

## بهبود رفتار دینامیکی ساختمان‌های مجاور با میراگرهای ویسکوز سیال

اشکان خدابنده لو<sup>۱\*</sup>، سولماز یعقوب زاده<sup>۲</sup>، رضا شکری سلطان آبادی<sup>۲</sup>

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

### چکیده

در سال‌های اخیر، استفاده از سیستم‌های کنترلی در ساختمان‌ها افزایش یافته است و بیش از پیش، اهمیت آن برای کاهش ارتعاش سازه‌ها احساس می‌شود. برای بهبود رفتار دینامیکی ساختمان‌های مجاور، سیستم‌های کنترلی می‌توانند بین ساختمان‌های مجاور به عنوان سیستم‌های فعال، نیمه فعال و غیر فعال نصب شوند. یکی از مهم‌ترین دستگاه‌های میراگر در کنترل غیر فعال، میراگر ویسکوز سیال می‌باشد. میراگرهای ویسکوز سیال به دلیل وجود مقاومت بالای سیال آن‌ها، اجازه می‌دهد تا پاسخ لرزه ای ساختمان‌های مجاور کاهش یابد. در این مقاله اثر میراگرهای ویسکوز بر کاهش جابه‌جایی طبقه بالا و همچنین بهبود رفتار دینامیکی ساختمان‌های مجاور مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی در این پژوهش، استفاده از سیستم‌های کنترلی در دو ساختمان مشابه مجاور برای کاهش پاسخ کل سیستم می‌باشد. به منظور تحلیل مدل‌سازی برای بهبود رفتار دینامیکی ساختمان‌های مجاور متفاوت متصل شده با میراگرها، تعداد دو مدل از نمونه‌های اصلی در این مقاله بررسی شده است که برای استخراج آنالیز پاسخ و تاریخچه زمانی از نرم افزار SAP 2000 استفاده بهره‌جویی می‌شود. نتیجه‌ها نشان می‌دهند که اثر میراگرهای ویسکوز سیال برای ساختمان بلندتر نسبت به ساختمان کوتاه‌تر، کم رنگ‌تر است. همچنین این میراگرها برای ساختمان‌های مجاور با ارتفاع‌های مختلف نسبت به ساختمان‌های با ارتفاع یکسان اثر بخشی بیشتری دارند.

کلمات کلیدی: رفتار دینامیکی، ساختمان‌های مجاور، میراگرهای ویسکوز، تحلیل لرزه ای، کنترل غیر فعال.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
10.22065/JSCE.2018.136821.1596	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
doi: 10.22065/JSCE.2018.136821.1596	۱۳۹۹/۱۰/۰۱	۱۳۹۹/۱۰/۰۱	۱۳۹۷/۰۸/۲۲	۱۳۹۷/۰۶/۲۹	۱۳۹۷/۰۴/۰۱
			اشکان خدابنده لو		*نویسنده مسئول:
			a.khodabandehlou@iaurmia.ac.ir		پست الکترونیکی:

## Dynamic Behavior Improvement of Adjacent Buildings Using Fluid Viscous Dampers

Ashkan KhodaBandehLou<sup>\*1</sup>, Solmaz Yaghobzadeh<sup>2</sup>, Reza Shokri Soltan Abadi<sup>2</sup>

*1 Assistant Professor of the Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran*

*2 Ph.D. Candidate of Civil Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran*

### ABSTRACT

Nowadays, the use of control systems in buildings has been increased and the importance of vibration reduction of structures is considered more than ever. In addition to improve the dynamic behavior of buildings, control systems can be installed between adjacent buildings as activated, semi-active and inactivated systems. Fluid viscous dampers are one of the most important approaches for inactivated control systems in which the dynamic response of two adjacent buildings reduces according to the high resistance of the viscous fluid. The main purpose of this study is the use of control systems in two similar adjacent buildings to reduce the entire system response which will be the analytical study of the impact of viscous dampers to control system performance. In order to provide the analysis and to study the dynamic behavior improvement of different adjacent buildings connected with dampers, two models of the original sample was investigated. All examples are different from each other and response analysis and time history was provided using SAP 2000 software. According to the acquired results, the effect of fluid viscous dampers for tall buildings is less than the shorter ones. Moreover, these dampers are more efficiently working for adjacent buildings with different heights rather than buildings with the same height.

### ARTICLE INFO

**Received:** 22 June 2018

**Revised:** 20 September 2018

**Accepted:** 13 November 2018

### Keywords:

*Dynamic behavior, Adjacent buildings, Viscous dampers, Passive control, Seismic Analysis*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2018.136821.1596

\*Corresponding author: Ashkan KhodaBandehLou

Email address: a.khodabandehlou@iaurmia.ac.ir

## ۱- مقدمه

زلزله‌های بزرگی چون زلزله بم، آذربایجان، ترکیه و غیره نشان دادند که تاسیسات و ساختمان‌های شهری به اندازه کافی برای تحمل تکان‌های شدید لرزه ای مقاوم نمی‌باشند. رفتار شدید غیرالاستیک در ساختمان‌ها در اثر تکان‌های شدید کاملاً قابل مشاهده می‌باشد. این رفتار غیرالاستیک ایمنی ساکنین ساختمان‌ها و تاسیسات را به شدت تهدید کرده و در نهایت منجر به از دست رفتن جان افراد زیادی می‌گردد. ساختمان‌های فراوانی که نتوانسته‌اند بارهای جانبی را تحمل نمایند و دچار واژگونی و خرابی شده اند نشان دهنده اهمیت فراوان حفاظت از ساختمان‌ها در مقابل حرکات ارتعاشی دارد. در سال‌های اخیر تعداد زیادی از مردم در جهان در اثر زلزله جان خود را از دست داده و تلفات مالی زیادی نیز به جامعه تحمیل شده است. زلزله‌های اخیر در ایران و همچنین در نقاط مختلف جهان نظیر بم ۱۳۸۲، آذربایجان ۱۳۹۱، ترکیه ۱۹۹۹ و تایوان ۱۹۹۹ نشان داد که ارتعاش سازه‌ها بسیار شدید بوده و منجر به تخریب ساختمان‌ها شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، در طراحی سازه ای، طراحی ساختمان‌ها برای تحمل بارهای دینامیکی بسیار مهم می‌باشد تا از تخریب سازه‌ها جلوگیری به عمل آید. حفاظت و نگهداری از ساختمان‌ها با ساکنین و تجهیزات داخل آن اولیویته جهانی می‌باشد. هدف مهندسی سازه‌ای توسعه دادن سازه‌هایی امن می‌باشد تا بتواند در برابر بلایای طبیعی مقاومت نماید.

روش‌های توضیح داده شده جهت تقویت سازه‌ها در مقابل بارهای دینامیکی جانبی را می‌توان به دو قسمت عمده تقسیم نمود. قسمت اول سیستم‌های سازه ای برای کنترل جا به جایی‌های لرزه‌ای و قسمت دوم استفاده از سیستم‌های اعمال کننده نیروهای کنترلی. مکانیزم پاسخ سازه‌ها با استفاده از سیستم‌های کنترل کننده، بهبود یافته و خطرات خرابی در اثر زمین لرزه را به شدت کاهش می‌دهد. امروزه استفاده از این سیستم‌های کنترلی در ساختمان‌ها فزونی یافته و بیش از پیش اهمیت آن برای کاهش ارتعاش سازه‌های احساس می‌گردد. همچنین برای بهبود رفتار دینامیکی ساختمان‌های مجاور، سیستم‌های کنترلی می‌توانند بین ساختمان‌های مجاور نصب شوند. روش‌ها و سیستم‌های کنترلی مختلفی توسط محققین و مهندسیین جهت کنترل سازه‌های مجاور برابر زلزله انجام شده و یا در حال انجام می‌باشد. در ساختمان‌های عمرانی، هدف اصلی، حفاظت از سازه‌ها در مقابل زلزله‌ها می‌باشد. در سال‌های اخیر، مهندسان در ساختمان‌ها شروع به استفاده از سیستم‌های کنترلی، مانند فعال، نیمه فعال و غیر فعال نموده اند تا از پاسخ لرزه ای بکاهند. در ساختمان‌ها با ارتفاع بسیار زیاد، کنترل سازه‌ها با این روش‌ها دشوار بوده و به دلیل نیاز به انرژی زیاد نسبتاً انعطاف پذیر می‌باشند. کنترل ساختمان‌های بهم پیوسته برای اولین بار بر پایه ایده اعمال نیرو بر یکدیگر پیشنهاد گردید. این ایده برای اولین بار توسط کلین و هلی (۱۹۸۵) در حدود سه دهه گذشته پیشنهاد گردید. آنها ابتدا یک سیستم نیمه فعال را پیشنهاد دادند، که دو ساختمان مجاور را با کابل‌هایی که توانایی شل شدن و سفت شدن داشتند به هم متصل می‌کرد [۱].

ستو (۱۹۹۴) متصل کردن ساختمان‌های مجاور را روشی عملی جهت محافظت و تقویت سازه‌ها در مقابل بارهای دینامیکی معرفی کرده است. او استراتژی‌های مختلفی را برای سیستم‌ها کنترلی غیرفعال برای ساختمان‌های بلند و کوتاه معرفی نموده است [۲]. گورلی و همکاران (۱۹۹۴) و سوچینو و همکاران (۱۹۹۹) نیز در مطالعاتی به بررسی ساختمان‌های بلند مجاور با سیستم‌های غیرفعال پرداخته‌اند [۳]. هاسنر و همکاران (۱۹۹۷) در مطالعه ای به بررسی مزایای کنترل سازه ای در کاهش ارتعاشات ناخواسته ساختمان‌ها پرداختند. آنها همچنین سیستم‌های کنترلی گوناگونی را برای این منظور پیشنهاد نمودند [۴]. لوکو و دباروس (۱۹۹۸) و ژو و همکاران (۱۹۹۹) اتصال سازه‌های بلند به ساختمان‌های ارتفاع متوسط را بررسی کرده است [۵ و ۶]. کریستنسون و همکاران در سال ۱۹۹۹ تاکید کردند که ایده اتصال سازه‌های مجاور از تئوری به عملی تبدیل شده و در ژاپن و آمریکا مورد توجه مهندسیین قرار گرفته است [۷].

نی و همکاران (۲۰۰۱) در مطالعه ای پاسخ لرزه ای دو ساختمان مجاور هم و متصل شده توسط میراگرهای غیرخطی هیستریک را تحت شرایط حرکات لرزه ای گوناگون بررسی کردند و عنوان کردند که اینگونه میراگرها مثرتر می‌باشند حتی اگر تنها در چند طبقه نصب گردند. مطالعه پارامتریک و تحلیل حساسیت نیز جهت جاگذاری و یافتن تعداد بهینه بررسی شد [۸].

یینگ و همکاران (۲۰۰۳) یک سیستم اتفاقی بهینه کنترلی را برای سازه‌های مجاور متصل به هم را بررسی کردند. در مطالعه آنها سیستم کنترلی و ساختمان‌ها تحت حرکات لرزه ای رندوم (اتفاقی) مدلسازی شد و با کنترل انرژی سازه، پاسخ لرزه ای سازه و ابعاد سیستم کنترلی کاهش یافت. آنها همچنین یک مطالعه عددی را برای تخمین ظرفیت کاهش پاسخ لرزه ای را در ساختمان‌های مجاور متصل شده

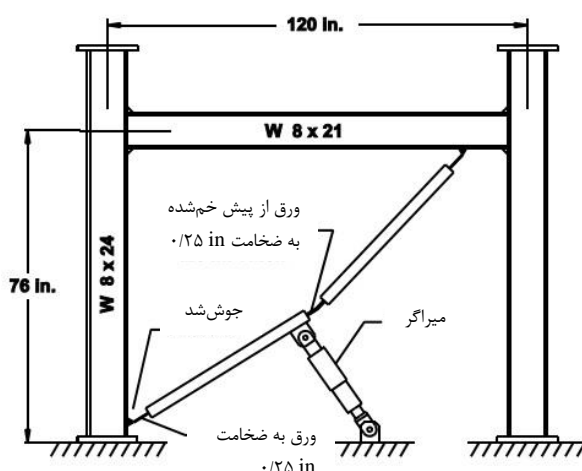
انجام دادند [۱۹]. هادی و اوز (۲۰۰۹) در مطالعه ای اهمیت استفاده از میراگرهای ویسکوز سیال برای بهبود رفتار لرزه ای سازه‌های مجاور متصل شده را بررسی کردند. آنها شاهد کاهش جابه جایی طبقه آخر، شتاب و پاسخ نیروی برشی سازه‌های مجاور در تحریکات لرزه ای بودند. در مطالعه آنها سازه‌های مجاور در یک جهت توسط میراگرها متصل شده بود [۱۰]. ژو و همکاران (۲۰۱۶) یک مطالعه آزمایشگاهی ارتعاشی کابل با مقیاس کامل به وسیله یک کابل با دهانه بلند و متصل شده به یک جفت میراگر ویسکوز انجام دادند. نتایج آزمایش نشان داد که بعد از نصب میراگرهای ویسکوز میرایی کابل‌ها به طور چشمگیری افزایش یافت [۱۱]. عدیلی و همکاران (۱۳۹۵) به اثر حضور میراگرهای ویسکوز در جابجایی ساختمان پرداخته‌اند و به این نتیجه دست یافتند که تغییر مکان جانبی در سازه‌های دارای میراگر ویسکوز در مقایسه با سازه‌های بدون میراگر بطور چشمگیری کاهش می‌یابد [۱۲]. اثرگذاری سیستم‌های کنترلی بر رفتار ساختمان‌های مجاور در سال‌های اخیر نیز در بسیاری از پژوهش‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۱۳ - ۱۹].

با وجود پژوهش‌هایی که در زمینه‌ی ارزیابی رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های مجاور انجام شده است [۱۶ - ۱۸ و ۲۰ - ۲۲]، هنوز هم جنبه‌های فراوانی ناشناخته مانده‌اند که باید بیشتر مورد بررسی قرار بگیرند [۱۷، ۱۹ - ۲۱ و ۲۳]. از طرف دیگر، میراگرهای ویسکوز، به‌عنوان رایج‌ترین و یکی از کارآمدترین گونه از میراگرها، می‌توانند به بهبود رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های مجاور کمک کنند. از این رو، در این مقاله سعی خواهد شد تا با بررسی اثر میراگرهای ویسکوز بر مقدار جابه‌جایی طبقه‌های فوقانی، اثر رفتار دینامیکی ساختمان‌های مجاور نیز مورد مطالعه و تحلیل قرار گیرد. لذا با استفاده از سیستم‌های کنترلی در دو ساختمان مشابه مجاور، پاسخ کل سیستم مورد تحلیل و مدلسازی قرار خواهد گرفت. شایان ذکر است مدلسازی و مطالعه رفتار دینامیکی ساختمان‌های مجاور متفاوت متصل شده با میراگرها، در ۲ مدل نمونه اصلی صورت پذیرفته و برای استخراج آنالیز پاسخ و تاریخچه زمانی از نرم افزار SAP 2000 استفاده شده است.

## ۲- ویژگی‌های سیستم کنترلی

برترو (۱۹۸۶) در مطالعه ای عنوان نمود که اگر فاصله ساختمان‌ها از همدیگر به اندازه کافی نباشد، ممکن است در اثر حرکات لرزه‌ای به یکدیگر ضربه بزنند که به تنه زدن ساختمان‌ها مصطلح می‌باشد. این پدیده در زمین لرزه‌های Loma Prieta (۱۹۸۹) و Mexico City (۱۹۸۵) مشاهده شده است. به دلیل اهمیت این پدیده محققین زیادی تحقیقات فراوانی را در این خصوص انجام داده‌اند [۲۴]. تحقیقات انجام شده اکثراً بر روی تنه‌زدگی ساختمان‌های مجاور با فاصله بسیار کم و نحوه جلوگیری از آن تمرکز نموده‌اند. در این مقاله نیز استفاده از میراگرهای سیال برای اتصال ساختمان‌های مجاور با فاصله معین جهت استهلاک پاسخ زمین لرزه بررسی خواهد شد.

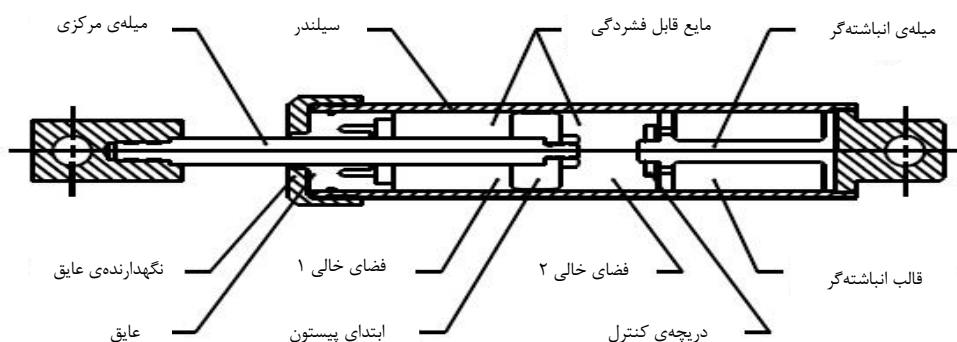
در این گونه سیستم‌ها، عامل کنترل کننده ارتعاش در محل مناسبی از سازه قرار می‌گیرد و عملاً تا قبل از تحریک سازه، به صورت غیرفعال است. هاسنر و همکاران در سال ۱۹۹۴ اشاره کردند که سیستم‌های کنترلی غیرفعال انرژی حاصل از بارگذاری دینامیکی را مصرف می‌نمایند. تمامی دستگاه‌های کنترلی غیرفعال دارای سختی و میرایی بوده تا هم بتوانند انرژی موجود را مستهلک نموده و هم محدودیت تغییر مکان ساختمان‌ها نسبت به یکدیگر را تامین نمایند. این سیستم‌ها بوسیله نیروهای کنترلی و مشخصات ثابت خود شناخته می‌شوند. مزیت دیگر این سیستم‌ها قابلیت نصب دوباره پس از زلزله می‌باشد [۲۵]. سونگ و دارگوش (۱۹۹۷) در مطالعه ای عنوان نمودند که سیستم‌های کنترل غیرفعال شامل میراگرهای فلزی، اصطکاک‌کی، ویسکوالاستیک و ویسکوز سیال، جرمی و سیال تنظیم شونده می‌باشد. این میراگرها جهت تقویت ساختمان در مقابل بارهای جانبی نصب می‌گردند. یکی از دستگاه‌های مهم میراگر در سیستم‌های کنترلی غیر فعال جداسازهای لرزه ای می‌باشند [۲۶]. کی و چانگ (۱۹۹۵) از میراگرهای ویسکوز استفاده نمودند که مزایای مهمی داشت. برخی از این مزایا عبارتند از: هزینه نگهداری بسیار کم و طول عمر و قابلیت اعتماد بالا. نمایی شماتیک از میراگر ویسکوز استفاده شده در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد [۲۷].



شکل ۱: نمایی شماتیک از میراگر تکمیل شده (تیلور و کنستانتین، ۱۹۹۸)

مقاومت بالای سیالات ویسکوز در مقابل جریان اساس کار میراگرهای ویسکوز می‌باشد. سرعت تغییر شکل یک میراگر ویسکوز سیال متناسب با نیروهای وارده می‌باشد [۲۸].

میراگرهای ویسکوز سیال عملکردی مشابه کمک فنرهای وسایل نقلیه دارند. شکل ۲ نمونه ای از میراگر ویسکوز سیال را نشان می‌دهد. این میراگرها از سیلندری با محتویات یک سیال مثل روغن تشکیل شده اند. در داخل این سیلندرها پیستونی با چند سوراخ و روزنه عمل می‌نماید که به میله پیستون متصل شده است. این میراگر با حرکت پیستون در داخل دریچه‌های دارای سیال ویسکوز عمل می‌کند. شکل و اندازه سوراخ‌های سر پیستون و همچنین میزان ویسکوزیته سیال به کار رفته می‌تواند میزان انرژی و نیروی قابل تحمل را تحت تاثیر قرار دهد.

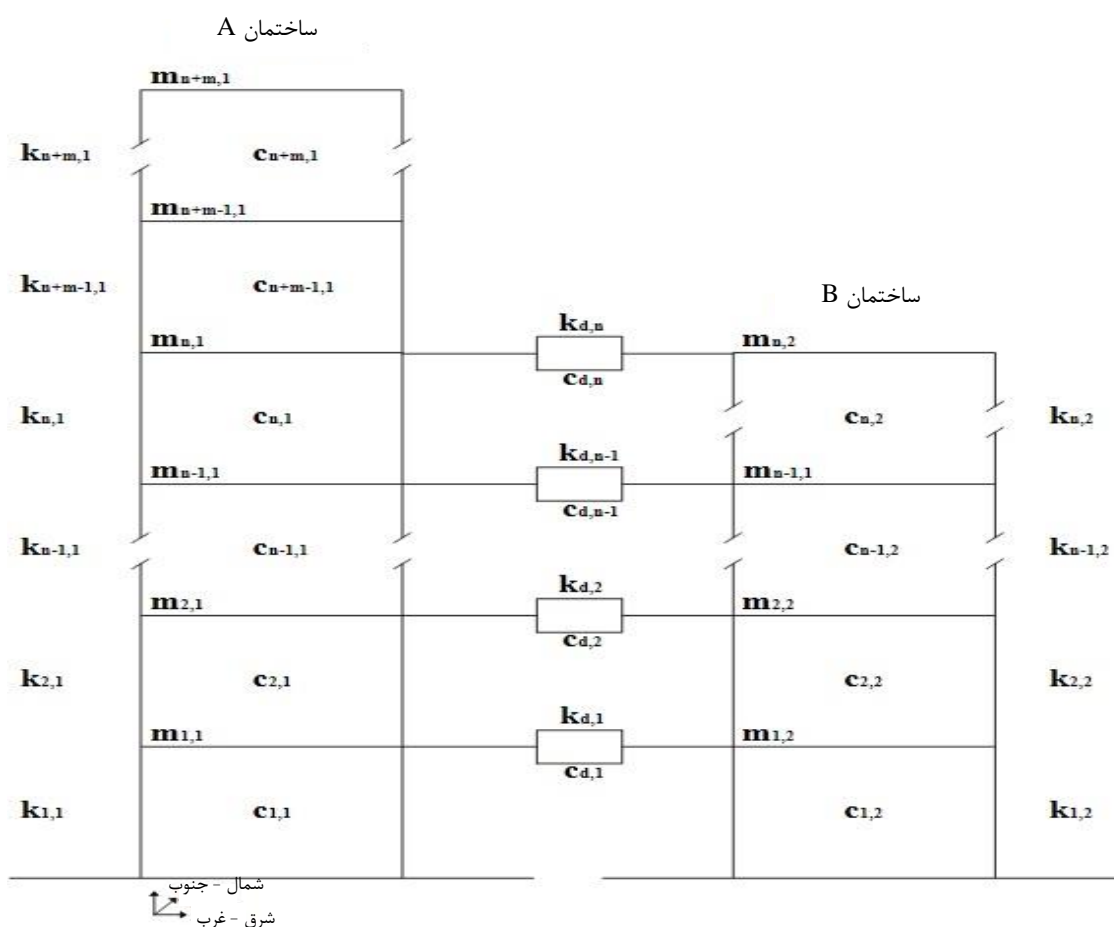


شکل ۲: نمونه ای از میراگر ویسکوز سیال (تیلور و کنستانتین، ۱۹۹۸)

تنش‌ها و تغییر شکل‌های ساختمان در هنگام اعمال بار دینامیکی بوسیله این میراگرها کاسته می‌شود. میراگرها با اعمال نیروی متضاد به المان‌های سازه ای نیروی وارده از طرف آنها را خنثی نموده و آن را مستهلک می‌کند. در صورت عدم استفاده از میراگر، المان‌های سازه ای بخصوص ستون‌ها به شدت تحت تنش قرار گرفته و تنش آنها ماکزیمم می‌باشد، همچنین میزان جا به جایی آنها در زمان زلزله بالا خواهد بود [۲۹].

با استفاده از میراگر و به هنگام جا به جایی و خم شدگی ماکزیمم ستون ها، میزان نیروی میراگر ماکزیمم خواهد بود. میراگرهای ویسکوز سیال به دلیل عملکرد بسیار مناسبشان به بقیه روشها ترجیح داده می شوند. برای اتصال میراگرها به ساختمان، روشهای مختلفی وجود دارد. نحوه اتصال میراگرهای سیال در ساختمانهای مجاور هم در سالهای اخیر تغییر کرده است.

در این مطالعه فرمول بندی معادلات حرکت با چند درجه آزادی برای ساختمانهای متصل با میراگرهای ویسکوز سیال تحت تاثیر تحرکات لرزه ای ارائه می گردد. ساختمان A و B به ترتیب دارای  $n + m$  طبقه هستند (شکل ۳). جرم، میرایی، و سختی برشی برای طبقه  $i$  را می توان به ترتیب به صورت  $m_{i,1}$ ،  $c_{i,1}$  و  $k_{i,1}$  برای ساختمان A و  $m_{i,2}$ ،  $c_{i,2}$  و  $k_{i,2}$  برای ساختمان B نشان داد. سختی میراگر سیال و ضریب میرایی در طبقه  $i$  ام را نیز می توان بصورت  $k_{d,i}$  و  $c_{d,i}$  نشان داد.



شکل ۳: مدل سازه ای ساختمانهای متصل شده با میراگرها

مدل دینامیکی برای ساختمانهای متصل شده دارای  $2n + m$  درجه آزادی می باشد. معادله حرکت برای این سیستم بشرح زیر می باشد:

$$M\ddot{Y} + (C + C_d)\dot{Y} + (K + K_d)Y = -MI\ddot{Y}_g \quad (1)$$

در این معادله،  $M$ ،  $C$  و  $K$  به ترتیب، ماتریس جرم، میرایی، و سختی ساختمانهای مجاور می باشد.  $C_d$  و  $K_d$  نیز ماتریسهای میرایی و سختی اضافی بوده که با اضافه کردن میراگر ویسکوز سیال اضافه می گردد.  $Y$  بردار جابه جایی نسبی نسبت به زمین می باشد که شامل

جابه‌جایی ساختمان A در طبقات اول  $m+n$  و جابه‌جایی ساختمان B در  $n$  طبقه آخر می‌باشد.  $I$  در اینجا عبارت است از ماتریس واحد.  $\ddot{Y}_g$  نیز شتاب زلزله در فونداسیون ساختمان‌های مجاور متصل به هم می‌باشد.

### ۳- ساختمان‌های نمونه بررسی شده

این مطالعه جابه‌جایی ساختمان‌های مجاور را از دیدگاه تحلیلی و با در نظر گرفتن اثر میراگرهای ویسکوز سیال بررسی می‌نماید. در این مطالعه یک مدل خطی برای سازه‌های مجاور با در نظر گرفتن خطی بودن هندسی و مصالح توسعه داده شده است. یک مدل اجزای محدود سه بعدی تعریف شده و تحلیل تاریخچه زمان خطی انجام شده است تا رفتار لرزه ای سازه‌های مورد مطالعه بررسی شود. در این مقاله از نرم افزار SAP 2000 برای تحلیل خطی تاریخچه زمان سازه‌ها استفاده شده است. نرم افزار SAP 2000 [۳۰] برای مدلسازی اثرات میراگرهای ویسکوز سیال در سازه‌ها قابل استفاده بوده و از پارامترهای خطی میراگرهای ویسکوز سیال استفاده می‌نماید. در نرم افزار معادلات حرکت حل با استفاده از روش گام به گام نیومارک و با فرض تغییر خطی شتاب در بازه زمانی کوچک حل می‌گردد. اگرچه فرض بر این است که هر دو ساختمان مجاور در صفحات متقارن هستند، پیچش کمی می‌تواند به دلیل اتصال آنها بوسیله میراگر بوجود بیاید. با این وجود در این مقاله از اثر پیچش سازه‌های مجاور متقارن چشم پوشی شده است.

زمین لرزه‌های ثبت شده با مدت زمان مشابه برای بررسی رفتار میراگرهای ویسکوز سیال استفاده شده است. تاریخچه زمان‌های ۱۹۴۰ ال سنترو، ۱۹۹۴ نورث ریچ، ۱۹۹۵ کوبه و ۱۹۸۹ لوما پریتا برای تحلیل دینامیکی نمونه‌های مورد بررسی در این مقاله استفاده خواهند شد. حداکثر مقدار شتاب زمین در زمین لرزه‌های السنترو، کوبه، نورث ریچ و لوما پریتا به ترتیب  $0.3495g$ ،  $0.8337g$ ،  $0.8428g$  و  $0.47g$  می‌باشد (g شتاب حاصل گرانش می‌باشد). این دو زمین لرزه دارای بزرگی ۷.۱ و ۶.۸ در مقیاس ریشتر بودند. این زلزله‌ها دارای مدت زمان ۶۰ ثانیه بودند که در ۳۰۰۰ بازه زمانی ۰.۰۲ ثانیه ای ثبت شده اند. بدون تغییر زمان کل، بازه‌های زمانی را می‌توان تغییر داد تا فرکانس غالب حرکت زمین را تغییر داد. برای مثال، شرایط حاکم در حضور خاک نرم و سست را با افزایش بازه زمانی می‌توان نشان داد، و شرایط خاک قوی با سنگی را با کاهش بازه زمان ( $\Delta t$ ) اتفاق می‌افتد. با این وجود در این مقاله، بازه زمانی  $\Delta t = 0.02$  ثانیه انتخاب شده است. پاسخ‌های تاریخچه زمانی شامل جابه‌جایی‌های افقی، سرعت، شتاب و نیروهای داخلی تمامی گره‌ها و اعضای سازه ای در تمام درجات آزادی محاسبه شده است.

برای بهبود رفتار دینامیکی ساختمان‌های مجاور متفاوت متصل شده با میراگرها، ۲ مدل نمونه اصلی در این مقاله بررسی می‌گردد. مثال نمونه شماره ۱ دو ساختمان ۵ طبقه متصل شده به هم با میراگر خواهد بود که در شکل ۴ نمایش داده شده است. مثال شماره ۲ یک ساختمان ۱۰ طبقه بوده که بوسیله میراگرهای ویسکوز سیال به یک ساختمان ۵ طبقه متصل شده است. نحوه اتصال در شکل ۴ نمایش داده شده است. برای بررسی بیشتر اثربخشی میراگرهای ویسکوز سیال، مثال‌های ساختمان‌های مجاور اشاره شده برای دو حالت با سختی یکسان و سختی متفاوت بررسی می‌شوند. دو سناریو بررسی خواهد شد که سناریو اول بیانگر حالتی است که دو ساختمان مجاور دارای سختی‌های متفاوت می‌باشند و در سناریو دوم ساختمان‌های متصل شده دارای سختی یکسان فرض خواهند شد. سناریوی اول با a و سناریوی دوم با b مشخص می‌شود. به عنوان مثال، شماره 1a شامل دو ساختمان ۵ طبقه مجاور خواهد بود که دارای سختی‌های متفاوت هستند و مثال شماره 1b دو ساختمان ۵ طبقه مجاور خواهد بود که دارای سختی‌های یکسان می‌باشند. در این مثال ارتفاع طبقات ۱ متر بوده، همچنین فاصله بین دو ساختمان از هم ۸ متر در نظر گرفته شده است.



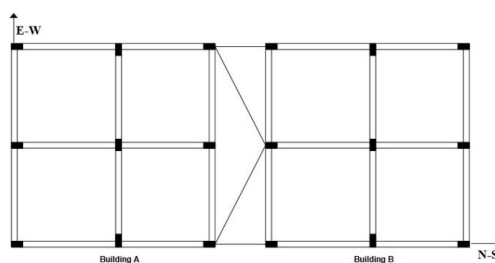
شکل ۴: نمایی شماتیک از ساختمانهای مجاور در چهار مثال اصلی

در این مقاله دو میراگر ویسکوز سیال که با حروف اختصاری D1 و D2 نشان داده خواهند شد استفاده خواهند شد. خو و همکاران (۱۹۹۹) در مطالعه ای مقدار ضریب میرایی را در حدود  $1 \times 10^6 N \times s/m$  برای ساختمانهای مجاور تعیین کردند. در این مقاله برای دو نوع میراگر، ضریب میرایی در ۲ مدل اصلی به ترتیب  $c_d = 0.25 \times 10^6 N \times s/m$  و  $c_d = 0.85 \times 10^6 N \times s/m$  در نظر گرفته می شود. جدول شماره ۱ اندازه تیر و ستونها را در ساختمانهای نمونه اشاره شده نشان می دهد.

جدول ۱: ابعاد تیرها و ستون در ساختمانهای مجاور در هر دو مدل

شماره	ارتفاع تیر (mm)	عرض تیر (mm)	ابعاد ستون (mm)	ارتفاع تیر (mm)	عرض تیر (mm)	ابعاد ستون (mm)
1a	600	250	600X300	500	250	500X300
1b	500	250	500X300	500	250	500X300
2a	600	250	600X300	500	250	500X300
2b	500	250	500X300	500	250	500X300

شکل ۵: پلان شماتیک تیرها و ستونها را در ساختمانهای مجاور و محل نصب میراگرها را برای هر دو مدل، نشان می دهد.



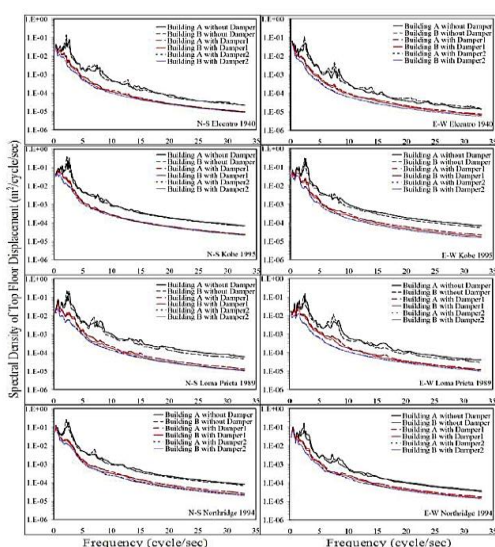
شکل ۵: نمای شماتیک پلان تیرها و ستونها در ساختمانهای مجاور متصل شده برای هر دو مدل



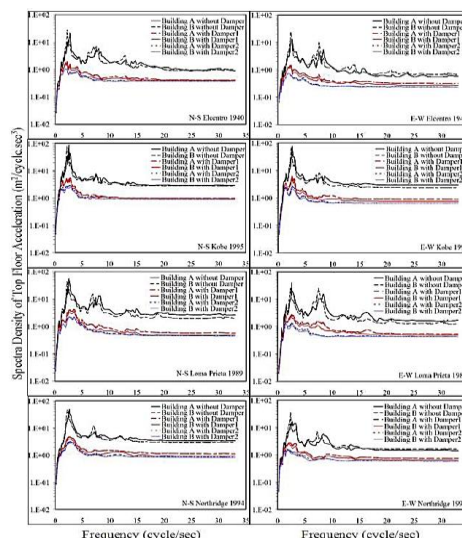
## ۴- نتایج فرکانس و دامنه زمانی

## ۴-۱- نتایج بخش فرکانس

در بخش اول تحلیل ساختمان‌های مجاور طیف پاسخ ساختمان‌ها برای آنالیز پاسخ استفاده شده است. برای این منظور از (زلزله‌های ۱۹۴۰ سنتر، ۱۹۹۴ نورث‌ریچ، ۱۹۹۵ کوبه و ۱۹۸۹ لوما پریتا) استفاده شده است. در این بخش نمودارهای جا به جایی - فرکانس و شتاب - فرکانس ارائه می‌شود. دو نوع میراگر (D1, D2) با ضرایب میرایی متفاوت در این مدل‌سازی‌ها استفاده شده است. از چگالی طیفی ساختمان‌های متصل نشده، دو فرکانس طبیعی ساختمان A را می‌توان در نقاط عطف برای زلزله‌های مربوط تعریف نمود. به عنوان مثال، در زلزله لوما پریتا ۱۹۸۹ در جهت شمال - جنوب، فرکانس طبیعی ۳.۲ و ۶.۸۲ هرتز تعریف شده است. فرکانس طبیعی سوم نیز بالاتر از ۳۰ هرتز برای ساختمان A تعریف شد. سه فرکانس طبیعی ساختمان B نیز به ترتیب ۲.۶۹، ۶.۶۷ و بالای ۳۰ هرتز تعیین گردید. به راحتی می‌توان در شکل ۶ مشاهده نموده که با افزایش فرکانس طبیعی ساختمان‌ها ماکزیمم جا به جایی ساختمان‌های متصل نشده کاهش می‌یابد. همان گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود نمودارهای سمت چپ در هر قسمت مربوط به پاسخ در جهت شمال-جنوب و نمودار سمت راست مربوط به پاسخ در جهت شرق-غرب می‌باشد. همچنین از بالا به پایین پاسخ‌ها به ترتیب مربوط به زلزله‌های سنتر، کوبه، لوما پریتا و نورث‌ریچ می‌باشند.



ب



الف

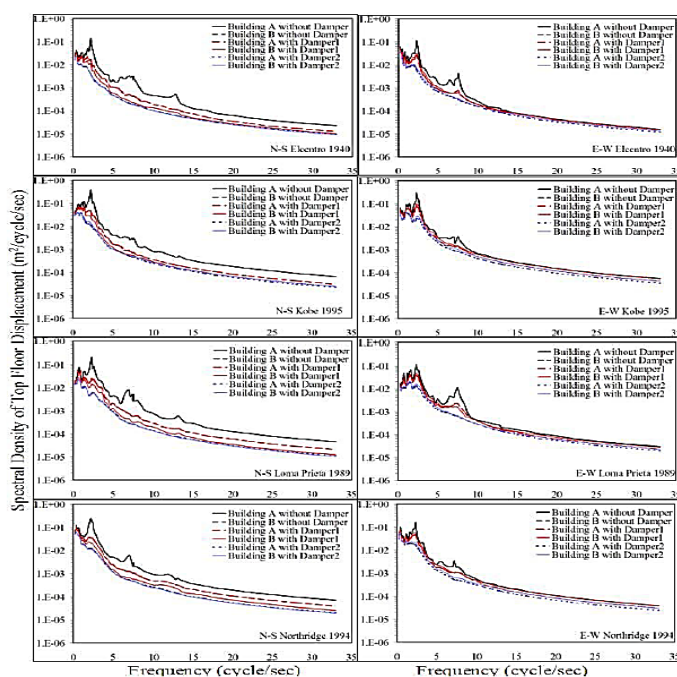
شکل ۶: الف: چگالی طیفی شتاب طبقه آخر دو ساختمان متصل شده برای مثال 1a در دو جهت

ب: چگالی طیفی جا به جایی طبقه آخر دو ساختمان متصل شده برای مثال 1a در دو جهت

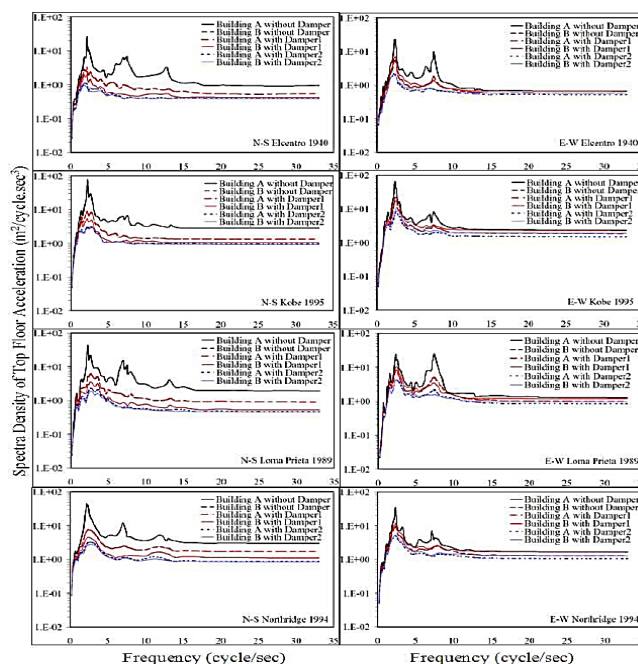
چگالی طیفی شتاب آخرین طبقه برای ساختمان‌ها در شکل ۶-الف نشان داده شده است. نقاط ماکزیمم توابع چگالی طیفی برای هر دو ساختمان که متصل نشده اند با افزایش فرکانس طبیعی تقریباً برابر مانده است، بجز زلزله ۱۹۹۵ کوبه. در زلزله کوبه، نقاط ماکزیمم با افزایش فرکانس طبیعی کاهش یافته است. این موضوع نشان دهنده تاثیر قابل توجه ارتعاش بالا بر پاسخ شتاب ساختمان‌های کنترل نشده در زلزله‌های مربوط باشد. قانون حرکت دوم نیوتون تاثیر ارتعاش بر پاسخ شتاب را تایید می‌کند. همچنین نصب میراگر ویسکوز سیال برای اتصال دو ساختمان نشان می‌دهد که منجر به کاهش عمده نقاط ماکزیمم شده است. اگرچه چگالی طیفی جا به جایی آخرین طبقه هر دو ساختمان به مقدار قابل توجهی و در هر دو جهت کاهش یافته است. همانطور که مشاهده می‌شود چگالی طیفی جا به جایی آخرین

طبقه متصل شده با میراگر D2 کوچکتر از ساختمان‌های متصل شده با میراگر D1 می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌گردد تفاوت زیادی بین کوچکترین فرکانس طبیعی برای دو ساختمان وجود ندارد. با این وجود، فرکانس دوم ساختمان A متصل شده با میراگر D1 به مقدار اندکی کاهش یافته است و به ۱ هرتز رسیده است. مشاهده می‌شود که در زلزله لوما پریتا تمامی جا به جایی‌ها در جهت شرق غرب با نصب میراگرها به مقدار زیادی کاهش یافته است.

برای مثال 1b، همانطور که در شکل ۷-الف دیده می‌شود، نقطه اوج شتاب طبقه آخر برای ساختمان B با میراگر D1 کوچکتر از ساختمان A با میراگر D1 به دست آمده است. چگالی طیفی جابه‌جایی طبقه آخر ساختمان A و ساختمان B بدون میراگر به دلیل دارا بودن ارتفاع و سختی برشی یکسان مشابه می‌باشد (شکل ۷-ب). با توجه به شکل، مقدار چگالی طیفی جا به جایی طبقه آخر برای هر دو ساختمان متصل شده با وجود مشخصات یکسان، با افزایش فرکانس طبیعی به مقدار اندکی تغییر یافته است. با این وجود در جهت شرق - غرب، تفاوت چندانی بین حالت بدون میراگر و با میراگر دیده نمی‌شود.



ب



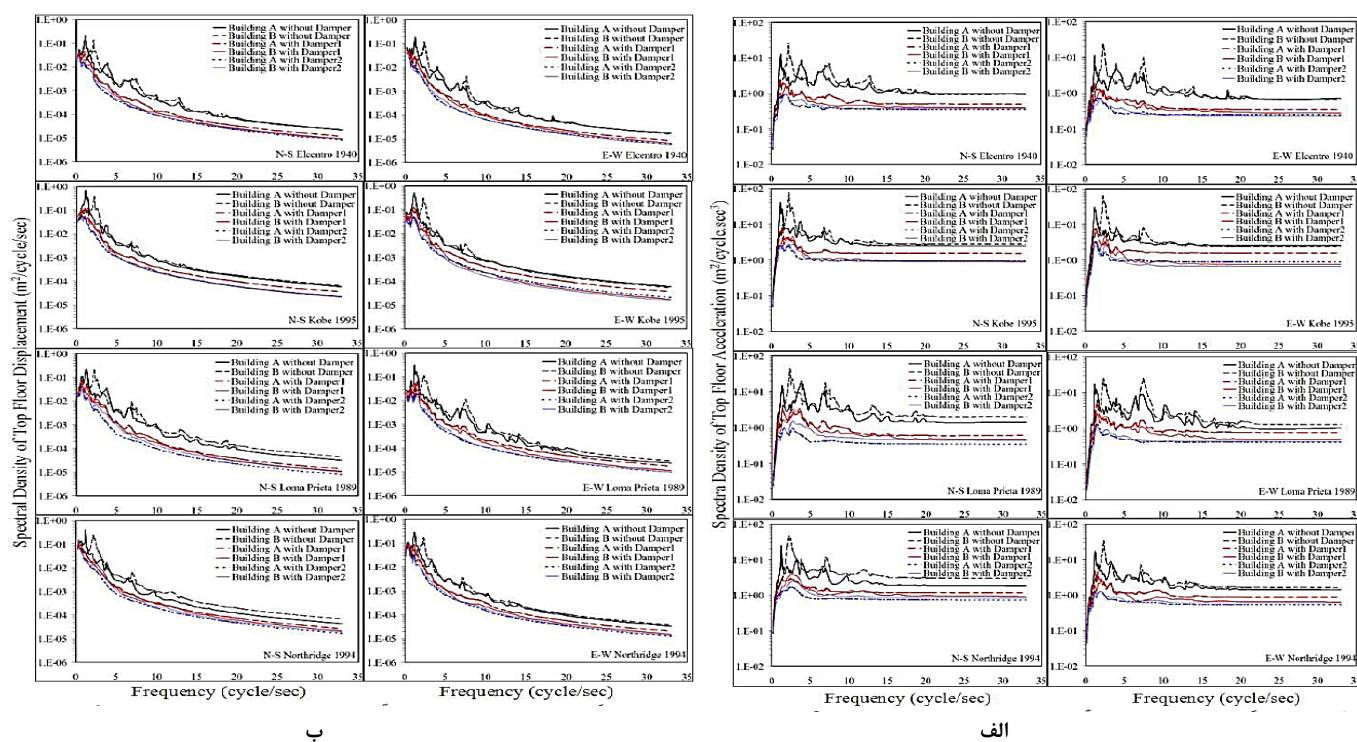
الف

شکل ۷: الف: چگالی طیفی شتاب طبقه آخر ساختمان‌های مجاور برای مثال 1b در دو جهت

ب: چگالی طیفی جا به جایی طبقه آخر دو ساختمان متصل شده برای مثال 1b در دو جهت

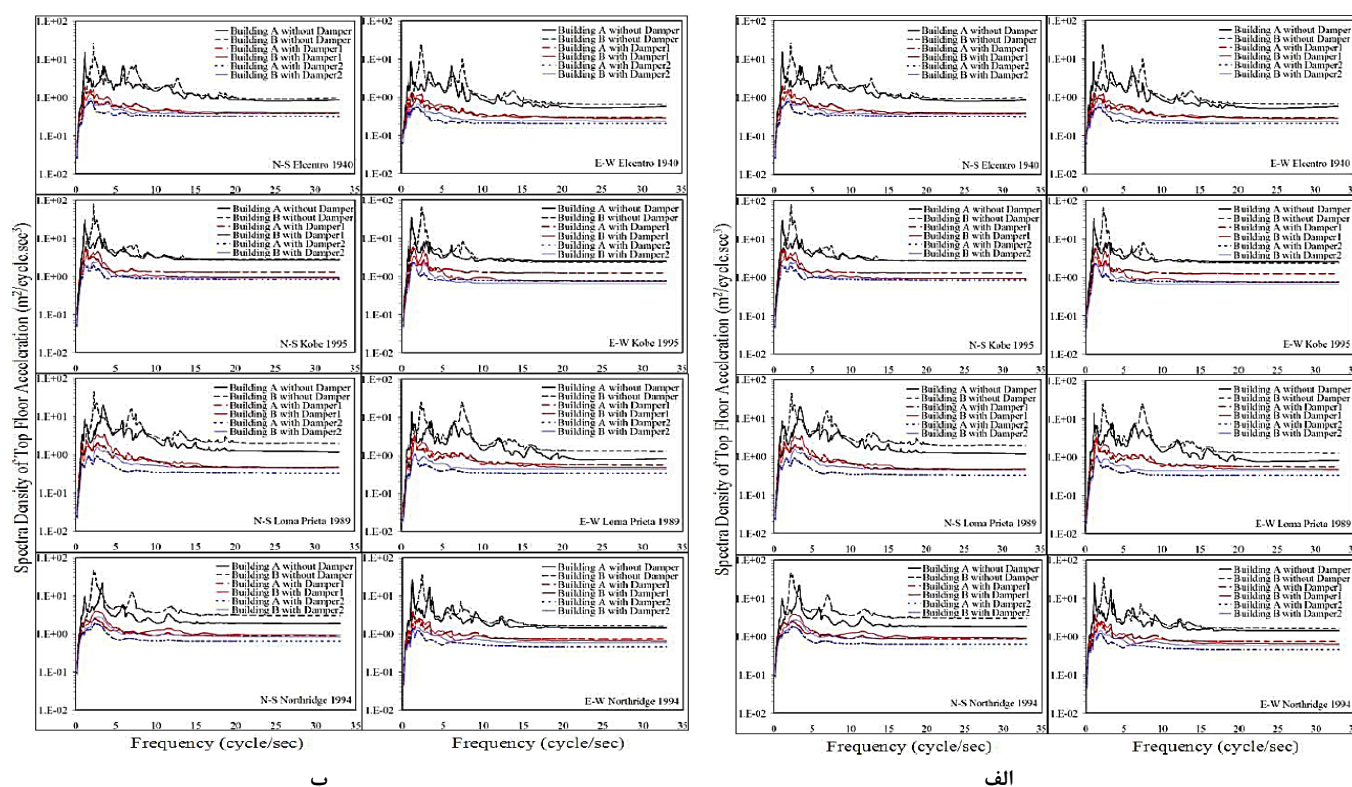
چگالی طیفی شتاب آخرین طبقه برای مثال 2a در شکل ۷-الف نشان داده شده است. با توجه به شکل، نقاط اوج نمودارها در ساختمان A و با افزایش فرکانس کوچکتر شده است. اما نقاط اوج در ساختمان B و در زلزله لوما پریتا و نورث ریچ افزایش یافته است. همچنین با توجه و دقت در نمودارها می‌توان فهمید که پس از استفاده از میراگرها در ساختمان B کاهش نقاط اوج بیشتر شده است. می‌توان نتیجه گرفت که در ساختمان‌های مجاور متصل شده با ارتفاع متفاوت، عملکرد میراگرهای ویسکوز سیال برای ساختمان‌های با ارتفاع متوسط کمتر از ساختمان‌های کوتاه می‌باشد. در مثال 2a، شکل ۸-ب توابع چگالی طیفی جا به جایی طبقه آخر ساختمان‌های متصل شده را در حالات با میراگر و بدون میراگر نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۸-ب سه فرکانس طبیعی اول در زلزله‌های مرتبط به آسانی قابل مشاهده است. در ساختمان A بدون میراگر، در جهت شمال جنوب و زلزله لوما پریتا ۱۹۸۹، سه فرکانس طبیعی به ترتیب، ۰.۹، ۲.۷ و ۶.۸ هرتز تعیین گردید، در حالی که در حالت استفاده از میراگر این سه فرکانس به ترتیب، ۱.۱، ۲.۸ و ۷ هرتز تعیین شدند. برای ساختمان B بدون استفاده از میراگر، در جهت شمال جنوب و در زلزله لوما پریتا ۱۹۸۹، سه فرکانس طبیعی ۱.۱، ۳.۶ و ۶.۵ هرتز بدست آمدند در حالی که

پس از استفاده از میراگر D1 این سه فرکانس به ۱، ۲.۹ و ۶.۴ تغییر پیدا کرد. جا به جایی‌ها در فرکانس پایین برای ساختمان B متصل شده با میراگرها با افزایش فرکانس و در تمامی زلزله‌ها کمتر شده است. ارزیابی کلی نتیجه‌های به دست آمده برای فرکانس‌ها نشان می‌دهند که میراگرهای استفاده شده برای ساختمان‌های با ارتفاع کمتر بهتر عمل نموده و جا به جایی‌ها را در فرکانس‌های پایین و بالا بیشتر کاهش داده است. شکل ۹-الف چگالی طیفی شتاب آخرین طبقه را برای ساختمان‌های مجاور در مثال 2b و در دو جهت نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان نتیجه گرفت که میراگر دوم (D2) میزان شتاب را بیشتر از میراگر اول (D1) کاهش داده است. شکل ۹-ب چگالی طیفی جا به جایی آخرین طبقه را برای ساختمان‌های مجاور در مثال 2b را در دو جهت نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود با اینکه هر دو ساختمان دارای مشخصات یکسانی از نظر سختی برشی و ضرایب میرایی دارند، اما میزان کاهش نقاط اوج در ساختمان B به دلیل ارتفاع متفاوت کمتر از ساختمان A است.



شکل ۸: الف: چگالی طیفی جا به جایی طبقه آخر ساختمان‌های مجاور برای مثال 2a در دو جهت

ب: چگالی طیفی شتاب طبقه آخر ساختمان‌های مجاور برای مثال 2a در دو جهت



شکل ۹: الف: چگالی طیفی شتاب طبقه آخر ساختمان‌های مجاور برای مثال 2b در دو جهت

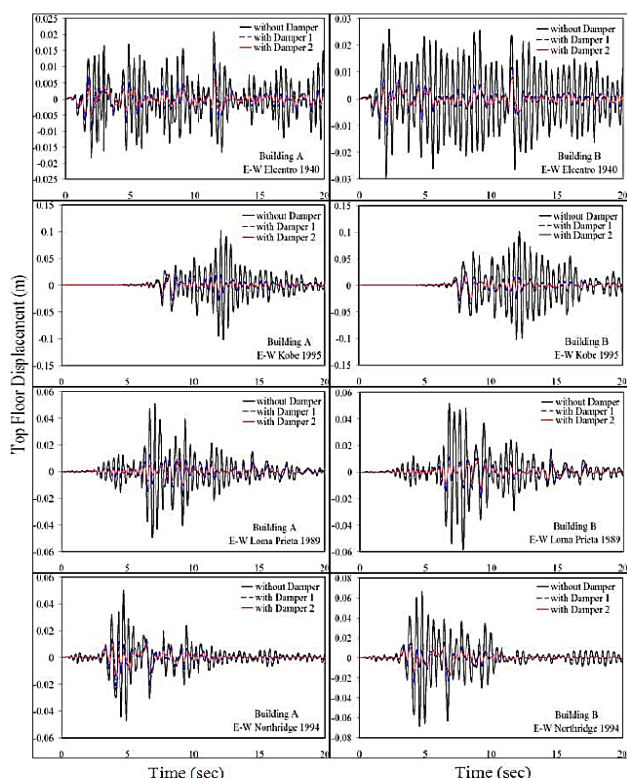
ب: چگالی طیفی جا به جایی طبقه آخر ساختمان‌های مجاور برای مثال 2b در دو جهت

در حالت کلی، بررسی چگالی طیفی نتیجه‌ها بیان‌گر اثرگذاری موثر میراگرها بر میزان جا به جایی ساختمان‌های نمونه است. عامل‌هایی مانند نوع میراگر و ارتفاع ساختمان بر میزان اثرگذاری میراگرهای قرار داده شده بین دو ساختمان مجاور نقش دارند.

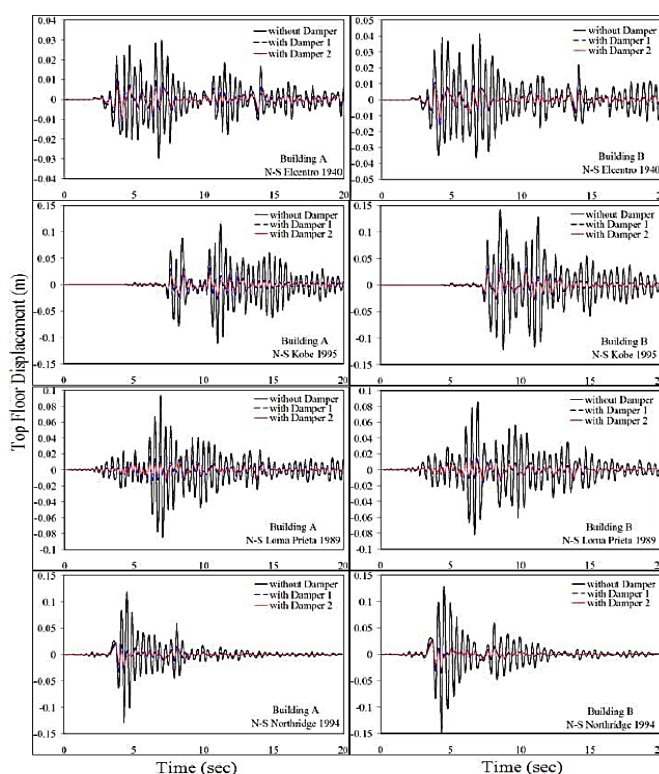
## ۲-۴- نتایج بخش دامنه زمانی

در بخش دوم تحلیل کامپیوتری در این مقاله، نمودارهای جا به جایی - زمان و شتاب - زمان استخراجی از نرم افزار SAP 2000 ارائه می‌شود. در این بخش نمودارهای جا به جایی - زمان و شتاب - زمان برای همه مثال‌ها به صورت جداگانه ارائه خواهد شد تا اثربخشی میراگرهای متصل کننده بررسی گردد. برای بررسی جابه‌جایی‌ها، ساختمان‌های متصل شده در تمامی مثال‌ها با در نظر گرفتن اعمال حرکت زمین و تاریخچه زمانی شتاب چهار زلزله مد نظر بررسی خواهند شد. همچنین برای بررسی نیروی برشی، ساختمان‌ها تحت حرکت زمین در حین زلزله و تاریخچه زمانی شتاب زلزله‌های مد نظر بررسی خواهند شد.

برای مثال اول، تاریخچه زمانی جا به جایی ساختمان‌های مجاور در شکل ۱۰-الف نشان داده شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است در سه ثانیه اول، جا به جایی هر دو ساختمان، کاهش نیافته است. با این وجود از ثانیه ۳ تا ۱۰، در زلزله لوما پریتا، پاسخ ماکزیمم جا به جایی کاهش یافته است. میزان این کاهش در محدوده ۴۵ تا ۶۵ درصد برای ساختمان‌های مجاور متصل شده با میراگر DI می‌باشد.



ب



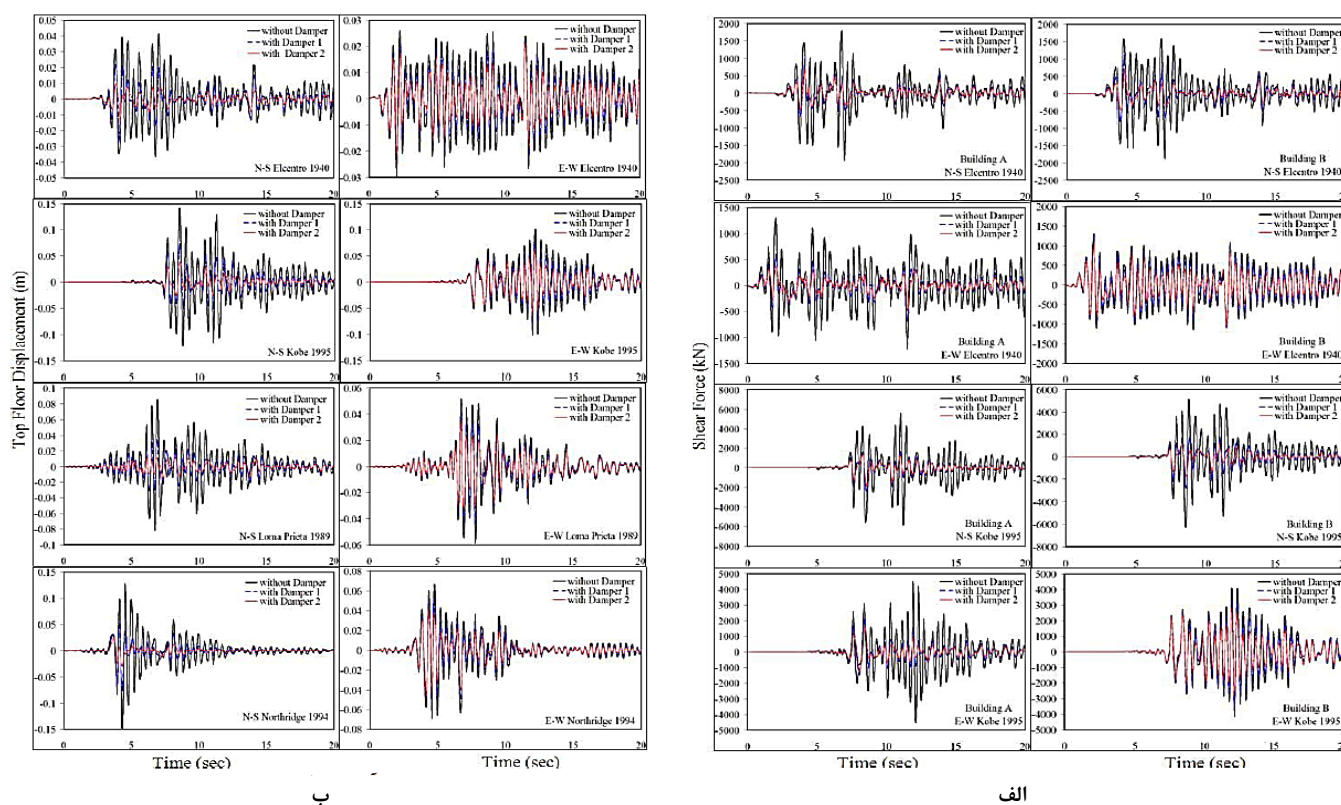
الف

شکل ۱۰: الف: تاریخچه زمانی جا به جایی آخرین طبقه برای ساختمان‌های مجاور برای مثال 1a در جهت شمال - جنوب  
 ب: تاریخچه زمانی جا به جایی آخرین طبقه برای ساختمان‌های مجاور برای مثال 1a در جهت شرق - غرب

شکل ۱۰-ب تاریخچه زمانی جا به جایی آخرین طبقه را برای ساختمان‌های مجاور مثال 1a در جهت شرق - غرب را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود جا به جایی‌های آخرین طبقه برای ساختمان A متصل شده با میراگر D2 کاهش یافته است. میزان این کاهش برای نقطه اوج حدود ۵۰ درصد می‌باشد. همچنین میزان کاهش برای ساختمان B متصل شده با میراگر D2 پس از ۵ ثانیه اول ۶۵ درصد می‌باشد. این کاهش به دلیل کوچک بودن سختی برشی ساختمان B نسبت به ساختمان A می‌باشد.

شکل ۱۱-الف نمودارهای نیروی برشی - زمان را برای مثال 1a در دو جهت نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان متوجه شد که نوسانات نیروی برشی برای ساختمان B و برای زلزله‌های السنترو و کوبه در جهت شرق - غرب و تحت عملکرد میراگرهای D1 و D2 کاهش نیافته است.

شکل ۱۱-ب نمودارهای جا به جایی زمانی را برای مثال 1b در دو جهت نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود هر دو ساختمان به دلیل داشتن خصوصیات یکسان با نصب هر دو نوع میراگر کاهش یکسانی را تجربه کرده‌اند.



شکل ۱۱: الف: نمودار نیروی برشی - زمان در جهت‌های شمال - جنوب و شرق - غرب برای مثال 1a

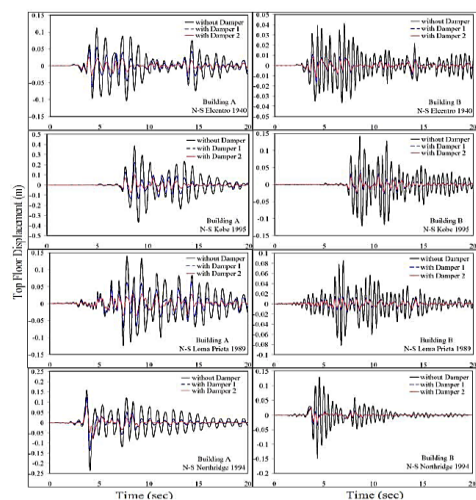
ب: نمودار تاریخچه زمانی جا به جایی آخرین طبقه ساختمان‌های مجاور در دو جهت برای مثال 1b

شکل ۱۲- الف نمودارهای نیروی برشی - زمان را برای ساختمان‌های مجاور مثال 1b در دو جهت نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود میراگرهای ویسکوز سیال در جهت شمال - جنوب نیروهای برشی را کاهش داده اند اما در جهت شرق - غرب فاقد این عملکرد بوده اند. علت این امر را می‌توان در جهت قرارگیری میراگرها در پلان ساختمان دانست. از طرف دیگر، نوع میراگر استفاده شده می‌تواند بر میزان اثرگذاری بر رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های مجاور نقش داشته باشد.

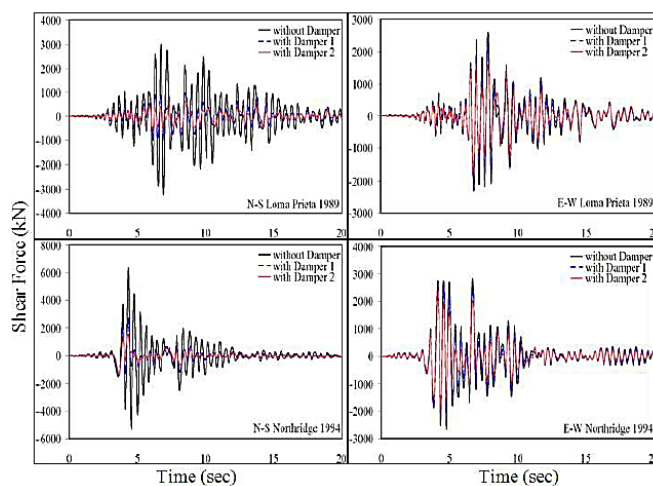
در ادامه و در شکل ۱۲- ب تاریخچه زمانی جا به جایی آخرین طبقه برای مثال 2a و در جهت شمال - جنوب نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در ۱۰ ثانیه اول دامنه جا به جایی ساختمان A متصل شده با میراگر D1 در حدود ۲۰ الی ۴۰ درصد کاهش نشان داده است. همچنین مشاهده می‌شود که به هنگام استفاده از میراگر D2 این کاهش به ۲۵ الی ۶۵ درصد رسیده است (زلزله السنترو).

نمودارهای تاریخچه زمانی جا به جایی آخرین طبقه ساختمان‌های مجاور در جهت شرق - غرب برای مثال 2a در شکل ۱۳- الف نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در این شکل کاهش جا به جایی آخرین طبقه در ساختمان A با سرعت کمتری کاهش یافته است.

شکل ۱۳- ب تاریخچه زمانی پاسخ‌های نیروی برشی پایه را در دو جهت نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که پاسخ نیرو در ساختمان A کاهش چندانی نداشته است.



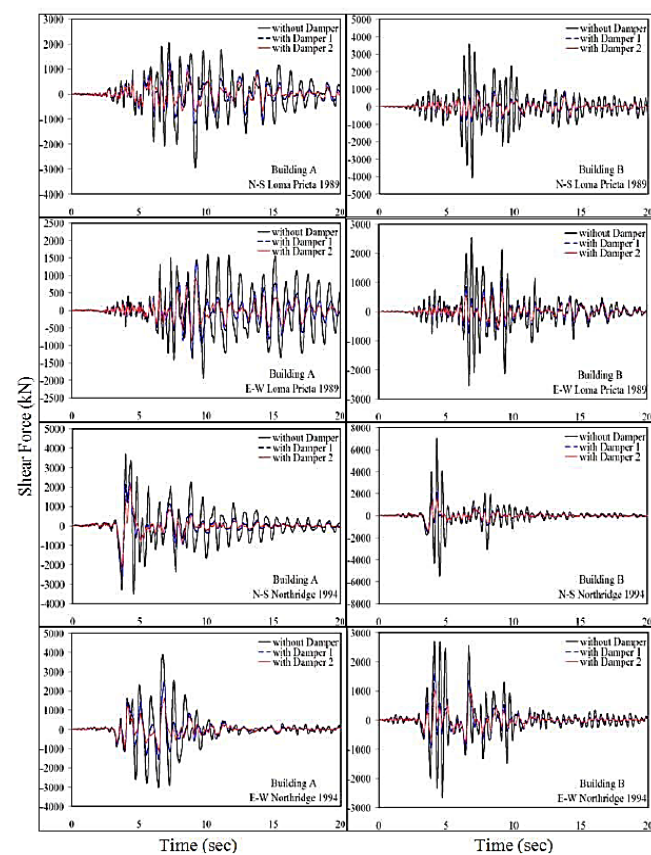
ب



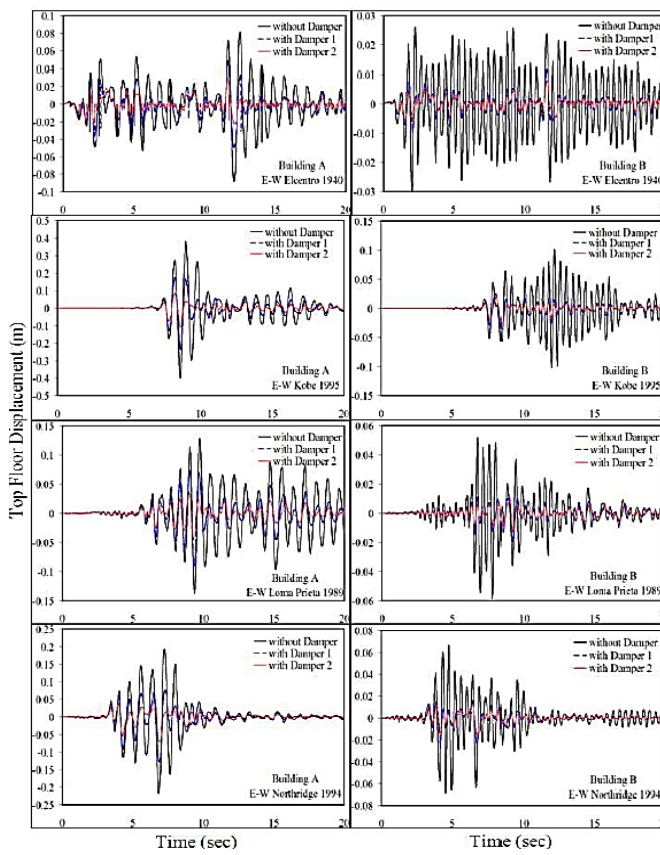
الف

شکل ۱۲: الف: نمودار نیروی برشی - زمان ساختمان‌های مجاور در دو جهت برای مثال 1b

ب: تاریخچه زمانی جا به جایی آخرین طبقه ساختمان‌های مجاور در جهت شمال - جنوب برای مثال 2a



ب

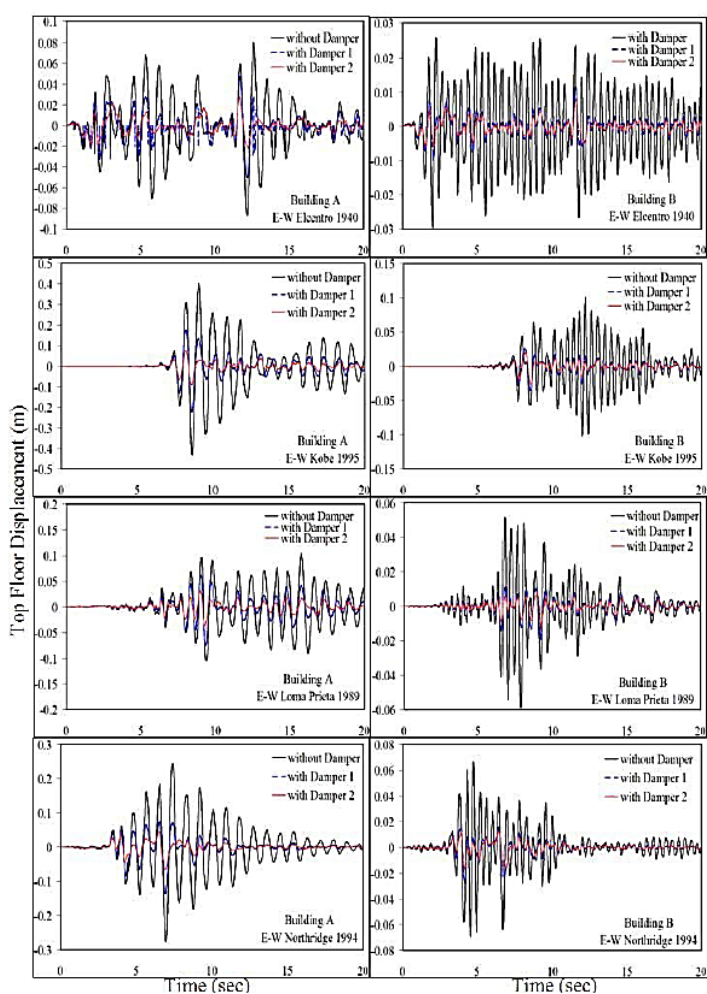


الف

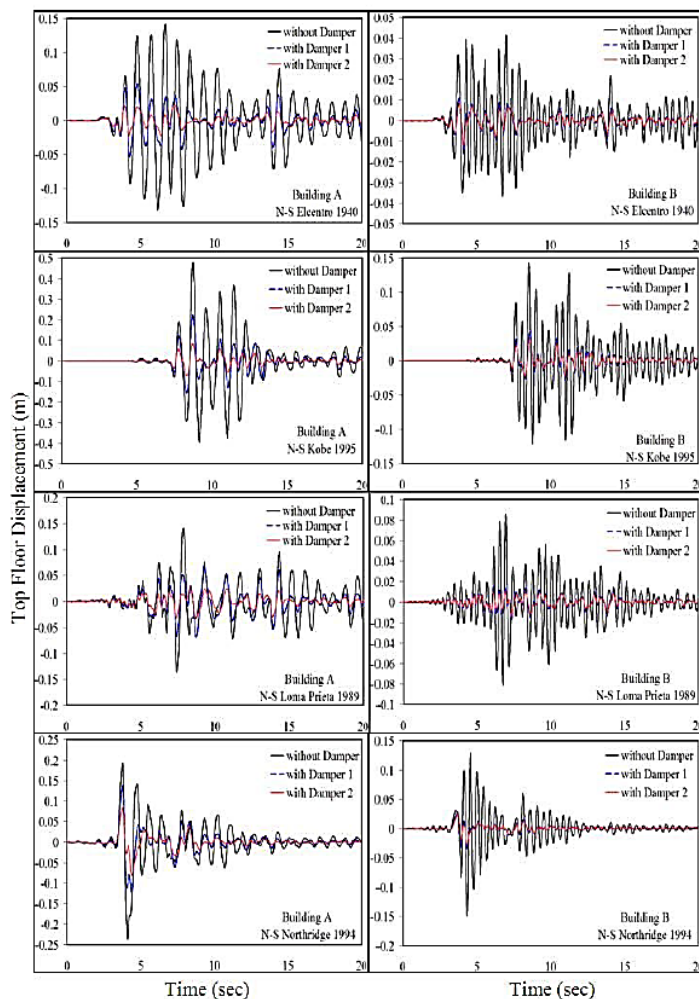
شکل ۱۳: الف: تاریخچه زمانی جا به جایی آخرین طبقه ساختمان‌های مجاور در جهت شرق - غرب برای مثال 2a

ب: نمودار نیروی برشی - زمان ساختمان‌های مجاور در دو جهت برای مثال 2a

تاریخچه زمانی جا به جایی آخرین طبقه ساختمان‌های مجاور برای مثال 2b در جهت شمال - جنوب در شکل ۱۴-الف نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که کاهش جا به جایی در ساختمان B متصل شده با میراگر D2 بیشتر از مشابه آن برای ساختمان A در زلزله نورث ریج بدست آمده است. در جهت شرق - غرب با مقایسه مثال 2b با 1b می‌توان مشاهده نمود که ساختمان B که یک ساختمان ۵ طبقه است کاهش بیشتری در جابه‌جایی دارد (شکل ۱۴-ب). از این رو، در حالت کلی می‌توان بیان کرد که استفاده از میراگرها برای ساختمان‌های مجاور با ارتفاع متفاوت موثرتر از ساختمان‌ها با ارتفاع یکسان می‌باشد.



ب



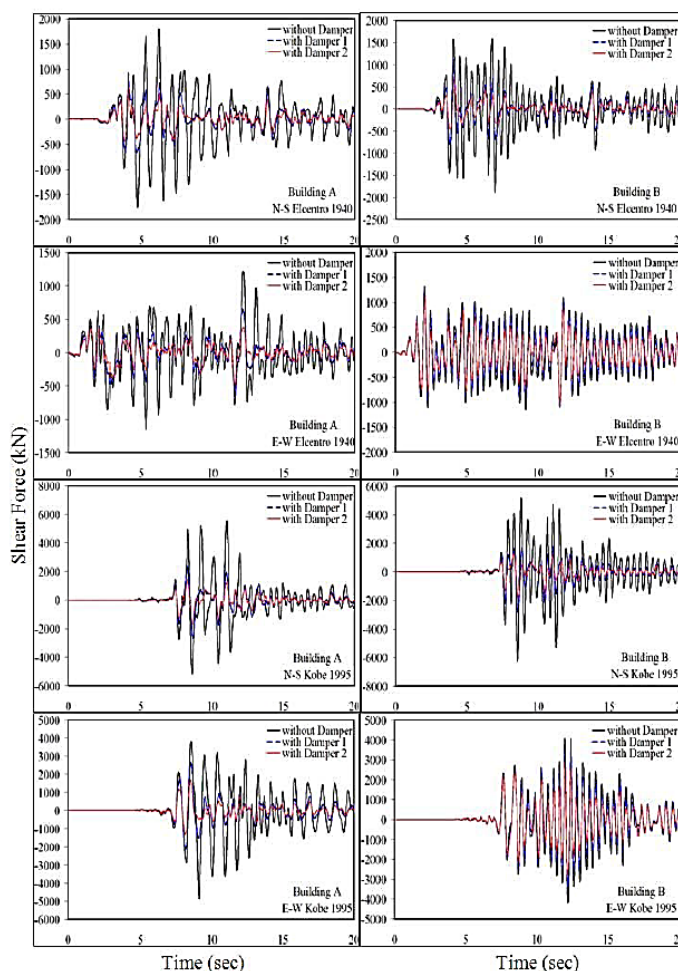
الف

شکل ۱۴: الف: تاریخچه زمانی جا به جایی آخرین طبقه ساختمان‌های مجاور در جهت شمال - جنوب برای مثال 2b

ب: تاریخچه زمانی جا به جایی آخرین طبقه ساختمان‌های مجاور در جهت شرق - غرب برای مثال 2b

شکل ۱۵ نمودارهای نیروی برشی-زمان را در ساختمان‌های مجاور برای مثال 2b در دو جهت نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تفاوت چندانی در نوسانات جا به جایی در جهت شرق - غرب دیده نمی‌شود.





شکل ۱۵: نمودار نیروی برشی - زمان ساختمان‌های مجاور در دو جهت برای مثال 2b

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله تغییرات زمانی جابجایی طبقات و پاسخ‌های برش پایه در تمام طبقات دو ساختمان متصل شده با میراگر ویسکوز سیال، با ضریب میرایی بهینه و ضریب سختی میرایی بهینه بررسی گردید. بطوری‌که به وضوح نقش مهم اثر بخشی میراگرها در کنترل پاسخ‌های زلزله در دو ساختمان مجاور دیده شد. مطابق نتایج اثر میراگرهای ویسکوز سیال برای ساختمان بلند نسبت به ساختمان کوتاه تر، کم رنگ تر است. همچنین این میراگرها برای ساختمان‌های مجاور با ارتفاع‌های مختلف نسبت به ساختمان‌های با ارتفاعات یکسان اثر بخشی بیشتری دارند. در ابتدا نمودارهای دامنه فرکانس بر پایه توابع چگالی طیفی جا به جایی و شتاب ارائه گردید. در مدل مثال ۲ بوضوح مشاهده شد که با استفاده از میراگر برای ساختمان کوتاهتر B عملکرد بهتری از استفاده در ساختمان بلند A دارد. مشاهده شد که میراگرهای متصل کننده برای ساختمان‌های کوتاهتر مفیدتر از ساختمان‌های بلند بودند. در مدل 2b مشاهده شد که با اینکه ساختمان‌ها دارای مشخصات دینامیکی متفاوتی بودند نقاط اوج نمودارها به آرامی تغییر می‌کرد. سپس دامنه زمانی با استفاده از نمودارهای تاریخچه زمانی و نیروی برشی پایه و جا به جایی برای هر چهار مثال ارائه گردید. در مثال ۱ مشاهده شد که نوسانات جا به جایی بصورت قابل توجهی در جهت شمال و جنوب کاهش یافت. در جهت شرق - غرب ساختمان‌های متصل شده و متصل نشده میزان متفاوتی را در کاهش جا به جایی نشان دادند. حداکثر مقدار کاهش در جا به جایی طبقه آخر در مثال ۲ به میزان ۵۰ درصد مشاهده گردید. همچنین نتایج نشان داد که میراگر ۲ که دارای ضریب میرایی بالا تری است از میراگر ۱ سودمندتر است.

## منابع

- [1]. Klein, R. G. and Healy, M. D. (1985) Semiactive control of wind induced oscillations in structures, Proceedings of the 2nd International Conference on Structural Control, Univ. of Waterloo, Ontario, Canada, 187-195. 110
- [2]. Seto, K. (1994). Vibration control method for flexible structures arranged in parallel. In Proc. First World Conference on Structural Control, 2, 62-71.
- [3]. Gurley, K., Kareem, A., Bergman, L. A., Johnson, E. A. and Klein, R. E. (1994) Coupling tall buildings for control of response to wind, Structural Safety and Reliability: Proceedings of ICOSSAR '93, the 6th International Conference on Structural Safety and Reliability, Balkema, Rotterdam, 1553-1560
- [4]. Housner, G. W., Bergman, L. A., Caughey, T. K., Chassiakos, A. G., Claus, R. O., Masri, S. F., Skelton, R. E., Soong, T. T., Spencer, B. F. and Yao, J. T. P. (1997) Structural control: Past, present, and future, Journal of Engineering Mechanics, 123(9), 897-971.
- [5]. Luco, J. E. and Debarros, F. C. P. (1998) Optimal damping between two adjacent elastic structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 27, 649-659.
- [6]. Xu, Y. L., He, Q. and Ko, J. M. (1999) Dynamic response of damper-connected adjacent buildings under earthquake excitation, Engineering Structures, 21(2), 135-148.
- [7]. Christenson, R. E., Spencer, B. F. and Johnson, E. A. (1999) Coupled building control using active and smart damping strategies., Proc., 5th Int. Conf. on Application of Artificial Intelligence to Civil Engineering and Structural Engineering, Edinburgh, Scotland, 187-195.
- [8]. Ni, Y. Q., Ko, J. M. and Ying, Z. G. (2001) Random seismic response analysis of adjacent buildings coupled with non-linear hysteretic dampers, Journal of Sound and Vibration, 246(3), 403-417.
- [9]. Science pan of floods and disasters, (2008), Regional office for Asia and Pacific strengthening International Science for the Benefit of Science.
- [10]. Hadi, M. N. S. and Uz, M. E. (2009) Improving the dynamic behaviour of adjacent buildings by connecting them with fluid viscous dampers, 2nd International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Island of Rhodes, Greece, 280.
- [11]. Zhou H, Sun L, Xing F. Damping of Full-Scale Stay Cable with Viscous Damper: Experiment and Analysis. Adv Struct Eng 2014;17:265-74. doi:10.1260/1369-4332.17.2.265.
- [12]. Adili, E., Normashiri, K., Mastan, M. (2015) Investigation on the presence of viscous dampers in the building movement, 3<sup>rd</sup> international conference in the modern methods in civil engineering, Tehran, Iran.
- [13]. Hadi, M. N., & Uz, M. E. (2015). Investigating the optimal passive and active vibration controls of adjacent buildings based on performance indices using genetic algorithms. Engineering Optimization, 47(2), 265-286.
- [14]. Farghaly, A. A. (2015). Seismic analysis of 3-D two adjacent buildings connected by viscous dampers with effect of underneath different soil kinds. Smart Structures and Systems, 15(5), 1293-1309.
- [15]. Bigdeli, K., Hare, W., Nutini, J., & Tesfamariam, S. (2016). Optimizing damper connectors for adjacent buildings. Optimization and Engineering, 17(1), 47-75.
- [16]. Liu, S., & Shi, W. (2017). Damping Effect of Adjacent Structures Connected with Viscous Dampers Using Shaking Table Test. DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, (icere).
- [17]. Kandemir-Mazanoglu, E. C., & Mazanoglu, K. (2017). An optimization study for viscous dampers between adjacent buildings. Mechanical Systems and Signal Processing, 89, 88-96.
- [18]. Wu, Q. Y., Zhu, H. P., & Chen, X. Y. (2017). Seismic fragility analysis of adjacent inelastic structures connected with viscous fluid dampers. Advances in Structural Engineering, 20(1), 18-33.
- [19]. Impollonia, N., & Palmeri, A. (2018). Seismic performance of buildings retrofitted with nonlinear viscous dampers and adjacent reaction towers. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 47(5), 1329-1351.
- [20]. Pérez, L. A., Avila, S., & Doz, G. (2014). Seismic response control of adjacent buildings connected by viscous and hybrid dampers. In Dynamics of Civil Structures, Volume 4 (pp. 433-440). Springer, Cham.
- [21]. Patel, C. C., & Jangid, R. S. (2014). Dynamic response of identical adjacent structures connected by viscous damper. Structural Control and Health Monitoring, 21(2), 205-224.
- [22]. Tubaldi, E. (2015). Dynamic behavior of adjacent buildings connected by linear viscous/viscoelastic dampers. Structural Control and Health Monitoring, 22(8), 1086-1102.

- [23]. Pargoo, N. S., Hejazi, F., & Jabbar, S. (2017, July). Preventing Seismic Pounding of Adjacent Structures Using Viscous Wall Damper Device. In Global Civil Engineering Conference, 561-577. Springer, Singapore.
- [24]. Bertero, V. V. (1986) Observation of structural pounding, Proceedings of the International Conference on the Mexico Earthquake-1985, ASCE, Mexico City, Mexico, 264-278.
- [25]. Housner, G. W., Soong, T. T. and Masri, S. F. (1994) Second generation of active structural control in civil engineering, Proceedings of the First World Conference on Structural Control, Pasadena, California.
- [26]. Soong, T. T. and Dargush, G. F. (1997) Passive energy dissipation systems in structural engineering, John Wiley & Sons, Chichester, New York.
- [27]. Qi, X. X. and Chang, K. L. (1995) Study of application of viscous dampers in seismic joints, proceeding of the International Conference on Structural Dynamics, Vibration, Noise and Control, Hong Kong.
- [28]. Taylor, D. P. and Constantinou, M. C. (1998) Development and testing of an improved fluid damper configuration for structures having high rigidity, Proceeding of the 69th Shock and Vibration Symposium.
- [29]. Okhovvat., H., Amirkhani, A., Zarkesh, A. and Pourjafar, M. (2015) An introduction to the novel vibration control approaches in tall buildings, Journal of Architecture and Building, 10(1), 49-57.
- [30]. Sarlis AA, Constantinou MC. Modeling triple friction pendulum isolators in program SAP2000. Doc Distrib to Eng Community Together with Ex 2010.