



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=en>
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 35, Issue 1, No.93, Spring 2024, pp. 1- 3
Received: 28/04/2022 Accepted: 15/11/2023

Analysis of Tectonic Status of Lavasan Sub-Basins Using Geomorphic Indicators and Radar Images

Masoumeh Asadi ¹ *, Hamid Ganjaeian ², Mahnaz Javedani ³

1- Ph.D. of Geomorphology, faculty member of Payam-e Noor University, Tehran, Iran
asadizhina@yahoo.com

2- Ph.D. of Geomorphology, Tehran University, Tehran, Iran
h.ganjaeian@ut.ac.ir

3- Ph.D. student of Geomorphology, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
mahnazjavedani23@gmail.com

Abstract

The tectonic positioning of Iran has led to significant seismic activity in the region, particularly in the Alborz Unit. This study focused on investigating the morphotectonic status of Lavasan Sub-basins located on the southern slopes of the Alborz. To achieve this, a digital elevation model with 30-meter resolution, a 1:50,000 topographic map, a 1:100,000 geological map, and Sentinel-1 radar images were utilized as research data. The analysis employed GMT, ArcGIS, and SPSS software, along with specific indicators to assess the tectonic condition of the region. The research was conducted in two stages. Firstly, the tectonic conditions of the sub-basins were evaluated using morphotectonic indicators and secondly, the vertical displacement of the region was assessed using radar images and the SBAS time-series method. The results of the study indicated that Lavasan Sub-basins exhibited high tectonic activities with Barg and Kond basins averaging a score of 1.88 and Lavasan and Afjeh basins averaging a score of 2. Consequently, the latter basins demonstrated a more active tectonic status based on the IAT index. Additionally, the results obtained from the SBAS time-series method

*Corresponding Author

Asadi, M., Ganjaeian, H., & Javedani, M. (2023). Analysis of tectonic status of Lavasan sub-basins Using geomorphic indicators and radar images. *Geography and Environmental Planning*, 35 (1), 1 - 4.



2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



10.22108/GEP.2023.133365.1518

over a 3-year period (from 01/06/2016 to 12/21/2018) revealed a 79-mm elevation and a 14-mm depression, which could be attributed to tectonic activity, thus corroborating the accuracy of the results obtained from morphotectonic indicators.

Keywords: Morphotectonics, Morphotectonic Indices, SBAS, Lavasan

Introduction

Iran, situated within the Alpine-Himalayan tectonic active zone, has been significantly impacted by tectonic activities throughout its history. The formation of the Indian Ocean is a direct result of this tectonic convergence. The Iranian plateau, due to its tectonic positioning, has experienced various seismic events, including those within the Alborz Unit. The presence of newborn landforms in Alborz Region, such as cliffs, anticline morphology, and seismic activity, serves as evidence of the high frequency of recent tectonic activities, a concept explored in geomorphological tectonics. Geomorphological tectonics focuses on the study of landforms shaped and transformed by tectonic activity. Landforms in regions with active tectonics are the product of a complex interplay between vertical and horizontal movements of crustal blocks and erosion or sedimentation by surface processes. Therefore, assessing and studying tectonic activities and their impacts is crucial in regional development planning, land management, and environmental conservation. Catchments are one of the key areas used to investigate the tectonic status of a region. River systems, in general, serve as valuable tools for studying tectonic interactions as rivers, drainage networks, and alluvial fans are highly sensitive to tectonic changes. Accordingly, this study focused on examining the morphotectonic status of Lavasan Sub-basins located on the southern slopes of the Alborz.

Materials and Methods

This study utilized a digital elevation model with a 30-meter resolution, a 1:50,000 topographic map, a 1:100,000 geological map, and Sentinel-1 radar images as primary research data. Key research tools included GMT, ARCGIS, and SPSS software, along with specific indicators used to assess the tectonic condition of the region. The research was conducted in two stages. Firstly, the morphotectonic status of the studied basins was evaluated using 8 indicators, namely branching ratio (Br), basin drainage density (Dd), drainage basin asymmetry (AF), longitudinal river gradient (SL), basin shape (Bs), inverse topographic symmetry (T), hypsometric integral (Hi), and river sine index (S). In the second stage, 27 radar images of Sentinel 1 (SLC type with VV polarization) were employed to assess the vertical displacement of the region as detailed in Table 3. Following the preparation of the images and necessary preprocessing, a specific pair of images was selected based on the timeline for radar interference (refer to Figure 3). Subsequently, interferograms were generated using radar interferometry and ultimately, the vertical displacement of the region was determined using the SBAS time-series method.

Research Findings

The evaluation of the branching ratio (Br) in the studied basins revealed that Kond Basin with a coefficient of 4.64 exhibited the highest branching coefficient, indicating greater tectonic activity compared to other sub-basins. Similarly, calculation of the drainage density index (Dd) demonstrated that Kond Basin, with a coefficient of 3.57 had the highest drainage density (Figure 3), signifying elevated tectonic activity compared to other sub-basins. Furthermore, the drainage basin asymmetry

(AF) index indicated that Kond Basin with a coefficient of 61.2 displayed the highest asymmetry, suggesting a more active tectonic state. The longitudinal river gradient index (SL) revealed that Kond Basin with a coefficient of 2698 had the highest gradient, positioning it as the most active basin. Additionally, the basin shape index (Bs) highlighted that Afjeh Basin with a coefficient of 2.87 exhibited the highest coefficient, indicating it as the most active basin. The inverse topographic symmetry index (T) and the hypsometric integral index (Hi) also identified Afjeh Basin as the most active basin with a coefficient of 2.87. Moreover, the river sinusoidal index (S) indicated that Kond Basin with a coefficient of 1.19 had the lowest coefficient, designating it as the most active basin based on this index. Finally, the results from the SBAS time-series method revealed a 79-mm increase and a 14-mm decrease in the region over a 3-year period (from 01/06/2016 to 12/21/2018).

Discussion of Results & Conclusion

Assessment of the tectonic status of the studied sub-basins using morphometric indices indicated that all sub-basins exhibited significant tectonic activities. Specifically, the results obtained from the IAT index categorized the study basins as having high tectonic activities. Barg and Kond basins had an average score of 1.88, while Lavasan and Afjeh basins had an average score of 2, signifying a higher level of tectonic activity in Barg and Kond basins based on the IAT index. Comparative analysis of the results revealed that Kond Basin demonstrated a more active tectonic status across various indices, including Br, Dd, AF, SL, T, and S, positioning it as the most active basin among the study basins. Furthermore, the findings from the radar images corroborated the tectonic activity in the study area. The results obtained from the SBAS time-series method over a 3-year period (from 01/06/2016 to 12/21/2018) indicated a significant elevation of 79 mm and a depression of 14 mm, which could be attributed to tectonic activity, thus validating the accuracy of the results obtained from the morphotectonic indices.

مقاله پژوهشی

تحلیل وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌های لواسان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و تصاویر راداری

معصومه اسدی* ، استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران
asadizhina@yahoo.com
حمید گنجائیان، دکترای تخصصی گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
h.ganjaian@ut.ac.ir
مهناز جاودانی، دانشجوی دکتری گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
mahnazjavedani23@gmail.com

چکیده

موقعیت زمین‌ساختی ایران سبب شده است تا این فلات ناآرامی‌های زیادی داشته باشد. ازجمله منطقه‌های ناآرام آن فلات واحد البرز است. بر این اساس، در پژوهش حاضر کوشش شده است تا وضعیت مورفوتکتونیکی زیرحوضه‌های لواسان در دامنه‌های جنوبی البرز بررسی شود. در این پژوهش متناسب با هدف‌های مدنظر از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی و تصاویر راداری سنتینل Sentinel به‌عنوان داده‌های پژوهش استفاده شده است. ابزارهای مهم این مطالعه نرم‌افزارهای SPSS، ARCGIS، GMT و شاخص‌های استفاده‌شده برای ارزیابی وضعیت تکتونیکی منطقه مطالعه شده است. پژوهش حاضر در دو مرحله انجام شده است. در مرحله اول با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیکی، وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌ها ارزیابی و در مرحله دوم با استفاده از تصاویر راداری و روش سری زمانی SBAS میزان جابه‌جایی عمودی منطقه ارزیابی و سپس این جابه‌جایی با وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌ها تحلیل شده است. نتایج به‌دست‌آمده از شاخص IAT نشان داده است که حوضه‌های مطالعه شده فعالیت تکتونیکی فعالی دارند. درواقع، حوضه‌های برگ و کند میانگین امتیاز ۱/۸ و حوضه‌های لواسان و افجه میانگین امتیاز ۲ را دارند؛ بنابراین حوضه‌های برگ و کند از نظر شاخص IAT وضعیت تکتونیکی فعال‌تری دارند. همچنین، براساس نتایج به‌دست‌آمده از روش سری زمانی SBAS منطقه مطالعه‌شده در طی دوره زمانی ۳ ساله (از تاریخ 2016/1/6 تا 2018/12/21) ۷۹ میلی‌متر بالآمدگی و ۱۴ میلی‌متر پایین‌رفتگی دارد که به‌دلیل داشتن بالآمدگی زیاد می‌توان آن را به فعالیت‌های تکتونیکی نسبت داد. سرانجام، در نتایج تصویر راداری فعال‌بودن منطقه از نظر تکتونیکی تأیید شده است.

واژه‌های کلیدی: مورفوتکتونیک، شاخص‌های مورفوتکتونیکی، SBAS، لواسان

*نویسنده مسئول

اسدی، معصومه، گنجائیان، حمید، جاودانی، مهناز. (۱۴۰۲). تحلیل وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌های لواسان با استفاده از شاخصهای ژئومورفیک و تصاویر راداری. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۵ (۱)، ۸۸-۷۳.



مقدمه

سرزمین ایران به‌عنوان بخشی از زون فعال زمین‌ساختی آلپ-همالیا در طول زمان تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی زیادی قرار گرفته است که پیدایش رشته‌کوه‌های زاگرس-مکران و البرز-کپه داغ در فلات ایران در اثر زیراندگی صفحات عربستان-اقیانوس هند از لندفرم‌های حاصل از این همگرایی است (گورابی و امامی، ۱۳۹۶). با توجه به موقع زمین‌ساختی فلات ایران، این فلات ناآرامی‌های زیادی داشته است. از جمله منطقه‌های ناآرام فلات ایران، واحد البرز است (آقاباتی، ۱۳۸۳). فعالیت‌های نوزمین‌ساخت در البرز از جمله وجود پرتگاه‌ها، مورفولوژی طاق‌دیس‌ها و زمین‌لرزه‌های رخ داده، بیانگر فعال بودن منطقه از نظر فعالیت‌های نوزمین‌ساخت در این منطقه است که در علم تکتونیک ژئومورفولوژی به آن پرداخته خواهد شد (Keller & Pinter, 2002). در تکتونیک ژئومورفولوژی لندفرم‌هایی مطالعه می‌شود که تحت تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی شکل گرفته و تحول یافته است. لندفرم‌ها در نواحی با زمین‌ساخت فعال، حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تأثیر حرکات عمودی و افقی مربوط به بلوک‌های پوسته و فرسایش یا رسوب‌گذاری با فرآیندهای سطحی است (Ioannis et al., 2006; Longkumer et al., 2019). بر این اساس، ارزیابی و بررسی فعالیت‌های تکتونیکی و اثرهای ناشی از آن در برنامه‌ریزی‌های عمران ناحیه‌ای و آمایش سرزمین و مدیریت محیط اهمیت فراوانی دارد (گورابی و نوحه‌گر، ۱۳۸۶).

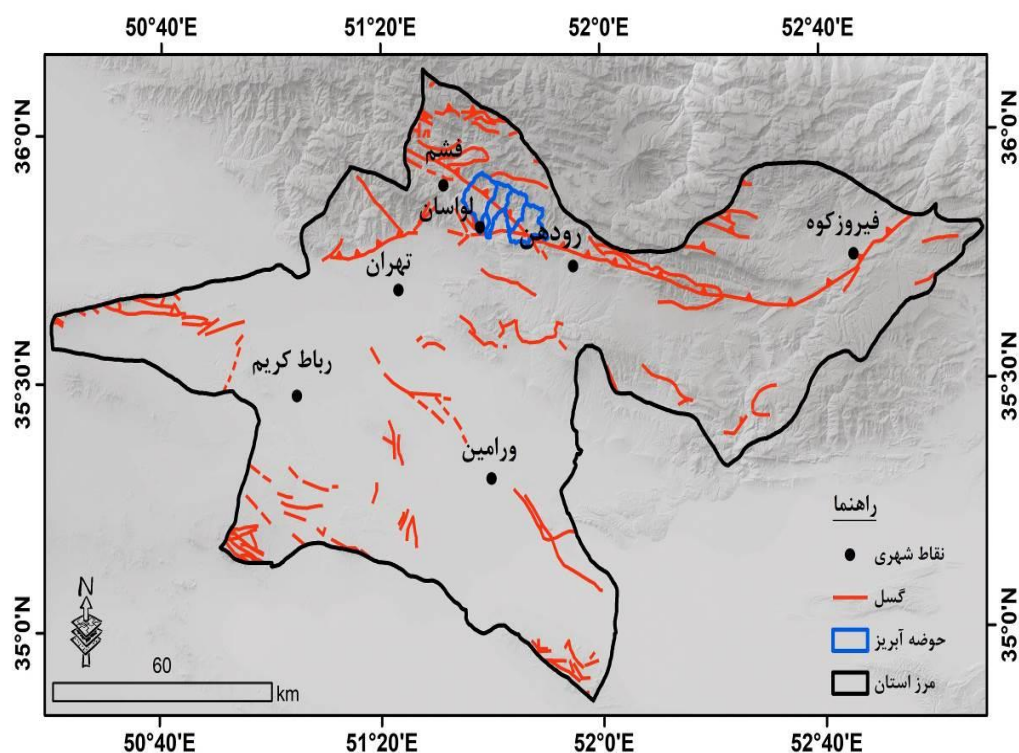
یکی از منطقه‌هایی که برای بررسی وضعیت تکتونیکی منطقه‌ها استفاده می‌شود، حوضه‌های آبریز است. به‌طور کلی، سیستم‌های رودخانه‌ای ابزار ارزشمندی برای مطالعه فعل و انفعالات تکتونیکی است (Ezati & Agh-Atabai, 2013); زیرا رودخانه‌ها، شبکه‌های زهکشی و مخروطه‌افکنه‌ها به تغییرات زمین‌ساختی بسیار حساس هستند (گورابی و محمدنژاد، ۱۳۹۷). بر این اساس، در پژوهش حاضر وضعیت مورفوتکتونیکی زیرحوضه‌های لوا سان در دامنه‌های جنوبی البرز بررسی شده است.

درباره موضوع تحلیل وضعیت تکتونیکی منطقه‌ها با استفاده از پارامترهای مورفومتریک پژوهش‌های مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به گارنیری و پیروتا اشاره کرد که با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیکی وضعیت تکتونیکی چهار حوضه زهکشی در شمال شرق سیسیل ایتالیا را بررسی کردند (Guarnieri & Pirrotta, 2008). ویوینا و همکاران تأثیر بالاآمدگی تکتونیکی ابرین را در پنسولیا مطالعه کردند (Viveena et al., 2013). تالامپاس و کاباهاگ با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ALOS PALSAR و پارامترهای ژئومورفیک (SL, Af, Vf, Smf, Hi, TTSF) و وضعیت مورفوتکتونیکی حوضه آبخیز ایپونان (Iponan) را در فیلیپین بررسی کردند (Talampas & Cabahug, 2018). شارما و همکاران با استفاده از پارامترهای مورفومتریک مورفوتکتونیکی حوضه رودخانه شیرخاد (Sheer Khadd) را در هندوستان بررسی کردند (Sharma et al., 2018). دوسانتوس و همکاران وضعیت مورفوتکتونیکی رودخانه‌های لاوا تودو و پلاتوس (Lava-Tudo and Pelotas) را در برزیل ارزیابی کردند (Dos santos et al., 2019). عابدینی و شبرنگ (۱۳۹۳) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک فعالیت‌های نوزمین‌ساخت را در حوضه آبخیز مشگین‌چای ارزیابی کردند. عابدینی و همکاران (۱۳۹۴) فعالیت‌های نفوتکتونیکی حوضه آبریز گنچی دره‌سی را تحلیل کردند. در پژوهش حاضر با استفاده از شاخص‌های مختلف

ژئومورفیک نشان داده شده است که حوضه آبریز گئچی دره‌سی از نظر تکتونیکی وضعیت فعالی دارد. [یمانی و علیزاده \(۱۳۹۵\)](#) با استفاده از شاخص‌های AF, SL, S, BR, P, T, Smf و Hi فعالیت‌های نوزمین ساخت حوضه آبخیز کرج را بررسی کردند. [عزتی و همکاران \(۱۳۹۷\)](#) بالآمدگی تکتونیکی را در کوه‌های شکراب واقع در شمال بیرجند بررسی کردند. باتوجه به بررسی و وضعیت تکتونیکی منطقه‌ها با استفاده از تصاویر راداری نیز می‌توان به پژوهش‌های جیو و همکاران اشاره کرد که وضعیت نئوتکتونیک و تغییرات شکل زمین را با استفاده از PS-InSAR در منطقه فوجیان (Fujian) چین بررسی کردند [\(Guo et al., 2017\)](#). نیکولا و همکاران با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و تکنیک PS-InSAR تغییرات نئوتکتونیک سطح زمین را در حوضه فوکسانی (Focsani) در شرق رومانی بررسی کردند [\(Necula et al., 2018\)](#). تیبالدی و همکاران زمین‌لغزش‌های نزدیک سد انگوری (Enguri) گرجستان و امکان تأثیرهای تکتونیک بر آن را ارزیابی کردند [\(Tibaldi et al., 2019\)](#). همچنین، [نایب‌زاده و همکاران \(۱۳۹۷\)](#) فعالیت تکتونیکی در حوضه دشت اشتهارد را با استفاده از تداخل‌نگار راداری ارزیابی کردند. [مهرابی و پورخسروانی \(۱۳۹۷\)](#) میزان جابه‌جایی زمین ناشی از زلزله سال ۱۳۸۳ داهوئی (زرنده) استان کرمان را بررسی و سپس گسل عامل آن را شناسایی کردند. [هاشمی فرد و همکاران \(۱۳۹۷\)](#) تغییرات ژئومورفولوژیکی سازند گچساران را که ناشی از آبرگیری سد گتوند علیاست با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی رادار بررسی کردند.

منطقه مطالعه‌شده

محدوده مطالعاتی پژوهش حاضر شامل زیرحوضه‌های لوا سان، برگ، افجه و کند است که وسعت مجموع آنها حدود ۱۸۲ کیلومتر مربع است. این زیرحوضه‌ها در عرض جغرافیایی ۳۵° ۴۷' تا ۳۵° ۵۵' و طول جغرافیایی ۵۱° ۳۴' تا ۵۱° ۵۰' قرار دارند. این زیرحوضه‌ها از نظر تقسیمات سیاسی در شمال استان تهران و جنوب شهرستان شمیرانات و از نظر تقسیمات مورفوتکتونیکی در واحد البرز مرکزی قرار دارند (شکل ۱) که به دلیل قرارگرفتن در دامنه‌های جنوبی البرز منطبق بر واحد کوهستان هستند. همچنین، از نظر تقسیمات حوضه‌ای جزء حوضه آبریز جاجرود هستند. باتوجه به موقعیت منطقه بخش زیادی از وسعت زیرحوضه‌ها را دامنه‌های پرشیب و دره‌های عمیق دربرگرفته است. همچنین، باتوجه به اینکه بین منطقه‌های شمالی و جنوبی زیرحوضه‌ها اختلاف ارتفاع زیادی وجود دارد (زیرحوضه‌ها بین ارتفاع ۱۴۶۴ تا ۳۸۸۸ قرار دارند)، میانگین بارش منطقه‌های شمالی زیرحوضه‌ها حدود ۵۵۰ میلی‌متر، منطقه‌های جنوبی آن در حدود ۴۱۰ میلی‌متر و میانگین دمای منطقه‌های شمالی و جنوبی زیرحوضه‌ها نیز به ترتیب ۱۳/۱ و ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد است [\(اداره کل هواشناسی استان تهران، ۱۴۰۰\)](#).



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مطالعه شده (منبع: نگارندگان)

Fig 1: Location map of the study area

روش‌شناسی پژوهش

در پژوهش حاضر متناسب با هدف‌های مدنظر از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی و تصاویر راداری سنتینل (Sentinel) به‌عنوان داده‌های پژوهش استفاده شده است. ابزارهای مهم پژوهش نرم‌افزارهای ArcGIS، GMT، SPSS و شاخص‌های استفاده‌شده برای ارزیابی وضعیت تکتونیکی منطقه مطالعه شده است. این پژوهش در دو مرحله انجام شده است. مرحله اول با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیکی، وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌ها ارزیابی و مرحله دوم با استفاده از تصاویر راداری و روش سری زمانی SBAS میزان جابه‌جایی عمودی منطقه ارزیابی و سپس ارتباط آن با وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌ها تحلیل شده است. در ادامه، مراحل تشریح شده است.

مرحله اول: در این مرحله حوضه‌های مطالعه شده با استفاده از ۸ شاخص نسبت انشعاب (Br)، تراکم زهکشی حوضه (Dd)، متقارن‌نبودن حوضه زهکشی (AF)، گرادیان طولی رودخانه (SL)، شکل حوضه (Bs)، تقارن توپوگرافی معکوس (T)، انتگرال هیپسومتری (Hi) و شاخص سینوسی رودخانه (S)، وضعیت مورفوتکتونیکی ارزیابی شده است (جدول ۱).

جدول ۱: شاخص‌های مورفوتکتونیکی استفاده‌شده در پژوهش

Table 1: Morphotectonic indices used in the research

شاخص	فرمول	توضیحات
شاخص نسبت انشعاب (Br)	$BR = \left(\frac{n1}{n2} + \frac{n2}{n3} + \frac{n3}{n4} + \dots + \frac{n_{i-1}}{n_i} \right) \frac{1}{i-1}$	هر چقدر تعداد انشعابات بیشتر باشد، حوضه از نظر تکتونیکی فعال‌تر است (علیزاده، ۱۳۸۹).
شاخص تراکم زهکشی حوضه (Dd)	$Dd = \sum Li/A$	هرچه ضریب تراکم بیشتر باشد، بیانگر تکتونیک فعال و حساسیت زیاد سازندها و تشکیلات زمین‌شناسی موجود در حوضه است (Deh Bozorgi et al., 2010).
شاخص مقارن‌نبودن حوضه زهکشی (AF)	$AF = 100 (Ar/At)$	هر چقدر که مقدارهای به‌دست‌آمده اختلاف بیشتری از ۵۰ داشته باشد، حوضه بی‌تعادلی بیشتری دارد؛ در نتیجه وضعیت تکتونیکی فعال‌تر است (Deh Bozorgi et al., 2010).
شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)	$LCS SL = (\Delta H / \Delta Lr)$	هر چقدر ضریب SL بیشتر باشد، حوضه از نظر تکتونیکی فعال‌تر است (Troiani & Della Seta, 2008).
شاخص شکل حوضه (Bs)	$Bs = Bi/Bw$	مقدارهای بزرگ این شاخص مربوط به حوضه‌های کشیده در نواحی فعال زمین‌ساختی است (گورابی و امامی، ۱۳۹۶).
شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)	$T = Da/Dd$	شاخص T بین ۰ تا ۱ متغیر است که این میزان برای حوضه‌های به‌طور کامل، متقارن صفر است. با افزایش بی‌تقارنی حوضه آبریز، این میزان به ۱ نزدیک می‌شود (Deh Bozorgi et al., 2010).
شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi)	$Hi = H_{mean} - H_{min} / H_{max} - H_{min}$	هرچه میزان Hi بیشتر باشد، حوضه از نظر تکتونیکی فعال‌تر است (Deh Bozorgi et al., 2010).
شاخص سینوسی رودخانه (S)	$S = La/Ls$	هر چقدر میزان S به ۱ نزدیک‌تر باشد بیانگر این است که حوضه از نظر تکتونیکی فعال‌تر است (Keller & Pinter., 2002).

منبع: نگارنده

باتوجه به اینکه وضعیت تکتونیکی حوضه‌ها از نظر شاخص‌های مختلف متفاوت است، برای جمع‌بندی نتایج به‌دست‌آمده با شاخص‌های مختلف از شاخص IAT استفاده شده است. درواقع، در پژوهش حاضر برای ارزیابی جامع شاخص‌های استفاده‌شده از شاخص IAT استفاده شده است و براساس این شاخص وضعیت تکتونیکی حوضه‌های مطالعه‌شده از نظر هر شاخص به ۴ کلاس فعالیت تکتونیکی شدید، فعالیت تکتونیکی زیاد، فعالیت تکتونیکی متوسط و فعالیت تکتونیکی کم تقسیم شده است (جدول ۲). براساس این شاخص، حوضه‌هایی که مقدارهای میانگین کلاس‌های آن کمتر از ۱/۵ باشد، فعالیت تکتونیکی شدید، در صورتی که این مقدار بین ۱/۵ تا ۲ باشد، فعالیت تکتونیکی زیاد، در صورتی که این مقدار بین ۲ تا ۲/۵ باشد، فعالیت تکتونیکی متوسط و در صورتی که این مقدار بیش از ۲/۵ باشد، فعالیت تکتونیکی کم دارند.

جدول ۲: مبنای کلاسه‌بندی زیرحوضه از نظر فعالیت تکتونیکی

Table 2: Basis of sub-basin classification in terms of tectonic activity

شاخص	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳
Br	بیش از ۴	۳ تا ۴	کمتر از ۳
Dd	بیشتر از ۶/۰	۶/۰ - ۵/۰	کمتر از ۵/۰
AF	$AF-50 > 15$	$AF-50 = 7-15$	$AF-50 < 7$
SL	بیشتر از ۵۰۰	۳۰۰ - ۵۰۰	کمتر از ۳۰۰
Bs	بیشتر از ۴	۳ - ۴	کمتر از ۳
T	۶۶/۱ -	۶۶/۰ - ۳۳/۰	۳۳/۰ -
Hi	بیشتر از ۵/۰	۵/۰ - ۴/۰	کمتر از ۴/۰
S	۱ - ۱/۵	۱/۵ - ۲	بیشتر از ۲

منبع: [Hamdouni et al., 2008](#)

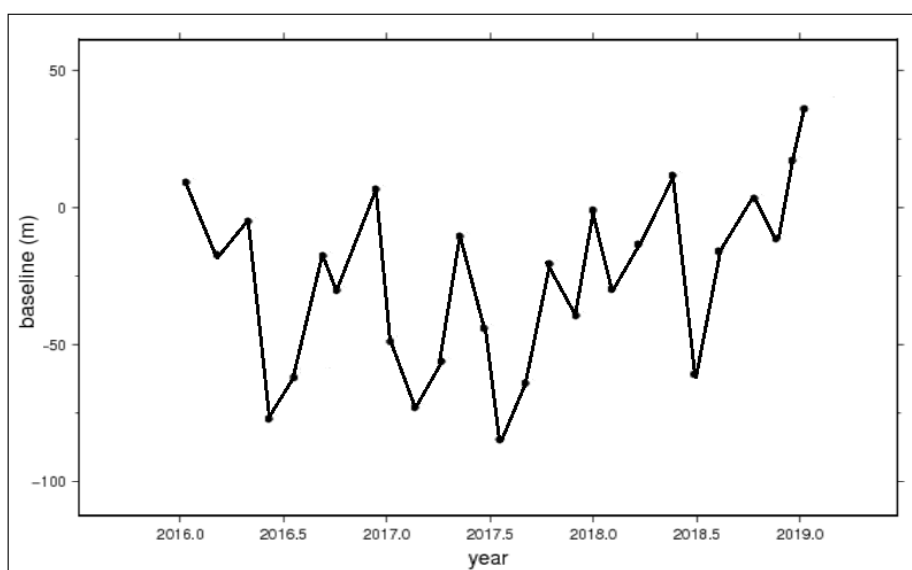
مرحله دوم (ارزیابی جابه‌جایی عمودی منطقه): در پژوهش حاضر برای ارزیابی میزان جابه‌جایی عمودی منطقه از روش تداخل سنجی راداری و روش سری زمانی SBAS استفاده شده است. امروزه تکنیک تداخل سنجی راداری به عنوان یک تکنیک متداول برای اندازه‌گیری تغییر شکل سطحی پوسته زمین معرفی شده است. پوشش سراسری و رزولوشن خوب تصاویر راداری و دقت پذیرفتنی این روش، این تکنیک را به عنوان ابزار نیرومند برای مطالعه پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی همچون زلزله، نشست، زمین‌لغزش و غیره مطرح کرده است (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵). بعد از تولید تداخل‌نگارها و تصحیح آنها به خطاهای موجود در تداخل سنجی یک مجموعه از تداخل‌نگارها از یک منطقه حاصل می‌شود که در بازه‌های زمانی مختلف هستند. نداشتن همبستگی زمانی و مکانی بین تصاویر سبب می‌شود تا به‌طور تقریبی، هر تداخل‌نگار شامل منطقه‌های بزرگی باشد که در آنها همبستگی پایین است. اندازه‌گیری انجام شده در این منطقه‌ها مطمئن و یا درخور انجام دادن نیست. این محدودیت‌ها سبب می‌شود تا روش تداخل سنجی به‌تنهایی ابزاری کامل برای نظارت و اندازه‌گیری اعوجاجات سطح زمین و تغییرات توپوگرافی نباشد. تحلیل سری زمانی تداخل سنجی تا حدود زیادی باعث غلبه بر این محدودیت‌ها در تداخل سنجی می‌شود (Hanssen, 2001). در این پژوهش برای ارزیابی میزان جابه‌جایی عمودی منطقه از ۲۷ تصویر راداری سنتینل ۱ (تصاویر از نوع SLC با پلاریزاسیون VV است) استفاده شده که در جدول ۳ تاریخ تصاویر نشان داده شده است. پس از تهیه تصاویر و انجام دادن پیش‌پردازش‌های لازم، زوج تصاویر مدنظر براساس بیس‌لاین (Baseline) زمانی برای انجام دادن تداخل سنجی راداری انتخاب شده است (شکل ۳). پس از انتخاب زوج تصاویر با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، اینترفروگرام‌های مدنظر تهیه شده و در نهایت، با استفاده از روش سری زمانی SBAS میزان جابه‌جایی عمودی منطقه به دست آمده است.

جدول ۳: مشخصات تصاویر استفاده‌شده

Table 3: Specifications of the images used

ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ	ردیف	تاریخ
۱	2016/01/06	۱۰	2017/02/05	۱۹	2018/01/31
۲	2016/02/23	۱۱	2017/03/13	۲۰	2018/03/08
۳	2016/04/11	۱۲	2017/04/18	۲۱	2018/05/19
۴	2016/05/29	۱۳	2017/05/24	۲۲	2018/06/24
۵	2016/07/04	۱۴	2017/06/29	۲۳	2018/07/30
۶	2016/08/09	۱۵	2017/08/04	۲۴	2018/09/04
۷	2016/09/26	۱۶	2017/09/09	۲۵	2018/10/10
۸	2016/11/13	۱۷	2017/11/20	۲۶	2018/11/15
۹	2016/12/31	۱۸	2017/12/26	۲۷	2018/12/21

منبع: نگارندگان



شکل ۲: انتخاب تصاویر براساس بیس‌لاین زمانی و مکانی (منبع: نگارندگان)

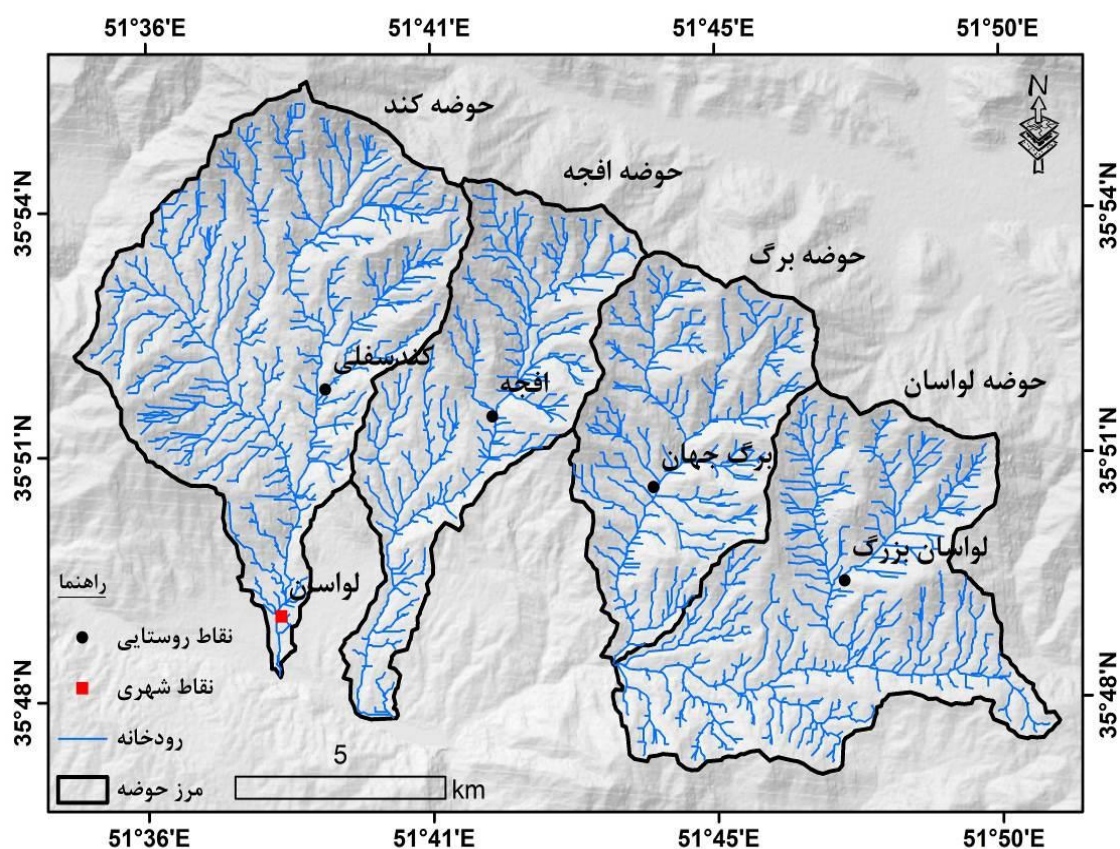
Figure 2: Select images based on temporal and spatial baseline

یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

الف) بررسی وضعیت تکتونیکی منطقه

در پژوهش حاضر برای بررسی وضعیت تکتونیکی حوضه‌های مطالعه شده از ۸ شاخص نسبت انشعاب (Br)، تراکم زهکشی حوضه (Dd)، متقارن‌نبودن حوضه زهکشی (AF)، گرادیان طولی رودخانه (SL)، شکل حوضه (Bs)، تقارن توپوگرافی معکوس (T)، انتگرال هیپسومتری (Hi) و سینوسی رودخانه (S) استفاده شده است. نتایج ارزیابی

نسبت انشعاب (Br) حوضه‌های مطالعه‌شده نشان داده است که حوضه کند با ضریب $4/64$ بالاترین ضریب انشعاب و از نظر این شاخص، فعالیت تکتونیکی بیشتری را نسبت به سایر زیرحوضه‌ها دارد. نتایج محاسبه شاخص تراکم زهکشی (Dd) برای حوضه‌های مطالعه‌شده نشان داده است که حوضه کند با ضریب $3/57$ بالاترین تراکم زهکشی (شکل ۳) و از نظر این شاخص، فعالیت تکتونیکی بیشتری را نسبت به سایر زیرحوضه‌ها دارد. حوضه کند از نظر شاخص متقارن‌نبودن حوضه زهکشی (AF) و شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) به ترتیب با ضریب 2698 و $61/2$ بیشترین ضریب و از نظر شاخص سینوسی رودخانه (S) با ضریب $1/19$ پایین‌ترین ضریب را دارد و به عنوان فعال‌ترین حوضه است. حوضه افجه از نظر شاخص شکل حوضه (Bs)، تقارن توپوگرافی معکوس (T) و از نظر شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi) به ترتیب با ضریب $2/87$ ، $2/87$ و $2/87$ بالاترین ضریب را در منطقه مطالعه‌شده دارد و به عنوان فعال‌ترین حوضه است. همچنین، (جدول ۴).



شکل ۳: نقشه شبکه زهکشی زیرحوضه‌های مطالعه‌شده (نگارندگان)

Figure 3: Drainage network map of the studied basins

جدول ۴: نتایج ارزیابی شاخص‌های مورفوتکتونیکی در زیرحوضه‌های مطالعه‌شده

Table 4: Results of evaluation of morphotectonic indices in the studied sub-basins

شاخص نسبت انشعاب (Br)						
حوضه	آبراهه رتبه ۱	آبراهه رتبه ۲	آبراهه رتبه ۳	آبراهه رتبه ۴	آبراهه رتبه ۵	Br
لواسان	۳۵۰	۶۹	۱۴	۴	۱	۴/۳۸
برگ	۲۲۰	۴۵	۱۲	۲	۱	۴/۱۶
افچه	۲۳۰	۴۲	۱۲	۲	۱	۴/۲۴
کند	۴۰۴	۷۵	۱۸	۳	۱	۴/۶۴
شاخص تراکم زهکشی (Dd)						
حوضه	ΣL	A		Dd		
لواسان	۱۸۱/۳	۵۱/۴۸		۳/۵۲		
برگ	۱۱۵/۶	۳۴/۲۷		۳/۳۷		
افچه	۱۲۲/۵	۳۵/۲۸		۳/۴۷		
کند	۲۲۰	۶۱/۵۹		۳/۵۷		
شاخص متقارن نبودن حوضه زهکشی (AF)						
حوضه	Ar	At		AF		
لواسان	۸/۲۸	۵۱/۴۸		۴۸/۲		
برگ	۱۸/۰۱	۳۴/۲۷		۵۲/۶		
افچه	۱۸/۰۱	۳۵/۲۸		۵۱		
کند	۳۷/۷	۶۱/۵۹		۶۱/۲		
شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)						
حوضه	ΔH	ΔLr	LCS	SL		
لواسان	۱۵۹۹	۱۰/۴۲	۱۴/۱۷	۲۱۷۴		
برگ	۱۶۸۵	۹/۰۹	۱۰/۹۷	۲۰۳۳		
افچه	۱۹۷۰	۱۲/۳۴	۱۶/۲۱	۲۵۸۸		
کند	۲۲۷۱	۱۳/۵	۱۶/۰۴	۲۶۹۸		
شاخص شکل حوضه (Bs)						
حوضه	Bi (km)	Bw (km)		Bs		
لواسان	۱۰/۴۲	۸/۰۷		۱/۲۹		
برگ	۹/۰۹	۵/۴۶		۱/۶۶		
افچه	۱۲/۳۴	۴/۳		۲/۸۷		
کند	۱۳/۵	۷/۹۹		۱/۶۹		

شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)				
حوضه	Da (km ²)	Dd (km ²)		T
لواسان	۰/۰۹	۲/۴۷		۰/۰۳۷
برگ	۰/۰۹۶	۱/۸۹		۰/۰۵۱
افچه	۰/۰۳	۱/۴۳		۰/۰۲۱
کند	۰/۵۱۱	۲/۲۸		۰/۲۲۴
شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi)				
حوضه	Hmean	Hmin	Hmax	Hi
لواسان	۲۳۳۲	۱۷۲۵	۳۳۲۴	۰/۳۸
برگ	۲۴۶۷	۱۷۲۳	۳۴۰۸	۰/۴۴۲
افچه	۲۳۷۲	۱۵۷۱	۳۷۲۱	۰/۳۷۳
کند	۲۳۹۳	۱۶۰۳	۳۸۷۴	۰/۳۴۸
شاخص سینوسی رودخانه (S)				
حوضه	La	Ls		S
لواسان	۱۴/۱۷	۱۰/۴۲		۱/۳۶
برگ	۱۰/۹۷	۹/۰۹		۱/۲۱
افچه	۱۶/۲۱	۱۲/۳۴		۱/۳۱
کند	۱۶/۰۴	۱۳/۵		۱/۱۹

منبع: نگارندگان

بررسی شاخص‌های استفاده‌شده بیانگر این است که میزان فعالیت تکتونیکی حوضه‌ها از نظر شاخص‌های مختلف، متفاوت است. در این پژوهش با استفاده از شاخص IAT (جدول ۲) میزان فعالیت تکتونیکی حوضه‌ها ارزیابی شده است (جدول ۵). براساس نتایج حاصل‌شده حوضه‌های مطالعاتی از نظر فعالیت تکتونیکی وضعیت فعلی دارند. حوضه‌های برگ و کند میانگین امتیاز ۱/۸۸ و حوضه‌های لواسان و افچه میانگین امتیاز ۲ را دارند؛ بنابراین حوضه‌های برگ و کند از نظر شاخص IAT وضعیت تکتونیکی فعال‌تری دارند. همچنین، بررسی وضعیت فعالیت نسبی حوضه‌ها بیانگر این است که حوضه کند از نظر شاخص‌های T, SL, AF, Dd, Br و وضعیت تکتونیکی فعال‌تری دارند؛ بنابراین این حوضه به‌عنوان فعال‌ترین حوضه در بین حوضه‌های مطالعاتی است.

جدول ۵: وضعیت تکتونیکی حوضه‌های مطالعاتی براساس شاخص IAT

Table 5: Tectonic status of study basins based on IAT index

وضعیت تکتونیکی	میانگین	شاخص								نام حوضه
		S	Hi	T	Bs	SL	AF	Dd	Br	
زیاد	۲	۱	۳	۳	۳	۱	۳	۱	۱	لواسان
زیاد	۱/۸۸	۱	۲	۳	۳	۱	۳	۱	۱	برگ
زیاد	۲	۱	۳	۳	۳	۱	۳	۱	۱	افچه
زیاد	۱/۸۸	۱	۳	۳	۳	۱	۲	۱	۱	کند

منبع: نگارندگان

ب) ارزیابی وضعیت جابه‌جایی عمودی منطقه

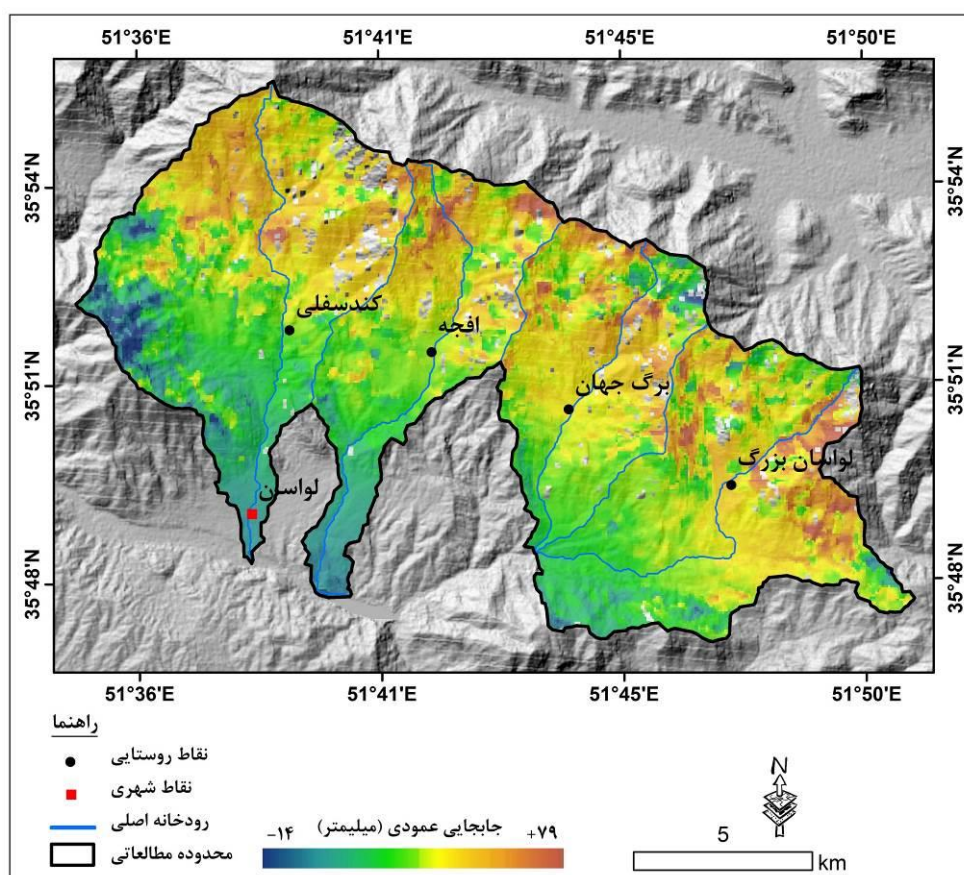
در پژوهش حاضر پس از تهیه تصاویر برای ارزیابی میزان جابه‌جایی منطقه با استفاده از روش سری زمانی SBAS ابتدا وضعیت بیس لاین زمانی و مکانی تصاویر بررسی و براساس آن زوج تصاویر برای تشکیل اینترفروگرام انتخاب (جدول ۶) و پس از آن نقشه‌های اینترفروگرام با نرم‌افزار GMT در سیستم عامل LINUX تهیه و سپس نقشه میزان جابه‌جایی با استفاده از روش سری زمانی SBAS منطقه تهیه شده است (شکل ۴) که براساس نتایج حاصل شده منطقه مطالعه شده بین ۷۹+ تا ۱۴- میلی‌متر جابه‌جایی داشته است. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که این منطقه در طی دوره زمانی ۳ ساله (از تاریخ 2016/1/6 تا 2018/12/21) ۷۹ میلی‌متر بالاآمدگی و ۱۴ میلی‌متر پایین‌رفتگی داشته است. بررسی نقشه نهایی بیانگر این است که ارتفاعات شمالی محدوده مطالعاتی بالاآمدگی داشته است که می‌توان آن را به عوامل تکتونیکی نسبت داد.

جدول ۶: زوج تصاویر انتخابی برای تشکیل اینترفروگرام

Table 6: Pair of selected images to form an interferogram

ردیف	زوج تصاویر		ردیف	زوج تصاویر	
۱	2016/01/06	-2016/02/23	۱۴	2017/06/29	-2017/08/04
۲	2016/02/23	-2016/04/11	۱۵	2017/08/04	-2017/09/09
۳	2016/04/11	-2016/05/29	۱۶	2017/09/09	-2017/11/20
۴	2016/05/29	-2016/07/04	۱۷	2017/11/20	-2017/12/26
۵	2016/07/04	-2016/08/09	۱۸	2017/12/26	-2018/01/31
۶	2016/08/09	-2016/09/26	۱۹	2018/01/31	-2018/03/08
۷	2016/09/26	-2016/11/13	۲۰	2018/03/08	-2018/05/19
۸	2016/11/13	-2016/12/31	۲۱	2018/05/19	-2018/06/24
۹	2016/12/31	-2017/02/05	۲۲	2018/06/24	-2018/07/30
۱۰	2017/02/05	-2017/03/13	۲۳	2018/07/30	-2018/09/04
۱۱	2017/03/13	-2017/04/18	۲۴	2018/09/04	-2018/10/10
۱۲	2017/04/18	-2017/05/24	۲۵	2018/10/10	-2018/11/15
۱۳	2017/05/24	-2017/06/29	۲۶	2018/11/15	-2018/12/21

منبع: نگارندگان



شکل ۴: میزان جابه‌جایی عمودی منطقه از تاریخ ۲۰۱۶/۱/۶ تا ۲۰۱۸/۱۲/۲۱ (منبع: نگارندگان)

Figure 4: Vertical displacement rate of the region from 01/06/2016 to 12/21/2018

نتیجه‌گیری

موقعیت قرارگیری محدوده مطالعاتی سبب شده است تا حوضه‌های منطقه مطالعه شده از نظر تکتونیکی در وضعیت فعالی باشند. باتوجه به اهمیت فعالیت‌های تکتونیکی حوضه‌ها، در این پژوهش وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌های منطقه لواسان ارزیابی شد. در پژوهش حاضر برخلاف بسیاری از پژوهش‌های پیشین (Talamps & Cabahug, 2018; یمانی و علیزاده، ۱۳۹۵) علاوه بر استفاده از شاخص‌های مورفومتریک از تصاویر راداری و روش سری زمانی SBAS نیز استفاده شده است. نتایج حاصل شده از ارزیابی وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌های مطالعه شده براساس شاخص‌های مورفومتریک نشان داده است که تمامی زیرحوضه‌ها از نظر تکتونیکی در وضعیت فعال قرار دارند. درواقع، نتایج به دست آمده از شاخص IAT نشان داده است که حوضه‌های مطالعاتی از نظر فعالیت تکتونیکی وضعیت فعالی دارند. درواقع، حوضه‌های برگ و کند میانگین امتیاز ۱/۸ و حوضه‌های لواسان و افچه میانگین امتیاز ۲ را دارند؛ بنابراین حوضه‌های برگ و کند از نظر شاخص IAT وضعیت تکتونیکی فعال‌تری را در منطقه مطالعه شده دارند. مقایسه نسبی نتایج به دست آمده بیانگر این است که حوضه کند از نظر شاخص‌های SL, AF, Dd, Br و S و وضعیت تکتونیکی فعال‌تری را در منطقه مطالعه شده دارد؛ بنابراین این حوضه فعال‌ترین حوضه در بین حوضه‌های مطالعاتی است.

همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از تصاویر راداری بیانگر این است که منطقه مطالعه‌شده از نظر تکتونیکی در وضعیت فعالی قرار دارد. درواقع، براساس نتایج به‌دست‌آمده از روش سری زمانی SBAS منطقه مطالعه شده در طی دوره زمانی ۳ ساله (از تاریخ 2016/1/6 تا 2018/12/21) با ۷۹ میلی‌متر بالآمدگی و ۱۴ میلی‌متر پایین‌رفتگی مواجه شده است که به‌دلیل داشتن بالآمدگی زیاد می‌توان آن را به فعالیت‌های تکتونیکی نسبت داد که در این مسئله صحت نتایج به‌دست‌آمده از شاخص‌های مورفوتکتونیک تأیید می‌شود.

منابع

- اداره کل هواشناسی استان تهران (۱۴۰۰). گزارش سالیانه. <https://www.tehranmet.ir/fa>
- آقائباتی، سیدعلی (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بابایی، سید ساسان، موسوی، زهرا، و روستایی، مه‌آسا (۱۳۹۵). آنالیز سری زمانی تصاویر راداری با استفاده از روش‌های طول خط مبنای کوتاه (SBAS) و پراکنش‌کننده‌های دائمی (PS) در تعیین نرخ فرونشست دشت قزوین. علوم و فنون نقشه‌برداری، ۵(۴)، ۹۵-۱۱۱. <http://jgst.issgeac.ir/article-1-417-fa.html>
- عابدینی، موسی، و شبرنگ، شنو (۱۳۹۳). ارزیابی فعالیت‌های نوزمین ساخت در حوضه آبخیز مشکین چای از طریق شاخص‌های ژئومورفولوژی. جغرافیا و توسعه، ۱۲(۳۵)، ۴۹-۶۶. 10.22111/gdij.2014.1554
- عابدینی، موسی، فتحی، محمدحسین، و بهشتی‌جاوید، ابراهیم (۱۳۹۴). تحلیل فعالیت‌های ژئوتکتونیکی حوضه آبریز "گنچی دره‌سی" با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک. فضای جغرافیایی، ۱۵(۵۲)، ۲۴۹-۲۲۳. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2178-fa.html>
- عزتی، مریم، غلامی، ابراهیم، و موسوی، سیدمرتضی (۱۳۹۷). بررسی بالآمدگی تکتونیکی در کوه‌های شکراب واقع در شمال بیرجند (خراسان جنوبی) با استفاده از شواهد ریخت زمین‌ساختی. ژئومورفولوژی کمی، ۷(۳)، ۱۸۱-۱۹۵. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_83488.html
- علیزاده، امین (۱۳۸۹). اصول هیدروژئولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
- گورابی، ابوالقاسم، و محمدنژاد، وحید (۱۳۹۷). تکامل لندفرم‌های اواخر کواترنری در پاسخ به تغییرات تکتونیکی فعال سطح اساس در منطقه طبس، ایران مرکزی. جغرافیای طبیعی، ۵۰(۲)، ۲۷۱-۲۹۱. 10.22059/jphgr.2018.236825.1007078
- گورابی، ابوالقاسم، و نوحه‌گر، احمد (۱۳۸۶). شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه. جغرافیای طبیعی، ۳۹(۸)، ۱۷۷-۱۹۶. https://jrg.ut.ac.ir/article_18908.html?lang=fa
- گورابی، ابوالقاسم، و امامی، کامیار (۱۳۹۶). تأثیرات نوزمین‌ساخت بر تغییرات مورفولوژیک حوضه‌های زهکشی سواحل مکران، جنوب شرق ایران. ژئومورفولوژی کمی، ۶(۱)، ۷۴-۸۹. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78076.html
- مهرابی، علی، و پورخسروانی، محسن (۱۳۹۷). اندازه‌گیری میزان جابجایی زمین ناشی از زلزله ۱۳۸۳ داهوئیه (زرنده) استان کرمان و شناسایی گسل عامل آن با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری. ژئومورفولوژی کمی، ۷(۱)، ۶۱-۷۳. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78118.html

- نایب‌زاده، فرین، مددی، عقیل، و عزیزی، قاسم (۱۳۹۷). بررسی فعالیت تکتونیکی در حوضه دشت اشتهارد با استفاده از تداخل‌نگار راداری. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۸(۱)، ۲۷-۱۵. https://ges.razi.ac.ir/article_894.html
- هاشمی‌فرد، اکبر، کردوانی، پرویز، و اسدیان، فریده (۱۳۹۷). تغییرات ژئومورفولوژیکی سازند گچساران ناشی از آبیگری سد گتوند علیا، با استفاده از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی رادار. *هیدروژئومورفولوژی*، ۴(۱۵)، ۳۷-۵۳. https://journals.tabrizu.ac.ir/article_7916.html
- یمانی، مجتبی، و علیزاده، شهناز (۱۳۹۵). بررسی فعالیت‌های نو زمین‌ساخت حوضه آبخیز کرج از طریق شاخص‌های ژئومورفیک. *جغرافیای طبیعی*، ۹(۳۱)، ۱-۱۸. https://jopg.larestan.iau.ir/m/article_527346.html

References

- Abedini, M., & Shabrang, S. (2014). Evaluation of Neo Tectonic Activities in Meshkin Chai Catchment Area by Geomorphologic Indices. *Geography and Development*, 12(35), 49-66. 10.22111/gdij.2014.1554 [In Persian].
- Abedini, M., Fathi, M., & Beheshti Javid, E. (2015). Analysis of the neotectonic activities of the "Gechi Daresi" watershed using geomorphic indicators. *Geographical space*, 15(52), 223-249. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2178-fa.html> [In Persian].
- Aganbati, S. A. (2013). *Geology of Iran*. Publications of the Geology and Mineral Exploration Organization of the country. [In Persian].
- Alizadeh, A. (2010). *Principles of Applied Hydrology*. Imam Reza University Publications. [In Persian].
- Babaei S. S., Mouavi, Z., & Roostaei, M. (2016). Time Series Analysis of SAR Images Using Small Baseline Subset (SBAS) and Persistent Scatterer (PS) Approaches to Determining Subsidence Rate of Qazvin Plain. *Mapping Science and Technology*, 5(4), 95-111. <http://jgst.issgeac.ir/article-1-417-fa.html> [In Persian].
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A. A., Motamedi, H., & Hosseiniasl, A. (2010). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. *Geomorphology*, 121(3-4), 329-341. 10.1016/j.geomorph.2010.05.002
- 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*, 328, 138-156. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.12.016>
- Ezati, M., Gholami, E., & Moussav, S. M. (2018). Investigation of tectonic uplift in Shekarab Mountain located in North of Birjand (Southern Khorasan) using morphotectonic evidence. *Quantitative Geomorphology*, 7(3), 181-195. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_83488.html. [In Persian].
- Ezati. M., & Agh-Atabai, M. (2013). Active tectonic analysis of Atrac river sub basin located in NE Iran (East Alborz). *Journal of Tethys*, 1(3), 177-188. https://jtethys.journals.pnu.ac.ir/article_2766.html
- Goorabi, A., & Emami, k. (2017). Neotectonics influences on morphological variations of Makran costal basins, SE Iran. *Quantitative Geomorphology*, 6(1), 74-89. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78076.html?lang=en [In Persian].
- Goorabi, A., & Mohammadnejad, V. (2018). Late-Quaternary Landscape Evolution in Response to Active Tectonic Changes in Base-Level, Tabas Region, Central Iran. *Natural Geography*, 50(2), 271-291. 10.22059/jphgr.2018.236825.1007078 [In Persian].
- Goorabi, A., & Nohegar, A. (2016). Geomorphological evidence of active tectonics in Derkeh watershed. *Natural Geography*, 39(8), 177-196. https://jrg.ut.ac.ir/article_18908.html?lang=fa [In Persian].
- Guarnieri, P., & Pirrotta, C. (2008). The Response of Drainage Basins to the IATE Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 95(3-4), 260-273. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.013>
- Guo, j., Xu, S., & Fan, H. (2017). Neotectonic interpretations and PS-InSAR monitoring of crustal deformations in the Fujian area of China. *Open Geosci*, 9(1), 126-132. <https://doi.org/10.1515/geo->

[2017-0010](#)

- 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*, 96(1-2), 150-173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Hanssen, R. F. (2001). *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*. (Vol. 2). Springer Science & Business Media. [10.1007/0-306-47633-9](#)
- Hashemi Fard, A., Kardovani, P., & Asadian, F. (2017). Geomorphological changes of Gachsaran Formation due to water withdrawal of Upper Getund dam, using differential radar interferometric technique. *Hydrogeomorphology*, 4(15), 37-53. https://journals.tabrizu.ac.ir/article_7916.html?lang=en [In Persian].
- Ioannis, M. T., Ioannis, K. K., & Pavlides, S. (2006). Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf Corinth (Beotia, central Greece). *Tectonophysics*, 453(1-4), 211-232. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.06.015>
- Keller, E. A., & Pinter, N. (2002). *Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape* (2nd. ed.). Englewood Cliffs. Prentice Hall. [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgict55.\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1320866](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgict55.))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1320866)
- 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*, 170, 138-154. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.11.010>
- Mehrabi, A., & Pourkhosravani, M. (2018). Measurement of Surface Displacement Caused by the 2004 Dahuieh (Zarand) Earthquake in Kerman Province and Identification of the Operating Fault using the Radar Interferometry Method. *Quantitative Geomorphology*, 7(1), 61-73. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_78118.html [In Persian].
- Meteorological Organization (2021). *Annual report*. <https://www.tehranmet.ir/fa/>
- Naiebzadeh, F., Madadi, A., & Azizi, Q. (2017). Investigating the tectonic activity in the Eshtehard basin using radar interferometer. *Geography and Environmental Sustainability*, 8(1), 15-27. https://ges.razi.ac.ir/article_894.html?lang=en [In Persian].
- Necula, N., Niculita, M., & Floris, M. (2018). Using Sentinel-1 SAR data to detect earth surface changes related to neotectonics in the Focșani basin (Eastern Romania). *PeerJ Preprints*, 6, (No. e27084v1). [10.7287/peerj.preprints.27084v1](https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.27084v1)
- Sharma, A., Singh, P., & Rai, P. K. (2018). Morphotectonic analysis of Sheer Khadd River basin using geo-spatial tools. *Spatial Information Research*, 26(4), 405-414. <https://doi.org/10.1007/s41324-018-0185-z>
- Talampas, W., & Cabahug, R. (2018). Morphotectonic Characteristics of the Iponan River Watershed in Cagayan de Oro City, Philippines. Mindanao. *Journal of Science and Technology*, 16(1), 115-131. <https://mjst.ustp.edu.ph/index.php/mjst/article/view/147>
- Tibaldi, A., Oppizzi, P., Gierke, J., Oommen, T., Tsereteli, N., & Gogoladze, Z. (2019). Landslides near Enguri dam (Caucasus, Georgia) and possible seismotectonic effects. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(1), 71-91. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-71-2019>, 2019
- Troiani, F., & Della Seta, M. (2008). The use of the Stream Length-Gradient index in morphotectonic analysis of small catchments: A case study from Central Italy. *Geomorphology*, 102(1), 159-168. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.020>
- Viveena, W. B., Schoorla, J. M., Veldkamp, A., van Balen, R. T., Desprate, S., & Vidal-Roman, J. R. (2013). Reconstructing the interacting effects of base level, climate, and tectonic uplift in the lower Miño River terrace record: A gradient modelling evaluation. *Geomorphology*, 186, 96-118. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.026>
- Yamani, M., & Alizadeh, S. (2015). Investigating the new tectonic activities of the Karaj watershed through geomorphic indicators. *Natural Geography*, 9(31), 1-18. [In Persian].

