مهندسی عمران شریف، (زمستان ۱۳۹۳)
دوره‌ی ۲-۳۰، شماره‌ی ۴/۱، ص. ۶۷-۷۴

Original Article

بررسی تأثیر میراگرهای الحاقی در پاسخ دینامیکی سازه‌های جداسازی‌شده‌ی لرزه‌یی تحت اثر زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک و دور

مجتبی فتحی* **(استادیار)**
اکبر مخدومی (دانشجوی کارشناسی ارشد)
دانشکده‌ی فنی‌مهندسی، دانشگاه رازی کرمانشاه

جداسازی لرزه‌یی به‌منزله‌ی یک رویکرد نوین کنترل غیرفعال سازه قادر است به‌طور چشمگیری پاسخ سازه را در حرکات قوی زمین کاهش دهد. عملکرد این سیستم‌ها در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک، که حاوی شتاب‌هایی با محتوای بسامدی بالا و پالس‌های بلند هستند، با تردید روبرو است. به‌کارگیری میراگرهای ویسکوز در تراز جداسازی، یکی از راهکارهای ارائه‌شده برای بهبود عملکرد این سیستم‌ها در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک است. در این نوشتار، تأثیر مقادیر مختلف میرایی الحاقی از ۵٪ تا ۴۰٪ در سازه‌های جداسازی‌شده تحت زلزله‌های مختلف در نرم‌افزار ABAQUS مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که افزایش میرایی الحاقی در شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک، جابجایی تراز جداسازی را کاهش می‌دهد، اما سبب افزایش جابجایی نسبی طبقات و شتاب طبقات می‌شود. در حالی که افزایش میرایی الحاقی در تحلیل‌های تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی دور سبب کاهش جابجایی تراز جداسازی، جابجایی نسبی طبقات، و افزایش شتاب طبقات می‌شود.

واژگان کلیدی: میراگر الحاقی، جداسازی لرزه‌یی، تحلیل دینامیکی غیرخطی، زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک.

fathim@razi.ac.ir
makhdoumi.ar@gmail.com

۱. مقدمه

جداسازی لرزه‌یی بر این اصل استوار است که با جداکردن سازه یا قسمتی از آن و یا تجهیزات داخلی آن، از تأثیرات مخرب شتاب زمین بر آنها بکاهیم. روش‌های مرسوم طراحی مبتنی بر افزایش ظرفیت سازه است، ولی در جداسازی لرزه‌یی با کاهش نیاز لرزه‌یی می‌توان پاسخ سازه را در محدوده‌یی ایمن قرار داد. جداساز لرزه‌یی قادر است با دورکردن زمان تناوب سازه از زمان تناوب غالب زمین لرزه‌ها، پاسخ سازه را کاهش و در نتیجه خسارات وارده را به کمینه برساند. این روش تنها روش عملی کاهش هم‌زمان تغییرمکان بین طبقه‌یی و شتاب‌های طبقه است. این مسئله می‌تواند در ساختمان‌هایی که تجهیزات مهم و حساس دارند، بسیار مفید باشد.[۱-۴] در سازه‌های جداسازی‌شده، به‌دلیل وجود لایه‌ی جداسازی با سختی افقی پایین، تغییرشکل در مود اول، که بیش از ۹۵٪ جرم مؤثر سازه را نیز در بر می‌گیرد و مود غالب محسوب می‌شود، در تراز جداسازی اتفاق می‌افتد و روسازه تقریباً به‌صورت صلب حرکت می‌کند. بنابراین، می‌توان سازه‌ی جداسازی‌شده را به‌صورت یک درجه‌ی آزادی مدل کرد، که این درجه‌ی آزادی در تراز جداسازی در نظر گرفته می‌شود. اما، به منظور درنظرگرفتن تغییرشکل روسازه، می‌توان سازه را به‌صورت دو درجه‌ی آزادی مدل کرد و علاوه بر تراز جداسازی، یک درجه‌ی آزادی نیز در تراز فوقانی برای روسازه در نظر گرفت.[۶-۱] با توجه به نحوه‌ی عملکرد سیستم‌های جداساز، به‌کارگیری این سیستم‌ها در ساختمان‌های بلند که به خودی خود دارای زمان تناوب طولانی هستند و همچنین عملکرد این سیستم‌ها در زمین‌لرزه‌های حوزه‌ی نزدیک که پالس‌های بلند با زمان تناوب طولانی دارند، همواره مورد تردید بوده است. در زمین‌لرزه‌های حوزه‌ی دور (FF)[۱]، جداساز لرزه‌یی تغییرشکل‌های متعارف و قابل قبولی را تجربه می‌کند؛ اما در سازه‌های جداسازی‌شده‌ی لرزه‌یی تحت زمین‌لرزه‌های حوزه‌ی نزدیک (NF)[۲]، این تغییرشکل‌ها بسیار زیاد خواهد بود. بنابراین، ممکن است جداسازهای با اندازه‌های بسیار بزرگ مورد نیاز باشد، تا قادر باشند که این تغییرشکل‌ها را تجربه کنند.[۴-۱۱] همچنین احتمال برخورد افزایش می‌یابد و در صورت وجود محدودیت تغییرمکانی و وقوع برخورد با دیواره‌ی تراز جداسازی پاسخ سازه تغییر خواهد کرد و شتاب سازه و تغییرمکان نسبی طبقات به‌طور قابل ملاحظه‌یی افزایش می‌یابند.[۱۲-۱۵] استفاده از جداسازهای بسیار بزرگ ممکن است به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نباشد، لذا به منظور کاهش این تغییرشکل‌های بزرگ، افزایش میرایی سیستم جداسازی یا به‌کارگیری میراگرهای الحاقی در تراز جداسازی می‌تواند راه حل مناسبی باشد. هر چند که ممکن است سبب افزایش شتاب و یا تغییر در توزیع برش پایه در طبقات شود.[۷-۱۱]

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۱/۸/۸، اصلاحیه ۱۳۹۲/۵/۷، پذیرش ۱۳۹۲/۵/۲۷.

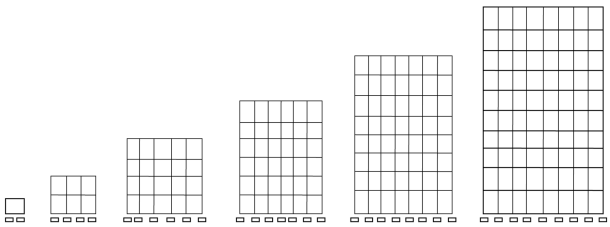
انواع مختلفی از جداسازهای لرزه‌یی شامل جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی و بدون هسته‌ی سربی، جداسازهای اصطکاکی و انواع دیگر در دهه‌های اخیر توسعه یافته‌اند و در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مشخصه‌های اصلی نشیمن‌های لاستیکی، نسبت خیلی زیاد سختی قائم به سختی افقی است، که این خاصیت توسط صفحات مسلح‌کننده، که به‌طور رایج صفحات نازک فولادی هستند، ایجاد می‌شود و این ویژگی سبب می‌شود که روسازه به راحتی تغییرمکان دهد و از انتقال حرکت زمین به روسازه به میزان زیادی جلوگیری شود.

نگاشت‌های ثبت‌شده در نواحی نزدیک گسل خصوصیات ویژه‌یی دارند که آنها را از سایر نگاشت‌ها متمایز می‌سازد، از جمله‌ی این خواص می‌توان به داشتن شتابی با محتوای بسامدی بالا با دامنه‌ی بلند و ماهیت پالس‌گونه و بیشینه‌ی جابجایی و سرعت بالا اشاره کرد. نزدیکی فاصله تا منبع انتشار امواج سبب می‌شود تا بسامدهای بالا از بین نرود و رکوردهای حوزه‌ی نزدیک، محتوای بسامدی بالاتری نسبت به حوزه‌ی دور داشته باشند. همچنین این رکوردها دارای یک یا چند پالس بلند در ابتدای رکورد هستند، که این ویژگی‌ها با توجه به بزرگای زلزله، نوع، و طول گسل تغییر می‌کند. این پالس‌های بلند باعث می‌شوند تا قسمت بزرگی از انرژی زلزله در یک یا دو پالس به‌طور ناگهانی به سازه وارد شود.[۱۶-۱۸]

متداول‌ترین پارامترهای مربوط به شدت یک زمین‌لرزه‌ی ثبت‌شده شامل: بیشینه‌ی شتاب زمین (PGA)، بیشینه‌ی سرعت زمین (PGV)، و بیشینه‌ی تغییرمکان زمین (PGD) هستند، که در انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها، علی‌الخصوص شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک باید مد نظر قرار گیرند.

۲. مدل‌سازی قاب‌های مورد مطالعه

سازه‌ی مورد بررسی در این مطالعه، به‌صورت قاب خمشی ۱، ۲، ۴، ۶، ۸، و ۱۰ طبقه است (شکل ۱). ارتفاع طبقات در کلیه‌ی قاب‌ها برابر با ۳٫۲ متر و بار مرده و زنده به ترتیب برابر با ۷۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع لحاظ شده است. همچنین در تراز جداسازی، یک دیافراگم صلب در نظر گرفته شده است. اعضاء قاب در ابتدا با فرض پایه‌ی ثابت و به‌صورت استاتیکی طراحی شدند (جدول ۱). و سپس مدل‌های موردنظر در نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS به‌صورت تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی مورد بررسی قرار گرفتند. در این مطالعه، مدل‌سازی به‌صورت دوبعدی انجام و از المان Wire برای ترسیم تیر و ستون مدل‌ها استفاده شده است. استفاده از این المان سرعت کار و تحلیل را بسیار بالا می‌برد. در این مطالعه، به منظور تعریف جداسازهای لرزه‌یی و در پای ستون‌ها از المان Connector و همچنین به منظور مدل‌سازی میراگرهای الحاقی از المان Dashpot استفاده شده است. اعمال نیروی زلزله براساس شتاب‌نگاشت از طریق Amplitude تعریف و سپس با استفاده از منوی Boundary Condition در تراز پایه‌ی مدل‌ها اعمال شده است. در این نوشتار، به منظور بررسی دقیق‌تر پاسخ سازه، در تراز هر طبقه یک درجه



شکل ۱. قاب‌های فولادی خمشی ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ طبقه‌ی جداسازی‌شده.

جدول ۱. مشخصات مقاطع و زمان تناوب قاب‌های مورد مطالعه.

قاب مورد مطالعه	زمان تناوب: جداسازی‌شده	زمان تناوب: پایه‌ی ثابت	ستون	تیر
۱ طبقه	۱٫۸۲	۰٫۲۱	IPB ۱۸۰	IPB ۱۸۰
۲ طبقه	۲٫۱۱	۰٫۳۴	IPB ۲۰۰	IPB ۲۰۰
۴ طبقه	۲٫۴۶	۰٫۵۴	IPB ۲۴۰	IPB ۲۲۰
۶ طبقه	۲٫۶۲	۰٫۸۲	IPB ۲۸۰ IPB ۲۶۰	IPB ۲۴۰ IPB ۲۲۰
۸ طبقه	۲٫۹۳	۱٫۰۵	IPB ۳۴۰ IPB ۳۲۰	IPB ۲۴۰ IPB ۲۲۰
۱۰ طبقه	۳٫۱۴	۱٫۳۸	IPB ۴۰۰ IPB ۳۰۰ IPB ۲۸۰	IPB ۲۶۰ IPB ۲۴۰ IPB ۲۲۰

آزادی لحاظ شده است. مدل‌های موردنظر در شرایط ساخت‌گاهی با سرعت موج برشی ۳۶۰-۷۵۰ m/s تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک و دور و با الحاق میراگرهای ویسکوز با مقادیر مختلف میرایی مورد بررسی قرار گرفتند. در تحلیل‌ها میرایی سیستم جداسازی بدون میراگرهای الحاقی ویسکوز برابر با $\xi_0 = ۱۰٪$ در نظر گرفته شده و سپس با افزایش میرایی الحاقی برای مقادیر ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪، ۲۵٪، ۳۰٪، ۳۵٪ و ۴۰٪ پاسخ سازه مورد بررسی قرار گرفته است، در این مطالعه از جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی استفاده شده است. میراگرهای مورد استفاده نیز میراگرهای ویسکوز هستند که از جمله متداول‌ترین وسایل مستهلک‌کننده‌ی مورد استفاده در طراحی مقاوم لرزه‌یی سازه‌ها هستند و در آنها از میرایی ناشی از لزجت سیالات در حین حرکت استفاده می‌شود. در مدل‌های موردنظر در زیر هر ستون از یک نشیمن لاستیکی و یک میراگر ویسکوز استفاده شده است.

مشخصات شتاب‌نگاشت‌های انتخابی در این مطالعه در جدول ۲ و شکل ۲ نشان داده شده است. نگاشت‌های انتخابی حوزه‌ی نزدیک در فاصله‌ی کمتر از ۱۰ کیلومتر و نگاشت‌های حوزه‌ی دور در محدوده‌ی بین ۲۵ تا ۴۰ کیلومتر است. در انتخاب شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک علاوه بر معیار فاصله نسبت به مرکز زلزله، پارامتر بیشینه‌ی سرعت زمین (PGV) نیز ملاک نظر بوده است.

مشخصات سختی و میرایی جداساز لرزه‌یی و میراگرهای الحاقی در جدول ۳ نشان داده شده است. سختی و میرایی مؤثر جداسازها با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شده است، که در این روابط W وزن کل سازه، T_{iso} زمان تناوب سیستم جداسازی و ξ نسبت میرایی تراز جداسازی هستند. همچنین فرض بر این بوده است که سازه‌ی جداسازی‌شده به راحتی اجازه‌ی تغییرمکان داشته باشد و هیچ‌گونه محدودیتی از این لحاظ نداشته باشد.

$$K_{eff} = \frac{W}{g}\left(\frac{۲\pi}{T_{iso}}\right)^۲ \quad (۱)$$

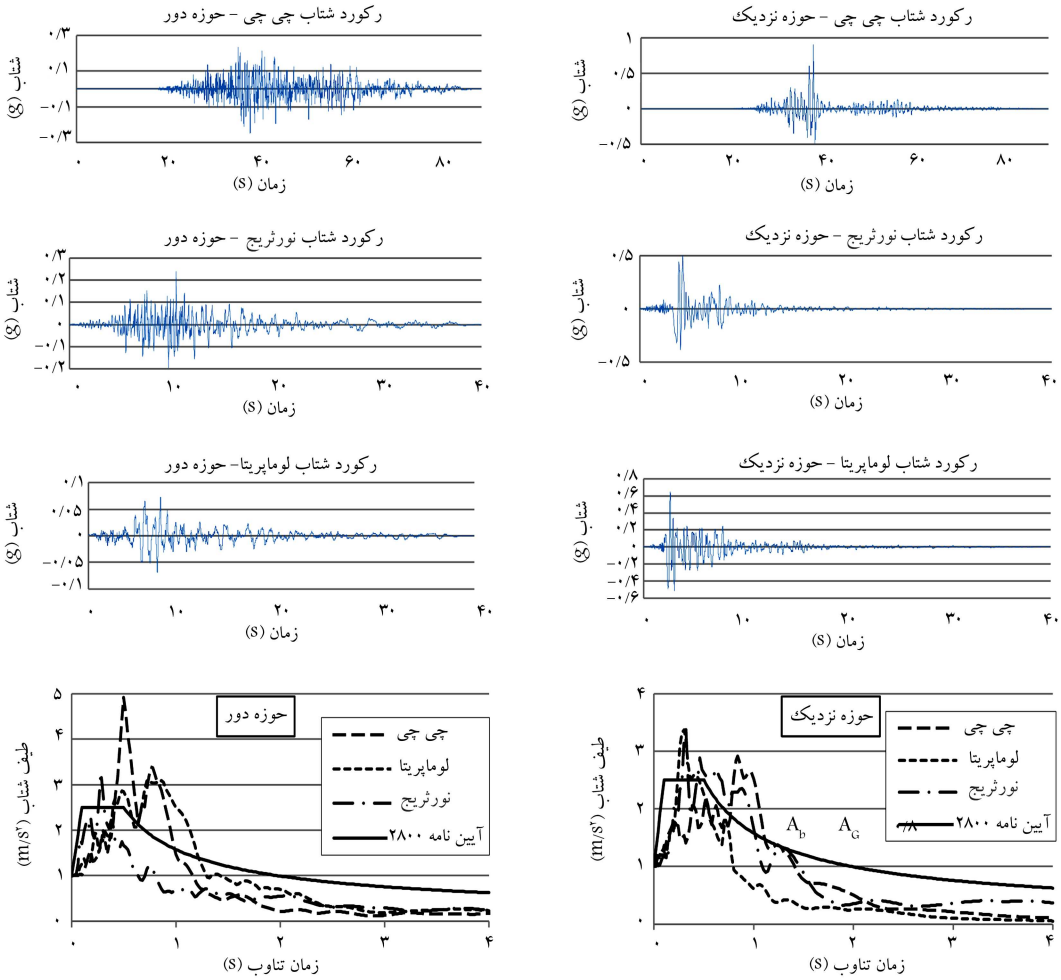
$$C = ۲\zeta\sqrt{MK_{eff}} \quad (۲)$$

۳. بررسی تحلیل‌های انجام‌شده

در شکل‌های ۳ الی ۷ پاسخ سازه در مدل‌های ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ طبقه برای نسبت‌های مختلف میرایی الحاقی نشان داده شده است. در شکل‌های مذکور، طبقه‌ی صفر مربوط به تراز جداسازی است و همچنین میرایی الحاقی صفر در

جدول ۲. مشخصات زمین‌لرزه‌های حوزه‌ی نزدیک و حوزه‌ی دور.[۱۹]

نوع زلزله	زلزله	ایستگاه	شدت	فاصله (km)	PGA (cm/s²)	PGV (cm/s)	PGD (cm)
حوزه‌ی نزدیک	چی چی	CHY۰۸۰	۷/۶	۶/۷۹	۹۰۲	۱۰۲/۴	۳۳/۹۷
	نورثریج	P-K-C	۶/۷	۸/۱	۴۳۳	۵۱/۵	۷/۲۱
	لوماپریتا	Corralitos	۶/۹	۵/۱	۶۴۴	۵۵/۲	۱۰/۸۸
حوزه‌ی دور	چی چی	CHY۰۸۶	۷/۶	۳۵/۴۱	۲۰۴	۱۷/۸	۷/۸۹
	نورثریج	LA-Ba-H	۶/۷	۲۶/۲	۲۳۹	۱۴/۹	۶/۱۷
	لوماپریتا	SAGO-S	۶/۹	۳۴/۱	۷۳	۱۰/۵	۶/۴



شکل ۲. شتاب‌نگاشت‌های مورد مطالعه و طیف بازتاب رکوردهای شتاب حوزه‌ی نزدیک و حوزه‌ی دور.

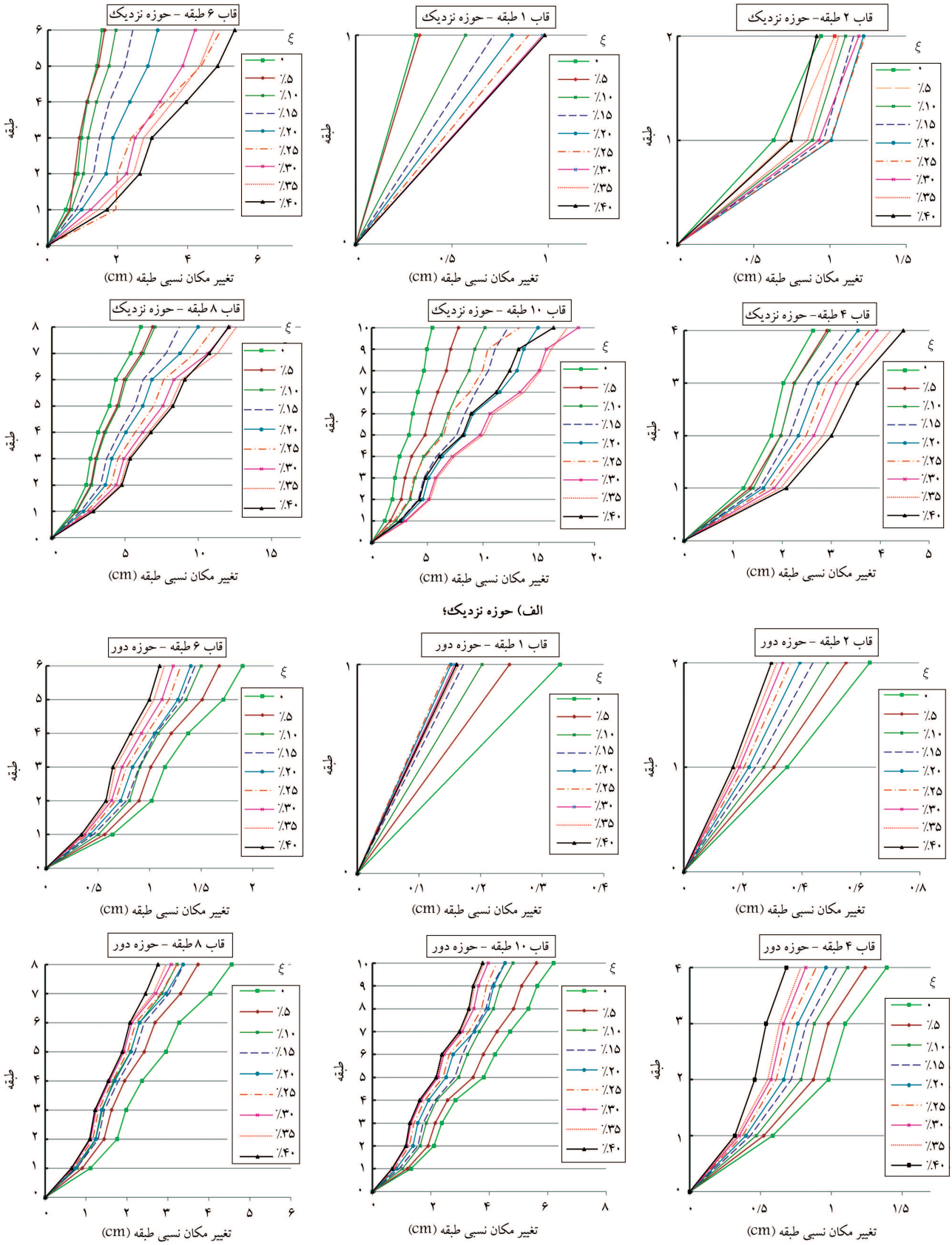
حالتی است که از میراگر استفاده نشده است و فقط میرایی سیستم جداسازی که در این تحلیل‌ها برابر با ۱۰٪ بوده است، مد نظر بوده است. همچنین زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک با NF و زلزله‌های حوزه‌ی دور با FF نشان داده شده است.

۱.۳. تأثیر میرایی در تغییرمکان نسبی طبقات

در شکل ۳ تغییرمکان طبقات نسبت به تراز پایه ترسیم شده است. با توجه به شکل ۳، این نتایج را می‌توان استنباط کرد:

- میزان تغییرات تغییرمکان نسبی به ازاء افزایش میرایی در نسبت‌های پایین چشمگیرتر است.
- تغییرمکان روسازه تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک بیشتر از حوزه‌ی دور است.

به‌طور کلی تغییرمکان نسبی روسازه با افزایش میرایی تحت زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک افزایش پیدا کرده است، اما تحت زلزله‌ی حوزه‌ی دور کاهش پیدا کرده است.



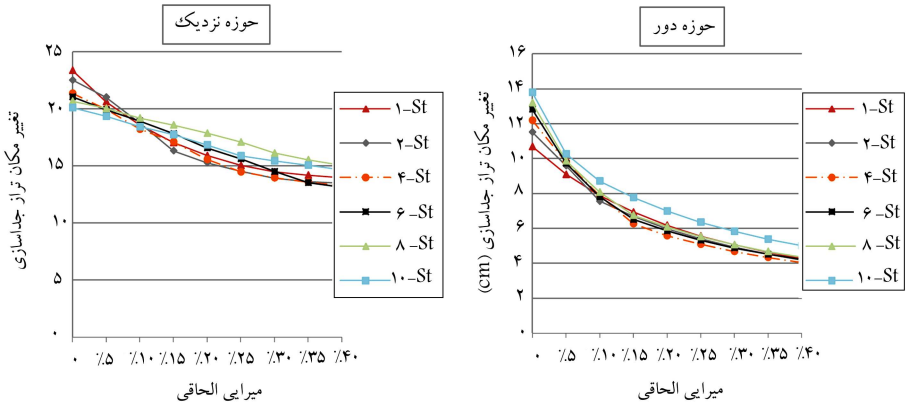
الف) حوزه نزدیک؛

ب) حوزه دور.

شکل ۳. تغییرات تغییرمکان نسبی طبقات به ازای تغییرات میرایی و تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک و حوزه‌ی دور.

جدول ۳. سختی جداساز لرزه‌یی و میرایی الحاقی اعمال‌شده توسط میراگرها.

قاب مورد مطالعه	سختی جداساز (KN/m)	نسبت میرایی								
		ξ_0	ξ_0 +٪۵	ξ_0 +٪۱۰	ξ_0 +٪۱۵	ξ_0 +٪۲۰	ξ_0 +٪۲۵	ξ_0 +٪۳۰	ξ_0 +٪۳۵	ξ_0 +٪۴۰
		ضریب میرایی (Kn.s/m)								
۱ طبقه	۷۹	۶٫۲	۹٫۴	۱۲٫۵	۱۵٫۷	۱۸٫۸	۲۲	۲۵٫۱	۲۸٫۲	۳۱٫۴
۲ طبقه	۱۱۸	۹٫۴	۱۴٫۱	۱۸٫۸	۲۳٫۵	۲۸٫۲	۳۳	۳۷٫۶	۴۲٫۴	۴۷٫۱
۴ طبقه	۳۵۱	۲۸	۴۱٫۸	۵۵٫۸	۶۹٫۸	۸۳٫۷	۹۷٫۷	۱۱۱٫۷	۱۲۵٫۶	۱۳۹٫۶
۶ طبقه	۵۲۰	۴۱٫۳	۶۲	۸۲٫۷	۱۰۳٫۴	۱۲۴٫۱	۱۴۴٫۷	۱۶۵٫۴	۱۸۶٫۱	۲۰۶٫۸
۸ طبقه	۶۹۶	۵۵٫۴	۸۳٫۱	۱۱۰٫۸	۱۳۸٫۵	۱۶۶٫۲	۱۹۴	۲۲۱٫۶	۲۴۹٫۳	۲۷۷
۱۰ طبقه	۸۵۱	۶۷٫۷	۱۰۱٫۵	۱۳۵٫۴	۱۶۹٫۳	۲۰۳٫۲	۲۳۷	۲۷۱	۳۰۴٫۸	۳۳۸٫۶



شکل ۴. تغییرات تغییرمکان پایه به ازای تغییرات میرایی الحاقی و تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک و حوزه‌ی دور.

۲.۳. تأثیر میرایی در تغییرمکان پایه (تراز جداسازی)

در شکل ۴، تغییرمکان تراز جداسازی به ازاء مقادیر مختلف میرایی، در قاب‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴، این نتایج را می‌توان استنباط کرد:

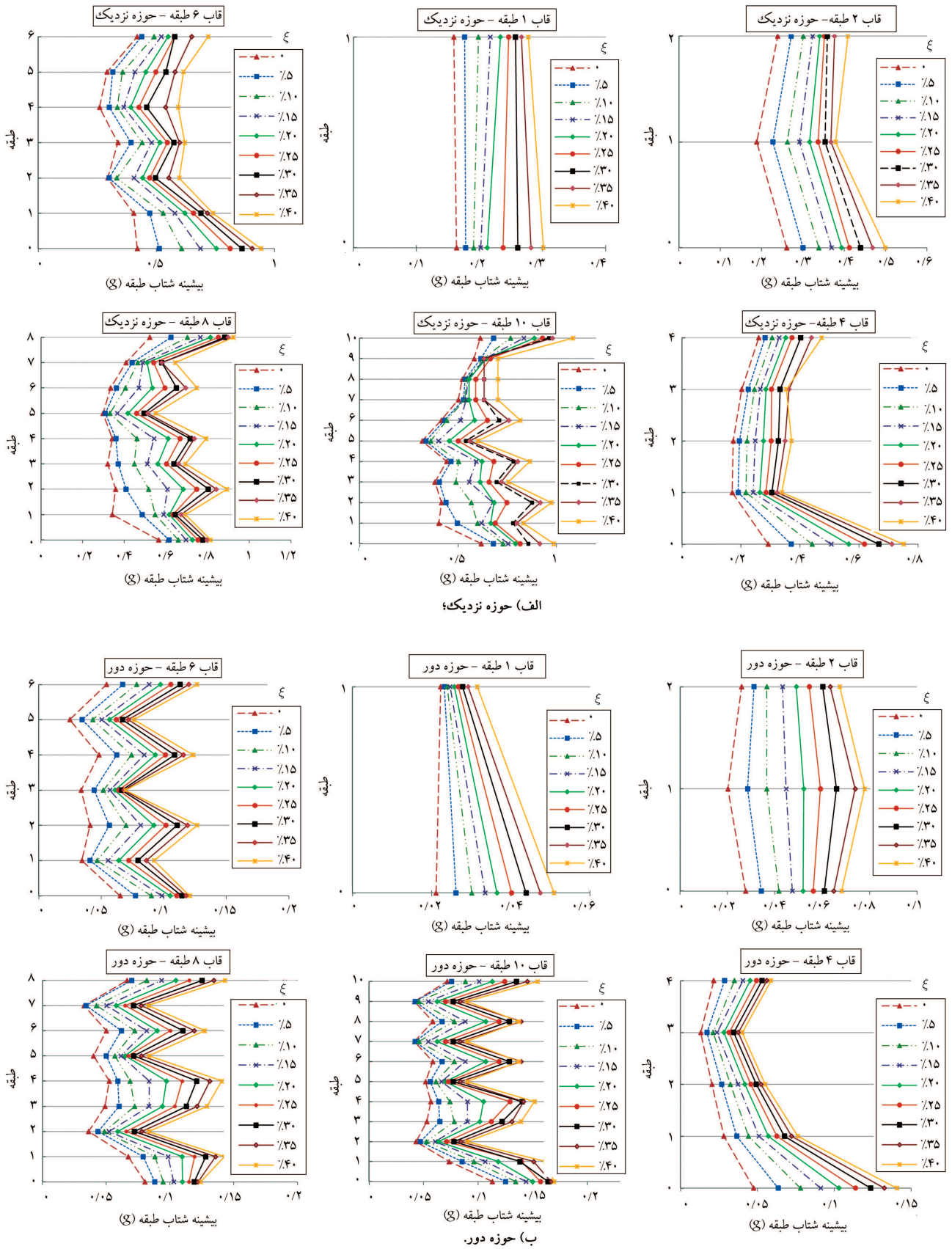
- با افزایش میرایی الحاقی تغییرمکان تراز جداسازی کاهش می‌یابد.
- افزایش میرایی در نسبت‌های پایین میرایی (تا حدود ۲۰٪) تأثیر بیشتری در کاهش تغییرمکان دارد.
- مقدار تغییرمکان پایه تحت شتاب نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک بیشتر از شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی دور است.
- با افزایش ارتفاع روسازه، تغییرمکان پایه تحت زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک کاهش ناچیز، اما تحت زلزله‌ی حوزه‌ی دور افزایش ناچیز پیدا می‌کند.
- تأثیر افزایش میرایی الحاقی در تغییرمکان تراز جداسازی در خاک‌های نرم‌تر قابل توجه‌تر است.

۳.۳. تأثیر میرایی در شتاب طبقات

در شکل ۵، بیشینه‌ی پاسخ شتاب طبقات در مدل‌های ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ طبقه برای نسبت‌های مختلف میرایی الحاقی نشان داده شده است.

به منظور نتیجه‌گیری ساده‌تر تحلیل‌ها، مقادیر بیشینه‌ی شتاب طبقات برای قاب‌های مذکور به ازاء تغییرات میرایی در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶، این نتایج را می‌توان استنباط کرد:

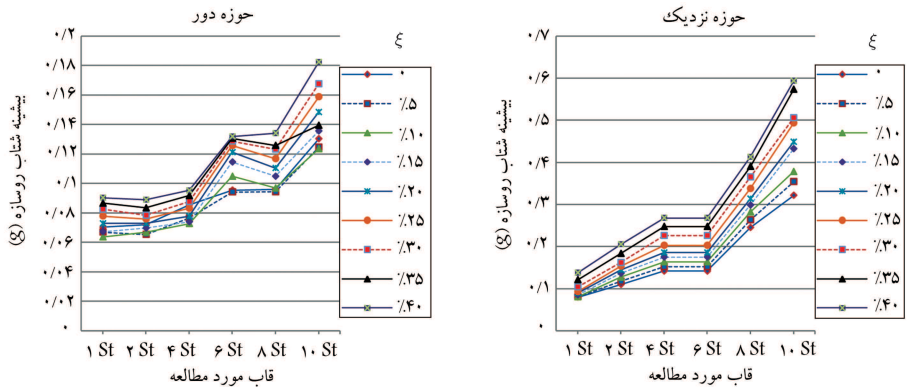
- به‌طورکلی با افزایش میرایی، شتاب طبقه افزایش پیدا می‌کند.
- تغییرات شتاب در تراز طبقات نسبت به تراز پایه خیلی چشمگیر نیست.
- با افزایش ارتفاع روسازه، شتاب افزایش می‌یابد.
- تأثیر تغییرات میرایی در تغییرات شتاب در سازه‌های بلندتر بیشتر است.
- شتاب طبقات تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک بسیار بیشتر از شتاب نگاشت‌های حوزه‌ی دور است.
- در قاب‌های ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ در تراز طبقه با افزایش میرایی الحاقی یک روند تقریباً یکنواخت در افزایش شتاب مشاهده می‌شود.
- در تراز جداسازی (طبقه‌ی صفر) در قاب ۲ طبقه با افزایش میرایی، شتاب طبقه در ابتدا کاهش می‌یابد و سپس میرایی الحاقی ۲۵٪ شروع به افزایش می‌کند.
- در قاب ۴ طبقه نسبت شتاب در طبقه‌ی دوم به شتاب پایه تغییر چندانی نداشته است، اما در تراز فوقانی افزایش دیده می‌شود.
- در مدل‌های ۶، ۸ و ۱۰ طبقه، شتاب تراز فوقانی نسبت به تراز طبقه‌ی صفر (تراز جداسازی) در نسبت‌های پایین میرایی الحاقی (۲۰٪-۰) تغییرات قابل ملاحظه‌یی



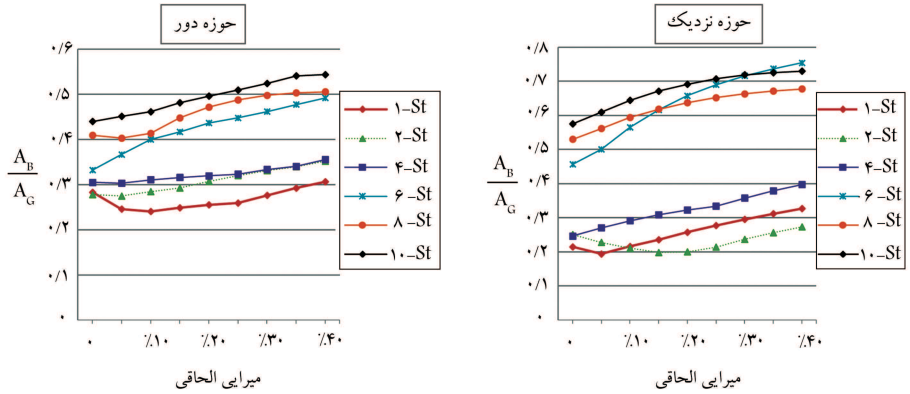
الف) حوزه نزدیک؛

ب) حوزه دور.

شکل ۵. تغییرات شتاب طبقات به ازای تغییرات میرایی و تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک و حوزه‌ی دور.



شکل ۶. تغییرات بیشینه‌ی شتاب به ازاء تغییرات میرایی در قاب‌های مختلف تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک و حوزه‌ی دور.



شکل ۷. تغییرات شتاب تراز جداسازی نسبت به بیشینه‌ی شتاب زمین و تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک و حوزه‌ی دور.

مشاهده نمی‌شود، اما برای نسبت‌های میرایی‌های بالاتر مقداری افزایش را نشان می‌دهد. همچنین در طبقات میانی نسبت به شتاب پایه مقداری کاهش مشاهده می‌شود.

- در مدل‌های مورد بررسی (۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ طبقه) با افزایش میرایی، یک روند تقریباً یکنواخت در افزایش شتاب مشاهده می‌شود، تغییرات شتاب در تراز فوقانی نسبت به تراز پایه نیز تقریباً ناچیز است. در حوزه‌ی دور، شتاب طبقات میانی نسبت به پایه کاهش نشان داده، اما با افزایش میرایی میزان شتاب در طبقات میانی نیز افزایش یافته است.

۴.۳. تأثیر میرایی به نسبت شتاب پایه

در شکل ۷، تغییرات شتاب تراز جداسازی (A_B) نسبت به بیشینه‌ی شتاب زمین (A_G) به ازاء مقادیر مختلف میرایی نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشخص است که جداسازی لرزه‌یی، شتاب وارده به سازه را به میزان چشمگیری کاهش می‌دهد. نسبت شتاب تراز جداسازی به شتاب زمین می‌تواند بیانگر انرژی وارده به سازه باشد. با توجه به شکل ۷ می‌توان نتیجه گرفت که:

- نسبت شتاب در سازه با ارتفاع بیشتر چشمگیرتر است.
- با افزایش میرایی الحاقی، نسبت شتاب پایه به شتاب زمین افزایش می‌یابد.
- مقادیر شتاب پایه به بیشینه‌ی شتاب زمین تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی نزدیک بیشتر از حوزه‌ی دور است.

۴. نتیجه‌گیری

جداسازی لرزه‌یی به‌عنوان یکی از روش‌های کنترل غیرفعال سازه قادر است به‌طور چشمگیری پاسخ سازه را در حرکات قوی زمین کاهش دهد. عملکرد این سیستم‌ها در زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک، که حاوی رکوردهای پالس‌گونه با زمان تناوب بالا هستند، همچنین در شرایط ساختگاهی با خاک‌های نرم با تردید روبرو بوده است. افزایش میرایی و الحاق میراگرهای ویسکوز در تراز جداسازی یکی از راهکارهای ارائه‌شده برای بهبود عملکرد این سیستم‌ها در این شرایط است. بنابراین در این مطالعه، تأثیر مقادیر مختلف میرایی اضافی تحت زلزله‌های مختلف مورد بررسی قرارگرفته است. بدین منظور ۶ سازه‌ی قاب خمشی ۱، ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ طبقه در خاک نوع دو در نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS مدل‌سازی و پاسخ سازه تحت تحلیل دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی برای مقادیر نسبت میرایی الحاقی ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪، ۲۰٪، ۲۵٪، ۳۰٪، ۳۵٪ و ۴۰٪ مورد مطالعه قرارگرفت و مشاهده شد که پاسخ سازه در برابر زمین‌لرزه‌های با امواج پالس‌گونه (زمین‌لرزه‌های گسل نزدیک) متفاوت از زمین‌لرزه‌های حوزه‌ی دور است. نتایج نشان داد که به‌طور کلی برای شتاب‌نگاشت‌های حوزه‌ی دور و حوزه‌ی نزدیک افزایش میرایی سبب کاهش تغییرمکان تراز جداسازی و افزایش شتاب طبقات می‌شود. اما، تغییرمکان نسبی طبقات تحت رکوردهای حوزه‌ی نزدیک با افزایش میرایی افزایش می‌یابد. مقدار این تغییرات در نسبت‌های پایین میرایی و سازه‌های بلندتر قابل توجه‌تر است.

پانوشت‌ها

1. far field (FF)
2. near field (NF)

منابع (References)

1. Naeim, F. and Kelly, J.M., *Design of Seismic Isolated Structures*, from Theory to Practice, Wiley (1999).
2. Jangid, R.S. and Kelly, J.M. "Base isolation for near fault motions", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **30**(5), pp. 691-707 (2001).
3. Fakhouri, M.Y. and Igarashi, A. "Dynamic response control of multi story structures by isolators with multiple plane sliding surfaces", *Engineering Structures*, **34**, pp. 81-94 (2012).
4. Kilar, V. and et al. "Seismic analysis of an asymmetric fixed base and base isolated high rack steel structure", *Engineering Structures*, **33**(12), pp. 3471-3482 (2011).
5. Spyrakos, C.C. and et al. "Soil- structure interaction effect on base isolated buildings founded on soil stratum", *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, **31**(3), pp. 729-737 (2009).
6. Spyrakos, C.C. and et al. "Seismic response of base- isolated building including soil structure interaction", *Soil Dynamic and Earthquake Engineering,* **29**(4), pp. 658-668 (2009).
7. Jangid, R.S. "Optimum lead-rubber isolation bearing for near-fault motions", *Engineering Structures*, **29**(10), pp. 2503-2513 (2007).
8. Providakis, C.P. "Effect of supplemental damping on LRB and FPS seismic isolator under near-fault ground motions", *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, **29**(1), pp. 80-90 (2009).
9. Providakis, C.P. "Effect of LRB isolator and supplemental viscous damper on seismic isolated building under near-fault excitation", *Engineering Structures*, **30**, pp. 1187-1198 (2008).
10. Sharbatdar, M.K. and et al. "Seismic response of base-isolated structures with LRB and FPS under near fault ground motions", *Procedia Engineering*, **14**, pp. 3245-3251 (2011).
11. Rofoooei, F.R. and Ebrahimi, M. "Evaluation of the vertical distribution of base shear force in base-isolated structures", *Scientica Iranica,* **14**(1), pp. 11-22 (2007).
12. Ozbulut, O.E. and et al. "Adaptive control of base-isolated structures against near field earthquakes using variable friction dampers", *Engineering Structures*, **33**(12), pp. 3143-3151 (2011).
13. Komodromos, P. "Simulation of the earthquake- induced pounding of seismically isolated buildings", *Computers and Structures,* **86**(7-8), pp. 618-626 (2008).
14. Matsagar, V.A. and Jangid, R.S. "Seismic response of base-isolated structures during impact with adjacent structures", *Engineering Structures,* **25**(10), pp. 1311-1323 (2003).
15. Polycarpou, P.C. and Komodromos, P. "Earthquake-induced poundings of a seismically isolated building with adjacent structures", *Engineering Structures*, **32**(7), pp. 1937-1951 (2010).
16. Somerville, P.G. "Engineering characterization of near fault ground motions", *New zealand Society for Earthquake Engineering (ZSEE) Conference*, Taupo, New Zealand, pp. 8 (2005).
17. Bruce, A.B. "Seismic input motions for nonlinear structural analysis", *ISET Journal of Earthquake Technology*, **41**(2-4), pp. 223-232 (June-December 2004).
18. Bayraktar, A. and et al. "Comparison of near-and far-fault ground motion effect on the nonlinear response of dam- reservoir foundation system", *Nonlinear Dynamic*, **58**, pp. 655-673 (2009).
19. PEER Strong Motion Database. http://www.peer.brekly.edu