



## Exploring the Active Tectonics of Kalardasht and Abbasabad Basin based on Morphometric Indices

 Mohammad Khalaj<sup>a\*</sup>, Hasan Alizadeh<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Associate Professor in Geology, University of Payam-e Noor, Tehran, Iran

<sup>b</sup> Associate Professor, Department of Geology, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran

**Received: 13 March 2023**

**Revised: 9 May 2023**

**Accepted: 21 May 2023**

### Abstract

Morphometric indices are widely used as a tool for identifying and characterizing the deformed sections by active faults. So far, the relationship between active tectonics and morphotectonics has not been studied in the studied area. By determining active processes in the Klardasht and Abbasabad basin and taking the necessary measures, it is possible to avoid damages caused by natural hazards such as floods and earthquakes in this area. In this study, using morphometric indices, the basins of a part of Central Alborz were investigated in terms of the influence of active tectonics. So, the Klardasht and Abbasabad basin was analyzed using Hierarchical Anomaly Index ( $\Delta a$ ), Longitudinal River Gradient index (SL), Form Factor Index (Ff), Drainage Density Index (Dd) and Relative Prominence Index (Bh) in 18 drainage basins of the specific area. Along the North Alborz, Khazar and Azarak faults, the amount of these indicators increased. So, it can be concluded that the tectonics of the studied area is active due to the activity of these faults. Finally, by determining the Relative Active Tectonic index (Iat), the region was zoned into four categories (very high, high, medium and low) in terms of the level of tectonic activity. In about 66.5% of the region, which is dominated by the activity of the main faults in the region. Other sub-faults formed by recent tectonic movements show moderate to high tectonic activity.

**Keywords:** Morphotectonic Indices, Active Tectonics, Morphometric Indices, Environmental Hazards, Klardasht and Abbasabad Basin

\*. Corresponding author: Mohammad Khalaj

Email: m\_khalaj@pnu.ac.ir

Tel: +989122725698

**How to cite this Article:** khalaj, M., Alizadeh, H., (2024). Exploring active tectonics of Kalardasht and Abbasabad basin based on morphometric indices. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(4), 311-330.

DOI:10.22067/geoeh.2023.81592.1344



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 12, Issue 4 - Number 48, Winter 2024

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.81592.1344> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و هشتم، زمستان ۱۴۰۲، صص ۳۳۰-۳۱۱  
مقاله پژوهشی

### زمین‌ساخت فعال حوضه آبریز کلاردشت و عباس‌آباد بر اساس شاخص‌های ریخت‌سنجی

محمد خلیج<sup>۱</sup>-دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران  
حسن علیزاده-دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۲/۱۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۲/۲/۳۱

#### چکیده

شاخص‌های ریخت‌سنجی به‌عنوان ابزاری برای شناسایی و مشخص کردن بخش‌های تغییر شکل یافته به‌وسیله گسل‌های فعال مورد استفاده قرار می‌گیرند. تاکنون در گستره مورد بررسی ارتباط بین زمین‌ساخت فعال و ریخت‌سنجی زمین‌ساخت مورد مطالعه قرار نگرفته است. با تعیین فرآیندهای فعال در حوضه آبریز کلاردشت و عباس‌آباد و تمهیدات لازم، تا حدود زیادی می‌توان از خسارت‌های ناشی از بلایای طبیعی مانند سیل و زلزله در این منطقه جلوگیری کرد. بر همین اساس حوضه آبریز کلاردشت و عباس‌آباد با استفاده از شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی ( $\Delta a$ )، گرادیان طولی رود (SL)، شکل حوضه ( $Ff$ )، تراکم زهکشی ( $Dd$ ) و برجستگی نسبی ( $Bh$ ) در ۱۸ حوضه زهکشی منطقه مشخص و بر اساس آن پهنه‌بندی شد. در امتداد گسل‌های شمال البرز، خزر و آذرک، حسن گیل و راندگی طالقان میزان این شاخص‌ها افزایش یافته و در نتیجه می‌توان استنباط کرد که زمین‌ساخت منطقه مورد بررسی در اثر فعالیت این گسل‌ها فعال است. شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی ( $Iat$ ) منطقه از لحاظ سطح فعالیت زمین‌ساختی به چهار دسته بسیار بالا، بالا، متوسط و کم پهنه‌بندی شد. در حدود ۶۶/۵ درصد از منطقه تحت سیطره

Email: [m\\_khalaj@pnu.ac.ir](mailto:m_khalaj@pnu.ac.ir)

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۲۷۲۵۶۹۸

نحوه ارجاع به این مقاله:

خلیج، محمد، علیزاده، حسن. (۱۴۰۲). زمین‌ساخت فعال حوضه آبریز کلاردشت و عباس‌آباد بر اساس شاخص‌های ریخت‌سنجی.

جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۴). صص ۳۱۱-۳۳۰

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.81592.1344>

فعالیت گسل‌های اصلی منطقه است و همچنین گسل‌های فرعی دیگری که در اثر حرکات زمین‌ساختی اخیر تشکیل شده‌اند، فعالیت زمین‌ساختی متوسط به بالایی را ارائه می‌دهند.

**کلیدواژه‌ها:** شاخص‌های ریخت‌سنجی، زمین‌ساخت فعال، مخاطرات محیطی، حوضه آبریز کلاردشت و عباس‌آباد.

#### ۱- مقدمه

ریخت زمین‌ساخت<sup>۱</sup> دانشی است که می‌تواند تأثیر زمین‌ساخت فعال<sup>۲</sup> را با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی<sup>۳</sup> به‌عنوان سنجش و توصیف کمی اشکال و چشم‌اندازهای زمین<sup>۴</sup> بر رودخانه‌ها مشخص کند؛ بر همین اساس اندازه‌گیری‌های کمی شرایطی را فراهم می‌آورد تا با استفاده از آن‌ها به شناسایی وضعیت مناطق دارای زمین‌ساخت فعال پرداخت.

فرآیندهای زمین‌ساخت فعال می‌تواند شکل و عملکرد رودخانه‌ها را تحت تأثیر قرار دهد، رودخانه‌ها از مهم‌ترین چشم‌اندازهای موجود در سطح زمین هستند که به‌سرعت و به‌طور ثابت به تغییر شکل حاصل از زمین‌ساخت فعال در سطح زمین که بازتاب‌کننده تغییرات جزئی در توپوگرافی است، واکنش نشان می‌دهند (هولبرک<sup>۵</sup> و شوم<sup>۶</sup>، ۱۹۹۹: **سبیر<sup>۷</sup> و گورنیتز<sup>۸</sup>**، ۱۹۸۳). بررسی الگوی زهکشی و انحراف رودها، اطلاعات مهمی در مورد گسترش و تکامل ساختاری منطقه فراهم می‌آورد (کلر و همکاران، ۱۹۹۸: **واکر<sup>۹</sup>**، ۲۰۰۶).

مخاطرات ریخت زمین‌ساختی از مخاطرات محیطی می‌باشند که در سراسر جهان باعث اختلال جدی در فعالیت‌های انسانی می‌شوند. در سال‌های اخیر شناخت مناطق مخاطره‌آمیز و دارای پتانسیل خطر افزایش یافته و راهکارهای ریخت زمین‌ساختی برای حل مسائل محیطی توسعه یافته است (الکانترا-ایالا<sup>۱۰</sup> و گودی<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۰). بسیاری از بلایای طبیعی منشأ ریخت زمین‌ساختی دارند و همه کشورها تحت تأثیر این بلایا قرار می‌گیرند (لاتروبس<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۰).

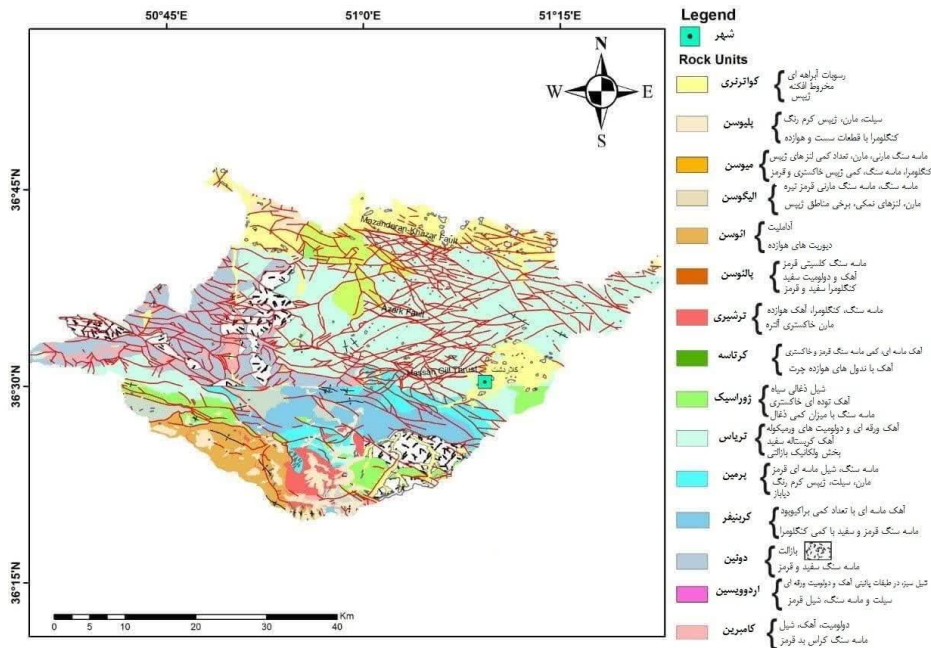
- 
- 1 Morphotectonics
  - 2 Activetectonic
  - 3 Morphometrics
  - 4 Landforms
  - 5 Holberk
  - 6 schumm
  - 7 Seeber
  - 8 Gornitz
  - 9 Walker
  - 10 Alcántara-Ayala
  - 11 Goudie
  - 12 Latrubesse

از جمله تحقیقاتی که در مورد مخاطرات ریخت زمین‌ساختی انجام شده است می‌توان به تحقیقات بول<sup>۱</sup> و مک فادن<sup>۲</sup> (۱۹۷۷)، ال حمدونی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، پرز پنا<sup>۴</sup> (۲۰۰۹)، فیگارو<sup>۵</sup> و نات<sup>۶</sup> (۲۰۱۰)، گیاکونیا<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد. همچنین می‌توان به کارهای محمدی و همکاران (۱۳۹۶)، یمانی و همکاران (۱۳۸۹)، خدابخش‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵)، آلبیده و همکاران (۱۳۹۰)، بلبایی و همکاران (۱۳۹۶) رابطی و همکاران (۱۳۹۷)، بیاتی خطیبی (۱۳۸۸)، جلالی و همکاران (۱۳۹۵)، جباری و همکاران (۱۳۹۷) و مقصودی و کامرانی (۱۳۸۷) اشاره کرد.

حوضه آبریز کلاردشت و عباس‌آباد بین عرض‌های جغرافیایی  $36^{\circ}19'35''$  و  $36^{\circ}46'18''$  شمالی و بین طول‌های جغرافیایی  $50^{\circ}34'32''$  و  $51^{\circ}22'27''$  شرقی و در دامنه شمالی البرز مرکزی قرار گرفته است. گسل‌های اصلی این منطقه شامل گسل شمال البرز، خزر، حسن‌گیل، آذرک و راندگی طالقان هستند (شکل ۱). از آنجاکه تاکنون ارتباط بین زمین‌ساخت فعال و ریخت‌سنجی در حوضه آبریز کلاردشت و عباس‌آباد مورد مطالعه قرار نگرفته است، بنابراین بررسی این شاخص‌ها به منظور شناسایی تأثیر زمین‌ساخت فعال بر تکامل زمین‌ساختی حوضه‌های زهکشی و رودخانه‌های این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش وضعیت زمین‌ساخت فعال حوضه آبریز کلاردشت و عباس‌آباد با استفاده از شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی ( $\Delta a$ )، گرادیان طولی رود (SL)، شکل حوضه (Ff)، تراکم زهکشی (Dd) و برجستگی نسبی (Bh) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

---

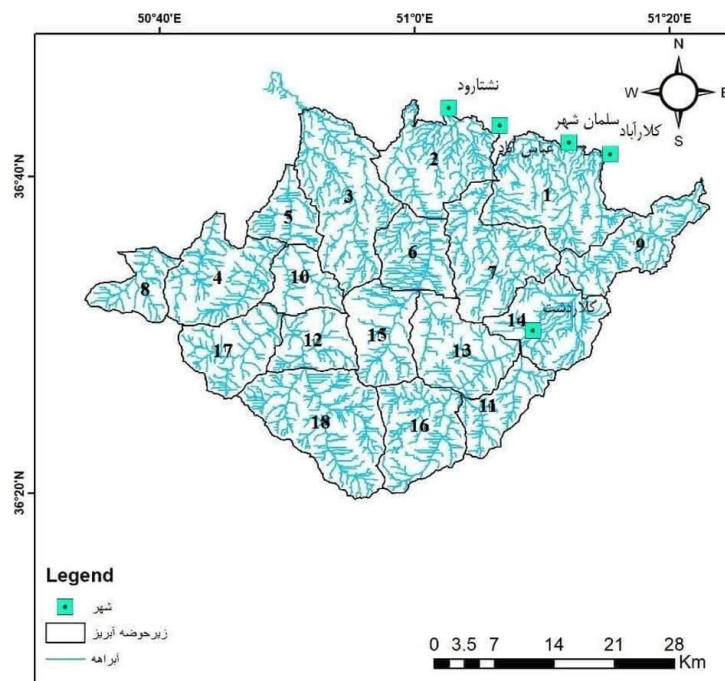
1 Bull  
2 McFadden  
3 El Hamdouni  
4 Perez Pena  
5 Figueroa  
6 knott  
7 Giaconia



شکل ۱- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

۲- مواد و روش ها

ابتدا آبراهه‌ها و حوضه‌های منطقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۳۰ متر در محیط نرم افزار Arc GIS استخراج شد (شکل ۲). سپس اصلاحات لازم بر آبراهه‌ها و حوضه‌های استخراجی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای انجام شد و در نهایت گستره مورد مطالعه به ۱۸ زیرحوضه تقسیم شد. برای حوضه‌های استخراج شده شاخص‌های ریخت‌سنجی اندازه‌گیری شد و برای هر شاخص نقشه پهنه‌بندی فعالیت زمین‌ساختی در محدوده مورد بررسی تهیه شد و نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل ۲- نقشه حوضه‌ها و آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه

## ۲-۱- شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی<sup>۱</sup>

این شاخص بر اساس تعداد انشعاباتی که از یک آبراهه رده یک به آبراهه رده دو یا چند رده بالاتر از خود می‌ریزد محاسبه می‌شود. پس از بررسی دو یا چند حوضه با توجه به مقادیر به‌دست آمده، تفاوت میزان فعالیت زمین‌ساخت بین حوضه‌های مختلف تعیین می‌شود (هورتون<sup>۲</sup>، ۱۹۴۵). وارد شدن یک رده آبراهه به آبراهه دو یا چند رده بالاتر از خود، ناهنجاری سلسله مراتبی نامیده می‌شود. برای مثال زمانی که آبراهه رده ۱ وارد آبراهه‌های رده ۳، ۴ و بالاتر شود، ناهنجاری سلسله مراتبی دارد. این شاخص به صورت رابطه ذیل (رابطه ۱) محاسبه می‌شود:

$$H_A(i>j) = 2^{i-1} - 2^{j-1}$$

$$H_{at} = H_A(i > j) * No.(i > j) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه  $H_A$  شاخص سلسله مراتبی،  $j$  رده رودخانه بالاتر و  $i$  رده رودخانه پایین‌تر است و  $No.(i > j)$  تعداد انشعاباتی است که از رده بالا به رده پایین می‌ریزد؛ در نهایت ناهنجاری سلسله مراتبی محاسبه می‌شود. بعد از محاسبه  $H_{at}$  تعداد آبراهه‌ها در هر اتصال ( $N_{Si-j}$ ) به‌دست می‌آید (جدول ۱). سپس از مجموع حاصل ضرب  $H_{at}$  و  $N_{Si-j}$  تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه برای کل حوضه  $H_{at}$  به‌دست می‌آید. مجموع مقادیر محاسبه شده برای

1 Hierarchical anomaly index

2 Horton

تمامی رده‌ها بر تعداد کل آبراهه‌های رده ۱ تقسیم می‌شود و به‌عنوان شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی ( $\Delta_a$ ) هر حوضه تعیین می‌شود.

### ۲-۲- شاخص گرادیان طولی رود<sup>۱</sup>

این شاخص به‌منظور ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی مورد استفاده قرار می‌گیرد (کلر<sup>۲</sup> و پیتر<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲) و نشان‌دهنده تغییرات توپوگرافیکی در امتداد یک رود است. این شاخص که تأثیر تغییرات محیطی بر روی نیمرخ‌های طولی رودخانه را نشان می‌دهد، از رابطه زیر (رابطه ۲) به‌دست می‌آید:

$$S_L = (\Delta H / \Delta L) L \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه  $S_L$  شاخص شیب رودخانه،  $\Delta H$  اختلاف ارتفاع در یک مقطع خاص از رودخانه،  $\Delta L$  فاصله افقی همان محل و یا  $\Delta H / \Delta L$  شیب بخشی از کانال رودخانه است و  $L$  طول رودخانه از نقطه مرکزی همان محل تا سرچشمه رودخانه می‌باشد.

### ۲-۳- شاخص تراکم زهکشی<sup>۴</sup>

تراکم زهکشی یک شاخص ریخت‌سنجی مهم برای حوضه‌هایی است که آبراهه‌های آن، بازتاب‌کننده فرآیندهای حاکم بر حفر چشم‌اندازها است (شوم<sup>۵</sup>، ۱۹۹۷). تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه به مساحت حوضه محاسبه می‌شود (هورتون<sup>۶</sup>، ۱۹۴۵) و با توجه به رابطه زیر (رابطه ۳) به‌دست می‌آید:

$$D_d = L_u / A \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه بالا  $L_u$  مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه و  $A$  مساحت حوضه می‌باشد. به‌طور کلی مقادیر پایین تراکم زهکشی در مناطق بسیار مقاوم و دارای مواد نفوذپذیر زیر خاک، دارای پوشش گیاهی زیاد بوده و در مناطقی که برجستگی کم است دیده می‌شود، اما مقادیر بالای تراکم زهکشی بیان‌گر آن است که منطقه شامل واحدهای سنگی با مقاومت کم یا نفوذناپذیر، با پوشش گیاهی اندک و پستی‌وبلندی زیاد است.

### ۲-۴- شاخص ضریب شکل<sup>۷</sup>

حوضه‌های آبریز از نظر ظاهری دارای شکل‌های گوناگون می‌باشند. به دلیل این که شکل حوضه تابعی از پستی‌وبلندی و محیط آن می‌باشد گوناگونی زیادی در شکل حوضه‌ها دیده می‌شود و مقایسه آن‌ها را با یکدیگر

1 Longitudinal River Gradient index

2 Keller

3 Pinter

4 Drainage Density index

5 Schumm

6 Horton

7 Form Factor index

مشکل می‌سازد. برای حل این مشکل از روابطی که در آن‌ها مؤلفه‌های ثابتی از حوضه گنجانده شده است استفاده می‌شود (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۶). از جمله این مؤلفه‌ها می‌توان به ضریب شکل اشاره کرد. این شاخص با رابطه زیر (رابطه ۴) به دست می‌آید (هورتون، ۱۹۴۵):

$$F_f = A / L^2 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه بالا  $F_f$  ضریب شکل،  $A$  مساحت حوضه و  $L^2$  مجذور طول حوضه است. طول حوضه از محل خروج آبراه اصلی تا مرتفع‌ترین نقطه در حوضه محاسبه می‌شود. این شاخص شدت جریان در یک مساحت معین می‌باشد. هر چه مقدار ضریب شکل به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد حوضه مذکور به مربع نزدیک‌تر است و هر چه ضریب شکل کوچک‌تر از یک باشد حوزه کشیده‌تر است. حوضه‌های زهکشی در مناطق فعال از نظر زمین‌ساختی، دارای شکل کشیده‌تر می‌باشند (بول<sup>۱</sup> و مک‌فادن<sup>۲</sup>، ۱۹۷۷). حوضه‌هایی با ضریب شکل بزرگ‌تر دارای دبی اوج بالا هستند (سینج<sup>۳</sup>، ۲۰۱۴)

#### ۲-۵- شاخص برجستگی نسبی<sup>۴</sup>

برجستگی حوضه نقش مهمی در توسعه زهکشی، حرکت آب‌های سطحی و زیرزمینی، تراوایی، توسعه اشکال سطحی زمین و ویژگی‌های فرسایشی عوارض زمینی دارد. مقدار بالای برجستگی نشان‌دهنده شدت جریان آب، نفوذ پایین و مقدار بالای رواناب می‌باشد. برجستگی نسبی از اختلاف بین مرتفع‌ترین و پست‌ترین ارتفاعات حوضه به دست می‌آید و از رابطه زیر (رابطه ۵) محاسبه می‌شود (کلر<sup>۵</sup> و پیتر<sup>۶</sup>، ۲۰۰۲):

$$B_h = H_{\max} - H_{\min} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه  $H_{\max}$  مقدار ارتفاع بیشینه و  $H_{\min}$  مقدار ارتفاع کمینه حوضه است.

#### ۲-۶- شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی<sup>۷</sup>

به منظور طبقه‌بندی منطقه بر اساس شاخص زمین‌ساخت نسبی ( $I_{at}$ ) و بر اساس مقادیر شاخص‌های ریخت‌سنجی، هر یک از ناهنجاری سلسله مراتبی ( $\Delta_a$ )، شاخص گرادیان طولی رودخانه ( $S_L$ )، شاخص تراکم زهکشی ( $D_d$ )، شاخص ضریب شکل ( $F_f$ ) و شاخص برجستگی نسبی ( $B_h$ ) به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج دسته رده‌بندی شدند. در نهایت برای هر حوضه میانگین مقادیر رده شاخص‌های ریخت‌سنجی ( $S/n$ ) اندازه‌گیری شد

1 Bull

2 McFadden

3 Singh

4 Relative Prominence index

5 Keller

6 Pinter

7 Relative Active Tectonic index

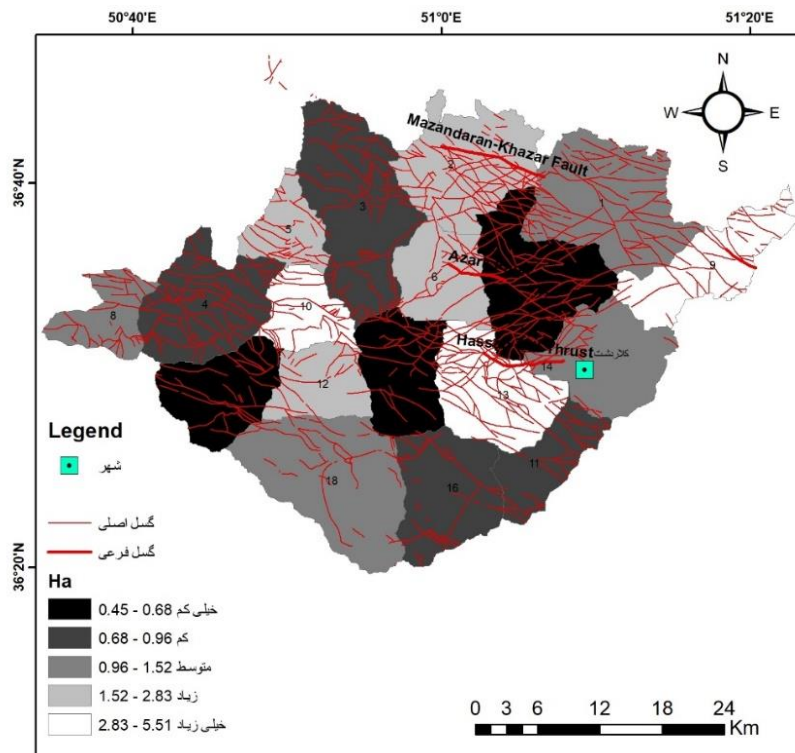


و به ۴ رده فعالیت زمین‌ساختی ( $I_{at}$ ) تقسیم شد. رده ۱ نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا است، رده ۲ فعالیت زمین‌ساختی بالا است، رده ۳ فعالیت زمین‌ساختی متوسط است و رده ۴ فعالیت زمین‌ساختی کمی است (حمدونی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). پس از رده‌بندی گستره مورد مطالعه بر اساس شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی، نقشه پهنه‌بندی سطح فعالیت زمین‌ساختی ( $I_{at}$ ) در گستره مورد مطالعه ترسیم شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تحلیل شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی

بر اساس محاسبات صورت گرفته در خصوص شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی زیرحوضه‌های ۹، ۱۰ و ۱۳ که منطبق بر گسل‌های حسن‌گیل و شمال البرز هستند با مقادیر ۱/۵، ۱/۸ و ۲/۶ بیش‌ترین میزان این شاخص و زیرحوضه‌های ۷ و ۱۷ با ۰/۴۵ و ۰/۵۶ کم‌ترین میزان این شاخص را دارا می‌باشند (جدول ۱). هرچه میزان زمین‌ساخت فعال در یک منطقه بالاتر باشد آبراهه‌های درجه پایین در هنگام مواجهه با عوامل افزایش‌دهنده زمین‌ساخت مانند گسل‌های فعال به رودخانه‌هایی با درجاتی حداقل دو برابر بیش‌تر از حد معمول می‌ریزند. شاخص مذکور به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده طبقه‌بندی شده است: رده ۱ مقادیر بین ۲/۸۳ تا ۵/۵۱ ( $2/83 < H_A < 5/51$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، رده ۲ مقادیر بین ۱/۵۲ تا ۲/۸۳ ( $1/52 < H_A < 2/83$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا و رده ۳ شامل مقادیر بین ۰/۹۶ تا ۱/۵۲ ( $0/96 < H_A < 1/52$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و رده ۴ شامل مقادیر بین ۰/۶۸ تا ۰/۹۶ ( $0/68 < H_A < 0/96$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی کم و رده ۵ شامل مقادیر بین ۰/۴۵ تا ۰/۶۸ ( $0/45 < H_A < 0/68$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم می‌باشند (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- اتصالات زهکشی (i→j)، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی هر اتصال آبراهه (Hai→j)، تعداد آبراهه‌ها در هر اتصال (Nsi→j)، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه در کل حوضه (Hat)، شاخص ناهنجاری سلسله

مراتبی (Ha) در حوضه مورد مطالعه

Hat	۳→۴		۲→۴		۲→۳		۱→۴		۱→۳		۱→۲		i→j
	$\frac{N_{si} \uparrow}{H_{ai} \uparrow}$	$N_{si} \uparrow$	$\frac{N_{si} \uparrow}{H_{ai} \uparrow}$	$N_{si} \uparrow$	$\frac{N_{si} \uparrow}{H_{ai} \uparrow}$	$N_{si} \uparrow$	$\frac{N_{si} \uparrow}{H_{ai} \uparrow}$	$N_{si} \uparrow$	$\frac{N_{si} \uparrow}{H_{ai} \uparrow}$	$N_{si} \uparrow$	$\frac{N_{si} \uparrow}{H_{ai} \uparrow}$	$N_{si} \uparrow$	
61 0/96	0	13	20	10	0	12	26	12	15	15	0	18	حوضه ۱
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
96 1/52	0	16	26	13	0	15	51	17	19	19	0	22	حوضه ۲
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
41 0/71	0	4	14	7	0	8	12	4	12	12	0	18	حوضه ۳

Hat	۳→۴		۲→۴		۲→۳		۱→۴		۱→۳		۱→۲		i→j
	$N_{Si-j}$	$H_{a-i-j}$	$N_{Si-j}$	$H_{a-i-j}$	$N_{Si-j}$	$H_{a-i-j}$	$N_{Si-j}$	$H_{a-i-j}$	$N_{Si-j}$	$H_{a-i-j}$	$N_{Si-j}$	$H_{a-i-j}$	
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
37	0	6	6	3	0	9	18	6	13	13	0	19	حوضه ۴
0/68													
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
93	0	17	22	11	0	14	51	17	20	20	0	21	حوضه ۵
1/96													
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
104	0	15	28	14	0	16	54	18	22	22	0	24	حوضه ۶
2/19													
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
28	0	9	16	8	0	12	6	2	6	6	0	11	حوضه ۷
0/49													
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
83	0	10	28	14	0	11	39	13	16	16	0	19	حوضه ۸
1/51													
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
131	0	23	32	16	0	15	72	24	27	27	0	31	حوضه ۹
2/83													
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
152	0	25	38	19	0	17	84	28	30	30	0	35	حوضه ۱۰
5/51													
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
46	0	2	12	6	0	9	21	7	13	13	0	16	حوضه ۱۱
0/85													
	00		2		0		3		1		0		Hi-j
127	0	12	44	22	0	15	54	18	29	29	0	36	حوضه ۱۲
2/80													
	0		2		0		3		1		0		Hi-j

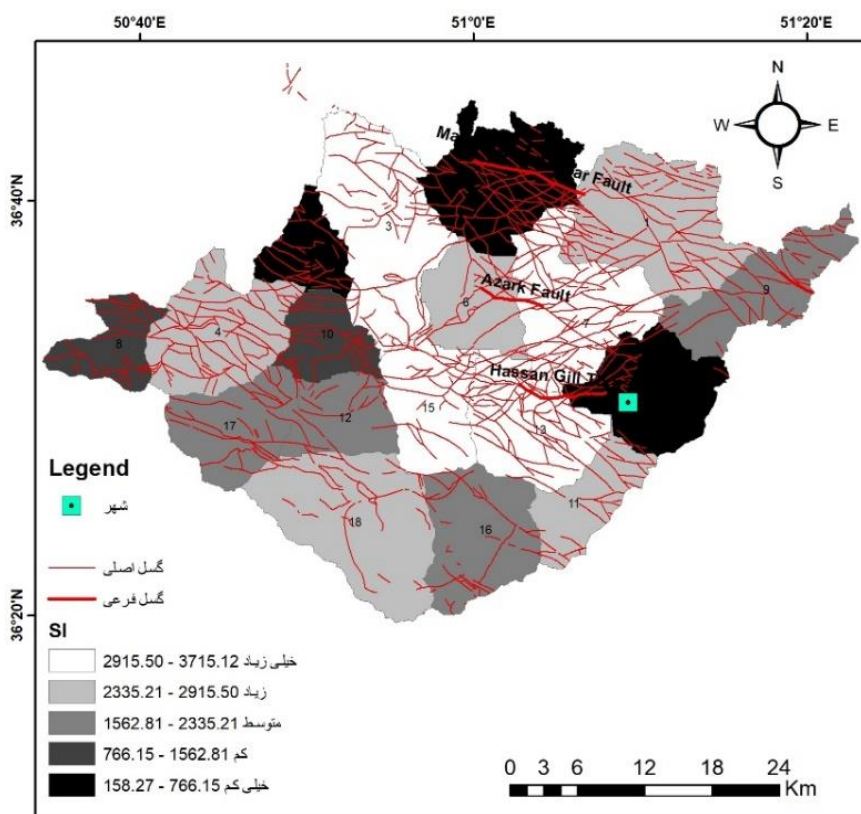
Hat	۳→۴		۲→۴		۲→۳		۱→۴		۱→۳		۱→۲		i→j
	$N_{Si-j}$	$H_{Ai-j}$	$N_{Si}$	$N_{Si-j}$	$H_{Ai}$	$N_{Si}$	$N_{Si-j}$	$H_{Ai}$	$N_{Si-j}$	$N_{Si-j}$	$N_{Si-j}$	$H_{Ai-j}$	
130	0	۱۹	۳۸	۱۹	0	۱۶	۶۳	۲۱	۲۹	۲۹	0	۳۴	حوضه ۱۳
2/91	0	۱۹	۳۸	۱۹	0	۱۶	۶۳	۲۱	۲۹	۲۹	0	۳۴	حوضه ۱۳
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
70	0	13	20	10	0	11	36	12	14	14	0	15	حوضه ۱۴
1/32	0	13	20	10	0	11	36	12	14	14	0	15	حوضه ۱۴
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
25	0	9	8	4	0	7	9	3	8	8	0	13	حوضه ۱۵
0/45	0	9	8	4	0	7	9	3	8	8	0	13	حوضه ۱۵
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
50	0	5	14	7	0	12	24	8	12	12	0	17	حوضه ۱۶
0/96	0	5	14	7	0	12	24	8	12	12	0	17	حوضه ۱۶
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
36	0	5	6	3	0	8	18	6	12	12	0	15	حوضه ۱۷
0/65	0	5	6	3	0	8	18	6	12	12	0	15	حوضه ۱۷
	0		2		0		3		1		0		Hi-j
64	0	9	22	11	0	13	30	10	12	12	0	14	حوضه ۱۸
0/99	0	9	22	11	0	13	30	10	12	12	0	14	حوضه ۱۸
	0		2		0		3		1		0		Hi-j

### ۳-۲- تحلیل شاخص گرادیان طولی رود

بر اساس این شاخص زیرحوضه‌های ۳، ۷، ۱۳ و ۱۵ با شاخص‌های گرادیان طولی بیش از ۳۰۰۰ و زیرحوضه ۱۴ با میزان شاخص ۱۵۸ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان این شاخص را دارا می‌باشند. در این زیرحوضه‌ها مناطقی که گسل‌های فعال دارند، آبراهه‌ها افزایش شیب پیدا کرده و گرادیان آن‌ها افزایش می‌یابد.

شاخص مذکور به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده طبقه‌بندی شده است: رده ۱ مقادیر بین ۲۹۱۵/۵۰ تا ۳۷۱۵/۱۲ ( $2915/50 < S_L < 3715/12$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، رده ۲ مقادیر بین ۲۳۳۵/۲۱ تا ۲۹۱۵/۵۰ ( $2335/21 < S_L < 2915/50$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا و رده ۳ شامل مقادیر بین ۱۵۶۲/۸۱ تا ۲۳۳۵/۲۱

( $1562/81 < S_L < 2335/21$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و رده ۴ شامل مقادیر بین ۷۶۶/۱۵ تا ۱۵۶۲/۸۱  
 ( $766/15 < S_L < 1562/81$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی کم و رده ۵ شامل مقادیر بین ۱۵۸/۲۷ تا ۷۶۶/۱۵  
 $158/27 < S_L < 766/15$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم می‌باشند (شکل ۴).

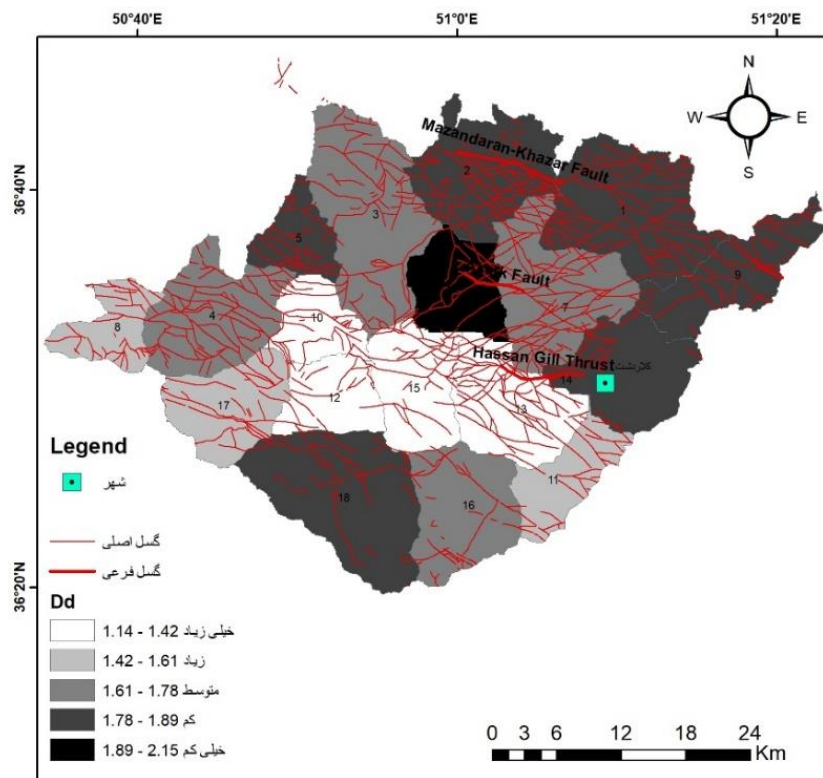


شکل ۴- نقشه شاخص گرادیان طولی رود در منطقه مورد مطالعه

### ۳-۳- تحلیل شاخص تراکم زهکشی

بر اساس اطلاعات به دست آمده از این شاخص زیرحوضه‌های ۱۰ و ۱۲ بیش‌ترین و زیرحوضه ۱ و ۶ کم‌ترین میزان این شاخص را دارا می‌باشند. هرچه شاخص تراکم زهکشی در یک زیرحوضه بیش‌تر باشد رودخانه‌ها متراکم‌تر و تعداد آن‌ها بیش‌تر است که یکی از دلایل آن می‌تواند سطح بالایی از میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی باشد. شاخص مذکور به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده طبقه‌بندی شده است: رده ۱ مقادیر بین ۱/۱۴ تا ۱/۴۲ دارای ( $1/14 < D_d < 1/42$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، رده ۲ مقادیر بین ۱/۴۲ تا ۱/۶۱ ( $1/42 < D_d < 1/61$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا و رده ۳ شامل مقادیر بین ۱/۶۱ تا ۱/۷۸ ( $1/61 < D_d < 1/78$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی

متوسط و رده ۴ شامل مقادیر بین  $1/61$  تا  $1/89$  ( $1/89 < D_d < 1/61$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی کم و رده ۵ شامل مقادیر بین  $1/89$  تا  $2/15$  ( $1/89 < D_d < 2/15$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی خیلی کم می‌باشند (شکل ۵).



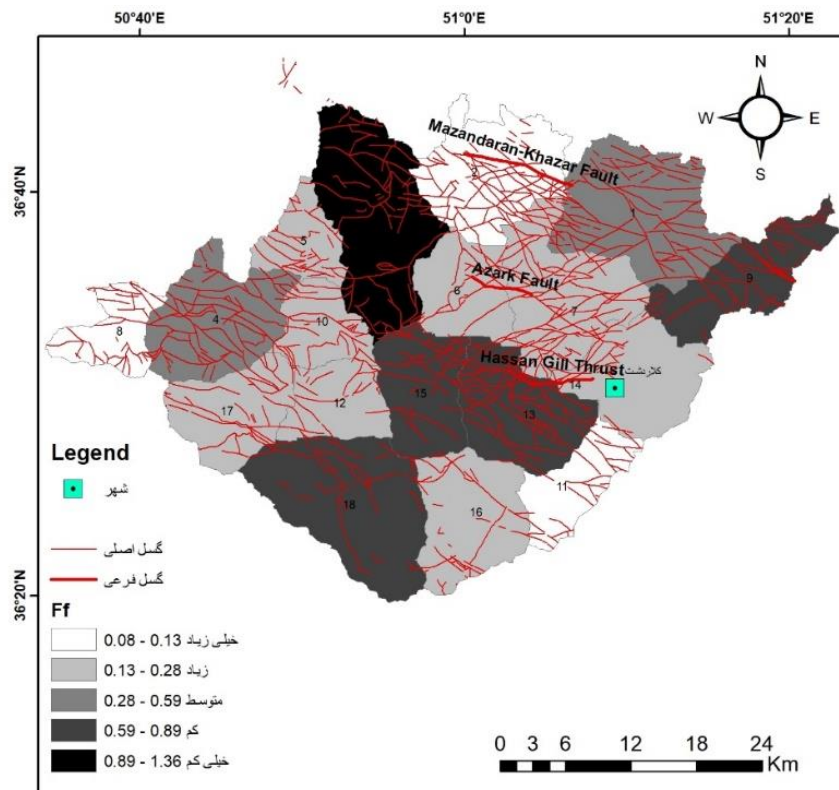
شکل ۵- نقشه شاخص تراکم زهکشی در منطقه مورد مطالعه

### ۳-۴- تحلیل شاخص ضریب شکل

بر اساس اطلاعات به دست آمده از این شاخص زیرحوضه شماره ۸ با میزان  $0/083$  بیش‌ترین و زیرحوضه شماره ۳ با میزان  $1/3$  کم‌ترین میزان این شاخص را دارا می‌باشند؛ بنابراین شکل زیرحوضه‌هایی همانند ۸ کشیده‌تر از زیرحوضه‌های دیگر و نسبت طول به عرض این زیرحوضه‌ها بیشتر است که این خود می‌تواند یکی از دلایل فعالیت زمین‌ساختی بالا باشد.

شاخص مذکور به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده طبقه‌بندی شده است: رده ۱ مقادیر بین  $0/08$  تا  $0/13$  ( $0/08 < F_f < 0/13$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، رده ۲ مقادیر بین  $0/13$  تا  $0/28$  ( $0/28 < F_f < 0/13$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا و رده ۳ شامل مقادیر بین  $0/15$  تا  $0/28$  ( $0/28 < F_f < 0/15$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی

متوسط و رده ۴ شامل مقادیر بین ۰/۵۹ تا ۰/۸۹ ( $0/59 < F_f < 0/89$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی کم و رده ۵ شامل مقادیر بین ۰/۸۹ تا ۱/۳۶ ( $0/89 < F_f < 1/36$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم می‌باشند (شکل ۶).



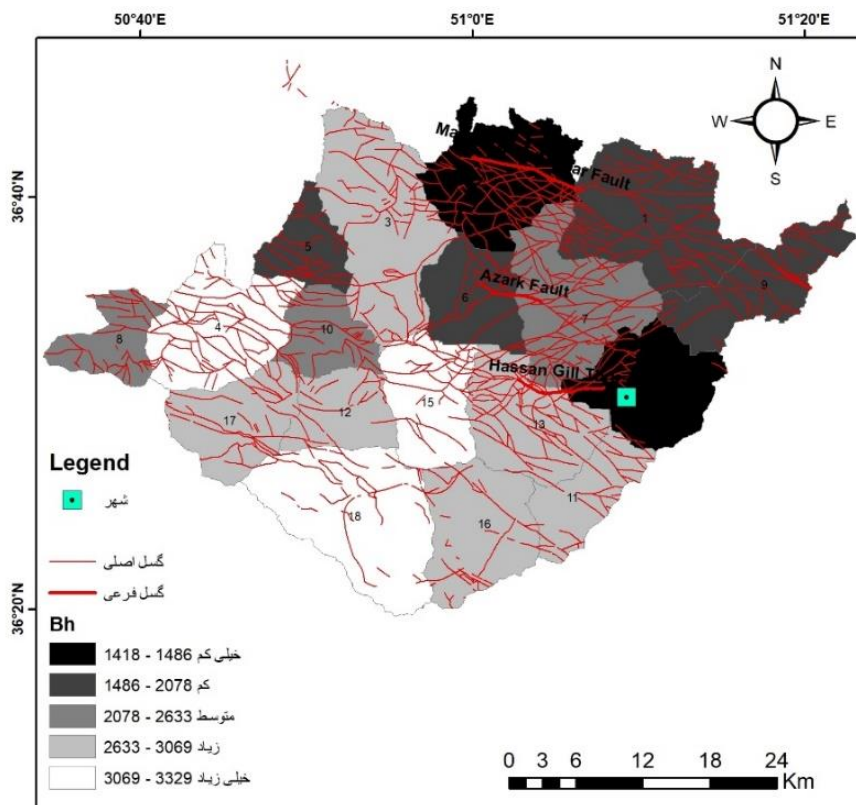
شکل ۶- نقشه شاخص ضریب شکل در منطقه مورد مطالعه

### ۳-۵- تحلیل برجستگی نسبی

بر اساس اطلاعات حاصل از محاسبات این شاخص زیرحوضه‌های ۲ و ۱۴ کم‌ترین میزان شاخص برجستگی نسبی و زیرحوضه‌های شماره ۴ و ۱۵ بیش‌ترین میزان این شاخص را به خود اختصاص داده‌اند؛ یعنی در زیرحوضه‌های شماره ۴ و ۱۵ ارتفاعات خشن و بلند در کنار ارتفاعات بسیار کم مانند دره‌های تنگ قرار گرفته است، که این امر خود دلیلی بر اثبات وجود زمین‌ساخت فعال در یک منطقه است.

شاخص مذکور به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده طبقه‌بندی شده است: رده ۱ مقادیر بین ۳۰۹۶ تا ۳۳۲۹ ( $3096 < B_h < 3329$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، رده ۲ مقادیر بین ۲۶۳۳ تا ۳۰۹۶ ( $2633 < B_h < 3096$ ) دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا و رده ۳ شامل مقادیر بین ۲۰۷۸ تا ۲۶۳۳ ( $2078 < B_h < 2633$ ) دارای فعالیت

زمین ساختی متوسط و رده ۴ شامل مقادیر بین ۱۴۸۶ تا ۲۰۷۸ ( $1486 < B_h < 2078$ ) دارای فعالیت زمین ساختی کم و رده ۵ شامل مقادیر بین ۱۴۱۸ تا ۱۴۸۶ ( $1418 < B_h < 1486$ ) دارای فعالیت زمین ساختی بسیار کم می باشند (شکل ۷).

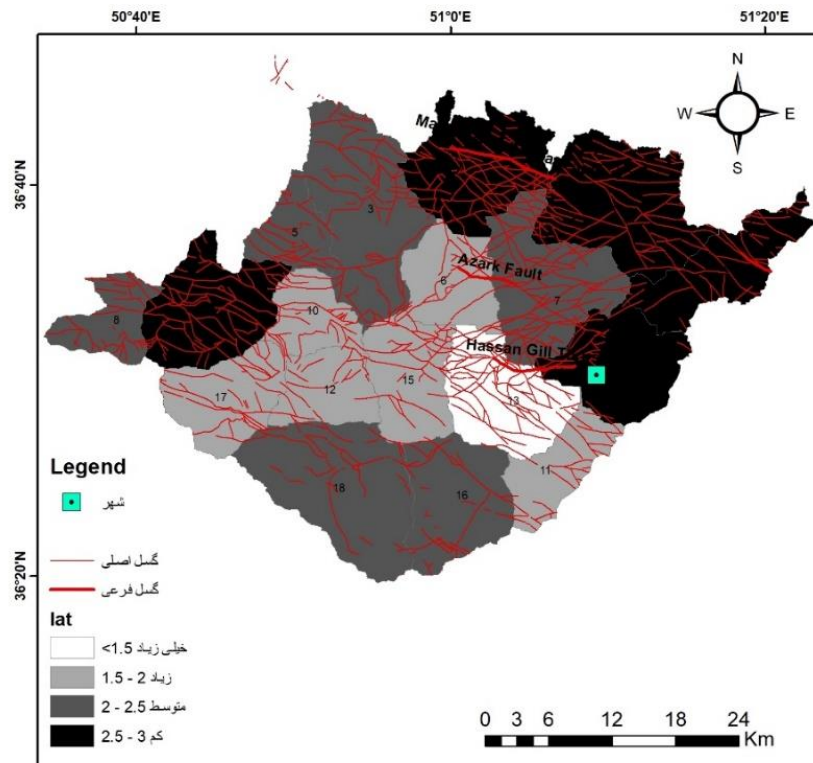


شکل ۷- نقشه شاخص برجستگی نسبی در منطقه مورد مطالعه

### ۳-۶- تحلیل شاخص زمین ساخت فعال نسبی

بر اساس محاسبات حاصل از این شاخص زیرحوضه های ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۵ که منطبق بر گسل های اصلی منطقه مورد مطالعه می باشند بیشترین میزان این شاخص را به خود اختصاص داده اند (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصل از محاسبه و رده بندی شاخص های ریخت زمین ساختی ناهنجاری سلسله مراتبی، شاخص گرادیان طولی رود، شاخص تراکم زهکشی، شاخص ضریب شکل و برجستگی نسبی، برای ۱۸ زیر حوضه در گستره مورد مطالعه محاسبه و به چهار رده تقسیم شده است: رده ۱ فعالیت زمین ساختی بسیار بالا ( $1 < S/n < 1/5$ )، رده ۲ فعالیت زمین ساختی بالا ( $1/5 < S/n < 2$ )، رده ۳ فعالیت زمین ساختی متوسط ( $2 < S/n < 5$ ) و رده ۴ فعالیت زمین ساختی کم ( $S/n > 5$ ). در نهایت نقشه پهنه بندی فعالیت زمین ساختی رسم شد (شکل ۸).





شکل ۸- نقشه شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) در گستره مورد مطالعه

جدول ۲- مقادیر پنج شاخص اندازه گیری شده در گستره مورد مطالعه.

شماره حوضه	ناهنجاری سلسله مراتبی $H_A$	گرادیان طولی رود $S_L$	تراکم زهکشی $D_d$	ضریب شکل $F_f$	برجستگی نسبی $B_h$	زمین ساخت فعال نسبی $I_{at}$
۱	۱/۳۱	۲۹۱۵/۵۱	۱/۹۰	۰/۴۷	۱۷۶۵	۲/۶۷
۲	۱/۹۱	۷۶۶/۱۵	۱/۸۷	۰/۱۳	۱۴۱۸	۳/۰۰
۳	۰/۹۶	۳۵۶۱/۴۳	۱/۶۱	۱/۳۶	۳۰۶۹	۲/۱۷
۴	۰/۹۴	۲۸۲۹/۲۳	۱/۶۹	۰/۵۹	۳۰۲۹	۲/۶۰
۵	۲/۸۳	۵۲۸/۰۵	۱/۷۸	۰/۲۹	۲۰۷۸	۲/۵۰
۶	۲/۲۹	۲۶۱۵/۴۹	۲/۱۶	۰/۲۱	۲۰۰۳	۲/۰۰
۷	۰/۴۵	۳۷۱۵/۱۲	۱/۷۱	۰/۱۷	۲۵۷۱	۲/۱۷
۸	۱/۵۳	۱۰۷۶/۹۰	۱/۵۹	۰/۰۸	۲۵۹۵	۲/۱۷
۹	۵/۵۲	۲۱۳۹/۹۶	۱/۸۷	۰/۸۹	۱۷۵۸	۲/۶۷
۱۰	۳/۷۱	۱۵۶۲/۸۱	۱/۱۴	۰/۲۲	۲۶۲۳	۱/۸۳
۱۱	۰/۸۹	۲۶۰۱/۹۸	۱/۶۱	۰/۱۳	۲۹۶۱	۱/۸۳
۱۲	۰/۰۶	۲۰۹۶/۵۷	۱/۳۷	۰/۱۷	۲۸۵۲	۱/۸۰

شماره حوضه	ناهنجاری سلسله مراتبی $H_A$	گرادبان طولی رود $S_L$	تراکم زهکشی $D_d$	ضریب شکل $F_f$	برجستگی نسبی $B_h$	زمین‌ساخت فعال نسبی $I_{at}$
۱۳	۳/۴۸	۳۲۷۲/۰۹	۱/۳۵	۰/۷۰	۲۹۲۷	۱/۵۰
۱۴	۱/۳۰	۱۵۸۲۷	۱/۸۳	۰/۲۱	۱۴۸۶	۲/۸۳
۱۵	۰/۶۹	۳۲۶۲/۰۴	۱/۳۸	۰/۶۷	۳۳۲۹	۱/۸۳
۱۶	۰/۶۹	۲۳۳۵/۲۱	۱/۷۲	۰/۲۱	۲۸۵۹	۲/۳۳
۱۷	۰/۵۶	۲۳۱۶/۶۳	۱/۴۳	۰/۲۲	۲۸۸۸	۲/۰۰
۱۸	۱/۲۰	۲۵۲۹/۹۸	۱/۸۱	۰/۸۴	۳۱۳۶	۲/۳۳

در این پژوهش به بررسی تأثیر گسل‌ها بر روی رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه به منظور ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی کنونی پرداخته شده است. نتایج حاصل از محاسبات شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی ( $H_A$ )، گرادبان طولی رود ( $S_L$ )، شکل حوضه ( $F_f$ )، تراکم زهکشی ( $D_d$ ) و برجستگی نسبی ( $B_h$ ) در ۱۸ حوضه زهکشی محاسبه شده و در نهایت شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی ( $I_{at}$ ) می‌تواند نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی اخیر در منطقه مورد مطالعه باشد.

بنا به موارد گفته شده گسل‌های شمال البرز، خزر و طالقان جز گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه می‌باشند. روند کلی گسل شمال البرز به موازات گسل خزر می‌باشد و در ۱۰-۱۲ کیلومتری غرب چالوس به این گسل می‌پیوندد. زمین‌لرزه ۱۱۲۷ میلادی در گستره فریم - چهاردانگه با بزرگای  $M_s = 6.8$  حاصل فعالیت گسل شمال البرز بوده است. بررسی داده‌های لرزه‌خیزی گسل خزر نشان می‌دهد که جنبش این گسل سبب رویداد زمین‌لرزه‌های متعددی شده است و گسل خزر، گسلی لرزه‌زا محسوب می‌شود. گسل خزر در حال حاضر به شدت فعال است و بسیاری از زمین‌لرزه‌های گیلان و مازندران در نتیجه فعالیت این گسل اتفاق می‌افتد. زمین‌لرزه ۱۲ نوامبر ۸۷۴ میلادی گرگان با بزرگای  $M_s = 6$  و زمین‌لرزه ۱۴۳۶ میلادی گرگان با بزرگای  $M_s = 5.3$  و در نتیجه فعالیت این گسل رخ داده است.

گسل طالقان نیز یکی از بزرگ‌ترین عوامل تهدید لرزه‌ای برای شهرهای گستره تهران و کرج است؛ در سال ۱۴۲۸ میلادی زمین‌لرزه ویرانگری در طالقان روی داد. بر اساس مطالعات صورت گرفته گسل آذرک نیز یکی دیگر از گسل‌هایی است که تأثیرات شگرفی بر زمین‌ساخت منطقه داشته است.

بر اساس محاسبات حاصل از شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی، این شاخص در زیرحوضه‌های شماره ۲، ۶، ۹، ۱۰ و ۱۳ که در امتداد گسل‌های خزر، شمال البرز و آذرک می‌باشد مقادیر بسیار بالا و بالا را نمایش می‌دهد. مقادیر حاصل از محاسبات شاخص ضریب شکل حوضه نیز در امتداد گسل‌های مذکور و در زیرحوضه‌های نام‌برده بسیار بالا و بالا است. در زیرحوضه‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۵ که در امتداد گسل حسن‌گیل قرار گرفته‌اند مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های برجستگی نسبی و تراکم حوضه زهکشی بسیار بالا و بالا می‌باشد. امتداد این گسل‌ها در زیرحوضه‌های

شماره ۱۲، ۱۳ و ۱۵ سبب افزایش میزان شاخص گرادیان طولی رود و در نتیجه نشان‌دهنده میزان بالای ناهنجاری ریخت زمین‌ساختی در منطقه می‌باشد. در نهایت با محاسبات صورت گرفته در رابطه با شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی و مقایسه آن با دیگر شاخص‌های محاسبه شده، مشخص شد که زیرحوضه‌های شماره ۱۲، ۱۳ و ۱۵ که تحت تأثیر فعالیت گسل حسن گیل می‌باشند میزان شاخص بسیار بالا و زیرحوضه شماره ۶ که تحت تأثیر فعالیت گسل آذرک است، شاخص بالا را نمایش می‌دهند. گسل‌های فرعی دیگری نیز که در اثر بالا بودن فعالیت زمین‌ساختی در منطقه شکل گرفته‌اند، تأثیر به‌سزایی بر افزایش میزان شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی گذاشته و سبب شده‌اند که در برخی زیرحوضه‌ها میزان شاخص‌های بالا و گاه بسیار بالا پدیدار شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به وابستگی عوامل ریخت زمین‌ساختی به زمین‌ساخت فعال در یک ناحیه، در این پژوهش تلاش شده است که تأثیر زمین‌ساخت فعال بر این عوامل در این منطقه مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. این پژوهش بر اساس مطالعه بر روی آبراهه‌های سطحی منطقه با تکیه بر شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی نشان می‌دهد زمین‌ساخت منطقه در اثر عملکرد گسل‌های فعال از قبیل آذرک، خزر و شمال البرز بالا و بسیار بالا است. در حدود ۶۶۵ درصد از منطقه که تحت سیطره فعالیت این گسل‌ها می‌باشند و هم‌چنین گسل‌های فرعی دیگری که در اثر حرکات زمین‌ساختی اخیر تشکیل شده‌اند، فعالیت زمین‌ساختی متوسط به بالایی را ارائه می‌دهند. با توجه به نتیجه مطالعه انجام شده پیشنهاد می‌شود نظر به این‌که منطقه مورد مطالعه دارای شهرها و نواحی گردشگری متعددی است، مقاوم‌سازی بناها و سازه‌های شهری در مناطق فعال زمین‌ساختی در پیش‌بینی خطرات جانی و مالی موجود در اقدامات مربوط به شهرسازی لحاظ شود.

#### کتابنامه

- آبدیده، محمد؛ قرشی، منوچهر؛ رنگزن، کاظم؛ آربن، مهران؛ ۱۳۹۰. ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال با استفاده از تحلیل ریخت‌سنجی، بررسی موردی حوضه‌آبریز رودخانه دز، جنوب باختری ایران. نشریه علوم زمین. دوره ۲۰. شماره ۸۰. صص ۳۳-۴۶. <https://doi.org/10.22071/gsj.2011.55134>
- آفانباتی، علی؛ ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. تهران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. چاپ اول. <https://www.gisoom.com/book/>
- بابایی، شیمای؛ ده‌بزرگی، مریم؛ حکیمی‌آسیابری، سعید؛ حسینی‌اصل، امین؛ ۱۳۹۷. بررسی زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در البرز مرکزی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۶. شماره ۱. صص ۴۰-۵۶. <http://ensani.ir/file/download/article/20180407143406-10010-213.pdf>

بیاتی‌خطیبی، مریم؛ ۱۳۸۸. تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیک در حوضه آبریز قرنقوچای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک. *مجله فضای جغرافیایی*. دوره ۹. شماره ۲۵. صص ۲۳-۵۰.

<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=114591>

جباری، ندا؛ حسین‌زاده، محمد مهدی؛ ثروتی، محمدرضا؛ حسین‌زاده، محمدمهدی؛ ۱۳۹۷. مطالعه مورفوتکتونیک فعال حوضه آبخیز حصارک (شمال غرب تهران) با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. دوره ۱. شماره ۲. صص ۱۷-۳۴. <http://ensani.ir/fa/article/۳۴۶۳۶۶.۳۴-۱۷>

جلالی، سعیده؛ صمدی، میثم؛ صمدی قشلاق‌چائی، محمود؛ کرنزادی، آیدینگ؛ ۱۳۹۵. بررسی شاخص‌های مورفومتری در حوضه آبخیز چهل‌چای استان گلستان با استفاده از GIS. *مجله علمی ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی*. دوره ۷. شماره ۴. صص ۷۴-۶۷. <https://gej.issge.ir/article-۶۷-۷۴-fa.html۱-۱۶۹>

خدابخش‌نژاد، آذر؛ پورکرمانی، محسن؛ آرین، مهران؛ متکان، علی‌اکبر؛ چرچی، عباس؛ ۱۳۹۴. زمین‌ساخت فعال حوضه رودخانه کارون بزرگ. *فصلنامه علوم زمین*. دوره ۲۴. شماره ۹۵. صص ۱۳-۲۸.

[https://www.gsjournal.ir/issue\\_4779\\_4792.html](https://www.gsjournal.ir/issue_4779_4792.html)

رابطی، دنیا؛ ده‌بزرگی، مریم؛ حکیمی‌آسیاب، سعید؛ نوزعیم، رضا؛ ۱۳۹۷. بررسی زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در حوضه سپیدرود، البرز غربی. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. دوره ۷. شماره ۲. صص ۱۴۰-۱۵۷. <http://doi.10.22034/GMPJ.2021.131024>

محمدی، سید داود؛ جلالی، سید حسین؛ ساعدی، بهمن؛ ۱۳۹۶. ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی در حوضه آبخیز آبه‌سینه همدان با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی و لرزه‌خیزی منطقه. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. دوره ۴. شماره ۴. صص ۲۰۷-۱۹۰. <http://doi.20.1001.1.22519424.1396.5.4.11.1>

مقصودی، مهران؛ کامرانی دلیر، حمید؛ ۱۳۸۷. ارزیابی نقش تکتونیک فعال تنظیم کانال رودخانه‌ها، مطالعه موردی: رودخانه تجن. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دوره ۶. شماره ۶۶. صص ۳۷-۵۵.

<https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=91041>

مهدوی، محمد؛ ۱۳۹۶. هیدرولوژی کاربردی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، چاپ پنجم.

<https://www.gisoom.com/book/۱۱۵۰۹۹۷>

یمانی، مجتبی؛ کامرانی‌دلیر، حمید؛ باقری، سجاده؛ ۱۳۸۹. مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین‌ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس شمال غربی). *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. دوره ۹۷. شماره ۴. صص ۲۶-۱. <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=238147>

Alcántara-Ayala, I., Goudie, A.S., 2010. *Geomorphological Hazards and Disaster Prevention*, Cambridge University Press, 18(7): 356-371. <http://doi.geomorph.org2015/06/9780521769259>

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. <http://doi.10.4324/9780429299230-5>
- El Hamdouni R., Irigaray C., Fernandez T., Chacón J., Keller, E.A., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain), *Geomorphology*, 96(2):150-173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Figueroa, A.M., Knot, J.R., 2010. Tectonic geomorphology of the southern Sierra Nevada. Mountains (California): Evidence for uplift and basin formation, *Geomorphology*, 123(21): 34-45. <https://doi.10.1016/j.geomorph.2010.06.009>
- Giaconia, F., Booth-Rea, G., Martínez-Martínez, J.M., Azañón, J.M., PérezPeña, J.V., Pérez-Romero, J., Villegas, I., 2012. Geomorphic evidence of active tectonics in the Serra Alhamila (eastern Betics, SE Spain). *Geomorphology*, 145-146(8): 90-106. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.043>
- Holbrook, J., Schumm, S.A., 1999. Geomorphic and Sedimentary Response of Rivers to Tectonic Deformation: a Brief Review and Critique of a Tool For Recognizing Subtle Epeirogenic Deformation In Modern And Ancient Settings, *Tectonophysics*, 305(13): 287- 306. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00011-6)
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, *Geological Society of America Bulletin*, 56 (3):275-370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275)
- Keller E.A., 1986. Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes. *Active Tectonics, Studies in Geophysics*, National Academy Press. Washington, DC: 136-147. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Keller E.A., Pinter N., 2002. *Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape*. 2nd Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, 362p. [https://www.scirp.org/S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje](https://www.scirp.org/S(351jmbntvnsjt1aadkposzje)
- Keller, E.A., Zepeda, R.L., Rockwell, T.K., Ku, T.L. Dinklage, W.S., 2006. Active tectonics at Wheeler Ridge, southern San Joaquin Valley, California, *Geological Society of American Bulletin*, 110(16):293-310. [https://doi.10.1130/0016-7606\(1998\)110](https://doi.10.1130/0016-7606(1998)110) <0298:ATAWRS> 2.3.CO;2
- Latrubesse, E.M., 2010. Natural hazards and human-exacerbated disasters in Latin America, special volumes of geomorphology, Elsevier, 13(6):204-234. <https://www.elsevier.com/books/natural-hazards-and-human-exacerbate>
- Perez Pena, J.V., 2009. *Gis-Based Tools and Methods for Landscape Analysis and Active Tectonics Evaluation*, Master's Thesis, Departamento de Geodinamica, Universidad de Granada, Granada. <https://doi.handle.net/10481/2199>
- Schumm, S.A., 1997. Drainage density: problems of prediction'. In: Stoddart, D.R. (Ed.), *Process and Form in Geomorphology*. Routledge, London, 28(6): 15- 45. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>
- Seeber, L., Gornitz, V., 1983. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. *Tectonophysics*, 92(6): 335- 367. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(83\)90201-9](https://doi.org/10.1016/0040-1951(83)90201-9)
- Singh, P., Gupta, A., Singh, M.I., 2014. Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 18(3): 1- 11. <https://doi.10.1016/j.ejrs.2014.09.003>
- Walker, R.T., 2006. A remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman province, S.E. Iran, *Journal of Structural Geology*. 28(4):654-666. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2005.12.014>