



Evaluation and identification of faults and their level of seismicity in Balharud Garmsi Basin in Ardabil Province

Fariba Esfandiari Darabad^{1*}, Behrouz Nezafat Takleh², Leila Alimohamedian³, Sayeh Abidi Hamalabad⁴, Parisa Dehgani⁵

¹ - Professor of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

² - Phd student of geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

³ - Bachelor of Natural Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

⁴ - Bachelor of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

⁵ - Master of Science in Psychology, Payam Noor University of Ardabil, Ardabil, Iran.

Received Date: 18 October 2024 Accepted Date: 27 December 2024

Abstract

Background and Objective: Seismicity is a measure that encompasses the occurrence, mechanisms, and magnitude of earthquakes in a given geographical location. Thus, it summarizes the seismic activity of a region. Based on geological evidence and recorded earthquakes, the study area is considered one of the active and seismic zones in Iran. Therefore, knowledge of the seismic potential of the region is necessary to prevent unprincipled construction in the study area. The purpose of the present study is to evaluate the seismic potential of faults in the Balharud-Garmsi basin.

Methodology: In this study, ArcGIS software was used to draw maps and analyze them. First, using the 1: 100,000 geological map of the Geology and Mineral Exploration Organization of the country, the faults (main and minor) in the study area were determined and their lengths were determined. Then, the seismic power of the faults in the study area was calculated using the relations of Zare (1995), Norouzi (1985), and Norouzi and Ashjai (1978).

Findings and Results: According to the relevant results, the average seismic power in terms of Richter in the faults of Nowruzabad is 12.55, Azadabad 10.20, Sari-Nasirli 28.62, Ilikhchi 9.08, Chenar 6.56, Farzi-Kandi 17.42, Parchin 10.35, Ojaq-Alazar 17.94, Demirchi 7.23, Pireh-Khalil 6.55, Qanab 19.16, Shorfeh 7.73, and Shordarq 3.92. The results showed that the study area, especially the central parts towards the south of the basin due to the concentration of fault lines, is prone to seismicity and there is a possibility of earthquakes with a magnitude greater than 4 on the Richter scale. The Sari-Nasirli, Azadabad and Al-Qanab faults have the highest seismic power in the region, respectively. Studies also show that there is a direct relationship between the seismic power of faults and the length of the fault. Given the lack of sufficient studies on the tectonics and seismicity of the region, other studies should be conducted on the seismotectonics and zoning of the region in terms of seismicity to obtain more certainty.

Key words: Evaluation seismic potential, watershed, seismotectonics, faults, Balharud Garmsi Basin, Ardabil Province.

* Corresponding Author Email: esfandyari@uma.ac.ir

Cite this article: Esfandyari, F., Nezafat Takleh, B., Alimohammadian, L., Abidi Hamalabad, S. and Dehgani, P. (2025). Evaluation and identification of faults and their level of seismicity in Balharud Garmsi Basin in Ardabil Province. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(2), 23-31.



شاپا: ۰۷۶۴-۲۷۸۳

دوره ۶، شماره ۲، شماره پیاپی ۲۰، تابستان ۱۴۰۴

Journal Homepage <https://www.srds.ir/>
https://www.srds.ir/article_212180.html?lang=fa

ارزیابی و شناسایی گسل‌ها و میزان لرزه‌خیزی آن‌ها در حوضه بالهارود گرمی استان اردبیل

فریبا اسفندیاری درآباد^۱، بهروز نظافت تکل^۲، لیلا علیمحمدیان^۳، سایه عبیدی حمل‌آباد^۴، پریسا دهقانی^۵

۱- استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۵- کارشناس ارشد روانشناسی، دانشگاه پیام نور اردبیل، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۷

چکیده

زمینه و هدف: لرزه‌خیزی معیاری است که رخدادها، مکانیسم‌ها و بزرگی زمین‌لرزه در یک مکان جغرافیایی معین را در برمی‌گیرد. به این ترتیب، فعالیت لرزه‌ای یک منطقه را خلاصه می‌کند. منطقه مورد مطالعه بر اساس شواهد زمین‌شناسی و زمین‌لرزه‌های ثبت‌شده یکی از پهنه‌های فعال و لرزه‌خیز در ایران به شمار می‌آید. از این رو آگاهی از توان لرزه‌خیزی منطقه جهت جلوگیری از ساخت‌وساز غیراصولی در حوزه مورد تحقیق ضروری است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی توان لرزه‌خیزی گسل‌ها در حوزه بالهارود گرمی است.

روش‌شناسی: در این پژوهش برای ترسیم نقشه‌ها و تحلیل آن‌ها از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد که ابتدا با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در حوزه مورد مطالعه، گسل‌های (اصلی و فرعی) تعیین و طول آن‌ها مشخص گردید. سپس توان لرزه‌زایی گسل‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از روابط زارع (۱۳۷۴)، نوروزی (۱۹۸۵) و نوروزی و اشجعی (۱۹۷۸) محاسبه شد.

یافته‌ها و نتایج: با توجه به نتایج مربوطه، متوسط توان لرزه‌زایی برحسب ریشتر در گسل‌های نوروزآباد ۱۲/۵۵، آزادآباد ۲۰/۱۰، ساری‌نصیرلو ۲۸/۶۲، ایلخچی ۹/۰۸، چنار ۶/۵۶، فرضی‌کندی ۱۷/۴۲، پرچین ۱۰/۳۵، اوجاق‌آلزار ۱۷/۹۴، دمیرچی ۷/۲۳، پیره‌خلیل ۶/۵۵، القناب ۱۹/۱۶، شرفه ۷/۷۳، شوردرق ۳/۹۲ را نشان می‌دهد. نتایج حاصله نشان داد که منطقه مورد مطالعه، به خصوص بخش‌های مرکزی به سمت جنوب حوزه به علت تمرکز خطواره‌های گسلی، از نظر لرزه‌خیزی مستعد است و امکان وقوع زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی بیش‌تر از ۴ ریشتر در آن است. گسل‌های ساری‌نصیرلو، آزادآباد و القناب به ترتیب دارای بالاترین توان لرزه‌زایی در منطقه هستند. بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که بین توان لرزه‌زایی گسل‌ها با طول گسل ارتباط مستقیم وجود دارد. با توجه به نبود مطالعات کافی در مورد تکتونیک و لرزه‌خیزی منطقه، بایستی به جهت حصول اطمینان بیش‌تر، مطالعات دیگری در رابطه با ساینموتکتونیک و پهنه‌بندی منطقه از نظر لرزه‌خیزی نیز انجام گیرد.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی، پتانسیل لرزه‌ای، حوزه آبخیز، لرزه‌نگاری، گسل‌ها، بالهارود گرمی، استان اردبیل.

نویسنده مسئول: esfandyari@uma.ac.ir

ارجاع به این مقاله: اسفندیاری درآباد، فریبا، نظافت تکل، بهروز، علیمحمدیان، لیلا، عبیدی حمل‌آباد، سایه و دهقانی، پریسا. (۱۴۰۴).
 ۲. ارزیابی و شناسایی گسل‌ها و میزان لرزه‌خیزی آن‌ها در حوضه بالهارود گرمی استان اردبیل. فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه
 ی، ۶(۲)، ۳۱-۳۶.

مقدمه و بیان مسأله

در طی قرن بیستم بیش از ۱۱۰۰ زلزله مخرب در نقاط مختلف کره زمین روی داده که برآثر آن بیش از ۱۵۰۰۰۰۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند که ۹۰ درصد آن‌ها عمدتاً ناشی از ریزش ساختمان‌هایی بوده که از اصول مهندسی و ایمنی کافی برخوردار نبوده‌اند (لانتادا، ۲۰۰۹). کشور ایران به‌عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا همواره از لرزه‌خیزی بالایی در طول تاریخ برخوردار بوده است، به‌گونه‌ای که بخش‌های مختلف کشور توسط زمین‌لرزه‌های ویرانگر متعددی پیوسته تخریب شده است و این پدیده تاکنون، به‌عنوان مهم‌ترین بلای طبیعی کشور، تلفات و خسارات سنگینی را به بار آورده است. در بیشتر بخش‌های ایران، لرزه‌خیزی در ارتباط مستقیم با تجدید فعالیت گسل‌هاست و بیشترین میزان لرزه‌خیزی در امتداد گسل‌های فعال روی داده است (آزادیخواه، ۱۳۸۸).

بر اساس تعاریف، زمین‌لرزه آزاد شدن انرژی الاستیک ذخیره‌شده در پوسته زمین به‌طور ناگهانی است که باعث لرزش و جنبش‌هایی در سطح زمین می‌شود که همراه با خرابی و خساراتی است (پرویزی و شجاعی، ۱۳۹۶). زمین‌لرزه باعث تغییر شکل و گسیختگی توده‌های سنگی در مقیاس‌های متفاوت می‌گردد. بین گسل و زمین‌لرزه رابطه‌ای دوطرفه و مستقیم برقرار است به‌طوری‌که فراوانی گسل‌ها در یک منطقه باعث وقوع زمین‌لرزه می‌شود. زمین‌لرزه‌های فراوان در یک منطقه نیز سبب ایجاد گسل‌ها و شکستگی‌های جدیدی در توده‌های سنگی منطقه می‌شود و بدین ترتیب توان لرزه‌خیزی منطقه افزایش می‌یابد (آلگر، ۱۳۶۷). بین توان لرزه‌خیزی گسل‌ها با طول شکسته شده و جابه‌جاشده آن‌ها ارتباط مستقیمی وجود دارد. در هر مطالعه پس از بررسی دقیق سائزموکتونیک گسل‌های فعال منطقه باید بیشینه توان لرزه‌خیزی گسل‌ها نیز محاسبه شود (پورکرمانی و آیین، ۱۳۷۶).

سائزموکتونیک دانش بررسی هم‌زمان ویژگی‌های زمین‌ساختی با ویژگی‌های لرزه‌ای یک پهنه یا گستره لرزه‌زا است. این علم به بررسی فرآیندهای پوسته زمین با به‌کارگیری دانش زمین‌لرزه‌شناسی می‌پردازد. به عبارتی سائزموکتونیک، زمین‌لرزه را در درون فرآیندهای زمین‌ساختی بررسی می‌کند. مهم‌ترین هدف سائزموکتونیک یافتن کانون‌های احتمالی رویداد زمین‌لرزه‌های آینده و ویژگی‌های آن‌ها، بررسی شکنندگی پوسته و اندازه تغییرات آن با عمق است. این هدف هم‌چنین شناسایی چشمه‌های با توان جنبش زمین‌لرزه در لیتوسفر و ویژگی‌های آن‌ها را نیز در برمی‌گیرد. علم سائزموکتونیک زمین‌لرزه‌ها را یک ابزار برای درک بهتر از تکتونیک یک گستره جنبه‌ای می‌پندارد (نعمتی، ۱۳۹۶).

ازاین‌رو، بررسی لرزه‌شناسی زمین‌لرزه نقش عمده‌ای در توسعه مفهوم تکتونیک صفحه‌ای داشته است. از آنجایی که حرکات تکتونیک باعث ایجاد زمین‌لرزه می‌شود، درک تکتونیک صفحه‌ای هنگام تلاش برای کاهش مخاطرات مرتبط با گسل بسیار مهم است (لی و والاس، ۱۹۹۵) هدف از این پژوهش ارزیابی و تحلیل توان لرزه‌خیزی گسل‌ها در حوزه آبخیز بالهارود گرمی و برآورد حداکثر توان لرزه‌زایی گسل‌های فعال منطقه بر پایه روابط زارع (۱۳۷۴)، نوروزی (۱۹۸۵) و نوروزی و اشجعی (۱۹۷۸) است. هدف پژوهش حاضر ارزیابی و شناسایی گسل‌ها و میزان لرزه‌خیزی آن‌ها در حوزه بالهارود گرمی است

پیشینه پژوهش

در رابطه با ارزیابی گسل‌ها و میزان لرزه‌خیزی آن‌ها مطالعات متعددی در داخل کشور و خارج از آن صورت گرفت است که به طور مختصر به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. همتی و همکاران (۱۳۹۶)، به بررسی توان لرزه‌زایی گسل بناروان به روش قطعی و احتمالاتی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ای به بزرگی ۷ ریشتر حدود ۱۰۷ سال است. پورخسروانی و همکاران (۱۳۹۷)، به ارزیابی رابطه شاخص خطوارگی گسل‌ها با لرزه‌خیزی در محدوده خطوط ریلی استان هرمزگان با استفاده از نرم افزار Arcgis پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان دهنده همبستگی نسبی تراکم گسل‌ها و هم‌چنین الگوی توزیع زلزله‌ها با شاخص خطوارگی در محدوده مطالعاتی است.

عموری و همکاران (۱۳۹۹)، به تحلیل خطر لرزه‌خیزی به روش آماری و احتمالاتی در شهر میامی (استان سمنان) پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که میامی شهری با خطر لرزه‌ای زیاد در منطقه قلمداد می‌شود. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)، به بررسی

فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان لرزه‌زایی گسل‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی) پرداختند و به این نتیجه رسیدند نتایج حاصل از این پژوهش فعالیت نئوتکتونیک متوسط را در بیشتر زیرحوضه‌های کوزه‌توپراقی نشان می‌دهد که در این مناطق فعالیت گسل شدت نداشته و بنابراین در این مناطق برای مناطق مسکونی خطرات چندانی ایجاد نمی‌کند از مهم‌ترین گسل حوضه کوزه‌توپراقی می‌توان به گسل آمین‌آباد و ترک‌ده اشاره کرد.

اسفندیاری درآباد و نظافت تکه (۱۴۰۲)، به ارزیابی و تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک و توان لرزه‌خیزی گسل‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نیر) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که در بیش‌تر حوضه‌های نیر فعالیت نئوتکتونیک متوسط وجود دارد و گسل نیر از مهم‌ترین گسل‌های منطقه است.

اسفندیاری و نظافت تکه (۱۴۰۲)، به بررسی فعالیت‌های نئوزمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان لرزه‌خیزی گسل‌ها (حوضه آبخیز خیاوچای) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها فعالیت نئوتکتونیک متوسط و بالا را در بیشتر زیرحوضه‌های خیاوچای نشان می‌دهد که در این مناطق فعالیت گسل خیاو موثر بوده و بنابراین در این مناطق برای مناطق مسکونی خطرات زیادی دربر خواهد داشت. هم‌چنین از مهم‌ترین گسل حوضه خیاوچای می‌توان به گسل خیاو اشاره کرد که برای مناطق مسکونی در صورت فعال شدن مخاطره‌آمیز خواهد بود

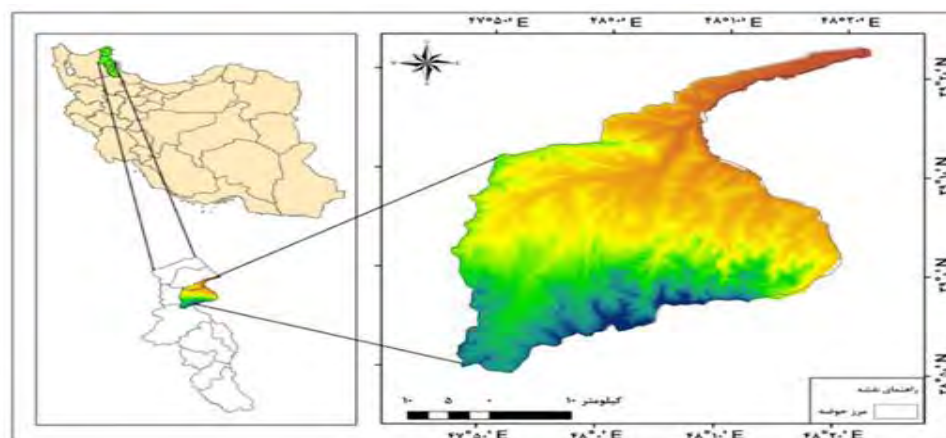
نگاپنا و همکاران (۲۰۲۰)، به منظور ارزیابی زمین‌ساخت فعال در منطقه ایدیا اسکا در قسمت جنوب غربی کامرون با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. نتایج کار این محققین نشان داد که فعالیت مجدد گسل‌هایی که در این منطقه قرار دارند عامل ایجاد زلزله‌های شدید هستند.

گار سیا و والدیا (۲۰۲۰)، فعالیت‌های تکتونیک و ژئومورفولوژیکی را در منطقه سن لوکاس در کوردیلرای مرکزی با استفاده از شاخص‌های ریخت‌شناسی و ژئومورفولوژیکی مورد مطالعه قرار دادند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بیشتر فعالیت زمین‌ساختی مربوط به دامنه کوه سیمیتی، شمال گسل‌های سیمیتی - سن بلاس در راستای گسل‌های با روند شمال غرب جنوب شرق و در شمال حوضه فلسطین است. هدف پژوهش حاضر ارزیابی و شناسایی گسل‌ها و میزان لرزه‌خیزی آن‌ها در حوضه بالهارود گرمی است.

روش شناسی

محدوده مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه بالهارود گرمی رودی بین‌مرزی ایران و آذربایجان است که در شمال غربی کشور و شمال استان اردبیل بین ۳۹ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۸ درجه ۵۰ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۸ درجه ۵۰ دقیقه تا ۴۷ درجه ۲۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه تقریباً به شکل بیضی بوده که به سمت شمال کشیدگی داشته و در شمال غربی شهرستان اردبیل واقع شده است و مساحت این حوزه ۱۴۸۸۰۰ هکتار است. حوزه آبخیز این رودخانه یکی از زیر حوضه‌های رودخانه ارس می‌باشد. حداقل ارتفاع حوزه از سطح دریای آزاد ۷۵ متر و حداکثر آن ۲۲۰۴ متر بر اساس نقشه ۱/۵۰۰۰۰ گسترده شده است. رودخانه اصلی بالهارود گرمی در قسمتی از مسیر خود به طول ۶۲/۵ کیلومتر تا شهر بيله‌سوار مرز جمهوری اسلامی ایران و جمهوری آذربایجان را تشکیل می‌دهد که از بيله‌سوار به بعد از کشور ایران خارج شده و وارد خاک آذربایجان می‌گردد. بستر رودخانه مذکور برای مطالعه دقیق‌تر در محیط نرم‌افزار ArcMap به پارسل‌هایی تقسیم گردید که در شکل (۱) دیده می‌شود (کیانی و پوربشیر ۹۷).



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

مواد و روش

این پژوهش به منظور ارزیابی توان لرزه‌خیزی گسل‌های حوزه بهارود گرمی انجام شد. ابتدا منابع و یافته‌های علمی در زمینه موضوع پژوهش از طریق بررسی‌های کتابخانه‌ای گردآوری شد. سپس از نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۱۲ متر و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ حوزه مورد مطالعه استفاده شد. در این پژوهش برای ترسیم نقشه‌ها و تحلیل آن‌ها از نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و در محیط Arcmap، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین مرجع و مختصات دار شد و داده‌های رستری به فرمت وکتوری (رقومی) تبدیل شد. سپس اقدام به ترسیم نقشه‌های محدوده‌ی مطالعاتی شد. ابتدا از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در حوزه مورد مطالعه، ساختارهای اصلی منطقه مانند گسل‌ها (اصلی و فرعی) به صورت شیب فایل (فرمت وکتوری) استخراج شد. پس از ترسیم خطواره‌ها، طول آن‌ها با استفاده از ابزار COGO در محیط Arcmap به دست آمد. بعد از شناسایی خطواره‌های گسلی در محدوده مورد مطالعه، موقعیت دقیق مناطق مسکونی در منطقه نیز با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و به صورت شیب فایل (فرمت وکتوری) استخراج شد. در نهایت با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) نقشه موقعیت جغرافیای منطقه (شکل ۱) بر اساس این نتایج حاصل شد. با ترکیب لایه‌های اطلاعاتی مدل رقومی ارتفاعی (DEM) به عنوان نقشه زمینه و دوالیه اطلاعات وکتوری مربوط به گسل‌ها و موقعیت مناطق مسکونی، نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه (شکل ۲) نیز ترسیم شد. در مرحله بعدی جهت ارزیابی فعالیت گسل‌ها از روابط لرزه‌خیزی گسل‌ها (روابط ۱ تا ۳) استفاده شد و جدولی بر اساس پارامترهای طول گسل و لرزه‌خیزی محاسبه شده از روابط ۱ تا ۳ (جدول ۱) ترسیم شد. در مرحله پایانی، نتایج حاصل از محاسبات توان لرزه‌خیزی گسل‌های منطقه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

روابط بزرگای اندازه‌گیری گسل‌ها

روش بزرگا - طول گسل یکی از معتبرترین روش‌ها در اندازه‌گیری توان لرزه‌زایی گسل می‌باشد (حسین‌پور، ۱۳۸۶) برخی روابط کمی تعیین توان لرزه‌زایی گسل‌ها عبارت‌اند از:

الف: رابطه زارع (۱۳۷۴).

$$M_S = 3.66 + 0.91 \ln L \quad (۱)$$

در رابطه بالا L نیمی از طول گسل برحسب کیلومتر است (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۸۶، ۷۱).

ب: رابطه نوروزی (۱۹۸۵).

$$M_S = 1.259 + 1.244 \log_1 \quad (۲)$$

در رابطه بالا L نیمی از طول گسل برحسب کیلومتر است (حسن‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳، ۳۲۸).

پ: رابطه نوروزی و مهاجر اشجعی (۱۹۷۸)

$$M_S = 5.4 + \log_1 \quad (۳)$$

که M_S بزرگی زمین لرزه در مقیاس ریشتر و L نیمی از طول برحسب کیلومتر است (سادات ریاضی‌راد، ۱۳۸۸، ۸۱).

با توجه به این محاسبه‌ها، میانگین لرزه‌زایی برحسب ریشتر به دست آمد. جدول (۱)، مقادیر حداکثر توان لرزه‌زایی گسل نیز حدود ۵/۰۴، در حوزه موردبررسی را برحسب ریشتر نشان می‌دهد.

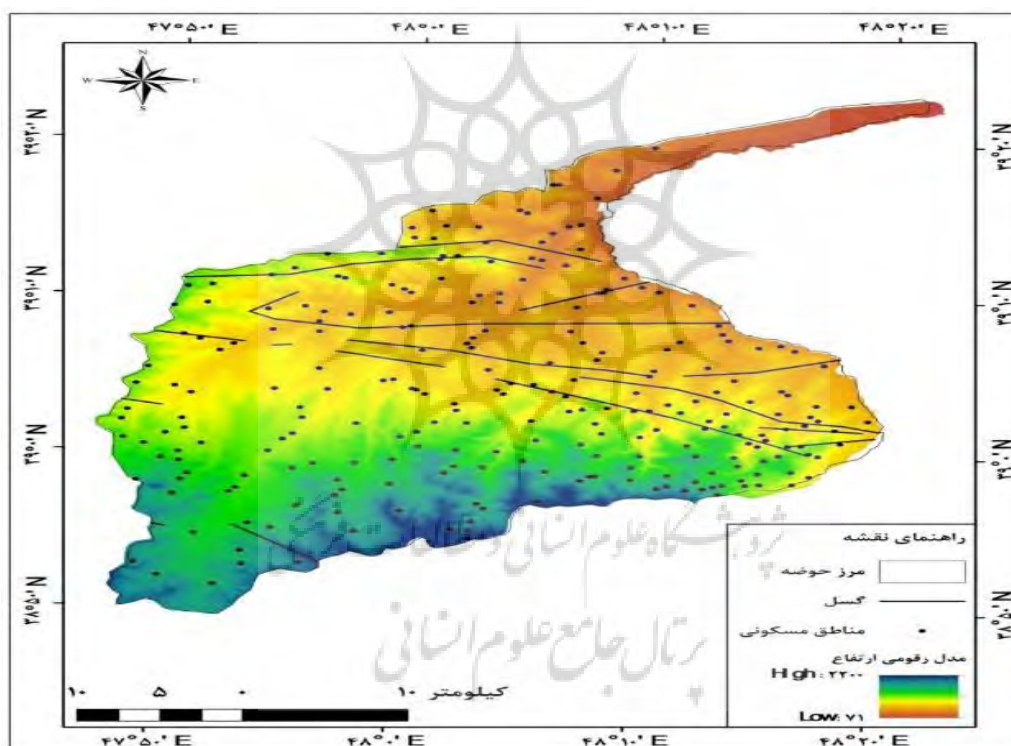
نتایج و یافته‌ها

در این پژوهش تعداد ۱۳ خطواره گسلی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در حوزه مورد مطالعه استخراج (شکل ۲) و طول آن‌ها مشخص شد. در مرحله بعد مقادیر توان لرزه‌زایی برای هر کدام از این خطواره‌های گسلی با استفاده از روابط زارع (۱۳۷۴)، نوروزی (۱۹۸۵) و نوروزی و اشجعی (۱۹۷۸) محاسبه شد. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول (۱) نشان داده شده است.

با توجه به محاسبات انجام شده و معادلات زراع، نوروزی و نوروزی و اشجعی گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه به‌طور متوسط به این ترتیب توان ایجاد زمین‌لرزه با بزرگی ۳/۰۶، ۱/۸۶ و ۶/۱۰ ریشتر را دارند. محاسبات انجام شده همچنین مقادیر متوسط توان لرزه‌زایی گسل‌های نوروزآباد ۱۲/۵۵، آزادآباد ۲۰/۱۰، ساری نصیرلو ۲۸/۶۲، ایلخچی ۹/۰۸، چنار ۶/۵۶، فرضی کندی ۱۷/۴۲، پرچین ۱۰/۳۵، اوجاق‌آلزار ۱۷/۹۴، دمیرچی ۷/۲۳، پیره خلیل ۶/۵۵، القناب ۱۹/۱۶، شرفه ۷/۷۳ و شوردرق ۳/۹۲، در حوزه موردبررسی را برحسب ریشتر نشان می‌دهد. محاسبات صورت گرفته بر اساس روابط بالا (جدول ۱) در مقدار توان لرزه‌خیزی گسل‌ها تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، توان لرزه‌خیزی گسل ساری نصیرلو در رابطه نوروزی ۳/۰۵ ریشتر بوده، در حالی که در روابط زارع و نوروزی و اشجعی به ترتیب ۷۶/۲۰ و ۶/۶۲ ریشتر محاسبه شد. با توجه به این محاسبات، میانگین توان لرزه‌خیزی گسل ساری نصیرلو نیز محاسبه شد که عدد ۲۸/۶۲ ریشتر به دست آمد. بر اساس ماهنامه شبکه شتاب‌نگاری ایران (۱۳۹۲)، اطلاعات لرزه‌ای ثبت شده در ایستگاه شتاب‌نگاری بالهارود گرمی از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۲ میلادی، زلزله‌هایی با بزرگی بیش‌تر از ۵ ریشتر را نشان می‌دهد، بر این اساس محاسبات انجام شده به‌طور نسبی با واقعیت منطبق است. طبق مقادیر محاسبه شده و طول گسل‌های به دست آمده در منطقه، بین توان لرزه‌زایی و لگاریتم طول گسل‌ها هم‌بستگی مثبت و مستقیم برقرار است.

گسل‌های ساری نصیرلو، آزاد آباد و القناب (به ترتیب با طول ۳۳/۳۵، ۲۲/۴۳ و ۲۱/۲۳ برحسب کیلومتر) که طول بیش‌تری نسبت به سایر گسل‌های منطقه دارند، دارای بالاترین توان لرزه‌زایی در منطقه نیز می‌باشند در نتیجه باعث رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ می‌شوند. بر این اساس مناطق مسکونی اطراف این گسل‌ها در خطر زمین‌لرزه بیش‌تری قرار دارند. بعد از گسل‌های ذکرشده در بالا گسل‌های نوروزآباد، آزاد آباد، ساری نصیرلو، ایلخچی، چنار، فرضی کندی، پرچین، اوجاق آلازار، دمیرچی، شرفه، پیره خلیل و القناب به ترتیب دارای بالاترین توان لرزه‌زایی در منطقه می‌باشند.

گسل شوردرق به دلیل طول کم‌تر خود، کم‌ترین توان لرزه‌زایی را در مقایسه با سایر گسل‌های منطقه دارند. با توجه به استفاده از روابط زارع (۱۳۷۴)، نوروزی (۱۹۸۵) و نوروزی و اشجعی (۱۹۷۸) و نتایج حاصله از گسل‌های موجود در منطقه تنها یک نقشه به‌عنوان نتیجه (شکل ۲) به‌دست آمد. بر اساس شکل (۲) در مناطق مرکزی به سمت جنوب حوزه تمرکز خطواره‌های گسلی را وجود دارد. این قسمت حوزه بر اساس نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) نسبت به سایر قسمت‌های حوزه مرتفع‌تر است. به دلیل این‌که وقوع زمین‌لرزه در شیب‌های کم و زیاد موجب تحریک و ناپایداری شیب‌ها یا به‌عبارتی دیگر، باعث وقوع زمین‌لغزش می‌شود (شعاعی، ۱۳۹۸)، امکان وقوع زمین‌لغزش نیز در این بخش از حوزه وجود دارد.



شکل ۲: نقشه گسل‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۲)

بر اساس جدول (۱) منطقه مورد مطالعه به‌طور کلی از نظر لرزه‌خیزی مستعد است و گسل‌های منطقه و مجاور آن توان ایجاد زمین‌لرزه‌هایی به بزرگی بیش از ۵ ریشتر را دارند. طبق نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه (شکل ۲)، لرزه‌خیزی بیش‌تر در مناطق مرکزی به سمت جنوب حوزه است که به علت تمرکز گسل‌ها در آن بخش است. با توجه به قرار گرفتن این گسل‌ها در نزدیکی مناطق مسکونی در صورت رخداد زمین‌لرزه در راستای این گسل‌ها، خسارت‌های زیادی به بار می‌آید و مناطق مسکونی در این قسمت‌های حوزه در خطر زمین‌لرزه بیش‌تری قرار دارند. از بررسی‌های انجام‌یافته در خصوص توان لرزه‌خیزی گسل‌های منطقه و نحوه استقرار مناطق مسکونی (شکل ۲) می‌توان گفت زمین‌لرزه یکی از عوامل مهم مخاطره‌آمیز محیطی و ژئومورفولوژی منطقه مورد بررسی است.

جدول (۱): توان لرزه‌زایی گسل‌های موجود در حوزه بالهارود گرمی برحسب ریشتر

نام گسل	طول گسل (کیلومتر)	نصف گسل	زارع	نوروزی اشجعی	نوروزی و میانگین
نوروزآباد	۱۲/۸۸	۶/۴۴	۲۹/۴۳	۲/۰۲	۶/۲۰
آزادآباد	۲۲/۴۳	۱۱/۲۱	۵۱/۲۵	۲/۶۲	۶/۴۴
ساری نصیرلو	۳۳/۳۵	۱۶/۶۷	۷۶/۲۰	۳/۰۵	۶/۶۲
ایلیخچی	۸/۶۰	۴/۳	۱۹/۶۵	۱/۵۸	۶/۰۳
چنار	۵/۶۸	۲/۸۴	۱۲/۹۷	۱/۱۳	۵/۸۵
فرضی کندی	۱۹/۰۲	۹/۵۱	۴۳/۴۶	۲/۴۴	۶/۳۷
پرچین	۹/۸۷	۴/۹۳	۲۲/۵۵	۲/۴۱	۶/۰۹
اوجاق آلازار	۱۹/۶۸	۹/۸۴	۴۴/۹۶	۲/۴۸	۶/۳۹
دمیرچی	۶/۳۷	۳/۱۸	۱۴/۵۵	۱/۲۵	۵/۹۰
پیره خلیل	۵/۵۶	۲/۷۸	۱۲/۷۰	۱/۱۱	۵/۸۴
القناب	۲۱/۲۳	۱۰/۶۱	۴۸/۵۱	۲/۵۵	۶/۴۲
شرفه	۶/۹۷	۳/۴۸	۱۵/۹۲	۱/۳۵	۵/۹۴
شوردرق	۲/۶۲	۱/۳۱	۵/۹۸	۰/۲۹	۵/۵۱
متوسط	...	...	۳۰/۶۲	۱/۸۶	۶/۱۰

(مأخذ: محاسبات نگارندگان.)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر به ارزیابی و تحلیل سائزموکتونیک و توان لرزه‌خیزی حوزه آبخیز بالهارود گرمی با استفاده از روابط زارع (۱۳۷۴)، نوروزی (۱۹۸۵) و نوروزی و اشجعی (۱۹۷۸) پرداخته است. بزرگای به‌دست‌آمده از رابطه زارع و نوروزی و اشجعی هم‌خوانی بیش‌تری با زلزله‌های ثبت شده توسط ایستگاه شتاب‌نگاری در منطقه داشته است. بر این اساس نسبت به رابطه نوروزی نتایج قابل‌قبول‌تری را ارائه می‌دهند. نتایج این مطالعه بیانگر مستعد بودن منطقه از نظر لرزه‌خیزی است، به‌خصوص در مناطق مرکزی به سمت جنوب حوزه که تمرکز خطواره‌های گسلی را در آن بخش داریم. همچنین این نتیجه حاصل شد که گسل‌های ساری نصیرلو،

آزاد آباد و القناب به ترتیب بالاترین توان لرزه‌زایی را در منطقه دارند. نتایج هم‌چنین نشان داد که تمرکز گسل‌ها در مناطق مرتفع‌تر حوزه است.

با توجه به این که وقوع زمین‌لغزش بعد از زلزله در شیب‌ها محتمل است، از این رو پیشنهاد می‌گردد که منطقه از نظر وقوع زمین‌لغزش نیز مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به نبود مطالعات کافی در مورد تکتونیک و لرزه‌خیزی منطقه، پیشنهاد می‌شود در این منطقه مطالعات سطح زمین از طریق بازدیدهای میدانی و استفاده از سایر روش‌های تعیین لرزه‌خیزی، برای تأیید نتایج این پژوهش، به‌دست‌آمده آوردن اطلاعات کامل‌تری در مورد سائزمو تکتونیک منطقه و پهنه‌بندی منطقه از نظر لرزه‌خیزی انجام شود.

بر اساس نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌گردد برای اجتناب از خسارت‌های جانی و مالی توسط فعالیت‌های نئوتکتونیک روی گسل‌های بالهارود گرمی فعالیت‌های پیشگیرانه در جهت جلوگیری از ساخت‌وسازهای غیرمجاز بر روی گسل‌های مورد مطالعه انجام گیرد. به‌طور کلی می‌بایست از ساخت هر سازه‌ای روی گسل فعال خودداری شود. اما در جاهایی که مجبوریم این کار را انجام دهیم می‌بایست مباحث ویژه مربوط به تأثیر گسل بر سازه را مدنظر قرار داده شود و هم‌چنین یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های پیشگیرانه در جهت جلوگیری از آسیب‌پذیری لرزه‌ای بر سکونتگاه‌ها تعیین حریم ایمنی گسل و رعایت میزان فاصله سازه‌ها از گسل است.

منابع و مأخذ

- آراین، م.، (۱۳۹۱). لرزه‌زمین‌ساخت کاربردی، چاپ اول، ناشر آثار نفیس، ۳۰۴ صفحه.
- آزادی‌خواه، ا.، رادفر، ش.، پورکرمانی، م.، (۱۳۸۸)، لرزه‌زمین‌ساخت منطقه معدنی سنگ آهن گل‌گهر سیرجان، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۳، سال ۱.
- اسفندیاری درآباد، ف.، نظافت تکه، ب.، (۱۴۰۲). بررسی فعالیت‌های نفوزمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان لرزه‌خیزی گسل‌ها (حوضه آبخیز خیاوچای)، فصلنامه مطالعات علوم محیط زیست، دوره ۹، شماره ۱، صفحه ۸۰۹۲-۸۱۰۵.
- اسفندیاری درآباد، ف.، نظافت تکه، ب.، (۱۴۰۲). ارزیابی و تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک و توان لرزه‌خیزی گسل‌ها (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نیر)، جغرافیا و روابط انسانی، ۵(۴)، ۵۹۰-۵۶۸.
- آلگر، ک.، (۱۳۶۷). ناآرامی‌های زمین (زلزله و آتشفشان)- ترجمه درویش‌زاده، ع.، چاپ اول، دانشگاه تهران، ۱۹۴ صفحه.
- پرویزی، ف.، شجاعی، غ. ر.، (۱۳۹۶). تحلیل احتمالی خطر زمین‌لرزه و لرزه‌خیزی شهر بندرعباس، اولین همایش بین‌المللی پژوهش و پیشرفت در علوم زمین، شیراز.
- پورخسروانی، م.، محرابی، ع.، امیرجهان‌شاهی، ز.، (۱۳۹۶). ارزیابی رابطه بین شاخص خطی بودن گسل و لرزه‌خیزی در داخل خطوط ریلی استان هرمزگان، برنامه ریزی فضایی، دوره ۸، شماره ۴، صص ۱۱۱-۱۲۴.
- پورکرمانی، م.، آراین، م.، (۱۳۷۶). سائزمو تکتونیک، ویرایش اول، شرکت مهندسی مشاور دزآب، ۲۷۰ صفحه.
- حجازی، م.، ا.، رجبی، م.، وروانی، ج.، عسگری، آ.، (۱۳۹۷). تحلیل فعالیت زمین‌ساختی حوزه آبریز میقان از طریق شاخص‌های ژئومورفیک، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هفتم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۷، صص ۲۴۰-۲۲۶.
- حسن‌زاده، ر.، زوریکا، ن.، علوی، ع.، نوروززاده، م.، و هدهدکیان، ح.، (۱۳۹۲). رویکرد تعاملی توسعه سناریو زلزله مبتنی بر GIS و برآورد منابع، نشریه کامپیوتر و علوم زمین، شماره ۵۱، صص ۳۳۸-۳۲۴.
- حسین‌پور، م.، (۱۳۸۶). بررسی‌های سائزمو تکتونیک شمال غرب ایران و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در شهر تبریز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تبریز.
- ریاضی‌راد، ز.، کی‌نژاد، آ.، قمی‌اویلی، ج.، (۱۳۸۸). بررسی لرزه‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی در نوشهر و تعیین مناطق پتانسیل خطر بالا، زمین، ۴(۴)، ۸۹-۷۷.

- عموری، س.، رمضانی عمری، ر.، منصوری، ه.، (۱۳۹۷). تحلیل ریسک لرزه ای به روش آماری و احتمالاتی در شهرستان میامی (استان سمنان)، **فصلنامه زمین‌سازی**، سال ۴، شماره ۱۶.
- عابدینی، م.، پاسبان، ا.ح.، نظافت‌تکله، ب.، پورقاسمی، ا.، (۱۴۰۱). بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان لرزه‌زایی گسل‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی)، **فصلنامه علوم محیط زیست**، دوره ۷، شماره ۲، صفحه ۵۰۴۳-۵۰۵۲.
- کره‌ای، م. ت.، (۱۳۸۳). لرزه‌خیزی فلات ایران با نگرشی ویژه بر گستره تهران، **پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور**، ۹۰ صفحه.
- کیانی، ط.، پوربشیر هیر، م. ح.، (۱۳۹۷). پایش و بررسی علل تغییرات زمانی و مکانی بستر رودخانه بالهارود بر اساس پارامترهای هندسی، **نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی** سال هجدهم، شماره ۴۹، تابستان ۹۷.
- مجرب، م.، زارع، م.، (۱۳۸۸). تعیین حریم مهندسی گسل شمال تهران، **زمین**، ۴(۱)، ۱-۱۰.
- نعمتی، م.، (۱۳۹۶). مبانی لرزه‌زمین ساخت با نگاهی ویژه به لرزه‌زمین ساخت ایران زمین، **دانشگاه شهید باهنر کرمان**، ۲۹۹ صفحه.
- همتی، ف.، زمانی قره‌چمنی، ب.، مختاری، د.، راوشیتی، ش.، (۱۳۹۵). بررسی پتانسیل لرزه‌ای گسل بناروان به روش قطعی و احتمالی، **فصلنامه تحقیقات جغرافیایی**، سال ۳۲، شماره ۴، سری ۱۲۷.
- دانشجو، ف.، (۱۳۸۹). سخنرانی مهندسی زلزله - قسمت پنجم - شدت و بزرگی زلزله، دانشگاه تربیت مدرس - تهران - ایران، گزارش فنی.
- Lantada, N. Pujades, L. Barbat, A., 2009. Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison, *Net Hazards* 51(2009) 501- 524.
- Lay, T., Wallace, T.C. (1995). *Modern global seismology*, Academic Press, London, U.K., 521p.
- Ngapna, M.N. Owona, S. Owono, F.M. Ateba, C.B. Tsimi, V.M. Ondoa, J.M. Ekodeck, G.E. (2020). Assessment of relative active tectonics in Edea-Eseka region (SW Cameroon, Central Africa). *Journal of African Earth Sciences*. 164, PP. 103-798.
- García Delgado, H. Velandia, F. (2020). Tectonic geomorphology of the Serranía de San Lucas (Central Cordillera): Regional implications for active tectonics and drainage rearrangement in the NorthernAndes. *Geomorphology*. 349, PP.106-914.
- Slemmons, D.B. and McKinney, R. (1977). Definition of 'active fault', US Army Engineer Waterways Experiment Station, Soils and Pavements Laboratory Vicksburg, 77-8.
- Daneshjoo, F. (2010), *Earthquake Engineering Lecture - Part 5- Earthquake Intensity and Magnitude*, Tarbiat Modares University -Tehran- Iran, Technical Report.
- Hassanzadeh, R., Zorica, N., Alavir, A., Norouzzadeh, M., and Hodhodkian, H. (2013). Interactive approach GIS- based earthquake scenario development and resource estimation, *Computers & Geosciences*, Vol. 51, 324-338.