



بررسی تحلیلی انواع دوام لرزه‌ای و آثار مخرب آن بر سازه‌ها و پراکنش

دوام لرزه‌ای شتابنگاشت‌های ایران

منصوره رضائی منش^۱ و حمید صفاری^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران-زلزله، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. m.rezayimanesh@mail.sbu.ac.ir

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران (نویسنده مسئول) h_saffari@sbu.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: تجربه زلزله‌های گذشته و تحلیل‌های عددی تأیید می‌کند که مدت دوام حرکت قوی زمین می‌تواند بطور قابل‌توجهی درجه خرابی سیستم‌های مهندسی عمران را تحت تأثیر قرار دهد. با این حال اگر مدت دوام به یک پارامتر توصیف کننده شدت حرکت زمین، مانند اوج سرعت یا اوج شتاب یا شتاب طیفی مرتبط شود، آنگاه می‌تواند یک پیش‌بینی کننده قوی خسارت برای اهداف مهندسی فراهم کند. **روش:** در این پژوهش نخست به تعریف انواع مختلف دوام لرزه‌ای پرداخته شد. در ادامه اثر دوام لرزه بر خرابی سازه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت و خسارت ناشی از زلزله‌های با دوام قابل‌توجه بر سازه‌های بتن مسلح بررسی گردید. به منظور بررسی دوام زلزله‌های ایران، ابتدا رکوردهای شتابنگاشت با محدوده‌های بزرگای گشتاوری بزرگ‌تر و یا مساوی ۵ استخراج گردید و سایر مشخصات آن‌ها نظیر فاصله از گسل، متوسط سرعت موج برشی تا عمق ۳۰ متری و مکانیزم گسلش در کاتالوگ درج گردید.

یافته‌ها: در این پژوهش به کمک برنامه‌نویسی دو دوام بازه‌ای و یکنواخت در سطوح ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۵ و ۰/۳ شتاب نقل زمین محاسبه شد و با استفاده از دوام‌های محاسبه شده نمودار پراکنش داده‌های ایران ترسیم گردید و حدود دوام در آستانه‌های شتاب متفاوت مورد بحث قرار گرفت. مطالعات نشانگر حساسیت و آسیب‌پذیری ساختمان‌های بتنی و مخصوصاً با سیستم قاب خمشی در زلزله‌های با دوام بالا می‌باشد درحالی‌که در طراحی به این مساله توجه نمی‌شود و لازم است ملاحظات کافی در آئین‌نامه‌های طراحی بدین منظور لحاظ شود. **نتیجه‌گیری:** رابطه‌سازی دوام می‌تواند بر اساس روابط معتبر خارجی و یا داخلی صورت پذیرد. این بدان معناست که به هنگام تحلیل خطر زلزله با توجه به مشخصات منابع لرزه‌ای اطراف ساختگاه نه تنها شتاب بلکه دوام زلزله احتمالی را می‌توان برآورد نمود و از آن در محاسبات سازه‌ای به ویژه سازه‌های بتنی خمشی جهت کاهش خسارات بطور موثری استفاده نمود.

کلید واژه‌ها: مدت دوام زلزله، دوام بازه‌ای، دوام یکنواخت، شتابنگاشت، سازه‌های بتن مسلح

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** رضائی منش، منصوره؛ صفاری، حمید (پاییز، ۱۳۹۸). بررسی تحلیلی انواع دوام لرزه‌ای و آثار مخرب آن بر سازه‌ها و پراکنش دوام لرزه‌ای شتابنگاشت‌های ایران. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. ۹ (۳)، ۲۵۳-۲۶۶.

Analytical study of seismic durability and its destructive effects on structures and distribution of accelerated seismic durability of Iran

Mansoureh Rezayimanesh¹ & Hamid Saffari²

1. Master of Science in Earthquake engineering, Faculty of Water and Environment Engineering
Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (Corresponding Author)

Abstract

Background and objective: Experience with past earthquakes and numerical analysis confirms that the durability of strong earth motion, significantly can affect the amount of failure of civil engineering systems. However, if the durability is related to a parameter which describes the intensity of the earth's motion, such as maximum velocity or maximum acceleration or spectral acceleration, then it may help to better prediction of damages for engineering purposes.

Method: In this study, different types of seismic durations were first defined. Then the effects of earthquake durability on structural damages were studied and the damages caused by significant durability earthquakes on reinforced concrete structures were investigated. In order to study the durability of earthquakes in Iran, accelerometer records were first extracted with moment magnitudes greater than or equal to 5 and the other characteristics such as distance from fault, mean shear wave velocity to 30m depth, and fault mechanism inserted in catalog.

Findings: In this study, two interval and uniform durations were calculated at 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 and 0.3 degrees of gravity acceleration; and then Iran's variance diagram data drew by using calculated duration and the durability was discussed at different acceleration thresholds. Studies indicate the sensitivity and vulnerability of concrete structures, and especially the flexural frame system in high-impact earthquakes, while the design is not addressed so sufficient; consideration is required in design regulations.

Conclusion: Durability relation can be based on valid external or internal connections. This means that during analyzing earthquake risk, considering the characteristics of seismic sources around the site, not only the acceleration but also the earthquake durability potential can be estimated either, and it is useful in structural calculations especially bent concrete structures to reduce damages.

Keywords: Earthquake durability, interval durability, uniform durability, accelerogram, RC structures

► **Citation (APA 6th ed.):** Rezayimanesh M, Saffari H. (2019, Fall). Analytical study of seismic durability and its destructive effects on structures and distribution of accelerated seismic durability of Iran. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 9(3), 253-266.

مقدمه

زلزله‌هایی که در سال‌های اخیر رخ داده‌اند، شامل زلزله توهوکو، ژاپن ($M_w 9.0/9.1$)، مائول، شیلی ($M_w 8.8/9.0$)، سوماترا، اندونزی ($M_w 9.1$)، همگی به ما یادآوری می‌کنند که در برخی نواحی زمین، تحریکات و لرزش‌های زمین به صورت طولانی ممکن است رخ بدهد. در زلزله توهوکو، زمین‌های اطراف ژاپن تحریکاتی در حدود ۴۰ الی ۲۷۰ ثانیه را تجربه کردند و یا در زلزله لوماپیتا ($M_w 6.9$ ، ۱۹۶۳)، مدت زمان حرکت زمین در حدود ۶ الی ۳۰ ثانیه ثبت شده است (رقوناندان، ۲۰۱۳).

اگرچه تأثیر مدت زمان تحریکات زمین بر میزان خسارت‌های سازه‌ای موضوع شفاف نمی‌باشد، تیم‌های اکتشافی و تحقیقاتی در مورد خرابی‌ها، خسارت‌های وارد بر سازه‌ها را در رویدادهای پیشین به طور مکرر به تحریکات طولانی مدت زمین و تعداد زیاد چرخه‌های رفت و برگشتی بارگذاری نسبت داده‌اند. تحریکات زمین که از رویدادهای با بزرگا و شدت زیاد تولید شده‌اند، مانند آنچه که در بالا ذکر شد و گزارشات ثبت شده در محل‌هایی که در فواصل دور از کانون زمین‌لرزه قرار دارند همگی یادآور مدت زمان‌های طولانی زمین‌لرزه می‌باشند. در نتیجه سازه‌های ساخته شده در این محل‌ها باید ظرفیت تحمل و باربری در مقابل تحریکات طولانی زمین را با در نظر گرفتن سختی زمین محل احداث داشته باشند (رقوناندان، ۲۰۱۳).

در مهندسی زلزله، برای مشخص کردن پتانسیل خرابی یک حرکت زلزله، معمولاً از شدت و محتوای فرکانسی حرکت قوی زمین استفاده می‌شود. دامنه حرکت قوی زمین اغلب به وسیله اوج شتاب افقی زمین و طیف شتاب تعریف می‌شود. محتوای فرکانسی حرکت به طور کلی به وسیله شکل طیف پاسخ شتاب تعریف می‌شود. از هنگام شروع مهندسی زلزله پیشرفته محققان به اهمیت دامنه و فرکانس اذعان داشته‌اند. با این حال یک حرکت قوی زمین باید شامل مدت دوام سیگنال حرکت قوی زمین نیز باشد. از مدت‌ها قبل مشخص شده بود که شدتی مانند اوج شتاب افقی زمین، تنها یک بینش محدود از پتانسیل خرابی لرزه‌ای را برای یک سیستم مهندسی عمران فراهم می‌کند. به طور کلی پتانسیل تخریب

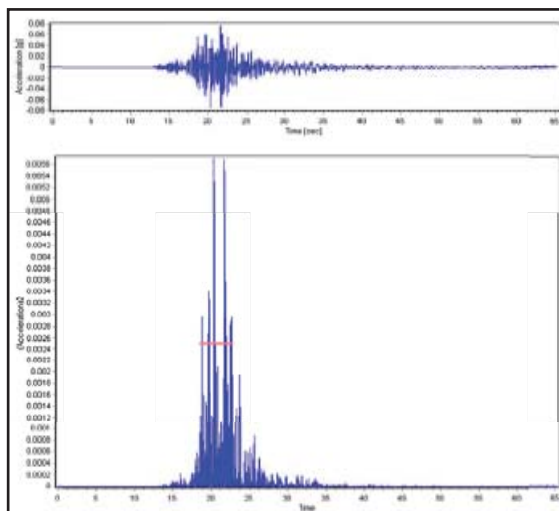
یک حرکت زلزله کاملاً با محتوای انرژی مرتبط است، انرژی که به شدت و مدت دوام حرکت زمین وابسته است. با وجود در نظر گرفته شدن اوج شتاب افقی زمین و شتاب‌های طیفی، تقریباً در همه تحلیل‌های بهسازی لرزه‌ای، در تحلیل‌های سازه‌ای اغلب از در نظر گرفتن مدت دوام حرکت قوی زمین چشم‌پوشی می‌کنند. در واقع، ملاحظات مدت دوام برای طراحی سازه‌ها در کدهای طراحی لرزه‌ای فعلی دخالت داده نشده است. تجربه زلزله‌های گذشته و تحلیل‌های عددی، تایید می‌کند که مدت دوام حرکت قوی زمین می‌تواند به طور قابل‌توجهی درجه خرابی سیستم‌های مهندسی عمران را تحت تأثیر قرار دهد. وقتی که سیکل‌های پایین خستگی، روانگرایی و پاسخ لرزه‌ای غیر الاستیک در نظر گرفته شده باشد، مدت دوام یک حرکت قوی زمین، یک پارامتر مهم برای پتانسیل خرابی زلزله است. ملاحظات مدت دوام اغلب به طور غیرمستقیم در ارزیابی روانگرایی به وسیله بزرگای زلزله دخالت داده می‌شود. به علاوه، مدت دوام حرکت قوی زمین نقش موثری در یک برآورد ریسک لرزه‌ای اغلب به وسیله بزرگا، ایجاد شتابنگاشت‌های مصنوعی ویژه سایت و انتخاب تاریخچه زمانی در مطالعات پاسخ خاک‌ها و سازه‌ها بازی می‌کند (هفت‌لنگ، ۱۳۹۰).

نکته مهم این است که مدت دوام حرکت قوی زمین به تنهایی نمی‌تواند پتانسیل خرابی حرکت زمین را تعریف کند. با این حال اگر مدت دوام به یک پارامتر توصیف کننده شدت حرکت زمین، مانند اوج سرعت یا اوج شتاب یا شتاب طیفی مرتبط شود، آنگاه می‌تواند یک پیش‌بینی کننده قوی خسارت برای اهداف مهندسی فراهم کند (هفت‌لنگ، ۱۳۹۰).

به دلیل بار مالی فراوان و همچنین نیاز به نیروی انسانی زیاد، شروع عملیات بهسازی و مقاوم‌سازی تمام پروژه‌ها به طور هم‌زمان میسر نمی‌باشد. یک راه‌حل منطقی جهت رفع این مشکل ارزیابی لرزه‌ای سازه‌ها و سپس اولویت‌بندی ساختمان‌های موجود می‌باشد تا از ورود ساختمان‌هایی که ارزیابی لرزه‌ای آن‌ها توجیه فنی و اقتصادی ندارد، جلوگیری گردد (اعتضادی‌فر و همکاران، ۱۳۹۰).

یکی از اهداف مهندسی عمران طراحی و ساخت سازه‌هایی است که در اثر اعمال بارهای وارده پایداری، قابلیت بهره‌برداری و

یا درصدی از اوج شتاب زمین است. در حد شتاب با ضابطه مطلق مقدار ثابتی از شتاب به عنوان حد شتاب در نظر گرفته می‌شود. امبریسز و سارما^۱ (۱۹۶۷) حد شتاب را با ضابطه مطلق و برابر $0.3g$ در نظر گرفته‌اند. بولت^۲ (۱۹۷۳) نام این مدت دوام را بازه‌ای نامید و حد شتاب را با ضابطه مطلق و برابر $0.5g$ یا $1g$ در نظر گرفت. گیر و برنهارد^۳ (۱۹۷۹) حد شتاب را با ضابطه مطلق و برابر $0.1g$ ، $0.15g$ و $0.2g$ در نظر گرفته‌اند. شکل (۱) یک شتابنگاشت و نمودار مجذور شتاب و نحوه محاسبه مدت دوام بازه‌ای با حد شتاب مطلق $0.5g$ را نشان می‌دهد (هفت‌لنگ، ۱۳۹۰).



شکل ۱: نحوه محاسبه مدت دوام بازه‌ای با حد شتاب $0.5g$ (منبع: هفت‌لنگ، ۱۳۹۰)

مدت دوام یکنواخت

مجموع فواصل زمانی که طی آن شتاب زمین از حد معینی تجاوز می‌کند را مدت دوام یکنواخت می‌نامند. حد شتاب می‌تواند دارای ضابطه مطلق یا نسبی باشد. حد شتاب با ضابطه نسبی، نسبتی یا درصدی از اوج شتاب زمین PGA است. در حد شتاب با ضابطه مطلق مقدار ثابتی از شتاب به عنوان حد شتاب در نظر گرفته می‌شود. برای مثال (بولت^۴، ۱۹۷۳) معمولاً حد شتاب را با ضابطه مطلق و برابر $0.5g$ و $1g$ در نظر گرفته است. شکل (۲) یک شتابنگاشت و نمودار مجذور شتاب و نحوه محاسبه مدت دوام یکنواخت با حد شتاب مطلق $1g$ را نشان می‌دهد.

خرابی آنها در حد انتظار طراحان باقی بماند. عوامل خرابی سازه‌ها را می‌توان به دو دسته کلی زیر تقسیم‌بندی کرد:

الف) سازه‌ای

عوامل سازه‌ای معمولاً ناشی از ضعف در طراحی و یا اجرای سازه‌ها و اجزای سازه‌ای هستند که منجر به وجود اشکالات ساختاری در قسمت‌هایی از سازه و خرابی تمام یا بخشی از سازه می‌شوند. از جمله مهم‌ترین اشکالات سازه‌ای می‌توان به ضعف در اتصالات سازه‌ای، پدیده تیر قوی، ستون ضعیف، ایجاد طبقه نرم و... اشاره کرد.

ب) بارگذاری

خرابی‌های ناشی از بارگذاری معمولاً در اثر عدم شناخت صحیح بارهای وارده به سازه و چشم‌پوشی از اعمال بارهای موجود یا چشم‌پوشی از اعمال برخی از خصوصیات مهم بارها در طراحی، ایجاد می‌شوند. در این حالت هر مقدار هم که طراحی از نظر سازه‌ای بی‌نقص باشد، چون بار وارده به سازه، بار اعمال شونده در هنگام بهره‌برداری از سازه نیست، سازه بر حسب نوع و میزان چشم‌پوشی از واقعیت بار اعمالی، دچار خرابی می‌شود (هفت‌لنگ، ۱۳۹۰).

یکی از بارهای مهم وارده به سازه، زلزله می‌باشد. بررسی و تعیین کیفیت و کمیت بار مذکور و ارتباط آن با سازه‌ها موضوع علم مهندسی زلزله می‌باشد. با توجه به لرزه‌خیزی ایران و تلفات و خسارات رخ داده در اثر زلزله‌های گذشته و احتمال رخداد زلزله‌هایی در آینده، بررسی و تحقیق در خصوصیات زلزله‌های مناطق مختلف ایران و بررسی عوامل خرابی ناشی از زلزله امری لازم و ضروری است. بدین جهت در این پژوهش سعی بر بررسی یکی از خصوصیات مهم زلزله یعنی مدت دوام زلزله شده است. در ادامه تعریف چهار دسته از انواع دوام لرزه‌ای آمده است:

الف- مدت دوام بازه‌ای

ب- مدت دوام یکنواخت

ج- مدت دوام موثر

د- مدت دوام با معنی

مدت دوام بازه‌ای

فاصله زمانی بین اولین و آخرین تجاوز شتاب زمین از حد معینی از شتاب را مدت دوام بازه‌ای می‌نامند. حد شتاب می‌تواند دارای ضابطه مطلق یا دارای ضابطه نسبی باشد. حد شتاب با ضابطه نسبی، نسبتی

1. Ambraseys and sarma, 1967
2. Bolt, 1973
3. Guire and Barnhard, 1979
4. Bolt, 1973

مدت دوام بامعنی

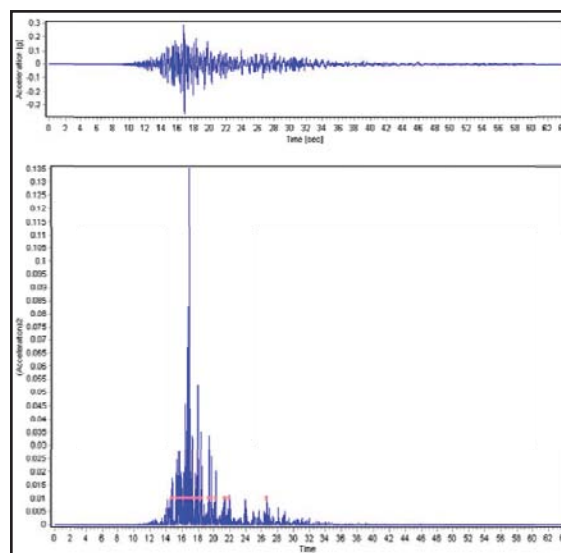
فاصله زمانی که در آن انتگرال انرژی یا شدت آریاس از حد پایینی معینی تا حد بالایی معینی تغییر کند را مدت دوام با معنی می‌نامند. حدود معین پایینی و بالایی دارای ضابطه نسبی هستند. حد معین با ضابطه نسبیتی یا درصدی از انتگرال انرژی کل یا شدت آریاس است. برای تعیین مدت دوام بامعنی نسبت انتگرال انرژی به انتگرال انرژی کل یا شدت آریاس به کل شدت آریاس در هر لحظه، با حد پایین و بالا مقایسه می‌شود. برای مثال اگر انتگرال انرژی، انتگرال مجذور شتاب باشد، آنگاه حد پایین و بالا را با مجذور جمع شتاب نرمال شده مقایسه می‌کنند.

اثر دوام زلزله بر خرابی سازه‌ها

بزرگترین آسیب به زندگی و اموال انسانی توسط زمین‌لرزه ایجاد شده است، آنها بزرگترین خطرات طبیعت هستند. از آنجا که زلزله قابل پیشگیری نیست، نیاز به طراحی و ساخت سازه‌هایی است که مقاوم به زلزله هستند. در کشورهای توسعه یافته مانند ژاپن آسیب‌های ناشی از زلزله‌های متوسط تا شدید حداقل است که نشان می‌دهد روش‌های ساخت و ساز مقاوم در برابر زمین لرزه برای جلوگیری از آسیب به اموال و جانها اجرا می‌شود.

زمین‌لرزه‌ها مخرب‌ترین خطرات طبیعی در سراسر تاریخ بشر هستند. صدها هزار نفر جان خود را از دست داده‌اند و از بین رفته‌اند، میلیاردها دلار خسارت در این بلایای طبیعی رخ داده است. تقریباً ۱۰۰۰۰ نفر در هر سال به علت این خطرات کشته شده‌اند. رخ دادن زلزله‌ها با بزرگای متوسط یا شدید در بیست سال گذشته نشان می‌دهد که این از دست دادن‌ها ادامه می‌یابد. برای ساختمان‌های بتن مسلح (R/C)، طراحی نامناسب از قبیل طبقه‌های نرم و ضعیف، ستون ضعیف تیر قوی، ستون کوتاه و حرکت داخل و خارج از صفحه دیوار باعث آسیب می‌شود. این‌ها دلایل اصلی هستند. علاوه بر این، کیفیت پایین مواد ساختمانی، کارایی ضعیف، عدم خدمات مهندسی و ساخت و ساز با جزئیات کافی از المان‌های سازه‌ای، دلایل دیگری از آسیب است (یون و همکاران^۲، ۲۰۱۷).

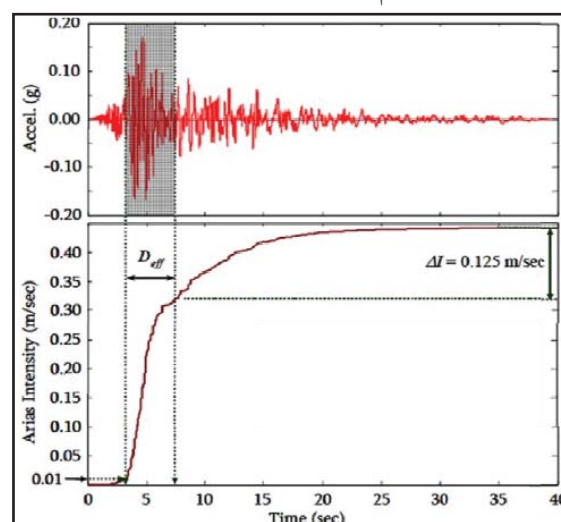
بلایای طبیعی، حوادث غیرمنتظره‌ای هستند که بشر از ابتدا



شکل ۲: نحوه محاسبه مدت دوام یکنواخت با حد شتاب $0.1g$ (منبع: هفت‌لنگ، ۱۳۹۰)

مدت دوام موثر

فاصله زمانی که در آن شدت آریاس از حد پایینی معینی تا حد بالایی معینی تغییر کند را مدت دوام موثر می‌نامند. حدود پایینی و بالایی دارای ضابطه مطلق هستند. مدت دوام موثر اولین بار به وسیله بومر و مارتینز-پرییرا^۱ (۱۹۹۹) تعریف شده است. حدود مدت دوام موثر می‌تواند به صورت فاصله زمانی میان زمان‌های متناظر با شدت آریاس از 0.1 تا یک شدت آریاس به مقدار $0.125 m/s$ کمتر از حداکثر شدت آریاس باشد. شکل (۳) یک شتابنگاشت و نحوه محاسبه مدت دوام موثر را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نحوه محاسبه مدت دوام موثر (منبع: هفت‌لنگ، ۱۳۹۰)

که مدت دوام حرکت قوی زمین می‌تواند بطور قابل توجهی درجه خرابی سیستم‌های مهندسی عمران را تحت تأثیر قرار دهد. وقتی که سیکل‌های پایین خستگی، روانگرایی و پاسخ لرزه‌ای غیرالاستیک در نظر گرفته شده باشد، مدت دوام یک حرکت قوی زمین یک پارامتر مهم برای پتانسیل خرابی زلزله است. ملاحظات مدت دوام اغلب به طور غیرمستقیم در ارزیابی روانگرایی به وسیله بزرگای زلزله دخالت داده می‌شود. به علاوه، مدت دوام حرکت قوی زمین نقش مؤثری در یک برآورد ریسک لرزه‌ای که اغلب به وسیله بزرگا ایجاد شتابنگاشت‌های مصنوعی ویژه ساختگاه و انتخاب تاریخچه زمانی در مطالعات پاسخ خاک‌ها و سازه‌ها بازی می‌کند. نکته مهم این است که مدت دوام حرکت قوی زمین خودش نمی‌تواند پتانسیل خرابی حرکت زمین را تعریف کند، با این حال اگر مدت دوام به یک پارامتر توصیف کننده شدت حرکت زمین، مانند اوج سرعت یا اوج شتاب یا شتاب طیفی مرتبط شود، آنگاه می‌تواند یک پیش‌بینی کننده قوی خسارت برای اهداف مهندسی فراهم کند (هفت‌لنگ، ۱۳۹۰).

مشخص است مدت زمان تحریکات زمین و تعداد چرخه‌های رفت و برگشتی بر روی خسارات ناشی از زلزله تأثیرگذار است. به عنوان مثال پدیده‌هایی همچون روانگرایی و عدم پایداری شیب. اما هنوز یک عدم توافق بین جامعه محققین در مورد تأثیر مدت زمان تحریکات زمین بر پاسخ سازه وجود دارد. به عنوان مثال مطالعات آزمایشگاهی روی بتن آرمه و المان‌ها ویا قاب‌های فولادی منتج به این نتیجه شده‌اند که طول مدت زمان زلزله و تعداد چرخه‌ها به صورت مثبت و درارتباط تنگاتنگ با میزان خرابی سازه می‌باشند. خرابی‌های مشاهده شده در اتصالات مقاوم خمشی فولادی در زلزله نوتریج و کوبه به خستگی ناشی از چرخه‌های رفت و برگشتی نسبت داده شده است (هفت‌لنگ، ۱۳۹۰).

به علاوه مطالعات تحلیلی مقادیر خسارات تجمعی، همانند کرنش پلاستیک را پذیرفته و دریافته‌اند که مدت زمان زلزله یک فاکتور مهم در تعیین خسارات سازه‌ای می‌باشد. اما از طرفی مطالعات تحلیلی که تغییر مکان و دریف ماکزیم را به عنوان معیار خرابی در نظر می‌گیرند بر خلاف این یافته‌ها می‌باشد و بر این اساس ارتباطی بین طول مدت زلزله و افزایش خرابی سازه وجود

تحت تأثیر آثار زیانبار آن‌ها قرار داشته و همواره تلاش‌هایی برای کاهش اثرات مخرب این حوادث صورت گرفته است. نتایج چنین کوشش‌ها در کشورهای توسعه یافته بسیار دلگرم کننده است اما متأسفانه در کشورهای در حال توسعه از جمله در کشور ما بسیار ضعیف و ناچیز می‌باشد. زمین‌لرزه‌ها یکی از بزرگترین خطرات طبیعی در سیاره ما است که از زمان‌های قدیم تلفات سنگینی در زندگی و دارائی‌های انسان برجای گذاشته است. ماهیت ناگهانی و غیرمنتظره زمین‌لرزه مسبب تأثیرات بدتری حتی از لحاظ روانی و اخلاقی شده است. انسان به زمین بمانند مکانی امن و ثابت به زیر پای خود می‌نگرد و هنگامی که زمین خودش می‌لرزد شوکی را که از آن دریافت می‌کند به راستی دلسرد کننده است. کاهش آسیب‌های ویرانگر ناشی از زلزله یکی از الزامات اصلی در بسیاری از نقاط جهان است و به دلیل آن که زمین‌لرزه غیرقابل پیش‌گیری و غیرقابل پیش‌بینی می‌باشد تنها گزینه و راه‌حل برای ما این است که ساختمان‌هایی را طراحی و بسازیم که مقاوم در برابر زلزله باشند. بر این اساس تلاش‌ها در این راستا در سرتاسر جهان انجام شده است. این امر با حداقل خسارت‌ها و به طور کلی با عدم خسارات جانی که در زلزله‌های متوسط تا شدید در کشورهای توسعه یافته مشاهده می‌شود قابل اثبات است، این در حالی است که حتی زلزله‌های متوسط در کشورهای در حال توسعه باعث ویرانی‌های گسترده‌ای می‌شود، همان‌گونه که در زلزله‌های اخیر شاهد آن بودیم. در واقع این زلزله نیست که انسان‌ها را می‌کشد بلکه ساختمان‌های ناامن هستند که مسئول ویرانی‌های وسیع و گسترده اند. در زلزله‌های اخیر با در نظر گرفتن از دست رفتن جان قشر وسیعی از انسان‌ها و خسارات مالی فراوان، این موضوع تبدیل به یک موضوع داغ در سراسر جهان شده و تحقیقات بسیاری برای درک دلایل این چنین خرابی‌ها و یادگیری درس‌های مفید برای کاهش تکرار این چنین خسارات در حال انجام است. اگر ساختمان‌ها در مرحله اول مقاوم در برابر زلزله ساخته شوند (همان‌گونه که در کشورهای توسعه یافته مانند آمریکا و ژاپن و... انجام می‌شود)، خرابی‌های ناشی از زمین‌لرزه به‌طور مؤثری کاهش خواهد یافت (ادیل‌در، ۲۰۱۳).

تجربه زلزله‌های گذشته و تحلیل‌های عددی تأیید می‌کند

خسارت ناشی از زلزله‌های با دوام قابل توجه بر سازه‌های بتن مسلح

سازه‌های بتن مسلح در برابر تحریکات زلزله‌های متعدد بسیار آسیب‌پذیر می‌باشند. محققان عمدتاً آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ها تحت زلزله‌ای مخرب با اغماض از تأثیر زلزله‌های قبلی تمرکز کرده‌اند. این تأثیرات شامل کاهش سختی و مقاومت ناشی از تجمع آسیب‌ها در مصالح ساختمانی تحت چرخه‌های سیکلیک با دامنه بزرگ می‌باشد همچنین تأثیر P- که در اثر جابجایی باقی‌مانده ناشی از زلزله‌های قبلی ایجاد می‌شود. کاهش سختی و مقاومت به طور مؤثری مشخصات دینامیکی سازه آسیب‌دیده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در نتیجه بر روی پاسخ سازه‌ها در زلزله‌های آینده نیز تأثیرگذار خواهد بود. شکل (۴) ساختمان واژگون شده بر اثر زلزله را نشان می‌دهد. ویژگی‌های دینامیکی ساختمان‌های نشان داده شده همانند خصوصیات مقاومتی آن‌ها نامعلوم است بنابراین مقاومت آن‌ها در برابر پس‌لرزه‌های کوچک بعدی غیرقابل پیش‌بینی می‌باشد (ابدالنبی، ۲۰۱۲).



شکل ۴: واژگونی ساختمان بر اثر زلزله مانکنر راک^۳ (۱۹۹۶) (منبع: آکو و همکاران، ۲۰۰۹)

نخواهد داشت. حتی در این نوع مطالعات اگرچه در پژوهش‌های به کار گرفته شده در سازه‌ها مشخصات نزولی برای سازه در نظر گرفته می‌شود و اجازه اعمال تأثیرات ناپایدار کننده بارهای ثقیلی به سازه داده می‌شود، نتایج نشان می‌دهد که مدت زمان زیاد زلزله بر روی افزایش پاسخ سازه‌ای تأثیر گذار می‌باشد. به طور خلاصه، ارتباط مشاهده شده بین طول مدت زلزله و پاسخ سازه به شدت وابسته به تعریف مدت زمان زلزله و پارامترهای پاسخ می‌باشد به ویژه در حالتی که رفتار غیرخطی و تأثیرات ناپایدار کننده در نظر گرفته شده باشند (هفت‌لنگ، ۱۳۹۰).

تأثیر مدت زمان حرکت زمین بر خطر تخریب و فروپاشی سازه‌ها به عنوان یک معیاری برای اندازه‌گیری امنیت جانی می‌باشد. تخریب سازه‌ها به علت ترکیب دامنه‌های بزرگ (که در مطالعات قبلی مستقل از مدت زمان زلزله معرفی شده است)، و خسارات تجمعی ناشی از چرخه‌های چندگانه و مکرر در طول زمان زلزله (در مطالعات قبلی به شدت وابسته به زمان معرفی شده است)، رخ می‌دهد. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که چگونه شدت حرکت زمین و محتوای فرکانسی منجر به تخریب سازه و مکانیزم‌های خرابی می‌شوند. اما تأثیر مدت زمان و تعداد چرخه‌های اعمال شده به سازه به طور کامل بررسی نشده‌اند. یک فرضیه محتمل این است که مدت زمان طولانی زلزله، انرژی بزرگتری به سازه اعمال می‌کند که در نتیجه می‌تواند منجر به واژگونی سازه حتی در زلزله‌های پایین شود. این فرضیه توسط گارسیا^۱ (۲۰۱۰) مورد بررسی قرار گرفته و پیشنهاد شده در مورد تخریب و فروپاشی سازه مدت زمان زلزله می‌تواند از سایر عوامل به خصوص در شرایط محدوده خطی مهم‌تر باشد اما این امر به طور مستقیم فعلاً ثابت نشده است.

پیچیده‌تر از این موضوع، طول مدت زمان زلزله خود به ویژگی‌هایی از قبیل بزرگی زلزله، فاصله تا کانون زلزله، نوع گسل وابسته می‌باشد. به همین دلیل این کار بسیار دشوار است که تأثیر مدت زمان زلزله را از سایر مشخصات زلزله و حرکت‌های زمین متمایز کرد. آگاهی از تأثیر مدت زمان زلزله بر خطر تخریب سازه و مکانیزم‌های خرابی ما را یک قدم به پیشگیری و جلوگیری از تخریب‌های ناشی از زلزله‌های آینده نزدیک می‌کند (بومر و همکاران، ۲۰۰۹).

3. Abdelnaby, 2012

4. M'unchener R'uck, 1996

5. Acqua et.al. 2009

1. Garcia, 2010

2. Bommer et. Al, 2009

هستند (رقوناندان، ۲۰۱۳).

تحلیل‌های دینامیکی متعددی بر روی ۱۷ نمونه ساختمان بتن آرمه مدرن و قدیمی توسط ماره رگواناندان در مناطق با زلزله‌خیزی بالا در آمریکا انجام شده است. هر یک از مدل‌های ساختمانی مورد آزمایش تحت پایگاه داده‌ای ۷۶ زمین‌لرزه تاریخیچه زمان با طول مدت زمان‌های متفاوت قرار داده شده‌اند. شبیه‌سازی‌ها از مدل‌سازی غیرخطی چنددرجه آزادی پیروی کرده‌اند که مستعد جذب مقاومت و کاهش سختی همراه با تأثیرات ناپایدارکننده ناشی از بارهای ثقیلی می‌باشند. ظرفیت تخریب سازه توسط شدت متوسطی از حرکت زمین که باعث تخریب سازه می‌شود از نظر تغییر مکان طیفی غیرالاستیک اندازه‌گیری شده‌اند. بعد از حصول این نتایج، برای تمامی ساختمان‌ها، تغییرمکان طیفی غیرالاستیک در نقطه فروپاشی به عنوان تابعی از طول مدت زمان مورد مطالعه قرار گرفته شد و پریود اصلی سازه (در مد اول) و ظرفیت شکل‌پذیری آن‌ها با تکنیک‌های مدل‌سازی رگرسیون خطی عمومی بدست آمده است (رقوناندان، ۲۰۱۳).

در این تحلیل دینامیکی طیف گسترده‌ای از مقادیر مدت زمان حرکت زمین شامل ۷۶ رکورد زمین‌لرزه با ۰.۵-۹۵٪ و با مدت زمان‌های بین ۱/۸ تا ۳/۳۲۷۱ در نظر گرفته شد. رکوردها از ۲۴ زمین‌لرزه مختلف با بزرگای (۸/۴) و مقادیر بزرگتر از ۸/۴ و بیشترین رکورد از زمین‌لرزه با بزرگای ۸ انتخاب شد و به دلیل اینکه رکوردهای با طول مدت زمان طولانی و بخصوص زمین‌لرزه‌هایی با شدت زیاد وجود نداشت. در این تحقیق همچنین از ۸ رکورد شبیه‌سازی شده از یانگ (۲۰۰۹) با ۶۸ رکورد ارتعاش قوی زمین استفاده شده است و از رکوردهای با مدت زمان کوتاه آن‌هایی که PGA بزرگتری داشتند. در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. برای اینکه از اثرات مستقیم تأثیرات حوزه نزدیک و اثرگسیختگی پرهیز شده باشد فقط از رکوردهای با پالس بزرگ در تاریخچه زمانی سرعت در این آنالیز دینامیکی به کار گرفته شده است (رقوناندان، ۲۰۱۳).

مطالعات به روی مدت دوام مؤثر توسط محققین مختلفی صورت گرفته است. توافق عمومی وجود دارد که مدت دوام با

سابقه مطالعات انجام شده بر تأثیر دوام زلزله بر سازه‌ها

حرکت ثبت شده زمین در هر سایت می‌تواند بر اساس شدت، محتوای فرکانس و مدت زمان آن مشخص شود. تأثیر شدت حرکت زمین و محتوای فرکانس بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها به طور گسترده در جامعه تحقیقاتی پذیرفته شده است. این دو پارامتر حرکت زمین در طیف طراحی لرزه‌ای برای یک سایت که برای طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها استفاده می‌شود، صریحاً مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، تأثیر زمان حرکت زمین در آسیب سازه‌ای، منبع اختلاف در جامعه مهندسی است. در مطالعات قبلی، تغییرات در جنبه‌های مطالعات پژوهشی، مانند اندازه‌گیری خسارات مورد استفاده برای ضبط آسیب سازه‌ای، پیچیدگی مدل ساختمان و تعریف طول مدت حرکت زمین، منجر به مشاهدات مختلف ارتباط بین طول مدت حرکت زمین و آسیب سازه‌ای شده است. کدهای طراحی لرزه‌ای مدت زمان حرکت زمین با توجه به شدت موردانتظار حرکت زمین در سایت، که به بزرگای زلزله موردانتظار بستگی دارد را به طور ضمنی حساب می‌کنند. بزرگای بیشتر زلزله باعث مدت زمان بیشتر حرکت زمین می‌شود، زیرا زمان طولانی‌تری برای گسیختگی گسل گرفته شده است. با این حال، در هر سایت، چندین عامل دیگر وجود دارد که می‌تواند در مدت زمان طولانی تکان دادن زمین منجر شود، که در طراحی در نظر گرفته نمی‌شود. با توجه به آنالیزهای انجام شده در این منبع نتایج زیر حاصل شده است:

- مدت زمان حرکت زمین برای واژگونی سازه‌ای مهم است و باید همراه با شدت حرکت زمین و محتوای فرکانس برای ارزیابی خطر واژگونی سازه‌ای مورد توجه قرار گیرد. بنابراین مهم است که تأثیر مدت دوام در سایت‌های مستعد تکان خوردن طولانی مدت را در نظر بگیریم، زیرا تجمع خسارت تعداد زیادی از چرخه‌های بارگذاری می‌تواند به طور قابل توجهی ظرفیت واژگونی ساختمان‌ها را کاهش دهد. به نظر نمی‌رسد نتایج، به تعریف مدت زمان‌های حرکت زمین به کار گرفته شده، حساس باشد.
- ساختمان‌های شکل‌پذیر به علت تغییر شکل زیاد و ظرفیت استهلاک انرژی، بیشتر به تأثیر مدت زمان حرکت زمین نسبت به ساختمان‌های غیرشکل‌پذیر حساس

دارد. همچنین نبود مدت دوام در کدهای طراحی لرزه‌ای، علتی برای توجه نسبتاً کم به معادلات پیش‌بینی برای مدت دوام در مقایسه با معادلات میرایی برای شتاب‌های طیفی شده است.

چندین برنامه کاربردی مدت دوام، برای بهبود خصوصیات لرزه‌ای مرتبط با خاک در مقالات گزارش شده است. سید و ایدریس^۲ (۱۹۶۷) اهمیت مدت دوام را برای ارزیابی روانگرایی رسوبات ماسه اشباع و مدت دوام مشخص شده به وسیله تعداد سیکل‌های معادل حرکت در طراحی روانگرایی و روش‌های ارزیابی را به رسمیت شناخته‌اند. مطالعات فشار منفذی ایجاد شده در خاک‌های دارای قابلیت روانگرایی به وسیله سید و لی^۳ (۱۹۶۶) و انباشتگی کرنش حجمی در خاک‌های غیر اشباع به وسیله سیلور و سید^۴ (۱۹۷۱) نشان می‌دهد که افزایش در پارامترهای پاسخ تنها به دامنه تکان‌های تجربه شده به وسیله یک المان خاک وابسته نیست، بلکه به تعداد سیکل‌های تکان (بار) در آن دامنه نیز وابسته است. تعداد سیکل‌های بار به نوبه خود به مدت دوام تکان مرتبط است. اگر چه درجه ارتباط به تعریف خاص مدت دوام و روش محاسبه سیکل بار نیز وابسته است.

جابجایی‌های لرزه‌ای در توده‌های زمین‌لغزه به اوج دامنه متوسط فضایی و مدت دوام تکان در توده لغزنده وابسته است. در این مطالعات جابجایی‌های شیب با افزایش مدت دوام افزایش پیدا می‌کنند. جابجایی‌های گسترش جانبی ایجاد شده در خاک روانگرا با دامنه و مدت دوام حرکات زمین ارتباط دارند. در بسیاری از این انواع تحلیل‌های ژئوتکنیک، بزرگا، یا بزرگا و فاصله استفاده شده، به عنوان نمایندگان از مدت دوام به کار می‌روند.

تعداد زیادی از برنامه‌های مدت دوام وابسته به مهندسی سازه برای ارزیابی بهبود لرزه‌ای را می‌توان در مقالات یافت. سازه‌ها باید طوری طراحی شوند که دارای ظرفیت جذب انرژی کافی برای مقاومت در برابر انرژی‌های اعمال شده به وسیله حرکت زمین را داشته باشند. همانطور که قبلاً اشاره شد تقاضای انرژی حرکت زمین، یک تابع از شدت و مدت دوام است. در دو حرکت زمین با طیف شدت یکسان، اگر مدت دوام یک حرکت بیشتر از

افزایش فاصله و مقدار بزرگای یک زمین‌لرزه زیاد می‌شود که این امر به خاطر ابعاد بزرگتر گسل مسبب و طولانی‌تر شدن زمان جابجایی مربوط به آن می‌باشد. روابط بین بزرگا و مدت دوام مؤثر به وسیله محققین مختلفی پیشنهاد شده است. تریفوناک و برادی^۱ (۱۹۷۵) تأثیر بزرگا، فاصله رومرکز (سطحی) و نوع زمین‌شناسی ساختگاه ثبت کننده را برای مدت دوام مطالعه کردند. در این مطالعات تحلیل‌های چندگانه رگرسیون خطی به منظور کمی کردن رابطه بین این متغیرها و مدت دوام انجام گردید. نتیجه‌گیری شد که به طور متوسط مدت دوام با زیاد شدن مقدار بزرگا و فاصله افزایش یافته و همچنین مدت دوام بر روی خاک طولانی‌تر از سنگ می‌باشد هرچند که پراکندگی در نتایج خیلی زیاد بوده است.

از جنبه تاریخی، شدت یا قدرت کل جنبش در ساختگاه با سطح لرزش، شناسایی و به وسیله یک عدد مشخص می‌شود. شدت اصلاح شده مرکالی، بیشینه شتاب جنبش زمین و شدت آریاس بعضی از پارامترهایی هستند که به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند. مشخصات ذاتی مدت دوام جنبش نیرومند زمین ناشی از زمین‌لرزه در انتخاب نگاشت‌ها برای کنترل طراحی سازه مورد نیاز می‌باشد. مدت دوام مؤثر، همچنین دربرگیرنده یک نقش مهم در مطالعات سیستم‌های غیرخطی است. اغلب محاسبات طیفی زمین‌لرزه برای خاک و سازه در مقاصد مهندسی با فرض رفتار تنش-کرنش به صورت خطی در نظر گرفته می‌شود. این فرض اجازه استفاده از گزینه‌سازی و امکان انجام محاسبات را در حوزه فرکانس و یا زمان در اختیار می‌گذارد. اثرات غیرخطی به صورت غیرمستقیم به وسیله روش‌های تقریبی مانند ره‌آورد معادل خطی به کار گرفته شده در خاک‌ها و یا معادلات نسبی نرمی به کار برده شده در تصحیح طیف پاسخ برای مقاصد طراحی سازه‌ای در نظر گرفته می‌شود (تریفوناک و برادی، ۱۹۷۵).

مطالعات زیادی برای بررسی مشخصات مدت دوام حرکت قوی زمین وجود ندارد. یکی از مشکلاتی که در مطالعه اثرات مدت دوام وجود دارد این است که چندین تعریف متفاوت از مدت دوام در مقالات استفاده شده است. در نتیجه، یک محدوده وسیعی از برآوردهای مدت دوام برای دسته‌های یکسانی از رکوردها وجود

2. Seed and Idriss, 1967

3. Seed and Lee, 1966

4. Silver and Seed, 1971

1. Trifunac and Brady, 1975

دیگری باشد، دو حرکت ممکن است دارای اثرات خرابی متفاوتی باشند (هفت‌لنگ، ۱۳۹۰).

تحقیقات وسیعی درباره تقاضای انرژی سازه‌ها تحت زلزله انجام شده است. این تحقیقات نشان می‌دهد که تقاضای انرژی از حرکت زمین به وسیله سازه به شکل میرایی و کرنش الاستیک برگشت پذیر تلف می‌شود. روابط میان انرژی ورودی و اوج سرعت طیفی با مدت دوام حرکت قوی زمین مرتبط است. این نتیجه با یافته‌های شوم و همکاران^۱ (۱۹۹۸) که نشان دهنده وجود رابطه‌ای میان تقاضای انرژی ورودی و انرژی هیسترتیک (انرژی تلف شده به وسیله رفتار هیسترتیک سازه، که به تغییر شکل پلاستیک غیرقابل جبران سازه مرتبط است) با مدت دوام حرکت زمین است، تقویت می‌شود.

چندین مطالعه امکان ارتباط میان خرابی سازه‌ای و پارامترهای مرتبط یا به طور مستقیم و یا به طور غیرمستقیم با مدت دوام حرکت قوی زمین را گزارش کرده‌اند. یک مدت دوام حرکت زمین بلندتر، برش پایه طراحی غیرالاستیک را افزایش می‌دهد. در نتیجه مطالعات سابق پیشنهاد می‌کنند که مدت دوام باید در مشخصات بارهای طراحی لرزه‌ای گنجانده شود. معمولاً مشخصات طیف‌های پاسخی که در مهندسی استفاده می‌شود، در کدهای طیف پاسخ الاستیک مشخص می‌شود. طیف پاسخ غیرالاستیک که متوسط پتانسیل خرابی سازه‌ای از یک حرکت زمین را ارائه می‌دهد، معمولاً کمتر استفاده می‌شود. طیف پاسخ غیرالاستیک و کاهش یافته آن از طیف پاسخ الاستیک، مرتبط با مدت دوام نشان می‌دهد که پتانسیل خرابی سازه‌ای با مدت دوام مرتبط است. به علاوه مدت دوام تکان قوی به عنوان یک پارامتر مهم در انتخاب تاریخچه‌ها برای یک تحلیل سازه‌ای حوزه زمان به رسمیت شناخته شده است (هفت‌لنگ، ۱۳۹۰).

خسارات چشم‌گیر ناشی از زلزله‌های اخیر باعث گردید تا مهندسين و پژوهشگران به فکر روش‌های دقیق‌تری نسبت به روش‌های تحلیل استاتیکی خطی و غیرخطی افتند. یکی از مهم‌ترین مسائلی که می‌تواند در این زمینه مطرح شود این است که آیا این روش‌ها تمام پارامترهای مؤثر زلزله را در تحلیل سازه لحاظ

می‌کنند و در غیر این صورت بررسی این نکته ضروری به نظر می‌رسد که در نظر نگرفتن این پارامترها چه مقدار می‌تواند در تعیین پاسخ سازه مؤثر باشد (نیکنام و همکاران، ۱۳۸۹). از میان خصوصیات و ویژگی‌های زلزله مدت زمان حرکت شدید می‌باشد که در گذشته کمتر به آن پرداخته شده است. از دلایل این کم‌توجهی شاید عدم توانایی روش‌های استاتیکی برای در نظر گرفتن اثر این پارامتر بوده باشد. در روش‌های دینامیکی چون خود شتاب نگاشت زلزله از پایه به سازه اعمال شده و سازه تحلیل می‌شود، اثر تمامی خصوصیات زلزله را می‌توان مورد بررسی قرار داد (میری و همکاران، ۱۳۸۸).

با توجه به اهمیت مدت دوام به عنوان یک پارامتر مهم از بار لرزه‌ای و تأثیر آن در افزایش سطح خرابی سازه‌ها نیاز به پیش‌بینی و برآورد مدت دوام حرکت قوی زمین از روی سایر پارامترهای زلزله امری ضروری است. بر این اساس و با توجه به فقدان روابط مناسب برای شرایط لرزه‌خیزی و ساختگاهی ایران و عدم استفاده مؤثر از مدت دوام در آیین‌نامه‌های بارگذاری و طراحی لرزه‌ای نیاز به تحقیق و بررسی در این زمینه و ایجاد روابطی مؤثر احساس می‌شود (هفت‌لنگ، ۱۳۹۰).

همچنین با توجه به اینکه عمده شهرهای ایران در مناطق با لرزه‌خیزی بالا قرار گرفته‌اند و نیز بخش قابل توجهی از ساختمان‌های موجود یا ساختمان‌هایی که امروزه طراحی و ساخته می‌شوند، بتنی می‌باشند ضرورت دارد تا مطالعه روی دوام زلزله‌های ایران انجام گیرد و آسیب‌پذیری آن‌ها به ویژه تغییرات سختی در برابر دوام زلزله کنترل شود (هفت‌لنگ، ۱۳۹۰).

در حالی که مطالعات ریسک منطقه‌ای با استفاده از اندازه‌گیری‌های خسارت بر اساس اوج شتاب افقی زمین یا شتاب طیفی صورت می‌گیرد، احتمالاً اندازه‌گیری‌های تجمعی خسارت مانند ارائه یک نشانه بهتر از سطح خسارت به طور گسترده‌تری در تحقیقات آینده استفاده می‌شود. کدهای طراحی برای حفظ سادگی در آینده احتمالاً به استفاده از اوج شتاب افقی زمین و یا شتاب طیفی ادامه می‌دهند. اگر چه مقاومت بیشتر مصالح در برابر خسارت، به تعداد سیکل‌ها وابسته است، اما یک ارزیابی منطقی پتانسیل خسارت نیازمند بعضی کمیات از تعداد مورد انتظار سیکل‌های تغییر شکل و در نتیجه مدت

اختلاف بین آخرین و اولین زمان برابر با دوام بازه ای خواهد بود. در محاسبه دوام یکنواخت مقدار زمانی که شتاب از حد آستانه تجاوز می کند تا لحظه ای که از حد آستانه کمتر می شود ثبت می گردد. بدیهی است مجدداً در سیکل های بعدی احتمال افزایش شتاب از حد آستانه وجود خواهد داشت. با جمع تجمعی مقدار زمانهایی که شتاب بالاتر از حد آستانه بوده است دوام یکنواخت محاسبه می گردد.

یافته ها

پس از اصلاح خط مبنای شتابنگاشت ها و محاسبه دوام مولفه افقی داده ها با استفاده از برنامه نویسی بر اساس تعدادی از تعاریف مختلف که شامل دوام بازه ای و یکنواخت با آستانه شتاب ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۵ و ۰/۳ شتاب ثقل زمین می باشد. جدول داده ها با تمامی مشخصات همچنین دوام های آن ها در سطوح مختلف شتاب، به دست آمد. نمونه ای از رکوردها در جدول ۱ ارائه شده است.

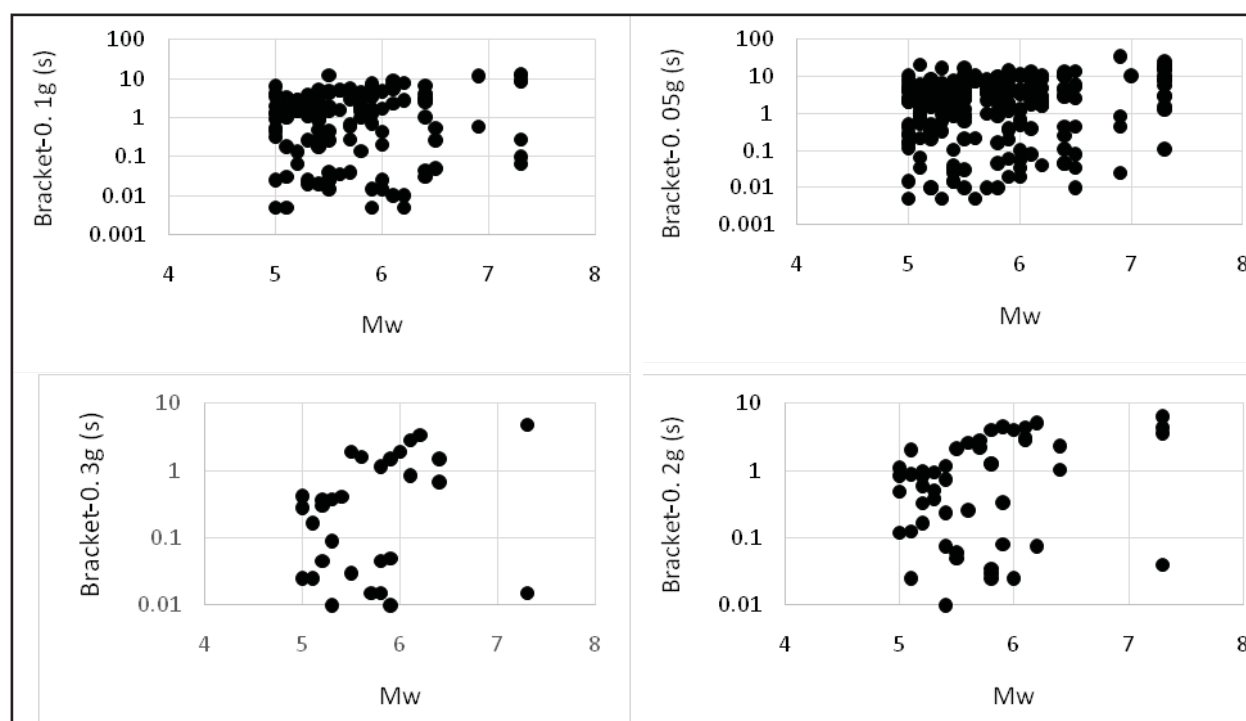
با استفاده از اطلاعات به دست آمده از جدول برای تمامی رکوردها نمودار پراکنش داده ها نسبت به بزرگا ترسیم گردید که در شکل ۵ و شکل ۶ در ادامه آورده شده است:

دوام حرکت زمین است. بنابراین مطالعه مشخصات اندازه های مدت دوام و توسعه یک رابطه تجربی برای ارزیابی مدت دوام موجه است.

روش

در این پژوهش به منظور بررسی دوام زلزله بر سازه ها، ابتدا رکوردهای شتابنگاشت با محدوده های بزرگای گشتاوری بزرگ تر از ۵ از سایت مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (BHRC) استخراج گردید و سایر مشخصات آن ها نظیر فاصله از گسل، متوسط سرعت موج برشی تا عمق ۳۰ متری در کاتالوگ درج گردید. اصلاح خط مبنای شتابنگاشت با استفاده از نرم افزار Seismosignal انجام گرفت و در ادامه به کمک برنامه نویسی با Fortran۹۰ دو دوام بازه ای و یکنواخت در سطوح ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۵ و ۰/۳ شتاب ثقل زمین محاسبه شد و پراکنش داده های ایران ترسیم گردید.

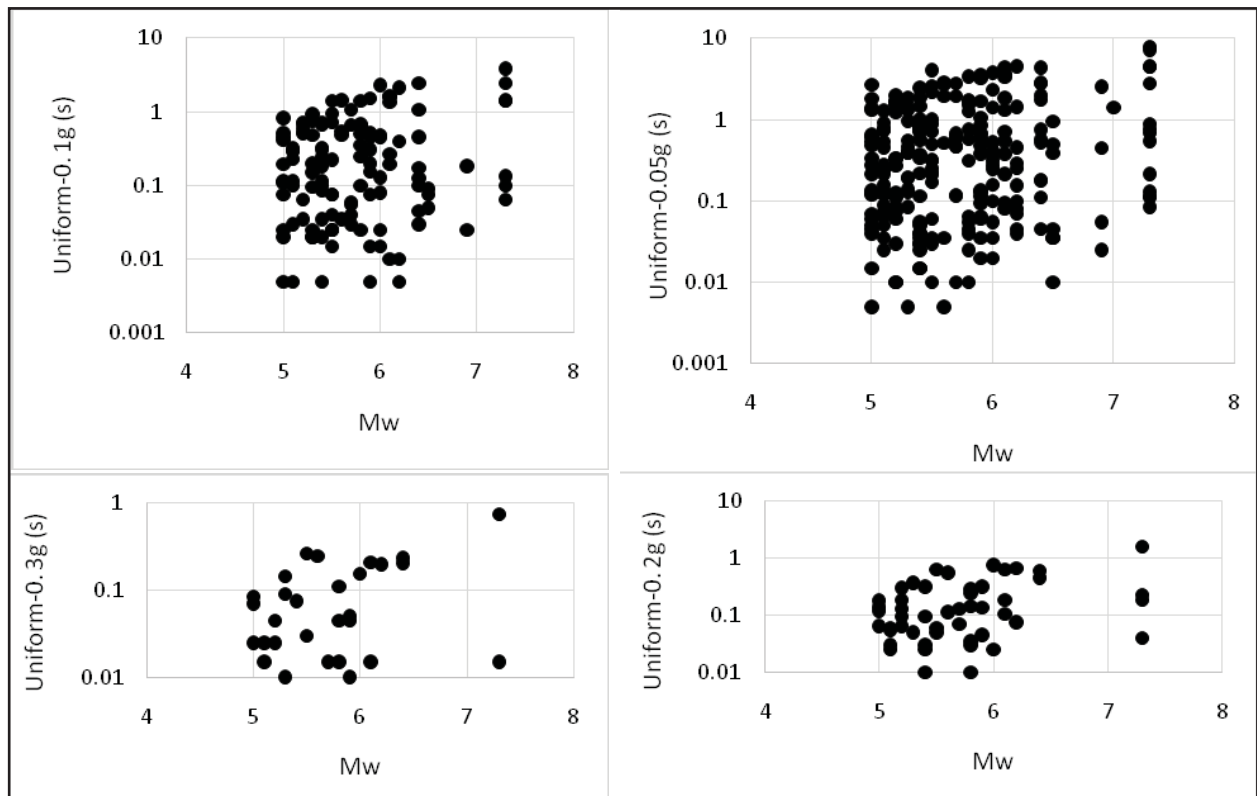
منطق برنامه نویسی برای محاسبه دوام بازه ای بدین گونه است که ابتدا هر رکورد شتاب-تاریخچه زمانی خوانده می شود. سپس اولین زمان مربوط به شتابی بالاتر از حد آستانه مشخص شده (مثلاً ۰/۰۵ g) مشخص می شود. در ادامه مابقی رکورد خوانده می شود و زمان متعلق به آخرین شتاب بالاتر از حد آستانه نیز مشخص می گردد.



شکل ۵: پراکنش دوام بازه ای شتاب های ایران از ۰/۵ تا ۰/۳ g

جدول ۱: نمونه‌ای از رکوردهای شتابنگاشت‌های مورد استفاده (با بزرگای $MW > ۰/۵$ تا سال ۲۰۱۹) و اصلاح‌شده با محاسبات دوام بازه‌ای و یکپارخت

Row	نام ایستگاه (فارسی)	نام ایستگاه (لاتین)	شماره رکورد	EQ Number	mechanysm	Mechanysm 1-0	ماه	روز	سال	ساعت	دقیقه	ثانیه	بیشینه شتاب زمین (cm/s/s)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	فاصله رومرکزی	MW	مرجع	کد ایستگاه	Vs
۱	بیرم	Beyram	۲۰۴۲	۱	R	۱	۱۱	۱۳	۱۹۹۸	۱	۰۱	10 PM	۱۲	۲۷.۸۱	۵۲.۵۳	۴۲	۵.۲	BHRC	BYR	۳۷۷
۲	اوز	Evaz	۲۰۴۳	۱	R	۱	۱۱	۱۳	۱۹۹۸	۱	۰۱	10 PM	۳۲	۲۷.۸۱	۵۲.۵۳	۴۷	۵.۲	BHRC	EVZ	۷۵۷
۳	فداغ	Fedaq	۲۰۴۴	۱	R	۱	۱۱	۱۳	۱۹۹۸	۱	۰۱	10 PM	۱۹	۲۷.۸۱	۵۲.۵۳	۲۵	۵.۲	BHRC	FDG	۶۰۴
۴	خنج	Khonj	۲۰۴۹.۰۱	۱	R	۱	۱۱	۱۳	۱۹۹۸	۱	۰۱	10 PM	۳۹۶	۲۷.۸۱	۵۲.۵۳	۱۳	۵.۲	BHRC	KHJ	۳۰.۸
۵	پردخون	Bardkhoon	۲۶۸۵	۲	R	۱	۲	۱۷	۲۰۰۲	۱	۰۳	52 PM	۱۸	۲۸.۲۵	۵۱.۹۱	۴۹	۵.۵	BHRC	BDK	۴۰.۱
۶	بندردیر	Bandar-e-Dayer	۲۶۸۶	۲	R	۱	۲	۱۷	۲۰۰۲	۱	۰۳	52 PM	۲۰	۲۸.۲۵	۵۱.۹۱	۴۶	۵.۵	BHRC	BDY	۵۰.۸
۷	شنبه	Shonbeh	۲۶۸۷	۲	R	۱	۲	۱۷	۲۰۰۲	۱	۰۳	52 PM	۳۱	۲۸.۲۵	۵۱.۹۱	۲۲	۵.۵	BHRC	SNB	۱۳۹۶
۸	کاکي	Kaki	۲۷۱۵	۲	R	۱	۲	۱۷	۲۰۰۲	۱	۰۳	52 PM	۲۹	۲۸.۲۵	۵۱.۹۱	۳۹	۵.۵	BHRC	KKY	۴۷۰
۹	رزن	Razan	۲۸۸۸	۳	R	۱	۹	۲	۲۰۰۲	۱	۰۰	03 AM	۲۱	۳۵.۷۵	۴۸.۹۱	۴۱	۵.۲	BHRC	RZN	۳۱۴
۱۰	ابهر	Abhar	۲۸۸۹	۳	R	۱	۹	۲	۲۰۰۲	۱	۰۰	03 AM	۱۱	۳۵.۷۵	۴۸.۹۱	۵۳	۵.۲	BHRC	ABH	۳۰۰
۱۱	آوج	Avaj	۲۸۹۰	۳	R	۱	۹	۲	۲۰۰۲	۱	۰۰	03 AM	۲۱	۳۵.۷۵	۴۸.۹۱	۳۴	۵.۲	BHRC	AVJ	۸۱۴
۱۲	آبگرم	Abgarm	۲۸۹۹	۳	R	۱	۹	۲	۲۰۰۲	۱	۰۰	03 AM	۳۸	۳۵.۷۵	۴۸.۹۱	۳۴	۵.۲	BHRC	AGR	۱۹۹
۱۳	بلورد	Bolvard	۳۱۵۴	۴	RL	۰	۱۲	۲۶	۲۰۰۳	۱	۵۶	56 AM	۱۰	۲۹.۰۴	۵۸.۳۳	۳۲۵	۶.۵	BHRC	BLV	۵۱۸
۱۴	جوشان	Joshan	۳۱۵۶	۴	RL	۰	۱۲	۲۶	۲۰۰۳	۱	۵۶	56 AM	۳۶	۲۹.۰۴	۵۸.۳۳	۱۳۹	۶.۵	BHRC	JSH	۷۷۶
۱۵	ماهان	Mahan	۳۱۵۹	۴	RL	۰	۱۲	۲۶	۲۰۰۳	۱	۵۶	56 AM	۱۳	۲۹.۰۴	۵۸.۳۳	۱۵۲	۶.۵	BHRC	MHN	۱۰۸۵
۱۶	سیرج	Sirch	۳۱۶۱	۴	RL	۰	۱۲	۲۶	۲۰۰۳	۱	۵۶	56 AM	۳۱	۲۹.۰۴	۵۸.۳۳	۱۴۹	۶.۵	BHRC	SRC	۳۹۸
۱۷	محمد آباد مسکون	Mohammad Abad-e-Maskoon	۳۱۶۲.۰۱	۴	RL	۰	۱۲	۲۶	۲۰۰۳	۱	۵۶	56 AM	۱۲۳	۲۹.۰۴	۵۸.۳۳	۴۵	۶.۵	BHRC	MAM	۵۰۷
۱۸	قلعه گنج	Ghale Ganj	۳۱۶۳	۴	RL	۰	۱۲	۲۶	۲۰۰۳	۱	۵۶	56 AM	۲۴	۲۹.۰۴	۵۸.۳۳	۱۷۴	۶.۵	BHRC	GLG	۶۸۳
۱۹	اندوهجرد	Andoohjerd	۳۱۶۴	۴	RL	۰	۱۲	۲۶	۲۰۰۳	۱	۵۶	56 AM	۳۴	۲۹.۰۴	۵۸.۳۳	۱۴۴	۶.۵	BHRC	ANJ	۵۶۶
۲۰	شهداد	Shahdad	۳۱۶۵	۴	RL	۰	۱۲	۲۶	۲۰۰۳	۱	۵۶	56 AM	۲۰	۲۹.۰۴	۵۸.۳۳	۱۶۵	۶.۵	BHRC	SDD	۱۲۴۷
۲۱	کهنوج	Kahnnoj	۳۱۶۶	۴	RL	۰	۱۲	۲۶	۲۰۰۳	۱	۵۶	56 AM	۱۱	۲۹.۰۴	۵۸.۳۳	۱۳۷	۶.۵	BHRC	KAH	۱۵۶۴



شکل ۶: پراکنش دوام یکنواخت شتاب‌های ایران از ۰/۵ تا ۰/۳ g

و تحلیل‌های عددی تأیید می‌کند که مدت دوام حرکت قوی زمین می‌تواند بطور قابل توجهی درجه خرابی سیستم‌های مهندسی عمران را تحت تأثیر قرار دهد. با این حال اگر مدت دوام به یک پارامتر توصیف کننده شدت حرکت زمین، مانند اوج سرعت یا اوج شتاب یا شتاب طیفی مرتبط شود، آنگاه می‌تواند یک پیش‌بینی کننده قوی خسارت برای اهداف مهندسی فراهم کند. همچنین ملاحظه گردید که مدت دوام زلزله تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر شدت جنبش و تکان سازه دارد به نحوی که زمین لرزه‌ای که دارای حداکثر شتاب متوسط و مدت دوام طولانی باشد خسارات بیشتری از زمین لرزه‌ای با شتاب بزرگتر اما مدت دوام کوتاه‌تر بر جای می‌گذارد. در ادامه اثر دوام زلزله بر خرابی سازه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت و خسارت ناشی از زلزله‌های با دوام قابل توجه بر سازه‌های بتن مسلح و رفتار منحنی‌های چرخه‌ای تحت عنوان معیاری برای آگاهی از رفتار غیرخطی رفت و برگشتی سازه‌ای بررسی گردید. همچنین به شرح خسارت لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح که در نتیجه افت مقاومت منجر به نایمن شدن ساختمان‌ها گردیده، پرداخته شد.

رابطه‌سازی دوام می‌تواند بر اساس روابط معتبر خارجی و یا

با بررسی دوام داده‌ها از نمودارهای پراکنش فوق نسبت به بزرگا نتایج زیر قابل استخراج است:

حد پایینی همه دوام‌ها ناچیز و نزدیک به صفر است. در ارتباط با حد بالایی دوام، برای دوام بازه‌ای در آستانه شتاب ۰/۰۵ g دوام تا ۳۶ ثانیه مشاهده شده است. در آستانه شتاب ۰/۱ g مقدار حداکثر دوام ۱۳ ثانیه و در آستانه شتاب ۰/۲ g مقدار حداکثر ۶/۵ ثانیه می‌باشد. در آستانه شتاب ۰/۳ g مقدار حداکثر دوام به ۴/۸ ثانیه می‌رسد. به عنوان یک نتیجه کلی می‌توان گفت هرچه قدر آستانه شتاب بالاتر رود مقادیر دوام کاهش خواهند یافت. برای دوام یکنواخت در سطوح آستانه شتاب مختلف ۰/۰۵ g، ۰/۱ g، ۰/۲ g و ۰/۳ g به ترتیب حداکثر دوام ۸ ثانیه، ۴ ثانیه، ۱/۵ ثانیه و ۰/۷۵ ثانیه خواهد بود. بدیهی است مطابق نمودارهای فوق حداکثر دوام یکنواخت همواره کمتر از دوام بازه‌ای بوده و تقریباً به یک پنجم دوام بازه‌ای متناظر محدود می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تعاریف متعددی از مدت دوام یک شتابنگاشت ثبت شده از جنبش نیرومند زمین ارائه شد. تجربه زلزله‌های گذشته

- publication/224256998
- Tiwari, A. and Gupta, V. (2000). Scaling of ductility and damage-based strength reduction factors for horizontal motions, *Earthquake engineering & structural*. [https://doi.org/10.1002/1096-9845\(200007\)29:7<969::AID-EQE948>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/1096-9845(200007)29:7<969::AID-EQE948>3.0.CO;2-N)
- Bolt (1973). duration of strong ground motion, *Proceedings of the 5th World Conference on Earthquake Engineering 1973 Jun 25 (Vol. 1, pp. 1304-1313)*. http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/5_vol1_1304.pdf
- Seed, H. and Idriss, I. (1967). Analysis of Soil Liquefaction: Niigata Earthquake, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 1967, Vol. 93, Issue 3, Pg. 83-108 . <https://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp>
- Bommer, J. and Martínez-Pereira, A. (1999). Strong motion parameters: definition, usefulness and predictability. <https://www.researchgate.net/publication/265106571>
- Yön, B. Sayın, E. and Onat, O. (2017). Earthquakes and Structural Damages. <http://dx.doi.org/10.5772/65425>
- Bommer, J. Stafford, P. and Alarcón, E. (2009). Empirical Equations for the Prediction of the Significant, Bracketed, and Uniform Duration of Earthquake Ground Motion, *Bulletin of the Seismological Society of America* (2009) 99 (6): 3217-3233. <https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/14008/6/Bulletin>
- Guire, M. and Barnhard (1979). Four definitions of strong motion duration: their predictability and utility for seismic hazard analysis, *U.S. Geological Survey, USGS*. <https://doi.org/10.3133/ofr791515>
- Raghunandan, M. Liel, A. (2013). Influence of Long Duration Ground Shaking on Collapse of Reinforced Concrete Structures, *Phd Thesis*. <https://scholar.colorado.edu/cgi/viewcontent.cgi>
- Adil Dar, A. (2013). A Study on Earthquake Resistant Construction Techniques , *Department of civil Engineering , Kurukshetra University, Haryana , India*. [http://www.ajer.org/papers/v2\(12\)/ZD212258264.pdf](http://www.ajer.org/papers/v2(12)/ZD212258264.pdf)
- Shome, N. Allin Cornell, C. Bazzurro, P. and Eduardo Carballo, J. (1998). Earthquakes, Records, and Nonlinear Responses. *Earthquake Spectra: August 1998, Vol. 14, No. 3, pp. 469-500*. <https://earthquakespectra.org/doi/10.1193/1.1586011>
- García, R. (2010). On the influence of strong-ground motion duration on residual displacement demands, *Earthquakes and Structures*, Vol. 1, No. 4 . https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Ruiz-Garcia/publication/235783989
- Seed, B. and Lee, K. (1966). Liquefaction of saturated sands during cyclic loading, *Journal of Soil Mechanics & Foundations Division*. <https://trid.trb.org/view/38714>
- Silver, M. and Seed, H. (1971), Deformation characteristics of sands under cyclic loading, *Journal of Soil Mechanics & Foundations Division*, Vol 97, No SM8, PROC PAPER NO 8334, PP 1081-1098, 18 FIG, 2. <https://trid.trb.org/view/127835>
- Trifunac and Brady, A. (1975). A STUDY ON THE DURATION OF STRONG EARTHQUAKE GROUND MOTION, 65(3), 581-626. <https://authors.library.caltech.edu/48455/1/581.full.pdf>
- داخلی صورت پذیرد. این بدان معنا است که به هنگام تحلیل خطر زلزله با توجه به منابع لرزه‌ای اطراف ساختگاه نه تنها PGA, Spectral acceleration و... بلکه دوام زلزله احتمالی را می‌توان برآورد نمود و از آن در محاسبات سازه‌ای استفاده کرد. شایان توجه است ساختمان‌های بتنی و مخصوصاً خمشی بیشترین حساسیت و آسیب‌پذیری را به زلزله‌های با دوام بالا دارند درحالی‌که در طراحی‌های جاری به این مساله توجه نمی‌شود. همچنین دیدی است مطابق نمودارهای ارائه شده در این پژوهش حداکثر دوام یکنواخت همواره کمتر از دوام بازه‌ای بوده و تقریباً به یک پنجم دوام بازه‌ای متناظر محدود می‌شود.
- ### منابع
- نیکنام، احمد؛ راضی، مرتضی؛ هراتی، مهدی (۱۳۸۹)؛ ارزیابی حساسیت رفتار غیرخطی سازه‌ها به محتوای فرکانسی و فازهای زلزله به روش دینامیکی افزایشی IDA، اولین همایش ملی سازه-زلزله-ژئوتکنیک، مازندران، بابلرس.
- https://www.civilica.com/Paper-ISSS02-ISSS02_019.html
- اعتضادی‌فر، حسین؛ محمودی‌صاحب، موسی؛ مظلوم، موسی (۱۳۹۰)؛ کاربرد تعیین عمر مفید باقی‌مانده ساختمان‌ها در ارزیابی آسیب‌پذیری لرز ای، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.
- https://www.civilica.com/Paper-ICCE09-ICCE09_196.html
- هفت‌لنگ، مهدی (۱۳۹۰)؛ تعیین رابطه میان مدت دوام زلزله با بزرگا، فاصله و شرایط زمین‌شناسی، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) <https://ganj.irandoc.ac.ir/viewer/b78ff278a1fcd2cd8cd498a9bc3d2f2f>
- میری، محمود؛ قلعه‌نوی، منصور؛ راشکی، محسن (۱۳۸۸)؛ اثر اتصالات بر رفتار هیستریزس قاب‌های خمشی کوتاه با اتصالات دوگانه، اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها، تهران، دانشگاه تهران. https://www.civilica.com/Paper-NCEMI01-NCEMI01_093.html
- Abdelnaby, A. (2012). Multiple Earthquake on Degrading Reinforced Concrete Structures, *Phd Thesis*. https://www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/34345/Abdelnaby_Adel.pdf
- Ambraseys, N. (2010). The response of earth dams to strong earthquakes, *department of civil engineering, Imperial College of Science, University of London. Geotechnique*, 17:181-213 https://www.researchgate.net/profile/Sarada_Sarma/publication/245410144
- Bommer, A. Stafford, J. and Alarcón, J. (2009). Empirical Equations for the Prediction of the Significant, Bracketed, and Uniform Duration of Earthquake Ground Motion *Bulletin of the Seismological Society of America. Seismological Society of America*. 1375(510). <https://doi.org/10.1785/0120080298>
- Acqua, F. Member, S. (2009) Earthquake damages rapid mapping by satellite remote sensing data, *IEEE*, Christian Bignami, Member, IEEE, Marco Chini, Member, IEEE, Gianni Lisini, Diego Polli, and Salvatore Stramondo, Member, IEEE. https://www.researchgate.net/profile/Fabio_DellAcqua/