



Evaluation of Active Tectonic Movements in the Makran Mountain Belt (Ahoran-Lashar Area)

Mina Raeisi¹ , Reza Mansouri² , Samad Fotoohi³ , Sambit Prasanajit Naik^{4,5}

1. Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: mina.raisi800@gmail.com
2. Corresponding author, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: rezamansouri@gep.usb.ac.ir
3. Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: fotoohi@gep.usb.ac.ir
4. Department of Petroleum Engineering and Earth Sciences, University of Petroleum and Energy Studies, UPES, Dehradun, Uttarakhand, India. Email: sambit.naik@ddn.upes.ac.in

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 17 August 2025;

Received in revised form: 06 February 2025;

Accepted: 15 February 2026

Available online: 03 August 2026

Keywords:

tectonic geomorphology, tectonic activities, geomorphic indices, geomorphological evidence, Ahoran-Lashar area.

ABSTRACT

Objective: In this study, the relative status of tectonic activities in the Ahoran-Lashar region, located in the Makran accretionary wedge in the south of Sistan and Baluchestan province, has been investigated.

Method: he literature review identified a gap in tectonic geomorphological analysis using geomorphic indices in the study area. In this regard, eight different geomorphic indices (such as Index of mountain front sinuosity (Smf), Ratio of valley floor width to valley height (Vf), Asymmetric factor (Af), Percentage Undissected Escarpments (EU), Percentage Dissected Mountain Fronts (FD), Index of drainage basin shape (Bs), Transverse Topographic Symmetry Factor (T Index), Tectonic Activity Index (Iat)) were calculated and then the findings were combined and integrated into the Relative Tectonic Activity Index (IAT) introduced by El-Hamdouni et al. (2008). In addition, topographic and geological maps, a 12.5-meter DEM, and Landsat and Sentinel satellite imagery were integrated within a GIS environment and validated with field evidence.

Results: The analyses performed using these indices provided a clear view of the tectonic situation of the region; in other words, the results obtained show that the highest activity is in the southwestern, southeastern, northwestern and finally northeastern parts of the region, respectively. Also, the calculated quantitative values for the indices indicate a medium to high level of tectonic activity in the region. In other words, after integrating the measured index values into the IAT unit index, a number of 1.7 was obtained, based on which the study area was classified in class 2 and with a high tectonic activity status.

Conclusions: Finally, the findings obtained from the indicators were consistent and validated with the existing geomorphological evidence in the region, such as linear and straight mountain fronts, deep and V-shaped valleys, greater elongation and tilting of basins, a high proportion of triangular facets, a low percentage of dissected mountain fronts and a high percentage of undissected escarpments.

1. Introduction

Recent geomorphological studies utilize morphometric analyses as an efficient method for

identifying geological structures and tectonic patterns. The study and identification of areas with tectonic activity is of particular importance,

Cite this article: Raeisi, M., Mansouri, R., Fotoohi, S., P., Prasanajit Naik, S. (2026). Evaluation of Active Tectonic Movements in the Makran Mountain Belt (Ahoran-Lashar Area). *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 7 (26), 219-242. <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2044107.1037>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Lorestan University.



DOI: <http://doi.org/10.52547/gsma.10.22034/gsma.2025.2044107.1037>

because these areas reflect the movements of the youngest periods, especially the Quaternary period and especially the Holocene and the present. Indeed, tectonic geomorphology analyzes the relationship between tectonic forces and geomorphic processes affecting the formation of landforms and geomorphological landscapes in areas with active deformation. Therefore, topographic analyses are considered an effective tool for measuring landscape forms, because the impact of tectonic activities on the topography of the earth is widely evident. This study investigates the relative tectonic activity in the Ahoran-Lashar region of the Makran Mountain Belt (MMB), southern Sistan and Baluchestan province.

2. Methodology

Eight geomorphic indices (SMF, VF, AF, FMF, EU, FD, BS, T) were calculated and integrated into the Relative Tectonic Activity Index (IAT) introduced by El Hamdouni et al. (2008). In addition, topographic and geological maps, a 12.5-meter DEM, and Landsat and Sentinel satellite imagery were integrated within a GIS environment and validated with field evidence.

3. Results and Discussion

The SMF index exhibits a relatively uniform spectrum, ranging from 0.91 to 1.20. The highest value ($Smf = 1.20$) occurs in front 4 in the south, while the lowest ($Smf = 0.91$) is in front 5 in the west. The mean index value of 1.07 (Table 2) indicates very high to high tectonic activity, classifying the area as class 1 activity. Valley 23 ($Vf=0.05$), located within the Kajou fault, exhibited the lowest value, indicating high activity. Conversely, valley 28's value of 3.81 was the highest, suggesting relative inactivity (Table 3). The average index value of 0.42 classifies the studied region as class 1 activity (very high). The values of the Fmf index varied between 118.41 (related to front number 14) and 356 (related to front number 2). Also, the average of this index in the studied area was found to be 236.03 (Table 4). The high percentage of these levels indicates the high tectonic activity in this area of the Makran mountain belt. In general, the results of the Fd index calculations show low numerical values and a relatively uniform spectrum with a low range of variability. In other words, the lowest and highest calculated values were about 0.18 for front number 7 and 0.41 for front number 2, respectively. Also, the total average for the region was obtained as 0.29 (Table 5). The calculated values for the Eu index show a spectrum with a moderate variability range; its values ranged from 0.41 to 0.72, and its total average in the region was also measured to be

0.56 (Table 6). These values indicate a relatively moderate to high percentage of uncut sections of the mountain fronts of the study area, which in most cases are externally manifested as continuous escarpments and sometimes as fault and straight cliffs (Figure 7). The highest Af index was measured in basin number 16 ($Af=9.67$) in the northern part of the region and the lowest in basin number 18 ($Af=3.26$) in the southern part of the region (Table 7). The results show that the watersheds of the region are divided into three classes based on the degree of tilt (Figure 5 and Figure 8). In general, the results of the Bs index show that the studied basins are in categories 2 and 3 of tectonic activity. More precisely, the lowest and highest values calculated for this index belong to basin number 18 with a numerical value of 1.23 and basin number 1 with a numerical value of 2.29, respectively, which indicates relatively low to moderate tectonic activity (Table 8). Analyses conducted using these indices provided a very clear view of the status of tectonic activities in the region. In general, the results obtained show that the highest level of activity is in the southwestern, southeastern, northwestern, and finally northeastern parts of the region, respectively. Also, the calculated indices suggest moderate to high tectonic activity in the region. Integrating measured indices values into the IAT unit index yielded a value of 1.7, classifying the study area as class 2, indicating high tectonic activity. Finally, the findings obtained from the indices were matched and verified with the existing geomorphological evidence in the region, such as linear and straight mountain fronts, deep and V-shaped valleys, greater elongation and tilting of basins, a high proportion of triangular facets, a low percentage dissected mountain fronts and a high percentage undissected escarpments.

4. Conclusion

This study assesses the relative tectonic activity of the Ahoran-Lashar region situated in the Makran mountain belt using geomorphic indicators. Mountain front sinuosity, triangular facets, stream displacement, V-shaped valleys, and the absence of foothills suggest active tectonics in the region. These indices offer a valuable relative classification for preliminary tectonic assessments. Geomorphic indices and field evidence indicate that the study area is tectonically active. Specifically, the IAT index classified the area as class two with high tectonic status, suggesting ongoing neotectonic activity consistent with other indices and field observations in the region.

Author Contributions

Mina Raeisi: Writing – original draft; Methodology; Investigation; Data curation; Conceptualization; Formal analysis. **Reza Mansouri:** Writing – original draft; Methodology; Investigation; Data curation; Conceptualization; Writing – review & editing; Validation; Formal analysis. **Samad Fotoohi:** Validation. **Sambit Prasanajit Naik:** Methodology; Data curation; Validation; Formal analysis.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Ethical Considerations

All authors affirm that this research was conducted in accordance with ethical standards, with no data fabrication, falsification, or plagiarism.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest



ارزیابی جنبش‌های زمین‌ساخت پویا در کمربند کوهستانی مکران (منطقه آهوران-لاشار)

مینا رئیسی^۱؛ رضا منصوری^۲؛ صمد فتوحی^۳؛ سامبیت پراساناجیت نایک^۴

۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: mina.raisi800@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: rezamansouri@gep.usb.ac.ir

۳. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: fotouhi@gep.usb.ac.ir

۴. گروه مهندسی نفت و علوم‌زمین، دانشگاه مطالعات نفت و انرژی، دهرادون، هندوستان. رایانامه: sambit.naik@ddn.upes.ac.in

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله

دریافت مقاله:

۱۴۰۴/۰۵/۲۶

تاریخ تجدیدنظر:

۱۴۰۴/۱۱/۱۷

پذیرش نهایی:

۱۴۰۴/۱۱/۲۶

تاریخ انتشار:

۱۴۰۵/۰۵/۱۲

واژگان کلیدی:

ژئومورفولوژی زمین‌ساخت،

فعالیت‌های زمین‌ساختی،

شاخص‌های ژئومورفیک،

شواهد ژئومورفولوژیک،

منطقه آهوران-لاشار.

هدف: در این مطالعه، وضعیت نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه آهوران-لاشار واقع در زون برافزایشی مکران در جنوب استان سیستان و بلوچستان بررسی شده است.

روش: در بررسی پیشنهادی پژوهش، شکاف پژوهشی در زمینه عدم مطالعه منطقه موردبررسی از دیدگاه ژئومورفولوژی زمین‌ساخت با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک آشکار شد. در این راستا، هشت شاخص گوناگون ژئومورفیک (نظیر پیچ‌وخم جبهه کوهستان، نسبت پهنای کف دره به عمق دره، عدم تقارن زهکشی، درصد سطوح چندوجهی جبهه کوهستان، درصد بخش‌های بریده نشده جبهه کوهستان، درصد بخش‌های بریده شده جبهه کوهستان، شکل حوضه، تقارن توپوگرافی عرضی) مورد محاسبه قرار گرفت، سپس یافته‌ها در شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساخت (IAT) معرفی شده توسط ال‌همدونی و همکاران (۲۰۰۸) ترکیب و یکپارچه شد. علاوه بر آن، از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، DEM با دقت ۱۲/۵ متر و تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل در محیط GIS استفاده شد؛ و در نهایت نتایج با شواهد میدانی مطابقت داده شد.

نتایج: تحلیل‌های انجام شده با استفاده از این شاخص‌ها نمای بسیار واضحی از وضعیت فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه ارائه داد. به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند بیشترین میزان فعالیت به‌ترتیب در بخش‌های جنوب‌غربی، جنوب شرقی، شمال‌غربی و در نهایت، شمال شرقی منطقه وجود دارد. همچنین، مقادیر کمی محاسبه شده برای شاخص‌ها گویای نرخ فعالیت زمین‌ساختی در سطح متوسط تا بالا در منطقه است. به‌عبارت دیگر، پس از یکپارچه‌سازی مقادیر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در شاخص واحد IAT، عدد ۱/۷ را به‌دست‌آمد که برپایه آن منطقه مطالعاتی در کلاس ۲ و با وضعیت فعالیت زمین‌ساختی بالا کلاسه‌بندی شد.

نتیجه‌گیری: در پایان، یافته‌های به‌دست‌آمده از شاخص‌ها با شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه همچون جبهه‌های کوهستانی خطی و مستقیم، دره‌های عمیق و V شکل، کشیدگی و کج‌شدگی بیشتر حوضه‌ها، نسبت بالای سطوح مثلثی شکل، وجود درصد پایین بخش‌های بریده‌شده و درصد بالای بخش‌های بریده‌نشده، مطابقت و صحت‌سنجی شد.

۱. مقدمه

استناد: رئیسی، مینا؛ منصوری، رضا؛ فتوحی، صمد و پراساناجیت نایک؛ سامبیت (۱۴۰۵). ارزیابی جنبش‌های زمین‌ساخت پویا در کمربند کوهستانی

مکران (منطقه آهوران-لاشار). *مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی*، ۷ (۲۶)، ۲۴۲-۲۱۹.

<http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2044107.1037>

DOI: <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2044107.1037>



دیگری نیز این شاخص‌ها را برای بررسی فعالیت‌های تکتونیکی در مناطق مختلف به کار بردند، برخی از آن‌ها را توسعه دادند و گاهی شاخص‌های جدیدی را نیز ایجاد کردند. از این رو، بسیاری از محققان نیز وضعیت تکتونیک فعال را با اهداف گوناگون و با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (Keller & Pinter, 2002: 124; Sinha, 2001: 107) مورد مطالعه قرار داده‌اند، چرا که کارایی این شاخص‌ها در زمینه ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در مناطق گوناگون مورد استفاده قرار گرفته و اثبات شده است (Bull & McFadden, 1977: 119; Keller & Pinter, 2002: 122; Zovoili et al., 2004: 1718; Bali et al., 2016: 389). Silva et al. (2003)، زمین‌ساخت فعال نسبی پیشانی‌های مختلف کوه را در جنوب باختر اسپانیا، با محاسبه شاخص‌های SMF& VF مورد بررسی قرار داده، اما در مطالعات خود از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده نکرده‌اند. یکی از این پژوهش‌ها در سیرانودا در جنوب اسپانیا توسط El Hamdouni et al. (2008) صورت گرفته است، که هشت شاخص و حد آن‌ها به دقت تعریف شده و سپس در روش ابداعی، این شاخص‌ها با همدیگر ترکیب گردیده و شاخص جدیدی تحت عنوان شاخص نسبی زمین‌ساخت فعال (Iat) معرفی شده است، که نقص بسیاری از پژوهش‌های قبلی که متکی به تعداد معدودی شاخص بوده‌اند را جبران می‌کند. Fotoohi (2013) در پژوهشی به بررسی تاثیر تکتونیک فعال در شرق حوضه زاگرس بر تشکیل مخروط افکنه دوقلوی وزیره پرداختند. Saffari & Mansouri (2013) در مقاله‌ای تحت عنوان "ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی بخش علیای حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک" به ارزیابی میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی این حوضه پرداختند. هدف اصلی این مقاله، ارزیابی نسبی وضعیت زمین‌ساخت فعال حوضه آبخیز کنگیر از طریق بررسی شاخص‌های ژئومورفیک بود. نتایج این ارزیابی نشان داد که حوضه آبخیز کنگیر از نظر وضعیت نوین زمین‌ساختی در زمره نواحی فعال قرار دارد. این یافته‌ها بیانگر جوانسازي پدیده‌های ژئومورفولوژیکی در این حوضه است. Mansouri et al. (2023) در پژوهشی به مطالعه کاربرد شاخص‌های ژئومورفیک در ارزیابی فعالیت‌های نوین زمین‌ساخت جنوبا در طاق‌دیس بایه-ایوان غرب-ایلام پرداختند. نامبردگان در این پژوهش با به کارگیری هشت شاخص

تحلیل‌های مرتبط با ژئومورفولوژی قادرند دیدگاه‌های دقیق و ارزشمندی را درباره تاریخچه زمین‌ساختی هر منطقه فراهم کنند. این سیستم‌های ژئومورفولوژیکی دارای پیچیدگی‌هایی هستند و در برخی موارد، دانش ما درباره آن‌ها به اندازه کافی کامل نیست. توانایی اندازه‌گیری متغیرها، یکی از جنبه‌های کلیدی برای ژئومورفولوژیست‌ها به شمار می‌آید (Sarvati & Mansouri, 2014: 18). چشم‌اندازها و لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی کره زمین در طول زمان همواره دستخوش تغییر، تحول و توسعه قرار دارند؛ از این رو، موضوع کلیدی در زمینه ژئومورفولوژی زمین‌ساخت، بررسی و تحلیل ساختمان‌ها و لندفرم‌ها در طول تاریخ شکل‌گیری آن‌ها است (Schumm et al., 2000: 2; Mansouri & Fotoohi, 2021: 56). بررسی و شناسایی مناطق دارای فعالیت زمین‌ساختی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا این مناطق بازتاب‌دهنده حرکات جوان‌ترین دوره‌ها، به‌ویژه دوره کواترنر و به‌خصوص هولوسن و زمان کنونی هستند (Soleimani, 1999: 1). درواقع، ژئومورفولوژی زمین‌ساخت به تحلیل ارتباط بین نیروهای زمین‌ساخت و فرآیندهای ژئومورفیک مؤثر بر شکل‌گیری لندفرم‌ها و چشم‌اندازهای ژئومورفولوژیکی در مناطق با دگرشکلی فعال می‌پردازد (Burbank & Anderson, 2012: 71; Decaillau et al., 1998: 274; Molin et al., 2004: 56). از این رو، تحلیل‌های توپوگرافیکی به عنوان ابزاری مؤثر برای اندازه‌گیری فرم‌های چشم‌انداز محسوب می‌شوند، زیرا تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی بر روی توپوگرافی زمین به‌طور گسترده‌ای مشهود است (Saffari & Mansouri, 2013: 48).

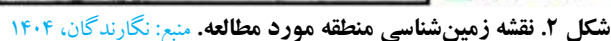
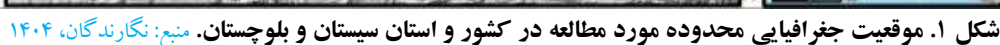
امروزه، بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی به‌طور گسترده‌ای در حوزه‌های مختلف مانند ارزیابی مخاطرات ناشی از زمین‌لغزش‌ها، زمین‌لرزه‌ها، حرکات نوزمین‌ساخت و همچنین در زمینه انباشت و تشکیل منابع معدنی، هیدروکربوری و آب‌های زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در سال‌های اخیر، محققان مختلف به منظور کمی‌سازی حرکت‌های زمین‌ساختی کوشش کرده و شاخص‌های متنوعی را تحت عنوان شاخص‌های مورفومتریک یا شاخص‌های ریخت‌سنجی به میدان آورده‌اند (Soleimani, 1999: 11; Bull & McFadden, 1977). نخستین کسانی بودند که از شاخص‌های ژئومورفیک برای ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی استفاده کردند. پس از آن، محققان

ژئومورفیک (VF, AR, FMF, SMF, FSI, FFS, FD, ED)، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، تصاویر کوئیک‌برد و DEM ۱۲/۵ متر فعالیت‌های نوزمین‌ساختی منطقه مطالعاتی را مورد ارزیابی قرار دادند؛ و دریافتند که طاق‌دیس مورد مطالعه دارای ساختاری جوان بوده و میزان فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در یال جنوب‌باختری نسبت به یال شمال‌خاوری بیشتر است. با توجه به اهمیت شناسایی و ارزیابی میزان فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در کمربند‌های رورانده، چین‌خورده و گوه‌های برافزایشی و تأثیرات آنها بر مراکز و تاسیسات انسانی واقع در حاشیه آن‌ها، لزوم مطالعه و بررسی این مهم در بخش مرکزی زون برافزایشی مکران به عنوان منطقه مورد مطالعه در این پژوهش احساس می‌شود. کمربند مکران، که بر اثر فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس و در نتیجه برخورد میان صفحه‌های عربی و اورا‌سیا ایجاد شده (Dercourt et al., 1986; Omrani et al., 2017; Barrier et al., 2018; Burg, 2018; Moghadam et al., 2022; Barbero et al., 2020; 2023)، علیرغم شناخته‌شدن آن به عنوان یک زون فرورانش پویا در مقیاس جهانی؛ متأسفانه در زمینه ژئومورفولوژی زمین ساخت اطلاعات ناچیزی از آن در دست است؛ در این راستا، انجام مطالعات گسترده و همه‌جانبه‌ای در این زمینه احساس می‌شود از این رو، هدف اصلی این پژوهش بررسی و ارزیابی وضعیت فعالیت‌های نوزمین‌ساختی پویا در کمربند کوهستانی مکران (محدوده شمال شهرستان نیکشهر، بخش‌های آهوران و لاشار) بوده و در پی پاسخ برای این پرسش بوده که کدام یک از گسل‌های اصلی موجود در منطقه، دارای بیشترین تأثیر در پویایی‌های نوزمین‌ساختی منطقه می‌باشد؟

۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، از لحاظ سیاسی در محدوده بخش‌های آهوران-لاشار از توابع شهرستان نیکشهر، استان سیستان و بلوچستان؛ در راستای عرض جغرافیایی $26^{\circ} 17' 21''$ تا $27^{\circ} 03' 05''$ شمالی از خط استوا و در راستای طول جغرافیایی $60^{\circ} 43' 38''$ تا $59^{\circ} 59' 17''$ خاوری از خط گرینویچ در بخش مرکزی کمربند کوهستانی مکران واقع شده است (شکل ۱). این منطقه بر اساس تقسیم‌بندی رسوبی-ساختاری آقانباتی (۱۳۸۳) در زون برافزایشی مکران واقع شده و از نظر ویژگی‌های زمین‌شناختی و به‌ویژه تکتونیکی حائز اهمیت فراوان

است. در این منطقه گسل‌های گوناگون با سازوکارهای متفاوت دیده می‌شود. از مهم‌ترین گسل‌های این منطقه می‌توان به گسل‌های چانف، کاجه، لاشار، پپ و گسل‌های فرعی فراوان دیگر اشاره کرد (شکل ۲). با بررسی‌های زمین‌شناختی در منطقه مورد مطالعه مشخص شد که این منطقه به شدت تکتونیزه شده و دارای ساختارهای زمین‌ساختی قابل توجهی است. در این منطقه مراکز سکونتگاهی شهری و روستایی فراوانی وجود دارند که بیشتر در محدوده و حریم این گسل‌ها استقرار یافته‌اند. با استناد به نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ و ۱:۲۵۰,۰۰۰ منطقه مورد مطالعه (Aghanabati et al., 1987; 1989) سازندهای زمین‌شناسی این ناحیه عمدتاً شامل رسوبات و لایه‌های فلیش بوده و در برخی نقاط آن سنگ‌های آذرین و آتشفشانی نیز مشاهده می‌شود. تأثیرات کوهزایی آلپی به وضوح در ساختار زمین‌شناسی این منطقه قابل مشاهده است و وجود گسل‌های مختلف از نشانه‌های این فعالیت‌ها می‌باشد. طبق مطالعات چینه‌شناسی صورت گرفته، در این ناحیه هیچ پروزدی با سنی بالاتر از کرتاسه بالایی دیده نمی‌شود. کمپلکس‌های افیولیتی و رسوبات کواترنری به عنوان واحدهای چینه‌شناسی قدیمی و جدید به شمار می‌روند. در باختر رودخانه سرمیچ پریدوتیت‌های سرپانتینی دارای رگه‌های میلیمتری فراوان از منیزیت است. در قسمت جنوب شرق اسپکه و همچنین در باختر سرمیچ، گابروها به‌طور کامل تجزیه شده و به تپه‌های فرسوده تبدیل گردیده‌اند. به علاوه قسمت‌های شرقی و جنوبی منطقه سازندهایی از جنس شیل سیلتی خاکستری، با کمی ماسه سنگ، تناوب موزون ماسه سنگ لایه‌ای و شیل با کمی فروش سنگ، گل‌سنگ و کنگلومرا، ماسه سنگ بودین شده و شیل بدون ساخت چینه‌ای دارای بلوک‌های تکتونیکی، سنگ آهک، توف و سنگ آتشفشانی، ماسه سنگ و نهشته‌های رودخانه‌ای، بادزن‌های کوهپایه‌ای کوتاه و نهشته‌های پادگانه‌ای تشکیل شده است (Aghanabati et al., 1987) (شکل ۲). از لحاظ توپوگرافی، ناحیه مورد بررسی به دو بخش اصلی تقسیم بندی شده است. در بخش شمالی منطقه، حوضه فرورفته جازموریان با ارتفاع میانگین ۷۵۰ متر از سطح دریا، که بیشتر به وسیله تلماسه‌های وسیع پوشیده شده؛ و در نیمه جنوبی، بخشی از رشته‌کوه‌های مکران درونی با روند باختری-خاوری با فرازایی بین ۱۳۰۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا قرار دارند.



نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ و ۱:۲۵۰,۰۰۰، مدل رقومی ارتفاعی منطقه با دقت مکانی ۱۲/۵ متر، تصاویر ماهواره‌های لند ست ۸-۹، سستینل ۲، Google Earth، و چندین مرحله بازدیدهای میدانی استفاده شد. در این راستا، نخست پس از زمین‌مرجع کردن نقشه‌های توپوگرافی منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 با کمترین میزان خطای ممکن، محدوده مورد مطالعه مشخص گردید. سپس در گام بعدی، نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نیز زمین‌مرجع شده و براساس محدوده مورد مطالعه، اطلاعات زمین‌شناسی مربوطه از روی آن‌ها، رقومی سازی شده و وارد پایگاه داده اطلاعات شدند. در پایان، از طریق محاسبه و اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفیک گوناگون

۲۲۵

کوهستان است. کوهستان‌هایی که دارای مقدار Smf بالای ۳ هستند، معمولاً جبهه‌هایی با فرسایش زیاد و فعالیت کم را نشان می‌دهند (Keller, 1986). به‌طور کلی، مقادیر محاسبه شده برای بسیاری از شاخص‌های ژئومورفیک (و از جمله Smf)، به آسانی از طریق نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی یا تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های رقومی ارتفاع قابل محاسبه‌اند. اما همان‌طور که Bull & McFadden, (1977) خاطر نشان کرده‌اند، میزان دقت و حساسیت هر شاخص، به شدت به مقیاس نقشه‌ها و تصاویر به کار گرفته شده وابسته است. در این راستا، اشاره به این نکته لازم است که در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی (با مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ و ۱:۲۵۰,۰۰۰)، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ (با دقت ۱۰ متر) و لندست ۹ (با دقت ۱۵ متر)، مدل رقومی ارتفاع آلوس پالسار (با دقت ۱۲/۵ متر) در کنار تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای میدانی استفاده شده است. بنابراین، تغییر نوع و مقیاس داده‌های پایه مورد استفاده در این پژوهش در مطالعات آتی بر روی منطقه قطعاً ممکن است به نتایج متفاوتی (متناسب با مقیاس) منجر شود.

همچون شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان (SMF)، نسبت پهنای کف دره به عمق دره (VF)، عدم تقارن زهکشی (AF)، درصد سطوح چندوجهی جبهه کوهستان (FMF)، درصد بخش‌های بریده نشده جبهه کوهستان (EU)، درصد بخش‌های بریده شده جبهه کوهستان (FD)، شکل حوضه (BS)، تقارن توپوگرافی عرضی (T) و شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساخت (IAT)^۵ معرفی شده توسط ال‌همدون و همکاران (۲۰۰۸)، وضعیت جنبش‌های نوزمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه ارزیابی و تعیین شد. همچنین، نتایج محاسبه شاخص‌ها بر اساس این روش، به چهار رده فعالیت زمین‌ساختی تقسیم بندی شد. سپس اطلاعات بدست آمده با بازدیدهای میدانی مورد راستی‌آزمایی قرار گرفت.

شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان (Smf)

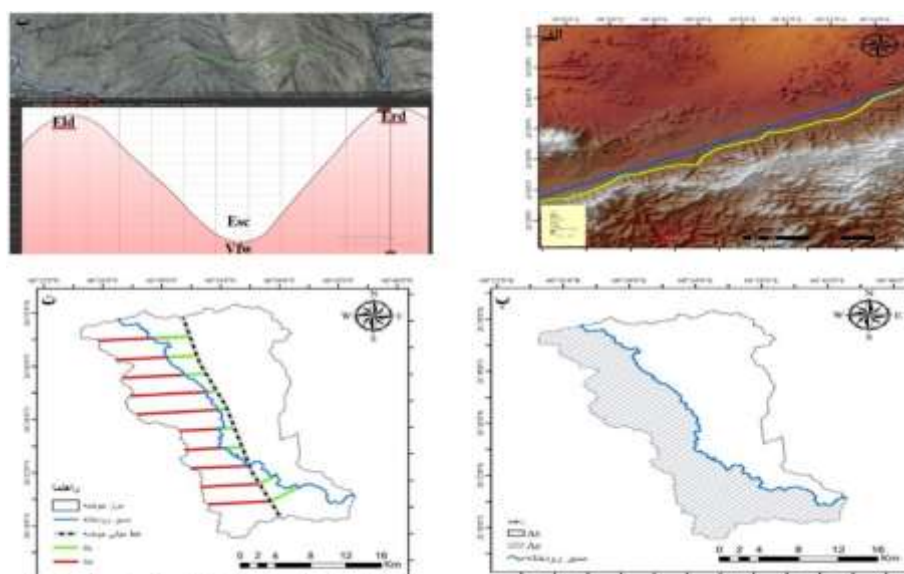
شاخص خمیدگی پیشانی کوهستان نشان‌دهنده تعادل بین ویژگی‌های سنگ‌ها، میزان فرسایش و فشارهای ناشی از نیروهای تکتونیکی است (Silva et al., 2003: 207). به کمک این روش، با تعیین مقدار خمیدگی‌های ناشی از آبراهه‌ها در پیشانی کوهستان و تقسیم آن بر طول افقی در راستای گسل و پیشانی کوهستان، می‌توان وضعیت یک منطقه را از نظر فعالیت‌های تکتونیکی مشخص کرد (Keller & Pinter, 2002: 138). اگر فعالیت‌های تکتونیکی در آن منطقه کاهش یابد، فرسایش ممکن است تأثیر بیشتری بر روی جبهه کوهستان داشته و منجر به افزایش نوسانات و خمیدگی شود. استفاده از این شاخص امکان ارزیابی و اندازه‌گیری شدت فعالیت‌های زمین‌ساختی و فرایندهای فرسایشی در منطقه را فراهم می‌کند (Bull & McFadden, 1977; Keller, 1986). این شاخص از فرمول زیر حاصل می‌شود (Keller & Pinter, 2002: 134).

$$SMF = LMF/LS$$

Smf پیچ و خم جبهه کوهستان، Lmf درازای پیشانی کوهستان در پای کوه (جایی که شیب تغییر می‌کند و یا شیب می‌شکند) و LS خط مستقیم میان دو نقطه در محل تغییر شیب (کنیک کوهستان)، (شکل ۳ الف). این شاخص در مناطق گوناگون بسته به وضعیت تکتونیکی حاکم بر هر منطقه متفاوت خواهد بود. نزدیکتر بودن مقدار Smf به ۱ به معنای وجود فعالیت تکتونیکی بالا در جبهه

- 5- Percentage Dissected Mountain Fronts (FD)
- 6- Index of drainage basin shape (Bs)
- 7- Transverse Topographic Symmetry Factor (T Index)
- 8- Tectonic Activity Index (Iat)

- 1- Index of mountain front sinuosity (Smf)
- 2- Ratio of valley floor width to valley height (Vf)
- 3- Asymmetric factor (Af)
- 4- Percentage Undissected Escarpments (EU)



شکل ۳. نحوه محاسبه برخی از شاخص‌ها. الف (Smf، ب) Vf، پ، ت) به ترتیب Af و T در حوضه شماره ۱ در منطقه مورد مطالعه.

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

کوهستانی بسیار فعال، Vf بین ۰/۰۵ تا ۰/۵ متغیر است (Bull, 2007: 316).

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)

به طور کلی، این شاخص معمولاً نشان‌دهنده عدم تقارن در دو سمت یک حوضه زهکشی است. به عبارتی دیگر، عدم تقارن به وجود ویژگی‌ها و خصوصیات متنوع در دو طرف یک حوضه زهکشی اشاره می‌کند که این تفاوت‌ها ممکن است ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی، فرسایش یا دیگر فرآیندهای زمین‌شناسی باشند. این شاخص به عنوان ابزاری برای تحلیل کج‌شدگی ناشی از فرآیندهای تکتونیکی در حوضه زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرد (El Hamdouni et al., 2008: 156) و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Af = Ar/At \times 100$$

که در آن، Af عدم تقارن حوضه زهکشی، Ar مساحت سمت راست حوضه در جهت پایین‌دست رود (دید از سمت جریان رود) و At مساحت کل حوضه (شکل ۳ پ) است. در حالت تعادل، مقدار این شاخص برای شبکه‌های زهکشی معادل ۵۰ است که نشانه‌ای از تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و عدم کج‌شدگی ناشی از بالآآمدگی به شمار می‌آید. اگر مقادیر این شاخص بیشتر از ۵۰ باشد، به معنی وجود بالآآمدگی در ساحل راست است؛ در حالی که

شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره (VF)

نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن، به عنوان یکی دیگر از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، برای بررسی میزان تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه به کار می‌رود. این نسبت معمولاً در فاصله‌ای مشخص از پیشانی کوهستان و در مسیر بالادست رودخانه اندازه‌گیری می‌شود (Madadi et al., 2005: 132). این شاخص از فرمول زیر به‌دست می‌آید (Bull, 2007: 316).

$$Vf = 2V_{fw} / (Eld - Esc) + (Erd - Esc)$$

که در آن، Vf نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن، Vfw عرض کف دره، و Eld و Erd به ترتیب ارتفاع دامنه سمت چپ و راست دره از کف آن و Esc ارتفاع کف دره از سطح آب‌های آزاد را نشان می‌دهند (شکل ۳ ب). مقدار نسبت Vf می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند ویژگی‌های حوضه آبریز و نوع سنگ‌های زیرین قرار گیرد (Bull & McFadden, 1977). مقادیر بالای Vf نشان‌دهنده کم بودن بالآآمدگی است؛ به‌طوری‌که آبراهه‌ها بستر خود را فرسایش داده و این امر منجر به گسترش عرض دره خواهد شد. مقادیر پایین‌تر این شاخص نشان‌دهنده دره‌های V شکل و رودهایی است که بستر خود را به صورت عمیق فرسایش داده و معمولاً با بالآآمدگی همراه هستند. در مناطق

یابد. درصد نواحی بدون بریدگی در کوهستان می‌تواند با استفاده از معادله زیر محاسبه و تعیین شود:

$$EU = Lce/Ls$$

شاخص EU درصد نواحی بدون بریدگی در جبهه کوهستان است که در آن Lce نشان‌دهنده طول بخش‌های بدون بریدگی و Ls بیانگر طول کلی جبهه کوهستان می‌باشد. در شاخص Eu، فاصله بخش‌های بدون بریدگی در جبهه‌های کوهستانی اندازه‌گیری می‌شود. مقادیر این شاخص به صورت عددی بین ۰ و ۱ نمایش داده می‌شود. هرچه عدد بدست آمده به ۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده وجود وضعیت تکنیکی فعال‌تر است، در حالی که مقادیر کمتر از ۱ بیانگر وضعیت تکنیکی غیرفعال در منطقه می‌باشد (Mansouri et al., 2023: 46). عموماً در مناطق فعال تکنیکی، شاهد پرتگاه‌های پیوسته و بدون شکستگی در امتداد جبهه کوهستان هستیم که موجب افزایش مقادیر Eu در این نواحی می‌شود. در صورت مشاهده پرتگاه‌های بیشتری به صورت بریده شده در راستای جبهه کوهستان، این موضوع منجر به کاهش شاخص Eu خواهد شد (Ramirez-Herrera, 1988: 323).

شاخص درصد بخش‌های بریده شده جبهه کوهستان (FD)

این شاخص با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$FD = Lmfd/Ls$$

Lmf به درازای بخش‌های بریده شده و Ls به درازای مستقیم جبهه کوهستان اشاره دارد. در مناطقی که جبهه‌های کوهستانی فعال هستند، معمولاً میزان بریدگی‌ها کمتر به وضوح مشاهده می‌شود؛ در نتیجه، مقادیر شاخص درصد قسمت‌های بریده شده (Fd) نسبت به سایر نقاط پایین‌تر خواهد بود (Wells et al., 1988: 246)؛ به همین علت در نواحی کوهستانی که تحت تأثیر نیروهای زمین‌ساختی قرار دارند، پدیده شکاف و بریدگی به روشنی کاهش می‌یابد، زیرا این نیروها تمایل به ساماندهی زمین به صورت منظم دارند. این شاخص معمولاً در مقدراری بین ۰ و ۱ تعریف می‌شود؛ به طوری که نزدیک بودن مقدار آن به صفر دلالت بر فعال بودن جبهه‌های کوهستانی دارد و در مقابل، هرچه به

مقادیر کمتر از ۰.۵ نشان‌دهنده بالاآمدگی در ساحل چپ آبراهه اصلی می‌باشد (Saffari & Mansouri, 2013: 41).

شاخص درصد سطوح چند وجهی جبهه کوهستان (Fmf)

این شاخص به عنوان معیاری از یک منطقه کوهستانی در نظر گرفته می‌شود که تحت تأثیر فرآیندهای زمین‌ساختی، به ساختارهای چندوجهی تبدیل شده است (Maghsoudi et al., 2011). در مناطقی با فعالیت‌های تکنیکی بارز، استمرار و تحرک گسل‌ها منجر به ایجاد عوارض بزرگ و پیوسته چندوجهی خواهد شد و به عبارتی دیگر، بخش قابل توجهی از سطوح چندوجهی قابل مشاهده است (Wells et al., 1988: 251). نسبت بالای این سطوح به طور مستقیم بیانگر فعال بودن منطقه از نظر تکنیکی است. این شاخص از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$Fmf = \left(\frac{Lf}{Ls} \right) 100$$

در این شاخص، Fmf درصد سطوح چندوجهی در طول جبهه کوهستان را نشان می‌دهد، Lf مجموع طول اشکال چندوجهی، و Ls طول جبهه کوهستان به صورت خط مستقیم است. در مناطقی که کوهپایه و دشت به هم می‌رسند، رسوبات در محل خط گسل شکاف خورده و به شکل‌های مثلثی نمایان می‌شوند. این عوارض نشان‌دهنده جبهه‌های کوهستانی فعال از نظر تکنیکی هستند و به موازات افزایش فعالیت گسل، وضوح این اشکال نیز بیشتر می‌شود. بعلاوه، در نقاطی که مدت زمان زیادی از فعالیت گسل گذشته و نرخ فرسایش نسبت به نرخ جابجایی گسل بیشتر باشد، دره‌ها گسترده‌تر شده و این اشکال با زوایای گردتر نمایان می‌شوند (Wells et al., 1988: 251).

شاخص درصد بخش‌های بریده نشده جبهه کوهستان (EU)

در نواحی که فعالیت تکنیکی فعال است، جبهه کوهستان، پیوسته و بدون شکستگی دیده می‌شوند که نشان‌دهنده مقادیر بالای Eu است. با افزایش تعداد پرتگاه‌های بریده شده در طول جبهه کوهستان، انتظار می‌رود که مقادیر Eu کاهش

۱ نزدیک تر شود، نشانگر غیرفعالی و کاهش فعالیت های زمین ساختی در این مناطق خواهد بود (Saffari & Mansouri, 2013: 45; Mansouri & Sarbazi, 2017: 137).

شاخص شکل حوضه (Bs)

برای محاسبه این شاخص از فرمول زیر استفاده می شود:

$$BS = Bl / Bw$$

در این فرمول، Bs نشان دهنده شکل حوضه، Bl طول حوضه از نقطه سر چشمه تا دهانه (طول بالاترین و پایین ترین ارتفاع حوضه) و Bw پهنای حوضه است که در عریض ترین نقطه آن اندازه گیری می شود. مقادیر بالای این شاخص مربوط به حوضه های کشیده در نواحی فعال زمین ساختی می باشد، در حالی که مقادیر پایین تر نشان دهنده حوضه های دایره ای و مناطق غیرفعال هستند (Goorabi & Emami, 2017). به طور کلی، اگر مقادیر این شاخص بیش از ۴ باشد، بیانگر حوضه های طولی با فعالیت زمین ساختی قوی است. مقادیر بین ۳ تا ۴ نشان دهنده حوضه هایی با فعالیت زمین ساختی متوسط می باشد؛ در حالی که مقادیر کمتر از ۳ به دایره ای بودن و فعالیت کم زمین ساختی مرتبط می شود.

شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T)

فرمول این شاخص به صورت زیر تعریف می شود:

$$T = Da / Dd$$

در این رابطه، Da فاصله بین خط میانی حوضه و مسیر رود اصلی و Dd فاصله از خط میانی حوضه تا مرز را نشان می دهد که به طور معمول بر حسب متر اندازه گیری می شود (شکل ۳ ت). مقدار عددی این شاخص برای حوضه های کاملاً متقارن برابر صفر می باشد، در حالی که با افزایش عدم تقارن توپوگرافی در یک حوضه، مقدار این شاخص نیز

افزایش نشان می دهد و به عدد یک نزدیک می شود. بنابراین شاخص T برداری است که مقادیر آن مابین ۱-۰ در تغییر می باشد (Mansouri & Saffari, 2015: 100). شاخص T به عنوان معیاری برای سنجش فاصله رودخانه از خط مرکزی حوضه آبریز تعریف می شود. این شاخص زمانی که رودخانه به خط مرکزی نزدیک تر باشد، به سمت صفر می رود و با دور شدن از این خط، مقدار آن به ۱ نزدیک می شود. با توجه به توپوگرافی زمین، بدیهی است که مقدار T نمی تواند به ۱ برسد؛ زیرا در این حالت، مسیر رودخانه باید با خط تقسیم آب ها یا خط الراس منطقه هم را ستا باشد، حالتی که در طبیعت به ندرت مشاهده می شود. بنابراین، در مناطق با فعالیت تکتونیکی بسیار زیاد، ممکن است مقدار T به ۱ نزدیک شود.

شاخص فعالیت نسبی زمین ساخت (Relative Tectonic Activity Index - IAT)

جهت تجزیه و تحلیل و جمع بندی شاخص های ژئومورفیک، از این شاخص استفاده می شود تا وضعیت نسبی فعالیت های زمین ساختی در ناحیه مشخص گردد. محاسبه این شاخص از طریق رابطه زیر انجام می شود.

$$IAT = S/N$$

S مجموع رده های معین شده برای هر شاخص بر اساس معیارهای مدنظر در شاخص Iat و N، تعداد شاخص های مورد استفاده در ارزیابی را مشخص می کند. در طبقه بندی ارائه شده توسط (El Hamdouni et al., 2008)، این شاخص ها بر اساس مقدار کمی به دست آمده در چهار کلاس فعالیت طبقه بندی می شوند که کلاس ۱ بالاترین میزان فعالیت و کلاس ۴ کمترین فعالیت تکتونیکی را دارا می باشند (Error! Reference source not found.).

جدول ۱. طبقه بندی کلاس های فعالیت زمین ساختی در شاخص فعالیت نسبی زمین ساخت.

وضعیت فعالیت	کلاس ۱ (فعالیت زمین ساختی بسیار بالا)	کلاس ۲ (فعالیت زمین ساختی بالا)	کلاس ۳ (فعالیت زمین ساختی متوسط)	کلاس ۴ (فعالیت زمین ساختی کم)
مقادیر شاخص	$1 \leq S/n < 1/5$	$1/5 \leq S/n < 2$	$2 \leq S/n < 2/5$	$S/n \geq 2/5$

منبع: El Hamdouni et al. (2008)

۳. یافته‌های پژوهش

شاخص Smf

شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان، در راستای ۲۳ جبهه کوهستانی اصلی در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. مقادیر به دست آمده طیف نسبتاً یکنواختی را نشان می‌دهند، به طوری که مابین ۰/۹۱ تا ۱/۲۰ توزیع شده‌اند. بیشترین مقدار Smf مربوط به جبهه ۴ ($Smf=1/20$) در جنوب منطقه مورد مطالعه و منطبق بر گسل بونگانه و کمترین مقدار آن برای جبهه ۵ ($Smf=0/91$) واقع در غرب و منطبق بر گسل لاشار منطقه می‌باشد (شکل ۵). میانگین کل این شاخص نیز ۱/۰۷ به دست آمد.

جدول ۲). نتایج به دست آمده نشان‌دهنده این است که تأثیر تکتونیک در ناحیه مورد مطالعه از تأثیر فرسایش قوی‌تر است و بیشتر نواحی پیشانی کوهستان دارای ساختارهای خطی و مستقیمی به صورت پرتگاه‌های کوهستانی و خشن هستند (شکل ۴). عمده این مناطق در محدوده گسل‌های اصلی منطقه به ویژه گسل کاجه، لاشار و پیپ واقع شده‌اند (شکل ۵). به عبارت دیگر، این نتایج نشان‌دهنده فعالیت زمین ساختی بسیار بالا تا بالا در منطقه بوده و براساس مقدار میانگین، آن را در کلاس یک فعالیت قرار می‌دهد (جدول ۲). به طور کلی، ۵۶/۵۲٪ از جبهه‌های کوهستانی بررسی شده در کلاس یک و ۴۳/۴۷٪ دیگر آن‌ها در کلاس دو فعالیت دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۶ الف).

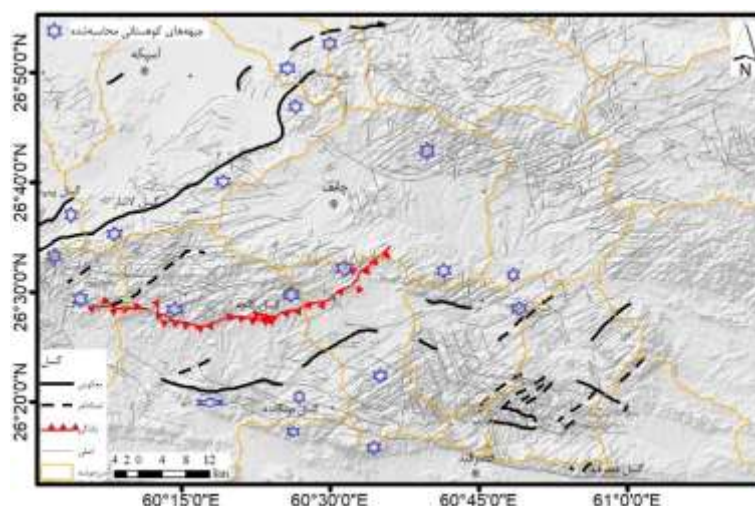
جدول ۲. مقادیر عددی اندازه‌گیری شده برای شاخص Smf در منطقه مورد مطالعه.

ردیف	Ls (km)	Lmf (km)	Smf	Iat	ردیف	Ls (km)	Lmf (km)	Smf	Iat
۱	۵/۶۲۶	۶/۰۶۹	۱/۰۷	۱	۱۳	۴/۴۷۰	۴/۶۰۸	۱/۰۳	۱
۲	۷/۵۵۰	۸/۵۳۸	۱/۱۳	۲	۱۴	۶/۵۵۲	۶/۵۹۱	۱	۱
۳	۵/۱۰۱	۵/۶۵۸	۱/۱۰	۲	۱۵	۱۷/۶۰۳	۹۱۸/۱۸	۱/۰۷	۱
۴	۷/۳۴۲	۸/۸۷۶	۱/۲۰	۲	۱۶	۱۷/۵۳۵	۲۰/۰۱۲	۱/۱۴	۲
۵	۳۵/۳۹۸	۳۲/۲۷۰	۰/۹۱	۱	۱۷	۴/۵۰۸	۴/۸۴۰	۱/۰۷	۱
۶	۷/۰۷۴	۷/۹۱۳	۱/۱۱	۲	۱۸	۵/۰۵	۵/۷۳۴	۱/۱۳	۲
۷	۳/۴۵۴	۳/۸۲۴	۱/۱۰	۲	۱۹	۱۴/۶۹۵	۱۶/۷۴۴	۱/۱۳	۲
۸	۵/۲۴۵	۵/۴۴۸	۱/۰۳	۱	۲۰	۱۴/۷۲۰	۱۵/۹۶۶	۱/۰۸	۱
۹	۲/۵۵۴	۲/۹۰۵	۱/۱۴	۲	۲۱	۴/۰۳۱	۴/۱۵۴	۱/۰۳	۱
۱۰	۵/۲۸۹	۵/۳۳۵	۱	۱	۲۲	۱۱/۶۲۳	۱۳/۷۴۶	۱/۱۸	۲
۱۱	۴/۲۶۴	۴/۳۳۹	۱/۰۱	۱	۲۳	۸/۷۵۶	۹/۲۸۵	۱/۰۶	۱
۱۲	۹/۴۹۱	۹/۶۰۹	۱/۰۱	۱	میانگین	-	-	۱/۰۷	۱

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴



شکل ۴. نمونه‌ای از جبهه‌های کوهستانی در محاسبه شاخص Smf (سمت چپ) نمونه‌ای از دره‌های منطقه مورد مطالعه در محاسبه شاخص Vf. منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴



شکل ۵. در این نقشه توزیع فضایی مهم‌ترین گسل‌های منطقه و موقعیت برخی از محورها و جبهه‌های اصلی برای محاسبه شاخص‌هایی همچون SMF, FMF, FD, EU, VF نشان داده شده است. علامت ستاره آبی رنگ، محورهای مورد محاسبه را نشان می‌دهد. منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴



شکل ۶. نمودارهای کلاسه‌بندی برخی شاخص‌ها؛ الف) شاخص Smf، ب) شاخص Vf، پ) شاخص Af، ت) شاخص T. منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

شاخص VF

به منظور محاسبه شاخص VF، نخست در ۳۳ مقطع پروفیل‌های مناسب در مسیر آبراهه‌های اصلی ایجاد شد سپس اقدام به محاسبه این شاخص بطور جداگانه برای هر حوضه گردید. کمترین مقدار عددی به دست آمده که نشان دهنده میزان فعالیت بالا در منطقه است مربوط به دره شماره ۲۳ با مقدار $Vf = 0.05$ می‌باشد که در محدوده‌ی گسل کاجو قرار دارد (شکل ۵). بیشترین مقدار عددی این

شاخص برای دره شماره ۲۸ با مقدار عددی برابر با ۳/۸۱ بوده که گویای وضعیت نسبتاً غیرفعال در این بخش می‌باشد (جدول ۳). میانگین کل این شاخص نیز برابر با عدد ۰/۴۲ بدست آمد، که از این نظر منطقه مورد مطالعه در کلاس یک فعالیت (بسیار بالا) جای می‌گیرد. در مجموع، حدود ۸۲٪ از دره‌های بررسی‌شده در کلاس یک، ۱۲٪ کلاس دو و ۶٪ در کلاس سه دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۶ ب). این یافته‌ها با شواهد میدانی موجود در منطقه (در صد بالایی از دره‌های

ژرف، باریک و (۷ شکل) مورد تایید قرار می گیرند (شکل ۴).

جدول ۳. مقادیر عددی اندازه گیری شده شاخص V_f در محدوده مطالعاتی.

شماره دره	VFW (m)	ELD (m)	ELR (m)	ESC (m)	VF	IAT	شماره دره	VFW (m)	ELD (m)	ELR (m)	ESC (m)	VF	IAT
۱	۲۴/۰۴	۱۰۷۹	۱۰۲۱	۹۱۹	۰/۱۸	۱	۱۸	۸/۵۱	۸۶۸	۸۵۳	۷۴۳	۰/۰۷	۱
۲	۲۸	۱۳۸۵	۱۳۸۰	۱۳۵۰	۰/۸۶	۲	۱۹	۱۲/۵۵	۱۲۴۲	۱۲۱۱	۱۰۹۶	۰/۰۹	۱
۳	۲۸	۱۲۶۰	۱۲۵۲	۱۲۱۸	۰/۷۳	۲	۲۰	۳۰	۱۴۱۹	۱۳۸۲	۱۲۸۰	۰/۲۴	۱
۴	۱۸/۹۰	۱۱۲۰	۱۱۰۵	۹۱۱	۰/۰۷	۱	۲۱	۱۱/۵۵	۱۲۱۳	۱۲۱۶	۱۱۰۱	۰/۱۰	۱
۵	۵۰/۵۳	۱۱۸۰	۱۱۰۰	۹۴۰	۰/۲۵	۱	۲۲	۲۵	۱۴۹۷	۱۴۹۸	۱۲۹۶	۰/۱۲	۱
۶	۱۶/۱۲	۱۱۹۰	۱۱۵۸	۱۱۲۵	۰/۲۵	۱	۲۳	۶/۰۱	۱۲۹۹	۱۲۸۲	۱۱۸۵	۰/۰۵	۱
۷	۲۰/۰۳	۱۱۸۹	۱۲۲۵	۱۰۱۹	۰/۱۰	۱	۲۴	۳۷	۱۳۴۸	۱۳۲۰	۱۱۳۵	۰/۲۰	۱
۸	۲۸	۱۲۷۹	۱۲۲۰	۱۲۲۰	۰/۴۷	۱	۲۵	۱۸/۲۲	۱۰۷۷	۱۰۷۹	۹۴۰	۰/۱۳	۱
۹	۷۰	۹۰۰	۹۵۰	۶۲۰	۰/۲۲	۱	۲۶	۲۶	۱۰۲۵	۱۰۱۹	۹۰	۰/۱	۱
۱۰	۲۴/۳	۱۲۲۸	۱۲۳۵	۱۱۰۴	۰/۱۹	۱	۲۷	۳۵/۲۱	۱۲۹۰	۱۲۰۰	۱۰۷۴	۰/۲۰	۱
۱۱	۱۷	۱۰۶۹	۱۰۸۱	۹۵۹	۰/۱۴	۱	۲۸	۶۷	۱۲۴۳	۱۲۴۰	۱۲۲۵	۳/۸۱	۳
۱۲	۲۷/۴۶	۱۱۸۹	۱۱۹۷	۱۰۷۱	۰/۲۲	۱	۲۹	۳۶	۱۲۴۷	۱۲۲۰	۱۱۲۰	۰/۳۱	۱
۱۳	۱۷	۱۰۷۵	۱۰۸۸	۱۰۱۰	۰/۲۳	۱	۳۰	۱۹	۱۰۷۸	۱۰۱۹	۹۸۱	۰/۲۸	۱
۱۴	۱۰۰	۱۰۰۳	۱۰۳۳	۸۰۲	۰/۴۶	۱	۳۱	۴۴	۱۱۱۹	۱۱۱۰	۱۰۳۰	۰/۵۲	۲
۱۵	۶۳	۹۷۸	۹۸۰	۸۲۱	۰/۳۹	۱	۳۲	۳۳/۲۶	۱۲۹۷	۱۲۹۷	۱۲۲۳	۰/۴۴	۱
۱۶	۳۲/۲۹	۷۷۲	۷۷۰	۷۳۰	۰/۷۸	۲	۳۳	۱۴۲	۱۱۰۰	۱۱۱۶	۱۰۰۰	۱/۳۱	۳
۱۷	۴۸	۹۳۰	۱۰۳۸	۸۲۵	۰/۲۸	۱	میانگین	-	-	-	-	۰/۴۲	۱

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

شاخص Fmf

برای محاسبه این شاخص نخست با بررسی منطقه مورد مطالعه، حدود ۲۰ جبهه کوهستانی اصلی (شکل ۵) که در امتداد آن ها سطوح مثلثی شکل و چندوجهی تشکیل شده بود تعیین و محاسبات مربوطه انجام شد. مقادیر اندازه گیری شده در جدول ۴ ارایه شده اند. همان طور که این جدول نشان می دهد، مقادیر شاخص Fmf مابین ۱۱۸/۴۱ (مربوط به جبهه شماره ۱۴) تا ۳۵۶ (مربوط به جبهه شماره ۲) متغیر بوده است. همچنین، میانگین این شاخص در منطقه

مورد مطالعه برابر ۲۳۶/۰۳ به دست آمد (جدول ۴). درصد بالای این سطوح نشان دهنده وضعیت فعالیت تکتونیکی بالا در این منطقه از کمر بند کوهستانی مکران است. از جمله عواملی که باعث افزایش مقدار شاخص Fmf در منطقه شده، می توان به وجود و عملکرد انواع گسل های متعدد و لیتولوژی مقاوم اشاره کرد که منجر به ایجاد سطوح چندوجهی فراوان و متعدد به صورت پرتگاه های گسلی شده است (شکل ۷).



شکل ۷. تصاویری از وجود اشکال مثلثی و چندضلعی در منطقه مورد مطالعه؛ سمت چپ (Google Earth، راست) بازدید میدانی.

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

جدول ۴. نتایج حاصل از محاسبه شاخص Fmf در منطقه مورد مطالعه.

مجموع مساحت	Fmf	Ls (m)	Lf (m)	جبهه کوهستان	مجموع مساحت	Fmf	Ls (m)	Lf (m)	جبهه کوهستان
۴۰/۸۸۶	۲۰۶/۱۰	۱۲۲۹	۲/۵۳۳	۱۱	۶۵۷/۸۲۰	۲۲۹/۳۳۱	۳۳۸۲	۷/۷۵۶	۱
۱۹۴/۰۷۳	۱۴۹/۰۲	۳۴۴۱	۵/۱۲۸	۱۲	۵۴۲/۳۵۷	۳۵۶/۰۴	۱۷۳۶	۶/۱۸۱	۲
۹۵/۷۵۶	۲۴۸/۶۹	۱۲۹۸	۳/۲۲۸	۱۳	۳۳۸/۷۰۲	۳۱۷/۲۳	۲۴۸۹	۷/۸۹۶	۳
۳۸۰/۴۳۶	۱۱۸/۴۱	۶۷۴۳	۷/۹۸۵	۱۴	۳۴/۹۹۱	۱۲۰/۳۷	۲۶۹۵	۳/۲۴۴	۴
۲۷۱/۳۹۴	۲۲۱/۸۲	۲۶۶۷	۵/۹۱۶	۱۵	۳۳۸/۵۲۸	۲۴۲/۰۲	۲۷۴۱	۶/۶۳۴	۵
۲۳۱/۹۷۶	۲۵۲/۲۱	۱۴۴۶	۳/۶۴۷	۱۶	۳۶/۷۳	۲۳۷/۳۷	۲۸۰۲	۶/۶۴۹	۶
۲۰۵۶/۲۱۷	۲۵۱/۲۸	۶۳۱۰	۱۵/۸۵۶	۱۷	۲۴۷/۰۴	۲۸۱/۴۲	۱۷۵۵	۶/۹۳۹	۷
۰۶۶۲۲۵۷	۲۴۵/۷۳	۵۰۶۶	۱۲/۴۴۹	۱۸	۹۶/۰۳۵	۲۲۵/۸۱	۱۴۳۷	۳/۲۴۵	۸
۳۰۶/۱۹۳	۲۵۷/۰۵	۲۶۹۲	۶/۹۲۰	۱۹	۷۰/۱۹۹	۲۸۹/۲۸	۸۱۲	۲/۳۴۹	۹
۱۹۲۹/۹۳۰	۲۴۱/۸۶۶	۶۲۱۵	۱۵/۰۳۲	۲۰	۳۶۱/۶۶۶	۲۲۹/۵۵۵	۳۵۲۹	۸۱۰۱	۱۰
۲۳۶/۰۳					میانگین				

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

شاخص FD

محاسبه و اندازه گیری این شاخص در ۱۶ جبهه کوهستانی گوناگون در منطقه مورد مطالعه انجام شده است (شکل ۵؛ جدول ۵). به طور کلی، نتایج محاسبات نشان دهنده مقادیر عددی پایین و طیف نسبتاً یکنواخت با دامنه تغییر پذیری کم است. به عبارت دیگر، کمترین و بیشترین مقدار محاسبه شده

به ترتیب حدود ۰/۱۸ برای جبهه شماره ۷ و ۰/۴۱ برای جبهه شماره ۲ بوده است. همچنین، میانگین کل برای منطقه، برابر عدد ۰/۲۹ بدست آمد (جدول ۵). این مقادیر پایین حاکی از تاثیر بالای نیروهای درونی و وضعیت فعال زمین ساختی در منطقه است که منجر به بریدگی های نسبتاً کم شده است (شکل ۸).



شکل ۸. نمایی از بخش های بریده شده جبهه کوهستان (سمت راست) و بریده نشده (سمت چپ) بر روی تصاویر Google Earth.

جدول ۵. نتایج حاصل از محاسبه شاخص درصد بخش‌های بریده شده جبهه کوهستان.

شماره جبهه	Lmfd (m)	Ls (m)	FD	شماره جبهه	Lmfd (m)	Ls (m)	FD
۱	۲۰۱۴	۵۷۱۰	۰/۳۵	۹	۱۱۰۹	۳۳۳۹	۰/۳۳
۲	۱۳۶۶	۳۲۵۸	۰/۴۱	۱۰	۱۹۰۷	۹۰۴۹	۰/۲۱
۳	۱۲۲۰	۳۲۸۵	۰/۳۵	۱۱	۲۰۱۸	۸۵۵۲	۰/۲۳
۴	۱۵۳۹	۳۷۸۶	۰/۴۰	۱۲	۱۱۶۰	۴۹۴۸	۰/۲۳
۵	۵۸۸/۳	۱۷۱۶	۰/۳۴	۱۳	۹۵۴/۱	۴۴۹۱	۰/۲۱
۶	۳۰۷/۴	۱۲۲۹	۰/۲۵	۱۴	۷۷۳	۲۶۸۸	۰/۲۵
۷	۵۴۳	۲۹۸۶	۰/۱۸	۱۵	۳۲۳/۴	۱۳۲۹	۰/۲۶
۸	۹۸۶/۱	۳۲۰۳	۰/۳۰	۱۶	۷۲۹/۲	۳۳۲۴	۰/۲۱
میانگین				۰/۲۹			

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

شاخص EU

از آنجایی که این شاخص مکمل شاخص FD به‌شمار می‌آید، برای محاسبه آن، در راستای همان جبهه‌های تعیین شده برای شاخص FD اقدام شد. مقادیر محاسبه شده برای این شاخص طیف با دامنه تغییرپذیری متوسطی را نشان می‌دهد؛ به‌طوری که مقادیر آن مابین ۰/۴۱ تا ۰/۷۲ متغیر بوده، همچنین میانگین کل آن در منطقه نیز برابر با ۰/۵۶

اندازه‌گیری شده است (جدول ۶). این مقادیر نشان‌دهنده درصد نسبتاً متوسط تا بالایی از بخش‌های بریده‌نشده جبهه‌های کوهستانی منطقه مورد مطالعه هستند که در بیشتر موارد به صورت دیواره‌های ممتد و گاه‌به‌گاه به شکل پرتگاه‌های گسلی و مستقیم نمود بیرونی یافته‌اند (شکل ۸).

جدول ۶. نتایج حاصل از بررسی شاخص درصد بخش‌های بریده نشده جبهه کوهستان

شماره جبهه	Lce (m)	Ls (m)	EU	شماره جبهه	Lce (m)	Ls (m)	EU
۱	۲۸۲۸	۵۷۱۰	۰/۴۹	۹	۱۶۴۴	۳۳۳۹	۰/۵۸
۲	۱۸۲۷	۳۲۵۸	۰/۵۶	۱۰	۵۳۵۷	۹۰۴۹	۰/۵۹
۳	۲۰۵۱	۳۴۸۵	۰/۵۸	۱۱	۳۵۹۴	۸۵۵۲	۰/۴۲
۴	۲۰۶۰	۷۸۶	۰/۵۴	۱۲	۳۲۹۴	۴۹۴۸	۰/۶۶
۵	۱۰۷۹	۱۷۱۶	۰/۶۲	۱۳	۱۹۶۵	۴۴۱	۰/۴۳
۶	۹۱۵/۲	۱۲۲۹	۰/۷۴	۱۴	۱۱۱۶/۷	۲۶۸۸	۰/۴۱
۷	۲۰۲۷/۲	۲۹۸۶	۰/۶۷	۱۵	۸۸۹/۵	۱۳۲۹	۰/۶۶
۸	۱۸۸۲	۳۲۰۳	۰/۵۸	۱۶	۱۶۲۳/۵	۳۳۲۴	۰/۴۸
میانگین				۰/۵۶			

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

شاخص AF

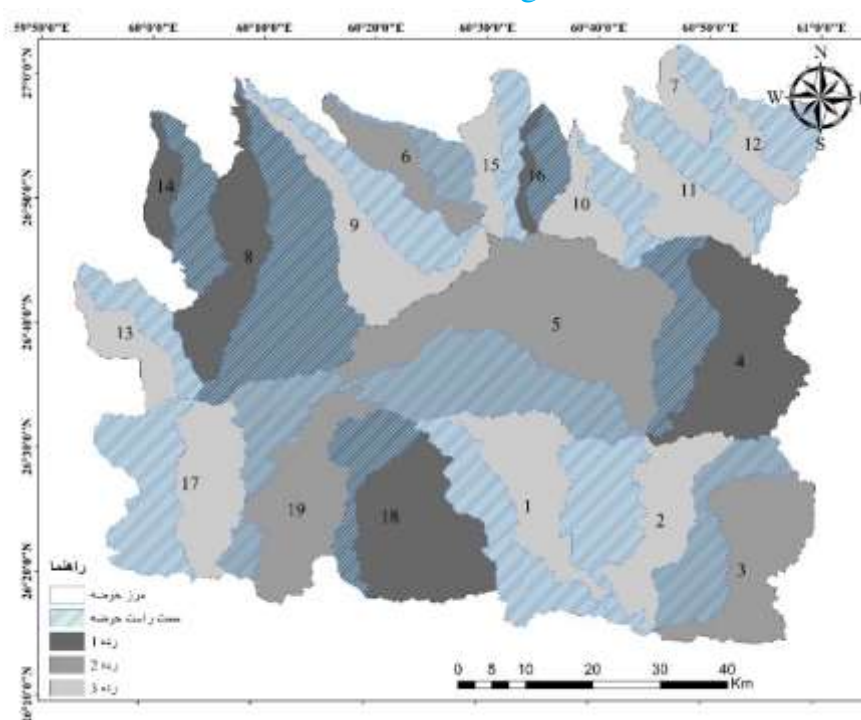
محاسبات مربوط به این شاخص در ۱۹ حوضه آبخیز گوناگون در منطقه انجام شده است. براساس محاسبات صورت گرفته، بیشترین میزان این شاخص در حوضه شماره ۱۶ ($Af=67/9$) در بخش شمالی منطقه و کمترین میزان آن در حوضه ۱۸ ($Af=26/3$) در بخش جنوبی منطقه

اندازه‌گیری شده است (جدول ۷). نتایج نشان می‌دهند که حوضه‌های آبخیز منطقه براساس میزان کج‌شدگی در سه طبقه قرار می‌گیرند (شکل ۶ و شکل ۹). وجود کج‌شدگی در حوضه‌ها بیانگر زمین‌ساخت پویا به واسطه حضور و عملکرد گسل‌های امتداد لغز لاشار و تراستی کاجو در منطقه است.

جدول ۷. ارزش‌های عددی اندازه‌گیری شده برای شاخص Af در منطقه مورد مطالعه.

lat	Af-50	Af	At (km ²)	Ar (km ²)	حوضه	lat	Af-50	Af	At (km ²)	Ar (km ²)	حوضه
۳	-۴/۶	۴۵/۴	۲۹۵	۱۳۴	۱۱	۳	-۰/۶۲	۴۹/۳	۴۸۲	۲۳۸	۱
۳	۶	۵۶	۱۶۰۰	۹۱	۱۲	۳	۰/۴۴	۵۰/۴	۴۴۸	۲۲۶	۲
۳	-۲/۵	۴۷/۵	۲۰۶	۹۸	۱۳	۲	-۹	۴۱/۰	۴۹۵	۲۰۳	۳
۱	۱۶/۸	۶۶/۸	۱۹۶	۱۳۱	۱۴	۱	-۱۹/۴	۳۰/۶	۵۵۴	۱۷۰	۴
۳	۰/۶۰	۵۰/۶	۱۶۴	۸۳	۱۵	۲	-۱۴/۵	۳۵/۵	۱۰۱۹	۳۶۲	۵
۱	۱۷/۹	۶۷/۹	۱۰۳	۷۰	۱۶	۲	-۱۰/۵	۳۹/۵	۲۰۵	۸۱	۶
۳	۲/۴	۵۲/۴	۴۵۸	۲۴۰	۱۷	۳	-۲/۶	۴۷/۴	۱۱۸	۵۶	۷
۱	-۲۳/۷	۲۶/۳	۴۸۹	۱۲۹	۱۸	۱	۱۵/۵	۶۵/۵	۷۲۰	۴۷۲	۸
۲	-۱۱/۴	۳۸/۶	۴۸۶	۱۸۸	۱۹	۳	-۶/۹	۴۳/۱	۴۲۶	۱۸۴	۹
						۳	-۳/۹	۴۶/۱	۱۹۳	۸۹	۱۰

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴



شکل ۹. طبقه‌بندی شاخص Af براساس نتایج به‌دست آمده از محاسبات.

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

شاخص Bs

شاخص Bs در ۱۹ حوضه اصلی موجود در منطقه،

محاسبه‌شده و نتایج آن در

جدول ۸ ارائه شده است. به‌طور کلی، این نتایج نشان

می‌دهند که حوضه‌های مورد مطالعه در رده‌های ۲ و ۳

فعالیت زمین ساختی قرار دارند. به عبارت دقیق‌تر، کم‌ترین و

بیشترین مقدار محاسبه‌شده برای این شاخص به ترتیب متعلق

به حوضه‌های شماره ۱۸ با مقدار عددی ۱/۲۳ و حوضه

شماره ۱ با مقدار عددی ۲/۲۹ است که گویای فعالیت‌های

زمین ساختی نسبتاً پایین تا متوسط می‌باشد (

جدول ۸). به‌طور کلی، شکل حوضه‌ها و نتایج این شاخص

علاوه بر اینکه به‌طور مستقیم از دخالت نیروهای زمین ساختی

متاثر می‌شود، تحت تأثیر لیتولوژی‌های گوناگون نیز قرار

می‌گیرد. بنابراین، معمولاً مقادیر عددی بالاتر نشان‌دهنده

وجود فعالیت‌های زمین ساختی بالاتر یا لیتولوژی‌های

مقاوم‌تری است که در نهایت منجر به کشیدگی شکل

حوضه‌ها می‌شوند؛ در حالی که مقادیر پایین‌تر این شاخص نشان از فعالیت‌های زمین‌ساختی کمتر و تأثیر بیشتر فرسایش بر شکل حوضه است که سرانجام باعث گردشگری

حوضه‌ها می‌شود. بدین ترتیب، با توجه به مقادیر حاصله، مشخص می‌شود که غالب حوضه‌های مورد مطالعه متأثر از تداوم نیروهای نوزمین‌ساختی دچار کشیدگی شده‌اند.

جدول ۸. نتایج عددی حاصل از محاسبه شاخص Bs.

حوضه	Bw (km)	Bl (km)	Bs	Iat	حوضه	Bw (km)	Bl (km)	Bs	Iat
۱	۱۵/۵۵	۳۵/۶۶	۲/۲۹	۲	۱۱	۱۷/۰۴	۳۱/۳۷	۱/۸۴	۳
۲	۲۰/۳۲	۲۹/۸۹	۱/۴	۳	۱۲	۱۴/۷۹	۱۸/۷۰	۱/۲۶	۳
۳	۲۲/۱۱	۳۳/۸۲	۱/۵۲	۳	۱۳	۱۱/۷۵	۲۵/۶۶	۲/۱۸	۲
۴	۲۳/۴۶	۳۰/۹۴	۱/۳۱	۳	۱۴	۱۰/۸۰	۲۶/۲۰	۲/۴۲	۲
۵	۲۷/۰۵	۴۶/۸۶	۱/۷	۳	۱۵	۲۶/۸۳	۴۵/۸۲	۱/۷۰	۳
۶	۱۱/۵۳	۲۹/۱۲	۲/۵	۲	۱۶	۷/۴۶	۱۶/۲۰	۲/۱۷	۲
۷	۹/۴۶	۱۶/۴۰	۱/۷	۳	۱۷	۱۹/۹۹	۲۷/۳۴	۱/۳۶	۳
۸	۲۷/۶۵	۴۵/۰۵	۱/۶	۳	۱۸	۲۲/۹	۲۸/۳۹	۱/۲۳	۳
۹	۱۸/۸۳	۴۳/۳۱	۲/۳	۲	۱۹	۱۶/۴۹	۳۴/۲۶	۲/۰۷	۲
۱۰	۱۸/۷۹	۲۳/۷۳	۱/۲۶	۳					

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

شاخص T

مقادیر شاخص T در منطقه مورد بررسی با اندازه‌گیری Da و Dd برای ۱۹ حوضه اصلی منطقه، در چندین نقطه به‌طور مساوی از پایاب تا سرچشمه رودخانه محاسبه شد؛ سپس، از مجموع آن‌ها میانگین گرفته‌شد تا عدد نهایی نمایانگر کل مسیر رودخانه با شد. مقادیر محاسبه شده برای این شاخص که در

جدول ۹ ارایه شده‌اند، طیف نسبتاً گسترده‌ای با دامنه عددی متغیری را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، یافته‌های این شاخص نشان می‌دهند، جزء دو سه مورد از حوضه‌های مورد مطالعه که مقادیر پایینی را که حاکی از وجود تقارن نسبی توپوگرافی است، نشان می‌دهند، اما غالب حوضه‌های منطقه مقادیر نسبتاً بالایی را نشان می‌دهند (

جدول ۹). این موضوع، گویای وجود عدم تقارن توپوگرافی و کج‌شدگی در شبکه‌زهکشی حوضه‌ها بر اثر تداوم نیروهای درونی به‌صورت فراخاست می‌باشد. به‌طور کلی، براساس یافته‌های به‌دست آمده، این شاخص در چهار رده فعالیت (پایین، متوسط، بالا و بسیار بالا) دسته‌بندی شد (جدول ۹). همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد، کم‌ترین بیشترین مقدار محاسبه شده به ترتیب متعلق به حوضه شماره ۱۷ با کمیت ۰/۰۷ و حوضه شماره ۱۶ با کمیت ۰/۵۳ است. این حوضه‌ها به ترتیب در کلاس فعالیت ۴ و ۲ قرار می‌گیرند. همان‌طور که در شکل ۶ نیز نشان داده شده است، در مجموع حدود ۴۷٪ حوضه‌های منطقه مورد مطالعه، در وضعیت فعالیت زمین‌ساختی متوسط تا بالا طبقه‌بندی شده، که این موضوع گویای تداوم نیروهای نوزمین‌ساختی و وجود وضعیتی نسبتاً پویا در منطقه است.

جدول ۹. نتایج حاصل از بررسی شاخص تقارن توپوگرافی عرضی.

حوضه	Da (km)	Dd (km)	T	کلاس	حوضه	Da (km)	Dd (km)	T	کلاس
۱	۲/۱۹	۸/۱۱	۰/۲۷	۳	۱۱	۰/۸۵	۵/۵۴	۰/۱۵	۴
۲	۱/۴۵	۷/۹۳	۰/۱۸	۴	۱۲	۱/۰۴	۴/۵۲	۰/۲۳	۴
۳	۲/۱۲	۷/۳۰	۰/۲۹	۳	۱۳	۱/۶۲	۴/۴۸	۰/۳۶	۳
۴	۱/۹۱	۷/۶۱	۰/۳۳	۳	۱۴	۰/۴۶	۳/۴۵	۰/۱۳	۴

۵	۳/۰۲	۱۰/۸۷	۰/۲۷	۳	۱۵	۰/۳۲	۲/۹۶	۰/۱۰	۴
۶	۱/۷۲	۳/۸۷	۰/۴۴	۳	۱۶	۱/۷۳	۳/۲۴	۰/۵۳	۲
۷	۰/۹۲	۳/۹	۰/۲۳	۴	۱۷	۰/۷۹	۱۰/۳۲	۰/۰۷	۴
۸	۱/۶۷	۷/۶۹	۰/۲۱	۴	۱۸	۳/۱۰	۱۰/۹۷	۰/۲۸	۳
۹	۰/۶۴	۴/۴۰	۰/۱۴	۴	۱۹	۳/۱۵	۷/۰۷	۰/۴۴	۳
۱۰	۰/۸۹	۴/۲۷	۰/۲۰	۴					

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

شاخص (IAT)

پس از محاسبه و اندازه‌گیری هشت شاخص تعیین شده در این پژوهش برای بررسی وضعیت فعالیت‌های زمین‌ساختی در بخش مرکزی زون برافزایشی مکران، نتایج و طبقه‌بندی‌های انجام شده برای آن‌ها در یک شاخص واحد با

عنوان شاخص فعالیت نسبی زمین ساخت (IAT) ترکیب و

یکپارچه شد. نتایج به‌دست آمده از این شاخص در جدول ۱۰ نشان داده شده است. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد، این شاخص در کلاس دو فعالیت قرار می‌گیرد، که حاکی از میزان فعالیت زمین‌ساختی شدید یا بالا در منطقه مورد مطالعه است.

جدول ۱۰. مقادیر شاخص فعالیت نسبی زمین ساخت در منطقه مورد مطالعه.

شاخص‌ها		Smf	Fmf	FD	EU	VF	Af	Bs	T
کلاس شاخص‌ها		۱	-	۱	۲	۱	۳	۳	۱
S/n						۱/۷			
کلاس IAT						۲			

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۴

۴. بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق ارزیابی نسبی وضعیت زمین ساخت پویا در منطقه آهوران-لاشار واقع در شمال شهرستان نیکشهر، استان سیستان و بلوچستان از طریق بررسی و محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک Smf، Vf، Fmf، Eu، T، Bs، Af، Fd و نیز شواهد ژئومورفولوژیکی محدوده مورد مطالعه بوده است. در منطقه آهوران-لاشار پیچ و خم جبهه کوهستان، جبهه کوهستانی بریده نشده، وجود اشکال مثلثی، کج شدگی آبراهه، دره‌های ژرف، تند و V شکل، عدم شکل‌گیری کوهپایه‌ها حاکی از وجود فعالیت زمین‌ساختی در این منطقه می‌باشد. هر یک از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی مورد استفاده در این پژوهش، یک نوع طبقه‌بندی نسبی از این فعالیت‌ها را ارائه می‌دهند و می‌توانند برای مطالعات اولیه و مقدماتی متمر ثمر واقع گردند. برای این منظور در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی نقش زمین ساخت پویا در منطقه مورد مطالعه از شاخص‌های

ژئومورفیک گوناگونی استفاده شد که مهم‌ترین نتایج

حاصل از آن‌ها به شرح ذیل می‌باشد:
 شاخص Smf در ۲۳ قطعه از جبهه‌های کوهستانی منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. میانگین این شاخص عدد پایین ۱/۰۷ می‌باشد. همچنین، اکثر جبهه‌های کوهستانی در رده ۱ قرار گرفته‌اند که این وضعیت نشان‌دهنده بالا بودن میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی در این نواحی از منطقه مورد مطالعه است. شواهد ژئومورفولوژیکی نظیر عدم تشکیل کوهپایه، مقادیر پایین این شاخص را نیز تایید می‌کنند. برپایه نتایج این شاخص قسمت جنوبی منطقه مطالعاتی که عمدتاً منطبق بر توالی‌های مکرر ماسه‌سنگ و شیل‌های ائوسن هستند، فعال‌تر از دیگر قسمت‌ها خصوصاً جنوب شرق و شمال غرب می‌باشد. در قسمت جنوب غربی بیشتر جبهه‌های کوهستانی در رده ۲ دسته‌بندی شده و دارای وضعیت نیمه‌فعال هستند. به‌نظر می‌رسد در قسمت شمال غربی، فعالیت‌های زمین‌ساختی متأثر از جنبش‌های گسل لاشار و

مطالعاتی (یعنی بخش جنوب و جنوب غربی) که بخش اعظم اشکال مثلثی در آنجا تشکیل شده، از تناوب موزون ماسه سنگ لایه‌ای و شیل با کمی سنگ سیلتی، کنگلومرا، سنگ آهک، توف و سنگ آتشفشانی تشکیل شده و در بخش هلونچکان که اشکال مثلثی بیشتری دیده می‌شود شامل شیل سیلتی خاکستری، ماسه سنگ، ماسه سنگ توده‌ای همراه با شیل و کمی فرش سنگ می‌باشد. بنابراین، همان‌طور که ملاحظه می‌شود، حضور لیتولوژی متنوع و متفاوت با مقاومت‌های بالا تا نسبتاً بالا در برابر فرسایش، نهایتاً منجر به ایجاد و توسعه وجوه مثلثی شکل فراوان و گسترده در منطقه شده است.

ارزیابی شاخص‌های FD و EU در ۱۶ جبهه کوهستانی محاسبه شد. شواهد میدانی این شاخص‌ها دال بر وجود فعالیت زمین‌ساختی همانند دیگر شاخص‌ها بیشتر در قسمت جنوبی منطقه مطالعاتی موجود بوده است. معمولاً در مناطق فعال زمین‌ساختی، در امتداد جبهه‌های کوهستانی، پرتگاه‌های ممتد و بدون بریدگی دیده می‌شود و بنابراین مقدار EU در این مناطق زیاد خواهد بود. مقدار میانگین به دست آمده برای این شاخص برابر ۰/۵۶ می‌باشد که نشان‌دهنده بالا بودن فعالیت زمین‌ساختی می‌باشد. با توجه به جدول ۶ کمترین مقدار برای شاخص EU مربوط به جبهه شماره ۱۳ با کمیت ۰/۴۱ و بیشترین مقدار آن مربوط به جبهه ۶ با کمیت ۰/۷۵ می‌باشد. شاخص FD متأثر از عملکرد گسل‌هایی است که در مناطق حاشیه‌ای جبهه‌های کوهستانی فعالیت دارند. در مناطق فعال زمین‌ساختی، جبهه‌های کوهستانی کمتر بریده شده و بنابراین مقدار این شاخص پایین خواهد بود. مقدار بدست آمده برای این شاخص برابر ۰/۲۹ است که حاکی از فعال بودن این منطقه می‌باشد. برای این شاخص کمترین مقدار در جبهه ۷ با ۰/۱۸ و بیشترین مقدار آن در جبهه ۲ با ۰/۴۱ محاسبه شد. تاثیر وجود لیتولوژی متنوع و مقاوم در امتداد جبهه‌های مورد گزینش برای این شاخص‌ها نیز همانند دیگر موارد مشروح در بالا می‌باشد.

پیپ باشد. جبهه‌های کوهستانی که در اطراف گسل کاجه در نظر گرفته شده نیز نشان‌دهنده بالا بودن کلاس فعالیت است. به‌طور کلی، انطباق و هم‌پوشانی یافته‌های به‌دست آمده برای شاخص‌هایی که در امتداد جبهه‌های کوهستانی گزینش شده در منطقه مورد مطالعه (برای مثال شاخص‌های Smf, FD, EU, FMF و حتی Vf) محاسبه و اندازه‌گیری شده‌اند، با داده‌های لیتولوژیک به‌روشنی نقش و تاثیر تداوم فرایندهای زمین‌ساختی-فراخاست بر روی لیتولوژی مقاوم تا نسبتاً مقاوم سنگ آهک، ماسه سنگ همراه با شیل در ایجاد جبهه‌های کوهستانی مستقیم با حداقل بریدگی و با پرتگاه‌های گسلی فراوان را نشان می‌دهد.

برپایه یافته‌های شاخص Vf، منطقه مورد مطالعه به شدت فعال است. به دلیل قرارگیری گسل کاجو در جنوب غرب منطقه، فعالیت‌های تکتونیکی در این قسمت باعث ایجاد دره‌های V شکل شده است. بطور کلی قسمت جنوب و جنوب غربی منطقه فعال تر می‌باشد. همچنین، در قسمت‌های شمالی آهوران، لاشار جنوبی و مهبان شدت فعالیت بیشتر است. همان‌طور که در پاراگراف قبل گفته شد، در این شاخص نیز، به دلیل وجود و حضور لیتولوژی مقاوم در منطقه، دره‌های باریک و ژرف تشکیل شده نشان‌دهنده نوعی از تعادل بین فرایندهای درونی و بیرونی است که در نهایت منجر به ایجاد این گونه دره‌ها در منطقه شده است.

مقدار میانگین شاخص Fmf در منطقه برابر ۲۳۶/۰۳ به دست آمد که بیانگر فعالیت زمین‌ساختی نسبتاً بالا در این منطقه می‌باشد. از دلایل بالا بودن مقدار شاخص Fmf در منطقه می‌توان به وجود گسل‌ها، پرتگاه‌های گسلی و نیز لیتولوژی مقاوم اشاره کرد. بیشتر اشکال مثلثی در جنوب منطقه مطالعاتی در محدوده عملکرد گسل‌های کاجه، لاشار، پیپ و منطقه چانف مشاهده و محاسبه شده‌اند. قسمت لاشار جنوبی و جنوب شرقی منطقه نیز با توجه به این شاخص فعال هستند. مطالعه و ارزیابی منطقه و استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای و DEM منطقه، این موضوع را تایید کرده و نشان‌دهنده قرارگیری آن بر روی گسل‌های پیپ، لاشار و کاجه است. لیتولوژی قسمتی از منطقه

یافته‌های مربوط به شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af) نشان دهنده این است که عوامل ساختاری بر روی آبراهه‌های منطقه تأثیر گذاشته و موجب تغییر در مسیر آبراهه‌ها و کج شدگی حوضه‌ها شده است. این موضوع باعث شده تا اکثر حوضه‌ها در وضعیت نسبتاً ناپایدار تا ناپایدار زمین‌ساختی قرار گیرند. به عنوان مثال، حوضه‌های ۱، ۲ و ۳ با وجود اینکه در کنار هم و در یک جهت جغرافیایی می‌باشند اما تفاوت سازندهای تشکیل‌دهنده باعث شده که حوضه ۱ و ۳ نیمه‌فعال و حوضه ۲ در رده غیرفعال قرار گیرند (جدول ۷). همچنین، در حوضه‌های ۱۷، ۱۸ و ۱۹ وضعیت مشابهی دیده می‌شود؛ به طوری که حوضه ۱۷ در کلاس ۳ و وضعیت غیرفعال، حوضه ۱۸ کلاس ۱ و وضعیت فعال و حوضه ۱۹ در کلاس ۲ و با وضعیت نیمه‌فعال قرار دارد. این شواهد نشان می‌دهند که برای مثال وضعیت شبکه زهکشی حوضه ۱۷ دارای تقارن نسبی بوده و در مقابل حوضه ۱۸ با دارا بودن بالاترین مقدار عددی برای این شاخص، به عنوان فعال‌ترین حوضه شناخته شده و دارای بیشترین میزان عدم تقارن در وضعیت شبکه زهکشی است. همچنین، این یافته‌ها حاکی از آن هستند حوضه ۱۸ که بیشترین میزان عدم تقارن را نشان می‌دهد دارای فراخاست در ساحل سمت چپ بوده و به عبارت دیگر شبکه زهکشی به سوی ساحل راست دچار کج شدگی شده است (شکل ۹). یافته‌های شاخص تقارن توپوگرافی عرضی نشان می‌دهد که گسل‌های اصلی، فرعی، تراستی، برگشته و امتدادلغز موجود در منطقه به شدت بر حوضه‌های اصلی تأثیر گذار بوده‌اند. به عنوان مثال در قسمت شمالی بیشتر حوضه‌های منطقه به دلیل قرارگیری در هسته ناودیس نامتقارن و عملکرد گسل‌های اصلی و گسل تراستی کاجه، به سمت جنوب کج شدگی پیدا کرده‌اند. لازم به ذکر است که وجود گسل‌های امتداد لغزی که تا میانه حوضه ادامه داشته‌اند نیز در انحراف آبراهه اصلی حوضه‌های ۱۷ و ۱۹ به سمت جنوب تأثیر گذار بوده‌اند. همچنین اکثر آبراهه‌های واقع در بخش شمال غربی منطقه در حوضه‌های ۸، ۹، ۱۳ و ۱۴ نیز به دلیل عملکرد گسل‌های برگشتی پیپ و لاشار دچار انحراف شده‌اند.

یافته‌های به دست آمده برای این شاخص حاکی از آن است که حدود ۴۷٪ حوضه‌های منطقه مورد مطالعه (جدول ۹) بر اثر تداوم فرایند فراخاست، عدم تقارن توپوگرافی و وجود کج شدگی را نشان می‌دهند. به طور کلی، بر پایه شاخص یکپارچه IAT، منطقه مورد مطالعه در رده دو ($IAT=1/7$) با وضعیت فعالیت زمین‌ساختی بالا یا شدید طبقه‌بندی شد. این مقدار نشان‌دهنده تداوم فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در منطقه است که با یافته‌های شاخص‌های مورد استفاده و شواهد میدانی موجود در منطقه مورد مطالعه نیز هم‌خوانی کامل دارد. باتوجه به گستردگی منطقه مورد مطالعه، فقدان و عدم موجودیت برخی داده‌های پایه و اولیه، دسترسی سخت و دشواری‌های مربوط به بازدیدهای میدانی از مناطق صعب‌العبور، در گزینش و محاسبات شاخص‌ها تأثیر گذار بوده‌اند. به عبارت دیگر، گاهاً تعداد جبهه‌های مورد استفاده در شاخص‌هایی همچون Smf, FD, EU و همچنین دره‌های مورد بررسی در شاخص Vf متفاوت می‌باشد. بنابراین، مشاهده می‌شود که باتوجه به وضعیت داده‌ها و اطلاعات برداشت شده از آن‌ها، یافته‌های شاخص‌های کمی با هم متفاوت می‌باشند. زیرا، برای مثال، در امتداد همان تعداد جبهه‌هایی که برای Smf انتخاب شده بودند، امکان محاسبه و اندازه‌گیری دقیق و مناسب برای شاخص‌های FD و EU مهیا نبود؛ از این رو، به ناچار تعداد و امتداد جبهه‌ها متغیر شد. علیرغم همه مسائل و مشکلات مربوط به دسترسی مناسب به داده‌ها و اطلاعات پایه و اولیه، اما یافته‌های به دست آمده در انطباق با داده‌های پایه و مهم منطقه همچون نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، در کنار دیگر مطالعات انجام‌شده در پهنه مکران، صحت و اعتبار یافته‌ها اثبات می‌شود. یافته‌های به دست آمده در این پژوهش با مطالعات دیگران برای مثال، (Mansouri, 2025)، مبنی بر تحول منطقه بر اثر تداوم فعالیت نیروهای زمین‌ساختی به ویژه فراخاست، نقش دینامیک‌های بیرونی به صورت برش عمقی رودها و وجود یک چشم‌انداز جوان و در حالت گذار در منطقه؛ (Haghipour et al., 2012)، مبنی بر وجود

مطالعات Page et al. (1979); Vita-Finzi (1975); Falcon (1975) درمورد تراس‌های دریایی کرانه‌های مکران، تداوم فراخاست آن‌ها طی کواترنری با نرخ در حدود ۰/۲ میلی‌متر در سال، همخوانی بالایی نشان می‌دهد.

References

- Aghanabati, S.A. (2004). Geology of Iran, Tehran, Geology and Mineral Exploration Organization. (In Persian).
- Aghanabati, S.A., Mahdavi, M.A., & Rashedi, S. (1987). Espeke Geological map (Scale: 1:100,000), sheet number 8043, Geological and Mineral Exploration Organization. (In Persian).
- Aghanabati, S.A., Mahdavi, M.A., Sahandi, M.R. & Samadian, M.R. (1989). Nikshahr Geological map (Scale: 1:250,000), sheet number NG4008, Geological and Mineral Exploration Organization. (In Persian).
- Bali BS, Wani AF, Khan RA, Ahmad S. (2016). Morphotectonic analysis of the Madhumati watershed, Northeast Kashmir Valley. Arab J Geosci 9:390–317. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2395-9>
- Barbero, E., Delavari, M., Dolati, A., Saccani, E., Marroni, M., Catanzariti, R., & Pandolfi, L., (2020). The Ganj Complex reinterpreted as a Late Cretaceous volcanic arc: Implications for the geodynamic evolution of the North Makran domain (southeast Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 195, 104306. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104306>
- Barbero, E., Di Rosa, M., Pandolfi, L., Delavari, M., Dolati, A., Zaccarini, F., ... & Marroni, M., (2023). Deformation history and processes during accretion of seamounts in subduction zones: the example of the Durkan Complex (Makran, SE Iran). *Geoscience Frontiers*, 14(2), 101522. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101522>
- Barrier, E., Vrielynck, B., Brouillet, J. F., & Brunet, M. F., (2018). Paleotectonic reconstruction of the Central Tethyan Realm. Tectono-sedimentary-palinspastic maps from Late Permian to Pliocene.
- Bull, W.B., McFadden, L.D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D.O. (Ed.) *Geomorphology in Arid Regions*. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium. State University of New York Binghamton, pp. 115–138.
- Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2012). Tectonic geomorphology (2nd ed.), Chichester: Wiley-Blackwell.
- Burg, J. P., (2018). Geology of the onshore Makran accretionary wedge: Synthesis and tectonic interpretation. *Earth-Science Reviews*, 185, 1210–1231. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.09.011>
- Delcaillau, B., Deffontaines, B., Floissac, L., Angelier, J., Deramond, J., Souquet, P., ... & Lee, J. F. (1998). Morphotectonic evidence from lateral propagation of an active frontal fold; Pakuashan anticline, foothills of Taiwan. *Geomorphology*, 24(4), 263–290. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00020-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00020-8)
- Dercourt, J. E. A., Zonenshain, L. P., Ricou, L. E., Kazmin, V. G., Le Pichon, X., Knipper, A. L., ... & Biju-Duval, B., (1986). Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias. *Tectonophysics*, 123(1-4), 241–315. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(86\)90199-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(86)90199-X)
- El Hamdouni, R.E., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller E.A. (2008). Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada (Southern Spain), *Geomorphology*, 96, 150–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Falcon, N. L. F., (1975). From Musandam to the Iranian Makran. *Geographical Journal*, 141, 55–58. <https://doi.org/10.2307/1796945>
- Fotoohi, S. (2013). The Effect of Active Tectonic of the East Zagros Basin on Formation of Twin Alluvial Fan of Wazire. *Geography and Development*, 11(32), 163–176. doi: 10.22111/gdij.2013.1170 (In Persian).
- Goorabi, A., & Emami, K., (2017). Neotectonics influences on morphological variations of Makran coastal basins, SE Iran. *Quantitative Geomorphological Research*, 6(1), 74–89.

- https://www.geomorphologyjournal.ir/article_e_78076.html (In Persian).
- Haghipour, N., Burg, J. P., Kober, F., Zeilinger, G., Ivy-Ochs, S., Kubik, P. W., & Faridi, M., (2012). Rate of crustal shortening and non-Coulomb behaviour of an active accretionary wedge: The folded fluvial terraces in Makran (SE, Iran). *Earth and Planetary Science Letters*, 355, 187-198. <https://agris.fao.org/search/zh/records/674873027625988a371c40da>
- Keller, E. A. (1986). 'Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes', in Wallace, R. E. (Ed.), *Active Tectonics, Studies in Geophysics*, National Academy Press, Washington, DC, 136-147
- Keller, Edward A., Pinter, Nicholas, (2002). *Active Tectonics Earthquake, Uplift, and Landscape*; Prentice Hall Publisher. New, Jersey.
- Madadi, A., Rezaei-Moghaddam, M.H. & Rajaei, A. (2005). Analysis of neotectonic activities using geomorphological methods in the northwestern slopes of Talesh (Baghro Dag). *Geographical Research*, 48, 123-138. https://jrg.ut.ac.ir/article_10014.html?lang=fa (In Persian).
- Maghsoudi, M., Jafari Aghdam, M., Bagheri Seid Shokri, S. & Minayee, M. (2012). Study the Active Tectonic of Kefravar Catchment Area by Using Geomorphic Indices and Geomorphological Evidences. *Geography and Development*, 9(25), 111-136. https://gdij.usb.ac.ir/article_513.html?lang=fa (In Persian).
- Mansouri, R. (2025). Normalized Longitudinal River Profiles Pattern Analysis in Selected Basins of the Makran Accretionary Prism. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, (), -. doi: 10.22067/geoe.2025.94962.1603 (In Persian).
- Mansouri, R., Fotoohi, S. (2021). The Relative Evaluation of Active Neotectonic Activities in the Kateh Pifak Anticline; Eyvan-e Qarb, Ilam. *Geography and Environmental Studies*, 10(39), 55-72. [20.1001.1.20087845.1400.10.39.4.0](https://doi.org/10.22067/geoe.2025.94962.1603) (In Persian).
- Mansouri, R., Fotoohi, S., Sarbazi, Z. (2023). Application of Geomorphic Indices in Evaluating Active Neotectonic Activities in Bayeh Anticline; Eyvan-e Qarb, Ilam. *Ilam Culture*, 23(76-77), 39-61. [10.22034/FARHANG.2023.169583](https://doi.org/10.22034/FARHANG.2023.169583) (In Persian).
- Mansouri, R., Saffari, A. (2015). Analyzing the Tectonic Activity of Farahzad Basin Through Geomorphic Indicators. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 24(95), 93-105. [10.22131/SEPEHR.2015.15555](https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2015.15555) (In Persian).
- Mansouri, R., Sarbazi, Z. (2017). The Survey of the Status Active Tectonic of Bankoul Anticline (in the Zagros Folded) Using Geomorphic Indicators and Geomorphological Evidences. *Physical Geography Quarterly*, 10(37), 125-142. <https://sanad.iau.ir/Journal/jopg/Article/983147> (In Persian).
- Moghadam, H. S., Arai, S., Griffin, W. L., Khedr, M. Z., Saccani, E., Henry, H., ... & Ghorbani, G. (2022). Geochemical variability among stratiform chromitites and ultramafic rocks from Western Makran, South Iran. *Lithos*, 412, 106591. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106591>
- Molin, P., Pazzaglia, F.J., Dramis, F. (2004). Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly deforming forearc, Sila Massif, Calabria, Southern Italy. *American Journal of Science* 304, 559-589. <https://doi.org/10.2475/ajs.304.7.559>
- Omrani, H., Moazzen, M., Oberhänsli, R., & Moslempour, M. E., (2017). Iranshahr blueschist: subduction of the inner Makran oceanic crust. *Journal of Metamorphic Geology*, 35(4), 373-392. <https://doi.org/10.1111/jmg.12236>
- Page, W. D., Alt, J. N., Cluff, L. S., & Plafker, G., (1979). Evidence for the recurrence of large-magnitude earthquakes along the Makran coast of Iran and Pakistan. *Tectonophysics*, 52(1-4), 533-547. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(79\)90269-5](https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90269-5)
- Ramirez-Herrera, M.T. (1998). Geomorphic Assessment of Active Tectonics in the Acambay graben, Mexican Volcanic Belt. *Earth Surface Processes and Land forms*. Vol. 23, pp 317-322. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199804\)23:4<317::AID-ESP845>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199804)23:4<317::AID-ESP845>3.0.CO;2-V)
- Saffari, A., Mansouri, R. (2013). Relative Assessment of Tectonic Activities, Upper

- Kangir Basin (Eyvanegharb) Using Geomorphic Indicators. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 3(7), 35-50. [10.22111/GAIJ.2013.1087](https://doi.org/10.22111/GAIJ.2013.1087) (In Persian).
- Sarvati, M.R., Mansouri, R. (2014). Research methods in Geomorphology. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 22(88), 81-91. https://www.sepehr.org/article_25654.html (In Persian).
- Schumm, Stanley A., Dumont, Jean F., Holbrook, John M. (2000). Active Tectonics and Alluvial Rivers. Cambridge university press.
- Silva, P. G., Goy, J. L., Zazo, C. & Bardaji, T. (2003). Fault-generated mountain fronts in southeast Spain: Geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology*, 50, 203-225. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00215-5](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00215-5)
- Sinha, SR. (2001). Neotectonic significance of longitudinal river profiles: an example from the Banas drainage basin, Rajasthan. *J Geol Soc India* 58:143–156.
- Soleimani, Sh. (1999). Guidelines for identifying active and young tectonic movements with an outlook on paleoseismology basics, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, first edition. (In Persian).
- Vita-Finzi, C. (1975). Quaternary deposits in the Iranian Makran. *Geographical Journal*, 141, 415-420. <https://doi.org/10.2307/1796475>
- Wells, S. G., Bullard, T. F., Menges, C. M., Drake, P. G., Karas, P. A., Kelson, K. I., ... & Wesling, J. R. (1988). Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary pacific coast of Costa Rica. *Geomorphology*, 1(3), 239-265. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(88\)90016-5](https://doi.org/10.1016/0169-555X(88)90016-5)
- Zovoili, E., Konstantinidi, E., & Koukouvelas, I. K. (2004). Tectonic geomorphology of escarpments: The cases of kompotades and nea anchialos faults. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 36(4), 1716-1725. <https://doi.org/10.12681/bgsg.16579>