

## Seismic Hazard Analysis of Hojedk city by probabilistic method

Soodmand, N.<sup>1</sup>  | Dehghan Farouji, F.<sup>2</sup> 

1. Department of Geophysics, North Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2. Department of Engineering Seismology and Risk, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

Corresponding Author E-mail: [dehghan@bhrc.ac.ir](mailto:dehghan@bhrc.ac.ir)

(Received: 8 Oct 2023, Revised: 13 Nov 2023, Accepted: 9 Jan 2024, Published online: 6 July 2024)

### Summary

The country of Iran is part of the Alpine-Himalayan orogeny belt and is divided into different tectonic seismic states. Based on the classification of tectonic seismic states, Kerman province is located in the central Iran zone. The city of Hojedk is also located in the seismic state of central Iran, which is in a relatively high-risk zone in terms of seismicity and has experienced large earthquake events. In this research, for the first time, the city of Hojedk has been comprehensively investigated in terms of seismic conditions to facilitate the decision-making process for preventive measures, especially the improvement and strengthening of buildings against earthquakes. In this research, data from the catalog of earthquakes of the University of Tehran's Geophysics Institute were used to analyze the earthquake hazard, and geological maps of the Geological Organization were used in the geological surveys and faults in the area.

Earthquake hazard analysis in Hojedk City has been done in a probabilistic way. In this method, seismic springs have been identified and determined for the area. The information on the faults in the region and the earthquake catalog have been used for this research stage. At this stage, seismic springs are considered regionally. After determining the seismic springs, the seismic parameters were calculated and then the strong ground motion was estimated and finally, the earthquake hazard analysis was done by combining the uncertainties in the earthquake position and the magnitude of the strong ground motion parameters in the specific time period.

The city of Hojedk is placed in a very high seismic risk zone. Major earthquakes have occurred in the area of this city. Due to geology, this city is located on the Shemshak, Badamo, Hojedk and Shotori formations. There are many faults in the city of Hojedk, the closest fault to this city is the Deh Zana fault. The length of this fault is 18 km and its mechanism is thrust. The area of Hojedk City is an active area in terms of the occurrence of earthquakes. In this area, 6 historical earthquakes have occurred, the largest of which occurred with a magnitude of 6.1 in 1897. Historical earthquakes are in the large range and the smallest of them has a magnitude of 5.5. 4141 earthquakes occurred in the range from 1900 to 2023, of which 4 earthquakes occurred in this time range with a magnitude of 6 or more. 8 seismic springs of regional type were identified based on the trend of faulting and accumulation of earthquakes in Hojedk city. Research on aftershocks has shown that the number of events with a magnitude of about 3.4 to 5 is the highest, and the depth of most earthquake events is between 10 and 20 kilometers.

The seismic coefficients  $a$ , and  $b$  calculated in this range are 0.86 and 3.88, respectively. The seismicity rate in the studied area for magnitude 4 and greater is 1.47. The hazard analysis of the area for the return period of 475 years shows that the maximum acceleration of the bedrock in the area is 0.45, which is in the area of Hojedk city is 0.25-0.35. The acceleration map shows that the highest accelerations are in the northwest-southeast trend, which is in good agreement with the trend of the faults. Therefore, in terms of construction laws, the studied area is of special importance, so by having soil boreholes in the area, seismic micro zoning can be done and its results can be used to improve construction and select and use materials.

**Keywords:** seismicity, Hojedk city, Kerman province, Hazard analysis, Central Iran.

Cite this article: Soodmand, N., & Dehghan Farouji, F. (2024). Seismic Hazard Analysis of Hojedk city by probabilistic method. *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(2), 341-355. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.366190.1007564>

E-mail: (1) [nsoodmand@gmail.com](mailto:nsoodmand@gmail.com)



Publisher: University of Tehran Press.  
DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.366190.1007564>

Print ISSN: 2538-371X  
Online ISSN: 2538-3906

## تحلیل خطر لرزه‌ای شهر هجدک به روش احتمالاتی

نگار سودمند<sup>۱</sup> | فاطمه دهقان فاروجی<sup>۲</sup> ✉

۱. گروه ژئوفیزیک، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.  
۲. بخش زلزله شناسی مهندسی و خطرپذیری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: [dehghan@bhrc.ac.ir](mailto:dehghan@bhrc.ac.ir)

(دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۶، بازنگری: ۱۴۰۲/۸/۲۲، پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۱۰/۱۹، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۴/۱۶)

### چکیده

کشور ایران جزو کمربند کوهزایی آلپ-همیالیاست و به ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی مختلفی تقسیم شده است. استان کرمان بر اساس طبقه‌بندی ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی در زون ایران مرکزی قرار گرفته است. شهر هجدک نیز در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی ایران مرکزی واقع شده است و رویداد زمین‌لرزه‌ای بزرگی را تجربه کرده است. در این تحقیق برای اولین بار شهر هجدک کرمان از نظر شرایط لرزه‌ای به صورت جامع مورد بررسی قرار گرفته است تا با استفاده از نتایج آن فرایند تصمیم‌گیری برای اقدامات پیشگیرانه به‌ویژه بهسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر زلزله در این شهر تسهیل شود. در این تحقیق از داده‌های کاتالوگ زمین‌لرزه‌های مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی استفاده شده است و چشمه‌های لرزه‌ای، پارامترهای لرزه‌ای، جنبش نیرومند زمین محاسبه و تحلیل خطر زلزله به روش احتمالاتی انجام شده است. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، در فاصله ۱۰۰ کیلومتری از محدوده شهری، ۶ زمین‌لرزه تاریخی، ۴۱۴۱ زمین‌لرزه دستگاهی با بزرگای بالای ۴ از سال ۱۹۰۰ تا اواخر ۲۰۲۳ رخ داده و ۸ چشمه لرزه‌ای از نوع ناحیه‌ای تشخیص داده شده است. ضرایب لرزه‌خیزی  $a$ ،  $b$  محاسبه شده در این محدوده به ترتیب ۰/۸۶ و ۳/۸۸ و نرخ لرزه‌خیزی برای بزرگای ۴ و بزرگ‌تر، ۱/۴۷ است. بیشترین شتاب سنگ کف در محدوده ۰/۴۵ است که این شتاب در محدوده شهر هجدک بین ۰/۲۵-۰/۳۵ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: لرزه‌خیزی، ایران مرکزی، تحلیل خطر زلزله، شهر هجدک، استان کرمان.

### ۱. مقدمه

شهر هجدک در شمال استان کرمان قرار گرفته است و بر اساس تقسیم‌بندی ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی نیز در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی ایران مرکزی قرار گرفته است. شهر هجدک از نظر لرزه‌خیزی در زون با خطر نسبی بسیار بالا قرار گرفته است (آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۹۳). رویداد زمین‌لرزه هجدک کرمان با بزرگای ۶/۳ و ۶/۲ در دهم و بیست‌ویکم آذرماه ۱۳۹۶ به وقوع پیوست و در اثر وقوع این زمین‌لرزه، ۳۰۰ واحد مسکونی شهری و ۳۰۰ واحد مسکونی روستایی آسیب دیدند و حدود ۵۰ نفر مجروح شدند. بی‌تردید این رویداد آخرین رویداد لرزه‌ای نخواهد بود. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و استمرار وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ و برای پیشگیری از خسارات جانی و مالی و آسیب‌های روانی و

فلات ایران در کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا، از لرزه‌خیزی بالا به دلیل رخداد مستمر زلزله‌های شدید برخوردار است. از این رو دارای ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی و زمین‌شناسی متفاوتی است که توسط محققین به ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی مختلفی تقسیم شده است (آفانباتی، ۱۳۸۳؛ اشتوکلین، ۱۹۶۸؛ بربریان، ۱۹۸۱؛ علوی، ۱۹۹۱؛ علوی نائینی، ۱۹۷۲؛ نبوی، ۱۳۵۵). استان کرمان بر اساس طبقه‌بندی ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی کشور توسط نبوی (۱۹۷۶) در زون ایران مرکزی قرار گرفته است. خرد قاره ایران مرکزی به بلوک لوت، فرونشست طیس، بلوک پشت بادام، بلوک یزد، فرازمین کلمرد و فروافتادگی بیاضه-بردسیر تقسیم می‌شود (اشتوکلین، ۱۹۶۸).

آن می‌باشد، ۰/۶۵ گال تعیین شده است. در تحقیق ولی‌زاده (۱۳۹۰) وضعیت لرزه‌خیزی و آسیب‌پذیری جمعیتی و کالبدی شهر کرمان تحلیل شده است. در نتایج حاصل از این تحقیق مشخص شده است که شهر کرمان از نظر لرزه‌زمین‌ساختی فعال بوده که بر اثر رخداد زلزله بیش از ۶ ریشتری، بیش از ۵۰ درصد سازه‌ها و ۵۳ درصد جمعیت شهر کرمان آسیب خواهند دید. بصیری و همکاران (۱۳۹۲) به شناسایی الگوی خوشه‌ای رخداد زمین‌لرزه‌های پارینه روی گسل گلباف پرداختند. در این تحقیق، رفتار خوشه‌ای گسل گوک بر اساس اطلاعات ریخت زمین‌ساخت و پارینه لرزه‌شناسی مورد تأیید قرار گرفته است. ریاضی‌راد (۱۳۹۲) لرزه‌خیزی کرمان را با نگرش به زلزله ریگان مورد ارزیابی قرار داده است. در این تحقیق، با استفاده از داده‌های شتاب‌نگاری و لرزه‌نگاری به تعیین محل زمین‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها و گسل مسبب زلزله که گسل نه بوده است، پرداخته شده است. با روش احتمالاتی مقادیر بیشینه شتاب محاسبه شده است. ادیب و همکاران (۱۳۹۳) حریم گسلش پیرامون گسل لاله‌زار و لرزه‌خیزی آن را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق، زمین‌لرزه‌های مرتبط با گسل لاله‌زار مورد بررسی قرار گرفته و بر اساس شواهد ریخت‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای، پهنه‌های خطر و گسلی مورد شناسایی قرار گرفته و تعیین شده است که نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بیشتر در جنوب ناحیه است. حسینی و همکاران (۱۳۹۳) به عنوان مطالعه موردی در ناحیه ۱۳ شهر کرمان، آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شبیه‌سازی آن را در مدیریت بحران مورد تحلیل قرار داده‌اند. در این تحقیق، در ناحیه ۱۳ شهر کرمان با استفاده از نرم‌افزار جی‌ای اس و کارمانیا، خسارت‌ها و تلفات در سناریو زلزله ۶/۳ ریشتری گسل کوهبنان مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل خطر لرزه‌ای برای مناطق مختلف شهر کرمان و تهیه طیف خطر یکسان برای آن توسط قدرتی امیری و همکاران (۱۳۹۴) انجام شده است. در این تحقیق منابع لرزه‌زا با استفاده از داده‌های لرزه‌خیزی تاریخی و دستگاهی از زمان قرن هشتم میلادی تا زمان تدوین تحقیق در شعاع ۲۰۰

اجتماعی می‌بایست درخصوص بهسازی و مقاوم‌سازی مناطق شهری و روستایی و اقدامات پیشگیرانه تدابیری اندیشیده شود. به‌منظور انجام اقدامات پیشگیرانه و نیز بهسازی و مقاوم‌سازی، بررسی وضعیت لرزه‌خیزی هر منطقه ضروری است.

این تحقیق به‌منظور بررسی وضعیت لرزه‌خیزی شهر هجدک کرمان انجام یافته است تا با استفاده از نتایج آن فرایند تصمیم‌گیری برای مدیریت بحران زلزله به‌ویژه بهسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در این شهر تسهیل شود.

## ۲. پیشینه تحقیق

مطالعات و پژوهش‌های مختلفی در گستره استان کرمان انجام شده است. در تحقیق عابدی (۱۳۷۸) گستره استان کرمان از نظر آسیب‌پذیری ناشی از بلایای طبیعی مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، خصوصیات لرزه‌خیزی استان و تمرکز زلزله‌های استان، وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد با بزرگای ۵ و بیشتر در این ناحیه و رخدادهای لرزه‌ای در ساعات روز و شب مورد بحث قرار گرفته است. ریاضی و قیطانچی (۱۳۸۴) به بررسی مقدماتی زمین‌لرزه چهارم اسفند ۱۳۸۳ زرنده کرمان پرداختند. در این پژوهش به گسل مسبب زمین‌لرزه که یکی از شاخه‌های گسل کوهبنان است، اشاره شده است که شیب و هندسه آن و نیز بیشینه شتاب ثبت شده و شدت زمین‌لرزه، سازوکار زمین‌لرزه و اثر آن بر ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. آرین (۱۳۸۹) به بررسی خطر زمین‌لرزه-گسلش در گستره چهارگوش کرمان پرداخته است. در این تحقیق، گسل‌های اصلی منطقه بر اساس شواهد صحرایی و مطالعات سنجش از دور بررسی و لرزه‌خیزی منطقه تحلیل شده است. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، مهم‌ترین چشمه لرزه‌ای که سیستم گسلی گوک است، مورد شناسایی قرار گرفته و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر برای منطقه تهیه شده است که بر این اساس بیشینه شتاب زمین برای چهارگوش کرمان که در بردارنده بخشی از باختر بلوک لوت و حاشیه اطراف

کیلومتری مدل شده است و بیشینه شتاب سنگ بستر بر اساس روابط کاهندگی مختلف قدرتی و همکاران (۱۳۹۴) و زارع (۱۳۸۴) به دست آمده است. همچنین تحلیل احتمالی خطر زلزله برای شهر کرمان محاسبه شده است. میزان آسیب پذیری بافت های شهری در برابر زلزله و سطح بندی آن در تحقیق غضنفرپور و حامدی (۱۳۹۶) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داده است که بافت های شهری وضعیت نامناسبی در برابر آسیب پذیری لرزه ای دارند. در تحقیق سیوندی پور (۱۳۹۶) استان کرمان از نظر احتمال رخداد زلزله های بزرگ تر از ۵/۴ با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری و شبکه های عصبی مصنوعی مورد بررسی قرار گرفته است و در نتایج آن پیش بینی شده است که در مناطق جنوبی احتمال رخداد زلزله ۶/۳۸ درصد وجود دارد. کاظمی نیا و میمندی پاریزی (۱۳۹۶) وضعیت آسیب پذیری شهر کرمان را از نظر ساختمان ها مورد بررسی قرار داده اند که بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، منطقه ۱ و ۴ شهر کرمان از نظر آسیب پذیری ساختمان ها بیشترین مقدار را دارد. در تحقیق میلان و نعمتی (۱۳۹۷) زمین ساخت جنوبا، لرزه خیزی حوضه های لوت و جازموریان در استان کرمان و شاخص های زمین ریخت شناسی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است که بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق که با استفاده از نقشه های زمین شناسی، تصاویر ماهواره ای و کاتالوگ لرزه ای، عکس های هوایی و نقشه های توپوگرافی حاصل شده، شاخص های ژئومورفیک برای تعیین وضعیت زمین ساختی حوضه ها مورد استفاده قرار گرفته که نشان دهنده جنبایی حوضه ها از نظر زمین ساختی است. در تحقیق غضنفرپور و همکاران (۱۳۹۸) شهر رفسنجان از نظر لرزه خیزی و آسیب پذیری کالبدی و جمعیتی مورد بررسی قرار گرفته است. شهر رفسنجان در این تحقیق از نظر کالبدی و جمعیتی آسیب پذیر می باشد. رشیدی (۱۳۹۷) در منطقه کرمان-رفسنجان به ارزیابی خطر زمین لرزه و گسلش پرداخت. بر اساس نتایج این تحقیق، گسل های بسیار جنوبا که فعالیت آنها تاکنون گزارش نشده است، مورد شناسایی قرار گرفت و بیشترین

شکستگی ها در بخش جنوبی گسل کوهبنان و شاخه های فرعی آن، پایانه های شمالی گسل گوک و پایانه جنوبی گسل ناینند در امتداد گسل بردسیر و جرجاک گزارش شد. در تحقیق صفی زاده و همکاران (۲۰۱۹) در شهر کرمان با استفاده از اطلاعات زلزله شناسی و زمین شناسی و برآورد احتمالاتی خطر زلزله، سرعت شتاب زمین و شتاب زمین برای دوره های بازگشت ۵۰، ۷۵ و ۴۷۵ ساله انجام شده است. در تحقیق شفیع بافتی (۱۳۹۸) خطر زمین لرزه در شمال کرمان و لرزه زمین ساخت آن با روش کیکو و سلوول (۱۹۹۲) مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق، سامانه گسلی کوهبنان و شناسایی قطعات گسیخته شده آن با استفاده از شواهد صحرایی و کتابخانه ای انجام شده است. برآورد خطر زمین لرزه با روش کیکو و سلوول (۱۹۹۲) نشان داده است که نرخ لرزه خیزی و خطر زمین لرزه در منطقه زرنند بیش از مناطق دیگر است که البته این نتیجه را برای زمین لرزه های بالای ۷ با احتیاط عنوان کرده اند. سالاری و همکاران (۱۴۰۱) در شهر کرمان با استفاده از مدل فازی الکترو به رتبه بندی آسیب پذیری شهری در برابر مخاطره زلزله پرداختند. در این تحقیق، معیارهایی نظیر دسترسی به مراکز اسکان موقت و کاربری اراضی، فضای سبز، ایستگاه آتش نشانی، عرض معابر، فاصله از گسل، فاصله از مراکز درمانی و کیفیت ساختمان ها در بررسی میزان آسیب پذیری مناطق مختلف کرمان مورد بررسی قرار گرفته و نتایج نشان داده است که مناطق ۴ و ۵ شهر کرمان آسیب پذیرترین منطقه است. نعمتی و همکاران (۱۴۰۱) بخش شمالی و جنوب خاوری ایران مرکزی را از نظر ریخت زمین ساختی و لرزه خیزی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق که بخشی از گستره کرمان را نیز شامل است، نقشه های لرزه خیزی گستره مشخص شده است و بررسی ریز زمین لرزه ها و زمین لرزه های بزرگ تر و شکل موج زمین لرزه ها، سازوکار تکه گسل های کوهبنان و لکرکوه تعیین شده است که بیانگر لرزه خیز بودن شهرهای کوهبنان، زرنند و کرمان است. در تحقیق سالاری و همکاران (۱۴۰۲) در استان کرمان سکونت گاه های انسانی

و داده‌های زلزله‌شناسی استفاده شده است و چشمه‌های لرزه‌ای به‌صورت ناحیه‌ای تعیین و توزیع فاصله ساختگاه تا چشمه مشخص شد. رابطه تکرار، توزیع بزرگا و میانگین باز رخداد از طریق قانون تکرار گوتنبرگ-ریشر محاسبه شد. بعد از شناسایی چشمه‌ها و تعیین رابطه تکرار، رابطه کاهندگی مناسب با توجه به مکانیسم چشمه‌ها و شرایط زمین‌شناسی برای برآورد جنبش شدید زمین انتخاب و برای زوج‌های مختلف بزرگا و فاصله این مقادیر به‌دست آمد و سپس منحنی خطر در ساختگاه محاسبه شده است.

#### ۴. محدوده مورد مطالعه

شهر هجدک در استان کرمان و در قسمت شمالی این استان قرار گرفته است که در عرض جغرافیایی ۳۰/۷۵-۳۰/۷۶ و طول جغرافیایی ۵۶/۹۸-۵۷ واقع شده است. جمعیت این شهر بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، ۱۰۰۷ نفر (۳۱۳ خانوار) با مساحت ۳۴ هکتار می‌باشد که در فاصله ۷۳ کیلومتری از کرمان قرار دارد.

#### ۵. زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

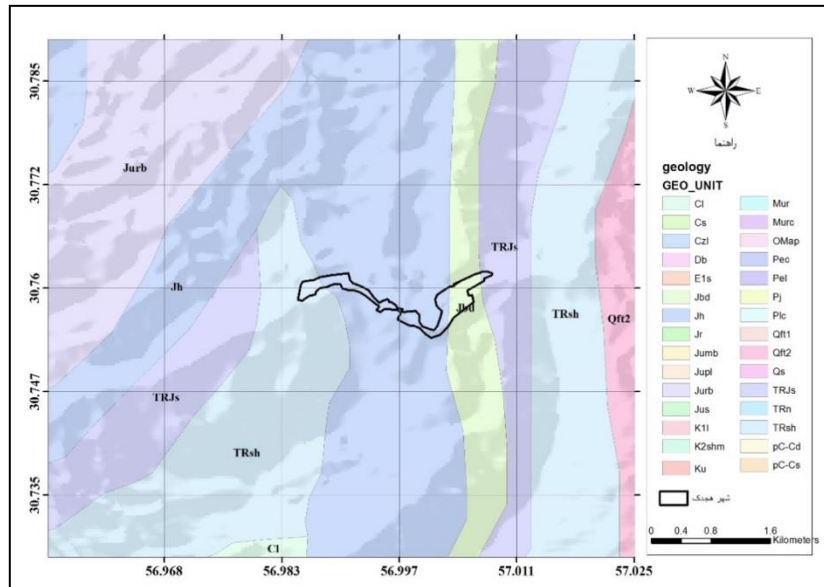
قسمت‌های شرقی شهر هجدک بر روی سازند شمشک (TRJS) متشکل از شیل‌های خاکستری تیره و ماسه سنگ به سن تریاس-ژوراسیک و سازند بادامو (Jbd) متشکل از سنگ آهک‌های آمونیت‌دار، اولیتی با لایه‌بندی خوب و خاکستری تیره به سن ژوراسیک قرار گرفته است. بخش‌های مرکزی شهر روی سازند هجدک (Jh) متشکل از تناوب ماسه سنگ و شن تا شیل‌های آرژیلیتی با میان لایه‌هایی از ذغال و شیل کربناته به سن ژوراسیک و بخش‌های غربی شهر بر روی سازند شتری (TRsh) متشکل از دولومیت زرد، متراکم با لایه‌بندی خوب به سن تریاس میانی قرار گرفته است. در شکل ۱ موقعیت شهر هجدک بر روی واحدهای سنگ‌شناسی نشان داده شده است.

واقع در حریم گسل‌های فعال مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داده است که چندین شهر و هزاران روستا در حریم گسل و یا در شعاع چند کیلومتری آن واقع شده است. توان لرزه‌زایی برای هر گسل محاسبه شده است و نقشه پهنای حریم گسل‌های مختلف ترسیم شده است که بر این اساس شهرهای کوهبنان، کیانشهر، هجدک و بروات در حریم گسل واقع شده‌اند.

در یک جمع‌بندی کلی از پیشینه تحقیقات انجام شده توسط محققان می‌توان گفت که غالب تحقیقات انجام شده با تمرکز بر شهر کرمان انجام شده است که در غالب آنها لرزه‌خیزی استان و شهر کرمان مورد نظر بوده است و به‌جز یک یا دو مطالعه که به شهر رفسنجان و زرنند معطوف است، بقیه شهرهای استان کرمان از نظر لرزه‌خیزی کمتر مورد توجه بوده است و در تحقیقات مربوط به لرزه‌زمین-ساخت محدوده وسیعی در استان کرمان مورد نظر بوده است. در تحقیق سالاری و همکاران (۱۴۰۲) اشاره شده است که شهر هجدک کرمان در حریم گسل واقع شده است که جزئیات آن در این تحقیق آورده نشده است. در این تحقیق برای اولین بار شهر هجدک کرمان از نظر شرایط لرزه‌ای به‌صورت جامع مورد بررسی قرار گرفته است.

#### ۳. داده و شیوه پژوهش

در این تحقیق تحلیل خطر زلزله با استفاده از داده‌های کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و گسل‌های گستره مورد مطالعه به کمک نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی در شهر هجدک به روش احتمالاتی انجام یافته است. تحلیل احتمالی خطر در این تحقیق در ۴ مرحله شناخت چشمه‌های لرزه‌زا، به‌دست آوردن رابطه تکرار بزرگا و میانگین نرخ بازرخداد برای هر چشمه، انتخاب رابطه کاهندگی مناسب و محاسبه منحنی خطر ساختگاه انجام شد. در مرحله شناسایی چشمه‌های لرزه‌زا از خصوصیات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی



شکل ۱. موقعیت شهر همدک بر روی واحدهای سنگ‌شناسی.

### ۶. گسل‌های محدوده شهر همدک

در محدوده شهر همدک گسل‌های زیادی مشاهده می‌شود که در شکل ۲ نشان داده شده است. این گسل‌ها شامل موارد زیر می‌شود:

گسل ده‌زنان: (سهندی، ۱۳۷۳): این گسل نزدیک‌ترین گسل به شهر همدک است (شکل ۳). راستای این گسل، شمالی-جنوبی با شیب به سمت شرق است. طول این گسل ۱۸ کیلومتر و سازوکار آن راندگی است و این گسل سبب قرارگرفتن دولومیت‌های سازند شتری و دولومیت‌های سیب‌زار و ماسه‌سنگ‌های سازند پادها بر روی ماسه-سنگ‌ها و توف‌های به سن ائوسن شده است (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۲).

گسل دهو: این گسل به نام تیگو هم معروف است (سعیدی و همکاران، ۱۳۸۱). این گسل دارای ۳۰ کیلومتر طول و سازوکار آن راندگی است. شیب گسل به سمت جنوب‌غرب است و راستای آن شمال‌غرب-جنوب‌شرقی است (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۲).

گسل لکرکوه: این گسل دارای ۱۰۰ کیلومتر طول (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۲) و راستای آن شمالی-جنوبی و موازی با گسل نایبند در بخش جنوبی بلوک طبس و خاور شهر راور واقع شده است. سازوکار بخش میانی این گسل، راستالغز راست‌بر با مؤلفه شیب‌لغز معکوس و در دو

انتها راستالغز راست‌بر است (بونینی و همکاران، ۲۰۰۳) و بر اساس نظر سعیدی و همکاران (۱۳۸۱) راندگی با مؤلفه راست‌بر است.

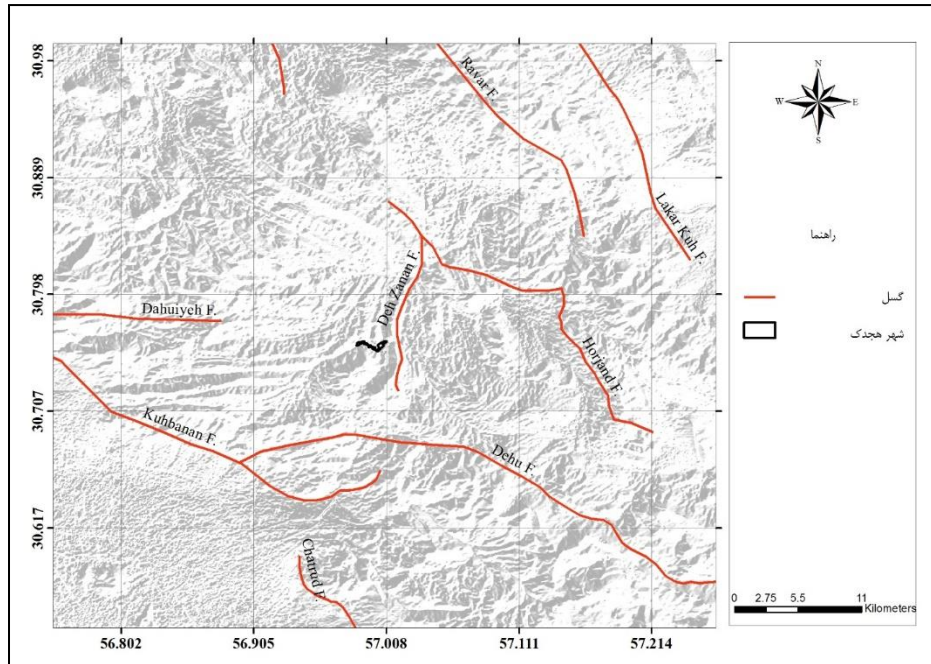
گسل داهوئیه: طول این گسل ۱۶ کیلومتر است. سازوکار این گسل معکوس بوده (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۲) و شیب آن حدود ۶۰ درجه به سمت شمال و راستای آن شرقی-غربی است (طالبیان و همکاران، ۲۰۰۶).

گسل کوهبنان: طول این گسل ۲۲۳ کیلومتر و شیب آن شمال‌غرب-جنوب‌شرق است و راستای آن شمال‌غربی-جنوب‌شرقی است (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۲). سازوکار این گسل در ناحیه گیسک زرنند، راستالغز راست‌بر و قطعات میانی آن راستالغز راست‌بر با مؤلفه معکوس و در قطعات شمال‌غربی راستالغز راست‌بر با مؤلفه عادی است (رادفر و پورکرمانی، ۱۳۸۳). پهنای این گسل ۲۰-۳۰ کیلومتر است که گسل‌های فرعی به موازات آن قرار دارند (مهدوی، ۱۳۷۴).

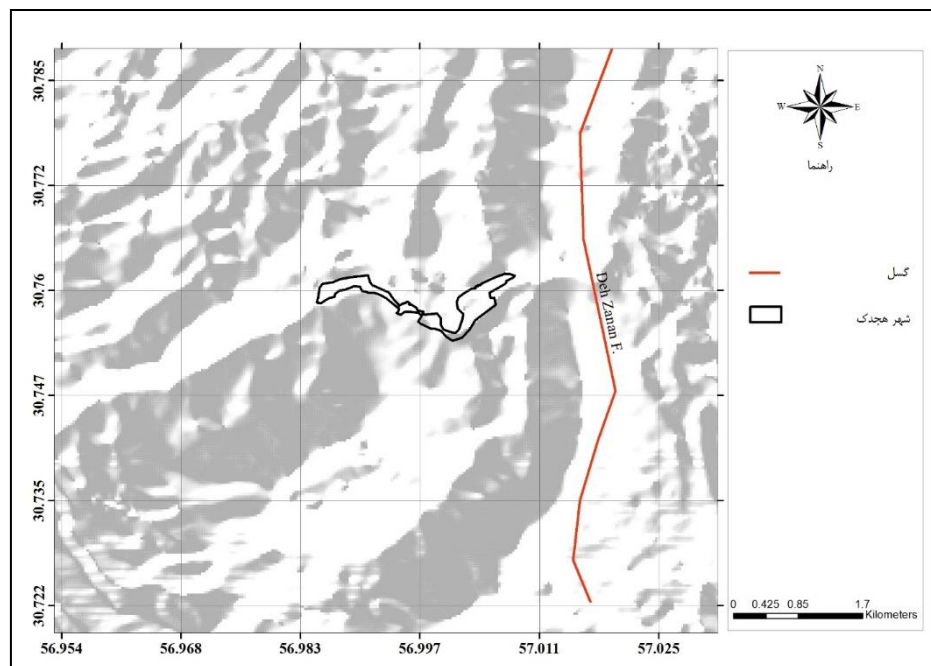
گسل چترود: نام دیگر این گسل، بازرگان است (سعیدی و همکاران، ۱۳۸۱). سازوکار این گسل راندگی است و ۳۷ کیلومتر طول دارد. شیب این گسل به سمت شمال شرق و راستای آن شمال‌غرب-جنوب‌شرق است. مرز دشت کرمان و ارتفاعات شمال کرمان توسط این گسل مشخص

شمالی-جنوبی و در طولی حدود یک‌صد کیلومتر تا جنوب شهر راور ادامه می‌یابند. حرکت راستالغز راستگرد برای این گسل در نظر گرفته شده است. طول این گسل ۱۴۴ و ۱۳۷ کیلومتر است (شفیعی‌بافتی و شاه‌پسندزاده، ۱۳۸۹).

می‌شود (شیخ‌الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۲).  
گسل راور: گسل راور خطواره‌ای زمین‌ساختی است که بخش‌های زیادی از آن پوشیده می‌باشد. این گسل از جنوب خاور کویر آبدوخی در جنوب طبس آغاز می‌شود و قطعه‌های رخنمون یافته آن با راستای تقریبی



شکل ۲. گسل‌های محدوده شهر هجدک.



شکل ۳. موقعیت گسل ده زنان در نزدیکی شهر هجدک.

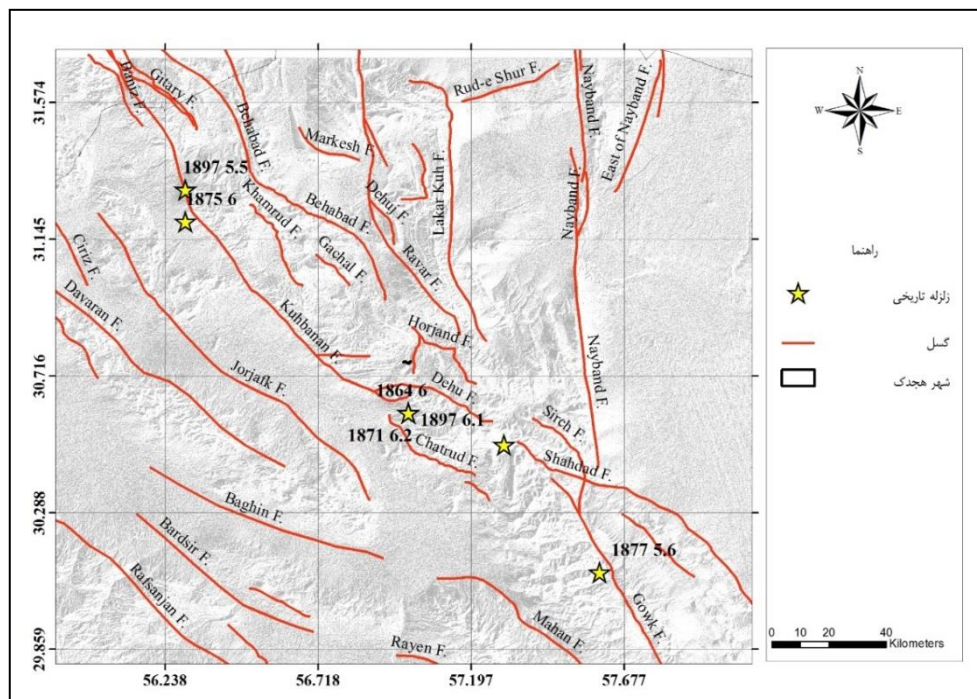
## ۷. لرزه‌خیزی منطقه

زمین‌لرزه‌های محدوده مورد مطالعه قرار گرفته و برای محدوده تحلیل خطر زلزله انجام شده است که به ترتیب مورد بحث قرار گرفته است.

شهر هجدک در نقشه آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله از نظر لرزه‌خیزی در منطقه بسیار پرخطر قرار گرفته است. زلزله‌ای با بزرگی  $M_n = 6/2$  در تاریخ دهم آذرماه ۱۳۹۶ در فاصله ۳۷ کیلومتری این شهر رخ داد. پس‌لرزه‌های این زمین‌لرزه تا مدت‌های زیادی ادامه داشت. در فاصله نه چندان دور در تاریخ بیست‌ویکم آذرماه ۱۳۹۶ بار دیگر دو زمین‌لرزه‌ای به بزرگی‌های  $6/2$  و  $6$  در این منطقه رخ داد. رخداد این زمین‌لرزه‌ها، وجود گسل‌های فراوان در منطقه و نیز زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی گستره بیانگر لرزه‌خیزی بالای محدوده است. به‌منظور بررسی جامع‌تر لرزه‌خیزی محدوده،

## ۷-۱. زمین‌لرزه‌های تاریخی در گستره

در محدوده ۱۰۰ کیلومتری شهر هجدک، ۶ زمین‌لرزه تاریخی به‌وقوع پیوسته است که بزرگ‌ترین آنها با بزرگای  $6/1$  در سال ۱۸۹۷ رخ داده است. نزدیک‌ترین زمین‌لرزه تاریخی به‌وقوع پیوسته مربوط به سال ۱۸۶۴ با بزرگای  $6$  بوده است. زمین‌لرزه‌های تاریخی رخ داده مؤید لرزه‌خیزی منطقه است. زمین‌لرزه‌های تاریخی محدوده در جدول ۱ و شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴. زمین‌لرزه‌های تاریخی به‌وقوع پیوسته در محدوده شهر هجدک.

جدول ۱. مشخصات زمین‌لرزه‌های تاریخی به‌وقوع پیوسته در محدوده.

بزرگا	سال وقوع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۵/۸	۱۸۵۴	۵۷/۳	۳۰/۵
۶	۱۸۶۴	۵۷	۳۰/۶
۶	۱۸۷۵	۵۶/۳	۳۰/۲
۵/۶	۱۸۷۷	۵۷/۶	۳۰/۱
۵/۵	۱۸۹۷	۵۶/۳	۳۱/۳
۶/۱	۱۸۹۷	۵۷	۳۰/۶



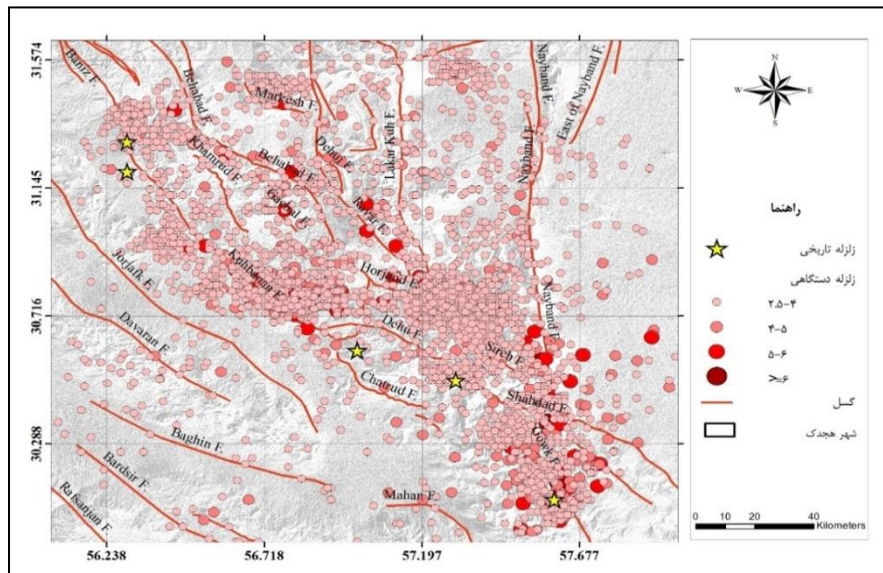
۲-۷. زمین لرزه‌های دستگاهی

زمین لرزه‌های دستگاهی از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۳ در این محدوده در چهار دسته زمین لرزه‌های با بزرگای ۴-۲/۵، زمین لرزه‌های با بزرگای ۴-۵، زمین لرزه‌های با بزرگای ۵-۶ و زمین لرزه‌های با بزرگای ۶-۵ ریشتر مورد بررسی قرار گرفته است. در این گستره تعداد ۴۱۴۱ با بزرگای ۲/۵-۴، ۳۰۷ زمین لرزه با بزرگای ۴-۵، ۶۱ زمین لرزه با بزرگای ۵-۶ و ۴ زمین لرزه با بزرگای ۶ و بیشتر رخ داده است که سه رخداد آن در سال ۲۰۱۷ به فاصله ۱۲ روز رخ داده است. در شکل ۵ برهم نهی زمین لرزه‌های دستگاهی و تاریخی و در شکل

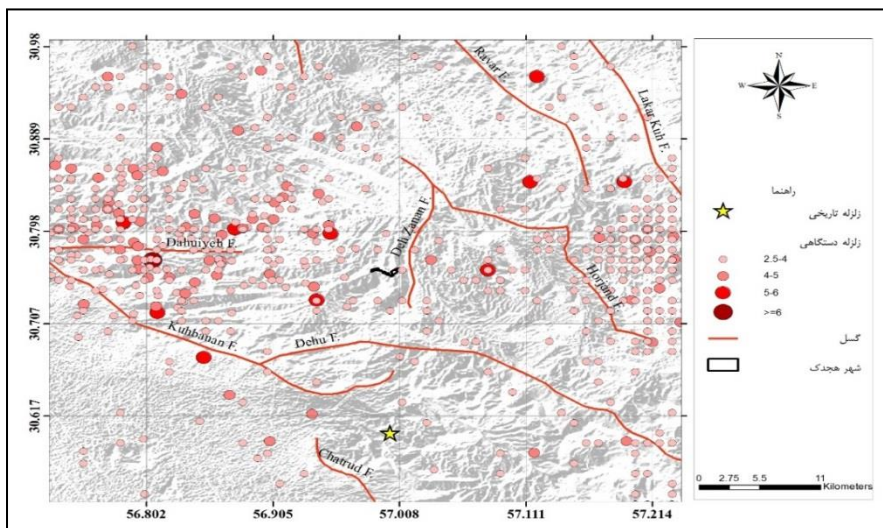
۶ زمین لرزه‌های دستگاهی و محدوده نشان داده شده است.

۳-۷. تعیین چشمه‌های لرزه‌زا

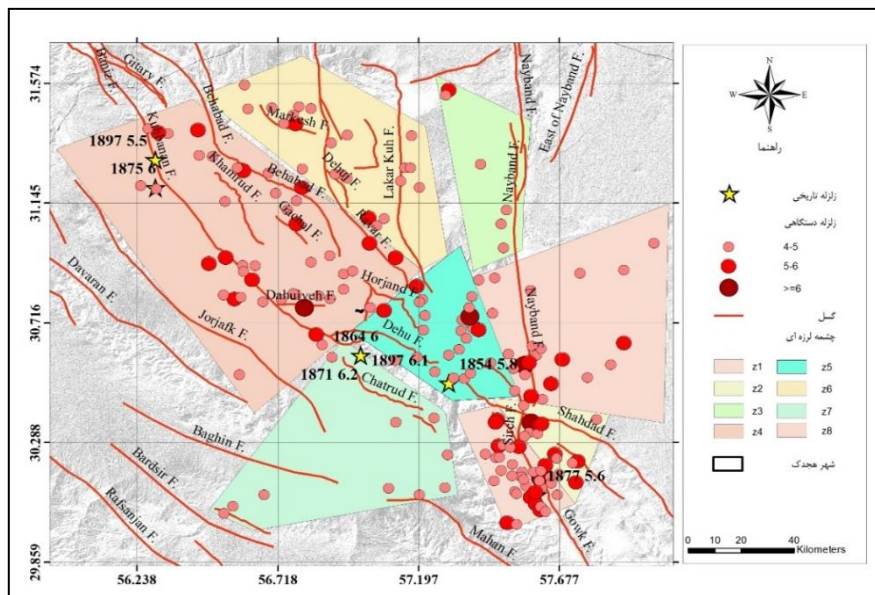
در تحلیل خطر لرزه‌ای، تعیین چشمه یا چشمه‌هایی که قابلیت وقوع زلزله در آنها وجود دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این چشمه‌ها، نقش مهمی در برآورد خطر در فرایند تحلیل خطر لرزه‌ای ایفا می‌کنند. در محدوده شهر هجدک ۸ چشمه لرزه‌زا از نوع ناحیه‌ای بر اساس روند گسلش و تجمع زلزله‌ها تشخیص داده شده است که در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۵. برهم نهی زمین لرزه‌های تاریخی و دستگاهی به‌وقوع پیوسته در محدوده شهر هجدک.



شکل ۶. زمین لرزه‌های دستگاهی به‌وقوع پیوسته در محدوده شهر هجدک از نمایی نزدیک‌تر.



شکل ۷. چشمه‌های لرزه‌ای در محدوده شهر همدک.

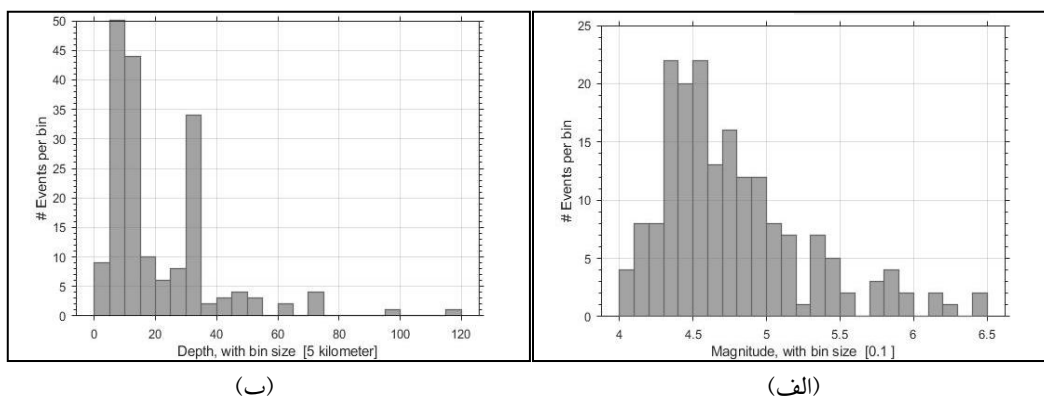
۴-۷ حذف پس‌لرزه‌ها

پس‌لرزه‌ها که پس از زمین‌لرزه اصلی و بزرگ رخ می‌دهند، مجموعه‌ای از زمین‌لرزه‌های کوچک هستند که در اثر جابه‌جایی سطح گسل‌ها روی زمین رخ می‌دهند. فراوانی پس‌لرزه‌ها پس از رخداد اصلی به سرعت کاهش می‌یابد (زارع، ۱۳۸۴). در فرایند تحلیل خطر زلزله، پس‌لرزه‌ها حذف می‌شوند. برای عملیات حذف پس‌لرزه‌ها از روش گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴) بر اساس الگوریتم پنجره‌های زمانی-مکانی استفاده شده است. در این عملیات از مجموع حدود ۴۱۴۱ زمین‌لرزه، ۱۸۱ زمین‌لرزه به‌دست آمد. در شکل ۸ رخداد زمین‌لرزه‌های گسترده نسبت به عمق، بزرگا پیش از حذف پس‌لرزه‌ها نشان داده شده است.

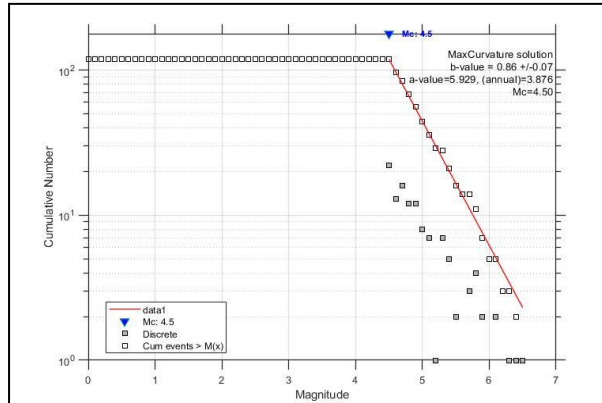
در شکل ۸ تعداد رخدادها با بزرگای در حدود ۴/۳ تا ۵ بیشترین مقدار را دارد و همچنین عمق اکثر رخدادهای زلزله بین ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر است و عمق‌های بالاتر به احتمال زیاد دارای خطای اندازه‌گیری بوده است.

۵-۷ پارامترهای لرزه‌خیزی محدوده مورد مطالعه

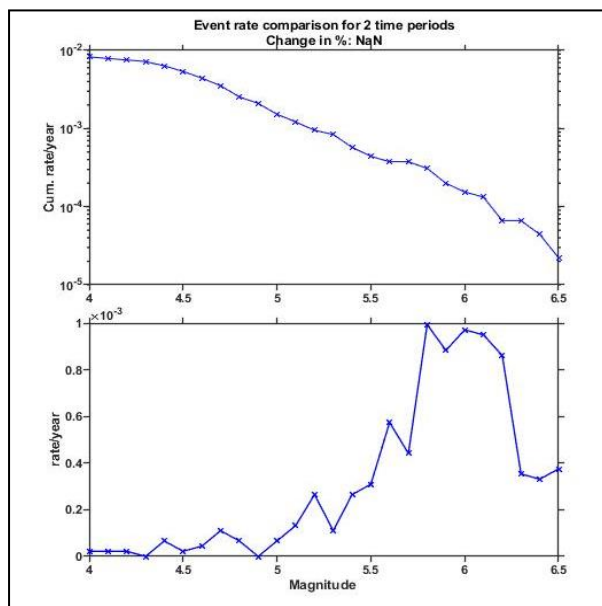
به‌منظور بررسی لرزه‌خیزی پارامترهای مهمی نظیر، ضرایب لرزه‌خیزی مورد بررسی قرار می‌گیرد برای محدوده شهر همدک مقدار  $b=0.86$  و مقدار  $a=3.88$  برآورد شده است. نرخ لرزه‌خیزی در محدوده مورد مطالعه برای بزرگای ۴ و بزرگ‌تر،  $1/47$  است. در شکل ۹ نمودار مربوط به ضرایب لرزه‌خیزی و در شکل ۱۰ نمودار مربوط به نرخ لرزه‌خیزی نشان داده شده است.



شکل ۸. توزیع فراوانی زمین‌لرزه برحسب بزرگا (الف) و توزیع فراوانی زمین‌لرزه بر حسب عمق (ب).



شکل ۹. تعیین ضرایب لرزه‌خیزی a و b و  $M_c$ .

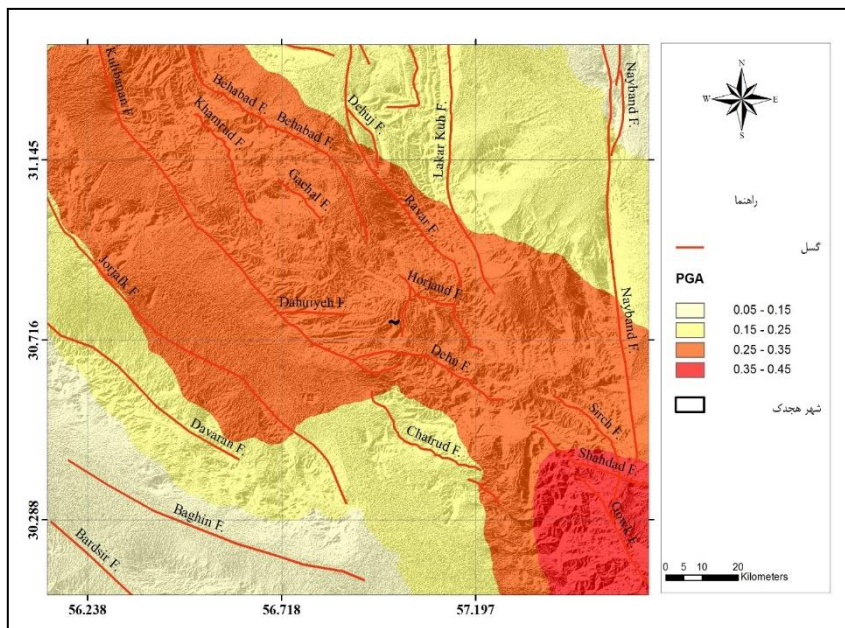


شکل ۱۰. نمودار نرخ لرزه‌خیزی.

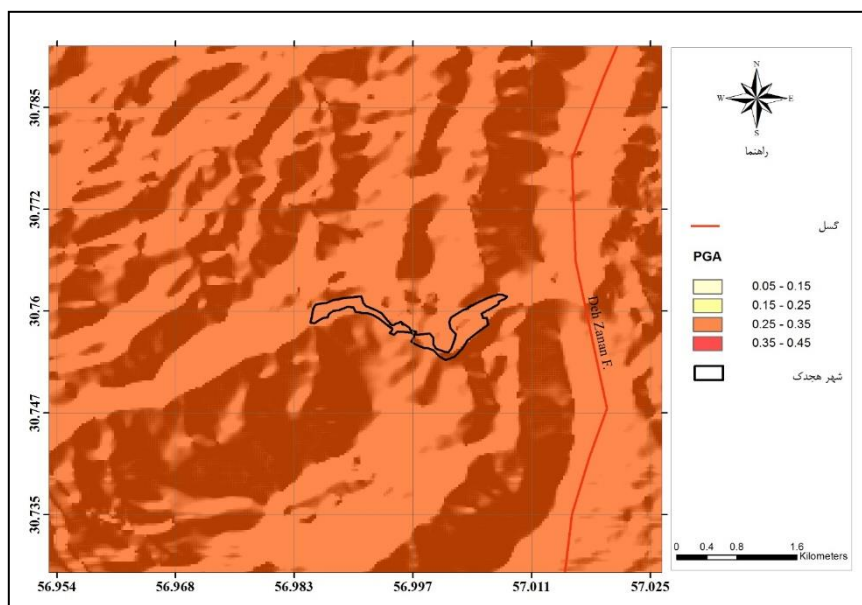
### ۸. تحلیل خطر

به منظور مطالعه لرزه‌خیزی مناطق مختلف و تعیین پارامترهای جنبش نیرومند زمین و به دست آوردن شتاب مبنای طرح برای طراحی‌های سازه‌ای مقاوم در برابر زلزله، تحلیل خطر زلزله ضروری است. این تحلیل به دو روش تعیینی و احتمالاتی قابل انجام است که در این پژوهش، تحلیل خطر به روش احتمالاتی انجام شده است. در تحلیل احتمالاتی خطر زلزله پارامترهایی نظیر چشمه‌های لرزه‌ای، شتاب، سرعت و جابه‌جایی زمین، منحنی خطر زلزله تعیین و محاسبه می‌شود. این تحلیل به

روش کمپل-بزرگنیا (۲۰۰۸) و برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله انجام شده است. نقشه پهنه‌بندی شتاب سنگ کف در محدوده شهر هجدک ترسیم شده است که در شکل ۱۱ آورده شده است. همانطوری که در این شکل مشاهده می‌شود، بیشترین شتاب در این محدوده ۰/۴۵ است که در اطراف گسل‌های شهداد و گوک مشاهده می‌شود. این شتاب در محدوده شهر هجدک بین ۰/۲۵ تا ۰/۳۵ است که به رنگ نارنجی نشان داده شده است. در شکل ۱۲ نمایی نزدیک‌تر از شهر هجدک و شتاب سنگ کف در محدوده این شهر نشان داده شده است.



شکل ۱۱. نقشه پهنه‌بندی شتاب سنگ.



شکل ۱۲. نقشه پهنه‌بندی شتاب سنگ از نمایی نزدیک‌تر.

### ۹. نتیجه‌گیری

زلزله‌های بزرگی در محدوده شهر همدک رخ داده است. این شهر بر روی سازند شمشک، بادامو، همدک و شتری قرار گرفته است. گسل‌های فراوانی در محدوده شهر همدک وجود دارد که نزدیک‌ترین گسل به این شهر، گسل ده زنان است. طول این گسل ۱۸ کیلومتر و سازوکار آن رانندگی است. محدوده شهر همدک از نظر رخداد زمین‌لرزه‌ها گستره فعالی است. در این محدوده ۶

زمین‌لرزه تاریخی به‌وقوع پیوسته است که بزرگ‌ترین آنها با بزرگای ۶/۱ ریشتر در سال ۱۸۹۷ رخ داده است. زمین‌لرزه‌های تاریخی رخ داده در محدوده بزرگ هستند و کمترین آنها دارای بزرگای ۵/۵ است. زمین‌لرزه‌های دستگاهی رخ داده در محدوده از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۳ به تعداد ۴۱۴۱ است. ضرایب لرزه‌خیزی a، b محاسبه شده در این محدوده به ترتیب ۰/۸۶ و ۳/۸۸ است. نرخ لرزه‌خیزی در محدوده مورد مطالعه برای بزرگای ۴ و

مدیریت بحران مطالعه موردی: ناحیه ۱۳ شهر کرمان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، (۴)، ۲۹، ۱۴۷-۱۶۴.

رادفر، ش. و پورکرمانی، م. (۱۳۸۳). تفکیک زمین‌ساختی گسله کوهبنان. فصلنامه علوم زمین، (۱)، ۵۷-۵۱.

رشیدی، ا. (۱۳۹۷). ارزیابی خطر زمین‌لرزه گسلش در منطقه کرمان رفسنجان (جنوب خاور ایران). فصلنامه زمین‌ساخت، ۲(۸)، ۱۸-۱.

ریاضی، ز. و قیطانچی، م.ر. (۱۳۸۴). بررسی مقدماتی زمین‌لرزه چهارم اسفند ماه ۱۳۸۳ زرنده کرمان. نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، تهران، ۱۳۸۴.

ریاضی راد، ز. (۱۳۹۲). بررسی لرزه‌خیزی گستره کرمان با نگرشی ویژه بر زمین‌لرزه ۱۳۸۹ اریگان. نشریه زمین‌شناسی ژئوتکنیک، ۹(۳)، ۲۲۹-۲۱۳.

زارع، م. (۱۳۸۴). مقدمه‌ای بر زلزله‌شناسی کاربردی. چاپ اول. تهران: پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

سالاری، ن؛ انتظاری، م. و خبازی، م. (۱۴۰۱). رتبه‌بندی آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطره زلزله با مدل ELECTRE FUZZY (مطالعه موردی: شهر کرمان). فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۳(۴)، ۱۳۴-۱۱۳.

سالاری، ن؛ انتظاری، م. و خبازی، م. (۱۴۰۲). بررسی سکونتگاه‌های انسانی واقع در حریم گسل‌های فعال (مورد مطالعه استان کرمان). فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۲(۱)، ۱۸۱-۲۰۴.

سهندهی، م.ر. (۱۳۷۳). نقشه زمین‌شناسی حورجند، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور، ش ۷۴۵۱.

سعیدی، ع؛ قاسمی، م.ر.؛ قرشی، م.؛ نواب پور، پ؛ فریدی، م.؛ حقی پور، ع. و رضائیان، م. (۱۳۸۱). بررسی زمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت بلوک طبس. گزارش داخلی، سازمان زمین‌شناسی کشور. سیوندی پور، ع. (۱۳۹۶). پهنه‌بندی خطر زلزله استان

بزرگ‌تر، ۱/۴۷ است. تحلیل خطر محدوده برای دوره بازگشت ۴۷۵ ساله نشان می‌دهد که بیشترین شتاب سنگ کف در محدوده ۰/۴۵ است که این شتاب در محدوده شهر هجدک بین ۰/۲۵-۰/۳۵ می‌باشد. نقشه شتاب نشان می‌دهد بیشترین شتاب‌ها در روند شمال‌غربی جنوب‌شرقی است که تطابق خوبی با روند گسل‌ها دارد. بنابراین به لحاظ قوانین ساخت‌وساز محدوده مورد مطالعه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ به طوری که با داشتن گمانه‌های خاک منطقه می‌توان ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای را انجام داده و از نتایج آن در بهبود ساخت‌وساز و انتخاب و به‌کارگیری مصالح استفاده کرد.

## مراجع

آقائباتی، ع. (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران. چاپ اول. تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

آرین، م. (۱۳۸۹). بررسی خطر زمین‌لرزه گسلش در گستره چهارگوش کرمان. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، ۲۰(۷۷)، ۱-۲۲.

آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله-استاندارد ۲۸۰۰. انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، نشریه شماره ض-۲۵۳ ویرایش سوم، ۲۱۲-۱.

ادیب، ا؛ آقاحسینی، آ. و پورکرمانی، م. (۱۳۹۳). لرزه‌خیزی و حریم گسلش پیرامون گسل لاله‌زار کرمان. نشریه زمین‌شناسی ژئوتکنیک، ۱۰(۱)، ۱۴-۱.

بصیری، م.؛ نظری، ح.؛ فروتن، م.؛ سلیمانی آزاد، ش.؛ شکر، م.؛ طالبیان، م.؛ قرشی، م.؛ اویسی، ب.؛ بلورچی، م. و رشیدی، ع. (۱۳۹۲). شناسایی الگوی خوشه‌ای رخداد زمین‌لرزه‌های پارینه روی گسل گلکلاف، جنوب خاوری کرمان. نشریه علوم زمین، ۲۲(۸۷)، ۱۸۰-۱۷۱.

حسینی، ز؛ علوی، ا؛ حسن‌زاده، ر. و دهقانی، م. (۱۳۹۳). تحلیلی بر آسیب‌پذیری لرزه‌ای و شبیه‌سازی آن در

- قدرتی امیری، غ.؛ رضویان امرئی، س. ع. و طهماسبی بروجنی، م. ع. (۱۳۹۴). تحلیل خطر لرزه‌ای و تهیه طیف خطر یکسان برای مناطق مختلف شهر کرمان. *نشریه مهندسی سازه و ساخت*، ۲(۲)، ۴۳-۵۲.
- کاظمی نیا، ع. و میمندی پاریزی، ص. (۱۳۹۶). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر کرمان در مقابل زلزله با استفاده از GIS. *نشریه مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی*، ۸(۳)، ۴۷-۳۱.
- مهدوی، م. (۱۳۷۴). نقشه زمین‌شناسی بهاباد، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور، ش ۷۲۵۳.
- میلان، ف. و نعمتی، م. (۱۳۹۷). شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی، زمین‌ساخت جنبی و لرزه‌خیزی حوضه‌های لوت و جازموریان (استان کرمان). *فصلنامه زمین‌شناسی محیط زیست*، ۱۲(۴۲)، ۱۳-۱.
- نبوی، م. ح. (۱۳۵۵). دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۹۸.
- نعمتی، م. اسکندری نصب سیاهکوهی، ن. و شفیعی بافتی، ش. (۱۴۰۱). بررسی ریخت‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی بخش شمالی و جنوب خاوری ایران مرکزی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، انتشار آنلاین.
- ولی زاده، ر. (۱۳۹۰). تحلیلی بر ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی و آسیب‌پذیری کالبدی و جمعیتی شهر کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی*، ۱۶(۲۰۲)، ۱۳۸-۱۷۹.
- 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). *Etude géologique de la region de Djam*, Geological Survey of Iran. Report, 23, 288.
- Berberian, M. (1981). Active faulting and tectonics of Iran. *Zagros-Hindu Kush-Himalaya Geodynamic Evolution* 3, 33-69.
- Bonini, M., Corti, G., Sokoutis, D., Vannucci, G., Gasperini, P., & Cloetingh, S. (2003). Insights from scaled analogue modelling into the seismotectonics of the Iranian region. *Tectonophysics*, 376(3-4), 137-149.
- Campbell, K. W., & 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.
- Gardner, J. K., & Knopoff, L. (1974). Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian. *Bulletin of the seismological society of America*, 64(5), 1363-1367.
- Kijko, A., & Sellevoll, M. A. (1992). Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part II. Incorporation of magnitude heterogeneity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(1), 120-134.
- کرمان با استفاده از تحلیل‌های اماری و شبکه‌های عصبی مصنوعی. *فصلنامه انجمن زمین‌شناسی ایران*، ۱۰(۳)، ۱-۹.
- شفیعی بافتی، ا. و شاه پسندزاده، م. (۱۳۸۹). بررسی ریخت‌زمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت پهنه گسله راور، جنوب ایران مرکزی. *فصلنامه علوم زمین*، ۱(۶۶)، ۶۶-۵۷.
- شفیعی بافتی، ا. (۱۳۹۸). لرزه‌زمین‌ساخت و برآورد خطر زمین‌لرزه در شمال کرمان به روش Kijko and Sellevoll. *فصلنامه علوم زمین*، ۲۸(۱۱۱)، ۹۴-۸۳.
- شیخ الاسلامی، م. ر.؛ جوادی، ح. ر.؛ اسدی سرشار، م.؛ آقاحسینی، ا.؛ کوه پیمان، م. و وحدتی دانشمند، ب. (۱۳۹۲). *دانشنامه گسله‌های ایران*. چاپ اول. تهران: نشر رهی.
- عابدی، ق. (۱۳۷۸). آسیب‌پذیری ناشی از بلایای طبیعی در گستره استان کرمان، *فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۸(۳۲)، ۳۰-۲۰.
- غضنفرپور، ح. و حامدی، م. (۱۳۹۶). سطح‌بندی میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهر کرمان بر اساس معیارهای منطق فازی. *نشریه جغرافیا و توسعه*، ۱۵(۴۸)، ۱۵۳-۱۶۹.
- غضنفرپور، ح.؛ پورخسروانی، م. و سلیمانی ساردو، م. (۱۳۹۸). ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی و آسیب‌پذیری کالبدی-جمعیتی شهر رفسنجان. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، ۸(۱۹)، ۱۵۰-۱۲۳.

- Nabavi, M. H. (1976). An introduction to the geology of Iran. Geological survey of Iran, 109.
- Saafizaadeh, M., & Bagheripour, M. H. (2019). Evaluation of peak ground acceleration for the city of Kerman through seismic hazard analysis. *Scientia Iranica*, 26(1), 257-272.
- Stöcklin, J. (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG bulletin*, 52(7), 1229-1258.
- Talebian, M., Biggs, J., Bolourchi, M., Copley, A., Ghassemi, A., Ghorashi, M., Hollingsworth, J., Jackson, J., Nissen, E., Oveisi, B., Parsons, B., Priestley, K., & Saiidi, A. (2006). The Dahuiyeh (Zarand) earthquake of 2005 February 22 in central Iran: reactivation of an intramountain reverse fault. *Geophysical Journal International*, 164(1), 137-148.