

Risk Analysis, Risk Assessment and Creation of Damage Probability Model for Yasouj City in OpenQuake Software

Ali Sadeghi

Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Abdolreza S. Moghadam

Professor, Structural Engineering Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran

Farshid Fathi

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

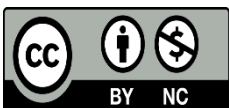
ali.sadeghi77@sci.iaun.ac.ir

Keywords:

Probabilistic risk analysis,
Probabilistic seismic risk analysis,
Vulnerability analysis,
Earthquake damage.

Abstract

The populous country of Iran is geographically located in a region with very high seismicity, and there is a need for detailed analyzes of seismic risk and risk in it, especially for strategic demographic and industrial points in order to provide vital information for decision making. It is inevitable for recipients to develop effective risk reduction measures. This article, by using accurate and up-to-date methods, recent information of the population and housing census, socio-economic data, for the first time, analyzes the seismic risk by considering various uncertainties for buildings with was done various structural systems in the city of Yasouj. Descriptive and quantitative information of buildings and active faults in the field of this city is implemented in GIS software and using the capabilities of OpenQuake software, risk probabilistic analysis and risk curves and design spectrum for the building of the field are performed. Research has been produced. Based on this, probabilistic risk analysis has been done by considering various uncertainties in OpenQuake software and seismic risk curves have been produced for four different levels of vulnerability. The quantitative analysis of building vulnerability in Yasouj City reveals that unreinforced masonry buildings exhibit the highest damage percentages across all severity levels, with 48.4%, 43.1%, 39.4%, and 33.5% for slight, moderate, extensive, and collapse damage, respectively. Low-quality steel buildings suffer the most damage after unreinforced masonry structures, emphasizing the urgent need for retrofitting. In contrast, moderate-quality steel and reinforced concrete buildings demonstrate favorable seismic damage assessments. The qualitative findings stress the importance of implementing a robust monitoring/control system for construction quality, anticipating a significant improvement in structural reliability during the exploitation period with average to high execution quality. The results show that in order to prevent high economic, social and human damages, it is very important to review the design of new resistant structures and retrofit existing buildings in the research area.



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

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

تحلیل خطر، ارزیابی ریسک و ایجاد مدل احتمالاتی خسارت برای شهر یاسوج در نرم افزار OpenQuake

علی صادقی

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

عبدالرضا سروقد مقدم

استاد، گروه مهندسی سازه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

فرشید فتحی

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

ali.sadeghi77@sci.iaun.ac.ir

تاریخ پذیرش: 14 آذر 1402

تاریخ دریافت: 21 مرداد 1402

چکیده

کشور پرجمعیت ایران به لحاظ جغرافیایی در منطقه‌ای با لرزه‌خیزی بسیار بالا واقع شده است و نیاز به تحلیل‌های دقیق خطر و ریسک لرزه‌ای در آن، بخصوص برای نقاط استراتژیک جمعیتی و صنعتی به منظور فراهم کردن اطلاعات حیاتی برای تصمیم‌گیرندگان جهت توسعه اقدامات موثر کاهش ریسک، اجتناب ناپذیر است. این مقاله با استفاده از روش‌های دقیق و بروز، اطلاعات اخیر سرشماری جمعیت و مسکن، داده‌های اجتماعی-اقتصادی، برای نخستین بار تحلیل ریسک لرزه‌ای با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مختلف برای ساختمان‌های با سیستم‌های متنوع سازه‌ای در شهر یاسوج انجام شده است. اطلاعات توصیفی و کمی ساختمان‌ها و گسل‌های فعال حوزه این شهر در نرم‌افزار GIS پیاده شده و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار OpenQuake، تحلیل احتمالاتی خطر انجام و منحنی‌های خطر و طیف طرح برای ساختمان‌های حوزه پژوهش تولید شده است. بر این اساس، تحلیل ریسک احتمالاتی با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مختلف در نرم‌افزار OpenQuake انجام شده است و منحنی‌های ریسک لرزه‌ای برای چهار سطح متفاوت آسیب‌پذیری تولید شده است. تجزیه و تحلیل کمی آسیب‌پذیری ساختمان در شهر یاسوج نشان می‌دهد که ساختمان‌های بنایی غیرمسلح بالاترین درصد آسیب را در تمامی سطوح شدت نشان می‌دهند، به ترتیب با 48.4، 43.1، 39.4 درصد و 33.5 درصد برای آسیب‌های خفیف، متوسط، گسترده و ریزش. ساختمان‌های فولادی کم کیفیت پس از سازه‌های بنایی غیر مسلح بیشترین آسیب را متحمل می‌شوند و این امر بر نیاز فوری به مقاوم‌سازی تاکید می‌کند. در مقابل، ساختمان‌های فولادی و بتن مسلح با کیفیت متوسط ارزیابی آسیب لرزه‌ای مطلوبی را نشان می‌دهند. یافته‌های کیفی بر اهمیت اجرای یک سیستم نظارت/کنترل قوی برای کیفیت ساخت و سازه، پیش‌بینی بهبود قابل توجه در قابلیت اطمینان سازه در طول دوره بهره‌برداری با کیفیت اجرای متوسط تا بالا تأکید می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که جهت پیشگیری از خسارات بالای اقتصادی، اجتماعی و انسانی، بازنگری در طراحی سازه‌های مقاوم جدید و مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود در منطقه موضوع تحقیق بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

کلید واژگان: تحلیل احتمالاتی خطر، تحلیل احتمالاتی ریسک لرزه‌ای، تحلیل آسیب‌پذیری، خسارات زلزله.

1- مقدمه

بکار بردند. حمزه لو و همکاران [10] نقشه‌های شتاب طیفی برای ایران تدوین کردند که دوره‌های بازگشت مختلف را پوشش می‌دهد و از روش PSHA¹ معمولی استفاده می‌کند. در سال 2015، ارزیابی خطر لرزه‌ای تصادفی مبتنی بر رویداد توسط انصاری و همکاران [11] برای تهیه نقشه خطر با PGA² برای ایران انجام شد. در مطالعه دیگری که از سوی آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (JICA³) [12] حمایت شد، منحنی آسیب‌پذیری ارائه شده توسط توکلی و توکلی [13] برای 9 نوع ساختمان شناسایی شده در تهران تعمیم داده شد، که منجر به توسعه‌ی مجموعه‌ای از منحنی‌های آسیب شد. وقوع زلزله بم نقطه عطفی در ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌های ساختمان‌های ایرانی بود. به عنوان یکی از اولین مطالعات در آن دوره، هیسادا و شیبایا [14] میزان خسارات را با استفاده از روش EMS-98⁴ بررسی کردند. از طرف دیگر، یاماساکی و ماتسووکا [15] از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا متعلق به پس-آیند زلزله برای تفسیر توزیع خسارت بر اساس همان روش استفاده کردند و نتایج را با استفاده از داده‌های بررسی میدانی تأیید کردند. در مطالعه‌ی مشابهی، مصطفایی و کابه یاساوا [1] عملکرد لرزه‌ای 624 ساختمان در بم را ارزیابی و یک پایگاه داده با کیفیت بالا برای ارزیابی آسیب‌پذیری ایجاد کردند. به همین ترتیب، منصوری و همکاران [16] مجموعه‌ای از منحنی‌های شکنندگی را برای کلاس‌های ساختمان در تهران با استفاده از رویکردهای مختلف شامل: قضاوت متخصص آنگونه که در ATC⁵-13 شرح داده شده است [17]، اتخاذ منحنی‌های آسیب کاستاریکا و آنالیزهای تحلیلی بر اساس روش HAZUS ایجاد کردند. آنها نتایج حاصل از تحلیل ریسک مبتنی بر سناریو را که از روش‌های مختلف ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی شده است مقایسه کرده و آسیب‌پذیری قابل توجه محیط ساخته‌شده را در منطقه مورد مطالعه نمایان کردند. در یک مطالعه‌ی قابل مقایسه، امیدور و همکاران [18] داده‌های خسارت ناشی از زلزله بم در سال 2003 را ارزیابی کرده و ماتریس‌های احتمال آسیب را برای ساختمان‌های خشتی، بنایی، فولادی و بتن مسلح ایجاد کردند. قائم‌مقامیان همکاران [19] منحنی شکنندگی HAZUS را با توجه به داده‌های خسارت جمع‌آوری شده از زلزله‌های منجیل، بم و زرنند کالیبره کردند. در سال 2013، به عنوان بخشی از پروژه EMME، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIIES⁶) مجموعه‌ای از منحنی‌های آسیب‌پذیری

بر اساس آمار سرشماری جمعیت 2016، 80 میلیون نفر در ایران زندگی می‌کنند که همانند سال 2004، بیش از 80٪ از این جمعیت در مناطق با خطر لرزه‌ای بالا و یا بسیار بالا حضور دارند [1]. با توجه به قرارگیری فلات ایران در کمربند لرزه‌خیز آلپ-همیالیا، خطر و خطرپذیری لرزه‌ای برای اکثر شهرها و مراکز جمعیتی ایران بسیار بالا برآورد می‌شود. صفحه‌ی ایران توسط دو بلوک با صلبیت قابل توجه، یعنی عربستان و اوراسیا، تحت فشار است که منجر به یک الگوی پیچیده از لرزه‌خیزی غیر مداوم و فوران‌های آتشفشانی، با فواصل لرزه‌ای از چند سال تا چند قرن می‌شود [2,3]. در طول سه دهه گذشته، زمین لرزه‌های مخرب بسیاری در ایران رخ داده است، مانند منجیل رودبار (1369)، بجنورد (1308)، اردبیل (1375)، بم (1382)، زرنند (1383)، و زلزله‌های اهر ورزقان (1391) و اخیراً سرپل ذهاب (1396) که مخاطرات انسانی و اقتصادی بسیاری را در پی داشته است. بعنوان مثال، چهار مورد از مرگبارترین زلزله‌ها شامل زمین لرزه بوئین زهرا در سال 1341 با تقریباً 10,000 کشته، زلزله سال 1978 طبس با تقریباً 19,600 کشته، زلزله رودبار - منجیل در سال 1369 با بیش از 35000 کشته و اخیراً زلزله بم در سال 1382 با خسارات جانی حدود 30,000 نفر هستند. به غیر از سطح بالایی از خطر لرزه‌ای، مقاومت ناکافی در برابر زلزله به ویژه در ساختمان‌های بنایی دلیل اصلی برای تلفات بالای مشاهده شده در ایران می‌باشد. اکثریت ساختمان‌های قدیمی در مناطق روستایی بر اساس مقررات لرزه‌ای ساخته نشده‌اند و بنابراین در برابر حرکات لرزه‌ای آسیب پذیر هستند. بنابراین اجرای اقدامات کاهش و مدیریت خطر زلزله یکی از مسائل مهم و دارای اولویت در کشور است. هدف از این مطالعه بررسی خسارت لرزه‌ای برای شهر یاسوج و بویژه منطقه 2 آن در اثر زلزله می‌باشد.

تا به امروز، چندین مطالعه از جمله محیط زمین ساخت لرزه‌ای ایران را بررسی کرده و طرح‌های مختلف از منابع لرزه‌زا که از 4 تا 23 منطقه‌ی لرزه‌زا متغیر هستند، ارائه دادند [4-6]. کاتالوگ زلزله توسعه یافته برای خاورمیانه در شکل 1 ارائه شده است. غفوری آشتیانی و توکلی [7] نقشه خطر لرزه‌ای ایران را با استفاده از یک روش احتمالاتی و حداکثر شتابهای زمین (PGA) برآورد شده، برای دوره‌های بازگشت 75 و 475 سال تهیه کردند. قدرتی امیری و همکاران [8] با در نظر گرفتن یک ساختار درخت منطقی برای توصیف عدم قطعیت شناختی، یک ارزیابی خطر لرزه‌ای احتمالاتی (PSHA) برای پایتخت (تهران) انجام دادند. زعفرانی و همکاران [9] برای شبیه سازی حرکات زمین مصنوعی برای گسل‌های اصلی ایران، یک مدل فیزیکی تصادفی ایجاد کردند و آن را بر روی سه گسل فعال واقع در منطقه کلانشهر تهران

¹ Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)

² Peak ground acceleration (PGA)

³ Japan International Cooperation Agency (JICA)

⁴ European Macroseismic Scale (EMS-98)

⁵ Applied Technology Council (ATC)

⁶ International Institute of Earthquake Engineering and Seismology



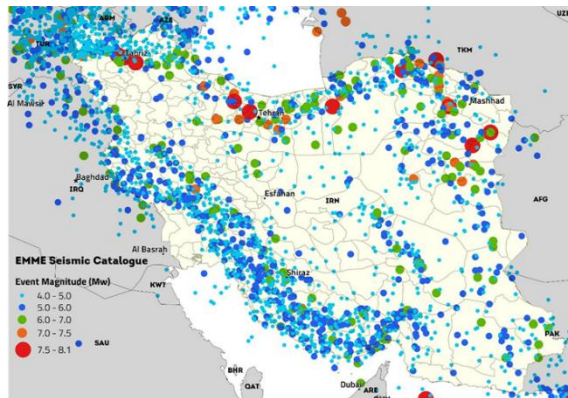
[19]. این موضوع توسط پاکدل و همکاران برای یافتن مکانیسم‌های انتقال ریسک احتمالی زلزله در ایران، بیشتر مورد بررسی قرار گرفت. آنها امکان پذیری دو برنامه پیشنهادی بیمه زلزله را برای شهر شیراز واقع در جنوب غربی ایران بررسی کردند. پژوهش حاضر برای نخستین بار، با بکارگیری الگوریتم‌های به روز برای استفاده در معادلات پیش‌یابی جنبش زمین، ارائه‌کننده خطر و ریسک زلزله برای شهر یاسوج بر اساس دقیق‌ترین داده‌های موجود زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی، اطلاعات ساختمان‌های موجود (که جمع‌آوری آن جزئی از برنامه کاری این تحقیق محسوب می‌شود) می‌باشد. همچنین، تاکنون با چنین دقتی تحقیقات منطقه‌ای منسجمی با هدف برآورد ریسک لرزه‌ای برای سیستم‌های سازه‌ای مختلف صورت نپذیرفته است.

2- شرح مولفه‌های مدل ریسک زلزله

در این پژوهش، ضمن انجام تحلیل خطر زلزله و حصول به طیف دقیق طرح، با انجام بازدید میدانی بصورت درب به درب از کلیه پلاک‌های ثبتی واقع در منطقه مورد مطالعه (تعداد حدود 5500 ساختمان با کاربری‌های مختلف شامل مسکونی، تجاری، اداری، آموزشی، درمانی و غیره) و همزمان ثبت مشخصات پلاک‌های ثبتی مذکور در فرم‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، متعاقباً مندرجات فرم‌های مذکور بعنوان بخشی از اطلاعات توصیفی و مشخصات سازه‌ای در نرم افزار سیستم موقعیت یاب جهانی GIS⁸ معرفی شده و مبنای انجام تحلیل ریسک زلزله قرار گرفته است. عملکرد سازه‌ای ساختمان‌های موجود بررسی و الگوی آسیب‌پذیری لرزه‌ای این ساختمان‌ها از منظر خصوصیات سازه‌ای ارزیابی شده است. سپس با استفاده از آیین‌نامه ارزیابی عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها FEMA⁹ P58 و آیین‌نامه ارزیابی لرزه‌ای و مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود ASCE¹⁰-41، منحنی‌های آسیب‌پذیری و شکنندگی ساختمان‌ها تهیه و تحلیل ارزیابی و تعیین درجات آسیب آن‌ها بر اساس شاخص آسیب‌پذیری انجام شده است.

در تحقیقات صورت گرفته برای برآورد ریسک لرزه‌ای شهر یاسوج، از داده‌های شهری با وضوح در حد پلاک‌های ساختمانی مربوط به منطقه دو شهرداری یاسوج استفاده شده و میزان تخریب لرزه ساختمان‌های مسکونی برای چهار سناریوی با بیشترین احتمال وقوع برآورد شده است. در همین راستا، بانک‌های اطلاعاتی متعددی شامل مشخصات پلاک‌های ثبتی تهیه و سپس میزان تخریب هر تیپ خاص از سازه‌ها بر اساس منحنی‌های شکنندگی محاسبه شده است. چهار فاز اصلی این طرح شامل موارد ذیل می‌باشد:

برای انواع ساخت و ساز متداول در ایران با استفاده روش پیشرفته برای سناریوهای خطر لرزه‌ای در مقیاس بزرگ RISK-UE و EMS-98 توسعه داد. این منحنی‌ها با استفاده از داده‌های خسارات تاریخی کالیبره شدند. اخیراً، صادقی و همکاران [20] مجموعه‌ای از منحنی‌های آسیب‌پذیری را برای انواع ساختمان‌های ایران با طبقه بندی و ترکیب چندین منحنی شکنندگی / آسیب‌پذیری محلی و بین المللی منتشر شده از طریق یک روش وزنی بر اساس قضاوت مهندسی پیشنهاد دادند.



شکل 1- کاتالوگ زلزله که سرزمین ایران را پوشش می‌دهد. راهنمای عکس: کاتالوگ لرزه‌ای EMME، بزرگای رخداد

در سال 2000، JICA با توجه به وقایع مرتبط با گسل‌های مهم فعال در اطراف شهر تهران، از ارزیابی خسارات لرزه‌ای مبتنی بر سناریو برای شهر تهران پشتیبانی کرد [12]. قدرتی امیری و همکاران [8] خطر لرزه‌ای 22 ناحیه از تهران را به تبعیت از روش HAZUS و ابزار ارزیابی خسارت SELENA⁷ مورد بررسی قرار دادند. علاوه بر این، منصوری و همکاران [16] خسارت احتمالی زلزله در یک منطقه تهران را براساس تحلیل خطر تعینی ارزیابی کردند. پاکدل و همکاران [21] همچنین توزیع خسارت مالی را در یک محله آسیب پذیر در تهران با چندین سناریوی زلزله بررسی کردند. همچنین مطالعاتی وجود دارند که به بیمه‌ی زلزله در ایران اختصاص دارند. به عنوان پیشگام این مطالعات، غفوری آشتیانی و همکاران [7] شاخص‌های خطر زلزله را با استفاده از قضاوت مهندسی برای 5 کلاس از ساختمان‌های ایرانی توسعه دادند. خروجی این مطالعه توسط بیمه مرکزی ایران (نهاد ناظر ملی بیمه) در قیمت گذاری بیمه استفاده شد و هنوز هم در حال استفاده است. دو دهه بعد، این شاخص‌ها با استفاده از خطر و ریسک احتمالاتی به روز شد، و در نتیجه ماتریس حق بیمه با جزئیات بیشتر ایجاد شد

⁸ Global Positioning System

⁹ Federal Emergency Management Agency

¹⁰ American Society of Civil Engineers

⁷ Seismic Loss Estimation using a Logic Tree Approach

- کاربری : انواع کاربری‌های مختلف در زیر شاخه های مندرج در فرم‌ها لحاظ گردیده است.
- نوع سیستم سازه‌ای،
- ابعاد تقریبی و تعداد طبقات ساختمان،
- شرایط زمینی ساختگاه،
- نمای ساختمان،
- آسیب‌های انسانی،
- تعداد ساکنین،
- ارزیابی سطح آسیب و کروکی شامل: درجه آسیب سازه‌ای و غیرسازه‌ای، کیفیت کلی اجراء، جمع بندی و توضیحات اضافی توضیفی.

لازم به ذکر است در خصوص ساختمان‌های با مصالح بنایی علاوه بر مشخصات عمومی فوق، در خصوص کلاف‌های افقی و قائم ساختمان نیز بررسی‌های لازم انجام شده است.

2-1- تعریف بانک اطلاعاتی ساختمان

داده‌های آماری بعنوان اطلاعات توصیفی پس از تنظیم در نرم افزار Excel در سیستم GIS معرفی گردید. به جهت لزوم دقت در دسته بندی و حصول نتیجه، اطلاعات توصیفی شامل اطلاعات حاصل از نتایج آزمایشات ژئوتکنیکی، شماره پلاک ثبتی، شماره ثبت در GIS، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، نوع سیستم سازه‌ای، زیربنای اعیانی هر طبقه، تعداد ساکنین، تعداد طبقات، کاربری، کیفیت اجراء، ضریب اهمیت ساختمان، تپ ارتفاعی سازه، ارزش هر متر مربع اعیانی، ارزش روز کل اعیانی به ریال برای هر پلاک مسکونی در نرم افزار GIS، ثبت و تعریف شد.

2-2- طبقه بندی آسیب ساختمان‌ها

از جمله مهمترین انواع طبقه بندی آسیب‌های ساختمان مواردی هستند که توسط FEMA-356، ATC-13، HAZUS و EMS-98 ارائه شده است. در این مطالعه و به منظور هماهنگی منحنی‌های شکنندگی مختلف از دیدگاه حالت خسارت، منحنی‌های شکنندگی جمع‌آوری شده طبق روش HAZUS طبقه بندی شده‌اند و بر اساس چهار سطح آسیب شامل: جزئی، متوسط، گسترده، فروریزش طبقه بندی می‌شوند.

1) جمع‌آوری داده‌های مربوط به هر پلاک ثبتی و تهیه و یا انتخاب بهترین توابع شکنندگی، 2) تهیه بانک اطلاعاتی از کلیه داده‌ها، 3) تهیه مدل زمین مبنا GIS و تهیه مدل تحلیلی و اجرای آن، 4) خروجی مدل آسیب شامل خسارات ساختمانی.

بدیهی است آماده‌سازی اطلاعات برای تعیین احتمال خسارت پذیری و استفاده از منحنی‌های شکنندگی در هر مؤلفه نیاز به انجام فرآیند کامل و جامعی اعم از تعیین پارامترهای لرزه‌ای و جمع‌آوری اطلاعات کافی از وضعیت موجود دارد. این اقدامات اولیه بسته به نوع مؤلفه‌ی مورد بررسی می‌تواند شامل عملیات میدانی گسترده‌ای جهت شناسایی مشخصات منابع لرزه‌زا، تعیین سطح خطر لرزه‌ای، تعیین مشخصات سازه‌ای و ژئوتکنیکی باشد که بخشی به‌عنوان ورودی در سامانه‌ی تحلیل ریسک استفاده می‌شوند. بر این اساس نسبت به مراجعه به محل پلاک به پلاک و درب تک تک منازل مسکونی محدوده مورد مطالعه اقدام و با توجه لزوم رعایت دقت لازم همراه با کاهش زمان نسبت به استفاده و تکمیل فرم‌های ارزیابی سریع آسیب ساختمان‌ها پس از زلزله (فرمت تهیه شده توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ایران) اقدام گردید. شایان ذکر است در زمان مراجعه به محل پلاک‌های ثبتی، طول و عرض جغرافیایی هر پلاک ثبتی با استفاده از یک دستگاه GPS دستی ثبت شده و از هر پلاک ثبتی توسط دوربین عکس برداری، عکس مناسب تهیه گردید.

تکمیل فرم‌ها در دو بخش فرم ارزیابی آسیب‌پذیری سریع برای گروه‌های 1- ساختمان‌های فولادی و بتنی 2- ساختمان‌های با مصالح بنایی انجام شد. در این فرم‌ها پرسش‌های جامع و گزیده‌ای مشتمل بر یک صفحه با 2 بند اصلی و حدود 30 سؤال عمومی از سازه، ساختگاه و نظر کارشناسی تشکیل شده است. این فرم با هدف ارائه مشخصات مکانی ساختمان، برآورد سریع و کلی از میزان آسیب وارده تدوین شده است، تا در نهایت کاربر در خصوص شدت آسیب، موقعیت، دسته بندی، پراکندگی و غیره تصویری مستند از توزیع شدت آسیب در ناحیه آسیب دیده ثبت نماید. بر اساس نتایج حاصل از این فرم‌ها، امکان برآورد گسترده و میزان خسارات کلی فیزیکی و مالی مهیا گردید. موارد مهم درج شده در فرم‌های مذکور به شرح ذیل می‌باشد:

- مشخصات عمومی ساختمان: اطلاعات مورد نیاز در این بخش بدیهی بوده و از اهمیت زیادی برخوردار است.
- آدرس موقعیت جغرافیایی (GPS) : شاخص ترین اطلاعات این فرم‌ها دانستن جانمایی ساختمان می‌باشد که این مهم با درج موقعیت جغرافیایی (GPS) ممکن می‌شود بطوریکه برداشت‌های بدون این موقعیت فاقد ارزش می‌باشند. ضمن اینکه لازم است کلیه ساختمان‌ها به‌صورت متوالی در یک منطقه برداشت شوند.



ساختمان‌های محدوده مورد مطالعه در دسته ساختمان‌های کوتاه مرتبه و میان مرتبه قرار می‌گیرند.

جدول 3- دسته‌بندی ساختمان‌های موجود در منطقه 2 شهر یاسوج براساس تعداد طبقات

| | LR | MR | HR |
|-----|--------------|-----------|--------|
| M1 | 2361(57.43%) | 1(≈0%) | 1(≈0%) |
| M2 | 96(2.3%) | - | - |
| ST | 1045(25.42%) | 68(1.7%) | - |
| RC1 | 340(8.3%) | 116(2.8%) | - |
| RC2 | 17(0.4%) | 64(1.5%) | 1(≈0%) |

3-3- طبقه‌بندی براساس کیفیت ساختمان

در این نوع دسته‌بندی، ساختمان‌ها براساس سال ساخت به سه گروه کیفیت پایین، کیفیت متوسط و کیفیت بالا طبقه‌بندی می‌شوند. ساختمان‌های ساخته شده قبل از سال 1365، بین سالهای 1366 تا 1385 و بعد از سال 1386 به ترتیب در دسته ساختمان‌های کیفیت پایین، کیفیت متوسط و کیفیت بالا قرار می‌گیرند. در واقع این طبقه بندی کیفی بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌های لرزه‌ای انجام شده است. شکل 3 تاریخچه آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد 2800 ایران) نشان می‌دهد. بدیهی است که با گذشت زمان، ضوابط مشروح در این آیین‌نامه بر اساس مستندات و پژوهش‌ها بروز شده و قابلیت اعتماد سیستم‌های سازه‌ای طراحی شده بر اساس آن، بیشتر شده است. لذا در شکل 4، هر سیستم سازه‌ای بر اساس اینکه با چه ویرایشی از این آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای شده است بصورت کیفی دسته‌بندی شده است.

3-3- طبقه‌بندی ساختمان‌ها

یکی از مهمترین گام‌ها برای آنالیز ریسک لرزه‌ای، طبقه‌بندی ساختمان‌ها است، معمولاً ساختمان‌ها براساس معیارهای زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

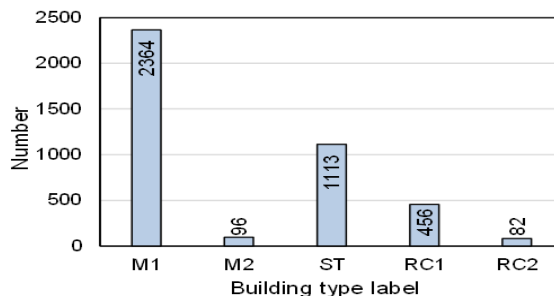
- 1- نوع سیستم سازه 2- ارتفاع ساختمان 3- کیفیت ساخت در ادامه هر یک از معیارهای معرفی شده توضیح داده می‌شود.

جدول 1- طبقه‌بندی ساختمان‌ها براساس نوع سازه [17]

| درصد (%) | تعداد | نماد | نوع ساختمان |
|----------|-------|------|----------------------------|
| 57.5 | 2364 | M1 | Masonry, Unreinforced |
| 2.3 | 96 | M2 | Masonry, Confined |
| 27.0 | 1113 | ST | Steel, Braced frame |
| 11.1 | 456 | RC1 | RC, Moment frame |
| 2.0 | 82 | RC2 | RC, Dual frame-wall system |

3-1-1- طبقه‌بندی براساس نوع سیستم سازه

در جدول 1، پنج نوع ساختمان براساس سازه مورد استفاده در آنها با توجه به اطلاعات حاصل از بازدیدهای میدانی برای شهر یاسوج آمده است. شکل 2 فراوانی هر نوع از سیستم سازه‌ای در محدوده حوزه پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل 2- تعداد ساختمان‌های موجود در منطقه 2 شهر یاسوج براساس نوع سازه

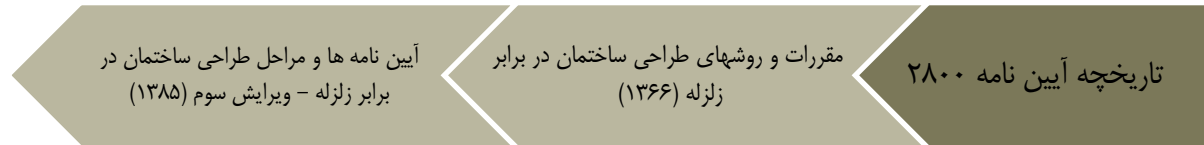
3-2-2- طبقه‌بندی براساس ارتفاع

همانطور که در جدول 2 نشان داده شده است، ساختمان‌ها به سه گروه ساختمان‌های کوتاه مرتبه (LR)، میان مرتبه (MR) و بلندمرتبه (HR) طبقه بندی می‌شوند:

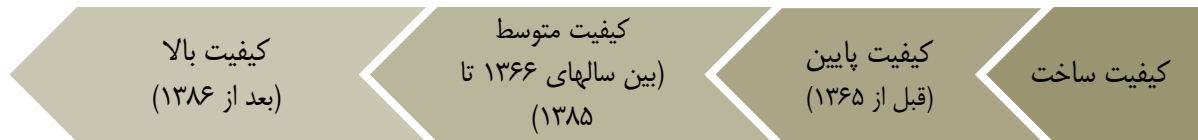
جدول 2- طبقه‌بندی ساختمان‌ها براساس تعداد طبقات [17]

| Building height | Number of stories |
|-----------------|---------------------|
| LR | 1-3 |
| MR | 4-7 |
| HR | More than 7 stories |

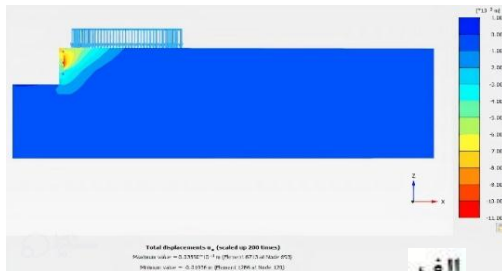
جدول 3 فراوانی هر یک از سیستم‌های سازه‌ای بر اساس ارتفاع ساختمان را نشان می‌دهد. مطابق جدول 3 مشخص است که اکثر



شکل 3- تاریخچه آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله - استاندارد 2800 در ایران



شکل 4- طبقه‌بندی براساس سال ساخت (کیفی)



است. سپس، منحنی‌های شکنندگی موجود برای ایران و سایر کشورها با استفاده از روابط ارائه شده در جدول 5 برای تبدیل پارامترهای یکسان جمع‌آوری، ارزیابی و هماهنگ شدند. در مرحله بعد، سهم هر یک از توابع جمع‌آوری شده در تولید منحنی‌های شکنندگی مناسب برای ایران، بر اساس وزن آنها (که با استفاده از دآوری‌های متخصصان و روش AHP^{11} مشخص شده بودند) در چهار سطح آسیب شامل جزئی، متوسط، گسترده و فروپاشی تعیین شد. منحنی‌های شکنندگی توسعه‌یافته با مقایسه نتایج آنها با داده‌های واقعی خسارت زلزله در ایران تأیید شد، که نشان‌دهنده صحت قابل قبول و قابل اعتماد منحنی‌های تولید شده است. جدول 6 پارامترهای مربوط به منحنی‌های شکنندگی برای انواع ساختمان‌ها را نشان می‌دهد.

3-4- طبقه بندی نهایی ساختمان‌ها براساس معیارهای معرفی شده در این مطالعه

شایان ذکر است که مطابق نمودار نشان داده شده در شکل 2، درصد تجمعی ساختمان‌های بنایی کلاف‌دار (M2) و بتن‌آرمه + قاب‌خمش (RC2) کمتر از پنج درصد است، بنابراین از این دسته ساختمان‌ها در ادامه این مطالعه صرف‌نظر می‌شود. در این پژوهش، ساختمان‌ها براساس کلیه معیارهای معرفی شده در قسمت‌های پیشین در هفت دسته طبقه‌بندی شده‌اند که در جدول 4 ارائه شده‌اند.

جدول 4: طبقه‌بندی نهایی ساختمان‌ها در این مطالعه

| شماره | طبقه بندی | توصیفات |
|-------|-----------|----------------------|
| 1 | MA_LR_LQ | M1, LR, Low Quality |
| 2 | ST-LR-LQ | ST, LR, Low Quality |
| 3 | ST-LR-MQ | ST, LR, Mid Quality |
| 4 | ST-MR-LQ | ST, MR, Low Quality |
| 5 | ST-MR-MQ | ST, MR, Mid Quality |
| 6 | RC_LR_MQ | RC1, LR, Mid Quality |
| 7 | RC_MR_MQ | RC1, MR, Mid Quality |

4- انتخاب و تهیه منحنی‌های شکنندگی

انتخاب منحنی‌های شکنندگی مناسب برای ساختمان‌های ایران به منظور ارزیابی خسارات احتمالی زلزله یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در طی مراحل انجام کار است. فلاح‌تفتی و همکاران [22]، 19 منحنی شکنندگی برای انواع مختلف ساختمان‌های ایران با استفاده از رویکرد تجربی و بر اساس ارزیابی منحنی‌های شکنندگی ارائه شده برای ایران و سایر کشورها و با کارگیری قضاوت متخصصان پیشنهاد دادند. بر این اساس، در ابتدا انواع مختلف ساختمان‌های مسکونی در ایران از نظر نوع سازه، کیفیت ساخت و ارتفاع ساختمان‌ها در 19 دسته طبقه بندی شده

¹¹ Analytical Hierarchy Process (AHP)

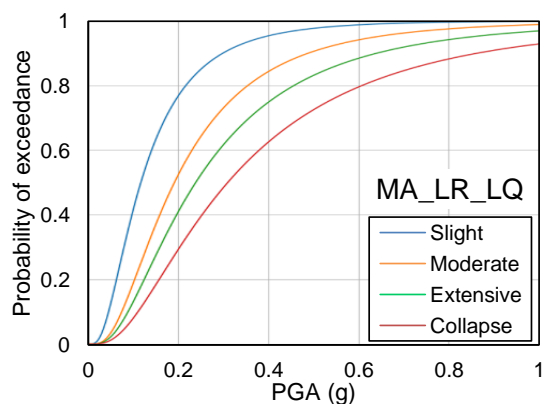


جدول 5- روابط استفاده شده برای تبدیل پارامتر جنبش نیرومند زمین به PGA [23]

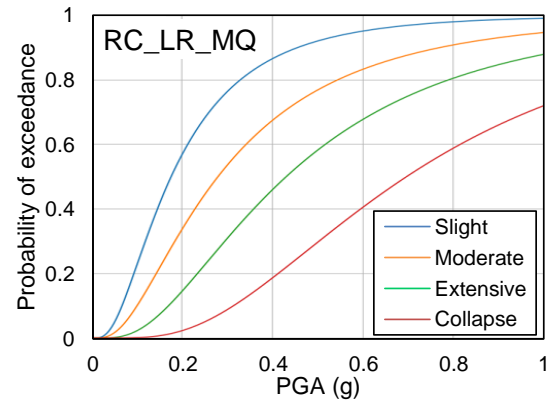
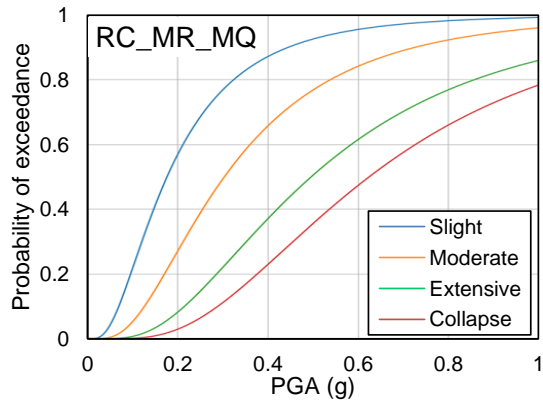
| No. | References | Magnitude range | Distance range | Intensity range | Region |
|-----|-----------------------------|-----------------------|----------------|-----------------|---------------------|
| 1 | Kästli and Fäh (2006) | $2.0 \leq M \leq 6.9$ | < 253 | 1-7 | Europe except Italy |
| 2 | Atkinson and Kaka (2007) | $2.5 \leq M \leq 7.4$ | < 618 | 2-9 | The United States |
| 3 | Allen et al. (2008) | $4.1 \leq M \leq 8.1$ | < 707 | 1-10 | Other Countries |
| 4 | Sørensen et al. (2008) | $6.4 \leq M \leq 7.4$ | < 335 | 5-10 | Asia and Turkey |
| 5 | Faenza and Michelini (2010) | $3.0 \leq M \leq 6.9$ | < 200 | 2-8 | Italy |

جدول 6- پارامترهای منحنی‌های شکنندگی ارائه شده توسط فلاح تفتی و همکاران [22]

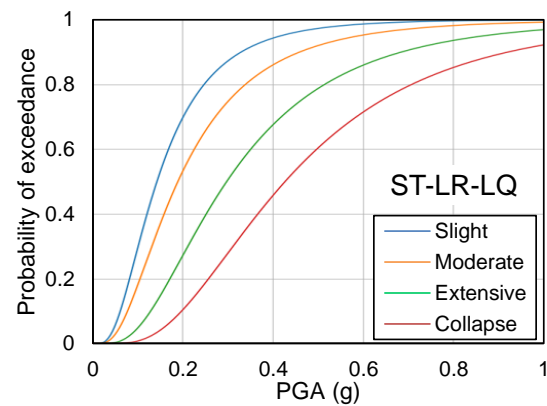
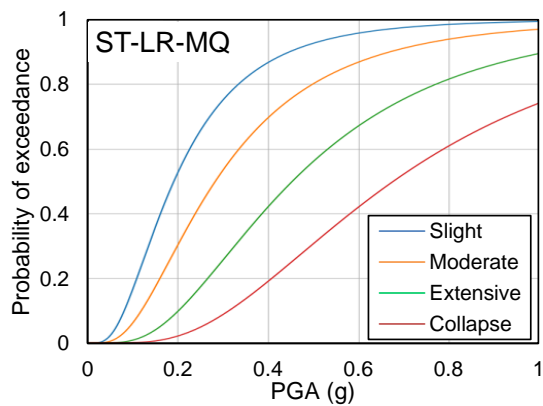
| Taxonomy | Median (θ) | | | | Logarithmic standard deviation (β) | | | |
|----------|---------------------|----------|-----------|----------|--|----------|-----------|----------|
| | Slight | Moderate | Extensive | Collapse | Slight | Moderate | Extensive | Collapse |
| MA_LR_LQ | -2.14 | -1.65 | -1.43 | -1.17 | 0.73 | 0.73 | 0.77 | 0.80 |
| RC_LR_MQ | -1.73 | -1.27 | -0.84 | -0.36 | 0.74 | 0.79 | 0.72 | 0.62 |
| RC_MR_MQ | -1.73 | -1.19 | -0.70 | -0.47 | 0.72 | 0.68 | 0.65 | 0.60 |
| ST-LR-LQ | -1.94 | -1.66 | -1.21 | -0.85 | 0.65 | 0.69 | 0.65 | 0.60 |
| ST-LR-MQ | -1.65 | -1.26 | -0.79 | -0.39 | 0.66 | 0.67 | 0.63 | 0.60 |
| ST-MR-LQ | -1.95 | -1.68 | -1.10 | -0.59 | 0.72 | 0.73 | 0.66 | 0.60 |
| ST-MR-MQ | -1.84 | -1.34 | -0.65 | -0.32 | 0.68 | 0.70 | 0.63 | 0.61 |



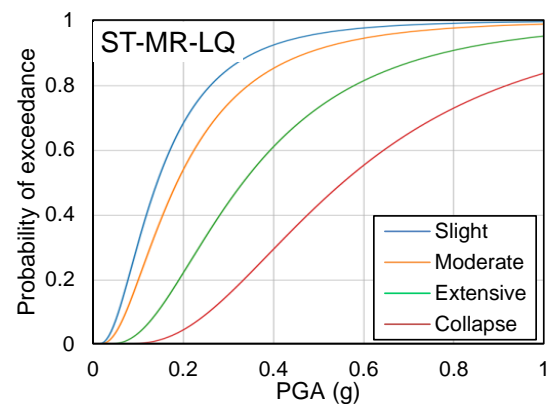
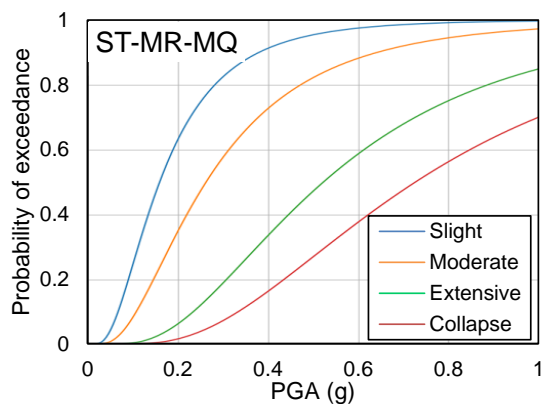
شکل 5- منحنی شکنندگی ساختمان‌های بنایی کوتاه‌مرتبه با کیفیت پایین (MA_LR_LQ)



شکل 6- منحنی شکنندگی ساختمان‌های بتن آرمه کوتاه‌مرتبه کیفیت متوسط (RC_LR_MQ) و میان‌مرتبه کیفیت متوسط (RC_MR_MQ)

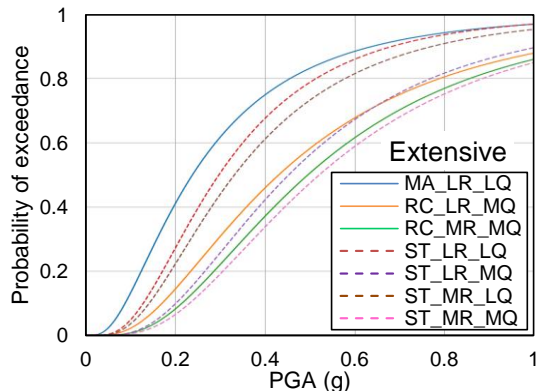


شکل 7- منحنی‌های شکنندگی ساختمان‌های فولادی کوتاه‌مرتبه با کیفیت پایین (ST_LR_LQ) و کیفیت متوسط (ST_LR_MQ)



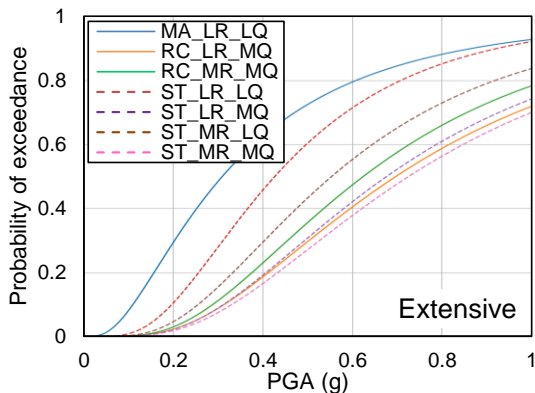
شکل 8- منحنی‌های شکنندگی ساختمان‌های فولادی میان‌مرتبه با کیفیت پایین (ST_MR_LQ) و کیفیت متوسط (ST_MR_MQ)





شکل 11- اعتبار سنجی منحنی‌های شکنندگی انتخاب شده در حالت

Extensive



شکل 12- اعتبار سنجی منحنی‌های شکنندگی انتخاب شده در حالت

Collapse

6- تحلیل خطر زلزله

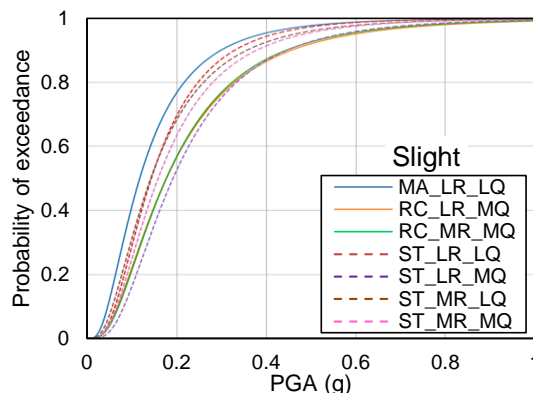
تحقیق حاضر ارائه‌دهنده‌ی برآورد دقیق‌تر از خطر زلزله مبتنی بر همه داده‌های زمین‌شناسی و به‌روزترین روش‌ها می‌باشد. در همین ارتباط به‌روزترین نقشه‌ی گسل‌ها برای استان کهگیلویه و بویراحمد و استان‌های همجوار از سازمان زمین‌شناسی دریافت شده و مطالعات اولیه برای شناسایی منابع لرزه‌زا صورت گرفته است.

جهت انجام پژوهش، ابتدا بانک اطلاعاتی کاملی از زمین لرزه‌های تاریخی و دستگاهی در استان، از مراجع معتبر گردآوری که این بانک شامل زمان رویداد، طول و عرض جغرافیایی مرکز سطحی زلزله و بزرگای زلزله می‌باشد. سایر اطلاعات پایه‌ای مورد نیاز برای انجام تحلیل، تعیین موقعیت گسل‌های فعال یا چشمه‌های لرزه‌زا در منطقه می‌باشد که با استفاده از روابط تجربی موجود به تعیین پتانسیل و پارامترهای لرزه‌خیزی آنها پرداخته شده است.

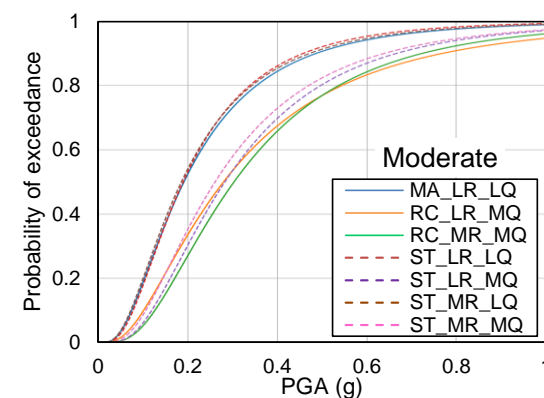
تحلیل خطر احتمالاتی زلزله به منظور طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله با در نظر گرفتن عدم قطعیت در اندازه و موقعیت و اثر شدت لرزش یک زلزله موضوع بسیار مهمی است. هدف روش تحلیل خطر

5- اعتبارسنجی توابع و منحنی‌های شکنندگی استفاده شده

یک بررسی بسیار مهم که قبل از استفاده از مجموعه‌ای از توابع شکنندگی و آسیب‌پذیری در ارزیابی ریسک لرزه‌ای باید انجام شود، اعتبارسنجی داخلی است. چنین مقایسه‌ای مهم است تا اطمینان حاصل شود که رفتار نسبی بین مصالح ساختمانی مختلف و سیستم‌های مقاوم جانبی مطابق قضاوت مهندسی و مشاهدات مربوط به رفتار واقعی ساختمان‌ها باشد. شکل‌های 9 الی 12 مقایسه‌ای از توابع شکنندگی ساختمان‌های معرفی شده در جدول 4 را برای سطوح آسیب مختلف ارائه می‌دهد. به عنوان نمونه مشاهده می‌شود که روند شکنندگی همانطور که انتظار می‌رود شکننده‌ترین حالت برای ساختمان‌های بنایی است.



شکل 9- اعتبار سنجی منحنی‌های شکنندگی انتخاب شده در حالت



شکل 10- اعتبار سنجی منحنی‌های شکنندگی انتخاب شده در حالت

Moderate

جدول 7- گسل‌های استفاده شده در این پژوهش بر اساس مطالعات صورت گرفته

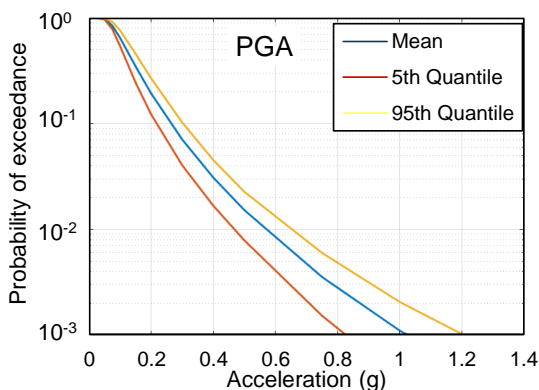
| Fault | Length (km) | Fault | Length (km) |
|------------------|-------------|-----------------|-------------|
| Dareshk | 16.37 | Cheshmeh Chenar | 25.2 |
| Kazeroon | 96 | Chal Kalagh | 48.2 |
| Dena | 137 | Sivak | 18.65 |
| High Zagros | 197 | Neh | 25.68 |
| Pir Choopan | 16.7 | Shah | 16.7 |
| | | Farajollah | |
| Emamzadeh Ghasem | 13.2 | Cheshmeh Nabati | 16.8 |

8- انتخاب روابط کاهندگی

انتخاب رابطه کاهندگی مناسب پیش‌بینی جنبش نیرومند زمین برای ساختگاه مورد مطالعه یکی از مهم‌ترین اقدامات در تحلیل خطر زلزله است. در این مطالعه از روابط کاهندگی ارائه شده توسط کاله و همکاران [25]، آکار و بومر [26]، چپو و یانگز [27] و آبراهامسون و همکاران [28] و وزن‌دهی به روش درخت منطبق استفاده شده است.

9- تهیه منحنی‌های خطرناحیه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار OpenQuake

بر اساس روش تحلیل خطر احتمالاتی کلاسیک کرنل و مواردی که در مورد منابع لرزه‌زا و روابط کاهندگی ذکر شد، تحلیل خطر احتمالاتی در نرم‌افزار OpenQuake انجام و منحنی‌های خطر لرزه‌ای برای شهر یاسوج، در شکل‌های 14 الی 17 ترسیم شده است. این شکل‌ها منحنی خطر بر اساس PGA، دوره تناوب 0.3، 1 و 2 ثانیه را نشان می‌دهد. طیف‌های خطر یکنواخت با احتمال فراگذشت 10٪ و 2٪ در 50 سال نیز در شکل‌های 18 و 19 ارائه شده است.



شکل 14- منحنی خطر برای شتاب PGA

احتمالاتی زلزله بررسی و لحاظ این عدم قطعیت‌ها است. به منظور ارزیابی خسارت لرزه‌ای یک سازه در مقابل زلزله ابتدا باید احتمال یا نرخ تجاوز لرزش زمین در محل سایت از محدوده سطوح شتاب مورد نظر را بدست آورد. این تحلیل در نهایت به رسم منحنی خطر زلزله در محل ساختگاه منجر می‌شود و به کمک آن می‌توان طیف طرح ساختگاه که مبنای طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها در برابر زلزله است را بدست آورد.

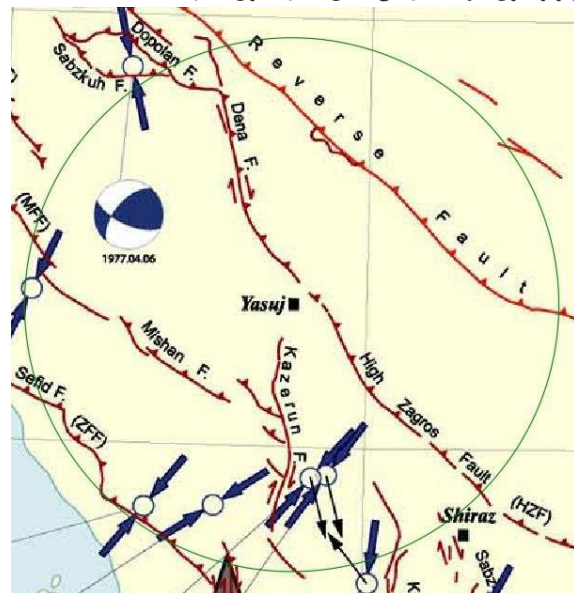
برای انجام تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی از روش کلاسیک کرنل (1968) استفاده شده است. در این روش عدم قطعیت در بزرگا، محل، رابطه کاهندگی جنبش نیرومند زمین و همچنین زمان زلزله با استفاده از قضیه احتمال کل استفاده می‌شود.

مراحل تحلیل خطر لرزه‌ای به روش کرنل به شرح زیر است:

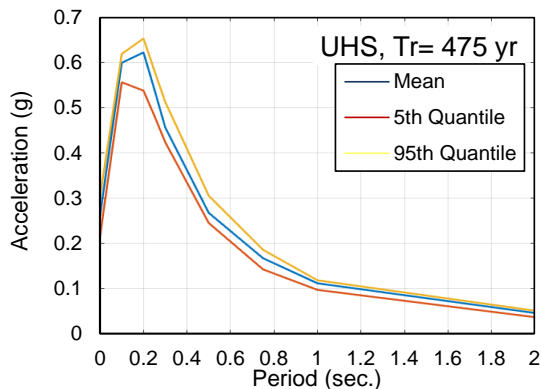
- 1- شناسایی منابع لرزه‌زا
- 2- تعیین میزان لرزه‌خیزی هر منبع و محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی
- 3- انتخاب رابطه کاهندگی
- 4- تهیه منحنی‌های خطر برای منطقه مورد مطالعه

7- شناسایی منابع لرزه‌زا

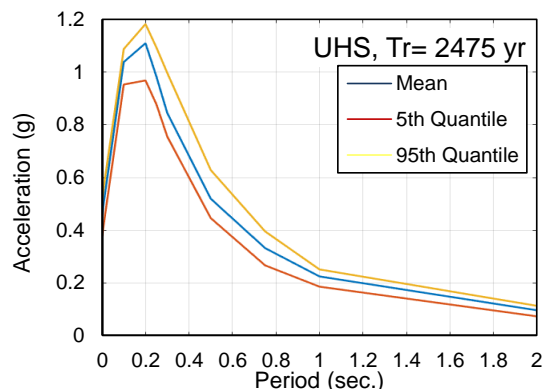
یکی از مهمترین مراحل انجام تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی در یک منطقه، تعیین منابع لرزه‌زا است. در تعیین منابع لرزه‌زا لازم است تا از اطلاعات لرزه‌شناسی، زمین‌شناسی، لرزه زمین‌ساخت و ژئوتکنیکی استفاده شود. شکل 13 گسل‌های موجود در اطراف شهر یاسوج را نشان می‌دهد. نام و و طول هر یک از این گسل‌ها در جدول 7 ارائه شده است.



شکل 13- گسل‌های موجود در اطراف شهر یاسوج [24]



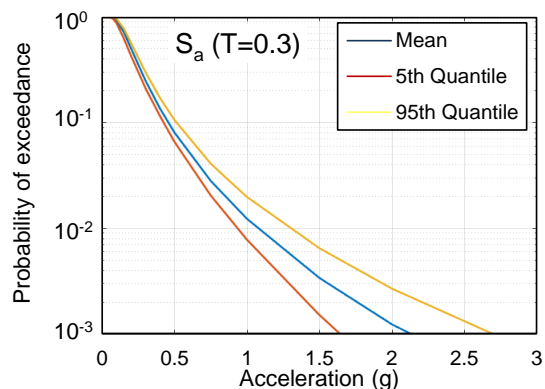
شکل 18- طیف خطر یکنواخت برای احتمال فراگذشت 10% در 50 سال (دوره بازگشت 475 سال)



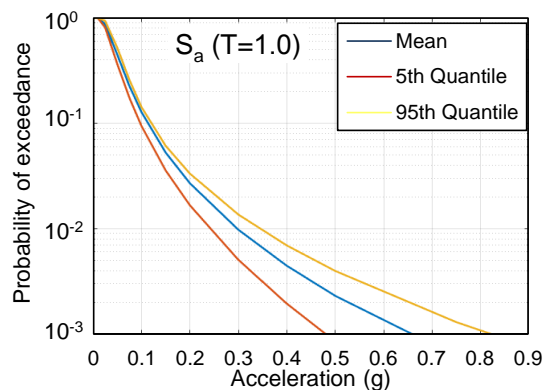
شکل 19: طیف خطر یکنواخت برای احتمال فراگذشت 2% در 50 سال (دوره بازگشت 2475 سال)

10- محاسبه خسارت لرزه‌ای

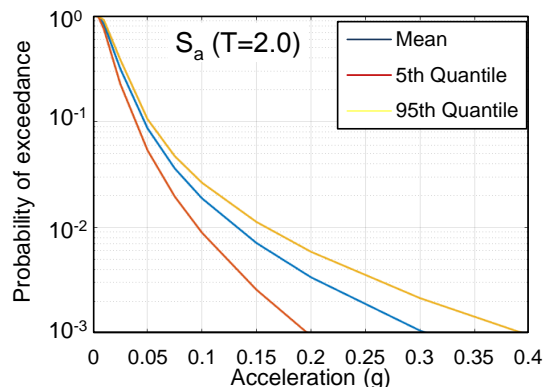
پس از انجام تحلیل خطر زلزله و بدست آمدن منحنی‌های خطر، ارزیابی خسارت لرزه‌ای سازه‌ها در نرم‌افزار OpenQuake انجام شده است. نتایج حاصل برای سطوح آسیب مختلف در انواع ساختمان‌ها در جدول 8 نشان داده شده است. مطابق جدول 8 چنانچه سیستم نظارت و کنترل مناسبی جهت ارزیابی کیفیت ساخت در حین اجرای پروژه ساختمانی وجود داشته باشد، با حصول به کیفیت اجرای معمولی به بالا می‌توان انتظار داشت که قابلیت اعتماد سازه مورد نظر در حین بهره‌برداری بطور قابل توجهی ارتقا یابد. البته لزوم مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی و مهاربندی فولادی با کیفیت پایین نیز نتیجه دیگر مهمی است که از نتایج ارائه شده در جدول 8 بیان می‌شود.



شکل 15- منحنی خطر برای دوره تناوب 0.3 ثانیه



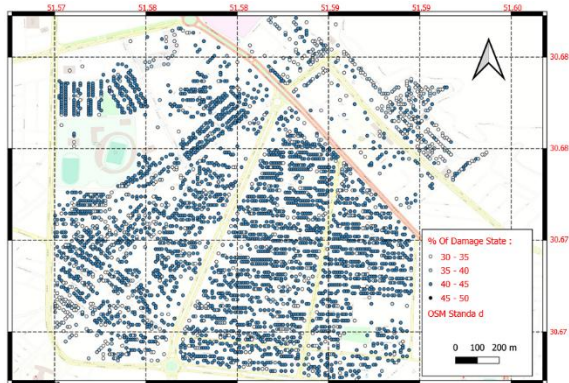
شکل 16- منحنی خطر برای دوره تناوب 1 ثانیه



شکل 17- منحنی خطر برای دوره تناوب 2 ثانیه

جدول 8- نتایج تحلیل ریسک احتمالاتی بدست آمده برای انواع ساختمان‌های مورد مطالعه

| taxonomy | No damage(%) | slight(%) | moderate(%) | extensive(%) | collapse(%) |
|----------|--------------|-----------|-------------|--------------|-------------|
| MA_LR_LQ | 51.5877 | 48.41227 | 43.08164 | 39.36331 | 33.6505 |
| RC_LR_MQ | 55.7112 | 44.28881 | 36.00575 | 23.81875 | 3.60625 |
| RC_MR_MQ | 55.784 | 44.21605 | 33.28845 | 18.27315 | 7.55115 |
| ST-LR-LQ | 53.4853 | 46.51467 | 43.06533 | 33.5526 | 22.9448 |
| ST-LR-MQ | 57.2302 | 42.76982 | 34.94524 | 21.28574 | 4.33674 |
| ST-MR-LQ | 53.1963 | 46.8037 | 43.5366 | 30.7776 | 12.9697 |
| ST-MR-MQ | 54.5053 | 45.49471 | 37.02811 | 16.02191 | 2.33831 |

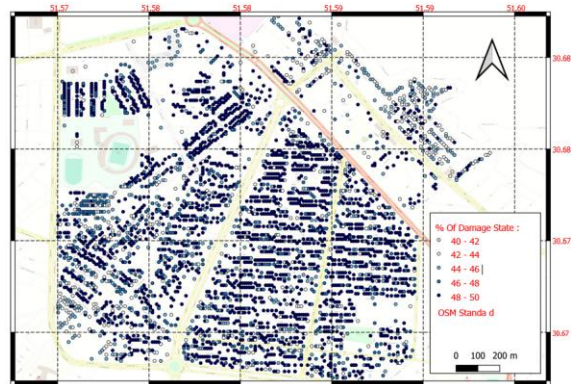


شکل 21: نقشه خسارت وارده در سطح معمولی در محدوده مورد مطالعه



شکل 22- نقشه خسارت وارده در سطح گسترده در محدوده مورد مطالعه

در ادامه نقشه توزیع خسارت لرزه‌ای شهر یاسوج که بر مبنای نتایج جدول 8 تولید شده است، در شکل‌های 20 الی 23 نشان داده شده است. همانطور که در شکل‌های 20 الی 23 مشاهده می‌شود، بدلیل اینکه تعداد قابل توجهی از ساختمان‌های مورد مطالعه در دسته بنایی و مهاربندی فولادی با کیفیت ساخت پایین قرار دارند، میزان خسارت وارد در سطوح مختلف به ویژه سطح خرابی گسترده^{۱۲} و فروریزش^{۱۳} بسیار زیاد است. لزوم بازنگری در دستورالعمل‌ها و الزامات مقاومتی ساختمان‌های موجود نکته‌ای است که بایستی در دستور کار تصمیم‌گیران حوزه مسکن و شهرسازی قرار گیرد. البته شایان ذکر است که ساختمان‌هایی که با آیین-نامه جدید طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (ویرایش چهارم استاندارد 2800 ایران) طراحی شده‌اند، دارای عملکرد لرزه‌ای قابل قبول و مورد اعتمادی در این تحلیل بودند.



شکل 20- نقشه خسارت وارده در سطح بسیار کم در محدوده مورد مطالعه

¹² Extensive
¹³ Collapse



3- ساختمان‌های فولادی و بتن آرمه با کیفیت متوسط دارای نتایج خوبی در ارزیابی خسارت لرزه‌ای هستند.

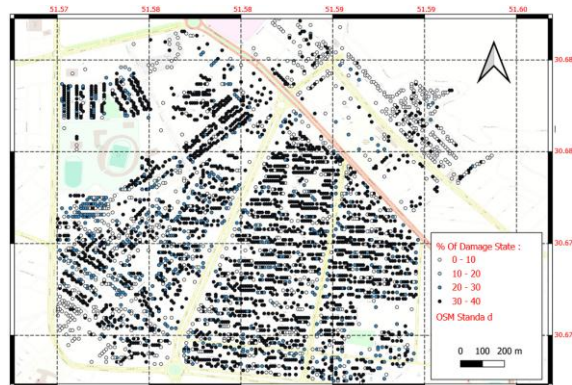
4- بر اساس بررسی‌های بعمل آمده و انجام تحلیل آماری روی نتایج حاصل از فرم‌های بازدید میدانی ساختمان‌ها در منطقه مورد مطالعه، بیشترین سازه‌های موجود در منطقه 2 شهر یاسوج از نوع مصالح بنایی غیر مسلح و پس از آن بتن آرمه و فولادی بوده و با توجه به رده بندی مقاومتی سازه‌ها کمترین میزان مقاومت در برابر زلزله را سازه‌های بنایی دارا می‌باشند.

لذا با توجه به مطالب پیش گفته لزوم بازنگری در طراحی و مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود در منطقه موضوع تحقیق بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

برای تحقیقات آینده، بررسی عمیق‌تر آسیب‌پذیری‌های خاص انواع ساختمان‌های مختلف در مناطق مستعد لرزه‌خیز، با در نظر گرفتن تغییرات در مصالح ساختمانی، روش‌های طراحی، و مکان‌های جغرافیایی مفید خواهد بود. انجام مطالعات میدانی گسترده تر و جمع‌آوری داده‌های دقیق در مورد ویژگی‌های ساختمان، کیفیت ساخت و ساز و خسارات پس از زلزله، دقت ارزیابی ریسک لرزه‌ای را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، ترکیب آخرین پیشرفت‌ها در معادلات پیش‌بینی حرکت زمین و روش‌های توسعه منحنی شکنندگی به پالایش تحلیل‌های خطر لرزه‌ای کمک می‌کند. علاوه بر این، بررسی اثربخشی استراتژی‌های مختلف مقاوم‌سازی و کاوش راه‌حل‌های مهندسی نوآورانه برای بهبود مقاومت لرزه‌ای سازه‌های موجود می‌تواند یک راه ارزشمند تحقیق باشد. در نهایت، با توجه به ماهیت دینامیکی ریسک لرزه‌ای، پایش مستمر و به‌روزرسانی نقشه‌های خطر لرزه‌ای و ارزیابی‌های آسیب‌پذیری در طول زمان، درک جامعی از چشم‌انداز خطر در حال تحول در منطقه مورد مطالعه ارائه می‌دهد.

مراجع

- [1] Mostafaei H, Kabeyasawa T. Investigation and analysis of damage to buildings during the 2003 Bam earthquake. Bull Earthq Res Institute, Univ Tokyo 2004;79:107-32.
- [2] Khatam A. The destruction of Bam and its reconstruction following the earthquake of December 2003. Cities 2006;23:462-4.
- [3] Abolghasemi H, Radfar MH, Khatami M, Nia MS, Amid A, Briggs SM. International medical response to a natural disaster: Lessons learned from the bam earthquake experience. Prehosp Disaster Med 2006;21:141-7.
- [4] Khodaverdian A, Zafarani H, Rahimian M, Dehnamaki V. Seismicity parameters and spatially smoothed seismicity model for Iran. Bull Seismol Soc Am 2016;106:1133-50.



شکل 23- نقشه خسارت وارده در سطح فروریزش در محدوده مورد مطالعه

11- نتیجه گیری

مطالعه ارائه شده در مورد تجزیه و تحلیل خطر زلزله در شهر یاسوج رویکردی دقیق و چند وجهی برای درک آسیب‌پذیری ساختمان‌های مسکونی ارائه می‌دهد. این مطالعه از طریق جمع‌آوری دقیق داده‌ها، سازه‌ها را بر اساس نوع، ارتفاع و کیفیت ساخت طبقه‌بندی می‌کند و چشم‌انداز ظریفی را در مورد چشم‌انداز خطر لرزه‌ای ارائه می‌دهد. اتخاذ روش HAZUS برای طبقه بندی آسیب و استفاده از منحنی‌های شکنندگی متناسب با ویژگی‌های ساختمان منطقه، دقت ارزیابی ریسک را افزایش می‌دهد. تجزیه و تحلیل خطر لرزه‌ای، با ترکیب داده‌های زمین شناسی، نقشه‌های گسل، و سوابق تاریخی زلزله، منحنی‌ها و طیف‌های خطر دقیق را به دست می‌دهد. ارزیابی آسیب‌های لرزه‌ای بعدی آسیب‌پذیری‌های قابل توجهی را در ساختمان‌های بنایی تقویت‌نشده نشان می‌دهد و بر ضرورت مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی با کیفیت پایین تأکید می‌کند. این مطالعه با توصیه‌های عملی، با تأکید بر اهمیت سیستم‌های نظارت و کنترل برای کیفیت ساخت و ساز و حمایت از بازنگری دستورالعمل‌های طراحی و مقررات مقاوم‌سازی، به پایان می‌رسد. به طور کلی، این تحقیقات علمی کمک قابل توجهی به استراتژی‌های کاهش خطر زلزله برای شهر یاسوج، مبتنی بر درک کامل منظر ساختمانی محلی و خطرات لرزه‌ای دارد. بر اساس تحلیل‌های انجام شده بر روی ساختمان‌های محدوده مورد بررسی در این پژوهش، نتایج ذیل بیان می‌گردد:

1- با توجه به نتایج بدست آمده در جدول 8، ساختمان‌های بنایی غیر مسلح در تمامی سطوح آسیب‌دارای بیشترین درصد خسارت با مقدار 48/4٪ برای سطح آسیب خفیف، 43/1٪ برای سطح آسیب متوسط، 39/4٪ برای سطح آسیب گسترده و 33/5٪ برای سطح آسیب فروپاشی می‌باشند.

2- ساختمان‌های فولادی با کیفیت پایین پس از ساختمان‌های بنایی غیر مسلح بیشترین آسیب را داشته‌اند که این نکته لزوم بحث مقاوم‌سازی را در این نوع ساختمان‌ها یاد آور می‌شود.

- the prediction of PGA, PGV, and spectral accelerations in Europe, the mediterranean region, and the Middle East. *Seismol Res Lett* 2010;81:195–206.
- [27] Chiou BSJ, Youngs RR. An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthq Spectra* 2008;24:173–215.
- [28] Abrahamson NA, Silva WJ, Kamai R. Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions. *Earthq Spectra* 2014;30:1025–55.
- [11] Ansari A, Firuzi E, Etemadsaeed L. Delineation of seismic sources in probabilistic seismic-hazard analysis using fuzzy cluster analysis and Monte Carlo simulation. *Bull Seismol Soc Am* 2015;105:2174–91.
- [12] JICA C. The study on seismic microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran. *Pacific Consult Int Report, OYO Coop Japan* 2000:291–390.
- [13] Tavakoli B, Favakoli A. Estimating the vulnerability and loss functions of residential buildings. *Nat Hazards* 1993;7:155–71.
- [14] Hisada Y, Shibayama A, Ghayamghamian MR. Building damage and seismic intensity in Bam City from the 2003 Iran, Bam, Earthquake. *Bull Earthq Res Institute, Univ Tokyo* 2005;79:81–93.
- [15] Matsuoka M, Yamazaki F. Building damage mapping of the 2003 Bam, Iran, earthquake using Envisat/ASAR intensity imagery. *Earthq Spectra* 2005;21.
- [16] Mansouri B, Ghafory-Ashtiany M, Amini-Hosseini K, Nourjou R, Mousavi M. Building seismic loss model for Tehran. *Earthq Spectra* 2010;26:153–68.
- [17] Rojan C, Sharpe RL. Earthquake damage evaluation data. *ATC-13, Appl Technol Counc Calif* 1985:137–49.
- [18] Omidvar B, Gatmiri B, Derakhshan S. Experimental vulnerability curves for the residential buildings of Iran. *Nat Hazards* 2012;60:345–65.
- [19] Ghayamghamian M, Haghshenas E, Amini-Hosseini K, Mansouri B. Estimation of site amplification factor in tehran city for rapid damage estimation. *Tehran Disaster Mitig Manag* 2011;1:199–214.
- [20] Sadeghi M, Ghafory-Ashtiany M, Pakdel-Lahiji N. Developing seismic vulnerability curves for typical Iranian buildings. *Proc*
- [5] Tavakoli B, Ghafory-Ashtiany M. Seismic hazard assessment of Iran. *Ann Di Geofis* 1999;42:1013–21.
- [6] Golara A. Probabilistic seismic hazard analysis of interconnected infrastructure: A case of Iranian high-pressure gas supply system. *Nat Hazards* 2014;73:567–77.
- [7] Ghafory-Ashtiany M, Jafari MK, Shadi Talab J, Eshghi S, Qurashi M. Tehran vulnerability analysis. *Tenth world Conf. Earthq. Eng. Balkema, Rotterdam*, 1992.
- [8] Ghodrati Amiri G, Motamed R, Rabet Es-Haghi H. Seismic hazard assessment of metropolitan Tehran, Iran. *J Earthq Eng* 2003;7:347–72.
- [9] Zafarani H, Noorzad A, Ansari A, Bargi K. Stochastic modeling of Iranian earthquakes and estimation of ground motion for future earthquakes in Greater Tehran. *Soil Dyn Earthq Eng* 2009;29:722–41.
- [10] Hamzehloo H, Alikhanzadeh A, Rahmani M, Ansari A. Seismic hazard maps of Iran. *Proc. 15th world Conf. Earthq. Eng. Lisbon, Port.*, 2012, p. 24–8.
- Inst. Mech. Eng. Part O J. Risk Reliab.*, vol. 229, SAGE Publications Ltd; 2015, p. 627–40.
- [21] Pakdel-Lahiji N, Hochrainer-Stigler S, Ghafory-Ashtiany M, Sadeghi M. Consequences of financial vulnerability and insurance loading for the affordability of earthquake insurance systems: Evidence from Iran. *Geneva Pap Risk Insur Issues Pract* 2015;40:295–315.
- [22] Fallah Tafti M, Amini Hosseini K, Mansouri B. Generation of new fragility curves for common types of buildings in Iran. *Bull Earthq Eng* 2020;18:3079–99.
- [23] International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIIES), Tehran, Iran, 1994. <http://www.iiies.ac.ir/fa/>.
- [24] Eftekhari SN, Sayyadpour H, Kowsari M. A near-fault probabilistic seismic hazard assessment for Yasouj, located in the Kazerun fault system, southwest Iran. *Nat Hazards* 2021;105:1945–61.
- [25] Kale Ö, Akkar S, Ansari A, Hamzehloo H. A ground-motion predictive model for iran and turkey for horizontal PGA, PGV, and 5% damped response spectrum: Investigation of possible regional effects. *Bull Seismol Soc Am* 2015;105:963–80.
- [26] Akkar S, Bommer JJ. Empirical equations for

