



Investigating Neotectonics of the Karvansara Fault Zone based on Morphotectonical and Fractal Patterns of the North Nobaran, Northwestern Iran

Amir Hossein Sadr ^{a*}, Reza Alipoor ^a, Maryam Mahmoudi ^b, Zahra Rasouli Anbar ^b

^a Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

^b MSc in Tectonics, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

Received: 12 April 2021

Revised: 27 June 2021

Accepted: 04 July 2021

Abstract

The Karvansara fault zone is located in north of the Nobaran and in the geological and structural zone of Central Iran. This zone is located at the south of the Caspian Sea within the Alpine-Himalayan belt. The aim of this study was to investigate the morphological evidences and evaluate the relative tectonic activities along Karvansara fault zone. For this purpose, five morphometric indices including drainage basin asymmetry factor (Af), transverse topographic symmetry factor (T), stream length–gradient index (SL), ratio of valley floor width to valley height (Vf) and hypsometric integral index (Hi) as well as fractal dimensions of faults and drainage network were calculated. The evaluation of these indexes and the overlap of their results and the evaluation of the index of relative tectonic activity (IAT) show that most of the study area indicate very active to active classes of the relative tectonic activity. Also, the calculation of fractal dimension in eleven boxes in the study area for the faults and drainage network by square method, drawing of the log-log diagrams and the use of relevant fractal analysis show the tectonic activity of the region. The neotectonic study of the Karvansara fault zone and the location of the basins with moderate to high tectonic activity, along the major active fault zones, especially in areas where fracture density is higher than other regions and fractal dimensions calculated for the fault zone and drainage network indicate that the activity of the fault system is on the southern part of the study area.

Keywords: Neotectonic, Morphometry Index, Karvansara Fault, Nobaran

*. Corresponding author: Amir Hossein Sadr

E-mail: a.sadr@basu.ac.ir

Tel: + 989183170515

How to cite this Article: Sadr, A., alipoor, R., mahmoudi, M., Rasouli Anbar, Z. (2022). Investigation of neotectonics of the Karvansara fault zone based on morphotectonical and fractal patterns of the North Nobaran, Northwestern Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(4), 1-23.
doi: [10.22067/geoeh.2021.69902.1044](https://doi.org/10.22067/geoeh.2021.69902.1044)



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant with open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 10, Issue 4 - Number 40, Winter 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>



<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.69902.1044>



جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۰، صص ۲۳-۱

مقاله پژوهشی

بررسی نوزمین ساخت پهنه گسل کاروانسرا بر پایه الگوهای ریخت زمین ساختی و فرکتالی حاکم بر

شمال نوبران، شمال باختر ایران

امیرحسین صدر^۱ - استادیار گروه تکتونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
 رضا علی پور - استادیار گروه تکتونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
 مریم محمودی - کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
 زهرا رسولی عنبر - کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۲۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۴/۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۴/۱۳

چکیده

پهنه گسلی کاروانسرا در شمال نوبران و پهنه زمین شناسی و ساختاری ایران مرکزی قرار گرفته است. این پهنه در جنوب دریای خزر و در کمربند آلپ-همیالیا قرار دارد. مطالعه نشانه های ریخت زمین ساختی، روش مناسبی در ارزیابی فعالیت های زمین ساخت نسبی و بررسی تأثیرات پهنه گسلی مورد مطالعه است. در این پژوهش ۵ شاخص ریخت سنجی، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، تقارن توپوگرافی عرضی، گرادیان - طول رودخانه، نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن و منحنی فرازسنجی محاسبه شده است. ارزیابی این شاخص ها و همپوشانی نتایج آن ها با یکدیگر به عنوان شاخص زمین ساخت فعال نسبی در چهار رده شامل مناطق با فعالیت زمین ساخت نسبی، خیلی فعال تا مناطق با فعالیت کم مشخص گردید. توزیع این شاخص نواحی مربوط به فعالیت گسل های مختلف و نرخ های نسبی زمین ساخت پویا را مشخص می سازد. همچنین بعد فرکتالی در ۱۱ مربع در منطقه مورد مطالعه برای الگوی گسل ها و شبکه زهکشی منطقه به روش مربع شمار، نمودارهای $\text{Log} - \text{Log}$ و استفاده از تحلیل های فرکتالی مربوطه

Email: a.sadr@basu.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۳۱۷۰۵۱۵

نحوه ارجاع به این مقاله:

صدر، امیرحسین؛ علی پور، رضا؛ محمودی، مریم؛ رسولی عنبر، زهرا؛ ۱۴۰۰. بررسی نوزمین ساخت پهنه گسل کاروانسرا بر پایه الگوهای ریخت زمین ساختی و فرکتالی حاکم بر شمال نوبران، شمال باختر ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی.

<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.69902.1044>

۱۰(۴). صص ۲۳-۱

محاسبه شده است. بررسی نوزمین ساخت پهنه گسلی کاروانسرا و قرارگیری حوضه‌ها، با میزان فعالیت زمین‌ساختی متوسط تا بالا، در پهنه گسل‌های اصلی و فعال در منطقه به‌خصوص در مناطقی که تراکم شکستگی‌ها بیش از دیگر مناطق است و ابعاد فرکتالی محاسبه شده برای پهنه گسلی و شبکه زهکشی، نشان‌دهنده عملکرد فعال سامانه گسلی در جبهه جنوبی محدوده مورد مطالعه است. نقش مؤثر ساختارهای زمین‌ساختی در ایجاد نرخ‌های بالایی از میزان فعالیت نسبی زمین‌ساختی و ریخت‌شناسی شبکه زهکشی به‌عنوان عوامل مخاطرات طبیعی جدی در محدوده مورد مطالعه محسوب می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: نوزمین‌ساخت، شاخص‌های ریخت‌سنجی، گسل کاروانسرا، نوبران.

۱- مقدمه

استفاده از تحلیل ریخت‌زمین‌ساختی یکی از ابزارهای کاربردی تفسیر ساختارها، در علوم زمین است که بر روی داده‌های توپوگرافی و اطلاعات دورسنجی و غیره صورت می‌پذیرد. این تحلیل‌ها به بررسی روابط فضایی بین عوارض (لندفرم) و حرکات زمین‌ساختی ایجاد کننده آن‌ها و استنباط‌های ریخت‌زمین‌ساختی در راستای تحلیل دینامیکی یا سینماتیکی این فرآیندهاست؛ به‌عبارت‌دیگر ریخت‌زمین‌ساخت یا ریخت‌شناسی زمین‌ساختی به مطالعه روابط بین فرآیندهای زمین‌ساختی که در جهت ایجاد توپوگرافی عمل می‌کنند و فرآیندهای سطحی که به حذف این پدیده‌ها می‌پردازند، اطلاق می‌گردد (بربانک و اندرسون^۱، ۲۰۱۰). گام اول در این مطالعات بررسی کمی و کیفی واحدهای توپوگرافی اصلی یک منطقه مثل رشته‌کوه‌ها، حوضه‌ها، آبراهه‌ها و خطواره‌ها است.

ارزیابی و بررسی فرآیندهای زمین‌ساختی فعال، اثرات ناشی از آن و ایجاد مخاطرات طبیعی همچون زمین‌لرزه‌ها برای بسیاری از فعالیت‌های بشری از اهمیت بالایی برخوردار است، که به‌واسطه آن می‌توان خطرات و خسارات ناشی از این‌گونه فرآیندهای فعال در طبیعت را به حداقل رساند. در این‌گونه بررسی‌ها لفظ فعال، بیانگر حرکات زمین‌ساختی با دوره زمانی چندین دهه یا چندین هزارساله، برابر با دوره زمانی که برای بقایای تجهیزات و سازه‌های مهم مثل سدها، تونل‌ها، نیروگاه‌ها و ... برنامه‌ریزی می‌شود. گرچه شناخت فرآیندهای زمین‌ساختی با دوره‌های چند میلیون ساله نیز جهت درک کامل زمین‌ساخت فعال و کاهش مخاطرات زمین‌شناختی وابسته به آن، امری ضروری است (کلر و همکاران^۲، ۱۹۸۲). در مطالعات زمین‌ساختی مبحثی تحت عنوان نوزمین‌ساخت مطرح می‌شود که به مطالعه حرکات و فرآیندهای زمین‌ساختی جوان‌تر از نئوژن می‌پردازد. این واژه اولین بار توسط اوبراچف^۳ (۱۹۴۸) به‌عنوان مطالعه جنبش‌های جوان و اخیر رخ داده از پایان دوره ترشیری و نیمه اول دوره کواترنری بیان شده است.

1 Burbank and Anderson

2 Keller et al.

3 Obrachev

شواهد زمین‌ریختی به دو صورت کمی و کیفی قابل ارزیابی است که ارزیابی کمی تحت عنوان ریخت‌سنجی مرسوم بوده و در آن با استفاده از پارامترهای هندسی، شاخص‌های متفاوتی تعریف می‌شود که از شاخص‌ها برای ارزیابی یک عارضه و نیز مقایسه عوارض با یکدیگر استفاده می‌شود (مولین و همکاران^۱، ۲۰۰۴). به‌طور کلی در طول چند سال اخیر محققین مختلف در کنار بررسی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی کیفی، در مناطق دارای حرکات زمین‌ساختی فعال و جوان، سعی در کمی نمودن رفتار حرکات زمین‌ساختی داشته و برای این امر شاخص‌های مختلفی را تحت عنوان، شاخص‌های ریخت‌سنجی ارائه نموده‌اند، از جمله می‌توان به سیکاسی و همکاران^۲ (۱۹۸۶)، لی و همکاران^۳ (۱۹۹۹)، حمدونی و همکاران^۴ (۲۰۰۸) و گارنیری و پیرونا^۵ (۲۰۰۸)، پورکرمانی و معتمدی (۱۳۸۱)، گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶)، سیف و خسروی (۱۳۸۹)، مقصودی و عمادالدین (۱۳۹۰)، علی‌پور و همکاران (۲۰۱۱)، بهرامی (۱۳۹۲)، قنوتی و همکاران (۱۳۹۶)، و محمودی (۱۳۹۷)، را می‌توان نام برد.

شاخص‌های زمین‌ریخت‌سنجی برای شناسایی خصوصیات خاص از یک ناحیه، به‌عنوان ابزارهای اساسی و کارآمد برای تشخیص تغییر شکل‌های سریع زمین‌ساختی و بررسی نوزمین‌ساخت مورد استفاده قرار می‌گیرند (مولین و همکاران، ۲۰۰۴). هر یک از شاخص‌ها ارائه‌دهنده یک طبقه‌بندی نسبی از میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌باشند. وقتی که از چند شاخص برای یک ناحیه استفاده شود، نسبت به‌کارگیری یک شاخص نتایج بامعناتری را ارائه می‌دهد. نتایج چندین شاخص می‌توانند با یکدیگر ترکیب شوند و رده فعالیت‌های زمین‌ساختی را به دست آورند. این نتایج در سطح گسترده برای تخمین درجه نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی در یک ناحیه مورد استفاده قرار می‌گیرد و می‌توان منطقه را به نواحی خیلی فعال، نیمه فعال یا غیرفعال رده‌بندی نمود (گورابی، ۱۳۹۵). شاخص‌های زمین‌ریخت‌سنجی در بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی ابزار مفید و قابل اطمینانی هستند، زیرا با استفاده از آن‌ها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا کند زمین‌ساختی را تجربه کرده‌اند، به‌راحتی شناسایی نمود (رامیرز و هررا^۶، ۱۹۹۸).

یکی از مهم‌ترین ساختارهای شمالی بلوک ایران مرکزی، سامانه گسلی کوشک - نصرت است. این گسل با طول تقریبی ۲۰۰ کیلومتر به دو شاخه موازی از شمال ساوه تا شمال نوبران با راستای WNW-ESE ادامه می‌یابد که در شمال نوبران شاخه شمالی (شاخه قمشلو با روند شمال‌باختری - جنوب‌خاوری) تغییر روند می‌دهد اما شاخه جنوبی (شاخه خلخاب) گسل با روندی تقریباً هم‌راستا با گسل آوج ادامه می‌یابد و در انتهای شمال‌باختری گسل آوج را قطع می‌نماید (اورنگ و همکاران، ۱۳۹۳). دگرشکلی‌های منطقه حدفاصل آوج تا نوبران تحت کنترل حرکات پهنه گسل کوشک - نصرت و به‌طور محلی پهنه گسل کاروانسرا است. با وجود این که سامانه گسلی کوشک - نصرت

1 Molin et al

2 Ciccacci et al

3 Li et al

4 El Hamdouni et al

5 Guarnier and Pirrotta, 2008

6 Ramirez and Herrera

مطالعه و مکانیزم حرکتی، آن راستالغزچپ بر تأیید شده است، اما شاخه جنوبی یا گسل خلخاب و پهنه گسل کاروانسرا که در جنوب، شاخه جنوبی در شمال نوبران واقع شده است و دگرشکلی‌های گسترده‌ای را در منطقه ایجاد نموده از نظر هندسی و فعالیت‌های نوزمین‌ساختی کاملاً ناشناخته می‌باشد. لذا در این پژوهش نیز سعی بر آن داشته تا با بررسی نوزمین‌ساخت و مسائل مرتبط با ریخت‌زمین‌ساخت با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی الگوی ریخت‌زمین‌ساختی حاکم بر بخش جنوب‌باختری شاخه جنوبی کوشک - نصرت (گسل کاروانسرا) را تعیین و با تلفیق نتایج تحلیل شاخص‌های زمین‌ریخت‌سنجی و بررسی شواهد ریخت‌شناسی در بازدیدهای صحرائی، میزان فعالیت نسبی زمین‌ساختی پهنه گسل کاروانسرا را در حوضه‌های مشخص شده در محدوده مورد مطالعه مشخص نماییم و با استفاده از تحلیل‌های فرکتالی، الگوی حاکم بر گسل‌ها و شبکه زهکشی منطقه به روش مربع شمار و نمودارهای Log-Log، بعد فرکتالی در ۱۱ مربع در نظر گرفته شده در محدوده مورد مطالعه، مورد بررسی قرار دهیم.

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از داده‌های حاصل از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه به‌عنوان داده‌های پایه در محیط نرم‌افزار جی‌آی‌اس^۱، نقشه‌های ساختاری، شبکه زهکشی و مدل رقومی ارتفاعی^۲ گستره مورد مطالعه به‌عنوان داده ارتفاعی پایه تهیه گردیده و در مرحله بعدی جهت محاسبه شاخص‌های ریخت‌سنجی و با به‌کارگیری تکنیک‌های نرم‌افزاری، محدوده مورد مطالعه به ۲۸ حوضه تقسیم گردید و سپس با توجه به ویژگی‌های ریخت‌زمین‌ساختی منطقه، شاخص طول جریان - شیب رود، شاخص فاکتور عدم تقارن حوضه زهکشی، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی، نسبت عرض بستر دره به ارتفاع دره و شاخص انتگرال و منحنی هیپسو متریک برای گستره مورد مطالعه محاسبه و در نهایت به‌منظور تعیین میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی در منطقه مورد مطالعه، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی مورد بررسی قرار گرفت. تکنیک اصلی در این پژوهش، ارزیابی نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های مذکور و تحلیل الگوی فرکتال حاکم بر منطقه مورد مطالعه و در نهایت مقایسه نتایج حاصل از این دو با یکدیگر و مشخص نمودن مناطق فعال و دارای پتانسیل ایجاد مخاطرات طبیعی در محدوده مورد مطالعه است.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

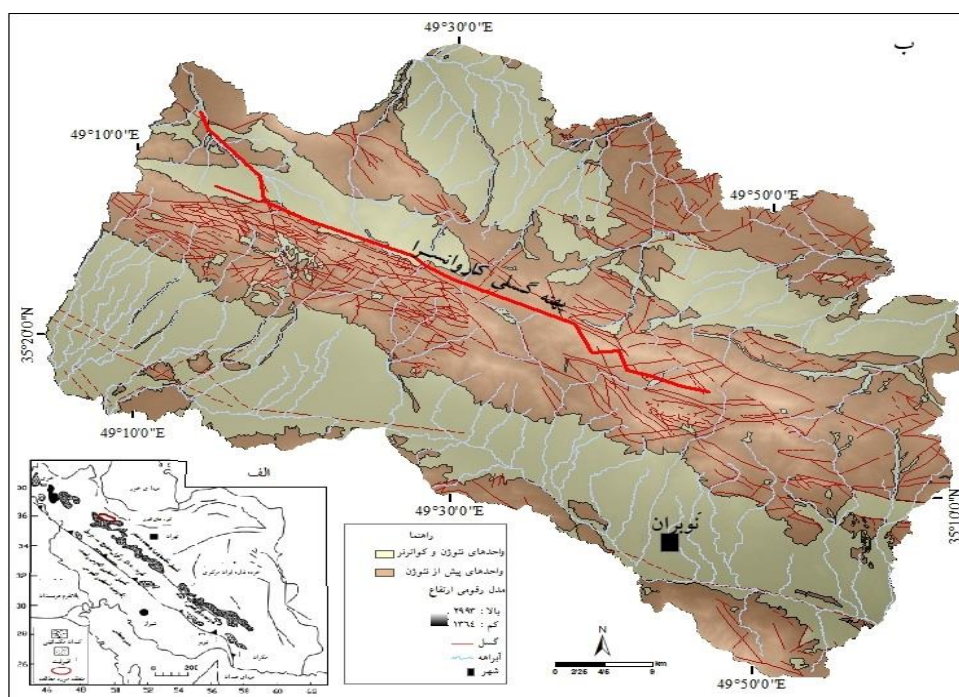
پهنه گسل کاروانسرا در شمال‌باختری ایران با طول جغرافیایی $49^{\circ} 05'$ تا 50° درجه خاوری و عرض جغرافیایی $35^{\circ} 40'$ تا 35° شمالی، در حدفاصل استان‌های همدان، مرکزی و قزوین واقع شده است که شامل بخش‌هایی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ نوبران، رزن و آوج است (اعلایی مهابادی و خلعتبری، ۱۳۸۳، اعلایی مهابادی و

1 ArcGIS

2 DEM

فودازی، ۱۳۸۶ و بلورچی و همکاران^۱، ۱۹۷۸). گستره مورد مطالعه از نظر ساختاری و زمین شناسی در پهنه ایران مرکزی را قرار گرفته است (علیزاده و همکاران^۲، ۲۰۱۰) (شکل ۱-الف).

قدیمی ترین لایه های رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه، سنگ های آهکی با میان لایه های ماسه سنگی به سن ژوراسیک بالایی است که واحدهای ماسه سنگی با میان لایه هایی از سنگ آهک و شیل به سن ژوراسیک - کرتاسه بر روی آن ها قرار گرفته است و سپس توالی کاملی از رسوبات کرتاسه پایینی و بالایی، واحدهای قبلی را می پوشاند. در دوران سنوزویک توالی نسبتاً کاملی از واحدهای سنگی با سن های ائوسن و الیگومیوسن (سازند قم) و میوسن (سازند قرمز بالایی) تا رسوبات عهد حاضر رخنمون دارند (اعلایی مهابادی و خلعتبری، ۱۳۸۳) (شکل ۱-ب).



شکل ۱- الف) نقشه پهنه های ساختاری - زمین شناسی ایران، موقعیت محدوده مورد مطالعه به رنگ قرمز نشان داده شده است (علیزاده و همکاران^۲، ۲۰۱۰). ب) نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه.

- 1 Bolourchi et al
- 2 Alizadeh et al
- 3 Alizadeh et al

۲-۲- شاخص های کمی ریخت سنجی

۲-۲-۱- شاخص طول جریان - شیب رود^۱

شاخص گرادیان (شیب) - طول رود یکی از شاخص های ارزیابی زمین ساخت فعال در ارتباط با شکل کانال رودها است و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد (هاک^۲، ۱۹۷۳).

$$SL = (\Delta H / \Delta L) \cdot L$$

SL: شاخص گرادیان - طول رود، ΔH : اختلاف ارتفاع محدوده، ΔL : معرف طول محدوده و L: طول کانال رود از خط تقسیم رود تا مرکز بخشی است که شیب در آن محاسبه شده است یا به عبارتی L طول کلی کانال، از نقطه ای که شاخص مورد محاسبه قرار گرفته تا مرتفع ترین نقطه کانال است. معمولاً شاخص گرادیان طول رود نسبت به تغییرات گرادیان رود بسیار حساس است و برای ارزیابی روابط بین فعالیت زمین ساختی، مقاومت سنگ و توپوگرافی مورد استفاده قرار می گیرد (کلر و پیتر^۳، ۲۰۰۲).

۲-۲-۲- شاخص فاکتور عدم تقارن حوضه زهکشی^۴

عامل عدم تقارن یا فاکتور عدم تقارن می تواند میزان کج شدگی زمین ساختی حوضه زهکشی را در مقیاس های بزرگ نشان دهد. فاکتور عدم تقارن حوضه زهکشی بر اساس رابطه زیر تعیین می گردد (کلر و پیتر^۵، ۱۹۹۶؛ هری و گاردنر^۶، ۱۹۸۵).

$$Af = 100 (Ar/At)$$

Af: شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، Ar: مساحت حوضه در برگیرنده زهکش های فرعی در سمت راست آبراه اصلی (دید به سمت پایین دست آبراه اصلی) و At: مساحت کل حوضه در برگیرنده زهکش های فرعی سمت چپ و راست آبراه اصلی.

۲-۲-۳- شاخص تقارن توپوگرافی عرضی^۷

محاسبه این شاخص روشی برای ارزیابی یک رودخانه درون حوضه و تغییرات میزان نامتقارنی در بخش های مختلف دره است. مقادیر تقارن توپوگرافی عرضی برای قطعات مختلف دره محاسبه می شود و مهاجرت ترجیحی آبراه ها عمود بر محور زهکشی مشخص می شود و به صورت زیر تعریف شده است (سلیمانی، ۱۳۸۷).

$$T = Da / Dd$$

1 Stream length gradient index

2 Hack

3 Keller and Pinter

4 Drainage basin asymmetry factor

5 Keller and Pinter

6 Hare and Gardner

7 Transverse topographic symmetry factor

T: شاخص تقارن توپوگرافی عرض (Tav= T1+T2+T3/3)، Da: فاصله نوار مئاندر فعال از خط میانی حوضه زهکشی و Dd: فاصله خط میانی حوضه زهکشی از خط مرز حوضه (خط تقسیم حوضه).

۲-۲-۴- نسبت عرض بستر دره به ارتفاع دره^۱

فرسایش دره‌های رودخانه‌ای و ریخت‌شناسی دره‌ها در مقطع قائم یکی دیگر از ابزارهایی است که ما را در تفسیر و بررسی میزان فعالیت نیروهای زمین‌ساختی یاری می‌نماید. این امر با استفاده از شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره امکان‌پذیر است. این شاخص عبارت است از نسبت دو برابر عرض کف دره به مجموع اختلاف ارتفاع دیواره دو سمت آن با ارتفاع کف دره، که از رابطه زیر محاسبه می‌شود (بال و مک فادن^۲، ۱۹۹۷).

$$Vf = 2Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$$

Vf: شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، Vfw: عرض (پهنای) کف دره به متر، Eld: ارتفاع دیواره سمت چپ دره، Erd: ارتفاع دیواره سمت راست دره و Esc: ارتفاع بستر دره (ارتفاع میانگین بستر دره). نسبت پهنای کف دره رابطه مستقیمی با اندازه حوضه آبخیز و فرسایش‌پذیری سنگ‌ها و رابطه معکوس با نرخ برخاستگی (فرآیند) دارد (بال^۳، ۲۰۰۷).

۲-۲-۵- شاخص انتگرال و منحنی هیپسومتریک^۴

منحنی هیپسومتری، توزیع سطوح ارتفاعی یک منطقه از زمین یا یک حوضه آبخیز را نشان می‌دهد. منحنی هیپسومتریک حوضه با ترسیم ارتفاع کل (ارتفاع نسبی) در مقابل مساحت کل (مساحت نسبی) حوضه ترسیم می‌شود. یکی از ساده‌ترین راه‌ها برای توصیف شکل منحنی هیپسومتریک یک حوضه زهکشی، محاسبه انتگرال هیپسومتریک آن حوضه است. مقادیر بالای انتگرال هیپسومتریک دلالت بر وجود پستی و بلندی و توپوگرافی بالا نسبت به میانگین حوضه زهکشی و مقادیر حد واسط تا کم انتگرال هیپسومتریک حاکی از برش شبکه زهکشی در یک سطح هموارتر است؛ بنابراین ترسیم مساحت تجمعی در محور X و ارتفاع نسبی در محور Y، منحنی هیپسومتری حوضه ترسیم و مساحت زیر منحنی به دست می‌آید (سلیمانی، ۱۳۷۸).

1 Ratio of valley floor to valley height

2 Bull and Mc Fadden

3 Bull

4 Hypsometric integral

۲-۲-۶- شاخص ارزیابی فعالیت نسبی زمین ساختی^۱

پس از محاسبه شاخص های زمین ریخت سنجی در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از شاخص ارزیابی نسبی فعالیت های زمین ساختی، فعالیت های زمین ساختی در منطقه برآورد می شود. شاخص فعالیت نسبی زمین ساختی، طبق رابطه زیر، از متوسط کلاس های مختلف شاخص های مذکور محاسبه می گردد.

$$I_{at} = S/n$$

I_{at} : شاخص فعالیت نسبی زمین ساختی، S : مجموع کلاس های شاخص زمین ریخت سنجی محاسبه شده، n : تعداد شاخص های محاسبه شده است.

۲-۳- بعد فرکتال

اساس روش مطالعه در فرکتال، محاسبه ابعاد فرکتالی برای عناصر هندسی است. ابعاد عناصر هندسی اعداد صحیح، ۰، ۱، ۲ و ۳ برای نقطه، خط، سطح و حجم است، که هر کدام از این ها بیانگر عناصر هندسی نامحدود می باشند؛ بنابراین ابعاد هندسی اقلیدسی به خوبی نمی توانند بیانگر ویژگی پدیده ها با هم و یا مقایسه آن ها با یکدیگر باشند، ولی ابعاد فرکتالی می توانند اعداد اعشاری بوده، بدین ترتیب محدودیتی در اندازه گیری هیچ یک از پدیده ها با این روش وجود ندارد. با استفاده از روش شمارش مربعات، که متداول ترین روش در تحلیل فرکتالی شکستگی های ساختاری اعم از گسل ها و شبکه آبراهه ها است تورکت^۲ (۱۹۹۷)، و توسط بسیاری از محققین به کار گرفته شده است. به منظور استفاده از این روش ایجاد شبکه بندی مناسب در محدوده مورد مطالعه امری ضروری است.

تحلیل ها بر اساس نمودار Log/Log از تعداد مربع های دارای شکستگی (N_n) بر حسب طول شبکه های ایجاد شده (r_n) یا عکس آن ($1/r_n$) صورت گرفته است. نمودارهای ترسیم، تغییرات ابعاد فرکتالی را نشان می دهند و برای هر کدام از منحنی های فرکتالی رابطه زیر صدق می کند.

$$\text{Log}(N_n) = D \text{Log}(1/r_n) + C$$

در این رابطه D شیب خط و نشان دهنده بعد فرکتالی پهنه برشی است.

۳- نتایج و بحث

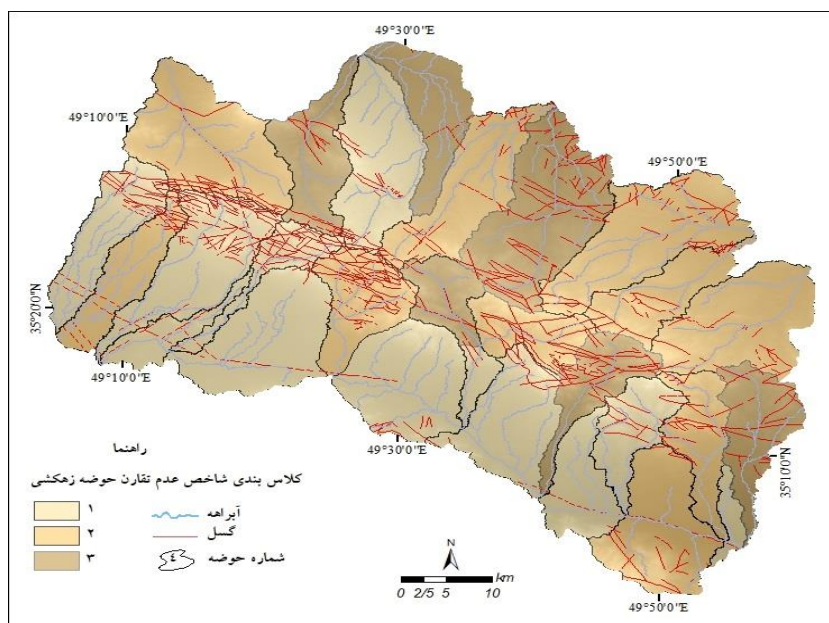
به منظور تحلیل ریخت زمین ساخت منطقه مورد مطالعه، از مطالعات صحرائی، ارزیابی شواهد زمین ساختی تأثیرگذار بر زمین ریخت شناسی کنونی منطقه مورد مطالعه، شاخص های ریخت سنجی و تحلیل های فرکتالی استفاده شده است. رودخانه ها و شبکه زهکشی از جمله مهم ترین عوارضی هستند که نسبت به تغییرات زمین ساختی بسیار حساس می باشند. به منظور تحلیل وضعیت نوزمین ساختی و ارزیابی تأثیرات پهنه گسل کاروانسرا بر ریخت شناسی شبکه زهکشی محدوده مورد مطالعه، ابتدا محدوده مورد مطالعه به ۲۸ حوضه تقسیم گردید، سپس ۵ شاخص کمی

1 Index of relative active tectonics

2 Turcotte

ریخت‌سنجی، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی، شاخص گرادیان - طول رودخانه، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره و منحنی و انتگرال ارتفاع سنجی محاسبه شده است. جهت تعیین میزان فعالیت نسبی زمین‌ساختی، شاخص ارزیابی فعالیت نسبی زمین‌ساختی محاسبه و منطقه مورد مطالعه به ۳ رده، رده ۱ (با فعالیت زمین‌ساختی بالا)، رده ۲ (با فعالیت زمین‌ساختی متوسط) و رده ۳ (با فعالیت زمین‌ساختی نسبی کم)، تقسیم شده است. همچنین بعد فرکتالی در ۱۱ مربع در منطقه مورد مطالعه برای الگوی گسل‌ها و شبکه زهکشی منطقه به روش مربع‌شمار، نمودارهای Log-Log و استفاده از تحلیل‌های فرکتالی مربوطه محاسبه و نتایج به دست آمده از ارزیابی فعالیت نسبی زمین‌ساختی و ابعاد فرکتالی برای سیستم گسلی فعال و شبکه زهکشی در محدوده متأثر از عملکرد پهنه گسل کاروانسرا مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته است.

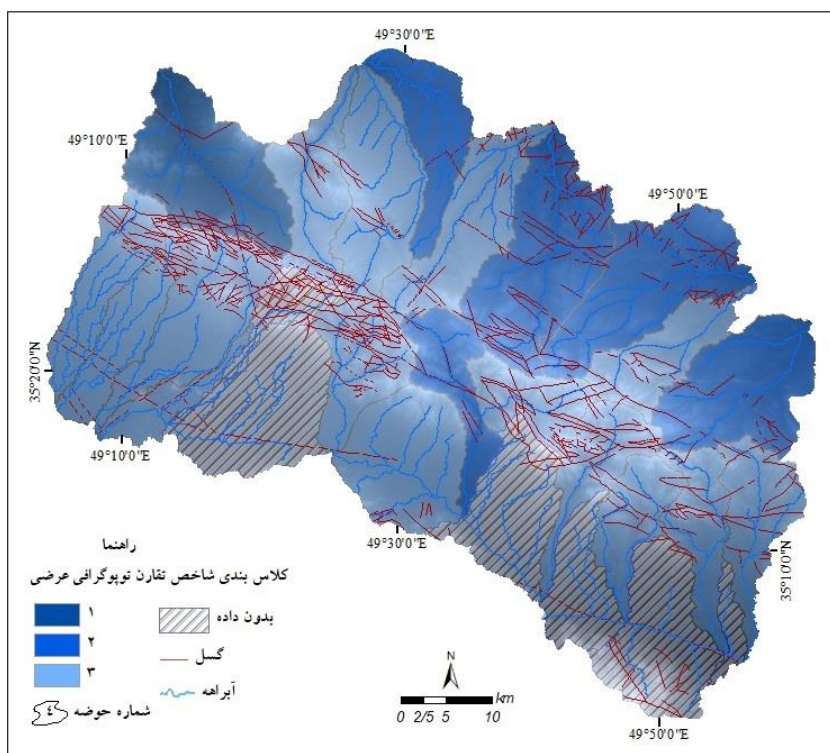
جهت محاسبه شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، نقشه شبکه آبراه‌های منطقه مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متر استخراج و سپس کانال اصلی رودخانه‌ها در هر ۲۸ حوضه مشخص و براساس فرمول این شاخص، پارامترهای مورد نیاز محاسبه گردید. حمدونی و همکاران (۲۰۰۸)^۱، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی را به سه رده تقسیم نموده‌اند: رده ۱- حوضه نامتقارن ($Af \geq 65$ or $Af \leq 35$)، رده ۲- حوضه نیمه‌متقارن ($35 < Af \leq 43$ or $57 \leq Af < 65$) و رده ۳- حوضه متقارن ($43 < Af < 57$). با توجه به نقشه نهایی این شاخص (شکل ۲) در ۱۲ حوضه مقادیر به دست آمده از این شاخص در رده ۱ و در ۱۰ حوضه مقادیر این شاخص در رده ۲ و در ۶ حوضه باقیمانده مقادیر این شاخص در رده ۳ قرار گرفته است. در ۱۲ حوضه مذکور، با دارا بودن بیش‌ترین اختلاف نسبت به میانگین به‌عنوان حوضه‌های فعال‌تر و با بیش‌ترین کج‌شدگی شناخته می‌شوند. وجود سامانه گسلی فعال و تراکم بالای شکستگی در این مناطق را می‌توان عامل این عدم تقارن و شدت کج‌شدگی بیان داشت.



شکل ۲- ارزیابی شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی در منطقه مورد مطالعه.

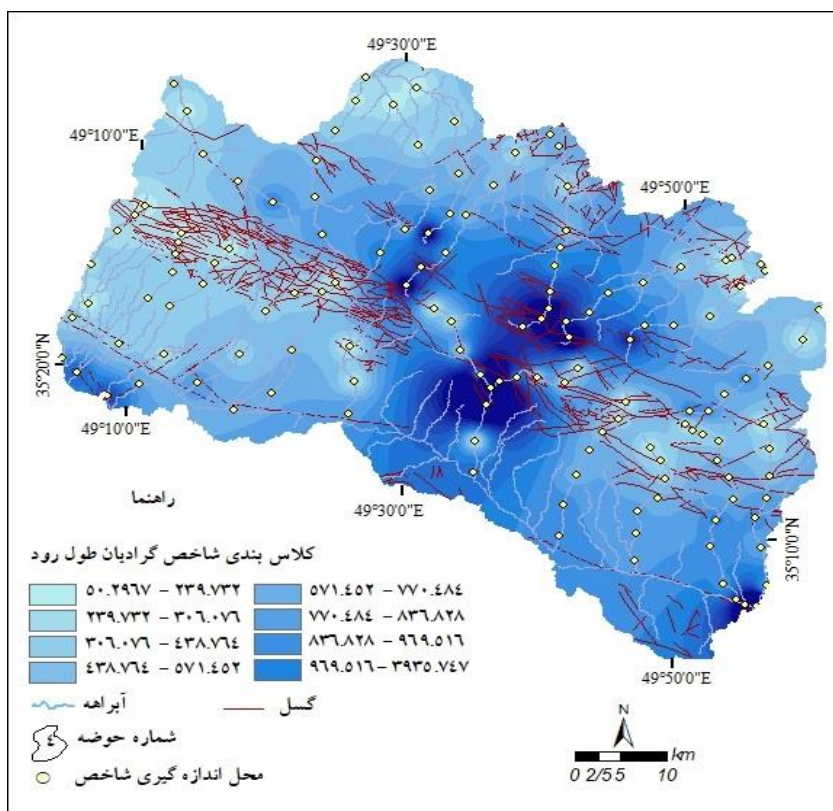
برای محاسبه شاخص توپوگرافی عرضی رودخانه، در ابتدا برای هر حوضه خط تقارن تقریبی رسم کرده و در چندین قسمت خطوط عمود بر آبراهه اصلی ترسیم و سپس با محاسبه فاصله آبراهه اصلی از دیواره حوضه و همچنین فاصله از خط تقارن فرضی، شاخص عدم تقارن حوضه محاسبه شده است. در حوضه‌های کاملاً متقارن تقارن توپوگرافی عرضی مساوی صفر و با کاهش تقارن حوضه مقدار توپوگرافی عرضی رودخانه افزایش یافته و به عدد یک نزدیک می‌شود.

این شاخص را می‌توان در سه رده تقسیم‌بندی نمود حمدونی و همکاران^۱، (۲۰۰۸): رده ۱ ($T \geq 0.4$): حوضه با فعالیت زمین‌ساختی بالا، رده ۲ ($0.2 \leq T < 0.4$): حوضه با فعالیت زمین‌ساختی متوسط و رده ۳ ($T < 0.2$): حوضه با فعالیت کم زمین‌ساختی. همان‌طور که در شکل (۳)، مشاهده می‌شود ارقام حاصله از شاخص تقارن توپوگرافی عرضی رودخانه بیشتر در رده ۳ قرار گرفته‌اند که این نتایج حاکی از نامتقارن و فعال بودن حوضه‌ها، به‌خصوص در بخش مرکزی در راستای پهنه گسل کاروانسرا دارد. حضور ساختارهای فعال و تراکم بالای شکستگی‌ها در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه عامل برخاستگی منطقه و افزایش میزان این شاخص است. در ۱۵ حوضه مقادیر به دست آمده از این شاخص در رده ۳ و در ۶ حوضه مقادیر این شاخص در رده ۲ و فقط در ۱ حوضه مقادیر این شاخص در رده ۱ قرار گرفته است و در شش حوضه باقیمانده با توجه به شکل هندسی حوضه امکان محاسبه این شاخص امکان‌پذیر نگردید.



شکل ۳- ارزیابی شاخص تقارن توپوگرافی عرضی در منطقه مورد مطالعه.

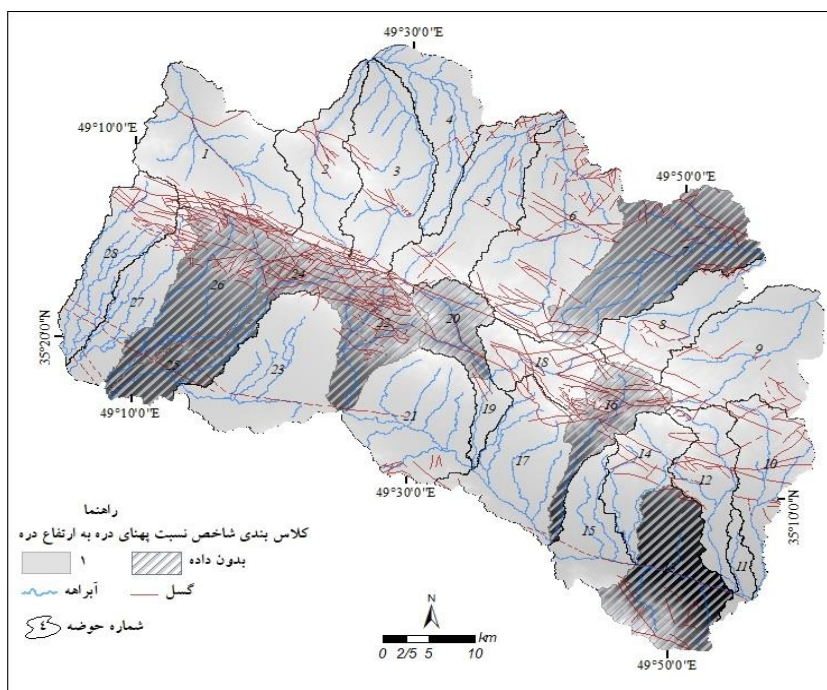
برای شبکه زهکشی منطقه مورد مطالعه می توان یک خط تقسیم در نظر گرفت، یک، دارای روند جنوب باختری - شمال خاوری در شمال پهنه گسل کاروانسرا و دو، با روند شمال خاوری - جنوب باختری در جنوب پهنه گسلی است. اندازه گیری شاخص گرادیان - طول رودخانه برای آبراهه های اصلی از بالا دست به سمت پایین دست در قطعات ۱۰۰ متری صورت گرفته و سپس نقشه پهنه بندی شاخص گرادیان - طول رودخانه تهیه شد (شکل ۴). مقدار این شاخص از ۳۹۳۵ در مناطق فعال نسبی زمین ساختی تا ۵۰ در مناطق با فعالیت کم زمین ساختی متغیر است. در راستای بیشتر گسل های منطقه و در محل تلاقی رودخانه با ساختارهای فعال، طول رود افزایش یافته و یک آنومالی در این قسمت دیده می شود. با تلفیق داده های حاصل از لایه های ساختاری، مقاومت سنگ ها و شاخص گرادیان طول رود این آنومالی ها را می توان به عملکرد ساختارهای فعال در گستره مورد مطالعه نسبت داد. در محل برخورد روندهای مختلف ساختاری در بخش مرکزی منطقه مورد مطالعه، مقدار این شاخص روند افزایشی نشان می دهد، بنابراین می توان گفت حرکات زمین ساختی به خصوص از نوع برخاستگی موجب افزایش گرادیان این رودها در این مناطق شده است.



شکل ۴- ارزیابی شاخص گرادیان - طول رودخانه در منطقه مورد مطالعه.

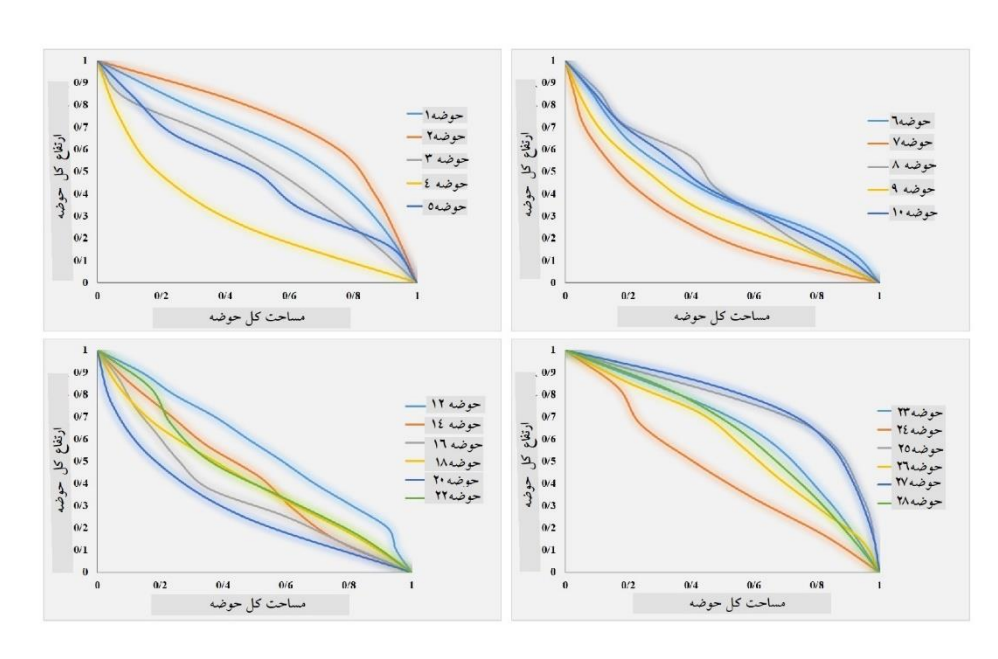
شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، با استفاده از مدل ارتفاع رقومی، مدل سایه ارتفاعی و با کمک گرفتن از مدل سه بعدی تهیه شده از منطقه و رسم نیمرخ از دره‌ها، محاسبه گردیده است. طبق طبقه‌بندی حمدونی و همکاران^۱ (۲۰۰۸)، مقادیر شاخص نسبت پهنای دره به ارتفاع دره را در سه رده بیان داشته‌اند: رده ۱ یا رده با فعالیت زمین‌ساختی فعال (بالا) ($Vf \leq 0.7$)، رده ۲ یا رده با فعالیت زمین‌ساختی متوسط ($0.7 < Vf \leq 1$) و رده ۳ یا رده با فعالیت زمین‌ساختی کم ($Vf > 1$). در شکل (۵) نحوه طبقه‌بندی حوضه‌های منطقه را از نظر شاخص نسبت پهنای دره به ارتفاع دره نشان داده شده است. در حوضه‌هایی که با هاشور نمایش داده شده‌اند، محاسبه این شاخص با توجه به نیمرخ‌های به دست آمده، امکان‌پذیر نبوده است. میزان کم این شاخص نشان‌دهنده بالاآمدگی منطقه است. مقادیر شاخص نسبت پهنای دره به ارتفاع دره در ۲۱ حوضه به دلیل مجاورت این حوضه‌ها با پهنه گسلی فعال کارونسرا مقادیر این شاخص کاهش یافته که نشان‌دهنده فعال بودن این مناطق است. در دیگر حوضه‌ها با توجه به شکل نیمرخ‌های عرضی به دست آمده از کانال اصلی رودخانه‌ها، امکان اندازه‌گیری پارامترها و در نتیجه محاسبه این شاخص فراهم نگردید، که حاکی از فرسایش‌پذیر بودن سنگ‌های اطراف این دره‌ها است.

1 El Hamdouni et al

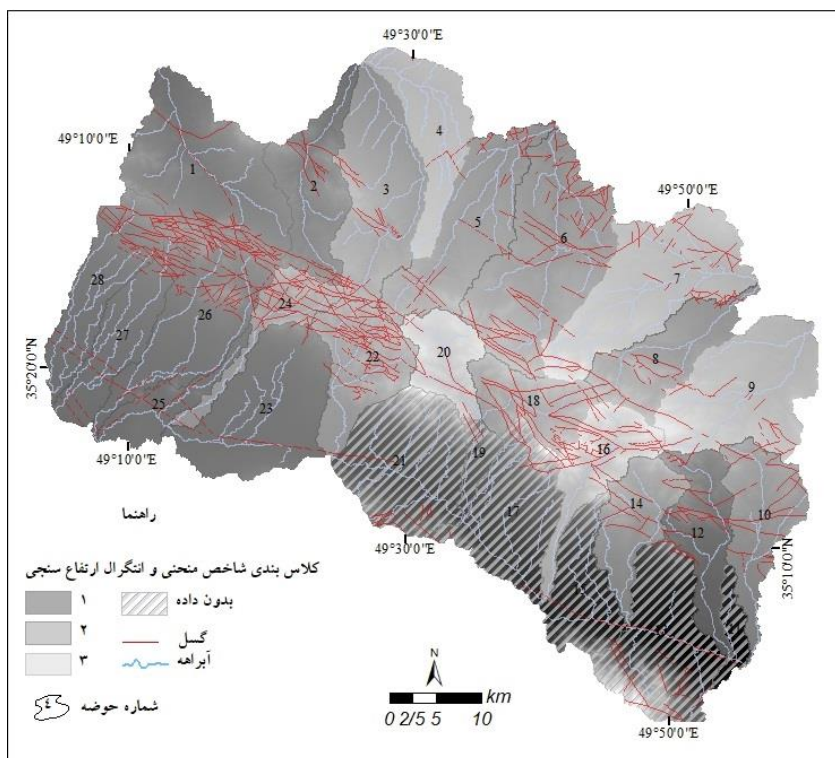


شکل ۵- ارزیابی شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره در منطقه مورد مطالعه.

مساحت کل حوضه (A)، از مجموع مساحت بین هر جفت خطوط تراز مجاور به دست می‌آید. مساحت a ، مساحت سطح حوضه در بالای یک خط ارتفاع خاص (h) است. مقدار مساحت نسبی (a/A) حوضه همیشه از یک در پایین‌ترین نقطه در حوضه ($h/H=1$) تا صفر در بالاترین نقطه حوضه ($h/H=0$) در تغییر است. در منحنی ارتفاع‌سنجی، حوضه‌های زهکشی دارای اندازه‌های متفاوت می‌توانند با یکدیگر مقایسه شوند زیرا مساحت و ارتفاع به‌عنوان توابعی از کل مساحت و کل ارتفاع محاسبه شده‌اند که این یکی از ویژگی‌های مفید منحنی ارتفاع‌سنجی است. منحنی ارتفاع‌سنجی، به تفاوت‌های موجود در ناهمواری‌ها و اندازه حوضه‌ها وابسته نیست. همان‌طور که برای تشخیص دقیق حوضه‌های اندازه‌گیری شده نقشه‌های توپوگرافی باید بزرگ‌مقیاس باشند، نتایج نیز نباید دارای مقیاس‌های مختلفی باشند. با توجه به شکل هندسی حوضه‌ها و وضعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه از ۲۸ حوضه مورد مطالعه، امکان اندازه‌گیری برای ۲۲ حوضه میسر گردید. طبق نمودارهای ارائه شده در شکل ۶، حوضه‌های مورد در ۳ رده طبقه‌بندی شده است. رده ۱، نشانگر توپوگرافی جوان (منحنی به شکل محدب)، رده ۲، یک مقدار متوسط شکل سیگموئیدال منحنی، نشانگر مرحله بلوغ است و رده ۳، توسعه‌ی بیشتر تا مرحله پیری، باعث تغییر در مقدار انتگرال نمی‌شود جز این‌که بقایای فرسایشی مرتفع محفوظ خواهند ماند و منحنی شکل مقعر پیدا می‌نماید.



شکل ۶- منحنی‌های فرازسنجی حوضه‌های آبریز منطقه مورد مطالعه.



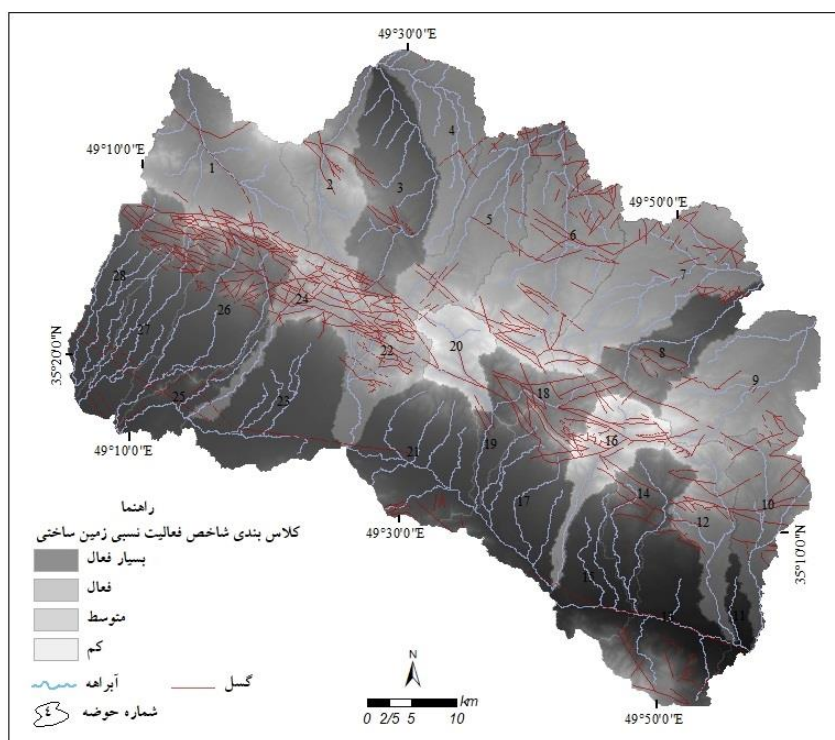
شکل ۷- ارزیابی شاخص منحنی ارتفاع سنجی در منطقه مورد مطالعه.

حوضه‌هایی که در نقشه نهایی این شاخص (شکل ۷)، با هاشور نمایش داده شده است، محاسبه این شاخص امکان‌پذیر نبوده است. بیش‌ترین مقادیر این شاخص مربوط به حوضه‌های ۱، ۲، ۱۲، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۸ است که مرتبط با تغییر پهنه گسلی فعال در این منطقه می‌باشند. به‌طور کلی منحنی‌های فرازسنجی به شکل محدب هستند که بازگوکننده زمین‌ساخت فعال در منطقه است. نمودار حوضه‌ها در بخش باختری منطقه مورد مطالعه به دلیل تراکم بالای شکستگی‌ها دارای شکل محدب و سینوسی هستند که نشان‌دهنده زمین‌ساخت فعال در این محدوده است. در این پژوهش، جهت ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه، ۵ شاخص ریخت‌سنجی، در هر کدام از ۲۸ حوضه محاسبه شد و به ۳ رده زمین‌ساختی تقسیم گردیده‌اند و با استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار جی‌ای‌اس و توابع تحلیلی آن، ۵ لایه اطلاعاتی اِگرادیان طول - طول رودخانه، عدم تقارن حوضه زهکشی، نسبت پهنای دره به ارتفاع دره و تقارن توپوگرافی عرضی حوضه‌ها و منحنی هیپسومتري می‌توانند همپوشانی پیدا کنند، در نتیجه می‌توانیم با دقت بالا رده فعالیت نسبی زمین‌ساختی را در هر ناحیه مشخص نماییم. از همپوشانی لایه‌های شاخص ریخت‌سنجی برای تعیین مناطق زمین‌ساختی فعال استفاده شده و در نهایت برای هر حوضه میانگین مقادیر رده شاخص‌های ژئومورفولوژی اندازه‌گیری شده و به ۴ رده فعالیت زمین‌ساختی طبقه‌بندی شد (جدول ۱). رده‌های زمین‌ساخت فعال نسبی: رده ۱ ($1.0 \leq Iat < 1.5$) که نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا است، رده ۲ ($1.5 \leq Iat < 2.0$)، با فعالیت زمین‌ساختی بالا است، رده ۳ ($2.0 \leq Iat < 2.5$)، بیانگر فعالیت زمین‌ساختی متوسط است و رده ۴ ($Iat \geq 2.5$)، فعالیت زمین‌ساختی نسبی کمی را نشان می‌دهد (حمدونی و همکاران، ۲۰۰۸). پس از رده‌بندی حوضه‌های مورد مطالعه براساس این شاخص (جدول ۱)، نقشه پهنه‌بندی میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی ترسیم شد (شکل ۸).

جدول ۱- مقادیر و رده فعالیت زمین‌ساختی نسبی شاخص‌های مورفومتری در ۲۸ حوضه زهکشی در منطقه مورد مطالعه.

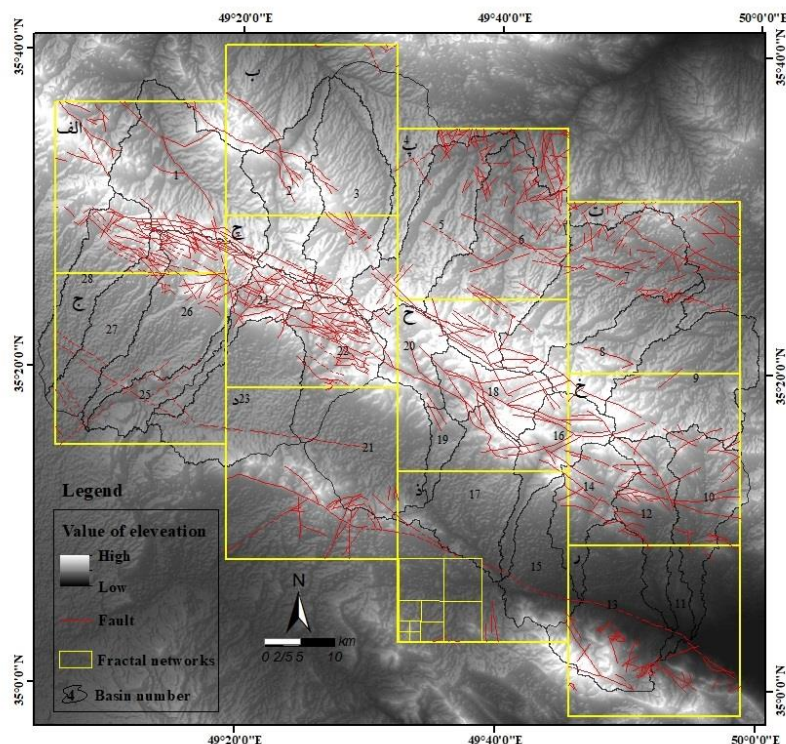
شماره حوضه	کلاس					میانگین شاخص‌ها/تعداد شاخص‌های محاسبه شده	کلاس شاخص فعالیت نسبی تکنیکی
	گرادین طول رود	عدم تقارن حوضه زهکشی	نسبت پهنای دره به ارتفاع دره	توپوگرافی عرضی حوضه	انگزال همپسومتربیک		
۱	۲	۲	۱	۳	۱	۱/۸	۲
۲	۲	۳	۱	۲	۱	۱/۸	۲
۳	۱	۱	۱	۱	۲	۱/۲	۱
۴	۱	۳	۱	۱	۳	۱/۸	۲
۵	۲	۲	۱	۲	۲	۱/۸	۲
۶	۱	۳	۱	۳	۲	۲	۳
۷	۱	۲	۱	۳	۳	۲	۳
۸	۱	۲	۱	۱	۲	۱/۴	۱
۹	۲	۲	۱	۲	۳	۲	۳
۱۰	۲	۳	۱	۱	۲	۱/۸	۲
۱۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱
۱۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱/۴	۱
۱۳	۲	۲	۰	۰	۰	۲	۳
۱۴	۲	۱	۱	۱	۲	۱/۴	۱
۱۵	۲	۱	۱	۰	۰	۱/۳۳	۱
۱۶	۳	۳	۰	۲	۳	۲/۷۵	۴
۱۷	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱
۱۸	۱	۲	۱	۱	۲	۱/۴	۱
۱۹	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱
۲۰	۲	۳	۰	۳	۳	۲/۷۵	۴
۲۱	۱	۱	۱	۲	۰	۱/۲۵	۱
۲۲	۲	۲	۰	۱	۲	۱/۷۵	۲
۲۳	۲	۱	۱	۲	۱	۱/۴	۱
۲۴	۲	۱	۰	۱	۲	۱/۵	۲
۲۵	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
۲۶	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
۲۷	۱	۲	۱	۱	۱	۱/۲	۱
۲۸	۱	۱	۱	۲	۱	۱/۲	۱

با توجه به نقشه پهنه‌بندی نهایی از میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی در منطقه مورد مطالعه می‌توان بیان نمود که حوضه‌های بخش جنوبی پهنه گسلی کاروانسرا از میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی بیشتری در قیاس با دیگر حوضه‌ها در محدوده مورد مطالعه برخوردار می‌باشند که تراکم گسل‌ها در این منطقه خود شاهدی بر این ادعا است. عملکرد سامانه گسلی فعال در این مناطق نقش مؤثر در ایجاد نرخ‌های بالایی از میزان فعالیت نسبی زمین‌ساختی در این حوضه‌ها داشته است. نتایج تمامی شاخص‌های ریخت‌سنجی بررسی شده در این پژوهش نیز، هر یک به تنهایی، نرخ بالای فعالیت نسبی زمین‌ساختی را در این حوضه‌ها تأیید می‌نمایند.

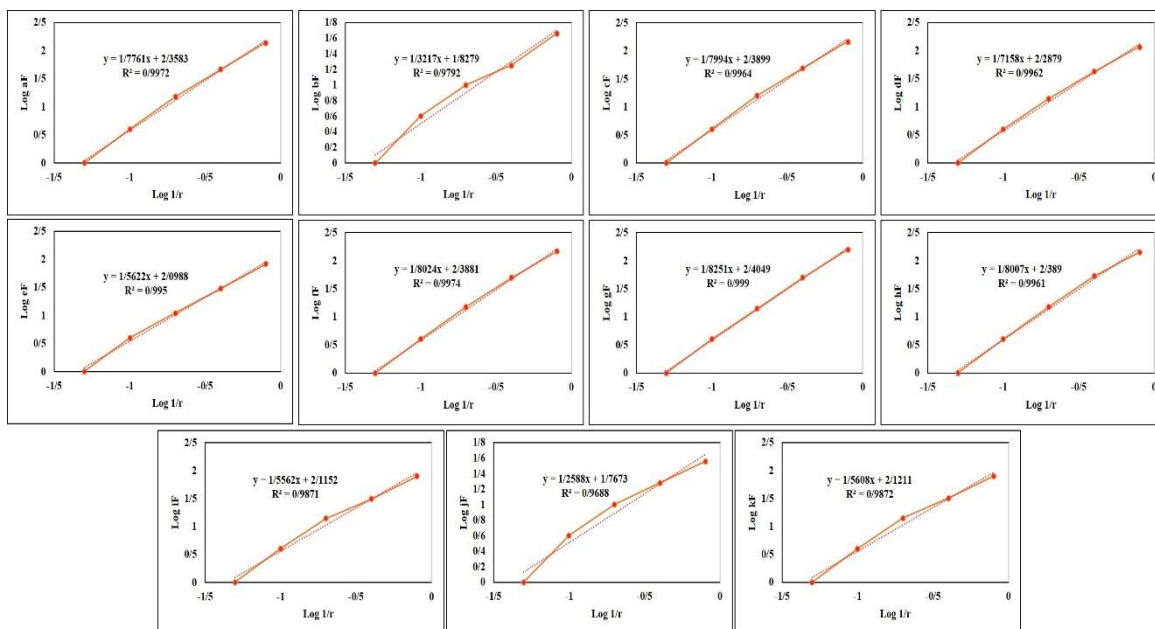


شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی در منطقه مورد مطالعه.

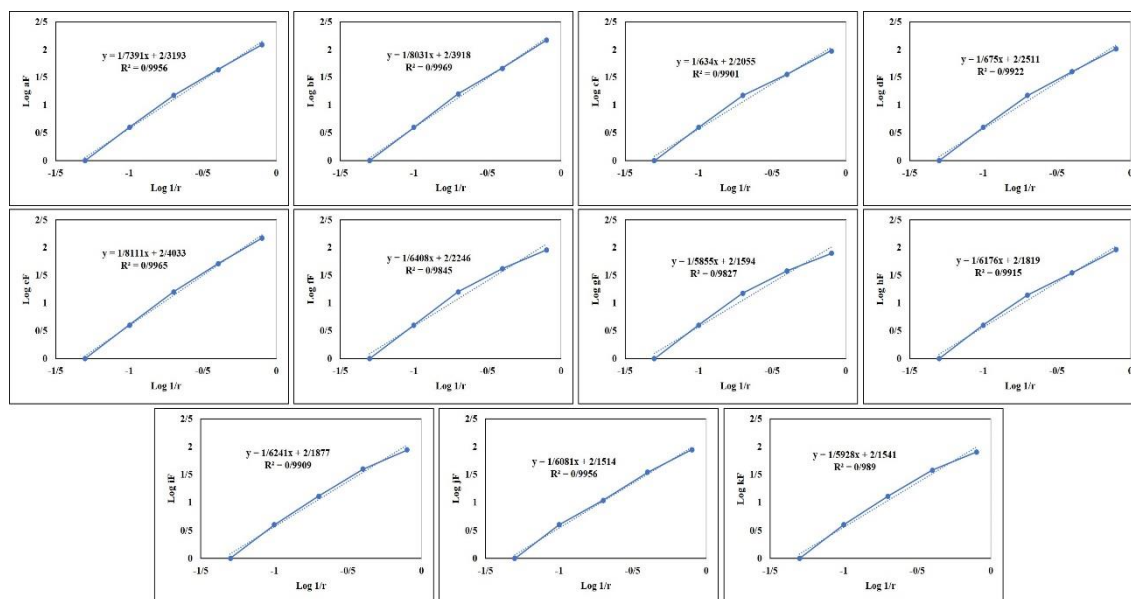
با توجه به وضعیت ژئومورفولوژی منطقه، برای اعمال روش مربع شمار، منطقه مورد مطالعه به ۱۱ مربع با ابعاد ۲۰ کیلومتر تقسیم گردید. در بررسی فرکتال سیستم گسلی منطقه هر کدام از مربع‌ها، جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفت و برای هر یک بعد فرکتالی محاسبه شد. در شکل (۹)، نقشه شبکه‌بندی و پارامترهای تحلیل فرکتال حاصل از بررسی سیستم گسلی منطقه نشان داده شده است. با رسم نمودارهای مربوط به هر پهنه یک بعد فرکتالی به دست آمد (۱۰). وجود اختلاف بعد فرکتالی در بخش‌های متفاوت پهنه گسلش نشانگر تفاوت هندسه سیستم گسلش آن بخش‌ها با یکدیگر است (شهریاری و خطیب، ۱۳۷۶). مقدار کم بعد فرکتالی نشانگر این خواهد بود گستره سطحی سیستم گسل محدود بوده و دگرشکلی در آن به حد نهایی رسیده است و مقدار زیاد بعد فرکتالی نشانگر گستره سطحی زیاد سیستم گسلی و بلوغ کمتر سیستم گسل است (شهریاری و خطیب، ۱۳۷۶). منطقه مورد مطالعه پهنه‌های چ، ح و خ بیشترین ($D_f=1/82$ ، $D_g=1/81$ و $D_h=1/81$) و پهنه‌های ب و د ($D_f=1/32$ و $D_g=1/26$) کمترین، بعد فرکتالی را نشان می‌دهند (شکل ۱۰). تراکم بالای شکستگی‌های ساختاری (گسل‌ها)، توپوگرافی مرتفع بخش مرکزی پهنه گسل کاروانسرا و عملکرد فعال نیروهای زمین‌ساختی در این منطقه نشان از بر خاستگی فعال در پهنه‌های چ، ح و خ و تأییدی بر محاسبات انجام شده در این پژوهش دارد.



شکل ۹- نقشه گسل‌های منطقه مورد مطالعه و شبکه‌بندی که برای اعمال روش مربع‌شمار در به دست آوردن بعد فرکتال ترسیم گردیده است.



شکل ۱۰- نمودارهای لگاریتمی عکس طول ضلع مربع‌ها به تعداد مربع‌هایی که حاوی گسل می‌باشند.



شکل ۱۲- نمودارهای لگاریتمی عکس طول ضلع مربع‌ها به تعداد مربع‌هایی که حاوی آبراه می‌باشند.

۴- جمع‌بندی

حضور گسل‌ها و شکستگی‌ها متعدد با روند غالب شمال‌باختر - جنوب‌خاور و دیگر روندها در پهنه گسل کاروانسرا بیانگر عملکرد نیروهای زمین‌ساختی جوان در منطقه شمال نوبران در باختر ایران است. در این پژوهش جهت برآورد شاخص ارزیابی فعالیت نسبی زمین‌ساختی در گستره عملکرد پهنه گسل کاروانسرا، پنج شاخص ریخت‌سنجی، شاخص عدم تقارن حوضه‌زهکشی، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی، شاخص گرادیان - طول رودخانه، شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن و شاخص منحنی فراسنجی محاسبه گردید. با توجه به نقشه پهنه‌بندی نهایی از میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی در منطقه مورد مطالعه می‌توان بیان نمود که حوضه‌های جبهه جنوبی پهنه گسلی کاروانسرا (حوضه‌های ۱۲، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۸) از میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی بیشتری در قیاس با دیگر حوضه‌ها در محدوده مورد مطالعه برخوردار می‌باشند. تراکم گسل‌ها در این منطقه خود شواهدی بر این ادعا است. عملکرد سامانه گسلی فعال در این مناطق نقش مؤثر در ایجاد نرخ‌های بالایی از میزان فعالیت نسبی زمین‌ساختی در این حوضه‌ها داشته است. همچنین بعد فرکتالی در ۱۱ مربع در منطقه مورد مطالعه برای الگوی گسل‌ها و شبکه زهکشی منطقه به روش مربع‌شمار، نمودارهای Log-Log و استفاده از تحلیل‌های فرکتالی مربوطه محاسبه شده است. بررسی نوزمین‌ساخت پهنه گسلی کاروانسرا و قرارگیری حوضه‌ها، با میزان فعالیت زمین‌ساختی متوسط تا بالا، در پهنه گسل‌های اصلی و فعال در منطقه به‌خصوص در مناطقی که تراکم شکستگی‌ها بیش از دیگر مناطق است و ابعاد فرکتالی محاسبه شده برای پهنه گسلی و شبکه زهکشی، نشان‌دهنده

عملکرد فعال سامانه گسلی در جبهه جنوبی محدوده مورد مطالعه است. پهنه‌های چ، ح و خ بیشترین ($D_f=1/82$)، $D_g=1/81$ و $D_h=1/81$) و پهنه‌های b و j ($D_b=1/32$ و $D_j=1/26$) کمترین، بعد فرکتالی گسل‌ها و پهنه‌های k و g دارای کمترین میزان بعد فرکتال ($D_k=1/59$ و $D_g=1/58$) و پهنه e و b ($D_e=1/81$ و $D_b=1/80$) داری بیشترین بعد فرکتال آبراهه‌ها را نشان می‌دهند. مقادیر به دست آمده با تفاوت‌های ژئومورفیک در هر پهنه قابل توجیه است. به این ترتیب که هرچه منطقه مرتفع‌تر باشد، آبراهه‌ها به طرح موازی و خطی تمایل پیدا می‌کنند، در این صورت بعد فرکتالی کاهش می‌یابد. تراکم بالای شکستگی‌های ساختاری (گسل‌ها)، توپوگرافی نقش مؤثر ساختارهای زمین‌ساختی در ایجاد نرخ‌های بالایی از میزان فعالیت نسبی زمین‌ساختی و ریخت‌شناسی شبکه زهکشی به‌عنوان عوامل مخاطرات طبیعی جدی در محدوده مورد مطالعه محسوب می‌شوند.

کتابنامه

- اورنگ، کیوان؛ محجل، محمد؛ تاج‌بخش، غلامرضا؛ ۱۳۹۳. شواهد وارونگی بردار لغزش در گسل کوشک نصرت، شمال ساوه، فصلنامه علمی - پژوهشی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور. شماره ۹۴، ۳۲۸-۳۱۵.
- بهرامی، شهرام؛ معتمدی‌راد، محمد؛ اکبری، الهه؛ ۱۳۹۲. بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه زهکشی (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی در شمال شرق کشور). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال سوم، شماره ۱۲، ۱۰۲-۸۵.
- پورکرمانی، محسن؛ معتمدی، حسین؛ ۱۳۸۱. روش‌های زمین‌شناسی ساختمانی. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- سلیمانی، شهریار؛ ۱۳۷۸. رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه‌لرزه‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندس زلزله.
- سیف، عبدالله؛ خسروی، قاسم؛ ۱۳۸۹. بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی سابق). شماره ۷۴، ۱۲۵-۱۴۶.
- علایی مهابادی، سلیمان؛ خلعتبری جعفری، مرتضی؛ ۱۳۸۳. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نوبران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- علایی مهابادی، سلیمان؛ فودازی، محمد؛ ۱۳۸۶. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رزن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قنواتی، عزت‌الله؛ صفاکیش، فریده؛ مقصودی، یاسر؛ ۱۳۹۶. ارزیابی تکتونیک فعال در زیر حوضه‌های جراحی - زهره بر پایه تحلیل مورفوتکتونیکی و اثرهای آن بر میدان‌های نفتی حوضه مورد مطالعه، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. دوره ۴۹، شماره ۲، ۲۴۰-۲۲۱.
- گورابی، ابوالقاسم؛ ۱۳۹۵. تکتونیک فعال، زمین‌لرزه‌ها، بالآمدگی و چشم‌انداز. انتشارات دانشگاه تهران.
- گورابی، ابوالقاسم؛ نوحه‌گر، احمد؛ ۱۳۸۶. شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۰، ۱۹۶-۱۷۷.

محمودی، مریم؛ ۱۳۹۷. تحلیل ساختاری و نوزمین ساخت پهنه گسلی خلیخاب، شمال باختر ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر امیرحسین صدر، دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده علوم پایه.
مقصودی، مهران؛ عمالدین، سمیه؛ ۱۳۸۳. ارزیابی ویژگی های لندفرم های نواحی بیابانی با تأکید بر دشت لوت. مطالعات جهانگردی دانشگاه علامه طباطبائی. شماره ۶، ۹۵-۱۰۹.

- Alipoor, R, Poorkermani, M, Zare, M, El Hamdouni, R., 2011. Active tectonic assessment around Rudbar Lorestan dam site, High Zagros Belt (SW of Iran). *Geomorphology*, 128: 1-14.
- Alizadeh, A, Lopez Martinez, M, Sarkarinejad, Kh., 2010. Petrology, geochemistry 40Ar-39Ar Geochronology in a gneiss dome within the Zagros Orogenic Belt Geochronologie 40Ar-39Ar dans un dome gneissique de la ceinture orogenique du Zagros. *C. R. Geoscience*, 342: 837-846.
- Bolourchi, MH., 1978. Geological Quadrangle Map of Avaj, Scale 1:100,000, Sheet D 5861. Geological Survey of Iran.
- Bull, WB, McFadden, LD., 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, and Binghamton, 115-138.
- Bull, WB., 2007. *Tectonic geomorphology of mountains: a new approach to paleoseismology*, Blackwell Publishing, Malden, MA. 316.
- Burbank, D, Anderson, R., 2001. *Tectonic Geomorphology*. Blackwell science. 274p.
- Ciccacci, S, Fredi, P, Lupia Palmieri, E, Pugliese, F., 1986. Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters. *International Geomorphology*, 2: 33-48.
- El Hamdouni, R, Irigaray, C, Fernandez, T, Chacan, J, Keller, EA., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96, pp.150-173.
- Guarnieri, P, Pirrotta, C., 2008. The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 95: 260-273.
- Hack, JT., 1973. Stream-profile analysis and stream-gradient index, U.S. Geological Survey Journal of Research, 1: 421 - 429.
- Hare, PW. Gardner, TW., 1985. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M., Hack, J.T. (Eds.), *Tectonic Geomorphology*. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium. Allen and Unwin, Boston, MA, 123-134.
- Keller, EA, Bonkowski, MS, Korsch, RJ, Shlemon, RJ., 1982. Tectonic geomorphology of the San Andreas Fault zone in the southern Indio Hills, Coachella Valley, California. *Geological Society of America Bulletin* 93: 46-56.
- Keller, EA, Pinter, N., 1996. *Active tectonics: earthquakes, uplift, and landscape*. by Prentice-Hall, Inc. Simon and Schuster/A Viacom Company Upper Saddle River, New Jersey, 7458: 121 - 145.
- Keller, EA, Pinter, N., 2002a. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*, second ed. Prentice Hall, NJ. 362.
- Li, Y, Yang, J, Tan, L, Duan, F., 1999. Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi corridor, Northwest China. *Geomorphology*, 28: 299-308.

- Molin, P, Pazzaglia, FJ, 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.
- Obruchev, VA., 1948. Osnovnyje certy Kinetiki i plastiki neotectoniki, *Izv. Akad. Nauk SSSR Ser. Geol.* 5 (First introduced the term neotectonics into the geological literature).
- Ramirez, M. Herrera, MT., 1998. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 317-332.
- Turcotte, DL., 1997. *Fractals and Chaos in Geology and Geophysics*", Cambridge Univ. Press.