAS نیز به ترتیب برش پایه را به ۱۲۲۹/۴ کیلونیوتن و ۹۵۷/۵ کیلونیوتن رساندند.



شکل ۲۱. مقایسه برش پایه ایجاد شده در قاب‌های سه طبقه با میراگر.

طبق شکل (۲۲) که مقایسه انرژی جذب شده ایجاد شده در قاب‌های سه طبقه با میراگر را نشان می‌دهد، میانگین جذب انرژی قاب بدون میراگر سه طبقه در برابر هفت زمین‌لرزه به میزان ۱۵۰ کیلوژول بوده است. پارامتر مذکور پس از اعمال میراگر

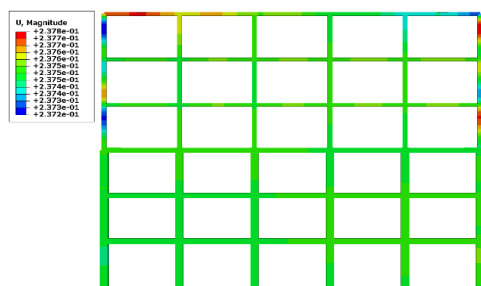
ویسکوز، با ۶۲ درصد رشد همراه بوده که به ۲۴۴ کیلوژول رسیده است. همچنین نصب میراگرهای اصطکاکی و ADAS باعث شدند تا جذب انرژی سازه سه طبقه به ترتیب با ۳۴ درصد و ۵۱ درصد رشد به ۲۰۱ کیلوژول و ۲۲۷ کیلوژول صعود نماید.



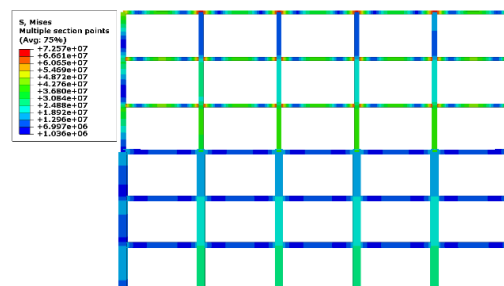
شکل ۲۲. مقایسه انرژی جذب شده ایجاد شده در قاب‌های سه طبقه با میراگر.

۳.۴. نتایج تحلیل لرزه‌ای قاب شش طبقه

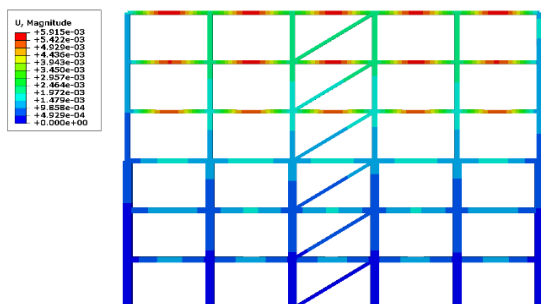
در شکل (۲۳-۳۰) نتایج حاصل از تحلیل قاب شش طبقه که توسط میراگرهای مختلف مقاوم‌سازی شده است، در مقابل هفت زمین‌لرزه مورد بررسی، ارائه شده است. مقایسه تغییرمکان ایجاد شده در قاب‌های شش طبقه با میراگر نیز در شکل (۳۱) ارائه شده است.



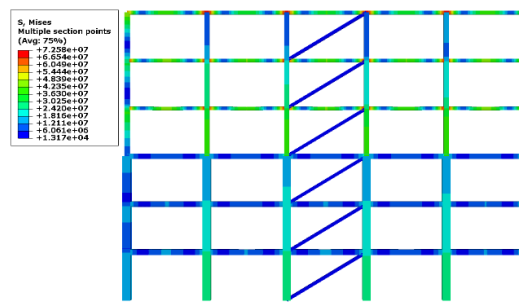
شکل ۲۴. کانتور تغییرمکان قاب خمشی شش طبقه



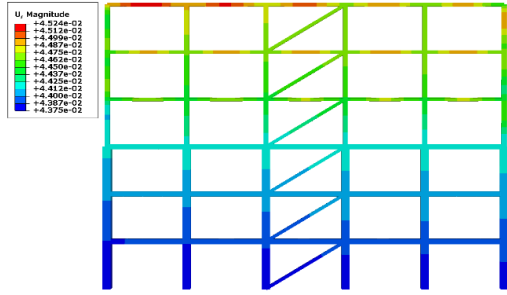
شکل ۲۳. کانتور تنش قاب خمشی شش طبقه



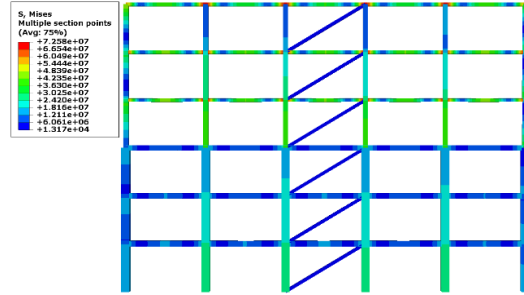
شکل ۲۶. کانتور تغییرمکان قاب شش طبقه با میراگر ویسکوز



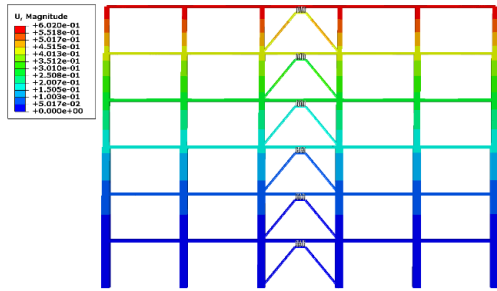
شکل ۲۵. کانتور تنش قاب شش طبقه با میراگر ویسکوز



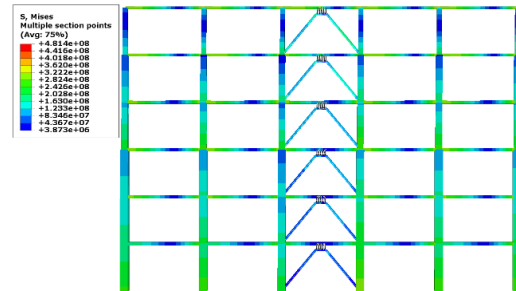
شکل ۲۸. کانتور تغییرمکان قاب شش طبقه با میراگر اصطکاکی



شکل ۲۷. کانتور تنش قاب شش طبقه با میراگر اصطکاکی

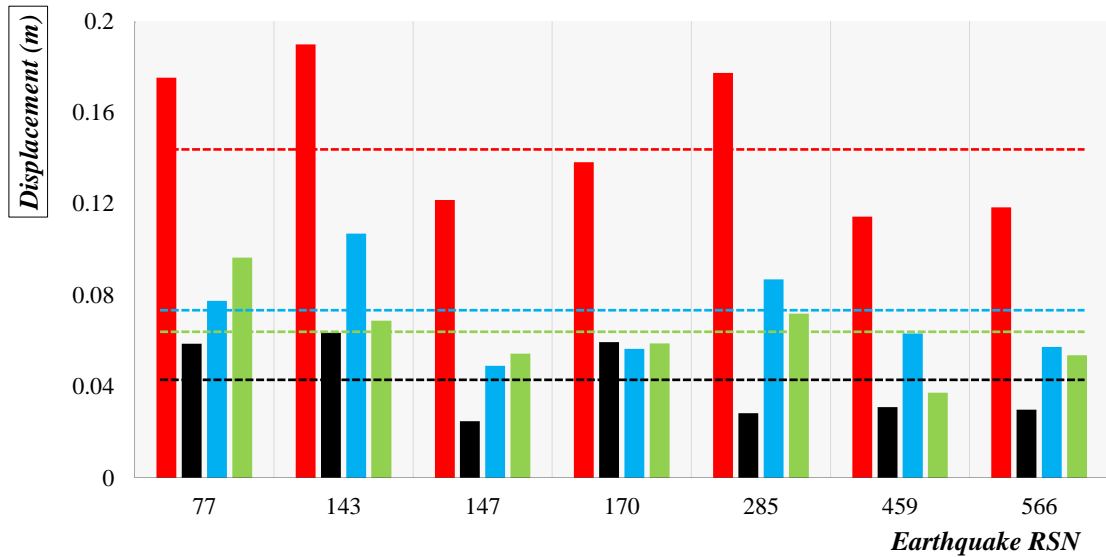


شکل ۳۰. کانتور تغییرمکان قاب شش طبقه با میراگر ADAS



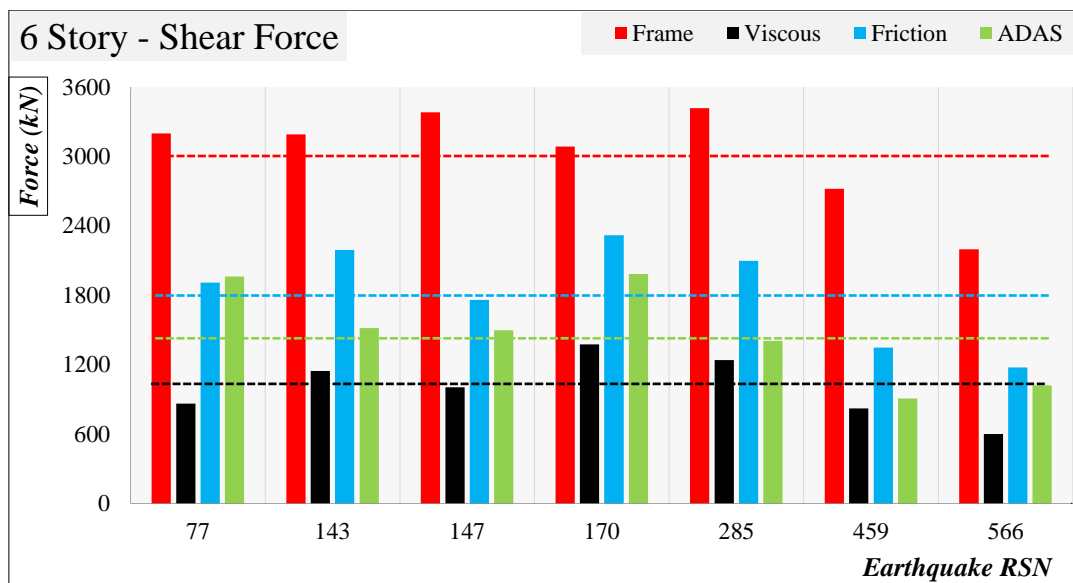
شکل ۲۹. کانتور تنش قاب شش طبقه با میراگر ADAS

6 Story - Displacement



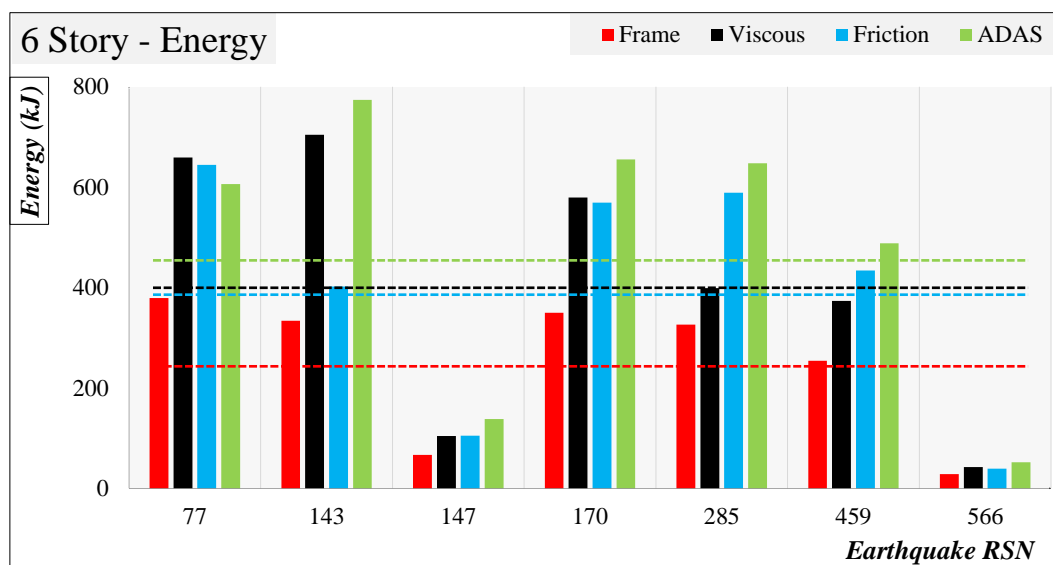
شکل ۳۱. مقایسه تغییرمکان ایجاد شده در قاب‌های شش طبقه با میراگر.

با توجه به شکل (۳۱) مشاهده می‌شود که میانگین تغییرمکان ایجاد شده در قاب بدون میراگر در برابر شتاب هفت زلزله اعمالی به میزان ۱۴/۷ سانتیمتر بوده است. نصب میراگر ویسکوز در این قاب سبب شده تا میانگین تغییرمکان پس از ۷۱ درصد کاهش به ۴/۲ سانتیمتر نزول یابد. استفاده از میراگرهای اصطکاکی و ADAS نیز سبب شد تا تغییرمکان سازه به ترتیب به ۷/۱ سانتیمتر و ۶/۳ سانتیمتر کاهش یابد. در این مورد دیده می‌شود که استفاده از میراگر ویسکوز، با بیشترین کاهش در تغییرمکان بام سازه، بهترین عملکرد را از خود نشان داده است.



شکل ۳۲. مقایسه برش پایه ایجاد شده در قاب‌های شش طبقه با میراگر.

با نگاهی به شکل (۳۲) نیز دیده می‌شود که باز هم میراگر ویسکوز بهترین عملکرد را داشته است. میانگین برش پایه رخ داده در سازه شش طبقه بدون میراگر در برابر هفت زمین‌لرزه مذکور به مقدار $3026/4$ کیلونیوتن بوده است. استفاده از میراگر ویسکوز سبب کاهش برش پایه به میزان $1005/9$ کیلونیوتن شده است. همچنین میراگرهای اصطکاکی و ADAS نیز به ترتیب برش پایه را به $1827/8$ کیلونیوتن و $1469/5$ کیلونیوتن رساندند.

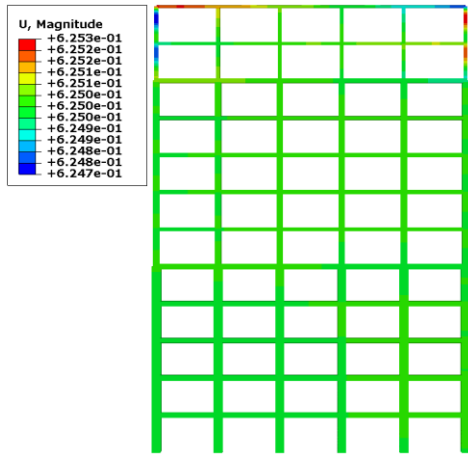


شکل ۳۳. مقایسه انرژی جذب شده ایجاد شده در قاب‌های شش طبقه با میراگر.

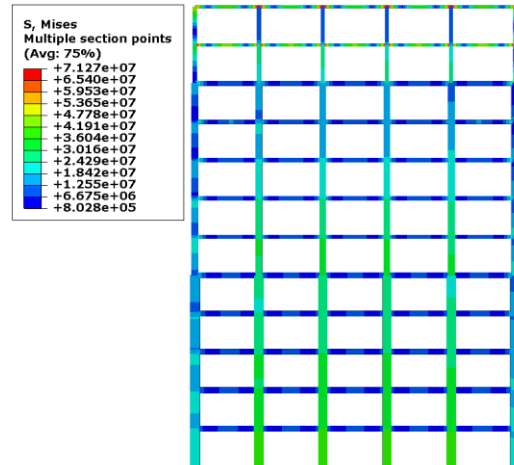
با توجه به شکل (۳۳) که انرژی جذب شده ایجاد شده در قاب‌های شش طبقه با میراگر را مقایسه می‌کند، میانگین جذب انرژی قاب شش طبقه بدون میراگر در برابر هفت زمین‌لرزه به میزان $248/1$ کیلوژول بوده است. پارامتر مذکور پس از اعمال میراگر ویسکوز، با ۶۴ درصد رشد همراه بوده که به $408/7$ کیلوژول رسیده است. همچنین نصب میراگرهای اصطکاکی و ADAS باعث شدند تا جذب انرژی سازه شش طبقه به ترتیب با ۶۰ درصد و ۹۳ درصد رشد به 397 کیلوژول و 480 کیلوژول برسد.

۴.۴. نتایج تحلیل لرزه‌ای قاب دوازده طبقه

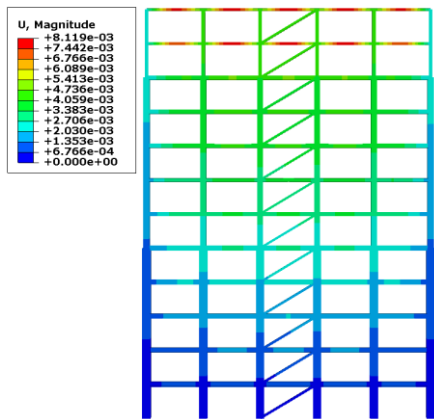
در شکل (۳۴-۴۱) نتایج حاصل از تحلیل قاب دوازده طبقه که توسط میراگرهای مختلف مقاوم‌سازی شده است، در مقابل شتاب هفت زمین‌لرزه موردنظر ارائه شده است. مقایسه تغییرمکان ایجاد شده در قاب‌های دوازده طبقه با میراگر نیز در شکل (۴۲) ارائه شده است.



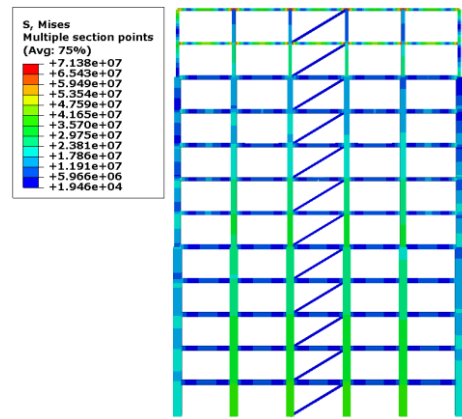
شکل ۳۵. کانتور تغییرمکان قاب خمشی دوازده طبقه



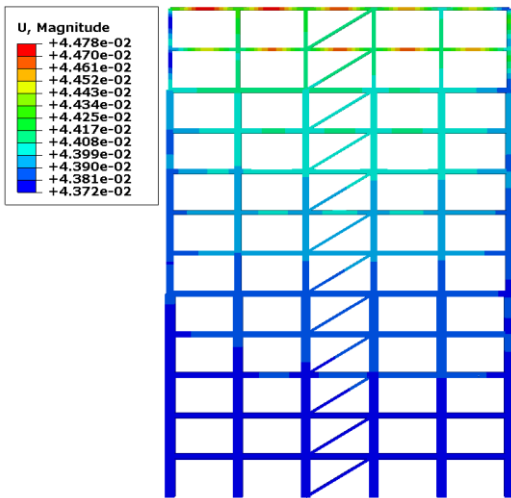
شکل ۳۴. کانتور تنش قاب خمشی دوازده طبقه



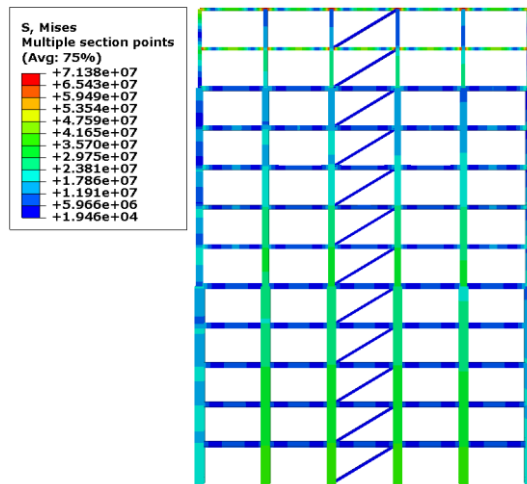
شکل ۳۷. کانتور تغییرمکان قاب دوازده طبقه با میراگر ویسکوز



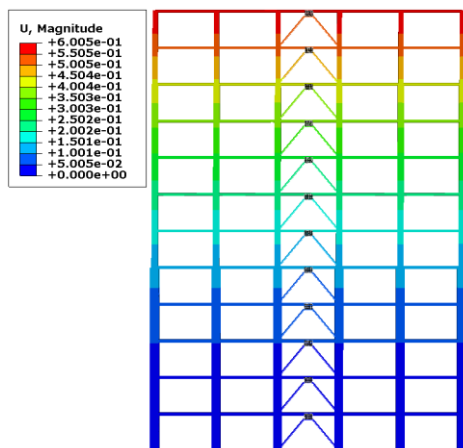
شکل ۳۶. کانتور تنش قاب دوازده طبقه با میراگر ویسکوز



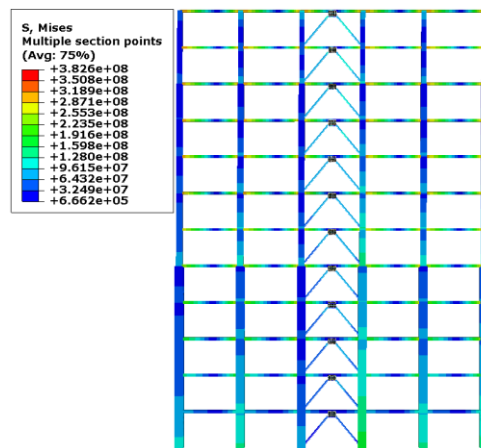
شکل ۳۹. کانتور تغییرمکان قاب دوازده طبقه با میراگر اصطکاکی



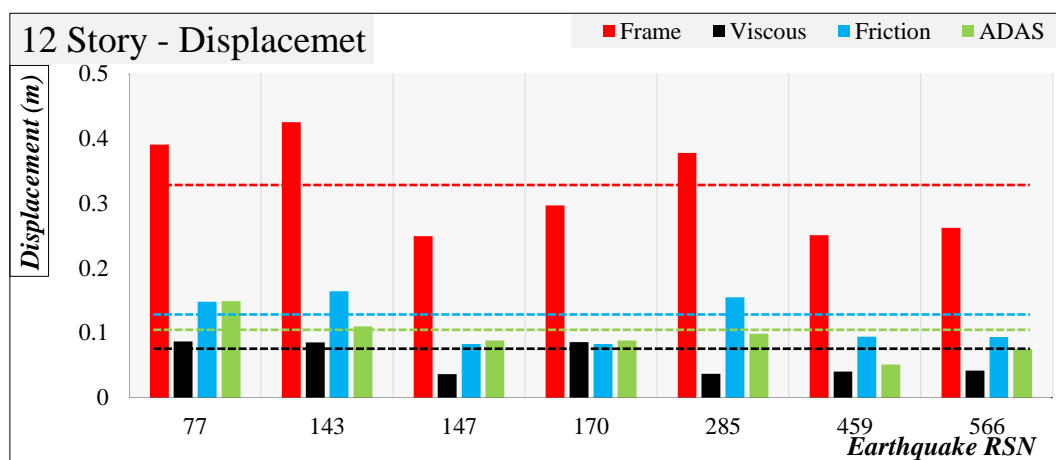
شکل ۳۸. کانتور تنش قاب دوازده طبقه با میراگر اصطکاکی



شکل ۴۱. کانتور تغییرمکان قاب دوازده طبقه با میراگر ADAS

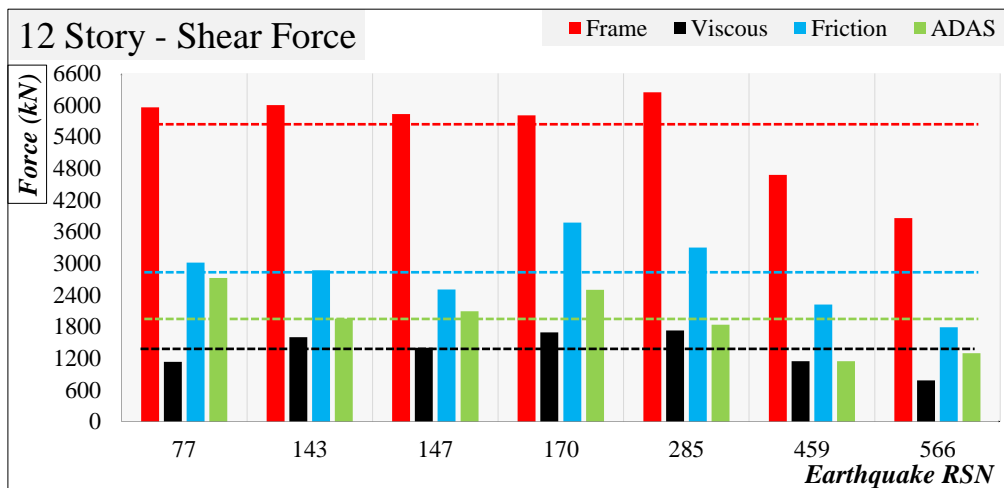


شکل ۴۰. کانتور تنش قاب دوازده طبقه با میراگر ADAS



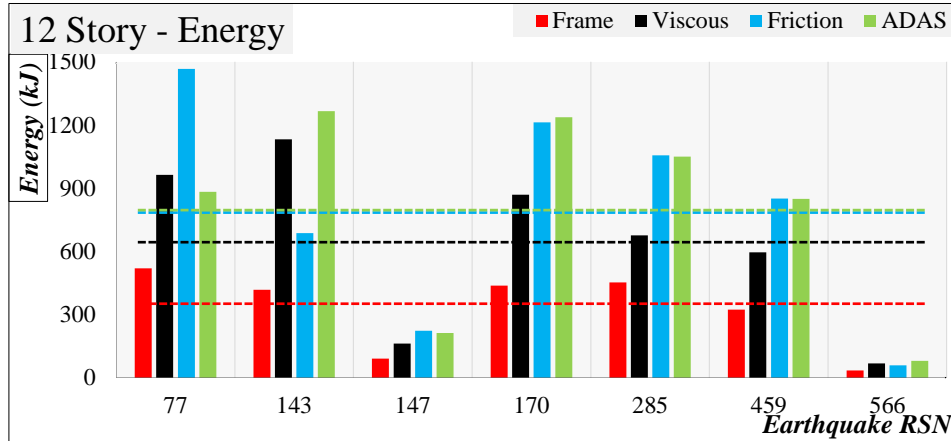
شکل ۴۲. مقایسه تغییرمکان ایجاد شده در قاب‌های دوازده طبقه با میراگر.

با توجه به شکل (۴۲) مشاهده می‌شود که میانگین تغییرمکان ایجاد شده در قاب بدون میراگر در برابر شتاب هفت زلزله اعمالی به میزان ۳۲/۱ سانتیمتر بوده است. نصب میراگر ویسکوز در این قاب سبب شده تا تغییرمکان پس از ۸۱ درصد کاهش به ۵/۸ سانتیمتر نزول یابد. استفاده از میراگرهای اصطکاکی و ADAS نیز سبب شد تا تغییرمکان سازه به ترتیب به ۱۱/۶ سانتیمتر و ۹/۴ سانتیمتر کاهش یابد. در این مورد دیده می‌شود که استفاده از میراگر ویسکوز، با بیشترین کاهش در تغییرمکان بام سازه، بهترین عملکرد را از خود نشان داده است.



شکل ۴۳. مقایسه برش پایه ایجاد شده در قاب‌های دوازده طبقه با میراگر.

با نگاهی به شکل (۴۳) نیز دیده می‌شود که باز هم میراگر ویسکوز بهترین عملکرد را داشته است. میانگین برش پایه رخ داده در سازه دوازده طبقه بدون میراگر در برابر هفت زمین‌لرزه مذکور به مقدار $5481/4$ کیلونیوتن بوده است. استفاده از میراگر ویسکوز سبب کاهش برش پایه به میزان $1350/8$ کیلونیوتن شده است. همچنین میراگرهای اصطکاکی و ADAS نیز به ترتیب برش پایه را به $2778/3$ کیلونیوتن و $1932/7$ کیلونیوتن رساندند.

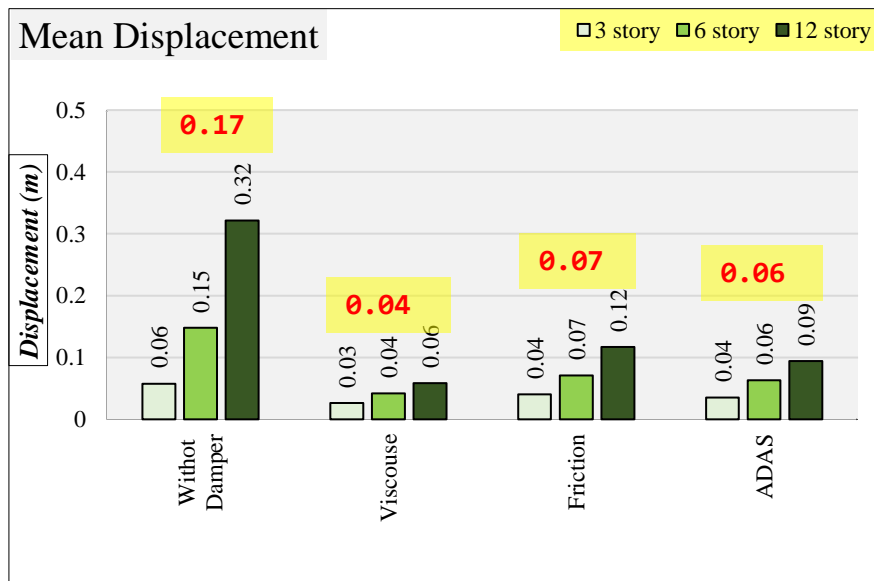


شکل (۴۴). مقایسه انرژی جذب شده ایجاد شده در قاب‌های دوازده طبقه با میراگر.

با توجه به شکل (۴۴)، میانگین جذب انرژی قاب دوازده طبقه بدون میراگر در برابر هفت زمین‌لرزه به میزان $324/6$ کیلوژول بوده است. پارامتر مذکور پس از اعمال میراگر ویسکوز، با ۹۶ درصد رشد همراه بوده که به $637/4$ کیلوژول رسیده است. همچنین نصب میراگرهای اصطکاکی و ADAS باعث شدند تا جذب انرژی سازه دوازده طبقه به ترتیب با ۱۴۴ درصد و ۱۴۵ درصد رشد به $793/1$ کیلوژول و $796/5$ کیلوژول برسد.

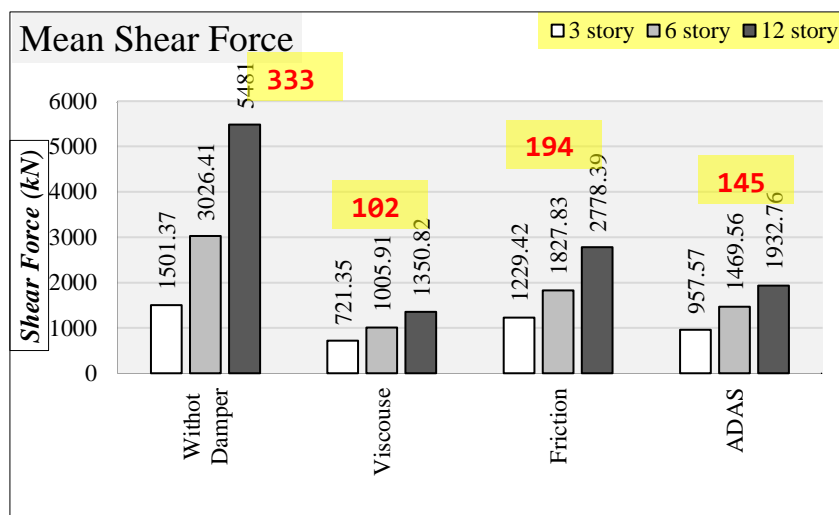
۵.۴. مقایسه کل نتایج تحلیل قاب‌ها

در این بخش نتایجی که در مورد هر کدام از قاب‌های ۳ و ۶ و ۱۲ طبقه گزارش شده بود (شامل تغییرمکان، برش پایه و جذب انرژی) در اشکال (۴۵ تا ۴۷) با یکدیگر مقایسه می‌گردند.



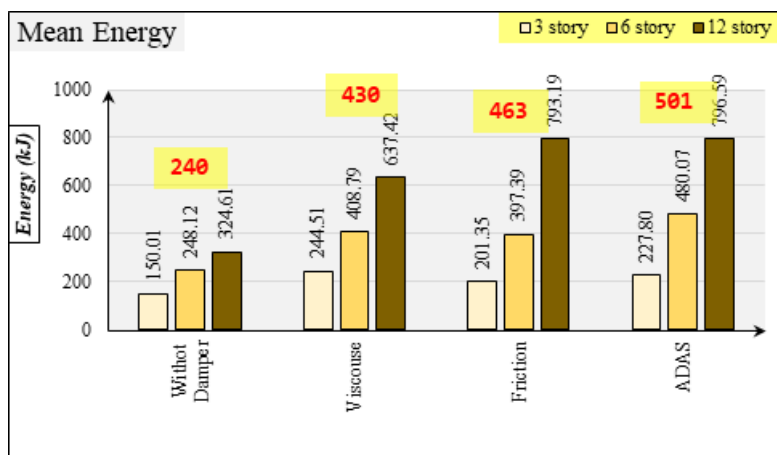
شکل ۴۵. میانگین تغییرمکان ایجاد شده در قاب‌ها در برابر شتاب هفت زلزله.

با توجه به شکل (۴۵) دیده می‌شود که میانگین تغییرمکان در سه قاب ۳ و ۶ و ۱۲ طبقه بدون میراگر در برابر هفت شتاب زلزله به میزان ۱۷ سانتیمتر بوده است. میانگین تغییرمکان‌های رخداده در قاب‌های با میراگر ویسکوز نسبت به قاب خمشی تنها به میزان ۷۵ درصد کاهش داشته و مقدار ۴/۲ سانتیمتر را کسب نموده است. بطور کل پس از استفاده از میراگرهای اصطکاکی و ADAS نیز به ترتیب ۵۶ درصد و ۶۳ درصد کاهش در تغییرمکان ایجاد شده و این پارامتر به ترتیب به ۷/۶ سانتیمتر و ۶/۴ سانتیمتر رسیده است.



شکل ۴۶. میانگین برش پایه در قاب‌ها در برابر شتاب هفت زلزله.

با توجه به شکل (۴۶) دیده می‌شود که میانگین برش پایه در سه قاب ۳ و ۶ و ۱۲ طبقه بدون میراگر در برابر هفت شتاب زلزله به میزان ۳۳۳۶/۴ کیلونیوتن بوده است. میانگین برش پایه رخداده در قاب‌های با میراگر ویسکوز نسبت به قاب خمشی تنها به میزان ۶۹ درصد کاهش داشته و مقدار ۱۰۲۶/۳ کیلونیوتن را کسب نموده است. بطور کل پس از استفاده از میراگرهای اصطکاکی و ADAS نیز به ترتیب ۴۱ درصد و ۵۶ درصد کاهش در برش پایه ایجاد شده و این پارامتر به ترتیب به ۱۹۴۵/۲ کیلونیوتن و ۱۴۵۳/۳ کیلونیوتن رسیده است.



شکل ۴۷. میانگین جذب انرژی قاب‌ها در برابر شتاب هفت زلزله.

با توجه به شکل (۴۷) دیده می‌شود که میانگین جذب انرژی در سه قاب ۳ و ۶ و ۱۲ طبقه بدون میراگر در برابر هفت شتاب زلزله به میزان ۲۴۰/۹ کیلوژول بوده است. میانگین جذب انرژی رخداده در قاب‌های با میراگر ویسکوز نسبت به قاب خمشی تنها به میزان ۷۸ درصد رشد داشته و مقدار ۴۳۰/۲ کیلوژول را کسب نموده است. بطور کل پس از استفاده از میراگرهای اصطکاکی

و ADAS نیز به ترتیب ۹۲ درصد و ۱۰۸ درصد افزایش در جذب انرژی ایجاد شده و این پارامتر به ترتیب به ۴۶۳۹/۹ کیلوژول و ۵۰۱/۴ کیلوژول رسیده است.

۵. نتیجه گیری

نتایج کلی بدست آمده از این مطالعه را می‌توان در بندهای زیر خلاصه نمود:

اعمال میراگرها بدون شک در انواع سازه‌های فولادی موجب می‌شود که مقاومت جانبی سازه در برابر بارگذاری بطور قابل توجهی افزایش یابد و در مقایسه با قاب‌های خمشی، یکی از بهترین شیوه‌ها برای کنترل تغییرمکان جانبی ساختمان‌ها می‌باشد. امروزه بخوبی می‌توان از میراگرها در کنار قاب‌های خمشی به نحوی استفاده کرد که رفتار مجموعه سازه نرم، مقاوم و شکل‌پذیر باشد. در اغلب موارد، میراگرهای ویسکوز، اصطکاکی و ADAS قادرند سهم بسزایی از نیروی برش پایه را تحمل کنند که موجب افزایش چشمگیر سختی ساختمان و کاهش قابل ملاحظه خسارت به عناصر اصلی سازه مانند تیر و ستون و متعاقباً به عناصر غیرسازه‌ای می‌گردند.

در بررسی پارامترهای تغییرمکان، برش پایه و جذب انرژی برای سه سازه ۳ و ۶ و ۱۲ طبقه مشاهده شد که میراگر ویسکوز بهترین پاسخ را نسبت به دو میراگر اصطکاکی و ADAS در بر داشته است.

مدل‌های موجود در جعبه ابزار نرم‌افزار آباکوس از قوی‌ترین و دقیق‌ترین مدل‌های موجود امروزه در اجزای محدود بوده‌اند که این نرم‌افزار توانسته نظر امروزه نظر بسیاری از کاربران را جلب کرده و مهندسين طراح بسیاری را علاقمند به استفاده از این نرم‌افزار سازد. در پژوهش حاضر نیز با استفاده از مدل‌های رفتاری مناسب مصالح، پاسخ‌های بسیار دقیق در تحلیل و آنالیز میراگرهای ویسکوز، اصطکاکی و ADAS به دست داده است. تقریب بسیار مناسب نتایج بدست آمده از مدل عددی با مدل پژوهش‌های مورد بررسی در فصل سوم توانسته است صحت نتایج مدل عددی حاضر را به اثبات برساند. با استناد به دقت حاصل از مدل حاضر و نادیده گرفتن مقادیر ذکر شده خطاها، مدل مورد نظر برای سازه‌های ۳، ۶ و ۱۲ طبقه توسعه داده شد.

طبق نتایج به دست آمده، می‌توان ابراز داشت که رفتار سیستم تا حد زیادی به شکل رکورد زلزله ورودی وابسته است. بطور کلی می‌توان گفت که سه زمین‌لرزه سن‌فرناندو، ایرپینیا و طیس بیشترین آثار مخرب را بر روی این سازه‌ها داشته‌اند. قدرت بیشتر زلزله در تحلیل اجزای محدود سازه باعث می‌شود تا ظرفیت بیشتری از مصالح سازه در مقابله با بارهای وارد بکار گرفته شود و ظرفیت باربری بزرگتری در سازه‌ها در مواجهه با بارهای لرزه‌ای زلزله‌های مذکور مشاهده شود.

با افزایش تعداد طبقات، قطعاً تغییر مکان‌های ایجاد شده محسوس‌تر می‌باشند. لذا این تغییر مکان‌ها در سازه ۱۲ طبقه بیشتر از دیگر سازه‌ها بوده است. نکته بسیار حائز اهمیت در رفتارشناسی سازه‌ها، که در بسیاری از مطالعات نادیده گرفته می‌شود، شناسایی و پیش‌بینی محل ایجاد خرابی در سازه است. در این مطالعه با توجه به کانتورهای تنش و تغییرمکان حاصل از تحلیل‌ها، مشاهده شد که ناحیه خرابی بدست آمده در سازه‌ها تقریباً در آخرین طبقات قاب بوده است. لذا موقعیت‌های مذکور در سازه‌های با تعداد طبقات مختلف، مستعد تقویت بوده و می‌بایست به طور دقیق مورد توجه قرار داده شوند.

مسئله قابل توجه دیگر در تغییر مکان‌های ایجاد شده در سازه کوتاه مرتبه ۳ طبقه این بوده است که جابجایی بزرگ در این سازه در طبقات فوقانی اتفاق افتاده است. این در حالی است که در جابجایی بزرگ در سازه میان مرتبه ۶ طبقه، در طبقات وسط سازه رخ داده است. همچنین در سازه بلند مرتبه ۱۲ کاملاً مشخص است که تغییر مکان اصلی ایجاد شده در سازه، مربوط به طبقات ابتدایی در سازه می‌باشد.

برش پایه ایجاد شده در هر سه سازه تحت زلزله‌های موردنظر، با افزایش ارتفاع سازه، افزایش می‌یابد. نکته جالب توجه دیگر که از نتایج می‌توان دریافت، افزایش جذب انرژی سازه تحت زلزله‌های مختلف با افزایش ارتفاع سازه است. همان‌طور که پیشتر هم به آن اشاره شد، تغییر مکان حداکثر سازه، با افزایش ارتفاع سازه افزایش می‌یابد.

مراجع

- [1] Akehashi H, Takewaki I. (2-19). Optimal viscous damper placement for elastic-plastic MDOF structures under critical double impulse. *Front Built. Environ.* 2019;5:20.
- [2] Khoshvatan, Mehdi, and Majid Pouraminian. "Reinforcement of structures with concrete moment frame system by yielding metal damper with optimal cross section." *Journal of Structural and Construction Engineering* (2021).
- [3] Cetin H, Aydin E, Ozturk B. (2019). Optimal design and distribution of viscous dampers for shear building structures under seismic excitations. *Front Built. Environ.* 2019;5: 90.
- [4] Constantine, M., Symens, M.D. (1992). Experimental and analytical investigation of seismic response of structures with supplemental fluid viscous dampers. Technical Report NCEER-92-0032, National Center for Earthquake Research, Sunny/Bufalo
- [5] Constantine, M., Seleemah, A.A. (1997). Investigation of seismic response of buildings with linear and nonlinear fluid viscous dampers.
- [6] Karabork, T., and Aydin, E. (2019). Optimum design of viscous dampers to prevent pounding of adjacent structures.
- [7] Impollonia, N., and Palmeri, A. (2018). Seismic performance of buildings retrofitted with nonlinear viscous dampers and adjacent reaction towers.
- [8] De Domenico, D., and Ricciardi, G. (2019). Earthquake protection of structures with nonlinear viscous dampers optimized through an energy-based stochastic approach.
- [9] Dall'Asta, A., Tubaldi, E., and Ragni, L. (2016). Influence of the nonlinear behaviour of viscous dampers on the seismic demand hazard of building frames.
- [10] Hosseini, B., Shamshiri, H., (2010) "Use of Semi-Active TADAS dampers to improve seismic performance of buildings", 14th ECEE, European.
- [11] Shiomi T, Fujita K, Tsuji M, Takewaki I. (2018). Dual hysteretic damper system effective for broader class of earthquake ground motions. *Int. J. Earthquake Impact Eng.* 2018;2 (3):175–202.
- [12] Wang, SJ., Chiu, IC., Yu, CH. *et al.* (2018). Experimental and analytical study on design performance of full-scale viscoelastic dampers. *Earthq. Eng. Eng. Vib.* 17, 693–706. <https://doi.org/10.1007/s11803-018-0469-2>
- [13] Kojima K, Takewaki I. (2015). Critical input and response of elastic-plastic structures under long-duration earthquake ground motions. *Front Built. Environ.* 2015;1:15.
- [14] Kelley, J.M., Skinner, R.I., and Heine, A.J. (1972). Mechanism of energy absorption in special devices for use in earthquake resistant structures. *Earthquake Engineering. Bull, New Zealand.Soc*, 5, 63-68.
- [15] Zhao, H.T., Li, A, Q. (2004). Optimal analysis and experimental study on structures with viscoelastic dampers. *Journal of Sound and Vibration* 273, pp 607-618.
- [16] Kojima K, Takewaki I. (2015). Critical earthquake response of elastic-plastic structures under near-fault ground motions (Part 1: fling-step input). *Front Built. Environ.* 2015;1:12.