تاریخ دریافت: 93/06/31
تاریخ پذیرش: 93/09/18

توسعه یک روش ساده برای انتخاب شتاب‌نگاشت زلزله جهت برآورد خطر فروریزش سازه‌ها

سیدمهدی موسوی، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک
محسن آخانی سنجانی (نویسنده مسؤول)، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه اراک،
E-mail: mst.akhani@gmail.com

چکیده: *اپسیلون به‌عنوان شاخصی از تأثیر شکل طیف، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای در برآورد خطر فروریزش سازه‌ها دارد. دو روش برای محاسبه این شاخص وجود دارد. یک روش مستقیم که ابتدا یک اپسیلون هدف با یک سطح خطر مخصوص از روش تفکیک لرزه‌ای خطر به دست می‌آید و سپس زمین‌لرزه‌هایی که مقدار اپسیلون آن‌ها به اپسیلون هدف نزدیک‌تر است، انتخاب می‌شوند. چالش اصلی در این روش پیدا کردن مجموعه شتاب‌نگاشت‌های مختلف برای هر سطح خطر برای محاسبه میانگین سالیانه فروریزش سازه‌هاست. اما در روش ساده دوم، یک مجموعه کلی از شتاب‌نگاشت‌ها بدون در نظرگرفتن مقدار اپسیلون آن‌ها، برای محاسبه ظرفیت شکنندگی فروریزش سازه‌ها ارائه می‌شود. چالش اصلی در این روش ضرورت تحلیل سازه با مجموعه بزرگی از شتاب‌نگاشت‌هاست که مسئله‌ای وقت‌گیر می‌باشد. در این پژوهش این شاخص به‌صورت تابعی از ویژگی‌های رفتاری سازه‌ها و سطوح خطر مختلف ارائه شده است. در این روش با ارائه یک بازه مؤثر برای مقادیر اپسیلون، می‌توان خطر فروریزش سازه‌ها را فقط برای مجموعه‌ای از شتاب‌نگاشت‌ها که اپسیلون آن‌ها در این بازه قرار می‌گیرد، محاسبه کرد. در واقع با این روش تنها تعداد محدودی از شتاب‌نگاشت‌ها که حدود اپسیلون آن‌ها بین بازه فوق می‌باشد وارد تحلیل دینامیکی سازه‌ها می‌شوند و مانند دو روش پیشین نیاز به یک مجموعه رکورد با اپسیلون‌های مختلف نیست.*

کلیدواژه‌ها: *شتاب‌نگاشت، اپسیلون، ظرفیت فروریزش سازه‌ها*

1 - مقدمه

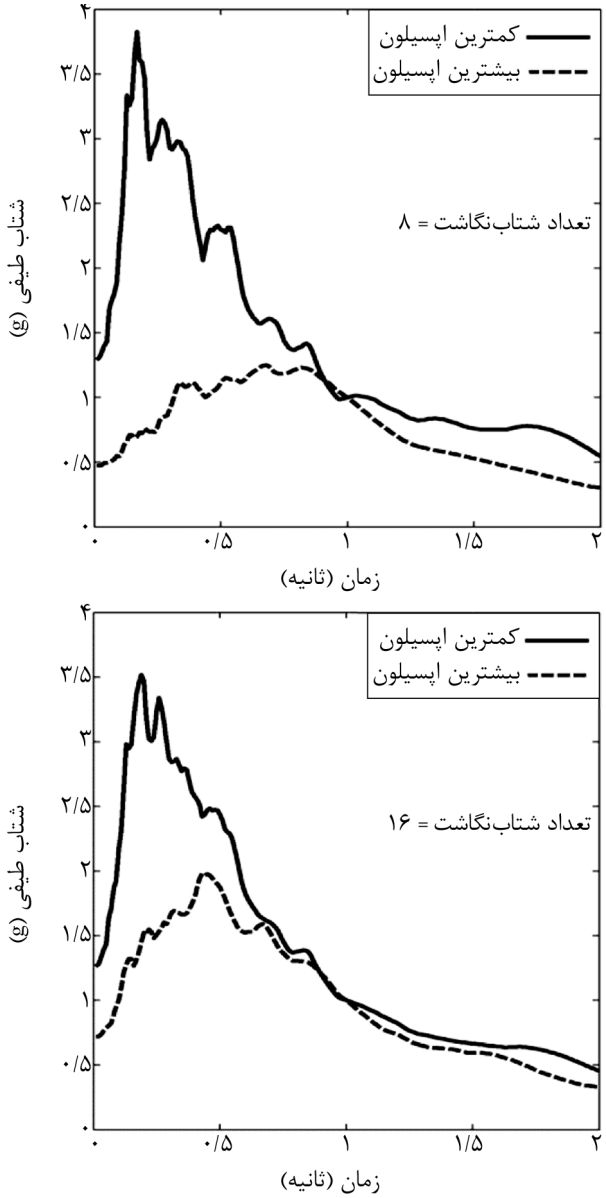
یکی از اهداف مهندسی زلزله عملکردی، محاسبه نرخ سالیانه میانگین (MAF) فراگذشت پاسخ سازه (θ) از یک سطح مشخص، مثلاً x است که با نماد $\lambda(\theta)(x)$ نمایش داده می‌شود [1]. با در دست داشتن مقدار $\lambda(\theta)(x)$ محاسبه اینکه سازه در طول عمر مفید خود (مثلاً50 سال) سطح مشخصی از پاسخ را تجربه کند به‌راحتی مقدور است؛ بنابراین می‌توان آن را شاخصی از عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها دانست. در ادامه به‌منظور تبیین بهتر مفاهیم اساسی موردنظر این تحقیق، به توسعه روش ساده‌تری برای محاسبه $\lambda(\theta)(x)$ که در این تحقیق مدنظر است، پرداخته می‌شود. یکی از چالش‌های اساسی در استفاده از مدل‌های تحلیلی برای پیش‌بینی ظرفیت فروریزش سازه‌ها، انتخاب شتاب‌نگاشت‌هایی مناسب برای استفاده در این‌گونه تحلیل‌ها می‌باشد. یکی از ویژگی‌های کلیدی و بسیار مهم شتاب‌نگاشت‌ها، شکل طیف است. بیکر و همکاران [2] نشان داده‌اند که برای شتاب‌نگاشت‌های کمیاب در غرب آمریکا، از قبیل رکوردهایی با احتمال 2 درصد رخداد در 50 سال، شکل طیف بسیار متفاوت‌تر از شکل طیف در مقایسه با طیف خطر یکنواخت می‌باشد. تحقیقات گذشته نشان داده نسبت رکوردهایی که این شکل طیف حداکثری داشته به رکوردهایی که طیف حداکثری را ندارند، ظرفیت فروریزش سازه‌ها را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌دهند.

این حالت زمانی است که این حداکثر شکل طیف در نزدیکی پریود اول سازه رخ دهد و $Sa(T1)$ به‌عنوان یک سنجه شدت در نظر گرفته شود و همه رکوردها بر اساس این سنجه مقیاس شوند [2].

مستقیم‌ترین روش برای محاسبه تأثیر شکل طیف بر روی انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها این است که رکوردهایی انتخاب شوند که مقدار $\varepsilon(T1)$ آن‌ها متناسب با مقدار مورد انتظار برای ساختگاه و سطح خطر موردنظر باشد. ایراد این روش این است که هنگام محاسبه ظرفیت فروریزش برای سازه‌های متنوع با پریودهای مختلف، برای هر سازه به یک مجموعه رکورد منحصربه‌فرد نیاز است. پس‌ازآن، روش ساده‌تری ارائه شد که یک مجموعه کلی از شتاب‌نگاشت‌های مستقل از مقدار اپسیلون آن‌ها برای تحلیل سازه‌ها و محاسبه ظرفیت فروریزش سازه در نظر گرفته می‌شود [1].

نرخ سالیانه میانگین فراگذشت پاسخ سازه‌ها از یک سطح مشخص، با انتگرال حاصل‌ضرب منحنی شکنندگی و منحنی خطر ساختگاه به دست می‌آید [3]. محاسبه منحنی خطر برای یک ساختگاه روشی آسان و مستقیم است، درحالی‌که فرآیند محاسبه منحنی شکنندگی هنوز به‌طور کامل فراگیر نشده است. یک چالش مهم در برآورد منحنی شکنندگی فروریزش لرزه‌ای انتخاب مجموعه مناسبی از شتاب‌نگاشت‌های زلزله می‌باشد. در واقع انتخاب و مقیاس کردن این شتاب‌نگاشت‌ها برای استفاده در تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی چالش اصلی موردنظر است. بیکر و کرنل [4] نشان دادند که شکل طیف یک ویژگی مهم از تأثیر شتاب‌نگاشت‌ها روی پاسخ سازه‌هاست. برای سطوح خطر مختلف شکل طیف خطر یکنواخت می‌تواند کاملاً متفاوت از میانگین طیف پاسخ از یک شتاب‌نگاشت واقعی باشد. پس طیف به‌تنهایی قادر به بیان ویژگی‌های شتاب‌نگاشت‌ها و تأثیر آن بر روی پاسخ سازه‌ها نیست. درنتیجه، شاخصی به نام اپسیلون که به‌عنوان تعداد انحراف معیار لگاریتم بین اندازه طیف یک جنبش واقعی زلزله با میانگین طیف پیش‌بینی‌شده که از مدل کاهندگی به‌دست می‌آید، برای بیان شکل طیف تعریف شد [2].

شکل (1) تأثیر اپسیلون را به‌عنوان شاخصی از شکل طیف نشان می‌دهد. مجموعه کلی از 78 شتاب‌نگاشت با بزرگای 5/6 تا 7/8 انتخاب شده‌اند [5]. همه شتاب‌نگاشت‌ها در زمان 1 ثانیه مقیاس و بر اساس مقدار اپسیلون خود طبقه‌بندی شده‌اند. سپس دو زیرمجموعه به تعداد 8 و 16 عدد شتاب‌نگاشت از بالاترین و پایین‌ترین مقدار اپسیلون انتخاب و میانگین طیف پاسخ برای آن‌ها رسم شده است.



شکل (1): *طیف میانگین برای دو مجموعه شتاب‌نگاشت برای نمایش اثر اپسیلون روی شکل طیف.*

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، طیف‌ها با هم متفاوت هستند که درواقع لزوم وجود شاخصی به نام اپسیلون را برای طیف به‌خوبی توجیه می‌کند. در زلزله‌هایی با دامنه بالا این اختلاف بین دو طیف مشهودتر می‌شود پس انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها برای محاسبه احتمال فروریزش سازه‌ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

روش مستقیم برای درنظرگرفتن شکل طیف در انتخاب شتاب‌نگاشت این است که هرکدام از اپسیلون‌ها که مقدارشان به اپسیلون هدف که از فرآیند تفکیک لرزه‌ای به دست می‌آید، نزدیک‌تر بود، انتخاب می‌شوند [2]. به دلیل وابستگی اپسیلون به پریود سازه نمی‌توان برای هر سطح خطر و محاسبه نرخ فراگذشت برای هر سازه دلخواه با پریود مخصوص خود، مجموعه‌ای از شتاب‌نگاشت‌ها را انتخاب نمود. پروژه ATC63 (Applied Technology Council) روش ساده‌ای را به‌جای روش مستقیم ارائه می‌نماید که در آن مجموعه‌ای کلی از شتاب‌نگاشت‌ها را برای برآورد ظرفیت فروریزش لرزه‌ای سازه‌ها بدون درنظرگرفتن شکل طیف آن‌ها پیشنهاد می‌دهد. با انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی برای سازه‌های مختلف و محاسبه پاسخ این سیستم‌ها می‌توان ظرفیت شکنندگی در سطوح مختلف خطر و همچنین مقدار نرخ سالیانه میانگین را برای مجموعه‌ای از شتاب‌نگاشت‌ها برآورد کرد. با مجموعه شتاب‌نگاشت‌های حاصل، می‌توان مقادیر اپسیلون آن‌ها را که به ازای هر سازه متفاوت به دست می‌آید از روابط کاهندگی محاسبه کرد.

هدف این پژوهش، ارائه روش ساده‌تری به‌جای روش مذکور می‌باشد که درنهایت مقدار نرخ سالیانه میانگین فراگذشت مطلوبی به‌دست‌می‌آید. البته نیازی به مجموعه کلی از شتاب‌نگاشت‌ها نبوده و تنها تعداد محدودی از آن‌ها که مقدار اپسیلون‌شان در بازه موردنظر یا همان اپسیلون مؤثر، نزدیک‌تر است، انتخاب می‌شوند. در این روش می‌توان مقادیر اپسیلون را به بازه‌های مختلف دسته‌بندی نمود و درنهایت می‌توانیم یک بازه را به‌عنوان بازه مؤثر بیابیم. به این معنی که فقط با داشتن مقادیر اپسیلون در این بازه می‌توان نرخ سالیانه میانگین فراگذشت پاسخ سازه‌ها را محاسبه کرد. با این کار از انجام تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی برای به‌دست‌آوردن پاسخ‌های سازه‌ها به ازای همه شتاب‌نگاشت‌های مجموعه کاسته می‌شود. در این روش نیازی به ارائه فرمول خاصی جهت به‌دست‌آوردن میانگین ظرفیت فروریزش سازه‌ها و همچنین محاسبه نرخ سالیانه میانگین فراگذشت پاسخ سازه‌ها که یکی از اهداف مهم مهندسی زلزله عملکردی می‌باشد، نیست.

2 - معرفی روش انطباقی (Adjustment)

در این روش مجموعه‌ای از شتاب‌نگاشت‌ها برای آنالیز سازه‌ها استفاده می‌شود که مستقل از اپسیلون می‌باشد. این روش بر مبنای مقدار اپسیلون در پریود اول سازه استوار است که مقدار آن از تحلیل خطر احتمالاتی به دست می‌آید [2]. در این روش نیازی به یک مجموعه شتاب‌نگاشت منحصربه‌فرد برای هر سازه نیست و تنها با داشتن مجموعه کلی می‌توان سازه‌های مختلف را برای پریودهای مختلف و شرایط ساختگاهی مختلف بررسی کرد. روند انجام این روش به چهار بخش تقسیم می‌شود:

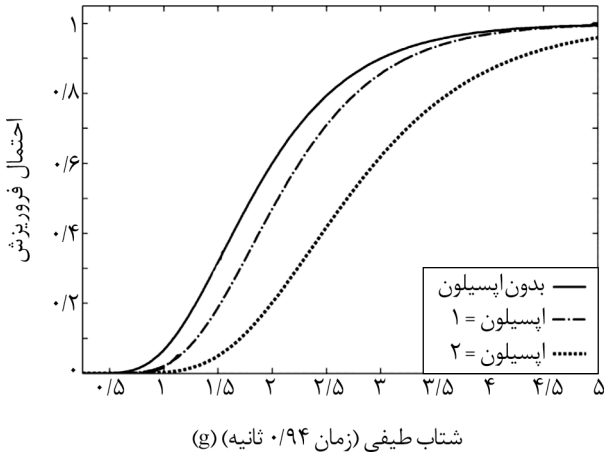
1- انتخاب مجموعه کلی از شتاب‌نگاشت‌ها بدون درنظرگرفتن مقدار اپسیلون آن‌ها. این مجموعه باید تعداد زیادی از جنبش‌های زمین را در برگیرد، به‌طوری‌که جامعه آماری معنی‌دار و آنالیز رگرسیون در مرحله 3 مناسب باشد.

2- محاسبه ظرفیت فروریزش سازه با تحلیل دینامیکی غیرخطی یا تحلیل دینامیکی فزاینده [6].

3- انجام آنالیز رگرسیون خطی بین ظرفیت شکنندگی و مقدار اپسیلون هر شتاب‌نگاشت.

4- تنظیم توزیع ظرفیت شکنندگی با استفاده از رابطه رگرسیون برای سازش با اپسیلون هدف، برای ساختگاه و سطح خطر موردنظر.

حال با داشتن یک فرمول بسته با توجه به روند بالا می‌توان مقدار تغییرمکان را در منحنی شکنندگی در سازه‌های چند درجه آزاد هم مشاهده کرد. در شکل (2) این مقدار مشهود است.



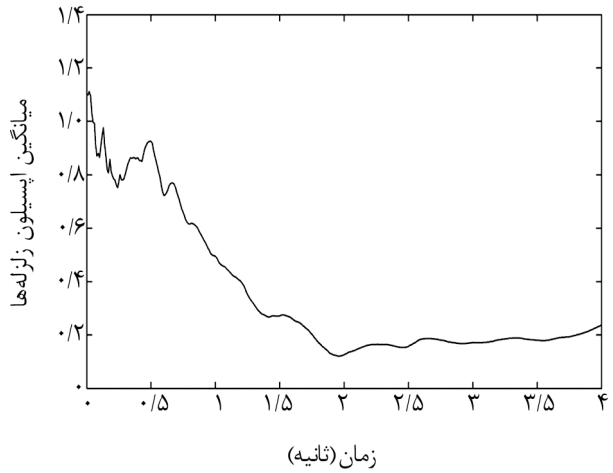
شکل (2): *تأثیر لحاظ شکل طیف روی منحنی شکنندگی.*

همان‌طور که در شکل مشخص است به ازای فیلتراسیون متفاوت برای اپسیلون میانگین ظرفیت فروریزش متفاوتی به دست می‌آید. این نتیجه در واقع تأثیر شکل طیف را بر روی ظرفیت فروریزش سازه نشان می‌دهد. این سازه چهار طبقه با شکل‌پذیری 8 و همچنین دوره تناوب اصلی 0/94 ثانیه موردبررسی قرار گرفته است. در این شکل به ازای دو مقدار متفاوت اپسیلون و بدون اپسیلون (کل شتاب‌نگاشت‌ها) منحنی شکنندگی رسم شده است. در واقع تأثیر مشهود شکل طیف (اپسیلون) را به‌خوبی در محاسبه احتمال فروریزش سازه نشان می‌دهد که هرچه این مقدار به سطوح خطر بالاتر نزدیک می‌شود منحنی به سمت راست جابه‌جا می‌شود. برای مثال در احتمال 50 درصد فروریزش سازه مقدار شتاب طیفی متفاوتی برای اپسیلون برابر 1 و اپسیلون برابر 2 به دست می‌آید و این مقدار به ترتیب برابر 2/01 و $2/69g$ به دست آمده است که g همان شتاب زمین می‌باشد.

در شکل (2) می‌توان این مقادیر را به ازای احتمال‌های فروریزش متفاوت مشاهده کرد.

3 - معرفی روش ساده جهت محاسبه خطر فروریزش

در این تحقیق سعی شده مجموعه شتاب‌نگاشت‌های مذکور را برای سازه‌های مختلف با زمان تناوب‌های مختلف تحلیل نمود و به بررسی و تفسیر آن‌ها پرداخت. با محاسبه طیف هر زلزله و با استفاده از رابطه کاهندگی آبراهامسون و سیلوا [7] می‌توان مقدار اپسیلون را برای تمام این زلزله‌ها تا زمان تناوب 5 ثانیه محاسبه نمود. شکل (3) میانگین مقادیر اپسیلون را برای این مجموعه شتاب‌نگاشت‌ها نشان می‌دهد.



شکل (3): *مقادیر میانگین اپسیلون برای همه مجموعه شتاب‌نگاشت‌ها.*

حال با در دست داشتن مقادیر اپسیلون، برای هر سازه دلخواه با هر زمان تناوبی بین بازه مذکور می‌توان احتمال فروریزش و خطرپذیری و درنهایت مقدار نرخ میانگین فراگذشت پاسخ سازه موردنظر را محاسبه نمود. با توجه به این‌که برای هر سازه 78 اپسیلون مختلف به دست می‌آید، می‌توان آن‌ها را به بازه‌های مختلف دسته‌بندی کرد. با چندین بار سعی و خطا بازه‌ای یافته شده که در آن بازه مقادیر اپسیلون بین 0/5 تا 1 به دست آمد. ابتدا بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین مقدار اپسیلون را برای هر سازه پیدا کرده و سپس آن را به دسته‌های مختلف بین این دو مقدار تقسیم نموده و سپس با رسم منحنی فراگذشت پاسخ سازه و مقایسه آن با روش مستقیم و روش (adjustment) که قبلاً توضیح داده شد، بهترین بازه برای این منظور به دست آمد.

در ادامه کار به مقایسه و شرح تفاوت بین سه روش مستقیم، ساده و روش جدیدی که در این تحقیق به آن روش مؤثر گفته می‌شود، پرداخته شده است. در روش مستقیم با تعیین مقادیر اپسیلون هدف که از تحلیل خطر احتمالاتی به دست می‌آید و به دست آوردن اپسیلون در پریود اول سازه از

رابطه کاهندگی، شتاب‌نگاشت‌هایی که مقدار اپسیلون آن‌ها به اپسیلون هدف نزدیک‌تر باشد، انتخاب می‌شوند. این روش در همه شرایط عملی نیست، چون به یک مجموعه شتاب‌نگاشت برای هر دوره تناوب با شرایط ساختگاهی خاص و یک اپسیلون هدف نیاز دارد. این در حالی است که روش دوم از یک مجموعه کلی شتاب‌نگاشت بدون در نظرگرفتن مقادیر اپسیلون آن‌ها استفاده می‌کند. این روش برای همه انواع پاسخ‌های سازه‌ها (جابه‌جایی بین طبقه‌ای، دوران مفصل پلاستیک، ...) به‌کار می‌رود، اما در این تحقیق تمرکز بر روی ظرفیت فروریزش می‌باشد. این در حالی است که روش سوم هم مانند روش دوم مجموعه‌ای کلی از شتاب‌نگاشت‌ها را در نظر می‌گیرد، اما تفاوت این روش با روش قبلی این است که مقادیر اپسیلون‌های این مجموعه را به بازه‌های مختلف طبقه‌بندی کرده و با سعی و خطا یک بازه را که مقدار MAF (Mean Annual Frequency) آن با مقدار MAF به‌دست‌آمده از روش دوم و سوم کمترین خطا را داشته باشد انتخاب شده است. جدول (1) نحوه به‌دست‌آوردن بازه مذکور را برای یک سازه دلخواه نشان می‌دهد.

این جدول نحوه محاسبه بازه اپسیلون مؤثر برای یک سازه خاص را نشان می‌دهد که با توجه به مقادیر فوق مشخص شده است که بازه بین 0/5 تا 1 نزدیک‌ترین مقدار میانگین فراگذشت پاسخ سازه نسبت به سایر بازه‌ها در مقایسه با دو روش قبلی را دارا می‌باشد. سازه‌های مورد استفاده در این تحقیق به تعداد 30 سازه هستند که همگی در تحقیق هاسلتون و دایرلین [8] وجود دارند. در ادامه روند چگونگی به‌دست‌آوردن میانگین فراگذشت پاسخ سازه را برای یک سازه هشت طبقه برای هر سه روش ذکرشده شرح و نتایج با هم مقایسه خواهد شد.

4 - مثال

یک سازه هشت طبقه بتنی تقویت‌شده با ID1011 در تحقیق هاسلتون و دایرلین در سال 2007 به کار برده شده است. ابعاد پلان این سازه 120×120 اینچ می‌باشد. از یک سیستم قاب محیطی سه‌دهنه که فاصله هر دهنه 20 اینچ است، بهره می‌برد و همچنین دوره تناوب اول اصلی سازه 1/71 ثانیه می‌باشد. این سازه بر اساس آیین‌نامه قاب خمشی ویژه AISC7-05 طراحی شده است. ضریب برش پایه برای این سازه مقدار 0/05 در نظر گرفته شده است.

همچنین فرض شده کلیه سازه‌ها در یک ساختگاه ایده‌آل با ویژگی‌های رخداد زیر در نظر گرفته شده‌اند:

دوره بازگشت 200 سال، بزرگای 7/2، نزدیک‌ترین فاصله تا گسل 25 کیلومتر و سرعت موج برشی در خاک 360 متر بر ثانیه.

با توجه به توزیع پواسون برای به‌دست‌آوردن خطر زلزله، می‌توان دوره بازگشت سطح خطری با احتمال 2 درصد در 50 سال عمر مفید سازه را محاسبه کرد که این مقدار متناظر دوره بازگشت 2475 سال می‌باشد. می‌توان مقدار میانگین سالیانه فراگذشت پاسخ سازه را با توجه به این روند برای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه کرد.

با توجه به تئوری احتمال کل می‌توان نوشت:

$$v[\ln Sa(T) > x] = v_0 P[\ln Sa(T) > x \mid Mw, R]$$

جدول (1): *نحوه پیدا کردن بازه مؤثر برای اپسیلون در یک سازه خاص با دوره تناوب 1/8 ثانیه.*

بازه‌های اپسیلون	نرخ سالیانه میانگین روش مؤثر (سوم)	نرخ سالیانه میانگین روش ساده (دوم)	نرخ سالیانه میانگین روش مستقیم (اول)	نرخ سالیانه میانگین (کل)
0/5- تا مینیمم اپسیلون	$2/3\times10^{-4}$	$/99\times10^{-4}$	10^{-4}	$1/7\times10^{-4}$
0/5 تا 0/5-	$2/2\times10^{-4}$	$/99\times10^{-4}$	10^{-4}	$1/7\times10^{-4}$
0/5 تا 1	$0/9\times10^{-4}$	$/99\times10^{-4}$	10^{-4}	$1/7\times10^{-4}$
1 تا 2	$0/6\times10^{-4}$	$/99\times10^{-4}$	10^{-4}	$1/7\times10^{-4}$
ماکزیمم اپسیلون تا 2	$0/8\times10^{-4}$	$/99\times10^{-4}$	10^{-4}	$1/7\times10^{-4}$

که در آن v_0 نرخ سالیانه فراگذشت زلزله است که در مطالعه حاضر ابتدا برابر 0/005 می‌باشد. x برابر با مقدار پیش‌بینی‌شده از رابطه کاهندگی $\overline{(\ln(S_a(T))}$ باشد،که متناظر با مقدار اپسیلون صفر است.

$$v[\ln Sa(T) > \overline{\ln Sa(T)}] = v_0\, P[\ln Sa(T) > \overline{\ln Sa(T)} \mid Mw, R]$$

حال با فرض یک توزیع نرمال برای $\ln Sa(T)$ و همچنین با فرض $\varepsilon = 1.4$ می‌توان نوشت:

$$v[\ln Sa(T) > \overline{\ln Sa(T)} + 1.4\sigma] =$$

$$v_0\, P[\ln Sa(T) > \overline{\ln Sa(T)} + 1.4\sigma \mid Mw, R] = \frac{1}{2475}$$

در واقع می‌توان این‌طور نتیجه گرفت که $\varepsilon = 1.4$ معادل رویدادی با دوره بازگشت 2475 سال می‌باشد. با استفاده از این روش اپسیلون‌های هدف برای سطح خطرهای مختلف به‌دست‌می‌آید که در جدول (2) قابل‌مشاهده است. لازم به تأکید است که مدل کاهندگی مورد استفاده در این روش رابطه کاهندگی آبراهامسون و سیلوا [6] می‌باشد. این روند را می‌توان برای هر سطح خطری محاسبه کرد و مقدار اپسیلون هدف آن را با توجه به ساختگاه ایده‌آل خود به دست آورد.

جدول (2): *مقادیر اپسیلون هدف برای سطوح خطر مختلف.*

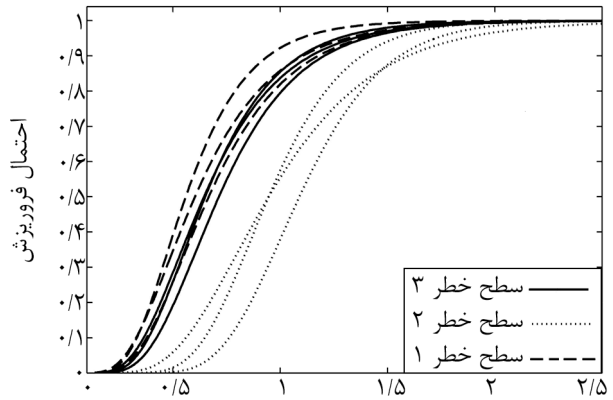
اپسیلون هدف	احتمال در 50 سال	دوره بازگشت (سال)
-0/84	18 درصد	250
+0/2	10 درصد	475
+1/4	2 درصد	2475

با استفاده از داده‌ها و شتاب‌نگاشت‌های کلی (78 جنبش زمین) موجود در ATC63 می‌توان میانگین ظرفیت فروریزش سازه را محاسبه کرد و این نتایج را برای سطوح خطر مختلف نیز نشان داد. جدول (3) شامل ظرفیت فروریزش سازه برای سطوح خطر مختلف می‌باشد، که با هر سه روش مقایسه شده است.

با توجه به جدول (3) و شکل (4) مشاهده می‌شود که هر سه روش با تقریب قابل‌قبول، جواب‌های مشابهی به‌دست آورده‌اند. این جواب‌ها در سطوح خطر بالا به هم نزدیک‌تر می‌باشند. نتایج منحنی‌های شکنندگی برای سطوح خطر مختلف در این شکل نشان داده شده است.

جدول (3): *مقایسه روش ساده و مستقیم با مؤثر برای محاسبه میانگین ظرفیت فروریزش برای سازه‌ای با* $Sa(T1=1.71)$.

روش مؤثر	روش ساده	روش مستقیم	بدون اپسیلون	دوره بازگشت
0/66	0/56	0/6	0/71	250
0/64	0/71	0/65	0/71	475
1/08	0/94	0/94	0/71	2475

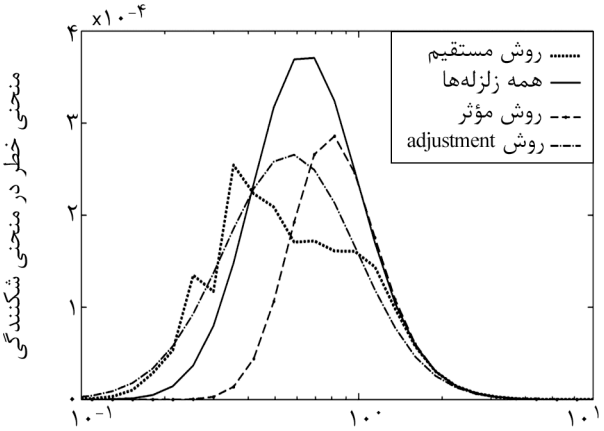


شکل (4): *منحنی شکنندگی برای سطوح خطر مختلف و نمایش آن برای هر سه روش.*

در این شکل منحنی شکنندگی برای هر سه روش و برای سطوح خطر مختلف رسم شده‌اند و می‌توان به‌خوبی صحت این نتایج را مشاهده نمود. حال با محاسبه و نمایش منحنی شکنندگی در شکل (4) و محاسبه منحنی خطر برای ساختگاه فرضی مذکور می‌توان میانگین فراگذشت سالیانه را برای سازه مورد اشاره محاسبه کرد. به‌این‌ترتیب که با انتگرال کانولوشن منحنی شکنندگی فروریزش در منحنی خطر منحنی (MAF) به‌دست می‌آید.

به‌دست‌آوردن منحنی خطر برای ساختگاه فرضی فرآیندی ساده می‌باشد. در این شکل هر سه روش برای سطوح خطر مختلف رسم شده‌اند و می‌توان به‌خوبی صحت این نتایج را مشاهده نمود. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که می‌توان روش مؤثر را به‌عنوان یک روش جدید دیگر جایگزین روش

مستقیم نمود. شکل (5) نشان می‌دهد که با ضرب منحنی‌های شکنندگی مفروض در منحنی خطر ساختگاه مفروض، منحنی میانگین فراگذشت پاسخ این سازه در دوره تناوب اول خود برای هر سه روش به دست خواهد آمد. هر منحنی در این شکل متناظر با منحنی شکنندگی خود خواهد بود.



***شکل (5)**: تأثیر روش‌های مختلف برای درنظرگرفتن تأثیر شکل طیف روی منحنی MAF برای یک سازه خاص.*

همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود این منحنی برای هر سه روش و همچنین برای همه مجموعه شتاب‌نگاشت‌ها (بدون فیلتراسیون) رسم شده‌اند و جواب‌ها با تقریب قابل‌قبولی برای روش ساده و روش مؤثر به هم نزدیک می‌باشند. این نتایج همچنین در جدول (4) نیز این موضوع را تأیید می‌کند.

در این جدول سطح زیر هر منحنی به‌عنوان مقدار خطر فروریزش سازه محاسبه‌شده که دقت بالای روش ساده مذکور را نسبت به دو روش پیشین به‌خوبی نشان می‌دهد.

***جدول (4)**: مقدار $MAF(\times 10^{-4})$ محاسبه شده برای سازه مذکور با توجه به روش‌های مختلف محاسبه آن*

سطح زیر منحنی	نام روش
2/1	روش مستقیم
2/2	روش adjustment
2/1	روش مؤثر
2/9	همه رکوردهای بدون فیلتراسیون

5 - نتیجه‌گیری

با روش فیلتراسیون مستقیم دقت جواب‌ها در محاسبه پاسخ سازه و همچنین محاسبه ظرفیت فروریزش سازه بیشتر می‌شود، اما امکان عملی بودن این روش بسیار کم است. سپس روش فیلتراسیون ساده برای محاسبه ظرفیت فروریزش سازه‌ها بدون نیاز به تکرار فرآیند فیلتراسیون ارائه گردید. در این مطالعه روش دیگری ارائه شد که مزیت آن نسبت به دو روش قبلی این است که تنها تعداد محدودی از جنبش‌های زمین مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و علاوه بر عدم نیاز به تکرار فرآیند فیلتر کردن برای هر سطح خطر، عدم نیاز به همه مجموعه شتاب‌نگاشت‌ها را نیز در خود جای می‌دهد. با استناد به این روش و تکرار دو روش قبل برای محاسبه و ارزیابی ظرفیت خطر سازه‌ها، این پژوهش بر روی 30 سازه با دوره تناوب و شکل‌پذیری‌های متفاوت انجام شده و نتایج از دقت زیاد این روش نسبت به روش مستقیم حکایت دارد. با توجه به فرمول ارائه‌شده در متن برای محاسبه نرخ متوسط سالیانه خطرپذیری سازه و با فرض منطقه‌ای با لرزه‌خیزی 0/005 و با فرض مقدار MAF از مرتبه 0/0002 پاسخ هدف پاسخی است که تنها 0/04 آن‌ها مقداری بیشتر از مقدار فوق را نشان دهد. با فرض 30 درصد خطا در برآورد نرخ پاسخ قابل‌قبول تلقی می‌شود. به عبارتی اگر برای پاسخ هدف مقادیری بین 0/05 تا 0/06 نیز به دست آید قابل‌قبول تلقی می‌شود که این روند برای هر 30 سازه انجام شد و با توجه به خطای مفروض این روش برای 90 درصد سازه‌ها جواب قابل‌قبولی ارائه داده که نشان از صحت و دقت بالای این روش دارد. در این تحقیق به معرفی یک روش ساده برای محاسبه شاخص فروریزش سازه‌ها پرداخته شد. برای این منظور ابتدا با سعی و خطا یک بازه اپسیلون با انحراف معیار ثابت برای سازه‌ها به دست آمد که بر آن اساس می‌تواند شاخص فروریزش را محاسبه کند. درنهایت یک بازه با استفاده از یک برنامه بهینه در متلب انتخاب شده است که طول این بازه برای همه سازه‌ها ثابت است؛ اما برای سازه‌های با دوره تناوب مختلف متفاوت می‌باشد. این بازه بهترین بازه در بین کل اپسیلون‌های

موجود به‌دست‌آمده از رابطه کاهندگی AS97 موجـود بـوده است. در واقع این بازه طوری انتخاب شده اسـت کـه مقـدار میانگین سالیانه فراگذشـت پاسـخ سـازه‌هـا (MAF) بسـیار نزدیـک بـه دو روش قبلـی یعنـی روش مسـتقیم و روش انطباقی برای محاسبه این شاخص بوده است. حد وسط ایـن اپسیلون به‌عنوان اپسیلون مؤثر شناخته شد. در واقع با ایـن روند علاوه بر اینکه به‌صورت خیلی ساده مـی‌تـوان شـاخص فروریزش سازه‌ها را محاسبه کرد می‌توان تعیـین نمـود کـه چه رکوردهایی برای تحلیل دینامیکی سازه انتخـاب شـوند. در واقع با این روش تنها تعداد محدودی از شتاب‌نگاشت‌هـا که حدود اپسیلون آن‌ها مشخص است وارد تحلیل سـازه‌هـا می‌شوند و مانند دو روش پیشین نیاز به یک مجموعه رکورد با اپسیلون‌های متفاوت نیست. در واقع به‌طور میانگین بـین 7 تا 12 شتاب‌نگاشت برای هر سـازه انتخـاب و وارد تحلیـل دینامیکی سازه‌ها می‌شوند سپس این رونـد بـه‌طـور مشـابه برای نسل جدیـد روابـط کاهنـدگی NGA2008 نیـز مـورد استفاده قرار گرفت که نتایج نشان از رفتـار یکسـان و دقـت بالای این روش برای این روابـط کاهنـدگی بـرای محاسـبه شاخص فروریزش سازه‌ها دارد.

مراجع

1. Krawinkler, H., Zareian, F., Medina, R., and Ibarra, L. (2004) Contrasting Performance-Based Design with Performance Assessment, Performance-Based Seismic Design Concepts and Implementation, *Proceedings of an International Workshop*, Bled Slovenia, Peter Fajfar and Helmut Krawinkler, editors. PEER Report 2004/05, PEER, UC Berkeley, 505-551.
2. Baker, J.W. (2008*) An Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*. Impact of bounds on considered magnitudes and distances**,** 43-47.
3. McGuire, R.K. (1995) Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **85**, 1257-1284.
4. Baker, J.W. and Cornell, C.A. (2006) Spectral shape, epsilon and record selection. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **34**(10), 1193-1217.
5. PEER (2005) Strong Motion Database. Available from: http://peer.Berkeley.edu/NGA.
6. Vamvatsikos, D. and Cornell, C.A. (2005) Direct estimation of the seismic demand and capacity of multi-degree-of-freedom systems through incremental dynamic analysis of single degree of freedom approximation. *Journal of Structural Engineering*, **131**(4), 589-599.
7. Abrahamson N.A. and Silva, W.J. (1997) Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquake. *Seismological Research Letters*, **68**(1), 94-126.
8. Haselton, C.B. and Deierlein, G.G. (2007) *Assessing Seismic Collapse Safety of Modern Rein-Forced Concrete Moment-Frame Buildings, PEER Report 2007/08*. Pacific Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.