

تأثیر مدت دوام زلزله بر عملکرد سازه‌های فولادی مجهز به جداگرهای لرزه‌ای آونگی اصطکاکی

نسرین الهی‌خواه^{۱*}، حامد حمیدی^۲، غلامرضا قدرتی امیری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه موسسه آموزش عالی علوم و فناوری آریان، n.elahikhah-ce@aryan.ac.ir

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، h_hamidi@alumni.iust.ac.ir

۳- استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران، Ghodrati@iust.ac.ir

چکیده

با وجود در نظر گرفته شدن اوج شتاب افقی زمین و شتاب‌های طیفی، در تقریباً همه تحلیل‌های بهسازی لرزه‌ای، در تحلیل‌های سازه‌ای اغلب از در نظر گرفتن مدت دوام حرکت قوی زمین چشم پوشی می‌کنند. تجربه زلزله‌های گذشته و تحلیل‌های عددی، تأیید می‌کند که مدت دوام حرکت قوی زمین می‌تواند به طور قابل توجهی درجه خرابی سیستم‌های مهندسی عمران را تحت تأثیر قرار دهد. یکی از روشهایی که امروزه برای کاهش اثرات مخرب زلزله مورد توجه بسیار قرار گرفته است جداسازی پایه ساختمان می‌باشد، به همین منظور در این پایان نامه تأثیر مدت دوام زلزله (زمان مؤثر زلزله) بر عملکرد سازه‌های فولادی خمشی مجهز به جداگر لرزه ای از نوع آونگی اصطکاکی مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش سازه‌های ۳، ۶ و ۹ طبقه فولادی که سیستم مقاوم آن‌ها در برابر زلزله قاب خمشی می‌باشد برای دو حالت پایه ثابت و پایه جداسازی شده مورد مطالعه قرار گرفته است. برای تحلیل این سازه‌ها از روش دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی با استفاده از نرم افزار SAP2000 تحت ۱۴ عدد رکورد زلزله دور از گسل در دو بازه‌ی با زمان مؤثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه و ۴۰ تا ۷۰ ثانیه استفاده شده است. با توجه به داده‌های بدست آمده مشاهده می‌شود، در زمان موثرهای طولانی اثر جداگرهای لرزه‌ای در کاهش برش پایه و جابجایی طبقات کمتر شده است. بنابراین جداگرها در زلزله‌های با زمان مؤثر کوتاه تأثیر بیشتری دارند.

واژه‌های کلیدی: مدت دوام زلزله، جداگر لرزه ای، جداگر آونگی اصطکاکی، تحلیل دینامیکی غیر خطی

۱- مقدمه

جداگر لرزه‌ای یک روش مؤثر برای حفاظت از ساختمان‌ها، اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای و سایر تجهیزات آن‌ها در برابر اثرات ناشی از تکان‌های زمین می‌باشد. در نتیجه از این روش می‌توان برای بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های مهم و حساس از قبیل مدارس، بیمارستان‌ها، مراکز ارتباط جمعی و مراکز اضطراری، اداره‌های پلیس و ایستگاه‌های آتش نشانی، در زمانی که به آن‌ها نیاز است یعنی بلافاصله پس از وقوع زلزله استفاده نمود.

در این روش سازه به وسیله ایجاد یک مؤلفه انعطاف پذیر و اتلاف کننده انرژی در راستای افقی، در تراز پایه، از زمین و حرکت‌های ناگهانی آن مانند زلزله جدا می‌شود. این قابلیت انعطاف پذیری و اتلاف انرژی به وسیله تجهیزات جداسازی که به آن جداگر گفته می‌شود صورت می‌گیرد.

استفاده از جداگرهای لرزه‌ای در سازه، باعث افزایش پیروی طبیعی سازه می‌گردد. افزایش در پیروی سازه سبب می‌شود که در اثر وقوع زلزله شتاب وارد بر طبقات و جابجایی نسبی طبقات سازه جداسازی شده نسبت به سازه ثابت کاهش قابل توجهی داشته باشد. این کاهش منجر به آن می‌گردد که سازه جداسازی شده در محدوده الاستیک و یا نزدیک به الاستیک رفتار کند [۳-۱].

کاهش هم‌زمان شتاب وارد بر طبقات و جابجایی نسبی آن‌ها یکی از مهم‌ترین نتایج استفاده از جداگرهای لرزه‌ای می‌باشد که این امکان را فراهم می‌کند تا سازه تحت اثر زلزله در محدوده قابلیت استفاده رفتار کند. از مقایسه روش‌های مختلف طراحی به منظور افزایش مقاومت ساختمان‌ها در برابر زلزله می‌توان نتیجه گرفت که روش جداسازی لرزه‌ای یکی از روش‌هایی است که می‌تواند نیروی زلزله وارد بر ساختمان‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد [۴]. یکی از انواع پرکاربرد جداگرهای لرزه‌ای، سیستم آونگی اصطکاکی می‌باشد. در ساختار این جداگرها از دو پارامتر جاذبه و هندسه به عنوان پارامترهای تعیین کننده جداسازی مورد نظر بهره گرفته شده است. اساس طراحی این جداگر بر پایه بحث شناخته شده‌ای در اصول مهندسی یعنی حرکت آونگ، استوار است.

یکی از خصوصیات حرکات زمین مدت دوام حرکات شدید می‌باشد که تأثیر عمده‌ای بر پاسخ سازه در زمین لرزه دارد به طوری که مدت دوام حرکات شدید تأثیر قابل توجهی بر شدت جنبش و تکان سازه دارد، به نحوی که زمین لرزه‌ای که دارای حداکثر شتاب متوسط و مدت دوام طولانی باشد خسارت بیشتری از زمین لرزه‌ای با شتاب بزرگ‌تر اما مدت دوام کوتاه‌تر بر جای می‌گذارد. منظور از مدت زمان مؤثر، زمان مورد نیاز برای بوجود آوردن شدتی موسوم به شدت آریاس در حد فاصل ۵ تا ۹۵ درصد کل شدت آریاس یک نگاهت می‌باشد [۵] و [۶]. به همین منظور در این پژوهش تأثیر مدت دوام زلزله (زمان مؤثر زلزله) بر عملکرد سازه‌های فولادی خمشی مجهز به جداگر لرزه‌ای از نوع آونگی اصطکاکی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- جداگر آونگی اصطکاکی

سیستم آونگی اصطکاکی، سیستم جداسازی اصطکاکی است که به وسیله هندسه خاص خود، عمل لغزش و نیروی بازگرداننده را فراهم می‌کند. جداساز آونگی اصطکاکی که در شکل (۲-۲۲) نشان داده شده است، دارای یک سطح لغزنده مفصلی است که بر روی یک سطح کروی از جنس فولاد ضد زنگ می‌لغزد [۷].

سطحی از این قسمت لغزنده مفصلی که در تماس با سطح کروی است، با موادی با اصطکاک کم پوشیده شده است. سطح دیگر این لغزنده نیز کروی بوده و با لایه‌ای از فولاد ضد زنگ پوشیده شده است. این سطح در شیار کروی که آن هم از ترکیباتی با اصطکاک کم پوشیده شده قرار می‌گیرد. با حرکت قسمت لغزنده از روی سطح کروی، جرم موجود از روی آن بلند شده که این امر سبب ایجاد نیروی بازگرداننده در سیستم می‌شود. اصطکاک بین سطح لغزنده مفصلی و سطح کروی نیز سبب ایجاد میرایی در جداسازها می‌شود. سختی مؤثر جداساز و دوره تناوب سازه جداسازی شده به وسیله شعاع انحنا سطح محدب کنترل می‌شود [۸].

۳- روش تحقیق

در تحقیق حاضر ساختمان‌های مورد مطالعه، ۳ و ۶ و ۹ طبقه در نظر گرفته شده‌اند، این سازه‌ها دارای اسکلت فلزی، با سیستم قاب خمشی متوسط می‌باشند. ساختمان‌ها از نوع مسکونی با اهمیت متوسط فرض شده‌اند. منطقه مورد مطالعه با لرزه خیزی خیلی زیاد و خاک از نوع سه در نظر گرفته شده است. ارتفاع طبقات یکسان و برابر ۳/۲ متر می‌باشد. برای تیرها و ستون‌ها از فولاد ST۳۷ با حداقل تنش تسلیم $F_y = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ استفاده شده است. تمامی اتصالات و تکیه‌گاه‌ها صلب فرض

شده و سیستم سقف از نوع تیرچه با عملکرد یک طرفه می‌باشد. بارگذاری ثقلی بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان انجام شده است [۹].

میزان بار مرده برای طبقات $۸۰۰ \frac{kg}{m^2}$ ، بار زنده‌ی آن‌ها $۲۰۰ \frac{kg}{m^2}$ ، بار مرده‌ی بام $۶۰۰ \frac{kg}{m^2}$ و بار زنده‌ی آن $۱۵۰ \frac{kg}{m^2}$ می‌باشد و بار مرده‌ی گسترده روی دیوارهای جانبی پلان طبقات $۶۰۰ \frac{kgf}{m}$ می‌باشد. طراحی سازه‌ها مطابق ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان انجام شده است [۱۰]. تحلیل سازه‌ها با روش دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی، با استفاده از نرم افزار غیرخطی SAP۲۰۰۰، Version ۱۸.۱.۱ انجام شده است.

ساختمان‌های مورد مطالعه در دو حالت پایه ثابت و پایه جداسازی شده تحت تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی در دو بازه با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه و ۴۰ تا ۷۰ ثانیه، مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. در انجام این تحلیلها در مجموع ۱۴ زوج شتاب نگاشت زلزله از حوزه دور مورد استفاده قرار گرفته اند که ۷ زوج شتابنگاشت از زلزله‌های با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه و ۷ زوج شتابنگاشت از زلزله‌های با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه انتخاب شده اند. ۱۴ زوج شتابنگاشت انتخابی با توجه به روش همپایه سازی شتابنگاشتها در استاندارد ۲۸۰۰ به مقیاس در آمده اند [۱۱]. در این روش طیف متوسط پاسخ شبه شتاب شتابنگاشت‌ها نسبت به طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ مقیاس می‌گردد. در تحلیل دینامیکی غیرخطی، هر سازه یک بار در حالت پایه ثابت و یک بار در حالت جداسازی شده، تحت تحریک ۱۴ شتابنگاشت قرار گرفته شده است.

رکوردهای زلزله از سایت PEER انتخاب شده است [۵] و [۱۲]. خاک محل احداث پروژه نوع ۳ می‌باشد بنابراین مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ از رکوردهایی که سرعت موج برشی آنها ۳۷۵-۱۷۵ می‌باشد استفاده شده است. در جدول ۱، مشخصات ۷ زلزله دور از گسل با مدت زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه و در جدول ۲، مشخصات ۷ زلزله دور از گسل با زمان موثر ۴۵ تا ۷۰ ثانیه بکار رفته در تحلیل سازه‌ها آمده است.

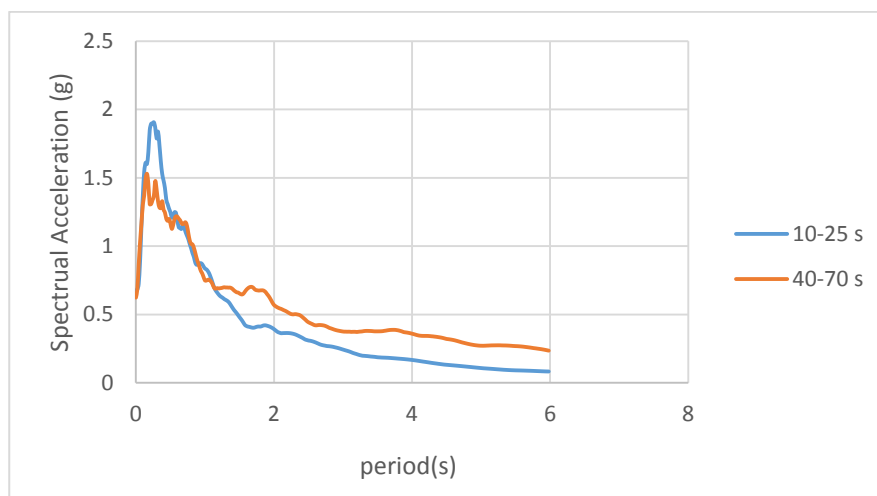
جدول ۱: رکوردهای زلزله‌های مورد استفاده دور از گسل با مدت زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه

Event	Year	Station	Mag	Vs۳۰ (m/s)	PGA	D۵-۹۵(s)
Trinidad	۱۹۸۰	Rio Dell Overpass, W Ground	۷/۲	۳۱۱/۷۵	۰/۱۵	۱۰/۸
Coalinga	۱۹۸۳	Cantua Creek School	۶/۳۶	۲۷۴/۷۳	۰/۲۸	۱۲/۶
Morgan Hill	۱۹۸۴	Capitola	۶/۱۹	۲۸۸/۶۲	۰/۱۴	۱۵/۳
N. Palm Springs	۱۹۸۶	Indio	۶/۰۶	۳۰۷/۵۴	۰/۱۱	۱۸/۵
Chuetsu-oki, Japan	۲۰۰۷	NIG۰۰۴	۶/۸	۳۱۸/۶۲	۰/۱	۲۰/۸
Darfield, New Zealand	۲۰۱۰	Pages Road Pumping Station	۷	۲۰۶	۰/۱	۲۲
Loma Prieta	۱۹۸۹	Dumbarton Bridge West End FF	۶/۹۳	۲۰۳/۰۶	۰/۱۲	۲۴/۸

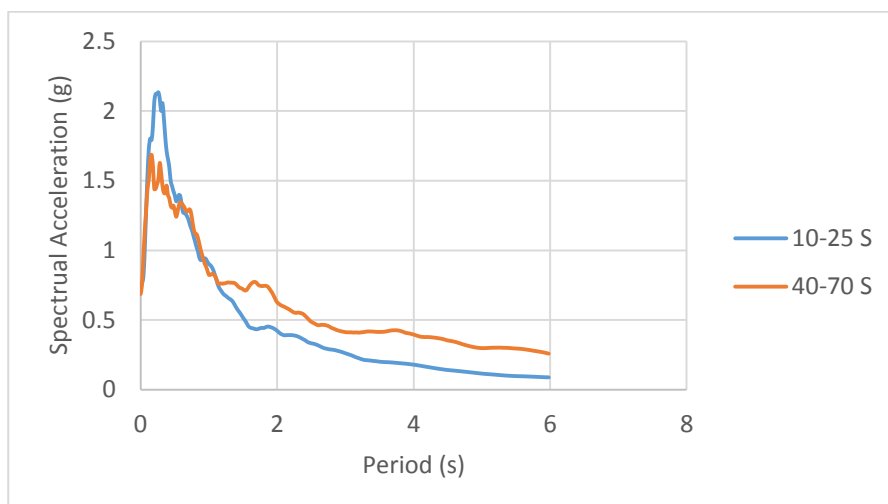
جدول ۲: رکوردهای زلزله‌های مورد استفاده دور از گسل با مدت زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه

Event	Year	Station	Mag	V_{s30} (m/s)	PGA	D ₅₋₉₅ (s)
Landers	۱۹۹۲	Mission Creek Fault	۷/۲۸	۳۵۵/۴۲	۰/۱۳	۴۰/۸
Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	TCU۱۱۸	۷/۶۲	۲۳۶/۱۹	۰/۱۱	۴۴/۴
Iwate, Japan	۲۰۰۸	Furukawa Osaki City	۶/۹	۲۴۸/۱۹	۰/۳۱	۴۸/۳
Imperial Valley	۱۹۷۹	Delta	۶/۵۳	۲۴۲/۰۵	۰/۳۴	۵۱/۴
Kobe, Japan	۱۹۹۵	Sakai	۶/۹	۲۵۶	۰/۱۵	۶۰/۱
El Mayor-Cucapah, Mexico	۲۰۱۰	Meloland, E Holton Rd.	۷/۲	۱۹۶	۰/۲۸	۶۸/۶
Niigata, Japan	۲۰۰۴	NIG۰۱۸	۶/۶۳	۱۹۸/۲۶	۰/۱۴	۷۰

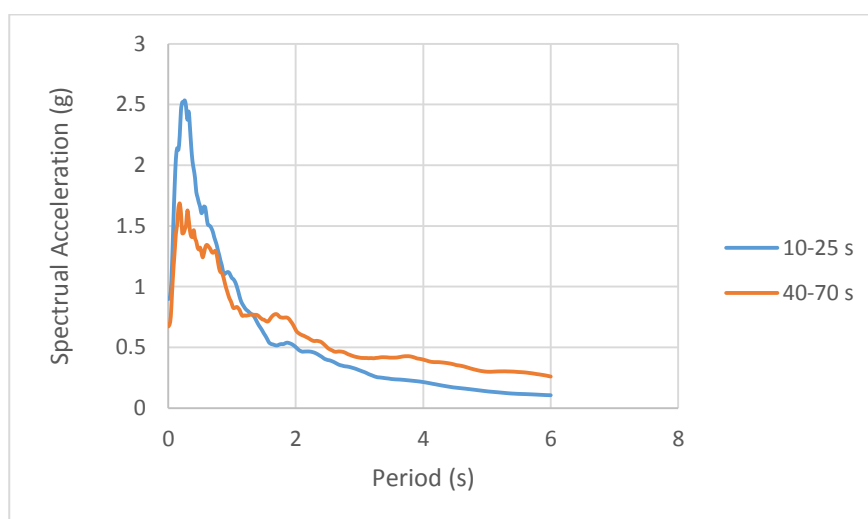
در شکل‌های ۱ و ۲ طیف‌های مقیاس شده مطابق استاندارد ۲۸۰۰ در دو بازه زمانی ۱۰ تا ۲۵ ثانیه و ۴۰ تا ۷۰ ثانیه برای سازه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱: طیف‌های مقیاس شده سازه سه طبقه



شکل ۲: طیف‌های مقیاس شده طیف سازه شش طبقه



شکل ۳: طیف‌های مقیاس شده سازه نه طبقه

برای طراحی جداسازها برای سازه‌های مورد مطالعه از نشریه ۵۲۳، راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها استفاده شده است [۱۳]. خصوصیات جداسازهای طراحی شده مطابق جدول ۳ می‌باشد.

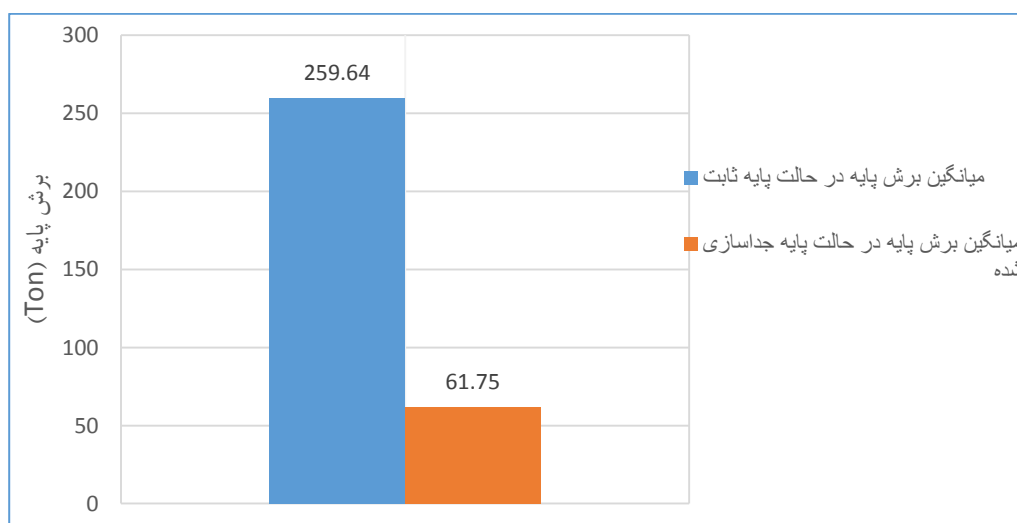
جدول ۳: مشخصات جداگرهای استفاده شده در سازه‌ها

تعداد طبقات	زمان تناوب طراحی	تغییر مکان طرح	شعاع انحنای تکیه گاه	سختی موثر جداسازی Ton/m	میرایی موثر
۳ طبقه	۲/۵ ثانیه	۳۰ سانتی متر	۱/۵ متر	۶۷۹/۴۴	٪۱۴
۶ طبقه	۳ ثانیه	۳۰ سانتیمتر	۲ متر	۱۱۲۲/۹۲	٪۱۸
۹ طبقه	۳/۵ ثانیه	۳۵ سانتی متر	۳ متر	۱۱۳۴/۱۰	٪۲۱

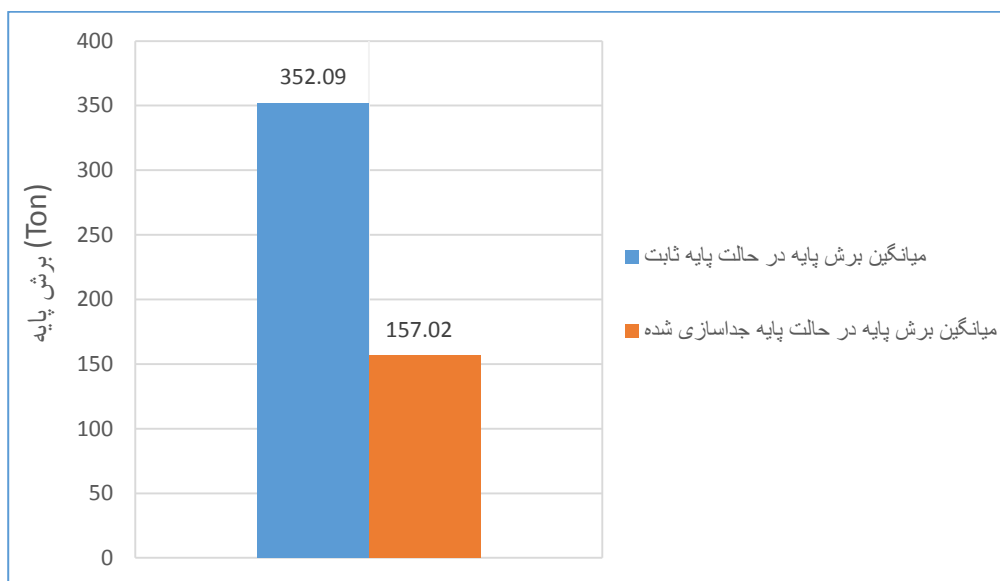
۴- یافته‌ها

پاسخ سازه‌های ۳، ۶ و ۹ طبقه پایه ثابت و جداسازی شده با جداگر آونگی اصطکاکی، تحت دو بازه با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه و ۴۰ تا ۷۰ ثانیه مورد بررسی قرار گرفته اند.

شکل‌های ۴ و ۵ پاسخ برش پایه سازه ۳ طبقه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده از زلزله‌های با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه و میانگین گیری نتایج، مشاهده می‌شود که میزان برش پایه با استفاده از جداساز لرزه‌ای آونگی اصطکاکی به میزان ۷۶/۲۱ درصد کاهش یافته است. که این میزان کاهش در زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه به میزان ۵۵/۴ درصد می‌باشد.

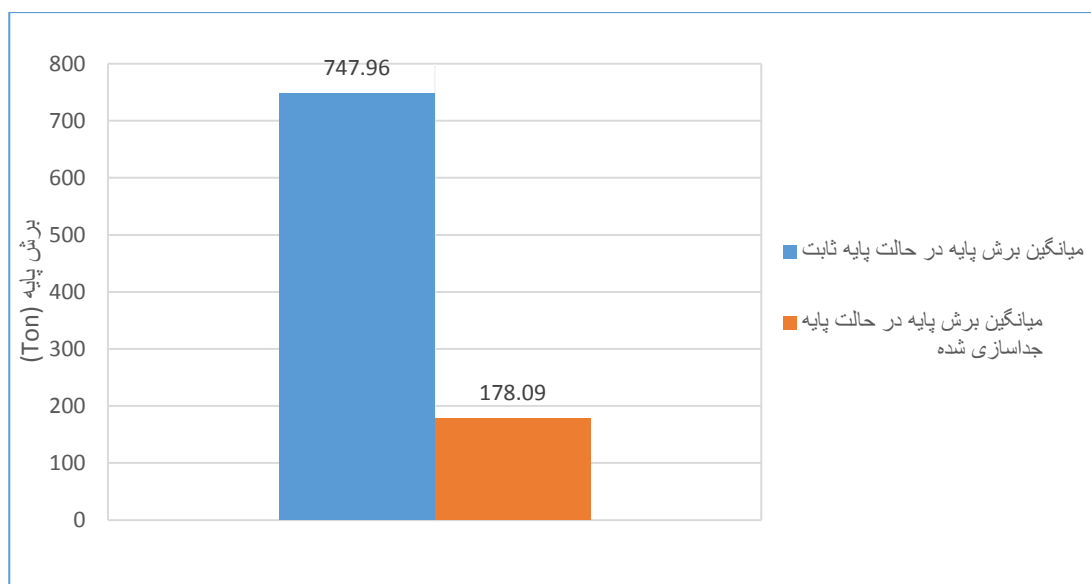


شکل ۴: نتایج میانگین برش پایه سازه ۳ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه

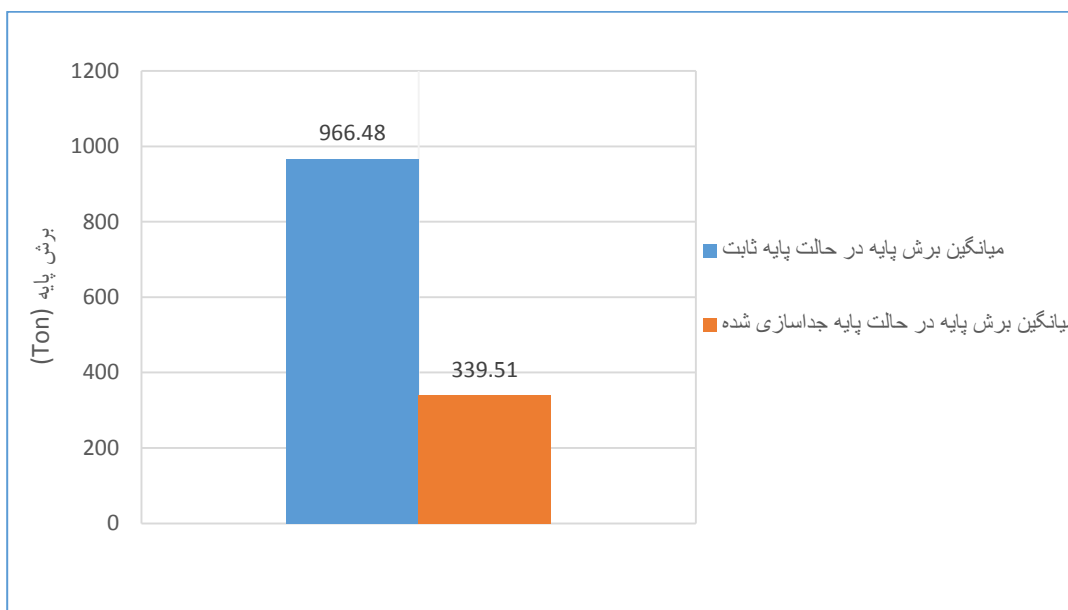


شکل ۵: نتایج میانگین برش پایه سازه ۳ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه

شکل‌های ۶ و ۷ پاسخ برش پایه سازه ۶ طبقه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده از زلزله‌های با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه و میانگین گیری نتایج، مشاهده می‌شود که میزان برش پایه با استفاده از جداساز لرزه‌ای آونگی اصطکاکی به میزان ۷۶/۱۸ درصد کاهش یافته است. که این میزان کاهش در زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه به میزان ۶۴/۸۷ درصد می‌باشد.

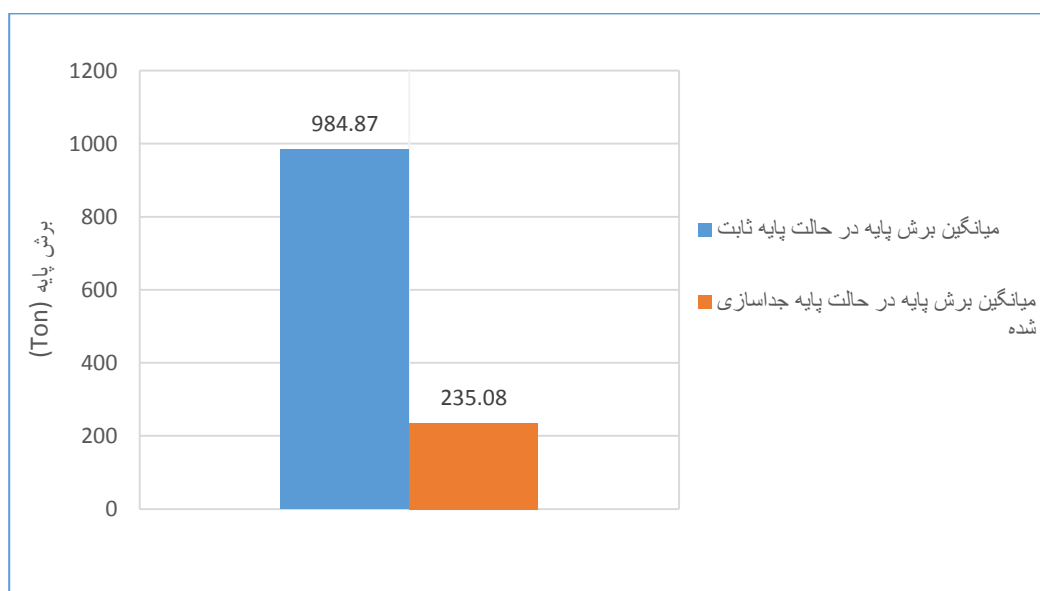


شکل ۶: نتایج میانگین برش پایه سازه ۶ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه

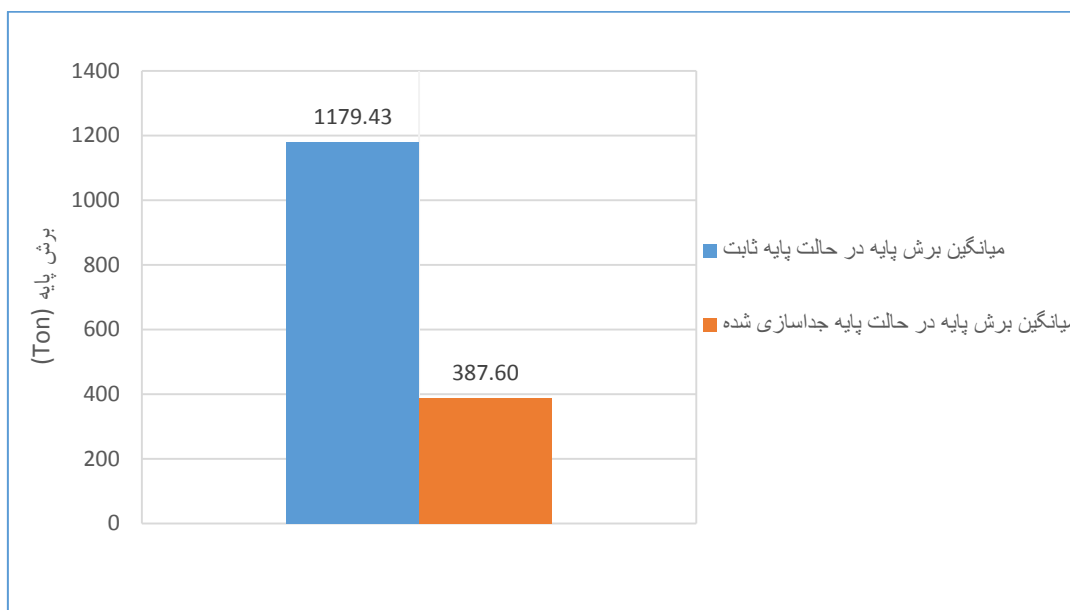


شکل ۷: نتایج میانگین برش پایه سازه ۶ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه

شکل‌های ۸ و ۹ پاسخ برش پایه سازه ۹ طبقه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده از زلزله‌های با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه و میانگین گیری نتایج، مشاهده می‌شود که میزان برش پایه با استفاده از جداساز لرزه‌ای آونگی اصطکاکی به میزان ۶۷/۱۳ درصد کاهش یافته است. که این میزان کاهش در زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه به میزان ۶۷/۱۳ درصد می‌باشد.

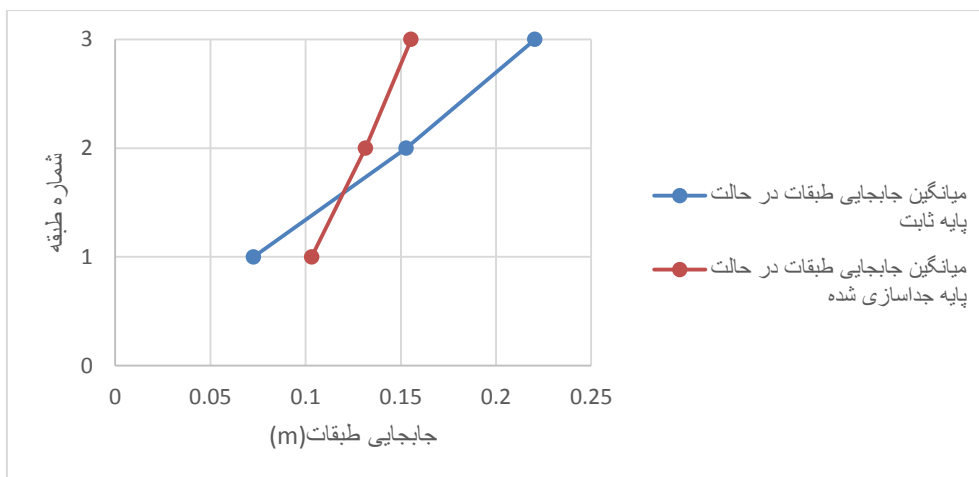


شکل ۸: نتایج میانگین برش پایه سازه ۹ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه

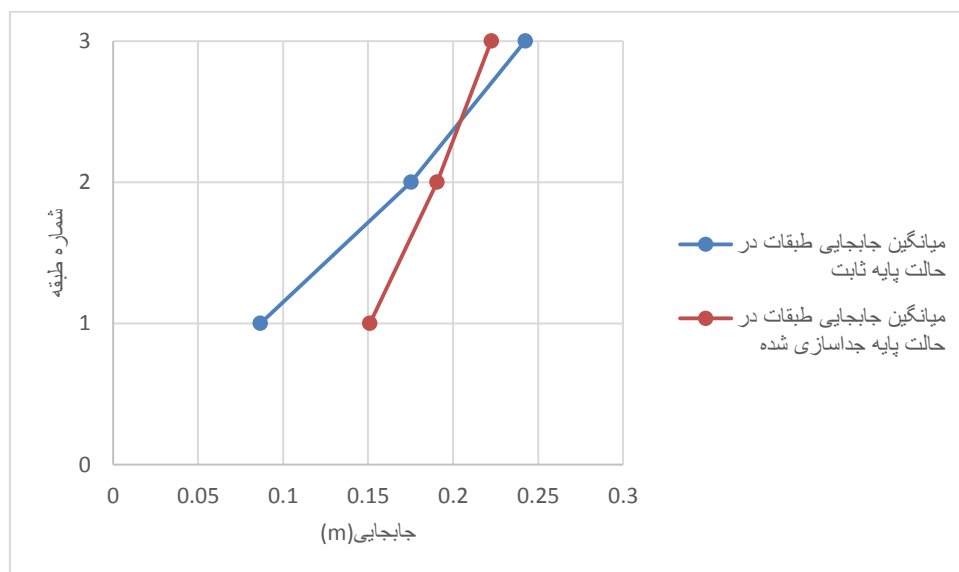


شکل ۹: نتایج میانگین برش پایه سازه ۹ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نتایج جابجایی طبقات سازه ۳ طبقه نشان داده شده است.

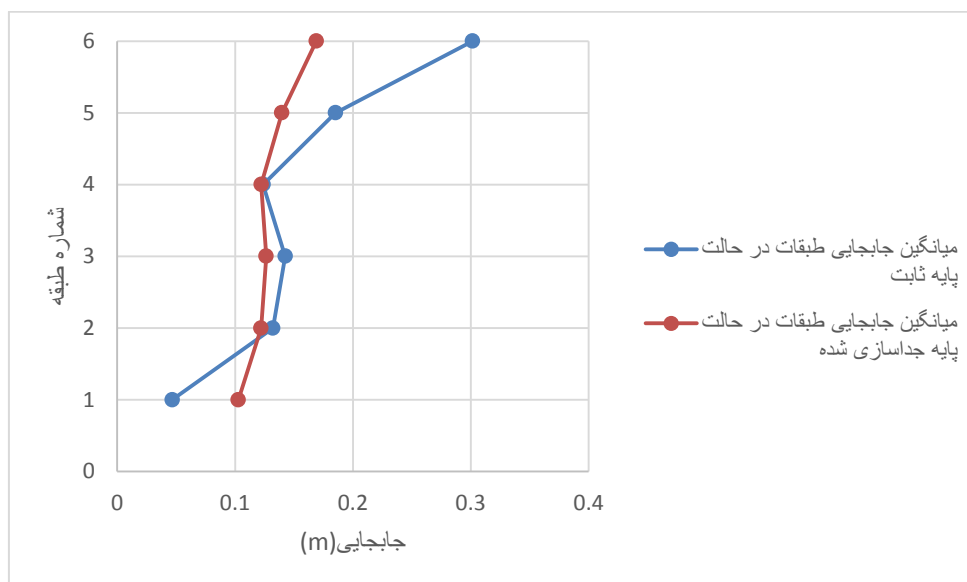


شکل ۱۰: میانگین جابجایی طبقات سازه ۳ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه

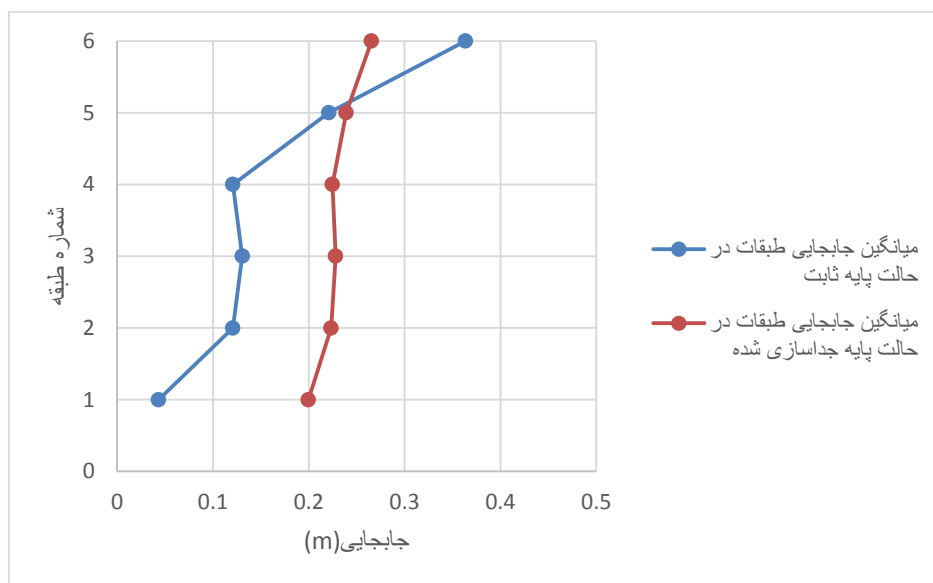


شکل ۱۱: میانگین جابجایی طبقات سازه ۳ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه

با توجه به نتایج بدست آمده برای جابجایی طبقات در حالتی که سازه تحت رکورد ۱۰ تا ۲۵ ثانیه تحلیل شده است میزان کاهش جابجایی طبقات برای حالتی که از جداساز استفاده شده است بیشتر از حالتی است که سازه تحت رکوردهای با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه تحلیل شده است. در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نتایج جابجایی طبقات سازه ۶ طبقه نشان داده شده است.

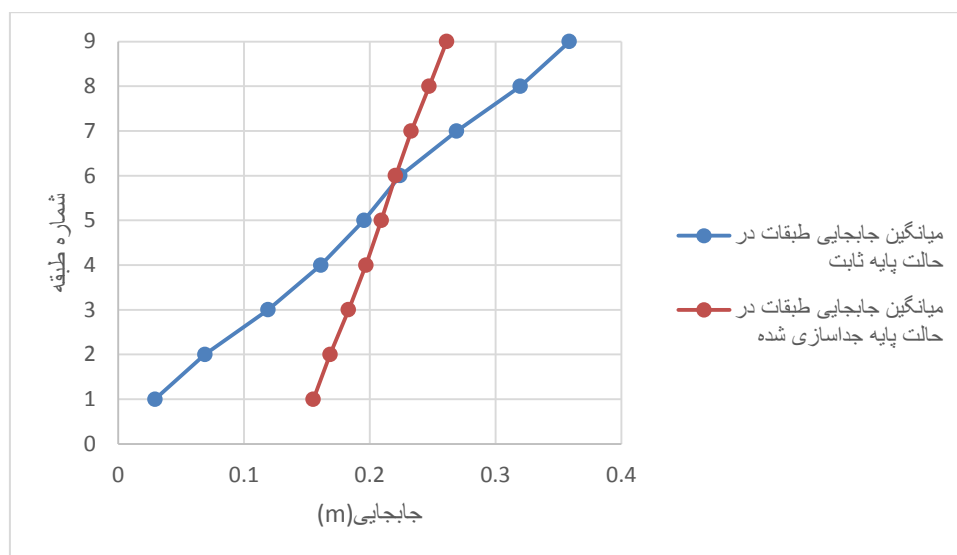


شکل ۱۲: میانگین جابجایی طبقات سازه ۶ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه

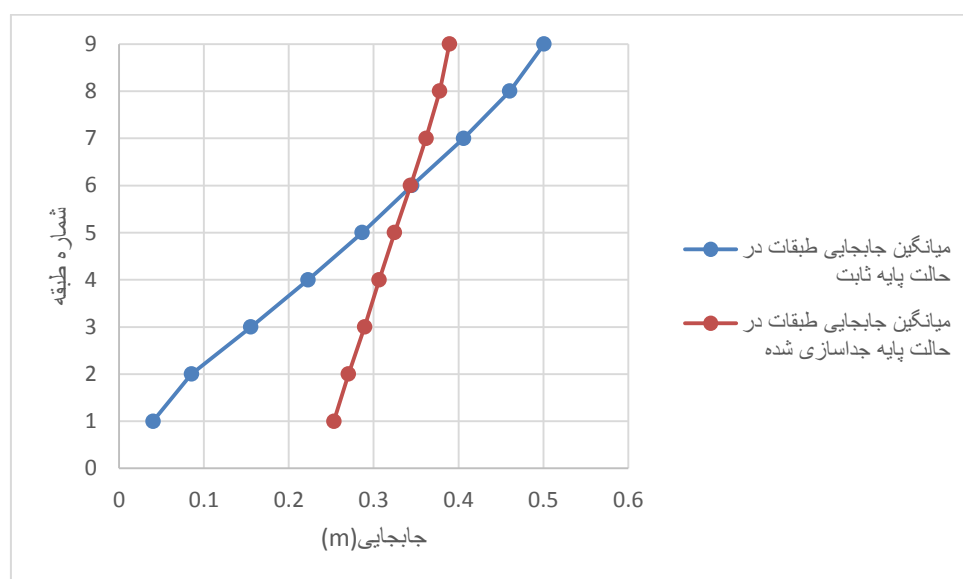


شکل ۱۳: میانگین جابجایی طبقات سازه ۶ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه

همانند نتایج حاصل از سازه ۳ طبقه، برای سازه ۶ طبقه نیز در حالتی که سازه تحت رکورد ۱۰ تا ۲۵ ثانیه تحلیل شده است میزان کاهش جابجایی طبقات برای حالتی که از جداساز استفاده شده است بیشتر از حالتی است که از رکوردهای با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه استفاده شده است. در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نتایج جابجایی طبقات سازه ۶ طبقه نشان داده شده است.



شکل ۱۴: میانگین جابجایی طبقات سازه ۹ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه



شکل ۱۵: میانگین جابجایی طبقات سازه ۹ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه

برای سازه ۹ طبقه نیز نتایج حاصل برای جابجایی طبقات نشان می‌دهد در حالتی که سازه تحت رکورد ۱۰ تا ۲۵ ثانیه تحلیل شده است میزان کاهش جابجایی طبقات برای حالتی که از جداساز استفاده شده است بیشتر از حالتی است که از رکوردهای با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه استفاده شده است.

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق پاسخ‌های سازه‌های فولادی با قاب خمشی ۳، ۶ و ۹ طبقه با پایه ثابت و جداسازی شده مورد بررسی قرار گرفتند. جداسازی تکیه گاه ستونها، با جداگرهای آونگی اصطکاکی در نظر گرفته شد. سازه‌ها تحت اثر ۱۴ رکورد زلزله حوزه دور در دو بازه زمانی زمان موثر کوتاه و زمان موثر طولانی به وسیله تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج حاصله به شرح زیر است:

۱- با توجه به نمودارهای ارائه شده، مشاهده می‌شود که مدت دوام زلزله اثر قابل توجهی بر روی پاسخ‌های سازه دارد. برای سه سازه ۳، ۶ و ۹ طبقه، با افزایش زمان موثر زلزله برش پایه در سازه‌های پایه ثابت به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. برای سازه ۳ طبقه در رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه مقدار برش پایه در سازه‌های جداسازی شده به میزان ۷۶/۲۱ درصد کاهش داده شده است. که این میزان کاهش در زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه کمتر بوده و به میزان ۵۵/۴۰۲ درصد می‌باشد.

۲- برای سازه ۶ طبقه در رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه مقدار برش پایه در سازه‌های جداسازی شده به میزان ۷۶/۱۸ درصد کاهش داده شده است. که این میزان کاهش در زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه کمتر بوده و به میزان ۶۴/۸۷ درصد می‌باشد.

۳- برای سازه ۹ طبقه در رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه مقدار برش پایه در سازه‌های جداسازی شده به میزان ۷۶/۱۳ درصد کاهش داده شده است. که این میزان کاهش در زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه کمتر بوده و به میزان ۶۷/۱۳۶۶ درصد می‌باشد. در نتیجه با افزایش زمان موثر زلزله برش پایه سازه‌های جداسازی شده نسبت به سازه مشابه بدون جداساز کاهش کمتری یافته است. به عبارت دیگر اثر جداسازهای لرزه‌ای در کاهش برش پایه کمتر شده است. بنابراین جداسازها در زلزله‌های با زمان موثر کوتاه تأثیر بیشتری دارند.



۴- با افزایش زمان موثر جابجایی طبقات در سازه‌ها افزایش می‌یابد. در حالتی که زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه می‌باشد این میزان جابجایی با استفاده از جداساز کنترل شده است و کاهش یافته است. در حالتی که زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه می‌باشد این میزان جابجایی درصد کاهش آن کمتر از بازه زمان موثر کوتاه تر می‌باشد.

در نتیجه با افزایش زمان موثر زلزله جابجایی طبقات سازه‌های جداسازی شده نسبت به سازه مشابه بدون جداساز کاهش کمتری یافته است. به عبارت دیگر اثر جداسازهای لرزه‌ای در کاهش جابجایی طبقات کمتر شده است. بنابراین جداسازها در زلزله‌های با زمان موثر کوتاه تأثیر بیشتری دارند.

مراجع

- [۱] Warn, G.P., and Ryan, K.L., (۲۰۱۲), "A Review of Seismic Isolation for Buildings: Historical Development and Research Needs", Buildings, vol. ۲, No. ۳, pp. ۳۰۰-۳۲۵.
- [۲] Mayes, R. L., Naeim, F., (۱۹۹۹), "Design of Structures With Seismic Isolation", in Earthquake Engineering From Engineering Seismology To Performance-Based Engineering, California, pp. ۷۲۳-۷۵۶.
- [۳] Kelly, J.M., (۱۹۸۶), "Aseismic base isolation: review and bibliography", Soil Dynamics and Earthquake Engineering-Elsevier, Vol. ۵, No. ۴, pp. ۲۰۲-۲۱۶.
- [۴] Islam, A.S., Jameel, M., and Jumaat, M. Z., (۲۰۱۱), "Seismic isolation in buildings to be a practical reality: Behavior of structure and installation technique", Journal of Engineering and Technology Research, Vol. ۳, No. ۴, pp. ۹۹-۱۱۷.
- [۵] Raghunandan, M., Liel, A.B. (۲۰۱۳), "Effect of ground motion duration on earthquake-induced structural collapse", structural safety-Elsevier, Vol. ۴۱, PP. ۱۱۹-۱۳۳.
- [۶] Foschaar, J.C., Baker J.W., Deierlein, G.C. (۲۰۱۲), "Preliminary Assessment of Ground Motion Duration Effects on Structural Collapse", In: proceeding of the ۱۵th world conference on earthquake engineering, Lisboa, Portugal.
- [۷] Al-Hussaini, T. M., Zayas, V. A., and Constantinou, M. C. (۱۹۹۴), "Seismic Isolation of a Multi-story Frame Structure Using Spherical Sliding Isolation System," Technical Report NCEER-۹۴-۰۰۷, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- [۸] غفوری آشتیانی، م. و همایون شاد، ف. (۱۳۸۱) "طراحی ساختمانها با جداسازهای لرزه‌ای از تئوری تا عمل" (چاپ سوم)، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله و مهندسی زلزله.
- [۹] مقررات ملی ساختمان، (۱۳۹۲) مبحث ششم: بارهای وارد بر ساختمان، نشر توسعه ایران.
- [۱۰] مقررات ملی ساختمان، (۱۳۹۲) مبحث دهم: طرح و اجرای ساختمانهای فولادی، نشر توسعه ایران.
- [۱۱] مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، (۱۳۹۴) "آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰".
- [۱۲] Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). PEER NGA database, <http://ngawest2.berkeley.edu>, ۲۰۱۶



[۱۳] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، (۱۳۸۹) "راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها"، نشریه شماره ۵۲۳.