

Adaptation of Morphotectonic Indices with Seismic Centers in Zagros Northwest (Sirvan and Qarahu Basins)

Hamid Ganjaeian¹, Mojtaba Yamani^{2*}, Abolghasem Goorabi³, Mehran Maghsoudi⁴

1- Ph.D. student, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran (h.ganjaeian@ut.ac.ir)

2- Professor of Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran (myamani@ut.ac.ir)

3- Assistant Prof. Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran (goorabi@ut.ac.ir)

4Associate Professor of Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran (maghsoud@ut.ac.ir)

Introduction:

The land of Iran has undergone major orogenic activities in different geological periods. The effects of these orogenic movements during the Quaternary period have led to a large number of young and dynamic faults. The movements of the earth floors along these ruptures have been associated with major environmental changes in the regions, and these movements and the resulting changes have continued to the present day. In the meantime, the neo-tectonic structure studies the geological, vertical, and horizontal movements of the earth's crust that occurred in the recent geological past and may continue to this day. The range of mountains up to the movements of individual faults (dimensions of several kilometers). The effects of new construction activities, directly and indirectly, affect the shapes of the earth's surface and in addition to creating different shapes and forms, they also control their shape and position. Therefore, due to the effect of neoplastic factors on the formation of land surface shapes, in recent years, neoclassical factors have been significantly proposed as one of the major tools in determining how landforms in regions evolve. According to the above cases, the purpose of the present study is to evaluate the tectonic activity in the northwestern Zagros with an emphasis on the Lat index to achieve the seismicity of the region in the form of catchments. In addition, the present study attempts to evaluate the relationship between the seismicity of these basins and morphotectonic indices analytically.

Materials and Methods:

In the present study, in order to evaluate the tectonic status of the studied basins from the digital model of 30 m altitude SRTM, topographic maps 1: 50,000, 1: 100,000 maps of the region as well as information about the epicenter of earthquakes that occurred in the region during the years 1900 to 2018, were used as the main data collection tools. Also, ArcGIS software (in order to extract basins and prepare final maps) and SPSS (in order to perform calculations related to indicators) were used for the analysis of the data. This research has been done in 3 stages. In the first stage, the seismicity of the basins has been evaluated using the location of seismic centers. In the second stage, the tectonic status of the basins has been investigated using 8 geomorphological indicators. Using the correlation index, the relationship between the tectonic activity of the basins in terms of different indices and the epicenters of the earthquakes has been evaluated. In fact, the assessment was that first the basins were ranked in terms of the number of seismic centers, and the basins with the highest number of seismic centers were ranked first. Also, based on the results obtained from each index, each basin was given a rank. Finally, the correlation between the rank of each basin in terms of the number of seismic centers and their rank in terms of geomorphological indices were evaluated.

Discussion:

The seismicity of the studied basins showed that from 1990 to 2019, 131 earthquakes with a

magnitude of more than 3 Richter occurred, of which 7 earthquakes were between 3 and 4 Richter, 114 earthquakes were between 4 and 5 Richter, and 8 Earthquakes were between 5 and 6 Richter. One earthquake was between 6 and 7 Richter and also 1 earthquake was more than 7 Richter (earthquake from the herd on November 12, 2017). Also, the results indicated that among the studied basins, the Zemkan basin with 36 earthquakes (including seismic from the herd) and the Alvand basin with 31 earthquakes, had the highest number of seismic centers. In this regard, they are considered as active tectonic basins. Also, the evaluation of the tectonic status of the basins in terms of geomorphological indicators indicated that in terms of inverse topographic symmetry index (T) and drainage basin asymmetry index (AF), the Razavar basin was the most active basin. In terms of the hypsometric integral index (Hi) and longitudinal river gradient index (SL), the Merg basin was the most active basin. In terms of basin shape indices (Bs), river sine (S) and branching ratio (Br), Jigran, Leila, and Gavarod basins had more active tectonic status, respectively.

Conclusion:

The results of the seismicity assessment of the basins showed that from 1990 to 2019, among the studied basins, the Zemkan basin with 36 earthquakes (including seismic from the herd) and Alvand basin with 31 Earthquakes had the highest number of seismic centers. In this regard, they are considered as basins with active tectonic status. Also, the results of the Lat index showed that Gheshlagh, Razavar, and Qarahsoo basins with an average score of 1.75 had the lowest average score and were the most active basin. The Alvand basin with an average of 2.25 points had the highest average score and the lowest activity. In the present study, using correlation, the relationship between the tectonic status of basins and earthquakes in the region was evaluated. The results of the evaluation indicated that there was no relationship between the number of earthquakes and the tectonic condition of the basins in terms of different indicators. In fact, except for the drainage density index of the basins, which had a correlation coefficient with the number of earthquakes in the basins (0.583), other indicators had a coefficient of less than 0.5. Therefore, using the number of earthquakes, it is not possible to assess the tectonic status of the basins.

Keywords: Zagros, Morphotectonics, Lat Index, Seismic Epicenter.

References

- Alipour, R., Sadr, A. H., Nazaridabir, H., & Qamarian, S. (2018). Assessment of Relatively Active Geostructure of Green Mountains Using Morphometric Indices and Fractal Pattern Analysis (Nahavand, Western Iran). *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 7(3), 31-56.
- Bahrami, S. (2013). Tectonic Controls on the Morphometry of Alluvial Fans around Danekkhoshk Anticline, Zagros, Iran. *Journal of Geomorphology*, 180–181, 217–230.
- Bahrami, Sh., & Parhizkar, F. (2016). Morphometric Analysis of Air and Clay Anticlines and Its Relationship with Active Tectonics in the Persian Zagros. *Journal of Geographical Space Quarterly*, 16(56), 1-18.
- Deh Bozorgi, M., Pour Kermani, M., Arian, M., Matkan, A. A., Motamedi, H., & Hosseini, A. (2010). Quantitative Analysis of Relative Tectonic Activity in the Sarvestan Area. *Journal of Geomorphology*, 121.
- Dos Santos, J. M., Salamuni, E., Dasilva, C. L., Sanches, E., Gimenez, V. B., & Nascimento, E. R.

- (2019). Morphotectonics in the Central-East Region of South Brazil: Implications for Catchments of the Lava-Tudo and Pelotas Rivers, State of Santa Catarina. *Journal of Geomorphology*, 328, 138-156.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of Relative Active Tectonics, Southwest Border of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Journal of Geomorphology*, 96, 150-173.
 - Esmaili, R., Motevali, S., & Hosseinzadeh, M. M. (2012). Investigation of Morphotectonic Effects on the Longitudinal Profile of the Vaz River; Northern Alborz, Mazandaran Province. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 1(3), 101-111.
 - Ezzati, M., Gholami, I., & Moayub, S. M. (2018). Investigation of Tectonic Uplift in Shakrab Mountains Located in the North of Birjand (South Khorasan) Using Tectonic Evidence. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 7(3), 181-195.
 - Giaconia, F., Rea, G. B., Martinez, J. M. M., Azañón, J. M., Peña, J.V. P., & Romero, J. P. (2012). Geomorphic Evidence of Active Tectonics in the Sierra Alhamilla (Eastern Betics, SE Spain). *Journal of Geomorphology*, 145-146.
 - Goorabi, A., & Emami, K. (2017). Effects of Neoplasm on Morphological Changes in Drainage Basins of Makran Coast, Southeastern Iran. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 6(1), 74-89.
 - Goorabi, A., & Mohammadnejad, V. (2018). Evolution of Late Quaternary Landforms in Response to Active Tectonic Changes at the Base Level in Tabas Region, Central Iran. *Journal of Natural Geography Research*, 50(2), 271-191.
 - Goudie, A. S. (2004). *Encyclopedia of Geomorphology*. Routledge.
 - Jafari, Gh., & Abbasi, M. (2018). Investigating the Role of Tectonics in the Process of Geomorphological Evolution of Ghezeli Ozan River Garrisons. *Journal of Geography and Planning*, 22(65), 1-23.
 - Keller, E. A., & Pinter, N. (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape (Second Edition): Englewood Cliffs*. New Jersey: Prentice Hall, 362.
 - Khalifa, A., Cakir, Z., Owen, L.A., & Kaya, S. (2018). Morphotectonic Analysis of the East Anatolian Fault, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 27, 110-126.
 - Lewis, C. J., Sancho, C., McDonald, E.V., Pena-Monne, J. L., Rhodes, E., Calle, M., & Soto, R. (2017). Post-Tectonic Landscape Evolution in NE Iberia Using Staircase Terraces: Combined Effects of Uplift and Climate. *Journal of Geomorphology*, 292, 85-103.
 - Longkumer, L., Luirei, Kh., Moiya, J. N., & Thong, G.T. (2019). Morphotectonics and Neotectonic Activity of the Schuppen Belt of Mokokchung, Nagaland, India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 170, 138-154.
 - Maghsoudi, M., Zamanzadeh, S. M., Yamani, M., & Hajizadeh, A. H. (2017). Investigation of Active Tectonics of Maroon Catchment Using Geomorphic Indices. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 6(3), 37-59.
 - Mansouri, R., & Sarbazi, Z. (2017). Investigation of Active Tectonic Status of Bankoullus Anticline (in Folded Zagros) Using Morphotectonic Indices and Geomorphological Evidence. *Journal of Natural Geography Quarterly*, 10(37), 125-142.
 - McCalpin, J. (2013). *Neotectonics, Encyclopedia of Natural Hazards*, DOI: 10.1007/978-1-4020-4399-4_252.
 - Mohammadnejad Arouq, V. (2016). Active Faults and Their Effect on the Deformation of

- Quaternary Landforms Northeast of Lake Urmia. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 48(1), 83-106.
- Nayebzadeh, F., Madadi, A., & Azizi, Q. (2018). Investigation of Tectonic Activity in Eshtehard Plain Basin Using Radar Interference. *Journal of Geography and Environmental Stability*, 8(1), 15-27.
 - Negahban, S., & Dortaj, D. (2019). Active Tectonic Evaluation of Sirvan River Basin Using Geomorphic Indices. *Journal of Hydrogeomorphology*, 5(19), 187-209.
 - Novikov, I. S., & Pospeeva, E. V. (2017). Neotectonics of Eastern Gorny Altai: Evidence from Magnetotelluric Data. *Russian Geology and Geophysics*, 58(7), 769-777.
 - Pérez-Peña, J., Azor, A., Azañón, J., & Keller, E. (2010). Active Tectonics in the Sierra Nevada Betic Cordillera, SE Spain, Insights from Geomorphic Indexes and Drainage Pattern Analysis. *Journal of Geomorphology*, 119, 74-87.
 - Rustaei, M., Zamani, B., Navabpour, P., & Moayed, M. (2015). Investigation of the Mechanism and the Latest Construction of the Siah Cheshmeh-Khoy Fault Zone. *Journal of Earth Sciences*, 24(96), 221-234.
 - Shahmari, R. (2017). Evaluation of Neo-Construction Activities in the Western Watersheds of Guilan Province. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 6(2), 148-165.
 - Sharma, A., Singh, P., & Kumar Rai, P. (2018). Morphotectonic Analysis of Sheer Khadd River Basin Using Geo-Spatial Tools. *Spatial Information Research*, 26(4), 405-414.
 - Talampas, W. D., & Cabahug, R. R. (2018). Morphotectonic Characteristics of the Iponan River Watershed in Cagayan de Oro City. *Mindanao Journal of Science and Technology*, 16(1), 115-131.
 - Yamani, M., & Alizadeh, Sh. (2016). Investigation of Neo-Structural Activities of Karaj Watershed through Geomorphic Indices. *Journal of Natural Geography*, 9(1), 1-18.
 - Yamani, M., Amirinejad Turk, S., Gholami, F., & Nejad Hosseini, R. (2018). Investigation of Active Tectonics in Semnan Basin (South of Semnan) Using Geomorphic Indicators. *Geographical Explorations of Desert Areas*, 6(1), 149-174.



انطباق شاخص‌های مورفوتکتونیک با کانون‌های زمین‌لرزه در زاگرس شمال غرب (حوضه‌های سیروان و قره‌سو)

حمید گنجانیان، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران (Email: h.ganjaein @ut.ac.ir)

مجتبی یمانی*، استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران (Email: myamani @ut.ac.ir)

ابوالقاسم گورابی، استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران (Email: goorabi @ut.ac.ir)

مهران مقصودی، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران (Email: maghsoud @ut.ac.ir)

چکیده

موقعیت تکتونیکی فلات ایران، آن را با ناآرامی‌های زیادی مواجه کرده است. از جمله مناطق ناآرام این فلات، واحد مورفوتکتونیکی زاگرس شمال غربی است که طی سال‌های اخیر زمین‌لرزه‌های زیادی در آن روی داده است. کانون‌های زمین‌لرزه و شاخص‌های ژئومورفولوژیکی از عوامل ارزیابی وضعیت تکتونیکی مناطق هستند که در بسیاری از مناطق با هم همبستگی زیادی دارند و در بعضی از مناطق نیز ممکن است بین آنها رابطه معناداری وجود نداشته باشد؛ بر این اساس در این پژوهش هدف، بررسی وضعیت کانون‌های زمین‌لرزه در حوضه‌های واقع در زاگرس شمال غرب و ارتباط آن با شاخص‌های ژئومورفولوژیکی بوده است. برای دستیابی به این هدف از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و همچنین اطلاعات مربوط به کانون زلزله‌های رخ داده در منطقه طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۸ به‌مثابه داده‌ها و ابزارهای اصلی پژوهش استفاده شده است. فرایند پژوهش طی سه مرحله مشخص انجام شده است: در مرحله اول وضعیت لرزه‌خیزی حوضه‌های مدنظر بررسی شده است؛ در مرحله دوم با استفاده از ۸ شاخص ژئومورفیک شامل شاخص‌های T ، Hi ، AF ، Bs ، SL ، S ، P و Br وضعیت مورفوتکتونیکی حوضه‌ها و سپس با استفاده از شاخص L_{at} وضعیت کلی حوضه از نظر فعالیت‌های تکتونیکی ارزیابی شده است؛ در مرحله سوم نیز رابطه بین لرزه‌خیزی حوضه‌ها و شاخص‌های ژئومورفولوژیکی به روش تحلیلی ارزیابی شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد از نظر کانون‌های زمین‌لرزه، حوضه زمکان با ۳۶ زمین‌لرزه، فعال‌ترین حوضه است؛ همچنین حوضه‌های قشلاق، رازآور و قره‌سو با میانگین امتیاز ۱/۷۵، کمترین میانگین امتیاز را دارند و فعال‌ترین حوضه به شمار می‌رود؛ علاوه بر این نتایج ارزیابی و تحلیل رابطه بین کانون‌های زمین‌لرزه و شاخص‌های مورفوتکتونیکی نشان می‌دهد کانون‌های زمین‌لرزه بیشترین رابطه را با شاخص تراکم زهکشی دارند.

واژه‌های کلیدی: زاگرس، مورفوتکتونیک، شاخص L_{at} ، کانون زمین‌لرزه

مقدمه

سرزمین ایران به‌مثابه بخشی از زون فعال زمین‌ساختی آلپ-همیالیا در طول زمان متأثر از فعالیت‌های تکتونیکی زیادی بوده است. پیدایش رشته‌کوه‌های زاگرس-مکران و البرز-کپه‌داغ در فلات ایران در اثر زیرراندگی صفحات عربستان-اقیانوس هند از لندفرم‌های منتج از این همگرایی است (گورابی و امامی، ۱۳۹۶: ۷۵). فلات ایران، طرح پیچیده‌ای از مجموعه پوسسته‌ها، قطعات زمین‌ساختی و زون‌های متفاوت زمین‌ساختی است که از نگاه نوزمین‌ساختی لرزه‌زمین‌ساختی ویژگی‌هایی خاص و پوسسته‌ای به‌شدت خردشده و تکتونیزه دارد و در دوران مختلف زمین‌شناسی فعالیت‌های کوه‌زایی عمده‌ای را پشت سر گذاشته است. عوارض ناشی از این حرکات کوه‌زایی در دوران کواترنری سبب ایجاد شمار زیادی گسل جوان و پویا شده است (روستایی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۲۱). جنبش‌های طبقات زمین در امتداد این گسستگی‌ها با تغییرات عمده محیطی در مناطق همراه بوده که این جنبش‌ها و تغییرات ناشی از آنها تا زمان حاضر نیز ادامه داشته است؛ در این میان نوزمین‌ساخت (نئوتکتونیک) به مطالعه جنبش‌های زمین‌شناسی و حرکات عمودی و افقی پوسسته زمین اختصاص دارد که در گذشته زمین‌شناسی اخیر رخ داده و ممکن است تا امروز نیز ادامه داشته باشد و دامنه مطالعاتی آن از مطالعه رشته‌کوه‌ها تا حرکات گسل‌های فرعی (ابعاد چندکیلومتری) است (McCalpin, 2013: 2). فعالیت‌های نوزمین‌ساخت به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر اشکال سطح زمین تأثیر می‌گذارد و علاوه بر ایجاد اشکال و فرم‌های مختلف، شکل و موقعیت آنها را نیز کنترل می‌کند (Novikov and Pospeeva, 2017: 770)؛ بنابراین با توجه به تأثیری که عوامل نوزمین‌ساختی بر شکل‌گیری اشکال سطح زمین دارد، طی سال‌های اخیر عوامل نوزمین‌ساختی به گونه‌ای چشمگیر به‌مثابه یکی از ابزارهای عمده و اساسی در تشخیص چگونگی تحول لندفرم‌های مناطق مطرح شده است (شهماری، ۱۳۹۶: ۱۴۹).

با توجه به وضعیت تکتونیکی فلات ایران، این فلات با ناآرامی‌های زیادی مواجه است. ازجمله مناطق ناآرام، واحد زاگرس شمال غرب است که طی سال‌های اخیر شاهد وقوع زلزله‌های زیادی بوده است؛ بر این اساس مخاطرات محیطی به‌طور مستقیم با وضعیت تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی منطقه در ارتباط است (Goudie, 2004: 423)؛ بنابراین ارزیابی و بررسی فرایندهای تکتونیکی فعال و شناخت الگو و پراکنش مکانی فضایی در مقیاس ملی، ناحیه‌ای و منطقه‌ای در ایران به‌منظور مدیریت مخاطرات ناشی از آنها مانند زلزله‌ها و لغزش‌های بزرگ برای بسیاری از فعالیت‌های انسانی همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه‌ها، بندرها و اسکله‌ها، فرودگاه‌ها، تأسیسات نظامی-امنیتی، سدها و مراکز صنعتی اهمیت زیادی دارد (گورابی و امامی، ۱۳۹۶: ۷۵)؛ همین مسئله سبب شده است در این زمینه پژوهش‌های مختلفی صورت گیرد؛ به‌طوری که همدونی^۱ (2008) با استفاده از شاخص‌های Smf, Vf, Af, SI, Hi و Bs وضعیت تکتونیکی حوضه نوادا را در جنوب اسپانیا بررسی کرد.

پریز پنا و همکاران^۲ (2010) و گیكونیا و همکاران^۳ (2012) در اسپانیا با استفاده از ۶ شاخص مورفوتکتونیک حوضه‌های فعال را شناسایی کرده‌اند.

1. Hamdouni
2. Pérez-Peña et al.
3. Giaconia et al.

تالامپاس و کابهاگ^۱ (2018) با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ALOS PALSAR و پارامترهای ژئومورفیک نشان داده‌اند حوضه رودخانه ایونان (در کشور فیلیپین) از لحاظ تکتونیک فعال است و فرایندهای مورفوتکتونیک آن به‌طور متوسط با فعالیت‌های تکتونیک فعال کنترل می‌شود.

شارما و همکاران^۲ (2018) بیان کردند فعالیت‌های گسلی، عامل اصلی در کنترل وضعیت مورفوتکتونیک حوضه رودخانه شیرخاد^۳ در هندوستان است.

لنگ کومر و همکاران^۴ (2019) مورفوتکتونیک و فعالیت نئوتکتونیک کمربند اسچوپین^۵ را در هندوستان ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده یک منطقه فعال تکتونیک است که تغییر شکل رسوبات کواترنری و ویژگی‌های مختلف ژئومورفیک از جمله شواهد آن محسوب می‌شود.

دوسانتوس و همکاران^۶ (2019) وضعیت مورفوتکتونیک رودخانه‌های لاوا تودو و پلاتوس^۷ را در برزیل ارزیابی کردند. در این پژوهش از شاخص‌های مورفومتريک و همچنین داده‌های سنجش از دور استفاده شده است. نتایج پژوهش بیان‌کننده تأثیر ساختار زیرزمینی بر وضعیت ژئومورفولوژیکی حوضه‌ها، فعال بودن حوضه‌ها و همچنین ارتباط بین تکامل مورفوتکتونیک با پالس‌های تکتونیک است؛ همچنین در ایران یمانی و علیزاده (۱۳۹۵) در حوضه آبریز کرج، مقصودی و همکاران (۱۳۹۶) در حوضه مارون، یمانی و همکاران (۱۳۹۷) در جنوب سمنان و جعفری و عباسی (۱۳۹۷) در حوضه قزل اوزن وضعیت تکتونیک حوضه‌ها را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک بررسی کردند.

در بسیاری از پژوهش‌ها مانند خلیفه و همکاران^۸ (2018) در ترکیه و محمدنژاد آروق (۱۳۹۵) در ارومیه، به‌منظور بررسی وضعیت مورفوتکتونیک منطقه، وضعیت گسل‌های منطقه تحلیل شده است؛ همچنین در بسیاری از پژوهش‌ها مانند بهرامی^۹ (2013) در کرمانشاه، لوئیس و همکاران^{۱۰} (2017) در مکزیک، بهرامی و پرهیزکار (۱۳۹۵) در فارس، منصوری و سربازی (۱۳۹۶) در تاقدیس بانکول، عزتی و همکاران (۱۳۹۷) در خراسان جنوبی، گورابی و محمدنژاد (۱۳۹۷) در طبس و علی‌پور و همکاران (۱۳۹۷) در ارتفاعات گرین، به‌منظور بررسی وضعیت مورفوتکتونیک منطقه، لندفرم‌های منطقه ارزیابی شده است.

با توجه به مطالب بیان‌شده، هدف پژوهش حاضر، ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک در بخش زاگرس شمال غربی با تأکید بر شاخص Lat و دستیابی به وضعیت لرزه‌خیزی منطقه در قالب حوضه‌های آبریز است؛ علاوه بر این پژوهش حاضر تلاش دارد رابطه بین لرزه‌خیزی این حوضه‌ها و شاخص‌های مورفوتکتونیک را به روش تحلیلی ارزیابی کند.

1. Talampas and Cabahug,

2. Sharma

3. Sheer Khadd

4. Longkumer et al.

5. Schuppen

6. Dos Santos et al.

7. Lava-Tudo and Pelotas

8. Khalifa et al.

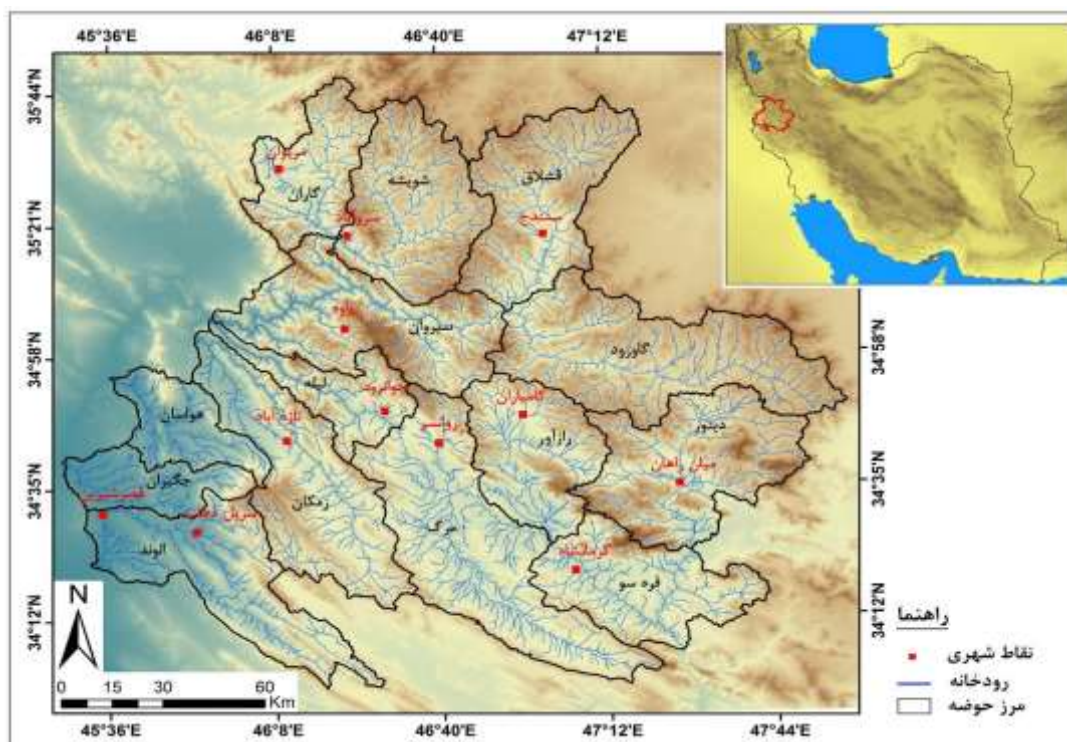
9. Bahrami

10. Lewis et al.

محدوده پژوهش

محدوده پژوهش حاضر از ۲ حوضه سیروان و قره‌سو و همچنین ۱۴ زیرحوضه تشکیل شده است (شکل ۱). حوضه سیروان از ارتفاعات شمالی و غربی استان کردستان سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از شهرستان‌های سنندج، مریوان، کامیاران و سروآباد به شهرستان پاره و پس از عبور از این شهرستان از سمت جنوب غربی این شهرستان به کشور عراق وارد می‌شود؛ در نهایت به سمت جنوب حرکت می‌کند و به خلیج فارس وارد می‌شود. زیرحوضه‌های قشلاق، شویشه، گاران، گاورود و سیروان در محدوده سیاسی ایران به حوضه سیروان وارد می‌شوند؛ همچنین زیرحوضه‌های ليله، زمكان، هواسان، جگيران و الوند پس از عبور از مرز ایران در داخل خاک عراق به رودخانه سیروان وارد می‌شوند؛ همچنین حوضه رودخانه قره‌سو پس از دریافت زیرحوضه‌های مرگ، رازآور و دینور، با حرکت به سمت جنوب استان کرمانشاه به حوضه کرخه و در نهایت به خلیج فارس وارد می‌شود.

این منطقه از نظر تقسیمات مورفوتکتونیک در واحد زاگرس شمال غرب قرار دارد و از نظر ژئومورفولوژی یک محدوده کوهستانی محسوب می‌شود؛ به طوری که بخش عمده‌ای از محدوده را واحد کوهستان دربرگرفته است؛ از جمله نواحی مهم کوهستانی در محدوده مطالعاتی، کوهستان‌های شاهو، کوسالان و بیستون است؛ همچنین واحد دشت نیز به طور پراکنده در این محدوده دیده می‌شود که از مهم‌ترین دشت‌های آن، دشت کامیاران و دشت کرمانشاه است. این محدوده با توجه به اختلاف ارتفاع زیاد (حدود ۳۰۰۰ متر)، از نظر اقلیمی اختلاف زیادی دارد؛ به طوری که نیمه شمالی و کوهستان‌های شاهو و کوسالان زمستان‌های سرد و مرطوب و تابستان‌های معتدل و مناطق جنوبی تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و نیمه مرطوب دارد.



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مطالعه شده

Fig. 1. Location map of the studied area

روش پژوهش

در این پژوهش به منظور ارزیابی وضعیت تکتونیک حوضه‌های مطالعه‌شده از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر SRTM، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و همچنین اطلاعات مربوط به کانون زلزله‌های رخ داده در منطقه طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۸ به‌مثابه داده‌ها و ابزارهای اصلی پژوهش استفاده شده است؛ همچنین نرم‌افزارهای ARCGIS (به منظور استخراج حوضه‌ها و تهیه نقشه‌های نهایی) و SPSS (به منظور انجام محاسبات مربوط به شاخص‌ها)، ابزارهای مفهومی این پژوهش را تشکیل داده‌اند. این پژوهش در سه مرحله به شرح زیر انجام شده است:

- **مرحله اول:** در این مرحله موقعیت کانون‌های زمین‌لرزه‌های رخ داده در حوضه‌های مطالعه‌شده از سایت USGS تهیه شده و با استفاده از آن وضعیت لرزه‌خیزی حوضه‌ها ارزیابی شده است؛ بر این اساس حوضه‌های فعال از نظر تکتونیک شناسایی شده است.

- **مرحله دوم:** در این مرحله به منظور بررسی وضعیت مورفوتکتونیک حوضه‌ها از ۸ شاخص ژئومورفیک شامل شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)، شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، شاخص شکل حوضه (Bs)، شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)، شاخص سینوسی رودخانه (S)، شاخص تراکم سطحی آبراهه (P) و شاخص نسبت انشعاب‌پذیری (Br) استفاده شده است (جدول ۱). گفتنی است در این پژوهش به منظور حذف خطاهای محاسباتی از شاخص‌هایی استفاده شده است که با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و به صورت نرم‌افزاری به دست می‌آیند. پس از ارزیابی وضعیت تکتونیک زیرحوضه‌ها از نظر تمامی شاخص‌ها، به منظور طبقه‌بندی حوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیک، از شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیک (Lat) استفاده شده است. در این شاخص زیرحوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیک به ۳ کلاس شامل فعال، نسبتاً فعال و غیرفعال تقسیم می‌شوند (رابطه ۱).

رابطه ۱: شاخص Lat

$$\text{Lat} = S/N$$

در این رابطه، S مجموع امتیازات هر حوضه از نظر معیارهای مدنظر در شاخص Lat و N تعداد شاخص‌های استفاده‌شده است.

- **مرحله سوم:** در این مرحله با استفاده از شاخص همبستگی، رابطه بین فعالیت تکتونیک حوضه‌ها از نظر شاخص‌های مختلف و کانون‌های زمین‌لرزه‌های رخ داده ارزیابی شده است؛ در واقع ارزیابی به این صورت بوده است که ابتدا حوضه‌ها از نظر تعداد کانون‌های زمین‌لرزه رتبه‌بندی شده‌اند و حوضه‌هایی که تعداد بیشتری کانون زمین‌لرزه دارند، در رتبه‌های اول قرار گرفته‌اند؛ همچنین براساس نتایج به دست آمده از هر شاخص به هر حوضه یک رتبه داده شده است؛ در نهایت رابطه همبستگی بین رتبه هر حوضه از نظر تعداد کانون زمین‌لرزه و رتبه آنها از نظر شاخص‌های ژئومورفولوژیک ارزیابی شده است.

یافته‌های پژوهش

- بررسی وضعیت زمین‌شناسی منطقه

حوضه‌های مطالعه‌شده در این پژوهش شامل زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان و قره‌سو است که از نظر تقسیمات مورفوتکتونیک آقناباتی (۱۳۸۳) در محدوده‌ی زاگرس چین‌خورده و زاگرس مرتفع قرار دارند؛ همچنین بخش‌های شمال شرقی آن نیز در پهنه‌ی سنندج-سیرجان واقع شده است. بخش عمده‌ای از مساحت محدوده را آهک، شیل و رسوبات آبرفتی دربرگرفته است؛ در واقع مناطق واقع در محدوده‌ی زاگرس مرتفع و زاگرس چین‌خورده را عمدتاً سازندهای آهکی دربرگرفته و بخش‌های شمال شرقی محدوده‌ی مطالعاتی که در واحد سنندج-سیرجان قرار دارد، عمدتاً شامل شیل، بازالت، آندزیت، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و رسوبات آبرفتی است. گسل‌های منطقه نیز همانند سایر ساخت‌های این پهنه از روند اصلی زاگرس پیروی می‌کند که شمال غربی-جنوب شرقی است. قسمت اعظم این گسل‌ها در همبری پهنه‌ی زاگرس رورانده با پهنه‌ی شمالی رخنمون دارد. گسل اصلی زاگرس، مروارید و صحنه، گسل‌های اصلی محدوده‌ی مطالعاتی محسوب می‌شوند.

- ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی حوضه‌ها

زاگرس از دیدگاه لرزه‌خیزی بسیار فعال و زلزله‌خیزترین منطقه‌ی ایران است. بیش از ۵۰ درصد زمین‌لرزه‌های ایران که شبکه‌های جهانی ثبت کرده‌اند، در گستره‌ی زاگرس رخ داده است (میرزایی و حیدری، ۱۳۸۸: ۶۶۵). بیشتر زمین‌لرزه‌های رخ داده در زاگرس بزرگی‌های کوچک تا متوسط دارند. اگرچه مراکز زمین‌لرزه‌ها در همه‌ی نوار زاگرس پراکنده است، مناطق مه‌لرزه‌ای زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر در امتداد زمین‌ریخت‌های خاصی قرار گرفته است. زمین‌لرزه‌های بزرگ زاگرس عمدتاً روی قطعات گوناگون گسل اصلی عهد حاضر زاگرس روی داده‌اند. یکی از مهم‌ترین این زلزله‌ها، زلزله‌ی ۷/۳ ریشتری ازگله است که در ۲۱ آبان‌ماه ۱۳۹۶ رخ داده است.

در این پژوهش به منظور ارزیابی رابطه‌ی بین وضعیت تکتونیک حوضه‌ها و زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه، ابتدا کانون‌های مربوط به زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه (زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای بیش از ۳ ریشتر) از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۸ تهیه شده است (USGS¹, 2019)؛ سپس تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده به تفکیک بزرگای زمین‌لرزه (ریشتر) در هر حوضه محاسبه شده است (جدول ۱ و شکل ۲). براساس نتایج به‌دست‌آمده در کل حوضه‌های مطالعه‌شده از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹، ۱۳۱ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر رخ داده است که ۷ زمین‌لرزه بین ۳ تا ۴ ریشتر، ۱۱۴ زمین‌لرزه بین ۴ تا ۵ ریشتر، ۸ زمین‌لرزه بین ۵ تا ۶ ریشتر، ۱ زمین‌لرزه بین ۶ تا ۷ ریشتر و همچنین ۱ زمین‌لرزه بیش از ۷ ریشتر (زمین‌لرزه‌ی ازگله در تاریخ ۲۱ آبان‌ماه ۱۳۹۶) بزرگ داشته است؛ همچنین نتایج ارزیابی‌ها بیان‌کننده این است که در بین حوضه‌های مطالعه‌شده حوضه‌ی زمکان با ۳۶ زمین‌لرزه (از جمله زمین‌لرزه‌ی ازگله) و حوضه‌ی الوند با ۳۱ زمین‌لرزه، بیشترین تعداد کانون‌های زمین‌لرزه را داشته‌اند و از این نظر حوضه‌های با وضعیت تکتونیک فعال محسوب می‌شوند.

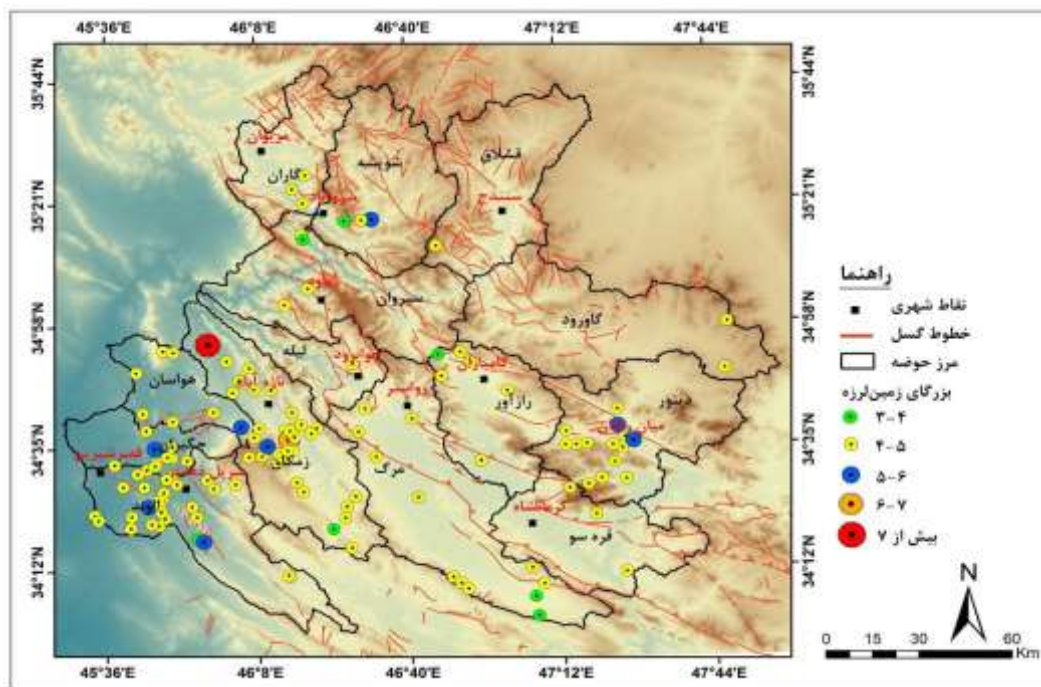
1. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>

جدول ۱. تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده در هر حوضه از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۸ به تفکیک بزرگای زمین‌لرزه

(USGS, 2019)

Table 1. Number of earthquakes in each basin from 1900 to 2018 by magnitude of earthquake (USGS, 2019)

ردیف	نام حوضه	۳-۴	۴-۵	۵-۶	۶-۷	بیش از ۷	مجموع
۱	قشلاق	-	۱	-	-	-	۱
۲	شوشه	۱	۱	۱	-	-	۳
۳	گاران	-	۳	-	-	-	۳
۴	گاورود	-	۲	-	-	-	۲
۵	سیروان	۱	۳	-	-	-	۴
۶	لیله	-	۱	-	-	-	۱
۷	زمکان	۱	۳۴	۱	۱	۱	۳۶
۸	هواسان	-	۶	۱	-	-	۷
۹	جگبران	-	۷	۱	-	-	۸
۱۰	الوند	۱	۲۹	۲	-	-	۳۱
۱۱	مرگ	۲	۱۰	-	-	-	۱۲
۱۲	رازآور	۱	۵	-	-	-	۶
۱۳	قره‌سو	-	۳	-	-	-	۳
۱۴	دینور	-	۱۲	۲	-	-	۱۴
	مجموع	۷	۱۱۴	۸	۱	۱	۱۳۱



شکل ۲. نقشه کانون زمین‌لرزه‌های رخ داده در حوضه‌های مطالعه‌شده

Fig. 1. Map of the epicenter of the earthquakes that occurred in the study areas

- ارزیابی وضعیت مورفوتکتونیک حوضه‌های مطالعه‌شده

در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت مورفوتکتونیک حوضه‌های مطالعه‌شده، از ۸ شاخص استفاده شده است؛ یکی از شاخص‌های استفاده‌شده، تقارن توپوگرافی معکوس (T) است. شاخص T بین ۰ تا ۱ متغیر است. این میزان برای حوضه‌های کاملاً متقارن صفر است و با افزایش عدم تقارن به ۱ نزدیک می‌شود (Keller and Pinter, 2002). نتایج ارزیابی این شاخص برای حوضه‌های مطالعه‌شده (جدول ۲) بیان‌کننده این است که در بین حوضه‌ها، حوضه‌های رازآور، قشلاق و شویشه به ترتیب با ضریب ۰/۴۴۸، ۰/۴۱۱ و ۰/۳۸۶، بیشترین ضریب و عدم تقارن را دارند و از نظر این شاخص فعال‌ترین حوضه‌ها محسوب می‌شوند؛ همچنین در بین حوضه‌های مطالعه‌شده، حوضه‌های هواسان، ليله و الوند به ترتیب با ضریب ۰/۰۳، ۰/۱۰۱ و ۰/۱۲۶، کمترین ضریب و عدم تقارن را دارند و از نظر این شاخص فعالیت تکتونیک کمی دارند.

شاخص انتگرال هیپسومتر (Hi) از دیگر شاخص‌های استفاده‌شده است. در این رابطه در صورتی که میزان Hi بیش از ۰/۵ باشد، حاکی از بالآمدگی و شکل‌گیری توپوگرافی جدید است؛ در صورتی که میزان Hi بین ۰/۵ تا ۰/۴ باشد، حاکی از وضعیت زمین‌ساختی نسبتاً فعال است و همچنین در صورتی که میزان Hi از ۰/۴ کمتر باشد، حاکی از حوضه‌های پست با فعالیت‌های زمین‌ساختی کم است (Deh Bozorgi et al., 2010: 333). نتایج حاصل از ارزیابی این شاخص برای حوضه‌های مطالعه‌شده (جدول ۲) حاکی است در بین حوضه‌های مطالعه‌شده، حوضه مرگ با ضریب ۰/۸۵ و حوضه‌های جگیران و قره‌سو با ضریب ۰/۸۳ بیشترین ضریب و از نظر این شاخص بیشترین فعالیت تکتونیک را دارند؛ همچنین در بین حوضه‌های مطالعه‌شده، حوضه‌های زمکان، سیروان و شویشه به ترتیب با ضریب ۰/۵۲، ۰/۵۷ و ۰/۵۸، کمترین ضریب را دارند و از نظر این شاخص حوضه‌های دارای فعالیت کم تکتونیک محسوب می‌شوند.

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) نیز از دیگر شاخص‌های استفاده‌شده است. میزان این شاخص برای رودخانه‌های در حال تعادل که تداوم جریان در حالت ثبات وجود دارد، AF برابر ۵۰ است که این خود بیان‌کننده وجود تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه‌های اصلی و در نتیجه فقدان کج‌شدگی بر اثر بالآمدگی خواهد بود. مقادیر بیش از ۵۰ حاکی از بالآمدگی در ساحل راست و کمتر از ۵۰ حاکی از بالآمدگی در ساحل چپ آبراهه اصلی است (همان). نتایج حاصل از محاسبه این شاخص برای حوضه‌های مطالعه‌شده (جدول ۲) حاکی است در بین حوضه‌های مطالعه‌شده، حوضه رازآور با ضریب ۲۷/۶ بیشترین ضریب عدم تقارن را دارد و با توجه به اینکه این ضریب کمتر از ۵۰ است، این حوضه بالآمدگی از سمت چپ دارد. پس از حوضه رازآور، حوضه‌های قشلاق و شویشه نیز به ترتیب با ضریب ۷۰/۶ (بالآمدگی از سمت راست) و ۳۰/۷ (بالآمدگی از سمت چپ) بیشترین ضریب عدم تقارن را دارند؛ همچنین در بین حوضه‌های مطالعه‌شده، حوضه هواسان با ضریب ۵۱/۵ کمترین میزان عدم تقارن و از نظر این شاخص فعالیت کم تکتونیک دارد. پس از این حوضه نیز حوضه‌های ليله و الوند به ترتیب با ضریب ۵۵ و ۵۶/۳ کمترین میزان عدم تقارن را دارند.

یکی دیگر از شاخص‌های استفاده‌شده، شاخص شکل حوضه (Bs) است. در این شاخص در صورتی که مقادیر به‌دست‌آمده بیش از ۴ باشد، حاکی از حوضه‌های طولی با زمین‌ساخت فعال است و در صورتی که مقادیر آن کمتر از ۳ باشد به‌مثابه حوضه‌های دایره‌ای شکل و با فعالیت کم زمین‌ساختی محسوب می‌شوند (Hamdouni et al., 2008: 150).

نتایج حاصل از ارزیابی این شاخص (جدول ۲) نشان می‌دهد در بین حوضه‌های مطالعه‌شده، حوضه‌های جگیران، گاورود و زمکان به ترتیب با ضریب $۲/۹۳$ ، $۲/۶۵$ و $۲/۵۹$ بیشترین ضریب را دارند و از نظر این شاخص به‌مثابه فعال‌ترین حوضه‌ها محسوب می‌شوند؛ همچنین حوضه‌های دینور، شویشه و قره‌سو به ترتیب با ضریب $۰/۹$ ، $۱/۰۳$ و $۱/۱۸$ کمترین ضریب و از نظر این شاخص کمترین فعالیت تکتونیک را دارند.

شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) از دیگر شاخص‌های استفاده‌شده است. براساس این شاخص در صورتی که میزان SL بیش از ۵۰۰ باشد، حوضه از نظر تکتونیک فعال است (Deh Bozorgi et al., 2010: 333). نتایج حاصل از ارزیابی این شاخص برای حوضه‌های مطالعه‌شده (جدول ۲) حاکی است که در بین حوضه‌های مطالعه‌شده، حوضه‌های مرگ، سیروان و شویشه به ترتیب با ضریب ۴۴۱۲ ، ۴۳۴۴ و ۳۹۱۳ بیشترین میزان SL را دارند و از نظر این شاخص به‌مثابه فعال‌ترین حوضه‌ها محسوب می‌شوند؛ همچنین حوضه‌های رازآور، قشلاق و گاران به ترتیب با ضریب ۲۱۷۰ ، ۲۱۷۱ و ۲۵۹۵ کمترین ضریب را دارند و از نظر این شاخص در بین حوضه‌های مطالعه‌شده فعالیت تکتونیک کمتری دارند. شاخص سینوسی رودخانه (S) از دیگر شاخص‌های استفاده‌شده است. براساس این شاخص، هرچقدر میزان S به ۱ نزدیک‌تر باشد، حوضه از نظر تکتونیک فعال‌تر است (Keller and Pinter, 2002: 155). در جدول ۲، نتایج محاسبه این شاخص نشان داده شده است. براساس آن در بین حوضه‌های مطالعه‌شده، حوضه ليله با ضریب $۱/۲۸$ کمترین ضریب و از نظر این شاخص بیشترین فعالیت تکتونیک را دارد. پس از این حوضه نیز، حوضه‌های رازآور و قره‌سو به ترتیب با $۱/۳$ و $۱/۳۲$ کمترین ضریب را دارند؛ همچنین در بین حوضه‌ها، حوضه مرگ با ضریب $۳/۱۱$ بیشترین ضریب را دارد و از نظر این شاخص فعالیت تکتونیک کمی دارد. پس از این حوضه نیز، حوضه‌های شویشه و دینور به ترتیب با ضریب $۲/۱۹$ و $۱/۹۱$ بیشترین ضریب را دارند.

شاخص تراکم سطحی آبراهه (P) از دیگر شاخص‌های استفاده‌شده است. براساس این شاخص، هرچه ضریب تراکم آبراهه در حوضه بیشتر باشد، حوضه از نظر تکتونیک فعال‌تر است. نتایج محاسبه این شاخص (جدول ۲) بیان‌کننده این است که حوضه مرگ با ضریب $۰/۴۵۲$ بیشترین ضریب را دارد و از نظر این شاخص به‌مثابه فعال‌ترین حوضه محسوب می‌شود. پس از این حوضه نیز حوضه‌های رازآور و هواسان به ترتیب با ضریب $۰/۴۲۱$ و $۰/۴۲۰$ بیشترین ضریب را دارند؛ اما در بین حوضه‌های مطالعه‌شده، حوضه ليله با ضریب $۰/۳۳۸$ کمترین ضریب و از نظر این شاخص کمترین فعالیت تکتونیک را دارد. پس از این حوضه نیز، حوضه‌های گاورود و سیروان با ضریب $۰/۳۵۱$ کمترین ضریب را دارند.

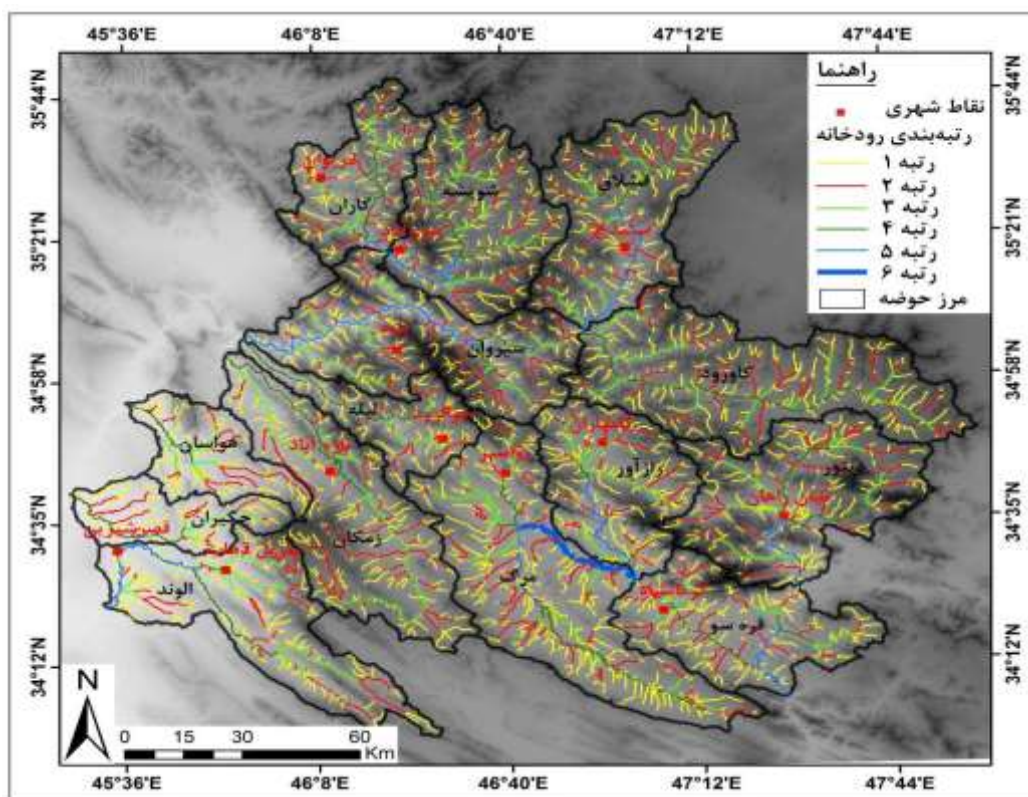
شاخص نسبت انشعاب‌پذیری (Br) نیز از دیگر شاخص‌های استفاده‌شده است. براساس این شاخص، حوضه‌هایی که نسبت انشعاب بیشتری دارند، از نظر تکتونیک حوضه‌های فعال محسوب می‌شوند. نتایج ارزیابی این شاخص برای حوضه‌های مطالعه‌شده (جدول ۲) حاکی است در بین حوضه‌های مطالعه‌شده، حوضه گاورود با ضریب $۶/۴۱$ بیشترین ضریب انشعاب را دارد و از نظر این شاخص فعال‌ترین حوضه محسوب می‌شود.

پس از این حوضه نیز، حوضه‌های زمکان و ليله به ترتیب با ضریب $۵/۵۸$ و $۳/۱$ بیشترین ضریب را دارند؛ همچنین در بین حوضه‌های مطالعه‌شده، حوضه مرگ با ضریب $۳/۰۸$ کمترین ضریب و از نظر این شاخص کمترین فعالیت تکتونیک را دارد. پس از این حوضه نیز، حوضه‌های گاران و رازآور به ترتیب با ضریب $۳/۱۵$ و $۳/۲۵$ کمترین ضریب را دارند. در شکل ۳، نقشه رتبه‌بندی آبراهه‌ها در حوضه‌های مدنظر نشان داده شده است.

جدول ۲. نتایج محاسبه شاخص‌ها برای حوضه‌های مطالعه‌شده

Fig. 2. Results of calculation of indicators for the studied basins

شاخص								نام حوضه	ردیف
Br	p	S	SL	Bs	AF	Hi	T		
۳/۶۶	.۳۶۶	۱/۳۶	۲۱۷۱	۲/۰۵	۷۰/۶	.۶۳	۰/۴۱۱	قشلاق	۱
۳/۶	.۳۶۳	۲/۱۹	۳۹۱۳	۱/۰۳	۳۰/۷	.۵۸	۰/۳۸۶	شویشه	۲
۳/۱۵	.۳۶۴	۱/۴۷	۲۵۹۵	۱/۶۷	۶۳/۲	.۶۹	۰/۲۶۳	گاران	۳
۶/۴۱	.۳۵۱	۱/۴۸	۲۷۸۷	۲/۶۵	۶۳/۸	.۶۷	۰/۲۷۶	گاورود	۴
۳/۷۱	.۳۵۱	۱/۴۹	۴۳۴۴	۲/۰۴	۳۷/۲	.۵۷	۰/۲۵۶	سیروان	۵
۳/۹۱	.۳۳۹	۱/۲۸	۳۵۴۳	۲/۰۲	۵۵	.۶۲	۰/۱۰۱	لیله	۶
۵/۵۸	.۳۶۸	۱/۳۹	۲۷۳۷	۲/۵۹	۳۶/۵	.۵۲	۰/۲۷	زمنکان	۷
۳/۹	.۴۲۰	۱/۴۲	۲۸۸۲	۱/۷۹	۵۱/۵	.۷۸	۰/۰۳	هواسان	۸
۳/۸	.۴۱۶	۱/۵۰	۳۱۲۷	۲/۹۳	۶۵/۱	.۸۳	۰/۳۰۲	جگیران	۹
۳/۴۴	.۳۸۵	۱/۷۴	۳۷۲۵	۲/۳۴	۵۶/۳	.۶۴	۰/۱۲۶	الوند	۱۰
۳/۰۸	.۴۵۲	۳/۱۱	۴۴۱۲	۱/۵۸	۳۱/۹	.۸۵	۰/۳۶۱	مرگ	۱۱
۳/۲۵	.۴۲۱	۱/۳	۲۱۷۰	۱/۴	۲۷/۶	.۷۸	۰/۴۴۸	رازآور	۱۲
۳/۳۳	.۳۹۱	۱/۳۲	۳۰۷۵	۱/۱۸	۳۰/۸	.۸۳	۰/۳۸۳	قره‌سو	۱۳
۳/۶	.۳۸۲	۱/۹۱	۳۶۷۶	.۹	۵۸/۲	.۷۱	۰/۱۶۵	دینور	۱۴



شکل ۳. نقشه رتبه‌بندی آبراهه‌ها در حوضه‌های مطالعه‌شده

Fig. 3. Ranking map of waterways in the studied basins

- طبقه‌بندی حوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیک

با توجه به اینکه در این پژوهش از ۸ شاخص استفاده و همچنین ۱۴ حوضه ارزیابی شده است، پس از ارزیابی وضعیت تکتونیک حوضه‌ها از نظر تمامی شاخص‌ها، به منظور ارزیابی کلی حوضه‌ها از نظر این شاخص‌ها و همچنین مقایسه وضعیت فعالیت تکتونیک آنها، از شاخص Lat استفاده شده است. در این شاخص، حوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیک به ۳ کلاس تقسیم می‌شوند که نحوه کلاسه‌بندی آنها در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. نحوه کلاسه‌بندی حوضه از نظر فعالیت تکتونیک (Hamdouni et al., 2008)

Table 3. How the basin is classified based on tectonic activity

(Hamdouni et al., 2008)

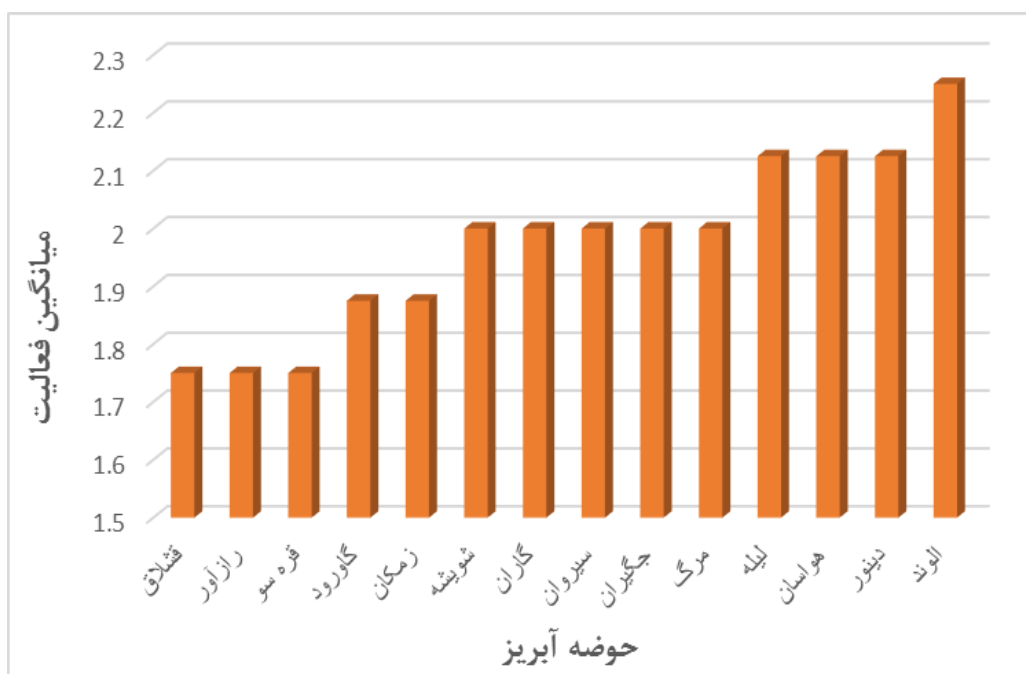
کلاس ۳ (تکتونیک غیرفعال)	کلاس ۲ (تکتونیک نسبتاً فعال)	کلاس ۱ (تکتونیک فعال)	شاخص	ردیف
۰-۰/۳۳	۰/۳۳-۰/۶۶	۱-۰/۶۶	T	۱
کمتر از ۰/۴	۰/۴-۰/۵	بیش از ۰/۵	Hi	۲
AF-50 < 7	AF-50: 7-15	AF-50 > 15	AF	۳
کمتر از ۳	۳-۴	بیش از ۴	Bs	۴
کمتر از ۳۰۰	۳۰۰-۵۰۰	بیش از ۵۰۰	SL	۵
بیش از ۲	۱/۵-۲	۱-۱/۵	S	۶
کمتر از ۰/۵	۰/۵-۰/۶	بیش از ۰/۶	P	۷
کمتر از ۳	۳-۴	بیش از ۴	Br	۸

پس از مشخص کردن نحوه کلاسه‌بندی، کلاس هر حوضه از نظر هر شاخص مشخص شده و در نهایت با جمع آنها، کلاس کلی هر حوضه به دست آمده که در جدول ۴ و شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به اینکه امتیازات داده شده بین ۱ تا ۳ است، وضعیت فعالیت تکتونیک حوضه‌ها به این صورت ارزیابی خواهد شد که حوضه‌های با میانگین کمتر از ۱/۷ وضعیت تکتونیک فعال، حوضه‌های با میانگین ۱/۷ تا ۲/۴ وضعیت تکتونیک نسبتاً فعال و حوضه‌های با میانگین بیش از ۲/۴ وضعیت تکتونیک غیرفعال دارند؛ بنابراین از نظر شاخص Lat تمامی حوضه‌ها وضعیت تکتونیک نسبتاً فعالی دارند. بررسی میانگین امتیازات به دست آمده برای حوضه‌های مطالعاتی حاکی است حوضه‌های قشلاق، رازآور و قره‌سو با میانگین امتیاز ۱/۷۵، کمترین میانگین امتیاز را دارند و فعال‌ترین حوضه هستند و حوضه الوند با میانگین ۲/۲۵، بیشترین میانگین امتیاز و کمترین فعالیت تکتونیک را دارد.

جدول ۴. وضعیت تکتونیکی حوضه‌ها براساس شاخص Lat

Table 4. Tectonic status of basins based on indicators

میانگین	شاخص								نام حوضه	ردیف
	Br	p	S	SL	Bs	AF	Hi	T		
۱/۷۵	۲	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۲	قشلاق	۱
۲	۲	۳	۳	۱	۳	۱	۱	۲	شوشه	۲
۲	۲	۳	۱	۱	۳	۲	۱	۳	گاران	۳
۱/۸۸	۱	۳	۱	۱	۳	۲	۱	۳	گاورود	۴
۲	۲	۳	۱	۱	۳	۲	۱	۳	سیروان	۵
۲/۱۳	۲	۳	۱	۱	۳	۳	۱	۳	لیله	۶
۱/۸۸	۱	۳	۱	۱	۳	۲	۱	۳	زمنکان	۷
۲/۱۳	۲	۳	۱	۱	۳	۳	۱	۳	هواسان	۸
۲	۲	۳	۲	۱	۳	۱	۱	۳	جگیران	۹
۲/۲۵	۲	۳	۲	۱	۳	۳	۱	۳	الوند	۱۰
۲	۲	۳	۳	۱	۳	۱	۱	۲	مرگ	۱۱
۱/۷۵	۲	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۲	رازآور	۱۲
۱/۷۵	۲	۳	۱	۱	۳	۱	۱	۲	قره‌سو	۱۳
۲/۱۳	۲	۳	۲	۱	۳	۲	۱	۳	دینور	۱۴



شکل ۴. نمودار وضعیت تکتونیکی حوضه‌ها براساس شاخص Lat

Fig. 4. Graph of tectonic activity of basins based on lat indicator

- ارزیابی رابطه وضعیت تکتونیک حوضه‌ها و کانون زمین‌لرزه‌های رخ داده در آنها

پس از محاسبه تعداد کانون زمین‌لرزه‌های رخ داده در حوضه‌های مطالعاتی، رابطه همبستگی بین تعداد کانون‌های زمین‌لرزه و شاخص‌های استفاده‌شده ارزیابی شده است (جدول ۵). براساس نتایج به دست آمده در بین شاخص‌های استفاده‌شده، شاخص تراکم زهکشی (P) با ضریب ۰/۵۸۳ بیشترین ضریب همبستگی را با تعداد کانون‌های زمین‌لرزه دارد؛ درواقع حوضه‌هایی که از نظر شاخص P وضعیت تکتونیک فعال‌تری دارند، تعداد بیشتری کانون زمین‌لرزه داشته‌اند؛ همچنین در بین شاخص‌های استفاده‌شده، شاخص شکل حوضه (Bs) با ضریب ۰/۰۰۲، کمترین ضریب همبستگی را با تعداد کانون‌های زمین‌لرزه دارد؛ درواقع حوضه‌هایی که از نظر شاخص Bs وضعیت تکتونیک فعال‌تری دارند، تعداد کمتری کانون زمین‌لرزه داشته‌اند.

جدول ۵. نتایج محاسبه رابطه همبستگی بین شاخص‌های استفاده‌شده و کانون‌های زمین‌لرزه

Table 5. Results of calculating the correlation between the indicators used and the epicenters

شاخص	T	Hi	AF	Bs	SL	S	p	Br
میزان همبستگی با کانون‌های زمین‌لرزه	-۰/۲۲۷	۰/۱۷	-۰/۲۲۷	-۰/۰۰۲	۰/۲۶۹	-۰/۴۶۱	۰/۵۸۳	-۰/۰۲۹

تحلیل یافته‌های پژوهش

هدف پژوهش حاضر، ارزیابی وضعیت تکتونیک محدوده مطالعاتی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک است. شاخص‌های ژئومورفیک از ابزارهای مهم برای ارزیابی درجه فعالیت تکتونیک ناحیه‌ای خاص هستند که با تحلیل آنها می‌توان درباره وقوع تغییرات یادشده اظهار نظر کرد. رودخانه‌ها از مهم‌ترین اشکالی هستند که نسبت به فعالیت‌های تکتونیک واکنش نشان می‌دهند. گسل‌ها و فعالیت‌های تکتونیک آثاری چون انفصال در مسیر رود، تغییر الگو، تشکیل رودهای متروک و تغییر و تحول اشکال ژئومورفیک درون و حاشیه رودخانه ایجاد می‌کنند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰۲)؛ از این رو در مناطقی که در محدوده فعالیت‌های تکتونیک قرار دارند، بیشتر شکل‌هایی وجود دارد که متأثر از این فعالیت‌ها پدید آمده‌اند و در بسیاری از مناطق با بررسی همین اشکال به فعالیت‌های تکتونیک در یک منطقه پی برده می‌شود (نایب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۶). با توجه به اهمیت و کاربردی بودن استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک طی سال‌های اخیر، این شاخص‌ها به مثابه ابزاری کاربردی برای ارزیابی وضعیت تکتونیک مناطق، تهیه نقشه‌های خطر زمین‌لرزه و همچنین درک تاریخچه چشم‌اندازهای کنونی سطح زمین استفاده شده‌اند (Keller and Pinter, 2002)؛ بر این اساس در این پژوهش نیز با استفاده از ۸ شاخص، وضعیت فعالیت تکتونیک حوضه‌های مطالعه‌شده ارزیابی شد.

نتایج پژوهش حاکی است حوضه‌های مطالعاتی همانند بسیاری از مناطق واقع در زاگرس (منصوری و سرباز، ۱۳۹۶؛ Bahrami, 2013) از نظر تکتونیک وضعیت فعالی دارند. با توجه به اینکه در این پژوهش از شاخص‌های مختلفی استفاده شده، وضعیت تکتونیک حوضه‌ها از نظر شاخص‌های مختلف متفاوت است؛ بر این اساس به منظور ارزیابی وضعیت کلی حوضه‌ها، از شاخص Lat استفاده شده است که با استفاده از آن می‌توان وضعیت تکتونیک

حوضه را ارزیابی و مقایسه کرد (Hamdouni et al., 2008). براساس نتایج به‌دست‌آمده، از نظر شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)، حوضه‌های قشلاق، شویشه، مرگ، رازآور و قره‌سو وضعیت تکتونیکی نسبتاً فعالی دارند. از نظر شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi)، تمامی حوضه وضعیت تکتونیکی فعالی دارد. از نظر شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، حوضه‌های قشلاق، شویشه، جگیران، مرگ، رازآور و قره‌سو وضعیت تکتونیکی فعالی دارند. از نظر شاخص شکل حوضه (Bs)، هیچ‌کدام از حوضه‌ها وضعیت تکتونیکی فعالی ندارند. از نظر شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)، تمامی حوضه وضعیت تکتونیکی فعالی دارد. از نظر شاخص سینوسی رودخانه (S)، حوضه‌های قشلاق، گاران، گاورود، سیروان، ليله، زمكان، هواسان، رازآور و قره‌سو وضعیت تکتونیکی فعالی دارند. از نظر شاخص تراکم سطحی آبراهه (P)، هیچ‌کدام از حوضه‌ها وضعیت تکتونیکی فعالی ندارند؛ همچنین از نظر شاخص نسبت انشعاب‌پذیری (Bf)، حوضه‌های گاورود و زمكان وضعیت تکتونیکی فعالی دارند. مجموع نتایج به‌دست‌آمده بیان‌کننده این است که حوضه‌های قشلاق، رازآور و قره‌سو با میانگین امتیاز ۱/۷۵، کمترین میانگین امتیاز را دارند و فعال‌ترین حوضه هستند و حوضه الوند با میانگین ۲/۲۵ امتیاز بیشترین میانگین امتیاز و کمترین فعالیت تکتونیکی را دارد.

در این پژوهش همچنین رابطه بین وضعیت تکتونیکی حوضه‌ها با تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده در آنها ارزیابی شده است. نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی‌ها نشان می‌دهد بین تعداد زمین‌لرزه‌ها و وضعیت تکتونیکی حوضه‌ها از نظر شاخص‌های مختلف رابطه زیادی وجود ندارد؛ در واقع به جز شاخص تراکم زهکشی حوضه‌ها که ضریب همبستگی آن با تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده در حوضه‌ها ۰/۵۸۳ است، سایر شاخص‌ها ضریب کمتر از ۰/۵ دارند؛ بنابراین با استفاده از تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده نمی‌توان وضعیت تکتونیکی حوضه‌ها را ارزیابی کرد.

نتیجه‌گیری

واحد زاگرس از مناطق ناآرام فلات ایران است که طی سال‌های اخیر زمین‌لرزه‌های زیادی در آن روی داده است. وضعیت تکتونیکی منطقه سبب شده است در این زمینه پژوهش‌های مختلفی صورت گیرد. پژوهش‌های پیشین عمدتاً وضعیت مورفوتکتونیکی منطقه را با استفاده از شاخص‌های مختلف بررسی کرده‌اند؛ اما در این پژوهش ابتدا با استفاده از اطلاعات مربوط به کانون‌های زمین‌لرزه، وضعیت لرزه‌خیزی حوضه‌های مطالعه‌شده ارزیابی شده است؛ سپس با استفاده از ۸ شاخص ژئومورفولوژی، وضعیت تکتونیکی حوضه‌ها ارزیابی و در ادامه رابطه بین وضعیت لرزه‌خیزی حوضه‌ها و شاخص‌های استفاده‌شده تحلیل شده است.

نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی وضعیت لرزه‌خیزی حوضه‌ها حاکی است از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹، ۱۳۱ زمین‌لرزه با بزرگای بیش از ۳ ریشتر رخ داده که بیشترین تعداد زمین‌لرزه‌ها با ۱۱۴ زمین‌لرزه به کلاس ۴ تا ۵ ریشتر مربوط بوده است؛ همچنین نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهد در بین حوضه‌های مطالعه‌شده، حوضه زمكان با ۳۶ زمین‌لرزه (از جمله زمین‌لرزه ازگله) و حوضه الوند با ۳۱ زمین‌لرزه، بیشترین تعداد کانون‌های زمین‌لرزه را داشته‌اند و از این نظر حوضه‌های با وضعیت تکتونیکی فعال محسوب می‌شوند. نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی شاخص‌ها نیز حاکی است از نظر شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T) و شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، حوضه رازآور فعال‌ترین

حوضه است. از نظر شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi) و شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)، حوضه مرگ فعال‌ترین حوضه است. از نظر شاخص‌های شکل حوضه (Bs)، سینوسی رودخانه (S) و نسبت انشعاب‌پذیری (Br) به ترتیب حوضه‌های جگیران، ليله و گاورد (نگهبان و درتاج، ۱۳۹۸)، وضعیت تکتونیکی فعال‌تری دارند؛ همچنین نتایج به‌دست‌آمده از شاخص Lat بیان‌کننده این است که حوضه‌های قشلاق، رازآور و قره‌سو با میانگین امتیاز ۱/۷۵، کمترین میانگین امتیاز را داشته‌اند و فعال‌ترین حوضه هستند و حوضه الوند با میانگین ۲/۲۵ امتیاز بیشترین میانگین امتیاز و کمترین فعالیت تکتونیکی را دارد.

در این پژوهش همچنین با استفاده از رابطه همبستگی، ارتباط بین وضعیت تکتونیکی حوضه‌ها و زمین‌لرزه‌های رخ داده در منطقه ارزیابی شده است. نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی‌ها نشان می‌دهد بین تعداد زمین‌لرزه‌ها و وضعیت تکتونیکی حوضه‌ها از نظر شاخص‌های مختلف، رابطه زیادی وجود ندارد؛ در واقع به‌جز شاخص تراکم زهکشی حوضه‌ها که ضریب همبستگی آن با تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده در حوضه‌ها ۰/۵۸۳ است، سایر شاخص‌ها ضریب کمتر از ۰/۵ دارند؛ بنابراین با استفاده از تعداد زمین‌لرزه‌های رخ داده نمی‌توان وضعیت تکتونیکی حوضه‌ها را ارزیابی کرد.

منابع

- آقائباتی، سید علی، (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۹ صفحه.
- اسماعیلی، رضا، متولی، صدرالدین، حسین‌زاده، محمد مهدی، (۱۳۹۱). بررسی اثرات مورفوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه واز؛ البرز شمالی استان مازندران، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱، شماره ۳، صص ۱۱۱-۱۰۱.
- بهرامی، شهرام، پرهیزکار، فاطمه، (۱۳۹۵). تحلیل مورفومتری طاق‌دیس‌های هوا و خشت و ارتباط آن با تکتونیک‌های فعال در زاگرس فارس، فصلنامه فضای جغرافیایی، سال ۱۶، شماره ۵۶، صص ۱۸-۱.
- حیدری، رضا، میرزایی، نوربخش، (۱۳۸۸). الگوی لرزه زمین‌ساختی گسل اصلی عهد حاضر زاگرس بین ۳۳ تا ۳۵ درجه عرض شمالی، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره ۳، صص ۹۶-۸۳.
- جعفری، غلامحسین، عباسی، مهدی، (۱۳۹۷). بررسی نقش زمین‌ساخت در روند تحول ژئومورفولوژیک پادگانه‌های رودخانه قزل اوزن، نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۲، شماره ۶۵، صص ۲۳-۱.
- روستایی، مریم، زمانی، بهزاد، نواب‌پور، پیمان، مؤید، محسن، (۱۳۹۴). بررسی سازوکار و نوزمین‌ساخت پهنه گسلی سیه‌چشمه - خوی، مجله علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۶، صص ۲۳۴-۲۲۱.
- شهماری، رفعت، (۱۳۹۶). ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساخت در حوضه‌های آبخیز غرب استان گیلان، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۶، شماره ۲، صص ۱۶۵-۱۴۸.
- عزتی، مریم، غلامی، ابراهیم، مویوب، سید مرتضی، (۱۳۹۷). بررسی بالآمدگی تکتونیکی در کوه‌های شکراب واقع در شمال بیرجند (خراسان جنوبی) با استفاده از شواهد ریخت زمین‌ساختی، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۷، شماره ۳، صص ۱۹۵-۱۸۱.

علی‌پور، رضا، صدر، امیرحسین، نظری‌دبیر، حسین، قمریان، سحر، (۱۳۹۷). ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی کوه‌های گرین با استفاده از شاخص‌های مورفومتری و تحلیل الگوی فرکتالی (نهایند، باختر ایران). مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۷، شماره ۳، صص ۵۶-۳۱.

گورابی، ابوالقاسم، امامی، کامیار، (۱۳۹۶). تأثیرات نوزمین‌ساخت بر تغییرات مورفولوژیک حوضه‌های زهکشی سواحل مکران، جنوب شرق ایران، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۶، شماره ۱، صص ۸۹-۷۴.

گورابی، ابوالقاسم، محمدنژاد، وحید، (۱۳۹۷). تکامل لندفرم‌های اواخر کواترنری در پاسخ به تغییرات تکتونیکی فعال سطح اساس در منطقه طبس، ایران مرکزی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۰، شماره ۲، صص ۲۹۱-۲۷۱.

محمدنژاد آروق، وحید، (۱۳۹۵). گسل‌های فعال و تأثیر آنها بر تغییر شکل لندفرم‌های کواترنر شمال شرق دریاچه ارومیه، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۴۸، شماره ۱، صص ۱۰۶-۸۳.

مقصودی، مهران، زمان‌زاده، سید محمد، یمانی، مجتبی، حاجی‌زاده، عبدالحسین، (۱۳۹۶). بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز مارون با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۶، شماره ۳، صص ۵۹-۳۷.

منصوری، رضا، سربازی، زهرا، (۱۳۹۶). بررسی وضعیت تکتونیک فعال طاق‌دیس بانکول (در زاگرس چین‌خورده) با به‌کارگیری شاخص‌های مورفوتکتونیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۱۰، شماره ۳۷، صص ۱۴۲-۱۲۵.

نایب‌زاده، فرین، مددی، عقیل، عزیزی، قاسم، (۱۳۹۷). بررسی فعالیت تکتونیکی در حوضه دشت اشتهارد با استفاده از تداخل‌نگار راداری، مجله جغرافیا و پایداری محیط، دوره ۸، شماره ۲۶، صص ۲۷-۱۵.

نگهبان، سعید، درتاج، دیانا، (۱۳۹۸). ارزیابی تکتونیک فعال حوضه رودخانه سیروان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، مجله هیدروژئومورفولوژی، دوره ۵، شماره ۱۹، صص ۲۰۹-۱۸۷.

یمانی، مجتبی، امیری‌نژاد ترک، سعیده، غلامی، فرزانه، نژادحسینی، رقیه، (۱۳۹۷). بررسی تکتونیک فعال در حوضه سمنان (جنوب سمنان) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، سال ۶، شماره ۱، صص ۱۷۴-۱۴۹.

یمانی، مجتبی، علیزاده، شهناز، (۱۳۹۵). بررسی فعالیت‌های نوزمین‌ساخت حوضه آبخیز کرج از طریق شاخص‌های ژئومورفیک، مجله جغرافیای طبیعی، دوره ۹، شماره ۱، صص ۱۸-۱.

Alipour, R., Sadr, A.H., Nazaridabir, H., Qamarian, S., (2018). **Assessment of Relatively Active Geostructure of Green Mountains Using Morphometric Indices and Fractal Pattern Analysis (Nahavand, Western Iran)**, *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 7 (3), 31-56.

Bahrami, S., (2013). **Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekkhoshk anticline, Zagros, Iran**. *Geomorphology* 180-181, 217-230.

Bahrami, Sh., Parhizkar, F., (2016). **Morphometric analysis of air and clay anticlines and its relationship with active tectonics in the Persian Zagros**, *Geographical Space Quarterly*, 16 (56), 1-18.

- Deh Bozorgi, M., Pour kermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, H., Hosseini A., (2010). **Quantitative Analysis of Relative Tectonic Activity in the Sarvestan Area**, *Geomorphology* 121.
- Dos Santos, J.M., Salamuni, E., Dasilva, C.L., Sanches. E., Gimenez, V.B., Nascimento, E.R., (2019). **Morphotectonics in the Central-East Region of South Brazil: Implications for Catchments of the Lava-Tudo and Pelotas Rivers**, State of Santa Catarina, *Geomorphology*, Vol 328, Pp 138-156.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., Keller, E.A., (2008). **Assessment of Relative Active Tectonics, Southwest Border of the Sierra Nevada (Southern Spain)** *Geomorphology*, Vol. 96, Pp 150-173.
- Giaconia, F., Rea, G.B., Martinez, J.M.M., Azañón, J.M., Peña, J.V.P., Romero, J.P., (2012). **Geomorphic Evidence of Active Tectonics in The Sierra Alhamilla (eastern Betics, SE Spain)**, *Geomorphology*, Pp 145-146.
- Goudie, A.S., (2004). **Encyclopedia of Geomorphology**, First published by Routledge, V 1.
- Keller, E.A., Pinter, N., (2002). **Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape (second edition): Englewood Cliffs**, New Jersey, Prentice Hall, 362 p.
- KHalifa, A., Cakir, Z., Owen, L.A., Kaya, S., (2018). **Morphotectonic analysis of the East Anatolian Fault, Turkey**, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 27, 110-126.
- Lewis, C.J., Sancho, C., McDonald, E.V., Pena-Monne, J.L., Rhodes, E., Calle, M., Soto. R., (2017). **Post-tectonic landscape evolution in NE Iberia using staircase terraces: combined effects of uplift and climate**, *Geomorphology* 292, Pp 85-103.
- Longkumer, L., Luirei, Kh., Moiya, J.N., Thong, G.T., (2019). **Morphotectonics and neotectonic activity of the Schuppen Belt of Mokochung, Nagaland, India**, *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol 170, Pp 138-154.
- Maghsoudi, M., Zamanzadeh, S.M., Yamani, M., Hajizadeh, A.H., (2017). **Investigation of active tectonics of Maroon catchment using geomorphic indices**, *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 6 (3), Pp 37-59.
- Mansouri, R., Sarbazi, Z., (2017). **Investigation of Active Tectonic Status of Bankoullus Anticline (in Folded Zagros) Using Morphotectonic Indices and Geomorphological Evidence**, *Natural Geography Quarterly*, 10 (37), Pp 125-142.
- McCalpin, J., (2013). **Neotectonics**, *Encyclopedia of Natural Hazards*, DOI: 10.1007/978-1-4020-4399-4_252.
- Mohammadnejad Arouq, V., (2016). **Active faults and their effect on the deformation of Quaternary landforms northeast of Lake Urmia**, *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 48 (1), Pp 83-106.
- Nayebzadeh, F., Madadi, A., Azizi, Q., (2018). **Investigation of tectonic activity in Eshtehard plain basin using radar interference**, *Journal of Geography and Environmental Stability*, 8 (1), Pp 15-27.
- Negahban, S., Dortaj, D., (2019). **Active tectonic evaluation of Sirvan river basin using geomorphic indices**, *Journal of Hydrogeomorphology*, 5 (19), Pp 187-209.

- Novikov, I.S., Pospieva, E.V., (2017). **Neotectonics of Eastern Gorny Altai: Evidence from Magnetotelluric Data**, *Russian Geology and Geophysics*, 58 (7), Pp 769-777.
- Pérez-Peña, J., Azor, A., Azañón, J., Keller, E., (2010). **Active tectonics in the Sierra Nevada Betic Cordillera, SE Spain, insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis**, *Geomorphology* 119, Pp 74-87.
- Rustaei, M., Zamani, B., Navabpour, P., Moayed, M., (2015). **Investigation of the mechanism and the latest construction of the Siah Cheshmeh-Khoy fault zone**, *Journal of Earth Sciences*, 24 (96), Pp 221-234.
- Shahmari, Rifat, (2017). **Evaluation of neo-construction activities in the western watersheds of Guilan province**, *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 6 (2), Pp 148-165.
- Sharma, A., Singh, P., Kumar Rai, P., (2018). **Morphotectonic analysis of Sheer Khadd River basin using geo-spatial tools**, *Spatial Information Research*, Vol 26, Issue 4, Pp 405-414.
- Talampas, W., Cabahug, R., (2018). **Morphotectonic Characteristics of the Iponan River Watershed in Cagayan de Oro City, Philippines**, *Mindanao Journal of Science and Technology* Vol 16, Pp 115-131.
- Yamani, M., Alizadeh, Sh., (2016). **Investigation of Neo-Structural Activities of Karaj Watershed through Geomorphic Indices**, *Journal of Natural Geography*, 9 (1), Pp 1-18.
- Yamani, M., Amirnejad Turk, S., Gholami, F., Nejad Hosseini, R., (2018). **Investigation of active tectonics in Semnan basin (south of Semnan) using geomorphic indicators**, *geographical explorations of desert areas*, 6 (1), Pp 149-174.