

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

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

n.elahikhah-ce@aryan.ac.ir ا- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه موسسه آموزش عالی علوم و فناوری آریان، h_hamidi@alumni.iust.ac.ir ۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، Ghodrati@iust.ac.ir ۳- استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت ایران، Ghodrati@iust.ac.ir

چکیدہ

با وجود درنظر 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 ۲۰۰۰ SAP تحت ۱۴ عدد رکورد زلزله دور از گسل در دو بازهی با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه و ۴۰ تا ۲۰ 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 موثر کوتاه تا ۲۵ ثانیه و ۲۰ تا ۲۰ ثانیه استفاده شده است. با توجه به دادههای بدست

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 پریود طبیعی سازه می گردد. افزایش در پریود سازه سبب می شود 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 می گردد که سازه جداسازی شده در محدوده الاستیک و یا نزدیک به الاستیک رفتار کند [۱–۱].

کاهش هم زمان 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 ملاحظه ای 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 شده ای 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 کوتاه تر 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 نگاشت 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 لرزه ای از نوع آونگی اصطکاکی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- جداگر آونگی اصطکاکی

سیستم آونگ 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 می گیرد. با حرکت قسمت لغزنده از روی سطح کروی، جرم موجود از روی آن بلند شده که این امر سبب ایجاد نیروی بازگرداننده در سیستم می شود. اصطکاک بین سطح لغزنده مفصلی و سطح کروی نیز سبب ایجاد میرایی در جداسازها می شود. سختی موثر جداساز و دوره تناوب سازه جداسازی شده به وسیله شعاع انحنای سطح محدب کنترل می شود [۸].

۳- روش تحقيق

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 می باشند. ساختمان ها از نوع مسکونی با اهمیت متوسط فرض شده اند. منطقه مورد مطالعه با لرزه خیزی خیلی زیاد و خاک از نوع سه در نظر گفته شده است. ارتفاع طبقات یکسان و برابر ۳/۲ متر می باشد. برای تیرها وستونها از فولاد ST۳۷ با حداقل تنش تسلیم Fy = ۲۴۰۰ $\frac{kg}{cm^{7}}$ استفاده شده است. تمامی اتصالات و تکیه گاهها 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 $\frac{kg}{m^{\gamma}}$ ۸۰۰، بار زندهی آن ها $\frac{kg}{m^{\gamma}}$ ۲۰۰، بار مردهی بام $\frac{kg}{m^{\gamma}}$ ۶۰۰ و بار زندهی آن $\frac{kg}{m^{\gamma}}$ ۱۵۰ میباشد و بار مردهی گسترده روی دیوارهای جانبی پلان طبقات $\frac{kg}{m}$ ۶۰۰ میباشد. طراحی سازه ها مطابق ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان انجام شده است [۱۰]. تحلیل سازهها با روش دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی، با استفاده از نرم افزار غیر خطی SAP۲۰۰۰ میباشد. میباشد و میباشد میباشد و میباشد و میباشد و میباشد میباشد. طراحی سازه ها مطابق ضوابط مبحث دهم مقررات مدینامیکی غیرخطی SAP۲۰۰۰ میباشد و میباشد و میباشد و میباشد و میباشد. میباشد میباش مرده میباش میبا

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 ۲۰ 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 های با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه انتخاب شده اند. ۲۴زوج 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 می گردد. در تحلیل دینامیکی غیرخطی، هر سازه یک بار در حالت پایه ثابت و یک بار در حالت جداسازی شده، تحت تحریک۱۴ 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 جدول۱، مشخصات ۷ زلزله دور از گسل با مدت زمان موثر ۱۰تا ۲۵ ثانیه و در جدول۲، مشخصات ۷ زلزله دور از گسل با زمان موثر ۴۵ تا ۷۰ ثانیه بکار رفته در تحلیل سازهها آمده است.

Event	Year	Station	Mag	Vs‴∙(m/s)	PGA	D۵-۹۵(s)
Trinidad	۱۹۸۰	Rio Dell Overpass, W Ground	٧/٢	W11/VA	•/١۵	۱۰/۸
Coalinga	۱۹۸۳	Cantua Creek School	۶/۳۶	206/02	۰/۲۸	17/8
Morgan Hill	1976	Capitola	<i>۶</i> /۱۹	788/62	•/14	۱۵/۳
N. Palm Springs	۱۹۸۶	Indio	81.8	301/24	•/\\	۱۸/۵
Chuetsu-oki, Japan	77	NIG۰۰۴	۶/٨	818/82	• / ١	۲۰/۸
Darfield, New Zealand	7.1.	Pages Road Pumping Station	٧	7.9	•/1	٢٢
Loma Prieta	١٩٨٩	Dumbarton Bridge West End FF	۶/۹۳	۲۰۳/۰۶	•/17	۲۴/۸

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



Event	Year	Station	Mag	Vsv·(m/s)	PGA	$D\Delta-9\Delta(s)$
Landers	١٩٩٢	Mission Creek Fault	V/YA	800/42	۰/۱۳	۴۰/۸
Chi-Chi, Taiwan	١٩٩٩	ΤϹሀነነλ	٧/۶٢	۲۳۶/۱۹	•/ \ \	46/6
Iwate, Japan	۲۰۰۸	Furukawa Osaki City	۶/۹	267/19	۰/۳۱	۴۸/۳
Imperial Valley	۱۹۷۹	Delta	۶/۵۳	۲۴۲/۰۵	۰/۳۴	۵۱/۴
Kobe, Japan	۱۹۹۵	Sakai	۶/۹	208	۰/۱۵	۶۰/۱
El Mayor-Cucapah, Mexico	7.1.	Meloland, E Holton Rd.	٧/٢	198	•/۲٨	۶۸/۶
Niigata, Japan	74	NIG · ۱۸	۶/۶۳	۱۹۸/۲۶	•/14	٧٠

جدول۲: رکوردهای زلزلههای مورد استفاده دور از گسل با مدت زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه

در شکلهای ۱و ۲و۳ طیفهای مقیاس شده مطابق استاندارد ۲۸۰۰ در دو بازه زمانی ۱۰تا ۲۵ ثانیه و ۴۰ تا ۷۰ ثانیه برای سازههای مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل۱: 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.



میرایی موثر	سختى موثر سامانه	شعاع انحناي تكيه	تغيير مكان طرح	زمان تناوب طراحي	تعداد
	جداسازیTon/m	گاه			طبقات
<u>%</u> 14	871/44	۱/۵ متر	۳۰ سانتی متر	۲/۵ ثانیه	۳ طبقه
<u>/</u> 1A	1177/97	۲ متر	۳۰ سانتیمتر	۳ ثانیه	۶ طبقه
711	1174/1.	۳ متر	۳۵ سانتی متر	۳/۵ ثانیه	۹ طبقه

جدول۳: مشخصات جداگرهای استفاده شده در سازهها

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.

شکل های 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.



شکل۴: نتایج میانگین برش پایه سازه ۳ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه





شکل۵: نتایج میانگین برش پایه سازه ۳ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه

شکل های۶ و۷ پاسخ برش پایه سازه ۶طبقه 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 ۲۰ ثانیه به میزان ۶۴/۸۷ درصد میباشد.



شکل۶: نتایج میانگین برش پایه سازه ۶ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه



339.51

400



میانگین برش پایه در حالت پایه جداسازی شده 🗕

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

شکل های۸ و۹ پاسخ برش پایه سازه ۹طبقه 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 ۷۶/۱۳ درصد کاهش یافته است. که این میزان کاهش در زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه به میزان ۶۷/۱۳ درصد میباشد.



شکل۸: نتایج میانگین برش پایه سازه ۹ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه





شکل۹: نتایج میانگین برش پایه سازه ۹ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۴۰ تا ۷۰ ثانیه



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

شکل۱۰: میانگین جابجایی طبقات سازه ۳ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه



شکل۱۱: 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 ۲۰ ثانیه تحلیل شده است.

در شکلهای ۱۲و 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 ۲۰ ثانیه استفاده شده است.

در شکلهای ۱۴و ۱۵ نتایج جابجایی طبقات سازه ۶ طبقه نشان داده شده است.



شکل۱۴: میانگین جابجایی طبقات سازه ۹ طبقه برای رکوردهای با زمان موثر ۱۰ تا ۲۵ ثانیه



شکل۱۵: 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. سازه ها 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 می شود 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 میزان۷۶/۱۳ 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 افرایش 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

- Warn, G.P., and Ryan, K.L., (Y 1Y), "A Review of Seismic Isolation for Buildings: Historical Development and Research Needs", Buildings, vol. Y, No. F, pp. F • • - FY D.
- [Y] Mayes, R. L., Naeim, F., (۱۹۹۹), "Design of Structures With Seismic Isolation", in Earthquake Engineering From Engineering Seismology To Performance-Based Engineering, california, pp. ΥΥΥ-ΥΔ۶.
- [٣] Kelly, J.M, (۱۹λ۶), "Aseismic base isolation: review and bibliography", Soil Dynamics and Earthquake Engineering-Elsevier, Vol. Δ, No. *, pp. ۲ · ۲ · ۲ · ۲ · ۶.
- [٤] Islam, A.S., Jameel, M., and Jumaat, M. Z., (Y·II), "Seismic isolation in buildings to be a practical reality: Behavior of structure and installation technique", Journal of Engineering and Technology Research, Vol. ", No. ", pp. 99-1117.
- [o] Raghunandan, M., Liel, A.B. (Υ·)Υ), "Effect of ground motion duration on earthquake-induced structural collapse", structural safety-Elsevier, Vol. ٤), PP.)) ٩-) ΥΥ.
- [7] Foschaar, J.C., Baker J.W., Deierlein, G.C. (Y ·)Y), "Preliminary Assessment of Ground Motion Duration Effects on Structural Collapse", In: proceeding of the Yoth world conference on earthquake engineering, Lisboa, Portugal.
- [V] Al-Hussaini, T. M., Zayas, V. A., and Constantinou, M. C. (۱۹۹۴), "Seismic Isolation of a Multistory Frame Structure Using Spherical Sliding Isolation System," Technical Report NCEER-۹۴-···V, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- غفوری آشتیانی، م. و همایون شاد، ف. (۱۳۸۱) "طراحی ساختمانها با جداسازهای لرزهای از تئوری تا عمل"(چاپ سوم)، پژوهشگاه بین المللی زلزله و مهندسی زلزله.
 - [٩] 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".



[۱۳] معاونت برنامه ریزی و نظـارت راهبـردی ریـیس جمهـور، (۱۳۸۹) "راهنمـای طراحـی و اجـرای سیسـتمهـای جداسـاز لـرزهای در ساختمانها"، نشریه شماره ۵۲۳.