

Reducing the Seismic Responses in Two Adjacent Connected Structures by Using a Seismic Isolation System for One of the Structures

Fatemeh Shafaghnia

PhD Student, Department of civil engineering Management, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

Reza Milanchian*

Assistant Professor, Department of civil engineering Management, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

Reza Sojoudizadeh

Assistant Professor, Department of civil engineering Management, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

Omid Hadad

Assistant Professor, Department of civil engineering Management, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

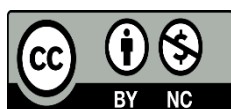
Reza.Milanchian@iau.ac.ir

Keywords

Structural Vibration Control, Seismic Isolator, Passive Control, Connected Structures, Earthquake..

Abstract

The inevitable occurrence of earthquakes and the resulting significant human and financial losses emphasize the necessity of finding an appropriate and reliable solution to counter this natural phenomenon. The experience of recent earthquakes shows that structures designed according to modern codes and executed correctly generally perform well during seismic events. This study examines the impact of physically connecting two adjacent structures using dampers and implementing a seismic isolation system in one of them, along with its effect on the behavior of the other structure. In other words, it investigates two connected structures, one in a controlled state and the other in an uncontrolled state. The primary objective of this article is to analyze the interaction between the controlled and uncontrolled structures, evaluating how the controlled structure influences the improvement of the uncontrolled structure's behavior through their connection. In this regard, two five-story building structures are initially designed and connected at the floor levels. Subsequently, a base isolation system is implemented in one of the buildings. By formulating the equations of motion for the structural system, the uncontrolled and controlled responses of the structures are calculated. The controlled response of the structure equipped with the base isolation system and the affected response of the adjacent uncontrolled structure are computed, with results indicating the effectiveness of the implemented control system in improving the performance of the adjacent structural system by reducing structural responses. According to the results, if Building 1 is solely equipped with vibration control measures, its response under the Tabas earthquake record is reduced by up to 54%. However, if Building 1 is connected to Building 2 and only Building 1 employs the control system, the effectiveness increases to 63%, demonstrating the suitable performance of the additional dampers installed at the floor levels connecting the two structures. Controlling Building 1 also leads to significant changes in the behavior of Building 2, which, in the case of the Loma Prieta earthquake, results in an approximately 33% reduction in response.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می باشد).

* Corresponding Author

کاهش پاسخ لرزه‌ای در دو سازه مجاور به هم بسته شده با استفاده از سیستم جداساز لرزه‌ای برای یکی از سازه‌ها

فاطمه شفق‌نیا

دانشجوی دکتری تخصصی، دانشکده فنی و مهندسی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

رضا میلانچیان*

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

رضا سجودی‌زاده

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

امید حداد

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران

Reza.Milanchian@iau.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴ فروردین ۱۴۰۳

تاریخ دریافت: ۲۴ آذر ۱۴۰۲

چکیده

وقوع اجتناب‌ناپذیر زلزله‌ها و تحمیل خسارت‌های فراوان جانی و مالی، تأکیدی بر لزوم یافتن راه‌حلی مناسب و قابل اعتماد جهت مقابله با این پدیده طبیعی است. تجربه زلزله‌های اخیر نشان می‌دهد که سازه‌هایی که بر اساس آیین‌نامه‌های جدید طراحی، و به شکل صحیح اجرا شده‌اند، معمولاً در زلزله‌ها عملکرد خوبی داشته‌اند. پژوهش حاضر، تأثیر اتصال فیزیکی دو سازه مجاور را با استفاده از میراگر و استفاده از سیستم جداساز لرزه‌ای در یکی از آنها و تأثیر آن بر رفتار سازه‌های دیگر مورد بررسی قرار می‌دهد یا به عبارتی دیگر دو سازه متصل که یکی در حالت کنترل شده و دیگری در حالت کنترل نشده می‌باشد. در حالت کلی هدف اصلی این مقاله بررسی نحوه اندرکنش دو سازه کنترل شده و کنترل نشده می‌باشد به نحوی که تأثیر سازه کنترل شده در بهبود رفتار سازه کنترل نشده بواسطه اتصال آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این راستا ابتدا دو سازه ساختمانی ۵ طبقه طراحی شده و با ایجاد اتصال در تراز طبقات، به هم وصل می‌شوند. در ادامه سیستم جداساز پایه در یکی از این دو ساختمان پیاده سازی شده و با انجام فرمول‌بندی معادلات حرکت سیستم سازه‌ای، پاسخ‌های کنترل نشده و کنترل شده سازه‌ها محاسبه می‌شوند. پاسخ کنترل شده سیستم سازه‌ای مجهز به جداساز پایه و پاسخ تحت تأثیر قرار گرفته سازه کنترل نشده مجاور مورد محاسبه قرار گرفته و نتایج نشانگر موثر بودن سیستم کنترلی پیاده شده در یکی از سازه‌ها در بهبود عملکرد سیستم سازه‌ای مجاور از نظر کاهش پاسخ سازه‌ای می‌باشد. با توجه به نتایج اگر ساختمان شماره ۱ به تنهایی مورد کنترل ارتعاشات قرار گیرد تا ۵۴ درصد در کاهش پاسخ سازه تحت رکورد لرزه‌ای طبس موثر است. با این حال اگر این ساختمان به ساختمان شماره ۲ متصل شود و فقط در ساختمان شماره ۱ از سیستم کنترل استفاده شود، به مقدار ۶۳ درصد موثر خواهد بود که این نشانگر عملکرد مناسب میراگرهای الحاقی در تراز طبقات می‌باشد که دو سازه را به هم وصل کرده است. اگر ساختمان شماره ۱ کنترل شود، در رفتار ساختمان شماره ۲ نیز تغییر قابل توجهی به وجود می‌آید که در مورد زلزله لوماپریتا به حدود ۳۳ درصد می‌رسد.

واژگان کلیدی: کنترل ارتعاشات سازه، جداساز لرزه‌ای، کنترل غیر فعال، سازه‌های متصل، زلزله.

*نویسنده مسئول مکاتبات



۱- مقدمه

در روش‌های رایج و آیین‌نامه‌ای تحلیل و طراحی ساختمان‌ها، سازه‌ها با استفاده از ترکیبی از سختی، قابلیت شکل‌پذیری و همچنین استهلاک انرژی در برابر زلزله، از خود مقاومت نشان می‌دهد. مقدار میرایی در این قبیل ساختمان‌ها بسیار کم است فلذا انرژی مستهلک شده ناچیز است در نتیجه در هنگام وقوع زلزله‌های قوی، این ساختمان‌ها تغییر مکان زیادی خواهند داشت. این تغییر مکان‌ها موجب به وجود آمدن مفاصل پلاستیک به صورت موضعی در نقاطی از سازه می‌شوند که به همراه سایر فاکتورهای دیگر منجر به افزایش شکل‌پذیری و همچنین افزایش استهلاک انرژی می‌شود. در نتیجه مقدار زیادی از انرژی زلزله به واسطه تخریب‌های موضعی در سیستم مقاوم جانبی سازه مستهلک می‌شود [۱].

یکی از مهمترین مسائلی که در زمینه مهندسی سازه مطرح می‌باشد، یافتن راه‌های تقلیل نیروی وارده به اعضای سازه‌ای ساختمان می‌باشد. ارتعاشات شدید زمین، نیروهای اینرسی جانبی در سازه را ایجاد می‌کند و باعث می‌شود سازه با دامنه‌ای متناسب با انرژی ورودی آن نوسان می‌کند. اگر بتوان قسمت عمره انرژی لرزه‌ای را به صورت مکانیکی و به کمک حرکات سازه تلف کرد، پاسخ سازه را نیز می‌توان بدون خسارت سازه‌ای کنترل نمود. کنترل ارتعاشات سازه‌ها، فرآیندی است که در طی آن با دستکاری کردن پارامترهای موثر سیستم دینامیکی سازه، منجر به دستیابی به سیستمی با عملکردی مطلوب‌تر می‌شود. تفکر کنترل ارتعاش ورودی به سازه و پاسخ آن، تغییرات اساسی را در روند معمول مقاوم سازی سازه‌ها در برابر زلزله ایجاد کرده است. در این تفکر به جای مقاوم سازی سازه به عنوان تنها راه، وسایل و امکانات جانبی نصب می‌شوند تا همراه با سازه و به صورت یک مجموعه در برابر زلزله مقاومت کنند. این وسایل و امکانات با رفتار خاص خود باعث بهبود پاسخ سازه به هنگام زمین لرزه می‌شوند. همچنین استفاده از سیستم‌های مستهلک کننده انرژی در ساختمانها سبب ارتجاعی باقی ماندن اعضای سازه‌ای در حین زلزله می‌گردد و در نتیجه از بروز تخریب جلوگیری می‌نماید. کنترل ارتعاش سازه‌ها یکی از مقوله‌های بسیار مهم مطرح در عصر امروزی است که خود به انواع سیستم‌های کنترل فعال، نیمه فعال، غیرفعال و ترکیبی تقسیم می‌شود. این امر با نصب وسایل جذب انرژی، مستهلک‌کننده‌ها و جداسازهای لرزه‌ای در

ساختمان‌ها به جای استفاده از سیستم‌های قاب خمشی امکان‌پذیر می‌شود. سیستم جداساز پایه یکی از سیستم‌های غیر فعال کنترل ارتعاشات سازه می‌باشد که در جداسازی سازه و یا طبقاتی از سازه از زمین به منظور کاهش نیروی لرزه‌ای وارده در زمان رخداد زلزله استفاده می‌گردد. جداسازها جایگزین اتصال صلب ساختمان به تکیه‌گاه آن یعنی فونداسیون می‌شوند و با ایجاد اتصالی انعطاف‌پذیر و کماکان مقاوم در برابر زلزله، منجر به تمرکز جابه‌جایی ساختمان در تراز جداسازی شده (پی) و از جابجایی نسبی تراز طبقات سازه در زلزله کاسته شده و باعث عدم وارد شدن تغییر شکل و نیروی زیاد به المانهای سازه‌ای و اجرای غیر سازه‌ای می‌شوند [۱].

در سالیان اخیر سیستم کنترلی جداساز پایه مورد توجه بسیاری از محققین حوزه مهندسی سازه قرار گرفته است. دی دومینیکو^۱ و همکاران [۱] در مطالعه خود یک سیستم جداساز پایه کارآمد را پیشنهاد کردند که لغزنده‌های سطح منحنی کم اصطکاک را با دمپرهای هیستریتیک شکاف دار ترکیب می‌کند. آنها نشان دادند که سیستم جداساز پایه پیشنهادی به طور موثر اتلاف انرژی رضایت‌بخش را نتیجه می‌دهد، که جابجایی مورد نیاز را کاهش می‌دهد، با قابلیت زیاد مرکزگرایی منجر به جابجایی‌های باقی‌مانده ناچیز می‌شود. پرز روچا^۲ و همکاران [۲] اثرات اندر کشش خاک و سازه را بر پاسخ دینامیکی ساختمان‌های میان‌مرتبه دارای جداساز پایه بررسی کردند. آنها نتیجه‌گیری کردند که جداساز پایه می‌تواند به طور موثر برای کنترل اثرات مضر اندر کشش خاک و سازه پیش‌بینی شده برای این ساختمان‌ها واقع در سایت‌هایی با دوره تناوب غالب طولانی‌تر از دوره تناوب پایه ثابت بنای فوقانی استفاده شود. لی^۳ و همکاران [۳] به منظور کاهش جابجایی مورد نیاز لایه جداساز تحت زلزله‌های قوی، به ویژه حرکات زمین مانند پالس نزدیک گسل قوی، سیستم میراگر جرمی جرمی تنظیم شده با سیستم جداساز پایه^۴ با در نظر گرفتن ویژگی‌های هیستریتیک غیرخطی جداساز مورد بررسی قرار دادند. آنها با تجزیه و تحلیل سیستم غیرخطی جداساز پایه که در معرض حرکات زمین مانند

¹ De Domenico

² Pérez-Rocha

³ Li

⁴ Base Isolation System-Tuned Mass Damper Inerter (BIS-TMDI)

نشان می دهد. حبیب^{۱۱} و همکاران [۱۰] به بررسی امکان ترکیب جدا کننده الاستومری تقویت شده با الیاف بدون پیوند و سیم های آلیاژ حافظه دار شکلی برای افزایش ظرفیت اتلاف انرژی سیستم جداساز جهت حفاظت لرزه ای یک کلیسای بنایی تاریخی پرداختند.

ایده به هم بستن سازه ها و بهره گرفتن از اندر کنش بین دو سازه در تراز طبقات و به صورت قائم در سالیان اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است [۱۱]. این روش مزیت ایجاد نیروهای کنترلی کافی در فرکانس های کوچک را داراست؛ خاصیتی که برای کمینه کردن پاسخ تغییر مکان سازه های بلند ضروری می باشد [۱۲]. رفتار و مشخصات دینامیکی دو سازه مجاور به هم بسته شده با استفاده از میراگرهای ویسکوالاستیک و ویسکوز مجزا، شامل فرکانس طبیعی و نسبت میرایی در حالت نامتناسب به عنوان چالش های مهم این حوزه تحقیقاتی مطرح می باشد. باسکارانو و جانقید^{۱۳} [۱۳] واکنش سازه ای دو ساختمان مجاور متصل به انواع میراگرها تحت تحریکات مختلف زلزله را بررسی کردند. آنها فرمول بندی معادلات حرکت مدل چند درجه آزادی ساختمان های متصل به دمپر را ارائه کردند. کونتونی و فاراقلی^{۱۴} [۱۴] ضربه مضاعف ناشی از زلزله را که بین دو ساختمان با ارتفاع نابرابر مجاور در برخی نقاط فوقانی در سازه فوقانی در ناحیه تماس و همچنین در سطح پی، با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه رخ می دهد، بررسی کردند. دجونی^{۱۵} و همکاران [۱۵] به بررسی اثربخشی دمپر جرمی تنظیم شده وارونه در کاهش دررفت بین طبقاتی و همچنین کوبش بین ساختمان های مجاور است. قهاری^{۱۶} و همکاران [۱۶] یک تکنیک جدید فقط خروجی را برای شناسایی پارامترهای مدل ساختمان های مجاور از پاسخ های لرزه ای ثبت شده ارائه کردند. عبود^{۱۷} و همکاران [۱۷] اثر پیوندهای سازه ای بر پاسخ های لرزه ای برای یک سیستم ساختمان پیوندی را با استفاده از تکنیک مدل سازی المان محدود بررسی کردند. بریوس^{۱۸} و همکاران [۱۸] به مطالعه پاسخ دینامیکی مدل های مجاور تک درجه آزادی روی یک جعبه آرام پر از

پالس نزدیک به گسل قرار گرفته است، برتری سیستم در کاهش جابجایی لایه جداساز، پاسخ های سازه فوقانی و عملکرد ضربه ای میراگر جرمی بیشتر تأیید شد. پنگ^۵ و همکاران [۴] با هدف توسعه یک طرح کارآمد برای طراحی بهینه مبتنی بر قابلیت اطمینان سیستم های جداساز پایه با ادغام روش تکامل چگالی احتمال (برای راه حل قابلیت اطمینان جهانی) و تحلیل حساسیت مبتنی بر واریانس (برای کاهش پارامتر طراحی) تحقیقی را انجام دادند. موریر کارسالاده^۶ و همکاران [۵] مدل مفهومی، مدل ریاضی، اعتبارسنجی تجربی و تحلیل عددی یک دستگاه جداساز پایه نوع غلتکی را ارائه کردند که هدف آن حل مشکلات مقاومت کششی محدود (در مقایسه با مقاومت فشاری آن) و ناپایداری جانبی انواع جداسازهای لاستیکی در هنگام مواجهه با بار محوری بالا بود. خانسفید^۷ [۶] در یک تحقیقی تلاش کرد تا کارایی سیستم های کنترل ارتعاش غیرفعال مختلف را از دیدگاه فنی و اقتصادی بررسی کند تا خطر لرزه ای ساختمان های معمولی را تحت لرزه های اصلی و پس لرزه های متوالی احتمالی از طریق یک چارچوب احتمالی جدید کاهش دهد. خان^۸ و همکاران [۷] به بررسی مقایسه ای زمین لرزه های دور از گسل و نزدیک به گسل بر عملکرد سه نوع جداساز پایه غیرفعال پرداختند. آنها پارامترهایی مانند دررفت کلی بیشینه، دررفت بین طبقاتی، انتقال شتاب برای سیستم های جداساز پایه مختلف تحت زلزله های دور از گسل و نزدیک به گسل را مقایسه کردند. لی و لیانگ^۹ [۸]، اثر میراگر های الحاقی در پایین سازه بر کاهش لرزه ای در مقایسه با سیستم جداساز پایه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دهنده برتری سیستم های مبتنی بر اینترتر در مقایسه با سیستم جداساز پایه از نظر وابستگی کمتر به شرایط مکان، جابجایی بهتر کنترل شده زیرسازه و سازه فوقانی، و انرژی لرزه ای ورودی کمتر به سازه است. فو^{۱۰} و همکاران [۹] اثر کنترلی کنترل نیمه فعال و کنترل شبه غیرفعال برای سیستم کنترل جداساز با استفاده از آزمون میز لرزش بررسی کردند و نشان دادند که، حتی تحت زلزله های فوق العاده بزرگ، سازه همچنان توانایی حفظ عملکرد پایداری کلی را از خود

¹¹ Habieb

¹² Bhaskararao & Jangid

¹³ Kontoni & Farghaly

¹⁴ Djerouni

¹⁵ Ghahari

¹⁶ Abbood

¹⁷ Barrios

⁵ Peng

⁶ Maureira-Carsalade

⁷ Khansefid

⁸ Khan

⁹ Li & Liang

¹⁰ Fu



ماسه پرداختند. حشاش^{۱۸} و همکاران [۱۹] تأثیر یک ساختمان بلندمرتبه مجاور را بر پاسخ لرزه‌ای یک سازه تونلی برش و پوشش و یک حفاری مهاربندی شده در آزمایش‌های سانتریفیوژ و شبیه‌سازی‌های عددی مربوطه ارزیابی کردند. راماکریشنا^{۱۹} و همکاران [۲۰] یکی از رویکردهای بهینه‌سازی الهام‌گرفته از طبیعت، بهینه‌سازی ازدحام ذرات ۲۰، را برای پیکربندی بهینه میراگرهای چسبناک برای اتصال ساختمان‌های مشابه مجاور بتنی مسلح استفاده کردند. پالرمو و سیلوستری^{۲۱} [۲۱] رفتار دینامیکی یک قاب ساختمانی چند طبقه را بررسی کردند، آنها فرض کردند سازه‌ای که باید کنترل شود با استفاده از میراگرهای چسبناک سیال افقی به یک ساختار پشتیبانی مجاور متصل می‌شود. میلانچیان و حسینی^{۲۲} [۲۲] ابتدا ویژگی‌های یک سیستم یک درجه آزادی را با میراگرهای ویسکوز غیرخطی تحت بارگذاری هارمونیک بررسی کردند و معیاری برای ارزیابی رفتار لرزه‌ای آن‌ها در با مقایسه با میراگر ویسکوز خطی بر اساس ظرفیت نیروی میراگر پیشنهاد کردند. سپس، با استفاده از مجموعه‌ای از زمین‌لرزه‌ها با طیف وسیعی از زمان تناوب غالب، و انجام یک سری تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، کاربرد میراگرهای ویسکوز غیرخطی در سیستم جداساز لرزه‌ای عمودی را به‌طور کامل مورد مطالعه قرار دادند. میلانچیان^{۲۳} و همکاران [۲۳] یک قاب ۱ طبقه را به دو زیرسازه تقسیم کردند که توسط پیوندهای ویسکوز و ویسکوالاستیک به هم متصل شدند و پاسخ لرزه‌ای سازه‌های اصلی و سیستم جداساز لرزه‌ای عمودی را به دست آوردند. میلانچیان و حسینی^{۲۴} [۲۴] کنترل پیش‌بینی در سیستم جداساز لرزه‌ای عمودی جرمی نامتقارن در پلان را با در نظر گرفتن مدل تحلیلی سه بعدی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که اتصال ساختمان‌ها در ارتفاع منجر به کاهش ارتعاشات لرزه‌ای سازه‌ها می‌شود.

در دنیای کنونی و با پیشرفت تکنولوژی بشر به دنبال سیستم‌های جدیدتری برای مقاوم سازی ساختمان‌ها در برابر نیروهای

جانبی از جمله نیروی زلزله است. امروزه یکی از چالش‌های اصلی برای رسیدن به این هدف، به‌کارگیری و ارائه روش‌های جدید در مفاهیم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها و ارتقای کیفی مصالح مصرفی است. در این مقاله، به امکان سنجی کنترل سازه‌های ساختمانی متصل به هم که در طول ارتفاع خود با هم تماس فیزیکی داشته، استفاده می‌کنیم به نحوی که یکی از این سازه‌ها به سیستم کنترل ارتعاشات مجهز شده و به عنوان سازه کنترل شده یاد می‌شود، و سازه دیگر بدون هیچگونه سیستم کنترلی به عنوان سازه کنترل نشده اطلاق می‌شود. به عبارت دیگر، یکی از سازه‌های متصل به هم مجهز به سیستم کنترل ارتعاشات بوده و سازه دیگر فاقد آن می‌باشد یا به عبارتی دیگر دو سازه متصل که یکی در حالت کنترل شده و دیگری در حالت کنترل نشده می‌باشد. در حالت کلی هدف اصلی این مقاله بررسی نحوه اندرکنش دو سازه کنترل شده و کنترل نشده می‌باشد به نحوی که تأثیر سازه کنترل شده در بهبود رفتار سازه کنترل نشده بواسطه اتصال آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مقاله از یک سازه ساختمانی ۵ طبقه در مقیاس واقعی استفاده خواهد شد و سیستم کنترلی مورد استفاده در یکی از سازه‌ها، سیستم جداساز پایه می‌باشد که از جمله سیستم‌های غیر فعال می‌باشد. در ادامه کار با انجام فرمول‌بندی معادلات حرکت سیستم سازه‌ای، نسبت به پیاده‌سازی روابط مورد نیاز برای سیستم‌های متصل به هم مجهز به سیستم کنترل ارتعاشات سازه اقدام شده و تحلیل‌های لرزه‌ای صورت می‌گیرد. یکی از خروجی‌های مهم سیستم کنترل لرزه‌ای مورد بررسی در یکی از سازه‌ها، پاسخ کنترل شده سیستم سازه‌ای مجهز به جداساز پایه و پاسخ تحت تأثیر قرار گرفته سیستم کنترل نشده می‌باشد که در این مورد نیز موثر بودن سیستم کنترلی پیاده شده در یکی از سازه‌ها در بهبود عملکرد سیستم سازه‌ای مجاور از نظر کاهش یا افزایش پاسخ هر دو سازه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در تحلیل‌های عددی این مقاله، تأثیر استفاده از یک سیستم کنترل در یکی از دو سازه متصل به هم مورد بررسی قرار می‌گیرد به نحوی که نحوه اندرکنش دو سازه و تأثیر سازه کنترل شده بر رفتار سازه کنترل نشده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به اینکه سیستم‌های کنترل ارتعاشات متفاوتی در سالیان اخیر معرفی شده که در کنترل ارتعاشات سازه‌ها عملکردهای مناسبی از خود نشان داده اند [۷ و ۸ و ۱۰] و همچنین با توجه به اینکه رفتار سازه‌های متصل به هم در سالیان اخیر در مقاله‌های متفاوت مورد

¹⁸ Hashash

¹⁹ Ramakrishna

²⁰ particle swarm optimization (PSO)

²¹ Palermo & Silvestri

²² Milanchian & Hosseini

²³ Milanchian

²⁴ Milanchian & Hosseini

در سالهای اخیر، تلاش‌های زیادی به منظور کاربرد سیستمهای کنترل مدرن در سازه‌های در معرض زلزله انجام شده است. گروه مهمی از این سیستمها، سیستمهای کنترل غیرفعال اند که بدون نیاز به هیچ گونه منبع انرژی خارجی و فقط با استفاده از حرکت سازه، ارتعاشات لرزه‌ای را کاهش میدهند. در این روشهای کنترل، با شروع تحریک (مثلاً زلزله)، سیستم کنترلی به کار افتاده و عملکرد کنترلی خود (اعم از تغییر سختی، پرپود، میرایی یا جرم) را در هنگام تحریک انجام می‌دهد که پس از خاتمه تحریک دوباره غیرفعال میشود. این گونه سیستمها به دلیل ثابت بودن خواص دینامیکی از جمله سختی، میرایی، جرم (و در نتیجه فرکانس طبیعی)، به فرکانس دامنه تحریک ورودی سازه حساس بوده و ممکن است موجب کاهش بازده آنها برای تحریکهایی مثل زلزله که لرزش ورودی به دقت قابل پیشبینی نیست، بشود. در حالت کلی ابزار کنترل غیر فعال، سیستم‌هایی هستند که نیاز به منبع انرژی خارجی ندارند. این ابزار از نیروهایی که در پاسخ به حرکت سازه در داخل آنها ایجاد می‌شود بهره میگیرند [۳]. این ابزارها عموماً براساس اصولی مانند لغزش اصطکاکی، جاری شدن فلز، اختلاف فاز حرکت، تغییر شکل ویسکوالاستیک جامدات یا مایعات و جریان مایع از سوراخ عمل می‌نمایند. اگر یک ابزار اتلاف انرژی غیر فعال بر روی یک سیستم سازه ای اضافه شود، سازه در حکم یک سیستم کنترل حلقه باز خواهد بود. ویژگی اصلی یک سیستم حلقه باز، عدم تاثیر خروجی اندازه گیری شده در اصلاح ورودی است و به طور خلاصه این سیستمها فاقد پسخوراند می باشند. از دیدگاه مهندسی کنترل، سازه‌های متداول مهندسی در حکم یک سیستم کنترل حلقه باز می‌باشند [۳]. در شکل ۱ دیاگرام عملکردی یک سیستم کنترل فعال نشان داده شده است.



شکل ۱- دیاگرام عملکردی سیستم کنترل غیر فعال.

بررسی‌های اجمالی قرار گرفته است و اندرکنش دو سازه در حین وقوع زلزله و همچنین سایر تحریکات نیروهای خارجی به طور کامل کاوش شده است [۱۳ و ۱۶ و ۱۸]، با این حال لزوم بررسی کاربردهای پیچیده در هر دو زمینه به اثبات رسیده است [۲۴]. یکی از نوآوری‌های این تحقیق ترکیب دو حالت فوق می باشد، به نحوی که دوسازه متصل به هم در نظر گرفته شده و در یکی از سازه‌ها سناریوهای کنترل پیاده شده و در سازه دیگر هیچ ابزار کنترلی وجود ندارد، فلذا جداگرهای نصب شده در یکی از سازه‌ها بایستی علاوه بر کنترل ارتعاشات سازه فوق بواسطه اتصال به سازه دیگر، رفتار سازه دیگر را نیز تحت تاثیر قرار بدهد. این مورد در سالیان اخیر و در مقالات اخیر به هیچ وجه مورد مطالعه قرار نگرفته است. فلذا جنبه جدید بودن این تحقیق از این قرار است.

۲- کنترل ارتعاشات سازه‌ها

تأمین پایداری سازه‌های عمرانی در برابر بارهای وارده بر آنها هدف اصلی طراحان و مهندسان عمران می‌باشد. هنوز هم ساختمان‌ها، پل‌ها و دیگر سازه‌های ساخت بشر به عنوان سازه‌هایی غیرفعال به لحاظ پایداری تابع جرم و صلبیت خود در برابر بارهای خارجی بوده و توانایی مشخصی برای اینگونه بارها دارند. در چند دهه اخیر به دلایلی چون نرمی زیاد و اجتناب‌ناپذیر سازه‌های بلند، وجود محدودیتهایی در خصوص میزان لرزش حداکثر به لحاظ آسایش ساکنین، نیاز به ترازهای بالاتر ایمنی در سازه‌هایی با کاربردهای پراهمیت و هم‌بستگی ارزش بالای وسایل و تجهیزات داخلی و نصب شده در این سازه‌ها سبب شده‌اند که در نظر گرفتن ملاحظات ویژه برای سازه‌ها و محدود کردن دامنه لرزش آنها ضرورت یابد. بدین لحاظ روش‌های گوناگونی برای محدود کردن پاسخ سازه‌ها به تحریکات خارجی در قالب سیستم‌های کنترل فعال ۲۵، کنترل نیمه فعال ۲۶، کنترل هیبرید ۲۷، کنترل غیرفعال ۲۸ و در چند دهه اخیر ابداع و ارائه شده و برخی از آنها عملاً مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۳].

²⁵ Active Control System

²⁶ Semi-Active Control System

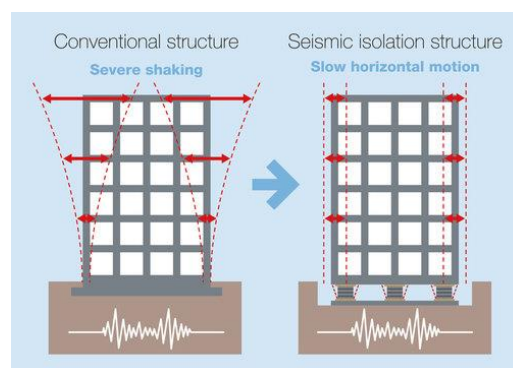
²⁷ Hybrid Control System

²⁸ Passive Control System

در صورت وقوع زلزله، با عدم جابه جایی زیاد سازه و در عوض ایجاد تغییر شکل عمده در لایه‌ی نرم ایجاد شده توسط جداگرها، عمده تغییر شکلهای در تکیه‌گاه رخ می‌دهد و سازه مانند جسم صلب با تغییر شکلهای کوچکی ارتعاش می‌کند. نصب جداگر در سازه‌های کوتاه با افزایش پیوند کلی ساختمان باعث کاهش نیروی وارده و برش پایه سازه و همچنین شتاب وارده در زلزله می‌شود. به عبارت ساده‌تر لایه نرم موجود (جدا ساز) با تغییر شکل زیاد خود عملاً نیروی چندانی را به سازه‌ی روی خود وارد نمی‌نماید و به جای آنکه نیروی زلزله وارد سازه شده و تمهیداتی برای آن در نظر گرفته شود، در این حالت از ورود نیروی زلزله به سازه جلوگیری شده و نیروی زلزله در تراز جدا ساز میرا می‌شود (شکل ۲). سیستم جدا ساز لرزه ای توسط نعیم [۲۶] ارائه شده است.

اتصال دو سازه با استفاده از میراگرها در تراز طبقات یکی از روش‌های موثر برای کنترل ارتعاشات لرزه‌ای است که با هدف بهبود عملکرد دینامیکی سازه‌ها و کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای آن‌ها انجام می‌شود. در این روش، میراگرها که به صورت اجزای مکانیکی مانند میراگرهای ویسکوز، ویسکوالاستیک یا هیبریدی طراحی شده‌اند، انرژی لرزه‌ای را از طریق مکانیزم‌هایی مانند اصطکاک، تغییر شکل ویسکوز یا تغییر شکل الاستیک-پلاستیک جذب و مستهلک می‌کنند. این فرآیند باعث کاهش دامنه ارتعاشات و کنترل جابجایی نسبی طبقات می‌شود. با اتصال سازه‌ها، نیروهای لرزه‌ای میان آن‌ها تقسیم شده و سازه‌ای که انرژی بیشتری دریافت کرده است بخشی از نیرو را به سازه دیگر منتقل می‌کند، که این امر منجر به کاهش تمرکز نیرو و بهبود رفتار کلی سیستم می‌شود. علاوه بر این، اتصال سازه‌ها موجب هماهنگی رفتار دینامیکی آن‌ها می‌شود، به طوری که یک سازه با عملکرد کنترل شده می‌تواند تأثیر مثبتی بر سازه دیگر داشته باشد و با کاهش جابجایی نسبی، خطر برخورد یا کوبش بین دو سازه نیز کاهش یابد. این سیستم به عنوان راهکاری مقرون به صرفه و غیر فعال می‌تواند به طور چشمگیری ایمنی سازه‌ها و ساکنان را در برابر زلزله بهبود بخشد.

در حوزه سیستم‌های کنترل غیرفعال، روش‌هایی نظیر جدایش لرزه‌ای، پی سازه^{۲۹}، میراگرهای جرمی تنظیم شده^{۳۰}، میراگرهای مایع تنظیم شده^{۳۱} و میراگرهایی نظیر میراگرهای اصطکاکی^{۳۲} میراگرهای ویسکوالاستیک^{۳۳} و انواع گوناگون دیگر به کار گرفته شده‌اند [۴ و ۵]. جدا ساز یا جدا گر های لرزه‌ای تجهیزات کنترل لرزه‌ای هستند که در جداسازی سازه و یا طبقاتی از سازه از زمین به منظور کاهش نیروی لرزه‌ای وارده در زمان رخداد زلزله استفاده می‌گردد. جداسازهای لرزه ای جایگزین اتصال صلب ساختمان به تکیه‌گاه آن یعنی فونداسیون می‌شوند. جدا گر های لرزه‌ای اتصالی انعطاف پذیر و کماکان مقاوم را در برابر زلزله بوجود می‌آورند که باعث تمرکز جابه جایی ساختمان در تراز جدا سازی شده و در عوض از جابجایی طبقات سازه در زلزله کاسته می‌گردد و باعث عدم وارد شدن تغییر شکل و نیروی زیاد به المانهای سازه ای و اجرای غیر سازه ای می‌شوند. این امر به ارتقای عملکرد لرزه‌ای سازه و کاهش فوق العاده خسارت در سازه منجر می‌شوند و به همان نسبت نیز ساکنین و تجهیزات داخل ساختمان نیز به مراتب سطح بالاتری از ایمنی در مقابل زلزله را تجربه می‌کنند. در شکل ۲ جابجایی سازه جداسازی شده و سازه سنتی بدون جدا ساز نشان داده شده است.



شکل ۲- جابجایی سازه جداسازی شده و سازه سنتی بدون جدا ساز [۲۵].

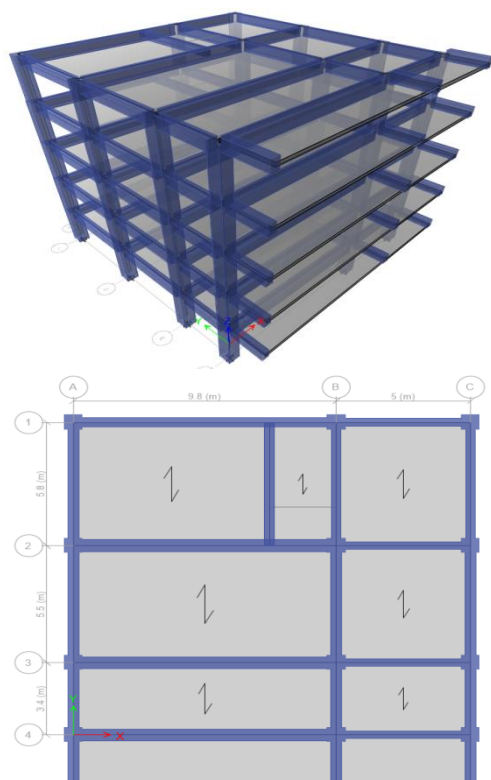
²⁹ Base Isolation

³⁰ Tuned Mass Damper

³¹ Tuned Liquid Damper

³² Friction Damper

³³ Solid Viscoelastic Damper, Fluid Viscoelastic Damper



شکل ۳- پلان و نمای سه بعدی ساختمان ۵ طبقه

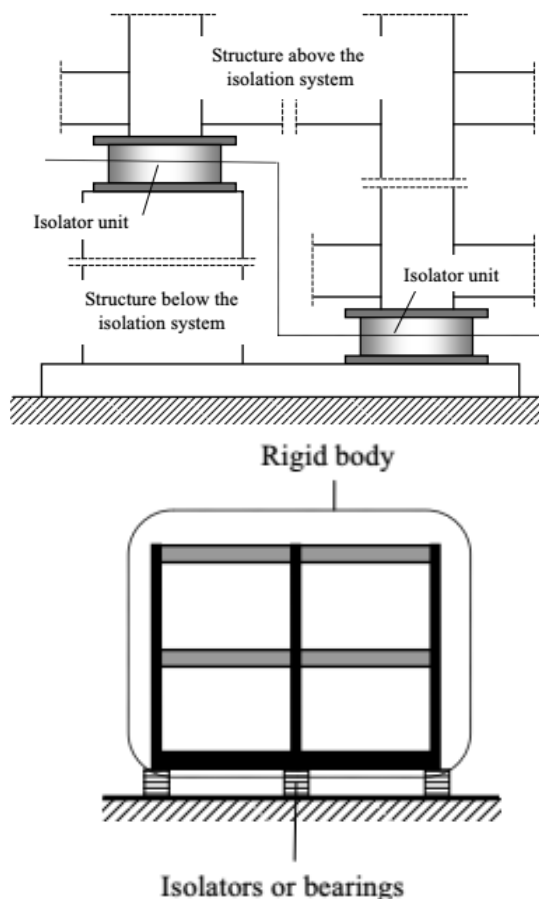
۳- مدل سازه‌ای

برای انجام مطالعه عددی نسبت به مدل‌سازی، تحلیل و طراحی یک ساختمان ۵ طبقه فولادی با پلان متقارن که دارای ۲ و ۳ دهانه به ترتیب در جهات X و Y می باشد اقدام می‌کنیم. سیستم سازه‌ای این ساختمان در هر دو جهت قاب خمشی بوده و ارتفاع تمامی طبقات ۳/۲ متر می باشد. شکل ۳ نمایی از ساختمان فوق نشان داده شده است. ابتدا ساختمان مذکور مدل‌سازی شده و با اختصاص مشخصات المان‌ها و گره‌ها، تحلیل استاتیکی معادل بر روی آنها انجام گرفته است. در ادامه طراحی سازه و المان‌های سازه فوق به کمک نرم‌افزار صورت گرفته و هندسه المان‌های سازه‌ای و مشخصات فیزیکی مصالح استفاده شده مشخص شده است. در شکل ۳ پیکربندی پلان و نمای سه بعدی ساختمان فوق نشان داده شده است. دلیل انتخاب ساختمان ۵ طبقه بررسی کارایی روش کنترل پیشنهادی در اتصال سازه‌های میان مرتبه و کوتاه مرتبه می باشد. نوع خاک مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ایران و از نوع III بوده و تحلیل‌های اولیه لرزه‌ای به جهت انجام طراحی سازه بر اساس استاندارد فوق صورت گرفته است.

۴- معادلات دینامیکی حرکت سازه

برای سیستم‌های سازه‌ای موجود، مدل‌های ریاضی متنوعی شامل مدل ساده شده دو بعدی تا مدل‌های پیچیده سه بعدی (بر مبنای المان محدود) را می‌توان مورد استفاده قرار داد. یکی از مدل‌های معروف و متداول که در کارهای مشابه‌سازی کنترلی نیز وجود دارد، مدل ساختمان برشی است. در این مدل، هر طبقه به صورت یک درجه آزادی مدل می‌شود که به دو طبقه فوقانی و تحتانی بوسیله یک فنر برشی و نیز میراگر متصل شده است.

می‌کند به نحوی که با توجه به مشخصات خود، رفتار سازه را دست خوش تغییر می‌کند.



شکل ۴- نمایی از نصب سیستم جداساز پایه در ساختمان [۲۵].
با توجه به شکل ۵ که دیاگرام جسم آزاد سازه ساختمانی مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای ارائه شده است، ملاحظه می‌گردد که سیستم جداساز پایه در تراز فونداسیون نصب شده و جرم‌های سازه‌ای و جرم تراز فونداسیون به ترتیب در فرمول بندی وارد می‌شوند.

در این حالت معادله دیفرانسیل حاکم بر رفتار دینامیکی یک مدل سازه‌ای دو بعدی به صورت زیر است:

$$M \ddot{\bar{X}} + C \dot{\bar{X}} + K \bar{X} = -M \{1\} \ddot{u}_g \quad (1)$$

که در آن M ماتریس جرم، K ماتریس سختی، C ماتریس میرایی و H ماتریس موقعیت کنترل کننده‌ها، U فرمان کنترلی، $\ddot{u}_g$ شتاب زلزله وارد بر ساختمان، $\bar{X}$ بردار تغییر مکان‌های طبقات و $\{1\}$ بردار ستونی است که تمامی مولفه‌های آن عدد یک هستند.

$$U = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_r \end{Bmatrix}_{r \times 1}, \quad \bar{X} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix}_{n \times 1}, \quad M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & m_n \end{bmatrix}_{n \times n}$$

$$k = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \dots & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & -k_n \\ 0 & \dots & \dots & -k_n & k_n \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (2)$$

n : تعداد طبقات ساختمان؛ r : تعداد کنترل کننده‌ها؛ k_i : سختی برشی طبقه i ام؛ m_i : وزن طبقه i ام.

با توجه به اینکه مشخصات سازه ساختمانی ۵ طبقه مورد بررسی بایستی به صورت ماتریسی در دسترس باشد، نسبت به استخراج ماتریس‌های جرم، سختی و میرایی طبق فرمول بندی اشاره شده در بالا اقدام می‌کنیم.

۱-۴- کنترل ارتعاشات سازه با سیستم جداساز لرزه‌ای

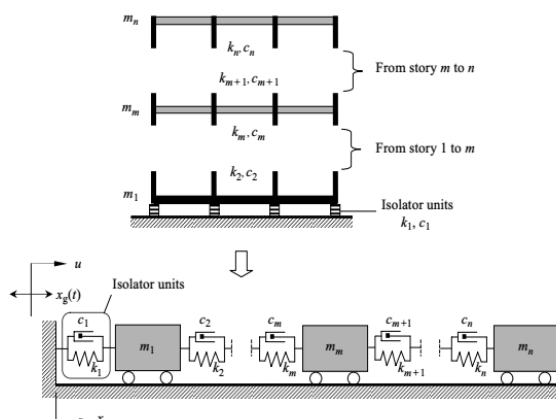
در این بخش فرمول بندی مربوط به نحوه افزودن سیستم جداساز لرزه‌ای به ساختمان ۵ طبقه مفروض ارائه شده به نحوی که تاثیر این سیستم در کاهش ارتعاشات لرزه‌ای سازه فوق مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با مراجعه به شکل ۴ ملاحظه کمی گردد که سیستم جداساز لرزه‌ای در پای سازه نصب شده و ساختمان را از زمین منفصل

جدول ۱- کران‌های بالا و پایین پارامترهای سیستم جداساز لرزه‌ای

پارامترهای سیستم جداساز لرزه‌ای	کران‌ها
β	$۰/۵ - ۲$
ζ_{BI}	$۱\% - ۵۰\%$

۲-۴- رگردهای لرزه‌ای

هدف از کنترل ارتعاشات سازه ساختمانی، کاهش نسبت بیشینه جابجایی طبقه بام در حالت کنترل شده به بیشینه جابجایی طبقه بام در حالت کنترل نشده می‌باشد. مبنای محاسبه پاسخ سازه کنترل شده و کنترل نشده، تحلیل تاریخچه زمانی خطی (Direct Analyse) می‌باشد. برای انجام تحلیل فوق از ۷ شتاب نگاشت زلزله‌های طبرس، لوماپریتا^{۳۴}، منجیل، چی‌چی، امپریال ولی، دوزجه و السنترو استفاده شده است. در جدول ۲ مشخصات زلزله‌های فوق به تفکیک نشان داده شده است. در انتخاب نوع زلزله‌ها، از زلزله‌های دور و نزدیک گسل به جهت مقایسه نتایج استفاده شده است که فاکتورهای دیگری همچون بزرگی زلزله، فاصله از گسل و بیشینه شتاب زمین نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند.



شکل ۵- دیاگرام جسم آزاد سازه ساختمانی مجهز به سیستم جداساز لرزه‌ای [۲۵].

یک سیستم جداساز پایه توسط یک فنر و یک کمک فنر به پی ساختمان متصل می‌شود. این سیستم شامل دو پارامتر سختی k_{BI} و میرایی c_{BI} می‌باشد با توجه به اینکه سیستم جداساز باید با سازه ساختمانی تنظیم شود، فرکانس این سیستم را در نزدیکی فرکانس مود اول (اصلی) سازه تنظیم می‌کنند. همچنین میرایی سیستم را می‌توان از ضریب نسبت میرایی در میرایی بحرانی بدست آورد. روابط زیر مقادیر پارامترهای سیستم جداساز را نشان می‌دهند.

$$k_{BI} = M \times (\beta * \omega_1)^2 \quad (3)$$

$$c_{BI} = 2\zeta_{BI} \times \sqrt{k_{BI} \times M} \quad (4)$$

با توجه به روابط فوق، دو β و ζ_{BI} بایستی به نحوی تعیین گردند که رفتار سازه مجهز به سیستم جداساز پایه بهتر بوده به نحوی که پاسخ لرزه‌ای کمتری داشته و به خوبی ارتعاشات لرزه‌ای وارده را کنترل کند. در جدول ۱ کران‌های این پارامترها برای سیستم جداساز ارائه شده است. در این مطالعه، از مقدار ۲ برای β و ۴۰٪ برای ζ_{BI} استفاده می‌شود.

34- Lomaperita

جدول ۲- مشخصات رکورد های لرزه ای مورد استفاده.

<i>Abr.</i>	<i>Earthquake - Date</i>	M_w	<i>R</i> (km)	<i>Station</i>	<i>Component</i>	<i>PGA</i> (m/s ²)	<i>PGV</i> (cm/s)	<i>PGD</i> (cm)
<i>EQ1</i>	<i>Tabas</i>	۷/۳۵	۲/۰۵	<i>Tabas</i>	<i>T1</i>	۸/۴۵	۱۲۱۰/۱۱	۹۱۷/۹۶
<i>EQ2</i>	<i>Lomapieta</i>	۶/۹۳	۳/۸۵	<i>CLS</i>	<i>CLS000</i>	۶/۳۲	۵۴۸/۸۲	۹۲/۵۹
<i>EQ3</i>	<i>Manjil</i>	۷/۳۷	۱۲/۵۵	<i>Abbar</i>	<i>T</i>	۴/۸۷	۴۹۶/۰۹	۲۳۳/۴۱
<i>EQ4</i>	<i>Chi Chi</i>	۷/۶۲	۳/۱۲	<i>CHY</i>	<i>CHY028</i>	۶/۲۴	۶۰۲/۰۱	۱۹۹/۱۳
<i>EQ5</i>	<i>Imperial Valley</i>	۶/۵۳	۲/۶۶	<i>BCR</i>	<i>BCR140</i>	۵/۸۷	۴۵۸/۴۳	۱۹۸/۲۶
<i>EQ6</i>	<i>Duzce</i>	۷/۱۴	۱۲/۰۴	<i>BOL</i>	<i>BOL090</i>	۷/۹۰	۶۴۶/۰۴	۱۲۸/۳۸
<i>EQ7</i>	<i>Elcentro</i>	۶/۹	-	<i>Irrigation District</i>	<i>El-180</i>	۳/۴۲	۳۸/۱۱	۲۳۲/۶۱

۵- نتایج مطالعات عددی

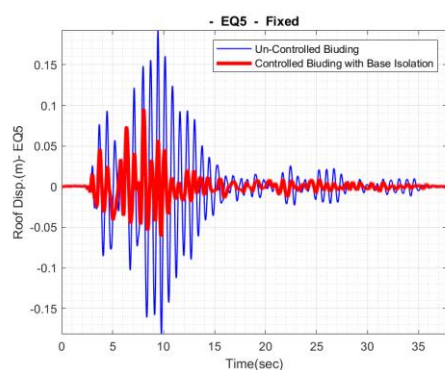
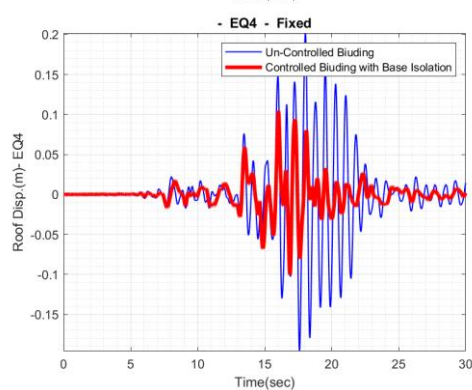
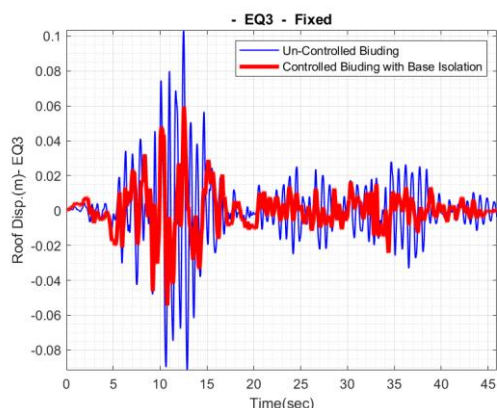
در این بخش سه سناریو متفاوت برای کنترل ارتعاشات سازه ۵ طبقه مورد بررسی قرار می گیرد. در سناریوی اول، ابتدا با نصب سیستم جداساز لرزه ای به پای سازه ۵ طبقه منفرد، نسبت به بررسی تاثیر استفاده از سیستم کنترلی فوق در کاهش بیشینه جابجایی طبقه بام سازه ساختمانی ۵ طبقه منفرد پرداخته می شود. در سناریوی دوم، با اتصال دو سازه ساختمانی ۵ طبقه به همدیگر و افزودن سیستم جداساز به یکی از ساختمان ها، نسبت به بررسی اندرکنش دوسازه و تاثیر رفتار سازه کنترل شده بر سازه کنترل نشده پرداخته می شود. در سناریوی سوم نیز نسبت به بررسی اختلاف رفتاری در دو سناریوی قبلی پرداخته خواهد شد.

۵-۱- سازه منفرد با و بدون سیستم جداساز لرزه ای

پس از نصب سیستم جداساز پایه به سازه ساختمانی ۵ طبقه، رفتار لرزه ای ساختمان فوق تحت زلزله های مذکور مورد ارزیابی قرار

می گیرد. در ادامه بیشینه جابجایی طبقه بام سازه ۵ طبقه در جدول ۳ ارائه می گردد. واحد ها در اندازه گیری جابجایی بر حسب متر می باشند.

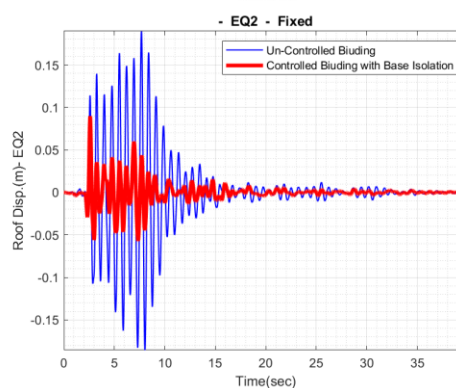
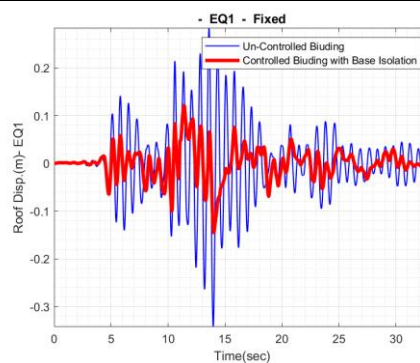
با توجه به اینکه سیستم کنترل لرزه ای قادر به کاهش پاسخ سازه در مواجهه با تمامی رکوردهای لرزه ای در نظر گرفته شده می باشد، در نتیجه می توان اثر پارمترهای سیستم فوق را در پاسخ هر ۷ زلزله مشاهده کرد. در شکل ۶ بیشینه جابجایی طبقه بام سازه ۵ طبقه در حالت کنترل شده با سیستم جداساز پایه و در حالت کنترل نشده ترسیم شده است. اختلاف دو نمودار قرمز و آبی بیانگر اثر افزودن سیستم جداساز به سازه می باشد. ملاحظه می گردد که با افزودن سیستم جداساز، پاسخ سازه به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد که نشانگر عملکرد مناسب سیستم فوق می باشد. به عبارت دیگر سیستم کنترل پیاده شده از نوع جداساز پایه قادر به کاهش دامنه ارتعاش در سازه مورد نظر شده و بیشینه جابجایی سازه را کاهش می دهد.



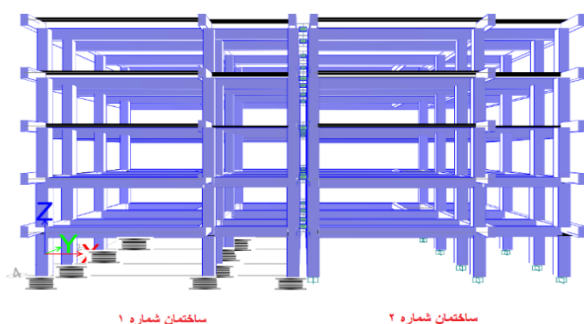
جدول ۳- بیشینه جابجایی طبقه بام سازه ۵ طبقه در حالت کنترل شده و

کنترل نشده و نسبت آنها

زلزله	پاسخ کنترل شده (بیشینه جابجایی طبقه بام)	پاسخ کنترل نشده (بیشینه جابجایی طبقه بام)	نسبت پاسخ کنترل شده به پاسخ کنترل نشده
طیس	۰/۱۵۸۰	۰/۳۴۳۶	۰/۴۶۱۱
لوما پریتا	۰/۱۰۳۹	۰/۱۸۹۶	۰/۵۴۷۹
منجیل	۰/۰۶۳۷	۰/۱۰۳۴	۰/۶۱۶۵
چی چی	۰/۱۱۶۲	۰/۲۰۱۸	۰/۵۷۵۶
امپریال ولی	۰/۱۱۱۴	۰/۱۹۱۸	۰/۵۸۰۸
دوزجه	۰/۱۴۷۹	۰/۲۴۱۵	۰/۶۱۹۹
السترو	۰/۰۶۸۹	۰/۱۱۰۰	۰/۶۲۶۴

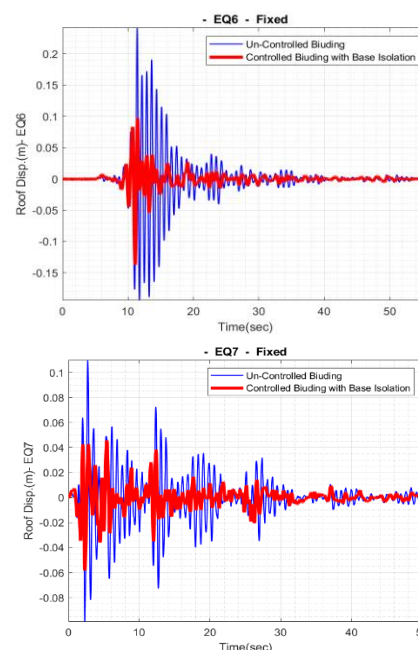


در این حالت، ماتریس های جرم و سختی هر دو سازه بایستی به نحوی کنار هم قرار گیرند که رفتار دو سازه از هم مستقل بوده و فقط از طریق نقاط متصل شده به هم به صورت اندرکنشی در رفتار همدیگر نقش داشته باشند. به جهت انجام مطالعات عددی، در ابتدا دو سازه را به هم متصل کرده و در ادامه در یکی از سازه ها از سیستم جداساز پایه استفاده می شود. در شکل ۸ به صورت شماتیک این مهم نمایش داده شده است.



شکل ۸: دو سازه ۵ طبقه متصل شده به هم با سیستم جداساز در یکی از ساختمان ها

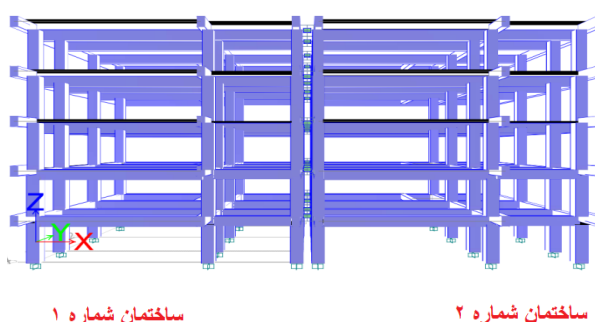
در این حالت، پاسخ هر دو سازه ۵ طبقه مورد ارزیابی قرار گرفته به نحوی که تاثیر سیستم جداساز نصب شده در ساختمان شماره ۱ در بهبود رفتار لرزه ای ساختمان شماره ۲ مورد ارزیابی قرار می گیرد. پس از نصب سیستم جداساز پایه به سازه ساختمانی ۵ طبقه شماره ۱، رفتار لرزه ای ساختمان های فوق تحت زلزله های مذکور مورد ارزیابی قرار می گیرد. در ادامه بیشینه جابجایی طبقه بام سازه ۵ طبقه شماره ۱ در جدول زیر ارائه می گردد. واحد ها در اندازه گیری جابجایی بر حسب متر می باشند. جدول ۴ بیشینه جابجایی طبقه بام سازه ۵ طبقه شماره ۱ در حالت کنترل شده و کنترل نشده و نسبت آنها را نشان می دهد.



شکل ۶- تاریخچه زمانی جابجایی طبقه بام در حالت کنترل شده و کنترل نشده

۲-۵- ساختمان های متصل به همراه سیستم جداساز در یکی از سازه ها

در این بخش به امکان ستجی اتصال دو ساختمان به هم به کمک میراگرهای الحاقی پرداخته می شود به نحوی که دو ساختمان مطابق شکل ۷ در کنار هم قرار گرفته و به کمک میراگر به هم متصل شوند.



شکل ۷- دو سازه ۵ طبقه متصل شده به هم به کمک میراگرها در تراز طبقات

جدول ۵- پیشنه جابجایی طبقه بام سازه ۵ طبقه شماره ۲ در حالت کنترل شده و کنترل نشده و نسبت آنها

نسبت پاسخ کنترل شده به پاسخ کنترل نشده	پاسخ کنترل نشده (پیشینه جابجایی طبقه بام)	پاسخ کنترل شده (پیشینه جابجایی طبقه بام)	زلزله
۰/۷۲۷۰	۰/۳۴۲۶	۰/۲۴۹۱	طیس
۰/۶۷۵۸	۰/۱۸۶۹	۰/۱۲۸۱	لوماپریتا
۰/۸۱۹۶	۰/۱۰۳۴	۰/۰۸۴۷	منجیل
۰/۸۸۸۰	۰/۲۰۱۸	۰/۱۷۹۲	چی چی
۰/۷۴۲۷	۰/۱۹۱۸	۰/۱۴۲۴	امپریال ولی
۰/۹۵۸۷	۰/۲۴۱۵	۰/۲۳۱۵	دوزجه
۰/۸۸۶۸	۰/۱۱۰۰	۰/۰۹۷۵	السترو

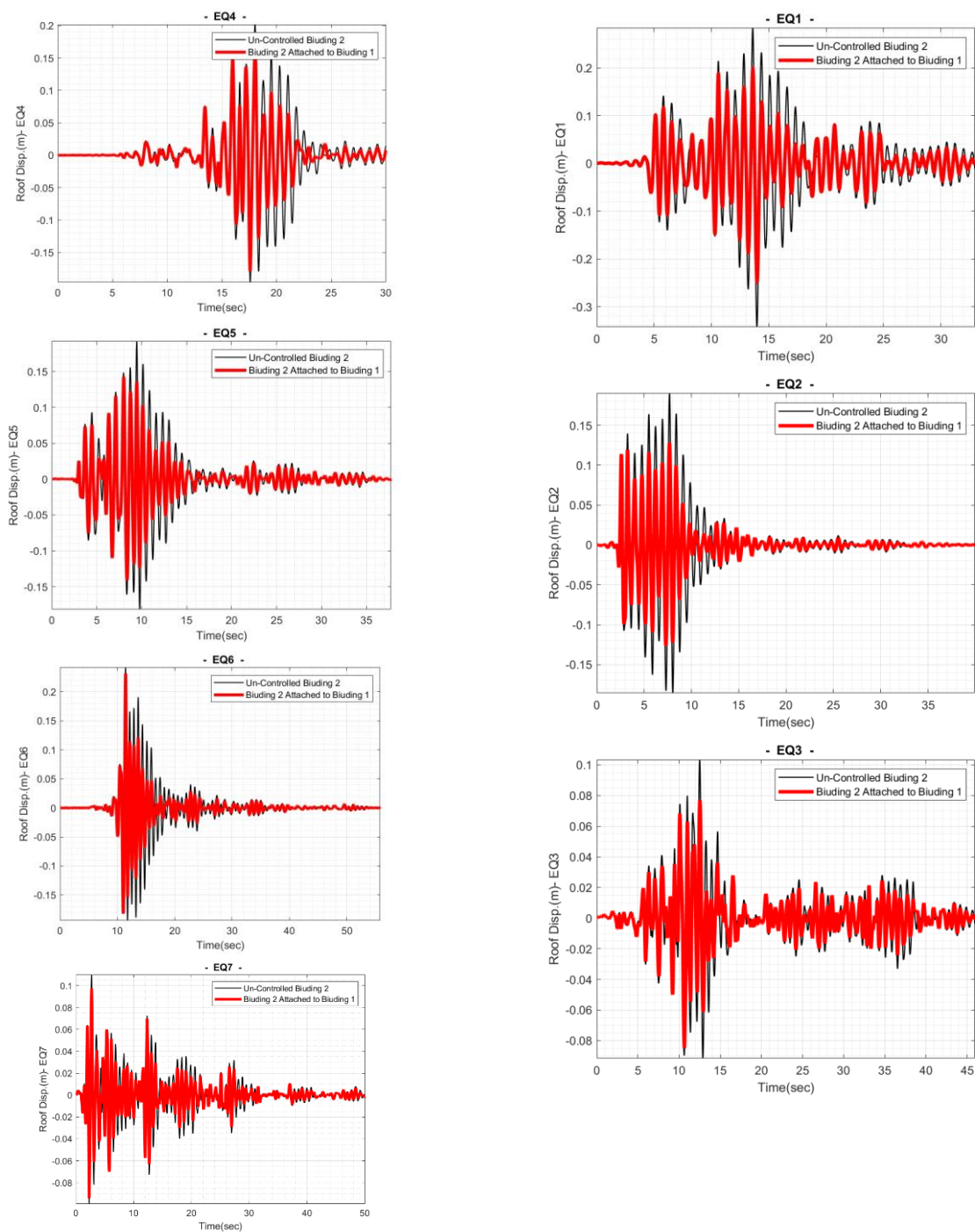
بدیهی است در شرایطی که هیچ سیستم کنترلی بر روی ساختمان شماره ۲ متصل نشده است، با این حال پاسخ سازه شماره ۲ دست خوش تغییر شده و این سازه دارای رفتار بهتری نسبت به حالت بدون اتصال به سازه شماره ۱ دارا می‌باشد. ساختمان شماره ۲ تا ۳۳ درصد در کاهش پاسخ تحت رکورد لرزه‌ای لوماپریتا موثر است با این حال اگر این ساختمان به ساختمان شماره ۱ متصل نشود، ساختمان مذکور به عنوان یک ساختمان کنترل نشده بوده و پاسخ‌های لرزه‌ای آن بیشتر خواهد بود فلذا، عملکرد مناسب میراگرهای الحاقی در تراز طبقات که دو سازه را به هم وصل کرده است منجر به رفتار بهتر هر دو ساختمان می‌شود. در شکل ۹ نمودار تاریخچه زمانی ساختمان شماره ۲ در دو حالت کنترل نشده و کنترل شده متصل به ساختمان ۲ نشان داده شده است که نشانگر اختلاف قابل توجه دو نمودار می‌باشد. به عبارت بهتر، سازه ساختمانی شماره ۲ در حالت عدم اتصال به سازه شماره ۱ و به صورت کنترل نشده پاسخ بیشتری نسبت به سازه در حالت اتصال به ساختمان شماره ۱ دارد. در نتیجه ایده اتصال دو ساختمان و استفاده از سیستم کنترل جداساز پایه در یکی از ساختمان‌ها (شماره ۱) قادر به کاهش پاسخ سازه شماره ۲ متصل به سازه شماره ۱ می‌باشد.

جدول ۴- پیشنه جابجایی طبقه بام سازه ۵ طبقه شماره ۱ در حالت کنترل شده و کنترل نشده و نسبت آنها

نسبت پاسخ کنترل شده به پاسخ کنترل نشده	پاسخ کنترل نشده (پیشینه جابجایی طبقه بام)	پاسخ کنترل شده (پیشینه جابجایی طبقه بام)	زلزله
۰/۳۷۰۴	۰/۳۴۲۶	۰/۱۲۶۹	طیس
۰/۴۱۷۰	۰/۱۸۶۹	۰/۰۷۹۱	لوماپریتا
۰/۴۸۷۹	۰/۱۰۳۴	۰/۰۵۰۴	منجیل
۰/۴۷۷۱	۰/۲۰۱۸	۰/۰۹۶۳	چی چی
۰/۴۵۱۷	۰/۱۹۱۸	۰/۰۸۶۶	امپریال ولی
۰/۴۹۳۷	۰/۲۴۱۵	۰/۱۱۹۲	دوزجه
۰/۵۴۵۹	۰/۱۱۰۰	۰/۰۶۰۰	السترو

با مقایسه داده های جدول ۳ با جدول ۴، این نتیجه حاصل می‌شود که ساختمان شماره ۱ اگر به تنهایی مورد کنترل ارتعاشات قرار گیرد تا ۵۴ درصد در کاهش پاسخ سازه تحت رکورد لرزه‌ای طیس موثر است. با این حال اگر این ساختمان به ساختمان شماره ۲ متصل شود و فقط در ساختمان شماره ۱ از سیستم کنترل استفاده شود، به مقدار ۶۳ درصد موثر خواهد بود که این نشانگر عملکرد مناسب میراگرهای الحاقی در تراز طبقات می‌باشد که دو سازه را به هم وصل کرده است.

در سوی دیگر با ملاحظه پاسخ‌های سازه شماره ۲ که در جدول ۵ نشان داده شده است نتیجه می‌گیریم که اگر ساختمان شماره ۱ کنترل شود، در رفتار ساختمان شماره ۲ نیز تغییر قابل توجهی به وجود می‌آید که در مورد زلزله لوماپریتا به حدود ۳۳ درصد می‌رسد. در ادامه پیشینه جابجایی طبقه بام سازه ۵ طبقه شماره ۲ در جدول ۵ ارائه می‌گردد. واحد ها در اندازه گیری جابجایی بر حسب متر می‌باشند.



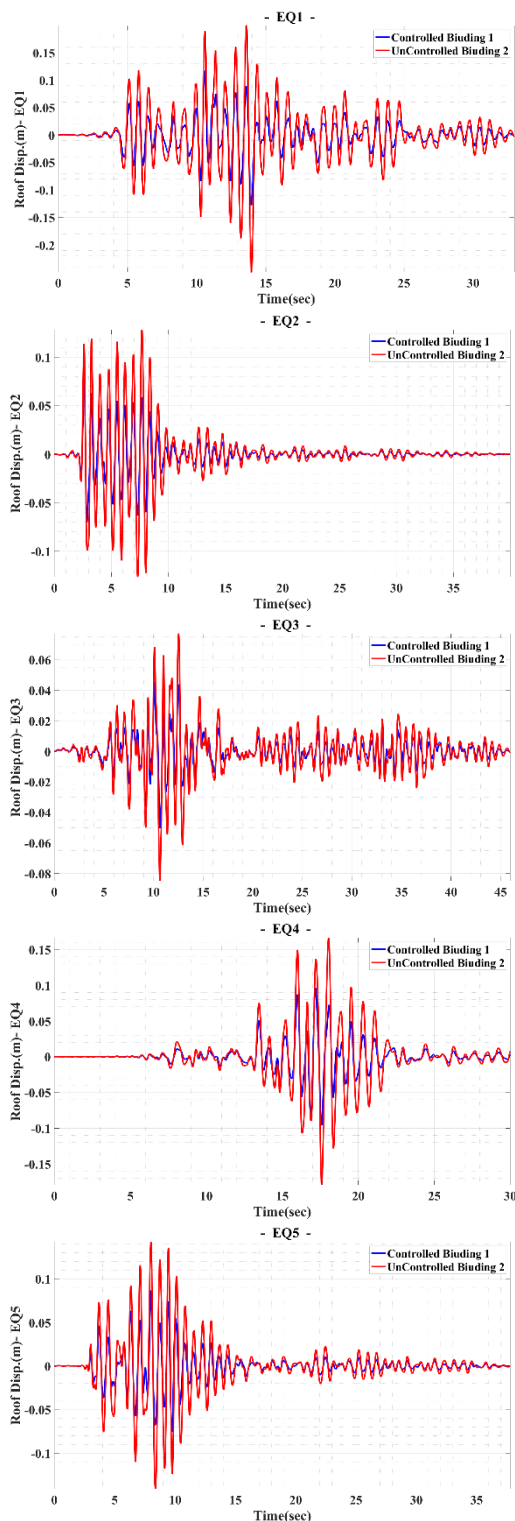
شکل ۹- تاریخچه زمانی جابجایی طبقه بام ساختمان شماره ۱ متصل به ساختمان شماره ۲

۳-۵- اختلاف رفتار لرزه‌ای دو سازه متصل به هم

در این بخش به تفاوت رفتاری دو ساختمان متصل به هم پرداخته خواهد شد به نحوی که نمودار تاریخچه زمانی و پاسخ های دو سازه از جداول بخش های قبلی استخراج شده و در کنار هم قرار می گیرد. با مراجعه به جدول ۶ ملاحظه می گردد که ساختمان شماره ۱ رفتار بهتری داشته زیرا سیستم جداساز لرزه ای روی آن سوار شده است با این حال ساختمان شماره ۲ با اینکه بدون سیستم کنترل می باشد فلذا به دلیل اتصال به سازه شماره ۱ رفتار کنترل شده تری دارد. در شکل ۱۰ نیز نمودار تاریخچه زمانی دو سازه نشان داده شده است که این مهم در این اشکال نیز آشکار می باشد.

جدول ۶- بیشنه جابجایی طبقه بام سازه ۵ طبقه شماره ۲ در حالت کنترل شده و کنترل نشده و نسبت آنها

نسبت پاسخ کنترل شده به پاسخ کنترل نشده ساختمان شماره ۲	نسبت پاسخ کنترل شده به پاسخ کنترل نشده ساختمان شماره ۱	زلزله
۰/۷۲۷۰	۰/۳۷۰۴	طیس
۰/۶۷۵۸	۰/۴۱۷۰	لوما پریتا
۰/۸۱۹۶	۰/۴۸۷۹	منجیل
۰/۸۸۸۰	۰/۴۷۷۱	چی چی
۰/۷۴۲۷	۰/۴۵۱۷	امپریال ولی
۰/۹۵۸۷	۰/۴۹۳۷	دوزجه
۰/۸۸۶۸	۰/۵۴۵۹	السنتره



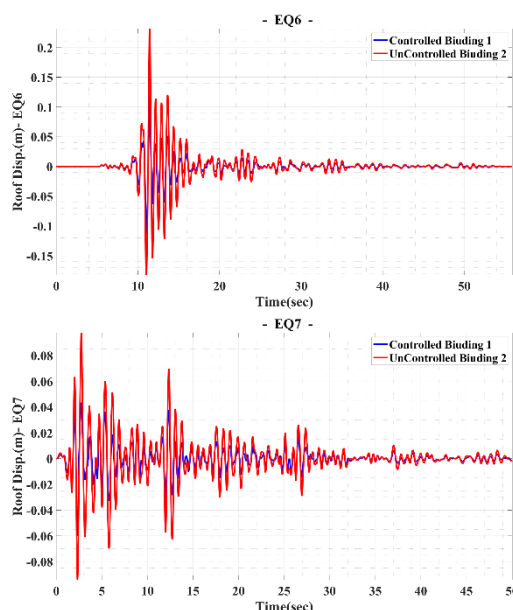
۱- با افزودن سیستم جداساز به یک سازه منفرد، پاسخ سازه به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد که نشانگر عملکرد مناسب سیستم فوق می‌باشد.

۲- ساختمان شماره ۱ اگر به تنهایی مورد کنترل ارتعاشات قرار گیرد تا ۵۴ درصد در کاهش پاسخ سازه تحت رکورد لرزه ای طیس موثر است. با این حال اگر این ساختمان به ساختمان شماره ۲ متصل شود و فقط در ساختمان شماره ۱ از سیستم کنترل استفاده شود، به مقدار ۶۳ درصد موثر خواهد بود که این نشانگر عملکرد مناسب میراگر های الحاقی در تراز طبقات می باشد که دو سازه را به هم وصل کرده است.

۳- اگر ساختمان شماره ۱ کنترل شود، در رفتار ساختمان شماره ۲ نیز تغییر قابل توجهی به وجود می‌آید که در مورد زلزله لوماپریتا به حدود ۳۳ درصد می‌رسد.

۴- ساختمان شماره ۲ تا ۳۳ درصد در کاهش پاسخ تحت رکورد لرزه‌ای لوماپریتا موثر است با این حال اگر این ساختمان به ساختمان شماره ۱ متصل نشود، ساختمان مذکور به عنوان یک ساختمان کنترل نشده بوده و پاسخ های لرزه‌ای آن بیشتر خواهد بود فلذا، عملکرد مناسب میراگرهای الحاقی در تراز طبقات که دو سازه را به هم وصل کرده است منجر به رفتار بهتر هر دو ساختمان می‌شود.

برای مطالعات آتی، بررسی اثرات متقابل زلزله های دور و نزدیک گسل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل ۱۰- تاریخچه زمانی جابجایی طبقه بام ساختمان شماره ۱ و ساختمان شماره ۲ در حالت کنترل شده و کنترل نشده در حالت متصل به هم

با رویکرد به نتایج ارائه شده در این مقاله، می‌توان نتیجه گرفت که رفتار سازه ساختمانی شماره ۲ در صورت اتصال به ساختمان شماره ۱ به نحو مناسبی کنترل شده و پاسخ های سازه شماره ۲ کاهش یافته است. فلذا با تقویت سیستم کنترل مورد استفاده رد سازه شماره ۱ می‌توان به پاسخ‌های بهتری در سازه شماره ۲ رسید. به عبارت دیگر، نقش سازه شماره ۱ که به سیستم جداساز پایه مجهر می‌باشد، کنترل سازه شماره ۱ و شماره ۲ به صورت همزمان می‌باشد که این مهم در این مقاله به اثبات رسیده است.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله، به بررسی اثر استفاده از سیستم کنترل غیر فعال در یکی از سازه‌های به هم متصل پرداخته شده به نحوی که با استفاده از سیستم جداساز لرزه‌ای در یکی از سازه‌ها، به بررسی نحوه کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه کنترل نشده پرداخته خواهد شد. نتایج این تحقیق به شرح زیر می‌باشند:

فهرست منابع

scenarios. Structures. 2021;34:3647-3666.
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.07.070>

[7] Khan BL, Azeem M, Usman M, Farooq SH, Hanif A, Fawad M. Effect of near and far Field Earthquakes on the performance of various base isolation systems. Procedia Structural Integrity. 2019;18:108-18.
<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.014>

[8] Li L, Liang Q. Effect of inerter for seismic mitigation comparing with base isolation. Structural Control and Health Monitoring. 2019;26(10):e2409.
<https://doi.org/10.1002/stc.2409>

[9] Fu W, Zhang C, Li M, Duan C. Experimental investigation on semi-active control of the base isolation system using magnetorheological dampers for a concrete frame structure. Applied Sciences. 2019;9(18):3866.
<https://doi.org/10.3390/app9183866>

[10] Habieb AB, Valente M, Milani G. Hybrid seismic base isolation of a historical masonry church using unbonded fiber reinforced elastomeric isolators and shape memory alloy wires. Engineering Structures. 2019;196:109281.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109281>

[11] Klein R, Todaro A, Finne I. Investigation of a Method to Stabilize Wind-Induced Oscillations in Large Structures. American Society of Mechanical Engineers. 1972; 1. Available at URL: <https://www.asme.org/>

[12] Richardson A, Walsh KK, Abdullah MM. Closed-form equations for coupling linear structures using stiffness and damping elements. Structural Control and Health Monitoring.

[1] De Domenico D, Gandelli E, Quaglini V. Effective base isolation combining low-friction curved surface sliders and hysteretic gap dampers. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2020;130:105989.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105989>

[2] Pérez-Rocha LE, Avilés-López J, Tena-Colunga A. Base isolation for mid-rise buildings in the presence of soil-structure interaction. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2021;151:106980.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106980>

[3] Li C, Chang K, Cao L, Huang Y. Performance of a nonlinear hybrid base isolation system under the ground motions. Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2021;143:106589.
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106589>

[4] Peng Y, Ma Y, Huang T, De Domenico D. Reliability-based design optimization of adaptive sliding base isolation system for improving seismic performance of structures. Reliability Engineering & System Safety. 2021;205:107167.
<https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107167>

[5] Maureira-Carsalade N, Pardo E, Oyarzo-Vera C, Roco A. A roller type base isolation device with tensile strength. Engineering Structures. 2020;221:111003.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111003>

[6] Khansefid A. Lifetime risk-based seismic performance assessment of buildings equipped with supplemental damping and base isolation systems under probable mainshock-aftershock

<http://iaeme.com/Home/issue/IJCIET?Volume=9&Issue=11>

[18] Barrios G, Nanayakkara V, De Alwis P, Chouw N. Effects of slenderness and the fundamental frequency on the dynamic response of adjacent structures. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*. 2019;19(09):1950105.

<https://doi.org/10.1142/S0219455419501050>

[19] Hashash YM, Dashti S, Musgrove M, Gillis K, Walker M, Ellison K, Basarah YI. Influence of tall buildings on the seismic response of shallow underground structures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 2018;144(12):04018097.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001990](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001990)

[20] Ramakrishna U, Mohan SC, Kumar KS. Optimal Configuration of Viscous Dampers Connected to Adjacent Similar Buildings Using Particle Swarm Optimization. In *Advanced Engineering Optimization Through Intelligent Techniques*. Springer, Singapore. 2020;1: 799-807. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1002-1_66

[21] Palermo M, Silvestri S. Damping reduction factors for adjacent buildings connected by fluid-viscous dampers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2020;138:106323.

<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106323>

[22] Milanchian R, Hosseini M. Study of vertical seismic isolation techniques with nonlinear viscous dampers for lateral response reduction. *Journal of Building Engineering*. 2019;23:144-54. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.02.010>

2013;20(3):281-259.

<https://doi.org/10.1002/stc.1485>

[13] Bhaskararao AV, Jangid RS. Seismic response of adjacent buildings connected with dampers. In *13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, Canada. 2004; No: 3143. Available at URL: https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/thirteenth_conf_Canada/

[14] Kontoni DP, Farghaly AA. Seismic response of adjacent unequal buildings subjected to double pounding considering soil-structure interaction. *Computation*. 2018;6(1):10.

<https://doi.org/10.3390/computation6010010>

[15] Djerouni S, Abdeddaim M, Ounis A. Seismic response control of adjacent buildings using optimal backward-shared tuned mass damper inerter and optimal backward-shared tuned inerter damper. *Asian Journal of Civil Engineering*. 2021;22(8):1499-523.

<https://doi.org/10.1007/s42107-021-00395-1>

[16] Ghahari SF, Abazarsa F, Ebrahimian H, Taciroglu E. Output-only model updating of adjacent buildings from sparse seismic response records and identification of their common excitation. *Structural Control and Health Monitoring*. 2020;27(9):e2597.

<https://doi.org/10.1002/stc.2597>

[17] Abbood IS, Mahmod M, Hanoon AN, Jaafar MS, Mussa MH. Seismic response analysis of linked twin tall buildings with structural coupling. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018;9(11):208-19. Article ID: IJCIET_09_11_021 Available online at

[23] Milanchian R, Hosseini M, Nekooei M. Vertical isolation of a structure based on different states of seismic performance. *Earthquakes and Structures*. 2017; 13 (2): 103-118. <https://doi.org/10.12989/eas.2017.13.2.103>

[24] Milanchian R, Hosseini M. Torsional response reduction of plan-asymmetric vertical seismic isolation by an appropriate distribution of viscous and viscoelastic dampers. *Structures*. 2020; 27:962-974. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.07.009>

[25] Cheng FY, Jiang H, Lou K. *Smart Structures: Innovative Systems for Seismic Response Control*. CRC Press. 2008; 672. eBook ISBN9780429126963. <https://doi.org/10.1201/9781420008173>

[26] Naeim F, James MK. *Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*. 1999. John Wiley & Sons. 304 pages. Print ISBN:9780471149217. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470172742>