

Investigating the effect of the length of the investigated area and the minimum magnitude on the seismic parameters and the response of the seismic hazard analysis, a case study of Imam Ali Kermanshah Hospital

Sajad Esmailzadeh¹, Mohammad Javad Mahmoodi^{2*}

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sahneh Branch, Islamic Azad University, Sahneh, Iran

2- Associate Professor, Faculty of Civil, Water, and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Earthquake is one of the most important natural disasters that every year causes a lot of human and financial losses in different parts of the world. Hospitals are one of the most significant buildings that are of special importance after the earthquake and must be able to be used continuously. Therefore, the accurate and optimal seismic design of these structures is extremely crucial. Design standards and regulations in certain situations require designers to carefully examine the site and estimate the maximum response of the ground movement. Also, to estimate these answers, it is necessary to calculate the seismic parameters of the studied area, the most important factors affecting these parameters are the length of the investigated range and the minimum magnitude, and in this research, these parameters are examined on the seismic parameters. For this purpose, Imam Ali Hospital was selected as a case study and the ranges of 100, 150, and 200 km from the target site with minimum magnitudes of 4, 4.5, and 5 Richter were selected as the study parameters and their impact on the risk analysis results was investigated. The results show that although acceptable results have been obtained in some periods of returns at a distance of 100 km, in some periods of returns in all the minimum magnitudes of the base, the differences in the maximum acceleration values are severe and therefore this distance is not suitable for risk analysis. At a distance of 150 km from the construction site, the results are acceptable for magnitudes of at least 4 Richter, but in other magnitudes of 4.5 and 5 Richter, there are many differences in the return period of 75 years, but in other return periods, the results are acceptable. Also, at a distance of 200 km, acceptable results have been presented in all magnitudes, and the minimum magnitude of 5 Richter can be considered as the minimum base magnitude for this distance.

ARTICLE INFO

Receive Date: 25 April 2023

Revise Date: 04 July 2023

Accept Date: 12 July 2023

Keywords:

Hazard Analysis
Deterministic
Probabilistic
Seismic Parameter
Hospital
Earthquake
Maximum Acceleration

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2023.392054.3078>

*Corresponding author: Sajad Esmailzadeh.
Email address: Sa.Esmailzadehyam@iau.ac.ir

بررسی اثر طول محدوده مورد بررسی و بزرگای حداقلی بر پارامترهای لرزه‌خیزی و پاسخ تحلیل خطر لرزه‌ای، مطالعه موردی بیمارستان امام علی کرمانشاه

سجاد اسماعیل زاده^{۱*}، محمد جواد محمودی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد صحنه، دانشگاه آزاد اسلامی، صحنه، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

زلزله از مهمترین بلاهای طبیعی بوده که هر ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را در نقاط مختلف جهان برجای می‌گذارد. بیمارستان‌ها جزء ساختمان‌های بسیار مهم بوده که پس از زلزله دارای اهمیت خاص بوده و باید دارای قابلیت استفاده بی‌وقفه باشند. از این رو، طراحی لرزه‌ای دقیق و بهینه‌ی این سازه‌ها از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. استانداردها و آیین‌نامه‌های طراحی در شرایط خاصی طراحان را ملزم به بررسی دقیق سایت و برآورد پاسخ‌های حداکثری جنبش زمین می‌کنند. همچنین برای برآورد این پاسخ‌ها نیاز به محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه می‌باشد که مهم‌ترین عوامل موثر بر این پارامترها طول محدوده مورد بررسی و بزرگای حداقلی بوده که در این پژوهش به بررسی این پارامترها بر روی پارامترهای لرزه‌خیزی پرداخته می‌شود. بدین منظور بیمارستان امام علی به عنوان نمونه موردی انتخاب شده و محدوده‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتری از سایت مورد نظر با بزرگاهای حداقلی ۴، ۴/۵ و ۵ ریشتری به عنوان پارامترهای مورد مطالعه انتخاب و تاثیر آن‌ها بر روی نتایج تحلیل خطر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه در برخی از دوره بازگشت‌ها در فاصله ۱۰۰ کیلومتری، نتایج قابل قبولی به دست آمده است اما در برخی از دوره بازگشت‌ها در تمام بزرگاهای حداقلی مبنای مقادیر شتاب حدکنندگی اختلاف‌های شدیدی بوده و لذا این فاصله جهت تحلیل خطر مناسب نمی‌باشد. در فاصله ۱۵۰ کیلومتری برای بزرگاهای حداقلی ۴ ریشتر نتایج قابل قبول می‌باشد اما در سایر بزرگاهای ۴/۵ و ۵ ریشتری در دوره بازگشت ۷۵ سال نتایج اختلافات زیادی داشته ولی در دوره بازگشت‌های دیگر نتایج قابل قبول می‌باشند. همچنین در فاصله ۲۰۰ کیلومتری نتایج قابل قبولی را در تمام بزرگاهای ارائه شده و می‌توان تا بزرگای حداقلی ۵ ریشتر را به عنوان بزرگای مبنای حداقلی برای این فاصله در نظر گرفت.

کلمات کلیدی: تحلیل خطر، قطعی، احتمالاتی، پارامتر لرزه‌ای، بیمارستان، زلزله و شتاب حداکثر

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://doi.org/10.22065/jsce.2023.392054.3078	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2023.392054.3078	۱۴۰۳/۰۱/۳۱	۱۴۰۲/۰۴/۲۱	۱۴۰۲/۰۴/۲۱	۱۴۰۲/۰۴/۱۳	۱۴۰۲/۰۲/۰۵
سجاد اسماعیل زاده Sa.Esmailzadehyam@iau.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

مطالعه زلزله به قرنهای متمادی در گذشته باز می‌گردد. مدارک مکتوب متعلق به زلزله‌های ژاپن و نواحی شرق مدیترانه تقریباً به ۱۶۰۰ سال قبل بر می‌گردد. زلزله مشکلی جهانی بوده که سلامت و اقتصاد انسان‌ها را در نقاط مختلف کره‌ی زمین تهدید می‌کند. جلوگیری از وقوع زلزله اجتناب ناپذیر است ولی کاهش اثر ارتعاشات نیرومند زلزله در قالب تقلیل خسارات، صدمات و تلفات جانی ناشی از آن امکان‌پذیر می‌باشد. در طول سال‌های متمادی، پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله به‌وجود آمده و آیین‌نامه‌های مورد نیاز جهت طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها مرتباً اصلاح گردیده‌اند [۱].

اصغری و همکاران، به‌منظور انجام تحلیل خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی، منطقه غرب دریاچه ارومیه، شهرستان ارومیه و مناطق اطراف آن را در نظر گرفتند. آنها با تحلیل خطر احتمالاتی و استفاده از روابط کاهندگی برای چشمه‌های خطی و ناحیه‌ای لرزه‌زای اطراف شهر ارومیه به شعاع ۱۰۰ کیلومتر، شتاب سنگ بستر و نقشه ریزپهنه‌بندی خطر زمین لرزه را در دوره بازگشت ۴۷۵ سال برآورد نموده و همچنین احتمال وقوع زلزله با بزرگای بالای ۶ ریشتر را در این ناحیه تا ۱۰۰ سال آینده محاسبه کردند [۲].

عموری و همکاران، ضمن شناسایی مهمترین چشمه‌های لرزه‌زا و بزرگترین زمین لرزه‌های رخ داده در شهر میامی و اطراف آن در استان سمنان، با استفاده از روابط گوتنبرگ - ریشتر و کیکو - سلول بزرگ‌های لرزه‌ای را در بازه‌های زمانی ۱، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ سال محاسبه و مقایسه نمودند. سپس با استفاده از روش تحلیل خطر احتمالاتی به شعاع ۱۵۰ کیلومتر، بیشینه شتاب افقی را در دوره بازگشت ۴۷۵ سال برای این شهر محاسبه نمودند [۳].

سهرابی بیدار و همکاران، پس از بررسی مباحث پیرامون وجود یا عدم وجود گسل‌های کهریزک، جنوب و شمال ری در جنوب تهران، اثر آنها را بر پارامتر خطر لرزه‌ای بیشینه‌ی شتاب سطح زمین بررسی کردند. علاوه بر این، آنها نشان دادند که مشخصات زمین‌لرزه‌ی طراحی نیز از نظر بزرگی و فاصله با توجه به لحاظ نمودن یا نمودن گسل‌های فوق متفاوت خواهد بود و همچنین، در شهر تهران با توجه به ساخت و ساز فراوان، انجام مطالعات دقیق لرزه‌شناسی و ایجاد شبکه‌ی منسجم لرزه‌نگاری در جهت کاهش عدم قطعیت ضروری است [۴].

طاهری امیری و همکاران، پس از جمع‌آوری داده‌ها، با استفاده از آنالیز در نرم افزار جی‌آی‌اس آسیب‌پذیری جانی و مالی در شهر بابل را در اثر وقوع زمین‌لرزه بررسی نمودند. آنها نشان دادند که بخش‌های جنوبی و جنوب غربی شهر بابل در اثر زلزله خسارات بیشتری را خواهند دید و در ادامه برای پیشگیری و کاهش اثر بحران ناشی از زلزله در بخش‌های مختلف شهر از جمله ساختمان‌های درمانی، اداری و مسکونی راهکارهایی را ارائه نمودند [۵].

توسلیان و همکاران، پس از اصلاح داده‌های شتاب‌نگاری، با استفاده از الگوریتم توسعه ژنی که نوعی هوش مصنوعی می‌باشد، رابطه‌ی کاهندگی برای تابع شدت اریاس بصورت توابعی پیوسته و با دقت مناسب ارائه نمودند. با توجه به دقت این رابطه و مقادیر داده‌های مناسب، این رابطه برای ارزیابی‌های لغزش‌های ناشی از زلزله در مقیاس منطقه‌ای، از طریق تخمین جنبش‌های احتمالی زمین، جابه‌جایی نیومارک و سایر تحلیل‌های پویا در رابطه با کاهش خطر و طرح‌های شهری، سودمند خواهد بود. در این روش الگو برای تابع هدف توسط روشی هوشمند و به صورت بهینه ارائه می‌گردد [۶].

شرفی و همکاران، با استفاده از گزارش‌های ژئوتکنیکی گمانه‌های حفاری شده، ساختار زیرسطحی منطقه فولادی شهر سرپل‌دهاب در استان کرمانشاه را به صورت دوبعدی مدل‌سازی نموده و با انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی در نرم‌افزار آباکوس طیف پاسخ نقاط مختلف سطح خاک، پرپود غالب دینامیکی ساختگاه و حداکثر مقادیر بزرگنمایی را ارائه کردند. همچنین طیف‌های پاسخ به‌دست آمده از تحقیق حاضر با طیف طرح آیین‌نامه ۲۸۰۰ مقایسه و مورد بحث قرار گرفت که نتایج به‌دست آمده از آن میتواند کمک شایانی در طراحی دقیقتر سازه‌های این منطقه داشته باشد [۷].

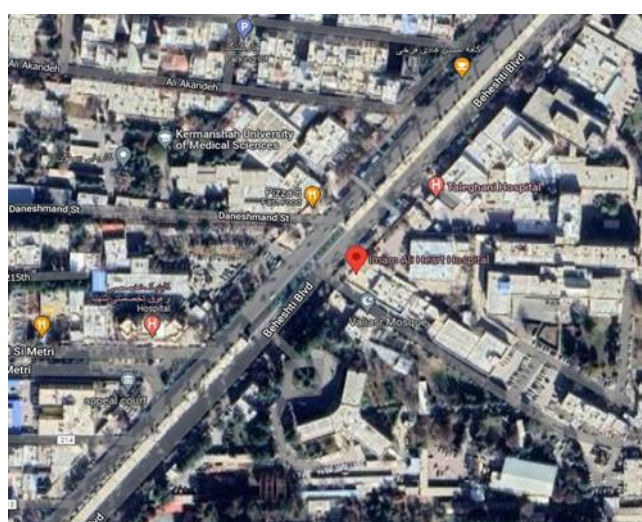
به منظور محاسبه حرکات نیرومند زمین طی مطالعات انجام شده، در مرحله اول باید محدوده لازم اطراف سایت مشخص گردد، سپس حداقل بزرگای مورد مطالعه تعیین شده، در ادامه پارامترهای لرزه‌خیزی و گسل‌های درون محدوده مورد نظر برازش و در نهایت تحلیل خطر احتمالاتی و تعیینی برای سایت مورد نظر انجام می‌گردد. همچنین آیین‌نامه‌ها برای سایت‌های خاص و ویژه طراحان را ملزم به تحلیل خطر لرزه‌ای جهت برآورد دقیق پاسخ‌های قوی زمین در محدوده طراحی می‌نمایند. بیمارستان یکی از سازه‌های مهمی است که باید جهت طراحی آن از نتایج تحلیل خطر استفاده کرد؛ به همین منظور، بیمارستان امام علی کرمانشاه که بزرگترین مرکز تحقیقاتی، آموزشی و درمانی در غرب کشور می‌باشد به عنوان نمونه موردی در این پژوهش انتخاب گردیده‌است. با بررسی ادبیات مروری و پژوهش‌های صورت گرفته تاکنون، مطالعاتی بر روی بررسی اثر طول محدوده مورد بررسی و بزرگای حداقلی بر روی پارامترهای لرزه‌خیزی و پاسخ تحلیل خطر لرزه‌ای صورت نگرفته‌است. لذا در این پژوهش، بیمارستان امام علی کرمانشاه به عنوان نمونه موردی انتخاب گردیده و فاصله‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتری برای بزرگای حداقلی ۰.۴، ۰.۵/۴ و ۰.۵ ریشتری انتخاب شده‌است. پارامترهای لرزه‌خیزی و نتایج تحلیل خطر بر روی این محدوده‌ها و بزرگای در ادامه ارائه می‌گردد.

۲- ساختگاه مورد مطالعه:

ساختگاه مورد مطالعه (بیمارستان امام علی کرمانشاه) در بخش شرقی شهر واقع شده که در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۱: موقعیت مکانی بیمارستان امام علی در شهر کرمانشاه [۸].



شکل ۲: موقعیت مکانی بیمارستان امام علی در نقشه [۸].

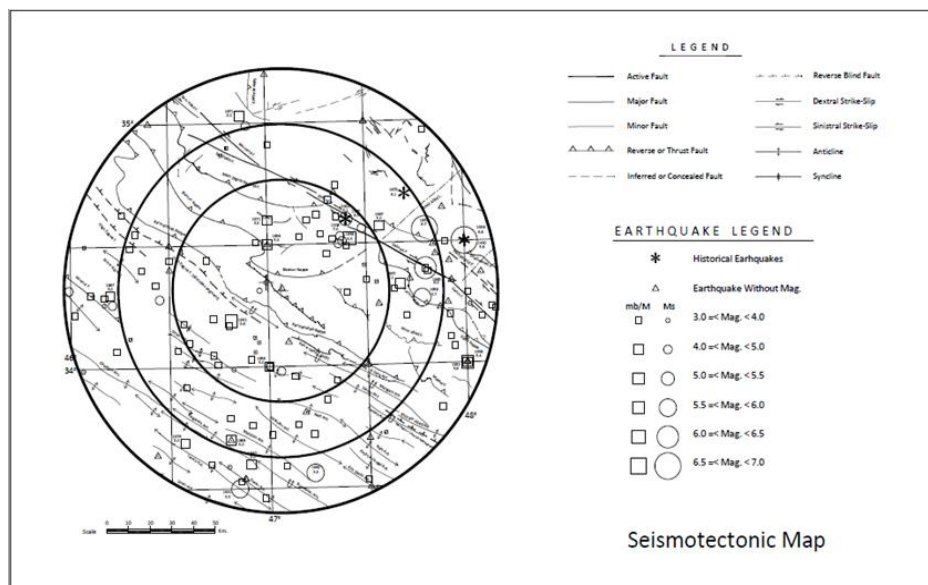
به منظور بررسی اثر فاصله بر روی پارامترهای لرزه‌خیزی و نتایج تحلیل خطر، سایت مورد مطالعه به سه بخش فاصله تا ساختگاه به اندازه‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتر تقسیم‌بندی شده و گسل‌های هر ناحیه برآزش شده است. همچنین برای هر یک از بخش‌های مورد مطالعه، بزرگ‌های ۴، ۴/۵ و ۵ ریشتری به منظور حداقل بزرگای مبنا برای محاسبات مربوط به پارامترهای لرزه‌خیزی در نظر گرفته شده است. در جدول‌های شماره ۱ و ۲ تعداد گسل‌ها و زلزله‌های رخ داده در هر یک از ناحیه‌ها ارائه شده است. همچنین در شکل شماره ۸ مرزهای مربوط به نواحی ذکر شده نشان داده شده است.

جدول ۱: تعداد و طول کل گسل‌های هر ناحیه [۹]

	فاصله (کیلومتر)		
	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
تعداد گسل‌ها	۱۱	۱۹	۲۷
طول کل گسل‌ها (کیلومتر)	۴۸۲	۹۶۸	۱۵۶۰

جدول ۲: تعداد و طول کل گسل‌های هر ناحیه [۹]

بزرگا	فاصله تا سایت (کیلومتر)		
	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰
۴	۱۰۴	۲۶۰	۴۹۳
۴/۵	۷۱	۱۵۵	۲۸۲
۵	۳۶	۵۴	۹۸



شکل ۳: نقشه نواحی مورد مطالعه برای شعاع‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتری [۹].

۳- بررسی لایه لرزه‌زا و ژرفای کانونی زمین لرزه‌ها

مگی و همکاران معتقد هستند که زمین لرزه‌های ایران در پوسته بالایی رخ می‌دهند. با توجه به فهرست زمین لرزه‌های ارائه شده (به علت دقت پایین در برآورد ژرفای کانونی) فقط میتوان ادعا کرد که زمین لرزه‌های رویداده در گستره طرح از نوع کم عمق می‌باشند. از طرف دیگر بررسی‌های آنها نشان می‌دهد که در فلات زاگرس، لرزه‌خیزی به پوسته فوقانی محدود می‌گردد و لایه لرزه‌زا ضخامتی کمتر از ۲۰ کیلومتر دارد [۱۰].

با توجه به مطالب فوق و لرزه‌خیزی زاگرس می‌توان اعماق ۱۰ تا ۱۴ کیلومتر را به عنوان لایه لرزه‌زا (Seismic Layer)، ۸ تا ۱۰ کیلومتر را به عنوان لایه انتقالی فوقانی (Transition Layer) و ۱۴ تا ۱۶ کیلومتر را به عنوان لایه انتقالی تحتانی (Lower Transition) در نظر گرفت.

۴- بررسی کاتالوگ لرزه‌های

زلزله‌های رخ داده در دنیا، به دلیل پیشرفت دستگاه‌های ثبت زلزله به مرور زمان، به سه بخش با بازه‌های زمانی تا سال ۱۹۰۰، از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۶۴ و از سال ۱۹۶۴ به بعد تقسیم‌بندی می‌گردند که به ترتیب با نام‌های زلزله‌های تاریخی، زلزله‌های دستگاهی نسل ۱ و زلزله‌های دستگاهی نسل ۲ می‌باشند [۱۱].

۴-۱ زلزله‌های تاریخی

بطور کلی داده‌های مربوط به زمین لرزه‌های تاریخی، در ایران زمین به صورت منظم گردآوری نشده است. تاکنون کاملترین مجموعه ای که از زمین لرزه‌های تاریخی پیش از سده بیستم گردآوری شده مربوط به آمبرسیز و ملویل است. این منبع بر اساس کتب تاریخی و سفرنامه‌ها و نوشته‌های اندک علمی تنظیم گردیده است. به طور کلی اطلاعات کمی نسبت به مراکز بیرونی زمین لرزه‌های تاریخی موجود است. به همین علت از نظر جایگاه رویداد زمین لرزه، شدت و بزرگی آن دقت کمی وجود داشته و اطلاعات موجود تنها سیمای کلی لرزه زمین‌ساختی منطقه را روشن می‌سازد.

برای شناخت الگوی لرزه‌خیزی بلند مدت در گستره طرح، شناخت داده‌های زمین‌لرزه‌های تاریخی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زمین‌لرزه‌های تاریخی به طور کامل دقیق و صحیح نمی‌باشند. این داده‌ها از کتب تاریخی، نشریات و متون عملی جمع آوری شده‌اند. بنابراین بزرگی، شدت و موقعیت رومرکز این زمین‌لرزه‌ها دارای خطای زیادی می‌باشند. رویداد زمین‌لرزه‌های تاریخی بسیار دور، یعنی رویدادهایی که به زمان پیش از میلاد مسیح ارجاع داده می‌شوند با عدم قطعیت بالا در زمان و مکان همراهند. اما با تمام اوصاف فوق‌الذکر، اطلاعات موجود از وضعیت زمین‌لرزه‌های زمانهای دور (قبل از ۱۹۰۰ میلادی) کمک شایانی در ارائه مدلی از تکرار مجدد زمین‌لرزه‌هایی که دارای دوره بازگشت طولانی هستند، می‌باشد و بنابراین نقش مهمی در برآورد احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های آتی خواهند داشت [۱۲]، [۱۳]، [۱۴] و [۱۵].

۴-۲ زلزله‌های دستگاهی

مختصات ساختمان مورد مطالعه (بیمارستان امام علی کرمانشاه)، با طول جغرافیایی ۴۷.۱ و عرض جغرافیایی ۳۴.۳۴۳ در سایت پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، جهت استخراج زلزله‌های دستگاهی نسل ۱ و ۲ وارد شد. همچنین شعاع مورد نظر جهت جستجوی زمین‌لرزه‌ها ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده‌است.

۴-۳ تجمیع کاتالوگ لرزه‌خیزی

پس از استخراج زلزله‌های تاریخی و دستگاهی نسل ۱ و ۲، برای تجمیع و تدوین کاتالوگ لرزه‌خیزی، باید تمام بزرگها به یک بیان یکنواخت از بزرگها دست یابند. به همین منظور در این پژوهش تمام بزرگها به بزرگای گشتاوری (Mw) تبدیل شده که این بزرگا ماهیت فیزیکی داشته و مستقل از تجهیزات لرزه‌نگاری است. برای تبدیل این بزرگا از روابط نشریه شماره ۶۲۶ استفاده شده‌است [۱۱].

۴-۴ حذف زلزله‌های وابسته از کاتالوگ

فرآیند تحلیل خطر لرزه‌ای با فرض پواسنی بودن وقوع زمین لرزه‌ها (وقوع مستقل زمین لرزه‌ها) انجام می‌گیرد. اگرچه این فرض با سازوکار وقوع زلزله‌ها کاملاً سازگار نیست اما به خاطر سادگی و کاربردی بودن آن در مطالعات تحلیل خطر استفاده می‌شود. برای ارضاء شرایط پواسنی بودن داده‌ها، لازم است پس‌لرزه‌ها و پیش‌لرزه‌های زلزله‌های بزرگ (داده‌های وابسته) از بانک اطلاعاتی حذف شوند. در نشریه ۶۲۶، به روابط مختلفی جهت حذف زلزله‌های وابسته اشاره شده‌است؛ که یکی از آنها روش پنجره‌های زمانی - مکانی Gardner and Knopoff, 1974 است و در این پژوهش نیز از این روش استفاده گردیده‌است. به‌منظور استفاده از این روش، از نرم‌افزار تحت متلب Zmap استفاده شده‌است؛ که با کمک این نرم‌افزار داده‌های کاتالوگ لرزه‌ای تجمیع شده به آن وارد می‌گردد و سپس با استفاده از آن زلزله‌های وابسته با روش Gardner and Knopoff حذف گردیده‌است. این روش برای کلیه زلزله‌های کل نواحی در نظر گرفته شده‌است [۱۱].

۴-۵ محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی

برای محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی باید عدم قطعیت‌های مرتبط با زلزله‌های تاریخی و دستگاهی در کاتالوگ لرزه‌خیزی لحاظ گردد. براساس نشریه شماره ۶۲۶، عدم قطعیت داده‌های تاریخی برابر ۰.۵ واحد بزرگا، برای داده‌های دستگاهی پیش از سال ۱۹۶۳، ۰.۳ و پس از سال ۱۹۶۳ میلادی برابر ۰.۱ واحد بزرگا پیشنهاد شده‌است. در این پژوهش نیز از این داده‌ها به منظور عدم قطعیت داده‌ها استفاده گردیده‌است. همچنین پس از تکمیل داده‌های کاتالوگ لرزه‌خیزی، تجمیع و در نظر گرفتن عدم قطعیت داده‌ها، از نرم‌افزار Kijko برای محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی استفاده شده‌است. به منظور مقایسه نرخ لرزه‌خیزی و پارامتر بتا گوتنبرگ-ریشتر، مقادیر هریک برای

فاصله‌های ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتری تا ساختگاه برای حداقل بزرگ‌های مبنای ۴، ۴/۵ و ۵ در جدول‌های شماره ۴ و ۵ ارائه گردیده است [۱۱].

جدول ۳: نرخ لرزه‌خیزی برای نواحی مختلف به ازای حداقل بزرگ‌ای مبنای متفاوت

فاصله	بزرگا		
	۴	۴/۵	۵
۱۰۰	۰/۵۳	۰/۳۳	۰/۰۷
۱۵۰	۰/۷۵	۰/۲۶	۰/۱۶
۲۰۰	۰/۹۹	۰/۴	۰/۲۴

جدول ۴: پارامتر بنا گتنبگ-ریشتر برای نواحی مختلف به ازای حداقل بزرگ‌ای مبنای متفاوت

فاصله	بزرگا		
	۴	۴/۵	۵
۱۰۰	۱/۵۹	۲/۰۹	۱/۴۱
۱۵۰	۱/۸۶	۱/۹۳	۲/۳۹
۲۰۰	۱/۸۹۵	۱/۹۶	۲/۳۸

همانطور که از نتایج قابل مشاهده است، با کمتر در نظر گرفتن شعاع مورد مطالعه اطراف ساختگاه، نرخ لرزه‌خیزی به علت کمتر شدن زلزله‌های ثبت شده در این نواحی، به شدت کاهش یافته اما با توجه به اینکه تعداد گسل‌ها و طول کل آن‌ها کاهش می‌یابد این کاهش نتایج مورد قبول است.

۴ - ۶ مدل سازی چشمه‌های لرزه‌ای

نرم‌افزارهای متعددی برای محاسبه تحلیل خطر تعیینی و احتمالاتی وجود دارند که می‌توان به راحتی با مدل سازی چشمه‌های لرزه‌ای در آن‌ها نتایج تحلیل خطر تعیینی و احتمالاتی را محاسبه کرد. یکی از نرم‌افزارهای رایج و معتبر در این زمینه، نرم‌افزار EZ-FRISK می‌باشد که به منظور انجام محاسبات تحلیل خطر تعیینی و احتمالاتی در این پژوهش از این نرم‌افزار استفاده شده است. پس از مدل سازی چشمه‌های لرزه‌ای برای فواصل ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتری با در نظر گرفتن بزرگ‌های مبنای ۴، ۴/۵ و ۵، تحلیل خطر تعیینی و احتمالاتی برای ۹ مدل مجزا انجام و در ادامه نتایج ارائه می‌گردد. به منظور محاسبه تحلیل خطر تعیینی و احتمالاتی می‌بایست از روابط کاهندگی معتبر و مورد استفاده برای سایت مورد مطالعه استفاده گردد. نشریه شماره ۶۲۶ اشاره می‌کند که باید حداقل سه رابطه کاهندگی مناسب برای محاسبات در نظر گرفته شود که در این تحقیق از چهار رابطه استفاده شده است. همچنین نشریه شماره ۶۲۶، هشت نمونه از روابط کاهندگی مناسب برای تانجام تحلیل خطر در پهنه ایران را پیشنهاد می‌دهد؛ که در این پژوهش، تمام روابط کاهندگی در نظر گرفته شده از بین این روابط انتخاب شده‌اند. روابط کاهندگی استفاده شده در این پژوهش عبارتند از [۱۱]، [۱۶]، [۱۷] و [۱۸]:

1-Campell and Bozorgnia, 2008

2-Abrahamson and Silva, 2008

3-Akkar and Boomer, 2010

4-Boore-Atkinson, 2008

با در نظر گرفتن ۹ مدل برای محاسبه تحلیل خطر احتمالاتی و تعینی، مدل با فاصله ۲۰۰ کیلومتری از ساختگاه با بزرگای حداقل مبنای ۴ به عنوان مدل مرجع انتخاب شده و درصدهای وزن دهی به روابط کاهندگی با این مدل کالیبره شده است. در این مدل، در نظر گرفتن وزن ۲۰ درصدی برای روابط ۱، ۲ و ۳، و همچنین وزن ۴۰ درصدی برای رابطه ۴ نتایج قابل قبولی را ارائه و همین درصد وزن دهی به منظور اعمال کردن عدم قطعیت به روابط کاهندگی، برای تمام مدل‌ها در نظر گرفته شده است.

۵- نتایج تحلیل خطر تعینی

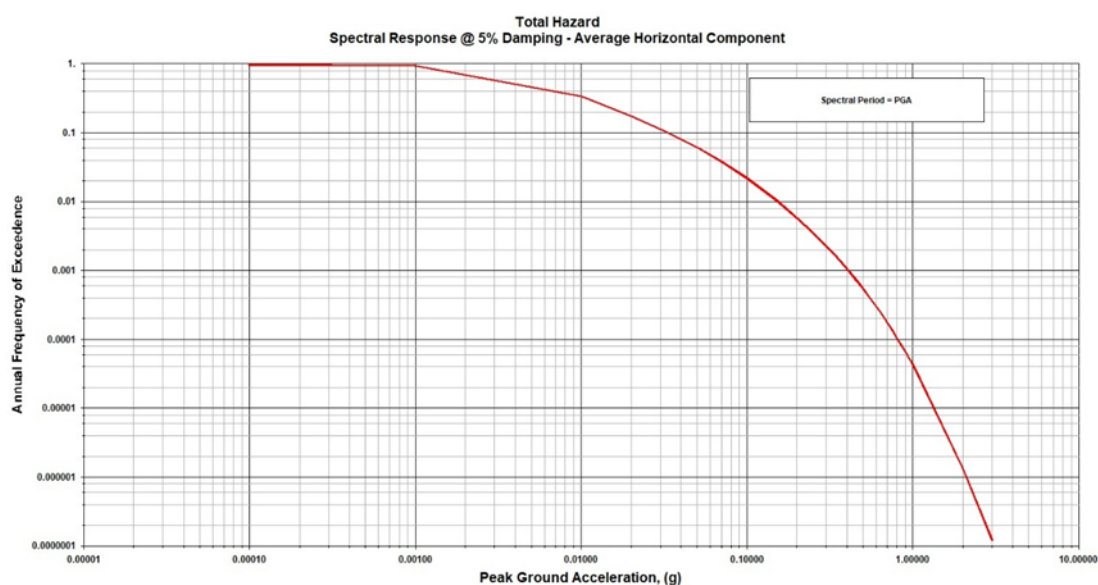
در تحلیل خطر تعینی، با توجه به گسل‌های اطراف ساختگاه، فاصله آن‌ها تا ساختگاه و همچنین طول و حداکثر بزرگای آن‌ها، بزرگترین زلزله قابل رویداد در ساختگاه و گسل مسبب آن محاسبه می‌گردد. این زلزله و گسل ایجاد کننده آن به ترتیب به زلزله سناریو و گسل سناریو نام دارند [۱۱]. با توجه به اینکه زلزله و گسل سناریو به دلیل یکی از گسل‌های نزدیک به ساختگاه رخ می‌دهند؛ این زلزله و گسل مسبب آن در تمام تحلیل‌ها یکسان بوده و به تبع آن نتایج تحلیل خطر تعینی برای تمام مدل‌ها یکسان می‌باشد. به دلیل عدم آگاهی کامل از رویداد زلزله و وجود عدم قطعیت‌های فراوان در محاسبات تحلیل خطر، هریک از روابط کاهندگی خطای استاندارد خاص خود را دارد. همچنین در تحلیل خطر تعینی دو رویکرد ۵۰٪ و ۸۴٪ وجود دارد که به ترتیب بدون و با در نظر گرفتن خطای استاندارد روابط کاهندگی می‌باشند [۱۱]. در جدول شماره ۶ نتایج حاصل از تحلیل خطر تعینی برای ۵۰٪ و ۸۴٪ ارائه شده است. با توجه به نتیجه ارائه شده، گسل سناریو برای این ساختگاه، گسل کرمانشاه ۱ می‌باشد که حداقل فاصله آن تا ساختگاه ۸/۵ کیلومتر بوده و به ترتیب برای محاسبات مربوط به ۵۰٪ و ۸۴٪ قادر به تولید شتاب‌های ۰.۵ و ۰.۸۵ بر مبنای g می‌باشد.

جدول ۵: گسل و زلزله سناریو ساختگاه

گسل سناریو	Mw	نزدیکترین فاصله تا ساختگاه (کیلومتر)	۵۰٪ (g)	۸۴٪ (g)
Kermanshah Nappe 1	۶/۹	۸/۵	۰/۵۰۴۹	۰/۸۴۹۱

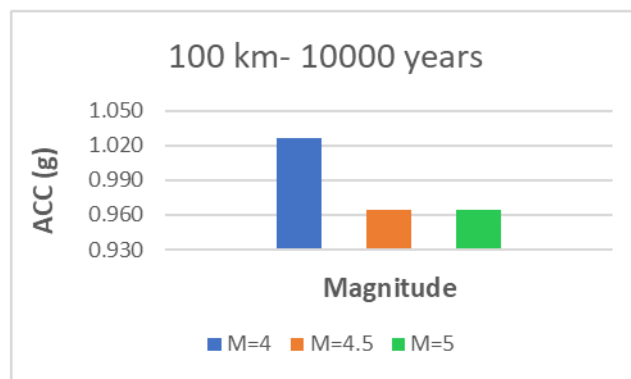
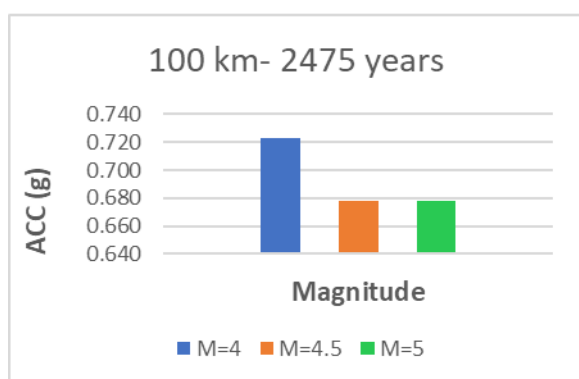
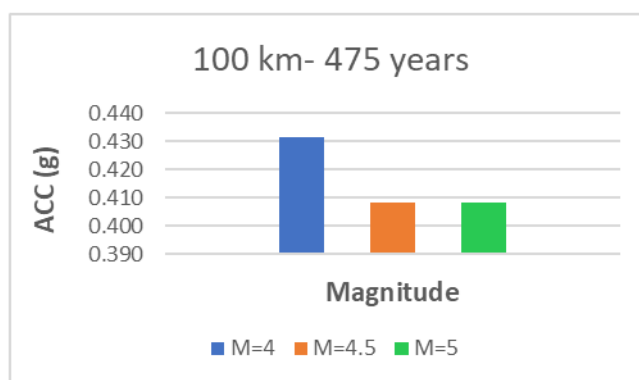
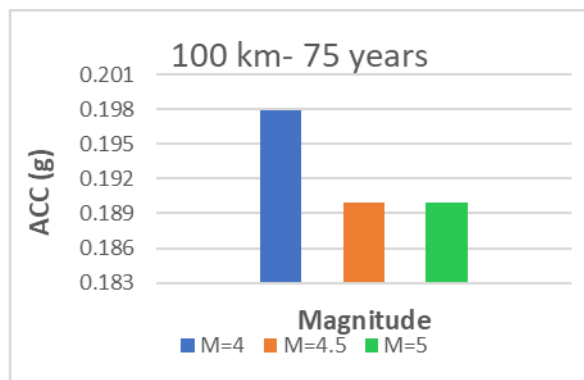
۶- نتایج تحلیل خطر احتمالاتی

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از محاسبات تحلیل خطر احتمالاتی برای دوره بازگشت‌های ۷۵، ۴۷۵، ۲۴۷۵ و ۱۰۰۰۰ سال برای تمام مدل‌های ذکر شده پرداخته می‌شود. با در نظر داشتن طبیعت احتمالی توابع کاهندگی، تابع توزیع بزرگا برای هر چشمه، توزیع احتمال فاصله نقطه آغاز گسلش زمین تا محل ساختگاه و بهره‌گیری از تئوری احتمال کل می‌توان برهم‌نهی نظام‌مندی از آثار گسل‌های مختلف ترتیب داد و در نهایت احتمال فراگذشت سالیانه پارامترهای جنبش زمین را در هر سطح دلخواه محاسبه و به صورت "منحنی خطر" ترسیم نمود [۱۱]. به منظور بالا بودن نتایج و نمودارهای حاصل از محاسبات، از ارائه نمودارهای منحنی خطر پرهیز شده و تنها مقادیر پاسخ زمین (شتاب بر مبنای g) برای سال‌های ذکر شده ارائه می‌گردد. شکل شماره ۹ به صورت موردی منحنی خطر حاصل از تحلیل نمونه ۲۰۰ کیلومتری از ساختگاه با بزرگای حداقلی مبنای ۴ را نشان می‌دهد.

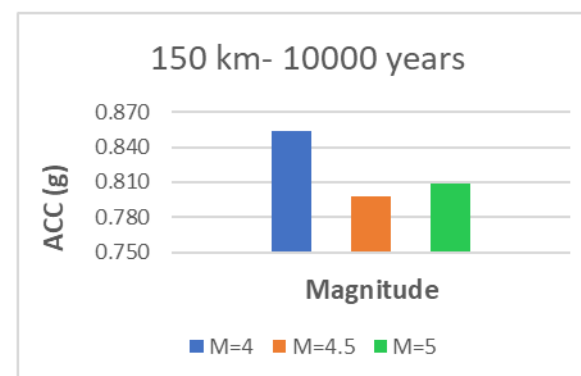
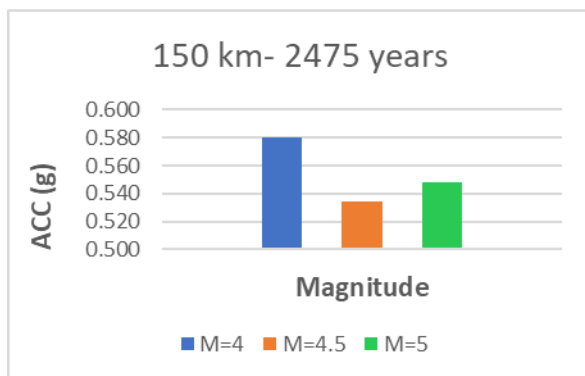
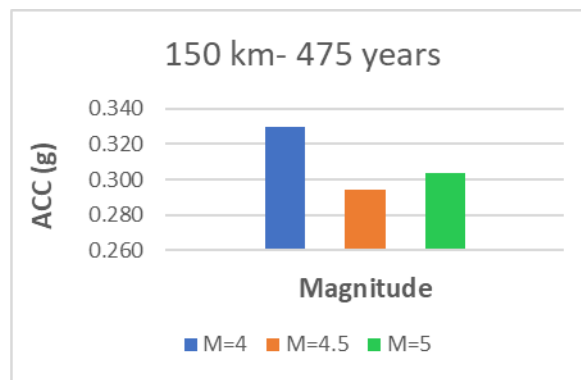
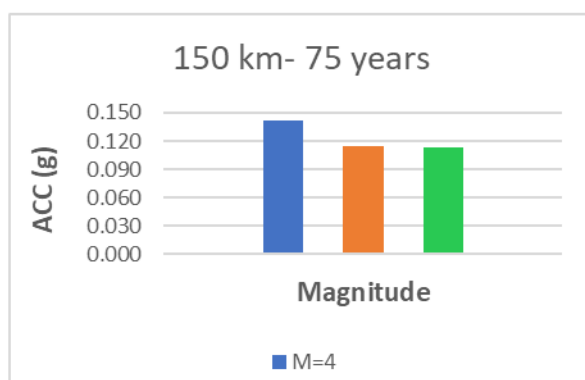


شکل ۴: منحنی خطر برای مدل فاصله ۲۰۰ کیلومتر با حداقل بزرگای ۴ ریشتر

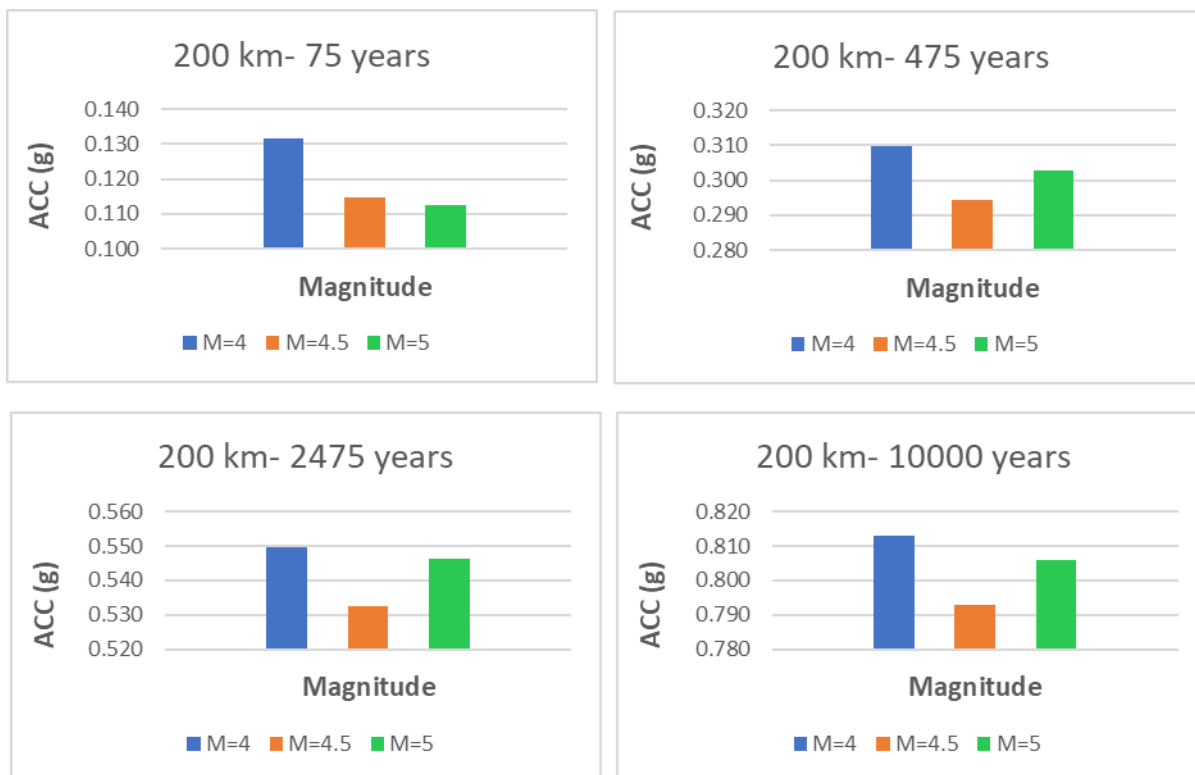
در ادامه به منظور بررسی نتایج حاصل از محاسبات تحلیل خطر احتمالاتی، مقادیر پاسخ زمین به صورت مجزا یکبار با در نظر گرفتن فاصله ثابت و با بزرگایهای حداقلی متفاوت و بار دیگر با لحاظ نمودن بزرگای حداقلی ثابت و فاصله تا ساختمانهای متغییر برای دوره بازگشتهای ۷۵، ۴۷۵، ۲۴۷۵ و ۱۰۰۰۰ سال ارائه می گردند. شکل های ۱۰ تا ۱۵ به ترتیب این نتایج را نشان می دهند.



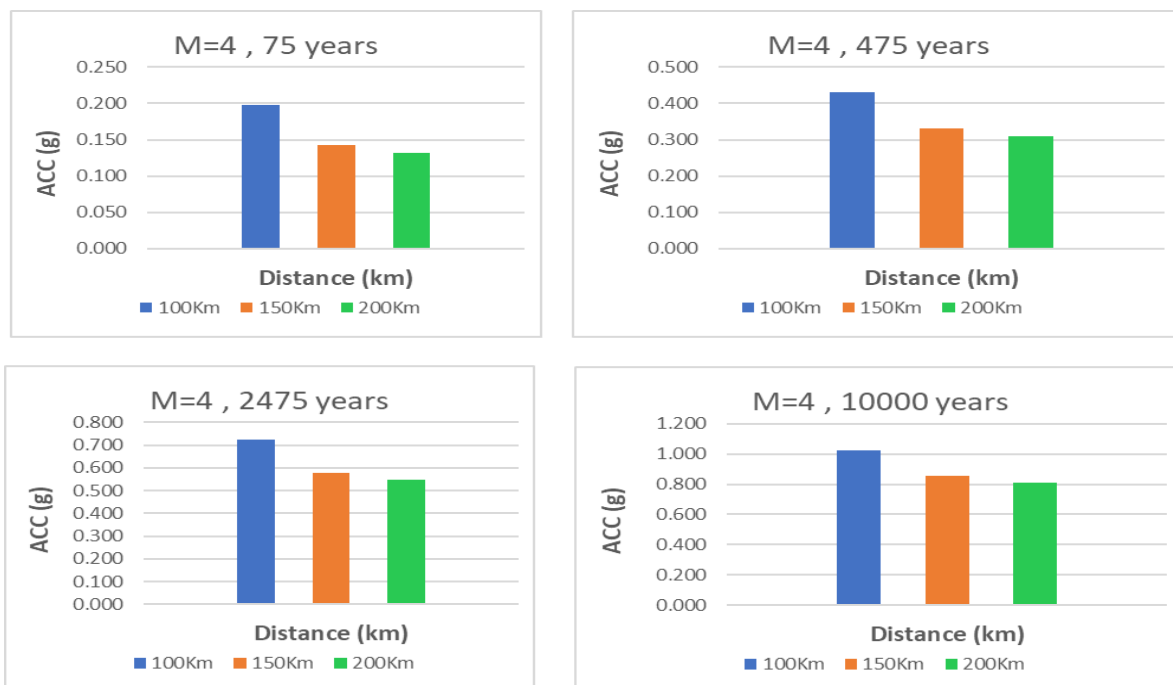
شکل ۵: نتایج حداکثر شتاب در فاصله ثابت ۱۰۰ کیلومتر با بزرگایهای حداقلی متفاوت



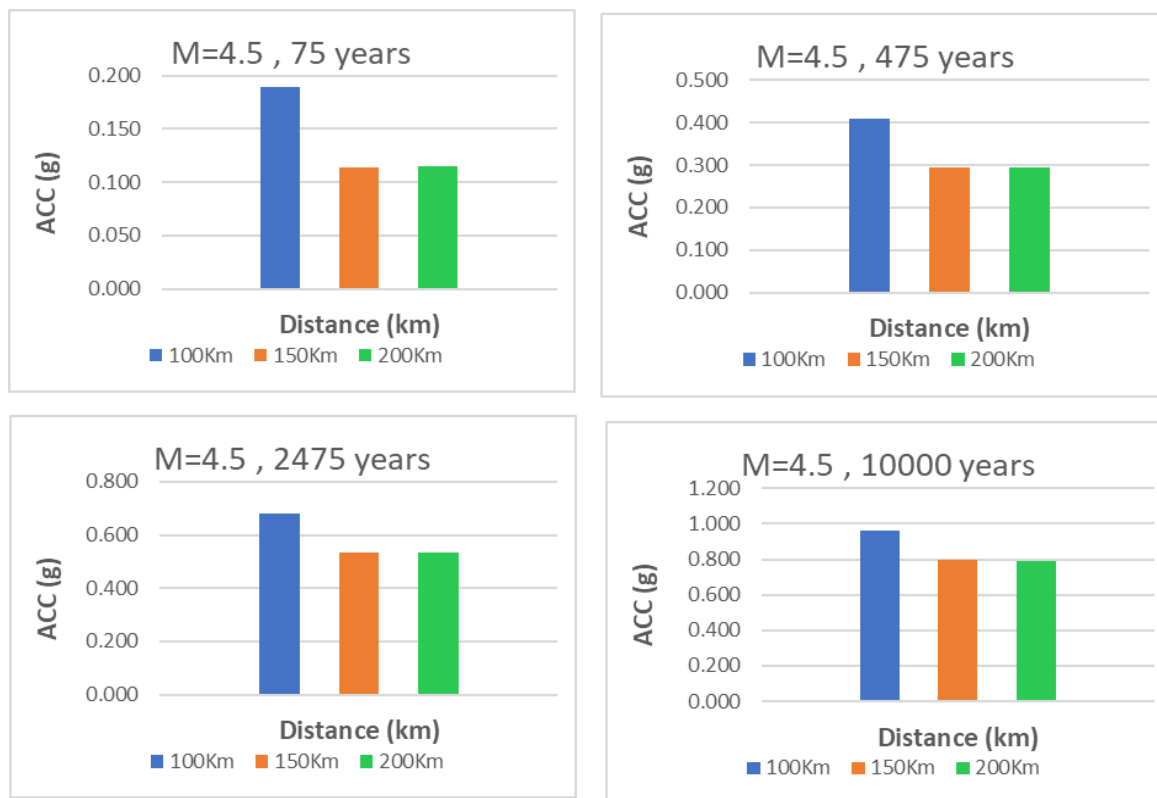
شکل ۶: نتایج حداکثر شتاب در فاصله ثابت ۱۵۰ کیلومتر با بزرگایهای حداقلی متفاوت



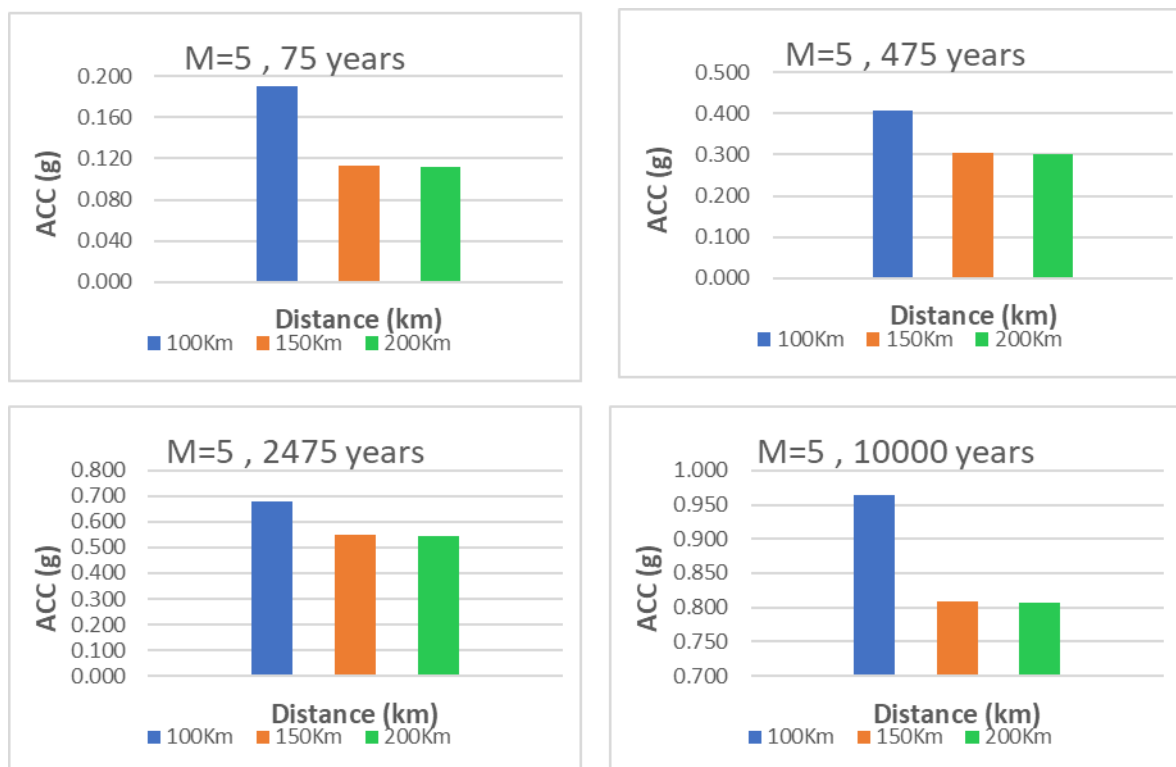
شکل ۷: نتایج حداکثر شتاب در فاصله ثابت ۲۰۰ کیلومتر با بزرگای حدقلی متفاوت



شکل ۸: نتایج حداکثر شتاب در بزرگی حدقلی ثابت ۴ ریشتر با فاصله‌های متفاوت



شکل ۹: نتایج حداکثر شتاب در بزرگای حداقلی ثابت ۴/۵ ریشتر با فاصله‌های متفاوت



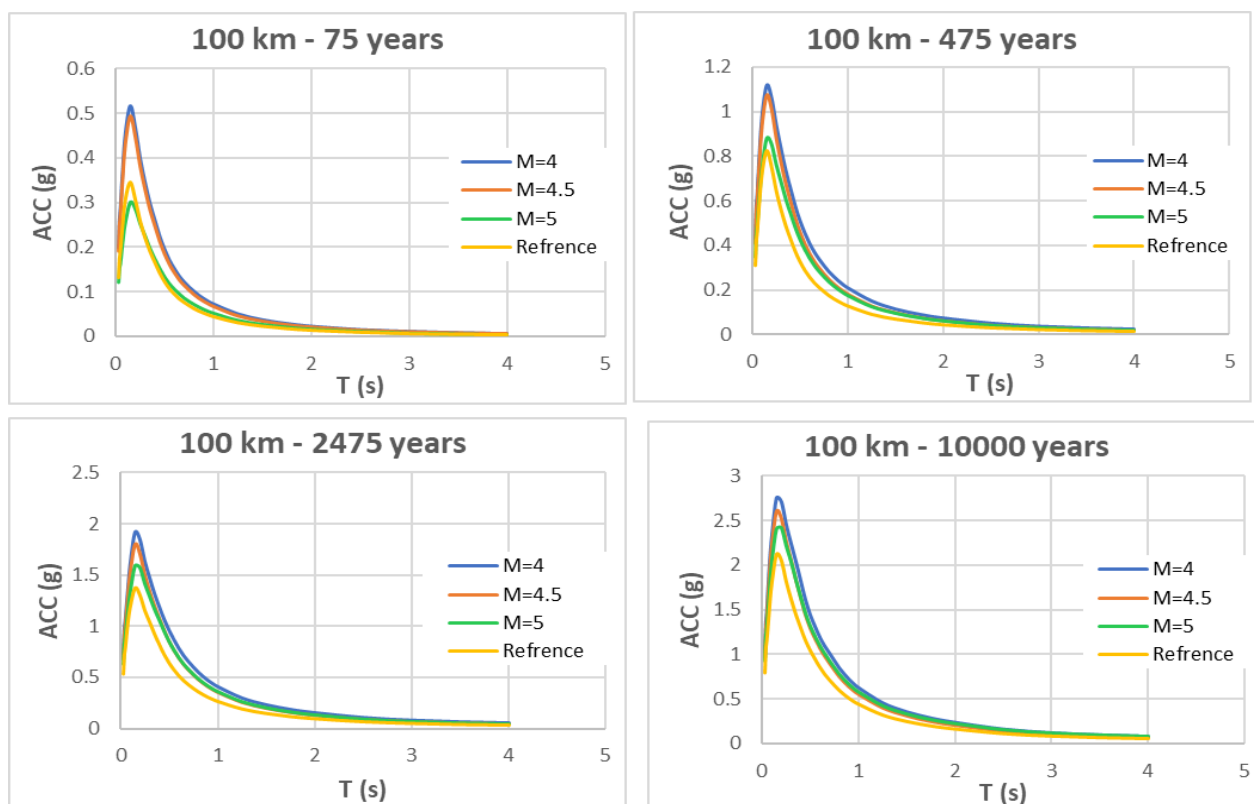
شکل ۱۰: نتایج حداکثر شتاب در بزرگای حداقلی ثابت ۵ ریشتر با فاصله‌های متفاوت

همانطور که مشاهده می‌گردد، در مدل‌های با فاصله ۱۰۰ کیلومتری از ساختمان به‌ازای بزرگ‌های حداقلی مبنای ۴، ۵/۴ و ۵ ریشتر، نتایج (شتاب بر مبنای g) بزرگتری نسبت به نتایج مدل مرجع استخراج شده‌است. این به‌دین معناست که کمتر در نظر گرفتن فاصله از ساختمان به منظور کمتر شدن محاسبات و هزینه‌ی زمانی انجام پروژه، می‌تواند نتایج را دست‌خوش مقادیر دست بالا کند. این اختلافات بیشتر در دوره بازگشت‌های ۷۵، ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال می‌باشد که در دوره بازگشت ۷۵ سال با بزرگای حداقلی مبنای ۴، ۵۰ درصد اختلاف مقداری مشاهده می‌گردد که با بزرگتر در نظر گرفتن این بزرگا (۵/۴ و ۵)، این اختلاف به ۴۴ درصد می‌رسد. در دوره بازگشت‌های ۴۷۵، ۲۴۷۵ و ۱۰۰۰۰ سال تمام مقادیر در بزرگ‌های ۴، ۵/۴ و ۵ بین بازه‌ی ۲۰ الی ۳۰ درصدی اختلاف دارند.

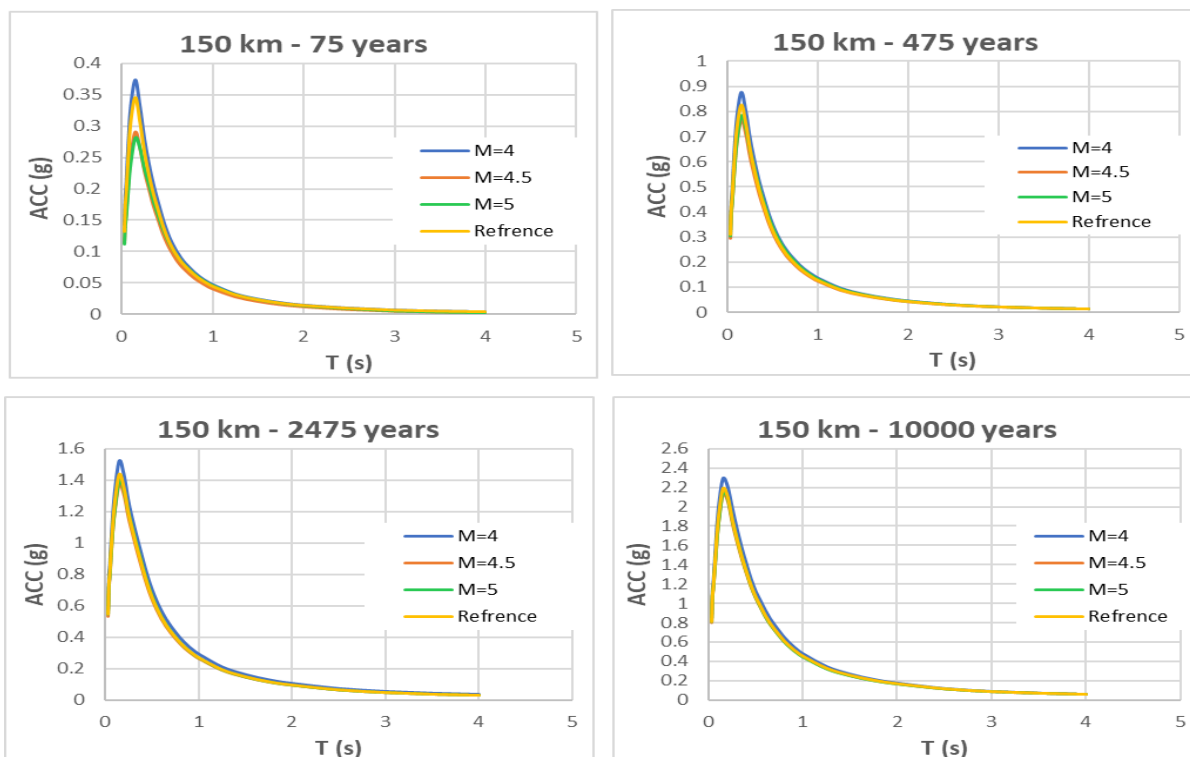
با افزایش فاصله از ساختمان، به‌منظور انجام محاسبات تحلیل خطر، شاهد تغییر بیشتر و کمتر شدن مقادیر شتاب نسبت به مدل مرجع هستیم. در فاصله ۱۵۰ کیلومتری از ساختمان، با بزرگای حداقلی مبنای ۴/۵ و ۵، نتایج درصد اختلافی در حدود ۱ تا ۱۴ درصد به صورت کاهشی داشته‌اند که مقدار ۱۴ درصد مجدداً برای دوره بازگشت ۷۵ سال می‌باشد. اما در دوره بازگشت‌های ۴۷۵، ۲۴۷۵ و ۱۰۰۰۰ سال در این فاصله از ساختمان، اختلافات به شدت کاهش یافته و در بازه ۱ الی ۵ درصد می‌باشند. در مدل ۱۵۰ کیلومتری از ساختمان با بزرگای حداقلی ۴، نتایج مقادیر بیشتری نسبت به مدل مرجع دارند اما اختلافات به شدت کم و قابل قبول می‌باشند که به ترتیب برای دوره بازگشت‌های ۷۵، ۴۷۵، ۲۴۷۵ و ۱۰۰۰۰ سال به صورت ۸، ۶، ۵ و ۵ درصد است.

در مدل‌های با فاصله ۲۰۰ کیلومتری از ساختمان و بزرگای حداقلی مبنای ۴/۵ و ۵، نتایج دوره بازگشت‌های ۴۷۵، ۲۴۷۵ و ۱۰۰۰۰ سال با اختلاف کمی منطقی و در بازه‌ی ۱ الی ۵ درصدی می‌باشند و تنها اختلاف چشم‌گیر در این مدل‌ها مجدداً برای دوره بازگشت ۷۵ سال می‌باشد که حدود ۱۵ درصد نتیجه آن با نتیجه مدل مرجع اختلاف دارد. همچنین کلیه نتایج این دو مدل به صورت کاهشی و دست پایین است.

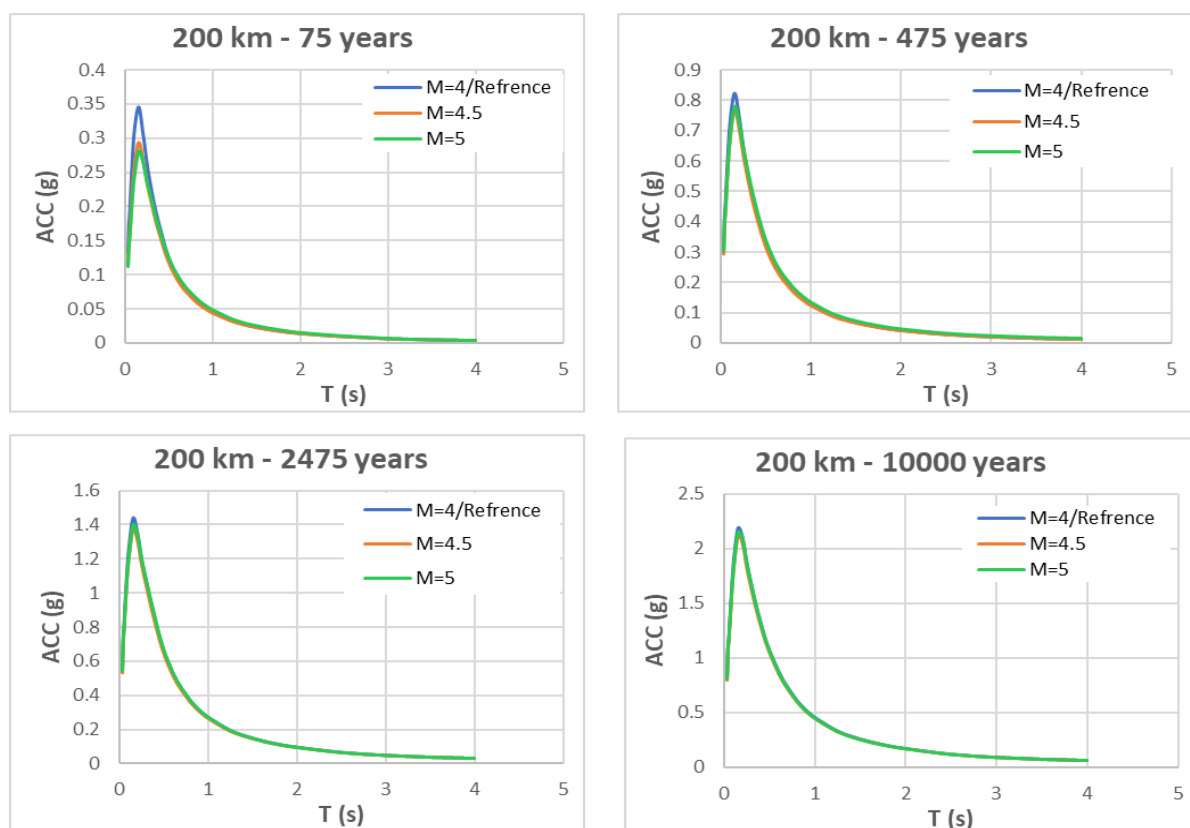
در ادامه نتایج مربوط به طیف‌های حاصل از محاسبات تحلیل خطر احتمالاتی در شکل‌های شماره ۱۶ تا ۲۱ ارائه می‌گردد.



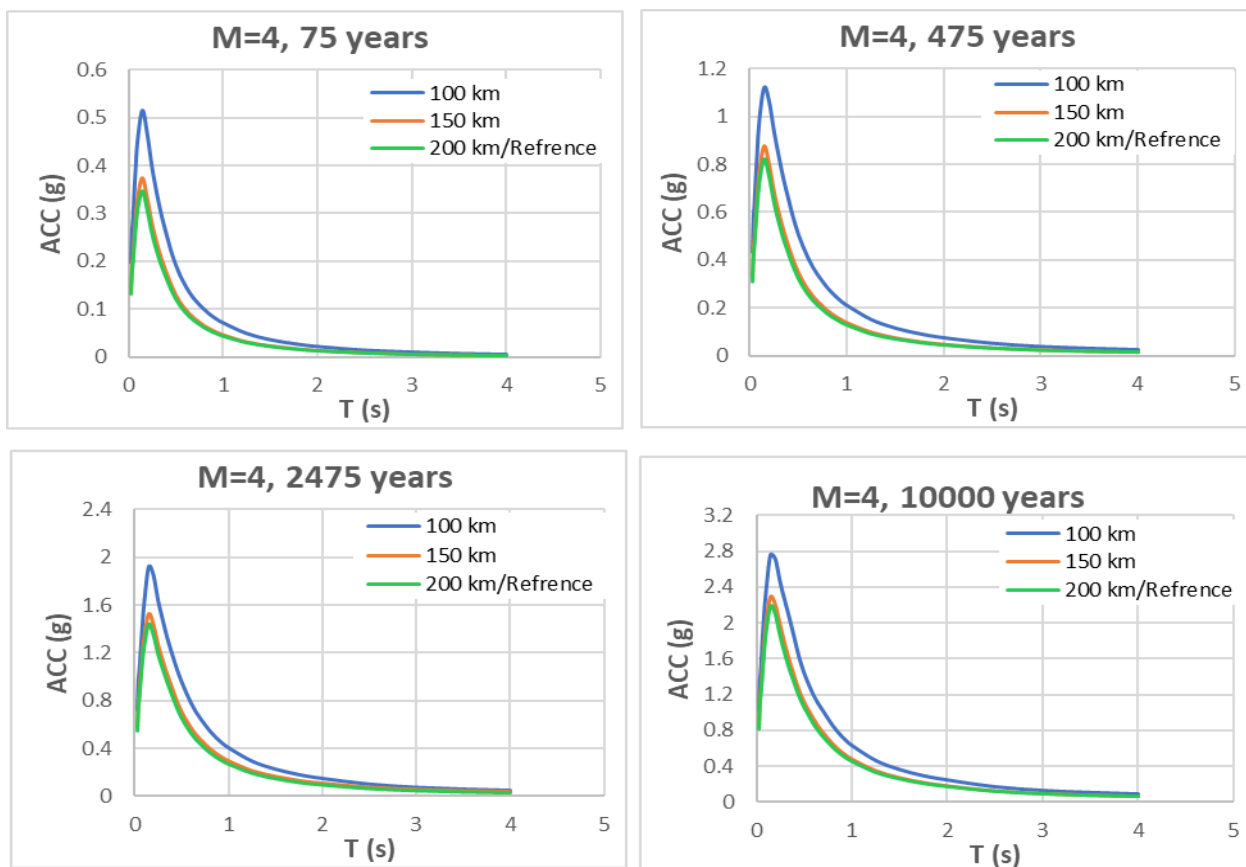
شکل ۱۱: طیف پاسخ در فاصله ثابت ۱۰۰ کیلومتر از ساختمان با بزرگ‌های حداقلی متفاوت



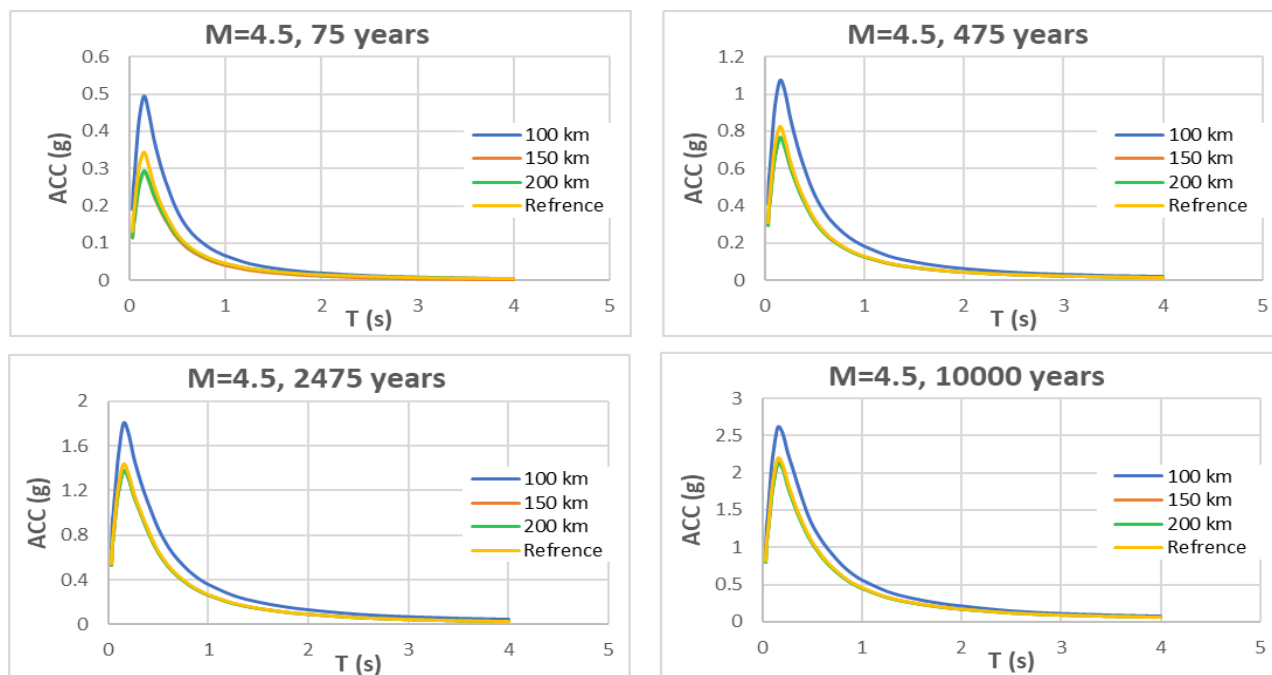
شکل ۱۲: طیف پاسخ در فاصله ثابت ۱۵۰ کیلومتر از ساختگاه با بزرگ‌های حداقلی متفاوت



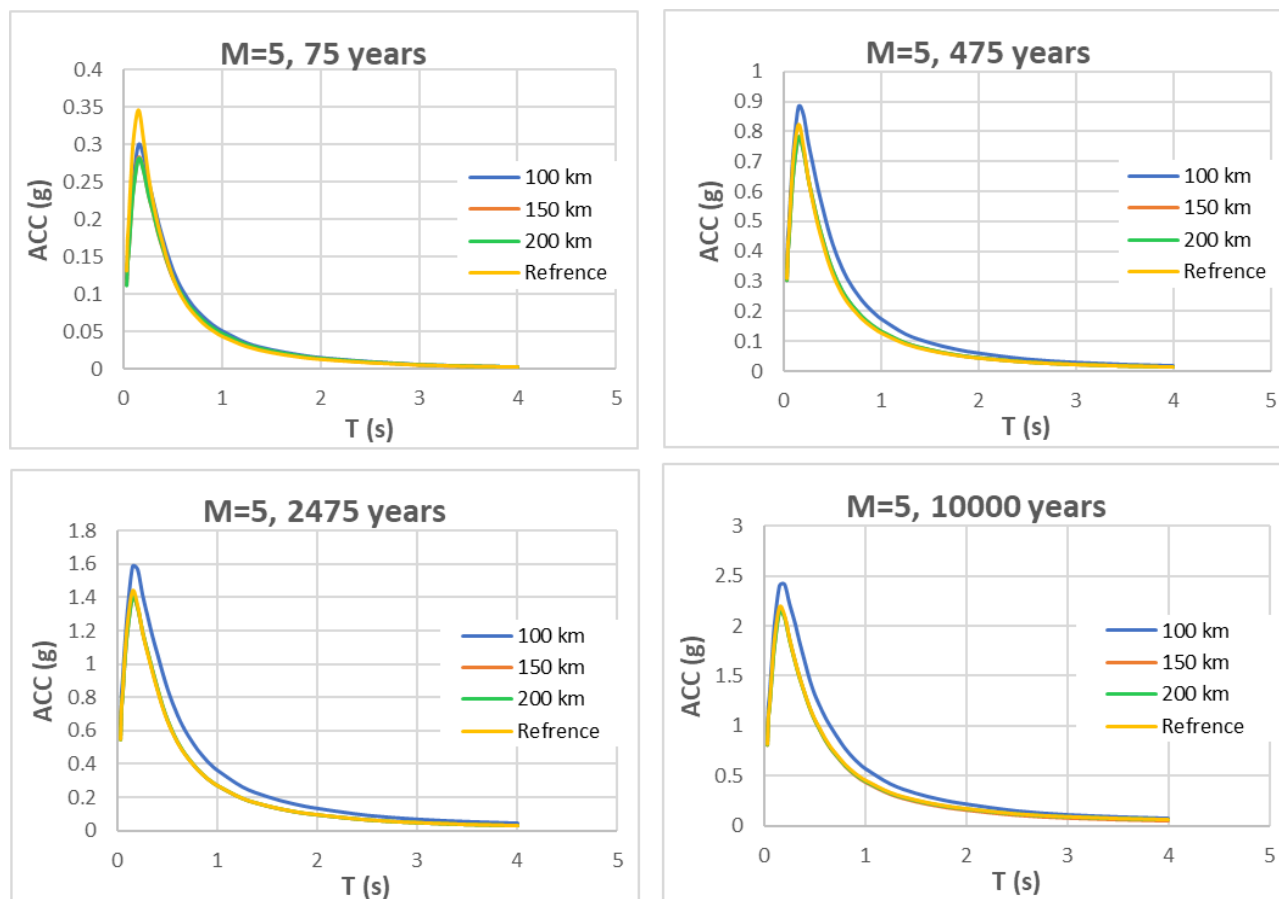
شکل ۱۳: طیف پاسخ در فاصله ثابت ۲۰۰ کیلومتر از ساختگاه با بزرگ‌های حداقلی متفاوت



شکل ۱۴: طیف پاسخ در بزرگای حداقلی ثابت ۴ ریشتر با فاصله‌های متفاوت



شکل ۱۵: طیف پاسخ در بزرگای حداقلی ثابت ۴.۵ ریشتر با فاصله‌های متفاوت



شکل ۱۶: طیف پاسخ در بزرگای حداقلی ثابت ۵ ریشتر با فاصله‌های متفاوت

همانطور که از مقایسه نتایج طیف‌های پاسخ قابل مشاهده است، در طیف‌های مدل‌های صورت گرفته نسبت به مدل مرجع، تمام اختلافات تا زمان تناوب نزدیک به ۱ ثانیه رخ داده و از این زمان تناوب به بعد شاهد اختلافات چندانی در نتایج نیستیم. همچنین عمده اختلافات در زمان تناوب‌های پایین و حوالی مقادیر حداکثری طیف (صفر تا ۰/۵ ثانیه) می‌باشد. همچنین، در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از ساختگاه با بزرگای مبنای حداقلی متفاوت، تمام مقادیر نسبت به مدل مرجع مقادیر بیشتری را داشته‌اند و در هیچ‌یک از نمودارهای این مدل‌ها، نمودار طیف رفرنس مقادیر نزدیکی با آن‌ها نداشته و اختلافات ۱۰۰ درصدی در زمان تناوب ۰/۱۵ ثانیه نیز مشاهده می‌گردد. این اختلافات نیز بیشتر در دوره بازگشت‌های پایین ۷۵ و ۴۷۵ سال مشهود است. در مدل‌های با فاصله ۲۰۰ کیلومتری از ساختگاه، مقادیر طیف پاسخ برای بزرگای ۴/۵ و ۵ ریشتر اختلاف چندانی با طیف مرجع نداشته و تنها اختلاف مشهود در دوره بازگشت ۷۵ سال است که حداکثر اختلاف حدوداً ۱۹ درصد، در زمان تناوب ۰/۱۵ ثانیه برای بزرگای ۵ می‌باشد. همچنین برای بزرگای ۴/۵ این اختلاف در همین زمان تناوب ۱۵ درصد است.

برای بزرگای مبنای حداقلی ۴ ریشتر در فواصل مختلف، همانطور که از نتایج مشاهده می‌گردد، در فاصله ۱۰۰ کیلومتری در این بزرگا بیشترین اختلاف وجود داشته و مانند نتایج قبل، این اختلافها در بازه‌ی ۰ تا ۰/۵ ثانیه قابل مشاهده است. این اختلافها از زمان تناوب ۰/۵ ثانیه به بعد کمتر شده و از زمان تناوبی نزدیک به ۲ ثانیه اختلاف ناچیز می‌گردد. همچنین در دوره بازگشت‌های پایین‌تر این اختلاف بیشتر است. برای مثال، برای دوره بازگشت ۷۵ سال، حداکثر اختلاف در زمان تناوب ۰/۱۵ ثانیه، حدود ۵۰ درصد اختلاف نسبت به مقادیر مرجع مشاهده می‌شود. با بالا رفتن دوره بازگشت این اختلافها کم شده و به ترتیب برای دوره بازگشت‌های ۴۷۵، ۲۴۷۵ و ۱۰۰۰۰ سال تقریباً معادل ۳۶، ۳۳ و ۲۶ درصد در همان زمان تناوب می‌باشد.

در بزرگای مبنای ۴.۵، برای دوره بازگشت ۷۵ سال، نتایج طیف پاسخ برای فواصل ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتری از ساختگاه تقریباً یکسان بوده و نسبت به نتایج مرجع کمتر و دست پایین تر محاسبه شده است. حداکثر اختلاف در این فواصل نسبت به نتایج مرجع ۱۵ درصد می باشد. اما برای فاصله ۱۰۰ کیلومتری از ساختگاه در این بزرگا، مقادیر رفتار متفاوتی داشته و به صورت افزایشی و دست بالا می باشند. بازه اختلافات در این مدل ها نیز مانند مدل های قبلی بوده که حداکثر اختلاف در این حالت حدود ۴۲ درصد است. برای بقیه دوره بازگشت ها در این بزرگای مبنای، روند یکسان بوده و در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از ساختگاه نتایج به صورت افزایشی و در در دیگر فواصل کاهش می باشد. تنها تفاوت در این دوره بازگشت ها کمتر شدن اختلافات نتایج طیف پاسخ با بالا رفتن دوره بازگشت است که در دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال به ترتیب برای فواصل ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتری، ۲.۴، ۳ و ۳ درصد مشاهده می شود. نتایج فواصل ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتری تقریباً یکسان بوده و همچنین در این بزرگای حداقلی به ازای تمام دوره بازگشت ها، نتایج طیف پاسخ در زمان تناوب های مختلف تقریباً یکسان است.

در بزرگای حداقلی ۵ ریشتر، مانند مدل های ۴/۵ ریشتری، نتایج طیف در فواصل ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتری تقریباً یکسان بوده و اختلافهای فواصل تنها در دوره بازگشت ۷۵ سال می باشد و در بقیه دوره بازگشت ها اختلافات چندانی با نتایج مدل مرجع مشاهده نمی گردد. اما اختلاف ها همچنان برای فاصله ۱۰۰ کیلومتری چشم گیر بوده و همانطور که انتظار می رود، این اختلافها در دوره بازگشت ۷۵ سال مقدار حداکثر خود را دارد که این مقدار حدود ۱۳ درصد می باشد. همچنین در این بزرگای حداقلی در دوره بازگشت ۷۵ سال، تمام مقادیر در فواصل مختلف زمان تناوب به صورت کاهش هستند.

۷- نتیجه گیری

بزرگای حداقلی مبنای، یکی از پارامترهای مهم در تعیین کاتالوگ لرزه خیزی و به تبع آن محاسبه پارامترهای لرزه خیزی منطقه می باشد. به دلیل عدم تعیین بزرگای حداقلی مبنای در نشریه شماره ۶۲۶، این پارامتر جز پارامترهای مبهم در انجام تحلیل خطر می باشد. به همین منظور در این مقاله بزرگای حداقلی مبنای در فواصل مختلف مورد بررسی قرار گرفته و نتایج در ادامه ارائه می گردد:

۱ - با توجه به اینکه تحلیل خطر تعیینی برای گسلی با نزدیک ترین فاصله تا ساختگاه و با بیشترین توان لرزه خیزی برآورد می گردد، در تمام نتایج حاصل از تحلیل خطر تعیینی، گسل سناریو و زلزله سناریو یکسان می باشد زیرا این گسل حتما در محدوده کمتر از ۱۰۰ کیلومتر واقع شده است.

۲ - همانطور که از نتایج به دست آمده و از نمودارهای تحلیل خطر قابل مشاهده است، با توجه به در نظر گرفتن مقادیر به دست آمده از تحلیل در فاصله ۲۰۰ کیلومتری از ساختگاه و بزرگای مبنای حداقلی ۴ به عنوان مقادیر مرجع در میان تمام مدل ها، در این ناحیه اگرچه کمتر در نظر گرفتن فاصله از ساختگاه به منظور مدل سازی گسل ها و برآورد پارامترهای لرزه خیزی با استفاده از زلزله های گذشته در ناحیه باعث عدم مدل سازی برخی از گسل ها، در نظر نگرفتن تمام زلزله های رخ داده تا فاصله ۲۰۰ کیلومتری، کمتر شدن زمان محاسبات و به تبع آن پارامترهای لرزه خیزی نظیر نرخ لرزه ای به شدت کاهش می یابد، اما به دلیل کمتر شدن گسل های منطقه در مدل سازی، شتاب حداکثری بدست آمده برای دوره بازگشت های مختلف افزایش یافته و باعث افزایش نتایج نسبت به مدل مرجع (شتاب حاصل از زلزله) در منطقه می گردد.

۳ - این اختلاف در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از ساختگاه بیشتر مشهود است و اختلاف در دوره بازگشت ۷۵ سال، تا ۵۰ درصد مشاهده می شود. همچنین در تمام مدل ها نیز این اختلافات اکثر در همین دوره بازگشت قابل مشاهده است و تا فاصله ۱۵۰ کیلومتری با حداقل بزرگای ۴ تمام نتایج افزایشی و دست بالا محاسبه شده اند. در فاصله های ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلومتری برای بزرگای حداقلی ۴/۵ و ۵ ریشتر، نتایج محاسبه شده اختلاف چندانی با نتایج مرجع نداشته و این اختلافات حداکثر ۵ درصد می باشند. اما همانطور که ذکر شد، در دوره بازگشت ۷۵ سال، این اختلافها حداکثر تا ۱۵ درصد مشاهده می شوند. در نتیجه، در نظر گرفتن فاصله ۱۵۰ کیلومتری با بزرگای حداقلی مبنای ۴ می تواند نتایج قابل قبولی را نسبت به بقیه مدل ها داشته باشد.

۴ - با توجه به نتایج طیف‌های پاسخ، بیش‌ترین اختلاف‌ها در مقادیر شتاب مربوط به دوره بازگشت‌های پایین می‌باشد؛ و با بالا رفتن دوره بازگشت‌ها این اختلافات کم می‌گردد. در تمام مدل‌ها، بیش‌ترین اختلاف در طیف‌های پاسخ مربوط به زمان تناوب ۰/۱۵ ثانیه است که این اختلاف نتایج در دوره بازگشت ۷۵ سال به حداکثر مقدار خود می‌رسد. همچنین اختلاف‌های، بیش‌تر مربوط به زمان تناوب کمتر از ۱ ثانیه است و از این زمان تناوب به بعد، هرچقدر زمان تناوب بیشتر می‌شود، اختلاف نتایج نیز به حداقل مقدار خود می‌رسد. لازم به ذکر است که در محدوده فاصله ۲۰۰ کیلومتری در تمام بزرگ‌های مینا، نتایج حداقل اختلاف را داشته و تنها در دوره بازگشت ۷۵ شاهد اختلاف‌هایی هستیم.

مراجع

- [1] Kramer, Steven L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, Page(20-21).
- [2] Asghari, Fatemeh et al. (2019). Earthquake risk zoning of the Urmia city and surrounding areas by the probability. *Tectonic Journal*, Volume (11), Page (15-29).
- [3] Amoori, Saham et al. (2021). Seismic hazard analysis with deterministic and probabilistic approaches in Miami city (Semnan province). *Tectonic Journal*, Volume (16), Page (82-97).
- [4] Sohrabi Bidari, Abdollah and Asghari-Kaljah, Ebrahim (2019). Seismic hazard analysis and uncertainty of Kahrizak, South Rey and North Rey faults. *Tectonic Journal*, Volume (10), Page (15-27).
- [5] Taheri Amiri, Mohammad Javad et al. (2018). The vulnerability and crisis management of Babil city under the impact of earthquakes using ArcGIS software. *Structural and Construction Engineering*, Volume (7), Page (62-77).
- [6] Tavassolian, Ali et al. (2019). Attenuation relationships of Arias intensity for Iranian plateau using intelligent Gene Expression Programming. *Structural and Construction Engineering*, Volume (8), Page (5-24).
- [7] Sharafi, Hasan and Raeisi, Niloofar (2021). Numerical Study of Site Effects on the Amplification of Earthquake Waves in the Fooladi Area of Sarpol-e-Zahab City. *Structural and Construction Engineering*, Volume (8), Page (97-113).
- [8] Google Earth Software.
- [9] Organization of Geology and Mineral Exploration of the country, gsi.ir.
- [10] Maggi, A et al. (2000). Earthquake focal depths, effective elastic thickness, and the strength of the continental lithosphere. *Geology Science World*, Volume (28), Page (495-498).
- [11] Islamic Republic of Iran Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision, (2014). *Guideline for Seismic Hazard Analysis*. Tehran: Nezamfanni.ir, Page (7-12).
- [12] Ambrases, N. and Melville, C. (2005). *A History of Persian Earthquakes (Cambridge Earth Science Series)*. London. Cambridge University Press, Page (50-70).
- [13] Ambraseys N.N. and Jackson J.A., (1998). *Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region*: Geophys. J. Int., 133, Page (390-406).
- [13] Berberian, M., (1979a). *Evaluation of instrumental and relocated artitioni of Iranian earthquakes*, Geophys. J. R. astr. Soc., 58, Page (625-630).
- [14] Berberian, M., (1979a). *Evaluation of instrumental and relocated artitioni of Iranian earthquakes*, Geophys. J. R. astr. Soc., 58, Page (625-630).
- [15] Berberian, M., (1981). Active faulting and tectonics of Iran, in H. K. Gupta, F. M. D., ed., *ZagrosHindu Kush-Himalaya Geodynamic Evolution*: Washington D. C., American Geophysical Union, Page (33-69).
- [16] Boore, D. M. and G. M. Atkinson, (2008). Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 *earthquake Spectra* (24), Page (99-138).
- [17] Boore, D. M., and Joyner, W. B., (1997). Site amplifications for generic rock sites, *B. Seismol. Soc. Am.*, (87)2, Page (327-341).
- [18] Campbell, K. W., and Y. Bozorgnia, (2008). NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s, *Earthquake Spectra*, 24 (1), Page (139-171)