



Analysis of the Seismicity Parameters and Strong Ground Movement in Sarpol-e Zahab and its Related Crises

Zhamak Monazami Tehrani¹ , Ghazaleh Monazami Tehrani^{2*} , Arezou Dorostian¹, Bahram Akashe¹, Mahmoud Almasian³

1. Department of Geophysics, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Health, Safety and Environment Department, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
3. Department of Geology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 2021/10/30

Accepted: 2021/12/04

Abstract

Background and Aim: The occurrence of natural disasters can be considered one of the most important concerns of human life, especially for the people of developing countries. The existence of natural disasters in Iran has made Iran one of the top 10 countries in the world in terms of disasters. Analysis of seismic data shows that almost every 5 years, on average, an earthquake with a magnitude of 7 (such as the Saravan and Sarpol-e-Zahab -Kermanshah earthquakes) occurs in Iran and has serious effects on human society. In this study, the parameters of strong ground motion in the Sarpol-e-Zahab area have been analyzed with a special focus on its crisis.

Methods: In order to evaluate the return period of the earthquake in this fault system, two preliminary relationships of Gutenberg-Richter and the final distribution of the Kijku-Sellovel method have been used. In order to study seismicity and seismic hazard analysis, after studying the geology of the study area, the tectonics and seismicity of the region were studied. After that, a tectonic seismic model was prepared from this zone to better determine the nature of seismicity. Then, the seismic source database of the study area was defined and entered into EZ-frisk software for further analysis.

Results: The magnitude of the earthquakes based on the Gutenberg-Richter and Kijku-Sellovel methods has shown that the magnitude of the earthquake in the 475-year return period is 6.9Ms and 7.0Ms, subsequently. A magnitude of more than 7.8 is not expected in this region based on the Gutenberg-Richter method. On the other hand, the values of acceleration on the side where the fault slope is (northeast of the fault), have higher values than on the opposite side. In addition, the maximum acceleration of the earthquake in the position of the mountain frontal fault is estimated 0.75 gal.

Conclusion: Therefore, considering the importance of the study area (geologically), the existence of active and important faults in this region, as well as political-security threats, the existence of spatial exchanges and links on both sides of the border, and the underdevelopment of study and planning in the field of crisis management of this region seems necessary. Also, according to the results of the earthquake return period in this region, raising the level of urban environment flexibility against the stresses caused by the crisis and minimizing the time of rehabilitation and resilience of cities are among the most important factors that should be considered in planning and managing cities.

Keywords: *strong ground motion; return earthquake period; Sarpol-e Zahab; Ez-frisk*

Please cite this article as:

Monazami Tehrani Z, Monazami Tehrani G, Dorostian A, Akashe B, Almasian M. Analysis of the Seismicity Parameters and Strong Ground Movement in Sarpol-e Zahab and its Related Crises. *Irtiqa Imini Pishgiri Masdumiyat*. 2022;10(1):87-95. doi: 10.22037/iipm.v10i1.36583

* **Corresponding Author:** ghazaleh.monazami@sbmu.ac.ir

تحلیل پارامترهای جنبش نیرومند زمین در گستره سرپل ذهاب با نگاهی ویژه به بحران های ناشی از آن

ژامک منظمی تهرانی^۱، غزاله منظمی تهرانی^{۲*}، آرزو درستیان^۱، بهرام عکاشه^۱، محمود الماسیان^۳

۱. گروه ژئوفیزیک، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲. گروه سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳. گروه زمین شناسی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۸

چکیده

سابقه و هدف: وقوع حوادث و بلایای طبیعی را می توان از مهمترین دغدغه‌ها و نگرانی‌های زندگی بشر به خصوص مردم کشورهای در حال توسعه دانست. وجود بلایای طبیعی در کشور ایران سبب شده است که ایران جزء ۱۰ کشور نخست جهان در زمینه بلاخیز باشد. تحلیل داده های لرزه ای نشان می دهد که تقریباً هر ۵ سال بطور متوسط یک زمین لرزه با بزرگی ۷ (همانند زلزله‌های سراوان و سرپل ذهاب - کرمانشاه) در ایران اتفاق میافتد و اثرات جدی بر جامعه انسانی وارد می سازد. در این مطالعه تحلیل پارامترهای جنبش نیرومند زمین در گستره سرپل ذهاب با نگاهی ویژه به بحران های ناشی از آن پرداخته شد.

روش کار: در راستای ارزیابی دوره بازگشت زمین لرزه در این سامانه گسلی از دو رابطه مقدماتی گوتنبرگ - ریشتر و توزیع پایانی کیکو- سلوول استفاده شد. در راستای مطالعه لرزه خیزی و تحلیل خطر زمین لرزه پس از مطالعه زمین شناسی گستره مطالعاتی، به بررسی زمین ساخت و لرزه خیزی منطقه پرداخته شد. پس از آن مدل لرزه زمین ساختی از این پهنه تهیه شد تا ماهیت لرزه خیزی هرچه بهتر مشخص گردد. سپس، بانک داده‌های چشمه‌های لرزه‌زای گستره مورد مطالعه، تعریف و برای انجام تحلیل‌های بعدی، وارد نرم افزار Ez-frisk گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصل از دو روش لرزه ای بیان شده نشان می دهد که در محدوده مطالعاتی با توجه به نتایج به دست آمده، رخداد زمین لرزه ای با بزرگای بیش از $M_s > 7/8$ در سه بازه زمانی از واقعیت به دور می باشد. همچنین رخداد زمین لرزه‌های با بزرگای بیش از $M_s > 7/8$ در گستره مورد مطالعه با هیچ یک از داده های لرزه ای همخوانی ندارد. از طرفی مقادیر شتاب در سمتی که شیب گسل به آن سو است (شمال شرقی گسل)، نسبت به طرف مقابل، از مقادیر بالاتری برخوردار است. علاوه بر آن بیشینه مقدار شتاب زمین لرزه در موقعیت گسل پیشانی کوهستان در حدود $0/75$ گال برآورد شده است.

نتیجه‌گیری: بنابراین با توجه به اهمیت منطقه مطالعاتی (از نظر زمین شناسی)، وجود گسل های فعال و مهم در کل منطقه، همچنین تهدیدات سیاسی - امنیتی، وجود مبادلات و پیوندهای فضایی دو سوی مرز و توسعه نیافتگی مطالعه و برنامه ریزی در زمینه ی مدیریت بحران این منطقه ضروری به نظر می رسد. همچنین با توجه به نتایج دوره بازگشت زلزله در این منطقه، بالا بردن سطح انعطاف‌پذیری محیط شهری در برابر تنش های ناشی از بروز بحران و نیز به حداقل رساندن زمان بازتوانی و تاب‌آور ساختن شهرها از جمله مهمترین عواملی است که می بایست در برنامه‌ریزی و مدیریت شهرها مورد توجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: جنبش نیرومند زمین؛ دوره بازگشت زلزله؛ سرپل ذهاب؛ Ez-frisk

به این مقاله، به صورت زیر استناد کنید:

Monazami Tehrani Z, Monazami Tehrani G, Dorostian A, Akashe B, Almasian M. Analysis of the Seismicity Parameters and Strong Ground Movement in Sarpol-e Zahab and its Related Crises. Irtiqa Imini Pishgiri Masdumiyat. 2022;10(1):87-95. doi: 10.22037/iipm.v10i1.36583

* نویسنده مسئول مکاتبات: ghazaleh.monazami@sbmu.ac.ir

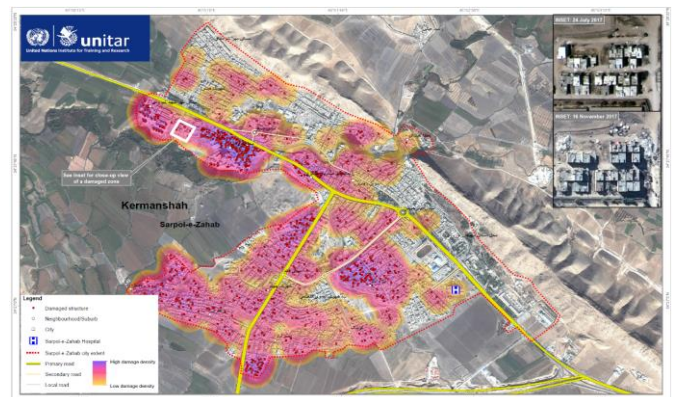
مقدمه

در بین تمامی حوادث طبیعی، زلزله از مخرب‌ترین آنها به شمار می‌رود. بطوری که کم و بیش بیشتر کشورهای دنیا با آن مواجه هستند. از سال ۱۹۹۰ میلادی به بعد به طور متوسط ۲۰ زلزله در هر سال با بزرگی ۷ ریشتر ثبت شده است. تحلیل داده های لرزه ای نشان می‌دهد که تقریباً هر ۵ سال بطور متوسط یک زمین لرزه با بزرگی ۷ در ایران اتفاق می‌افتد و اثرات جدی بر جامعه انسانی وارد می‌سازد (۱). نقشه رومرکز زمین لرزه‌های تاریخی و دستگامی نشان می‌دهد که ایران به صورت یک زون لرزه‌خیز با پهنایی بالغ بر ۱۰۰۰ کیلومتر از پلاتفرم توران (جنوب اوراسیا) در شمال شرق تا صفحه عربی در جنوب غرب امتداد یافته است. کپه داغ و زاگرس به صورت دو کمربند چین خورده- رانده فعال در شمال شرق و جنوب غرب ایران قرار دارند. این دو کمربند فعال مشخص کننده دو سرحد شمال شرقی و جنوب غربی ناحیه لرزه خیز ایران از کراتون‌های بی لرزه توران و عربی می‌باشند. مطالعات زمین ساختی بیانگر تراکم بسیار زیاد گسل‌های جوان و فعال در فلات ایران است. منطقه زاگرس مرتفع که دشت کرمانشاه نیز در آن واقع شده است، حد بین پیش کوه‌های داخلی (زون سنندج- سیرجان) و چین‌های منظم زاگرس چین خورده را تعیین کرده و با ارتفاع بسیار بیشتر نسبت به دو سمت مجاور اثر خود را در چشم انداز ژئومورفولوژیکی ناهمواری- های غرب کشور به خوبی نشان داده است، به طوری که مرتفع‌ترین کوه های استان کرمانشاه (پراو و شاهو) که در ساختمان آن‌ها آهک توده‌ای نقش اصلی را دارند در این واحد قرار دارد. فلات ایران به واسطه ویژگی‌هایی چون گسلش فعال، ولکانیسم (آتشفشانی) جوان و ارتفاع زیاد در میان کمربند کوهستانی آلپ - هیمالیا مشخص است. زاگرس از دیدگاه زلزله خیزی بسیار فعال و زلزله خیزترین منطقه ایران می‌باشد. بیش از ۵۰ درصد زمین‌لرزه‌های ایران، که توسط شبکه های جهانی به ثبت رسیده اند، در گستره زاگرس روی داده است (۲) زمین لرزه ها در تمامی پهنه زاگرس، به طول ۱۵۰۰ کیلومتر و عرض ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر روی می دهند. در سوی شمال شرق، لرزه خیزی با قطع شدگی ناگهانی مشخصی با راستای شمال غرب - جنوب شرق، که تقریباً بر گسل اصلی زاگرس منطبق است، همراه است. مدل سازی شکل موج نشان می دهد که زمین لرزه های بزرگ در زاگرس معمولاً در ۸ تا ۱۵ کیلومتر فوقانی پوسته زمین (زون لرزه زا) نشات می گیرند. این نتیجه با مطالعات خرد لرزه خیزی که تمامی آنها فعالیت لرزه ای در زاگرس را در اعماق کمتر از

۲۰ کیلومتر یافته اند، حمایت می شود (۳-۵). زاگرس منطقه وسیعی است که به طور پیوسته دگرشکلی فشاری و کوتاه شدگی پی‌سنگ در روی گسل‌های نرمال که فعالیت مجدد یافته اند را تجربه می کند. بردارهای لغزش زمین لرزه های زاگرس، جنبش با آزمون شمال تا شمال شرق (۳۰ تا ۴۰ درجه) را نشان می‌دهد (۶). در فلات ایران به دلیل تراکم بالای گسل‌های فعال از یک طرف و دقت پایین داده‌های لرزه‌ای از طرف دیگر، چشمه برخی از زمین- لرزه‌ها به بیش از یک گسل ارتباط داده شده است. بنابراین بررسی پارامترهای لرزه خیزی هر منطقه می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از توزیع تنش و موقعیت زلزله‌های آینده در آن منطقه را ارائه نماید (۷). بر اساس نتایج مطالعات هریسون، منطقه مورد مطالعه در ایالت ساختمانی ایران مرکزی قرار گرفته است. همچنین حرکات تکتونیکی منطقه از نوع رو رانده است و جهت کلی این شکستگی ها تقریباً به موازات گسل زاگرس می‌باشد. در امتداد این شکستگی‌ها، چشمه‌های فراوان با دبی نسبتاً زیاد ظاهر شده‌اند (۸). مروری بر پیشینه لرزه خیزی این ناحیه نشان می دهد که این منطقه سابقه وقوع زلزله با بزرگای بیش از ۷ را دارد ولی در این ناحیه وقوع زلزله با بزرگای کمتر از ۷ شایع تر است که البته این ویژگی خاص ناحیه زاگرس است. در سال ۱۲۲۶ میلادی، آخرین زمین لرزه تاریخی در این منطقه با بزرگای ۶/۵ در امتداد گسل زاگرس مرتفع روی داده است. همچنین آخرین رویداد لرزه‌ای قابل توجه در این منطقه مربوط به زمین لرزه با $M 6/1$ در حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب رومرکز (۲۱ آبان ۱۳۹۶) کرمانشاه است. در نوامبر سال ۲۰۱۳ سه زمین لرزه $M 5/5$ و $M 5/7$ و $M 5/6$ ، در فاصله ۶۰ تا ۷۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه به وقوع پیوسته است (۹). یکشنبه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ (۱۲ نوامبر ۲۰۱۷)، زمین لرزه‌ای با بزرگای $Mn 7/3$ در نزدیکی ازگله در استان کرمانشاه روی داد که منطقه مرزی ایران و عراق را به شدت به لرزه درآورد. رومرکز این زمین لرزه در نزدیکی گسلهای زاگرس مرتفع و پیشانی کوهستان قرار گرفته و شدت زیاد و خسارات فراوان به ویژه در مناطق غربی ایران گزارش شد (۵). یکی از سوال های مطرح بعد از وقوع زمین‌لرزه سرپل‌ذهاب علت گستردگی خرابی ها در شهر سرپل ذهاب در مقایسه با دیگر مناطق تحت تاثیر زلزله و حتی نسبت به منطقه پیرامون رومرکز زلزله بود. اگرچه به نظر می‌رسد این پدیده با توجه به شواهد موجود و الگوی پس لرزه‌ها یکی از دلایل قابل قبول برای توضیح شدیدتر بودن خرابی‌ها در سرپل‌ذهاب نسبت به شهرهای دیگری در فاصله مشابه تا رومرکز زمین‌لرزه باشد، اما نمی‌تواند تنها دلیل بروز خرابی‌ها باشد.

در سه دهه اخیر مفاهیم احتمالاتی، امکان در نظر گرفتن عدم قطعیت در اندازه، موقعیت و میزان رویداد زمین‌لرزه و تغییرات ویژگی‌های جنبش زمین با پارامترهای یادشده در تحلیل‌های خطر زمین‌لرزه کاربرد پیدا کرده است. روش انجام تحلیل خطر احتمالی بر اساس روش‌های بنیادی تحلیل خطر کرنل بنا شده است (۱۰). در این روش رابطه بازگشت گوتنبرگ ریشتر که در سال ۱۹۴۴ با جمع‌آوری و مطالعه داده‌های لرزه‌ای کالیفرنیا جنوبی تهیه شده است نقش بسیار مهمی دارد (۱۱). روش بزرگا - طول گسیختگی یکی از معمول‌ترین روش‌ها برای تخمین بزرگای زمین‌لرزه در روش قطعی است. برای گسل‌های ایران نیز زارع در سال ۱۹۹۵ (۱۲)، نوروزی در ۱۹۸۵ (۱۳) روابطی را ارائه نمودند. بنابراین، تعیین الگوی لرزه خیزی یا وقوع زمین لرزه در زمان و مکان از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد (۱، ۱۴). همچنین در خصوص جمع‌آوری و پردازش اطلاعات کاتالوگ‌ها، روش استاندارد که برای تعیین پارامترهای لرزه‌شناسی از لرزه‌شناسی تاریخی وجود دارد، فرمول‌بندی بیشینه محتمل است که به‌وسیله ویچرت (۱۵) برای در نظر گرفتن محدوده بزرگای مختلف در دوره‌های زمانی نامساوی ارائه شده است. همچنین کیکو و سالیوال نیز فرمول‌بندی بیشینه محتمل دیگری برای برآورد پارامترهای بیشینه محتمل ارائه نمودند (۱۶). از جمله اساسی ترین مشکلات در مطالعات لرزه خیزی و تحلیل خطر زمین لرزه، صحت، فراوانی و چیدمان صحیح داده‌ها می باشد که کمک به آینده‌پژوهی مدیریت بحران، در راستای سیاست گذاری های کلان می نماید (۱۴). بنابراین این خود عاملی برای تلاش بیشتر در جهت دستیابی عملی به روش‌ها و راهکارهایی منسجم جهت مقابله و برخورد منطقی در به حداقل رساندن ابعاد فاجعه‌آمیز چنین رخدادهایی است. شایان ذکر است که شیوه‌های برخورد با بحران‌ها می تواند سبب تشدید و یا کاهش اثرات منفی آنها گردد (۱۷). بنابراین با توجه به اهمیت منطقه مطالعاتی (از نظر زمین شناسی) در زون زاگرس، وجود گسل‌های فعال و مهم در این منطقه، همچنین تهدیدات سیاسی-امنیتی (تهدیدات سیاسی ناشی از مسائل درون منطقه ای و تهدیدات سیاسی-امنیتی برون مرزی)، وجود مبادلات و پیوندهای فضایی دو سوی مرز، توسعه نیافتگی، ناپایداری سکونت، مطالعه و برنامه ریزی در زمینه ی مدیریت بحران این منطقه ضروری به نظر می رسد. با توجه به اهمیت موضوع و اهمیت منطقه مورد مطالعه، در این مطالعه به تحلیل پارامترهای

زیرا توزیع خرابی‌ها در خود شهر سرپل ذهاب هم یکنواخت نیست و تفاوت چشمگیری در نقاط مختلف شهر حتی با توجه به مشابهت نوع سازه‌ها دارد. دو روند خرابی کاملاً متمایز در شهر دیده می‌شود به طوری که در مناطق شمال بلوار اصلی شهر (بلوار راه کربلا) خرابی‌ها ناچیز است و عمده مناطق با آسیب شدید در بخش جنوبی این بلوار متمرکز هستند. به عنوان نمونه در انتهای غربی شهر سرپل ذهاب به سمت قصرشیرین در حدفاصل پای دامنه کوه تا کناره رودخانه دو مجموعه ساختمان‌های مسکن مهر که یکی در مجاورت دامنه ارتفاعات سنگی شمالی (فرهنگیان) و دیگری در مجاورت رودخانه (شیرودی) ساخته شده است، کاملاً رفتار متفاوتی در این زمین‌لرزه مشاهده می‌شود. مجموعه مسکن مهر فرهنگیان بدون آسیب سازه‌ای است و آسیب غیر سازه‌ای کمی دیده است در حالیکه در مجتمع مسکن مهر شهید شیروودی (در مجاورت رودخانه) اجزای سازه‌ای آسیب زیاد و اجزای غیر سازه‌ای آسیب خیلی زیادی دیده‌اند و ریزش کامل چند ساختمان ۱ تا ۶ طبقه شخصی ساز در همین منطقه از شهر سرپل ذهاب یکی از خبرسازترین موضوعات این زمین‌لرزه بوده است. همچنین تخریب سازه‌ای زیاد در ساختمان‌های عموماً سه طبقه به بالا در محله فولادی از شهر به چشم می‌خورد (شکل ۱). در حاشیه غربی نیمه جنوبی شهر و از جمله در پیرامون دبستان حدیث (آزادگان) نیز خرابی‌های گسترده‌ای مشاهده می‌شود. با توجه به موارد فوق به نظر می‌رسد که غیر از مسئله جهت پذیری تاثیر شرایط ساختگاهی نیز در تشدید آسیب‌ها در شهر سرپل ذهاب نقش داشته است. از نظر زمین‌شناسی شهر سرپل ذهاب در خط‌القدر یک ناودیس با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق قرار گرفته است. یال شمالی این ناودیس با نام کوه میانکال و لایه‌های با شیب برگشته مرز شمالی شهر را به وجود آورده است و رودخانه الوند با قطع این کوه از میان شهری می‌گیرد.



شکل ۱. نقشه توزیع میزان آسیب‌ها تهیه شده برگرفته از (2017)

Unitar

در مواردی که پاره گسل‌های چشمه‌ای با پاره بندی از یکدیگر جدا می‌شوند، آنگاه در برآورد بایستی به صورت دو چشمه زمین لرزه‌ای جداگانه بررسی شوند. برای فاصله تا یک چشمه زمین لرزه‌ای ۳ نوع تعریف موجود است که روابط کاهندگی مختلف هر کدام از این مقادیر را به کار می‌برند: R0 (کوتاه ترین فاصله تا چشمه زمین لرزه‌ای)؛ R1 (کوتاه ترین فاصله تا تصویر افقی گسل یا چشمه زمین لرزه‌ای)؛ R2 (کوتاه ترین فاصله تا اثر سطحی گسل یا چشمه زمین لرزه‌ای). نهایتاً با توجه به تعاریف، روند محاسبات خطر زمین لرزه در این مطالعه به شکل اصلاح شده زیر تبدیل می‌شود:

$$H_j(a) = v_j \int_m f_{M_j}(m) \int_l f_{L_j}(l) \int_r P[A > a | m, r] f_{R_j | M_j, L_j}(r, m, l) dr dl dm$$

بنابراین به طور کلی، در راستای مطالعه لرزه خیزی و تحلیل خطر زمین لرزه پس از مطالعه زمین شناسی گستره مطالعاتی، به بررسی زمین ساخت و لرزه خیزی منطقه پرداخته شد. پس از آن مدل لرزه زمین ساختی از این پهنه تهیه شد تا ماهیت لرزه خیزی هرچه بهتر مشخص گردد. سپس، بانک داده‌های چشمه‌های لرزه‌زای گستره مورد مطالعه، تعریف و برای انجام تحلیل‌های بعدی، وارد نرم افزار ez-frisk گردید. ضمن بررسی روابط کاهندگی موجود، از روابطی که علاوه بر به روز بودن، با زمین ساخت این بخش از ایران، همخوانی دارند، برای محاسبه شتاب زمین لرزه و دیگر پارامترهای جنبش نیرومند زمین بهره گرفته شد. طراحی و نحوه برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین برای سازه‌های مهم صورت می‌پذیرد. تاکنون مناسب ترین و فراگیر ترین نحوه این گونه برآوردها به کارگیری معادلات و روابط کاهندگی می‌باشد که در ساده ترین شکل آن، جنبش نیرومند زمین بر حسب تابعی از بزرگا و فاصله بیان می‌شود. لذا اهمیت این روابط به خوبی مشخص می‌شود. این روابط عموماً از طریق تحلیل آماری بر روی اطلاعات ثبت شده از زلزله‌های رخ داده، حاصل می‌شوند. با مطالعه و بررسی روابط کاهندگی مختلف موجود (۲۱، ۲۲) و با توجه به ویژگی‌ها و شرایط زمین شناسی، زمین ساختی و لرزه زمین ساختی این پهنه از ایران زمین (۲۳)، در نهایت از چهار رابطه نسل جدید (NGA: New Generation Attenuation) (۲۴-۲۷)، در تحلیل خطر زمین لرزه این منطقه با در نظر گرفتن وزن مساوی برای هر رابطه، استفاده شده است. متغیرهای جانبی مورد نیاز برای استفاده از این روابط مطابق جدول زیر مورد استفاده قرار گرفته است. در برخی از موارد به علت نبود اطلاعات کافی، مقادیر عددی پیش فرض نرم افزار مبنای محاسبات قرار گرفته است.

جنبش نیرومند زمین در گستره سرپل ذهاب با نگاهی ویژه به بحران‌های ناشی از زلزله‌های اخیر پرداخته شده است.

روش کار

روش به کار گرفته شده در برآورد خطر زمین لرزه، استفاده از مدل سازی خطی هندسی سه بعدی چشمه‌های گسلی است. چنین مدلی، بر حسب تغییرات شیب گسل از قائم تا کم شیب، می‌تواند مدل‌های خطی و ناحیه ای را پوشش دهد. یک گسل با اثر سطحی در روی زمین و برش قائم در طول آن مشخص می‌شود. اثر سطحی گسل به صورت قطعات مستقیم با پرش یا خمش که با استفاده از عکس‌های هوایی یا تصاویر ماهواره‌ای به نقشه درآورده مشخص و مختصات این روند و تغییر روندها، هندسه دو بعدی آن را تعیین می‌کند. برش عرضی قائم یا همان مدل یا برش لرزه زمین ساختی تغییرات شیب موجود در بعد سوم را برای تعیین هندسه گسل تخمین می‌زند. سازوکارهای ژرفی زمین لرزه‌ها، بازدیدهای صحرایی و موزائیکی از عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای در فصل دوم و سوم این پژوهش، کمک بسیار زیادی به شناسایی شیب گسل‌ها و تغییرات آن، امتداد گسل‌ها و انحنای آن‌ها کرده است. به‌علاوه منابع موجود نظیر بربریان (۱۸، ۱۹)، کمک شایانی در خصوص تفکیک قطعات گسلی و تعیین نرخ لغزش و همچنین شیب و جهت شیب چشمه های لرزه‌زای گستره، طرح نموده‌اند. از آنجا که در پژوهش حاضر، تحلیل خطر زمین لرزه برای محدوده یک نقشه و نه برای یک ساختگاه مشخص صورت خواهد گرفت، از این رو شبکه ای از نقاط با پراکندگی مناسب و به تعداد بیش از ۱۴۰۰ نقطه، در گستره مورد مطالعه تعریف و محاسبات آتی برای هر یک از این نقاط صورت گرفته است. در واقع هر یک از این نقاط به عنوان یک ساختگاه در نظر گرفته شده و مورد بررسی قرار داده شده است. پراکندگی نقاط به نحوی گزینش شده است که در فرآیند ترسیم کنتورهای هم شتاب، بهترین همخوانی بین خطوط در فرآیند مثلث بندی به وجود آید. به همین سبب در مناطق با شتاب بیشتر، تعداد نقاط از فراوانی بالاتری برخوردار است. فرض بر آن است که گسیختگی زمین لرزه در عمق و در سطح افقی به طور همگن توزیع می‌شود. همچنین فرض می‌شود که طول گسیختگی LR و پهنای آن WR با بزرگا مطابق روابط کلی زیر تغییر می‌کند:

$$\log_{10} L_R = \log_{10} W_R = AL + BL + \delta, \quad \delta \approx N(0, SIGL^2) \quad (20)$$

یافته‌ها

پارامترهای لرزه خیزی به عنوان ابتدایی ترین بخش در بررسی و مطالعات لرزه زمین ساخت یک منطقه، و همچنین به منظور تعیین اطلاعات ورودی برای تحلیل خطر زمین لرزه، در این تحقیق مورد بررسی واقع گردید. این پارامترها به روش های مختلف محاسبه گردیده اند. که نتایج آن در ادامه آورده شده است. جدول ۱ نشان دهنده مقادیر پارامترهای a و b رابطه گوتنبرگ - ریشتر برای گستره مورد مطالعه می باشد.

جدول ۱. مقادیر پارامترهای a و b رابطه گوتنبرگ - ریشتر در

گستره مورد مطالعه

Regression Output	
a	5.95
b	1.02
r	0.96
SE	0.58
Log Nc=5.95 - 1.02Ms	

بیشترین تعداد زمین لرزه در این منطقه مربوط به بزرگای ۴/۵ تا ۴/۷ (Ms) بوده است. بزرگای آستانه ۴/۳ می باشد و ۶/۱ محدودیت رابطه مورد بررسی است. رابطه بین لگاریتم فراوانی تجمعی (Nc) و بزرگای سطحی (Ms) زمین لرزه های منطقه در نمودار زیر نشان داده شده است.

نتایج دوره بازگشت بزرگای زمین لرزه ها براساس روش تخمین بیشینه محتمل (روش کیکو) در گستره مورد مطالعه به شرح زیر می باشد.

جدول ۲. پارامترهای حاصل از روش کیکو در گستره مورد مطالعه

Beta = 1.86 ± 0.20 (b = 0.81 ± 0.09)
Lambda = 0.1 ± 0.02 (for Mmin) = 4.3
M_max = 7.4 ± 0.10 (for SIG (Xmax) = 0.10)

پارامترهای حاصل از روش کیکو در گستره مورد مطالعه به صورت زیر می باشد.

$$\text{Lambda} = 0.1 \pm 0.02 \text{ (for Mmin) } = 4.3$$

$$\text{M}_{\text{max}} = 7.4 \pm 0.10 \text{ (for SIG (Xmax) } = 0.10$$

دوره بازگشت زمین لرزه از دو روش گوتنبرگ- ریشتر و کیکو- سلوول محاسبه شده اند. نتایج هر دو روش در جدول ۳ نشان داده شده اند.

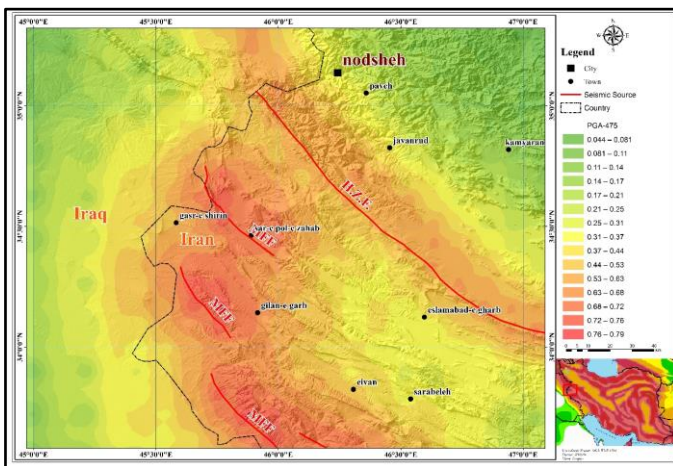
جدول ۳. جمع بندی نتایج تعیین دوره بازگشت زمین لرزه در

گستره مورد مطالعه

دوره بازگشت روش برآورد	ساله ۴۷۵	ساله ۹۷۵	ساله ۲۴۷۵
گوتنبرگ - ریشتر	۶/۹	۷/۵	۷/۸
کیکو - سلوول	۷/۰	۷/۴	۷/۷

بزرگای زمین لرزه ها بر اساس دو روش ارائه شده نشان داده است که بزرگای زلزله در دوره بازگشت ۴۷۵ ساله بر اساس روش گوتنبرگ-ریشتر ۶/۹ و روش کیکو-سلوول ۷/۰ است و بزرگای بیش از ۷/۸ بر اساس روش گوتنبرگ-ریشتر در این منطقه قابل انتظار نمی باشد.

وضعیت پراکندگی شتاب زمین لرزه در دوره بازگشت ۴۷۵ ساله، پهنه بندی شتاب در شکل زیر ارائه گردیده است.



شکل ۲. نقشه همپتانسیل بیشینه شتاب افقی زمین لرزه برای

دوره بازگشت ۴۷۵ سال

شتاب زمین لرزه که در این تحقیق برآورد شده است، در موقعیت شاخه های گسل های پیش گودال و پیشانی زاگرس در حدود ۰/۷۵ گال است (شکل ۲).

بحث

نتایج حاصل از دو روشهای لرزه ای بیان شده نشان میدهد که در محدوده مطالعاتی با توجه به نتایج به دست آمده به روش های مورد استفاده، رخداد زمین لرزه ای با بزرگای بیش از $Ms > 7/8$ در سه بازه زمانی از واقعیت به دور می باشد. همچنین دوره بازگشت حاصل از رابطه کیکو- سلوول به ترتیب نشان دهنده رخداد زمین لرزه هایی با بزرگای ۷/۰، ۷/۴ و ۷/۷ برای سه بازه زمانی مشخص شده است که به سبب استفاده از داده های تاریخی و تابع توزیع

نتیجه‌گیری

بنابراین با توجه به اهمیت منطقه مطالعاتی (از نظر زمین‌شناسی)، وجود گسل‌های فعال و مهم در کل منطقه، همچنین تهدیدات سیاسی - امنیتی، وجود مبادلات و پیوندهای فضایی دو سوی مرز و توسعه نیافتگی مطالعه و برنامه ریزی در زمینه مدیریت بحران این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. همچنین با توجه به نتایج دوره بازگشت زلزله در این منطقه، بالا بردن سطح انعطاف‌پذیری محیط شهری در برابر تنش‌های ناشی از بروز بحران و نیز به حداقل رساندن زمان بازتوانی و تاب‌آور ساختن شهرها از جمله مهمترین عواملی است که می‌بایست در برنامه‌ریزی و مدیریت شهرها مورد توجه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از تمام کسانی که در انجام این مطالعه ما را یاری کردند، نهایت تشکر را داریم.

ملاحظات اخلاقی

تمام شرکت‌کنندگان از اهداف پژوهش آگاه شده و فرم رضایت آگاهانه شرکت در پژوهش را تکمیل کردند.

تضاد منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند هیچ گونه تضاد منافی در این مطالعه وجود ندارد.

منابع مالی

این پژوهش بخشی از پایان‌نامه دکتری نویسنده اول است که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال و با حمایت این دانشگاه انجام گرفته است.

نقش نویسندگان

مفهوم‌سازی: ژامک منظمی‌تهرانی، غزاله منظمی‌تهرانی، آرزو درستیان؛ روش‌شناسی: ژامک منظمی‌تهرانی، غزاله منظمی‌تهرانی، آرزو درستیان؛ تحقیق و بررسی و منابع: ژامک منظمی‌تهرانی؛ نگارش پیش‌نویس و ویراستاری و نهایی‌سازی: ژامک منظمی‌تهرانی، غزاله منظمی‌تهرانی، آرزو درستیان، بهرام عکاشه، محمود الماسیان.

برازش پایانی زمین لرزه‌های دستگاهی نسبت به رابطه Richter - Gutenberg اعداد منطقی تری دارد. ولی با این وجود رخداد زمین لرزه‌های با بزرگای بیش از $M_s > 7/8$ در گستره مورد مطالعه با هیچ یک از داده‌های لرزه‌ای همخوانی ندارد. به نظر می‌رسد به منظور شناخت ویژگی‌های لرزه‌های این سامانه گسلی استفاده از علم پارینه لرزه‌شناسی در راستای بهبود نتایج بسیار موثر خواهد بود. چرا که داده‌های لرزه‌ای درازمدت، دوره بازگشت، زمان سپری شده و بزرگای را با دقت زیادی در اختیار می‌گذارند.

به طور کلی مقادیر شتاب زمین لرزه برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال در مناطق مجاور گسل‌های فعال تا حدود ۱ گال نیز می‌رسد. از طرفی مقادیر شتاب در سمتی که شیب گسل به آن سو است (شمال شرقی گسل)، نسبت به طرف مقابل، از مقادیر بالاتری برخوردار است. علاوه بر آن نقشه هم‌جابه جایی زمین نیز برای دوره بازگشت یاد شده محاسبه شد. بیشینه مقدار شتاب زمین لرزه در موقعیت گسل پیشانی کوهستان در حدود ۰/۷۵ گال و بیشینه شتاب زمین لرزه ۲۰۱۷ سرپل‌دهاب در حدود ۰/۶۹ گال برآورد شده است. شایان ذکر است که نقشه‌های هم‌شتاب ۴۷۵ ساله در دوره‌های کم و زیاد در نقاط مختلف ایران به طور قابل توجهی متفاوت است، اما پهنه مورد مطالعه در مطالعات مشابه بیشترین میزان شتاب در کل کشور را در برخی نقاط نشان می‌دهد (۲۸، ۲۹).

لذا با توجه به اینکه در هنگام بروز زلزله، شهر به صورت یک سیستم از آن تأثیر می‌پذیرد و دیگر عناصر شهری از زلزله و سایر آثار جانبی آن متأثر می‌شوند (۳۰)، لازم است برنامه‌ریزی‌های مدونی در خصوص مدیریت بحران در این خصوص صورت پذیرد. همچنین با توجه به نتایج دوره بازگشت زلزله در این منطقه، بالا بردن سطح انعطاف‌پذیری محیط شهری در برابر تنش‌های ناشی از بروز بحران و نیز به حداقل رساندن زمان بازتوانی و تاب‌آور ساختن شهرها از جمله مهمترین عواملی است که می‌بایست در برنامه‌ریزی و مدیریت شهرها مورد توجه قرار گیرد. همچنین، با توجه به اینکه جامعه‌ای با تاب‌آوری کمتر (با توجه به شاخص‌های کالبدی از جمله ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها)، به زمان بیشتری برای بازگشت به ساختار عادی نیاز دارد (۳۱)، بنابراین بررسی وابستگی متقابل زیرساخت‌های فیزیکی و شاخص انعطاف‌پذیری منطقه پس از زلزله نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

References

- Zare M, Hashemi SA, Rahmani R. Seismic Hazard Analysis and Developing the Acceleration Zoning Maps in the Khark Island, Persian Gulf Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 2015 22;4(5):1-2.
- Berberian M, Yeats RS. Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau. *Bulletin of the Seismological society of America*. 1999;89(1):120-39.
- Farahpour MM, Hessami K. Cretaceous sequence of deformation in the SE Zagros fold-thrust belt. *Journal of the Geological Society*. 2012;169(6):733-43.
- Saura E, Vergés J, Homke S, Blanc E, Serra-Kiel J, Bernaola G, Casciello E, Fernández N, Romaine I, Casini G, Embry JC. Basin architecture and growth folding of the NW Zagros early foreland basin during the Late Cretaceous and early Tertiary. *Journal of the Geological Society*. 2011 Jan 1;168(1):235-50.
- Agard P, Omrani J, Jolivet L, Whitechurch H, Vrielynck B, Spakman W, Monié P, Meyer B, Wortel R. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine*. 2011 Nov;148(5-6):692-725.
- Walpersdorf A, Hatzfeld D, Nankali H, Tavakoli F, Nilforoushan F, Tatar M, Vernant P, Chéry J, Masson F. Difference in the GPS deformation pattern of North and Central Zagros (Iran). *Geophysical Journal International*. 2006;167(3):1077-88.
- Barzegari A, Ghorashi M, Nazari H, Shokri MA, Porkermani M. Evaluation of earthquake recurrence interval at Astara fault system based on seismic catalogs (NW of Iran). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*. 2016;25(98):83-92.
- Harrison J, T Oberländer. Oberländer T. The Zagros streams: a new interpretation of transverse drainage in an orogenic zone. Syracuse University Press. 1967: 133- 80.
- Eshaghi A, Pour-Mohammad Shahvar M, Farzanegan E, Mirzaei Alavijeh H. Source and strong ground motion parameters estimation of the November 12, 2017, Sarpol-e Zahab, Kermanshah earthquake using recorded accelerograms of Iran earthquake strong motion network. *Iranian Journal of Geophysics*. 2019;12(4):157-71.
- Cornell CA. Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the seismological society of America*. 1968;58(5):1583-606.
- Gutenberg B, Richter CF. Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration: (Second paper). *Bulletin of the seismological society of America*. 1956;46(2):105-45.
- Zare M. Relationships for Magnitude, intensity and pike horizontal acceleration base on Iranian Earthquakes. *journal of seismology and engineering earthquake and research*. 1995; 6:12-4.
- Nowroozi AA. Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1985;75(5):1327-38.
- El Adnani M, Yétongnon K, Benslimane D. A multiple layered functional data model to support multiple representations and interoperability of GIS: application to urban management systems. In *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Advances in geographic information systems*. 2001; 70-5.
- Weichert DH. Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1980;70(4):1337-46.
- Kijko A, Sellevoll MA. Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part II. Incorporation of magnitude heterogeneity. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1992;82(1):120-34.
- Adibi A, Zarifi F. The role and status of passive defense with a view to the geography of Khuzestan Province. *Quarterly journal of disciplinary knowledge of Khuzestan*. 2013. 5: 119-46.
- Berberian M. Earthquakes and coseismic surface faulting on the Iranian Plateau. Elsevier; 2014.
- Douglas J. Ground motion prediction equations 1964–2019. University of Strathclyde, August. 2019:81-94.
- Douglas J. Ground-motion prediction equations 1964-2010. Pacific Earthquake Engineering Research Center; 2011.
- Shoja-Taheri J, Naserieh S, Hadi G. A test of the applicability of NGA models to the strong ground-motion data in the Iranian plateau. *Journal of Earthquake Engineering*. 2010 Jan 6;14(2):278-92.
- Campbell KW, Bozorgnia Y. 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. 2008;24(1):139-71.

23. Idriss IM. An NGA empirical model for estimating the horizontal spectral values generated by shallow crustal earthquakes. Earthquake spectra. 2008;24(1):217-42.

24. Abrahamson N, Silva W. Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground-motion relations. Earthquake spectra. 2008;24(1):67-97.

25. Chiou BJ, Youngs RR. An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. Earthquake spectra. 2008;24(1):173-215.

26. Mahsuli M, Rahimi H, Bakhshi A. Probabilistic seismic hazard analysis of Iran using reliability methods. Bulletin of Earthquake Engineering. 2019 Mar;17(3):43-1117.

27. Zare M. Seismic hazard zoning in Iran: a state-of-the-art on the studies during four decades. Journal of Seismology and Earthquake Engineering. 2017 Jul 1;19(2):71-101

28. Nayeri M, Shieh E, Rezaei M, Saeidi Rezvani N. Managing neighborhood resilience in earthquake encountered in urban exhausted tissues with FAHP method (Case studyL Abdolabad, Tehran). Geography (Regional Planning). 2018 May 22;8(2):21-38

29. Rezaei MR, Rafieian M, Hosseini SM. Measurement and evaluation of physical resilience of urban communities against earthquake (Case study: Tehran neighborhoods). Human Geography Research. 2015 Dec 22;47(4):23-609