

نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک سازه‌های روی خاک سخت با استفاده از رکوردهای زلزله‌های ایران

سیدمهدی پارسائیان^۱، بهرخ حسینی‌هاشمی^{۲*}، عبدالرضا سروقد مقدم^۳

۱- کارشناس ارشد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

۲- دانشیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

۳- استادیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

behrokh@iiees.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۲۰

چکیده- در این مقاله، نتایج مربوط به مطالعه آماری روی نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک برای تخمین بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک سازه از روی بیشینه تغییر مکان الاستیک با استفاده از رکوردهای زلزله‌های ایران ارائه شده است. این نسبت‌ها برای سامانه‌های یک‌درجه‌آزاد با مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل و ضرایب کاهش مقاومت گوناگون تحت تأثیر تعداد زیادی از رکوردهای زلزله به‌دست آمده است. این بررسی بر پایه‌ی ۲۰۴ شتاب‌نگاشت ثبت شده روی خاک سخت، حین زلزله‌های مختلف ایران انجام شده است. سه نوع خاک یک، دو و سه بر اساس نسبت طیفی H/V در نظر گرفته شده است. اثر زمان تناوب، مقدار ضریب کاهش مقاومت، شرایط خاک، بزرگی زلزله و فاصله تا کانون زلزله روی نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک، ارزیابی و بحث شده است. نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک مرتبط با مقادیر میانگین به همراه پراکندگی نتایج ارائه شده است. سرانجام، با استفاده از تحلیل رگرسیون غیرخطی، رابطه ساده‌ای بر پایه‌ی نتایج میانگین به‌دست آمده است که براساس این رابطه، از روی بیشینه تغییر مکان الاستیک می‌توان بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک برای سازه‌های روی خاک سخت را تخمین زد.

واژگان کلیدی: سامانه یک‌درجه‌آزاد، تغییر مکان الاستیک و غیرالاستیک، مدل رفتاری الاستوپلاستیک

۱- مقدمه

شتاب‌نگاشت انتخابی بسیار حساس است. بنابراین به روش‌های قابل اطمینان و انجام‌شدنی برای تخمین تغییر مکان‌های غیرالاستیک سازه‌ها برای طراحی سازه‌های جدید و ارزیابی لرزه‌ای و بهسازی آن‌ها نیاز است. یکی از روش‌های کاربردی، تخمین بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک با استفاده از نتایج تحلیل‌های الاستیک خطی است. مطالعات در این زمینه

در حالت کلی، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی سازه‌ها، از مقادیر تغییر مکان تحمیل‌شده به سازه تحت تأثیر یک شتاب‌نگاشت تخمین مناسبی می‌زند. اگرچه این روش تحلیل برای کارهای عملی روزانه، انجام‌شدنی نیست؛ همچنین نتایج این‌گونه تحلیل‌های دینامیکی نسبت به مشخصات

از سال‌های دور آغاز شده است. یکی از اولین مطالعات در این مورد به‌وسیله‌ی Veletsos and Newmark (1960) [به نقل از مرجع ۱] انجام شده که در آن بیشینه تغییر مکان سامانه یک‌درجه‌آزاد الاستوپلاستیک کامل با بیشینه تغییر مکان سامانه الاستیک دارای جرم و سختی اولیه یکسان، ارتباط داده شده است. این مطالعه تحت تأثیر پالس‌های ساده و سه زلزله انجام شده است. آن‌ها نتیجه گرفتند که در بسامدهای پایین (کوچک‌تر از 0.38 هرتز)، بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک و الاستیک با هم برابر است و در بسامدهای بالا و متوسط، بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک خیلی بزرگ‌تر از بیشینه تغییر مکان الاستیک است. در سال 2000 ، Miranda [۲]، با استفاده از 264 شتاب‌نگاشت به‌دست‌آمده از 12 زلزله کالیفرنیا، ثبت شده روی خاک سخت، نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک سامانه‌های یک‌درجه‌آزاد با مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل را ارائه کرد و رابطه‌ای برای تخمین این نسبت پیشنهاد داده است. همچنین در سال 2000 ، Baez and Miranda [۳]، اثر نزدیکی به گسل و جهت‌پذیری در خاک سخت را بر روی نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک با استفاده از 82 شتاب‌نگاشت بررسی کرده است. در سال 2004 ، Ruiz-Garcia and Miranda [۴]، نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک را در خاک نرم با استفاده از 116 شتاب‌نگاشت برای سامانه‌های یک‌درجه‌آزاد با مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل بررسی کرده است. در سال‌های نزدیک، استفاده از روش‌های طراحی و ارزیابی سازه‌ها بر اساس کارآیی، رواج یافته است. جامعه مهندسی بر این باور است که خسارات سازه‌ای و غیرسازه‌ای بیشتر ناشی از تغییر مکان‌های جانبی تحمیل‌شده بر سازه، در اثر زلزله است؛ سپس در این روش‌ها، تغییر مکان، معرف عملکرد سازه تحت اثر زلزله است. یکی از روش‌های به‌دست‌آوردن تغییر مکان غیرالاستیک سازه‌ها، روش ضرایب [۵] است که در مراجع و

استانداردهای جدید ارزیابی و بهسازی ساختمان‌ها مانند FEMA273(1997) [۶]، FEMA356(2000) [۷]، FEMA440(2005) [۸]، ASCE-41-06(2006) [۹] و نشریه 360 ایران [۱۰] به کار رفته است. در این روش (روش ضرایب) بیشینه‌ی تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک سامانه‌های یک‌درجه‌آزاد با مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل را C_1 می‌نامند که منطبق بر ضریب C_R به‌دست‌آمده در این مقاله است. ضریب C_1 نشریه 360 ایران به طور کامل برگرفته از پیش‌استاندارد FEMA356 است و همچنین در محاسبه این ضرایب غالباً از رکوردهای سایت امریکای غربی استفاده شده است؛ در حالی که نوع شتاب‌نگاشت می‌تواند اثر چشم‌گیری روی پاسخ سامانه یک‌درجه‌آزاد بگذارد. پس هدف از این مطالعه، ارائه نتایج آماری برای نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک سامانه‌های یک‌درجه‌آزاد با مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل براساس شتاب‌نگاشت‌های ثبت‌شده در ایران است. آثار ناشی از جنس خاک، فاصله تا کانون زلزله و بزرگی زلزله روی این نسبت، بررسی شده است. نتایج این بررسی محدود به رکوردهای ثبت‌شده روی خاک سخت است. سرانجام، با استفاده از تحلیل رگرسیون غیرخطی، رابطه ساده‌ای بر پایه‌ی نتایج میانگین نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک (C_R) ناشی از رکوردهای زلزله‌های ایران به دست آمده است.

۲- نسبت بیشینه‌ی تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک

نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک (C_R)، به صورت بیشینه تغییر مکان جانبی غیرالاستیک تقسیم بر بیشینه‌ی تغییر مکان جانبی الاستیک برای سیستمی با جرم و سختی اولیه یکسان (زمان تناوب یکسان) تحت تأثیر شتاب‌نگاشت زلزله یکسان تعریف می‌شود. به شکل ریاضی، داریم:

$$C_R = \frac{\Delta_{in}}{\Delta_{el}} \quad (1)$$

بنابراین، اگر اطلاعات درباره این ضریب داشته باشیم، از روی بیشینه تغییر مکان الاستیک می‌توان بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک را تخمین زد. در این مقاله ضریب C_R برای سامانه‌های یک‌درجه‌آزاد با میرایی ۵ درصد و مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل محاسبه شده است.

در طراحی سازه در برابر زلزله، به‌دست‌آوردن ضریب C_R مرتبط با مقاومت جانبی مختلف سازه، لازم است. بنابراین در این مقاله، بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک سامانه مرتبط با ضرایب کاهش مقاومت (R) مختلف انجام شده است. ضریب C_R برای سامانه‌های یک‌درجه‌آزاد تحت تأثیر ضرایب کاهش مقاومت $R = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ به دست آمده است. برای هر رکورد زلزله و هر ضریب کاهش مقاومت، نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک برای یک مجموعه شامل ۲۹۶ زمان تناوب بین ۰/۰۵ تا ۳ ثانیه محاسبه شده است.

۳- شتاب‌نگاشت‌های استفاده‌شده در این بررسی

در این مقاله مجموعه‌ی ۲۰۴ شتاب‌نگاشت زلزله ثبت‌شده در ایران بررسی شده است. استفاده از این تعداد زیاد رکورد زلزله برای ارزیابی پراکندگی نتایج مربوط به ضریب C_R است. همه‌ی شتاب‌نگاشت‌های استفاده‌شده مشخصات زیر را دارد:

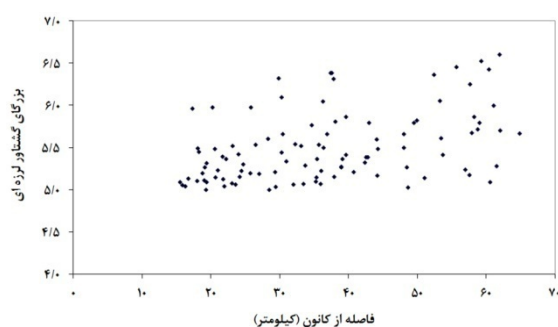
(۱) به‌وسیله‌ی دستگاه SSA2 بین سال‌های ۱۹۹۴ و ۲۰۰۷ ثبت شده است. رکوردهای ثبت‌شده در ایران، بیشتر به‌وسیله‌ی دو دستگاه SMA1 و SSA2 ثبت شده است. اولین دستگاه ثبت رکورد در ایران دستگاه SMA1 است که آنالوگ است و زمانی که آستانه تحریک آن به کار افتد شروع به ثبت می‌کند؛ در حالی که دستگاه SSA2، دیجیتال و همیشه در حال ثبت لرزه‌ها است. به محض این‌که آستانه تحریک آن به کار افتد، لرزش‌های اتفاق افتاده از ۱۵ ثانیه

قبل از زمان تحریک در حافظه دستگاه ذخیره می‌شود. همچنین رکوردهای ثبت‌شده به‌وسیله‌ی SMA1 که به صورت آنالوگ است باید تبدیل به دیجیتال شود که سبب ورود یک منبع خطای انسانی در رکورد به‌دست آمده می‌شود و هنگام اصلاح رکورد و تعیین بازه فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذار، به خاطر نداشتن لرزش‌ها و نویزهای قبل از آستانه تحریک، با درصد احتمال خطای بالاتری رکوردها اصلاح می‌شوند. با توجه به مطالب بالا و به خاطر وجود اهمیت اصلاح رکورد در نتایج به‌دست‌آمده، تنها از رکوردهای ثبت‌شده به‌وسیله‌ی دستگاه SSA2، استفاده شده است. پس از زلزله منجیل در سال ۱۹۹۱ میلادی، اولین دستگاه SSA2 در ایران نصب شد و پس از سال ۱۹۹۴ میلادی، استفاده از این دستگاه رواج یافت؛ بنابراین در این بررسی، رکوردهای ثبت‌شده پس از سال ۱۹۹۴ استفاده شده است. (۲) بزرگی گشتاور لرزه‌ای کمینه ۵ داشته باشند؛ (۳) کمینه PGA یکی از دو مؤلفه طولی رکوردها، ۵۰ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه باشد؛ (۴) برای حذف آثار احتمالی اندرکنش خاک و سازه، رکوردهای ثبت‌شده روی سطح آزاد انتخاب شده است؛ (۵) برای حذف آثار نزدیکی به گسل، رکوردهای ثبت‌شده در فاصله بیشتر از ۱۵ کیلومتر از کانون زلزله انتخاب شده است؛ (۶) رکوردهای ثبت‌شده روی خاک نوع ۱ و ۲ و ۳ انتخاب شده است و (۷) رکوردهایی که هنگام اصلاح و حذف نویز، کمینه‌ی بازه‌ی گذار فیلتر آن‌ها بین ۰/۳۳ تا ۲۰ هرتز بود، انتخاب شده است. زمان تناوب سامانه‌های یک‌درجه‌آزادی استفاده‌شده در این مطالعه، ۰/۰۵ تا ۳ ثانیه است؛ یعنی بسامد آن‌ها بین ۰/۳۳ تا ۲۰ هرتز است. بنابراین نتایج به‌دست‌آمده از رکوردهایی که بازه‌ی فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذار آن کمتر از بازه‌ی بالا باشد، قابل اطمینان نیست و این رکوردها حذف شد. فاکتور اصلی در طبقه‌بندی

کمتری دارد و به‌ویژه در نواحی مرزی طبقه‌بندی ممکن است خطای بالایی داشته باشد؛ ولی به‌خاطر نداشتن اطلاعات سرعت موج برشی ایستگاه‌ها، به ناچار از این روش استفاده می‌کنیم.

۲۰۴ شتاب‌نگاشت زلزله شامل ۷۰ شتاب‌نگاشت مربوط به خاک نوع یک، ۳۰ شتاب‌نگاشت مربوط به خاک نوع دو و ۱۰۴ شتاب‌نگاشت مربوط به خاک نوع سه است [۱۳].

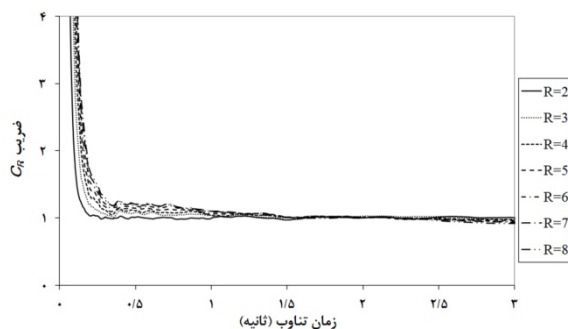
کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین بزرگی گشتاور لرزه‌ای به ترتیب برابر ۵ و ۶/۶ است. شکل ۱ پخش بزرگی زلزله نسبت به فاصله از کانون زلزله برای شتاب‌نگاشت‌های این مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود، رکوردها در فاصله ۱۵ و ۶۵ کیلومتر از کانون زلزله قرار دارند و بیشترین تعداد رکوردها بزرگی بین ۵ و ۶ دارد. برای انجام تحلیل‌ها طول کل رکورد یعنی فاصله‌ی بین نخستین و آخرین آستانه تحریک استفاده شده است. همچنین برای ارزیابی نسبت پیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک که شاخصی بدون بعد است، شتاب‌نگاشت‌ها مقیاس نشده است. شکل ۲ پخش پیشینه شتاب زمین نسبت به فاصله از کانون زلزله برای شتاب‌نگاشت‌های این بررسی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که انتظار داریم، با افزایش فاصله، پیشینه شتاب زمین کاهش می‌یابد و محدوده پیشینه شتاب زمین (PGA) رکوردها، از ۵۰ تا ۹۲۲/۲ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه نوسان دارد.



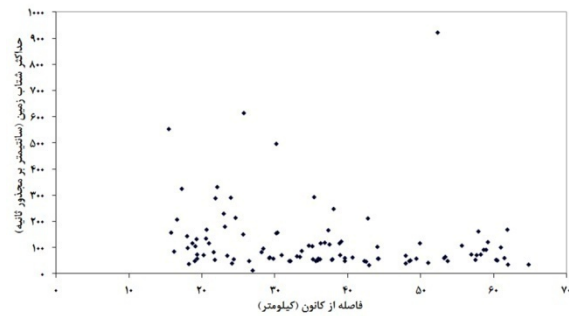
شکل (۱) پخش بزرگی زلزله نسبت به فاصله از کانون زلزله برای شتاب‌نگاشت‌های این بررسی

خاک، در استانداردهای روز دنیا مانند استاندارد ۲۸۰۰ [۱۱]، سرعت موج برشی در ۳۰ متر لایه بالایی خاک است. تا این زمان، نتایج آزمایش سرعت موج برشی برای تعداد کمی از ایستگاه‌های ثبت زلزله ایران در دست است. بنابراین در این پژوهش از اطلاعات مربوط به جنس خاک در مرجع ۱۲ با استفاده از روش نسبت طیفی H/V استفاده شده است. در این روش، بر اساس نسبت طیفی (تبدیل فوری) مؤلفه افقی (H) به مؤلفه قائم (V) رکورد زلزله ثبت‌شده در ایستگاه (روی خاک)، بسامد اصلی خاک به‌دست می‌آید و بر اساس ارتباط بین بسامد اصلی و نوع خاک، خاک طبقه‌بندی می‌شود، که هرچه بسامد اصلی بزرگ‌تر باشد، خاک سخت‌تر است. در مرجع شماره‌ی ۱۲ با استفاده از سرعت موج برشی در برخی ایستگاه‌ها و مقایسه آن با بسامد اصلی خاک آن‌ها، محدوده‌هایی از بسامد به عنوان خاک نوع یک، دو، سه و چهار تعیین شده است. پایه‌ی علمی این روش به صورت خلاصه به این صورت است که در روش شناسایی سامانه‌ها، اگر ورودی و خروجی یک سامانه را در محدوده بسامدی داشته باشیم، مشخصات بسامدی سامانه قابل محاسبه می‌باشد. اگر خاک را به عنوان سامانه فرض کنیم، رکورد زلزله روی سنگ بستر، ورودی و رکورد زلزله روی سطح خاک (ایستگاه)، خروجی خواهد بود؛ ولی رکورد زلزله روی سنگ بستر در اختیار ما نیست. پس با داشتن این حقیقت که لایه‌های خاک اثر ناچیزی روی مؤلفه قائم رکورد زلزله حین انتقال از سنگ بستر به سطح خاک دارند، می‌توان از رکورد قائم زلزله ثبت‌شده در ایستگاه به عنوان رکورد روی سنگ بستر استفاده کرد. بنابراین نسبت طیفی H/V (نسبت تبدیل فوری) مؤلفه افقی به مؤلفه قائم رکورد زلزله در ایستگاه) بیانگر بسامد اصلی خاک است. البته این روش نسبت به روش سرعت موج برشی در ۳۰ متر لایه بالایی خاک دقت

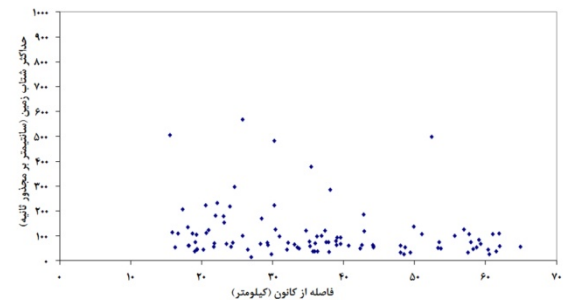
مکان غیرالاستیک بزرگ‌تر از بیشینه تغییر مکان الاستیک) و برای زمان تناوب‌های بزرگ، عددی نزدیک به یک (بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک تقریباً برابر بیشینه تغییر مکان الاستیک) است. برای زمان تناوب‌های کوچک (کوچک‌تر از یک ثانیه)، نسبت C_R وابسته به زمان تناوب سازه و ضریب کاهش مقاومت است. در این ناحیه، نسبت C_R با افزایش ضریب کاهش مقاومت و کاهش زمان تناوب، افزایش می‌یابد. برای سامانه‌های الاستوپلاستیک کامل، وقتی که زمان تناوب به سمت صفر میل می‌کند، ضریب C_R به سمت بی‌نهایت میل می‌کند که بیانگر این است که در سازه‌های با زمان تناوب‌های خیلی کوچک و مقاومت جانبی کم، در اثر تحریکات شدید زلزله، تغییر مکان‌های غیرالاستیک خیلی بزرگ ایجاد می‌شود. زمان تناوبی که نمودار را به دو قسمت تقسیم می‌کند [یک قسمت با ضریب C_R بزرگ‌تر از یک و قسمت دیگر ضریب C_R تقریباً برابر یک]، به طور جدی وابسته به ضریب کاهش مقاومت است، به گونه‌ای که به ازای ضریب کاهش مقاومت ۲، زمان تناوب جداکننده دو قسمت تقریباً برابر 0.3 ثانیه و برای ضریب کاهش مقاومت ۸، زمان تناوب جداکننده دو ناحیه تقریباً معادل 1.5 ثانیه است. بنابراین زمان تناوب که نمودار را به دو ناحیه تقسیم می‌کند؛ با افزایش ضریب کاهش مقاومت، افزایش می‌یابد.



شکل (۳) نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک به ازای همه‌ی رکوردهای این بررسی



شکل (۲-الف) پخش بیشینه شتاب زمین مؤلفه L نسبت به فاصله از کانون زلزله برای شتاب‌نگاشت‌های این بررسی



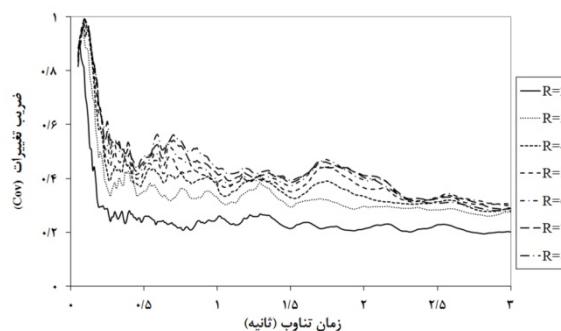
شکل (۲-ب) پخش بیشینه شتاب زمین مؤلفه T نسبت به فاصله از کانون زلزله برای شتاب‌نگاشت‌های این بررسی

۴- نتایج مطالعه آماری

در این مطالعه آماری، ۴۲۲۶۸۸ نسبت بیشینه تغییر مکان غیرخطی به خطی (مرتبط با ۲۰۴ شتاب‌نگاشت، ۲۹۶ زمان تناوب و ۷ ضریب کاهش مقاومت) از روی پاسخ سامانه‌های یک‌درجه‌آزاد با مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل به‌دست آمده است. مقادیر میانگین نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک برای هر زمان تناوب و هر ضریب کاهش مقاومت به ازای همه رکوردهای زلزله، به عنوان مقدار مورد انتظار مجموعه داده‌ها، ارائه شده است. شکل ۳، نشان‌دهنده مقادیر میانگین نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک (C_R)، مرتبط با همه‌ی رکوردهای زلزله استفاده‌شده در این بررسی است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود، این نسبت در زمان تناوب‌های کوچک، عددی بزرگ‌تر از یک (بیشینه تغییر

۵- پراکندگی داده‌ها

همان‌گونه که در یک بررسی آماری، میانگین مجموعه اهمیت زیادی دارد، تعیین پراکندگی داده‌ها حول مقدار میانگین هم بسیار مهم است. یکی از شاخص‌های رایج و مؤثر برای بیان پراکندگی مجموعه‌های آماری، ضریب تغییرات داده‌ها است که به صورت انحراف معیار تقسیم بر میانگین تعریف شده و در نتیجه بدون بعد است. در این پژوهش از این شاخص برای بیان پراکندگی داده‌ها استفاده شده است. شکل ۴، ضریب تغییرات داده‌ها برای کل رکوردهای استفاده‌شده در این بررسی (۲۰۴ شتاب‌نگاشت) را نشان می‌دهد. با توجه به شکل دو ناحیه را می‌توان در نمودار مشخص کرد، یکی در قسمت زمان‌تناوب‌های کوچک (کوچکتر از ۰/۳ ثانیه) که با کاهش زمان‌تناوب و افزایش ضریب کاهش مقاومت، ضریب تغییرات داده‌ها به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد و دیگری در قسمت زمان‌تناوب‌های بزرگ (بزرگتر از ۰/۳ ثانیه) که با افزایش ضریب کاهش مقاومت، ضریب تغییرات داده‌ها افزایش می‌یابد لیکن در این قسمت تغییرات زمان‌تناوب سازه، تاثیر زیادی روی ضریب تغییرات داده‌ها ندارد.



شکل (۴) ضریب تغییرات نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک برای کل رکوردهای استفاده شده در این مطالعه

حساسیت نشان داده و تغییر می‌کند. بنابراین از آن‌جا که از نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک برای تخمین بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک استفاده می‌گردد، لازم است که اثر جنس خاک سایت روی نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک ارزیابی گردد. شکل ۵ نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک میانگین مرتبط با سه نوع خاک یک و دو و سه را نشان می‌دهد.

برای ارزیابی اثر نوع خاک روی نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک برای خاک‌های سخت، ضرایب C_R مرتبط با هر یک از سه نوع خاک بر ضریب C_R مرتبط با همه رکوردها تقسیم شده و در شکل ۶ نشان داده شده است.

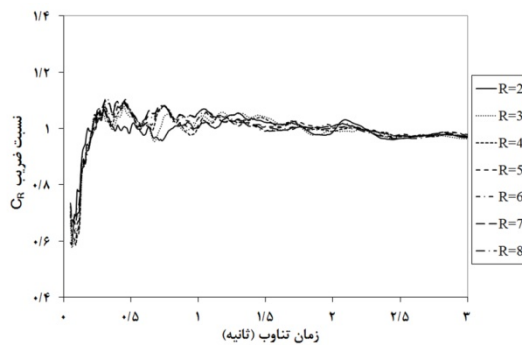
همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، برای خاک نوع یک، اگر در محاسبه ضریب C_R ، اثر نوع خاک را لحاظ نکرده و از روی مقادیر میانگین حاصل از همه شتاب‌نگاشت‌ها (۲۰۴ شتاب‌نگاشت) استفاده شود، به ازای زمان‌تناوب‌های کمتر از ۰/۲۵ ثانیه، ضریب C_R تا بیشینه ۴۰ درصد دست‌بالا تخمین زده می‌شود و به ازای زمان‌تناوب‌های بین ۰/۲۵ و ۱/۵ ثانیه تا بیشینه ۱۰ درصد دست‌پایین تخمین زده می‌شود و به ازای زمان‌تناوب‌های بزرگتر از ۱/۵ ثانیه تقریباً یکسان می‌باشد.

برای خاک نوع دو، در صورت استفاده از مقادیر میانگین حاصل از همه شتاب‌نگاشت‌ها و صرف‌نظر از نوع خاک، ضریب C_R به ازای زمان‌تناوب‌های کمتر از ۰/۳ ثانیه تا بیشینه ۴۰ درصد دست‌بالا تخمین زده می‌شود و به ازای زمان‌تناوب‌های بین ۰/۳ و ۱/۵ ثانیه تا بیشینه ۲۰ درصد دست‌پایین تخمین زده می‌شود و به ازای زمان‌تناوب‌های بزرگتر از ۱/۵ ثانیه تقریباً یکسان است. البته به جهت اینکه تعداد رکوردهای ثبت شده روی خاک نوع دو در این مطالعه خیلی کمتر از رکوردهای دو نوع خاک دیگر می‌باشد، نمودار مرتبط با آن ناهموارتر و دارای اعوجاج بیشتری می‌باشد. برای خاک نوع سه هم، در صورت چشمپوشی از اثر نوع خاک و

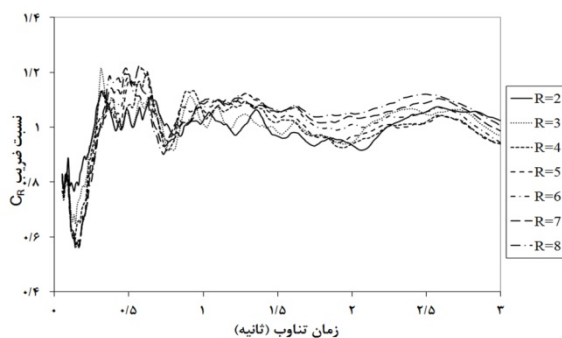
۶- اثر نوع خاک روی نسبت بیشینه تغییر مکان

غیرالاستیک به الاستیک

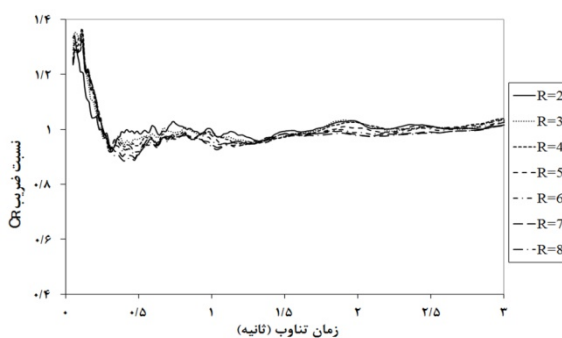
لطیف طراحی الاستیک مندرج در آیین‌نامه‌های دنیا از جمله استاندارد ۲۸۰۰ ایران، نسبت به تغییر جنس خاک سایت



شکل (۶-الف) نسبت ضریب C_R مرتبط با خاک نوع یک بر ضریب مرتبط با کلیه رکوردها



شکل (۶-ب) نسبت ضریب C_R مرتبط با خاک نوع دو بر ضریب مرتبط با کلیه رکوردها

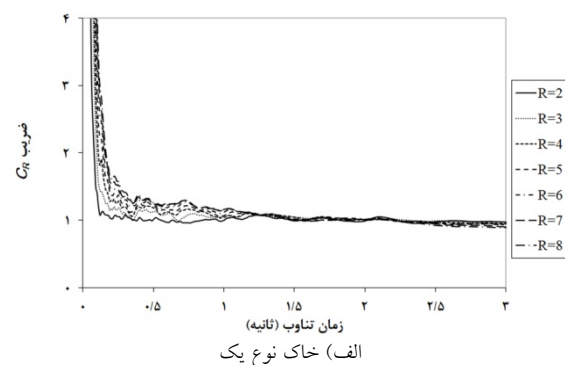


شکل (۶-ج) نسبت ضریب C_R مرتبط با خاک نوع سه بر ضریب مرتبط با کلیه رکوردها

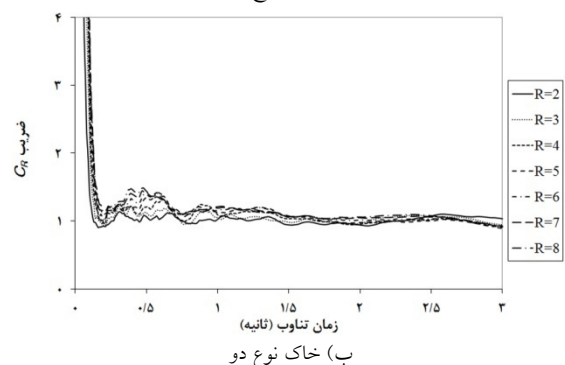
۷- اثر فاصله تا کانون زلزله روی نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک

برای مطالعه اثر فاصله تا کانون زلزله و به جهت حذف آثار ناشی از جنس خاک روی ضریب C_R که در قسمت قبل

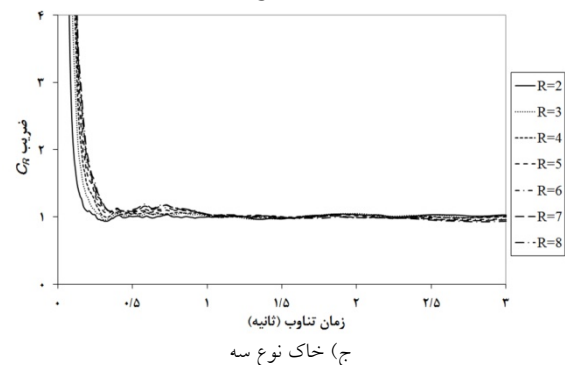
استفاده از مقادیر میانگین حاصل از همه شتاب‌نگاشت‌ها، ضریب C_R به ازای زمان تناوب‌های کمتر از 0.3 ثانیه تا بیشینه 35 درصد دست‌پایین تخمین زده می‌شود و به ازای زمان تناوب‌های بین 0.3 و 1.5 ثانیه تا بیشینه 5 درصد دست‌بالا تخمین زده می‌شود و به ازای زمان تناوب‌های بزرگتر از 1.5 ثانیه تقریباً یکسان است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، با افزایش ضریب کاهش مقاومت و کاهش زمان تناوب میزان خطای ناشی از چشمپوشی از اثر نوع خاک افزایش می‌یابد.



الف) خاک نوع یک



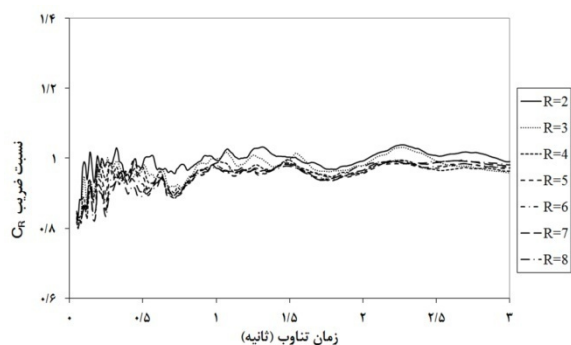
ب) خاک نوع دو



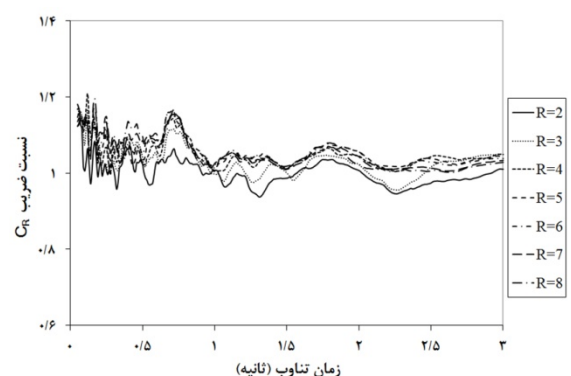
ج) خاک نوع سه

شکل (۵) نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک میانگین

کیلومتر اثر فاصله تا کانون زلزله لحاظ نگردد، به ازای زمان‌تناوب‌های کمتر از ۱ ثانیه، ضریب C_R تا بیشینه کمتر از ۲۰ درصد دست‌بالا تخمین زده می‌شود و به ازای زمان‌تناوب‌های بزرگتر از ۱ ثانیه تقریباً یکسان است.



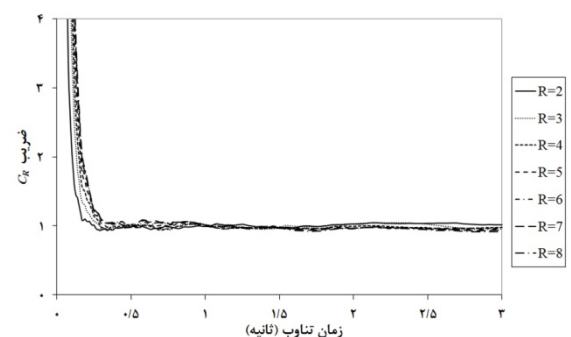
شکل (۸-الف) نسبت ضریب C_R محاسبه شده برای رکوردهای ثبت شده در فاصله ۱۵ تا ۴۰ کیلومتر از کانون زلزله بر ضریب C_R محاسبه شده مربوط به کلیه ۱۰۴ رکورد خاک نوع سه



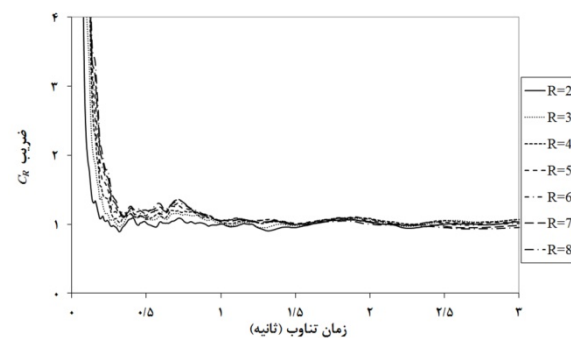
شکل (۸-ب) نسبت ضریب C_R محاسبه شده برای رکوردهای ثبت شده در فاصله ۴۰ تا ۶۵ کیلومتر از کانون زلزله بر ضریب C_R محاسبه شده مربوط به کلیه ۱۰۴ رکورد خاک نوع سه

همچنین برای رکوردهای در فاصله ۴۰ تا ۶۵ کیلومتر در صورت چشمپوشی از اثر فاصله تا کانون زلزله، به ازای زمان‌تناوب‌های کمتر از ۱ ثانیه، ضریب C_R تا بیشینه کمتر از ۲۰ درصد دست‌پایین تخمین زده می‌شود و به ازای زمان‌تناوب‌های بزرگتر از ۱ ثانیه تقریباً یکسان است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش ضریب کاهش

توضیح داده شد، در این قسمت فقط از شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده روی خاک نوع سه استفاده شده است. به این ترتیب ۱۰۴ شتاب‌نگاشت ثبت شده روی خاک نوع سه در دو گروه با محدوده فواصل مختلف دسته‌بندی شده است. اولین گروه شامل ۶۰ رکورد ثبت شده در فاصله ۱۵ تا ۴۰ کیلومتر از کانون زلزله و دومین گروه شامل ۴۴ رکورد ثبت شده در فاصله ۴۰ تا ۶۵ کیلومتر از کانون زلزله می‌باشد. میانگین نسبت پیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک برای رکوردهای این دو گروه در شکل ۷ نشان داده شده است.



الف) رکوردهای ثبت شده در فاصله ۱۵ تا ۴۰ کیلومتر از کانون زلزله



ب) رکوردهای ثبت شده در فاصله ۴۰ تا ۶۵ کیلومتر از کانون زلزله
شکل (۷) میانگین نسبت پیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک در خاک نوع سه

برای ارزیابی اثر فاصله، ضریب C_R محاسبه شده در هر گروه بر ضریب C_R محاسبه شده مربوط به ۱۰۴ رکورد خاک نوع سه تقسیم شده و در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اگر برای رکوردهای در فاصله ۱۵ تا ۴۰

مقاومت، میزان خطای ناشی از چشمپوشی از اثر فاصله تا کانون زلزله بیشتر می‌شود.

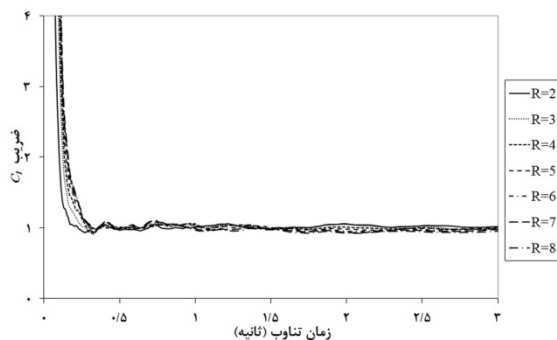
تقریباً یکسان است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش ضریب کاهش مقاومت، میزان خطای ناشی از چشمپوشی از اثر بزرگای زلزله بیشتر می‌شود.

۸- اثر بزرگای زلزله روی نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک

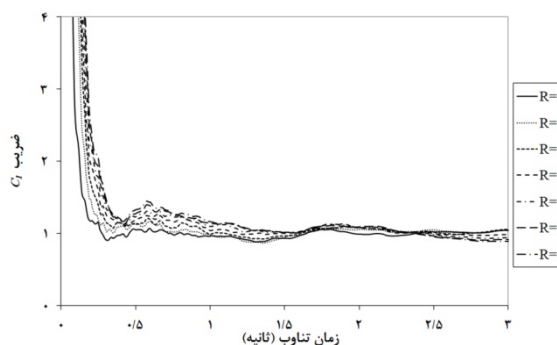
برای مطالعه اثر بزرگای زلزله و به جهت حذف آثار ناشی از جنس خاک روی ضریب C_R ، در این قسمت هم فقط از شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده روی خاک نوع سه استفاده شده است. به این ترتیب ۱۰۴ شتاب‌نگاشت ثبت شده روی خاک نوع سه در دو گروه با بزرگای مختلف دسته‌بندی شده است. اولین گروه شامل ۶۶ رکورد با بزرگای گشتاور لرزه‌ای (M_W) بین ۵ و ۵/۵، دومین گروه شامل ۳۸ رکورد با بزرگای گشتاور لرزه‌ای بین ۵/۵ و ۶/۵ می‌باشند. میانگین نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک برای رکوردهای این دو گروه در شکل ۹ نشان داده شده است. برای ارزیابی اثر بزرگای زلزله، ضریب C_R محاسبه شده در هر گروه بر ضریب C_R محاسبه شده مربوط به ۱۰۴ شتاب‌نگاشت خاک نوع سه تقسیم شده و در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، برای رکوردهای با بزرگای بین ۵ و ۵/۵، اگر اثر بزرگای زلزله لحاظ نگردد و از میانگین نتایج مربوط به کل رکوردهای خاک نوع سه استفاده شود، به ازای زمان‌تناوب‌های کمتر از ۱ ثانیه، ضریب C_R تا بیشینه ۳۰ درصد دست‌بالا تخمین زده می‌شود و به ازای زمان‌تناوب‌های بزرگتر از ۱ ثانیه تقریباً یکسان است. همچنین برای رکوردهای با بزرگای بین ۵/۵ و ۶/۵ در صورت چشمپوشی از اثر بزرگای زلزله، به ازای زمان‌تناوب‌های کمتر از ۱ ثانیه، ضریب C_R تا بیشینه کمتر از ۶۰ درصد دست‌پایین تخمین زده می‌شود و به ازای زمان‌تناوب‌های بزرگتر از ۱ ثانیه

۹- تحلیل رگرسیون غیرخطی

برای طراحی مقاوم در برابر زلزله بر مبنای عملکرد و همچنین بهسازی سازه‌ها در برابر زلزله، لازم است روابط ساده‌ای برای تخمین بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک وارد به سازه از روی بیشینه تغییر مکان الاستیک سامانه یک‌درجه آزادی معادل در اختیار داشته باشیم. در ادبیات فنی رابطه‌های مختلفی برای تخمین نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک C_R منتشر شده است.



الف) رکوردهای با بزرگای گشتاور لرزه‌ای بین ۵ و ۵/۵



ب) برای رکوردهای با بزرگای گشتاور لرزه‌ای بین ۵/۵ و ۶/۵

شکل (۹) میانگین نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک در خاک نوع سه

نشده است. بنابراین:

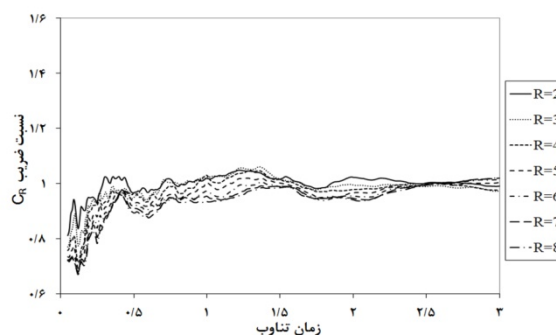
$$C_R = f(T, R, \text{SoilCondition}) \quad (2)$$

برای لحاظ کردن اثر نوع خاک، رابطه C_R به صورت جداگانه برای سه نوع خاک یک، دو و سه محاسبه شده است و همچنین این ضریب به ازای کل رکوردها صرف نظر از جنس خاک هم محاسبه شده است. با ملاحظه نتایج ضریب C_R نسبت به تغییرات زمان تناوب و ضریب کاهش مقاومت مشاهده می‌گردد که اگر زمان تناوب به سمت صفر میل کند، به ازای هر ضریب کاهش مقاومت، ضریب C_R به سمت بی‌نهایت میل می‌کند و مجانب قائم $T = 0$ ملاحظه می‌گردد. همچنین با میل زمان تناوب به سمت بی‌نهایت، به ازای هر ضریب کاهش مقاومت، ضریب C_R به سمت یک میل می‌کند و مجانب افقی $C_R = 1$ پدیدار می‌گردد. با این توضیح به ازای ضریب کاهش مقاومت ثابت، شمای کلی تناسب بین C_R و T به صورت زیر می‌باشد:

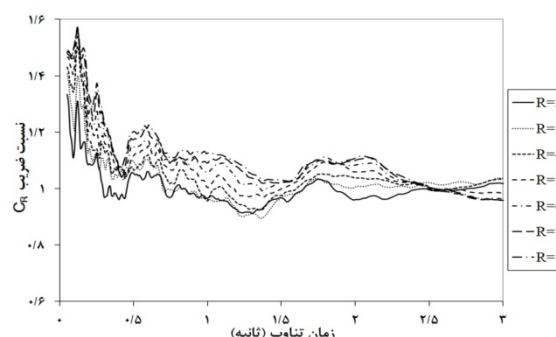
$$\tilde{C}_R \propto \left(\frac{1}{T} + 1\right) \quad (3)$$

در صورتی که تغییرات ضریب C_R نسبت به تغییرات ضریب کاهش مقاومت R هم در رابطه لحاظ گردد، نیازمند رابطه نسبتاً پیچیده‌ای برای حفظ دقت قابل قبول در محاسبه ضریب C_R می‌باشیم و از آن‌جا که هدف ما به دست آوردن رابطه دقیق و ساده توانم می‌باشد لذا به ازای ضرایب کاهش مقاومت مختلف $R = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ ، ضریب $\tilde{C}_R$ محاسبه شده است. بنابراین رابطه زیر برای محاسبه نسبت پیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک سامانه‌های یک‌درجه‌آزاد با مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل پیشنهاد شده است:

$$\tilde{C}_R = \frac{\theta_1}{T^{\theta_2}} + 1 \quad (4)$$



شکل (۱۰-الف) نسبت ضریب C_R محاسبه شده برای رکوردهای با بزرگای گشتاور لرزه‌ای بین ۵ و ۵/۵ بر ضریب C_R محاسبه شده مربوط به کلیه ۱۰۴ رکورد خاک نوع سه



شکل (۱۰-ب) نسبت ضریب C_R محاسبه شده برای رکوردهای با بزرگای گشتاور لرزه‌ای بین ۵/۵ و ۶/۵ بر ضریب C_R محاسبه شده مربوط به کلیه ۱۰۴ رکورد خاک نوع سه

لیکن این روابط عموماً بر اساس نتایج حاصل از رکوردهای سایت آمریکای غربی به دست آمده است، در این مطالعه رابطه‌ای بر مبنای رکوردهای حاصل از زلزله‌های ایران پیشنهاد شده است. بر مبنای نتایج ارائه شده ضریب C_R تابعی از زمان تناوب و ضریب کاهش مقاومت و در حد کمتری تابع جنس خاک، بزرگای زلزله و فاصله از کانون زلزله می‌باشد. از آنجا که تعیین بزرگای زلزله محتمل در منطقه و فاصله از کانون زلزله نیازمند تحلیل خطر و تعیین گسل‌های سایت موردنظر می‌باشد و قصد این مطالعه ارائه رابطه‌ای برای ایران می‌باشد، لذا در این مطالعه، اثرات بزرگای زلزله و فاصله از کانون زلزله در ضریب C_R لحاظ

θ_1 و θ_2 متغیرهایی می‌باشند که تناسب $\tilde{C}_R$ و T را به تساوی تبدیل کرده و برای تحلیل رگرسیون استفاده می‌گردند، که به ازای تغییرات در نوع خاک و ضریب کاهش مقاومت، تغییر می‌کنند. در این مطالعه برای تعیین متغیرهای θ_1 و θ_2 تحلیل رگرسیون غیرخطی در برنامه مطلب با استفاده از الگوریتم گاوس-نیوتن^۱ و روش لونبرگ-مارکوارت^۲ [به نقل از مرجع شماره ۱] انجام شده است. در جدول ۱ متغیرهای θ_1 و θ_2 برای خاک‌های نوع یک، دو، سه و به ازای کل رکوردها صرف نظر از نوع خاک آورده شده است.

جدول (۱) تخمین پارامترهای θ_1 و θ_2 برای رابطه (۴)

	خاک نوع یک		خاک نوع دو		خاک نوع سه		خاک نوع دو سه	
	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2	θ_1	θ_2
R=۲	۰.۰۰۰۱۴	۳.۴۳۶	۰.۰۰۰۲۵	۳.۳۵	۰.۰۰۰۳۳	۳.۵۵۲	۰.۰۰۰۱۳	۳.۷۷۴
R=۳	۰.۰۰۰۷۴	۳.۱۳۶	۰.۰۰۴۱۶	۲.۶۰۹	۰.۰۰۴۹۵	۲.۷۹۱	۰.۰۰۲۴۷	۲.۹۲۶
R=۴	۰.۰۰۵۴۶	۲.۵۵۶	۰.۰۰۱۴۵	۳.۱	۰.۰۰۹۹۹	۲.۶۳	۰.۰۰۴۶۲	۲.۷۸۷
R=۵	۰.۰۰۸۹۴	۲.۴۶۰	۰.۰۰۳۲۶	۲.۸۷۶	۰.۰۱۶۷۱	۲.۴۸۶	۰.۰۰۸۱۳	۲.۶۵۳
R=۶	۰.۰۱۳۸۷	۲.۳۴۷	۰.۰۴۸۹۴	۱.۹۵۴	۰.۰۲۰۹۶	۲.۴۳۳	۰.۰۱۰۶۴	۲.۵۵۹
R=۷	۰.۰۲۸۵۳	۲.۰۸۱	۰.۱۲۵۰۰	۱.۶۳۵	۰.۰۲۵۲۶	۲.۳۷۹	۰.۰۱۳۰۹	۲.۵۲۴
R=۸	۰.۰۱۴۱۴	۲.۳۷۴	۰.۰۰۶۶۴	۲.۶۸۳	۰.۰۲۶۷۵	۲.۳۷۳	۰.۰۱۴۷۸	۲.۵

که در قسمتهای قبلی نتایج مربوط به آن ارائه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود در قسمت زمان تناوب‌های کوچک، ضریب تغییرات داده‌ها تا عدد یک می‌رسد و در قسمت زمان تناوب‌های بزرگ در حدود ۰/۴ می‌باشد. هرچه تعداد رکوردهای مورد استفاده بیشتر باشد، این نوع خطا کاهش می‌یابد که در این مطالعه استفاده از ۲۰۴ رکورد زلزله، مجموعه آماری نسبتاً بزرگ و قابل استنادی را ایجاد کرده است. خطای نوع دوم مربوط به اختلاف بین منحنی هموار شده و داده‌های میانگین می‌باشد که در این مطالعه برای نمایش این خطا، از خطای استاندارد باقیمانده‌ها^۳ و ضریب همبستگی^۴ بین نتایج حاصل از رابطه ۴ و داده‌های میانگین استفاده شده است. خطای استاندارد باقیمانده‌ها (SE) به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$SE(R) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{C}_{R,i} - \tilde{C}_{R,i})^2}{n - n_p}} \quad (5)$$

که در این رابطه $\bar{C}_{R,i}$ معرف میانگین نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک حاصل از نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی برای تأمین زمان تناوب و رکوردهای زلزله می‌باشد و $\tilde{C}_{R,i}$ معرف نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک حاصل از رابطه برای تأمین زمان تناوب می‌باشد. n معرف تعداد داده‌ها می‌باشد که برابر با تعداد زمان تناوب‌ها (۲۹۶ عدد) بوده و n_p بیانگر تعداد پارامترهای رگرسیون (تعداد θ_i) در رابطه ۴ بوده که در این مطالعه برابر ۲ می‌باشد. SE معیاری برای بیان خطای متوسط در مدل می‌باشد که هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده نزدیک‌تر بودن مدل پیشنهادی و داده‌ها می‌باشد. پارامتر

۹-۱- ارزیابی رابطه پیشنهاد شده برای تخمین C_R

دو نوع خطا در مورد استفاده از رابطه ۴ به عنوان تعیین نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک وجود دارد. اولین خطا مربوط به استفاده از میانگین داده‌ها به عنوان نماینده‌ای از نتایج به دست آمده از رکوردهای مختلف می‌باشد و دومین خطا مربوط به برازش منحنی و یک رابطه به میانگین داده‌ها می‌باشد که لزوماً بر داده‌های میانگین منطبق نمی‌باشد، بلکه سعی شده نزدیک به داده‌ها باشد. برای نمایش دادن خطای نوع اول به صورت ریاضی از ضریب تغییرات داده‌ها استفاده شده

3- Standard Error of Residuals
4- Coefficient of Correlation

1- Gauss-Newton
2- Levenberg-Marquardt

استفاده از رکوردهای ثبت شده در فاصله بیش از ۱۵ کیلومتر در خاک‌های نوع یک، دو و سه حاصل شده و بنابراین برای سایت‌های دارای خاک نرم و همچنین سایت‌هایی که ممکن است تحت تاثیر رکوردهای نزدیک گسل با اثر جهت‌پذیری واقع گردند، نمی‌توان مورد استفاده قرار داد.

۱۰- مقایسه رابطه پیشنهادی با FEMA440

در سال ۲۰۰۵، FEMA440، ضرایب جدیدی را برای تعیین تغییر مکان هدف با استفاده از روش ضرایب ارائه کرده است. در این قسمت ضریب C_1 مندرج در FEMA440 با ضریب C_R حاصل از رابطه پیشنهادی مقایسه شده است. نسبت پیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک برای سامانه‌های یک‌درجه‌آزاد با مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل (ضریب C_1) در FEMA440 به صورت زیر تعریف شده است:

$$\left\{ \begin{array}{ll} 1.0 & T_e \geq 1.0 \text{ sec} \\ 1.0 + \frac{R-1}{aT_e^2} & 0.2 \text{ sec} \leq T_e < 1.0 \text{ sec} \end{array} \right. \quad (V)$$

و به ازای زمان تناوب‌های کوچکتر از ۰/۲ ثانیه، ضریب C_1 به ازای زمان تناوب ۰/۲ ثانیه لحاظ گردد. در این رابطه R معرف ضریب کاهش مقاومت، T_e معرف زمان تناوب سامانه یک‌درجه‌آزاد و a به عنوان ضریب ثابت برای بیان اثر نوع خاک بوده و برای خاک نوع B,A برابر ۱۳۰، برای خاک نوع C، ۹۰ و برای خاک نوع F,E,D برابر ۶۰ ارائه شده است. برای امکان مقایسه رابطه پیشنهادی با FEMA440، خاک نوع یک، دو و سه تقریباً معادل D,C,B در نظر گرفته شده است.

دیگری که در این مطالعه محاسبه شده، ضریب همبستگی داده‌ها ρ می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\rho = \frac{\text{Cov}(\bar{C}_R, \tilde{C}_R)}{\sigma(\bar{C}_R)\sigma(\tilde{C}_R)} \quad (VI)$$

در این رابطه $\text{Cov}(\bar{C}_R, \tilde{C}_R)$ کوواریانس بین $\bar{C}_R$ و $\tilde{C}_R$ بوده و $\sigma(\bar{C}_R)$ و $\sigma(\tilde{C}_R)$ به ترتیب انحراف معیار $\bar{C}_R$ و $\tilde{C}_R$ می‌باشد. هرچه ρ به یک نزدیک‌تر باشد، مدل برازش شده به داده‌ها نزدیک‌تر می‌باشد. جدول ۲ نتایج مربوط به محاسبه SE و ρ را برای خاک‌های نوع یک، دو و سه و همچنین کل ۲۰۴ رکورد به ازای ضرایب کاهش مقاومت $R = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ ، نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب همبستگی بین داده‌های میانگین و نتایج حاصل از رابطه ۴ بسیار نزدیک به یک می‌باشد و همچنین مقادیر خطای استاندارد باقیمانده‌ها هم نسبتاً کوچک می‌باشد. این مشاهدات بیانگر مدل برازش شده مطلوب برای داده‌های میانگین می‌باشد.

جدول (۲) خطای ناشی از استفاده رابطه پیشنهادی و مقادیر مندرج در

جداول (۲) و (۳)

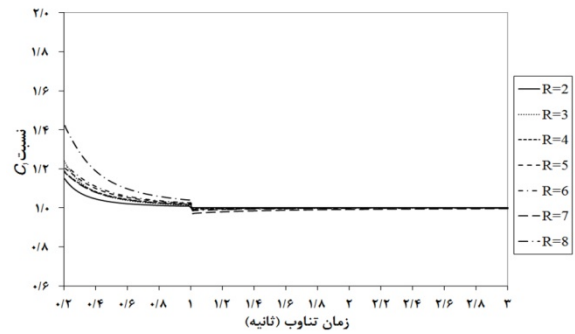
	خاک یک		خاک دو		خاک سه		خاک یک، دو، سه	
	SE	ρ	SE	ρ	SE	ρ	SE	ρ
R=۲	۰.۰۶۳۵	۰.۹۹۴۳	۰.۲۱۹۳	۰.۹۸۵۵	۰.۰۴۰۳	۰.۹۹۹۵	۰.۰۱۵۵	۰.۹۹۹۶
R=۳	۰.۱۲۶۹	۰.۹۹۵۸	۰.۲۴۴۱	۰.۹۹۵۹	۰.۰۵۳۸	۰.۹۹۹۸	۰.۰۳۹۶	۰.۹۹۹۴
R=۴	۰.۱۴۱۷	۰.۹۹۷۳	۰.۱۹۹۵	۰.۹۹۸۶	۰.۰۴۶۲	۰.۹۹۹۹	۰.۰۳۷۸	۰.۹۹۹۷
R=۵	۰.۱۸۱۳	۰.۹۹۶۹	۰.۲۰۶۱	۰.۹۹۸۹	۰.۰۴۹۷	۰.۹۹۹۹	۰.۰۶۰۹	۰.۹۹۹۳
R=۶	۰.۲۰۵۸	۰.۹۹۶۸	۰.۳۱۸۸	۰.۹۹۷۸	۰.۰۶۴۳	۰.۹۹۹۹	۰.۰۶۸۱	۰.۹۹۹۳
R=۷	۰.۲۰۹۹	۰.۹۹۷۱	۰.۱۹۲۲	۰.۹۹۹۲	۰.۰۸۶۵	۰.۹۹۹۸	۰.۰۴۶۲	۰.۹۹۹۷
R=۸	۰.۰۸۶۳	۰.۹۹۹۵	۰.۶۴۰۰	۰.۹۹۱۹	۰.۱۱۵۸	۰.۹۹۹۴	۰.۰۳۴۷	۰.۹۹۹۸

بنابراین از رابطه ۴ برای محاسبه نسبت پیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک سامانه‌های یک‌درجه‌آزاد با مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل می‌توان استفاده نمود. اشاره به این مطلب حائز اهمیت می‌باشد که رابطه پیشنهاد شده با

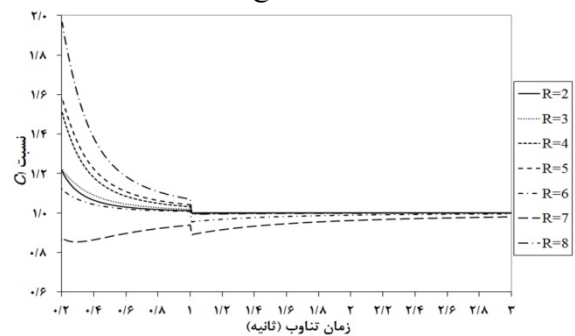
حدود ۱۰ درصد دست‌پایین تخمین می‌زنند. در بازه زمان تناوب ۰/۲ ثانیه الی ۱ ثانیه، روند کلی حکایت از تخمین دست‌بالای FEMA440 نسبت به رابطه پیشنهادی دارد. در این بازه، با افزایش زمان تناوب، نسبت دو رابطه کاهش یافته و به سمت ۱ نزدیک می‌گردد. در خاک نوع یک استفاده از FEMA440 در مقایسه با رابطه پیشنهادی، منجر به تخمین دست‌بالای ضریب C_1 تا بیشینه ۴۰ درصد می‌گردد. برای خاک نوع دو به دلیل تعداد کمتر رکورد ثبت شده، نتایج دارای پراکندگی بیشتری است و به جز برای $R=7$ ، استفاده از FEMA440 باعث تخمین دست‌بالای ضریب C_1 تا بیشینه ۹۰ درصد می‌شود. در خاک نوع سه هم FEMA440 تا بیشینه ۷۵ درصد، ضریب C_1 را دست‌بالا تخمین می‌زنند.

۱۱- نتایج

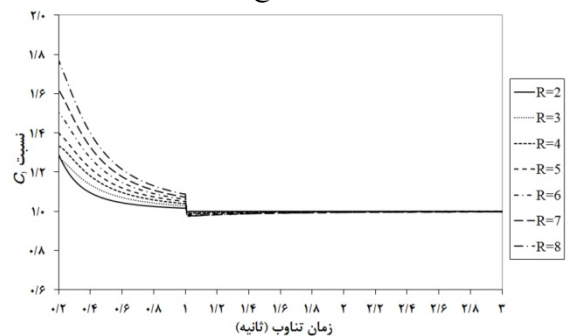
(۱) در محدوده زمان تناوب‌های کوچک، بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک سامانه به طور کلی بزرگتر از بیشینه تغییر مکان الاستیک سامانه می‌باشد. در این محدوده، نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک به طور عمده تابعی از زمان تناوب (T) و ضریب کاهش مقاومت (R) می‌باشد، به نحوی که این نسبت با افزایش ضریب کاهش مقاومت و کاهش زمان تناوب نوسانات، افزایش می‌یابد. برای زمان تناوب‌های بزرگ (حدوداً بزرگتر از یک ثانیه)، بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک سامانه تقریباً معادل بیشینه تغییر مکان الاستیک سامانه می‌باشد. بنابراین در نمودارهای مرتبط با ضریب C_R (نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک) دو مجانب می‌توان متصور شد، یک مجانب قائم به ازای $T = 0$ که با نزدیکی T به سمت صفر، ضریب C_R به سمت بی‌نهایت میل می‌کند و دیگری مجانب افقی به ازای $C_R = 1$ می‌باشد که با نزدیکی T به سمت بی‌نهایت،



الف) خاک نوع یک



ب) خاک نوع دو



ج) خاک نوع سه

شکل (۱۱) نسبت ضریب C_1 مندرج در FEMA440 به ضریب C_1

حاصل از رابطه پیشنهادی

با توجه به توضیحات بالا، به جهت این که اختلاف‌های بین دو رابطه، به صورت گویاتر مشاهده شود، در شکل ۱۱ نسبت ضریب C_1 مندرج در FEMA440 به ضریب C_1 حاصل از رابطه پیشنهادی نشان داده شده است. در بازه زمان تناوب بزرگتر از ۱ ثانیه، ضریب C_1 حاصل از رابطه پیشنهادی و FEMA440 تقریباً با هم معادل هستند و فقط در خاک نوع دو به ازای زمان تناوب ۱ ثانیه، FEMA440، در

C_R به سمت یک نزدیک می‌گردد.

۲) ضریب تغییرات (کواریانس) نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک، در محدوده زمان‌تناوب‌های کوچک (حدوداً کوچکتر از 0.3 ثانیه)، با کاهش زمان‌تناوب و افزایش ضریب کاهش مقاومت به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد که در نتیجه، به ازای زمان‌تناوب‌های کوچک و ضریب کاهش مقاومت بالا، پراکندگی داده‌ها نسبتاً قابل توجه می‌باشد و کواریانس داده‌ها تا بیشینه یک می‌رسد. در محدوده زمان‌تناوب‌های بزرگ، ضریب تغییرات با افزایش ضریب کاهش مقاومت، افزایش می‌یابد لیکن در این قسمت تغییرات زمان‌تناوب سازه، تاثیر چندانی روی کواریانس داده‌ها ندارد و بیشینه مقدار کواریانس در حدود 0.4 می‌باشد.

۳) اثر نوع خاک روی نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک، به ازای زمان‌تناوب‌های بزرگتر از $1/5$ ثانیه ناچیز می‌باشد. چشمپوشی از اثر نوع خاک در محاسبه نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک، در محدوده تقریبی زمان‌تناوب‌های 0.4 تا $1/5$ ثانیه باعث ایجاد خطا تا بیشینه 20 درصد و در محدوده زمان‌تناوب‌های کمتر از 0.4 ثانیه تا بیشینه 40 درصد در تخمین ضریب C_R ، خطا ایجاد می‌کند.

۴) زمان‌تناوبی که نمودار را به دو قسمت تقسیم می‌کند (قسمتی با ضریب C_R بزرگتر از یک و قسمت دیگر ضریب C_R تقریباً برابر یک)، به طور جدی وابسته به ضریب کاهش مقاومت می‌باشد و با افزایش ضریب کاهش مقاومت، افزایش می‌یابد.

۵) چشمپوشی از اثر فاصله تا کانون زلزله در تخمین بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک، برای زمان‌تناوب‌های کوچکتر از یک ثانیه، تا بیشینه حدود 20 درصد باعث ایجاد خطا می‌گردد و با افزایش ضریب کاهش مقاومت،

میزان خطای ناشی از چشمپوشی از اثر فاصله تا کانون زلزله بیشتر می‌گردد. همچنین برای زمان‌تناوب‌های بزرگتر از یک ثانیه، این چشمپوشی خطای چندانی ایجاد نمی‌کند. ۶) چشمپوشی از اثر بزرگای زلزله در تخمین بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک برای زمان‌تناوب‌های کوچکتر از یک ثانیه، تا بیشینه کمتر از 60 درصد باعث ایجاد خطا می‌گردد و با افزایش ضریب کاهش مقاومت، میزان خطا بیشتر می‌گردد. همچنین برای زمان‌تناوب‌های بزرگتر از یک ثانیه، این اغماض، خطای چندانی ایجاد نمی‌کند.

۷) با استفاده از تحلیل رگرسیون غیرخطی، رابطه ساده شده‌ای برای تخمین نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک بر اساس نتایج میانگین داده‌ها پیشنهاد شده است. ارزیابی خطا، نشان‌دهنده تقریب مناسب رابطه پیشنهادی برای محاسبه نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک برای سامانه‌های یک‌درجه‌آزاد با مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل روی خاک سخت می‌باشد.

۱۲- مراجع

- [1] Ruiz-García Jorge., Miranda Eduardo.; "Performance-Based Assessment of Existing Structures Accounting for Residual Displacements [Technical Report] ", John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No.153, Stanford University, 2005.
- [2] Miranda Eduardo; "Inelastic Displacement Ratios for Structures on Firm Sites"; Journal of Structural Engineering; 126, No.10, 2000, 1150-1159.
- [3] Baez Jose.I., Miranda Eduardo; "Amplification Factors to Estimate Inelastic Displacement Demands for the Design of Structures in the Near Field"; Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering; New Zealand, 2000.
- [4] Ruiz-García Jorge., Miranda Eduardo; "Inelastic Displacement Ratios for Design of Structures on Soft Soils Sites"; Journal of Structural

[۱۱] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)؛ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم، ۱۳۸۳.

[۱۲] سینائیان فریدون؛ جنبش شدید زمین در ایران از کاتالوگ تا رابطه های کاهندگی؛ پایان نامه دکتری، تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۵.

[۱۳] پارسائیان سیدمهدی؛ ارزیابی نسبت بیشینه تغییر مکان غیرالاستیک به الاستیک مندرج در آیین نامه بهسازی با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۸.

Engineering; 130, No.12, 2004, 2051-2061.

[۵] پارسائیان سیدمهدی؛ بررسی پارامترهای ضرایب تغییر مکان در رابطه تغییر مکان هدف دستورالعمل بهسازی؛ سمینار کارشناسی ارشد، تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۶.

[6] Federal Emergency Management Agency. Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA273. 1997.

[7] Federal Emergency Management Agency. Prestandard and Commentary on the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA356. 2000.

[8] Federal Emergency Management Agency. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA440. 2005.

[9] ASCE 41-06. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers. 2006.

[۱۰] دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود (نشریه شماره ۳۶۰)، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، ۱۳۸۵.