

Evaluation of bearing capacity and energy absorption of high-rise steel frames reinforced by viscous dampers

Saeid Gheshlaghi¹, Maziar Fahimi Farzam², Fariborz Nateghi-A^{3*}

1- Master of Science, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

2- Assistant professor, Department of Civil Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran.

3- Professor, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

ABSTRACT

Development and improvement of the process of design and implementation of high-rise structures with special attention to reducing seismic damage is one of the most important issues studied by researchers. In this regard, steel structures along with viscous dampers are among the structural systems that have attracted the attention of many researchers today. Also in the field of passive control of structures, one of the most powerful tools are viscous dampers that are used to absorb earthquake energy and its loss to reduce the response of the structure. Therefore, the purpose of this study is to investigate the effect of this structural system on the response of 12, 22 and 32 story high-rise structures against seismic loads. To investigate this issue, in this study, a numerical model of viscous damper was first created using Abaqus software and validation of finite element response was performed accordingly. Then, the effect of acceleration of Bam and Tabas earthquakes on the behavior of this structural system was modeled separately and the results including hysteresis diagrams, time history of energy absorption and structural stress were discussed. The results, on average for the three structures in question, showed a 22% increase in energy absorption and a 13% increase in bearing capacity of high-rise steel structures after the application of viscous dampers.

ARTICLE INFO

Receive Date: 22 February 2021

Revise Date: 25 June 2021

Accept Date: 03 August 2021

Keywords:

Steel frame
High-rise structure
Viscous damper
Energy absorption
Bearing capacity
Time history analysis

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.270029.2348>

*Corresponding author: Fariborz Nateghi-A

Email address: nateghi@iiees.ac.ir

ارزیابی میزان ظرفیت باربری و جذب انرژی قاب‌های فولادی بلندمرتبه مقاوم‌سازی شده توسط میراگرهای ویسکوز

سعید قشلاقی^۱، مازیار فهیمی فرزام^۲، فریبرز ناطقی الهی^{۳*}

۱- کارشناس ارشد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

۳- استاد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

چکیده

توسعه و بهبود فرآیند طراحی و اجرای سازه‌های بلندمرتبه با توجه ویژه بر کاهش خسارات لرزه‌ای، از مهم‌ترین موضوعات مورد مطالعه پژوهشگران به شمار می‌رود. در این راستا سازه‌های فولادی به همراه میراگرهای ویسکوز از جمله سیستم‌های سازه‌ای است که امروزه نظر بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است. همچنین در زمینه کنترل غیرفعال سازه‌ها، یکی از توانمندترین ابزارها، میراگرهای ویسکوز می‌باشند که در جهت جذب انرژی زلزله و اتلاف آن جهت کاهش پاسخ سازه مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا هدف این پژوهش بررسی اثر این سیستم سازه‌ای بر پاسخ سازه‌های بلندمرتبه ۱۲، ۲۲ و ۳۲ طبقه در مقابله با بارهای لرزه‌ای می‌باشد. برای بررسی این موضوع در این مطالعه ابتدا مدل عددی میراگر ویسکوز با استفاده از نرم‌افزار آباکوس ایجاد شد و صحت‌سنجی پاسخ اجزای محدود مطابق نیز صورت پذیرفت. در ادامه، اثر اعمال شتاب زلزله‌های بم و طیس بر رفتار این سیستم سازه‌ای به‌طور جداگانه مدل‌سازی گردید و نتایج شامل نمودارهای هیستریزیس، تاریخچه زمانی جذب انرژی و تنش سازه مورد بحث و بررسی قرار داده شد. نتایج به‌طور میانگین برای سه سازه مورد بحث، بیانگر افزایش ۲۲ درصدی جذب انرژی و ۱۳ درصدی ظرفیت باربری سازه‌های بلندمرتبه فولادی پس از اعمال میراگر ویسکوز بوده است.

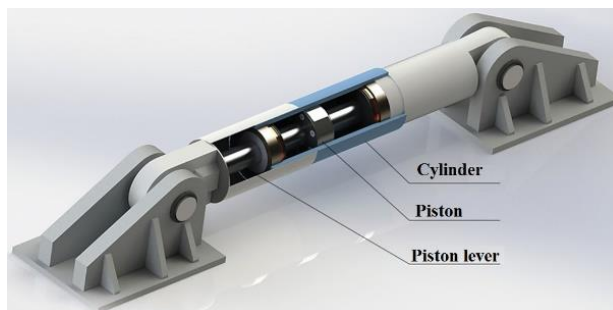
کلمات کلیدی: قاب فولادی، سازه بلندمرتبه، میراگر ویسکوز، جذب انرژی، ظرفیت باربری، تحلیل تاریخچه زمانی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
doi:	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.270029.2348	۱۴۰۰/۱۲/۲۹	۱۴۰۰/۰۵/۱۲	۱۴۰۰/۰۵/۱۲	۱۴۰۰/۰۴/۰۴	۱۳۹۹/۱۲/۰۴
10.22065/jsce.2021.270029.2348					
			*نویسنده مسئول:		
			فریبرز ناطقی الهی		
			nateghi@iiees.ac.ir		پست الکترونیکی:

۱- مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت و وسعت شهرها لازم است که از زمین به نحوه مطلوبی استفاده گردد. ساختمان‌های بلند یک راه حل خوب و اقتصادی برای اسکان جمعیت، مشاغل، ادارات و غیره در یک وسعت کم از زمین می‌باشد [۱]. از نقطه نظر مهندسی، سازه بلند به سازه‌ای اطلاق می‌شود که نسبت ارتفاع به ابعاد عرضی آن به قدری زیاد بوده که باعث شود تا در فاز طراحی، نیروهای جانبی ناشی از باد و زلزله، بسیار ثرگذارتر از نیروهای ثقلی باشد. لذا باید این تأثیر را از ابتدای مراحل طراحی در نظر گرفت. در این راستا، نیروهای جانبی که در اثر عوامل دینامیکی همچون باد و زلزله در یک سازه ایجاد می‌شوند، تابعی از مشخصات دینامیکی سازه مانند سختی و ضریب میرایی و فرکانس طبیعی ارتعاش خواهند بود [۲،۳]. از این رو برای مقاوم نمودن یا طراحی یک سازه برای تحمل این بارهای دینامیکی ممکن است بجای تقویت اعضاء آن برای تحمل بارهای وارده با استفاده از میراگرهای نیروهای القاء شده در سازه تحت تحریکات دینامیکی را تا تحت ظرفیت باربری اعضاء آن کاهش داد [۴]. باید توجه داشت که یکی از مشکلات اساسی در طراحی سازه‌های بلند استفاده از سیستم سازه‌ای است که بتواند در مقابل بارهای جانبی به خوبی مقاومت کند. همچنین یکی از انواع سیستم‌های غیرفعال برای کنترل پاسخ سازه‌ها در برابر بارهای دینامیکی میراگرهای ویسکوز می‌باشند.

میراگرهای ویسکوز یکی از سیستم‌های کنترل غیرفعال است که در محل مهاربندی جانمایی شده و بخشی از انرژی لرزه‌ای ورودی به سازه را جذب کرده و سبب می‌شود که مکانیزم انتقال انرژی بر المان‌های سازه کاهش یافته و خرابی سازه‌ای به حداقل برسد. سازه‌های متعارف انرژی را از طریق تسلیم یا گسیختگی مصالح ساختمان جذب می‌کنند. به‌عنوان مثال در تیرها و ستون‌های فولادی انرژی لرزه‌ای با تشکیل مفصل پلاستیک و در سازه‌های بتنی با ایجاد ترک جذب می‌شود. در این حیطة، استفاده از میراگرهای ویسکوز، یک راهکار اساسی به شمار می‌رود. این میراگرها با تامین نیرو در مقابل حرکت سازه، بخش عمده‌ای از انرژی ورودی را مستهلک می‌سازند، که نیروی مذکور متناسب با سرعت نسبی دو سر میراگر است [۵]. نمایی کلی از یک میراگر ویسکوز در شکل ۱ ارائه شده است. در سال‌های اخیر، بررسی کنترل پاسخ سازه‌ها در زلزله با استفاده از تجهیزات استهلاک انرژی نظیر میراگرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است.



شکل ۱. جزئیات یک میراگر ویسکوز [۱]

تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از میراگرهای ویسکوز می‌تواند نقش مؤثری در کنترل پاسخ سازه‌ها در برابر باد، انفجار و زلزله داشته باشد و در نتیجه موجب افزایش میرایی و کاهش پاسخ‌های سازه می‌شود [۶]. به این ترتیب بررسی این موضوع که استفاده از میراگرهای ویسکوز تا چه حد بر رفتار سازه‌ها اثرگذار هستند، از ضرورت خاصی برخوردار می‌باشد. لذا بسط این مهم که امروزه در دنیا به‌طور جدی برای مقاوم‌سازی هرچه بیشتر سازه‌ها در برابر نیروهای جانبی علی‌الخصوص زلزله در حال بررسی است، برای دستیابی به اهداف والای پیشبرد علم و تکنولوژی کشور در زمره مسائل پراهمیت جلوه می‌کند.

میراگر ویسکوز اولین بار در قرن نوزدهم به منظور خنثی‌سازی اثرات ضربه توپ در کشتی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. بعدها استفاده از این وسایل در صنعت هوافضا برای پرتاب موشک و صنایع نظامی گسترش زیادی یافت. تا اینکه در نیمه اول قرن بیستم از این تکنولوژی در کارخانه‌های خودروسازی نیز استفاده شد. ورود میراگر ویسکوز به صنعت مقاوم‌سازی ساختمان با انجام آزمایشاتی در دانشگاه بوفالو آغاز شد. در ادامه به مهم‌ترین مطالعاتی که در این زمینه صورت پذیرفته است اشاره می‌گردد [۳،۷].

آلتیری و همکاران عملکرد روش‌های طراحی بهینه میراگرهای ویسکوز را مورد ارزیابی قرار دادند. برای این منظور ایشان از یک

سازه سه طبقه به عنوان مطالعه موردی استفاده نمودند. هدف مسئله کمینه نمودن نیروی وارده به سازه طی زلزله بوده و نتایج حاصل نشان دهنده کاهش شتاب پاسخ سازه در برابر زلزله‌های مختلف بوده است [۶]. مازان اوقلو و همکاران استفاده از میراگرهای ویسکوز را بین دو سازه مجاور پیشنهاد نمودند. ایشان برای این منظور ابتدا یک میراگر ویسکوز را مورد صحت‌سنجی قرار دادند و سپس مدل صحت‌سنجی شده را برای استفاده مابین دو سازه مجاور توسعه دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان دهنده کاهش چشمگیر تغییرمکان‌های ایجاد شده در بام هر دو سازه در مقابل بار لرزه‌ای بوده است [۷]. پارسیانلو و همکاران بهینه‌سازی اعمال میراگرهای ویسکوز در طبقات مختلف سازه-های فولادی را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور تعداد میراگرهای مختلف و پارامتر میرایی میراگرها به عنوان متغیرهای مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته شد و پنج حالت مختلف را ارزیابی نمودند. سپس برای هر مورد تابع هدف را ایجاد نموده و بهینه‌سازی را صورت دادند. خروجی حاصل از این بهینه‌سازی، میزان نیروی ایجاد شده و پارامترهای میرایی طبقات بوده است. در هر مورد نیز میزان کاهش خسارت لرزه‌ای بر سازه نیز گزارش شده است [۸].

چنگ سو و همکاران بهینه‌سازی پارامترهای میراگر ویسکوز را در یک پل بتنی بلندمرتبه صورت دادند. برای این منظور ایشان از روش کاهش ابعاد برای تابع هدف استفاده نمودند. همچنین با تحلیل سیستم در حالات قبل و پس از مقاوم‌سازی توسط میراگرهای ویسکوز، اثر این سیستم را بر عملکرد لرزه‌ای پایه پل مورد ارزیابی قرار دادند. میزان تغییرمکان و نیروی عکس‌العمل تکیه‌گاهی از متغیرهای این پژوهش بوده است [۹]. دومنیکو و همکاران ابتدا یک مدل سیستم قاب یک درجه آزادی به همراه میراگر ویسکوز را با استفاده از روابط تحلیلی کالیبره نمودند. سپس با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو به تحلیل تصادفی سیستم در برابر بار لرزه‌ای پرداختند. در این مطالعه نیز کاهش خسارت لرزه‌ای وارده به سازه مورد بحث قرار گرفته شده است. نتایج این مطالعه در مورد کاهش هزینه محاسباتی این سیستم توسط چندین روش شبیه‌ساز بوده است [۱۰]. لوسانو و همکاران نمودارهای تاریخچه زمانی تغییرمکان و شتاب پاسخ سازه در برابر زلزله-های مختلف را برای یک سازه قاب مرکب قاب خمشی و مهاربندهای تجهیز شده به میراگر ویسکوز بیان نمودند. ایشان کاهش خسارت لرزه‌ای وارده به سازه با افزایش میرایی میراگر توسط تغییر پارامترهای هندسی میراگر و تغییر مشخصات مکانیکی سیال مورد استفاده را در مطالعه خود نشان دادند. همچنین مقادیر تغییرمکان‌ها و شتاب سازه را پس از استفاده از میراگر ارائه نمودند [۱۱].

دومنیکو و همکاران همچنین چیدمان‌های مختلف میراگرهای ویسکوز بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش شامل میرایی طبقات، تغییرمکان و نیروی عکس‌العمل ایجاد شده در دو حالت قبل و پس از اعمال میراگر، تنش ماکزیمم ایجاد شده و انرژی دمپ شده در سازه بوده است. در این مطالعه این نتیجه حاصل شد که با اعمال میراگرها بر دهانه بیرونی قاب، می‌توان بهترین طرح را با کمترین هزینه ارائه نمود [۴]. کارینیو تاکیس و کاراواسیلیس قاب‌های خمشی طراحی شده بر مبنای آیین‌نامه Eurocode8 را به میراگرهای ویسکوز تجهیز نموده و عملکرد این میراگرها را در سه سازه ۵، ۱۰ و ۲۰ طبقه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش که توسط نمودارهای IDA ارائه شد، بیانگر این بوده که اثر استفاده از میراگرهای ویسکوز با افزایش تعداد طبقات سازه، چشمگیرتر بوده و خسارت لرزه‌ای را در سازه‌های بلندمرتبه، با نرخ بیشتری کاهش می‌دهد [۵]. میلان‌چیان و حسینی با استفاده از نمودارهای هیستریزس، رفتار میراگرهای ویسکوز در سازه را مورد ارزیابی قرار دادند. ایشان یک پارامتر سطح پذیرش برای هر مورد میراگر تعریف نمودند. این پارامتر از تقسیم تعداد ترکیب‌بازهایی که میراگر آن‌ها را اغنا نموده، بر کل ترکیب‌بازهای وارده به دست می‌آید و هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که میراگر موردنظر در مقابل ترکیب‌بازهای بیشتری مقاومت نموده است [۱]. افشین مصلحی تبار تکنیک خطی‌سازی تحلیل دینامیکی غیرخطی را پیشنهاد نمود. وی یک مطالعه به منظور کاهش هزینه محاسباتی (زمان) مورد نیاز برای تحلیل تاریخچه زمانی میراگرهای ویسکوز صورت داد. برای دستیابی به این هدف، تحلیل غیرخطی موردنظر را به تحلیل‌های خطی در بازه‌های کوچک‌تر تقسیم نمود. به این صورت، نتایج حاصل از روش پیشنهادی را با نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی مستقیم مقایسه نموده و صحت پاسخ حاصل از روش خود را به اثبات رساند [۱۲].

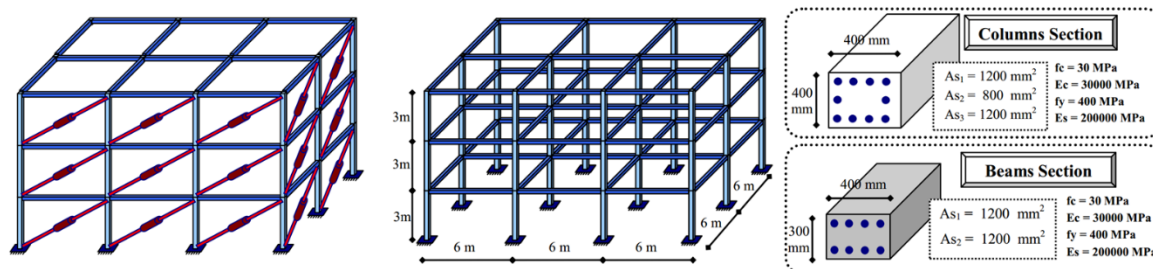
لوگوتری و همکاران پارامترهای لرزه‌ای در طبقات سازه فولادی قبل و پس از تجهیز سازه به میراگرهای ویسکوز را در برابر ۲۲ زلزله مختلف مطالعه نمودند. ایشان یک رابطه برای محاسبه سرعت ایجاد شده در طبقات سازه فولادی پس از استفاده از میراگرهای ویسکوز بیان کردند. برای اثبات صحت مدل تحلیلی ایجاد شده نیز چندین مورد سازه در حالات مختلف را بررسی کرده و پژوهش خود را راستی آزمایی نمودند [۱۳].

حال در پژوهش حاضر، مسئله اساسی مورد بحث، بررسی این فرضیه است که استفاده از میراگر ویسکوز در ساختمان‌های مختلف فولادی بلندمرتبه علاوه بر افزایش قابلیت استهلاک انرژی باعث کاهش پاسخ سازه در برابر زلزله نیز می‌شود و از این طریق صدمه به اجزای غیر سازه‌ای نیز کاهش می‌یابد. علاوه بر آن با استفاده بهینه از ظرفیت این سیستم‌ها، از میزان پاسخ‌ها و خرابی‌های احتمالی ناشی از زمین‌لرزه کاسته می‌شود.

برای انجام این تحقیق، سه ساختمان ۱۲، ۲۲ و ۳۲ طبقه توسط نرم‌افزار ایتبس طراحی می‌شوند. سپس یک قاب بیرونی از سازه‌های طراحی شده در نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس در حالات با و بدون استفاده از میراگر ویسکوز تحت زلزله‌های گسل دور و نزدیک قرار داده می‌شوند. در این راه با به‌کارگیری تحلیل‌های تاریخیچه زمانی میزان تغییرات شاخص‌های دینامیکی سازه نظیر بیشینه جابجایی بام، برش پایه و جذب انرژی ایجادشده در کل سازه مورد مطالعه قرار می‌گیرند. برای دستیابی به این اهداف، در ادامه مدل اجزای محدود برای یک سازه میراگر ویسکوز صحت‌سنجی و کالیبره شده، آنالیز حساسیت مش‌بندی صورت پذیرد و سپس رفتارسنجی این سازه در برابر با زمین‌لرزه‌های مختلف تحلیل می‌گردد.

۲- مدل‌سازی به منظور صحت‌سنجی پاسخ اجزای محدود

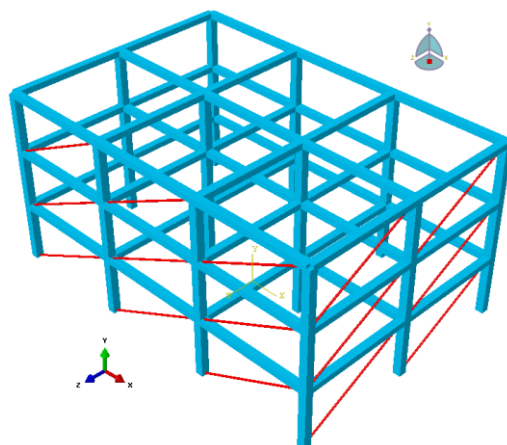
در ابتدای این بخش لازم به ذکر است که به علت کمبود اطلاعات پیرامون میراگرهای ویسکوز، در این قسمت از نتایج مطالعه حجازی و همکاران در تحلیل یک سیستم قاب بتنی به همراه میراگر ویسکوز، به منظور صحت‌سنجی مدل اجزای محدود استفاده شده است و مشخصات میراگر مذکور به قاب‌های فولادی مورد بحث در این پژوهش تعمیم داده شده است. حجازی و همکاران توسط روش اجزای محدود، با اعمال بار لرزه‌ای ال‌سنترال بر یک قاب ۳ طبقه، پاسخ سازه شامل نمودار تاریخیچه زمانی تغییر مکان سازه در دو حالت قبل و پس از اعمال میراگر ویسکوز، استخراج نمودند و مورد بررسی قرار دادند [۱۴]. جزئیات هندسی و مشخصات مصالح استفاده‌شده در مدل‌سازی قاب مذکور مطابق با شکل ۲ است که از مقاله موردنظر استخراج شده است. محل نصب میراگرهای ویسکوز در سازه نیز در این شکل نشان داده شده است.



شکل ۲. جزئیات هندسی و مشخصات مصالح قاب و موقعیت‌های نصب میراگر ویسکوز پژوهش [۱۴]

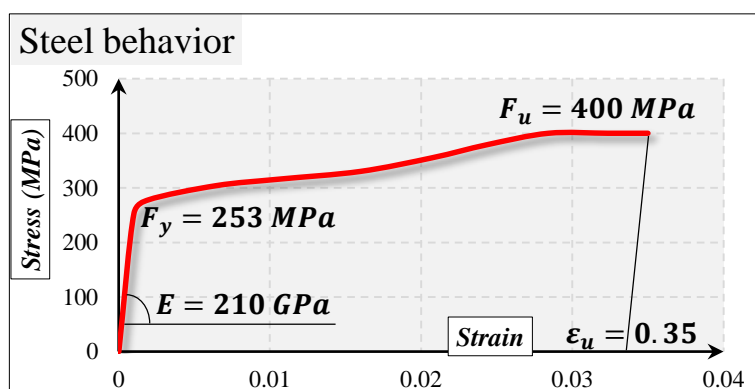
برای ایجاد مدل معرفی شده با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس، ابتدا هندسه مدل مورد نظر در نرم‌افزار به صورت شکل

۳ ایجاد شد.



شکل ۳. مدل مونتاز شده نهایی

برای معرفی مشخصات مصالح فولاد در ناحیه عملکرد خطی، مقدار وزن مخصوص آن را برابر با ۷۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب وارد می‌نماییم. همچنین مدول الاستیسیته این مصالح مطابق با پژوهش حجازی و همکاران برابر با ۲۱۰ گیگاپاسکال و ضریب پواسون ۰٫۳۰ ایجاد می‌شود. مقادیر عددی تنش و کرنش مورد نیاز برای معرفی رفتار غیرخطی فولاد نیز مطابق با شکل ۴ می‌باشد.



شکل ۴. نمودار تنش-کرنش فولاد در شبیه‌سازی مشخصات مصالح در آباکوس

برای تعریف مصالح بتن نیز یک مصالح جدید با وزن مخصوص ۲۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ۳۰ گیگاپاسکال و با مقاومت نهایی ۳۰ مگاپاسکال معرفی می‌گردد. همچنین به منظور شبیه‌سازی رفتار دقیق بتن با مشخصات ذکر شده، از قابلیت Concrete Damaged Plasticity آباکوس استفاده می‌شود. در این زمینه، اثرات خسارت فشاری در فاز بارگذاری، خسارت کششی هنگام باربرداری و رفتار چرخه‌ای بتن مورد توجه قرار می‌گیرند. به علاقمندان پیشنهاد می‌شود تا جهت مطالعه دقیق به مراجع [۱۵،۱۶] مراجعه نمایند. به این ترتیب خواص مربوط به رفتار پلاستیسیته بتن بصورت جدول ۱ در نرم‌افزار اعمال شد.

در جدول ۱ مقدار تنش و کرنش پلاستیک برای ایجاد نمودار پلاستیسیته بتن و قسمت خرابی فشاری و کششی برای تعریف معیار خرابی بتن در فشار و کشش در نرم‌افزار وارد می‌شوند. همچنین برای ضرایب بازگشت‌پذیری سختی فشاری و کششی به ترتیب مقادیر ۰٫۹۹ و ۰ لحاظ خواهد شد.

جدول ۱. تعریف خواص پلاستیک و معیار خرابی بتن در نرم افزار

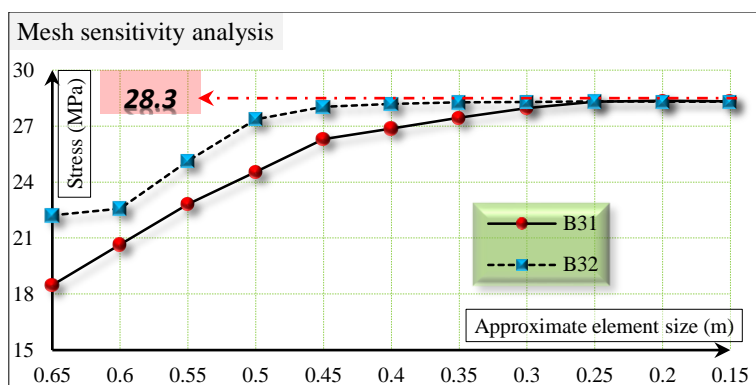
	Strain	Stress (Pa)	Plastic Strain	Plastic Strain (Shifted)	Compressive Damage	Tensile Damage
1	0	0	-	-	-	-
2	0.0002	5320000	-	-	-	-
3	0.0004	10080000	-	-	-	-
4	0.0006	14280000	3.10757E-05	0	0	-
5	0.0008	17920000	8.60558E-05	5.49801E-05	0	-
6	0.001	21000000	0.000163347	0.000132271	0	-
7	0.0012	23520000	0.000262965	0.000231889	0	-
8	0.0014	25480000	0.000384861	0.000353785	0	-
9	0.0016	26880000	0.000529084	0.000498008	0	-
10	0.0018	27720000	0.000695618	0.000664542	0	-
11	0.002	28000000	0.000884462	0.000853386	0	0
12	0.0022	27720000	0.001095618	0.001064542	0.01	0.0011
13	0.0024	26880000	0.001329084	0.001298008	0.04	-
14	0.0026	25480000	0.001584861	0.001553785	0.09	-
15	0.0028	23520000	0.001862948	0.001831872	0.16	-
16	0.003	21000000	0.002163347	0.002132271	0.25	-
17	0.0032	17920000	0.002486056	0.00245498	0.36	-
18	0.0034	14280000	0.002831076	0.0028	0.49	-
19	0.0036	10080000	0.003198406	0.00316733	0.64	-
20	0.0038	5320000	-	-	-	-
21	0.004	0	-	-	-	-

برای میراگر ویسکوز نیز یک مصالح فولادی، اما با ضریب دمپینگ ۳۰۰ مطابق با مطالعه حجازی و همکاران ایجاد می شود. بخش بارگذاری در این پژوهش یکی از مهم ترین بخش های شبیه سازی به شمار می رود. برای بارگذاری لرزه ای، از شتاب نگاشت زلزله ال سنتر و مطابق با مطالعه حجازی و همکاران استفاده می شود. دامنه شتاب زلزله مذکور با مقیاس ۹،۸۱ بر انتهای فوقانی ستون ها در دو جهت افقی اعمال شد. همچنین عکس العمل های تکیه گاهی پای ستون ها نیز به عنوان گیردار در نظر گرفته می شود. به منظور آنالیز حساسیت مش بندی، ماکسیم تنش ایجاد شده در سازه به عنوان معیار مقایسه مورد توجه قرار داده شده است. تحلیل حساسیت مش بندی برای دو نوع مختلف مش خطی و غیر خطی و یازده مقدار مختلف برای ابعاد تقریبی المان ها انجام می شود تا نمودار همگرایی مدل به منظور دستیابی به مش بهینه حاصل شود. برای در نظر گرفتن اثر نوع المان، دو نوع مختلف المان با نام های B31 و B32 شبیه سازی شدند که به ترتیب نشان دهنده المان تیر سه بعدی خطی و المان تیر سه بعدی غیر خطی می باشند. المان خطی (B31)، به زمان کوتاه تری نسبت به المان غیر خطی (B32) برای آنالیز نیاز دارد؛ اما در مقابل، المان غیر خطی (B32) حتی با ابعاد بزرگ المان، پاسخ های معقولی را ارائه می دهد. جدول ۲ تعداد و ابعاد المان های بکار رفته در آنالیز حساسیت را برای المان های تیر نشان می دهد.

جدول ۲. ابعاد تقریبی و تعداد المان های بکار رفته در آنالیز حساسیت

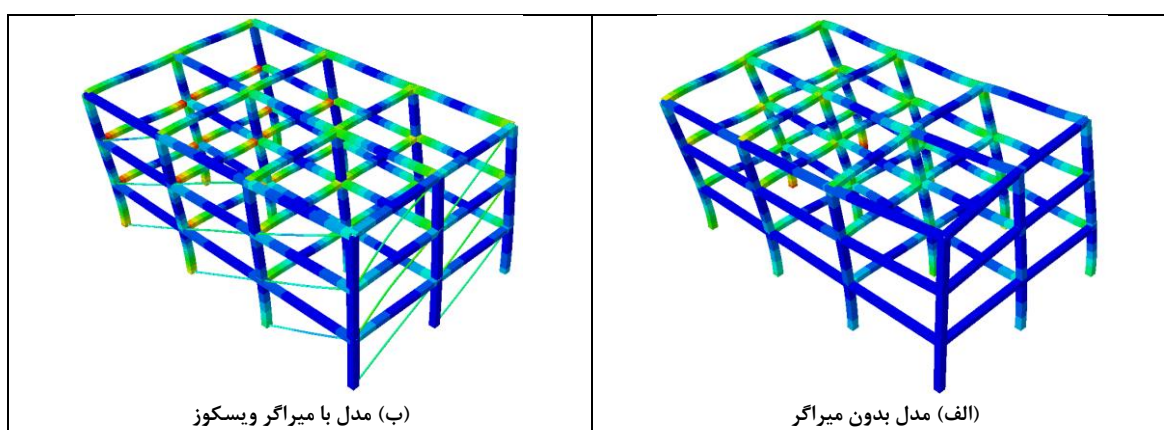
B32		B31				
۰،۴۰	۰،۳۵	۰،۳۰	۰،۲۵	۰،۲۰	۰،۱۵	ابعاد تقریبی (متر)
۱۳۰۸	۱۴۷۶	۱۷۱۰	۲۰۶۱	۲۵۸۰	۳۴۳۵	تعداد المان
	۰،۶۵	۰،۶۰	۰،۵۵	۰،۵۰	۰،۴۵	ابعاد تقریبی (متر)
	۷۸۹	۸۵۵	۹۲۱	۱۰۲۳	۱۱۴۰	تعداد المان

همان طور که پیش تر اشاره شد، به ازای هر کدام از ابعاد و انواع مش ها یک بار تحلیل انجام شد و مقدار تنش بیشینه سیستم از نرم افزار استخراج شد و در مقابل ابعاد تقریبی برای هر کدام از انواع مش ها به صورت جداگانه رسم شد که در شکل ۵ ارائه شده است.

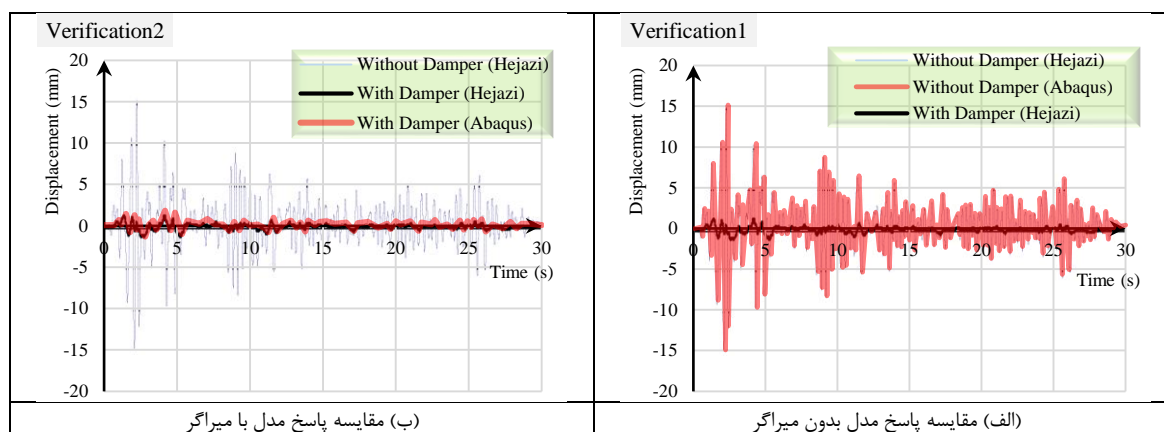


شکل ۵. پاسخ سیستم در برابر ابعاد و نوع المان

در شکل ۵ مشاهده می‌شود که نرم‌افزار با استفاده از ابعاد تقریبی ۶۵ سانتیمتر در هر دو نوع تکنیک مش‌بندی مقدار کوچکی برای تنش سیستم محاسبه نموده است. تنش قاب که توسط المان خطی (B31) در این ابعاد به دست آمد، برابر با ۱۸,۱۸ مگاپاسکال بوده است. همچنین این پارامتر پس از استفاده از المان غیرخطی (B32) برابر با ۲۲,۲۱ مگاپاسکال گزارش شده است که کوچک‌تر از مقدار ۲۸,۳ مگاپاسکال مورد انتظار است. با کاهش ابعاد المان‌های غیرخطی (B32) به ۴۰ سانتیمتر (تعداد المان ۱۳۰۸ عدد)، تنش سیستم به مقدار ۲۸,۳ مگاپاسکال گزارش شد و پس از آن کوچک نمودن اندازه المان در مقدار تنش محاسباتی، تغییری ایجاد نکرده است که در این حالت، پاسخ همگرا شده است. از طرفی، پس از استفاده از المان خطی (B31) دو نقطه‌ای، همگرایی در اندازه تقریبی ۲۵ سانتیمتر اتفاق افتاده است. تعداد المان‌ها در این اندازه نیز با توجه به جدول ۲ برابر با ۲۰۶۱ عدد گزارش شده‌اند؛ اما باید توجه نمود که با اینکه تعداد المان‌های بکار رفته در مش‌بندی با ابعاد ۲۵ سانتیمتر بیشتر از مش‌بندی با ابعاد ۴۰ سانتیمتر است، اما روش اجزای محدود، معادلات را بر روی نقاط مورد نظر حل می‌نماید. لذا تعداد نقاط ایجاد شده با استفاده از ابعاد ۴۰ سانتی‌متر غیرخطی (B32) بسیار بیشتر از تعداد نقاط ابعاد ۲۵ سانتیمتر خطی (B31) می‌باشد. به همین دلیل تحلیل توسط المان‌های غیرخطی (B32) زمان بیشتری را می‌طلبد در صورتی که پاسخ‌های به دست آمده یکی هستند. لذا در مطالعه حاضر برای مش‌بندی سیستم از المان خطی ۲ نقطه‌ای با نام B31 با ابعاد تقریبی ۲۵ سانتیمتر استفاده می‌شود. در ادامه نتایج حاصل شامل کانتورهای رنگی تنش قاب‌ها در دو حالت با و بدون میراگر (شکل ۶ الف) و (ب) و نمودارهای تاریخچه زمانی تغییر مکان بام سازه (شکل ۷) ارائه شده‌اند.



شکل ۶. کانتور تنش مدل صحت سنجی شده



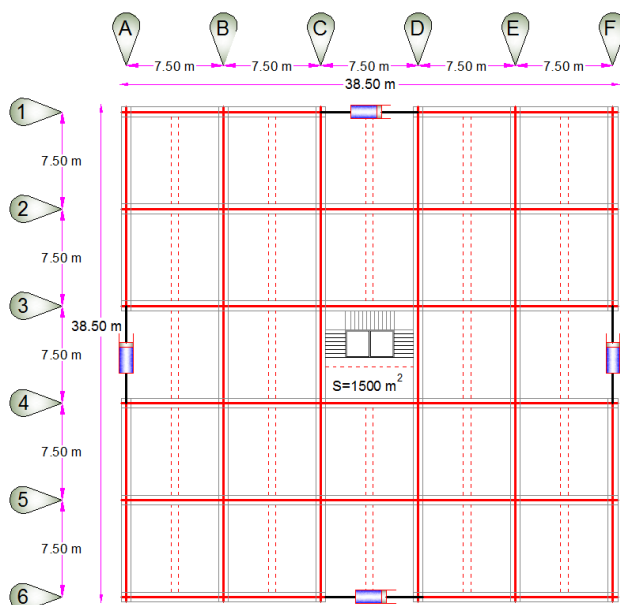
شکل ۷. مقایسه نمودارهای بدست آمده از پژوهش حجازی و مدل پژوهش حاضر

نمودار تاریخیچه زمانی تغییر مکان به دست آمده از تحلیل مدل توسط نرم افزار آباکوس در این پژوهش در مقایسه با نمودار تاریخیچه زمانی تغییر مکان مطالعه حجازی و همکاران تحت دو حالت با و بدون میراگر، در شکل ۷ نشان داده شده است. این مقایسه بر مبنای بیشینه مقدار نمودار تاریخیچه زمانی تغییر مکان صورت پذیرفته است که با استفاده از نرم افزار اکسل قابل دستیابی است. تطابق بسیار خوبی بین روند اوج و فرود دو نمودار مشاهده می شود. همچنین مقدار ماکسیمم تغییر مکان در تحقیق حجازی و همکاران در حالت بدون میراگر برابر با ۱۴،۷۲ سانتیمتر بوده است؛ در حالی که در این مطالعه توسط آباکوس، این پارامتر تنها با ۲،۷۶ درصد اختلاف به مقدار ۱۵،۱۳۶۲ سانتیمتر گزارش شده است. تغییر مکان حداکثر ایجاد شده در سازه با میراگر در مطالعه حجازی و همکاران نیز ۱،۷۸ سانتیمتر بوده که در مدل ارائه شده توسط آباکوس، این پارامتر با ۲،۴۰ درصد اختلاف به مقدار ۱،۸۲۵۱ محاسبه شده است.

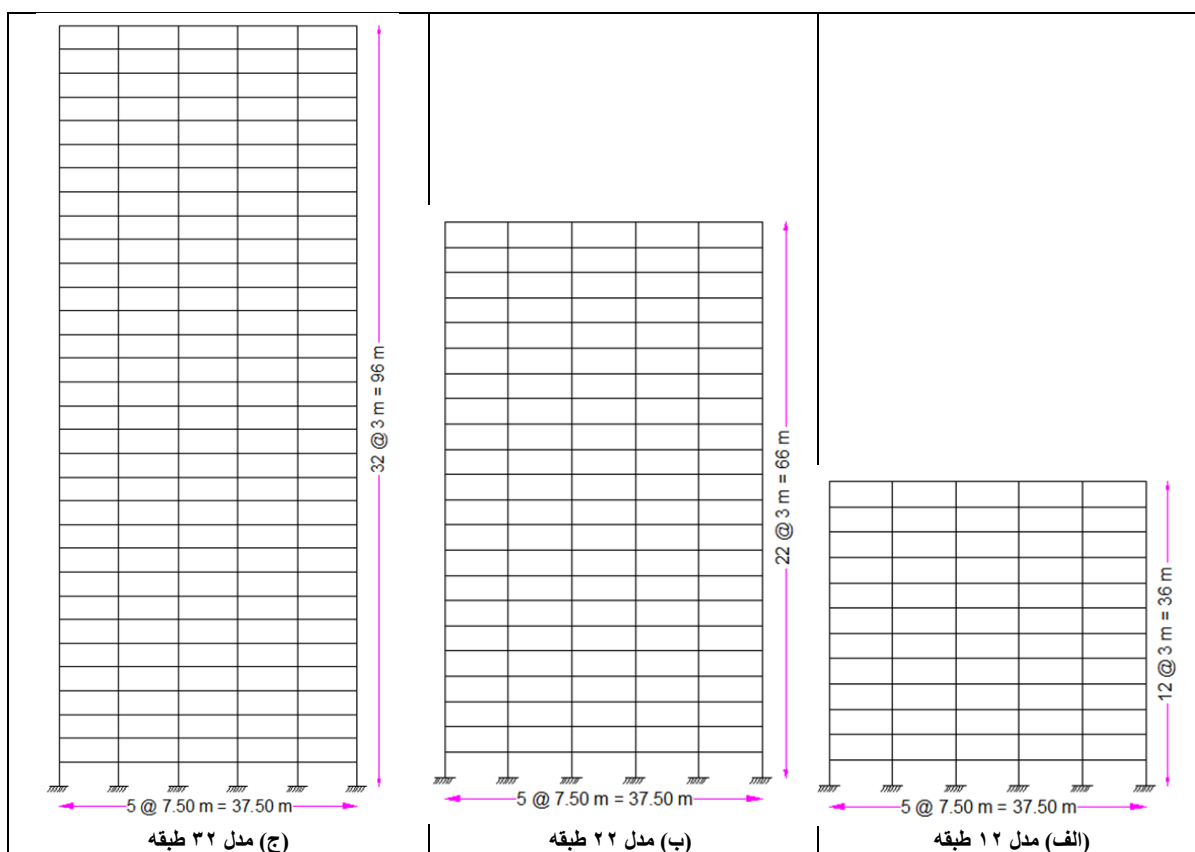
مقادیر گزارش شده در صحت سنجی از طرفی نشان دهنده اثر فوق العاده زیاد میراگرهای ویسکوز در کاهش پاسخ لرزه ای سازه بوده و از سویی دیگر بیانگر قدرت و دقت اجزای محدود می باشند و مبین این امر است که می توان با دقت بالایی به پاسخ های به دست آمده از مطالعه حاضر اعتماد نمود.

۳- طراحی سازه های فولادی

تحلیل لرزه ای زیرمجموعه ای از تحلیل سازه ها و به طور کلی محاسبه پاسخ یک سازه ساختمانی (یا سازه های غیر ساختمانی مانند پل و ...) در برابر زمین لرزه است. این بخشی از روند طراحی سازه، مهندسی زلزله یا ارزیابی و مقاوم سازی سازه هایی است که در مناطق زلزله خیز باید احداث گردند. لذا تحلیل دقیق و منطبق بر شرایط آیین نامه های معتبر جهانی ضرورت است. در ادامه مدل های ۱۲، ۲۲ و ۳۲ طبقه به صورت سه بعدی در نرم افزار Etabs [۱۷-۱۹] بر مبنای آیین نامه AISC [۲۰] آنالیز و طراحی می شوند. مدل ها دارای پنج دهانه ۷،۵ متری در هر جهت می باشند. همچنین ارتفاع کلیه طبقات ۳ متر اختیار شده اند. با توجه به شکل ۸ پلان سازه منظم و اتصالات تیرها به صورت گیردار در نظر گرفته شده است. موقعیت میراگرهای ویسکوز نیز در این شکل مشخص شده است اما در Etabs فقط مدل قاب خمشی طراحی می شود و اثر اعمال نمودن میراگر توسط نرم افزار Abaqus در مدل بررسی خواهد شد. ابعاد هندسی قاب ها در شکل ۹ و مقاطع طراحی شده آن ها نیز برای قاب های ۱۲ و ۲۲ و ۳۲ طبقه به ترتیب در جدول ۳ و جدول ۴ و جدول ۵ ارائه شده اند. جزئیات ابعادی مقاطع مذکور نیز در جدول ۶ نشان داده شده است.



شکل ۸. پلان تیریزی، سطح بارگیر قاب پیرامونی و موقعیت میراگرها



شکل ۹. ابعاد قاب‌های مورد بحث

جدول ۳. مقاطع طراحی شده سازه ۱۲ طبقه

تیرها		ستون‌ها	
مقطع	طبقه	مقطع	طبقه
HE 400	۱ تا ۳	Box 700	۱ تا ۳
HE 300	۴ تا ۶	Box 600	۴ تا ۶
HE 200	۷ تا ۹	Box 500	۷ تا ۹
HE 160	۱۰ تا ۱۲	Box 400	۱۰ تا ۱۲

جدول ۴. مقاطع طراحی شده سازه ۲۲ طبقه

تیرها		ستون‌ها	
مقطع	طبقه	مقطع	طبقه
HE 500	۱ تا ۵	Box 900	۱ تا ۵
HE 400	۶ تا ۱۰	Box 700	۶ تا ۱۰
HE 300	۱۱ تا ۱۵	Box 600	۱۱ تا ۱۵
HE 200	۱۶ تا ۲۰	Box 500	۱۶ تا ۲۰
HE 160	۲۱ تا ۲۲	Box 400	۲۱ تا ۲۲

جدول ۵. مقاطع طراحی شده سازه ۳۲ طبقه

تیرها		ستون‌ها	
مقطع	طبقه	مقطع	طبقه
HE 600	۱ تا ۱۰	Box 1000	۱ تا ۱۰
HE 500	۱۱ تا ۱۵	Box 900	۱۱ تا ۱۵
HE 400	۱۶ تا ۲۰	Box 700	۱۶ تا ۲۰
HE 300	۲۱ تا ۲۵	Box 600	۲۱ تا ۲۵
HE 200	۲۶ تا ۳۰	Box 500	۲۶ تا ۳۰
HE 160	۳۱ تا ۳۲	Box 400	۳۱ تا ۳۲

جدول ۶. جزئیات هندسی مقاطع طراحی شده

Columns Box Sections		
t_{Box} (mm)	h_{Box} (mm)	#Section Number
20	400	400
25	500	500
25	600	600
25	700	700
30	900	900
35	1000	1000

Beams HE Sections				
$t_{f_{HE}}$ (mm)	$t_{w_{HE}}$ (mm)	b_{HE} (mm)	h_{HE} (mm)	#Section Number
23	14	166	180	160
25	15	206	220	200
39	21	310	340	300
40	21	307	432	400
40	21	306	524	500
40	21	305	620	600

پس از مدل سازی قاب های نشان داده شده در آباکوس، میراگرهای ویسکوز با میرایی معادل مطابق با پژوهش حجازی و همکاران ایجاد شده و قاب ها در دو حالت با و بدون میراگر تحلیل می شوند. گام های حل مسئله شامل استاتیکی برای محاسبه نیروهای ثقلی و دینامیکی برای محاسبه پاسخ لرزه ای ایجاد می شوند. زلزله های مورد نظر نیز شامل شتاب نگاشت های گسل دور و نزدیک زمین لرزه های بم و طبس هستند که در بخش بعد در مورد آن ها شرح داده می شود. لازم به ذکر است که تغییرات تاریخچه زمانی این شتاب نگاشت ها با ضریب شتاب گرانش زمین (g) برابر با ۹،۸۱ متر بر مجذور ثانیه به صورت شرایط مرزی به انتهای تحتانی ستون ها اعمال می شوند.

۴- معرفی زمین لرزه های مورد بررسی

برای انجام تحلیل دینامیکی و انتخاب و اعمال شتاب زمین لرزه در مدل، دو زمین لرزه بم و طبس با ماهیت های نزدیک به گسل و سه زمین لرزه دور از گسل انتخاب شد و به سیستم قاب به همراه میراگر ویسکوز به صورت شرایط مرزی شتاب اعمال می شوند. از آنجایی که شتاب به دست آمده از شتاب نگاشت های موجود بر اساس گرانش زمین می باشند لذا برای تبدیل آن به واحد استاندارد SI تمامی مقادیر شتاب توسط نرم افزار، در مقدار گرانش زمین (عدد ۹،۸۱ متر بر مجذور ثانیه) ضرب شدند. دامنه شتاب خام زلزله ها از سایت PEER دریافت شده اند [۲۱] و با استفاده از نرم افزار SeismoSignal اصلاح خط پایه برای آن ها صورت داده شده است [۲۲،۲۳]. لازم به ذکر است که نمودارهای تاریخچه زمانی شتاب زلزله ها از سایت مذکور به صورت مستقیم قابل دریافت است. همچنین حد عمق کانونی ۱۰ کیلومتر به منظور مشخص نمودن دور و یا نزدیک بودن گسل، معرفی شده است [۱،۲۴،۲۵]. برای نام گذاری زلزله ها نیز از حرف N نشان دهنده نزدیک (Near) و یا F مخفف دور (Far) بودن گسل استفاده شده است.

جدول ۷. مشخصات زمین لرزه های گسل نزدیک مورد استفاده در مطالعه حاضر

No	Year	Earthquake	RSN	Station	PGA (g)	PGV ($\frac{cm}{s}$)	PGD (cm)	$\frac{PGV}{PGA}$	$\frac{PGD}{PGV}$
(a) Near Fault Earthquakes									
1	2003	Bam	4040	Bam	0.80	58.53	34.19	73.16	0.58
2	1978	Tabas	143	Tabas	0.85	82.93	33.48	97.56	0.40
(b) Far Fault Earthquakes									
3	2003	Bam	4037	Abaragh	0.14	3.74	1.22	26.71	0.32
4	1978	Tabas	138	Boshrooyeh	0.10	13.30	7.64	133	0.57

مقادیر حداکثر شتاب (PGA)، حداکثر سرعت (PGV) و حداکثر تغییر مکان (PGD) (به صورت قدر مطلق) طی زمان زلزله اصلاح شده برای هر چهار شتاب زلزله‌ها و همچنین نسبت‌های حداکثر سرعت به حداکثر شتاب $\frac{PGV}{PGA}$ و حداکثر تغییر مکان به حداکثر سرعت $\frac{PGD}{PGV}$ برای تمامی زلزله‌های مورد بحث در جدول ۷ ارائه شده‌اند. با بررسی نمودارهای تاریخچه زمانی مشخص است که زلزله‌هایی که در دامنه تاریخچه زمانی سرعت و جابجایی آن‌ها پالس‌های شدید و سریع دیده می‌شود، معمولاً نسبت $\frac{PGV}{PGA}$ بالاتر و نسبت $\frac{PGD}{PGV}$ پایین‌تری دارند.

۵- نتایج و بحث

سه قاب خمشی فولادی ۱۲، ۲۲ و ۳۲ طبقه با استفاده از نرم‌افزار Etabs طراحی شدند و یک قاب پنج دهانه از هر کدام از این سازه‌ها، با و بدون میراگر در نرم‌افزار Abaqus شبیه‌سازی شدند. در ادامه، شتاب‌نگاشت‌های دو زمین‌لرزه بم و طیس، ثبت‌شده در مناطق دور و نزدیک به گسل، بر این سازه‌ها اعمال شد؛ بنابراین با شبیه‌سازی ۳ مدل در ۲ حالت با و بدون میراگر ویسکوز، تحت ۴ زلزله، رفتار این سیستم سازه‌ای مورد بحث قرار داده شده است. لذا ۲۴ مدل مختلف ایجاد و تحلیل شدند که نتایج آن‌ها در ادامه ارائه شده است. این نتایج نیز شامل موارد زیر هستند:

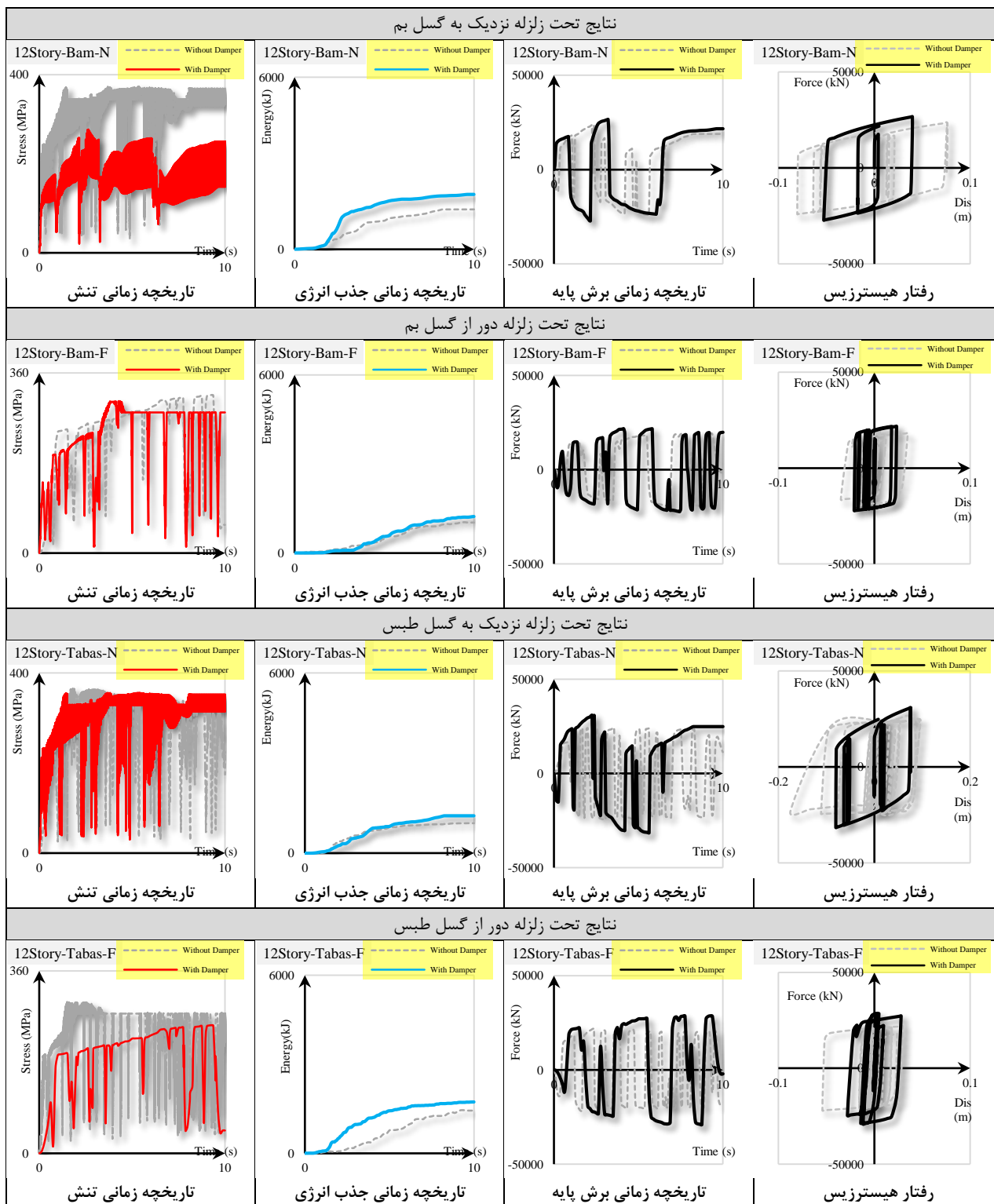
- نمودار هیستریزیس؛
- نمودار تاریخچه زمانی برش پایه؛
- نمودار تاریخچه زمانی جذب انرژی؛
- نمودار تاریخچه زمانی تنش.

لازم به ذکر است که نمودار هیستریزیس با حذف بُعد زمان از نمودارهای تاریخچه زمانی تغییر مکان بام و تاریخچه زمانی برش پایه حاصل می‌شود. نمودار تاریخچه زمانی برش پایه نیز از مجموع عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی نقطه اتصال ستون‌ها به زمین بدست می‌آید. نمودار جذب انرژی که بیانگر قدرمطلق سطح زیر نمودار هیستریزیس می‌باشد، بصورت مستقیم از نرم‌افزار قابل دریافت است. نمودار تاریخچه زمانی تنش نیز از نقطه با بیشترین تنش بصورت استخراج میدانی (Field output) در یک نقطه (Unique nodal) قابل دریافت است.

۵-۱- نتایج تحلیل لرزه‌ای قاب ۱۲ طبقه

در جدول ۸ نتایج حاصل از تحلیل قاب ۱۲ طبقه که توسط میراگر ویسکوز مقاوم‌سازی شده است، در مقابل زمین‌لرزه‌های گسل دور و نزدیک بم و طیس ارائه شده است. برای نام‌گذاری نمودارها، ابتدا تعداد طبقات سازه ذکر می‌شود. سپس نام زلزله شامل Bam و Tabas ارائه می‌شود و در نهایت از حرف N نشان‌دهنده نزدیک (Near) و F مخفف دور (Far) بودن گسل استفاده شده است. نتایج در هر نمودار برای دو حالت با و بدون میراگر ارائه شده است که در راهنمای نمودار، برای حالت بدون میراگر نام Without Damper و برای حالت با میراگر نام With Damper بیان شده است.

جدول ۸. پاسخ لرزه‌ای سازه ۱۲ طبقه



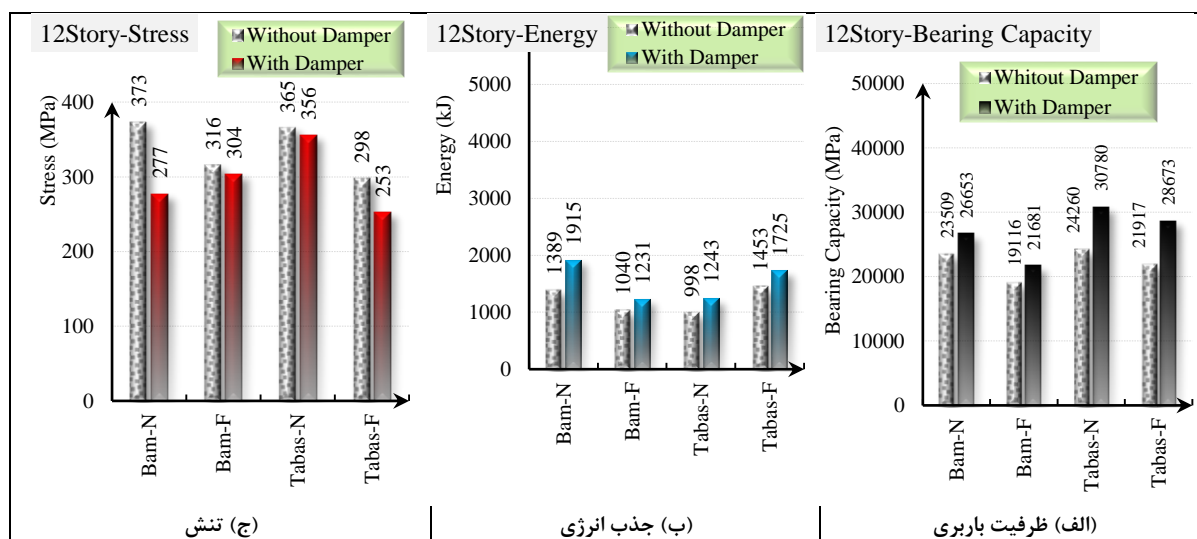
مشاهده شد که در سازه ۱۲ طبقه، میراگر ویسکوز نقش اساسی در مستهلک نمودن نیروهای وارده داشته است. به علت وجود تعداد بسیار زیاد نمودارها و برای بیان واضح تر آن‌ها و بالا نرفتن شماره شکل‌ها، در قالب جدول تنظیم شده‌اند. در هر جدول در این بخش، نمودارهای مربوط به رفتار سازه در برابر زلزله‌های دور و نزدیک ارائه شده‌اند. توضیح اینکه در نرم‌افزار آباکوس نمی‌توان به‌طور مستقیم به نمودار هیستریزیس سازه دست یافت. به همین منظور تمامی نقاط انتهایی ستون (نقاط در مرحله مش‌بندی ایجاد می‌شوند)، به صورت یک

گروه نقاط تعریف می‌شوند. همچنین یکی از نقاط فوقانی قاب نیز به عنوان نماینده‌ای برای دریافت خروجی تغییرمکان بام تعریف می‌شود. سپس نمودار تاریخچه زمانی عکس‌العمل تکیه‌گاهی تجمعی نقاط در پای ستون رسم می‌شود. همچنین نمودار تاریخچه زمانی تغییرمکان نقطه در نظر گرفته شده بر روی بام نیز پس از تحلیل از نرم‌افزار استخراج می‌شود. با حذف بعد زمان از دو نمودار تاریخچه زمانی ذکر شده و رسم عکس‌العمل تکیه‌گاهی در برابر تغییرمکان، نمودار هیستریزس سازه حاصل می‌شود.

با اعمال شتاب زلزله‌های گسل نزدیک به سازه ۱۲ طبقه، عکس‌العمل تکیه‌گاهی پس از پیمودن چندین سیکل رفت و برگشتی بارگذاری، بیشینه مقدار نمودار از افزایش باز مانده است و مقاومت سازه به حد نهایی خود رسیده است. با ایجاد مکانیزم پلاستیسیته در این سازه تحت زلزله‌های گسل نزدیک، به علت وجود شوک‌های ناگهانی در این زلزله‌ها، پس از اعمال چند سیکل اولیه، به ناحیه پلاستیک رسیده‌اند و پس از آن، سازه در حین تحمل بارها از ظرفیت پلاستیک خود استفاده نموده است. حالت کلی نمودارهای هیستریزس نشان می‌دهد که منحنی‌ها تقریباً در عرض رشد دارند و این به معنای جذب انرژی در هر سیکل می‌باشد. یکنواختی در این نمودارها علاوه بر نشان دادن شکل‌پذیری نشان‌دهنده‌ی پایداری در سازه به همراه میراگر ویسکوز است.

ظرفیت باربری در سازه ۱۲ طبقه در مواجهه با شتاب گسل نزدیک بم بدون استفاده از میراگر به مقدار ۲۳۵۰۹ کیلونیوتن بوده که این پارامتر پس از استفاده از میراگر ویسکوز به مقدار ۲۶۶۵۳ کیلونیوتن صعود نموده است. همچنین میزان جذب انرژی سیستم در حالت بدون استفاده از میراگر ۱۳۸۹ کیلوژول بوده که پس از استفاده از میراگر ویسکوز به مقدار چشمگیر ۱۹۱۵ کیلوژول صعود نموده است. تنش بیشینه‌ای که سازه در حالت قاب بدون میراگر تجربه کرده است، ۳۷۰ مگاپاسکال بوده که پس از اعمال میراگر به ۲۷۷ مگاپاسکال نزول کرده است. بیشینه مقادیر ظرفیت باربری، جذب انرژی و تنش ایجادشده در سازه، در نمودارهای شکل ۱۰ ارائه شده‌اند.

با توجه به نمودارهای ارائه شده در شکل ۱۰، اثر بسزای اعمال میراگر بر افزایش ظرفیت باربری دیده می‌شود. مشهود است که ظرفیت باربری سازه پس از استفاده از میراگر ویسکوز، به میزان ۲۱ درصد (میانگین چهار حالت لرزه‌ای) افزایش یافته است. این مکانیزم سبب می‌شود تا جذب انرژی سازه به‌طور میانگین برای چهار زمین‌لرزه به میزان ۲۴ درصد افزایش یابد. همچنین از آنجایی که مقدار زیادی از نیروهای وارده در صورت استفاده از میراگر مستهلک می‌شوند، لذا تنش بیشینه وارده به سازه نیز پس از اعمال میراگر با کاهش ۱۱ درصدی مواجهه بوده است.



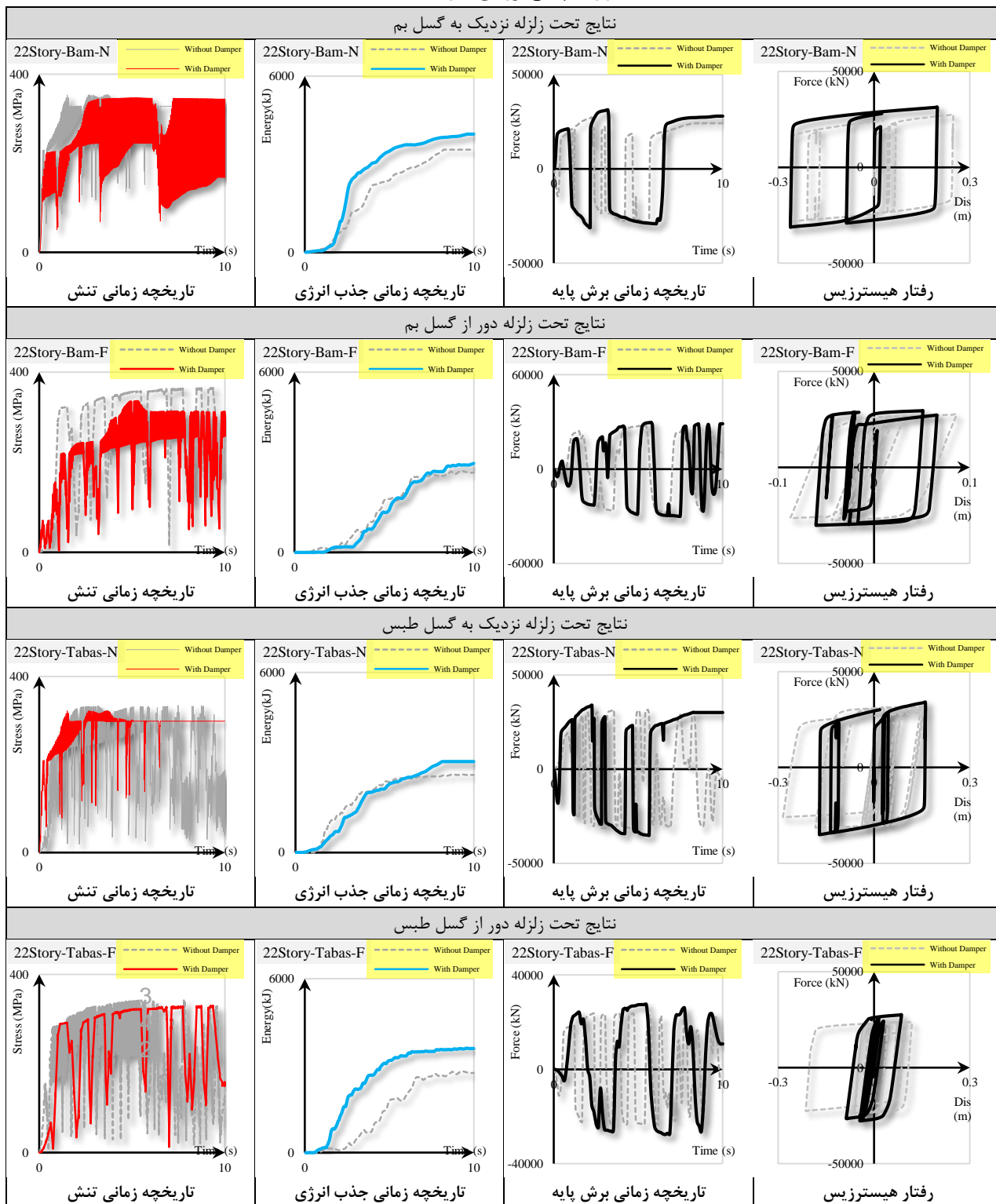
شکل ۱۰. بیشینه مقادیر پاسخ سازه ۱۲ طبقه در برابر زلزله‌های مختلف

روند صورت داده شده برای قاب ۱۲ طبقه، بار دیگر برای قاب ۲۲ طبقه تکرار شده و نتایج آن در بخش بعد مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲-۵- نتایج تحلیل لرزه‌ای قاب ۲۲ طبقه

در جدول ۹ نتایج حاصل از تحلیل قاب ۲۲ طبقه که توسط میراگر ویسکوز مقاوم سازی شده است، در مقابل زمین لرزه های گسل دور و نزدیک بم و طیس ارائه شده است.

جدول ۹. پاسخ لرزه ای سازه ۲۲ طبقه

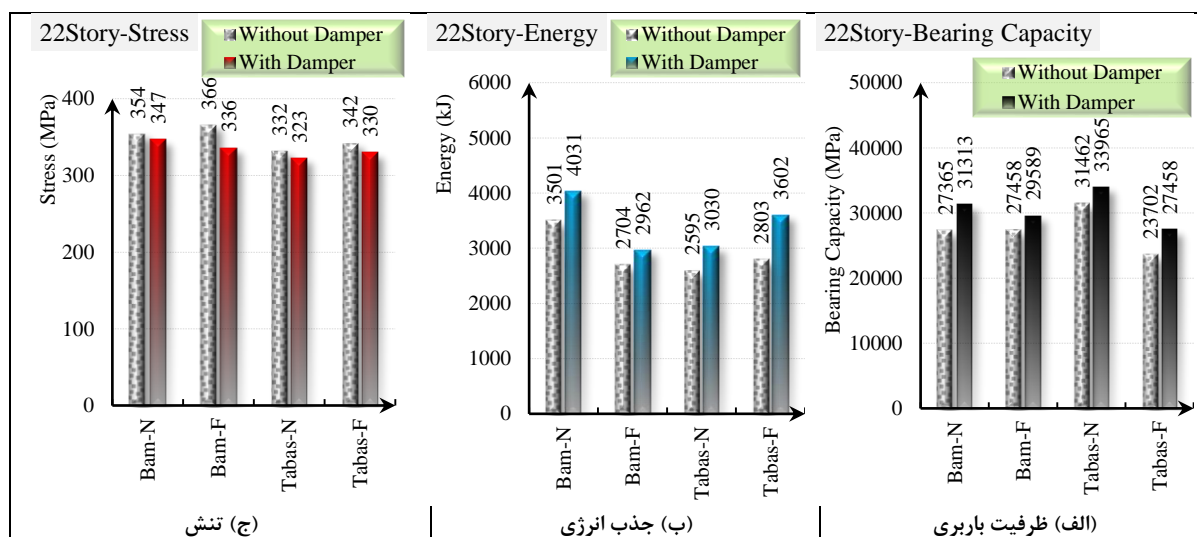


در سازه ۲۲ طبقه، میراگر ویسکوز نقش اساسی در مستهلک نمودن نیروهای وارده و همچنین کاهش تغییر مکان سازه داشته است.

با اعمال شتاب زلزله‌های گسل نزدیک به سازه ۲۲ طبقه، مشاهده شده است که عکس‌العمل تکیه‌گاهی پس از پیمودن چندین سیکل رفت و برگشتی بارگذاری، بیشینه مقدار نمودار از افزایش باز مانده است و مقاومت سازه به حد نهایی خود رسیده است. با ایجاد مکانیزم پلاستیسیته در این سازه تحت زلزله‌های گسل نزدیک، به علت وجود شوک‌های ناگهانی در این زلزله‌ها، پس از اعمال چند سیکل اولیه، به ناحیه پلاستیک رسیده‌اند و پس از آن، سازه در حین تحمل بارها از ظرفیت پلاستیک خود استفاده نموده است. یکنواختی در این نمودارها علاوه بر نشان دادن شکل‌پذیری نشان‌دهنده‌ی پایداری در سازه به همراه میراگر ویسکوز است.

ظرفیت باربری در سازه ۲۲ طبقه در مواجهه با شتاب گسل نزدیک بم بدون استفاده از میراگر به مقدار ۲۷۳۶۵ کیلونیوتن بوده که این پارامتر پس از استفاده از میراگر ویسکوز به مقدار ۳۱۳۱۳ کیلونیوتن صعود نموده است. همچنین میزان جذب انرژی سیستم در حالت بدون استفاده از میراگر ۳۵۰۱ کیلوژول بوده که پس از استفاده از میراگر ویسکوز به مقدار چشمگیر ۴۰۳۱ کیلوژول صعود نموده است. تنش بیشینه‌ای که سازه در حالت قاب بدون میراگر تجربه کرده است، ۳۵۴ مگاپاسکال بوده که پس از اعمال میراگر به ۳۴۷ مگاپاسکال نزول کرده است.

مشابه با اتفاقی که در حالت قبل در مورد سازه ۱۲ طبقه رخ داد، بیشینه مقادیر ظرفیت باربری و جذب به‌طور میانگین برای سازه ۲۲ طبقه به ترتیب به میزان ۱۱ درصد و ۱۷ درصد بهبود داشته‌اند. تنش ایجادشده در سازه نیز پس از اعمال میراگر با ۴ درصد کاهش مواجه بوده است.



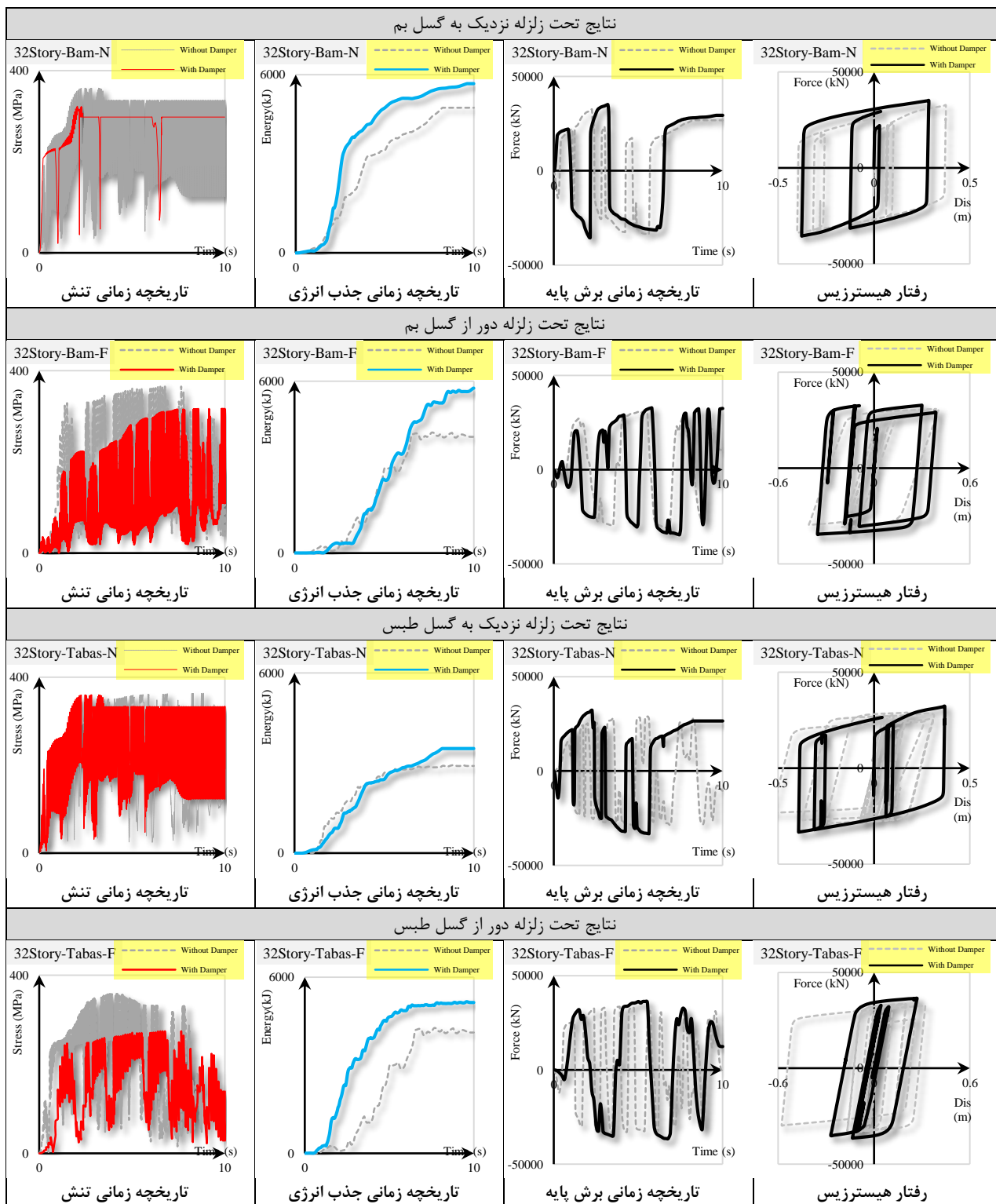
شکل ۱۱. بیشینه مقادیر پاسخ سازه ۲۲ طبقه در برابر زلزله‌های مختلف

با توجه به نمودارهای شکل ۱۱، اثر بسزای اعمال میراگر بر افزایش ظرفیت باربری دیده می‌شود. این مکانیزم سبب می‌شود تا جذب انرژی سازه نیز به مقدار چشمگیری افزایش یابد. همچنین از آنجایی که مقدار زیادی از نیروهای وارده در صورت استفاده از میراگر مستهلک می‌شوند، لذا تنش بیشینه وارده به سازه نیز با این روند کاهش بسزایی داشته است.

۳-۶۵- نتایج تحلیل لرزه‌ای قاب ۳۲ طبقه

در جدول ۱۰ نتایج حاصل از تحلیل قاب ۳۲ طبقه که توسط میراگر ویسکوز مقاوم‌سازی شده است، در مقابل زمین‌لرزه‌های گسل دور و نزدیک بم و طبرستان ارائه شده است.

جدول ۱۰. پاسخ لرزه‌ای سازه ۳۲ طبقه



با اعمال شتاب زلزله‌های گسل دور و نزدیک به سازه ۳۲ طبقه، مشاهده شده است که عکس‌العمل تکیه‌گاهی پس از پیمودن چندین سیکل رفت و برگشتی بارگذاری، بیشینه مقدار نمودار از افزایش باز مانده است و مقاومت سازه به حد نهایی خود رسیده است. با ایجاد مکانیزم پلاستیسیته در این سازه تحت زلزله‌های گسل نزدیک، به علت وجود شوک‌های ناگهانی در این زلزله‌ها، پس از اعمال چند سیکل اولیه، به ناحیه پلاستیک رسیده‌اند و پس از آن، سازه در حین تحمل بارها از ظرفیت پلاستیک خود استفاده نموده است. شکل

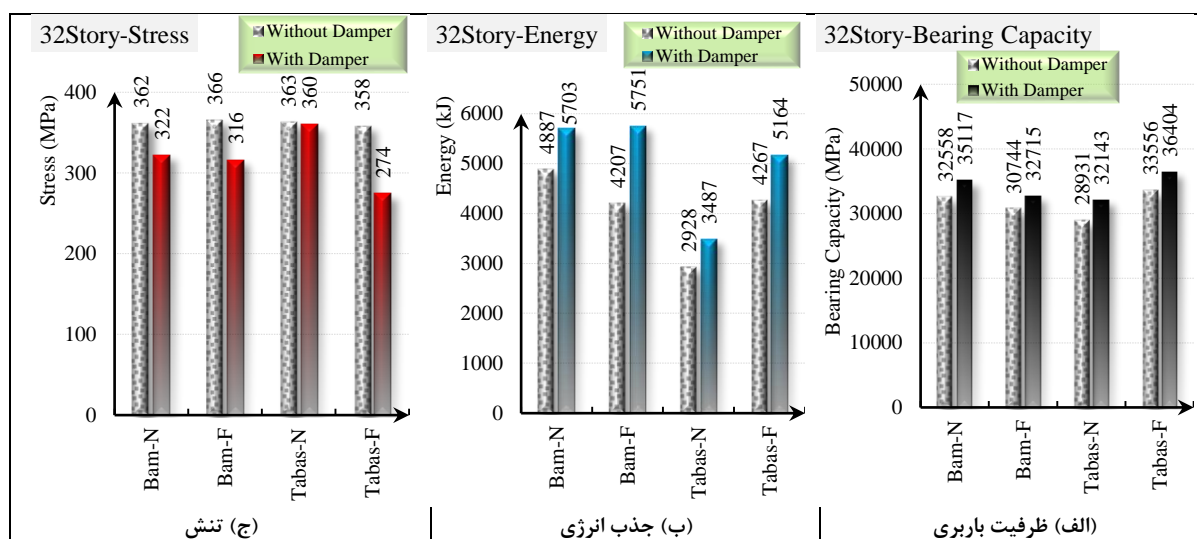
نمودارهای هیستریزیس بار دیگر نشان دهنده رشد عرضی بوده و این به معنای جذب انرژی در هر سیکل می‌باشد. یکنواختی در این نمودارها علاوه بر نشان دادن شکل‌پذیری نشان‌دهنده‌ی پایداری در سازه به همراه میراگر ویسکوز است.

ظرفیت باربری در سازه ۳۲ طبقه در مواجهه با شتاب گسل نزدیک بم بدون استفاده از میراگر به مقدار ۳۲۵۵۸ کیلونیوتن بوده که این پارامتر پس از استفاده از میراگر ویسکوز به مقدار ۳۵۱۱۷ کیلونیوتن صعود نموده است. همچنین میزان جذب انرژی سیستم در حالت بدون استفاده از میراگر ۴۸۸۷ کیلوژول بوده که پس از استفاده از میراگر ویسکوز به مقدار چشمگیر ۵۷۰۳ کیلوژول صعود نموده است. تنش بیشینه‌ای که سازه در حالت قاب بدون میراگر تجربه کرده است، ۳۶۲ مگاپاسکال بوده که پس از اعمال میراگر به ۳۲۲ مگاپاسکال کاهش یافته است.

ظرفیت باربری در سازه ۳۲ طبقه در مواجهه با شتاب گسل دور بم بدون استفاده از میراگر به مقدار ۳۰۷۴۴ کیلونیوتن بوده که این پارامتر پس از استفاده از میراگر ویسکوز به مقدار ۳۲۷۱۵ کیلونیوتن صعود نموده است. همچنین میزان جذب انرژی سیستم در حالت بدون استفاده از میراگر ۴۲۰۷ کیلوژول بوده که پس از استفاده از میراگر ویسکوز به مقدار چشمگیر ۵۷۵۱ کیلوژول صعود نموده است. تنش بیشینه‌ای که سازه در حالت قاب بدون میراگر تجربه کرده است، ۳۶۶ مگاپاسکال بوده که پس از اعمال میراگر به ۳۱۶ مگاپاسکال نزول کرده است.

ظرفیت باربری در سازه ۳۲ طبقه در مواجهه با شتاب گسل نزدیک طبس بدون استفاده از میراگر به مقدار ۲۸۹۳۱ کیلونیوتن بوده که این پارامتر پس از استفاده از میراگر ویسکوز به مقدار ۳۲۱۴۳ کیلونیوتن صعود نموده است. همچنین میزان جذب انرژی سیستم در حالت بدون استفاده از میراگر ۲۹۲۸ کیلوژول بوده که پس از استفاده از میراگر ویسکوز به مقدار چشمگیر ۳۴۸۷ کیلوژول صعود نموده است. تنش بیشینه‌ای که سازه در حالت قاب بدون میراگر تجربه کرده است، ۳۶۳ مگاپاسکال بوده که پس از اعمال میراگر به ۳۶۰ مگاپاسکال نزول کرده است.

ظرفیت باربری در سازه ۳۲ طبقه در مواجهه با شتاب گسل دور طبس بدون استفاده از میراگر به مقدار ۳۳۵۵۶ کیلونیوتن بوده که این پارامتر پس از استفاده از میراگر ویسکوز به مقدار ۳۶۴۰۴ کیلونیوتن صعود نموده است. همچنین میزان جذب انرژی سیستم در حالت بدون استفاده از میراگر ۴۲۶۷ کیلوژول بوده که پس از استفاده از میراگر ویسکوز به مقدار چشمگیر ۵۱۶۴ کیلوژول صعود نموده است. تنش بیشینه‌ای که سازه در حالت قاب بدون میراگر تجربه کرده است، ۳۵۸ مگاپاسکال بوده که پس از اعمال میراگر به ۲۷۴ مگاپاسکال نزول کرده است.



شکل ۱۲. بیشینه مقادیر پاسخ سازه ۳۲ طبقه در برابر زلزله‌های مختلف

بیشینه مقادیر ظرفیت باربری، جذب انرژی و تنش ایجاد شده در سازه، در نمودارهای شکل ۱۲ ارائه شده‌اند. با توجه به این نمودارها، افزایش ۸ درصدی در ظرفیت باربری پس از اعمال میراگر دیده می‌شود. این مکانیزم سبب می‌شود تا جذب انرژی سازه نیز به

مقدار ۲۳ درصد افزایش یابد. همچنین از آنجایی که مقدار زیادی از نیروهای وارده در صورت استفاده از میراگر مستهلک می‌شوند، لذا میانگین تنش بیشینه وارده به سازه تحت چهار زلزله مورد بحث نیز با کاهش ۱۲ درصد مواجه بوده است. در بخش بعد نتایج کلی حاصل از این مطالعه ارائه می‌شود.

۶- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر با استفاده از مدل‌های رفتاری مناسب مصالح، پاسخ‌های بسیار دقیق در تحلیل و آنالیز میراگر ویسکوز به دست آمده است. تقریب بسیار مناسب نتایج به دست آمده از مدل عددی با مدل پژوهش حجازی و همکاران توانسته است صحت نتایج مدل عددی حاضر را به اثبات برساند. مطابق نتایج بخش صحت‌سنجی، مقدار تغییر مکان سیستم در مدل ایجاد شده توسط آباکوس، در بدترین حالت تنها با ۲٫۷۶ درصد اختلاف با مدل مورد نظر به دست آمده است. با استناد به دقت حاصل از مدل حاضر و نادیده گرفتن مقادیر ذکر شده خطاها، مدل مورد نظر برای سازه‌های ۱۲، ۲۲ و ۳۲ طبقه توسعه داده شد. طبق نتایج به دست آمده، می‌توان ابراز داشت که رفتار سیستم تا حد زیادی به شکل دامنه شتاب زلزله ورودی وابسته است. به‌طور کلی می‌توان گفت که در هر سه سازه، برش پایه ایجاد شده تحت زمین‌لرزه‌های گسل نزدیک، بیشتر از برش‌های پایه ایجاد شده تحت زلزله‌های گسل دور بوده‌اند. این پدیده باعث می‌شود تا ظرفیت بیشتری از مصالح سازه در مقابله با بارهای وارده بسیج شود و ظرفیت باربری بزرگ‌تری در سازه‌ها در مواجهه با بارهای لرزه‌ای زلزله‌های گسل نزدیک مشاهده شود. با افزایش تعداد طبقات، قطعاً تغییر مکان‌های ایجاد شده محسوس‌تر می‌باشند. لذا این تغییر مکان‌ها در سازه ۳۲ طبقه بیشتر از دیگر سازه‌ها بوده است. همچنین دیده شده است که در بسیاری از حالات، تغییر مکان‌های وارد شده به سازه نیز، تحت زلزله‌های گسل نزدیک، بسیار بزرگ‌تر از زلزله‌های گسل دور بوده‌اند. 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 حاصل از تحلیل‌ها، مشاهده شد که ناحیه خرابی به دست آمده در سازه‌ها تقریباً در آخرین طبقات قاب بوده است. لذا موقعیت‌های مذکور در سازه‌های با تعداد طبقات مختلف، مستعد تقویت بوده و می‌بایست به‌طور دقیق مورد توجه قرار داده شوند. مسئله قابل توجه دیگر در تغییر مکان‌های ایجاد شده در سازه ۱۲ 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 ۲۲ طبقه، در طبقات وسط سازه رخ داده است. همچنین در سازه بلندمرتبه ۳۲ کاملاً مشخص است که تغییر مکان اصلی ایجاد شده در سازه، مربوط به طبقات ابتدایی در سازه می‌باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از هم‌فکری اساتید محترم پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و از همکاری مسئولان و کارمندان پژوهشگاه بابت در اختیار گذاشتن سایت و امکانات مناسب کمال سپاسگزاری را دارند.

مراجع

- [1] R. Milanchian, M. Hosseini, Study of vertical seismic isolation technique with nonlinear viscous dampers for lateral response reduction, *J. Build. Eng.* 23 (2019) 144–154.
- [2] M.M. Ali, K.S. Moon, Structural developments in tall buildings: current trends and future prospects, *Archit. Sci. Rev.* 50 (2007) 205–223.
- [3] S. Hashizume, I. Takewaki, Hysteretic-viscous hybrid damper system with stopper mechanism for tall buildings under earthquake ground motions of extremely large amplitude, *Front. Built Environ.* 6 (2020).
- [4] D. De Domenico, G. Ricciardi, I. Takewaki, Design strategies of viscous dampers for seismic protection of building structures: a review, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 118 (2019) 144–165.
- [5] K. Kariniotakis, T.L. Karavasilis, Limits for the interstorey drift sensitivity coefficient θ of steel MRFs with viscous

- dampers designed according to Eurocode 8, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 117 (2019) 203–215.
- [6] D. Altieri, E. Tubaldi, E. Patelli, A. Dall'Asta, Assessment of optimal design methods of viscous dampers, *Procedia Eng.* 199 (2017) 1152–1157.
- [7] E.C. Kandemir-Mazanoglu, K. Mazanoglu, An optimization study for viscous dampers between adjacent buildings, *Mech. Syst. Signal Process.* 89 (2017) 88–96.
- [8] E. Parciannelo, C. Chisari, C. Amadio, Optimal design of nonlinear viscous dampers for frame structures, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 100 (2017) 257–260.
- [9] C. Su, B. Li, T. Chen, X. Dai, Stochastic optimal design of nonlinear viscous dampers for large-scale structures subjected to non-stationary seismic excitations based on dimension-reduced explicit method, *Eng. Struct.* 175 (2018) 217–230.
- [10] D. De Domenico, G. Ricciardi, Improved stochastic linearization technique for structures with nonlinear viscous dampers, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 113 (2018) 415–419.
- [11] D. Losanno, J.M. Londono, S. Zinno, G. Serino, Effective damping and frequencies of viscous damper braced structures considering the supports flexibility, *Comput. Struct.* 207 (2018) 121–131.
- [12] A.M. Tabar, Linearization of seismic response of structures equipped with nonlinear viscous dampers using perturbation technique, *Eng. Struct.* 184 (2019) 459–468.
- [13] V.E. Logotheti, T.C. Kafetzi, G.A. Papagiannopoulos, D.L. Karabalis, On the use of interstorey velocity for the seismic retrofit of steel frames with viscous dampers, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 129 (2020).
- [14] F. Hejazi, A. Zabihi, M.S. Jaafar, Development of elasto-plastic viscous damper finite element model for reinforced concrete frames, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 65 (2014) 284–293.
- [15] A.S. Genikomsou, M.A. Polak, Finite element analysis of punching shear of concrete slabs using damaged plasticity model in ABAQUS, *Eng. Struct.* 98 (2015) 38–48.
- [16] A.S.U. Manual, Abaqus 6.11, [Http://130.149.89](http://130.149.89) (n.d.) v6.
- [17] O. Sarhan, M. Raslan, Study of the elastic stiffness factor of steel structures with different lateral load resisting systems, *Int. J. Adv. Eng. Sci. Appl.* 1 (2020) 6–11.
- [18] R. Divya, K. Murali, Comparative study on design of steel structures and RCC frame structures based on column span, *Mater. Today Proc.* (2021).
- [19] J. Choubisa, P. Chakrabarti, S. Poddar, R. Audichya, R.M. Bhatt, Structural behavior of steel structures on the basis of computer simulation software, *Mater. Today Proc.* (2021).
- [20] J.L. Gross, AISC Design Guide No. 12 Modification of Existing Welded Steel Moment Frame Connections for Seismic Resistance, in: *North Am. Steel Construction Conf.* 2001, 2001.
- [21] K.W. Campbell, Y. Bozorgnia, A ground motion prediction equation for the horizontal component of cumulative absolute velocity (CAV) based on the PEER-NGA strong motion database, *Earthq. Spectra.* 26 (2010) 635–650.
- [22] S. SeismoSoft, A computer program for signal processing of strong-motion data, (2010).
- [23] M. Akköse, E. Şimşek, Non-linear seismic response of concrete gravity dams to near-fault ground motions including dam-water-sediment-foundation interaction, *Appl. Math. Model.* 34 (2010) 3685–3700.
- [24] B. Xu, R. Pang, Y. Zhou, Verification of stochastic seismic analysis method and seismic performance evaluation based on multi-indices for high CFRDs, *Eng. Geol.* 264 (2020) 105412.
- [25] S. Zhang, G. Wang, Effects of near-fault and far-fault ground motions on nonlinear dynamic response and seismic damage of concrete gravity dams, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 53 (2013) 217–229.