



Analysis of Seismic Demand Attenuation of steel Moment-Resisting Frames According to the Distance from the Fault

Ayoub Mehri Dehno

Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

*Hasan Aghabarati

Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Mehdi Mahdavi Adeli

Department of Civil Engineering, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

hassanaghabarati@yahoo.com

Keywords:

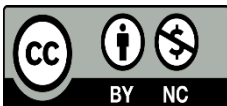
Nonlinear Dynamic Analysis,
Bayesian Statistics,
Near and Far Fields,
Seismic Demand

Abstract

There are many uncertainties in the estimation of the seismic demand of structures, and the distance to the fault is one of the most important ones. But it seems that due to the different nature of the area near the fault, this effect of distance on the seismic demand will be different in the area near and far from the fault. Evaluating this issue and determining the difference between the distance between the fault and the building on the seismic demand of steel bending frames in the area near and far from the fault is the main goal of this research. In the current research and in order to achieve the desired goals, in two similar steel bending frames with three and fifteen floors, after their nonlinear modeling in the OpenSsees software, under the effect of five groups of ۴۰ accelerometers, except for the distance to their fault Other characteristics of these records were chosen the same, nonlinear dynamic analysis was added and the results were used to determine their seismic demand, considering that the only variable in this analysis is the distance to the fault, the difference in the results can be attributed to ratio variable. Based on the results of this research, from a statistical point of view, there is a difference between the effect of distance changes on the seismic demand in the far and near fault areas, and this difference will depend on variables such as the behavior of the frame itself and its performance level.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial ۴.۰ International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می‌باشد).



تحلیل کاهندگی تقاضای لرزه‌ای قابهای خمشی فولادی بر حسب فاصله از گسل

ایوب مهری دهنو

گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

حسن آقابرانی*

گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

مهدی مهدوی عادل

گروه مهندسی عمران، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

hassanaghabarati@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۵ آبان ۱۴۰۳

تاریخ دریافت: ۰۵ مهر ۱۴۰۳

چکیده

در تخمین تقاضای لرزه‌ای سازه‌ها عدم قطعیت‌های متعددی وجود دارد که فاصله تا گسل یکی از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد. اما بنظر می‌رسد که با توجه به ماهیت متفاوت حوزه نزدیک گسل، این تأثیر فاصله بر تقاضای لرزه‌ای، در حوزه دور و نزدیک گسل متفاوت خواهد بود. ارزیابی این موضوع و تعیین تفاوت تأثیر فاصله گسل تا ساختگاه بر تقاضای لرزه‌ای قابهای خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک گسل با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی و آمار بیزین هدف اصلی در این تحقیق می‌باشد. استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی بمنظور پوشش دادن رفتار واقعی غیرخطی سازه در سطوح عملکرد نزدیک فروریزش و استفاده از آمار بیزین با هدف پوشش دادن کلیه عدم قطعیت‌های موجود انتخاب شده است. در تحقیق حاضر و به منظور نیل به اهداف مورد نظر، در دو قاب خمشی فولادی مشابه سه طبقه و پانزده طبقه، پس از مدلسازی غیر خطی آنها در محیط نرم افزار اپن سیس، تحت اثر پنج گروه چهل تایی شتابنگاشت که بجز فاصله تا گسل آنها، سایر مشخصات این شتابنگاشت‌ها یکسان انتخاب شده بود تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایش یافته گردیدند و نتایج حاصل در تعیین تقاضای لرزه‌ای آنها مورد استفاده قرار گرفت که با توجه به اینکه تنها متغیر در این تحلیل فاصله تا گسل می‌باشد، می‌توان اختلاف نتایج را به این متغیر نسبت داد. بر اساس نتایج حاصل در این تحقیق از دیدگاه آماری بین تأثیر تغییرات فاصله بر تقاضای لرزه‌ای در حوزه دور و نزدیک گسل تفاوت وجود دارد که این تفاوت تابع متغیرهایی همچون رفتار خود قاب و سطح عملکرد آن خواهد بود.

کلید واژگان: تحلیل دینامیکی غیر خطی، آمار بیزین، حوزه دور و نزدیک گسل، تقاضای لرزه‌ای

۱- مقدمه

برای مهندسين طراح سازه، بزرگترین چالش در تعیین عملکرد سازه‌ها و طراحی آنها، تعیین رفتار سازه در مقابل زلزله می‌باشد و علت آن هم عدم قطعیت فراوانی است که در نیروهای ناشی از زلزله و پاسخ سازه به این نیروها وجود دارد. طبیعتاً وقتی چنین گستره‌ای از عدم قطعیتها در یک مسأله وجود دارد، در انتخاب روش حل مسأله هم به جای یک روش قطعی باید به روشهای احتمالاتی روی آورده شود [۱، ۲ و ۳]. آنچه که تاکنون به عنوان کاربرد احتمالات در مهندسی زلزله مطرح شده، صرفاً محدود به این بوده است که یک پارامتر حرکت زمین (مثلاً شتاب زمین یا شتاب طیفی) بر مبنای دوره بازگشت آن به عنوان پارامتر طراحی انتخاب گردد و در مجموعه‌ای از ضرایب (نظیر ضریب رفتار، ضریب اهمیت و ...) ضرب شود و از این طریق نیروهای ناشی از زلزله محاسبه گردند. مشخص است که قابلیت اطمینان سازه‌ای که بوسیله چنین روشی طراحی می‌گردد در مقابل فروریزش ناشی از زلزله کاملاً نامعلوم خواهد بود [۴].

وقوع تعدادی زلزله مخرب و بزرگ در سالهای اخیر و نتایج ناگوار آنها که اصلاً مطابق انتظار و پیش‌بینی نبود، بیش از پیش نارسایی روش فوق به اثبات رسید. زلزله نورتریج در هفدهم ژانویه سال ۱۹۹۴، یکی از بهترین نمونه‌ها جهت اثبات این موضوع است. قابل توجه‌ترین اتفاق در این بین خسارت وارده به قابهای خمشی فولادی- که تا پیش از آن سیستمهایی بسیار مطمئن در برابر زلزله محسوب می‌شدند- بود [۵]. حدود ۲۰۰ قاب خمشی دچار گسیختگی در اتصالات جوشی تیر به ستون شدند که کاملاً مغایر با رفتار مورد انتظار از آنها در مقابل زلزله بود. بعد از وقوع این زلزله، مالکین سازه‌ها دریافتند که تحمل هزینه اضافی در مرحله ساخت سازه که موجب بالا رفتن قابلیت اطمینان در رفتار سازه خواهد شد، در مقابل هزینه ناشی از خراب شدن احتمالی سازه‌ها اصلاً قابل توجه نخواهد بود. بنابراین آنها از مهندسين سازه خواستند که سازه‌هایی با عملکرد بهتر طراحی کنند [۶].

تمام این موارد سبب گشت که مجدداً یک بازنگری کلی در آیین‌نامه‌ها، روشها و فلسفه‌های طراحی انجام گیرد و این مرتبه هدف کاملاً مشخص بود: تعیین چارچوبی برای پیش‌بینی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها. فلسفه جدید در طراحی سازه‌ها چنین بود که طراحی سازه‌ها بر مبنای عملکرد آنها صورت گیرد. روشی جدید در طراحی که طراحی بر اساس عملکرد (Performance Based Design) نامیده می‌شود. در روش نوین طراحی بر اساس عملکرد، تخمین تقاضای لرزه‌ای از اجزای مهم توصیف

عملکرد سازه محسوب می‌گردد. بزرگترین چالش در این تخمین، تصادفها و عدم قطعیتهای فراوانی است که پدیده زلزله و پاسخ لرزه‌ای سازه وجود دارد [۷، ۸ و ۹]. بدلیل همین مسأله، استفاده از یک چارچوب احتمالاتی در این تخمین الزامی است. به این روش تحلیل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای (Probabilistic Seismic Demand Analysis) یا PSDA بصورت خلاصه اطلاق می‌گردد [۱۰ و ۱۱]. در واقع PSDA رهیافتی جهت محاسبه احتمال وقوع سالیانه تجاوز پارامتر تقاضای لرزه‌ای یک سازه در یک ساختگاه مشخص از مقداری مشخص می‌باشد. مبنای اصلی در این روش جهت تخمین تقاضای لرزه‌ای یک سازه در ساختگاهی مشخص بدین صورت است که منحنی خطر پارامتر شاخص شدت حرکت زمین (Intensity Measure یا بطور خلاصه IM) برای ساختگاه مذکور با نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی آن سازه تحت مجموعه‌ای از شتابنگاشتها با استفاده از تئوری کلی احتمالات ترکیب می‌گردد تا نتایج مطلوب حاصل شود [۱۲ و ۱۳].

برای توضیح این مطلب به زبان ریاضی، اگر پارامتر تقاضای لرزه‌ای حداکثر تغییر مکان نسبی بین طبقات (که پارامتری بسیار مناسب جهت توصیف رفتار غیر خطی خصوصاً فروریزش کلی قابهای خمشی فولادی است) انتخاب شود و با DR نمایش داده شود و همچنین پارامتر شاخص شدت با IM نشان داده شود، مسأله تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای یعنی احتمال وقوع سالیانه تجاوز پارامتر تقاضای لرزه‌ای (DR) از مقداری مشخص x ، یا به زبان ریاضی $P[DR > x]$ ، بصورت زیر قابل بیان است [۱۴]:

$$P[DR > x] = \int P[DR > x | IM = y] \cdot |dH_{IM}(y)| \quad (۱)$$

در این عبارت، $H_{IM}(y)$ به معنای احتمال وقوع سالیانه تجاوز پارامتر IM از مقدار مشخص y و یا به عبارت دیگر منحنی خطر پارامتر شاخص شدت می‌باشد که دیفرانسیل آن در نقطه y مورد استفاده قرار گرفته است. این جزء عموماً توسط روشهای تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای مورد محاسبه قرار می‌گیرد. ترم مهم دیگر این رابطه ترم $P[DR > x | IM = y]$ می‌باشد که به معنای احتمال تجاوز پارامتر تقاضای لرزه‌ای از مقدار مشخص x به شرط وقوع پارامتر شاخص شدت برابر y تفسیر می‌گردد [۱۵].

اکنون فرصت آن رسیده است که برای اولین بار به هدف اصلی از انجام این تحقیق اشاره گردد. هدف کلی این تحقیق، تعیین احتمال وقوع تقاضا

۲- استفاده از آمار بیزین در تحلیل تقاضا

بطور کلی سه رهیافت اساسی برای انجام محاسبات آماری وجود دارد: روش گشتاورها، روش حداکثر راستنمایی و روش بیزین [۱۹]. در این میان روش بیزین بواسطه قدرت بینظیرش در مدل کردن همزمان عدم قطعیت و تصادف، بهترین گزینه ممکن در مورد محاسبات آماری بر روی پدیده‌های همراه با عدم قطعیت فراوان است که بدون شک پدیده زلزله نیز در این مجموعه جای می‌گیرد [۲۰]. در واقع علت انتخاب آمار بیزین در این مقاله نیز توانایی آن در مدل کردن تمام عدم قطعیت‌های آماری و مدل سازی موجود در زلزله و پاسخ سازه می‌باشد تا از این طریق میزان اطمینان به نتایج حاصل بالا رود. در اینجا مفهوم روش بیزین بصورت خلاصه بیان می‌گردد. جزئیات را در مراجع گوناگونی می‌توان یافت [۲۱، ۲۲ و ۲۳]. فرض شود:

$$D(x, \theta, \sigma) = d(x, \theta) + \sigma \cdot \varepsilon \quad (2)$$

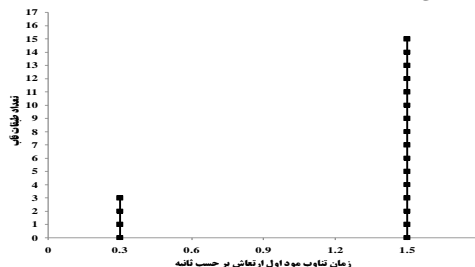
یک مدل ریاضی جهت پیش‌بینی متغیر D برحسب مجموعه‌ای از متغیرهای مشاهده شده یعنی x باشد که در آن $d(x, \theta)$ بخش قطعی مدل، θ بردار پارامترهای مجهول مدل و ε یک متغیر تصادفی نرمال با میانگینی برابر صفر و انحراف معیاری برابر واحد است که نشانگر عدم قطعیت‌های موجود در مدل پیش‌بینی می‌باشد. همچنین σ انحراف معیار مدل است که پارامتری مجهول محسوب می‌گردد. بنابراین بردار پارامترهای مجهول که باید با استفاده از اطلاعات موجود و انجام محاسبات آماری تعیین شوند عبارتند از $\Phi(\theta, \sigma)$. حال در روش بیزین جهت تعیین این پارامترها از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$f(\Phi) = c \cdot L(\Phi) \cdot p(\Phi) \quad (3)$$

که در آن $p(\Phi)$ به عنوان توزیع پیشین مجهولات که نشانگر اطلاعات فعلی در مورد آنها پیش از جمع‌آوری داده‌ها می‌باشد، تعریف می‌گردد. با استفاده از اطلاعات جدید که در واقع همان متغیرهای مشاهده شده یعنی x هستند، سطح جدید اطلاعات در خصوص پارامترهای مجهول در قالب تابع راستنمایی آن یعنی $L(\Phi)$ تعریف می‌گردد. با ترکیب توزیع پیشین و اطلاعات موجود، توزیع پسین پارامترهای مجهول یعنی $f(\Phi)$ که بازتاب دهنده سطح اطلاعات جدید در خصوص مجهولات است محاسبه خواهد شد که همان نتایج مطلوب می‌باشد. در این میان پارامتر c هم صرفاً نقش یک پارامتر مقیاس‌کننده را بازی می‌کند تا برابر واحد شدن انتگرال تابع توزیع پسین را ضمانت نماید. با چنین رهیافتی می‌توان پارامترهای

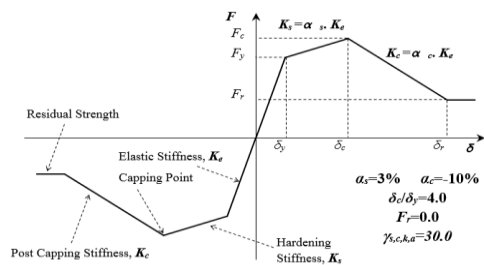
یا همان $P[DR > x]$ با در نظر گرفتن یک چالش بسیار مهم یعنی محبت حوزه نزدیک گسل می‌باشد. یکی از عمده‌ترین چالش‌های موجود در تخمین تقاضای لرزه‌ای که امروزه اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده است، موضوع حوزه نزدیک گسل است. در واقع نوع خاص و متفاوت حرکات زمین ناشی از زلزله در حوزه نزدیک گسل و پاسخ پر ابهام سازه به این حرکات سبب شده است که تخمین تقاضای لرزه‌ای برای سازه‌ها در حوزه نزدیک گسل به یک چالش واقعی تبدیل شود و مطالعاتی فراوانی جهت حل قابل اعتماد این مسأله صورت گیرد [۱۰، ۱۱، ۱۶]. اگر هدف برآورد ریسک لرزه‌ای یک سازه با دقت قابل قبولی باشد، لازم است که ابتدا تقاضای لرزه‌ای را با دقتی مناسب تعیین شود. با توجه به عدم قطعیت‌های وسیعی که در این مورد وجود دارد، پیشنهاد منطقی در این زمینه، استفاده از روش تحلیل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای جهت تعیین تقاضا می‌باشد. تعریف تحلیل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای (Probabilistic Seismic Demand Analysis) که به اختصار PSDA نیز خوانده می‌شود، عبارتست از محاسبه احتمال وقوع تجاوز سالیانه تقاضای لرزه‌ای یک سازه مشخص از مقداری معلوم در یک ساختمان معلوم. در مقام مقایسه با تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای، که نتیجه آن تعیین احتمال وقوع یک پارامتر خطر حرکت زمین - نظیر شتاب زمین - است، تحلیل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای، احتمال وقوع یک پارامتر تقاضای سازه - نظیر تغییر مکان - را بدست می‌دهد و در نهایت منجر به تحلیل ریسک لرزه‌ای خواهد شد. مسأله پژوهشی مورد طرح در این تحقیق را نیز می‌توان در همین راستا ارزیابی نمود. در پژوهش حاضر به موضوع اثرات فاصله (حوزه نزدیک و دور از گسل بطور مشخص) بر تقاضای لرزه‌ای در قابهای خمشی فولادی پرداخته خواهد شد و در آن تلاش شده است تا از یک دیدگاه آماری ارزیابی اثرات کاهندگی فاصله بر تقاضای لرزه‌ای تخمین زده شده در قابهای خمشی فولادی با استفاده از آمار بیزین در حوزه دور و نزدیک گسل مورد بررسی قرار گیرد. در این مقاله جهت ارزیابی قابل اعتماد این تأثیرات نیز از ابزار قدرتمند آمار بیزین استفاده خواهد شد [۱۷ و ۱۸]. در واقع علت انتخاب آمار بیزین در این پژوهش توانایی آن در مدل کردن تمام تصادفات و عدم قطعیت‌های آماری و مدل سازی موجود در زلزله حوزه نزدیک و پاسخ سازه به آن می‌باشد تا از این طریق میزان اطمینان به نتایج حاصل بالا رود.

قاب نرم است.) استفاده شده است. مدل جرم متمرکز این دو قاب در شکل زیر مشاهده می‌گردد.



شکل ۱- زمان تناوب مود اول دو قاب خمشی ۳ و ۱۵ طبقه در این تحقیق

همچنین در این تحقیق رفتار غیرخطی در سطح اعضا با استفاده از فنرهای چرخشی (که دارای زوال سختی و مقاومت) در انتهای تیرها و پای ستون‌ها مدل شده است. همچنین مدل چرخه‌ای Peak-Oriented جهت نشان دادن رفتار چرخه‌ای بکار برده شده است (شکل ۲). در این رفتار چرخه‌ای برای در نظر گرفتن زوال چرخه‌ای، مدل پیشنهادی ایبارا و کراوینکلر مورد استفاده قرار گرفته است. در این مدل با بهره‌گیری از مفاهیم انرژی، چهار حالت زوال چرخه‌ای در مقاومت، مقاومت بعد از نقطه اوج، سختی باربرداری و سختی بارگذاری مجدد، به کمک یک پارامتر زوال چرخه‌ای لحاظ می‌شود که پارامترهای مختلف آن در شکل (۲) تعریف شده است.



شکل ۲- منحنی استقامت غیرخطی تعریف شده برای مدلسازی رفتار غیرخطی قاب‌های هدف

در این تحقیق از پنج قاب خمشی فولادی مشابه با تعداد طبقات ۳ و ۱۵ که دارای زمان تناوب مود اول برابر با یک دهم تعداد طبقات بوده، استفاده شده است. این محدوده از تعداد طبقه و زمان تناوب می‌تواند مجموعه قابل توجهی را جهت تخمین تقاضای لرزه‌ای در قابهای خمشی فولادی تشکیل دهد. در جدول (۱) زمانهای تناوب سه مود اول این قابها و در

مجهول مدل را محاسبه نمود. در این مقاله از ابزار رگرسیون بیزین بر مبنای تکنیک شبیه‌سازی Markov chain Monte Carlo که منجر به یک تخمین میانگین پیشین و پسین کاملاً بیزین می‌گردد، جهت تخمین فرم توابع و پارامترهای مجهول آن استفاده شده است. تمام رگرسیون انجام گرفته در این تحقیق و نیز تخمین پارامترهای مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای با استفاده از این روش صورت پذیرفته است.

۳- تعریف قابهای خمشی فولادی هدف با قابلیت رفتار غیرخطی

این تحقیق اساسی کاملاً آماری دارد و تفسیر نتایج آن از دیدگاه آمار و احتمالات خواهد بود، بنابراین بسیار مهم است که مدل سازه‌ای بکار رفته در آن نیز این قابلیت را داشته باشد. به عبارت دیگر جهت دستیابی به نتایج آماری مطمئن و قابل قبول، انتخاب مدل سازه‌ای مناسب برای قابهای خمشی فولادی و مدل‌سازی دقیق آنها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

نتایج تحقیقات پیشین نشان داده است، یک گزینه مطمئن جهت ایجاد نتایج آماری قابل تعمیم، استفاده از مفهوم قابهای خمشی فولادی مشابه است. نتایج تحقیقات مختلف ثابت کرده است که این قابهای یک دهانه قادر خواهند بود بخواهی رفتار قابهای چند دهانه را شبیه‌سازی کنند. همانگونه که گفته شد هدف اصلی در این تحقیق ارزیابی تفاوت تأثیر فاصله بر تقاضای لرزه‌ای تخمین زده شده در قابهای خمشی فولادی با استفاده از آمار بیزین در حوزه دور و نزدیک گسل است [۲۴]، بنابراین بنظر می‌رسد که استفاده از مدل قابهای دو بعدی برای این منظور یک گزینه مناسب باشد. از سوی دیگر سازه‌های بکار رفته در ایجاد یک تحلیل آماری نباید نماینده یک سازه مشخص و با ویژگیهای منحصر به فرد باشند، زیرا مانع از تعمیم‌پذیری نتایج آماری می‌گردند. با توجه به این نکات، می‌توان گفت که استفاده از قابهای خمشی فولادی مشابه یک دهانه در تعداد طبقات مختلف، یک گزینه مطلوب برای نیل به اهداف مطرح شده در این تحقیق باشد [۲۵].

در این مقاله، به منظور نشان دادن اثرات میزان تأثیر سختی یا نرمی قاب بر نتایج از دو قاب سخت سه طبقه (با زمان تناوب مود اول ۰/۳ که در قابهای خمشی مشابه نماینده قاب سخت است) و دو قاب نرم پانزده طبقه (با زمان تناوب مود اول ۱/۵ که در قابهای خمشی مشابه نماینده

- تغییر شکل های محوری و اندرکنش M-P-V در نظر گرفته نشده اند.
- از اثرات اندرکنش خاک-شالوده-سازه صرف نظر شده است.

۴- انتخاب شتابنگاشت ها

در این مقاله هدف تحلیل کاهندگی تقاضای لرزه ای قابهای خمشی فولادی برحسب فاصله از گسل با آمار بیزین می باشد. لذا در آن ابتدا باید ارتباط آماری بین فاصله گسل تا ساختگاه سازه بر تقاضای لرزه ای مورد ارزیابی قرار گیرد و سپس نشان داده شود که هنگامیکه شتابنگاشت ها متعلق به حوزه نزدیک گسل هستند، نتایج تخمین تقاضای لرزه ای بصورت معنی داری متفاوت با سایر شتابنگاشت ها خواهد بود [۲۶].

همین هدف می تواند راهنمایی جهت انتخاب مناسب شتابنگاشت ها محسوب گردد. در واقع در این مقاله باید مجموعه هایی از شتابنگاشت ها انتخاب گردد به نحوی که تمام مشخصات آنها بجز فاصله تقریباً یکسان باشد. این مشخصات عبارتند از بزرگی زلزله، شرایط ساختمانی، مکانیزم گسل و ... [۲۷]. در این بخش این فلسفه جهت انتخاب شتابنگاشت های مناسب جهت تحلیل دینامیکی غیر خطی دنبال خواهد شد. در این تحقیق شرایط ساختمانی C بر اساس تقسیم بندی آئین نامه NEHRP به عنوان شرایط ساختمانی هدف انتخاب گردید [۲۸].

پس از تعیین شرایط ساختمانی، لازم است که بازه های مناسب برای فاصله شتابنگاشت ها تعریف گردند. با توجه به اینکه هدف نهایی ارزیابی تفاوت تأثیر فاصله بر تقاضای لرزه ای تخمین زده شده در قابهای خمشی فولادی با استفاده از آمار بیزین در حوزه دور و نزدیک گسل می باشد، بدیهی است که یکی از گروه های شتابنگاشتی از نظر فاصله باید متعلق به این بازه باشد که این بازه صفر تا ۱۳ کیلومتر تعریف می شود. بلحاظ سازگاری آماری سایر گروه ها هم با بازه ای تقریباً مشابه تعریف خواهند شد، یعنی ۱۳ تا ۳۰ کیلومتر، ۳۰ تا ۴۵ کیلومتر، ۴۵ تا ۶۰ کیلومتر و نهایتاً بیش از ۶۰ کیلومتر که نهایتاً صد کیلومتر خواهد بود. تعداد جفت شتابنگاشت های متعلق به این گروه ها با شرایط ساختمانی C در جدول ذیل مشاهده می گردد.

شکل (۲) قابهای مذکور بصورت مدل جرم متمرکز بر حسب زمان تناوب مود اول مشاهده می گردد.

جدول ۱- زمانهای تناوب سه مود اول در قابهای خمشی فولادی ژنریک ۳ و ۱۵

طبقه	زمان تناوب مود		
	سوم	دوم	اول
قاب سه طبقه	۰/۰۴۷ Sec.	۰/۱۰۰ Sec.	۰/۳۰۰ Sec.
قاب پانزده طبقه	۰/۳۶۷ Sec.	۰/۶۰۳ Sec.	۱/۵۰۰ Sec.

در ذیل مشخصات عمومی این قابهای مشابه مشاهده می گردد [۲۵]:

- قابها ۲ بعدی هستند.
- جرم تعریف شدت در تمام طبقات یکسان است.
- ارتفاع طبقات و طول دهانه قاب یک دهانه به ترتیب برابر ۱۲ فوت (معادل ۳/۶۵۷۶ متر) و ۲۴ فوت (۷/۳۱۵۲ متر) می باشد.
- سختی مطلق تیرها و ستونها به گونه ای تنظیم شده است که پربود مود اول قابها برابر با یک دهم تعداد طبقات گردد.
- ممان اینرسی اختصاص داده شده به ستونهای موجود در یک طبقه و تیر بالای آنها یکسان است.
- سختی نسبی به گونه ای تنظیم شده است که مود اول ارتعاش بصورت یک خط مستقیم حاصل شود. برای این منظور یک فنر به پای ستون طبقه اول اضافه شده است تا سبب یک توزیع یکنواخت ممان اینرسی در ارتفاع ساختمان گردد.
- مفاصل پلاستیک در انتهای تیرها و پای ستون طبقه اول رخ خواهند داد (شکل ۳)
- طراحی این قابها به نحوی انجام شده است که تسلیم همزمان تحت الگوی بار سهموی ($NEHRP, k=2$) روی دهد.
- اثرات $P-\Delta$ در تحلیلها لحاظ شده است.
- رفتار هیستریتیک در سطح اجزا با استفاده از یک مدل peak-oriented مدل شده است که دارای ۳٪ سخت شونده در رابطه لنگر-دوران می باشد
- برای انجام تحلیل های تاریخچه زمانی میرایی رایلی به میزان ۵٪ به مود اول ارتعاش و مودی که در آن ۹۵٪ مشارکت جرمی تجمعی رخ می دهد اختصاص داده شده است.

جدول ۲- تعداد شتابنگاشت‌های موجود با شرایط ساختگاهی C

شماره گروه	بازه فاصله	تعداد جفت شتابنگاشت با شرایط ساختگاهی C	
		ساختگاهی C	شماره گروه
G1	۰-۱۳ Km	۶۰	
G2	۱۳-۳۰ Km	۹۹	
G3	۳۰-۴۵ Km	۶۱	
G4	۴۵-۶۰ Km	۵۷	
G5	۶۰-۹۹ Km	۵۷	

انتخاب این تعداد قابل ملاحظه از شتاب‌نگاشت‌ها باعث شده است که سه مولفه مهم در ارزیابی خطر لرزای یعنی حداکثر شتاب زلزله، مدت زمان تحریک موثر و محتوای فرکانسی آن بطور کامل لحاظ گردد.

۵- تحلیل دینامیکی افزاینده غیرخطی قاب‌ها و تعیین

مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای

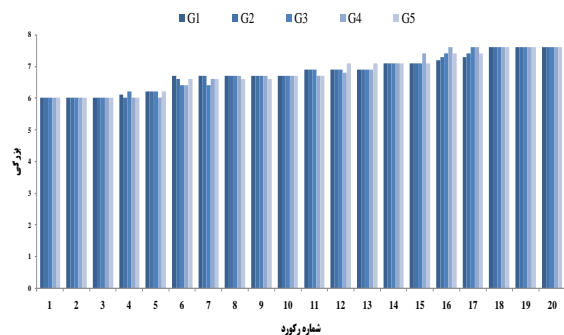
در این مقاله جهت انجام تخمین تقاضای لرزه‌ای از چارچوب تحلیل دینامیکی افزاینده که روشی بسیار قابل اعتماد و اثبات شده است استفاده خواهد شد و پس از مدل‌سازی قاب‌های خمشی فولادی مشابه و انتخاب پنج گروه شتاب‌نگاشت، گام بعدی تولید نتایج لازم جهت تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای با استفاده از تحلیل دینامیکی افزاینده می‌باشد [۳۰].

جهت انجام تحلیل دینامیکی افزاینده، در گام اول باید پارامترهای مناسبی برای تعریف شاخص شدت و تقاضای لرزه‌ای سازه انتخاب شود. در تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای انتخاب مناسب این دو پارامتر اهمیت زیادی دارد و همواره موضوع مطالعات گسترده‌ای بوده است. در این تحقیق شتاب طیفی مود اول به عنوان شاخص شدت و حداکثر تغییر مکان نسبی بین طبقات به عنوان پارامتر تقاضای لرزه‌ای انتخاب شده است.

همانگونه که گفته شد، در این تحقیق از پنج گروه چهل تایی شتاب‌نگاشت که بر اساس فاصله تا گسل تقسیم‌بندی شده‌اند استفاده خواهد شد، لذا پس از انتخاب دو پارامتر شاخص شدت، پارامتر تقاضای لرزه‌ای و تعریف پنج گروه شتاب‌نگاشت، می‌توان تحلیل دینامیکی افزاینده را آغاز نمود. در این مقاله، جهت تهیه یک بانک داده کامل جهت تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای، از یک فرآیند سنگین از نظر محاسباتی، لیکن ساده از نظر مفهومی استفاده می‌شود.

در این الگوریتم، در گام اول، تمام دویست شتاب‌نگاشت با استفاده از یک ضریب مقیاس که برای هر شتاب‌نگاشت متفاوت خواهد بود، به نحوی مقیاس خواهند شد که شتاب طیفی مود اول همه آنها برابر با $0.05g$ گردد. سپس قاب‌های خمشی فولادی مشابه مدل شده تحت این شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده، مورد تحلیل دینامیکی غیر خطی قرار خواهند گرفت و حداکثر تغییر مکان نسبی بین طبقات ثبت شده در این تحلیل ناشی از هر شتاب‌نگاشت، همراه با شاخص شدت آنها (که در واقع $0.05g$ است) به عنوان یک نقطه داده ذخیره می‌گردد. به عبارت دیگر در اولین قدم از این الگوریتم، مجموعه حداکثر تغییر مکان نسبی بین طبقات

حال می‌توان از بین جفت شتاب‌نگاشت‌های موجود در جدول فوق، برای هر گروه تعداد شتاب‌نگاشتی انتخاب کرد که شرایط بزرگی یکسانی داشته باشند. برای این امر پس از بررسی و تحلیل فراوان بر روی شتاب‌نگاشت‌های موجود در هر بازه، برای هر گروه ۲۰ جفت شتاب‌نگاشت به نحوی انتخاب گردید که بزرگی‌های آنها دارای توزیع آماری تقریباً یکسانی باشند. این یکسان بودن توزیع آماری به معنی یکسان بودن دقیق مقدار حداکثر (برابر $7/6$)، مقدار حداقل (برابر $6/0$) و مقدار میانگین (برابر $6/8$) و همچنین توزیع یکنواخت بزرگی‌ها در بازه می‌باشد. در شکل ۳ این توزیع بزرگی‌ها به نمایش در آمده است و بیش از هر چیز نشانگر ارضا هدف این مقاله در انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها، یعنی حذف اثر بزرگی‌های مختلف در گروه‌های پنجگانه فاصله می‌باشد.



شکل ۳- توزیع بزرگی در پنج گروه انتخاب شده برای شتاب‌نگاشت‌ها

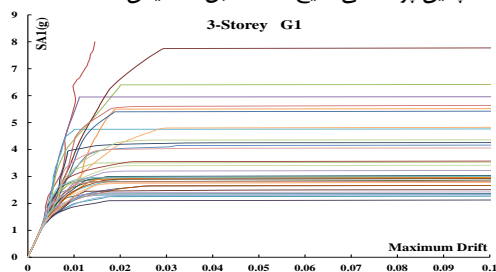
در واقع با تشکیل این گروه‌های پنجگانه، پنج مجموعه از شتاب‌نگاشت‌ها تشکیل شده است که از نظر فاصله کاملاً متمایز - که یکی از آنها دارای فاصله متعلق به حوزه نزدیک گسل است - و از نظر سایر مشخصات خصوصاً بزرگی و شرایط ساختگاهی دارای وضعیت یکسانی می‌باشند [۲۹].

تصادف در یک سطح مشخص از تقاضا بکار می‌رود. همچنین w و a پارامترهای مدل برای تعیین ارتباط بین شاخص شدت (شتاب طیفی مود اول (SA1) و پارامتر تقاضای لرزه‌ای (حداکثر تغییر مکان نسبی بین طبقات (DR) می‌باشند. در این مقاله از این مدل جهت تعیین تقاضای لرزه‌ای استفاده خواهد شد.

۶- نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشده قاب‌ها

دو قاب ذکر شده در بخش ۳، تحت اثر دویست شتابنگاشت بخش ۴، تحت اثر تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشده معرفی شده در بخش ۵ قرار خواهند گرفت که منجر به تولید مجموعه‌ای عظیم از نتایج خواهد شد که در این بخش به نمایش در آمده است. در شکل (۴) نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشده قاب سه طبقه به تفکیک پنج گروه شتابنگاشت نشان داده شده است. رفتار سخت قاب سه طبقه که منجر به رفتار دو خطی این قاب و شکستگی ناگهانی آن تحت اثر شتابنگاشت‌های هدف شده است در این شکل کاملاً مشخص است. پراکندگی قابل توجه نتایج برای شتابنگاشت‌هایی که با وضعیت یکسان انتخاب شده‌اند بیش از هر چیز نشانگر عدم قطعیت موجود در زلزله است.

همین نمودارها برای قاب نرم پانزده طبقه در شکل (۵) نشان داده شده است. همانگونه که از این اشکال مشخص است، رفتار نرم این قاب کاملاً با رفتار سخت قاب سه طبقه متفاوت است و رفتار نرم قاب پانزده طبقه منجر به تغییر مکان تدریجی این قاب تا رسیدن به نقطه فروریزش می‌گردد و همچنین پراکندگی نتایج کاملاً قابل تشخیص است.



که همگی به ازای شتاب طیفی مود اول برابر با $0.05g$ حاصل شده‌اند برای هر قاب ذخیره می‌گردد.

سپس در قدم بعدی، شتاب طیفی مود اول تمام شتابنگاشت‌ها به اندازه یک گام که برابر با $0.05g$ می‌باشد، افزایش خواهد یافت و به $0.10g$ خواهد رسید. در این مرحله، مجدداً تحلیل دینامیکی غیر خطی انجام خواهد گرفت و مجموعه عددی حداکثر تغییر مکان نسبی بین طبقات که همگی به ازای شتاب طیفی مود اول برابر با $0.10g$ هستند به بانک داده هر قاب اضافه خواهد شد. این روند افزایش شتاب طیفی مود اول هر شتابنگاشت با گام $0.05g$ تا آنجا ادامه می‌یابد که شتابنگاشت مذکور سبب فروریزش کلی در سازه گردد که طبیعتاً این حد می‌تواند برای هر قاب متفاوت باشد. این بانک‌های داده (برای هر قاب پنج بانک و در مجموع ده بانک داده) اطلاعاتی بسیار مهم جهت تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای خواهند بود.

از نتایج تحلیل دینامیکی افزایشده جهت تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای قاب‌ها استفاده خواهد شد. مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای هسته اصلی در تخمین تقاضای لرزه‌ای محسوب می‌گردد و به معنی احتمال تجاوز پارامتر تقاضای لرزه‌ای (حداکثر تغییر مکان نسبی بین طبقات) از مقدار مشخص x به شرط وقوع شاخص شدت به میزان y قابل تفسیر است. به عبارت دیگر وظیفه مدل این است که به ازای هر مقدار مشخص از شاخص شدت، مقدار متوسط پارامتر تقاضای لرزه‌ای را محاسبه کند.

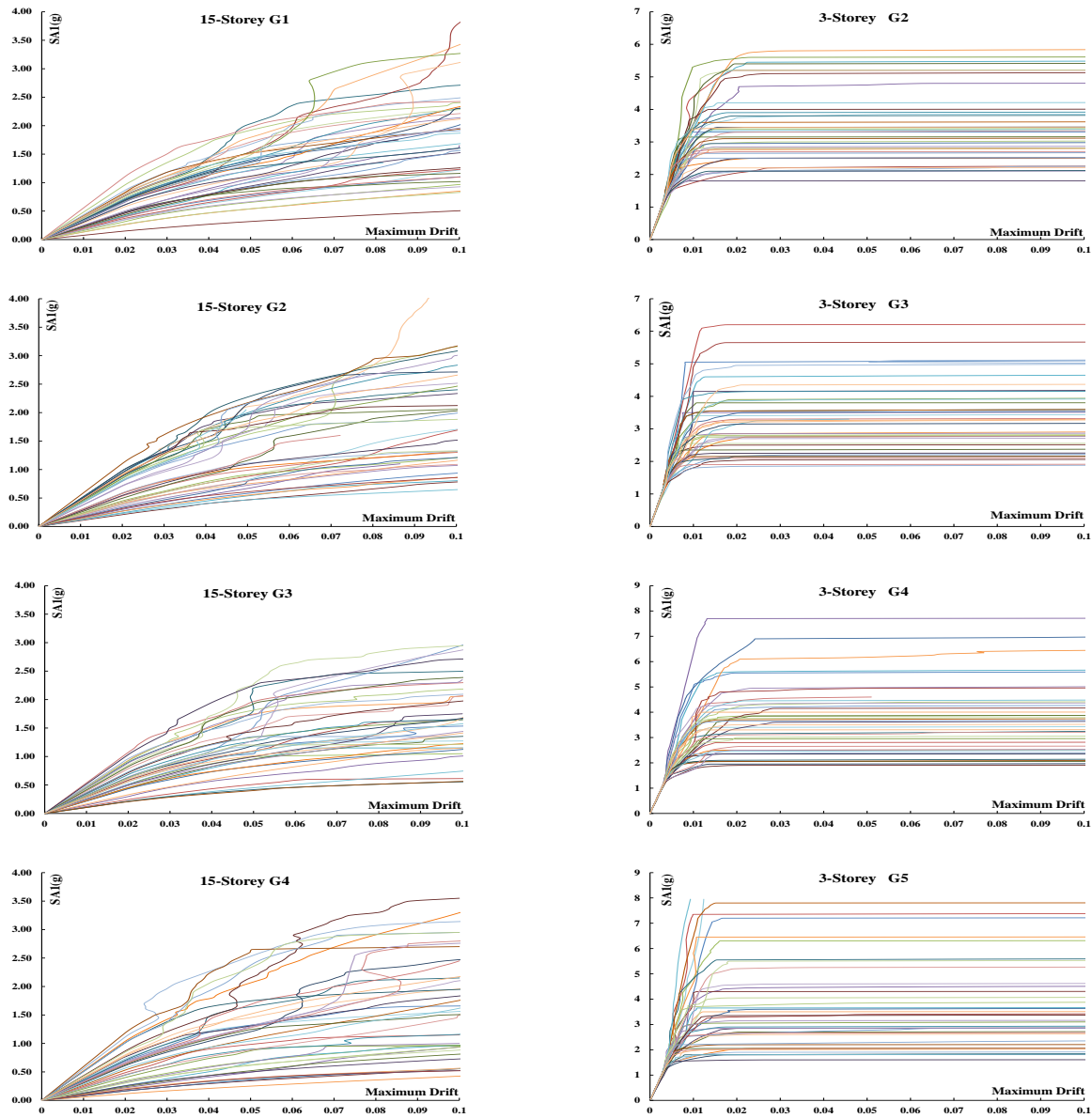
منطقی‌ترین پیشنهاد جهت تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای، انجام تحلیل تاریخچه زمانی برای سطوح مختلف شدت حرکات زمین و تعیین تقاضا در هریک از این سطوح است. این امر بدیهی است که در یک سطح مشخص از شاخص شدت حرکات زمین، میزان تقاضای محاسبه شده با استفاده از شتابنگاشت‌های مختلف، عددی تصادفی است و از شتابنگاشتی به شتابنگاشت دیگر فرق خواهد کرد. این مجموعه از اطلاعات لازم جهت تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای در واقع همان بانک‌های داده حاصل شده از تحلیل دینامیکی افزایشده در بخش قبل می‌باشد.

رابطه‌ای که بدین طریق تعیین خواهد شد عموماً مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای نامیده می‌شود. امروزه رابطه ذیل به عنوان یک مدل احتمالاتی

مناسب برای قاب‌های خمشی فولادی توصیه شده است [۳۱]:

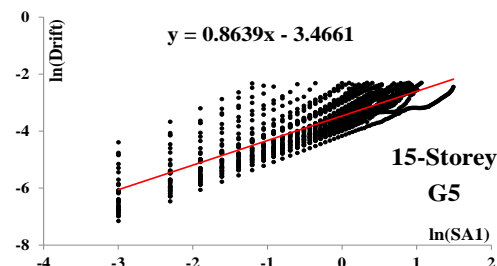
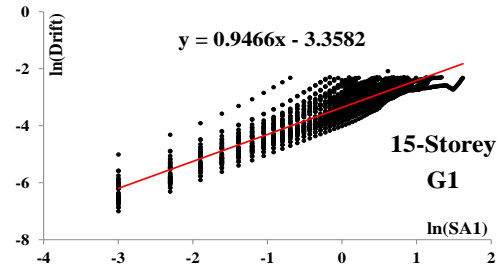
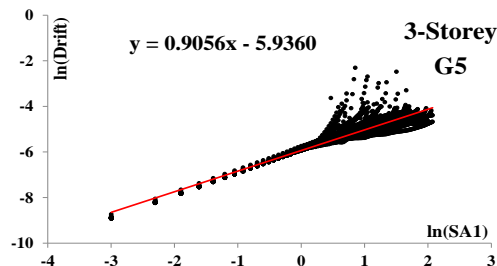
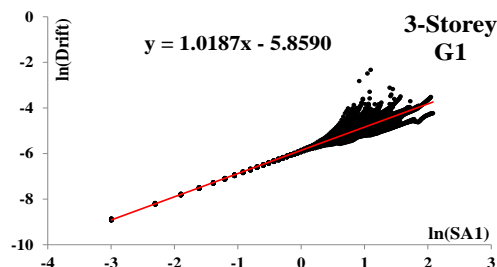
$$\ln(DR) = a \cdot \ln(SA1) + w + \sigma \cdot \varepsilon \quad (4)$$

که در این رابطه σ انحراف معیار مدل و ε یک متغیر تصادفی نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار واحد است و برای مدل کردن عدم قطعیت و

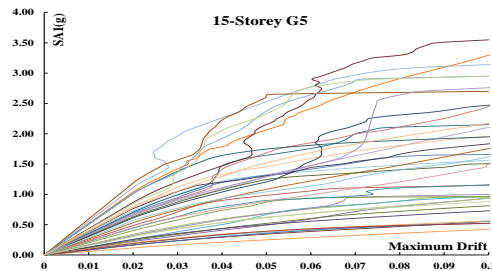


شکل ۴- نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشده قاب سه طبقه تحت اثر پنج گروه شناختگاشت

قاب تحت اثر گروه اول و پنجم محاسبه شده است و در جدول (۳) تمام ده مدل که تعیین شده است مشاهده می‌گردد.



شکل ۶- نمونه‌ای از تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای در قابهای سه و پانزده طبقه تحت دو گروه شتابنگاشت



شکل ۵- نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشده قاب پانزده طبقه تحت اثر پنج گروه شتابنگاشت

۷- تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای برای سازه‌های هدف

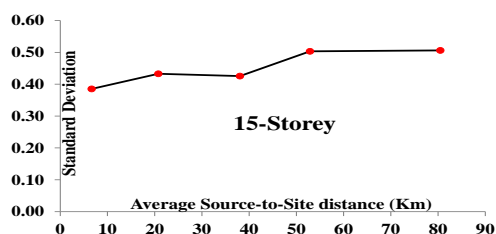
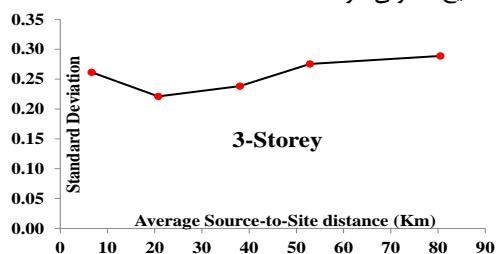
در بخش قبل دو قاب سه و پانزده طبقه تحت اثر اعمال ۲۰۰ عدد شتابنگاشت با فواصل مختلف تا گسل تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشده قرار گرفتند و همانگونه که ملاحظه شد، نتایج حاصل در قالب منحنی‌های رفتاری تابع متغیرهای مختلفی همچون خصوصیات شتابنگاشت (فاصله تا گسل بطور مشخص)، سطح عملکرد، رفتار نرم یا سخت سازه و تعداد طبقات آن بود، لذا یک یا تعداد محدودی منحنی تحلیل دینامیکی افزایشده نمی‌تواند ابزار مناسبی جهت اظهار نظر در خصوص تعیین تفاوت تأثیر فاصله گسل تا ساختمان بر تقاضای لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک گسل باشد زیرا پراکندگی قابل ملاحظه‌ای در نتایج آن وجود دارد.

بر غلبه بر این چالش، بجای استفاده مستقیم از منحنی‌ها و تفسیر آن، از مجموع نتایجشان در تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای برای دو قاب سه و پانزده طبقه استفاده خواهد شد. در واقع کاربرد اصلی نتایج حاصل شده از چند تحلیل دینامیکی افزایشده، تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای خواهد بود که در این بخش انجام خواهد شد.

به عبارت دیگر در این بخش برای هر کدام از این دو قاب، نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی افزایشده تحت اثر پنج گروه شتابنگاشتی مختلف اقدام به تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای خواهد شد. همچنین همانگونه که گفته شد در این تحقیق، نوع شاخص شدت مورد استفاده شتاب طیفی مود اول (یعنی SA1) و شاخص تقاضا حداکثر تغییرمکان نسبی بین طبقات (DR)، خواهد بود و معادله به شکل رابطه ۴ با استفاده از انجام یک تحلیل رگرسیون خطی بین لگاریتم شاخص شدت و لگاریتم تقاضای حاصل شده، در خواهد آمد. به عنوان نمونه در شکل (۶) تعیین این مدل برای دو

می‌باشد. اما این نکته در مورد حوزه نزدیک گسل صادق نیست و به صورت کاملاً محسوسی انحراف معیار بسیار بالایی در این نقطه به ثبت رسیده است. بنابر این یک نتیجه بسیار مهم این است که در قاب سخت سه طبقه، تأثیر فاصله گسل تا ساختگاه بر انحراف معیار مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک متفاوت است. در حوزه دور از گسل با افزایش فاصله انحراف معیار مدل افزایش خواهد یافت اما اگر این موضوع در حوزه نزدیک گسل بررسی شود مشاهده می‌گردد که افزایش فاصله سبب کاهش انحراف معیار شده است. همچنین بر اساس این شکل، برخلاف قاب سخت سه طبقه در قاب نرم پانزده طبقه تفاوتی در تأثیر فاصله گسل تا ساختگاه بر انحراف معیار مدل تقاضای لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک گسل وجود ندارد. بر اساس این شکل چه در حوزه نزدیک گسل و چه در حوزه دور از گسل با افزایش فاصله تا گسل شتابنگاشت‌ها، مقدار انحراف معیار افزایش خواهد یافت به نحوی که در حوزه نزدیک گسل کمترین و در صورت استفاده از شتابنگاشت‌ها با فاصله بسیار زیاد بیشترین انحراف معیار مدل قابل مشاهده است.

این نتیجه نشان می‌دهد تأثیر فاصله گسل تا ساختگاه بر انحراف معیار مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک گسل تابعی از رفتار قاب نیز خواهد بود و در قاب سخت و نرم منجر به نتایج متفاوتی خواهد شد.



شکل ۷- تأثیر فاصله تا گسل بر انحراف معیار مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای دو قاب

جدول ۳- تعیین مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای برای دو قاب تحت اثر پنج گروه

شتاب‌نگاشت	
گروه	قاب سه طبقه
G1	$\ln(DR)=1,0187\ln(SA1)-5,8590+0,2615E$
G2	$\ln(DR)=1,0336\ln(SA1)-5,8678+0,2210E$
G3	$\ln(DR)=0,9975\ln(SA1)-5,8909+0,2383E$
G4	$\ln(DR)=1,0161\ln(SA1)-5,8811+0,2755E$
G5	$\ln(DR)=0,9056\ln(SA1)-5,9360+0,2888E$
قاب پنج طبقه	
G1	$\ln(DR)=0,9466\ln(SA1)-3,3582+0,3852E$
G2	$\ln(DR)=0,9002\ln(SA1)-3,4296+0,4329E$
G3	$\ln(DR)=0,9232\ln(SA1)-3,4566+0,4256E$
G4	$\ln(DR)=0,8244\ln(SA1)-3,4322+0,5034E$
G5	$\ln(DR)=0,8639\ln(SA1)-3,4661+0,5063E$

۸- تأثیر فاصله تا گسل بر انحراف معیار مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای

با توجه به اینکه انحراف معیارهای حاصل شده در مدل‌های احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای حاصل شده در بخش قبل، در واقع نشانگر میزان تصادف و عدم قطعیتی است که در پراکندگی نتایج وجود دارد و بطور مستقیم دقت در تخمین تقاضا را نشان می‌دهد، تحلیل دقیق مقایسه‌ای این پارامتر می‌تواند در ارزیابی تفاوت تأثیر فاصله بر تقاضای لرزه‌ای تخمین‌زده شده با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی و آمار بیزین در حوزه دور و نزدیک گسل تأثیر گذار باشد که این امر در شکل (۷) انجام شده است.

اگر به روند تغییرات انحراف معیار در حوزه دور از گسل توجه شود، ملاحظه می‌گردد که روند تغییرات انحراف معیار مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای قاب سه طبقه بر حسب تغییرات متوسط فاصله شتابنگاشت‌های بکار رفته در کالیبره نمودن آن با افزایش فاصله از گسل، افزایشی

۹- تأثیر فاصله تا گسل بر کاهندگی تقاضای لرزه‌ای

مهمتر از انحراف معیار یک مدل، تقاضای لرزه‌ای تخمین زده شده توسط آن خواهد بود لذا مقایسه اصلی در این تحقیق بر روی تقاضای لرزه‌ای تخمین زده شده برای دو قاب در سطوح مختلف عملکرد با استفاده پج گروه مختلف شتابنگاشتی خواهد بود تا از این طریق بتوان ارزیابی تفاوت تأثیر فاصله بر تقاضای لرزه‌ای تخمین زده شده با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی و آمار بیزین در حوزه دور و نزدیک گسل را انجام داد که این مهم در شکل (۸) انجام شده است. در این تحقیق با توجه به مفاهیم و عملکرد قاب‌های مشابه، سه سطح عملکردی مختلف (فارغ از سطوح عملکردی استاندارد آئین‌نامه‌ای) برای تحلیل انتخاب شده‌اند:

(الف) سطح عملکردی که سازه تحت اثر شتابنگاشت‌ها کاملاً الاستیک عمل می‌کند و در آن برای قاب سه طبقه در بخت معادل ۰,۰۰۱۲ و قاب پانزده طبقه ۰,۰۰۶ خواهد بود.

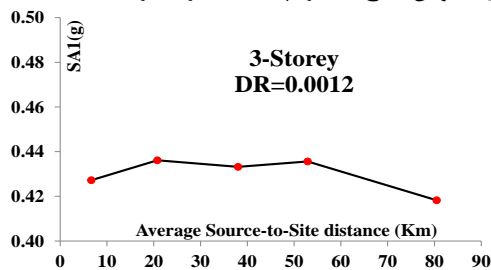
(ب) سطح عملکردی که در آن سازه در برخی شتابنگاشت‌ها الاستیک و در برخی پلاستیک عمل می‌کند و بطور کلی در حال تبدیل از حالت الاستیک به پلاستیک است و در آن برای قاب سه طبقه در بخت معادل ۰,۰۰۶ و قاب پانزده طبقه ۰,۰۰۳ خواهد بود.

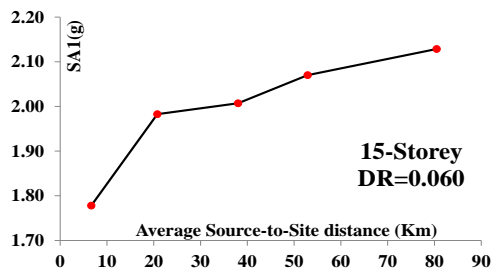
(ج) سطح عملکردی که تمام شتابنگاشت‌ها سبب رفتار پلاستیک در قاب شده‌اند و سازه در آستانه فروریزش می‌باشد و در آن برای قاب سه طبقه در بخت معادل ۰,۰۱۲ و قاب پانزده طبقه ۰,۰۰۶ خواهد بود.

روند تغییرات شتاب طیفی متناظر با سطوح عملکرد مختلف دو قاب بر حسب تغییرات متوسط فاصله شتابنگاشت‌های بکار رفته در محاسبه آن در شکل (۸) تعیین شده است. در قاب سه و سطح عملکرد الاستیک، نقطه واقع در حوزه نزدیک گسل کاملاً روندی متفاوت با سایر نقاط دارد و در حوزه دور از گسل با افزایش فاصله، مقدار شتاب طیفی متناظر با سطح عملکرد الاستیک کاهش یافته است اما در مورد نقطه حوزه نزدیک گسل دقیقاً شرایط متفاوت می‌باشد و با افزایش فاصله مقدار شتاب متناظر هم افزایش یافته است. همچنین بر اساس این شکل در حوزه دور از گسل با افزایش فاصله، مقدار شتاب طیفی متناظر با سطح عملکرد الاستیک - پلاستیک افزایش یافته است اما در مورد نقطه حوزه نزدیک با افزایش فاصله این افزایش شتاب مشاهده نگردد که نشانگر وضعیت متفاوت در حوزه نزدیک گسل در مقایسه با حوزه دور می‌باشد. در نهایت در حوزه دور

از گسل با افزایش فاصله، مقدار شتاب طیفی متناظر با سطح عملکرد پلاستیک افزایش یافته است اما در مورد نقطه حوزه نزدیک با افزایش فاصله این افزایش شتاب مشاهده نگردد و حتی مقدار اندکی کاهش نیز رخ داده است که نشانگر وضعیت متفاوت در حوزه نزدیک گسل در مقایسه با حوزه دور می‌باشد.

همچنین بر اساس این شکل، در سطح عملکرد الاستیک قاب پانزده طبقه، از نظر روند تغییرات تفاوتی بین حوزه دور و نزدیک مشاهده نمی‌شود و همواره با افزایش فاصله، شتاب متناظر با تغییر مکان در سطح عملکرد الاستیک قاب افزایش خواهد یافت. این نتیجه کاملاً برخلاف نتیجه حاصل شده در مورد قاب سخت سه طبقه است و نشان می‌دهد تفاوت تأثیر فاصله گسل تا ساختگاه بر تقاضای لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک گسل علاوه بر سطح عملکرد، تابعی از رفتار خود قاب (سخت یا نرم) نیز خواهد بود. در سطح عملکرد الاستیک - پلاستیک روند تغییرات مشابه با حالت قبل است و نشان می‌دهد که از نظر تأثیر فاصله گسل تا ساختگاه بر تقاضای لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک گسل تفاوتی از نظر افزایشی یا کاهش بودن وجود ندارد. لیکن برخلاف حالت الاستیک در این حالت یک جهش کاملاً چشمگیر در تغییر فاصله از حوزه نزدیک به حوزه دور وجود دارد. در واقع در حالیکه در حوزه دور از گسل شیب خط کاهش است و افزایش فاصله بصورت تدریجی سبب کاهش خطر زلزله می‌گردد، اما تغییر فاصله از حوزه نزدیک به حوزه دور بصورت کاملاً ناگهانی در سطح عملکرد الاستیک - پلاستیک خطر را کاهش خواهد داد. این نتیجه در واقع همان نتیجه آرماتی در این تحقیق است که ثابت می‌کند از دیدگاه آماری بین تغییر فاصله در گسل در حوزه دور و نزدیک گسل تفاوت وجود دارد. این نتایج در خصوص سطح عملکرد پلاستیک نیز معتبر است.





شکل ۸- روند تغییرات شتاب طیفی متناظر با سطوح عملکرد مختلف دو قاب بر حسب تغییرات متوسط فاصله شتابنگاشت‌های بکار رفته در محاسبه آن

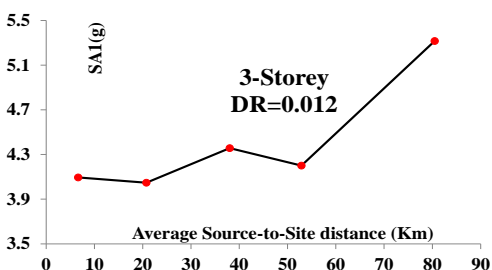
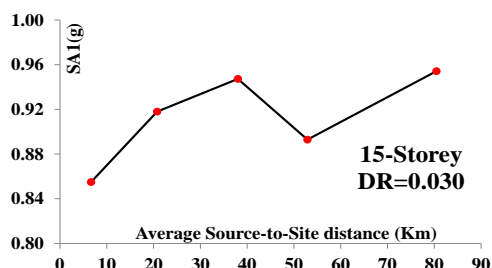
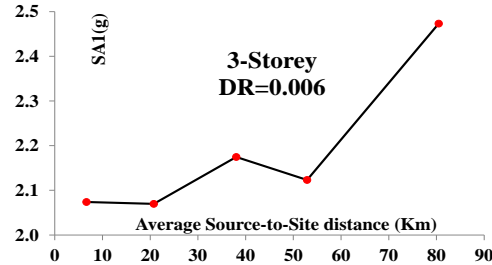
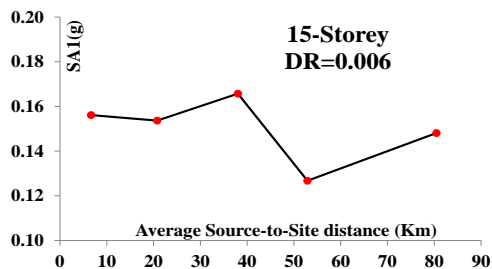
۱۰- نتیجه گیری

در این تحقیق با هدف تحلیل کاهندگی تقاضای لرزه‌ای قابهای خمشی فولادی برحسب فاصله از گسل با آمار بیزین، ابتدا چارچوب تحلیل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای بر اساس آخرین تحقیقات روز دنیا تعریف و با ساختار تحلیل بیزینی ترکیب شد. در ادامه

در این تحقیق از قابهای خمشی فولادی مشابه یک دهانه بعلت قابلیت تعمیم پذیری نتایج استفاده گردید. لازم به ذکر است به منظور نشان دادن اثرات میزان تأثیر سختی یا نرمی قاب بر نتایج از قاب سخت سه طبقه با زمان تناوب مود اول 0.3 که در قابهای خمشی مشابه نماینده قاب سخت است و قاب نرم پانزده طبقه با زمان تناوب مود اول 1.5 که در قابهای خمشی مشابه نماینده قاب نرم می باشد، استفاده شده است. بمنظور انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی، مجموعه ای از شتاب نگاشت ها انتخاب گردید با این دیدگاه که تمامی مشخصات آنها بجز فاصله تقریباً، یکسان باشند تا تأثیر فاصله بر نتایج تحلیل بخوبی نمایش داده شود. با این دیدگاه ۱۰۰ جفت شتابنگاشت در ۵ گروه که بلحاظ فاصله باهم تفاوت داشتند انتخاب گردید.

انتخاب روشی قابل اعتماد در تحلیل دینامیکی جز مراحل مهم این تحقیق به شمار می رود که بهمین منظور چارچوب تحلیل دینامیکی افزایشی جهت انجام تخمین تقاضای لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به موارد فوق و با وجود دو قاب مختلف و پنج گروه شتاب نگاشت با فواصل متفاوت، ۱۰ مدل احتمالاتی تعیین و در نهایت کاهندگی تقاضای لرزه‌ای برحسب فاصله به تفکیک حوزه دور و نزدیک محاسبه گردید و نتایج ذیل حاصل شد:

- مقایسه انحراف معیار مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای حاصل از پنج گروه شتابنگاشتی با فواصل مختلف تا گسل در قاب سخت



سه طبقه نشان از تأثیر متفاوت این فاصله بر انحراف معیار در حوزه دور و نزدیک گسل دارد. این تحقیق نشان داد در حوزه دور از گسل روند تغییرات انحراف معیار مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای قاب سه طبقه برحسب تغییرات متوسط فاصله شتابنگاشت‌های بکار رفته در کالیبره نمودن آن با افزایش فاصله، افزایشی می‌باشد. اما این موضوع در مورد حوزه نزدیک گسل صادق نیست و به صورت کاملاً محسوسی انحراف معیار بسیار بالایی در این نقطه به ثبت رسیده است. لذا می‌توان گفت در حوزه دور از گسل با افزایش فاصله انحراف معیار مدل افزایش خواهد یافت اما اگر این موضوع در حوزه نزدیک گسل بررسی شود مشاهده می‌گردد که افزایش فاصله سبب کاهش انحراف معیار شده است.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد برخلاف قاب سخت سه طبقه در قاب نرم پانزده طبقه تفاوتی در تأثیر فاصله گسل تا ساختگاه بر انحراف معیار مدل تقاضای لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک گسل وجود ندارد. بر اساس این نتایج چه در حوزه نزدیک گسل و چه در حوزه دور از گسل با افزایش فاصله تا گسل شتابنگاشت‌ها، مقدار انحراف معیار افزایش خواهد یافت به نحوی که در حوزه نزدیک گسل کمترین و در صورت استفاده از شتابنگاشت‌ها با فاصله بسیار زیاد بیشترین انحراف معیار مدل قابل مشاهده است.

نتایج این تحقیق بطور کلی نشان می‌دهد تأثیر فاصله گسل تا ساختگاه بر انحراف معیار مدل احتمالاتی تقاضای لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک گسل تابعی از رفتار قاب نیز خواهد بود و در قاب سخت و نرم منجر به نتایج متفاوتی خواهد شد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در قاب سخت سه طبقه و در تمام سطوح عملکردی، روند تأثیر فاصله بر تقاضای لرزه‌ای در حوزه دور و نزدیک گسل متفاوت خواهد بود. بر اساس نتایج حاصل در حوزه دور از گسل با افزایش فاصله، مقدار شتاب طیفی متناظر با سطح عملکرد الاستیک کاهش یافته است اما در مورد نقطه حوزه نزدیک گسل دقیقاً شرایط متفاوت می‌باشد و با افزایش فاصله مقدار شتاب متناظر هم افزایش یافته است. این موضوع در مورد دو سطح عملکرد الاستیک - پلاستیک و

پلاستیک برعکس مشاهده شد به نحوی که در حوزه دور از گسل با افزایش فاصله، مقدار شتاب طیفی متناظر با سطح عملکرد الاستیک - پلاستیک و پلاستیک افزایش یافته است اما در مورد نقطه حوزه نزدیک با افزایش فاصله این افزایش شتاب مشاهده نگردد که نشانگر وضعیت متفاوت در حوزه نزدیک گسل در مقایسه با حوزه دور می‌باشد.

• بطور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در قاب سخت سه طبقه، تأثیر فاصله گسل تا ساختگاه بر تقاضای لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک گسل با یکدیگر متفاوت است اما چگونگی این تفاوت تابعی از سطح عملکرد می‌باشد. به این نحو که در حوزه دور از گسل و در سطح عملکرد الاستیک با افزایش فاصله، شتاب طیفی متناظر با این سطح عملکرد کاهش خواهد یافت اما در حوزه نزدیک گسل افزایش فاصله سبب افزایش این شتاب متناظر خواهد شد. این موضوع در مورد دو سطح عملکرد الاستیک - پلاستیک و پلاستیک کاملاً متفاوت مشاهده شد بدین نحو که در حوزه دور از گسل با افزایش فاصله شتاب طیفی متناظر با این دو سطح عملکرد افزایش خواهد یافت اما در حوزه نزدیک گسل این افزایش شتاب با افزایش فاصله ملاحظه نشد.

• نتایج این تحقیق نشان داد در قاب نرم پانزده طبقه از نظر روند تغییرات، تفاوتی بین حوزه دور و نزدیک قابل مشاهده نیست و همواره با افزایش فاصله، شتاب متناظر با تغییر مکان در کلیه سطوح عملکرد قاب افزایش خواهد یافت. این نتیجه کاملاً برخلاف نتیجه حاصل شده در مورد قاب سخت سه طبقه است و نشان می‌دهد تفاوت تأثیر فاصله گسل تا ساختگاه بر تقاضای لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی در حوزه دور و نزدیک گسل علاوه بر سطح عملکرد، تابعی از رفتار خود قاب (سخت یا نرم) نیز خواهد بود.

• این تحقیق نشان داد در قاب نرم پانزده طبقه و در سطوح عملکرد الاستیک - پلاستیک و پلاستیک و برخلاف حالت الاستیک، یک جهش کاملاً چشمگیر در تغییر فاصله از حوزه نزدیک به حوزه دور وجود دارد. در واقع درحالی‌که در حوزه دور از گسل افزایش فاصله بصورت تدریجی سبب کاهش خطر زلزله می‌گردد، اما تغییر فاصله از حوزه نزدیک به حوزه دور

[۸] Soraghi A (۲۰۲۱) Probabilistic characterization of bond behavior at rebar-concrete interface in corroded RC structures: experiment, modeling, and implementation. PhD Thesis, University of Akron, Ohio, United States of America.

[۹] Soleimani Babakamali MH, Zaker Esteghamati M (۲۰۲۲) Estimating seismic demand models of a building inventory from nonlinear static analysis using deep learning methods. *Engineering Structures* ۲۶۶: ۱۱۴۵۷۶, Doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.engstruct.۲۰۲۲.۱۱۴۵۷۶

[۱۰] X. X. Liu, ZY. Wu, F. Liang, Multidimensional performance limit state for probabilistic seismic demand analysis. *Bull Earthquake Engineering*, ۱۴ (۲۰۱۶) ۳۳۸۹-۳۴۰۸, doi.org/۱۰.۱۰۰۷/s۱۰۵۱۸-۰۱۶-۰۰۱۳-۶

[۱۱] Taslimi A, Tehranizadeh M The effect of vertical near-field ground motions on the collapse risk of high-rise reinforced concrete frame-core wall structures. *Advances in Structural Engineering* (۲۰۲۲) ۲۵(۲): ۴۱۰-۲۵, Doi: ۱۰.۱۱۷۷/۱۳۶۹۴۳۳۲۲۱۱۰۵۶۱

[۱۲] M. Maleki, R. Ahmady Jazany, M. S. Ghobadi, Probabilistic Seismic Assessment of SMFs with Drilled Flange Connections Subjected to Near-Field Ground Motions. *International Journal of Steel Structures*, ۱۹ (۲۰۱۹) ۲۲۴-۲۴۰. <https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/s۱۳۲۹۶-۰۱۸-۰۱۱۲-۰>

[۱۳] Nguyen DD, Lee TH, Phan VT (۲۰۲۱) Optimal Earthquake Intensity Measures for Probabilistic Seismic Demand Models of Base-Isolated Nuclear Power Plant Structures. *Energies* ۱۴(۱۶): ۵۱۶۳, Doi: ۱۰.۳۳۹۰/en۱۴۱۶۵۱۶۳

[۱۴] M. Mahdavi Adeli, A. Deylami, M. Banazadeh, M. M. Alinia, A Bayesian approach to construction of probabilistic seismic demand models for steel moment-resisting frames. *Sharif University of Technology Scientia Iranica*, ۱۸ (۴) (۲۰۱۱) ۸۸۵-۸۹۴.

[۱۵] M. Mahdavi Adeli, M. Banazadeh, A. Deylami, M.M. Alinia, Introducing a New Spectral Intensity Measure Parameter to Estimate the Seismic Demand of Steel Moment-Resisting Frames Using Bayesian Statistics, *Advances in Structural Engineering*, ۱۵ (۲) (۲۰۱۶) ۲۳۱-۲۴۷.

[۱۶] Sh. Shahbazi, I. Mansouri, J. W. Hu, N. Sam Daliri, A. Karami, Seismic Response of Steel SMFs Subjected to Vertical Components of Far- and Near-

بصورت کاملاً ناگهانی در سطح عملکرد الاستیک - پلاستیک و پلاستیک خطر را کاهش خواهد داد. این نتیجه در واقع همان نتیجه آرمانی در این تحقیق است که ثابت می‌کند از دیدگاه آماری بین تغییر فاصله در گسل در حوزه دور و نزدیک گسل تفاوت وجود دارد.

• بطور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد از دیدگاه آماری بین تأثیر تغییرات فاصله بر تقاضای لرزه‌ای در حوزه دور و نزدیک گسل تفاوت وجود دارد که این تفاوت تابع متغیرهایی همچون رفتار خود قاب و سطح عملکرد آن خواهد بود.

۱۱- مراجع:

[۱] P. Tothong, N. Luco, Probabilistic seismic demand analysis using advanced ground motion intensity measures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamic*, ۳۶ (۱۳) (۲۰۰۷) ۱۸۳۷-۱۸۶۰.

[۲] A. Mehri Dehno, H. Aghabarti, M. Mahdavi Adeli, Bayesian approach for the accuracy evaluating of the seismic demand estimation of SMRF. *Earthquakes and Structures*, ۲۶ (۲) ۲۰۲۴ ۱۱۷-۱۳۰.

[۳] T. T. Liu, D. G. Lu, X. H. Yu, Development of a compound intensity measure using partial least-squares regression and its statistical evaluation based on probabilistic seismic demand analysis, ۱۲۵ (۲۰۱۹). doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.soildyn.۲۰۱۹.۱۰۵۷۲۵

[۴] B. R. Ellingwood, Earthquake risk assessment of building structures, *Reliability Engineering & System Safety*, ۷۴ (۳) (۲۰۰۱) ۲۵۱-۲۶۲, doi.org/۱۰.۱۰۱۶/S۰۹۵۱-۸۳۲۰(۰۱)۰۰۱۰۵-۳.

[۵] S. Ghosh, S. Ghosh, S. Chakraborty, Seismic fragility analysis in the probabilistic performance-based earthquake engineering framework: an overview. *International Journal of Advances in Engineering Sciences and Applied Mathematics*, (۲۰۱۷). <https://doi.org/۱۰.۱۰۰۷/s۱۲۵۷۲-۰۱۷-۰۲۰۰-y>

[۶] G. J. O'Reilly, G. M. Calvi, Conceptual seismic design in performance-based earthquake engineering, *Earthquake Engineering and Structural Dynamic*, ۴۸ (۴) (۲۰۱۸۷) ۳۸۹-۴۱۱, doi.org/۱۰.۱۰۰۲/eqe.۳۱۴۱

[۷] A. Chaudhuri, S. Chakraborty, Reliability of linear structures with parameter uncertainty under non-stationary earthquake, *Structural Safety*, ۲۸ (۳) (۲۰۰۶)

objective Optimization Algorithms: A Comparative Study. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, ۶۳ (۳) (۲۰۱۹), ۸۱۲-۸۲۲. <https://doi.org/10.3311/PPci.14304>.

[۲۷] D. Bindi, M. Picozzi, D. Spallarossa, F. Cotton, S. R. Kotha, Impact of Magnitude Selection on Aleatory Variability Associated with Ground-Motion Prediction Equations: Part II—Analysis of the Between-Event Distribution in Central Italy, *Bulletin of the Seismological Society of America*, ۱۰۹ (۱) (۲۰۱۹) ۲۵۱-۲۶۲. doi.org/10.1785/bssa-12018-0239

[۲۸] L. Macedo, J.M. Castro, SelEQ: An advanced ground motion record selection and scaling framework, *Advances in Engineering Software*, ۱۱۴ (۲۰۱۷) ۳۲-۴۷. doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.05.005.

[۲۹] L. Tian, H. Pan, R. Ma, Probabilistic seismic demand model and fragility analysis of transmission tower subjected to near-field ground motions, *Journal of Constructional Steel Research*, ۱۵۶ (۲۰۱۹) ۲۶۶-۲۷۵, doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.02.011.

[۳۰] D. Vamvatsikos, M. Fragiadakis, Incremental dynamic analysis for estimating seismic performance sensitivity and uncertainty. *Earthquake Engineering and Structural Dynamic*, ۳۹ (۲) (۲۰۱۰) ۱۴۱-۱۶۳.

[۳۱] M. Mahdavi Adeli, M. Banazadeh, A. Deylami, Bayesian approach for determination of drift hazard curves for generic steel moment-resisting frames in territory of Tehran, ۹ (۳) ۲۰۱۱ ۱۴۵-۱۵۴.

Field Earthquakes with Forward Directivity Effects, *Advances in Civil Engineering*, (۲۰۱۹). doi.org/10.1155/2019/2647387

[۱۷] J. Hou, Y. An, S. Wang, Zh. Wang, Ł. Jankowski, and J. Ou, Structural Damage Localization and Quantification Based on Additional Virtual Masses and Bayesian Theory, *Journal of Engineering Mechanics*, ۱۴۴ (۱۰) (۲۰۱۸).

[۱۸] F. Jalayer, R. De Risi, G. Manfredi, Bayesian Cloud Analysis: efficient structural fragility assessment using linear regression. *Bull Earthquake Engineering* ۱۳ (۴) (۲۰۱۵) ۱۱۸۳-۱۲۰۳.

[۱۹] A. Brezger, S. Lang, Generalized structured additive regression based on Bayesian P-Splines, *Computational Statistics and Data Analysis*, ۵۰ (۲۰۰۶) ۹۶۷-۹۹۱.

[۲۰] A. Brezger, S. Lang, Simultaneous Probability statements for Bayesian P-Splines, *Statistical Modeling*, ۸ (۲۰۰۸) ۱۴۱-۱۶۸. ۲۳۱-۲۴۶. doi.org/10.1016/j.strusafe.2005.07.001.

[۲۱] M. Onvani, A. Yahyaabadi, Probabilistic seismic demand analysis of steel moment frames by utilizing Bayesian statistics, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, (۲۰۱۸), DOI: 10.1080/196748189,2018,1538900

[۲۲] Sh. Kwag, A. Gupta, Probabilistic risk assessment framework for structural systems under multiple hazards using Bayesian statistics, *Nuclear Engineering and Design*, ۳۱۵ (۲۰۱۷) ۲۰-۳۴, doi.org/10.1016/j.nucengdes.2017.02.009.

[۲۳] Sh. Kwag, J. Oh, J. M. Lee, Application of Bayesian statistics to seismic probabilistic safety assessment for research reactor, *Nuclear Engineering and Design*, ۳۲۸ (۲۰۱۸) ۱۶۶-۱۸۱. doi.org/10.1016/j.nucengdes.2018.01.022

[۲۴] M. Ansari, M. Ansari, A. Safiey, Evaluation of seismic performance of mid-rise reinforced concrete frames subjected to far-field and near-field ground motions, ۱۵ (۸) (۲۰۱۸) ۴۵۳-۴۶۲, doi.org/10.12989/eas.2018.15.08.453

[۲۵] R. A. Medina, H. Krawinkler, Evaluation of drift demands for the seismic performance assessment of frames, *Journal of Structural Engineering*, ۱۳۱ (۷) ۲۰۰۵, ۱۰۰۳-۱۰۱۳.

[۲۶] A. Kaveh, R. Mahdipou Moghanni, S.M. Javadi, Ground Motion Record Selection Using Multi-