

The rule of viscous damper for behavior improvement and pounding mitigation under random seismic input

Hamed Ahmadi Taleshian¹, Alireza Mirzagoltabar Roshan ^{*2}, Javad Vaseghi Amiri³

1 -Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

2 -Associate Professor, Department of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

3- Professor, Department of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

ABSTRACT

Viscous dampers, as a special type of passive dampers, are efficient tools for seismic improvement of the buildings and eliminating the effects of seismic pounding during earthquakes. Such dampers can be installed between the adjacent buildings or inside them and also at different story levels. This paper attempts to investigate the effects of different damper placements. Accordingly, two single degree of freedom systems connected by viscous dampers were considered first and the dynamic characteristics of the system have been determined. Then, relative displacements of the buildings are compared with damping inside building for one-story models and with free undamped response for two-story models, under ideal white noise seismic input. Absolute accelerations of the one-story buildings are also compared by assigning the Kanai-Tajimi filtered white noise as the input. Results reveal that using dampers between buildings is more suitable than using them inside buildings, as the relative displacement between adjacent buildings would be reduced for lower values of uncoupled frequency ratios of structures and the absolute acceleration would also be significantly reduced for both buildings, rather than just for one of them. Furthermore, use of dampers at the top level would be more beneficial than using them throughout the height of the systems for seismic pounding mitigation.

ARTICLE INFO

Receive Date: 13 May 2019

Revise Date: 13 July 2020

Accept Date: 18 July 2020

Keywords:

Pounding mitigation
Viscous damper
White-Noise analysis
Seismic response
Dynamic Properties

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.185660.1861>.

*Corresponding author: Alireza Mirzagoltabar Roshan
Email address: ar-goltabar@nit.ac.ir

نقش میراگر لزج بر بهبود رفتار و کاهش ضربه ساختمانها تحت ورودی لرزه‌ای تصادفی

حامد احمدی طالبشیان^۱، علیرضا میرزاگل تبار روشن^{۲*}، جواد وثیقی امیری^۳

۱- دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران.

۲- دانشیار گروه سازه، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران

۳- استاد گروه سازه، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران

چکیده

میراگرهای لزج، به عنوان حالت خاصی از میراگرهای غیرفعال، ابزاری سودمند جهت کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها و جلوگیری از برخورد آنها در زمان زلزله می‌باشند که البته می‌توان جانمایی‌های مختلفی، شامل بین دو ساختمان و یا درون آنها و نیز در تراز طبقات مختلف، را برای چنین میراگرهایی لحاظ نمود. مقاله حاضر به بررسی حالت‌های مختلف از این جانمایی‌ها می‌پردازد. بدین منظور ابتدا دو سیستم یک درجه آزادی متصل شده با میراگر لزج مدنظر قرار گرفته و مشخصات دینامیکی مجموعه بررسی می‌گردد. سپس پاسخ تغییرمکان نسبی بین دو سازه یک درجه آزاد متصل شده با پاسخ نظیر حاصل از اضافه نمودن مستقیم میراگر به سازه‌ها تحت ورودی بصورت طیف سفید ایده‌آل با یکدیگر مقایسه می‌گردد. همچنین پاسخ شتاب مطلق دو سازه یک درجه آزادی در دو حالت میراگر بین دو سازه و میراگر درون آنها تحت ورودی طیف فیلتر شده کانای تاجیمی با یکدیگر مقایسه می‌گردد. در ادامه، دو سیستم دو درجه آزاد در دو حالت متصل و آزاد و بازای جانمایی‌های مختلف میراگر بین دو سازه تحت ورودی طیف سفید قرار گرفته و مقایسه نسبی بین آنها صورت می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از میراگر بین دو سازه، ضمن حفظ کاهش تغییرمکان دو سازه و نیز کاهش شتاب مطلق مجموعه، تغییرمکان بین دو سازه کمتری را در نسبت‌های فرکانسی پایین بین دو سازه و در قیاس با میراگر درون ساختمان‌ها بدست خواهد داد. همچنین افزودن میراگر بین دو سازه در تراز طبقات بالاتر سبب کاهش بیشتر در حرکت نسبی دو سازه و نتیجتاً کاهش بیشتر احتمال وقوع برخورد در قیاس با حالتی می‌شود که میراگر بطور یکنواخت در طبقات توزیع شده باشد.

کلمات کلیدی: جلوگیری از ضربه، میراگر لزج، تحلیل طیف سفید، پاسخ لرزه‌ای، مشخصات دینامیکی.

| شناسه دیجیتال: | | سابقه مقاله: | | | | |
|---|---|--------------|---------------|------------|------------------------------------|------------|
| doi: | https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.185660.1861 | چاپ | انتشار آنلاین | پذیرش | بازنگری | دریافت |
| | 10.22065/jsce.2020.185660.1861 | ۱۴۰۰/۰۷/۳۰ | ۱۳۹۹/۰۴/۲۸ | ۱۳۹۹/۰۴/۲۸ | ۱۳۹۹/۰۴/۲۳ | ۱۳۹۸/۰۲/۲۳ |
| علیرضا میرزاگل تبار روشن ar-goltabar@nit.ac.ir | | | | | *نویسنده مسئول: پست الکترونیکی: | |

۱- مقدمه

تاکنون راهکارهای مختلفی برای کنترل حرکت سازه‌ها در زمان زلزله با دو هدف بهبود رفتار لرزه‌ای و جلوگیری از برخورد با سازه‌های مجاور پیشنهاد شده است. یکی از این راهکارها، بکارگیری میراگرهای لزج بین دو سازه و یا درون آنها می‌باشد. تحقیقات در خصوص میراگرهای غیرفعال جهت کاهش پاسخ سازه‌ها در برابر زلزله از اوایل دهه ۹۰ میلادی مدنظر بوده است. از اولین تحقیقات انجام گرفته در زمینه تجهیزات استهلاک انرژی بین دو ساختمان می‌توان به پژوهش کوبوری و همکاران [۱] اشاره نمود که در آن رفتار هیستریزس ناشی از تسلیم فلز به‌عنوان مکانیزم اتلاف انرژی مدنظر قرار گرفت که البته چالش‌های جدی در مورد این نوع از استهلاک انرژی مطرح بوده است. چنین مکانیزمی همچنین توسط نی و همکاران [۲] جهت درگیر نمودن دو سازه مجاور با هدف بهبود رفتار لرزه‌ای بکار گرفته شد. استفاده از میراگرهای اصطکاکی توسط فیلیاترالت و فولز [۳] و بشاراگو و چانگید [۴] بکار گرفته شد که نتایج گویای تأثیر غیرقابل انکار این میراگرها در کاهش پاسخ دو ساختمان می‌باشد. چنین میراگرهایی به‌عنوان گزینه اجرایی جهت ارتقاء لرزه‌ای بیمارستانی در کانادا مطرح گردید [۵].

استفاده از خاصیت لزجت سیال به‌عنوان مکانیزم استهلاک انرژی نیز مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. امکان اعمال میرایی قابل توجه در این نوع از میراگرها، ضمن کاهش تغییرمکان‌های مجزای دو سازه، می‌تواند در کاهش تغییرمکان نسبی بین آنها و نتیجتاً کاهش اثرات ضربه بسیار موثر باشد. عدم تأثیرپذیری از شرایط خاص دمایی ناشی از عدم تأثیر این شرایط بر سرعت نسبی نیز از مزایای دیگر میراگرهای ویسکوز محسوب می‌گردد. با وجود اینکه این میراگرها در عمل سختی محدودی نیز در محل اتصال دو سازه ایجاد می‌نمایند، ولی در بسیاری از موارد می‌توان از این سختی در قیاس با سختی جانبی دو سازه صرفنظر نمود که نتیجتاً ارتباط بین دو ساختمان تنها با در نظر گرفتن میرایی مدل می‌گردد. همچنین با وجود اینکه رابطه بین میرایی و سرعت در بسیاری از میراگرهای سیال کاملاً خطی نیست [۶]، ولی فرض رابطه خطی بین آنها با توجه به سهولت محاسباتی بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. ژو و همکاران [۷] به بررسی رفتار لرزه‌ای دو سازه مجاور متصل شده با میراگر سیال پرداختند که البته جلوگیری از ضربه بین سازه‌ها در این تحقیق مدنظر نبوده است. نتایج کار آنها گویای بهبود عملکرد لرزه‌ای دو سازه در صورت انتخاب مقادیر مناسب از میرایی رابط بود. پاتل و جانگید [۸] به بررسی اتصال دو سازه با خصوصیات دینامیکی مشابه پرداختند که نتایج گویای تأثیر مناسب استفاده از میراگر لزج بود. عبدالسلام و همکاران نیز به بررسی نقش میراگر ویسکوز جهت کنترل رفتار سازه‌های با جداسازی در پایه پرداختند [۹]. بهینه سازی رفتار دو سازه متصل شده با میراگر لزج نیز توسط مزین اوگلو و مزین اوگلو [۱۰] مورد بررسی قرار گرفت. میرزاگل تبار و همکاران [۱۱] به مقایسه استفاده از میراگرهای لزج با میراگرهای ارتجاعی لزجی جهت کاهش اثرات ضربه بین دو ساختمان پرداخته و در نهایت، براساس محدوده تغییرات موردبررسی از پارامترها، میراگر لزج را گزینه هم سطح با میراگرهای ارتجاعی لزجی ارزیابی نمودند. مقایسه عملکرد میراگرهای لزج و ارتجاعی لزجی در درون سازه‌ها توسط ایزارولحق و سانگیتا [۱۲] و با هدف کاهش ضربه ساختمانها به یکدیگر انجام پذیرفت که نتایج گویای کاهش قابل توجه در نیروی ضربه منتقل شده بین سازه‌ها ناشی از بکارگیری هردو نوع میراگر می‌باشد. مقایسه بین میراگرهای مختلف همچنین توسط پاسونی و همکاران [۱۳] مورد بررسی قرار گرفت که نتایج مؤید رفتار لرزه‌ای مناسب میراگرهای لزج در قیاس با گزینه‌های دیگر بود. اخیراً مروری جامع بر نقش میراگرهای لزج، و نیز دیگر میراگرهای فعال و غیرفعال، بر کاهش ضربه بین ساختمانها توسط میاری و همکاران صورت گرفته است [۱۴].

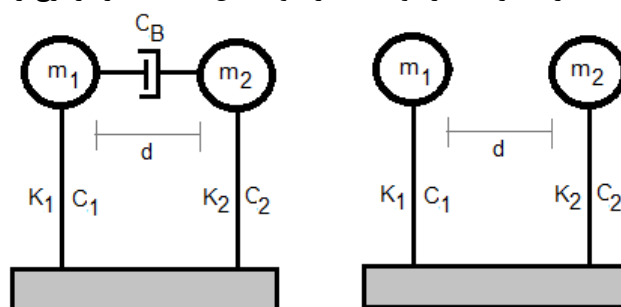
میراگرهای لزج را در حالت کلی می‌توان بین دو سازه و یا درون هر کدام از آنها تعبیه نمود که البته وجود تفاوت‌های رفتاری بین این دو حالت مورد انتظار خواهد بود. البته استفاده از میراگر ویسکوز درون ساختمان در حالت سه‌بعدی نیز در قالب بررسی تعادل پیچشی توسط پتی و دلیوس [۱۵] بررسی گردیده است که نتایج نشان‌دهنده قابلیت این میراگر در خنثی نمودن پیچش مجموعه در صورت تعبیه مناسب آن در پلان می‌باشد. از موارد استفاده از میراگر درون دو سازه در حالت دو بعدی می‌توان به تحقیق کاسای و همکاران [۱۶] و [۱۷] اشاره نمود که در آن کاهش به میزان ۶۲٪ برای بیشینه تغییرمکان نسبی بین دو ساختمان ۸ و ۱۵ طبقه ناشی از افزایش میرایی داخلی سازه از ۵ تا ۲۰٪ مشاهده گردید. سیمانسی و گنستانتینو [۶] کاهش بین ۳۰ تا ۷۰ درصد در پاسخ سازه ناشی از افزودن میراگر لزج سیال به ساختمان را گزارش نموده‌اند. یانکوفسکی و محمود [۱۸] و [۱۹] نیز نشان دادند که افزایش ۱۵۰ برابری میرایی بین یک سازه سه‌طبقه با دوره تناوب ۱/۲ ثانیه با سازه سخت‌تر مجاور منجر به کاهش بیش از ۹۰٪ در بیشینه تغییرمکان بالاترین طبقه برای زلزله-

های مختلف می‌گردد. البته کاهش تا حد ۹۵٪ بازای افزایش قابل توجه در میرایی خود سازه نیز در مرجع [۱۸] ذکر گردیده است، ولی بایستی توجه داشت که این افزایش در میرایی بایستی از نظر تکنولوژی ساخت نیز قابل اجرا باشد.

این مقاله به بررسی پارامتری اثر جانمایی‌های میراگر، شامل بین و یا درون دو سازه، بر پاسخ‌های نسبی و مطلق مجموعه می‌پردازد. (جزئیات اجرایی رابطه‌ها مورد بحث نیست). فرض می‌گردد که پلان دو سازه در تراز ارتفاعی یکسان قرار گرفته‌اند. البته میرایی رابط برای حالت دو پلان غیرهم تراز نیز قابل اصلاح است [۱۰]، لیکن تعمیم نتایج برای جلوگیری از برخورد دو سازه، با توجه به رفتار متفاوت برخورد دو سازه غیر هم تراز، ممکن است متفاوت باشد. بر همین اساس، ابتدا معادله تعادل دینامیکی با احتساب میراگر بین دو سازه یک درجه آزادی خطی مجاور، به عنوان مدل‌های ساده‌شده از رفتار ساختمانهای واقعی، متصل شده با میراگر لزوج مدنظر قرار گرفته و اثر میرایی تکمیلی بر میرایی و فرکانسهای مودی مجموعه تعیین می‌گردد. در گام بعد و با در نظر گرفتن ورودی بصورت طیف سفید ایده‌آل، تغییر مکان نسبی دو سازه یک درجه آزادی و نیز تغییرمکانهای مجزای آنها نسبت به زمین با حالتی مقایسه می‌شود که میراگر مستقیماً به یکی از دو سازه متصل شده باشد. سپس با در نظر گرفتن دو سازه دو درجه آزادی مجاور، اثر جانمایی میراگر در تراز طبقات نیز بررسی می‌گردد. البته پاسخ شتاب مطلق سازه‌ها در حالت دو سازه یک درجه آزاد نیز مدنظر می‌باشد که برای آن طیف سفید ایده‌آل جوابگو نبوده و می‌توان از طیف فیلتر شده کانای-تاجیمی (که مشخصات فرکانس و میرایی حاکم منطقه را نیز در نظر می‌گیرد) استفاده نمود. برای انجام این تحقیق، برنامه‌نویسی (کد نویسی) در محیط نرم‌افزار MATLAB7 (نسخه ۲۰۱۴) انجام گرفته و خروجی‌های نظیر به نرم‌افزار EXCEL انتقال و در آنجا ترسیم گردیده است.

۲- فرمول‌بندی دینامیکی مسئله

شکل ۱ مدلی از دو سیستم یک‌درجه آزادی در دو حالت آزاد و متصل شده با میراگر لزوج را نشان می‌دهد.



شکل ۱: دو سازه یک درجه آزادی در دو حالت آزاد و متصل شده با میراگر

در وضعیت متصل شده، معادله تعادل دینامیکی مجموعه بصورت زیر نوشته می‌شود که در آن از سختی احتمالی میراگر صرف‌نظر شده و فرض می‌گردد میرایی میراگر به‌اندازه‌ای است که بتواند مانع از برخورد دو سازه به یکدیگر گردد:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{X}_1 \\ \ddot{X}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 + C_B & -C_B \\ -C_B & C_2 + C_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_1 & 0 \\ 0 & K_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix} \ddot{X}_g \quad (1)$$

که در آن \ddot{X}_g شتاب حرکت زمین بوده و مابقی پارامترها در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. واضح است که میرایی میراگر تنها عامل ارتباط دهنده دو درجه بوده و معادله دینامیکی در حالت آزاد با فرض $C_B=0$ در معادله (۱) حاصل می‌گردد. حال می‌توان فرکانس‌های طبیعی و شکل مودهای ارتعاشی را با حل مسئله مقدار ویژه زیر بدست آورد:

$$[K] - \lambda_n^2 [m] + i\lambda_n [C] = 0 \quad (2)$$

با جایگذاری ماتریسهای جرم $[m]$ ، میرایی $[C]$ و سختی $[K]$ و بسط دترمینان حاصل، معادله زیر بدست خواهد آمد:

$$\lambda_n^4 - \left(\frac{C_1 + C_B}{m_1} + \frac{C_2 + C_B}{m_2} \right) i \lambda_n^3 - \left(\frac{K_1}{m_1} + \frac{K_2}{m_2} + \frac{(C_1 + C_2) \cdot C_B + C_1 \cdot C_2}{m_1 \cdot m_2} \right) \lambda_n^2 + \left(\frac{K_1 \cdot C_2 + C_B}{m_1 \cdot m_2} + \frac{K_2 \cdot C_1 + C_B}{m_2 \cdot m_1} \right) i \lambda_n + \frac{K_1 \cdot K_2}{m_1 \cdot m_2} = 0 \quad (3)$$

با فرض جواب‌های معادله بصورت زوجهای مختلط مزدوج، تعریف $\omega_n = |\lambda_n|$ و $\xi_n = -\text{img}(\lambda_n)/\omega_n$ و نهایتاً تساوی ضرایب λ_n به چهار معادله زیر خواهیم رسید:

$$\omega_{n1}^2 \cdot \omega_{n2}^2 = \frac{K_1 \cdot K_2}{m_1 \cdot m_2} \quad (4 \text{ الف})$$

$$2 \cdot \xi_1 \cdot \omega_{n1} \cdot \omega_{n2}^2 + 2 \cdot \xi_2 \cdot \omega_{n2} \cdot \omega_{n1}^2 = \frac{K_1 \cdot C_2 + C_B}{m_1 \cdot m_2} + \frac{K_2 \cdot C_1 + C_B}{m_2 \cdot m_1} \quad (4 \text{ ب})$$

$$\omega_{n1}^2 + \omega_{n2}^2 + 4 \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \omega_{n1} \cdot \omega_{n2} = \frac{K_1}{m_1} + \frac{K_2}{m_2} + \frac{(C_1 + C_2) \cdot C_B - C_1 \cdot C_2}{m_1 \cdot m_2} \quad (4 \text{ ج})$$

$$2 \cdot \xi_1 \cdot \omega_{n1} + 2 \cdot \xi_2 \cdot \omega_{n2} = \frac{C_1 + C_B}{m_1} + \frac{C_2 + C_B}{m_2} \quad (4 \text{ د})$$

حال اگر جملات مربوط به توان بالاتر میرایی در طرف راست و عبارت $4 \xi_1 \xi_2 \omega_{n1} \omega_{n2}$ در طرف چپ رابطه (4 ج) در قیاس با عبارت‌های دیگر این رابطه کوچک و قابل اغماض فرض گردد، آنگاه از روابط (4 الف) و (4 ج) نتیجه می‌گردد که فرکانسهای طبیعی در حالت متصل شده با میراگر برابر با فرکانس‌های طبیعی دو سازه می‌باشد؛ و در واقع خواهیم داشت:

$$\omega_{n2} = \omega_2 = (K_2/m_2)^{0.5}, \quad \omega_{n1} = \omega_1 = (K_1/m_1)^{0.5} \quad (5)$$

همچنین از معادلات (4 ب) و (4 د) خواهیم داشت:

$$\xi_i = \frac{C_i + C_B}{2m_i \omega_i} \quad (i = 1, 2) \quad (6)$$

نتیجه فوق به این معنی است که وجود میراگر مستقیماً میرایی دو سازه را افزایش می‌دهد، بدون آنکه تغییر محسوسی در فرکانس طبیعی دو سازه ایجاد نماید و این افزایش معادل حالتی است که هر سازه با همین میزان از میرایی مستقیماً به زمین متصل شده باشند. حال اگر بخواهیم شکل مودهای ارتعاشی را بدست آوریم، کافی است معادله زیر را حل نماییم:

$$[[K] - \lambda_n^2 [m] + i \lambda_n [C]] \cdot [\Phi] = [0] \quad (7)$$

که با جایگذاری مقادیر بدست آمده از رابطه (5) و با توجه به عدم تغییر فرکانس‌های دو سازه به ماتریس واحد برای شکل مودهای ارتعاشی خواهیم رسید:

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

بنابراین میراگر بین دو سازه تأثیری بر روی فرکانس‌های طبیعی و شکل مودهای ارتعاشی ندارد، با وجود آنکه می‌تواند میرایی هر دو سازه را بمیزان قابل توجهی افزایش دهد. البته لازم بذکر است که در برخی موارد لازم است تا سختی رابط بین دو سازه نیز در نظر گرفته شود. مشابه با میراگرهای لزج، این دسته از رابط‌ها (موسوم به رابط‌های ارتجاعی لزجی) را می‌توان بین دو سازه یا درون آنها تعبیه نمود [20-25]. چنین رابط‌هایی، که منجر به تغییر قابل توجه در مشخصات دینامیکی مجموعه می‌شوند، در این مقاله مدنظر نیستند. اکنون می‌توان پاسخ دو سازه متصل شده با میراگر را با پاسخ مجزای دو سازه تحت اثر اضافه نمودن میرایی به یکی از آنها مقایسه نمود. در این تحقیق، ورودی تحلیل برای پاسخ‌های تغییر مکان بصورت طیف سفید ایده‌آل (با چگالی طیفی توان ثابت) و برای پاسخ شتاب

مطلق بصورت طیف سفید فیلتر شده در نظر گرفته شده است؛ چرا که طیف سفید ایده آل قادر به محاسبه مقدار محتمل مجذور شتاب نیست. مقدار محتمل مجذور تغییر مکان یک سازه و مقدار محتمل تغییر مکان متقاطع دو سازه تحت ورودی طیف سفید ایده آل با $S_{ff}=S_0$ را می توان بترتیب از روابط (۸) و (۹) و با فرض میانگین صفر برای فرآیندهای ورودی و خروجی بدست آورد [۲۶]:

$$E[X_i^2] = \frac{\pi S_0}{2\xi_i \omega_i^3} \quad (i=1,2) \quad (9)$$

$$E[X_1 \cdot X_2] = \frac{4\pi(\xi_1 \omega_1 + \xi_2 \omega_2) \cdot S_0}{[(\omega_1^2 - \omega_2^2)^2 + 4\omega_1 \omega_2 (\xi_1 \omega_1 + \xi_2 \omega_2)(\xi_1 \omega_2 + \xi_2 \omega_1)]} \quad (10)$$

مقدار محتمل مجذور تغییر مکان نسبی دو سازه را نیز می توان با توجه به روابط (۹) و (۱۰) بدست آورد:

$$E[(X_1 - X_2)^2] = E(X_1^2) + E(X_2^2) - 2E(X_1 \cdot X_2) \quad (11)$$

طیف فیلتر شده کانای-تاجیمی [۲۷ و ۲۸] دارای چگالی طیفی توان بصورت زیر خواهد بود:

$$S_{KT}(\omega) = \frac{\omega^4 + (2\xi_g \omega_g)^2}{(\omega_g^2 - \omega^2)^2 + (2\xi_g \omega_g)^2} S_0 \quad (12)$$

که در آن ω_g و ξ_g بترتیب بیانگر فرکانس و میرایی حاکم خاک منطقه می باشند. اکنون می توان مقادیر محتمل مجذور شتاب زمین، شتاب سازه نسبت به زمین و عبارت اندرکنشی این دو شتاب را بترتیب از روابط (۱۳) تا (۱۵) محاسبه نمود:

$$E[\ddot{x}_g^2] = \pi S_0 \omega_g \cdot (2 \cdot \xi_g + \frac{1}{2 \cdot \xi_g}) \quad (13)$$

$$E[\ddot{x}_i^2] = \frac{\pi S_0 \omega_i}{2r^2 \xi_i} \times \left[\frac{r^6 \cdot (4\xi_i \xi_g^2 + \xi_i) + r^5 \cdot (16\xi_i^2 \xi_g^3 + \xi_i) + 4\xi_i^3 r^3 \cdot (1 + 4\xi_i r)}{\xi_g \cdot r \left[(1 - r^2)^2 + 4r \cdot (\xi_g + \xi_i r)(\xi_i + \xi_g r) \right]} \right] \quad (14)$$

$$E[\ddot{x}_i \cdot \ddot{x}_g] = \frac{-\pi S_0 \omega_i r^3}{2\xi_g} \times \left[\frac{A + B}{\left[(1 - r^2)^2 + 4r \cdot (\xi_g + \xi_i r)(\xi_i + \xi_g r) \right]} \right] \quad (15)$$

که در آنها $r = \omega_i / \omega_g$ بوده و

$$A = (1 + 2\xi_g^2 - 32\xi_g^4 + 32\xi_g^6) \cdot (r^2 - 1 - 4r \cdot \xi_i (\xi_i + \xi_g \cdot r)) \quad (16)$$

و

$$B = (2 + 16\xi_g^2 - 32\xi_g^4) \cdot (\xi_g^2 (r^2 - 1) + 2\xi_g r (\xi_i + \xi_g \cdot r) (1 - 2\xi_g^2)) \quad (17)$$

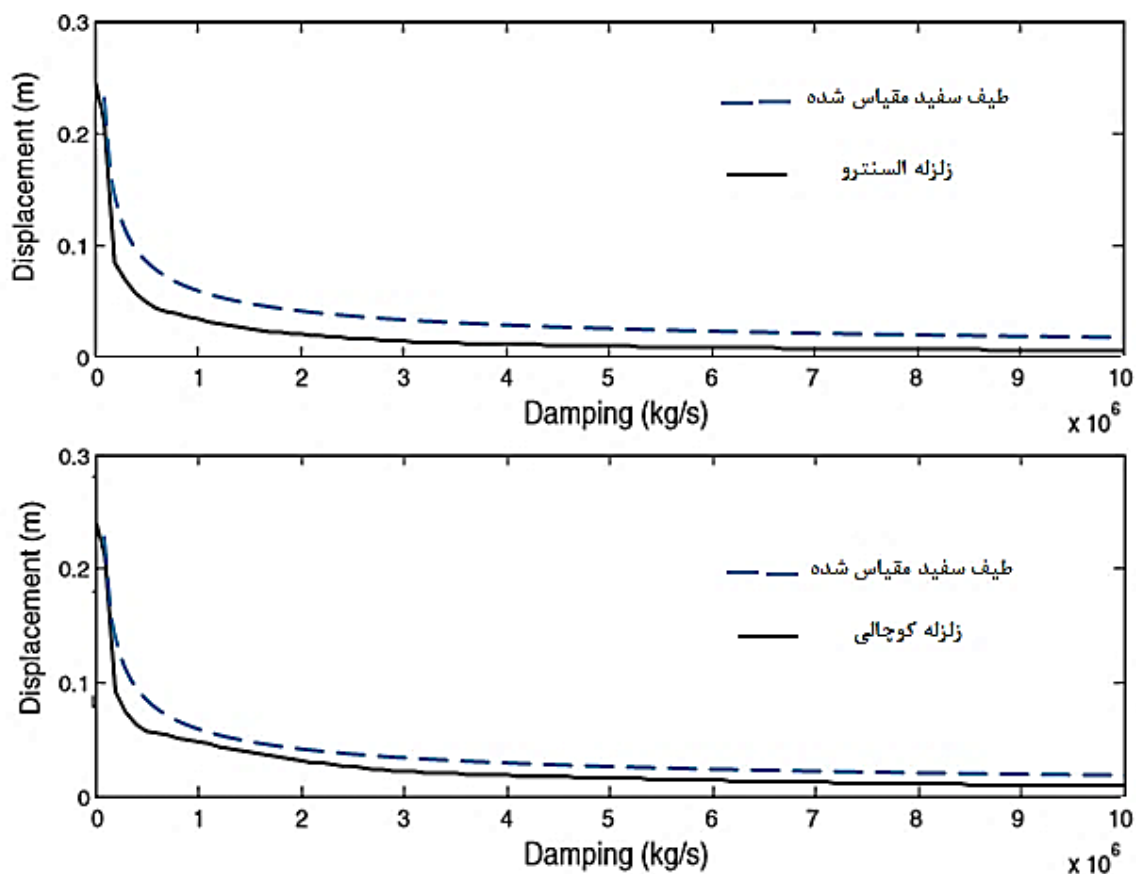
شتاب مطلق دو سازه نیز از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$E[\ddot{x}_i^t]^2 = E[\ddot{x}_g + \ddot{x}_i]^2 = E[\ddot{x}_g^2] + E[\ddot{x}_i^2] + 2E[\ddot{x}_i \ddot{x}_g] \quad (18)$$

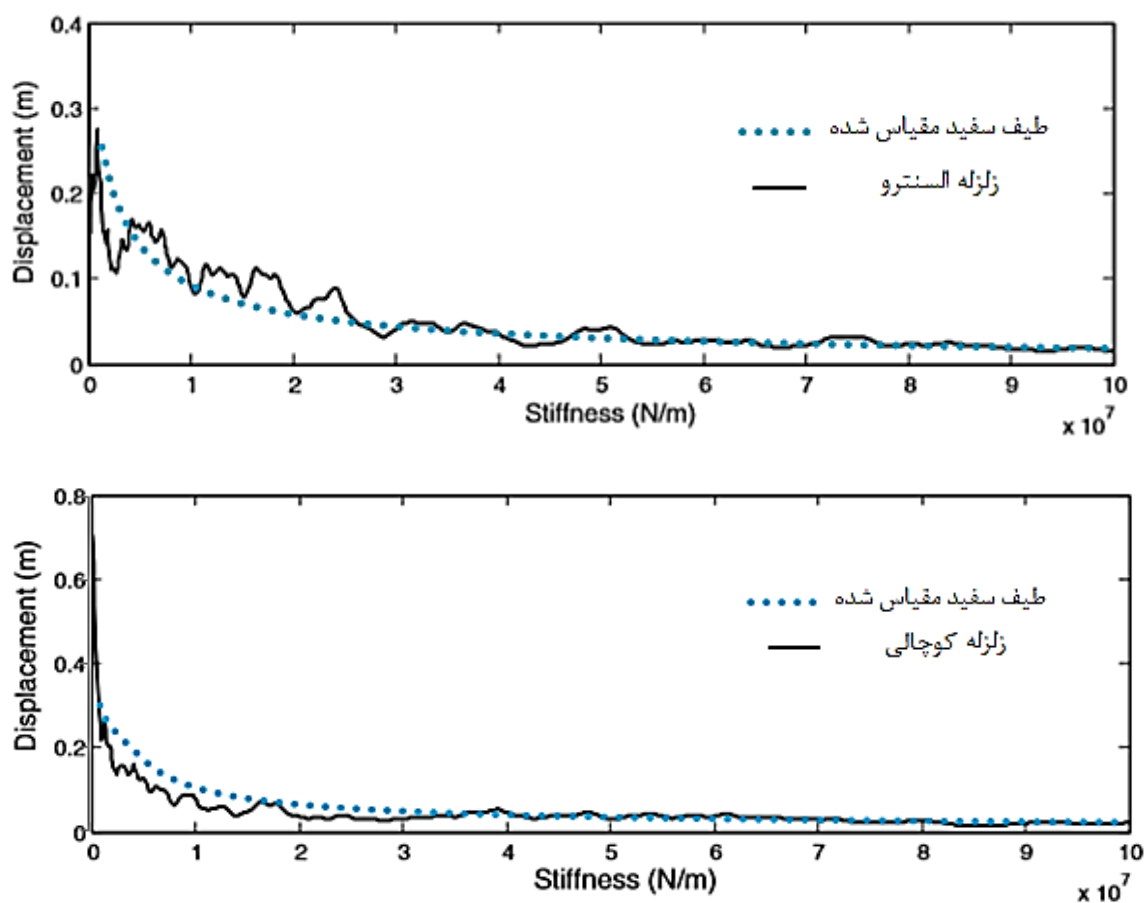
با استفاده از روابط فوق می‌توان مقدار محتمل تغییرمکانهای نسبی و مجزای دو سازه و نیز شتاب مطلق آنها را برای حالت‌های مختلف از جانمایی میراگر با یکدیگر مقایسه نمود.

۳- صحت سنجی از قابلیت طیف سفید در تحلیل مسئله

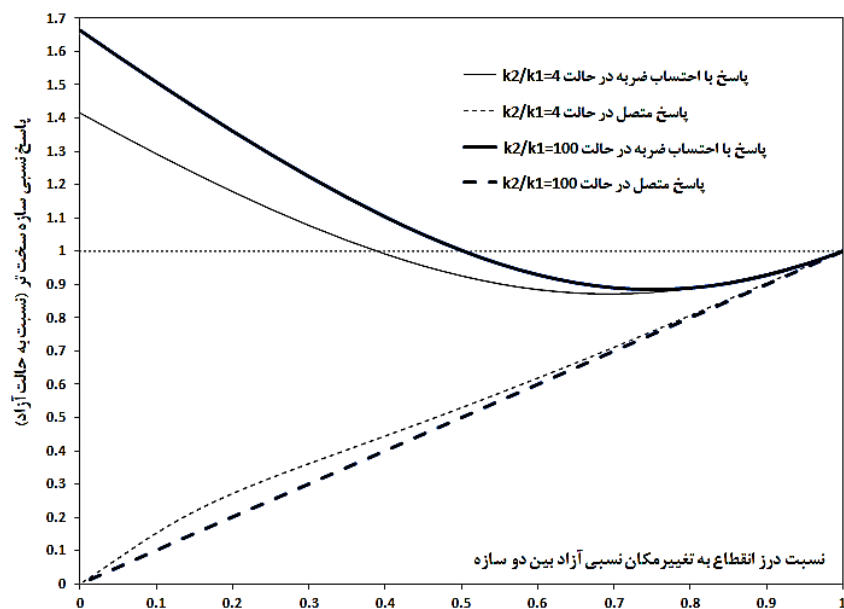
در این مرحله و قبل از بررسی نتایج، لازم است که صحت سنجی مناسبی از توانایی تحلیل طیف سفید در تخمین اثر تغییرات میرایی منطبق با زلزله‌های واقعی انجام گیرد. در رابطه (۸)، میرایی با توان ۱ در مخرج عبارت مقدار محتمل مجذور تغییرمکان ظاهر می‌گردد. بنابراین انتظار می‌رود که میرایی با توان ۰.۵، در مخرج تغییر نماید. در شکل (۲) مقایسه‌ای با نتایج زلزله‌های السنتر و کوچالی (برگرفته از مرجع [۱۸]) انجام گرفت که در آن خروجی طیف سفید براساس پاسخ زلزله‌ها در میرایی ۰.۵٪ به مقیاس درآورده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود، نه تنها طیف سفید قادر به ردیابی اثر تغییرات میرایی همگام با زلزله‌های واقعی است بلکه حتی مقادیر نزدیک به آن را ارائه نموده و خطای آن در محاسبه میزان کاهش در پاسخ کمتر از ۰.۵٪ است. لازم بذکر است که در میرایی‌های کمتر از ۰.۵٪، منحنی طیف سفید بسرعت از پاسخ زلزله فاصله می‌گیرد؛ تاحدی که در میرایی تئوریک صفر حالت مجانب قائم را پیدا می‌نماید که این مسئله با توجه به غیرواقع‌بینانه بودن در شکل لحاظ نگردید. همچنین رسیدن به مقادیر بسیار زیاد میرایی می‌تواند از لحاظ تکنولوژی ساخت بسیار مشکل باشد که البته این مسئله از اعتبار صحت‌سنجی صورت گرفته نمی‌کاهد. به‌منظور تکمیل صحت‌سنجی از کفایت طیف سفید در برآورد واقع‌بینانه از روند تغییرات پاسخ، صحت سنجی تغییرات سختی بین دو سازه نیز در شکل ۳ آورده شده است تا بتوان کفایت طیف سفید جهت برآورد مناسب تغییرات پاسخ را به شکل کاملتری نمایش داد. البته اثر میرایی بین دو ساختمان زمانی مشهودتر خواهد بود که بتوان پاسخ دو سازه متصل شده با میراگر را با پاسخ شامل ضربه آنها مقایسه نمود که این مورد در شکل ۴ و برای دو نسبت ۴ و ۱۰۰ بین دو ساختمان به تصویر کشیده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، استفاده از میرایی بالا، حتی برای درز انقطاع نسبتاً کوچک، می‌تواند از برخورد دو ساختمان به یکدیگر و نتیجتاً افزایش در برش پایه ساختمان سخت‌تر بطور قابل ملاحظه‌ای جلوگیری نماید.



شکل ۲: صحت سنجی توانایی طیف سفید در تخمین درست تغییرات میرایی منطبق با زلزله‌های واقعی



شکل ۳: صحت سنجی توانایی طیف سفید در تخمین درست تغییرات سختی منطبق با زلزله‌های واقعی



شکل ۴: تأثیر اتصال دو ساختمان با میراگر نسبت به حالت برخورد آزاد دو سازه (تحت ورودی طیف سفید)

۴- ارائه و تفسیر نتایج

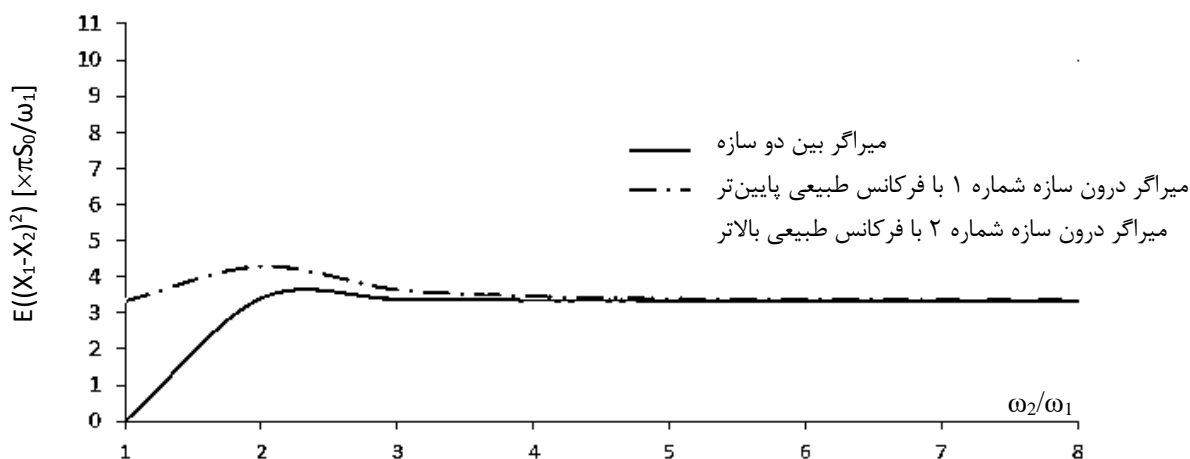
۴-۱- دوسیستم یک درجه آزادی با جانمایی‌های مختلف میراگر

در بخش قبلی مشاهده گردید که افزودن میراگر مابین دو سازه بصورت افزایش مستقیم میرایی هر یک از سازه‌ها بروز می‌نماید؛ بدون آنکه فرکانسهای طبیعی و شکل مودهای ارتعاشی را تغییر دهد. بنابراین می‌توان درصد میرایی تکمیلی را بصورت نسبت میرایی میراگر به مشخصات سازه شماره ۱ (سازه دارای فرکانس طبیعی پایین‌تر) تعریف نمود ($\xi'_i = C_B / (2 \times (m_i \cdot K_i)^{0.5})$). البته میرایی اولیه دو سازه (C_1 و C_2) در رابطه ۱ بطور صریح لحاظ شده، ولی می‌توان فرض نمود که ۵٪ از میرایی بحرانی در هر مود ارتعاشی وجود دارد. این مقدار به نسبت میرایی تکمیلی (که بر حسب درصد بیان می‌گردد) افزوده می‌شود. در طرف مقابل، اگر میرایی فقط به یکی از سازه‌ها اضافه شود، آنگاه درصد میرایی بحرانی تنها در همان سازه با میرایی تکمیلی جمع می‌گردد و در سازه دیگر فقط میرایی اولیه ۵٪ وجود خواهد داشت که سبب تفاوت در مقدار محتمل مجذور تغییرمکان نسبی حاصل از رابطه (۱۰) می‌شود. این مسئله در اشکال ۵ تا ۷ برای مقادیر مختلف میرایی تکمیلی و برحسب نسبت فرکانس طبیعی دو سازه با نتایج حاصل از اضافه نمودن همان میزان از میرایی به دو سازه مقایسه گردیده است.

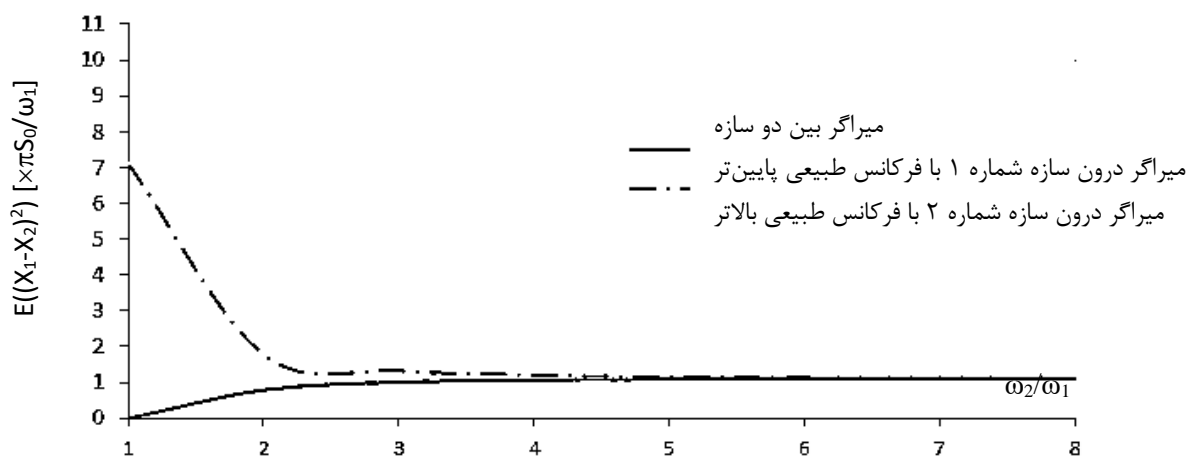
از شکل ۵ می‌توان مشاهده نمود که برای نسبت‌های فرکانس‌های طبیعی کمتر از ۲، مقدار محتمل مجذور تغییرمکان نسبی در حالت استفاده از میراگر بین دو سازه دارای مقدار کمتری نسبت به هر دو حالت استفاده از میراگر درون سازه‌ها است. همچنین افزایش میزان میرایی تکمیلی سبب افزایش بیشتر اختلاف بین منحنی‌ها و در نتیجه موجه‌تر شدن استفاده از میراگر بین دو ساختمان برای کاهش تغییرمکان دو سازه می‌گردد. با توجه به اینکه این تغییرمکان نسبی به‌عنوان کمیت اصلی در کنترل ضربه دو سازه می‌باشد، بنابراین استفاده از میراگر بین دو ساختمان می‌تواند به کاهش بیشتر امکان وقوع ضربه و جلوگیری از وقوع آن برای سازه‌های با نسبت فرکانس طبیعی پایین کمک بیشتری نماید. با این حال و برای نسبت فرکانس طبیعی دو سازه بزرگتر از ۲، اختلاف بین منحنی مربوط به میراگر بین دو سازه و منحنی مربوط به افزودن میرایی به سازه با فرکانس طبیعی پایین‌تر نامحسوس است، بگونه‌ای که می‌توان ادعا نمود که دو حالت تفاوتی از نظر میزان کاهش تغییرمکان نسبی دو سازه ندارند. نکته حائز اهمیت دیگر آن است که اضافه نمودن میرایی به سازه دارای فرکانس طبیعی پایین‌تر باعث کاهش بیشتر در مقدار محتمل تغییرمکان نسبی دو سازه می‌گردد که البته اختلاف بین منحنی‌ها با افزایش نسبت فرکانسی دو سازه بیشتر می‌شود. کلیت این مسئله با توجه به وجود فرکانس طبیعی سازه با توان ۳ در مخرج رابطه (۸) و عدم تاثیر عبارت اندرکنشی در این مقایسه مورد انتظار بود. با توجه به اشکال ۵ تا ۷، حداکثر کاهش در مقدار محتمل مجذور تغییرمکان نسبی ناشی از افزودن میرایی به سازه با فرکانس طبیعی پایین‌تر (عوض سازه مجاور آن) برای سه میرایی تکمیلی (۱۰٪، ۴۰٪ و ۷۰٪ قابل توجه و بترتیب برابر با ۶۷٪، ۸۹٪ و ۹۳٪ می‌باشند. کاهش در تغییرمکان نسبی با افزودن میرایی بین دو ساختمان، که از اشکال ۵ تا ۷ بوضوح مشخص می‌باشد، می‌تواند نقش غیرقابل انکاری در کاهش و یا حتی حذف اثر ضربه بین دو ساختمان مجاور داشته باشد. این مسئله، چه برای دو سازه موجود با درز انقطاع مشخص و چه برای احداث ساختمان جدید در مجاور ساختمان موجود، حائز اهمیت بوده و در واقع برای مشخصات معین دو سازه و نیز زلزله زوددی، می‌توان میرایی رابط را بگونه‌ای انتخاب نمود تا بتوان از ضربه دو سازه ممانعت بعمل آورده و یا حداقل اثرات آن را کاهش داد.

به غیر از تغییرمکان نسبی دو ساختمان، تغییرمکان هر یک از این دو سازه نسبت به زمین نیز دارای اهمیت می‌باشد. از این منظر و با توجه به این که اضافه نمودن میراگر بین دو سازه می‌تواند میرایی معادل با اضافه نمودن مستقیم میرایی به یک سازه را ایجاد نماید، می‌توان گفت که وجود میراگر بین دو سازه منجر به کاهش تغییرمکان هر دو سازه می‌گردد و این در حالی است که اضافه نمودن میرایی به یک سازه نه تنها به کاهش تغییرمکان سازه مجاور آن کمکی نمی‌کند، بلکه قادر به کاهش بیشتر تغییرمکان نسبت به استفاده از میراگر بین دو ساختمان نبوده و بنابراین میرایی مابین دو سازه از نظر تغییرمکان دو ساختمان نسبت به زمین نیز مطلوب‌تر است.

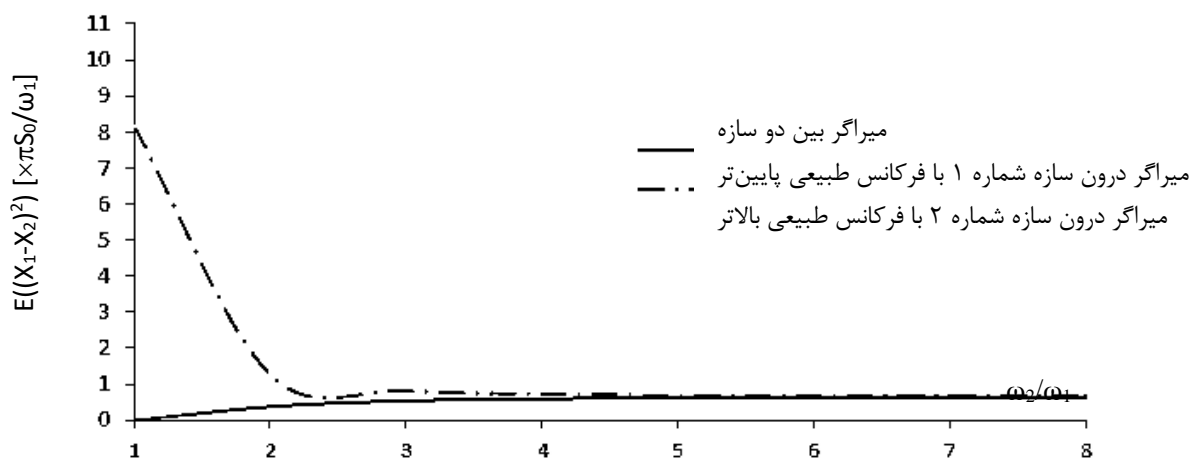
علاوه بر تغییرمکان، شتاب مطلق دو سازه نیز در مواردی حائز اهمیت می‌باشد. این مهم بیشتر در مورد سازه‌های با کاربری خاص نظیر بیمارستان‌ها یا ساختمان‌های دارای تجهیزات دقیق و حساس صادق است. همانطور که پیش‌تر نیز اشاره شد، برای شتاب مطلق



شکل ۵: مقایسه عملکرد میراگر بین دو سازه و درون آنها بر مقدار مجذور تغییر مکان نسبی دو سازه ($\xi'=0.1$)



شکل ۶: مقایسه عملکرد میراگر بین دو سازه و درون آنها بر مقدار مجذور تغییر مکان نسبی دو سازه ($\xi'=0.4$)



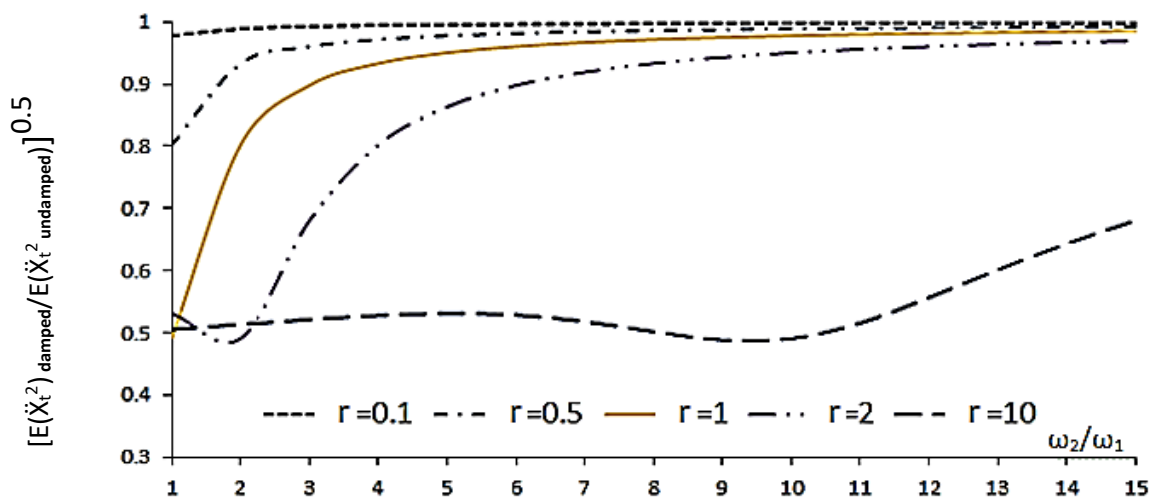
شکل ۷: مقایسه عملکرد میراگر بین دو سازه و درون آنها بر مقدار مجذور تغییر مکان نسبی دو سازه ($\xi'=0.7$)

می توان از طیف فیلتر شده کانای-تاجیمی و روابط (۱۳) الی (۱۸) استفاده نمود. البته برای نسبت فرکانس خاک به سازه ۱ (r) و نیز میرایی خاک محل مقادیر متنوعی مد نظر می باشد؛ بدین صورت که مقادیر ۰٫۱، ۰٫۵، ۱٫۰، ۲ و ۱۰ برای r و میرایی های ۲۰٪، ۴۰٪ و ۶۰٪ برای خاک در نظر گرفته می شود. مقدار محتمل مجذور شتاب مطلق در سازه با فرکانس طبیعی بالاتر در حالت با میراگر و بدون آن و برتیب برای سه میرایی فوق الذکر در اشکال ۸ تا ۱۰ برای نسبت میرایی تکمیلی ۲۰٪ و در اشکال ۱۱ الی ۱۳ برای نسبت میرایی تکمیلی ۵۰٪ با یکدیگر مقایسه شده است. همانطور که قبلاً ذکر گردید، افزودن میرایی به سازه با فرکانس طبیعی پایین تر برای کاهش تغییرمکان نسبی مطلوب تر می باشد. بطور مشابه، تفاوت اصلی در شتاب مطلق نیز مربوط به سازه مجاور آن است که یک بار می تواند از تمام ظرفیت میراگر بین دو سازه استفاده نماید و یک بار نیز فاقد میرایی تکمیلی است. همانطور که از این اشکال مشاهده می گردد، استفاده از میراگر بین دو ساختمان سبب کاهش شتاب مطلق سازه با فرکانس طبیعی بالاتر در تمامی موارد، فارغ از میزان نسبت فرکانس طبیعی خاک به سازه و میزان میرایی خاک، می گردد. این کاهش با کاهش نسبت فرکانس خاک به فرکانس طبیعی سازه (و در واقع با نرم تر شدن خاک) بیشتر می گردد، تا حدی که افزودن میرایی به اندازه تنها ۲۰٪ میرایی بحرانی سبب کاهش شتاب مطلق سازه تا بیش از ۵۰٪ می گردد. همچنین نتایج اشکال ۱۰ تا ۱۳ دارای اختلاف چشمگیری در نتیجه افزایش میرایی تا ۵۰٪ نسبت به میرایی پایین تر (۲۰٪) نبوده و بنابراین افزایش بیشتر میرایی نمی تواند راهکار مناسبی جهت کاهش بیشتر شتاب باشد. البته بدیهی است که همان میرایی ۲۰٪ هم اثر قابل توجهی دارد؛ چرا که در نبود میرایی تکمیلی قاعداً هیچ کاهشی در شتاب مطلق دو سازه رخ نخواهد داد. در مجموع می توان گفت که اضافه نمودن میرایی بین دو سازه برای شتاب مطلق نیز مطلوب تر می باشد. واضح است که با توجه به عدم تغییر میرایی در سازه با فرکانس طبیعی پایین تر، مقدار شتاب مطلق آن در دو حالت میراگر بین دو سازه و اتصال مستقیم میرایی به آن تفاوت مهمی نخواهد داشت. در انتها لازم بذکر است که با تعریف فرکانس طبیعی و میرایی معادل می توان نتایج حاصل از این تحقیق را به سیستم های غیرخطی نیز تعمیم داد که البته بایستی میرایی اضافی ناشی از استهلاک در سیستم های غیرخطی را نیز به میرایی های موجود در مسئله افزود.

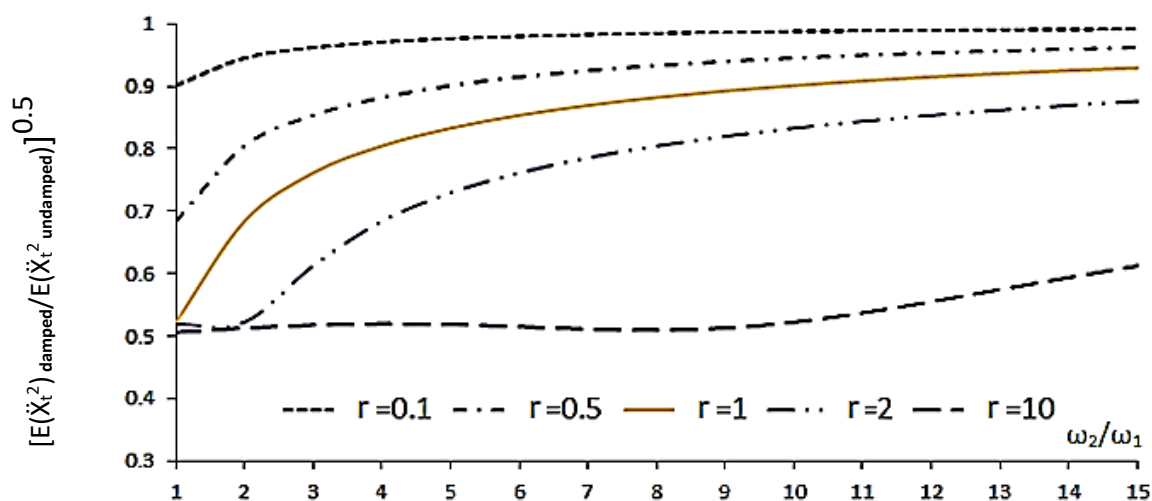
۴-۲- دوسیستم دو درجه آزادی با جانمایی هایی مختلف میراگر

نتایج بدست آمده تاکنون گویای مناسب تر بودن استفاده از میراگر لزج بین دو ساختمان در قیاس با درون آنها بر کاهش احتمال وقوع برخورد می باشد. در کنار این مسئله، جانمایی میراگر در طبقات مختلف یک سازه نیز می تواند از منظر کاهش تغییرمکان نسبی بین دو سازه به عنوان عامل اصلی در جلوگیری از ضربه دو سازه تأثیرگذار باشد. در این قسمت از مقاله، دو سازه دو طبقه دو بعدی مجاور هم مطابق شکل ۱۴، به عنوان دو سیستم دو درجه آزادی، تحت ورودی طیف سفید ایده آل مدنظر قرار گرفته و آرایش های مختلف از میراگر لزج فی مابین، شامل تنها در یکی از طبقات و یا در هر دو طبقه با توزیع یکسان، جهت یافتن حالت مناسب تر تعبیه میراگر مورد ارزیابی قرار می گیرد که در همین راستا، برنامه نویسی برای یافتن مقدار محتمل مجذور پاسخ تغییرمکان نسبی بین دو سازه در هر دو تراز با استفاده از نسخه ۲۰۱۴ نرم افزار MATLAB انجام گرفته است.

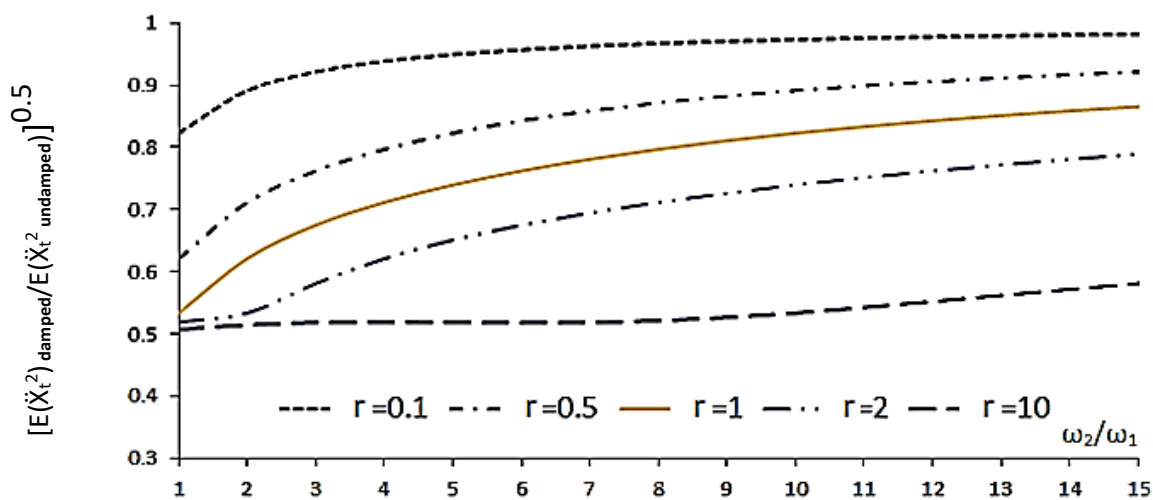
در شکل ۱۵ تغییرمکان نسبی طبقه فوقانی بصورت نسبی، نسبت به مقدار نظیر در حالت عدم وجود میراگر، و بازای میرایی های تکمیلی مجموع ۲۰، ۵۰، ۸۰٪ (میرایی ذاتی در دو سازه به میزان ۵٪ میرایی بحرانی در نظر گرفته شده است) و برحسب نسبت فرکانس مود اول ارتعاش دو سازه و برای سه حالت مختلف از آرایش میراگر با یکدیگر مقایسه گردیده است. توجه گردد که در حالت استفاده از میراگر در هر دو طبقه، نیمی از این درصد میرایی برای هر اتصال در نظر گرفته می شود. منحنی های مشابه برای تغییرمکان طبقه تحتانی نیز در شکل ۱۶ به تصویر کشیده شده است. با توجه به اینکه کاهش اثرات ضربه در این بخش از مقاله مطرح است، بنابراین نتایج برای نسبت فرکانس های کمتر از حدود ۱/۵ در محور افقی نمودارها ذکر نشده است. همانطور که در نمودارها مشاهده می گردد، استفاده از تمام ظرفیت میراگر در بالاترین تراز سبب کاهش بیشتر تغییرمکان نسبی در هر دو تراز و برای هر دو نسبت میرایی در نظر گرفته شده نسبت به دیگر حالات می گردد که روند کاهش در هر دو تراز فوقانی و تحتانی تقریباً یکسان می باشد. این کاهش در نسبت فرکانس های بالاتر دو سازه می تواند به بیش از ۲۰٪ بازای میرایی ۲۰٪، حدود ۶۰٪ بازای میرایی ۵۰٪ و بیش از ۸۰٪ بازای میرایی ۸۰٪ مقدار بحرانی برسد. استفاده از میراگر یکسان در دو طبقه نیز با وجود آن که منحنی های یکنواخت تری را نسبت به دو حالت دیگر ارائه می نماید، ولی کارایی کمتری نسبت به استفاده از میراگر در طبقه فوقانی خواهد داشت.



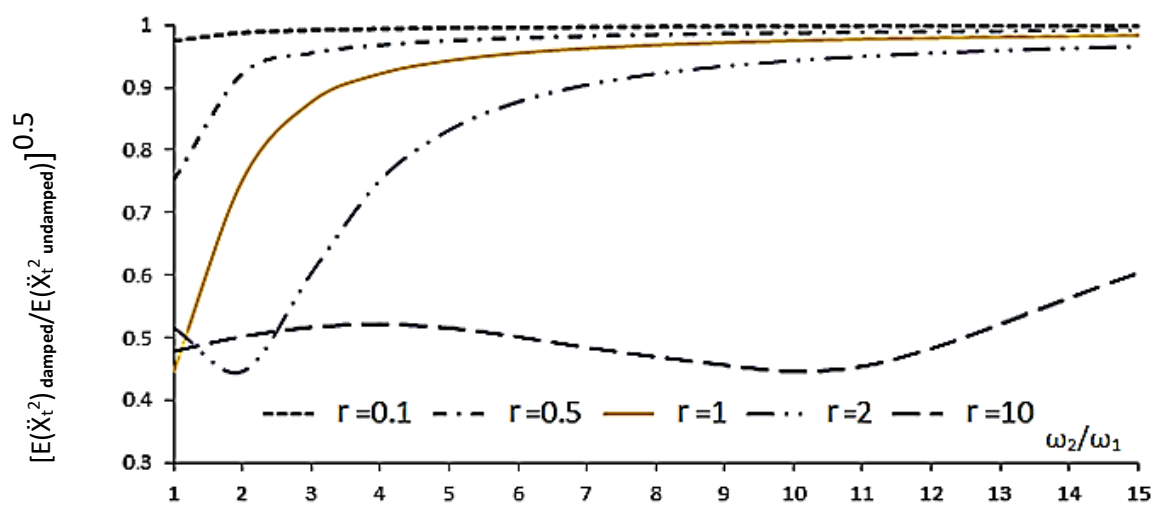
شکل ۸: جذر نسبت مجذور شتاب سازه با فرکانس طبیعی بالاتر در دو حالت با میراگر و بدون آن ($\xi_g=0.2$ و $\xi'_2=0.2$)



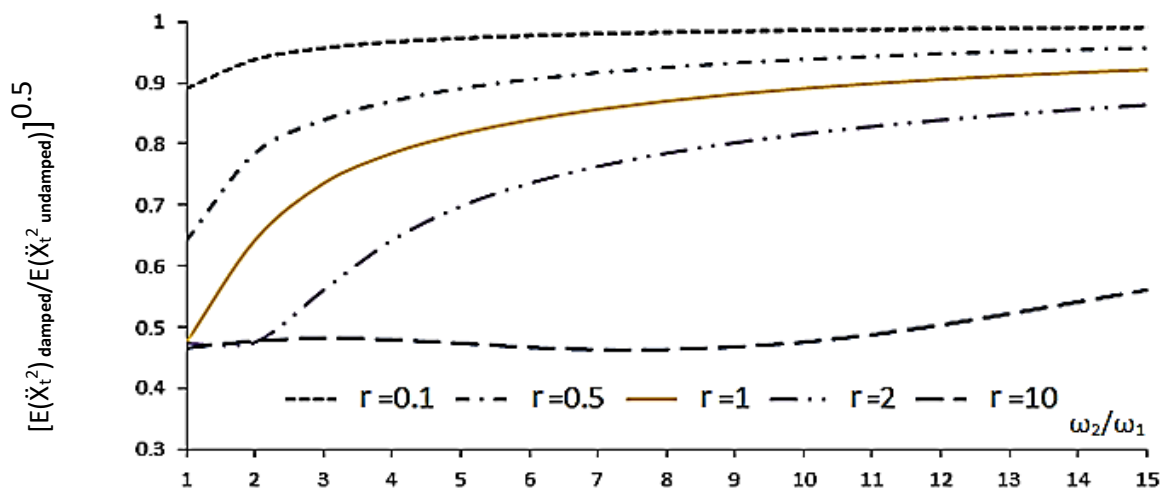
شکل ۹: جذر نسبت مجذور شتاب سازه با فرکانس طبیعی بالاتر در دو حالت با میراگر و بدون آن ($\xi_g=0.4$ و $\xi'_2=0.2$)



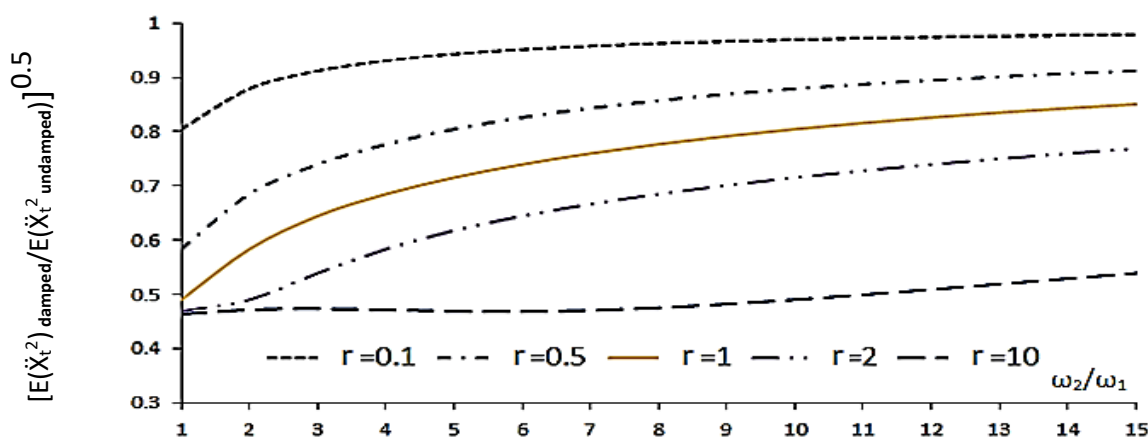
شکل ۱۰: جذر نسبت مجذور شتاب سازه با فرکانس طبیعی بالاتر در دو حالت با میراگر و بدون آن ($\xi_g=0.6$ و $\xi'_2=0.2$)



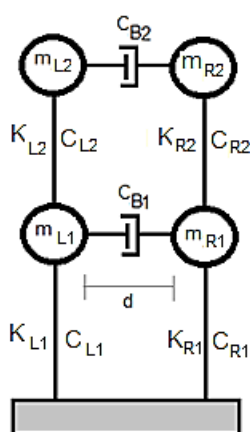
شکل ۱۱: جذر نسبت مجذور شتاب سازه با فرکانس طبیعی بالاتر در دو حالت با میراگر و بدون آن ($\xi_g=0.2$ و $\xi'_2=0.5$)



شکل ۱۲: جذر نسبت مجذور شتاب سازه با فرکانس طبیعی بالاتر در دو حالت با میراگر و بدون آن ($\xi_g=0.4$ و $\xi'_2=0.5$)



شکل ۱۳: جذر نسبت مجذور شتاب سازه با فرکانس طبیعی بالاتر در دو حالت با میراگر و بدون آن ($\xi_g=0.6$ و $\xi'_2=0.5$)



شکل ۱۴: مدل دو قاب دو بعدی دو طبقه متصل شده با میراگر لزوج (اندیس L و R بترتیب مربوط به سازه چپ و راست و اندیس ۱ و ۲ بترتیب مربوط به طبقه اول و دوم می باشد)

لازم به ذکر است که کاهش در حرکت نسبی سازه‌ها با افزایش میرایی کاملاً مشهود است. البته افزایش میرایی از ۲۰٪ به ۵۰٪ تأثیر بیشتری در کاهش پاسخ نسبت به همان میزان از افزایش میرایی از ۵۰٪ به ۸۰٪ را داشته و با حتی شاهد پاسخ‌های تقریباً یکسانی برای هر دو میرایی ۵۰ و ۸۰٪ بازای نسبت‌های کوچک فرکانسی بین دو سازه هستیم. با این حال، روند منحنی‌ها، خصوصاً در صورت استفاده از میراگر در تراز طبقه فوقانی، گویای تأثیر کاملاً مثبت ناشی از افزایش میرایی است.

۵- نتیجه گیری

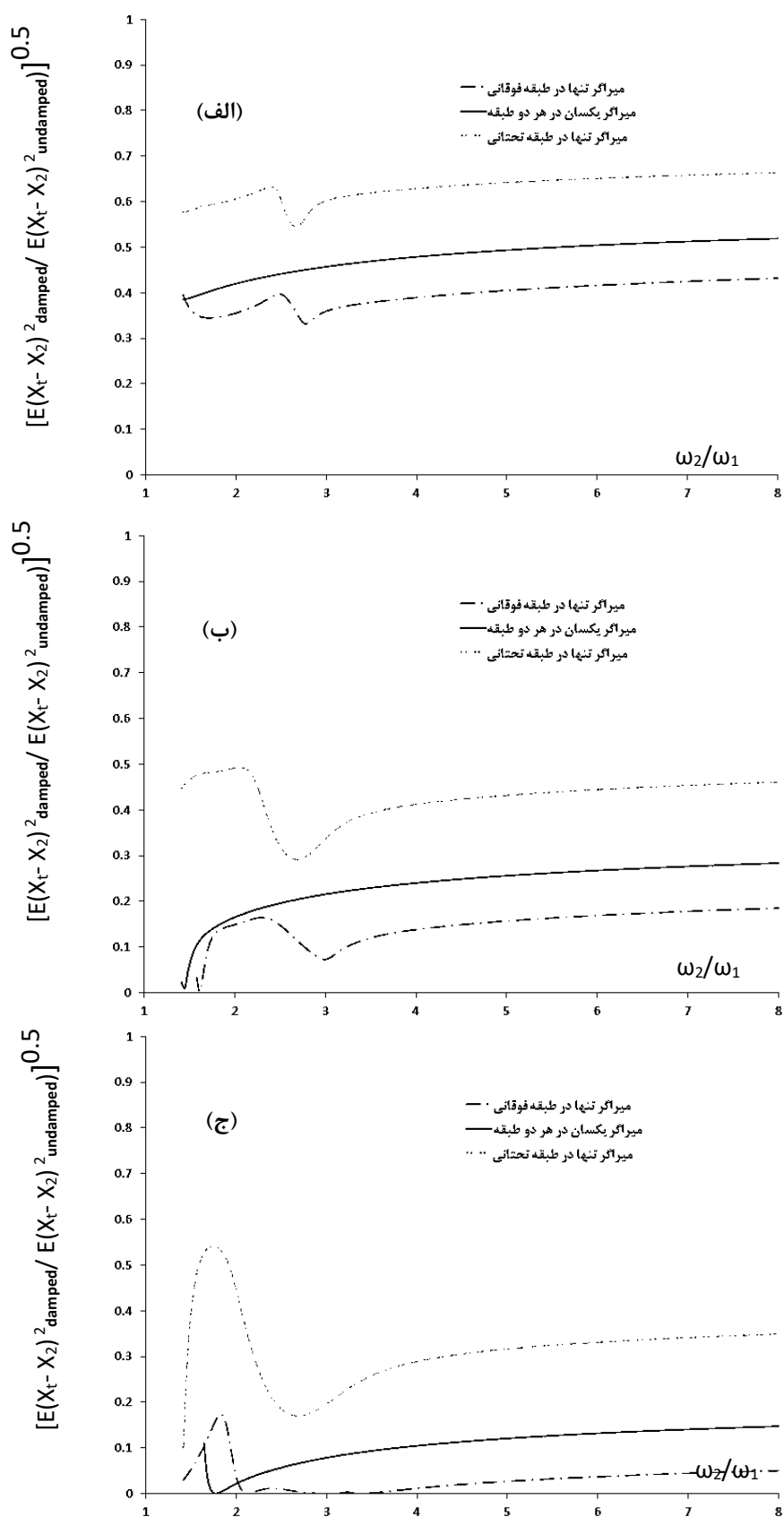
در این مقاله به بررسی جانمایی‌های مختلف میراگر لزوج، بین دو ساختمان و یا درون آنها و نیز در تراز طبقات مختلف، بر بهبود رفتار و کاهش ضربه بین دو ساختمان پرداخته شده است. در همین راستا، ابتدا نشان داده شد که تعبیه میراگر بین دو سازه یک درجه آزادی می‌تواند معادل افزودن همان میرایی به هر دو سازه باشد. سپس، ضمن صحت‌سنجی از کفایت طیف سفید در برآورد تغییرات پاسخ سازه‌ای با تغییرات میرایی و سختی، پاسخ‌های مطلوب شامل تغییرمکان‌های نسبی و مطلق دو سازه و شتاب مطلق آنها تحت ورودی‌های طیف سفید ایده‌آل و طیف سفید فیلتر شده (کانای- تاجیمی) در حالت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه و نتایج زیر حاصل گردید:

۱- برای نسبت فرکانس طبیعی کمتر از ۲، افزودن میراگر بین دو سازه راهکار مناسبتری برای کاهش تغییرمکان نسبی دو سازه نسبت به افزودن مستقیم میرایی تنها به یکی از دو سازه است. همچنین افزودن میرایی به سازه با فرکانس پایین‌تر نیز مناسبتر از افزودن همان میرایی به سازه مجاور آن است.

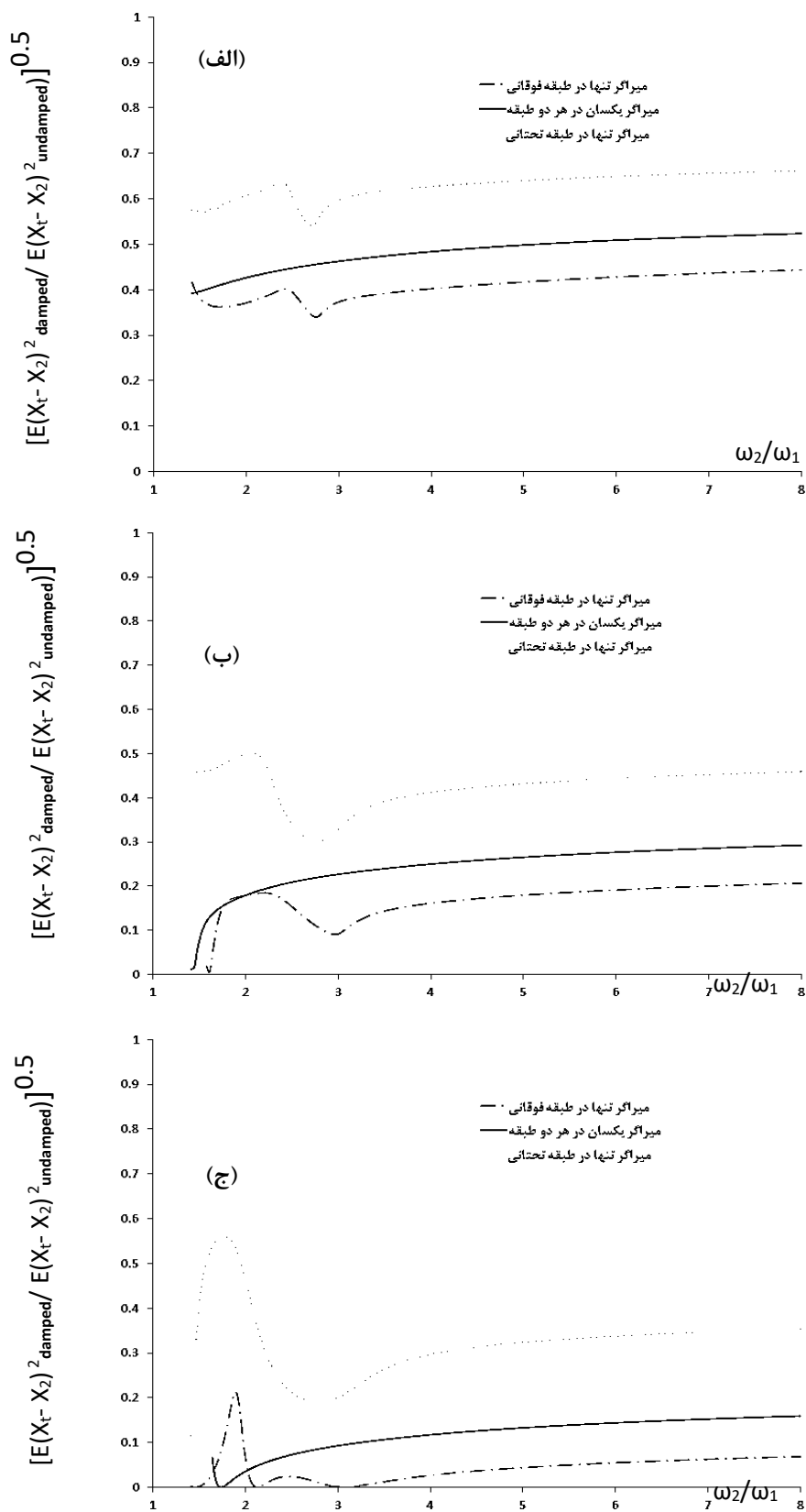
۲- برای نسبت فرکانس طبیعی بزرگتر از ۲، اتصال میراگر بین دو سازه تفاوت مهمی از نظر تغییرمکان نسبی دو سازه با افزودن همان میزان میرایی به سازه با فرکانس طبیعی پایین‌تر ندارد.

۳- استفاده از میراگر، به‌عنوان رابط بین دو ساختمان، ضمن اینکه می‌تواند منجر به کاهش شتاب سازه با فرکانس طبیعی پایین‌تر به‌اندازه حالتی گردد که میراگر به آن سازه متصل شده باشد، بلکه می‌تواند شتاب سازه مجاور را نیز با کاهش مواجه نماید؛ بخصوص در خاکهای نرم‌تر که این کاهش حتی می‌تواند به بیش از ۵۰٪ هم برسد.

۴- استفاده از میراگر در ترازهای طبقات بالاتر سبب کاهش بیشتر در حرکت نسبی دو سازه در طبقات مختلف شده و از این طریق می‌توان ضمن بهره‌گیری کامل‌تر و بهتر از ظرفیت میراگر، به کاهش امکان وقوع ضربه بین دو سازه حین یک رخداد لرزه‌ای کمک شایانی نمود.



شکل ۱۵: حرکت نسبی دو قاب در طبقه فوقانی بر حسب نسبت فرکانسی برای میرایی‌های تکمیلی الف) ۲۰٪، ب) ۵۰٪، ج) ۸۰٪.



شکل ۱۶: حرکت نسبی دو قاب در طبقه تحتانی بر حسب نسبت فرکانسی برای میرایی‌های تکمیلی (الف) ۲۰٪، (ب) ۵۰٪، (ج) ۸۰٪

۵- تحقیق انجام گرفته مؤید این نتیجه کلی است که استفاده از میراگر لزج سبب کاهش قابل توجه در تغییر مکان نسبی دو سازه می گردد. البته میزان کاهش در پاسخ با افزایش در میرایی کاهش پیدا می نماید؛ بگونه ای که افزایش میرایی از ۲۰٪ تا ۵۰٪ میرایی بحرانی تأثیر بیشتر و مشهودتری نسبت به افزایش میرایی از ۵۰٪ تا ۸۰٪ میرایی بحرانی خواهد داشت. در این تحقیق، کاهش تا حد ۸۰٪ و بیشتر در حرکت نسبی سازه نسبت به حالت آزاد تحت اثر وجود میراگر لزج بدست آمده است.

سپاسگزاری

این تحقیق با استفاده از پژوهانه اعطایی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل با شماره BNUT/370680/97 انجام گرفته است. نویسندگان مقاله از این حمایت مالی کمال سپاسگزاری را دارند.

مراجع

- [1] Kobori, T., Yamada, T., Takenada, Y., Maeda, Y., Nishimura, Y. (1988). Effect of dynamic tuned connector on reduction of seismic response-application to adjacent office buildings. *Proceedings of 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo-kyoto, Vol. V, pp.773-778.
- [2] Ni, Y.Q., Ko, J.M., Ying, Z.G. (2001) Random seismic response analysis of adjacent buildings coupled with non-linear hysteretic dampers. *J. Sound Vibr.*, 246, 403-417.
- [3] Filiatrault, A., Folz, B. (1992) Nonlinear earthquake response of structurally interconnected buildings. *Can. J. Civ. Eng.*, Vol. 19, pp. 560-572.
- [4] Bhaskararao A.V., Jangid R.S. (2006). Seismic analysis of structures connected with friction dampers. *Eng. Struct.*, 28, pp. 690-703.
- [5] Malhotra A., Carson, D., Gopal, P., Braimah, A., Di Giovanni, G., Pall, R. (2004). Friction dampers for upgrade of St. vincente hospital, Otawwa. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada, paper No. 1952.
- [6] Symans M.D., Constantinou M.C. (1998) Passive Fluid Viscous Damping systems for seismic energy dissipation. *ASET J. Earthq. Technol.*, 4, pp. 185-206.
- [7] Xu Y.L., He Q., Ko J.M. (1999). Dynamic response of damper-connected adjacent buildings under earthquake excitation. *Eng. Struct. ASCE*, 129, pp. 197-205.
- [8] Patel C.C., Jangid R.S. (2010). Seismic response of dynamically similar adjacent structures connected with viscous dampers. *The IES J., Part A: Civ. Struct. Eng.*, Vol. 3, pp. 1-13.
- [9] Abd-Elsalam S, Eraky A, Abd-El-Motaleb H, Abdo A. (2012) Control of adjacent isolated-buildings pounding using viscous dampers. *J. Ame. Sci.*, 8(12), pp. 1251-1259.
- [10] Kandemir-Mazanoglu E.C., Mazanoglu K. (2017). An optimization study for viscous dampers between adjacent buildings. *Mech. Syst. Signal Process.*, 89, pp.88-96.
- [11] Mirzagoltabar Roshan, A., Ahmadi Taleshian, H., Eliasi, A. (2017). Seismic pounding mitigation by using viscous and viscoelastic dampers. *Proceedings of the International Conference of Scientist*, Moscow, Russia.
- [12] Izharulhaque Q., Shinde S. (2016). Study of pounding mitigation techniques by use of energy dissipation devices. *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, 7(4), pp. 422-431.
- [13] Passoni C, Belleri A, Marini A, Riva P. (2014). Existing structures connected with dampers: State of the art and future developments. *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, 25-29 August, Istanbul.
- [14] Miari M, Choong KK, Jankowski R. (2019). Seismic pounding between adjacent buildings: Identification of parameters, soil interaction issues and mitigation measures. *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, 121, pp. 135-150.
- [15] Petti L., De luliis M. (2008) Torsional seismic response control of asymmetric-plan systems by using viscous dampers. *J. Eng. Struct.*, 30(11), pp. 3377-3388.

- [16] Kasai K., Jeng V., Patel P.C., Munshi J.A. Maison B.F. (1992). Seismic pounding effects- Survey and analysis. *Proceeding of the 10th World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. VII, pp. 3893-3898.
- [17] Kasai K., Jagiasi AR. (1993). Viscoelastic dampers for seismic pounding mitigation. *Proceeding of the Structural Congress*, ASCE. Irvine, CA.
- [18] Jankowski R. and Mahmoud S. (2015). *Earthquake-Induced Structural Pounding*. GeoPlanet: Earth Plan. Sci., Springer Int. Pub., Switzerland.
- [19] Jankowski R., Mahmoud S. (2016). Linking of adjacent three-storey buildings for mitigation of structural pounding during earthquakes. *Bull. Earth. Eng.*, 14(11), pp.3075-97.
- [20] Zhang W.S., Xu Y.L. (1999). Dynamic characteristics and seismic response of adjacent buildings linked by discrete dampers, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.* 28, pp. 1163-1185.
- [21] Abdel-Mooty M.A.N, Ahmed N.Z. (2017). Pounding mitigation in buildings using localized interactions. *Proceeding of the World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM 17)*, IIsun (Seoul), Korea.
- [22] Pratesi, F., Sorace, S., Terenzi, G. (2014). Analysis and mitigation of seismic pounding of a slender R/C bell tower, *J. Eng. Struct.* 73, pp. 23-34.
- [23] Kim J., Ryu J., Chung L. (2006). Seismic performance of structures connected by viscoelastic dampers. *J. Eng. Struct.*, 28, pp.183-195.
- [24] Kim, J. Bang, S. (2002). Optimum distribution of added viscoelastic dampers for mitigation of torsional responses of plan-wise asymmetric structures. *J. Struct. Eng.*, 24, pp. 1257-1269.
- [25] Zhu HP, Xu,YL. (2005). Optimum parameters of Maxwell model-defined dampers used to link adjacent buildings. *J. Sound Vibr.*, 279, pp. 253-274.
- [26] Lutes LD. And Sarkani S. (2004). *Random Vibrations, Analysis of Structural and Mechanical Systems*, Elsevier, Burlington, MA.
- [27] Kanai, K. (1957). Semi-empirical Formula for the seismic Characteristics of the Ground. *Bull. Earthq. Research Ins.*, Vol. XXXV, part 2.
- [28] Tajimi, H. (1960). A Statistical Method of Determining the Maximum Response of a Building structure during an Earthquake. *Proceeding of the second World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo and Kyoto, Japan.