

**ضریب کاهش مقاومت مبتنی بر آسیب برای ساختارهای غیرخطی در معرض حرکات زمین از نوع توالی**

**چکیده**

این مقاله ضریب کاهش مقاومت سیستم با یک درجه آزادی (SDOF) را که در معرض حرکات زمنینی توالی نوع لرزه اصلی – پس­لرزه قرار دارد، بررسی می­کند. هم شکل­پذیری جابجایی و هم آسیب تجمعی در ضریب کاهش درنظر گرفته می­شوند. ثبت زلزله­های اصلی و پس­لرزه جمع آوری و برطبق ویژگی­های مکان طبقه­بندی شده­است. حرکات زمین پس­لرزه به طور متوالی به پنج سطح شدت نسبی مقیاس­بندی شده­اند. براساس تحلیل زمان تاریخ غیرخطی سیستم­های SDOF، اثرات دوره طبیعی، ضریب شکل­پذیری، شاخص آسیب و پس­لرزه به طور آماری مطالعه شده­است. نتایج نشان می­دهند که حرکت زمین پس­لرزه تاثیر چشمگیری بر فاکتورهای کاهش مقاومت دارد و ضریب کاهش مقاومت مبتنی بر آسیب حدودا 0.6 – 0.9 برابر ضریب کاهش مقاومت مبتنی بر شکل­پذیری می­باشد. سرانجام، یک بیان تجربی برای ضریب کاهش مقاومت به وسیله تحلیل رگرسیون ایجاد شده­است.

**کلید واژه ها:** عامل کاهش قدرت طیف پاسخ غیر ارتجاعی شاخص خسارت حرکت زمین از نوع توالی وضعیت سایت

**.1مقدمه**

بر طبق آمار، تقریبا 88% زلزله­های قوی با پس­لرزه همراه بوده­اند. پس­لرزه به عنوان زلزله کوچک پس از زلزله اصلی تعریف می­شود، که بزرگترین زلزله در دنباله می­باشد. آسیب ساختاری ناشی از زلزله اصلی تحت پس لرزه­ها شدیدتر می­شود و حتی می­تواند منجربه فروریختن ساختاری شود. زلزله­های نیوزیلند در سال 2010 [1] و نپال در سال 2015 [2] هر دو حرکات زمین لرزه اصلی و پس­لرزه تجربه شد، و این دو مورد مثال­هایی مناسب برای چرایی اهمیت موضوعات حرکات زمین توالی نوع در مرحله طراحی ساختاری می­باشند. در سال­های اخیر، محققان اثر زمین لرزه را از جنبه­های مختلفی بررسی کردند. برخی مطالعات اثرات حرکات زمین توالی نوع را در طیف غیرالاستیک مانند طیف ضریب کاهش مقاومت [3, 4]، طیق آسیب [5]، طیف ضریب شکل­پذیری [6, 7] و غیره بررسی کردند. دیگر مطالعات بر تغییرات پاسخ ساختاری، برای مثال، ساختمان­های قاب فولادی [8] و قاب RC [9]، تحت حرکات زمین توالی نوع تمرکز کرده­اند. تمامی نتایج به وضوح جابجایی اوج بزرگتر یا افزایش آسیب ساختاری ناشی از حرکات زمین توالی نوع را نسبت به زلزله اصلی نشان می­دهند. اثر پس لرزه نبایستی در مرحله طراحی ساختاری نادیده گرفته شود.

اصول طراحی لرزه­ای کنونی شامل تحلیل رفتار الاستیک – پلاستیک سازه تحت زلزله­های متوسط/نادر می­باشد. چون مقاومت طراحی بیشتر سازه­ها معمولا بسیار کمتر از حداقل مقاومت موردنیاز برای حفظ مرحله الاستیک تحت زلزله­های قوی می­باشد، اغلب ضریب کاهش برای کاهش تقاضای مقاومت الاستیک بکار می­رود و به موجب آن تقاضای مقاومت الاستیک – پلاستیک سازه بدست می­آید. تحلیل نظری و مطالعات تجربی ضرایب کاهش مقاومت نشان داده­است که شکل­پذیری ساختار یک اثر چشمگیر بر ضریب کاهش مقاومت دارد. ضریب شکل­پذیری جابجایی به ارزیابی میزان آسیب سازه [10 – 12] کمک می­کند. بنابراین، ضریب کاهش مقاومت مبتنی بر شکل­پذیری را می­توان چنین تعریف کرد:



که درآن مقاومت تسلیم موردنیاز برای حفظ سازه در مرحله الاستیک می­باشد، و مقاومت تسلیم موردنیاز برای حفظ تقاضای شکل­پذیری سازه است که برابر با مقدار شکل­پذیری یک هدف معین می­باشد.

علاوه برآن، آسیب تجمعی چرخه­های پسماند غیرخطی نیز یک نقش مهم در تعیین سطح آسیب سازه ایفا می­کند. برخی مطالعات نشان دادند که آسیب تجمعی را می­توان برای تصحیح ظرفیت شکل­پذیری، مانند روش شکل­پذیری معادل [13] یا معرفی ضریب شکل­پذیری وزنی [14] لحاظ کرد. این روش­ها به طور غیرمستقیم اثر آسیب تجمعی را لحاظ می­کنند. برخی دیگر از مطالعات آسیب تجمعی را به طور مستقیم با بکارگیری مدل آسیب در تعیین تقاضای لرزه برای یک سطح آسیب مشخص یا سطح عملکردی معین درنظر گرفتند.

بنابراین ضریب کاهش مقاومت بدست آمده در این روش به عنوان ضریب کاهش مقاومت مبتنی بر آسیب اشاره می­شود [15] که چنین نوشته می­شود:



که درآن تقاضای مقاومت غیرالاستیک برای محدودکردن پاسخ غیرالاستیک سازه به سطح آسیب مشخص برای ظرفیت شکل­پذیری معین می­باشد. در این مطالعه، سطوح عملکردی سازه با استفاده از شاخص آسیب به منظور لحاظ آسیب تجمعی سازه تعریف می­شوند.

همان­طور که در بالا ذکرشد که پس لرزه آسیب سازه را تشدید می­کند، با این حال، ضریب کاهش مقاومت مبتنی بر آسیب اثر حرکات زمین پس­لرزه را بازتاب نمی­کند. از این منظر، مطالعه حاضر این موضوع را از طریق محاسبات عددی گسترده در سیستم SDOF غیرخطی که در معرض حرکات زمین توالی نوع می­باشد، بررسی می­کند. بخش 2 رکوردها (موارد ثبت­شده) حرکت زمین زمین لرزه و پس لرزه واقعی را جمع آوری می­کند که برای بررسی بسیار ضروری می­باشند. سپس رکوردهای جمع آوری­شده برطبق شرایط مکان به دسته­های مختلف تقسیم بندی می­شوند. بخش 3 سطح عملکردی و پارامترهای محاسباتی مورد استفاده در محاسبه را تعریف می­کند. در بخش 4، تحلیل تاریخ زمانی الاستیک – پلاستیک گسترده سیستم SDOF غیرخطی با پارامترهای مختلف به منظور تعیین برای دو مورد، یعنی، زمین لرزه اصلی و زمین لرزه به همراه پس لرزه انجام می­شود. اثر ضریب شکل­پذیری، شاخص آسیب و برخی دیگر از پارامترها در نیز در بخش 5 از طریق مطالعات پارامتریک بررسی می­شوند. سرانجام، یک فرمول تجربی برای ضریب کاهش مقاومت مبتنی بر آسیب در بخش 6 ارائه شده­است.

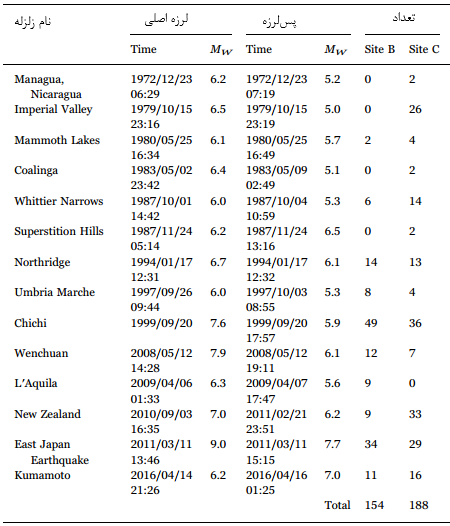
**.2رکوردها و طبقه­بندی حرکات زمین توالی نوع**

رکورد حرکت زمین توالی نوع معمولا شامل یک رویداد لرزه اصلی و یک یا چند رویداد پس­لرزه می­باشد، که زمین­لرزه (تنها لرزه اصلی)، ترتیبی از دو زلزله (لرزه اصلی بعلاوه یک پس­لرزه)، ترتیبی از سه زلزله (لرزه اصلی بعلاوه دو پس­لرزه) و غیره می­باشد. سناریو لرزه اصلی بعلاوه یک پس­لرزه معمولا در مطالعات قبلی درنظر گرفته شده­است [5, 7, 8]. نتایج آن­ها نشان می­دهد که زلزله دو دنباله اطلاعات ارزشمندی را درباره اثر پس­لرزه فراهم می­کند. بنابراین، حرکت زمین توالی نوع در این مطالعه به عنوان یک لرزه اصلی بعلاوه یک پس­لرزه مشخص می­شود.

برای ایجاد حرکت زمین از دو رویداد زلزله، می­توان دو حرکت زمین مصنوعی [5] یا یک رکورد زلزله را با تکرار آن متصل کرد [16]. با این حال، این کاربرد از حرکات مصنوعی مصنوعی، ممکن­است منجر به فرابرآورد (برآورد بیش از حد) مهم از حداکثر تقاضای رانش جانبی شود [17]. درجه فرابرآورد به دلیل ماهیت تصادفی شبیه­سازی حرکت زمین مصنوعی مبتنی بر مورد می­باشد. از طرفی، روش زلزله تکراری درواقع فرض می­کند که لرزه اصلی و پس­لرزه چگالی طیف قدرت یکسانی را دارا می­باشند که ممکن­است برای شرایط واقعی قابل دفاع نباشد. برای اجتناب از مشکلات بالا، این مطالعه از رکوردهای زلزله واقعی در مرکز تحقیقات مهندسی زلزله اقیانوس آرام (PEER) [18] و شبکه­های لرزه نگار حرکت قوی (K-NET, KiK-net) [19] به منظور ایجاد حرکت زمین توالی نوع با استفاده از مراحل و معیارهای زیر استفاده می­کند: 1- جمع آوری رکوردها از ایستگاه­های لرزه نگاری واقع­شده در زمین آزاد یا ساختمان­های کم ارتفاع برای اجتناب از اثرات احتمالی تعامل خاک – سازه؛ 2- در بین تمامی رکوردها از یک ایستگاه و از یک رویداد، رکوردی که اول رخ داده­است و دارای حداکثر شتاب زمین (شتاب اوج) (PGA) بزرگتر از 0.10g است، به عنوان لرزه اصلی درنظر گرفته می­شود، و رکوردی که دارای دومین PGA بزرگ می­باشد و PGA آن بزرگتر از 0.05g است، به عنوان پس­لرزه درنظر گرفته می­شود؛ 3- قدر (بزرگی) زلزله لرزه اصلی و پس­لرزه به ترتیب بزرگتر از 0.6 و 0.5 می­باشد؛ 4- اتصال لرزه اصلی و پس­لرزه انتخابی با شکاف زمانی 100 s در بین آن­ها، که برای توقف ارتعاشات ساختاری ناشی از لرزه اصلی کافی می­باشد؛ 5- طبقه­بندی حرکات زمین توالی نوع برطبق روش طبقه­بندی مکان تحقیقات جغرافیایی ایالات متحده.

به طور کلی، ما 342 رکورد حرکت زمین توالی نوع را برای کلاس­های مکان B و C تشکیل دادیم که در جدول 1 لیست شده­است. تعداد رکوردهای واجد شرایط برای کلاس­های مکان A و D برای تشکیل یک تحلیل آماری معنی­دار بسیار کم می­باشند. برای تحلیل بیشتر، PGA لرزه اصلی تمامی رکوردهای حرکت زمین توالی نوع انتخابی در مقدار دقیق 0.2g درجه­بندی شدند.

شکل 1: تعداد حرکات زمین توالی نوع ثبت­شده مورد استفاده در این مقاله



حداکثر شتاب نسبی زمین از حرکت زمین پس­لرزه چنین تعریف می­شود:



که درآن ، PGA حرکت زمین پس­لرزه، حداکثر شتاب زمین حرکت زمین لرزه اصلی می­باشد. پارامتر به منظور نشان دادن سطح شدت نسبی پس­لرزه نسبت به لرزه اصلی معرفی شده­است. شدت پس­لرزه معمولا کوچکتر از شدت لرزه اصلی می­باشد. با این حال، شتاب زمین پس­لرزه با شدت بیشتر نسبت به شدت حرکات زمین لرزه اصلی در رکوردهای زلزله واقعی موجود می­باشد. بنابراین به منظور مطالعه اثر شدت نسبی پس­لرزه بر ضریب کاهش مقاومت، پنج سطح در این مطالعه درنظر گرفته شده­اند که عبارتند از:

.

**.3پارامترها و روندهای محاسباتی**

**3.1: تعریف سطح عملکردی و مقادیر حدی متناظر**

جابجایی افقی یا رانش طبقه پارامترهای مشترک مورد استفاده در سطوح عملکردی در طراحی ساختاری مبتنی بر عملکرد و ارزیابی می­باشند. با این حال، آسیب ساختاری تحت یک زلزله شکل­های مختلفی را به خود می­گیرد و میزان آسیب سازه ممکن­است به طور کامل با حداکثر تغییرشکل یا رانش طبقه تنها بازتاب نشود. به همین دلیل است که می­بایست شاخص­های منطقی به منظور ارزیابی میزان آسیب سازه بکار برده­شود. حداکثر تغییرشکل یک سازه و انرژی پسماند آن فاکتورهای اصلی برای تعیین کمی آسیب سازه می­باشند. براساس مدل مشهور ParkAng [22]، در این­جا مدل تصحیح­شده پیشنهادی توسط Kunnath et al. [23] به منظور ارزیابی آسیب سازه­ها بکار برده می­شود، که چنین می­باشد:



که درآن D شاخص آسیب، ضریب شکل­پذیری هنگامی که سازه تحت حرکت زمین زلزله به حداکثر تغییرشکل الاستیک – پلاستیک می­رسد، ضریب شکل­پذیری وقتی سازه تحت بارگذاری یکنواخت شکست می­خورد، مقاومت تسلیم، جابجایی تسلیم، اتلاف انرژی پسماند انباشته تحت حرکت زمین زلزله، و یک پارامتر ثابت می­باشد که نسبت آسیب تجمعی حاصل از انرژی پسماند را نشان می­دهد. Negro [24] مقادیر معمول مرتبط با رفتار کلی سازه­ها را از طریق ارزیابی وبرآورد تجربی، ارزیابی کرد. برای سازه با شکل­پذیری بالا، باید مقادیر کم را به خود بگیرد، و برعکس. در این مطالعه، به منظور نشان دادن طراحی شکل­پذیر پایه برابر با 0.1 درنظر گرفته شده­است.

برای ارتباط سطوح عملکردی با شاخص آسیب حاصل از مدل Park-Ang پیشنهادی، ابتدا می­بایست سطوح عملکردی و محدوده شاخص آسیب تعیین شوند. چهار سطح عملکردی، به نام عملیاتی، اشغال فوری، ایمنی زندگی، و جلوگیری از فروریختگی، توسط FEMA-356 [25] به منظور توصیف حالات آسیب ساختاری پیشنهاد شده­اند. مجموعه بزرگی از آسیب ساختاری لرزه­ای مشاهده شده­است، که به منظور کالیبره کردن شاخص آسیب در معادله (4) بکار می­روند؛ این امر نشان می­دهد که D=(0.2–0.5) مرز آسیب قابل تعمیر و آسیب غیر قابل تعمیر است در حالی­که مقدار D نزدیک به صفر الاستیسیتی بدون آسیب را نشان می­دهد. بنابراین، یک سطح عملکردی اضافی به نام کنترل آسیب بین اشغال فوری و ایمنی زندگی [26] پیشنهاد شد. محدوده شاخص­های آسیب برای هر سطح عملکردی در جدول 2 لیست شده­است.

جدول 2: محدوده شاخص آسیب برای سطوح عملکردی مختلف

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| سطح عملکردی | درجه آسیب | محدوده شاخص آسیب |
| عملیاتی | قابل چشم­پوشی | 0 < D < 0.1 |
| اشغال فوری | جزئی | 0.1 < D < 0.2 |
| کنترل آسیب | متوسط | 0.2 < D < 0.5 |
| ایمنی زندگی | شدید | 0.5 < D < 0.8 |
| جلوگیری از ریزش | نزدیک به سقوط | 0.8 < D < 1.0 |
| تلفات ساختمان | سقوط | 1.0 < D |

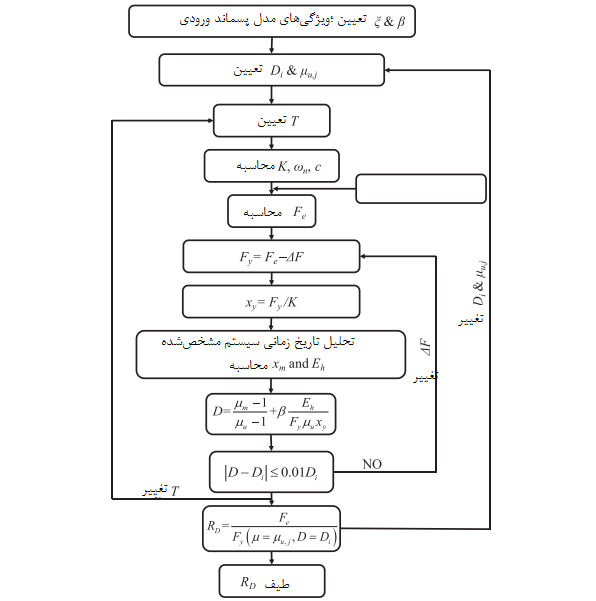
**3.2: روش تحلیل و پارامترهای سازه­ای**

معادله تعادل دینامیک سیستم SDOF غیرخطی که در معرض زلزله می­باشد، با رابطه زیر داده می­شود:



که درآن c ضریب میرایی، نیروی بازگرداننده­ی سازه، x جابجایی نسبی، و جابجایی زمین می­باشد.

برطبق تعریف ضریب کاهش مقاومت در معادله (2)، محاسبه طیف توسط معادله (4) وقتی دوره، نسبت میرایی و مدل نیروی بازگرداننده سیستم SDOF مشخص می­باشد، امکان­پذیر است. شکل 1 فلوچارت (نمودار گردشی) محاسباتی را برای تعیین طیف­های نشان می­دهد. برای هر گونه ورودی حرکت زمین، با کاهش تدریجی مقاومت از مقاومت الاستیک متناظر تحت شکل­پذیری معین تا زمانی که D مشخص­شده در محدود تلورانس 1% حاصل شود، محاسبه می­شود. سپس، مجموعه­ای از ضرایب کاهش مقاومت برای سیستم SDOF با ضرایب شکل­پذیری و شاخص­های آسیب مختلف را می­توان با محاسبه دوره­های مختلف و حرکات زمین، که طیف­های را تشکیل می­دهند، بدست آورد.

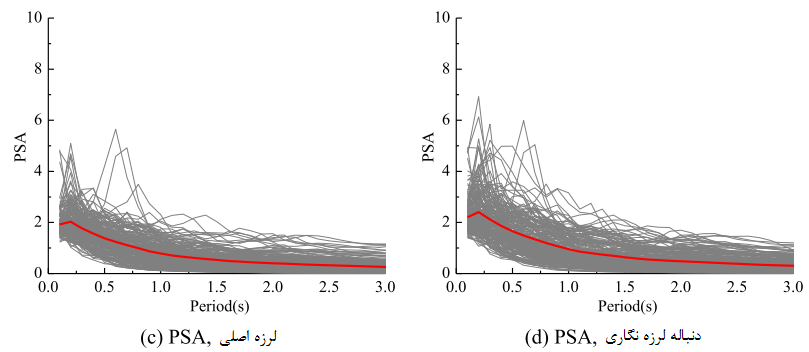
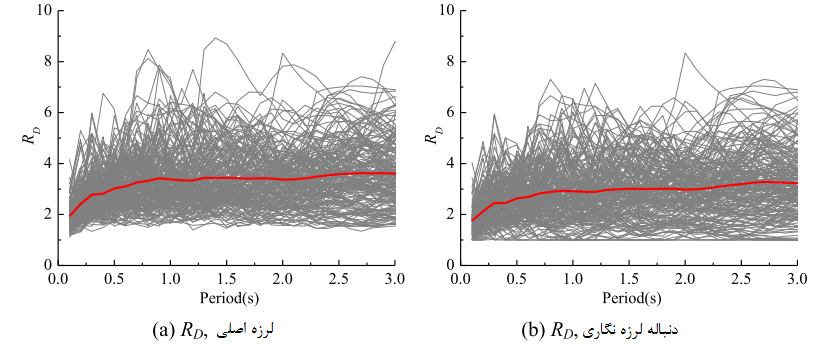


شکل 1: نمودار گردشی برای محاسبه ضریب

برای مطالعه جامع ضریب تحت زلزله تنها و زلزله­های توالی نوع، مجموعه­ای از سیستم­های SDOF در محاسبه بکار گرفته شده­اند. مدل پسماند مورد استفاده در این مطالعه، مدل پلاستیک کاملا الاستیک، به دلیل رابطه سازنده ساده آن می­باشد. دوره طبیعی سیستم SDOF از 0.1 تا 0.3 s با بازه 0.1 s متغیر می­باشد و نسبت میرایی آن نیز 5% فرض می­شود. پنج ضریب شکل­پذیری به منظور درنظر گرفتن عملکرد شکل­پذیری مختلف، و پنج شاخص آسیب D=0.1, 0.2, 0.5, 0.8, 1.0 نیز برای لحاظ سطح آسیب مختلف انتخاب شده­اند.

**.4میانگین ضرایب کاهش مقاومت**

با استفاده از روند توصیف­شده، در مجموع 513000 ضریب کاهش مقاومت، متناظر با سیستم­های SDOF با 30 دوره تحت پنج سطح مختلف از شکل­پذیری و پنج سطح مختلف از شاخص آسیب محاسبه شد، سیستم در معرض 342 حرکت زمین لرزه اصلی و 342 حرکت زمین پس لرزه قرار گرفته­شد. نتایج به طور آماری برطبق دوره، شکل­پذیری، شاخص آسیب سیستم و شرایط مکانی که درآن رکوردها ثبت شدند، تجزیه وتحلیل شد. برای مثال، شکل 2 به ترتیب منحنی­های محاسبه شده و منحنی­های شتاب­های شبه فضایی (PSA) را برای ، D=10 و کلاس مکان C برای لرزه اصلی و دنباله لرزه نگار را نشان می­دهد. طیف میانگین آن­ها نیز در خطوط برجسته رسم شده­است. به دلیل محدودیت فضایی، تنها نتایج اصلی در بخش­های زیر نشان داده شده­است، با این حال دیگر موارد نتایج مشابهی را دارند که نشان داده نشده­اند.

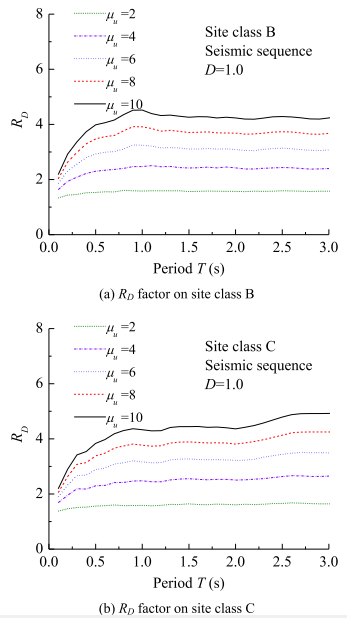


شکل 2: شبه شتاب­های فضایی (PSA) و ضریب (کلاس مکان C، D=0.1 و ) (a) ، لرزه اصلی، (b)، دنباله لرزه نگاری، (c) PSA، لرزه اصلی، (d) PSA، دنباله لرزه نگاری.

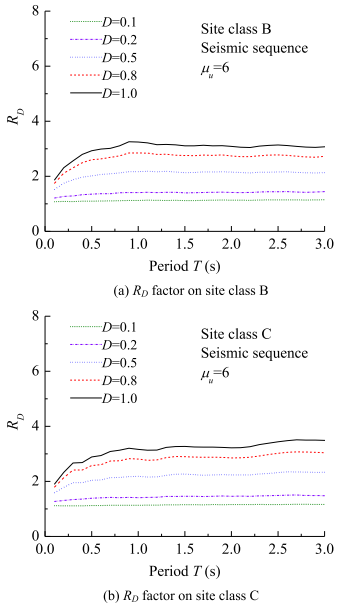
طیف میانگین سیستم­های SDOF با کلاس­های شکل­پذیری مختلف و شاخص­های آسیب برای دو کلاس که در معرض حرکات زمین لرزه اصلی و حرکات زمین لرزه اصلی – پس­لرزه با می­باشند، در شکل­های 3 و 4 نشان داده شده­است. همان­طور که در این دو شکل نشان داده شده­است، ضریب صرف نظر از شکل­پذیری، شاخص آسیب، شرایط مکان و نوع حرکات زمین روند مشابهی را نشان می­دهند. ضریب با افزایش دوره سیستم افزایش می­یابد، تغییرات در ناحیه با دوره کوتاه (0–1.0 s) بسیار چشمگیر می­باشد. در ناحیه با دوره بلند (1.0–3.0 s)، ضریب تقریبا مستقل از دوره است و براساس شکل­پذیری و شاخص آسیب نزدیک به یک مقدار ثابت می­باشد.

برای یک شاخص آسیب معین، میانگین با افزایش ضریب شکل­پذیری افزایش می­یابد. می­توان گفت که، تقاضای مقاومت سازه­ها با شکل­پذیری بالا کمتر از مورد سازه­های با شکل­پذیری ضعیف می­باشد. این امر نشان می­دهد که سازه­های با شکل­پذیری کافی قادر به تحمل درجه مشخصی از آسیب ناشی از زلزله می­باشند. شکل­پذیری اثر چشمگیری بر دارد. برای مثال، متوسط اختلاف بین میانگین با و برای سازه­های با D=0.1 در کلاس مکان B که در معرض حرکات زمین توالی نوع می­باشد، حدودا 34% می­باشد.

برای یک ضریب شکل­پذیری معین، میانگین با افزایش شاخص آسیب هدف افزایش می­یابد. این امر نشان می­دهد که برای دو سازه که در معرض حرکات زمین یکسانی هستند، آسیب سازه با مقاومت بالا کمتر از آسیب سازه با مقاومت کمتر می­باشد. اثر شاخص آسیب بسیار قابل توجه است. برای مثال، متوسط اختلاف بین میانگین با D=0.2 و 0.5 برای سازه با در کلاس B که در معرض حرکات زمین توالی نوع می­باشد، تقریبا 31% می­باشد.

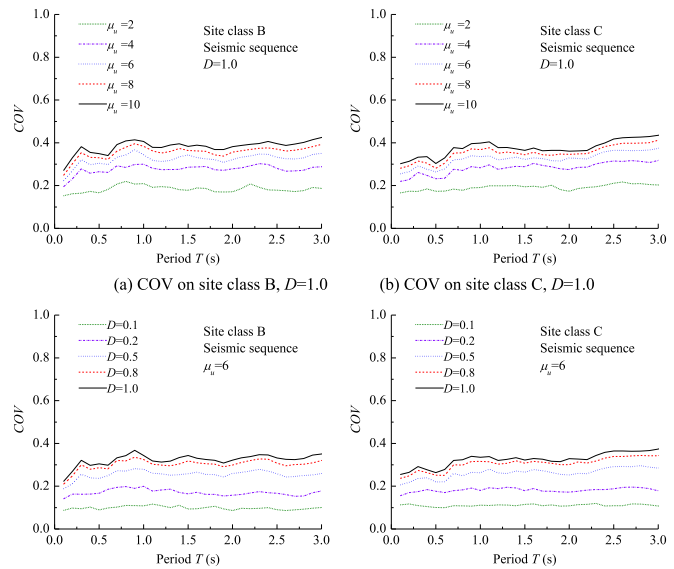


شکل 3: اثر شکل­پذیری بر ضریب ، D=1.0، ، (a) ضریب در کلاس مکان B (b) ضریب در کلاس مکان C



شکل 4: اثر شاخص آسیب بر روی ضریب ، ، (a) ضریب در کلاس مکان B، (b) ضریب در کلاس مکان C

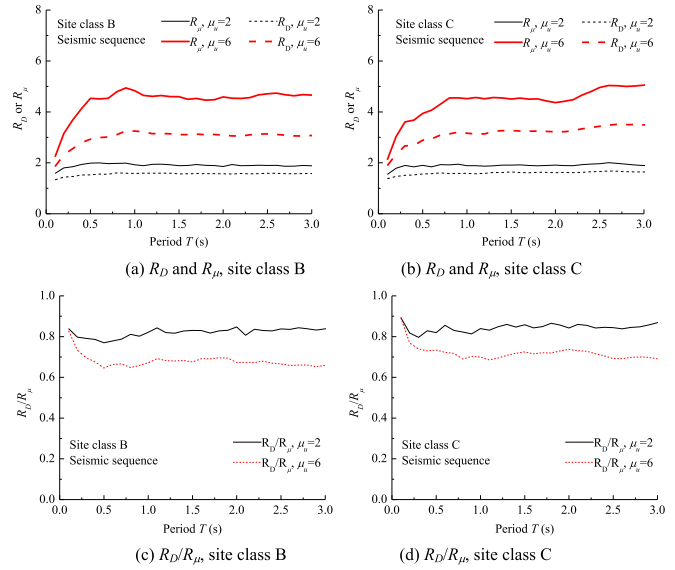
به منظور انعکاس درجه پراکندگی طیف­های ضریب کاهش مقاومت، ضرایب تغییرات (COV) طیف­های میانگین متناظر محاسبه شده­اند، تغییرات ضرایب طیف­های با که در معرض حرکات زمین می­باشند، در شکل 5 نشان داده شده­است. تغییرات ضرایب به عنوان نسبت انحراف استاندارد به میانگین تعریف می­شود.



شکل 5: تغییرات ضرایب (COV) میانگین ضریب ، ، () COV در کلاس مکان B، D=0.1، () COV در کلاس مکان C، D=0.1، () COV در کلاس مکان B، ، () COV در کلاس مکان C،

تغییرات ضرایب مستقل از دوره می­باشند و در کلاس­های مکان مختلف یک روند تقریبی را نشان می­دهند. با این حال، برای یک دوره مشخص، تغییر COVs با تغییر شاخص آسیب و ضریب شکل­پذیری به سرعت تغییر می­کند. حداکثر ضریب تغییرات از میانگین ضریب کاهش مقاومت محاسبه­شده تحت هر شرایط مکانی از 45% فراتر نمی­رود، که این امر تصادفی­بودن و مجزابودن حرکت زمین در یک حد معین را نشان می­دهد.

به منظور مطالعه اثر آسیب تجمعی بر ضریب کاهش مقاومت، ارزیابی پارامترهای آسیب سازه­ای به ترتیب با استفاده از جابجایی و شاخص آسیب Park-Ang تصحیح­شده مقایسه شده­اند و ضریب مقاومت مبتنی بر اختلاف شکل­پذیری و ضریب مقاومت مبتنی بر آسیب تحت حرکات زمین توالی نوع یکسان مقایسه شده­اند که در شکل 6 نشان داده شده­است. وقتی شاخص آسیب و ضریب شکل­پذیری یکسان هستند، تغییر و با دوره سازه عمدتا یکسان می­باشد. به دلیل مشارکت آسیب به لحاظ انرژی، تقاضای جابجایی کمتر از مقدار می­باشد، بنابراین مقدار همواره کمتر از مقدار می­باشد. تحت حرکات زمین توالی نوع، نسبت بین و برای ضریب شکل­پذیری پایین () برابر با 0.8–0.9، و برای ضریب شکل­پذیری زیاد () برابر با 0.6–0.9 می­باشد.



شکل 6: مقایسه بین طیف­های (مبتنی بر آسیب، D=0.1) و (مبتنی بر شکل­پذیری)، ، (a) و در کلاس مکان B، (b) و در کلاس مکان C (c) کلاس مکان B (d) کلاس مکان C

در ناحیه با دوره کوتاه، میانگین برای حرکات زمین توالی نوع با به طور چشمگیری با افزایش دوره، کاهش می­یابد، که این امر نشان می­دهد که اثر انرژی محاسبه­شده در شاخص آسیب به سرعت تغییر می­کند. چون مقاومت تسلیم سیستم هنگامی که دوره نزدیک به صفر است، بزرگ می­باشد، اتلاف انرژی پسماند نسبتا کوچک خواهد بود، بنابراین اختلاف و کم می­باشد. وقتی دوره افزایش می­یابد، مقاومت تسلیم سیستم کاهش و اتلاف انرژی پسماند افزایش می­یابد، بنابراین تغییر بسیار بیشتر از است و به طور چشمگیری کاهش می­یابد.

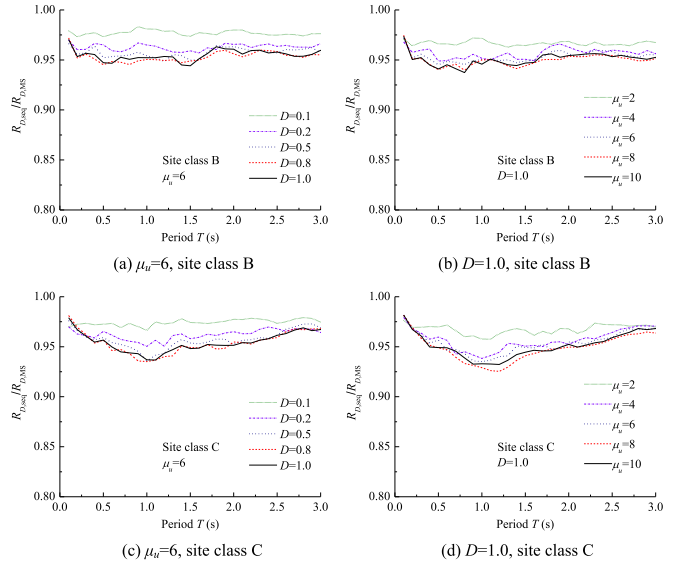
در ناحیه با دوره بلند، میانگین برای حرکات زمین توالی نوع با ، با افزایش دوره قدری کاهش می­یابد. مقاومت تسلیم و جابجایی تسلیم نیز قدری کاهش می­یابند و انرژی لحاظ شده در شاخص آسیب نیز با افزایش دوره، اندکی افزایش می­یابند.

**.5اثر پارامترهای مختلف**

**5.1 اثر پس­لرزه بر طیف­های**

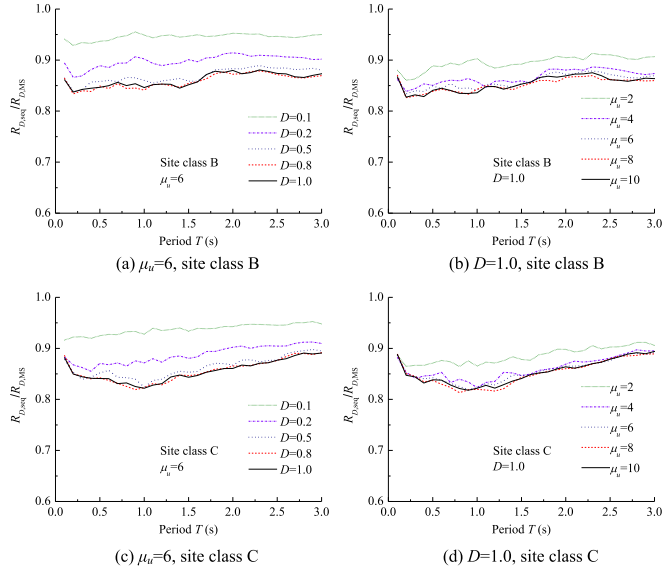
به منظور ارزیابی اثر پس­لرزه بر ضرایب ، مقدار ، که نسبت بین از حرکات زمین توالی نوع (با نشان داده شده­است) و متناظر از حرکات زمین لرزه اصلی () را نشان می­دهد، بکار برده می­شود. میانگین برای سازه­های با ضرایب شکل­پذیری مختلف و شاخص­های آسیب که در معرض شدت متفاوت از پس­لرزه می­باشند، محاسبه می­شود؛ بخشی از نتایج در شکل­های 7 – 9 نشان داده شده­است.

شکل 7 میانگین را برای حرکات زمین توالی نوع با و (شکل 7a و 7c)، و و D=0.1 (شکل­های 7b و 7d) نشان می­دهد. میانگین در کلاس مکان C در محدوده [0.94, 0.98] ویا محدوده [0.93, 0.99] می­باشد. اختلاف بین و کمتر از 10% می­باشد، بنابراین حرکات زمین پس­لرزه با را می­توان در ارزیابی ضریب نادیده گرفت.



شکل 7: میانگین با (a) ، کلاس مکان B، (b) D=0.1 کلاس مکان B، (c) کلاس مکان C، (d) D=0.1 کلاس مکان C.

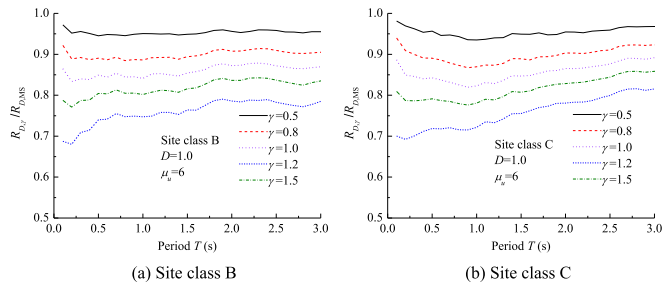
وقتی به 1.0 افزایش می­یابد، میانگین برای ضریب شکل­پذیری همواره برابر با 6 و برای شاخص آسیب همواره برابر با 0.1 می­باشد که در شکل 8 نشان داده شده­است. میانگین در کلاس مکان B در محدوده [0.82, 0.96] است، درحالی­که میانگین برای کلاس مکان C در محدوده [0.81, 0.96] می­باشد. حرکات زمین پس­لرزه با ضریب را به سطح کمتر از 20% کاهش می­دهد. ضریب سیستم که در معرض حرکات زمین توالی نوع می­باشد، همواره کمتر از حرکات زمین توالی نوع می­باشد، این امر نشان می­دهد که تقاضای مقاومت حرکات زمین توالی نوع بزرگتر از تقاضای مقاومت حرکات زمین لرزه اصلی می­باشد. اثر پس­لرزه در این مورد بسیار مهم است.



شکل 8: میانگین با . (a) ، کلاس مکان B، (b) D=0.1 کلاس مکان B، (c) ، کلاس مکان C، (d) D=0.1 کلاس مکان C

برای شاخص آسیب یکسان، میانگین به ضریب شکل­پذیری غیرحساس می­باشد. این امر نشان می­دهد که حرکت زمین پس­لرزه برای ضرایب شکل­پذیری مختلف، اثرات مشابهی را بر روی دارد. برای ضریب شکل­پذیری یکسان، مقادیر برای شاخص­های آسیب مختلف به جز برای D=0.1 اختلاف اندکی را دارند. مقدار میانگین برای D=1 کاملا بزرگتر از دیگر مقادیر D می­باشد. این امر به این دلیل است که سیستم­ها وقتی D=0.1 در ناحیه الاستیک باقی می­مانند و آسیب تجمعی آن­قدر کوچک است که می­توان آن­را نادیده گرفت. در این مورد، عمدتا وابسته به جابجایی بیشینه تاریخی می­باشد، بنابراین اختلاف بین و بسیار کم می­باشد که در شکل 8a و 8c نشان داده شده­است.

به منظور مطالعه اثر شدت حرکات زمین توالی نوع، میانگین با مقادیر مختلف از تجزیه وبررسی شدند. میانگین سیستم­های SDOF با و D=0.1 که در معرض حرکات زمین توالی نوع می­باشند، در شکل 9 نشان داده شده­است. این شکل به وضوح نشان می­دهد که میانگین با افزایش کاهش می­یابد. اثر حرکت زمین پس­لرزه بر سیستم­ها در ناحیه با دوره کوتاه بسیار بیشتر از مورد سیستم­های در ناحیه با دوره بلند می­باشد. با گرفتن میانگین از حرکات زمین توالی نوع با همانند مثال، مقادیر میانگین در ناحیه با دوره کوتاه برابر با 0.7 است، درحالی­که مقادیر در ناحیه با دوره متوسط – بلند بیش از 0.8 می­باشد؛ بنابراین می­توان گفت که ضریب در ناحیه با دوره کوتاه بیش از 30% و در ناحیه با دوره متوسط – بلند وقتی سیستم­ها در معرض حرکات زمین پس­لرزه با می­باشند، کمتر از 20% می­باشد.



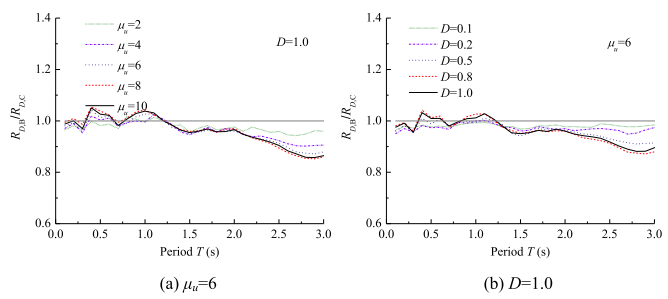
شکل 9: میانگین با مختلف، ، D=0.1، (a) کلاس مکان B، (b) کلاس مکان C

از مباحثات بالا، اثر پس­لرزه بر ضریب مربوط به دوره سیستم، شاخص آسیب و شدت پس­لرزه می­باشد. علاوه برآن، آسیب سازه­هایی که در معرض حرکات زمین توالی نوع هستند، به دلیل آسیب تجمعی ناشی از پس­لرزه شدیدتر از مورد سازه­هایی است که در معرض حرکات زمین لرزه اصلی می­باشند. بنابراین، تقاضای مقاومت تسلیم حرکات زمین توالی نوع بزرگتر می­باشد و هر چقدر شدت پس­لرزه بیشتر باشد، تقاضای مقاومت تسلیم بزرگتری موردنیاز خواهد بود.

**5.2 اثر شرایط مکان بر طیف­های**

اثر شرایط مکان بر طیف­های را می­توان در شکل­های 3 و 4 مشاهده کرد، که درآن میانگین طیف­های برای سیستم در معرض حرکات زمین توالی نوع ثبت­شده در کلاس مکان B و کلاس مکان C رسم شده­است. همان­طور که در این شکل­ها نشان داده شده­است، طیف­های در دو شرایط مکان گرایش مشابهی را در تمامی محدوده­ها دارا می­باشند.

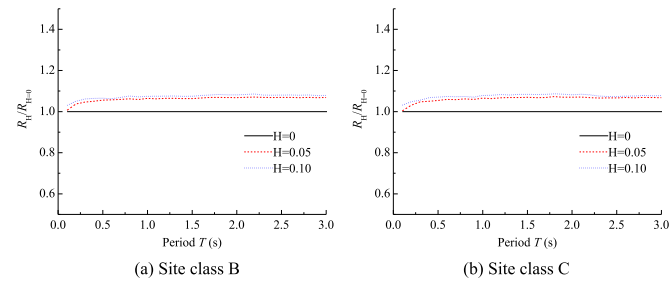
برای راحتی مقایسه، نسبت بین طیف­های برای کلاس مکان B و طیف­های برای کلاس مکان C محاسبه شدند و نتایج در شکل 10 رسم شده­اند. نشان داده می­شود که کلاس مکان B مقادیر کوچکتری را در دوره کوتاه (<1.0 s) نشان می­دهد، درحالی­که در دوره طولانی­تر (1.0–3.0 s) مقادیر بالاتری را نشان می­دهد. این پدیده بیان می­کند که چشم­پوشی اثر شرایط مکان منجربه فرابرآورد خاص از تقاضای مقاومت غیرالاستیک در دوره کوتاه (< 1.0 s) می­شود. طیف­های در کلاس مکان C یک روند مخالف را نشان می­دهند. با این حال، خطاها برای سطوح شکل­پذیری مختلف و شاخص­های آسیب در محدوده 10% می­باشند. بنابراین، اثر شرایط مکان در طیف­های را می­توان چشم­پوشی کرد. مقدار تنها یک ضریب کاهش از طیف الاستیک به طیف غیرالاستیک می­باشد. علاوه برآن، اثر شرایط مکان بر طیف­های اثر آن بر طیف­های الاستیک و غیرالاستیک را بازتاب نمی­کند.



شکل 10: اثر کلاس مکان بر روی ضریب ، . (a) (b) D=0.1

**5.3 اثر سختی پس از تسلیم بر طیف­های**

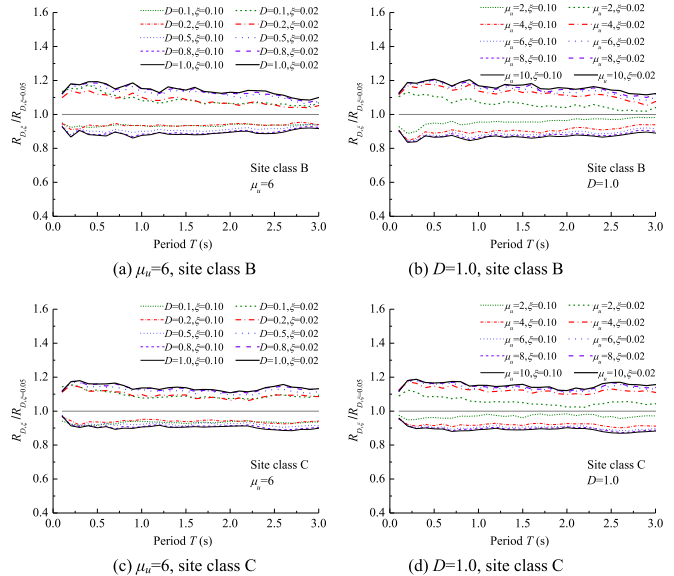
به منظور مطالعه نسبت اثر سختی پس از تسلیم H بر ضریب ، دو سطح (5% و 10%) از نسبت سختی پس از تسلیم برای مقایسه اثر انتخاب شده­اند. برای راحتی مقایسه، نسبت بین طیف­های از نسبت سختی پس از تسلیم مختلف و طیف­های از پلاستیک کاملا الاستیک محاسبه شده­اند و نتایج در شکل 11 لیست شده­اند. ضریب از پلاستیک کاملا الاستیک 0.9–1.0 برابر ضریب از نسبت سختی پس از تسلیم 5% می­باشد، در حالی­که ضریب از نسبت سختی پس از تسلیم 5%، 0.95–1.0 برابر ضریب نسبت سختی پس از تسلیم 10% می­باشد. نتایج نشان می­دهد که افزایش این نسبت منجربه افزایش جزئی ضریب می­شود، اما این یک ضریب مؤثر مهم نیست.



شکل 11: اثر نسبت سختی پس از تسلیم بر ضریب ، ، ، D=0.1. (a) کلاس مکان B، (b) کلاس مکان C

**5.4 اثر میرایی بر طیف­های**

به منظور مطالعه اثر میرایی، مقدار سیستم­های با نسبت میرایی و محاسبه شده­است. مقدار سازه­های با نسبت میرایی و نیز با مقدار سازه­های با برای حرکات زمین توالی نوع با نرمال­سازی شده­است که در شکل 12 نشان داده شده­است.



شکل 12: میانگین نرمال از تمامی حرکات زمین توالی نوع با (a) ، کلاس مکان B، (b) D=0.1، کلاس مکان B، (c) ، کلاس مکان C، (d) D=0.1، کلاس مکان C

آشکار است که کاهش نسبت میرایی همواره منجربه افزایش ضریب با میزان­های مختلف خواهدشد. برای سازه­های الاستیک، انرژی ورودی با میرایی سازه اتلاف می­شود؛ برای سازه­های غیرالاستیک، انرژی ورودی با میرایی سازه و انرژی پسماند تلف می­شود. میرایی تاثیر چشمگیری بر سازه­های الاستیک و تاثیر اندک بر سازه­های غیرالاستیک دارد. بنابراین، ضریب با افزایش میرایی سازه کاهش می­یابد.

با درنظر گرفتن با نسبت میرایی به عنوان معیار، اثر میرایی برای و به ترتیب در محدوده 20% و 15% می­باشد. با کاهش شاخص آسیب، متناظر با یا به مقدار با می­رسد.

**.6طیف­های پیشنهادی و مقایسه با طیف­های موجود**

**6.1 روابط تجربی پیشنهادی برای طیف­های**

برای اهداف عملی، منحنی­های میانگین کلی به دلیل استفاده از یک بیان واحد و تشابه شکل میانگین برای گروه­های مختلف از پارامترها بسیار مطلوب می­باشند. تصحیح ضرایب را می­توان به منظور ترکیب برای شرایط خاص بکاربرد. براساس مشاهدات بالا، سه ضریب، که اثر چشمگیری بر طیف­های دارند، به منظور اجرای تحلیل رگرسیون درنظر گرفته شده­اند. سپس، بیان ساده­شده از این است که این مقدار تابعی از دوره T، شاخص آسیب D و شکل­پذیری می­باشد، یعنی:



علاوه برآن، بیان ساده­شده می­بایست محدودیت­های مرزی زیر را نیز برآورده کند:

(1وقتی دوره سازه نزدیک به صفر است، جابجایی تسلیم متناظر تمایل به صفر شدن دارد و کاهش اندک مقاومت الاستیک منجربه شکل­پذیری بسیار زیاد می­شود. بنابراین سازه­های بسیار سخت می­بایست به عنوان سیستم الاستیک طراحی شوند:



(2برای یک سازه، شاخص آسیبب D=0 به این معناست که سازه­ای که در معرض حرکات زمین است، هیچ آسیبی را دریافت نمی­کند، بنابراین سازه بدون کاهش مقاومت در مرحله الاستیک باقی خواهد ماند:



(3برای یک سازه، شکل­پذیری به این معناست که سازه بدون کاهش مقاومت در مرحله الاستیک باقی خواهد ماند:



(4در محدوده دوره­های طولانی، به یک مقدار ثابت نزدیک خواهدشد، و با نشان داده می­شود، که تابعی از شاخص آسیب و شکل­پذیری می­باشد:

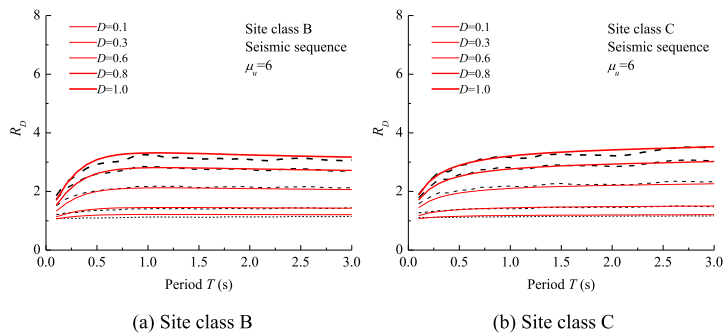


براساس فرضیات بالا، با تحلیل رگرسیون معادله زیر برای طیف­های میانگین بدست می­آید:

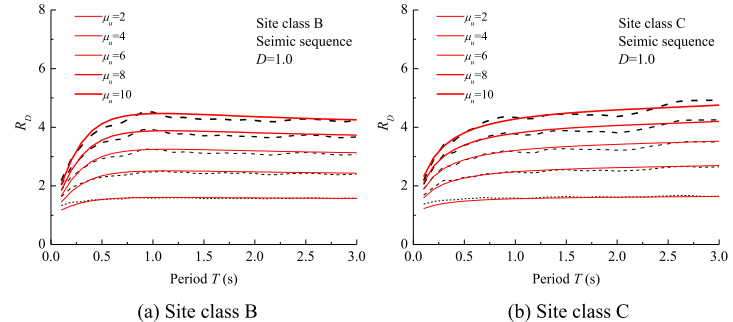


که درآن ، ، ، و پارامترهای رگرسیون وابسته به کلاس مکان و سختی پس از تسلیم می­باشند، مقادیر پارامترها در جدول 3 لیست شده­اند.

طیف­های پیش بینی­شده با استفاده از معادله (11) با طیف­های میانگین واقعی حاصل از نتایج آماری و حرکات زمین ترتیبی با مقایسه شدند که در شکل­های 13 و 14 نشان داده شده­است. برای تمای شاخص­های آسیب و کلاس­های شکل­پذیری تطبیق مناسبی مشاهده شد.



شکل 13: مقایسه طیف­های محاسبه­شده با طیف­های اصلی ()، (a) کلاس مکان B، (b) کلاس مکان C



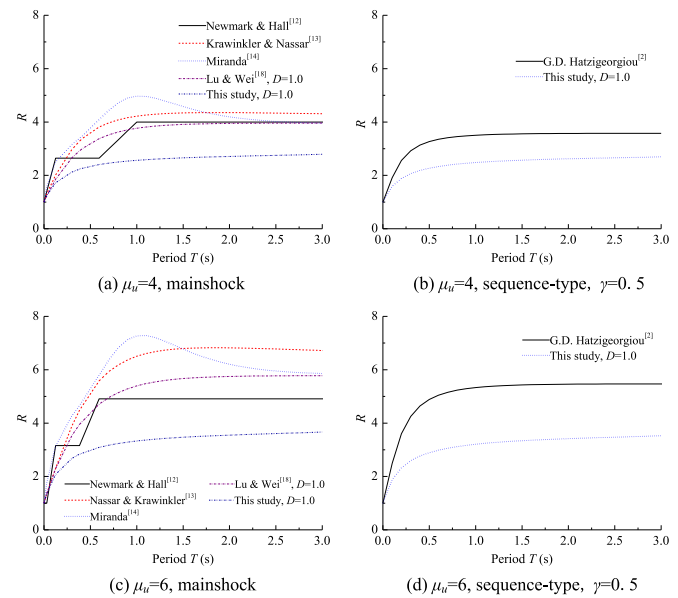
شکل 14: مقایسه طیف­های محاسبه­شده با طیف­های اصلی (D=0.1، ) (a) کلاس مکان B، (b) کلاس مکان C

جدول 3: مقدار

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| پارامتر |  |  |  |  |  |
| کلاس مکان B | 26.84 | 37.68 | 13.76 | 1.28 | 4.99 |
| کلاس مکان C | 51.88 | −13.88 | 13.44 | 4.76 | -1.35 |

**6.2 مقایسه طیف­های پیشنهادی با طیف­های موجود**

همان­طور که قبلا ذکرشد، روابط قبلی بیان می­کند که ضریب کاهش مقاومت مبتنی بر شکل­پذیری مرتبط با شکل­پذیری و دوره با حالت حدی نهایی می­باشد. ضریب کاهش مقاومت مبتنی بر آسیب مرتبط با دوره، شکل­پذیری و شاخص آسیب می­باشد که با رابطه نشان داده می­شود. به منظور مقایسه اختلاف بین و ، طیف­های با حالت حدی نهایی D=1.0 و طیف­های در شکل 15 رسم شده­اند. به طور کلی، طیف­های و روندهای مشابهی را نشان می­دهند. طیف­های در شکل­پذیری یکسان و شرایط خاک مشابه همواره پایین­تر از طیف­های می­باشند. در همین حال، وقتی ضریب شکل­پذیری کوچک است، اختلاف بین دو مورد واضح نیست؛ اما با افزایش ضریب شکل­پذیری، اختلاف بین آنها واضح می­شود. با مقایسه ضریب کاهش مقاومت حرکت زمین توالی نوع و حرکت زمین پس­لرزه، اختلاف بسیار چشمگیر است، که این امر نشان می­دهد که اثر پس­لرزه را نمی­توان نادیده گرفت.



شکل 15: مقایسه طیف­های پیشنهادی با طیف­های قبلی در کلاس مکان C؛ (a) ، لرزه اصلی، (b) توالی نوع، (c) ، لرزه اصلی، (d) توالی نوع

**.7نتایج**

هدف اصلی این مقاله بررسی ضریب کاهش مقاومت مبتنی بر آسیب برای حرکات زمین توالی نوع می­باشد. ایجاد طیف­های برای شاخص­های آسیب مختلف و سطوح شکل­پذیری یک تعیین بسیار منطقی از تقاضای مقاومت سیستم­های غیرالاستیک را با درنظر گرفتن آسیب تجمعی با اهداف عملکردی چندگانه نشان می­دهد. برای این منظور، یک مطالعه آماری از ضریب انجام شد. ضرایب برای مجموعه­ای از سیستم­های SDOF الاستیک – پلاستیک تحت سطوح مختلف از شاخص آسیب و ضریب شکل­پذیری که در معرض تعداد زیادی از حرکات زمین توالی نوع ثبت­شده در شرایط مکانی مختلف هستند، محاسبه شده­است. به طور خاص اثر پس­لرزه بر مطالعه شد. نتیجه­گیری زیر را می­توان از این مطالعه برداشت کرد.

ضریب در دوره کوتاه به شدت وابسته به دوره سیستم و در دوره بلند تقریبا مستقل است

اختلاف بین ضریب کاهش مقاومت مبتنی بر آسیب و ضریب کاهش مقاومت مبتنی بر آسیب بسیار چشمگیر است و در دوره طولانی برای حرکات زمین توالی نوع مورد آخر 40% بیشتر از مورد اول می­باشد. یعنی، تقاضای مقاومت تعیین­شده توسط ضریب بزرگتر از تقاضای تعیین­شده توسط ضریب می­باشد.

اثر حرکت زمین پس­لرزه بر ضریب با افزایش شدت پس­لرزه افزایش می­یابد. اثر حرکت زمین پس­لرزه با بر ضریب را می­توان نادیده گرفت؛ با این حال حرکت زمین پس­لرزه با قادر به کاهش با دوره کوتاه در سطحی بیش از 25% می­باشد. اثر حرکت زمین پس­لرزه بر ضریب وابسته به دوره، ضریب شکل­پذیری، شاخص آسیب و شدت حرکت زمین پس­لرزه می­باشد.

بیان پیشنهادشده از به عنوان تابعی از دوره، شاخص آسیب و ضریب شکل­پذیری ارائه شده­است. پارامترهای رگرسیون وابسته به شرایط مکان، نسبت سختی پس از تسلیم و شدت حرکت زمین پس­لرزه می­باشد. بیان را می­توان به منظور برآورد آسان تقاضای مقاومت سیستم­های غیرالاستیک در طراحی لرزه­نگار بکاربرد.

