

Research Article

Revision of Ahvaz City seismic hazard analyzes according to the state of Ahvaz fault

Sasan Motaghed^{1*}, Nasrolla Eftekhari², Lotfolla Emadali¹, Hadi Sayyadpour³

1- Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

2- Faculty of Technology and Mining, Yasouj University, Choram, Iran

3- Department of Civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

Keywords: *Seismic hazard analysis, Maximum magnitude, Minimum magnitude, Earthquake scenario, Detailed fault identification*

1-Introduction

Ahvaz region is located on the southern side of the Zagros fold belt and the beginning of the Khuzestan plain under the Dezful subduction zone. Due to the movement of the Arabian plate towards the north and northeast, the folding of Zagros continues. According to some documents, horizontal movement is about 3.5 to 4.8 cm, and vertical movement is estimated at two millimeters per year (Aghanabati 2004). This region has been classified into different seismic classes based on various seismic estimates

According to the existing seismic catalogs, the past earthquakes in Ahvaz indicate the moderate seismicity of the region. According to this standard, Ahvaz city has a moderate seismic hazard (2 out of 4) with an acceleration of 0.25 g.

Some seismic classifications and hazard analysis results indicate a high or very high seismic hazard in Ahvaz. Arian (2015) stated that the most increased seismic hazards in the Zagros seismic province are in Ilam, Ahvaz, Yasuj, Bushehr, and Shiraz. Vetr et al. (2016) have proposed the PGA of Ahvaz up to 0.37g. According to the studies of Charchi et al. (2009), the estimated magnitude of the region is 6.9, with the PGA equal to 0.34 g. These accelerations are equivalent to the very high seismic hazard of standard NO.2800. According to the Wells and Coppersmith (1994) magnitude-rapture length relationship, the Ahvaz fault can produce an earthquake with a maximum magnitude of 7.54 Mw. Based on this evidence, the question is raised: with this vague data, how should the danger of the Ahvaz earthquake be seen in the meantime?

2-Material and methods

The seismic hazard analysis of Ahvaz city has been done using deterministic (DSHA) and probabilistic (PSHA) approaches. DSHA requires determining the hazard scenario. The hazard scenario consists of the magnitude-distance pairs. The scenario magnitude is selected to equal 7.1, and the distance is 4 km. The chosen ground motion prediction equations (GMPE) are Akkar et al. (2014), Ghasemi et al. (2009), Hamzehloo and Mahbood (2012), Sedaghati and Pezeshk (2017) and Zafarani et al. (2018) (Motaghed et al. 2022).

PSHA selects the minimum magnitude as 4.5 Mw (Motaghed and Fakhriyat, 2022). PSHA has been done using the Open Quick engine. The logic tree used in PSHA includes seismicity coefficients and GMPEs. For this purpose, two categories of seismicity coefficients obtained from the Kijko method (weight 0.6) and artificial statistical method (ASM) (weight 0.4) (Yazdani et al., 2015; Motaghed et al., 2021) have been used. The weight of GMPEs in the logic tree is assumed to be equal (0.2 for each relationship). The a-value of Kijko's method is 6.76 (related to earthquakes after 1979). The a-value of ASM is equal to

* Corresponding author: sasanmotaghed1@yahoo.com

DOI: 10.22055/aag.2024.44810.2405

Received: 2023-09-17

Accepted: 2024-03-10

6.17 ± 0.054 . The b-value is 1.33 ± 0.08 (related to earthquakes after 1979). The b value of the synthetic statistical method is equivalent to 1.03 ± 0.06 . Hazard analysis will be done in terms of both values.

3-Results and discussions

Based on the PSHA results, the elastic uniform hazard spectrum (UHS) for a point in the center of Ahvaz is given in Figure 1. In this figure, the UHS with the annual probability of exceedance of 0.1 (APE=0.1, service earthquake), APE=0.0021 (design earthquake), and APE=0.0004 (rare earthquake) are compared with standard No.2800 spectrum.

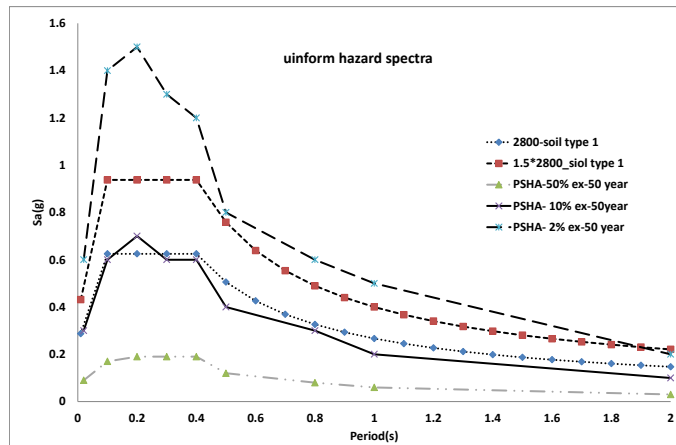


Fig. 1. Uniform hazard spectra in the center of Ahvaz (48.68; 31.30) compared with standard No. 2800 spectrum.

Comparing the DSHA-UHF with the standard No. 2800 design spectrum can provide more robust information for building design. The compliance intervals of the DSHA-UHS were obtained from the Ahvaz fault compared with the 2800 standard design UHS and rare earthquake UHS, which is assumed to be 1.5 times the design spectrum, to investigate the seismic hazard. All spectra are presented on bedrock with a shear wave speed of 800 m/s (soil type I). Based on this figure, the UHS determined at a distance of 6 km in periods below 4 seconds (1 to 4-story buildings) is almost consistent with the spectrum of severe earthquake standard No.2800. However, in the higher period ranges, the difference of 50% of the values can be seen, and the compliance distance to a severe earthquake is about 13.5 km. According to Figure 2, the UHS at a distance of 13.5 km for periods below 0.4 seconds (1- to 4-story buildings), a distance of 24 km for buildings with a period above 0.8 seconds (higher than 8-story buildings) almost matches the spectrum of the standard No. 2800 design spectrum. For buildings with a height between 4 to 8 stories, the compliance distance is between 13.5 and 24 kilometers. It should be noted that the entire residential area of Ahvaz city is located almost in the 10 km buffer of the fault.

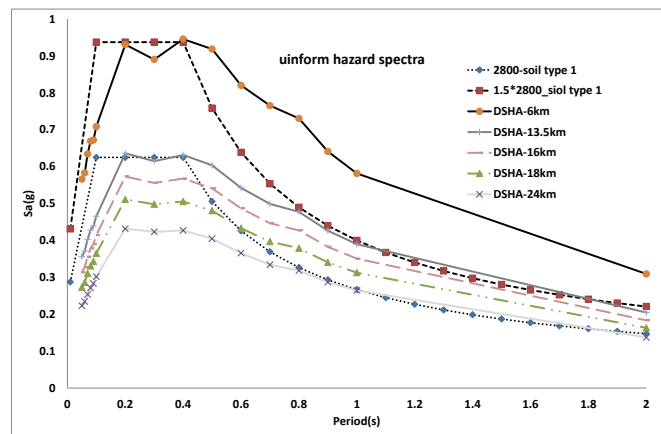


Fig. 2. Compliance intervals of uniform hazard spectrum (deterministic seismic hazard analysis) in the center of Ahvaz (48.68;31.30) with standard No. 2800 spectrum

Therefore, buildings below 4-story up to a distance of 13.5 km and taller buildings up to a distance of 24 km are not covered with the design spectrum of standard No. 2800. This result means that although the PSHA-UHS shows reasonable compliance with the design spectrum of standard 2800, both of these spectra provide a low estimate of the seismic hazard around the Ahvaz fault. This issue is significantly more critical for taller buildings in the entire residential area of Ahvaz city.

Based on the results of PSHA, the hazard maps of Ahvaz city on the bedrock (PGA(g)) for the APEs of 0.0021 and 0.0004 in Figure 3. Based on these results, it varies from 0.16g to 0.29g. It should be noted that this number was obtained. An APE of 0.0004 can be seen from 0.33g to 0.61g. In the figure, the position of Ahvaz's fault is shown. The maps show that the hazard level increases from the southwest to the northeast.

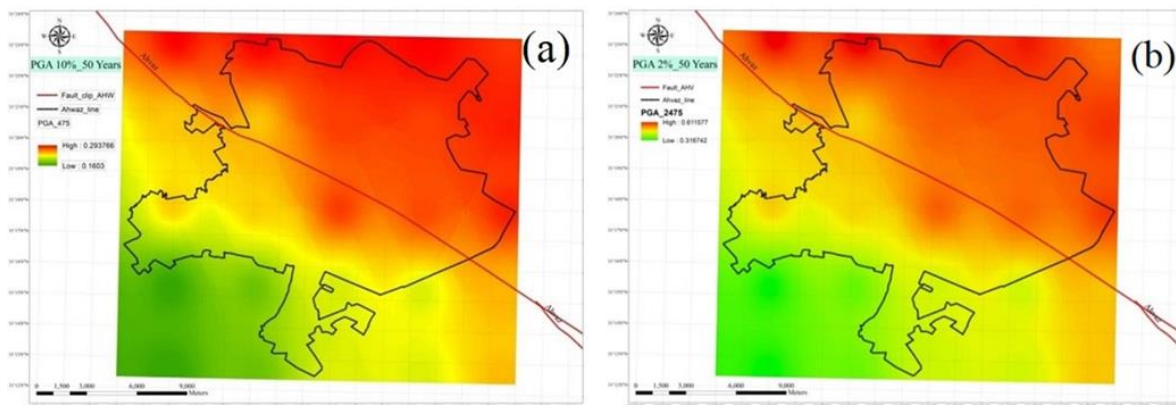


Fig. 3. Ahvaz city seismic hazard map on the bedrock for (a). There is an exceeding probability of 10% in 50 years, and (b). Exceedance probability of 2% in 50 years

In this way, it can be seen that the earthquake hazard of Ahvaz city based on the PSHA in the northeastern part and based on the DSHA based on the scenario in two bands with a width of more than 13.5 km around the Ahvaz fault (the entire residential area of Ahvaz city) is higher than The values considered in the design of buildings in Ahvaz city are based on official design documents in this city. These findings can be regarded as an alarm for a region where the prevailing opinion is that it has low seismic hazard. Finally, it is emphasized again that the reliability of any analysis depends on the accuracy of the parameters used in the study, which, unfortunately, cannot be assumed to be satisfactory in this region.

4-Conclusion

In this article, the detailed seismic zoning of Ahvaz city is presented. Based on the results, the following recommendations are presented as the results of this research:

- The most critical problem that can be deduced from this study is that the required regional parameters are unavailable or available with great uncertainty in all stages of hazard analysis. Therefore, the analysis results are associated with much uncertainty, and it is necessary to determine these parameters in appropriate and reliable ways. The most important of these parameters is the characteristics of the Ahvaz fault.
- Due to the large extent of Ahvaz City and its location in an area with rapid changes in seismic behavior, a distinction was made between Ahvaz City and the residential area of Ahvaz City in seismic hazard analyses of this area.
- In the DSHA or PSHA studies, it is necessary to consider the selection of suitable Ground Motion Prediction equations (GMPEs or attenuation relationships) for the near-fault area using ergodic assumption or the use of the region-specific GMPEs. The lack of region-specific observational data is a challenging issue in this regard.
- It is necessary to carry out the micro-zoning of the area on the soil, taking into account the detailed information of the fault, soil, groundwater, and all near-fault effects.

- General identification of the construction situation and vulnerability to accurately determine minimum magnitude earthquakes can significantly help refine the study results.
- Considering all these defects, based on the results of this study, it seems that the minimum action to promote safety is to change the seismic risk status of Ahvaz City to high risk (maximum horizontal acceleration g 0.3).

5-References

- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, geological survey of Iran, 640 P., (In Persian).
- Akkar, S., Sandikkaya, M.A., Bommer, J.J., 2014. Empirical ground-motion models for point-and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East. *Bulletin of Earthquake Engineering* 12(1), 359-387. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9461-4>
- Arian, M., 2015. Seismotectonic-geologic Hazards zoning of Iran. *Earth Sciences Research Journal* 19(1), 7-13. <https://doi.org/10.15446/esrj.v19n1.40664>
- Charchi, A., Asghari, E., Karmi, R., Nazarpour, N., 2009. Ahvaz fault mechanism and it's seismic activity, 12th Symposium of Geological Society of Iran, February 18, Ahwaz, Iran.
- Ghasemi, H., Zare, M., Fukushima, Y., Koketsu, K. 2009. An Empirical spectral ground-motion model for Iran. *Journal of seismology* 13(4), 499-515. <https://doi.org/10.1007/s10950-008-9143-x>
- Hamzehloo, H., Mahood, M., 2012. Ground-motion attenuation relationship for East Central Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America* 102(6), 2677-2684. <https://doi.org/10.1785/0120110249>
- Hamzehloo, H., Alikhanzadeh A., Rahmani, M., Ansari, A., 2012. Seismic hazard maps of Iran .15th World Conferences on Earthquake Engineering (WCEE) .
- Motaghed, S., Fakhriyat, A., 2022. A Reliable Method for Determining the tapered minimum magnitude in a probabilistic seismic hazard analysis. *International Journal of Reliability, Risk and Safety: Theory and Application* 5(2), 89-95. <https://doi.org/10.30699/IJRRS.5.2.9>
- Motaghed, S., Khazae, M., Eftekhari, N., Mohammadi, M., 2023. A non-extensive approach to probabilistic seismic hazard analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 23(3), 1117-1124. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1117-2023>
- Motaghed, S., Eftekhari, N., Sayyadpour, H., Emadali, L., 2022. Seismic microzonation of Ahvaz city considering near-fault directivity effects, Unpublished report of research project.
- Motaghed, S., Khazae, M., Mohammadi, M., 2021. The b-value Estimation based on the artificial statistical method for Iran Kope-Dagh seismic province. *Arabian Journal of Geosciences* 14(15), 1461. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07970-y>
- Vetr Tamijani, M., Tabarok, M., Riahi Nouri, A., 2016. Development of Iran's earthquake code rules for applying the near field effect - case application: sites of imam reza holy shrine (as) and Ahvaz oil field. *Sharif Journal of Civil Engineering* 31(2), 53-60. <https://doi.org/20.1001.1.26764768.1394.312.42.6.5>
- Wells, D.L., Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, Rupture Area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America* 84(4), 974-1002. <https://doi.org/10.1785/BSSA0840040974>
- Yazdani, A., Nicknam, A., Khanzadi, M., Motaghed, S., 2015. An artificial statistical method to estimate seismicity parameter from incomplete earthquake catalogs a case study in metropolitan Tehran, Iran , *Scientia Iranica* 22(2), 400-409.
- Zafarani, H., Luzi, L., Lanzano, G., Soghrat, M.R., 2018. Empirical equations for the prediction of PGA and pseudo spectral accelerations using iranian strong-motion data. *Journal of Seismology* 22(1), 263-285. <https://doi.org/10.1007/s10950-017-9704-y>

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Motaghed, S., Eftekhari, N., Emadali, L., Sayyadpour, H., 2025. Ahvaz, a region with moderate seismic hazard or a city with high seismic hazard. Adv. Appl. Geol. 14(4), 1072-1098.

Everything depends on the Ahvaz fault

DOI: 10.22055/aag.2024.44810.2405

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_19706.html

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

بازنگری تحلیل‌های خطر زلزله شهر اهواز با توجه به وضعیت گسل اهواز

ساسان معتقد*

گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا(ص) بهبهان، بهبهان، ایران

نصراله افتخاری

دانشکده صنعت و معدن، دانشگاه یاسوج، چرام، ایران

لطف اله عماد علی

گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا(ص) بهبهان، بهبهان، ایران

هادی صیادپور

گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

* sasanmotaghd1@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

چکیده

در آیین‌نامه زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) و همچنین اغلب اسناد و تحلیل‌های خطر لرزه‌ای انجام شده، شهر اهواز منطقه‌ای با خطر لرزه‌ای متوسط گزارش شده است. پیشینه موجود از لرزه خیزی منطقه نیز مؤید این مطلب است. این اسناد و اطلاعات با وضعیت گسلی منطقه که خصوصاً در سال‌های اخیر بهتر شناسایی شده است هم‌خوانی چندانی نشان نمی‌دهد. این عدم تطابق در برخی مطالعات متأخر نیز دیده می‌شود. در این مقاله "بررسی جامعی" از لرزه خیزی منطقه اهواز در حوزه تحلیل خطر احتمالی زلزله ارائه شده است. بر اساس نتایج این مطالعه و با توجه به عبور گسل فعال اهواز با طول بالای ۱۰۰ کیلومتر شواهد موجود از زلزله مخرب گذشته در منطقه، به نظر می‌رسد بازبینی اساسی در خطر زلزله شهر اهواز ضروری است. تحلیل خطر زلزله تعینی بیشینه شتاب تا حدود ۰/۶۶g را برای بازه زمانی نامشخص و تحلیل خطر احتمالی، بیشینه شتاب ۰/۱۶g تا ۰/۲۹g را برای زلزله مبنای طرح و ۰/۳۳g تا ۰/۶۱g را برای حداکثر زلزله قابل قبول ارائه می‌دهد. به این ترتیب پیشنهاد می‌شود که برای تأمین ایمنی شهروندان، شهر اهواز در زمره شهرهای با خطر بالای لرزه‌ای لحاظ شود. این مطالعه پراگماتیکی در زمینه خطر زلزله شهر اهواز باز کرده است و عبارت "بررسی جامع" با توجه به نبود زیرساخت‌های اطلاعاتی زمین شناسی لازم ناقص است. برای رسیدن به نتایج قابل اعتمادتر و بستن این پراگماتیسم با لحاظ مسائل مالی، اکیداً توصیه می‌شود که در این زمینه تحقیقات زمین شناسی و ژئوفیزیک دقیق‌تر با تمرکز بر روش‌های تفصیلی پارینه لرزه شناسی و با تأکید بر تعیین دقیق مشخصات گسل اهواز صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل خطر زلزله، حداکثر بزرگ، حداقل بزرگ، سناریوی زلزله، تدقیق گسل

۱- مقدمه

حرکت به سمت غرب و جنوب، در فواصل میان این کوه‌ها ناودیس‌ها به وجود آمده‌اند. این ناودیس‌ها با گذشت زمان (در دوره کواترنری) در نتیجه تجمع آبرفت به صورت سرزمین‌های هموار کم وسعتی به نام دشت‌ها درآمدند. بخش مرکزی و جنوب استان را جلگه خوزستان در بر می‌گیرد. این جلگه با شیبی ملایم به خلیج فارس منتهی می‌شود. بخش عمده این جلگه نتیجه رسوب گذاری رودخانه‌های کارون، کرخه، جراحی، دز و زهره در دوره کواترنری است.

شهر اهواز بعنوان مرکز استان خوزستان، دربرگیرنده صنایع عظیم نفتی، کارخانجات لوله‌سازی و شرکت فولاد می‌باشد. این شهر با جایگاه تاریخی و موقعیت جغرافیایی و سیاسی خاص، جمعیتی حدود ۱/۲ میلیون نفر را در خود اسکان داده و تقریباً در نقطه میانی استان خوزستان واقع شده است. استان خوزستان در بخش‌های رسوبی رشته کوه زاگرس قرار گرفته و از نظر پستی و بلندی به دو منطقه کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌شود. بخش‌های شرق و شمال شرق کوهستانی بوده و با

در این بخش بر اساس اسناد و مدارک موجود وضعیت خطر زلزله در شهر اهواز مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به تفاوت موجود در نتایج، شواهد در دو گروه شواهد حاکی بر خطر متوسط و شواهد حاکی بر خطر زیاد دسته بندی شده است.

۱-۲- خطر متوسط

بر اساس کاتالوگ‌های لرزه‌ای موجود، زلزله‌های گذشته اهواز نشان از لرزه خیزی متوسط منطقه دارد. بسیاری از تقسیم بندی‌های لرزه‌ای نیز اهواز را شهری با خطر لرزه‌ای متوسط معرفی کرده‌اند. مهم‌ترین این اسناد، استاندارد ۲۸۰۰ است. بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، شهر اهواز خطر زلزله متوسط (۲ از ۴) با شتاب مبنای ۰/۲۵g دارد. در بسیاری ایالت‌بندی‌های لرزه‌ای نیز وضعیتی مشابه دیده می‌شود. Zafarani و همکاران (۲۰۱۵) با اصلاح ایالت بندی Nowroozi (۱۹۷۶) ایران را به ۱۵ ایالت لرزه خیز تقسیم کرده‌اند. در این تقسیم بندی اهواز در ایالت ۳ قرار گرفته است. در این ایالت ضریب لرزه خیزی ۸/۶۷، مقدار b برابر ۱/۲۶ و حداکثر بزرگای برابر با ۶/۳ داده شده است. مقدار b بالا، نشان از کم بودن زلزله‌های با بزرگای زیاد در منطقه دارد که با حداکثر بزرگای ۶/۳ دال بر خطر زلزله متوسط منطقه است (Zafarani et al., 2015). Liu و Neghabat (۱۹۷۷) شدت زلزله اهواز را برای دوره بازگشت ۵۰۰ ساله بین ۸ و ۹ مرکالی اصلاح شده (MMI) و برای دوره بازگشت ۲۵۰۰ ساله بین ۹ و ۱۰ داده است. شرح بیشتر وضعیت شهر اهواز در ایالت بندی لرزه‌ای مختلف در جدول ۱ داده شده است. همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، در اغلب ایالت بندی‌های لرزه‌ای شهر اهواز تقریباً خطر متوسط دارد.

۲-۲- خطر زیاد

۱-۲-۲- مطالعات گذشته

بر خلاف گزارشات جدول ۱، برخی از ایالت بندی‌های لرزه‌ای و نتایج تحلیل خطر حاکی از خطر لرزه‌ای زیاد یا بسیار زیاد اهواز است. (Arian, 2015) بیشترین خطر زلزله ایالت لرزه خیز زاگرس را در شهرهای ایلام، اهواز، یاسوج، بوشهر و شیراز بیان کرده است. Vetr و همکاران (2016) بیشینه شتاب روی سنگ بستر را برای حوزه نفتی شهر اهواز با روابط کاهندگی مختلف بین ۰/۳ تا ۰/۳۷ شتاب ثقل پیشنهاد داده است. بر اساس مطالعات Charchi و همکاران (۲۰۰۹) بزرگای برآورد شده منطقه ۶/۹ است. بر این اساس حداکثر شتاب برابر با ۰/۳۴g

محققان زاگرس چین خورده را به شش زیر پهنه شامل لرستان، ایذه، فروافتادگی دزفول، دشت آبادان، فارس و هینترلند بندرعباس تقسیم نموده‌اند (Motiei, 1995). منطقه اهواز در کناره جنوبی کمربند چین خوردگی زاگرس و ابتدای دشت خوزستان در زیر پهنه فروافتادگی دزفول واقع شده است و تکوین آن مربوط به زمان سنوزوئیک و کواترنری است. جوان‌ترین حرکت چین‌خوردگی این ناحیه در پلیوسن- پلیستوسن رخ داده و باعث ایجاد ارتفاعات به شکل کنونی گردیده است. این حرکت‌های کوهزایی باعث ایجاد تاقدیس‌ها و ناودیس‌های موزی با یکدیگر شده است که تاقدیس اهواز یکی از آن‌ها به شمار می‌رود. به دلیل حرکت صفحه عربستان به سمت شمال و شمال شرق، چین خوردگی زاگرس ادامه دارد. بر اساس برخی اسناد میزان حرکت افقی حتی تا حدود ۳/۵ تا ۴/۸ سانتیمتر و حرکت‌های قائم حدود دو میلی‌متر در سال برآورد شده است (Aghanabati, 2004).

در مجموع به لحاظ ساختاری دو روند اصلی در منطقه دشت خوزستان و به طور خاص در شهر اهواز قابل تشخیص است: روند اول شمال غرب- جنوب شرق است که گسل اهواز در این گروه قرار گرفته و به موازات راستای اصلی زاگرس است (Esmaeili et al., 2015). روند دوم، روند شمال، شمال غرب- جنوب، جنوب شرق با ساز و کار راستا لغز و مؤلفه حرکتی معکوس است که با سامانه گسلش قطر-کازرون همخوانی دارد (Ebrahimi Samani et al., 2017).

بر اساس این شواهد، شهر اهواز در آستانه پهنه لرزه زمین ساخت زاگرس قرار گرفته است. این پهنه در برآوردهای لرزه‌ای مختلف در رده‌های لرزه‌ای متفاوت دسته بندی شده است. بر این اساس در این مقاله جنبه‌های مختلف لرزه خیزی شهر اهواز مورد بررسی قرار گرفته و ریز پهنه بندی خطر زلزله شهر اهواز روی سنگ بستر به روش‌های تعینی و احتمالی ارائه شده است. برای این منظور، مناسب‌ترین روابط کاهندگی که قادر به تخمین مشخصات خطر زمین لرزه در منطقه باشند انتخاب گردیدند. همچنین دودسته ضرایب لرزه‌خیزی به دست آمده از روش‌های کیچکو و آماری مصنوعی در تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل خطر احتمالی با استفاده از نرم افزار اپن کوئیک محاسبه شده است. در فرآیند تحلیل خطر، اثرات جهت داری زلزله نزدیک گسل در نظر گرفته شد.

۲- شواهد خطر زلزله

وضعیت گسل اهواز است. گسل اهواز از نوع معکوس و در برخی مناطق از نوع رورانگی است و با طول بالای ۱۰۰ کیلومتر (بر اساس برخی برآوردها ۱۱۱ کیلومتر)، با روند شمال غربی- جنوب شرقی از شمال شهر سوسنگرد آغاز و با عبور از شهر حمیدیه و مرکز شهر اهواز، تا جنوب شرق اهواز ادامه یافته است. نقش آشکار این گسل در وضعیت رودخانه کارون، امکان فعالیت آن را قوت می‌بخشد. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله نیز این گسل را گسلی کواترنری و فعال معرفی کرده است (Hessami et al., 2003). این گسل که از لحاظ شرایط زمین‌شناسی شهر را به دو بخش شمال - شمال شرقی (فرا دیواره) و جنوب- جنوب غربی (فرودیاره) تقسیم کرده است (Esmaeili et al., 2015)، احتمالاً عامل زمین لرزه تاریخی و ویرانگر اهواز بوده است. موقعیت قرارگیری این گسل در منطقه در شکل و موقعیت گسل در مجموعه مسکونی شهر اهواز در شکل ۲ نشان داده شده است.

گزارش شده است. این شتاب‌ها معادل خطر بسیار زیاد استاندارد ۲۸۰۰ است. Mavadat و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خطر زلزله خوزستان، اهواز را در کنار بهبهان دارای خطر زیاد لرزه‌ای (رتبه ۲ در سیستم رتبه بندی ۵ رتبه‌ای) می‌دانند. بر اساس مطالعات تاریخی، در سال ۸۴۰ میلادی (۲۲۵ قمری) زمین‌لرزه‌ای ویرانگری در زاگرس روی داده که در اهواز خانه‌های بسیار و نیز مسجد جامع ویران شده و مردم شهر را ترک کرده‌اند. تپه مشرف به اهواز شکاف برداشته است و پس لرزه‌های متعددی شکل گرفته است. تصور بر این است که منشأ این زلزله گسل اهواز بوده است. امبرسیس و ملویل بزرگای این زمین لرزه ۶/۵ در مقیاس بزرگای موج سطحی برآورد کرده است (Ambraseys and Melville, 1982). Mousavi- Bafrouei و همکاران (۲۰۱۴) بزرگای این زلزله را ۶/۴ در مقیاس بزرگای گشتاوری برآورد کرده‌اند.

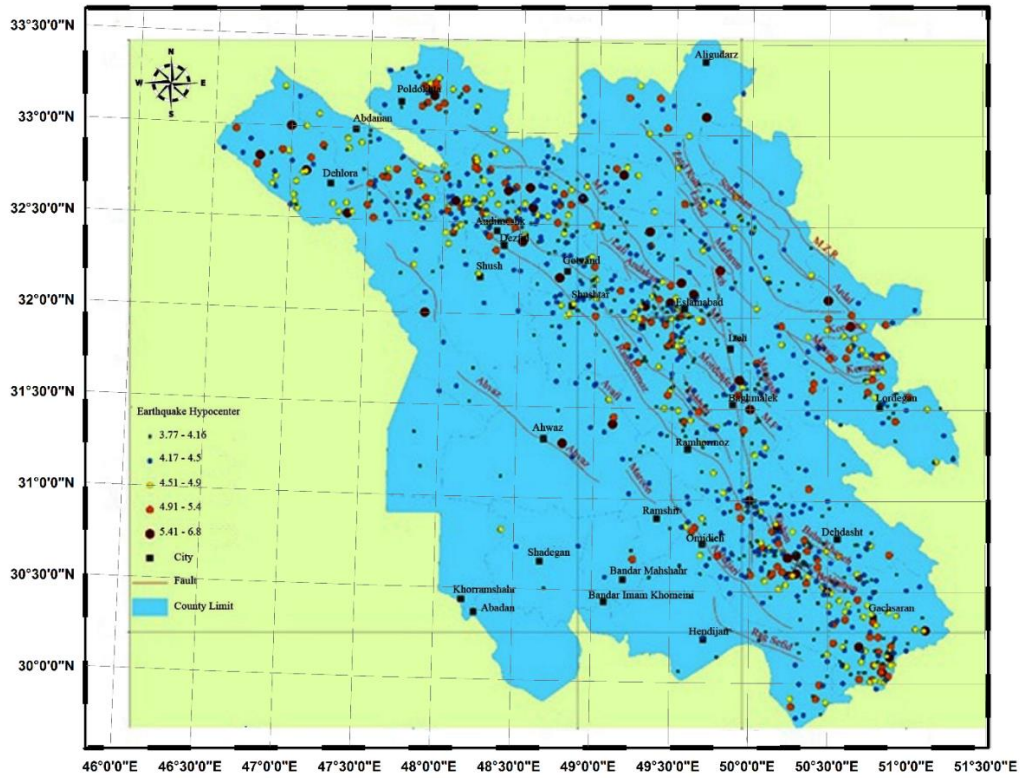
۲-۲-۲- وضعیت گسل اهواز

دومین مسئله‌ای که خطر زیاد زلزله اهواز را نشان می‌دهد،

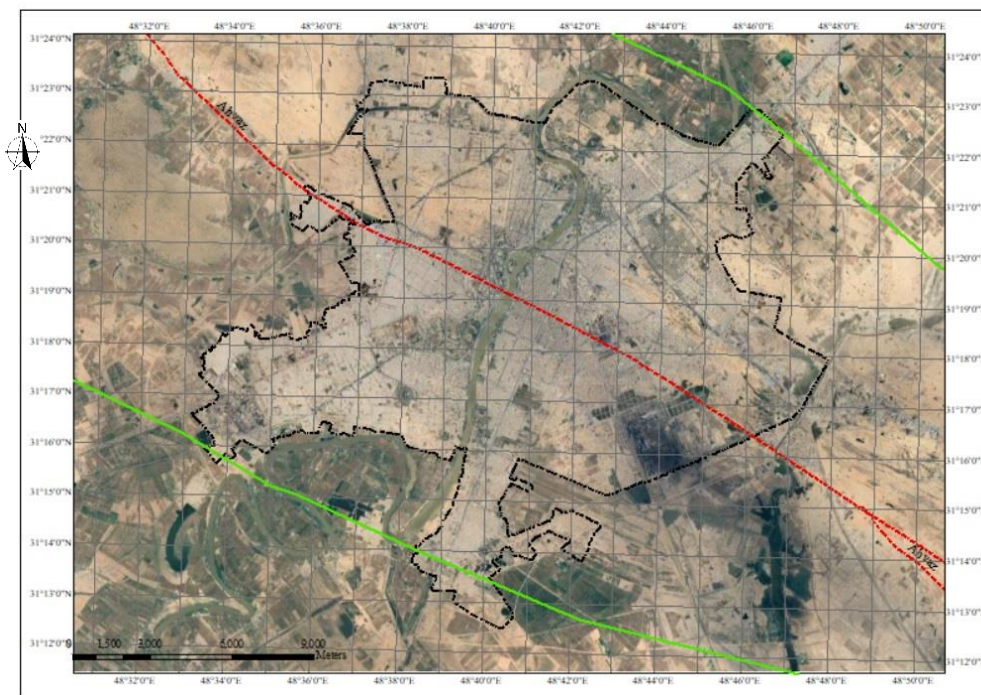
جدول ۱- خطر زلزله شهر اهواز در برخی گزارش‌های تحلیل خطر لرزه‌ای.

Table 1. The seismic hazard of Ahvaz city in some seismic hazard analysis reports

Reference	Hazard level in Ahvaz county	Hazard level in Ahvaz city	Number of hazard levels	Criterion
Neghabat and Liu, (1977)	1, 2	1	3	-
Berberian and Mohajer-Ashjai (1977)	6, 7, 8, 9	6	4 - 9	MMI
Mohajer-Ashjai and Nowroozi (1978)	0, 1, 2	1	0 - 2	MMI
Berberian, M. (1981)	2, 3	2	1, 2, 3	MMI
BHRC(Standard No.2800) 1987 (a), 1999 (b), 2005 (c) and 2012 (d)	1, 2, 3	2	1, 2, 3	Pga 475
(b)		2	4	Pga 475
(c)	1, 2	2	4	Pga 475
(d)	1, 2	2	4	Pga 475
Hamzehloo et al., (2012)	2, 3, 4	2	5	Pga 475
	3, 4, 5	5	6	Pga 2475
	2, 3, 4	3	6	T 0.2
Karimiparidari(2014)	4, 5, 6	6	9	Pga 475
Mantyniemi et al., (2007)	0.2 – 0.25g	0.25g	-	Pga 475
Moinfar et al., (2000)	2, 3, 4	3	6	-



شکل ۱- موقعیت گسل‌های پیرامون شهر اهواز (Hessami et al., 2003).
 Fig. 1. The location of faults around the city of Ahvaz (Hessami et al., 2003).



شکل ۲- موقعیت گسل اهواز در شهر اهواز. محدوده مسکونی با خط چین مشکی نمایش داده شده است.
 Fig. 2. Ahvaz fault (red line) location in the residential part (yellow line) of Ahvaz city.

در مورد عمق گسل اهواز اختلاف نظر وجود دارد. Motiei (۱۹۹۵) گسل اهواز را یک گسل کم عمق می‌داند که تا سازند گچساران ادامه می‌یابد. بر این اساس منطقه فشاری تاقدیس اهواز از سازند گچساران شروع شده و گسل اهواز از این سازند تا سطح ادامه پیدا کرده است. از سوی دیگر، Mc Quarrie (۲۰۰۴) معتقد است که گسل اهواز گسلی عمیق است. با توجه به این اطلاعات بر اساس رابطه بزرگا- طول گسیختگی Wells و Coppersmith (۱۹۹۴) و با فرض گسیختگی ۱۰۰ درصد، گسل اهواز پتانسیل تولید زلزله‌ای با بزرگای حداکثر ۷/۵۴ و بر اساس رابطه بزرگا- سطح گسیختگی Wells و Coppersmith

در مورد عمق گسل اهواز اختلاف نظر وجود دارد. Motiei (۱۹۹۵) گسل اهواز را یک گسل کم عمق می‌داند که تا سازند گچساران ادامه می‌یابد. بر این اساس منطقه فشاری تاقدیس اهواز از سازند گچساران شروع شده و گسل اهواز از این سازند تا سطح ادامه پیدا کرده است. از سوی دیگر، Mc Quarrie (۲۰۰۴) معتقد است که گسل اهواز گسلی عمیق است. با توجه به این اطلاعات بر اساس رابطه بزرگا- طول گسیختگی Wells و Coppersmith (۱۹۹۴) و با فرض گسیختگی ۱۰۰ درصد، گسل اهواز پتانسیل تولید زلزله‌ای با بزرگای حداکثر ۷/۵۴ و بر اساس رابطه بزرگا- سطح گسیختگی Wells و Coppersmith

جدول ۲- نتایج تحلیل خطر تعیینی شهر اهواز در برخی مطالعات.

Table 1. The seismic hazard of Ahvaz city in some seismic hazard analysis reports

	Azadmehr (2009)	Vetr et al. (2016)	Charchi et al. (2009)
Maximum magnitude	Mw=7.1	Mw=7	ML=6.9 (Mw=6.16-6.69)
Pga(g)(deterministic analysis)	Horizontal 0.89g Vertical 0.67g	Horizontal 0.54g	Horizontal 0.34g

لرزه‌ای، M_0 ، به صورت زیر تعریف می‌شود (Burrige and Knopoff, 1964 ; Madariaga, 1977):

$$M_0 = \int_A \mu(x)u(x)dA \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$\approx \mu \int_A u(x)dA$$

که در آن صلبیت برشی یا مدول برشی μ در پوسته ثابت فرض می‌شود و از زیر انتگرال خارج می‌شود. این عبارت به طور مرسوم به صورت معادله ۲ نوشته می‌شود که در آن توزیع مکانی جابجایی، $u(x)$ ، بر روی ناحیه گسیختگی A میانگین گیری شده است تا جا به جایی میانگین، \bar{u} ، به دست آید:

$$M_0 = \mu A \bar{u} \quad (\text{رابطه ۲})$$

برای رخدادهای بزرگ، ناحیه گسیختگی بسیار بزرگ خواهد بود و ممکن است صلبیت از مکانی به مکان دیگر (به ویژه با عمق) در ناحیه گسیختگی تغییر کند. با این حال، در عمل، سختی معمولاً با مقدار ثابتی مانند $3.3 * 10^{10} \text{ N/m}^2$ بیان می‌شود. از آنجا که واحد صلبیت مانند واحد تنش است $\mu =$ و در ناحیه گسیختگی ضرب می‌شود، می‌توان دید که رابطه ۲ را می‌توان به صورت حاصل ضرب نیرو (μA) در جابجایی \bar{u} تفسیر کرد. از این رو، در سیستم SI واحد سنجش ممان لرزه‌ای، Nm خواهد بود که کار انجام شده توسط گسل در گسیختگی را نشان می‌دهد. این مقیاس توسط Hanks و Kanamori

۲-۲-۳- مطالعات دیرینه لرزه شناسی

سومین نشانه از لرزه خیزی بالای اهواز از مطالعات اندک دیرینه لرزه شناسی انجام شده در منطقه قابل استنتاج است. بر اساس مطالعات Esmaili و همکاران (۲۰۱۵) به روش ترمولومینانس سن ۴۰۰۰ سال به عنوان زمان یک فعالیت زمین ساختی مهم برای گسل اهواز و رویداد یک زمین لرزه بزرگ در این منطقه که سبب جابه جایی مسیر رودخانه نیز شده، برآورد می‌شود. با توجه به رویداد سال ۸۴۰ میلادی، با کسر این دو مقدار، می‌توان عدد ۳۲۰۰ سال را به عنوان فاصله بین دو حرکت نیرومند حرکت زمین در گسل اهواز در نظر گرفت. لازم به یادآوری است که این فاصله منتسب به گسل اهواز با استفاده از یک زمین لرزه تاریخی و تعیین سن رسوبات منتسب به یک زمین لرزه دیگر به دست آمده است و احتمال رخداد زمین لرزه‌های دیگر مرتبط با گسل اهواز در ادوار دیگر که به دلیل گذشت زمان مستندات آن گم یا پنهان شده دور از ذهن نیست. از این رو اعتبار عدد ۳۲۰۰ سال به عنوان دوره بازگشت زلزله‌ها کاملاً خدشه دار است و تنها باید به عنوان پیشامد مد نظر قرار گیرد.

بهترین روش سنجش اندازه یک رخداد زلزله، انرژی آزاد شده آن است. ممان لرزه‌ای معیار استاندارد است که برای سنجش کمی اندازه زلزله به کار می‌رود. ممان لرزه‌ای (گشتاور

(۱۹۷۹) معرفی شد و صرفاً تابعی از ممان لرزه‌ای (گشتاور لرزه‌ای) است:

$$M_W = \frac{2}{3} \log_{10} M_0 - 6.03 \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن ممان لرزه‌ای در واحدهای SI بر حسب Nm بیان می‌شود. مقیاس بزرگای گشتاوری از زمان معرفی به مقیاسی استاندارد در PSHA تبدیل شده است. توزیع لغزش در طول گسیختگی تغییر می‌کند و لغزش در نزدیکی مرکز بیش‌ترین مقدار خود را دارد و در انتها به سمت صفر میل می‌کند. این توزیع لغزش ناشی از محدودیت‌های کینماتیکی روی سطح گسل است.

بر اساس این روابط و با فرض کمترین تخمین از حداکثر بزرگای گسل اهواز (۶/۱۶) و با فرض عمق ۱۶۰۰ متری برای گسل، میانگین جابجایی برای گسل حدود ۳۶ سانتی‌متر به دست می‌آید که می‌تواند به معنای جابجایی بیش از ۷۰ سانتی-متری در نواحی میانی گسل باشد. اگر نرخ حرکت سالانه گسل اهواز را حدود ۱۵ میلی‌متر در سال فرض کنیم (Samani and Charchi, 2023)، برای نرخ گسیختگی گسل داریم

$$\lambda(\text{rup}) = \frac{\dot{u}}{\bar{u}} = \frac{0.015 \text{ m/yr}}{0.36 \text{ m}} = 0.04109 \text{ yr}^{-1}$$

متوسط زمان بین تکرار یک رخداد، که به عنوان دوره بازگشت آن رخداد شناخته می‌شود، را می‌توان از معکوس نرخ وقوع به دست آورد. بنابراین دوره بازگشت زلزله با بزرگای ۶/۹ در مقیاس ریشتر (با فرض صحت تبدیل) برابر ۲۴ سال به دست می‌آید که البته به هیچ وجه با واقعیت رخدادهای گسل اهواز همخوانی ندارد و با دوره بازگشت ۳۲۰۰ ساله اختلاف بسیار زیادی دارد. سؤال این است که کدام فرض محاسباتی در این بین اشتباه است؟ آیا داده‌های عمق گسل نادرست است؟ آیا نرخ حرکت سالانه الزاماً نرخ لرزه‌ای است یا ممکن است سهم بزرگی از آن حرکت غیر لرزه‌ای باشد؟

هنگامی که تخمین نقطه‌ای از جابجایی در برخی مکان‌ها در طول گسل، اغلب بر اساس انحراف ویژگی‌های سطحی، یا از طریق تحقیقات پارینه لرزه‌شناسی انجام می‌شود، هر مقدار به دست آمده یک نقطه در این توزیع را نشان خواهد داد. روابط مقیاس گذاری تجربی به طور کلی بر حسب میانگین یا حداکثر جابجایی گسیختگی ارائه می‌شوند. در نتیجه، درجه‌ای از عدم قطعیت در استنتاج میانگین یا حداکثر جابجایی از مقادیر اندازه گیری شده مجزا یا تعداد کم برآوردهای نقطه‌ای در طول

گسیختگی، وجود دارد. این عدم قطعیت می‌تواند به عدم قطعیت در اندازه رخدادهای گذشته و برآورد نرخ لغزش برای گسل‌ها منجر شود که هر دو بر ارزیابی خطر تأثیر دارند.

بر اساس این شواهد می‌توان گفت که شهر اهواز در اسناد رسمی و مقالات با قدمت بیشتر شهری با خطر لرزه‌ای متوسط لحاظ شده است. در مطالعات جدیدتر و اسناد غیر رسمی اهواز شهری با خطر زلزله بالا دیده شده است. این تناقض به پیشرفت روش‌های تحلیل خطر (Motaghd et al., 2023) و البته به طور عمده به اطلاعات بیشتر از گسل اهواز برمی‌گردد. افزایش اطلاعات در سال‌های اخیر در زمینه این گسل و وضعیت ساختگاه شهری اهواز به طور عمد متأثر از اجرای پروژه قطار شهری (Esmaeili et al., 2015) و یا تحقیقات توسعه‌یافته دانشگاهی (Charchi et al., 2009; Motaghd et al., 2022) است. حال این سؤال مطرح می‌شود که با این داده‌های مبهم، در این بین خطر زلزله اهواز به چه صورت باید دیده شود. به این منظور در بخش بعد تحلیل خطر احتمالی شهر اهواز با لحاظ این موارد صورت گرفته و نتایج به تفصیل ارائه شده است.

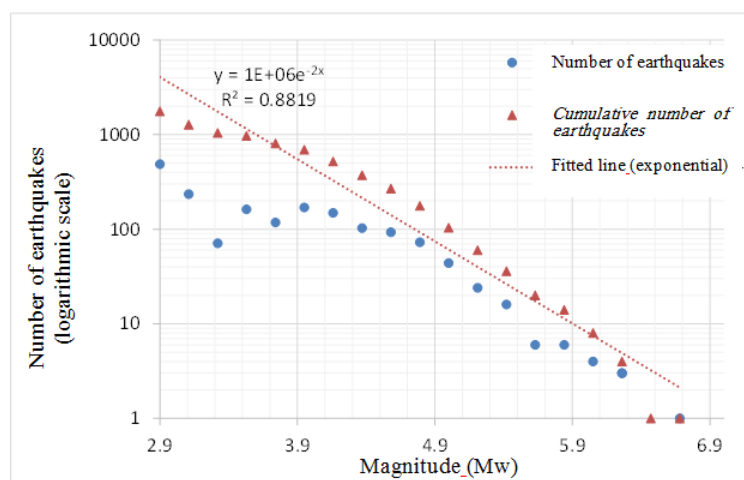
۳- لرزه خیزی

وجود یک کاتالوگ زلزله قابل اعتماد که حداقل شامل موقعیت رومرکز، عمق کانونی و بزرگای زلزله‌ها باشد برای تعیین پارامترهای مورد نیاز در تحلیل خطر الزامی است. عدم اطمینان‌ها در محاسبه قانون توان به چگونگی شناخت از متغیرهای وابسته بستگی دارد. موقعیت‌های دور لرزه‌شناسی (Telesismic) معمولاً خطای بیشتری در مقایسه با شبکه‌های محلی دارند؛ و پارامترهایی مانند رومرکزها و عمق‌های کانونی مستخرج از داده‌های دور لرزه‌شناسی در خاورمیانه خصوصاً در دوره اولیه ابزاری چندان قابل اعتماد نیستند.

برای به حداقل رساندن خطا کاتالوگ زلزله از کاتالوگ پالایش شده Mousavi-Bafrouei و Mahani (۲۰۲۰) شامل زلزله‌های تاریخی و ابزاری برای منطقه‌ای با شعاع ۲۰۰ کیلومتر حول شهر اهواز استفاده شده است. در این کاتالوگ واحد یکنواخت M_W برای بزرگا ارائه شده است. برای تکمیل این کاتالوگ تا سال ۲۰۲۲، از کاتالوگ پژوهشگاه زلزله استفاده شده است. کاتالوگ به روش گاردنر-نوپوف با استفاده از نرم افزار ZMAP خوشه زدایی شده است. تبدیل واحد بزرگا برای این دسته زلزله‌ها با استفاده از روابط Mousavi-Bafrouei و همکاران (۲۰۱۴) انجام شده است. به این منظور بر اساس

لرزه‌خیزی کل ناحیه را نشان می‌دهد و در صورت تقسیم ناحیه مورد نظر به سرچشمه‌های لرزه‌خیز کوچک‌تر (مانند نواحی کوچک‌تر یا قطعه بندی هندسی (گسل)) لازم است لرزه‌خیزی به صورتی منطقی بین سرچشمه‌ها تقسیم شود تا لرزه‌خیزی (λ) هر سرچشمه تعیین شود. بر این اساس و در جهت اطمینان (محافظه کارانه) توزیع مقدار a بین منابع لرزه را به صورت یکنواخت در نظر گرفته خواهد شد.

مطالعات زمان‌های کامل بودن کاتالوگ به‌طور خودکار در محاسبات اعمال می‌شود. به این ترتیب کاتالوگ شامل زلزله‌های تاریخی و دستگاهی از هزاره سوم قبل از میلاد تا انتهای سال ۲۰۲۲ میلادی است. حداقل بزرگا $M_w=4/5$ در نظر گرفته شده است. پارامتر λ بر اساس مقدار a رابطه گوتنبرگ-ریشتر محاسبه می‌شود. در این تحقیق، مقدار a برای منطقه‌ای به شعاع ۲۰۰ کیلومتر پیرامون اهواز تعیین شد. بدیهی است که پارامتر a



شکل ۳- نمودار تعداد و تعداد تجمعی زلزله‌های منطقه اهواز

Fig. 3. Number and cumulative number of earthquakes in Ahvaz region.

در این مقاله توجه ویژه به استفاده از رابطه کاهندگی مناسب برای منطقه اهواز شده است. انتخاب روابط کاهندگی مناسب برای انجام تحلیل خطر لرزه‌ای، یکی از گام‌های اساسی در فرآیند انجام این تحلیل است. به طور کلی این روابط می‌توانند تأثیر به‌سزایی بر نتایج نهایی تحلیل خطر داشته باشند. از این رو، به منظور کاهش عدم قطعیت در فرآیند تخمین خطر لرزه‌ای، بایستی مناسب‌ترین روابطی که قادر به تخمین مشخصات خطر زمین لرزه در منطقه باشند را انتخاب نمود. روابط کاهندگی استفاده شده Akkar و همکاران (۲۰۱۴) و Ghasemi، و همکاران (۲۰۰۹)، Hamzehloo و Mahood (۲۰۱۲)، Sedaghati، و Pezeshk (۲۰۱۷) و Zafarani و همکاران (۲۰۱۸) است (Motaghd et al., 2022).

تحلیل خطر احتمالی نیازمند تعیین حداقل بزرگا، حداکثر بزرگا، و ضرایب رابطه گوتنبرگ ریشتر است. از مهم‌ترین

۴- تحلیل خطر لرزه‌ای

تحلیل خطر لرزه‌ای شهر اهواز به دو روش تعیینی و احتمالی انجام شده است. تحلیل خطر تعیینی نیازمند تعیین سناریوی خطر است. سناریوی خطر متشکل از زوج بزرگا-فاصله است. با توجه به عبور گسل اهواز از درون شهر اهواز و احتمالاً زیر ساختمان‌ها در این مورد فاصله قاعدتا برابر صفر فرض شود که به دلیل محدودیت روابط کاهندگی حداقل فاصله ۴ کیلومتر فرض شده است. بزرگای سناریوی نیز با توجه به رابطه ۵ با توجه به گسیختگی طول حدود ۱۰۰ کیلومتری گسل و همخوانی با سایر پژوهش‌ها برابر ۷/۱ انتخاب شده است. تحلیل خطر تعیینی با لحاظ بدترین شرایط قابل احصاء انجام شده است. در تحلیل خطر، حداکثر بزرگا بر اساس رابطه Wells و Coppersmith (۱۹۹۴) برای گسل معکوس به شرح زیر محاسبه شده است:

(رابطه ۵)

$$M_{\max} = 4.49 + 1.49 \log_{10}(\text{lenght})$$

همانگونه که قبلا گفته شد، حداقل بزرگا برابر با $M_w=4.5$ فرض شده است. مقدار a روش کیچکو 6.76 (مربوط به زلزله‌های پس از سال ۱۹۷۹) است. مقدار a روش آماری مصنوعی برابر با 6.17 ± 0.054 است. مقدار b منطقه اهواز، به روش‌های مختلف محاسبه و گزارش شده است. مقدار 1.33 ± 0.08 (مربوط به زلزله‌های پس از سال ۱۹۷۹) است. مقدار b روش آماری مصنوعی برابر با 1.03 ± 0.06 است. تحلیل خطر بر حسب هر دو مقدار انجام خواهد شد. بعد فرکتالی زلزله‌های اهواز بدون در نظر گرفتن عمق $1/78$ به دست آمده است (Motaghed et al., 2022).

تحلیل خطر احتمالی با استفاده از نرم افزار این کوئیک محاسبه شده است. طیف خطر یکنواخت با احتمال تجاوزهای $0.99/5$ ، 10 و 2 درصد در 50 سال (به ترتیب احتمال تجاوز سالانه 0.1 ، 0.0021 و 0.0004) در اهواز روی سنگ بستر مهندسی ارائه شده است. برای احتمال تجاوز سالانه 0.1 نتایج در محدوده $0.16g$ تا $0.29g$ متغیر است. برای احتمال تجاوز سالانه 0.0004 ، از $0.33g$ تا $0.61g$ قابل مشاهده است. بر اساس تحلیل خطر احتمالی انجام شده طیف خطر یکنواخت الاستیک برای نقطه حدودی مرکز اهواز در شکل‌های ۴ داده شده است. در این شکل طیف خطر یکنواخت با احتمال تجاوز سالانه 0.1 (زلزله خفیف)، 0.0021 (زلزله طرح) و 0.0004 (احتمال زلزله شدید) در مقایسه با زلزله طرح استاندارد 2800 (احتمال تجاوز سالانه 0.1) و زلزله شدید (احتمال تجاوز سالانه 0.0004) که $1/5$ برابر طیف طرح فرض می‌شود، نشان داده شده است. همه طیف‌ها روی سنگ‌بستر با سرعت موج برشی 800 متر بر ثانیه (خاک نوع I) ارائه شده است.

ویژگی‌های کالبدی شهر اهواز پس از گستردگی، مناطق حاشیه‌نشین شهر است. با توجه به اطلاعات سن ساختمان‌ها و در دسترس نبودن اطلاعات دقیق و جامع در مورد وضعیت سازه‌ها در شهر اهواز، حداقل بزرگا برابر با $4/5$ (در مقیاس بزرگای گشتاوری) انتخاب می‌شود (Motaghed and Fakhriyat, 2022). تحلیل خطر احتمالی به کمک موتور اپن کوئیک انجام شده است. موتور اپن کوئیک نرم‌افزاری است برای محاسبه خطر زلزله که توسط مدل جهانی زلزله توسعه یافته است. درخت منطقی مورد استفاده در تحلیل خطر زلزله شامل ضرایب لرزه‌خیزی و روابط کاهندگی است. به این منظور دودسته ضرایب لرزه‌خیزی به دست آمده از روش کیچکو (وزن $0/6$) و روش آماری مصنوعی (وزن $0/4$) (Yazdani et al., 2015; Motaghed et al., 2021) مورد استفاده قرار گرفته است. علت تخصیص وزن بیشتر به روش کیچکو عمومی تر بودن این روش در ایران است. وزن روابط کاهندگی در درخت منطقی برابر (هر رابطه $0/2$) فرض شده است.

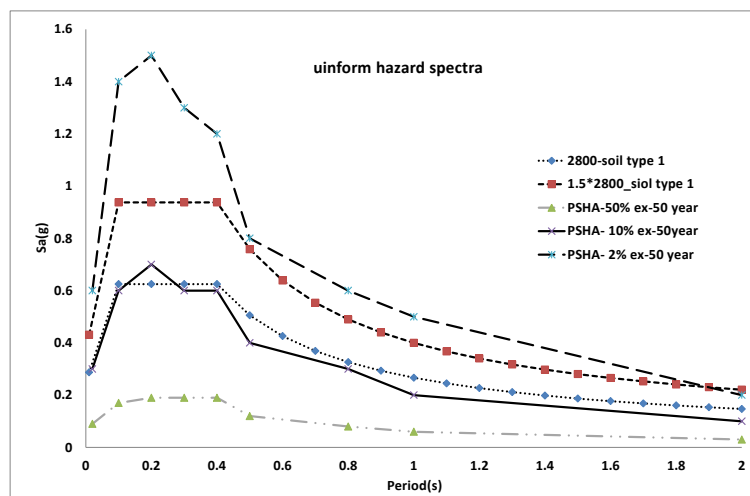
۵- نتایج و بحث

بر اساس فرضیات مطرح شده در بخش قبل، نتایج تحلیل خطر تعیینی در جدول ۳ آورده شده است. در این جدول اشباع رابطه در فاصله نزدیک برای بزرگای زیاد دیده می‌شود. به این معنی که برای فواصل نزدیک، تغییر مقدار بزرگا تاثیری در مقدار شتاب حداکثر زمین ندارد. حداکثر شتاب در این جدول حدود $0.66g$ مشاهده می‌شود که حدود $2/5$ برابر مقدار شتاب استاندارد 2800 است. در فاصله 20 کیلومتری تقریبا به شتاب استاندارد 2800 می‌رسیم.

جدول ۳- نتایج تحلیل خطر تعیینی (حداکثر شتاب زمین روی سنگ بستر (g)) با فرض مقادیر مختلف حداکثر بزرگای گسل اهواز در فواصل مختلف

Table 3. The result of deterministic seismic hazard PGA(g) on bedrock in different fault to source distances

Distance to the fault (km)	4	6	8	10	12	15	20
Mw=5.5	0.45	0.30	0.21	0.16	0.13	0.10	0.07
Mw=6.0	0.56	0.39	0.29	0.23	0.19	0.14	0.10
Mw=6.15	0.66	0.50	0.40	0.33	0.27	0.22	0.16
Mw=6.9	0.66	0.57	0.48	0.42	0.37	0.31	0.24
Mw=7.1	0.66	0.57	0.49	0.43	0.39	33/0	0.26



شکل ۴- طیف خطر یکنواخت (تحلیل خطر احتمالی زلزله) مرکز اهواز (۴۸/۶۸،۳/۳۰) در مقایسه با طیف استاندارد ۲۸۰۰

Fig. 4. Uniform hazard spectra in the center of Ahvaz (48.68; 31.30) in comparison with standard No. 2800 spectrum.

بر اساس شکل ۶، طیف خطر در فاصله ۱۳،۵ کیلومتری برای دوره های زیر ۰،۴ (کمتر از ۴ طبقه)، فاصله ۲۴ کیلومتر برای ساختمانهای با دوره بالای ۰،۸ ثانیه (۸ طبقه به بالا) تقریباً بر طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ منطبق می شود. برای ساختمانهای بین ۴ تا ۸ طبقه فاصله انطباق بین ۱۳/۵ تا ۲۴ کیومتر است. جهت اطلاع بهتر در شکل ۲، محدوده های ۱۰ کیلومتری پیرامون گسل اهواز در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس شکل مشاهده می شود که کل محدوده مسکونی شهر اهواز تقریباً در بافر ۱۰ کیلومتری گسل واقع می شود.

بنابراین بر اساس نتایج تحلیل تعیینی اثرات گسل اهواز بر حسب ارتفاع ساختمان برای ساختمان های زیر ۴ طبقه تا فاصله ۱۳/۵ کیلومتری و برای ساختمانهای بلندتر تا فاصله ۲۴ کیلومتری با طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ قابل پوشش نیست. این نتیجه به آن معناست که هرچند تحلیل خطر احتمالی انطباق مناسبی با طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ دارد، اما این طیف تخمینی دست پایین از خطر زلزله پیرامون گسل اهواز خصوصاً برای ساختمان های بلندتر در کل محدوده مسکونی شهر اهواز ارائه می دهد.

بر اساس نتایج تحلیل خطر احتمالی، منحنی های تراز خطر شهر اهواز شامل حداکثر شتاب زمین و شتاب طیفی برای دوره های ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵، ۱ و ۲ ثانیه همگی برای احتمال تجاوز سالانه ۰/۰۰۲۱ به ترتیب در شکل های ۷ تا ۱۴ داده شده است. همچنین تمامی منحنی های تراز خطر شامل حداکثر شتاب زمین و شتاب طیفی برای دوره های ۰/۰۲۵،

در شکل ۴ مشاهده می شود که طیف خطر یکنواخت احتمالی با احتمال تجاوز ۰/۰۰۲۱ انطباق بسیار خوبی با طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ دارد. بر اساس استانداردهای آمریکایی، زلزله شدید حدوداً ۱/۵ برابر زلزله طرح فرض می شود. مقایسه زلزله با احتمال تجاوز ۰/۰۰۰۴ با زلزله شدید استاندارد ۲۸۰۰ اختلاف بسیار زیادی نشان می دهد. میزان اختلاف خصوصاً در محدوده دوره ۰/۱ تا ۰/۴ ثانیه (ساختمان های ۱ تا ۴ طبقه) بسیار زیاد (حدود ۵۰٪ اختلاف) است.

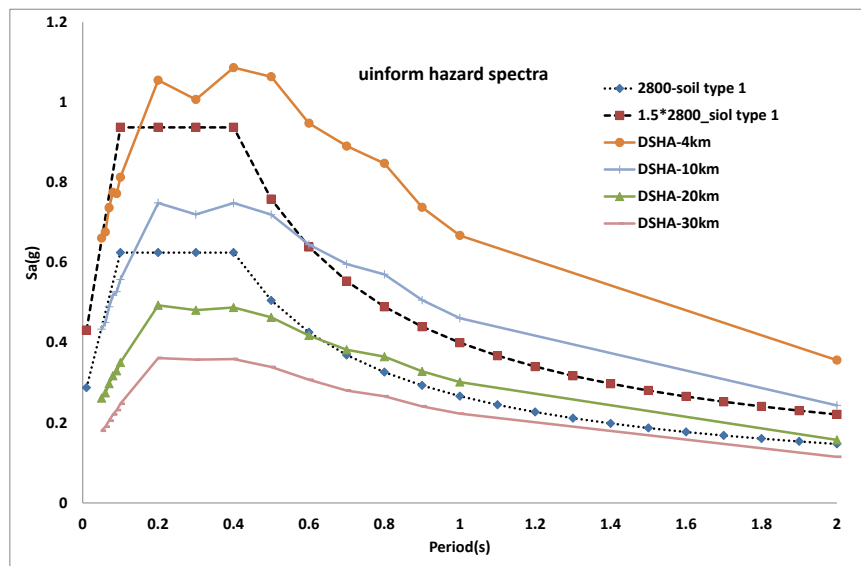
در شکل ۵ نتایج طیف خطر یکنواخت حاصل از تحلیل خطر تعیینی در مقایسه با طیف استاندارد ۲۸۰۰ نشان داده شده است. بر اساس شکل مشاهده می شود که در فواصل کم از گسل اهواز، شتاب زلزله از مقادیر طیف طرح آیین نامه بسیار بالاتر است.

برای بررسی بهتر خطر زلزله، مقایسه فواصل انطباق طیف های خطر تعیینی به دست آمده از گسل اهواز در مقایسه با طیف استاندارد ۲۸۰۰ در شکل ۶ نشان داده شده است. بر اساس این شکل طیف خطر یکنواخت تعیینی در فاصله ۶ کیلومتر در دوره های زیر ۴ ثانیه (ساختمان های زیر ۴ طبقه) تقریباً منطبق بر طیف زلزله شدید استاندارد ۲۸۰۰ است. البته در محدوده های دوره بالاتر، اختلاف حدود ۵۰٪ مقادیر دیده می شود و فاصله انطباق با زلزله شدید حدود ۱۳/۵ کیلومتر است.

مقایسه طیف های خطر یکنواخت تعیینی با طیف طرح می تواند اطلاعات بهتری در رابطه با طرح ساختمان ها فراهم کند.

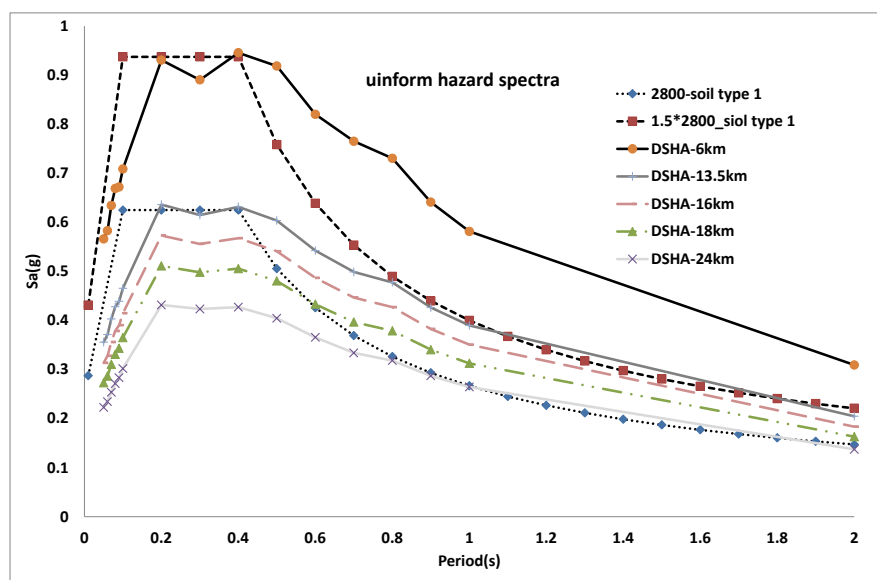
تا $0.29g$ متغیر است. لازم به ذکر است این عدد روی سنگبستر به دست آمده است. برای احتمال تجاوز سالانه 0.0004 ، از $0.33g$ تا $0.61g$ قابل مشاهده است. در شکل‌ها موقعیت گسل اهواز نشان داده شده است.

0.05 ، 0.1 ، 0.2 ، 0.5 ، 1 و 2 ثانیه برای احتمال تجاوز سالانه 0.0004 در شکل‌های ۱۵ تا ۲۲ داده شده است. بر این اساس مشاهده می‌شود که حداکثر شتاب زمین که در آیین نامه ۲۸۰۰ (یا مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان) برای منطقه اهواز برابر $0.25g$ داده شده است بر اساس این نتایج در محدوده $0.16g$



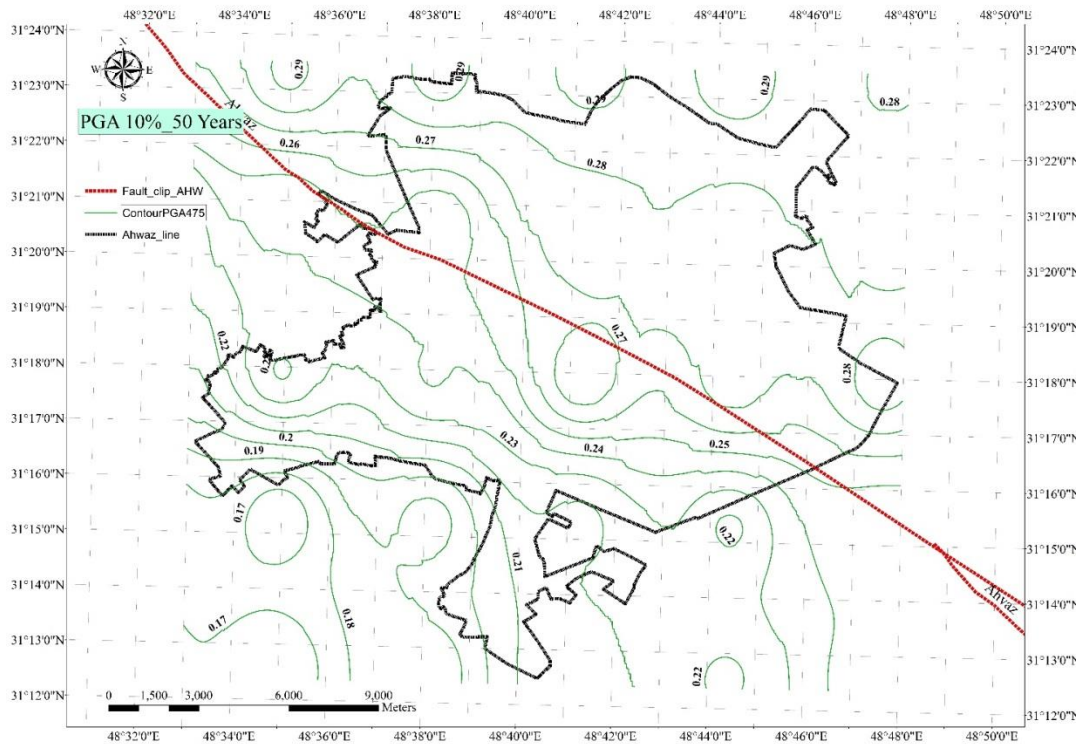
شکل ۵- طیف خطر یکنواخت (تحلیل خطر تعیینی زلزله) مرکز اهواز (۴۸/۶۸؛۳۱/۳۰) در مقایسه با طیف استاندارد ۲۸۰۰

Fig. 4. Uniform hazard spectrum (deterministic seismic hazard analysis) in the center of Ahvaz (48.68; 31.30) in comparison with standard No.2800 spectrum.

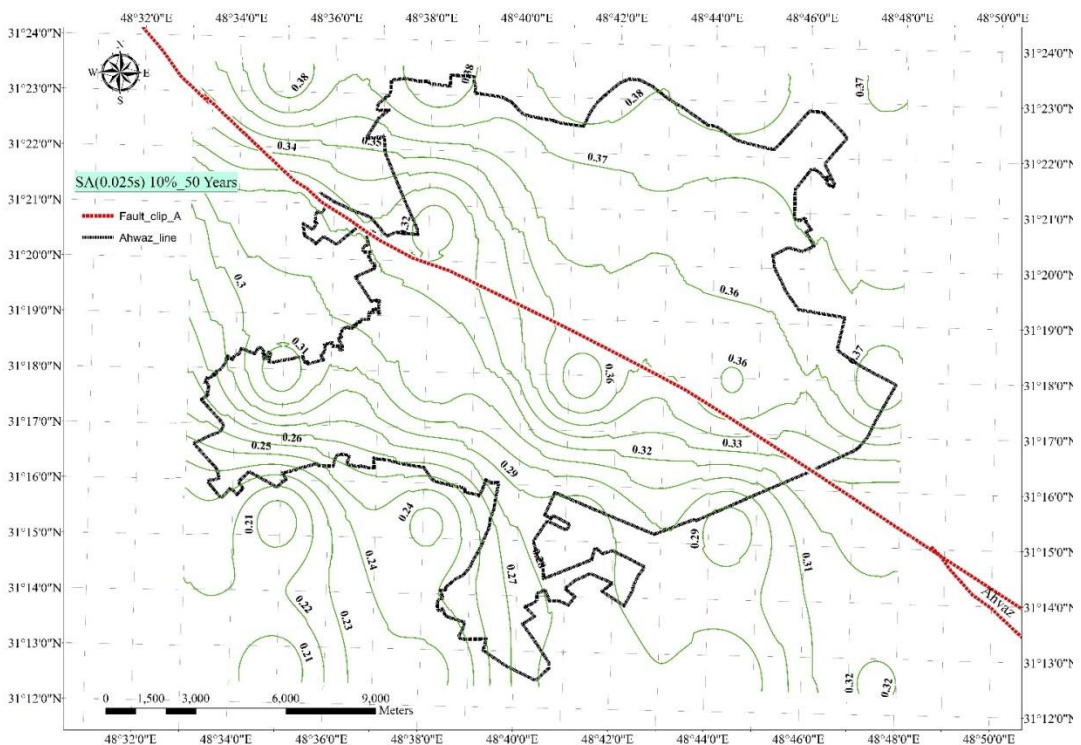


شکل ۶- فواصل انطباق طیف خطر یکنواخت (تحلیل خطر تعیینی زلزله) مرکز اهواز (۴۸/۶۸؛۳۱/۳۰) با طیف استاندارد ۲۸۰۰

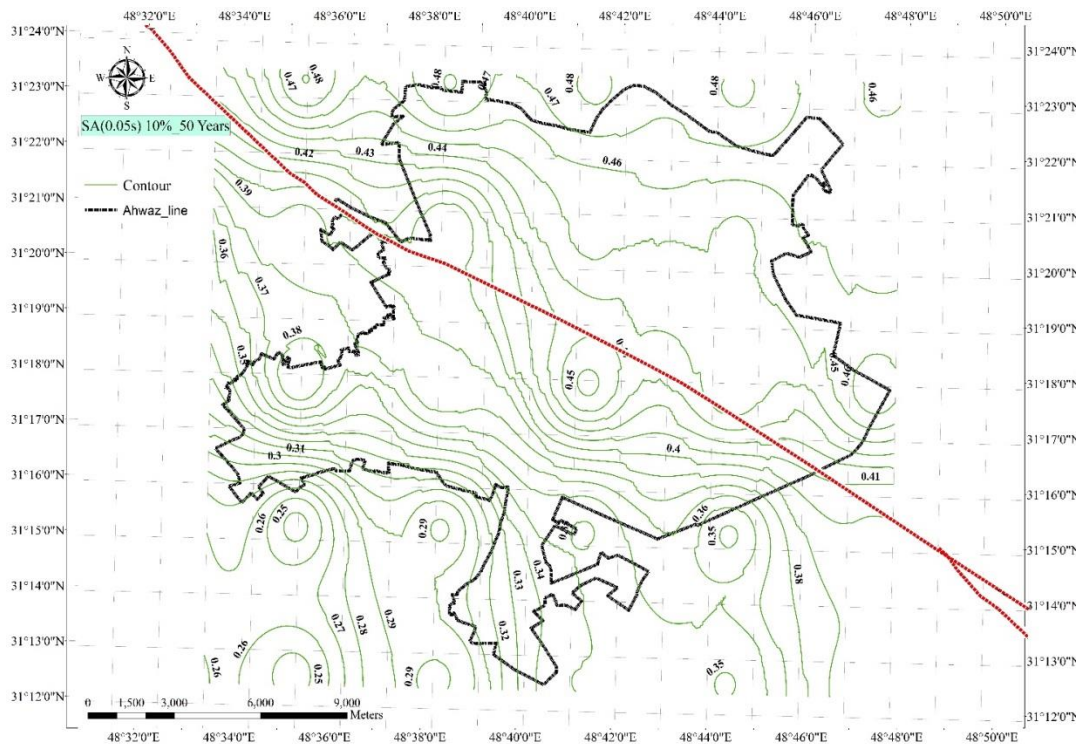
Fig. 6. Compliance intervals of uniform hazard spectrum (deterministic seismic hazard analysis) in the center of Ahvaz (48.68;31.30) with standard No. 2800 spectrum.



شکل ۷- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب حداکثر زمین (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۱۰ درصد در ۵۰ سال
 Fig. 7. Ahvaz city hazard contour lines on bedrock – PGA(g), exceedance probability of 10% in 50 years.

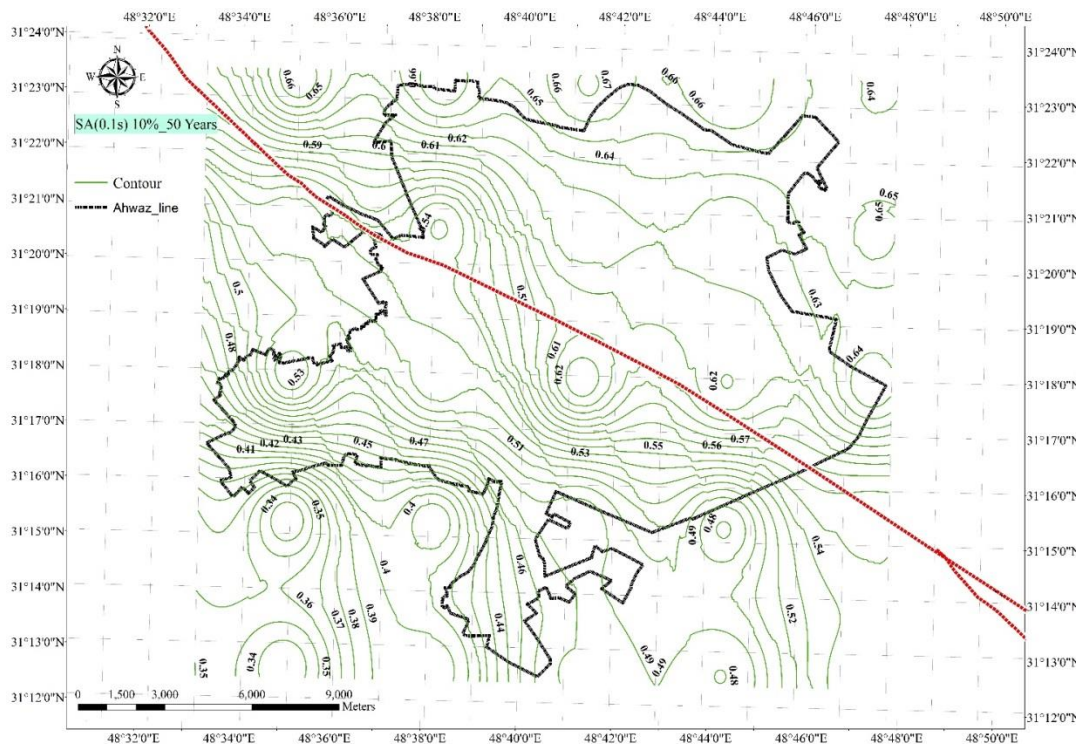


شکل ۸- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۱۰ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۰/۰۲۵ ثانیه
 Fig. 8. Ahvaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 10% in 50 years for a period of 0.025 seconds (Sa(T=0.025s)).



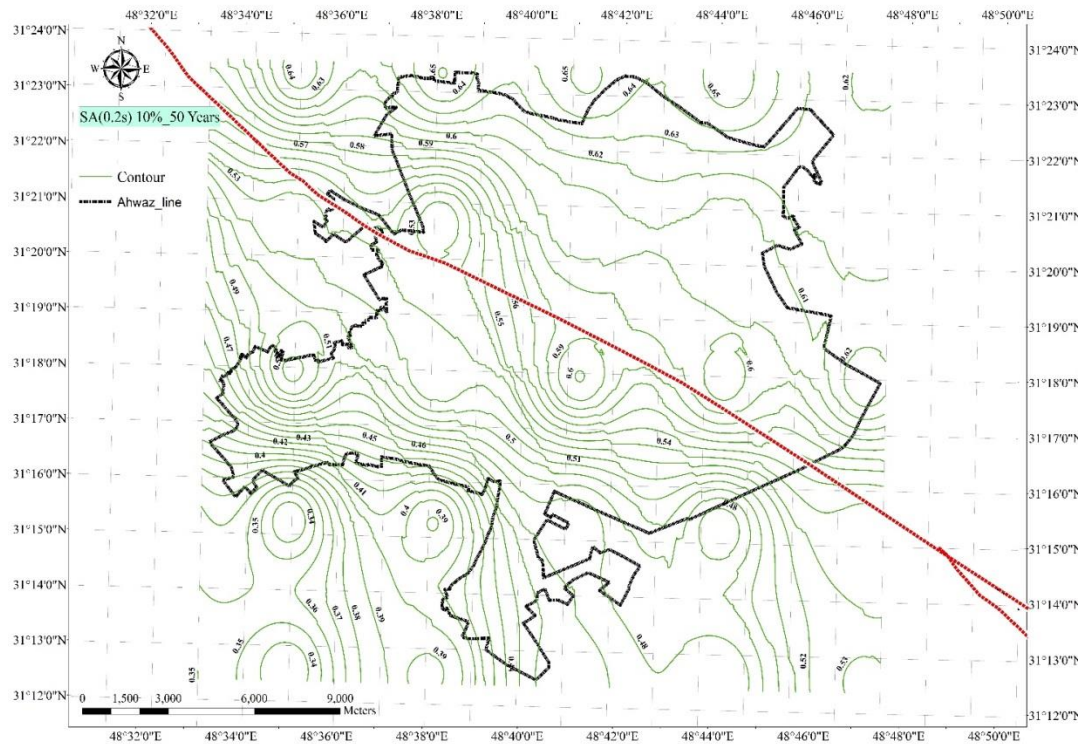
شکل ۹- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۱۰ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۰/۰۵ ثانیه

Fig. 9. Ahvaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 10% in 50 years for a period of 0.05 seconds ($Sa(T=0.05s)$).



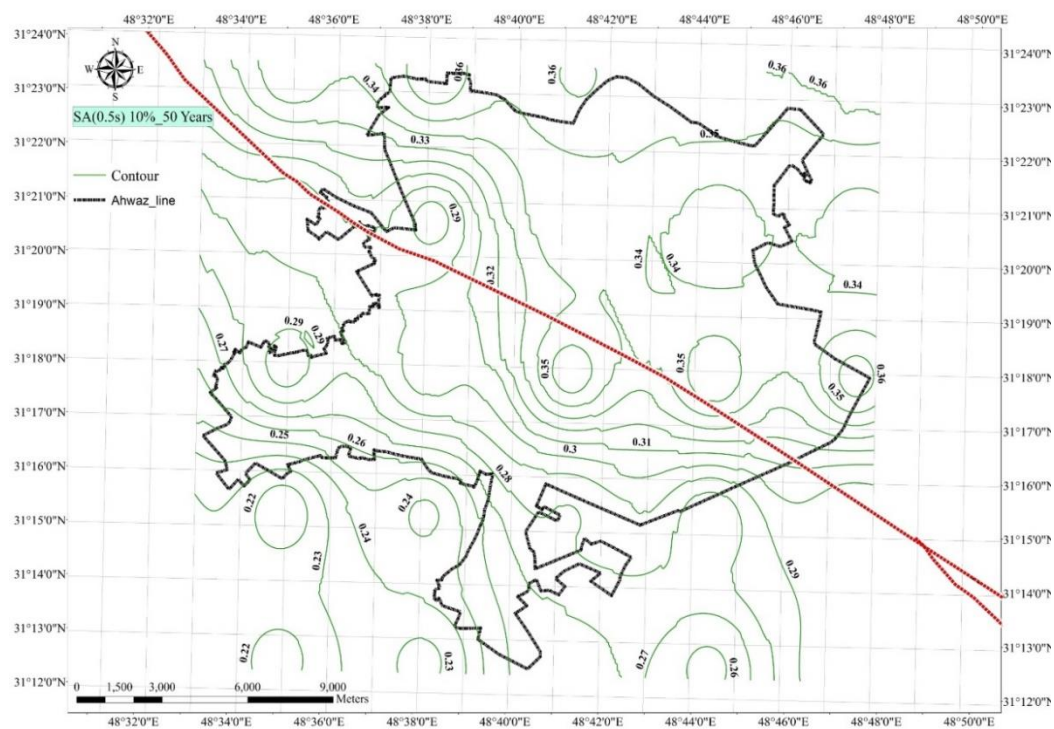
شکل ۱۰- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۱۰ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۰/۱ ثانیه

Fig. 10. Ahvaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 10% in 50 years for a period of 0.1 seconds ($Sa(T=0.1s)$).



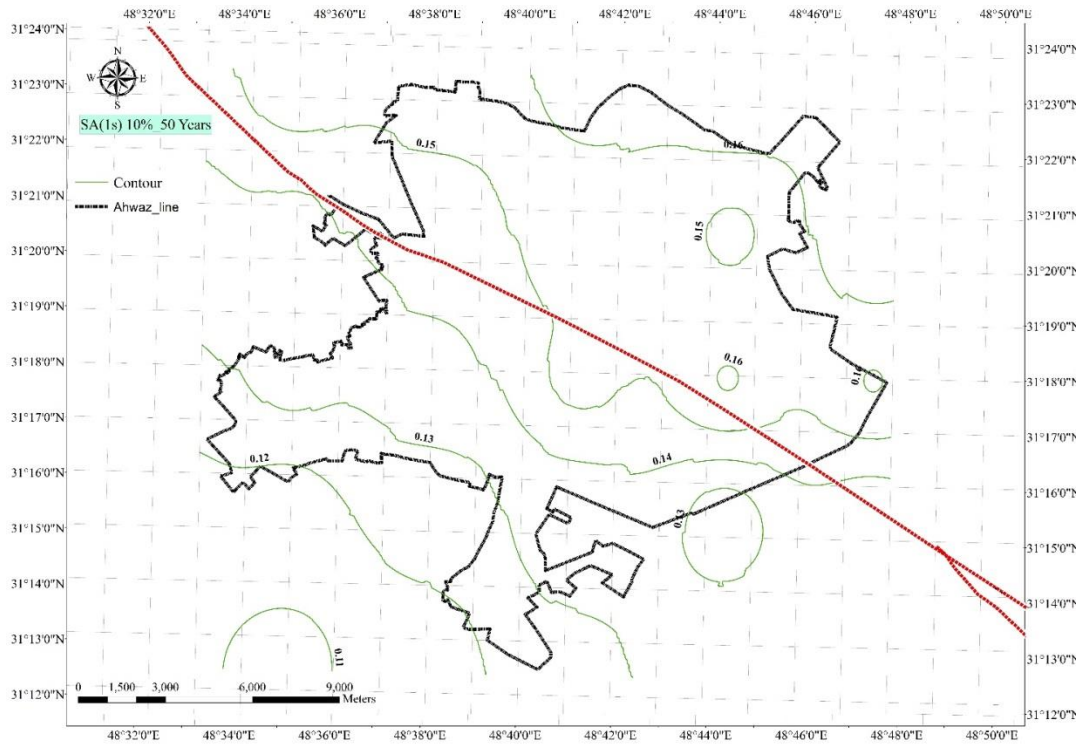
شکل ۱۱- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۱۰ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۰/۲ ثانیه

Fig. 11. Ahwaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 10% in 50 years for a period of 0.2 seconds ($Sa(T=0.2s)$).



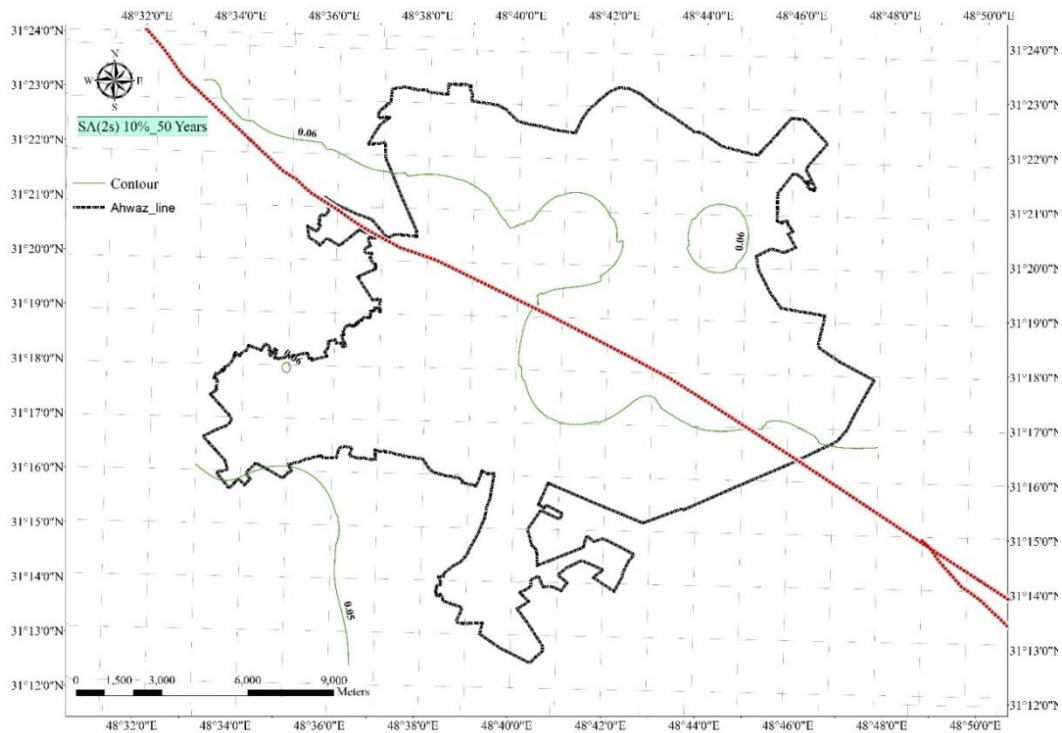
شکل ۱۲- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۱۰ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۰/۵ ثانیه

Fig. 12. Ahwaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 10% in 50 years for a period of 0.5 seconds ($Sa(T=0.5s)$).



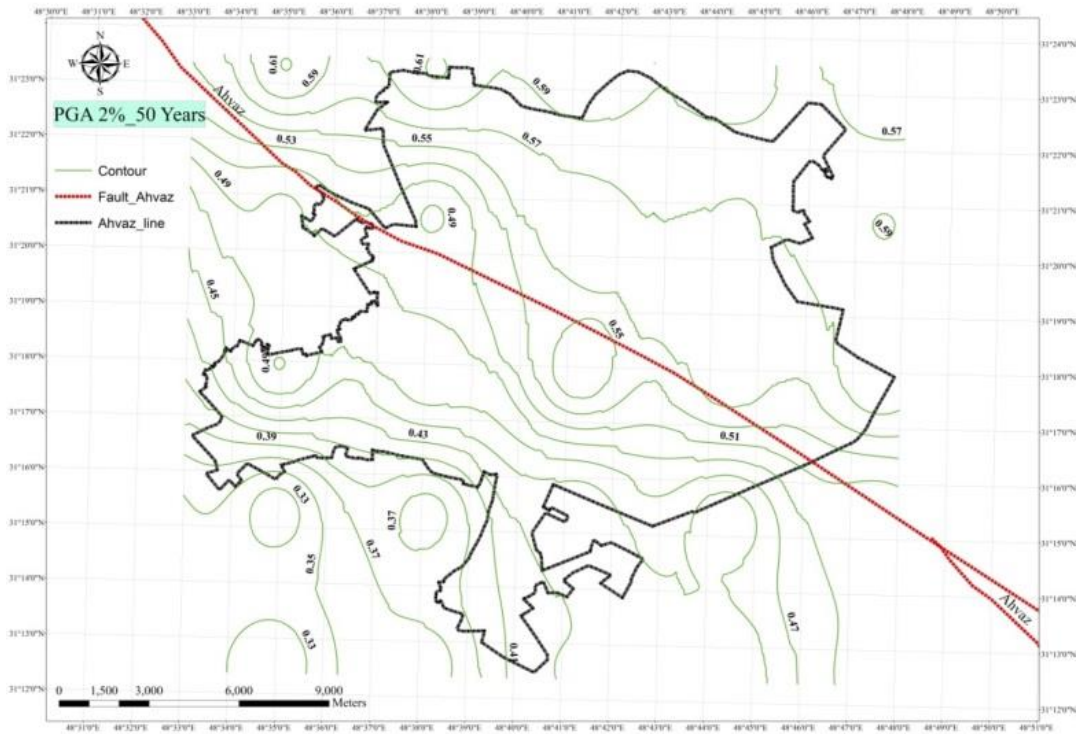
شکل ۱۳- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۱۰ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۱ ثانیه

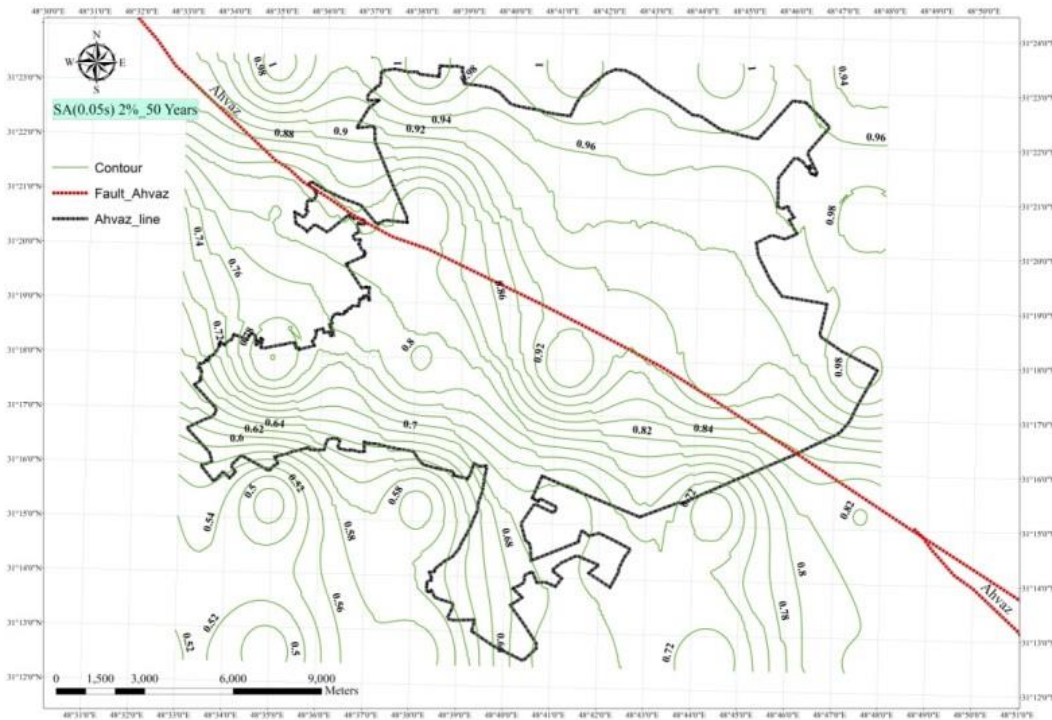
Fig. 13. Ahwaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 10% in 50 years for a period of 1 seconds ($Sa(T=1s)$).



شکل ۱۴- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۱۰ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۲ ثانیه

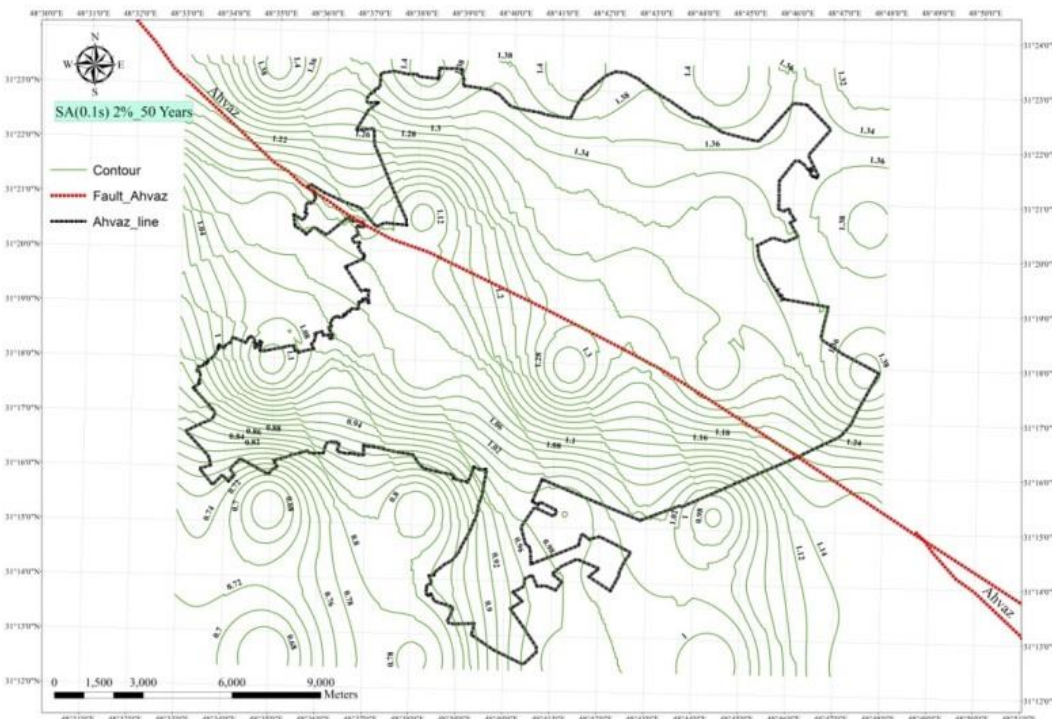
Fig. 14. Ahwaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 10% in 50 years for a period of 2 seconds ($Sa(T=2s)$).





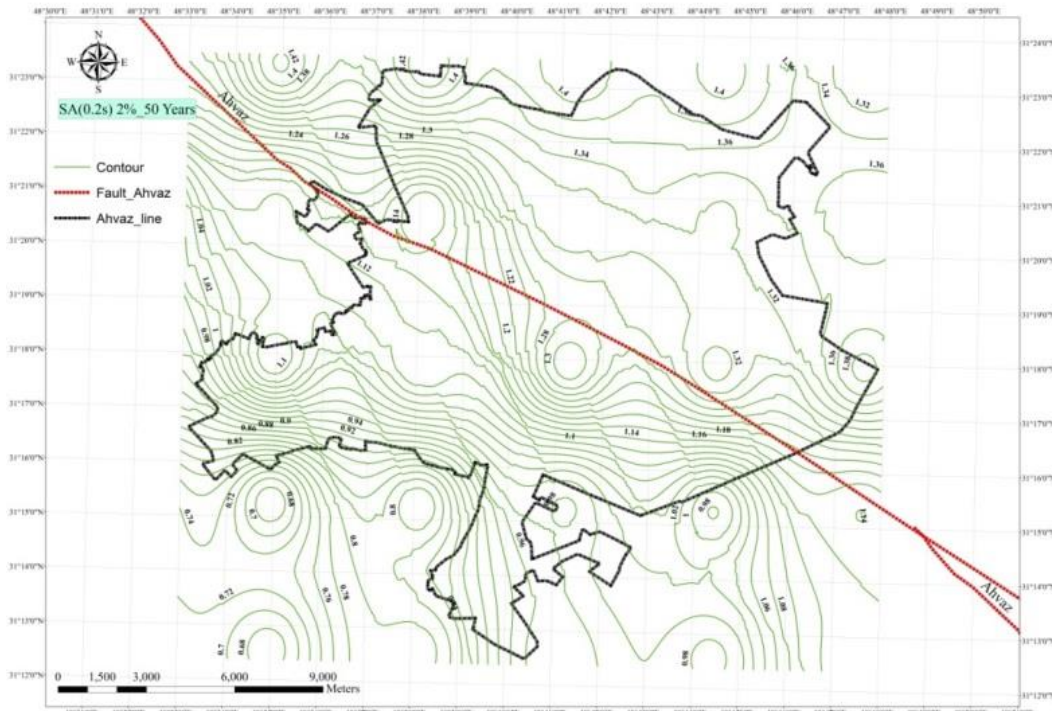
شکل ۱۷- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۲ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۰,۰۵ ثانیه

Fig. 17. Ahvaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 2% in 50 years for a period of 0.05 seconds ($S_a(T=0.05s)$).



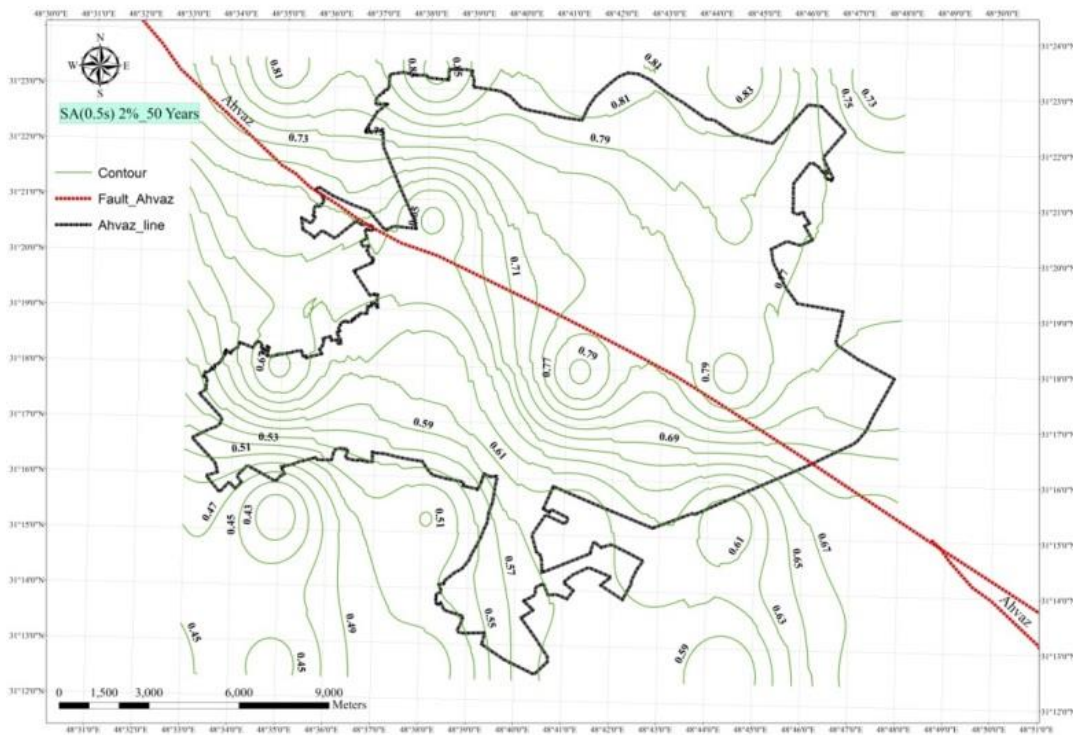
شکل ۱۸- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۲ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۰/۱ ثانیه

Fig. 18. Ahvaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 2% in 50 years for a period of 0.1 seconds ($S_a(T=0.1s)$).



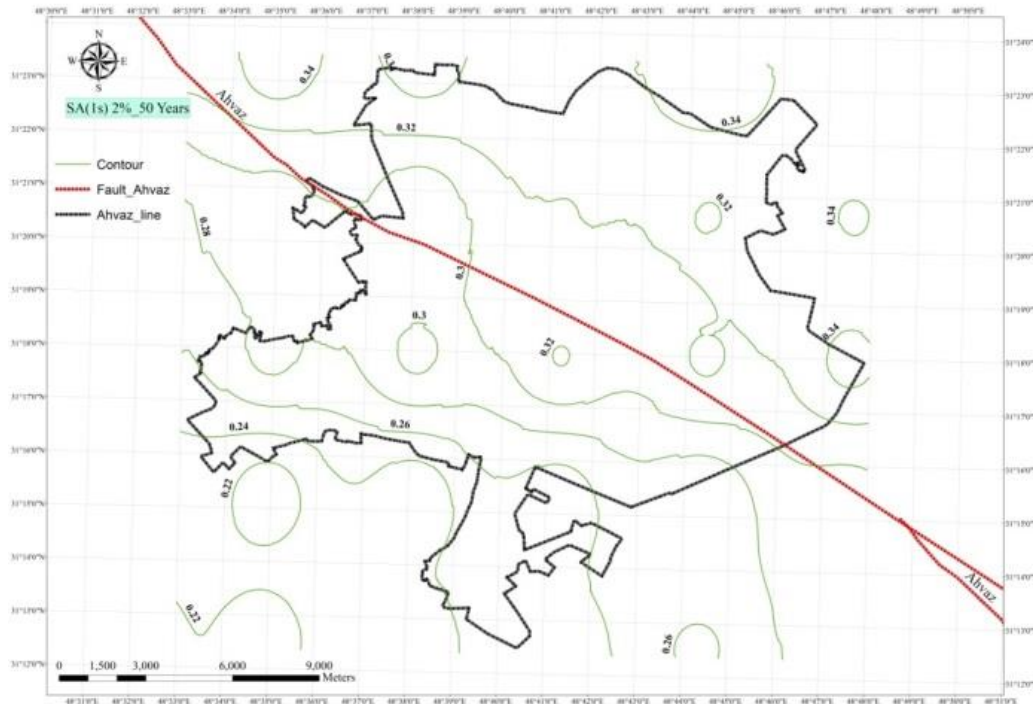
شکل ۱۹- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۲ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۰/۲ ثانیه

Fig. 19. Ahvaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 2% in 50 years for a period of 0.2 seconds ($Sa(T=0.2s)$).



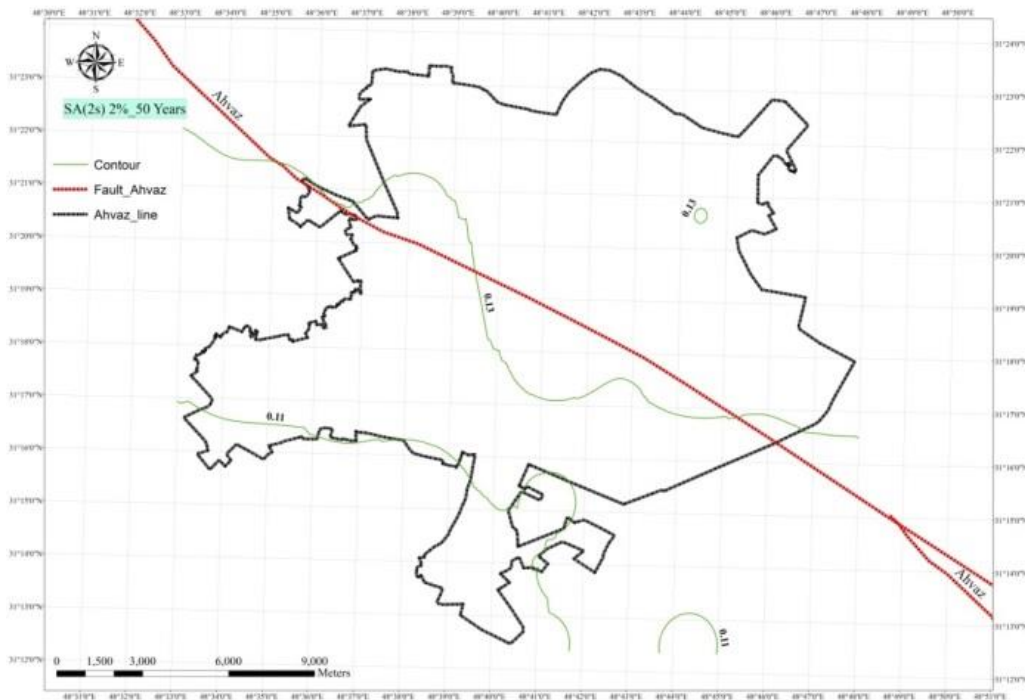
شکل ۲۰- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۲ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۰/۵ ثانیه

Fig. 20. Ahvaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 2% in 50 years for a period of 0.025 seconds ($Sa(T=0.025s)$).



شکل ۲۱- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۲ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۱ ثانیه

Fig. 21. Ahvaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 2% in 50 years for a period of 1 seconds (Sa(T=1s)).

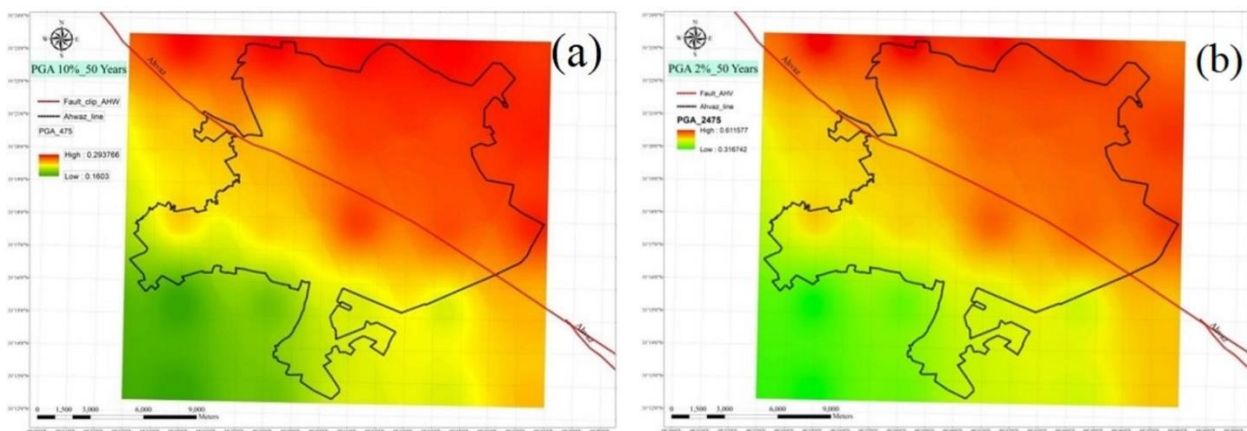


شکل ۲۲- منحنی تراز خطر شهر اهواز- شتاب طیفی (سنگ‌بستر) با احتمال تجاوز ۲ درصد در ۵۰ سال برای دوره ۲ ثانیه

Fig. 22. Ahvaz city hazard counter line - spectral acceleration on bedrock (g), exceedance probability of 2% in 50 years for a period of 2 seconds (Sa(T=2s)).

کیلومتر پیرامون گسل اهواز (کل محدوده مسکونی شهر اهواز) بالاتر از مقادیر در نظر گرفته شده در طرح ساختمان‌ها در شهر اهواز بر اساس اسناد رسمی طراحی در این شهر است. این یافته‌ها می‌تواند زنگ خطر برای منطقه‌ای باشد که تصور غالب بر کم بودن خطر زلزله در آن است. البته مجدداً تأکید می‌شود که قابلیت اعتماد هر تحلیل به دقت پارامترهای مورد استفاده در تحلیل بستگی دارد که متأسفانه دقت این پارامترها در این منطقه چندان بالا نیست.

بر اساس منحنی های تراز خطر احتمالی میزان خطر در نقاط مختلف شهر اهواز قابل دسترسی است. برای ایجاد دید بهتر به وضعیت، نقشه‌های خطر برای احتمال تجاوز ۰/۰۰۲۱ و ۰/۰۰۰۴ داده شده است. در شکل واضح است که میزان خطر از جنوب غرب به شمال شرق در حال افزایش است. به این ترتیب مشاهده می‌شود که خطر زلزله شهر اهواز بر اساس تحلیل احتمالی در بخش شمال شرقی و بر اساس تحلیل تعیینی مبتنی بر سناریو در دو نوار با عرض بیش از ۱۳،۵



شکل ۲۳- نقشه خطر شهر اهواز روی سنگ بستر، (a) برای احتمال تجاوز ۱۰ درصد در ۵۰ سال و (b) احتمال تجاوز ۲ درصد در ۵۰ سال
Fig. 23. Ahvaz city seismic hazard map on the bedrock; (a) foreceedance probability of 10% in 50 years, and (b) Exceedance probability of 2% in 50 years

بر اساس نتایج این مطالعه، توجه ویژه به منطقه لرزه خیزی شهر اهواز با تمرکز بر مطالعات پارینه لرزه شناسی گسل اهواز و انجام مطالعات دقیق ویژه ساختگاه ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه اثر جهت داری نزدیک گسل در محاسبات لحاظ شده است و لازم است اثرات زلزله نزدیک گسل به طور جامع در محاسبات مد نظر قرار گیرد. تحلیل خطر زلزله تعیینی بیشینه شتاب تا حدود $0.066g$ و تحلیل خطر احتمالی مقادیر بیشینه شتاب $0.16g$ تا $0.29g$ را برای زلزله مبنای طرح ارائه می‌دهد. همچنین مقادیر تاب به دست آمده برای سطح حداکثر زلزله قابل قبول برا $0.33g$ تا $0.61g$ به دست آمده است. بر این اساس، توصیه‌های زیر به عنوان نتایج این پژوهش ارائه می‌شود:

۱- مهم‌ترین مساله قابل استنتاج از این مطالعه این است که در همه مراحل تحلیل، پارامترهای منطقه ناموجود یا با ابهام فراوان در دسترس بوده‌اند. بنابراین نتایج تحلیل با عدم اطمینان

۶- نتیجه گیری

در این مقاله جزییات ریز پهنه بندی لرزه‌ای شهر اهواز ارائه شده است. منطقه اهواز در کناره جنوبی کمربند چین خوردگی زاگرس و ابتدای دشت خوزستان قرار دارد. این منطقه را می‌توان ناحیه مرزی بین نواحی کم خطر و پر خطر لرزه‌ای دانست. این وضعیت در منحنی های تراز خطر و نقشه های خطر به طور واضح دیده می‌شود که خطر زلزله روی سنگ بستر از جنوب غرب به سمت شمال شرق در حال افزایش است. علیرغم قرار گرفتن شهر اهواز در منطقه با خطر متوسط در آیین نامه ۲۸۰۰ و عدم رخداد زلزله شدید در این شهر در سده‌های گذشته، قرار گرفتن گسل فعال اهواز با طول بیش از ۱۰۰ کیلومتر در مرکز این شهر، عمق کم سنگ بستر، رسوبات جوان با ضخامت کم، بالا بودن سطح آب زیر زمینی و رخداد زلزله تاریخی مخرب عواملی است که توجه بیشتر به مسئله زلزله با مطالعه اثرات ویژه ساختگاه در این شهر را ضروری کرده است.

با توجه به نقایص ریشه‌ای موجود در حال حاضر، بر اساس نتایج این مطالعه به نظر می‌رسد حداقل اقدام در جهت تأمین ایمنی تغییر وضعیت خطر لرزه خیزی شهر اهواز در استاندارد به خطر زیاد (بیشینه شتاب افقی $0.3g$) است.

سیاسگزاری

این پژوهش با حمایت سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان خوزستان صورت گرفته است. به این وسیله از مدیریت، پرسنل محترم و همکاران این سازمان کمال سپاس را داریم. پژوهش با استفاده از امکانات مرکز پایش، ارزیابی و پیش بینی بحران‌های ناشی از بلایای طبیعی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان (MAP) و کمک پرسنل محترم آن مرکز انجام شده است. به این وسیله از کارشناس مرکز، جناب آقای حشمت الله محمودیان کمال تشکر را داریم.

اطلاعات تکمیلی

اطلاعات تکمیلی این پژوهش شامل طیف خطر یکنواخت روی سنگ بستر و خاک برای مناطق مختلف شهر اهواز در سایت khrisk.ir موجود است.

فراوانی همراه است و لازم است این پارامترها به روش‌های مناسب و قابل اطمینان تعیین شوند. مهم‌ترین این پارامترها مشخصات گسل اهواز است.

۲- با توجه به وسعت بالای شهرستان اهواز و قرارگیری آن در ناحیه‌ای با تغییرات سریع رفتار لرزه‌ای، در بررسی وضعیت زلزله شهر اهواز تمایز بین شهرستان اهواز و ناحیه مسکونی شهر اهواز قائل شد.

۳- لازم است در مطالعات انتخاب روابط کاهندگی مناسب حوزه نزدیک یا توسعه مدل کاهندگی مخصوص منطقه با مطالعات ارگودیک (Ergodic) با توجه به کم بودن داده‌های مشاهداتی خاص منطقه مد نظر قرار گیرد.

۴- انجام ریز پهنه بندی منطقه روی خاک با لحاظ اطلاعات دقیق گسل، خاک منطقه، آب زیر زمینی و در نظر گرفتن کلیه اثرات حوزه نزدیک ضروری است.

۵- شناسایی کلی وضعیت ساخت و ساز منطقه و آسیب پذیری به منظور تعیین دقیق حداقل بزرگا به تدقیق نتایج مطالعه کمک می‌کند.

مراجع

- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, geological survey of Iran, 640 P., (In Persian).
- Akkar, S., Sandıkkaya, M.A., Bommer, J.J., 2014. Empirical ground-motion models for point-and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East. *Bulletin of Earthquake Engineering* 12(1), 359-387. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9461-4>
- Ambraseys, N.N., Melville, C.P., 1982. A history of Persian Earthquakes, Cambridge University Press. Cambridge; New York. 240 P.
- Arian, M., 2015. Seismotectonic-geologic Hazards zoning of Iran. *Earth Sciences Research Journal* 19(1), 7-13. <https://doi.org/10.15446/esrj.v19n1.40664>
- Azadmehr, M., 2009. Risk assessment and vulnerability evaluation of Ahwaz urban tunnel, MSc. Thesis, Tarbiat Modares University (TMU).
- Berberian, M., Mohajer-Ashjai, A., 1977. Seismic risk map of Iran, A Proposal, Contribution to the Seismotectonics of Iran, Part III. *Geological Survey of Iran* 40, 121-150.
- Berberian, M., 1981. Active faulting and tectonics of Iran. *Zagros Hindu Kush Himalaya geodynamic evolution* 3, 33-69. <https://doi.org/10.1029/GD003p0033>
- Building and Housing Research Center (BHRC), 1987. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings (Standard No. 2800), 1st Edition. P. 160.
- Building and Housing Research Center (BHRC), 1999. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings (Standard No. 2800), Second Edition, P. 180.
- Building and Housing Research Center (BHRC), 2005. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings (Standard No. 2800), Third Edition, P. 230.
- Building and Housing Research Center (BHRC), 2012. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings (Standard No. 2800), Fourth Edition.

- Burridge, R., Knopoff, L., 1964. Body force equivalents for seismic dislocations. *Bulletin of the Seismological Society of America* 54 (6), 1875–1888. <https://doi.org/10.1785/gssrl.74.2.154>
- Charchi, A., Asghari, E., Karmi, R., Nazarpour, N., 2009. Ahvaz fault mechanism and its seismic activity, 12th Symposium of Geological Society of Iran, February 18, Ahvaz, Iran.
- Ebrahimi Samani B., Esmaeili B., Zare M., Dana M., 2017. An Overview of the Geology of Ahvaz City. *Arianaghsh*. P. 210.
- Esmaeili, B., Almasian, M., Samani, B., Samani, A., 2015. Age dating of ahvaz fault activities and Karoun River displacement by thermal luminescence and geotechnical studies and recording of new-found faults during performance of Ahvaz Urban Railway Project. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 24, 69-79. <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.43353>
- Ghasemi, H., Zare, M., Fukushima, Y., Koketsu, K. 2009. An Empirical spectral ground-motion model for Iran. *Journal of seismology* 13(4), 499-515. <https://doi.org/10.1007/s10950-008-9143-x>
- Hamzehloo, H., Mahood, M., 2012. Ground-motion attenuation relationship for East Central Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America* 102(6), 2677-2684. <https://doi.org/10.1785/0120110249>
- Hamzehloo, H., Alikhanzadeh A., Rahmani, M., Ansari, A., 2012. Seismic hazard maps of Iran. 15th World Conferences on Earthquake Engineering (WCEE).
- Hanks, T.C., Kanamori, H., 1979. A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research* 84 (B5), 2348. <https://doi.org/10.1029/JB084iB05p02348>
- Hessami, K., Jamali, F., Tabassi, H., 2003. Major active faults of Iran, Scale 1: 2,500,000. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology.
- Karimiparidari, S., 2014. Seismic Hazard Analysis in Iran (475 Years Return Period). Ph.D. Thesis at International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran.
- Mc Quarrie, N., 2004. Crustal Scale Geometry of Zagros Fold, thrust belt, Iran, *Journal of Structural Geology* 26(3), 519-535. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2003.08.009>
- Madariaga, R. 1977. Implications of stress-drop models of earthquakes for the inversion of stress drop from seismic observations. *Pure and Applied Geophysics* 115, 301-316. <https://doi.org/10.1007/BF01637111>
- Mantyniemi, P., Zaré, M., Singh, M., Kijko, A., 2007. Probabilistic Seismic Hazard Maps for Ground Motions in Iran based on Historical and Instrumental Earthquake Data. *Proceedings of the 5th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering (SEE5)*,
- Mavadat, E., Nazarpour, R., Heydarinia, S., 2016. Zoning earthquakes pre-crisis model of FAHP Case Study of Khuzestan Province. *Journal of Geography, Urban and Regional Studies* 5(17), 91-102.
- Mohajer-Ashjai, A.A., Nowroozi, A.A., 1978. Observed and probable intensity zoning of Iran. *Tectonophysics* 49 149-160. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(78\)90173-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(78)90173-7)
- Moinfar, A.A., Naderzadeh, A., Maleki, E., 2000 .A new seismic hazard map for the implementation in the national physical planning of Iran. *Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction, Part of the Advances in Natural and Technological Hazards Research book series (NTHR, volume 12)*, 289-296.
- Motaghed, S., Fakhriyat, A., 2022. A Reliable Method for Determining the tapered minimum magnitude in a probabilistic seismic hazard analysis. *International Journal of Reliability, Risk and Safety: Theory and Application* 5(2), 89-95. <https://doi: 10.30699/IJRRS.5.2.9>
- Motaghed, S., Khazaei, M., Eftekhari, N., Mohammadi, M., 2023. A non-extensive approach to probabilistic seismic hazard analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 23(3), 1117-1124. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1117-2023>
- Motaghed, S., Eftekhari, N., Sayyadpour, H., Emadali, L., 2022. Seismic microzonation of Ahvaz city considering near-fault directivity effects, Unpublished report of research project.
- Motaghed, S., Khazaei, M., Mohammadi, M., 2021. The b-value Estimation based on the artificial statistical method for Iran Kope-Dagh seismic province. *Arabian Journal of Geosciences* 14(15), 1461. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07970-y>
- Motaghed, S., Eftekhari, N., Khazaei, M., Yousefi Dadras, E., 2024. Selection and ranking the ground motion prediction equations for tehran region. *Journal of Structural and Construction Engineering* 10(11). <https://doi: 10.22065/jsce.2023.393094.3088>

- Motiei, H., 1995. Petroleum geology of Zagros. Geological Survey of Iran publication 589 P. (In Persian).
- Mousavi-Bafrouei, S.H., Mahani, A.B., 2020. A comprehensive earthquake catalogue for the Iranian plateau (400 BC to December 31, 2018). *Journal of Seismology* 24, 709-724. <https://doi.org/10.1007/s10950-020-09923-6>
- Mousavi-Bafrouei, S.H., Mirzaei, N., Shabani, E., 2014. A Declustered earthquake catalog for the Iranian plateau. *Annals of geophysics* 57(6), 1-25. <https://doi.org/10.4401/AG-6395>
- Neghabat, F., Liu, S.C., 1977. Earthquake Regionalization of Iran. 6th World Conference on Earthquake Engineering. New Delhi, India, 859-865.
- Nicknam, A., Khanzadi, M., Motaghed, S., Yazdani, A., 2014. Applying b-value variation to seismic hazard analysis using closed-form joint probability distribution. *Journal of Vibroengineering* 16(3), 1376-1386. <https://www.extrica.com/article/14886>
- Nowroozi A.A., 1976. Seismotectonic Provinces of Iran. *Bulltain of Seismological Society of America* 66, 1249-1276. <https://doi.org/10.1785/BSSA0660041249>
- Nicknam, A., Khanzadi, M., Motaghed, S., Yazdani, A., 2017. Applying b-value statistical variation to seismic hazard analysis. *Indian Journal of Geo Marine Sciences* 46 (02), 391-396. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/40768>
- Samani, B., Charchi, A., Sodani, A., 2022. Comparison of global modeling data and focal mechanism, a criterion for investigating the direction of crustal movement in khuzestan province. *Advanced Applied Geology* 12(2), 225-237. <http://doi: 10.22055/aag.2021.36018.2188>
- Samani, B., Charchi, A., 2023. Accommodation of slip direction data with nuvel1, itrif and gsrn data in the Borazjan Fault System. *Advanced Applied Geology* 13(1), 26-39. <http://doi: 10.22055/aag.2022.39547.2265>
- Sedaghati, F., Pezeshk, S., 2017. Partially nonergodic empirical ground-motion models for predicting horizontal and vertical pgv, pga, and 5% damped linear acceleration response spectra using data from the Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological Society of America* 107(2), 934-948. <https://doi.org/10.1785/0120160205>
- Vetr Tamijani, M., Tabarok, M., Riahi Nouri, A., 2016. Development of Iran's earthquake code rules for applying the near field effect - case application: sites of imam reza holy shrine (as) and Ahvaz oil field. *Sharif Journal of Civil Engineering* 31(2), 53-60. <https://doi.org/20.1001.1.26764768.1394.312.42.6.5>
- Wells, D.L., Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, Rupture Area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America* 84(4), 974-1002. <https://doi.org/10.1785/BSSA0840040974>
- Yazdani, A., Nicknam, A., Khanzadi, M., Motaghed, S., 2015. An artificial statistical method to estimate seismicity parameter from incomplete earthquake catalogs a case study in metropolitan Tehran, Iran , *Scientia Iranica* 22(2), 400-409.
- Zafarani, H., Ghafoori, S.M.M., Adlparvar, M.R., Rajaeian, P., Hasankhani, A., 2015. Application of time and magnitude predictable model for long-term earthquake prediction in Iran. *Natural Hazards* 78, 155-178. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1708-8>
- Zafarani, H., Luzi, L., Lanzano, G., Soghrat, M.R., 2018. Empirical equations for the prediction of PGA and pseudo spectral accelerations using Iranian strong-motion data. *Journal of Seismology* 22(1), 263-285. <https://doi.org/10.1007/s10950-017-9704-y>