Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.12, Issue 38, December 2023

Probabilistic assessment of seismic hazard in Parand City

Ali Beitollahi[1], Fateme Dehghan Farouji[2*], Negar Soodmand[3], Ghazaleh Razaghian[4]

1. Assistant Prof. of the Road, Housing and Urban Development Research Center, Iran
2. *Corresponding Author*, Instructor of the Road, Housing and Urban Development Research Center, Iran
3. PhD Student of Islamic Azad University, North Tehran branch, Tehran, Iran
4. Assistant Prof., Department of Geology, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran Earthquake and Natural Disaster Research Center, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 13 November 2022
Revised: 21 June 2023
Accepted: 17 July 2023

Keywords:
Seismic hazard, Probabilistic assessment, The Parand city.

ABSTRACT

The Iranian Plateau is located along the active Alpine-Himalayan orogenic belt, which stretches from the Arabian plate in the southwest to the stable Eurasian shield in the northeast and is divided into different tectonic seismic zones. Tehran province is seismically active and has always been under threat due to the occurrence of earthquakes and the existence of many faults. Parand City is located in Tehran province and the seismic state of central Iran. It is located in the zone with high and high seismicity in the Hazard zoning map of the Iranian Code of Practice for Seismic Resistant design of buildings (Standard No.2800). So far, there has been no documented study in the field of seismic risk analysis and assessment of Parand city. In this regard, the seismic risk assessment of the new city of Parand was carried out. This evaluation was carried out by a probabilistic method in 4 basic steps, which include the study of tectonic earthquakes and modeling of seismic springs, developing a seismicity model and obtaining seismic parameters, choosing a reduction relationship or a model for estimating powerful earth movements and Probabilistic risk analysis of earthquakes. In this research, the values of β, λ, and the expected maximum acceleration, the maximum acceleration of the earth's strong movement for the return period of 475 years were obtained, which is equal to g0.33 in bedrock, which will be about g0.39 with the effect of soil effect. Based on the results of this research, Parand City is divided into four zones, the southern parts of the city have the lowest acceleration, and the northern parts have the highest acceleration.

Cite this article: Beitollahi, A., Dehghan Farouji, F., Soodmand, N., & Razaghian, G. (2023). Probabilistic assessment of seismic hazard in Parand City. Journal of Natural Environmental Hazards, 12(38), 53-74. DOI: 10.22111/jneh.2023.43966.1929

© Fateme Dehghan Farouji
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2023.43966.1929

* Corresponding Author Email: dehghan@bhrc.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳۸، دی ۱۴۰۲

ارزیابی احتمالاتی خطر لرزه‌ای شهر جدید پرند

علی بیت اللهی[۱]، فاطمه دهقان فاروجی[۲*]، نگار سودمند[۳]، غزاله رزاقیان[۴]

۱. استادیار، بخش زلزله شناسی مهندسی و خطرپذیری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
۲. مربی، بخش زلزله شناسی مهندسی و خطرپذیری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (نویسنده مسئول)
۳. دانشجوی دکترا دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
۴. استادیار، گروه زمین شناسی، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران؛ مرکز تحقیقات زلزله و بلایای طبیعی، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۲/۰۴/۲۶

واژه‌های کلیدی:
خطر لرزه‌ای، ارزیابی احتمالاتی، شهر جدید پرند.

چکیده

فلات ایران در طول کمربند فعال کوهزایی آلپ- هیمالیا واقع شده که از صفحه عربی در جنوب غرب تا سپر پایدار اوراسیا در شمال شرق کشیده شده است و به پهنه های لرزه زمین ساختی مختلفی تقسیم شده است. استان تهران از نظر لرزه ای فعال بوده و به واسطه رخداد زلزله ها و وجود گسل های فراوان همواره مورد تهدید بوده است. شهر پرند در استان تهران و در ایالت لرزه زمین ساختی ایران مرکزی قرار دارد و در نقشه پهنه بندی خطر آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد۲۸۰۰) در منطقه با لرزه خیزی بسیار زیاد و زیاد قرار گرفته است. تاکنون مطالعه مستندی در زمینه تحلیل و ارزیابی خطر لرزه ای شهر پرند انجام نشده است. در این راستا، ارزیابی خطر لرزه ای شهر جدیدی پرند انجام یافت. این ارزیابی به روش احتمالاتی در ۴ گام اساسی انجام یافت که شامل مطالعه لرزه زمین ساخت و مدل سازی چشمه‌های لرزه‌ای، توسعه مدل لرزه خیزی و بدست آوردن پارامترهای لرزه ای، انتخاب رابطه کاهندگی یا مدل برآورد جنبش‌های نیرومند زمین و تحلیل خطر احتمالاتی زلزله است. در این پژوهش، مقادیر λ،β و بیشینه شتاب مورد انتظار، بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین برای دوره بازگشت۴۷۵ سال بدست آمد که این مقدار در سنگ کف برابر با0.33gاست که با تاثیر اثر خاک حدود0.39 g خواهد شد. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، شهر پرند به چهار پهنه تقسیم شده است که قسمت‌های جنوبی شهر دارای کمترین شتاب و قسمت‌های شمالی شهر دارای بیشترین شتاب می باشد.

استناد: بیت اللهی, علی, دهقان فاروجی, فاطمه, سودمند, نگار, رزاقیان, غزاله. (۱۴۰۲). ارزیابی احتمالاتی خطر لرزه‌ای شهر جدید پرند. مخاطرات محیط طبیعی, ۱۲(۳۸)، ۷۴-۵۳. DOI: 10.22111/jneh.2023.43966.1929

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© علی بیت اللهی، فاطمه دهقان فاروجی*، نگار سودمند، غزاله رزاقیان.

*- فاطمه دهقان فاروجی (نویسنده مسئول)

Email: dehghan@bhrc.ac.ir

مقدمه

کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا یکی از فعالترین کمربندهای لرزه خیزی جهان است که از کوههای آلپ در غرب تا هیمالیا در شرق گسترده شده است. عبور این کمربند لرزه خیز از خاورمیانه باعث ایجاد زمینلرزه های بسیاری در مناطق ترکیه، قفقاز، ایران، پاکستان و افغانستان شده است. فلات ایران در طول کمربند فعال کوهزایی آلپ- هیمالیا واقع شده که از صفحه عربی در جنوب غرب تا سپر پایدار اوراسیا در شمال شرق کشیده شده است.

این منطقه توسط محققین زیادی مورد بررسی قرار گرفته است(نوروزی،۱۹۷۲،۱۹۷۱؛ مک کنزی،۱۹۷۲؛ آمبرسیز و ملویل،۱۹۸۲). ویژگی های لرزه خیزی و زمین شناسی این منطقه با یکدیگر متفاوت بوده و به پهنه ها و ایالت های لرزه زمین ساختی مختلفی توسط محققین تقسیم شده است (بربریان،۱۹۸۱؛ اشتوکلین،۱۹۶۸؛ علوی،۱۹۹۱؛ علوی نائینی،۱۹۷۲؛آقا نباتی،۱۳۸۳؛نبوی،۱۳۵۵).

یکی از ایالت های لرزه زمین ساختی کشور، ایالت لرزه زمین ساختی البرز و ایران مرکزی است. استان تهران در مرز ایالت های لرزه زمین ساختی البرز و ایران مرکزی قرار گرفته است. این منطقه از نظر لرزه ای فعال بوده و به واسطه رخداد زلزله های و وجود گسل های فراوان همواره مورد تهدید بوده است که رخداد زمین لرزه های تاریخی و دستگاهی مهم در این گستره موید لرزه خیزی بالای این منطقه می‌باشد. استان تهران در نقشه پهنه بندی خطر آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله(استاندارد۲۸۰۰)، نیز در منطقه با خطر بسیار زیاد تا زیاد قرار دارد.

شهر پرند که در استان تهران واقع شده است، بر اساس طبقه بندی ایالت های لرزه زمین ساختی در پهنه ایالت لرزه زمین ساختی آقانباتی (۱۳۸۳) در پهنه ایران مرکزی قرار گرفته است. در این پهنه زمین لرزه های با بزرگای زیاد رخ می‌دهند. همچنین قسمت‌های شمالی شهر پرند در نقشه پهنه بندی خطر آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله(استاندارد۲۸۰۰)، در پهنه با خطر بسیار زیاد و سایر بخش‌های شهر پرند در منطقه با خطر زیاد قرار گرفته است. تحلیل خطر زلزله شهر پرند کمک زیادی در شناسایی خطرلرزه‌ای و شناخت مناطق پرخطر می‌نماید. علت انجام این تحقیق، علاوه بر معلوم کردن جایگاه خطر لرزه‌ای شهر پرند، ارائه نتیجه نهائی به مسئولین و مدیران ارشد کشور به منظور برنامه‌ریزی و زمان‌بندی عملیات اجرائی برنامه‌های مقاوم‌سازی ساخت و سازها، بهینه‌سازی ساخت و سازها، انبوه‌سازی، مدیریت بحران زمین‌لرزه و کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در مقیاس شهری است. تاکنون تحقیق مستندی در مورد لرزه خیزی و پهنه بندی لرزه ای شهر پرند انجام نیافته است و این پژوهش در پاسخ به این سوال که وضعیت خطر لرزه ای شهر پرند چگونه است، انجام شده است.

به منظور کاهش خطرپذیری لرزه ای در این شهر، ساخت و سازهای مقاوم در برابر زلزله و راهکارهای کاهش خطرپذیری اهمیت ویژه ای دارد. محاسبه شتاب زلزله که طراحی ساختمان ها بر این اساس انجام میابد از خروجی های تحلیل خطر زلزله می‌باشد. احتمال بلند مدت وقوع یک رویداد در یک منطقه به ازای یک زمان و اندازه مشخص با تحلیل و ارزیابی خطر لرزه ای امکان پذیر است که به منظور ارزیابی سطح خطر در هر ساختگاه در ترازهای مختلف طراحی و همچنین ارزیابی پایداری سازه های موجود در برابر زمین لرزه های محتمل آتی استفاده می شود(گوپتا،۲۰۰۲) بنابراین با استفاده از تحلیل خطر زلزله تصویر واقعی تری از پدیده زلزله ارائه می‌گردد تا به عنوان یک بارگزاری مهم و تاثیرگذار در طراحی سازه ها و زیرساخت های عمرانی استفاده شود (زارع،۱۳۸۸).

تحلیل های خطر زلزله به روش‌های تعیینی و احتمالاتی قابل انجام است. در تحلیل خطر لرزه ای بر اساس توصیه آیین نامه ۲۸۰۰، چشمه های لرزه ای، ضرایب لرزه خیزی و مدل‌های کاهیدگی مناسب با منطقه و در نهایت محاسبات برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال که معرف سطح طراحی ۱۰ درصد در ۵۰ سال میباشد، انجام می یابد.

تحلیل و ارزیابی خطر لرزه‌ای، تحقیقات گسترده با رنج وسیعی از کاربردهای خاص است. اصول تحلیل خطر احتمالاتی لرزه‌ای توسط (مک گور و اراباس[۱] ،۱۹۹۰)؛ (ریتر[۲] ،۱۹۹۱)، (کینیتزکی[۳] ،۱۹۹۵)، (مک گور،۱۹۹۵)،(بودنیتز و همکاران[۴]،۱۹۹۷)، (مک گور، ،۲۰۰۱ و ۲۰۰۴)، (ابراهامسون[۵] ،۲۰۰۶)، (بیکر[۶] ،۲۰۰۸)، (بومر و همکاران[۷] ،۲۰۱۳)، (تسفاماریم و گودا[۸] ،۲۰۱۳) و (سالازار[۹] ،۲۰۱۸) تبیین شده است.

اصول پایه و اولیه تحلیل خطر احتمالاتی لرزه‌ای اولین بار توسط کورنل[۱۰] در سال ۱۹۶۸ و استوا[۱۱] در سال ۱۹۶۹ معرفی شد و تا امروز به همان صورت قابل استفاده است(مک گور،۲۰۰۸). تحلیل احتمالاتی خطر لرزه‌ای به طور تیپیک یک مدل یا الگوریتم را مد نظر قرار می‌دهد که مدل‌های مولفه‌های چندگانه و عدم قطعیت آنها را برای تولید خطر ترکیب می‌کند. این مدل ها شامل ۱- مدل نرخ لرزه خیزی۲- مدل ویژگی‌های جنبش نیرومند زمین و مدل عدم قطعیت است (گرستنبرگر و همکاران[۱۲]،۲۰۲۰).

مطالعات بسیاری در مورد تحلیل خطر احتمالاتی در دنیا و ایران انجام شده است که می‌توان به مطالعات (گالو و ایسن[۱۳]،۲۰۱۶)، (داگلاس و همکاران[۱۴]، ۲۰۱۳)، (ویمر و همکاران[۱۵]،۲۰۰۹)، (سنگارا و همکاران[۱۶]،۲۰۲۰)، (خان و همکاران[۱۷]،۲۰۱۳)، (اشجه ناس و همکاران، ۱۳۹۷)، (سنگارا،۲۰۱۲)، (تریانی و همکاران[۱۸]، ۲۰۱۴)، (اشدی هارموکو و همکاران،[۱۹]۲۰۱۵)، سیلوا و همکاران[۲۰]،۲۰۱۶)، اشاره نمود.

از مطالعات دیگری که به روش احتمالاتی به برآورد بیشینه شتاب افقی جنبش زمین پرداختند می‌توان به مطالعات (رمضان یبشلی و همکاران،۲۰۱۵)، (لیل و همکاران[۲۱] ، ۲۰۱۵)، (محمدیان، ۱۳۹۹)، (شایان و زارع ،۱۳۹۳)، (حمزه لو و همکاران، ۲۰۱۲)، (سلیمان میگونی و تهرانی‌زاده، ۲۰۲۰)، (قدرتی امیری و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۳۹۴ و ۲۰۰۳)،

---

1 McGuire and Arabasz
2 Reiter
3 Krinitzsky
4 Budnitz et al
5 Abrahamson
6 Baker
7 Bommer et al
8 Tesfamariam and Goda
9 Salazar
10 Cornell
11 Esteva
12 Gerstenberger etal
13 Gullu and Iyisan
14 Douglas et al
15 Wiemer
16 Sengara et al
17 Khan, El-Emam, Irfan and Abdalla
18 Trianni, Lai and Pasqualini
19 Ashadi, Harmoko, Yuliyanto and Kaka
20 Silva et al
21 Liel et al

(نوجوان و همکاران، ۱۳۹۹)، (زارع و همکاران، ۲۰۱۵) و ۲۰۱۶، (پترسون و همکاران[1]، ۲۰۱۸، ۲۰۱۲ و ۲۰۲۰) و (موسوی و همکاران،۱۳۹۸) اشاره نمود.

داده‌ها و روش‌ها

تحلیل خطر زلزله شهر جدید پرند به روش احتمالاتی انجام یافته است که شامل چهار گام اساسی زیر می‌باشد:

گام اول: مطالعه لرزه زمین ساخت و مدل سازی چشمه‌های لرزه‌ای. در این گام از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰۰ گسل های ایران و نقشه زمین شناسی و کاتالوگ زلزله مرگز لرزه نگاری، پژوهشگاه بین المللی زلزله، USGS، EMSC استفاده شده است. این کاتالوگ شامل فهرستی از زلزله‌های رخ داده تاریخی و دستگاهی است. از این کاتالوگ برای برآورد پارامترهای لرزه خیزی استفاده شده است. به منظور حصول نتایج دقیق، تصحیح کاتالوگ زلزله‌ها ضروری به نظر میرسد که این تصحیحات شامل یکسان سازی یا همسان سازی پارامترها و حذف پس لرزه ها و پیش لرزه هاست. احتمال وقوع در تمام نقاط هر چشمه لرزه زا در این گام در نزدیکترین فاصله با ساختگاه، یک و در سایر نقاط صفر درنظر گرفته شده است.

چشمه‌ها می‌توانند به صورت خطی، ناحیه‌ای و سه بعدی باشند. در این تحقیق چشمه های لرزه ای به صورت ناحیه-ای انتخاب شده است.

گام دوم: توسعه مدل لرزه خیزی و بدست آوردن پارامترهای لرزه ای. در این گام از میانگین رخداد یک زمین لرزه برای هر پهنه لرزه زا استفاده شده است. در این مرحله، رابطهٔ تکرار، توزیع بزرگا و میانگین باز رخداد محاسبه شده است. رابطهٔ تکرار بزرگا، رابطهٔ بین تعداد زلزله‌ها با سطح بزرگاهای مختلف است که اغلب با قانون تکرار گوتنبرگ - ریشتر بیان می‌شود(رابطه۱)

$$LoG\ \lambda_m = a - bM \qquad (۱)$$

در این رابطه M معرف بزرگا و λ_m تعداد زلزله‌هایی است که از بزرگای M بزرگتر و یا مساوی هستند می‌باشد. مقادیر a و b ثابت های این رابطه هستند.

و نیز با توجه به‌این که می‌توان یک حد بیشینه برای بزرگا در نظر گرفت، تابع چگالی احتمالی بزرگا به صورت زیر محاسبه گردید(رابطه۲):

$$f_M = C\beta e^{-\beta(M-m_,)}, c = \frac{1}{1-e^{-\beta(M-m_,)}} \qquad (۲)$$

در روش تحلیل خطر احتمالی، یک مسأله ساده دارای محاسبات بسیار زیادی می‌باشد. با داشتن تکرار زلزله، احتمال این که زلزله‌ای با بزرگا و فاصله‌ای در محدوده‌ای خاص اتفاق افتد، باید محاسبه شود. برای رویداد یک زلزله، احتمال این که بزرگای آن در قسمت i ام بخش‌بندی بزرگا قرار گیرد، به صورت زیر محاسبه گردید:

$$f\left(M_i - \frac{\Delta M}{2} \le M \le M_i + \frac{\Delta M}{2}\right) = f(M_i).\Delta M \qquad (۳)$$

[1] Petersen et al

انتخاب m_{max} نسبت به $m_{\circ}$ تأثیر بسیار بیشتری بر روی نتایج می‌گذارد و از چشمه‌ای به چشمهٔ دیگر متفاوت است. در انتخاب بزرگای حداکثر بررسی‌های زمین‌شناسی، رابطهٔ بین بزرگای حداکثر و پهنای گسل و طول گسل، و نیز دیرینه‌شناسی گسل و ... نقش دارند.

در روش تحلیل خطر احتمالاتی هدف ارزیابی خطرات از روی آزاد شدن انرژی لرزه‌ای مستقل و مجزا است. در نتیجه حوادث غیرمستقل بایستی از مجموعهٔ اطلاعات لرزه‌خیزی تفکیک گردیده و اثرات آن ها در تحلیل های جداگانه مورد توجه قرار گیرد. کامل بودن اطلاعات نیز باید مد نظر باشد. سوابق تاریخی برای زلزله‌های بزرگ معمولاً کامل تر از زلزله‌های کوچک می‌باشد لذا در نظر گرفتن زلزله‌های تاریخی کمک بسیاری به برآورد دقیق‌تر در تحلیل خطر احتمالی می‌کند. به همین منظور در این تحقیق، از زلزله های تاریخی محدوده استفاده گردید که در بخش توزیع زمین‌لرزه‌های تاریخی در گستره به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است.

گام سوم: انتخاب رابطه کاهندگی یا مدل برآورد جنبش‌های نیرومند زمین. در این گام عدم قطعیت‌های موجود در روابط کاهندگی لحاظ شده است. برای برآورد جنبش نیرومند زمین بعد از شناخت چشمه های لرزه ای و رابطهٔ تکرار با مقادیر m_{max} و $m_{\circ}$ تعیین شدند. در این مرحله نیاز است رابطهٔ کاهندگی مناسبی با توجه به ساز و کار چشمه‌ها و شرایط زمین‌شناسی به منظور برآورد جنبش شدید زمین تعیین شود.

گام چهارم: تحلیل خطر احتمالاتی زلزله. در این گام با ترکیب عدم قطعیت‌ها در موقعیت زمین لرزه و بزرگای آن پارامترهای جنبش نیرومند زمین در یک دوره زمانی خاص تعیین گردید. احتمال افزایش جنبش زمین در Kامین چشمه از یک شتاب مورد نظر از رابطهٔ زیر به دست می آید:

$$P_k(PGA > acc \mid EQ_k = \iint P(PGA > acc|EQ : M,R).f(M).f(R).dM.dR \qquad (۴)$$

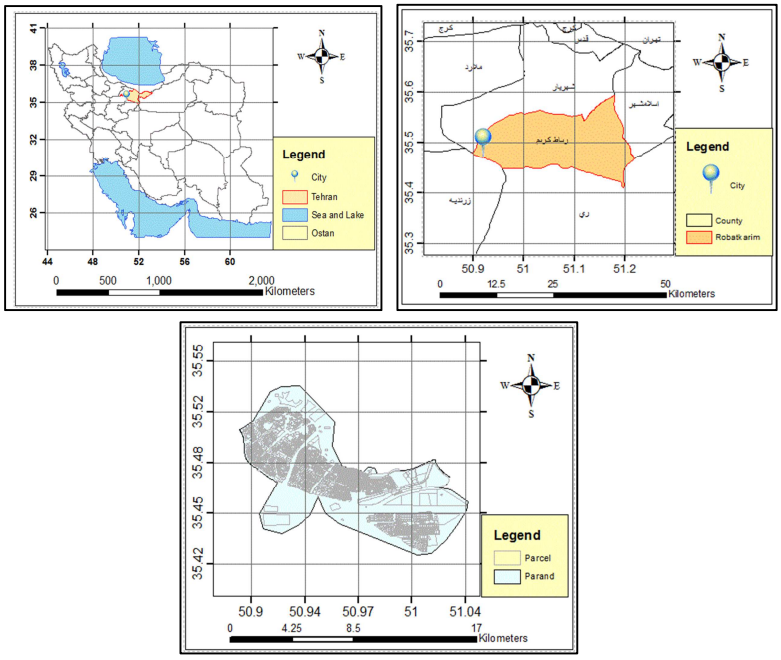
این رابطه با تقسیم‌بندی بزرگا و فاصله، به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$P_k(PGA > acc \mid EQ_k) = \sum_j \sum_i P\big(PGA > acc|EQ_k : M_i,R_j\big).f(M_i)\Delta M.f\big(R_j\big).\Delta R \qquad (۵)$$

رابطهٔ بالا احتمال وقوع زلزله‌ای با بیشینه شتاب بیش از شتاب مورد نظر می‌باشد و احتمال وقوع زلزله را در آینده نشان نمی‌دهد. به منظور محاسبهٔ وقوع مخاطرات مختلف در یک پریود زمانی معلوم، توزیع وقوع زلزله با زمان مورد توجه قرار گرفت. از انجا که احتمال وقوع یک زلزله بر روی یک قطعهٔ مخصوص گسل، به طریقی به مدت زمان گذشته از آخرین زلزله و شاید به مقدار انرژی آزاد شده بستگی دارد، از دیدگاه احتمالات، زلزله‌های گسترش جانبی روی یک بخش به خصوص از گسل نبایستی به صورت وقایع مستقل و تصادفی در نظر گرفته شوند.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شهر جدید پرند است که در جنوب غربی تهران و در مسیر آزادراه تهران ـ ساوه واقع شده است. قسمتهای شمالی این شهر در نقشه پهنه بندی خطر آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۴ در منطقه با لرزه خیزی بسیار زیاد و قسمت های عمده شهر در قسمت های با لرزه خیزی زیاد قرار دارد.

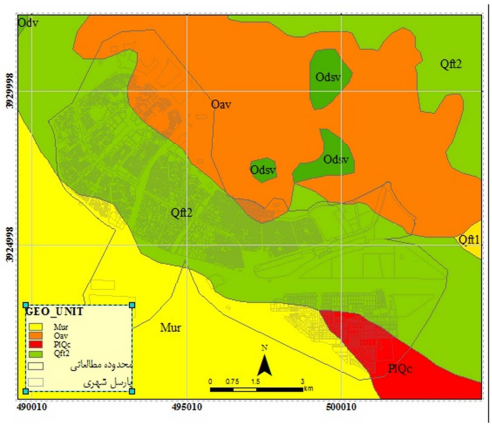


شکل ۱: موقعیت شهر جدید پرند در کشور و شهرستان

یافته‌های تحقیق

ویژگی‌های زمین شناسی و زمین ساختی محدوده شهری پرند

همانطوری که در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد، محدوده شهری پرند بر روی واحدهای سنگی آبرفتی Oav متشکل از جریان های خاکسترهای آتشفشانی آندزیتی مربوط به الیگوسن، Mur متشکل از مارن های قرمز آهندار، ماسه سنگ و کنگلومرا مربوط به سازند قرمز بالایی وQft2 متشکل از ته نشست های تراس های آبرفتی و PIQc متشکل از کنگلومرا و ماسه سنگ واقع شده است. همانطوری که ملاحظه می شود، بخش عمده ای از شهر برروی ته نشست‌های تراس های آبرفتی قرار دارد.



شکل۲: نقشه زمین‌شناسی شهر جدید پرند

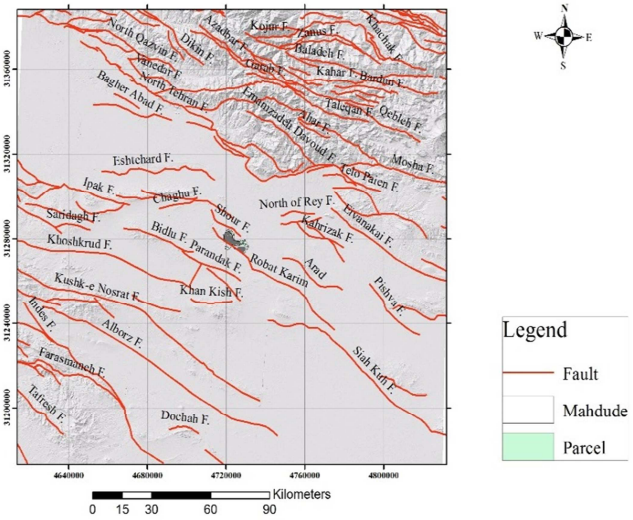
شناسایی گسل‌های شعاع صد کیلومتری شهر جدید پرند به عنوان چشمه‌های لرزه‌زا

گسل‌های فعال هر منطقه منشا زمین‌لرزه‌های رخ داده هستند. در محاسبات خطر زمین‌لرزه لازم است تا گسل‌ها در منطقه مورد نظر شناسایی و معرفی گردند. در این تحقیق گسل‌های فعالی که در شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر پرند واقع شده‌اند مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار از نقشه گسل‌های ایران (سازمان زمین‌شناسی کشور) و نقشه گسل‌های فعال ایران (پژوهشگاه زلزله) استفاده شده است (شکل۳). بر پایه اطلاعات موجود در شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر پرند گسل‌های زیادی قرار گرفته است. در ادامه تعدادی از مهمترین این گسل‌ها که از لحاظ تکتونیکی اهمیت بیشتری داشته و پیشینه لرزه خیزی مشخصی دارند به طور مختصر معرفی شده‌اند:

* **گسل رباط کریم:** این گسل از نوع معکوس بزرگ زاویه با شیب به سمت جنوب غرب بوده و دارای مولفه امتداد لغز چپ‌گرد می‌باشد.

* **گسل شمال ری:** شیب این گسل به سمت شمال بوده و علاوه بر مولفه راندگی، مولفه امتداد لغز چپگرد نیز در آن مشاهده شده است.

* **گسل جنوب ری:** مکانیسم اصلی این گسل از نوع راندگی است.



شکل۳: نقشه گسل‌های شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر پرند

* **گسل مشا:** مکانیسم اصلی این گسل از نوع امتداد لغز چپگرد است ولی مولفه شیب لغز راندگی نیز دارد. شیب گسل به سمت شمال بوده و مقدار شیب آن بین ۳۵ تا ۷۰ درجه متغیر است

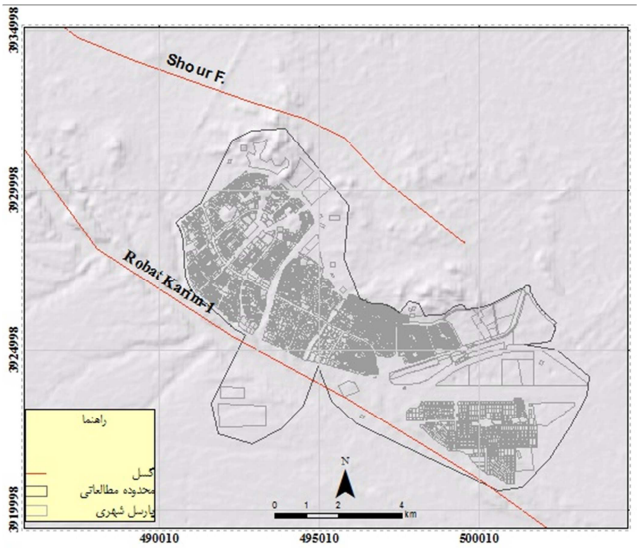
* **گسل پورکان وردیج:** این گسل از نوع راندگی با شیب به سمت شمال است که در فاصله کمتر از دو کیلومتری شمال پهنه گسل شمال تهران در دره کن شروع شده و پس از گذر از روستای وردیج، از شمال پورکان در جاده چالوس گذشته و در نهایت به راندگی باغستان می‌رسد.

* **گسل شمال تهران:** گسل شمال تهران از چند قطعه همپوشان[1] تشکیل شده که علاوه بر مکانیسم اصلی راندگی، حرکات امتداد لغز چپ‌گرد نیز در آن‌ها دیده می‌شود. شیب این گسل در نواحی مختلف متغیر بوده و از ۱۰ درجه تا ۸۰ درجه اندازه‌گیری شده است.

* **گسل کوشک نصرت:** مکانیسم شیب لغزی این گسل از نوع معکوس است ولی به نظر می‌رسد که مولفه راستالغزی آن در طول زمان های مختلف زمین شناسی و در قطعات مختلف به صورت راستگرد یا چپگرد بوده است.

بررسی گسل‌های عبوری از شهر جدید پرند

افزون بر گسل‌های زیادی که در شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر پرند دیده می‌شود، گسل‌هایی که از محدوده شهری این شهر عبور می‌کند از اهمیت زیادی برخوردار است. بدیهی است که شناسایی و تدقیق محل این گسل‌ها در تحلیل خطر لرزه‌ای شهر پرند اهمیت بسیاری داشته و با تهیه نقشه حریم این گسل‌ها میتوان تمهیدات مهندسی ویژه‌ای برای توسعه شهری پرند ارائه نمود. در شکل۴ گسل های محدوده شهری پرند از نمایی نزدیکتر نشان داده شده است.



شکل۴: نقشه گسل‌های محدوده شهری پرند از نمایی نزدیک‌تر

بررسی میدانی گسل‌ها

همانگونه که در تصویر ماهواره‌ای مشاهده می‌شود، گسل رباط کریم از حاشیه غرب و جنوب غرب شهر پرند عبور می کند. گسل رباط کریم یکی از گسل‌های اصلی و مهم این گستره بوده و حدود ۹۰ کیلومتر طول دارد یعنی درازای آن مشابه گسل شمال تهران است. چنین گسل‌های به طور معمول یک خط گسلی واحد نبوده بلکه به صورت یک پهنه گسله می‌باشند. در پهنه‌های گسل معمولا شاخه‌های متعدد گسلی وجود دارد که بیشتر آنها موازی گسلی اصلی بوده و برخی نیز با آن زاویه می‌سازند. خردشدگی شدید نهشته های سنگی در چندین نقطه از شهر پرند(شکل۵) نشان می‌دهد که به احتمال زیاد شاخه‌های فرعی گسل در این شهر وجود دارد.

[1] en echelon



شکل۵: خردشدگی شدید سازندهای سنگی در اثر گسلش

ارزیابی زمین‌لرزه‌ها

توزیع زمین‌لرزه‌های تاریخی در گستره

زمین‌لرزه‌های تاریخی متعددی به دلایل موقعیت خاص گستره در منابع مختلف ثبت شده‌اند. زمین لرزه‌های تاریخی گزارش شده در این تحقیق از آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲) اقتباس شده است (جدول۱). با استناد به داده‌های بدست آمده نقشه توزیع زمین‌لرزه‌های تاریخی (شکل۶) تهیه شده است.

جدول۱: زمین‌لرزه‌های تاریخی در ۱۰۰ کیلومتری از مرکز شهر

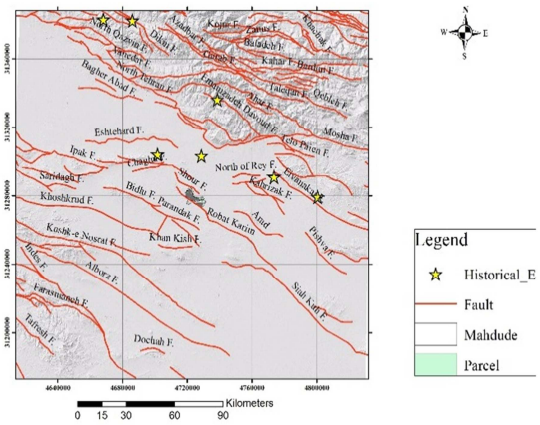
بزرگا (ریشتر)	سال وقوع	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۵,۳	۸۶۴	۳۵,۷۰	۵۱,۰۰
۵,۹	۱۸۰۸	۳۶,۴۰	۵۰,۳۰
۷,۱	۸۵۵	۳۵,۶۰	۵۱,۵۰
۷,۲	۱۱۷۷	۳۵,۷۰	۵۰,۷۰
۷,۶	-۴	۳۵,۵۰	۵۱,۸۰
۷,۶	۱۶۰۸	۳۶,۴۰	۵۰,۵۰
۷,۷	۹۵۸	۳۶,۰۰	۵۱,۱۰

همانطوری که ملاحظه می‌گردد ۷ زمین‌لرزه تاریخی در گستره به وقوع پیوسته است که نزدیکترین آن به شهر زمین لرزه با بزرگای ۵,۳،۷,۱ و ۷,۲ در سال‌های ۸۶۴،۸۵۵ و ۱۱۷۷ میلادی بوده است.

بزرگترین زلزله‌های تاریخی به وقوع پیوسته در اطراف شهر عبارتند از:

- زمین لرزه تاریخی با بزرگای ۷,۷ در سال۹۵۸
- زمین لرزه تاریخی با بزرگای ۷,۶ در سال۴-[1] و ۱۶۰۸
- زمین لرزه تاریخی با بزرگای۷,۲ در سال۱۱۷۷

[1] منظور ۴ سال پیش از میلاد مسیح است.



شکل۶: زمین‌لرزه‌های تاریخی در گستره

توزیع زمین‌لرزه‌های دستگاهی در گستره

زمین‌لرزه‌های دستگاهی به زمین‌لرزه‌های اطلاق می‌شود که داده‌های آن به وسیله دستگاه‌های لرزه‌نگاری به دست آمده باشد. در دهه‌های سده بیستم داده‌های دستگاهی دارای خطاهای گوناگونی بوده است که این خطاها با افزایش تعداد ایستگاه‌های لرزه نگاری و نیز با تکمیل دستگاه‌ها به ویژه برای زمین‌لرزه‌های بزرگ کم شده است (آمبرسیز،۱۹۷۸، بربریان ۱۹۷۹). زمین‌لرزه‌های دستگاهی مورد استفاده در گستره مورد مطالعه شامل تمامی زلزله-های گزارش شده توسط مراجع داخلی و خارجی معتبراز سال۱۹۰۰ تا۲۰۲۰ می‌باشد که در سه نوع زلزله‌های کوچک، زلزله‌های متوسط و زلزله‌های بزرگ مورد بررسی قرار گرفته است(شکل۷). زلزله‌های دستگاهی مربوط به گستره به شرح زیر است:

+ تعداد کل زلزله‌ها ۵۳۳

+ تعداد زلزله‌های با بزرگای ۵-۴: ۴۲ زلزله

+ تعداد زلزله‌های با بزرگای ۶-۵: ۹ زلزله

+ تعداد زلزله‌های با بزرگای بزرگتر مساوی۶: ۱۸ زلزله

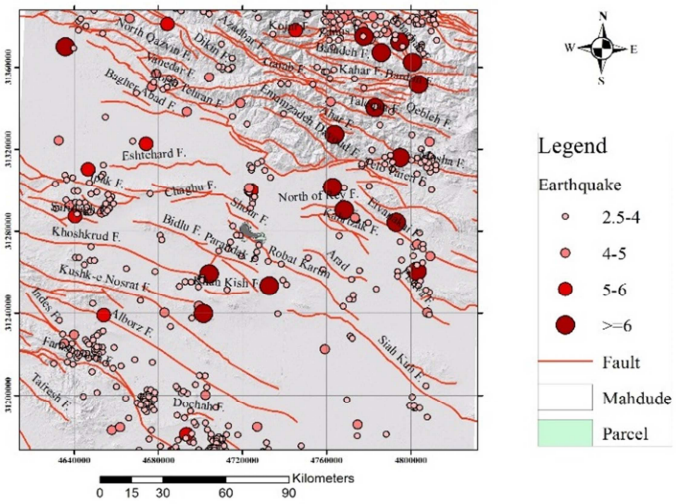
* زمین‌لرزه‌های کوچک: مطالعه بر روی زلزله‌های کوچک برای بررسی فعالیت گسل‌های منطقه بسیار پراهمیت است. تعداد زیادی خردلرزه در روی نقشه دیده می‌شود که تقریباً در قسمت شمال غرب و جنوب غرب منطقه تراکم بیشتری دارد و تعداد آن ۴۶۴ است(شکل۷).

* زمین‌لرزه‌های متوسط: بزرگای زمین‌لرزه‌های متوسط در این مطالعه بین ۶-۴ انتخاب گردید. همانطور که در شکل۷ ملاحظه می‌گردد زمیــن‌لرزه‌های متوسط در شمال منطقه بیشتر است. تعداد کل زمین‌لرزه‌های متوسط ۵۱ رویداد است. نزدیکترین زمین لرزه به گستره شهری در فاصله حدود ۱۷ کیلومتری واقع شده است.

* زمین‌لرزه‌های بزرگ: تعداد زمین لرزه بزرگ(Mw>=6) در گستره ۱۸ رویداد است. زلزله‌های بزرگ منطقه در اطراف گستره ملاحظه می‌گردد(شکل۷). نزدیکترین زمین لرزه از گستره شهری حدود ۲۴ کیلومتر فاصله دارد.

توزیع زمین‌لرزه‌ها نسبت به بزرگا

شکل۸ الف توزیع زمین‌لرزه‌ها نسبت به بزرگا را نشان می‌دهد. در این نمودار تعداد زمین‌لرزه‌های کوچک فراوانی زیادی داشته و توزیع آنها به سمت زلزله‌های بزرگتر کاهش پیدا می‌کند.



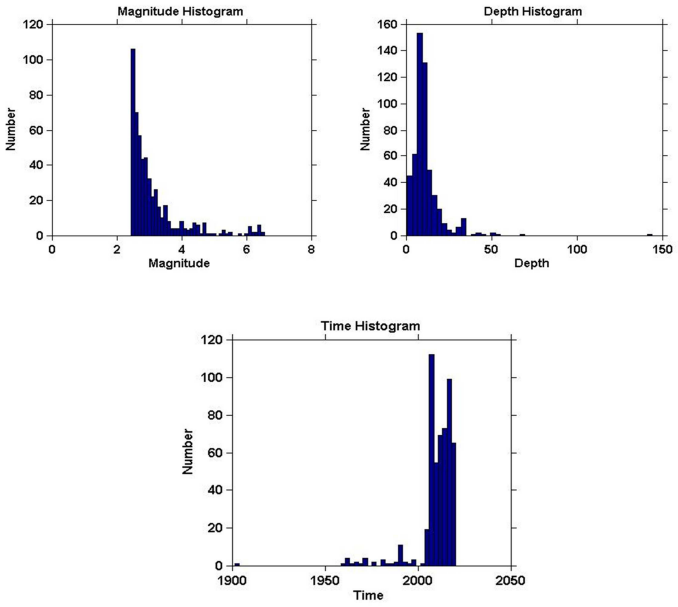
شکل۷: نقشه رومرکز زمین لرزه‌های دستگاهی

توزیع زمین‌لرزه‌ها نسبت به زمان

رخداد زمین‌لرزه‌های در طول بازه زمانی از پارامترهای موثر در بررسی‌های لرزه‌خیزی است. این مساله میتواند در برآوردهای مربوط به دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها نیز مفید باشد. در شکل۸ ب نمودار ستونی تعداد رخداد زمین‌لرزه‌ها در طول زمان آورده شده است. با توجه به افزایش تعداد لرزه نگارها در سال‌های اخیر، ثبت زمین لرزه ها نسبت به زمان افزایش پیدا کرده است.

توزیع زمین‌لرزه‌ها نسبت به عمق

همان طور که در شکل۸ ج مشاهده می‌گردد بیشترین رخدادها در عمق ۱۰ تا۲۰ کیلومتری زمین است.

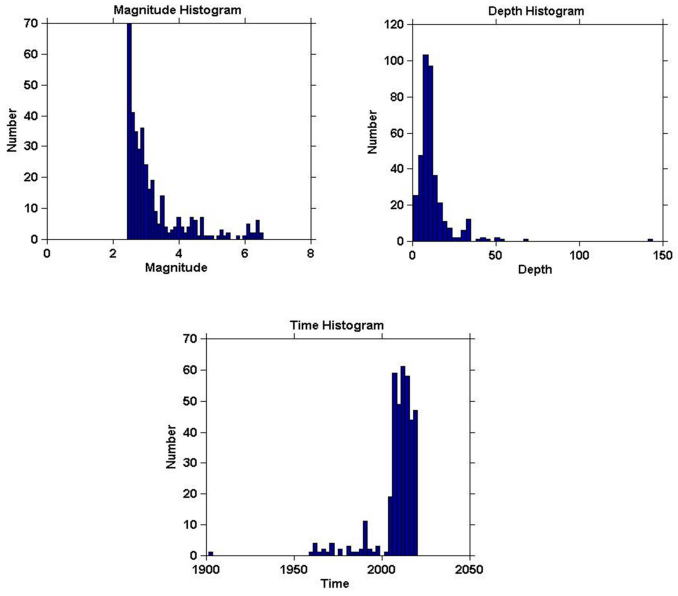


شکل۸: نمودار تعداد رخداد زمین‌لرزه‌های گستره نسبت به عمق، بزرگا و زمان

نتایج و بحث

حذف پس‌لرزه‌ها

معمولا پسلرزه‌ها بلافاصله پس از زمین‌لرزه اصلی شروع می شوند و در کل حجم چشمه پخش هستند. فراوانی پسلرزه‌ها به سرعت کاهش می‌یابد (زارع،۱۳۸۸). برای عملیات حذف پس لرزه ها از روش گاردنر نوپوف بر اساس الگوریتم پنجره‌های زمانی- مکانی حذف پس لرزه‌ها صورت گرفت و در بین حدود ۵۳۳ زمین لرزه، ۳۷۸ زمین‌لرزه بدست آمد. در شکل۹ رخداد زمین‌لرزه‌های گستره نسبت به عمق، بزرگا و زمان پس از حذف پسلرزه‌ها نشان داده شده است.



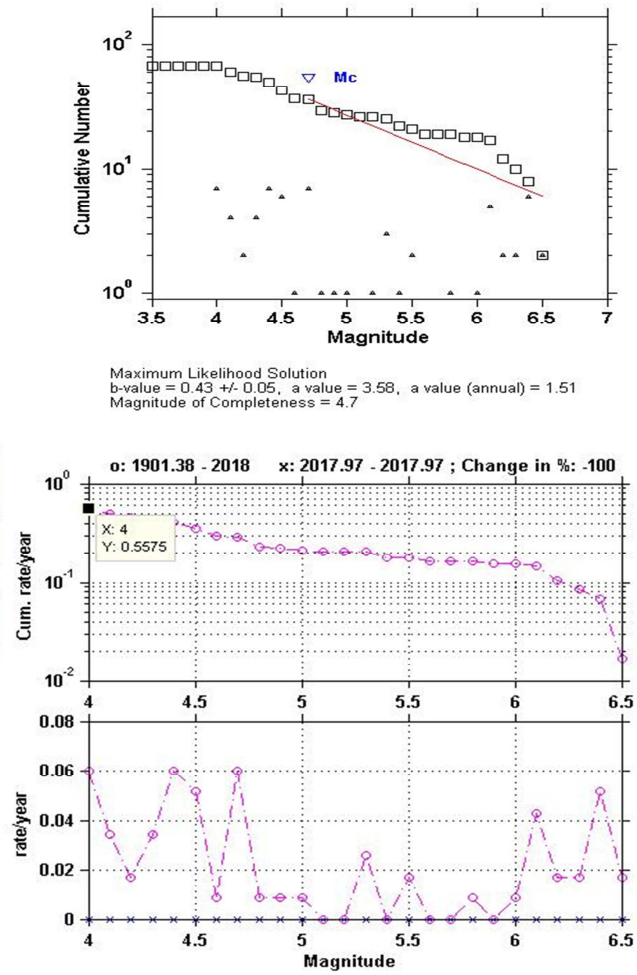
شکل۹: نمودار تعداد رخداد زمین‌لرزه‌های گستره نسبت به عمق، بزرگا و زمان پس از حذف پسلرزه

تعیین ضرایب لرزه‌خیزی

ضرایب لرزه‌خیزی a-value و b-value برای برآوردهای خطر زمین‌لرزه با اهمیت هستند. به طوری که برای تعیین لرزه‌خیزی هر منطقه به سه پارامتر بیشینه زمین‌لرزه محتمل، ضرایب لرزه‌خیزی و نرخ رویداد زمین لرزه‌ها نیاز است. برای تعیین ضرایب لرزه‌خیزی در یک منطقه چندین روش متداول (کمپل–بزرگ‌نیا، III,I,S، روش گوتنبرگ-ریشتر و کیکو- سلویل) تاکنون پیشنهاد شده است.

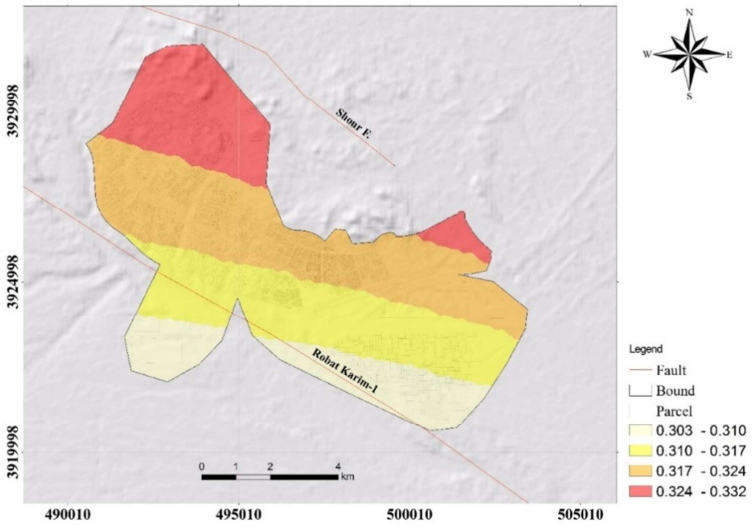
ضریب لرزه خیزی b-value عددی است ثابت و بر اساس توان لرزه‌زایی عوارض تکتونیکی هر منطقه متفاوت است و ضریب a -value که یکی از ضرایب مهم لرزه‌خیزی است بیانگر میزان کل نرخ لرزه‌خیزی در منطقه است (گوتنبرگ و ریشتر،۱۹۵۴)[1] بر طبق رابطه گوتنبرگ-ریشتر که نمودار آن در شکل۱۰ دیده می‌شود، برای محدوده شهر پرند مقدار۰,۴۳=b و مقدار ۳,۵۸ = a برآورد شده است. نرخ لرزه‌خیزی در محدوده مورد مطالعه برای بزرگای ۴ و بزرگ-تر، ۰,۵۶ است.

[1] Gutenberg and Richter



شکل۱۰: بالا- ضرایب لرزه خیزی a , b پایین- نرخ لرزه خیزی برای زلزله های ۴ و بزرگتر در شعاع ۱۰۰ کیلومتری

قسمت شمال غربی و شرق محدوده شهری پرند که به رنگ قرمز نشان داده شده است دارای بیشترین خطر است. قسمت جنوبی این محدوده دارای کمترین خطر بوده و بخش‌های مرکزی دارای خطر متوسط تا بالاست.



شکل۱۱: نقشه پهنه‌بندی شتاب سنگ کف

تحلیل خطر زلزله

در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای و دستورالعمل‌های بررسی آسیب‌پذیری و مقاوم‌سازی، تحلیل خطر لرزه‌ای، به عنوان ابزاری بسیار ضروری برای محاسبه و برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین برای زمین‌لرزه محتمل در آینده در سایت مورد نظر معرفی شده است. در تدوین سناریوهای زلزله نیز نقشه پهنه بندی خطر زلزله برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله به عنوان یکی از زلزله‌های سناریو که توان ایجاد جنبش نیرومندی نظیر مقادیر شتاب نقشه خطر زلزله را داشته باشد، مطرح می‌باشد و از این نظر مهم است. نتایج تحلیل خطر به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر که هر کدام از این نقشه‌ها، در اصل بیان کننده توزیع مقادیر بیشینه شتاب در پریودهای مختلف هستند؛ ارائه می‌گردند. انجام برآورد خطر زمین‌لرزه در این شهر به روش احتمالی و با روش کمپل- بزرگ نیا است و برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله محاسبه شده است.

در شکل۱۱ نقشه پهنه بندی شتاب سنگ کف شهر پرند نشان داده شده است. همانطوری که ملاحظه می‌گردد، در این شهر ۴ پهنه مشاهده می‌شود. این چهار پهنه عبارتند از:

* پهنه با شتاب(۰,۳۰۳-۰,۳۱۰)
* پهنه با شتاب(۰,۳۱۰-۰,۳۱۷)
* پهنه با شتاب(۰,۳۱۷-۰,۳۲۴)
* پهنه با شتاب(۰,۳۲۴-۰,۳۳۲)

اثر بزرگنمایی خاک براساس اطلاعات گمانه‌های موجود

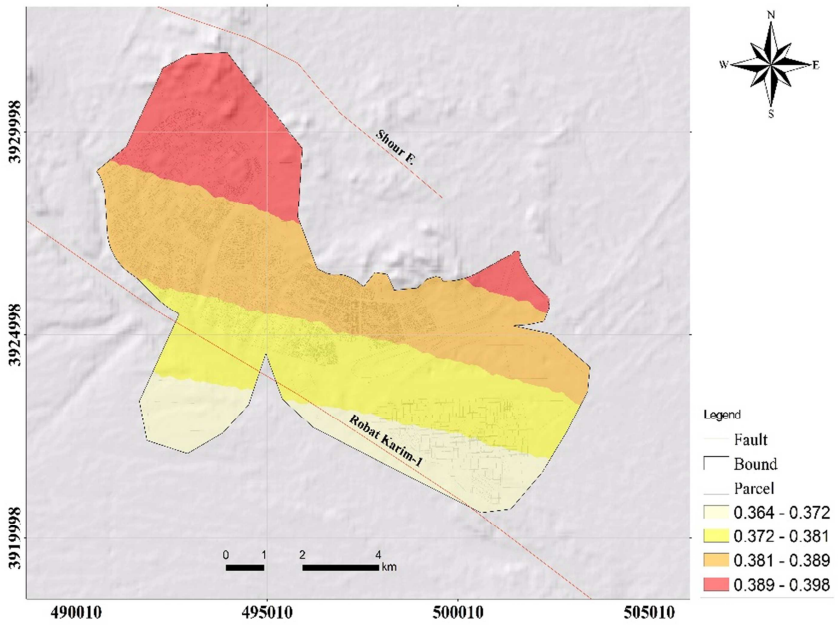
خصوصیات خاک می‌تواند امواج لرزه‌ای را تشدید کند. نوع و رفتار خاک در مطالعات زلزله‌ها بسیار مهم است به طوری که در مطالعات فراوانی مشخص شده است که خاک‌های رسی سست، خاک دانه‌ای و برجا بر حسب وضعیت ساختاری می‌توانند مشابه سنگ هوازده و ضعیف عمل کنند از روی نوع و رفتار خاک می‌توان به میزان تاثیر آنها در

تشدید امواج لرزه ای پی برد. معمولا لایه‌های آبرفتی امواج زلزله را تقویت می‌کنند و حداکثر شتاب بر روی سطح زمین بیش از روی سنگ بستر می‌باشد. نوع خاک منطقه از روی گمانه موجود شن، ماسه و خاک رس و همچنین سیلت شنی میباشد. با توجه به نوع خاک محدوده مورد مطالعه ضریب بزرگنمایی ۱,۲ می‌باشد. که با تاثیر این ضریب بر روی شتاب سنگ کف میزان شتاب بر روی سطح زمین ۰,۳۹g برآورد می شود. این عدد در عملیات‌های مهندسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

برآورد شتاب در سطح زمین و منحنی‌های طیفی در نقطه وسط شهر

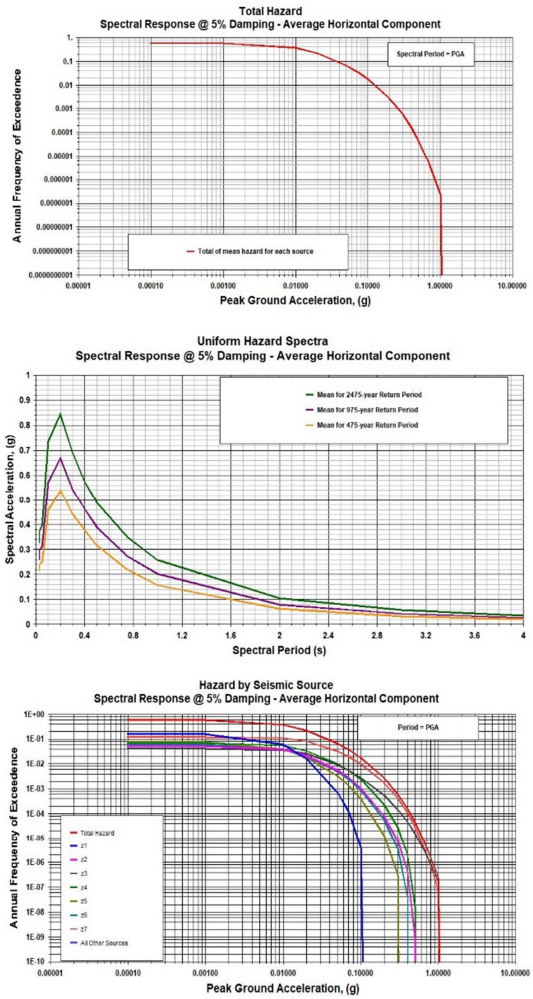
طیف خطر یکنواخت[1] برای هر نقطه دلخواه در گستره مورد مطالعه قابل ارائه است. با دانستن مقدار شتاب بیشینه هر زلزله، با مقیاس کردن طیف تهیه شده می‌توان بطور تقریبی و سریع، طیف خطر یکنواخت زلزله را ارائه داد. اهمیت تهیه طیف‌های خطر در طراحی های لرزه ای سازه‌ها، بعنوان مبنایی‌ترین کار در برآورد طیف پاسخ، آشکار است. این طیف، رفتار ساختمان‌ها بر حسب ارتفاع آنها را کنترل خواهد نمود. به همین منظور شتاب و منحنی‌های طیفی در وسط شهر مورد بررسی قرار گرفت. در شکل۱۳-الف وضعیت منحنی‌های طیفی در وسط شهر نشان داده شده است که بر این اساس شتاب مبنای طرح ۰,۳۳g است.

این عامل از اهمیت ویژه ای برخوردار است که میتواند برای اولویت بندی مکانی جهت ساخت و ساز و سامانه پاسخ سریع زلزله مورد استفاده قرار گیرد. تاثیرگذارترین چشمه‌لرزه‌ای در گستره مورد مطالعه z۲ در بخش شمالی است.(شکل۱۳- ب) در شکل۱۳- ج برای سه دوره بازگشت ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال به ازا پریودهای صفر تا ۴ ثانیه شتاب بدست آمده است.



شکل۱۲: نقشه پهنه‌بندی شتاب با در نظرگرفتن اثر بزرگنمایی خاک

[1] Uniform hazard spectra



شکل ۱۳: منحنی‌های طیف خطر

نتیجه‌گیری

شهر پرند از شهرهای جدید مهم در استان تهران است. این شهر در طبقه بندی ایالت های لرزه زمین ساختی آقانباتی در ایالت لرزه زمین ساختی ایران مرکزی قرار دارد. از نظر ویژگی های زمین شناسی بخش عمده ای از شهر بر روی ته نشست های تراس های آبرفتی قرار گرفته است. بر پایه اطلاعات موجود در شعاع ۱۰۰ کیلومتری شهر پرند گسل‌های زیادی قرار گرفته است. از مهمترین این گسل‌ها که از لحاظ تکتونیکی اهمیت بیشتری داشته و پیشینه لرزه خیزی مشخصی دارند می توان به گسل رباط کریم، گسل شمال و جنوب ری، گسل مشا، گسل پورکان وردیج، گسل شمال تهران، گسل کوشک نصرت و گسل شور اشاره نمود که در این میان گسل شور و رباط کریم از محدوده شهری عبور نموده است.

از نظر رخداد زمین لرزه ها، ۷ زمین‌لرزه تاریخی در گستره به وقوع پیوسته است که نزدیکترین آن به شهر زمین لرزه با بزرگای ۵,۳،۷,۱ و ۷,۲ در سال‌های ۸۶۴،۸۵۵ و ۱۱۷۷ میلادی بوده است.

زلزله‌های دستگاهی مربوط به گستره شامل ۵۳۳ زمین لرزه است که ۱۸ زمین لرزه مربوط به بزرگای بزرگتر مساوی ۶ ریشتر است. نزدیکترین زمین لرزه از گستره شهری حدود ۲۴ کیلومتر فاصله دارد. عمق زمین لرزه های رخ داده در منطقه بین ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر است. تعداد زمین لرزه ها در بازه زمانی ۲۰۰۵ به بعد افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد.

توزیع زمین‌لرزه‌ها نسبت به بزرگا نشان دهنده رخداد تعداد زمین‌لرزه‌های کوچک فراوان است که توزیع آنها به سمت زلزله‌های بزرگتر کاهش پیدا کرده است. در این تحقیق، تعداد ۷ زون لرزه ای شناسایی شده است که تاثیرگذارترین چشمه‌لرزه‌ای در گستره مورد مطالعه z۲ در بخش شمالی است. در این تحقیق، برای سه دوره بازگشت ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال به ازا پریودهای صفر تا ۴ ثانیه شتاب بدست آمده است.

ضرایب لرزه خیزی a و b برای منطقه برآورد شده است که مقدار۰,۴۳=b و مقدار ۳,۵۸ = a است و نرخ لرزه‌خیزی در محدوده مورد مطالعه برای بزرگای ۴ و بزرگ‌تر، ۰,۵۶ است.

برآورد خطر زمین‌لرزه در این شهر به روش احتمالی و با روش کمپل- بزرگ نیا است و برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله محاسبه شده است که در نتیجه آن،۴ پهنه با شتاب های مختلف قابل تفکیک است. این چهار پهنه عبارتند از:

* پهنه با شتاب(۰,۳۰۳-۰,۳۱۰)
* پهنه با شتاب(۰,۳۱۰-۰,۳۱۷)
* پهنه با شتاب(۰,۳۱۷-۰,۳۲۴)
* پهنه با شتاب(۰,۳۲۴-۰,۳۳۲)

قسمت های شمالی شهر پرند دارای بیشترین شتاب و قسمت های جنوبی شهر دارای کمترین شتاب میباشد. نوع خاک منطقه از روی گمانه های موجود شن، ماسه و خاک رس و سیلت شنی می‌باشد که با تاثیر اثر خاک بر روی شتاب سنگ کف میزان شتاب بر روی سطح زمین g۰,۳۹ برآورد می شود. این عدد در عملیات‌های مهندسی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که می‌تواند برای اولویت‌بندی مکانی جهت ساخت و ساز و سامانه پاسخ سریع زلزله مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

آقانباتی، علی.(۱۳۸۳). زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۶۰۰ صفحه.

آمبرسیز، نیکلاس، ملویل، چارلز پیتر.(۱۳۷۰). تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران. ترجمه ابوالحسن‌زاده، انتشارات آگاه، تهران، ۶۷۴ صفحه.

اشجع ناس، پریسا، نصرآبادی، افسانه، سپهوند، محمدرضا، موسوی بفروئی، سید حسن. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی و تحلیل خطر زمین‌لرزه در استان فارس. فصلنامه علوم و مهندسی زلزله، سال پنجم، شماره ۴ ،۳۶-۲۱.

زارع، مهدی. (۱۳۸۸). مبانی تحلیل خطر زمین لرزه تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله،۱۵۲صفحه.

شایان، سیاوش، زارع، غلامرضا. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی زمین‌لرزه‌های رخداده در استان فارس طی سال‌های 6277 تا 8767 میلادی و مقایسه آن با دیگر یافته‌های پژوهشی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره۱۱۲، ۸۹-۱۰۴.

قدرتی امیری، غلامرضا، رضویان امرئی، سید علی، طهماسبی بروجنی، محمد علی.(۱۳۹۴). تحلیل خطر لرزه‌ای و تهیه طیف خطر یکسان برای مناطق مختلف شهر کرمان. نشریه مهندسی سازه و ساخت، شماره ۲، ۴۳-۵۱.

قدرتی امیری، غلامرضا، رضویان امرئی، سید علی، میرهاشمی، محمد.(۱۳۸۹). طیف خطر یکسان برای مناطق مختلف جنوب شهر تهران.مهندسی عمران، شماره۳ ،۶۰-۵۱.

محمدیان، میلاد.(۱۳۹۹). تحلیل خطر احتمالی ریسک محور زمین‌لرزه بندر سیراف. فصلنامه جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۳۴، ۶۱-۸۲ .

موسوی، سید ساجدین، سامانی، بابک، منشدی مهادری، مریم.(۱۳۹۸). تحلیل خطر زلزله در شهرستان ایذه، استان خوزستان، فصلنامه زمین ساخت، شماره ۱۲،۴۳-۵۱.

نوجوان، کاظم، برزگری، امیر، محمدیان، میلاد. (۱۳۹۹). تحلیل خطر احتمالی زمینلرزه با در نظر گرفتن مفهوم ریسک محوری (مطالعه موردی الفین۱۴). دانش پیشگیری و مدیریت بحران.۱۰(۱)، ۷۴-۹۰.

نبوی، محمد حسن.(۱۳۵۵). دیباچه ای بر زمین شناسی ایران: سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره۹۸، ۷۷۶صفحه.

Ambraseys, Nicholas and Melville, Charles Peter. (1982). A history of Persian earthquakes: Cambridge university press.

Abrahamson, N. (2006). Seismic hazard assessment: problems with current practice and future developments, paper presented at First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland.

Alavi, M.(1991). Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin, 103(8), 983-992.

Alavi Naini, M.(1972). Etudegeologiquedelaergiondedjam: Geological Survey of Iran Reports23, pp.1–45 (in French).

Ashadi, A. L., Harmoko, U., Yuliyanto, G. and Kaka, S. I. (2015).Probabilistic Seismic-Hazard Analysis for Central Java Province, Indonesia. Bulletin of the Seismological Society of America, 105(3), 1711-1720.https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/105/3/1711/332294/Probabilistic-Seismic-Hazard-Analysis-for-central?redirectedFrom=fulltext

Baker, J. W. (2008). An introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), Version 1.3. McGuire, R. K. (2008). Probabilistic seismic hazard analysis: early history, Earthq. Eng. Struct. D., 37(3), 329-338, DOI: 10.1002/eqe.765.

Berberian, M. (1979). Evaluation of the instrumental and relocated epicenters of Iranian earthquakes. Geophysical Journal International, 58(3), 625-630.

Berberian, M. (1981). Active faulting and tectonics of Iran. Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution, 3, 33-69.

Bommer, J. J., F. O. Strasser, M. Pagani, and D. Monelli (2013). Quality assurance for logic-tree implementation in probabilistic seismic-hazard analysis for nuclear applications: A practical example, Seism. Res. Lett., 84(6), 938-945, doi 10.1785/0220130088.

Budnitz, R. J., Apostolakis, G., & Boore, D. M. (1997). Recommendations for probabilistic seismic hazard analysis: guidance on uncertainty and use of experts (No. NUREG/CR-6372-Vol. 1; UCRL-ID-122160). US Nuclear Regulatory Commission (NRC), Washington, DC (United States). Div. of Engineering Technology; Lawrence Livermore National Lab.(LLNL), Livermore, CA (United States); Electric Power Research Inst.(EPRI), Palo Alto, CA (United States); US Department of Energy (USDOE), Washington DC (United States).

Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y., (2003). Updated near-source ground-motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. Bulletin of the Seismological Society of America, 93(1), 314-331.

Campbell, K., Bozorgnia, Y. (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), 139–171.

Cornell, C. A. (1968), engineering seismic risk analysis, Bull. Seism. Soc. Am., 58(5), 1583- 1606.

Douglas, J., Ulrich, T., Negulescu, C. (2013). Risk-targeted seismic design maps for mainland France, Natural Hazards, 65, 1999–2013, DOI: 10.1007/s11069-012-0460-6.

Duzgun HSB, Yucemen MS, Kalaycioglu HS, Celik K, Kemec S, ErtugayK, Deniz A (2011) An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas. Nat Hazards 59:917–947

Esteva, L. (1969). Seismicity prediction: a Bayesian approach, paper presented at 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile.

Gardner, J. K., Knopo, L. (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian. Bull. Seis. Soc. Am., 64(5)

Gerstenberger, M. C., Marzocchi, W., Allen, T., Pagani, M., Adams, J., Danciu, L. … Petersen, M. D. (2020). Probabilistic Seismic Hazard Analysis at Regional and National Scale: State of the Art and Future Challenges. Reviews of Geophysics. Doi: 10.1029/2019rg000653

Gullu, H. and Iyisan, R. (2016). A seismic hazard study through the comparison of ground motion prediction equations using the weighing factor of the logic tree. J. Earthq. Eng., 20, 861–884.https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13632469.2015.1104752?journalCode=ueqe20

Gupta, I. D. (2002). The state of the art in seismic hazard analysis. ISET J Earthq Technol, 39(4), 311-346.

Gutenberg, B., Richter, C. F. (1954). Seismicity of the Earth and associated phenomena. Second ed., Princeton Press, pages 310. https://catalogue.nla.gov.au/Record/2276307

Hamzehloo, H., Alikhanzadeh, A., Rahmani, M., Ansari, A. (2012).Seismic hazard maps of Iran. Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal. https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_3018.pdf

Khan, Z., El-Emam, M., Irfan, M., Abdalla, J. (2013). Probabilistic seismic hazard analysis and spectral accelerations for the United Arab Emirates. Natural hazards, 67(2), 569-589. DOI10.1007/s11069-013-0586-https: // www. researchgate. Net / publication / 257633155 _ Probabilistic _ seismic _ hazard _analysis_and_spectral_accelerations_for_United_Arab_Emirates

Krinitzsky, E. L. (1995). Deterministic versus probabilistic seismic hazard analysis for critical structures, Eng. Geol., 40(1-2), 1-7, doi: 10.1016/0013-7952(95)00031-3.

Liel, A. L. N., Raghunandan, M., Champion, C., (2015). Modifications to risk-targeted seismic design maps for subduction and near-fault hazards. Vancouver Canada. In 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP12).

McGuire, R. K. (1995). Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop, Bull. Seism. Soc. Am., 85(5), 1275-1284.

McGuire, R. K. (2001). Deterministic vs. probabilistic earthquake hazards and risks, Soil Dyn. Earthq. Eng., 21(5), 377-384, DOI 10.1016/S0267-7261(01)00019-7.

McGuire, R. K. (2004). Seismic hazard and risk analysis, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.

McGuire, R. K., and W. J. Arabasz (1990). An introduction to probabilistic seismic hazard analysis, in Geotechnical and environmental geophysics: Volume 1, review and tutorial, edited by S. N. Ward, Society of Exploration Geophysicists, pp. 333-354, doi 10.1190/1.9781560802785.ch12.

McKenzie, D.(1972). Active tectonics of the Mediterranean region. Geophysical Journal International, 30(2), 109-185.

Nowroozi, A. A. (1971). Seismo-tectonics of the Persian plateau, eastern Turkey, Caucasus, and Hindu-Kush regions. Bulletin of the Seismological Society of America, 61(2), 317-341.

Nowroozi, A. A. (1972). Focal mechanism of earthquakes in Persia, Turkey, West Pakistan, and Afghanistan and plate tectonics of the Middle East. Bulletin of the Seismological Society of America, 62(3), 823-850.

Petersen, M. D., Harmsen, S. C., Jaiswal, K. S., Rukstales, K. S., Luco, N., Haller, K. M., Mueller, C. S., Shumway, A. M., (2018). Seismic Hazard, Risk, and Design for South America. Bulletin of the Seismological Society of America, 108 (2), 781–800.https://doi.org/10.1785/0120170002.

Ramezani Besheli, P., ZARE, M., Ramazani Umali R. andNakhaeezadeh. G. (2015). Zoning Iran based on earthquake-precursor importance and introducing a main zone using a data-mining process. Natural Hazards, 78 (2), pp. 821–835. 10.1007/s11069-015-1745-3.

Reiter, L. (1991). Earthquake hazard analysis issues and insights, Colombia University Press, New York, 254 pp.

Salazar, W. (2018). Principles of probabilistic seismic hazard assessment (PSHA) and site effect evaluation and its application for the volcanic environment in El Salvador, in Earthquakes: forecast, prognosis, and earthquake resistant construction, edited by V. Svalova, IntechOpen, doi: 10.5772/intechopen.75845.

Sengara, I.,(2012). Investigation on risk-targeted seismic design criteria for a high-rise building in Jakarta-Indonesia. Lisboa, In 5th World Conference of Earthquake Engineering (WCEE).

Sengara, w., Irsyam, M., Sidi, I, D., Mulia, A., Asrurifak, M., Hutabarat, D., Partono, W. (2020). New 2019 Risk-Targeted Ground Motions for Spectral Design Criteria in Indonesian Seismic Building Code. E3S Web of Conferences 156, 03010 4th ICEEDM 2019

Silva, V., Crowley, H., Bazzurro, P. (2016). Exploring Risk-Targeted Hazard Maps for Europe. Earthquake Spectra, 32(2), page(s) 1165-1186.

Soleimanmeigooni, F., Tehranizadeh, M., (2020). Uniform risk vs. uniform hazard spectral acceleration for different soil types in Alborze seismic zone. Asian Journal of Civil Engineering, 21, pages67–79.

Stoecklin, J. (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review. AAPG Bulletin, 52(7), 1229-1258.

Tesfamariam, S., and K. Goda (Eds.) (2013), Handbook of seismic risk analysis and management of civil infrastructure systems, Woodhead Publishing.

Trianni, S. C. T., Lai, C. G. and Pasqualini, E. (2014). Probabilistic seismic hazard analysis at a strategic site in the Bay of Bengal.Natural Hazards, 74(3), pp. 1683-1705. https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11069-014-1268-3

Wiemer, S., Giardini, D., Fäh, D., Deichmann, N. and Sellami, S.(2009). Probabilistic seismic hazard assessment of Switzerland: best estimates and uncertainties. Journal of Seismology,13(4), 449-478. DOI 10.1007/s10950-008-9138-7. https://link.springer.com/article/10.1007/s10950-008-9138-7

Zare, M., (2010). Principles of Earthquake Hazard Analysis. Tehran: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Page(s) 144.
Zare, M., Amini, H., Yazdi, P., Sesetyan, K., Demircioglu, M. B., Kalafat, D., Erdik, M., Giardini, D., Khan, M. A., Tseriteli, N., (2014). Recent developments of the Middle East catalog. Journal of Seismology, Vol. 18, pages 749–772. DOI 10.1007/s10950-014-9444-1.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Aghanabati, Ali.(2004). Geology of Iran, Geological Survey and Exploration of Iran Publication, Tehran. [In Persian]
Ambersiz, Nicholas, Melville, Charles Peter. (1971). History of earthquakes in Iran. Translated by Abolhassanzadeh, Aghah Publications, Tehran, 674 pages. [In Persian]
Ashja Nas, Parisa, Nasrabadi, Afsane, Sepahvand, Mohammad Reza, Mousavi Bafroi, Seyed Hassan. (2017). Earthquake risk zoning and analysis in Fars province. Earthquake Science and Engineering Quarterly, Year 5, Number 4, 21-36. [In Persian]
Gudrati Amiri, Gholamreza, Razavian Amrai, Seyed Ali, Mirhashmi, Mohammad. (2010). Same risk spectrum for different areas of southern Tehran city. Civil Engineering, No. 3, 60-51.[In Persian]
Gudrati Amiri, Gholamreza, Razavian Amrai, Seyed Ali, Tahmasabi Borojni, Mohammad Ali. (2014). Seismic risk analysis and preparation of the same risk spectrum for different areas of Kerman City. Journal of Structural Engineering and Construction, No. 2, 43-51. [In Persian]
Mohammadian, Milad. (2020). Potential risk analysis of Bandar Siraf earthquake risk. Quarterly Journal of Geography and Environmental Hazards, No. 34, 61-82. [In Persian]
Mousavi, Seyyed Sajdin, Samani, Babak, Manshedi Mahadari, Maryam. (2019). Earthquake risk analysis in Izeh city, Khuzestan province, Journal of Tectonics, No. 43, 12-51. [In Persian]
Nabawi, Mohammad Hassan. (1355). An introduction to the geology of Iran: Geological Survey and Exploration of Iran, report number 98, page 776
Nojavan, Kazem, Barzegari, Amir, Mohammadian, Milad. (2019). Analysis of possible earthquake risk considering the concept of risk-oriented (Case study Elfin 14). Disaster Prevention and Management knowledge quarterly, 10(1), 74-90. [In Persian]
Shayan, Siavash, Zare, Gholamreza. (2014). Zoning of earthquakes that occurred in Fars province during the years 6277 to 8767 and comparing it with other research findings. Geographical Research Quarterly, No. 112, 89-104. [In Persian]
Zare, Mehdi. (1388). Fundamentals of earthquake risk analysis, Tehran, International Research Institute of Seismology and Earthquake Engineering, 152 p. [In Persian]

References (in English)

Ambraseys, Nicholas and Melville, Charles Peter. (1982). A history of Persian earthquakes: Cambridge university press.
Abrahamson, N. (2006). Seismic hazard assessment: problems with current practice and future developments, paper presented at First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland.
Alavi, M.(1991). Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin, 103(8), 983-992.
Alavi Naini, M.(1972). Etudegeologiquedelaergiondedjam: Geological Survey of Iran Reports23, pp.1–45 (in French).
Ashadi, A. L., Harmoko, U., Yuliyanto, G. and Kaka, S. I. (2015).Probabilistic Seismic-Hazard Analysis for Central Java Province, Indonesia. Bulletin of the Seismological Society of America, 105(3), 1711-1720.https://pubs.geoscienceworld.org/ssa/bssa/article-abstract/105/3/1711/332294/Probabilistic-Seismic-Hazard-Analysis-for-central?redirectedFrom=fulltext
Baker, J. W. (2008). An introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), Version 1.3. McGuire, R. K. (2008). Probabilistic seismic hazard analysis: early history, Earthq. Eng. Struct. D., 37(3), 329-338, DOI: 10.1002/eqe.765.
Berberian, M. (1979). Evaluation of the instrumental and relocated epicenters of Iranian earthquakes. Geophysical Journal International, 58(3), 625-630.
Berberian, M. (1981). Active faulting and tectonics of Iran. Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution, 3, 33-69.
Bommer, J. J., F. O. Strasser, M. Pagani, and D. Monelli (2013). Quality assurance for logic-tree implementation in probabilistic seismic-hazard analysis for nuclear applications: A practical example, Seism. Res. Lett., 84(6), 938-945, doi 10.1785/0220130088.
Budnitz, R. J., Apostolakis, G., & Boore, D. M. (1997). Recommendations for probabilistic seismic hazard analysis: guidance on uncertainty and use of experts (No. NUREG/CR-6372-Vol. 1; UCRL-ID-122160). US Nuclear Regulatory Commission (NRC), Washington, DC (United States). Div. of Engineering Technology; Lawrence Livermore National Lab.(LLNL), Livermore, CA (United States); Electric Power Research Inst.(EPRI), Palo Alto, CA (United States); US Department of Energy (USDOE), Washington DC (United States).
Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y., (2003). Updated near-source ground-motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. Bulletin of the Seismological Society of America, 93(1), 314-331.
Campbell, K., Bozorgnia, Y. (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), 139–171.
Cornell, C. A. (1968), engineering seismic risk analysis, Bull. Seism. Soc. Am., 58(5), 1583- 1606.

Douglas, J., Ulrich, T., Negulescu, C. (2013). Risk-targeted seismic design maps for mainland France, Natural Hazards, 65, 1999–2013, DOI: 10.1007/s11069-012-0460-6.

Duzgun HSB, Yucemen MS, Kalaycioglu HS, Celik K, Kemec S, ErtugayK, Deniz A (2011) An integrated earthquake vulnerability assessment framework for urban areas. Nat Hazards 59:917–947

Esteva, L. (1969). Seismicity prediction: a Bayesian approach, paper presented at 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile.

Gardner, J. K., Knopo, L. (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian. Bull. Seis. Soc. Am., 64(5)

Gerstenberger, M. C., Marzocchi, W., Allen, T., Pagani, M., Adams, J., Danciu, L. … Petersen, M. D. (2020). Probabilistic Seismic Hazard Analysis at Regional and National Scale: State of the Art and Future Challenges. Reviews of Geophysics. Doi: 10.1029/2019rg000653

Gullu, H. and Iyisan, R. (2016). A seismic hazard study through the comparison of ground motion prediction equations using the weighing factor of the logic tree. J. Earthq. Eng., 20, 861–884.https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13632469.2015.1104752?journalCode=ueqe20

Gupta, I. D. (2002). The state of the art in seismic hazard analysis. ISET J Earthq Technol, 39(4), 311-346.

Gutenberg, B., Richter, C. F. (1954). Seismicity of the Earth and associated phenomena. Second ed., Princeton Press, pages 310. https://catalogue.nla.gov.au/Record/2276307

Hamzehloo, H., Alikhanzadeh, A., Rahmani, M., Ansari, A. (2012).Seismic hazard maps of Iran. Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal. https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_3018.pdf

Khan, Z., El-Emam, M., Irfan, M., Abdalla, J. (2013). Probabilistic seismic hazard analysis and spectral accelerations for the United Arab Emirates. Natural hazards, 67(2), 569-589. DOI10.1007/s11069-013-0586-https: // www. researchgate. Net / publication / 257633155 _ Probabilistic _ seismic _ hazard _analysis_and_spectral_accelerations_for_United_Arab_Emirates

Krinitzsky, E. L. (1995). Deterministic versus probabilistic seismic hazard analysis for critical structures, Eng. Geol., 40(1-2), 1-7, doi: 10.1016/0013-7952(95)00031-3.

Liel, A. L. N., Raghunandan, M., Champion, C., (2015). Modifications to risk-targeted seismic design maps for subduction and near-fault hazards. Vancouver Canada. In 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP12).

McGuire, R. K. (1995). Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop, Bull. Seism. Soc. Am., 85(5), 1275-1284.

McGuire, R. K. (2001). Deterministic vs. probabilistic earthquake hazards and risks, Soil Dyn. Earthq. Eng., 21(5), 377-384, DOI 10.1016/S0267-7261(01)00019-7.

McGuire, R. K. (2004). Seismic hazard and risk analysis, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.

McGuire, R. K., and W. J. Arabasz (1990). An introduction to probabilistic seismic hazard analysis, in Geotechnical and environmental geophysics: Volume 1, review and tutorial, edited by S. N. Ward, Society of Exploration Geophysicists, pp. 333-354, doi 10.1190/1.9781560802785.ch12.

McKenzie, D.(1972). Active tectonics of the Mediterranean region. Geophysical Journal International, 30(2), 109-185.

Nowroozi, A. A. (1971). Seismo-tectonics of the Persian plateau, eastern Turkey, Caucasus, and Hindu-Kush regions. Bulletin of the Seismological Society of America, 61(2), 317-341.

Nowroozi, A. A. (1972). Focal mechanism of earthquakes in Persia, Turkey, West Pakistan, and Afghanistan and plate tectonics of the Middle East. Bulletin of the Seismological Society of America, 62(3), 823-850.

Petersen, M. D., Harmsen, S. C., Jaiswal, K. S., Rukstales, K. S., Luco, N., Haller, K. M., Mueller, C. S., Shumway, A. M., (2018). Seismic Hazard, Risk, and Design for South America. Bulletin of the Seismological Society of America, 108 (2), 781–800.https://doi.org/10.1785/0120170002.

Ramezani Besheli, P., ZARE, M., Ramazani Umali R. andNakhaeezadeh. G. (2015). Zoning Iran based on earthquake-precursor importance and introducing a main zone using a data-mining process. Natural Hazards, 78 (2), pp. 821–835. 10.1007/s11069-015-1745-3.

Reiter, L. (1991). Earthquake hazard analysis issues and insights, Colombia University Press, New York, 254 pp.

Salazar, W. (2018). Principles of probabilistic seismic hazard assessment (PSHA) and site effect evaluation and its application for the volcanic environment in El Salvador, in Earthquakes: forecast, prognosis, and earthquake resistant construction, edited by V. Svalova, IntechOpen, doi: 10.5772/intechopen.75845.

Sengara, I.,(2012). Investigation on risk-targeted seismic design criteria for a high-rise building in Jakarta-Indonesia. Lisboa, In 5th World Conference of Earthquake Engineering (WCEE).

Sengara, w., Irsyam, M., Sidi, I, D., Mulia, A., Asrurifak, M., Hutabarat, D., Partono, W. (2020). New 2019 Risk-Targeted Ground Motions for Spectral Design Criteria in Indonesian Seismic Building Code. E3S Web of Conferences 156, 03010 4th ICEEDM 2019

Silva, V., Crowley, H., Bazzurro, P. (2016). Exploring Risk-Targeted Hazard Maps for Europe. Earthquake Spectra, 32(2), page(s) 1165-1186.

Soleimanmeigooni, F., Tehranizadeh, M., (2020). Uniform risk vs. uniform hazard spectral acceleration for different soil types in Alborze seismic zone. Asian Journal of Civil Engineering, 21, pages67–79.

Stoecklin, J. (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review. AAPG Bulletin, 52(7), 1229-1258.

Tesfamariam, S., and K. Goda (Eds.) (2013), Handbook of seismic risk analysis and management of civil infrastructure systems, Woodhead Publishing.

Trianni, S. C. T., Lai, C. G. and Pasqualini, E. (2014). Probabilistic seismic hazard analysis at a strategic site in the Bay of Bengal.Natural Hazards, 74(3), pp. 1683-1705. https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11069-014-1268-3

Wiemer, S., Giardini, D., Fäh, D., Deichmann, N. and Sellami, S.(2009). Probabilistic seismic hazard assessment of Switzerland: best estimates and uncertainties. Journal of Seismology,13(4), 449-478. DOI 10.1007/s10950-008-9138-7. https://link.springer.com/article/10.1007/s10950-008-9138-7

Zare, M., (2010). Principles of Earthquake Hazard Analysis. Tehran: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Page(s) 144.

Zare, M., Amini, H., Yazdi, P., Sesetyan, K., Demircioglu, M. B., Kalafat, D., Erdik, M., Giardini, D., Khan, M. A., Tseriteli, N., (2014). Recent developments of the Middle East catalog. Journal of Seismology, Vol. 18, pages 749–772. DOI 10.1007/s10950-014-9444-1.