

بررسی عملکرد ساختمان‌های مرکب بتنی - فولادی با جداساز لرزه‌ای میان طبقه‌ای در حوزه نزدیک گسل

علی اصغر مرتضوی^{*}، پوریا ملکی^۲ و حمید صفاری^۳

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

یکی از راهکارهای مؤثر کاهش خسارات در حوزه نزدیک گسل‌ها استفاده از جداساز لرزه‌ای می‌باشد که می‌تواند در تراز روی پی یا در تراز روی طبقات استفاده شود. مزیت اصلی سیستم جداسازی لرزه‌ای، افزایش زمان تناوب اصلی سازه به منظور انتقال آن زمان تناوب سازه با پایه گیردار و زمان تناوب غالب زلزله به زمان تناوب‌های بالاتر می‌باشند. از دیگر مزیت‌های جداسازی لرزه‌ای استهلاک انرژی ورودی به سازه می‌باشد که منجر به کاهش شتاب منتقل شده به سازه فوقانی می‌شود. در این مقاله به بررسی عملکرد سازه‌های مرکب بتنی - فولادی با و بدون سیستم جداساز لرزه‌ای در تراز طبقه تحت زلزله‌های حوزه نزدیک پرداخته می‌شود. بدین منظور سه ساختمان ۴، ۷ و ۱۰ طبقه با و بدون جداگر لرزه‌ای از نوع لاستیکی با هسته سربی (LRB) با میرایی و دوره تناوب مختلف مدلسازی شده است. بررسی نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع سازه (مقایسه نتایج ساختمان ۱۰ طبقه با ۴ و ۷ طبقه) تغییرات برش پایه در مدل‌های با جداگر متفاوت کمتر می‌شود. بعبارت دیگر نقش جداگر با افزایش ارتفاع کمرنگ می‌شود. همچنین مطالعه تغییرات میرایی و دوره تناوب جداگر نشان می‌دهد که نیروی برشی طبقات با افزایش زمان تناوب جداگرها در سازه‌های جداسازی شده کاهش یافته و با افزایش درصد میرایی جداگر افزایش جزئی می‌یابد.

کلمات کلیدی: ساختمان مرکب بتنی - فولادی، جداساز لرزه‌ای، زلزله حوزه نزدیک، جابجایی نسبی، برش پایه

سابقه مقاله:		شناسه دیجیتال:			
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/jsce.2018.121502.1493
۱۳۹۷/۱۲/۱۴	۱۳۹۷/۰۵/۳۰	۱۳۹۷/۰۷/۲۰	۱۳۹۹/۰۴/۰۱	۱۳۹۹/۰۴/۰۱	doi: 10.22065/jsce.2018.121502.1493
[*] نویسنده مسئول:			علی اصغر مرتضوی		
پست الکترونیکی:			a_mortazavi@sbu.ac.ir		

Investigation of Combined Steel-Concrete Structures with Inter-Story Seismic Isolator in Near-Fault Field

Ali Asghar Mortazavi¹, Pouria Maleki², Hamid Saffari³

1 Shahid Beheshti University, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Department of Structure & Earthquake

2 Shahid Beheshti University, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering

3 Assistant Professor, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Seismic isolation systems represent one of the most effective solutions to reduce near-fault damages; the systems can be used at either foundation or story levels. The main advantage of seismic isolation system is that it increases fundamental period of structure to longer periods. Among other advantages of seismic isolators, one can refer to the dissipation of input energy into the structure which lowers the transmitted acceleration to the above structure. In the present research, performance of combined concrete-steel structures with or without seismic isolation systems at story level, are investigated under near-field earthquakes. For this purpose, three structures of 4, 7, and 10 stories with/without seismic Lead Rubber Bearing (LRB) isolation systems with different damping ratios and periods were modelled. The analysis results indicate that, the isolation systems of longer period and smaller damping ratio were associated with lower relative displacement, acceleration and base shear, improving the structure performance. Results of analysis show that, with increasing the structure height (compare the results of the 10 story building with those of the 4 and 7 story counterparts), variations in base shear is reduced in the models with different isolation systems; i.e. the taller the structure, the more faded the role of the isolator. Furthermore, a study of the variations of damping ratio and period of isolator makes it obvious that, with increasing the period of isolators, shear force of the stories in the isolated structures decreases, while it slightly increases with increasing the damping percentage of the isolator.

ARTICLE INFO

Received: 05 March 2018

Revised: 21 August 2018

Accepted: 12 October 2018

Keywords:

Base isolation, Steel-concrete composite structures, Dynamic analysis, Structural dynamics, Near fault earthquake

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2018.121502.1493

*Corresponding author: Ali Asghar Mortazavi

Email address: a_mortazavi@sbu.ac.ir

۱- مقدمه

به طور کلی استفاده از جداگرهای لرزه‌ای به عنوان یک گزینه کاربردی در بحث طراحی لرزه‌ای سازه‌های نزدیک گسل‌ها مرسوم بوده و خسارات ساختمان را بطور قابل توجهی کاهش می‌دهد و در طول عمر مفید ساختمان به صرفه اقتصادی می‌باشد. در حال حاضر شاید سودمندترین گزینه موجود در ساخت بناهایی که در نزدیکی گسل‌ها لازم است پس از زلزله‌های بزرگ همچنان کاربری خود را حفظ کنند (همچون بیمارستان، مراکز ارتباطات اورژانسی، مراکز پردازش رایانه و غیره)، نیز همین جداگرهای لرزه‌ای باشند [۱].

ارتعاشات زمین در سایت‌های مجاور گسل باعث خرابی‌های گسترده‌ای در بسیاری از سازه‌هایی که حتی مسائل مربوط به آیین‌نامه‌های لرزه‌ای را نیز رعایت کرده‌اند، گردیده است [۲]. در زلزله‌های حوزه نزدیک گسل به جهت فاصله کوتاه بین محل شکست (منبع تولید موج) و محل دریافت موج، فرصتی جهت میرا شدن فرکانس‌های بالا نبوده؛ از این رو تاریخچه زمانی شتاب آن‌ها محتوای فرکانسی بالایی دارند. همچنین به دلیل نزدیکی محل تا گسل، رکوردهای حاصل از سرعت و جابه‌جایی زمین دارای شکل پالس گونه با پریود بالا می‌باشند که یادآور تحریکی به صورت ضربه می‌باشد [۳].

یکی از موارد بسیار مهم در به کارگیری جداگرهای لرزه‌ای و عملکرد مناسب آن‌ها در زلزله، انتخاب دوره تناوب و میرایی مناسب در طراحی جداگرهای لرزه‌ای است، به گونه‌ای که آسیب‌های کمتری به سازه وارد گردد. در این تحقیق تأثیر افزایش دوره تناوب و میرایی جداگرهای لاستیکی با هسته سربی، در سازه‌های بتنی - فولادی با افزایش ارتفاع طبقات سازه؛ تحت زلزله‌های حوزه نزدیک و پالس گونه بررسی می‌شود. علاوه بر آن عملکرد سازه‌های با و بدون جداگر نیز با یکدیگر مقایسه شده و شاخص‌های زیر مورد بررسی قرار گرفته‌اند:

- تغییر مکان طبقات؛
- شتاب داخل ساختمان؛
- برش در طبقات سازه؛
- تأثیر میزان مشارکت مودها.

۲- پیشینه مطالعاتی تحقیق

هرچند تکنولوژی جداگرهای ارتعاشی نسبتاً جدید می‌باشد، اما بررسی و مطالعات فراوانی در این زمینه انجام گرفته که به عنوان نمونه می‌توان به تحقیقات انجام گرفته توسط اسکینر و مک وری ۱۹۷۵، لی و میدلند ۱۹۷۸، رابینسون ۱۹۸۲، کلی ۱۹۸۶، اندرسون ۱۹۹۰ اشاره نمود [۴].

دیوید لی (سال ۱۹۸۰)، تأثیر جداساز لرزه‌ای پایه در کاهش پیچش سازه‌های نامتقارن تحت بار زلزله را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان می‌دهد که سیستم جداساز موجب کاهش لنگر و نیروهای برشی ساختمان نامتقارن جداسازی شده می‌شود [۵].

چانگ و همکاران (سال ۱۹۹۰)، به بررسی اثر جداسازی بر روی سازه توسط آزمایشات میز لرزه توجه داشته‌اند و استفاده از آن را بیشتر در سازه‌هایی که بر روی خاک سخت بنا می‌شوند، توصیه نموده‌اند [۶].

کلانگ و رجاس (سال ۲۰۰۶)، در یک مطالعه پارامتری پاسخ پیچشی سازه‌های جداسازی شده را هنگامی خروج از مرکزیت در سیستم جداساز تعبیه شده، مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد، خروج از مرکزیت در سیستم جداساز منجر به پاسخ پیچشی می‌شود که تأثیر منفی در طراحی جداساز دارد [۷].

جانگید (سال ۲۰۰۷)، در راستای عملکرد بهتر رفتار سازه‌های جداسازی شده، تأثیر پارامترهای اساسی جداساز بر روی پاسخ سازه را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که افزایش مقاومت تسلیم جداساز باعث کاهش چشمگیر جابه‌جایی در سطح جداساز می‌شود. همچنین این افزایش تأثیر چندانی در شتاب طبقات ندارد [۸].

پروویداکیس (سال ۲۰۰۷)، ساختمانی با اسکلت مرکب فولاد و بتن را با آنالیز استاتیکی غیرخطی بار فزاینده تحت زلزله نزدیک گسل مورد بررسی قرار داد و نشان داد که هنگام استفاده از جداساز لرزه‌ای، شکل‌پذیری سیستم با قاب مرکب به صورت فوق‌العاده افزایش می‌یابد. همچنین با اضافه کردن مهاربندی، شکل‌پذیری سازه افزایش و تعداد مفصل‌های پلاستیک در سیستم سازه‌ای کاهش می‌یابد. همچنین مقدار جابه‌جایی نسبی بین طبقات نیز تا ۳۰٪ کاهش پیدا می‌کند [۹].

آلهان و آلتون (سال ۲۰۰۹)، به بررسی عملکرد رفتار غیرخطی سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای پرداختند. نتایج نشان می‌دهد، استفاده از سیستم‌های جداساز لرزه‌ای باعث کاهش شتاب طبقات، جابه‌جایی نسبی طبقات و برش پایه به واسطه افزایش پررود سازه می‌شوند [۱۰].

محمد زهیر (سال ۲۰۱۱)، مطالعاتی را با هدف مشخص نمودن تأثیر تغییرات میرایی بر روی پاسخ سازه‌ها انجام داد. نتایج نشان می‌دهد افزایش میرایی باعث کاهش جابه‌جایی جداسازی و بام گردید، همچنین افزایش میرایی در ابتدا باعث افزایش شتاب شده و سپس باعث کاهش شتاب می‌شود [۱۱].

شریتدار و همکارانش (سال ۲۰۱۱)، پاسخ لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده با LRB و FPS را تحت زمین‌لرزه نزدیک گسل ارزیابی کردند و دریافتند که جابه‌جایی بزرگ و پالس سرعت در رکوردهای نزدیک گسل می‌تواند به طور قابل توجهی نتایج پاسخ لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده را تغییر دهد [۱۲].

اکبرپور، نیک قلب و همکاران (سال ۲۰۱۰)، رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی جداسازی شده نامنظم در پلان (ایجاد نامنظمی با جابه‌جا نمودن مختصات مرکز جرم نسبت به مختصات مرکز سختی) را مورد مطالعه قرار دادند و با ساختمان‌های نامنظم پایه گیردار مقایسه کردند. نتایج نشان می‌دهد سیستم مورد مطالعه شتاب طبقات و نیروی برش پایه را به نحو قابل توجهی کاهش می‌دهد [۱۳].

واثقی، امیری و اسماعیل‌زاده (سال ۲۰۱۱)، عملکرد سازه‌های فولادی جداسازی شده با جداگرهای پاندولی اصطکاکی را تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده، با سازه فولادی پایه ثابت مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهند که سیستم‌های جداسازی شده، مقادیر تغییرمکان نسبی و تعداد مفاصل پلاستیک در سازه را در حین زلزله کاهش می‌دهند و سبب یکنواخت شدن تغییرمکان نسبی در طبقات شده و در کل موجب بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه خواهند شد [۱۴].

۳- مزایای سیستم‌های جداساز

مزیت اصلی سیستم جداسازی لرزه‌ای، افزایش زمان تناوب اصلی سازه به منظور انتقال آن زمان تناوب سازه با پایه گیردار و زمان تناوب غالب زلزله به زمان تناوب‌های بالاتر می‌باشند. از دیگر مزیت‌های جداسازی لرزه‌ای استهلاک انرژی ورودی به سازه می‌باشد که منجر به کاهش شتاب منتقل شده به سازه فوقانی می‌شود [۱۵].

فواید استفاده از جداسازهای لرزه‌ای: [۱۶]

- حذف و یا کاهش صدمات سازه‌ای و غیر سازه‌ای.
- ارتقاء آرامش و سلامت ساکنان.

- افزایش ایمنی محتویات ساختمان و نماهای معماری و کاهش نیروی طراحی زلزله.
- توجیه اقتصادی در صورت تولید انبوه ساختمان.

۴-شرح مدل سازی

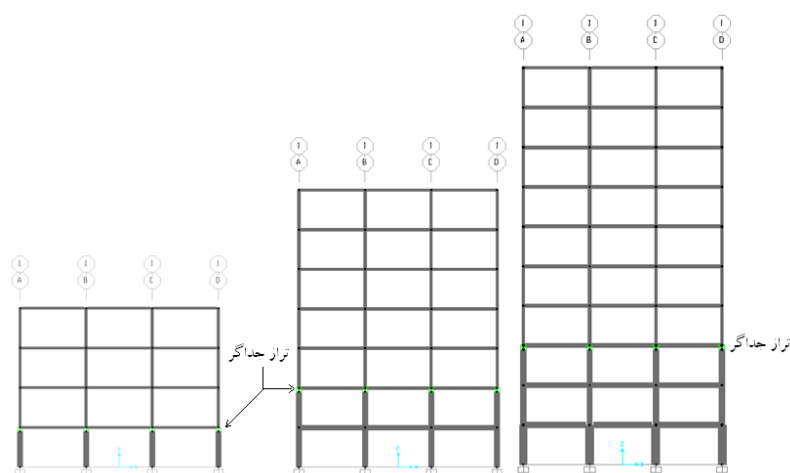
مدل سازی در نرم افزار SAP 2000 v14 به صورت دو بعدی انجام گرفته است و در آن قسمت های روسازه به دو قسمت بتنی و فولادی تقسیم شده که توسط جداسازهای لرزه ای از یکدیگر تفکیک می شوند. به منظور در نظر گرفتن پیچیدگی های مربوط به تعامل بخش فولادی و بتنی سازه ها، اثرات نزدیکی به گسل، وجود اثرات خاک در زلزله ها، اثرات نزدیکی به گسل و موارد دیگر از تحلیل غیرخطی استفاده شده است.

در مدلسازی از سه ساختمان ۴، ۷ و ۱۰ طبقه استفاده شده است که ارتفاع طبقات در همه مدل ها ۳ متر بوده و هر طبقه دارای سه دهانه ۵ متری می باشد. ساختمان ها شامل دو بخش بتنی و فولادی اند و این دو بخش در ساختمان های جداسازی شده توسط جداگرهای لرزه ای نصب شده بر روی ستون های بخش زیرین بتنی از هم تفکیک می شوند. در مدل های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه به ترتیب یک، دو و سه طبقه تحتانی بتنی می باشند و سپس میراگر درج شده و طبقات فوقانی آنها فولادی می باشند.

سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی در هر دو بخش فولادی و بتنی از نوع قاب خمشی متوسط می باشد. بارگذاری لرزه ای سازه ها (شتاب-نگاشت ها) بر اساس خاک نوع یک مطابق با استاندارد طراحی لرزه ای ایران بوده و لرزه خیزی منطقه خیلی زیاد در نظر گرفته شده است [۱۷]. طراحی اعضای فولادی بر اساس آیین نامه 99 AISC-LRFD و اعضای بتنی بر اساس آیین نامه CSA-A23.3-94 صورت گرفته است. مقاطع مورد استفاده برای تیرها و ستون ها به ترتیب IPE و BOX بوده و فولاد مورد استفاده از نوع ST37 می باشد. بتن مورد استفاده در طراحی از نوع C25 در نظر گرفته شده است. جدول (۱) بارگذاری مدل های استفاده شده و شکل (۱) هندسه مدل ها را نشان می دهد. سازه ها یک بار به صورت یکپارچه (بدون جداساز) و یک بار به صورت جداسازی شده با جداگرهایی با دوره تناوب و میرایی مختلف، تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قرار گرفته اند. جداساز مورد استفاده از نوع لاستیکی با هسته ی سربی (LRB) بوده و بر مبنای دستورالعمل طراحی ساختمان های دارای جداساز لرزه ای، طراحی شده اند [۱۸]. در شکل (۲) جزئیات جداساز لاستیکی با هسته ی سربی نشان داده شده است.

جدول ۱: بارگذاری مدل ها بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۲

بارهای خطی وارده بر قاب (kg.f/m)			
بار مرده	بار زنده	بار مرده بام	بار زنده بام
۷۰۰	۲۰۰	۲۸۰	۱۵۰



شکل ۱: قابهای مورد تحلیل دو بعدی همراه با جداگر

۵- صحت سنجی مدل سازی

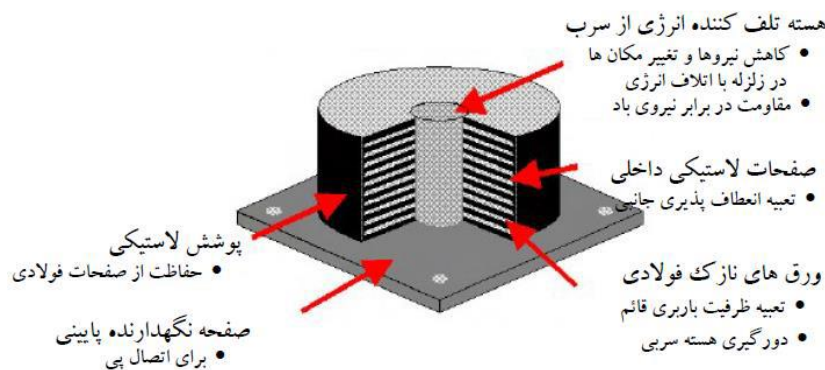
صحت سنجی مدل سازی ساختمانهای دارای جداساز لرزه ای توسط نرم افزار SAP2000 و مقایسه رفتار و نتایج مربوطه با مدل های تجربی در تحقیقات متعددی نشان داده شده است. شلر و کنستانتینو (۱۹۹۹) چندین سازه با سیستم های جداسازی و اتلاف کننده ی انرژی را تحت برنامه SAP2000 را مدل کرده و نشان دادند که نتایج بدست آمده از مدل های آزمایشگاهی میز لرزه و مدل های ساخته شده در برنامه های D-BASIS-ME^۳ و ANSYS با نتایج بدست آمده از مدل های ساخته شده در SAP2000 هماهنگی و همخوانی خوبی دارد [۱۹]. سیفول اسلام، رضوان حسین و همکاران (۲۰۱۱) ساختمان چند طبقه همراه با جداسازهای (LRB) و (HDRB) را تحت زلزله دو محوره و تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی در برنامه SAP2000 مدل کرده و نتایج کاهش قابل ملاحظه در شتاب طبقات روسازه و جابه جایی میان طبقات و برش پایه را نشان داد [۲۰]. نسانی و عبدالمجید (۲۰۱۵) دو نوع ساختمان بتن مسلح ۵ طبقه متقارن و نامتقارن در پلان را همراه جداساز و بدون جداساز در برنامه SAP2000 تحت تحلیل تاریخچه زمانی مدل کردند. در مدل سازی از ۴ نوع جداگرهای لرزه ای الاستومری، (HDRB، LRB) و پاندولی و در تحلیل تاریخچه زمانی از ۳ زلزله ال سنتر، لوما و کویوته استفاده کرده و نتایج نشان داد که سازه جداسازی شده دارای جابه جایی بین طبقات کمتر و برش پایه کمتر می باشد [۲۱]. سوبرامانی و همکاران (۲۰۱۴) با مدل کردن یک ساختمان ۸ طبقه در برنامه SAP2000 نشان دادند که در ساختمان های طراحی شده با دوره تناوب کوتاه خیلی دقیق تر و قابل کنترل تر می توان از جداساز لرزه ای استفاده کرد، زیرا بالا بردن دوره تناوب در این گونه سازه ها با استفاده از جداسازی، پاسخ سازه را ساده تر و استانداردتر می کند، بدین معنی که مقدار برش پایه را کاهش داده و علاوه بر افزایش جابه جایی کلی ساختمان، جابه جایی نسبی را کاهش می دهد [۲۲]. از این رو با اطمینان کافی می توان از مدل سازی ساختمان دارای جداساز لرزه ای با نرم افزار SAP2000 استفاده نمود.

۶- طراحی جداسازهای لاستیکی با هسته ی سربی

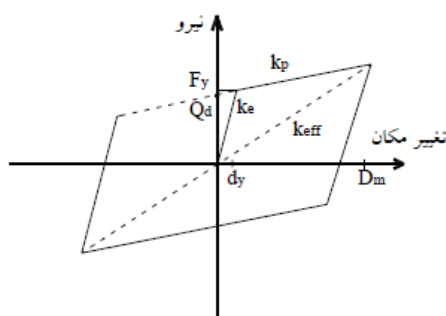
تکیه گاه های لاستیکی با هسته ی سربی با نمایش رفتاری دوطبقی با نرم شدگی تحت بارهای نسبتاً شدید لرزه ای، عملکرد مطلوبی در زمینه ی کنترل توأم لرزه ای خفیف و شدید از خود نشان داده اند. هسته ی سربی این تکیه گاه ها به همراه سختی بخش لاستیکی که در مقایسه با سختی بخش سربی بسیار اندک است؛ تأمین کننده ی سختی اولیه ی مورد نیاز در نمودار نیرو - تغییر مکان این تکیه گاه ها است. با افزایش میزان بارگذاری، این بخش به حد تسلیم رسیده و سختی بسیار کمی را در مقابل بار جانبی از خود نشان می دهد. این سختی به

همراه سختی بخش لاستیکی تکیه‌گاه، سختی ثانویه را در نمودار نیرو - تغییر مکان از خود نشان می‌دهد. این رفتار در شکل (۳) نشان داده شده است [۱۸].

هر جداگر با دو میرایی مختلف ۱۰ و ۲۰ درصد و دو دوره تناوب ۱/۵ و ۲/۵ ثانیه طراحی شده است. به طور کلی هر مدل ساختمانی با ۴ جداگر مختلف تحلیل شده است. برای تعریف و مدل‌سازی جداگر LRB جهت انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی از المان غیرخطی Link/Support و از نوع Rubber Isolator استفاده شده است. همچنین اثرات P- Δ نیز بر رفتار کمانشی جداگرها لحاظ گردیده است. مشخصات جداگرهای طراحی شده با میرایی و دوره تناوب متفاوت در جدول (۲) درج گردیده است.



شکل ۲: جزئیات ساختمان جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی و وظیفه هر جزء [۱]



شکل ۳: رفتار غیرخطی جداساز لاستیکی با هسته‌ی سربی [۱۸]

جدول ۲: مشخصات جداگرهای طراحی شده با میرایی و دوره تناوب متفاوت

ارتفاع جداگر (m)	قطر جداگر (m)	قطر هسته سربی (m)	سختی بخش الاستیک (KN/m)	سختی بخش پلاستیک (KN/m)	مقاومت مشخصه (KN)	تغییر مکان طرح (m)	سختی مؤثر (KN/m)	درصد میرایی	زمان تناوب (s)
۴ طبقه									
۰/۲۳	۰/۳	۰/۰۵	۱۵۲۳/۳۷۳	۲۰۳/۱۱۶	۵/۶۳۸	۰/۱۴۸	۲۴۳/۲۳۲	۱۰٪	۱/۵
۰/۱۹	۰/۳	۰/۰۵	۲۴۳/۵۳۱	۳۲۵/۱۳۷	۹/۰۲۰	۰/۱۱۸	۲۴۳/۲۳۲	۲۰٪	۱/۵
۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۰۵	۵۷۷/۶۰۱	۷۷/۰۱۳	۳/۳۸۳	۰/۲۴۶	۸۷/۵۶۴	۱۰٪	۲/۵

۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۰۵	۱۲۵۹/۶۳۱	۱۶۷/۹۵۱	۵/۴۱۲	۰/۱۹۷	۸۷/۵۶۴	۲۰٪	۲/۵
طبقه ۷									
۰/۲۳	۰/۳۵	۰/۰۵	۲۴۸۵/۹۰۱	۳۳۱/۴۵۳	۹/۹۰۷	۰/۱۴۸	۴۲۷/۴۴۵	۱۰٪	۱/۵
۰/۱۹	۰/۳۵	۰/۰۵	۳۷۵۰/۷۲۲	۵۰۰/۰۹۶	۱۵/۸۵۱	۰/۱۱۸	۴۲۷/۴۴۵	۲۰٪	۱/۵
۰/۳۴	۰/۴	۰/۰۵	۱۰۹۵/۸۶۷	۱۴۶/۱۱۶	۵/۹۴۴	۰/۲۴۶	۱۵۳/۸۸	۱۰٪	۲/۵
۰/۲۸	۰/۴	۰/۰۵	۲۰۳۱/۱۶۵	۲۷۰/۸۲۲	۹/۵۱۱	۰/۱۹۷	۱۵۳/۸۸	۲۰٪	۲/۵
طبقه ۱۰									
۰/۲۳	۰/۴	۰/۰۵	۳۶۶۴/۱۲۰	۴۸۷/۵۴۹	۱۴/۵۰۸	۰/۱۴۸	۶۲۵/۹۶۶	۱۰٪	۱/۵
۰/۱۹	۰/۴	۰/۰۶	۵۳۲۹/۸۴۱	۷۱۰/۶۴۵	۲۳/۲۱۳	۰/۱۱۸	۶۲۵/۹۶۶	۲۰٪	۱/۵
۰/۳۴	۰/۴۵	۰/۰۵	۱۷۵۰/۸۷۰	۲۳۳/۴۴۹	۸۷۰/۵	۰/۲۴۶	۲۲۵/۳۴۸	۱۰٪	۲/۵
۰/۲۸	۰/۴۵	۰/۰۵	۲۹۶۶/۶۲۳	۳۹۵/۵۵۰	۱۳/۹۲۸	۰/۱۹۷	۲۲۵/۳۴۸	۲۰٪	۲/۵

۷- شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده

رکوردهای حاصل از زلزله‌های حوزه نزدیک به جهت نزدیکی فاصله محل منبع انتشار موج، دارای خواص ویژه‌ای می‌باشند که رفتار آن‌ها را از سایر رکوردها متفاوت می‌سازد. زلزله‌های حوزه نزدیک دارای شتاب بالاتر و محتوای فرکانسی محدودتری در فرکانس‌های بالا نسبت به حوزه دور می‌باشند. نگاشت این زلزله‌ها، خصوصاً زمانی که تحت انتشار گسلس قرار می‌گیرند، دارای پالس‌های پی‌ریود بلند با دامنه بزرگ می‌باشند که اغلب در ابتدای رکورد زلزله دیده می‌شود [۲]. پالس در زمین‌لرزه به صورت پالس شتاب، سرعت و جابجایی می‌باشد که می‌توان آن‌ها را به تغییرات بزرگ در تاریخچه‌های شتاب، سرعت و جابه‌جایی تعریف کرد [۲].

به منظور انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی از ۷ رکورد مربوط به زلزله‌های حوزه نزدیک پالس گونه (به صورت زوج شتاب‌نگاشت) استفاده گردید و سعی شد تمامی رکوردهای مورد استفاده از نظر ساختگاه دارای شرایط خاک یکسان با خاک نوع یک آیین‌نامه ۲۸۰۰ باشند.

برای انجام تحلیل، هر یک از رکوردها با توجه به استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم مقیاس شده‌اند. در ابتدا هر زوج شتاب‌نگاشت به مقدار حداکثر خود مقیاس شده یعنی بگونه‌ای که حداکثر شتاب در مؤلفه‌ای که دارای بیشینه بزرگ‌تری است، برابر با شتاب ثقل می‌شود (هم پایه سازی). طیف پاسخ شتاب مربوط به هر یک از رکوردهای افقی ثبت شده را با استفاده از نرم افزار SeismoSignal برای میرایی ۵ درصد به دست آورده شد. سپس هر زوج شتاب نگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات (SRSS) با یکدیگر ترکیب گردید و یک طیف واحد ترکیبی برای هر زوج شتاب‌نگاشت ساخته شد. در ادامه هر زوج شتاب‌نگاشت چنان مقیاس گردید که برای هر پی‌ریود در محدوده ۰/۲T الی ۱/۵T، مقدار متوسط طیف جذر مجموع مربعات مربوط به زوج مؤلفه‌ها، بیش از ده درصد از ۱/۳ برابر مقدار متناظر طیف طرح استاندارد کمتر نشود. سپس ضریب مقیاس‌های تعیین شده در شتاب‌نگاشت‌های اصلاح شده ضرب گردید و در تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار گرفت [۱۷].

جدول ۳: مشخصات مربوط به زلزله‌های انتخابی و مقادیر ضریب مقیاس

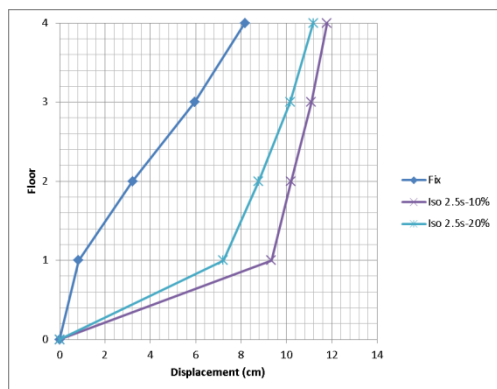
شماره رکورد	نام زلزله	ایستگاه	سال	بزرگا	V_{s30} (m/s)	PGA (g)	ضریب مقیاس
۱	سن فرناندو	سد پاکویما (تخلیه کننده تحتانی)	۱۹۷۱	۶/۶	۲۰۱۶/۱۳	۱/۲۳۸	۱/۵
۲	طبس	طبس	۱۹۷۸	۷/۴	۷۶۶۷۷	۰/۸۶۲	۱
۳	لندرز	لوسرن	۱۹۹۲	۷/۳	۱۳۶۹	۰/۷۸۹	۱/۴
۴	نورثریج	سد پاکویما (پایین دست)	۱۹۹۴	۶/۷	۲۰۱۶	۰/۴۳۴	۱/۴
۵	نورثریج	سد پاکویما (بالادست، بازوی چپ)	۱۹۹۴	۶/۷	۲۰۱۶	۱/۵۸۵	۱/۸
۶	کوکالی، ترکیه	جیزه	۱۹۹۹	۷/۵	۷۹۲	۰/۲۶۱	۰/۹
۷	کوکالی، ترکیه	ایزمیت	۱۹۹۹	۷/۵	۸۱۱	۰/۲۳	۰/۸

۸- خروجی‌های تحلیل

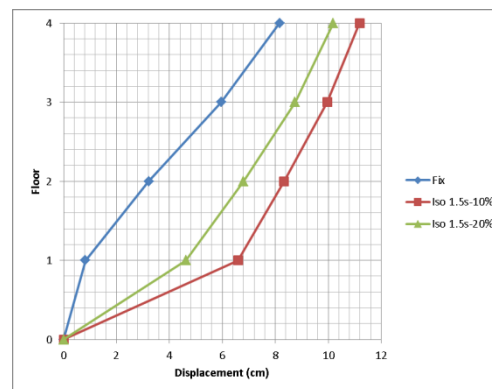
تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی به ازای تمامی شتابنگاشت‌های مقیاس شده روی مدل‌های با و بدون جداگر و با تغییرات میرایی و دوره تناوب جداگر انجام گرفت. سپس میانگین پاسخ‌های جابجایی، شتاب و نیروی برشی طبقات به ازای ۷ زوج شتاب نگاشت استخراج گردید که در ادامه به بررسی آنها روی مدل‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه پرداخته می‌شود.

نمودار جابجایی مدل ۴ طبقه به ازای دوره تناوب جداگر ۱/۵ و ۲/۵ ثانیه و میرایی متفاوت به ترتیب در شکل (۴) و (۵) نشان داده شده است. همچنین تغییرات دوره تناوب به ازای میرایی ۱۰٪ و ۲۰٪ نیز به ترتیب در شکل‌های (۶) و (۷) ارائه گردیده است. بطور مشابه جابجایی‌ها برای مدل‌های ۷ و ۱۰ طبقه در شکل‌های (۸) تا (۱۵) نشان داده شده است.

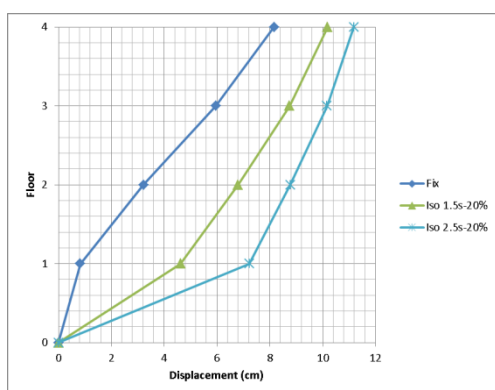
• نمودارهای میانگین جابجایی طبقات



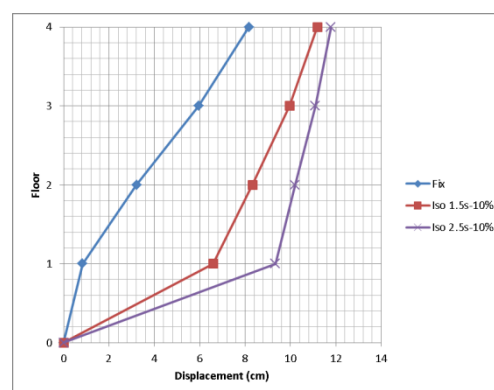
شکل ۵: میانگین جابجایی طبقات مدل‌های ۴ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای دارای دوره تناوب ۲/۵ ثانیه



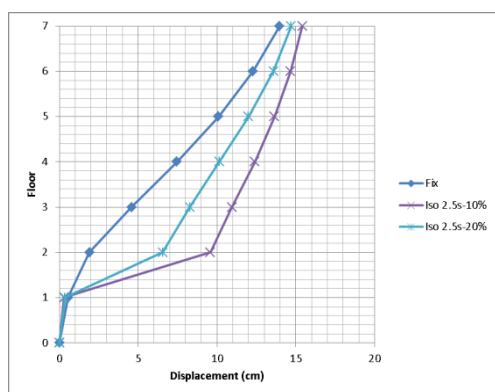
شکل ۴: میانگین جابجایی طبقات مدل‌های ۴ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای دارای دوره تناوب ۱/۵ ثانیه



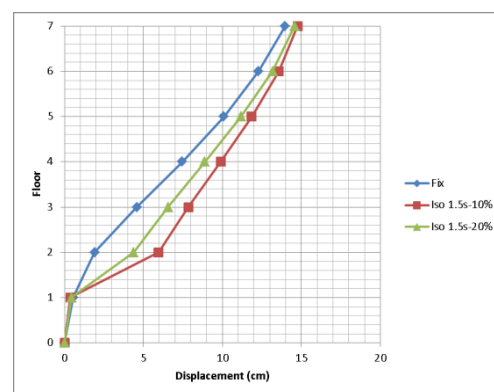
شکل ۷: میانگین جابه‌جایی طبقات مدل‌های ۴ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای دارای میرایی ۲۰ درصد



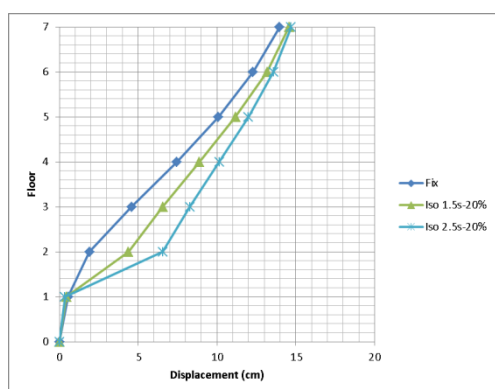
شکل ۸: میانگین جابه‌جایی طبقات مدل‌های ۴ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای دارای میرایی ۱۰ درصد



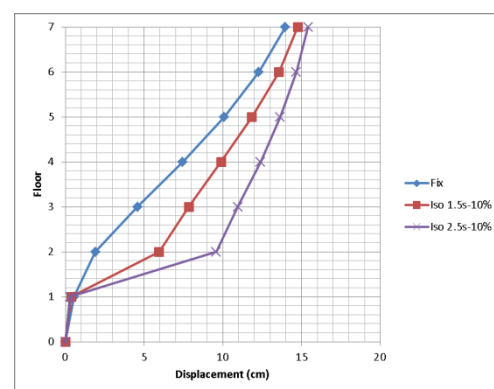
شکل ۹: میانگین جابه‌جایی طبقات مدل‌های ۷ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای دارای دوره تناوب ۲/۵ ثانیه



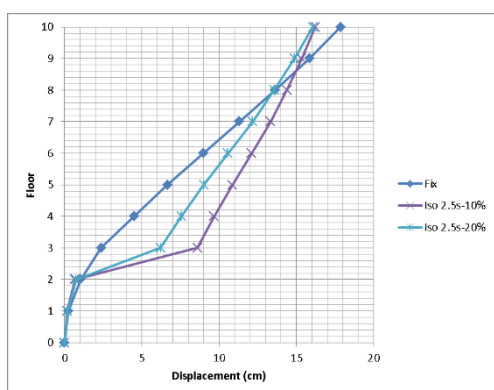
شکل ۱۰: میانگین جابه‌جایی طبقات مدل‌های ۷ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای دارای دوره تناوب ۱/۵ ثانیه



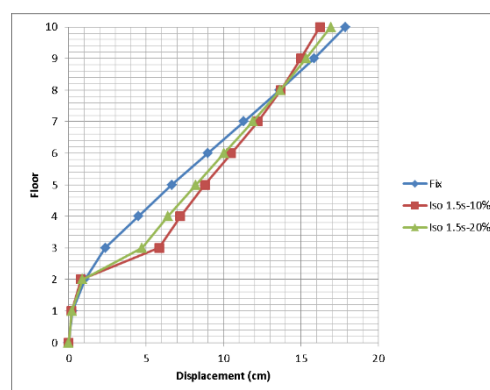
شکل ۱۱: میانگین جابه‌جایی طبقات مدل‌های ۷ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای دارای میرایی ۲۰ درصد



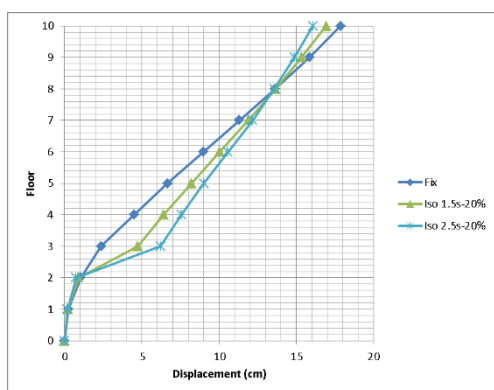
شکل ۱۲: میانگین جابه‌جایی طبقات مدل‌های ۷ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای دارای میرایی ۱۰ درصد



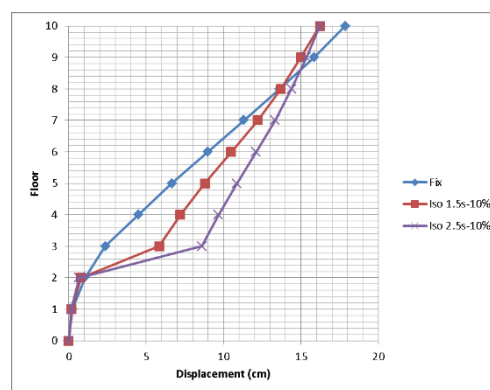
شکل ۱۳: میانگین جابه‌جایی طبقات مدل‌های ۱۰ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای دارای دوره تناوب ۲/۵ ثانیه



شکل ۱۴: میانگین جابه‌جایی طبقات مدل‌های ۱۰ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای دارای دوره تناوب ۱/۵ ثانیه



شکل ۱۵: میانگین جابه‌جایی طبقات مدل‌های ۱۰ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای دارای میرایی ۲۰ درصد



شکل ۱۶: میانگین جابه‌جایی طبقات مدل‌های ۱۰ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای دارای میرایی ۱۰ درصد

• نتایج نمودارهای جابه‌جایی

بررسی نمودارهای شکل (۴) تا (۱۵) نشان می‌دهد که با افزایش دوره تناوب جداگرها، جابه‌جایی طبقات در سازه جداسازی شده افزایش یافته ولی جابه‌جایی نسبی طبقات کاهش می‌یابد. با افزایش میرایی جداگرها نیز جابه‌جایی طبقات در سازه جداسازی شده کاهش یافته ولی جابه‌جایی نسبی آنها افزایش اندکی می‌یابد. مقادیر کاهش جابه‌جایی نسبی طبقات در مدل‌های جداسازی شده با جداگرهای متفاوت نسبت به مدل‌های بدون جداگر به صورت درصدی در جداول (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده است.

جدول ۴: درصد کاهش جابه‌جایی نسبی طبقات ساختمان جداسازی شده ۴ طبقه با جداگرهای با درصد میرایی و زمان تناوب متفاوت

تراز طبقه	جداگر با دوره تناوب جداگر ۱/۵ ثانیه		جداگر با دوره تناوب جداگر ۲/۵ ثانیه	
	با میرایی ۲۰٪	با میرایی ۱۰٪	با میرایی ۲۰٪	با میرایی ۱۰٪

۱	تراز جداگر	تراز جداگر	تراز جداگر	تراز جداگر
۲	%۹	%۲۷	%۳۵	%۶۳
۳	%۲۹	%۴۰	%۴۹	%۶۸
۴	%۳۵	%۴۵	%۵۴	%۶۹

جدول ۵: درصد کاهش جابجایی نسبی طبقات ساختمان جداسازی شده ۷ طبقه با جداگرهای با درصد میرایی و زمان تناوب متفاوت

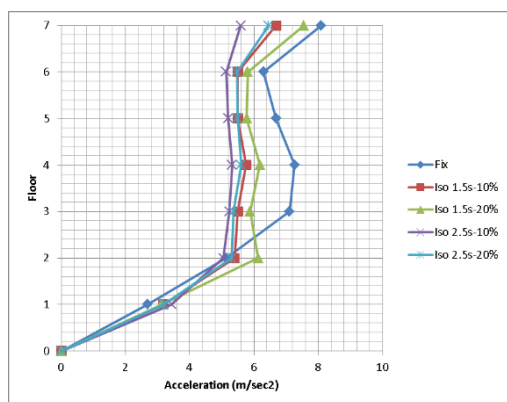
تراز طبقه	جداگر با دوره تناوب جداگر ۱/۵ ثانیه		جداگر با دوره تناوب جداگر ۲/۵ ثانیه	
	با میرایی %۲۰	با میرایی %۱۰	با میرایی %۲۰	با میرایی %۱۰
۱	%۲۱	%۳۳	%۳۶	%۴۵
۲	تراز جداگر	تراز جداگر	تراز جداگر	تراز جداگر
۳	%۱۹	%۲۹	%۳۶	%۴۹
۴	%۱۹	%۲۹	%۳۵	%۵۰
۵	%۱۳	%۲۵	%۳۰	%۵۲
۶	%۹	%۲۲	%۲۷	%۵۴
۷	%۱۷	%۳۰	%۳۴	%۵۵

جدول ۶: درصد کاهش جابجایی نسبی طبقات ساختمان جداسازی شده ۱۰ طبقه با جداگرهای با درصد میرایی و زمان تناوب متفاوت

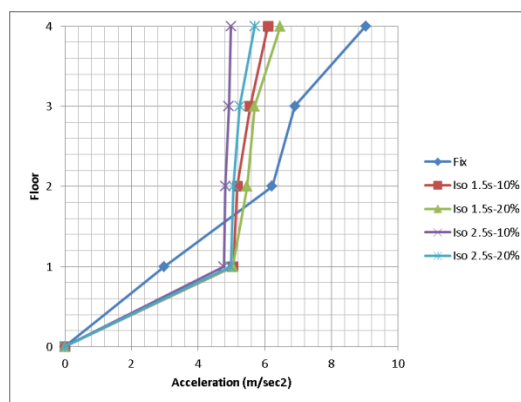
تراز طبقه	جداگر با دوره تناوب جداگر ۱/۵ ثانیه		جداگر با دوره تناوب جداگر ۲/۵ ثانیه	
	با میرایی %۲۰	با میرایی %۱۰	با میرایی %۲۰	با میرایی %۱۰
۱	%۱۸	%۲۴	%۲۶	%۳۲
۲	%۱۴	%۲۶	%۳۰	%۳۸
۳	تراز جداگر	تراز جداگر	تراز جداگر	تراز جداگر
۴	%۲۲	%۳۵	%۳۷	%۵۰
۵	%۱۶	%۲۷	%۳۳	%۴۵
۶	%۲۲	%۲۷	%۳۳	%۴۷
۷	%۱۹	%۲۶	%۳۱	%۴۸
۸	%۲۴	%۳۵	%۳۹	%۵۴
۹	%۲۵	%۴۲	%۴۲	%۵۷
۱۰	%۲۰	%۳۸	%۴۰	%۵۷

• نمودارهای میانگین شتاب طبقات

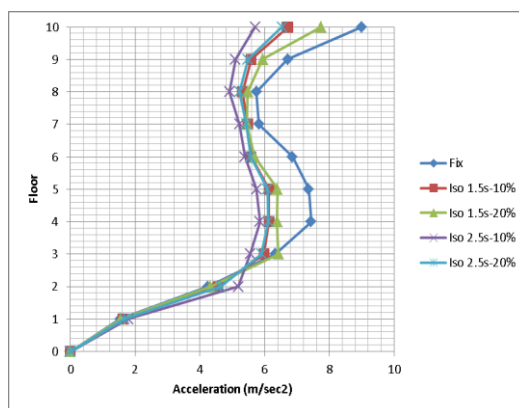
بررسی تغییرات میانگین شتاب طبقات در ساختمان‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه به ازای دوره تناوب و میرایی‌های متفاوت در نمودارهای اشکال (۱۶) تا (۱۸) نشان داده شده است.



شکل ۱۷: میانگین شتاب طبقات مدل‌های ۷ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای متفاوت



شکل ۱۶: میانگین شتاب طبقات مدل‌های ۴ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای متفاوت



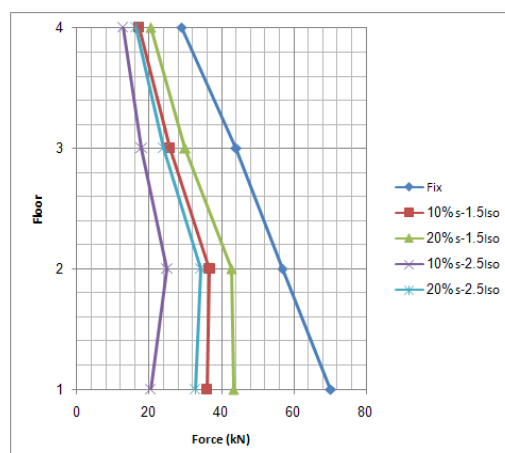
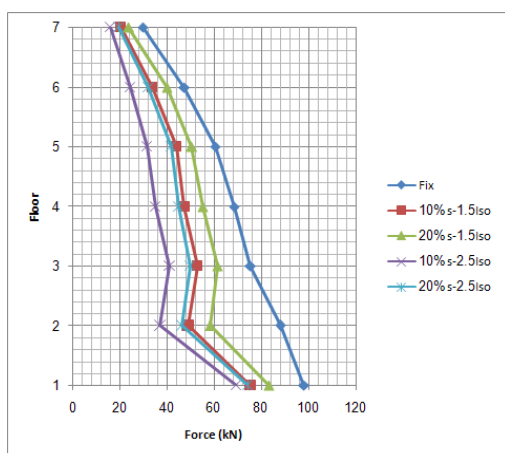
شکل ۱۸: میانگین شتاب طبقات مدل‌های ۱۰ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای متفاوت

• نتایج نمودارهای شتاب

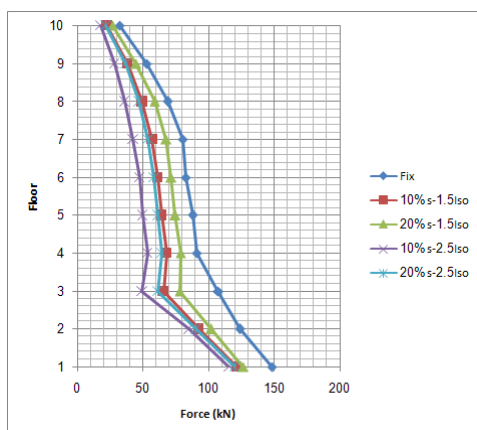
به طور کلی در سازه‌های جداسازی شده مقادیر شتاب با افزایش دوره تناوب جداگرها از ۱/۵ تا ۲/۵ ثانیه کاهش می‌یابد. با افزایش میرایی جداگرها از ۱۰٪ به ۲۰٪ شتاب طبقات افزایش مختصری می‌یابد. ملاحظه می‌گردد در تراز بالای جداساز کلیه مدل‌ها تغییرات شتاب نسبت به حالت سازه بدون جداگر کاهش قابل ملاحظه‌ای یافته است.

• نمودارهای میانگین نیروهای برشی طبقات

بررسی تغییرات میانگین نیروهای برشی طبقات در ساختمان‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه به ازای دوره تناوب و میرایی‌های متفاوت در نمودار شکل‌های (۱۹) تا (۲۱) نشان داده شده است.



شکل ۱۹: میانگین نیروی برشی طبقات مدل‌های ۴ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای متفاوت
شکل ۲۰: میانگین نیروی برشی طبقات مدل‌های ۷ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای متفاوت



شکل ۲۱: میانگین نیروی برشی طبقات مدل‌های ۱۰ طبقه بدون جداگر و با جداگرهای متفاوت

• نتایج نمودارهای نیروهای برشی

بررسی نمودارهای فوق نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع سازه (مقایسه نتایج ساختمان ۱۰ طبقه با ۴ و ۷ طبقه) تغییرات برش پایه در مدل‌های با جداگر متفاوت کمتر می‌شود. بعبارت دیگر نقش جداگر با افزایش ارتفاع کمرنگ می‌شود. همچنین مطالعه تغییرات میرایی و دوره تناوب جداگر نشان می‌دهد که نیروی برشی طبقات با افزایش زمان تناوب جداگرها در سازه‌های جداسازی شده کاهش یافته و با افزایش درصد میرایی جداگر افزایش جزئی می‌یابد. در جدول (۷) درصد کاهش برش پایه در انواع مدل‌ها با جداگرهای مختلف نشان داده شده است.

جدول ۷: درصد کاهش برش پایه ساختمان‌های جداسازی شده با جداگرهای با درصد میرایی و زمان تناوب متفاوت

تعداد طبقات		جداگر با دوره تناوب جداگر ۱/۵ ثانیه		جداگر با دوره تناوب جداگر ۲/۵ ثانیه	
سازه		با میرایی ۲۰٪	با میرایی ۱۰٪	با میرایی ۲۰٪	با میرایی ۱۰٪

۴ طبقه	۳۸٪	۴۹٪	۵۳٪	۷۱٪
۷ طبقه	۱۵٪	۲۳٪	۲۴٪	۲۹٪
۱۰ طبقه	۱۵٪	۱۸٪	۱۹٪	۲۲٪

• زمان تناوب و درصد مشارکت جرمی مودی

در سازه‌های جداسازی شده مود اول بیشترین سهم را در مشارکت مودها داشته و دوره تناوب آن تقریباً برابر با دوره تناوب در نظر گرفته شده برای جداگر می‌باشد. در سازه‌های جداسازی شده میزان مشارکت مودها فقط به دوره تناوب جداگر وابسته بوده و مستقل از میرایی می‌باشد؛ به گونه‌ای که با افزایش دوره تناوب، میزان مشارکت مودها نیز افزایش یافته ولی با افزایش میرایی، میزان مشارکت مودها تغییری نمی‌کند. در جدول (۸) زمان تناوب و درصد مشارکت جرمی مود اول برای تمامی مدل‌ها نشان داده شده است.

جدول ۸: بررسی زمان تناوب و درصد مشارکت جرمی مود اول

نوع جداگر		ساختمان ۴ طبقه		ساختمان ۷ طبقه		ساختمان ۱۰ طبقه	
با زمان تناوب (s)	با درصد میرایی	زمان تناوب مود اول (s)	درصد مشارکت جرمی مود اول	زمان تناوب مود اول (s)	درصد مشارکت جرمی مود اول	زمان تناوب مود اول (s)	درصد مشارکت جرمی مود اول
۱/۵	۱۰٪	۱/۵۵۴	۹۳٪	۱/۶۸	۷۳٪	۱/۷۴	۶۵٪
۱/۵	۲۰٪	۱/۵۵۴	۹۳٪	۱/۶۸	۷۳٪	۱/۷۴	۶۵٪
۲/۵	۱۰٪	۲/۳۵	۹۵٪	۲/۴۱	۷۶٪	۲/۴۵	۶۷٪
۲/۵	۲۰٪	۲/۳۵	۹۵٪	۲/۴۱	۷۶٪	۲/۴۵	۶۷٪
مدلهای بدون جداساز		۰/۸۳۳	۶۸٪	۱/۲۹	۶۲٪	۱/۴۱	۵۷٪

۹- نتیجه‌گیری

استفاده از سیستم‌های مرکب بتنی- فولادی جهت بهره‌گیری بهتر از رفتار و ظرفیت‌های هر دو سیستم سازه‌ای متداول می‌باشد. در این مقاله سیستم‌های بتنی فولادی با جداگر بین آنها در مدل‌های با ارتفاع مختلف بررسی گردید و اثرات تغییر میرایی و دوره تناوب جداگر مورد مطالعه قرار گرفت. به طور کلی استفاده از جداگرهای لرزه‌ای در ساختمان‌ها باعث افزایش جابجایی طبقات و کاهش جابجای نسبی، شتاب طبقات و نیروی برشی طبقات می‌شود. خاطر نشان می‌گردد با افزایش ارتفاع ساختمان اثرات جداساز در کاهش پاسخ‌های یاد شده کمتر می‌شود. نتایج بدست آمده از تحلیل‌ها نشان می‌دهند که با افزایش دوره تناوب جداگر و یا کاهش میرایی آن مقادیر جابجایی نسبی، شتاب و نیروی برشی طبقات کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابند که این تغییرات بصورت درصدی به ازای مدل‌های مختلف در جداول مربوطه نشان داده شد.

مراجع

1. Siahpolo, N. (2008). Dynamic investigation of seismic isolated buildings with seismic isolators, *Conference on Civil Engineering Students across the country*, Semnan, Iran.
2. Mozafari Juibari, Y., Mahmudi, Y. (2012), The effect of the vertical component of near-field earthquake on the structures, *The second national conference on structures, seismic and geotechnical*, Babolsar, Iran.
3. Amini, g., Kavoli, s., Salehi dobakhshari, M. (2011), The use of a damper on isolated structure under near-fault earthquake area, *Sixth International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, Tehran, Iran.
4. Tehrani zadeh, m., Hamed, f., (1999). *Seismic isolation against earthquakes*, Publisher: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Iran.
5. David, M. L., (1980), BASE ISOLATION FOR TORSION REDUCTION IN ASYMMETRIC STRUCTURES UNDER EARTHQUAKE LOADING, *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, Vol. 8, pp. 349–359.
6. Chung, W., Yun, C., Kim, N., and Seo, J., (1999), Shaking table and pseudodynamic tests for the evaluation of the seismic performance of base-isolated structures, *Eng. Struct.*, Vol. 21, pp. 365–379.
7. Tena-Colunga, A., and Zambrana-Rojas, C., (2006), Dynamic torsional amplifications of base-isolated structures with an eccentric isolation system, *Eng. Struct.*, Vol. 28, pp. 72–83.
8. Jangid, R. S., (2007), Optimum lead–rubber isolation bearings for near-fault motions, *Eng. Struct.*, Vol. 29, pp. 2503–2513.
9. Providakis, C. P., (2008), Pushover analysis of base-isolated steel–concrete composite structures under near-fault excitations, *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, Vol. 28, pp. 293–304.
10. Alhan, C., and Altun, M., (2009), PERFORMANCE OF NON-LINEAR BASE ISOLATION SYSTEMS DESIGNED ACCORDING TO UNIFORM BUILDING CODE, *5th Int. Adv. Technol. Symp. (IATS'09)*, Karabuk, Turkey.
11. Hamaguchi, H., Samejima, Y., and Kani, N., (2009), A study of aging effect on a rubber bearing after about twenty years in use, *11th World Conf. Seism. Isol. Energy Dissipation Act. Vib. Control Struct. Guangzhou*, China, pp. 393–398.
12. Sharbatdar, M. K., Hoseini Vaez, S. R., Ghodrati Amiri, G., and Naderpour, H., (2011), Seismic Response of Base-Isolated Structures with LRB and FPS under near Fault Ground Motions, *Procedia Eng.*, Vol. 14, pp. 3245–3251.
13. Akbarpour Nikghalb, A., Adib, M. Z., Asgari, M. (2010). Modeling of dynamic behaviors of asymmetric isolated steel-braced structures under multi-component seismic loads. *National Conference of Civil Engineering and Sustainable Development*, Estahban, Iran.
14. Vaseghi Amiri, J., Esma'eil zade toluei, S. (2011). Isolators performance of the steel structure with base isolated pendulum friction under non-linear static analysis. *The Sixth National Congress of Civil Engineering*, Semnan, Iran.
15. Madadi, Y., Hagh ola'hi, A. (2011), Performance evaluation of isolators in concrete structures using dynamic analysis. *Retrofit and rehabilitation of Civil magazine*, Number 19, p. 12-20.
16. Ghaffari, A., Hashemi, S. A., (2004). Seismotectonic isolators. *The 11th Student Conference on Civil Engineering*, Bandar Abbas, Iran.
17. Building & Housing Research Center (BHRC) of Iran (2014), “Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings standard No. 2800”, **4rd edition**, Iran.

18. Islamic Republic of Iran Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision (2011), Guideline for Design and Practice of Base Isolation Systems in Buildings, (Publication No. 523), First Edition, Tehran, Iran.
19. Joern Scheller and Michael C. Constantinou , Response History Analysis of Structures with Seismic Isolation and Energy Dissipation Systems: Verification Examples for Program SAP2000, University at Buffalo, State University of New York, School of Civil, Structural and Environmental Engineering, Technical Report MCEER-99-0002, February 22, 1999.
20. A.B.M. Saiful Islam, Raja Rizwan Hussain, Mohammed Jameel, Mohd Zamin Jumaat, Non-linear time domain analysis of base isolated multi-storey building under site specific bi-directional seismic loading, Automation in Construction 22 (2012) 554–566, Journal homepage: www.elsevier.com/locate/autcon
21. Dia Eddin Nassani, Mustafa Wassef Abdulmajeed, Seismic Base Isolation in Reinforced Concrete Structures, International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology Volume 2, Issue 2, February 2015, PP 1-13.
22. T. Subramani, J. Jothi, M. Kavitha, Earthquake Analysis of Structure by Base Isolation Technique in SAP, Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 4, Issue 6 (Version 5), June 2014, pp.296-305.