توسعه روشی ساده برای انتخاب شتابنگاشت زلزله جهت برآورد شاخص فروریزش سازه‌ها

محسن آخانی سنجانی
دانشجوی کارشناسی ارشد سازه،دانشگاه اراک،اراک،ایران
mst.akhani@gmail.com

سید مهدی موسوی
استادیار،دانشگاه اراک،اراک، ایران
mehdimousavi61@yahoo.com

محمدرضا شهری
فارغ التحصیل سازه،دانشگاه اراک،اراک، ایران
mohammadreza.shahri@yahoo.com

کلید واژه‌ها: *جنبش‌های زمین، انتخاب شتاب نگاشت‌ها، اپسیلون، شکل طیف، برآورد فروریزش*

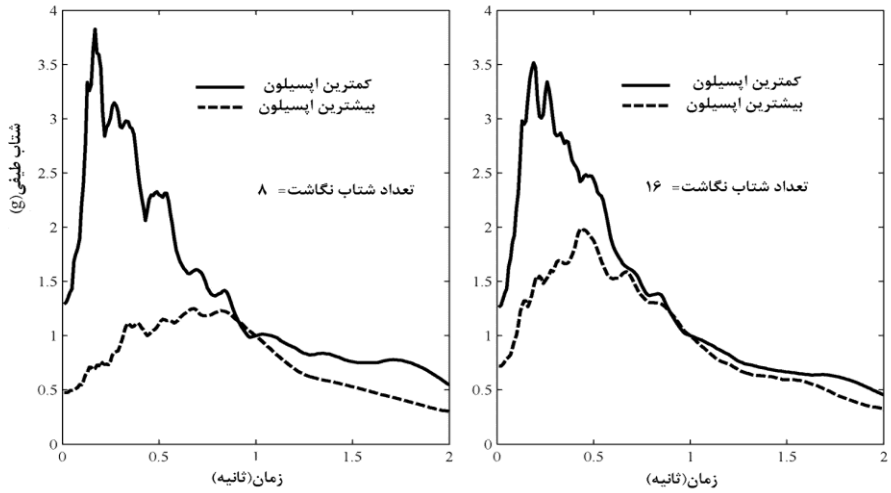
چکیده

انتخاب شتاب نگاشت‌های زمین لرزه در دهه اخیر به عنوان یکی از موضوعات مهم در تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها به شمار می‌رود. بدین منظور باید مجموعه‌ای از شتاب نگاشت‌های زلزله با ویژگی‌های خاص که متناسب با شرایط ساختگاه باشد انتخاب شوند. یکی از چالش‌های اصلی در برآورد ظرفیت فروریزش سازه‌ها که از تحلیل دینامیکی غیرخطی به دست می‌آید، انتخاب و مقیاس کردن شتاب نگاشت‌های مختلف برای استفاده در این تحلیل است. تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که شکل طیف یک ویژگی کلیدی از تاثیر شتاب نگاشت‌ها روی پاسخ سازه‌ها می‌باشد. برای سطوح خطر مختلف، شکل طیف خطر یکنواخت می‌تواند کاملا متفاوت از میانگین طیف پاسخ از یک شتاب نگاشت واقعی باشد. ازاین روشاخصی به نام اپسیلون که به عنوان تعداد انحراف معیار لگاریتم بین اندازه طیف یک جنبش واقعی زلزله با میانگین طیف پیش بینی شده از شتاب نگاشت‌های مختلف که از مدل کاهندگی به دست می‌آید، تعریف شده است. دو روش برای در نظر گرفتن تاثیر شکل طیف بر روی انتخاب شتاب نگاشت‌ها و محاسبه نرخ فراگذشت پاسخ سازه‌ها وجود دارد. در روش اول متناظر با ساختگاه مورد نظر و اپسیلون هدف که از تحلیل خطر احتمالاتی به دست می‌آید، شتاب نگاشت‌هایی که اپسیلون آن‌ها به اپسیلون هدف نزدیک است انتخاب می‌شوند. اما به دلیل انتخاب یک مجموعه شتاب نگاشت منحصربه فرد برای هر سازه با سطح خطر مورد نظر، روش ساده‌تری ارائه گردید. در این روش یک مجموعه کلی از شتاب نگاشت‌ها بدون در نظر گرفتن شکل طیف آن ها در نظر گرفته می‌شود. روش ساده‌تر دیگری در این تحقیق در نظر گرفته شده است که به انتخاب تعداد محدودتری از شتاب نگاشت‌ها برای تحلیل هر سازه منجر شده است. در نهایت با ارایه یک فرمول ساده برای محاسبه اپسیلون موثر با توجه به ویژگی‌های سازه مورد نظر، نتایج قابل اعتمادی نسبت به دو روش فوق ارائه می‌شود.

مقدمه

زلزله یکی از مهم ترین پدیده‌های طبیعی محسوب می‌شود. البته در گذشته‌ای نه چندان دور رخدادی ناشناخته به حساب می‌آمد. اما امروزه به زلزله با دید دیگری نگریسته می‌شود دلیل آن هم این است که زلزله نیز به مانند دیگر پدیده یا رخدادهای کره زمین توسط بشر مدل‌سازی شده و امروزه به عنوان یکی از ملزومات تحلیل سازه‌ها مورد استفاده مهندسین قرار گرفته است. با ارتقای ابزار تحلیل و طراحی و بسط و گسترش علم سازه، تحلیل از حالت ارتجاعی به غیر ارتجاعی و از شکل استاتیکی به دینامیکی ارتقا یافته است. به طـوری که امـروزه تحلیل

دینامیکی غیر خطی (غیر ارتجاعی) مد نظر اکثریت محققان قرار گرفته است. یکی از اهداف طراحی لرزه ای سازه ها ایمنی جانی ساکنین ساختمان ها در حین زلزله های غیر عادی می‌باشد، که این امر مستلزم این است که احتمال فروریزش سازه در حد قابل قبولی پایین باشد. هنگامی که یک سیستم سازه‌ای تحت تحلیل دینامیکی قرار می‌گیرد انتخاب شتاب- نگاشت ها موضوعی مهم خواهد بود، چرا که انتخاب با دقت شتاب نگاشت‌ها می‌تواند باعث کاهش حجم محاسبات شود. موضوع انتخاب شتاب‌نگاشت زلزله برای تحلیل دینامیکی امروزه از جمله مهمترین موضوعات مشترک سازه و زلزله به حساب می‌آید و هیچ گونه اجماع کلی در این زمینه وجود ندارد و برخی مواقع آیین نامه‌ها تحلیل دینامیکی را به نظر طراح محدود می‌کند. با این حال این آیین نامه‌ها مثل موسسه بتن آمریکا(۲۰۰۶) مواردی از قبیل ایمنی فروریزش سازه‌ها را هنوز به طور دقیق مورد ارزیابی قرار نداده‌اند. مهندسی زلزله عملکردی یک روش شفاف و روشنی جهت برآورد ایمنی فروریزش سازه ها ارائه می‌دهد که مستلزم یک چارچوب احتمالاتی کلی می‌باشد و گام‌های مختلف برای محاسبه این روش را با هم ادغام می‌کند (Berry M et al., 2004). مرکز تحقیقات مهندسی زلزله پسیفیک (PEER) یک چارچوب احتمالاتی برای این روند توسعه داده است. این چارچوب یک راهکارثابت برای یکپارچگی اعضای کلی روند محاسبه خطر فروریزش سازه‌ها فراهم می‌کند. با توجه به این چارچوب برای دقت در محاسبه خطر فروریزش، هر مرحله از فرایند باید به طور کامل و با دقت انجام شود .این مراحل شامل ویژگی‌های جنبش‌های زمین، مدل کردن سازه و لحاظ عدم قطعیت‌ها می‌باشد. نرخ سالیانه میانگین فراگذشت پاسخ سازه ها از یک سطح مشخص، با انتگرال حاصل ضرب منحنی شکنندگی و منحنی خطر ساخت گاه به دست می‌آید(McGuire (1995. محاسبه منحنی خطر برای یک ساختگاه روشی آسان و مستقیم است، در حالیکه فرآیند محاسبه منحنی شکنندگی هنوز به طور کامل فراگیر نشده است. یک چالش مهم در برآورد منحنی شکنندگی فروریزش لرزه ای انتخاب مجموعه مناسبی از شتاب نگاشت های زلزله می‌باشد. در واقع انتخاب و مقیاس کردن این شتاب نگاشت ها برای استفاده در تحلیل های دینامیکی غیرخطی چالش اصلی مورد نظر می‌باشد. بیکر و کرنل(۲۰۰۶)نشان دادند که شکل طیف یک ویژگی مهم از تاثیر شتاب نگاشت ها روی پاسخ سازه هاست. برای سطوح خطر مختلف شکل طیف خطر یکنواخت می‌تواند کاملا متفاوت از میانگین طیف پاسخ از یک شتاب نگاشت واقعی باشد. پس طیف به تنهایی قادر به بیان ویژگی های شتاب نگاشت ها و تاثیر آن بر روی پاسخ سازه ها نمی‌باشد. در نتیجه شاخصی به نام اپسیلون که به عنوان تعداد انحراف معیار لگاریتم بین اندازه طیف یک جنبش واقعی زلزله با میانگین طیف پیش بینی شده که از مدل کاهندگی به دست می‌آید، برای بیان شکل طیف تعریف شد. شکل (۱) تاثیر اپسیلون را به عنوان شاخصی از شکل طیف نشان می‌دهد. یک مجموعه کلی از ۷۸ شتاب نگاشت ها با بزرگای ۵/۶-۷/۸ انتخاب شده اند. همه شتاب نگاشت ها در زمان ۱ ثانیه مقیاس شده اند و بر اساس مقدار اپسیلون خود طبقه بندی شده اند. سپس دو زیر مجموعه به تعداد ۸ و ۱۶ عدد شتاب نگاشت از بالاترین تا پایین ترین مقدار اپسیلون انتخاب می‌شود و میانگین طیف پاسخ برای آن ها رسم شده است.



شکل۱: طیف میانگین برای دو مجموعه شتاب نگاشت برای نمایش اثر اپسیلون روی شکل طیف

که همانطور که در شکل مشاهده می‌شود شکل طیف آن ها متفاوت از یکدیگر است که در واقع لزوم وجود شاخصی به نام اپسیلون را برای طیف به خوبی توجیه می‌کند. در زلزله هایی با دامنه بالا این اختلاف بین دو طیف مشهودتر می‌شود پس انتخاب شتاب نگاشت ها برای محاسبه احتمال فروریزش سازه ها اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. یک روش مستقیم برای در نظر گرفتن شکل طیف در انتخاب شتاب- نگاشت این است که هر کدام از اپسیلون ها که مقدارشان به اپسیلون هدف که از فرآیند تفکیک لرزه‌ای به دست می‌آید، نزدیک تر بود انتخاب می‌شود. به خاطر وابستگی اپسیلون به پریود سازه نمی‌شود برای هر سطح خطر و محاسبه نرخ فراگذشت برای هر سازه دلخواه با پریود مخصوص خود، مجموعه ای از شتاب

نگاشت ها را انتخاب کرد. در ATC63[1] روش ساده ای به جای روش مستقیم ارائه گردید که در آن یک مجموعه کلی از شتاب نگاشت ها را برای برآورد ظرفیت فروریزش لرزه ای سازه ها بدون در نظر گرفتن شکل طیف آن ها پیشنهاد می‌دهد. این روش به روش[2] انطباقی معروف است. Haselton and Deierlein (2007). با انجام تحلیل های دینامیکی غیرخطی برای سازه های مختلف و محاسبه پاسخ این سیستم ها می‌توان ظرفیت شکنندگی در سطوح مختلف خطر و به تبع آن مقدار نرخ سالیانه میانگین را برای مجموعه ای از شتاب نگاشت ها برآورد کرد. با داشتن این مجموعه شتاب نگاشت ها، می‌توان مقادیر اپسیلون آن ها را که به ازای هر سازه متفاوت به دست می‌آید را از روابط کاهندگی محاسبه کرد. اما ایرادی که می‌توان بر این روش گرفت در واقع لزوم وارد کردن همه مجموعه شتاب نگاشت‌های مورد بررسی در تحلیل دینامیکی سازه‌ها می‌باشد. هدف این پژوهش ارائه یک روش ساده تری به جای روش مذکور می‌باشد که در نهایت مقدار نرخ سالیانه میانگین فراگذشت مطلوبی به ما می‌دهد، که البته نیازی به مجموعه کلی از شتاب نگاشت ها نمی‌باشد و تنها تعداد محدودی از آن ها که مقدار اپسیلون آن ها در بازه مورد نظر یا همان اپسیلون موثر نزدیک تر است انتخاب می‌شوند. در این روش می‌توان مقادیر اپسیلون را به بازه های مختلف دسته بندی کرد و در نهایت یک بازه را به عنوان بازه موثر پیدا نمود. به این معنی که فقط با داشتن مقادیر اپسیلون در این بازه می‌توان نرخ سالیانه میانگین فراگذشت پاسخ سازه ها را محاسبه کرد. با این کار از انجام تحلیل های دینامیکی غیرخطی برای به دست آوردن پاسخ های سازه‌ها به ازای همه شتاب نگاشت های مجموعه کاسته می‌شود.

ویژگی های رخداد مورد نظر

ساختگاه مورد نظر در این تحقیق همان ساختگاه فرضی تحقیقات گذشته با ویژگی‌های غالب زیر می باشد :

۱. دوره بازگشت رخداد برابر ۲۰۰ سال.
۲. بزرگای رخداد برابر ۷.۲.
۳. سرعت موج برشی برابر با $Vs_30 = 360\ m/sec$.
۴. نوع گسل معکوس، فراردیوار فرو دیوار(hanging wall)

با توجه به اینکه رابطه کاهندگی مورد نظر رابطه کاهندگیAS97 می‌باشد، لذا تمام موارد ذکر شده برای این رابطه کاهندگی مورد استفاده قرار گرفته است و اگر رابطه دیگری مورد نظر باشد برخی ویژگی‌های دیگری از قبیل شیب گسل، عمق مربوط به سرعت موج برشی ۲/۵ کیلومتر بر ثانیه (Z_{vs})، فاصله بالاترین نقطه گسل تا سطح زمین (Z_{tor})، میانگین زاویه صفحه گسیختگی با سطح افقی (Delta) نیز اضافه خواهد شد.

پیدا کردن بازه اپسیلون موثر سازه‌ها

با توجه به اینکه هدف پیدا کردن یک بازه موثر اپسیلون برای هر سازه این است که مقدار شاخص فراگذشت محاسبه شده در مقایسه با دو روش قبل خطای کمتر و روندی ساده‌تر داشته باشد لذا روند محاسبه شاخص مذکور در این روش کاملا متفاوت از دو روش فوق می‌باشد. پیدا کردن یک بازه اپسیلون به جای یک مجموعه کلی از شتاب نگاشت‌ها روند شروع را بر این مبنا قرارداده است که یک بازه اپسیلون به نحوی انتخاب شود که کمترین خطا را از نظر عددی و بیشترین انطباق را از نظر شکلی بر روی منحنی‌های سالیانه فراگذشت پاسخ سازه‌ها نسبت به دو روش قبلی داشته باشد. ابتدا باید دقت شود که تعداد شتاب- نگاشت‌های مورد استفاده همان ۷۸ شتاب نگاشت استفاده شده در تحقیقات قبلی می‌باشد و رابطه کاهندگی مورد نظر نیز همان رابطه کاهندگی AS97 می باشد. اما نحوه به دست آوردن این بازه‌ها به این گونه است که ابتدا با توجه به پریود اول سازه و رابطه کاهندگی مذکور تعداد ۷۸ اپسیلون متفاوت به دست می‌آید و مقدار ماکزیمم و مینیمم آن‌ها مشخص می‌شود. سپس با توجه به این مقادیر و استفاده از نرم افزار متلب(۲۰۱۱) برنامه‌ای اتخاذ شده است که می‌تواند بین این دو مقدار حداقل و حداکثر بازه‌ای را انتخاب کند که مورد نظر تحقیق می‌باشد. با توجه به اینکه بین این دو مقدار سطح وسیعی از مقادیر اپسیلون وجود دارد، پیدا کردن این بازه کار سخت و مشکلی به نظر می‌رسد. برای این کار ابتدا برای یک سازه دلخواه با پریود ۰/۵۶ ثانیه، منحنی میانگین سالیانه فراگذشت پاسخ سازه(MAF) برای کل مجموعه شتاب نگاشت‌ها رسم می‌شود و سپس سعی شده است که بازه‌ای از اپسیلون که بیشترین تاثیر را در این منحنی دارد، یا بازه‌ای از اپسیلون‌ها که بیشترین سطح زیر منحنی MAF در آن گنجانده شده است، یافت شود. برای این کار ابتدا این بازه ها به بازه مثبت و منفی تبدیل شده‌اند. یعنی یک بازه از مقدار مینیمم اپسیلون‌ها تا مقدار صفر و یک بازه از صفر تا مقدار حداکثر اپسیلون‌ها. با توجه به این روند مشخص شده

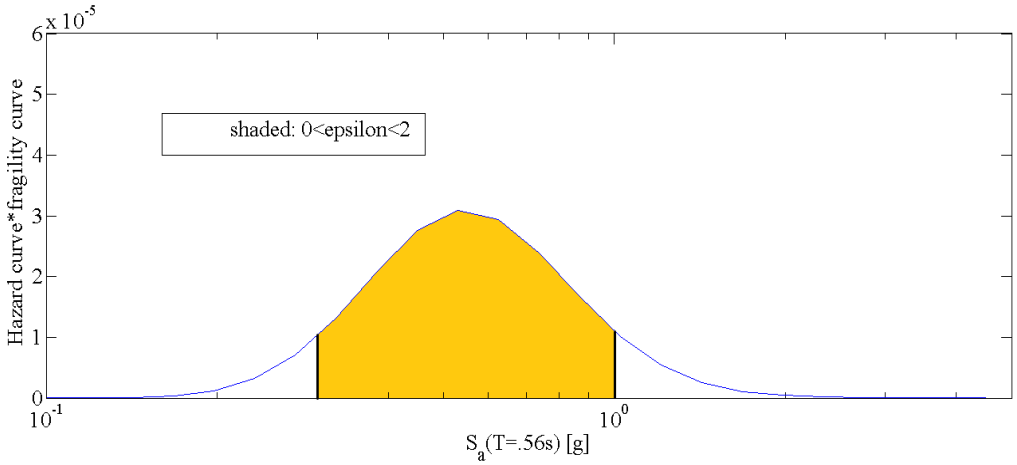
1 Applied technology council
2 Adjustment method

است که اپسیلون‌های منفی تنها مقدار ۴ درصد از سطح کل زیر منحنی را تشکیل می‌دهند. پس اپسیلون هدف قطعا اپسیلونی مثبت خواهد بود. اما با یک آزمون سعی وخطا برای سازه فوق مشخص شده است که ۸۷ درصد سطح زیر منحنی بین بازه ۰ تا ۲ بوده است. لذا با توجه به محدودتر کردن اپسیلون و اینکه مقدار بازه اپسیلون هدف قطعا بازه‌ای بین مقادیر فوق خواهد داشت، ادامه کار و پیدا کردن بازه اپسیلون موثر ساده‌تر شده است. در جدول(۱) مقادیر بالا نمایش داده شده است تا دید بهتری نسبت به روند مذکور و ادامه کار مشخص شده باشد.

جدول۱: مقادیر درصد سطح زیر منحنی برای بازه های مختلف

سطح زیر منحنی(درصد)	بازه
۴	۲/۱- تا ۰
۸۷	۰ تا ۲
۹	۲ تا ۴/۹

همچنین برای اینکه به موضوع به دید دیگری نگریسته شود منحنی فراگذشت پاسخ سازه را برای سازه فوق در شکل(۲) رسم شده است. سطح هاشور خورده در واقع همان سطح زیر منحنی به ازای بازه اپسیلون بین ۰ تا ۲ می باشد که به خوبی نشان می‌دهد که بیشترین سهم از سطح زیر منحنی برای بازه فوق یعنی بازه ۰تا۲ می‌باشد.



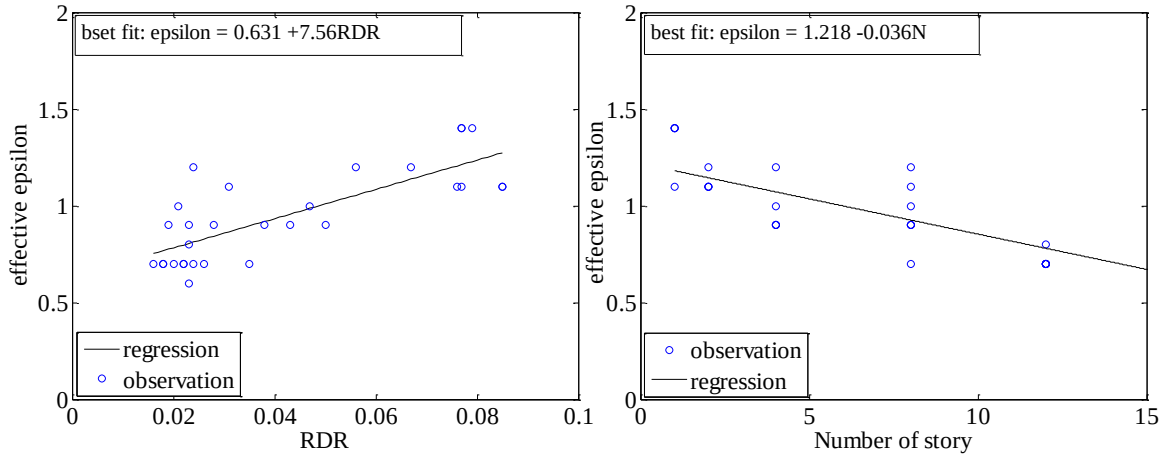
شکل۲: منحنی MAF مجموعه کل رکوردها برای سازه با پریود ۰/۵۶ ثانیه و نمایش میزان مشارکت بازه اپسیلون ۰ تا ۲ بر روی منحنی

اما کار به اینجا ختم نشده است چون که هدف پیدا کردن بازه به مراتب کوچکتری نسبت به بازه فوق می‌باشد. برای ادامه روند تحقیق با استفاده از نرم افزار متلب برنامه ای اتخاذ شده است که می‌تواند این بازه را انتخاب کند. بین شتاب نگاشت‌های بازه ۰ تا ۲ برای سازه دلخواه بازه‌ای انتخاب می‌شود که کمترین خطا و بیشترین انطباق را با روش اول یا همان روش مستقیم که پیش‌تر توضیح داده شد، داشته باشد. به نحوی که بازه فوق به بازه‌های مختلف با فاصله های ۰/۵، ۰/۴، ۰/۳، و ۰/۲ تقسیم‌بندی می‌شود و منحنی MAF برای هر سه روش، روش مستقیم، روش انطباقی و روش ساده مد نظر در این تحقیق، به ازای بازه‌های فوق ترسیم شده و سعی شده است بهترین بازه به عنوان بازه اپسیلون موثر شناخته شود. همانطور که گفته شد، بازه موثر کمترین خطا و بیشترین انطباق را با روش اول یا همان روش مستقیم دارد که در این بین، بازه‌ای به طول ۰/۴ بهترین بازه شناخته شده است. البته ممکن است بازه‌ای غیر از بازه‌های فوق نیز پیدا شود که نتایج بهتری ارائه دهد. به عنوان مثال بازه‌ای باشد که فاصله نقاط ابتدا و انتهای آن هیچ یک از موارد فوق نباشد. مثلا ممکن است بازه‌ای به طول ۰/۲۴ یا مواردی ازین قبیل که خارج از موارد بالا می‌باشند. پس لازم است که تاکید شود بازه‌های فوق بهترین بازه از بین موارد فوق می‌باشند نه بهترین بازه در کل اپسیلون‌های موجود. چرا که ممکن است بازه‌ای کوچکتری یافت شود که تعداد رکوردهای بین آن بازه کمتر از حد مجاز مورد تایید آیین نامه‌ها باشد. از طرفی محاسبه این کار نیز سخت تر خواهد شد در حالی که هدف پیدا کردن روشی ساده برای محاسبه شاخص فراگذشت پاسخ سازه‌ها و در نهایت اتخاب شتاب‌نگاشت‌ها می‌باشد. لذا در ابتدا این بازه‌ها به صورت تقریبی می‌باشند. اما راهکار اصلی پیدا کردن یک رابطه برای اپسیلون موثر با ویژگی‌های سازه‌ها اعم از تعداد طبقات و مقدار $RDR_{(ult)}$ (مقدار تغییر شکل نسبی طبقه بام در ٪۲۰ مقاومت از دست رفته جانبی) می‌باشد. دلیل انتخاب این پارامترها این است که در تحقیقات قبل هاسلتون(۲۰۰۷) نیز این دو مورد برای محاسبه شاخص فروریزش سازه‌ها مورد بررسی قرار گرفته بودند. از طرفی چون برای پیدا کردن یک رابطه احتیاج به یک عدد برای هر اپسیلون می‌باشد نه یک بازه، لذا برای سهولت کار مقادیر وسط بازه‌های فوق به عنوان

اپسیلون هدف در نظر گرفته می‌شود و سپس به بررسی رابطه بین این مقادیر با مشخصات سازه‌ها پرداخته خواهد شد. در واقع می‌توان این طور فرض کرد که برای هر سازه یک عدد به عنوان اپسیلون موثر شناخته شده است و این عدد با یک انحراف معیار که برای هر سازه مشخص می‌باشد جمع و تفریق می‌شود و همان بازه‌های جدول قبل به دست می‌آید. به عنوان مثال برای سازه بحث شده در مباحث قبلی بازه به دست آمده بین ۰/۹ تا ۱/۳ می‌باشد و مقدار وسط این بازه عدد ۱/۱ می‌باشد. حال انحراف معیار برای این سازه ۰/۲ می‌باشد که عدد ۱/۱ با مقدار ۰/۲ جمع و تفریق شود و همان بازه قبل را تشکیل می‌دهد. این روند برای تمامی سازه‌ها قابل تکرار است.

نتایج آنالیز رگرسیون برای محاسبه اپسیلون موثر

حال می‌توان مشاهده کرد که میزان پراکندگی این مقادیر اپسیلون به ازای سازه‌های مختلف چگونه است. می‌توان به صورت کلی این ایده را مطرح کرد که چه رکوردهایی با چه اپسیلون متناظری وارد تحلیل سازه‌ها شوند. همچنین مقادیر پراکندگی این بازه‌ها را می‌توان مشاهده کرد. هرچه این بازه محدودتر باشد در واقع تعداد شتاب نگاشت‌های انتخابی نیز محدودتر وکم‌تر می شود. برای این کار لازم است مقادیر اپسیلون بر حسب مشخصات سازه‌ای رسم شود و با توجه به مباحث آماری میزان حساسیت سنجی این مقادیر نسبت به هم سنجیده شود. برای این منظور و بررسی دقیق‌تر موضوع نتایج مربوط به تغییرات این مقادیر در شکل (۳) قابل مشاهده می‌باشد. همانگونه که در شکل زیر مشخص است بین مقادیر اپسیلون با تعداد طبقات، رابطه به گونه ای است که با افزایش این پارامتر، مقدار اپسیلون موثر کاهش می‌یابد اما این روند برای شاخص $RDR_{(ult)}$ کاملا برعکس می‌باشد. به نحوی که با افزایش این پارامتر،مقدار اپسیلون هدف نیز افزایش می‌یابد.



شکل۳: رگرسیون خطی بین مقادیر اپسیلون موثر با RDR و تعداد طبقات سازه

با توجه به شکل فوق که بهترین توابع هر شکل مشخص شده است نیاز به صحت سنجی است که روابط فوق تا چه حد، نیاز این تحقیق به درستی روابط را برطرف می‌کند. لذا مقادیر ضریب همبستگی و مقدار $p-value$ این موضوع را مشخص خواهند کرد. لذا در جدول(۲) این مقادیر مشخص شده است که از این نتایج می‌توان فهمید که مقدار اپسیلون موثر به کدام یک از پارامترها وابسته است و یا وابستگی بیشتری دارد.

جدول۲: نتایج به دست آمده برای ارتباط بین اپسیلون موثر با مشخصات سازه‌ای

مشخصات سازه‌ای	ضریب همبستگی	$p-value$
تعداد طبقات	-۰/۸۲	$۴/۲۱ \times ۱۰^{-۱۰}$
$RDR(ult)$	۰/۷۷	$۸/۹۳ \times ۱۰^{-۷}$

از جدول فوق می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر $p-value$ برای هر ۲ ویژگی سازه مقدار قابل قبولی ارائه می‌دهد چرا که همه مقادیر کوچکتر از مقدار بحرانی ۰/۰۵ است. همچنین مقدار ضریب همبستگی نیز بیشتر از ۰/۷ می‌باشد که از نقطه نظر آماری قابل قبول می‌باشد. لذا باید فرمولی برای محاسبه اپسیلون ارائه داد که تابعی از همه موارد فوق با هم باشد. به این منظور هنگامی که یک تابع مانند $f(x)$ تابعی از چند

متغیر، یا به عبارتی بیش از یک متغیر باشد می‌توان با یک رگرسیون خطی، که به رگرسیون چندگانه معروف است برای محاسبه داده‌ها ارائه داد. Chatterjee and Hadi (1986). ابتدا فرم معادله به شکل زیر فرض می شود:

$$f(x) = a0 + a1x1 + a2x2 \qquad (۱)$$

سپس ضرایب a_0، a_1، a_2 با مینیمم کردن مجموع جذر انحراف معیار داده‌ها به دست می‌آیند. حال رابطه (۱) به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

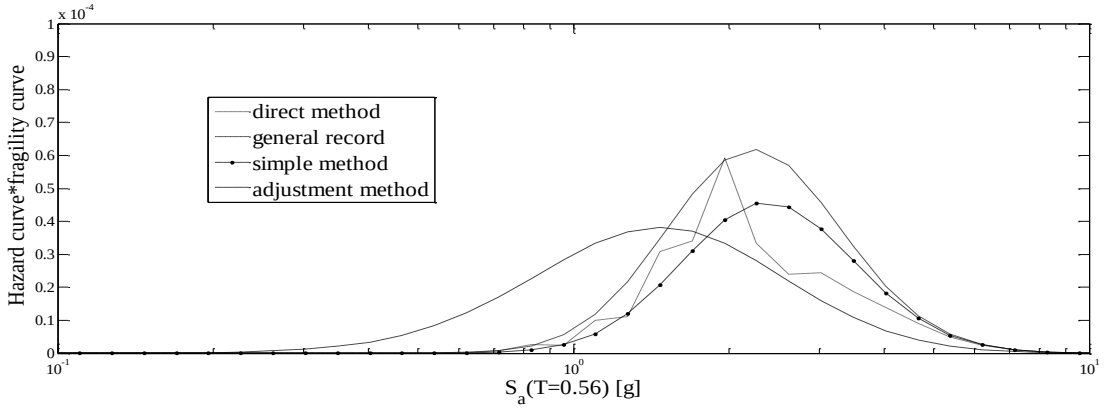
$$\varepsilon = a0 + a1N + a2RDR \qquad (۲)$$

که در این فرمول مقدار N تعداد طبقات و RDR مقدار تغییر شکل نسبی طبقه بام هنگامی که ٪۲۰ مقاومت جانبی از دست رفته می‌باشند. ضرایب معادله فوق با روش حداقل مربعات به دست آمده است و به ترتیب برابرهستند با ۱/۰۰۸، ۰/۰۲۵۱- و ۳ هستند. رابطه فوق به شکل نهایی زیر بازنویسی می‌شود.

$$\varepsilon = 1.008 - 0.0251N + 3RDR \qquad (۳)$$

محاسبه شاخص فروریزش سازه‌ها با استفاده از فرمول نهایی اپسیلون موثر

می‌توان با یک فرمول خطی ساده اپسیلون موثر را محاسبه نمود و برای هر سازه بازه اپسیلون مورد نظر را به وجود آورد. با توجه به مباحث مطرح شده و محاسبه فرمولی برای محاسبه اپسیلون موثر و در نتیجه پیدا کردن بازه‌ای با تعداد محدودی شتاب‌نگاشت، می‌توان این شاخص را برای سازه‌های مختلف محاسبه نمود و با دو روش قبلی که پیش‌تر مطرح شد مقایسه کرد. همانطور که گفته شد این منحنی از ضرب منحنی شکنندگی در منحنی خطر به دست می‌آید. با توجه به این که منحنی خطر برای تمامی سازه‌ها با توجه به میزان خطر پذیری ۰/۰۰۵ و همچنین ساختگاه ایده‌آل مفروض در ابتدای فصل، یکسان می‌باشد لذا تنها فرق بین سازه‌ها در محاسبه این شاخص منحنی شکنندگی آن‌ها می‌باشد.Brown and lowes(2006). به همین منظور شکل (۴) منحنی میانگین سالیانه فراگذشت پاسخ سازه را برای یک سازه دلخواه با پریود ۰/۵۶ ثانیه و تعداد طبقات۲ و همچنین شاخص $RDR_{(ult)}$ برابر با ۰/۰۸۵ را نشان می‌دهد. همچنین مقدار MAF برای هر سازه با توجه به هر سه روش در جدول(۳) قابل مشاهده می‌باشد. این مقدار برابر است با سطح زیر این منحنی که برای روش‌های مختلف محاسبه شده است.



شکل۴: منحنی میانگین سالیانه فراگذشت پاسخ سازه برای هر سه روش موجود به همراه منحنی مجموعه رکوردها بدون در نظر گرفتن اپسیلون برای سازه ای با پریود ۰/۵۶ ثانیه

جدول۳: مقدار میانگین سالیانه فراگذشت سازه با توجه به روش‌های مختلف

نام روش	مقدار $MAF(\times 10^{-5})$
کل مجموعه رکوردها	۱۳/۹
روش مستقیم	۹/۲
روش انطباقی	۸/۳
روش ساده	۱۰

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 می‌باشد. سپس روش فیلتراسیون ساده برای محاسبه ظرفیت فروریزش سازه ها بدون نیاز به تکرار فرآیند فیلتراسیون ارائه شد. در این مطالعه روش دیگری ارائه شد که مزیت آن نسبت به دو روش قبلی این است که تنها تعداد محدودی از جنبش های زمین مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و علاوه بر عدم نیاز به تکرار فرآیند فیلتر کردن برای هر سطح خطر، عدم نیاز به همه مجموعه شتاب نگاشت ها را نیز در خود جای می‌دهد. با استناد به این روش و تکرار دو روش قبل برای محاسبه و ارزیابی ظرفیت خطر سازه ها، این پژوهش بر روی ۳۰ سازه با دوره تناوب و شکل پذیری های متفاوت انجام شده است و نتایج از دقت زیاد این روش نسبت به دو روش قبل حکایت دارد. به این منظور پارامترهایی از جمله تعداد طبقات سازه و شاخصی به نام جابجایی نسبی طبقه بام در روند تحقیقاتی این روش نقش کلیدی داشته‌اند. به این ترتیب ابتدا یک اپسیلون به عنوان اپسیلون موثر برای سازه‌ها پیدا می‌شود و سپس با توجه به روند محاسباتی رگرسیون خطی، این اپسیلون موثر برحسب پارامترهای فوق بار دیگر از فرمول پیش بینی می‌شود. در نتیجه با فرمول محاسبه شده می‌توان برای هر سازه یک اپسیلون موثر محاسبه نمود. مقدار محاسبه شده با یک انحراف معیار جمع و تفریق می‌شود و تشکیل یک بازه را می‌دهد. این بازه شامل شتاب نگاشت‌هایی می شود که مقدار اپسیلون آن‌ها بین این بازه می باشند. در نهایت این تعداد شتاب نگاشت می‌تواند وارد تحلیل دینامیکی سازه می‌شود و نرخ سالیانه فراگذشت پاسخ سازه‌ها را محاسبه می‌کند.

فهرست مراجع

Abrahamson NA and Silva WJ (1997) Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquake, Seismological Research Letters, 68 (1), 94-126

American Concrete Institute (2005) Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-05) and Commentary (ACI 318R-05), Farmington Hills, MI

Baker JW and Cornell CA (2006) "Spectral shape, epsilon and record selection," Earthquake Engineering and Structural Dynamics 34(10), 1193–1217

Berry M, Parrish M and Eberhard M (2004) *PEER Structural Performance DatabaseUser's Manual*, Pacific Engineering Research Center, University of California, Berkeley,California

Brown PC and Lowes LN (2006) "Fragility Functions for Modern Reinforced Concrete Beam-Column Joints", Earthquake Spectra, in review

Chatterjee S and Hadi AS (1986) "Influential Observations, High Leverage Points, and Outliers in Linear Regression." Statistical Science. Vol. 1, pp. 379–416

FEMA. ATC-63 Project 90% Draft Report – FEMA P695 Recommended Methodology for Quantification of Building System Performance and Response Parameters, Prepared by the Applied Technology Coouncil, Redwood City, CA

Haselton CB and Deierlein GG (2007) "Assessing seismic collapse safety of modern reinforced concrete moment-frame buildings," PEER Report 2007/08. Pacific Engineering Research Center,University of California, Berkeley, California.
Matlab Documentation (last accessed October 23, 2011)

McGuire RK (1995) "Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop." Bulletin of the Seismological Society of America 85, 1257–1284

PEER (2005) Strong Motion Database. Available from: http://peer.Berkeley.edu/NGA