



# فصلنامه زمین ساخت

زمستان ۱۴۰۲، سال هفتم، شماره ۲۸

doi 10.22077/jt.2025.9530.1203

مقاله پژوهشی

## زمین ساخت فعال بخش باختری استان کرمانشاه

ناهید کرباسیان<sup>۱</sup>، علی بیت‌اللهی<sup>۲</sup>، مهران آراین<sup>۳\*</sup>، علی مرادی<sup>۴</sup>، علی سربی<sup>۵</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه علمی مهندسی مواد، معدن و زمین شناسی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، عضو هیئت علمی، مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

۳- استاد، گروه علمی مهندسی مواد، معدن و زمین شناسی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- دانشیار، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

۵- استادیار، گروه علوم زمین، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸

### چکیده:

هدف این پژوهش، بررسی زمین ساخت فعال در بخش باختری استان کرمانشاه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک است. این ناحیه در امتداد گسل‌های مهم زاگرس مرتفع و پیشانی کوهستان قرار دارد و رخداد زمین‌لرزه‌های متعدد و بزرگ، از جمله زمین‌لرزه ۷٫۳ ریشتری از گله در سال ۲۰۱۷، اهمیت ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی آن را دوچندان می‌کند.

برای این منظور، نقشه رقمی ارتفاعی منطقه تحلیل شد و محدوده مورد مطالعه به ۲۲۰ حوضه آبریز تقسیم گردید که از میان آن‌ها، ۱۹۷ حوضه به‌طور کامل در باختر استان قرار داشت. شاخص‌های ژئومورفیک شامل انتگرال فراسنجی (HI)، عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، پیچ‌وخم پیشانی کوهستان (Smf) و شکل حوضه زهکشی (Bs) برای این حوضه‌ها محاسبه شد.

نتایج نشان داد بسیاری از حوضه‌ها دارای کشیدگی و کج‌شدگی بوده و از فعالیت تکتونیکی بالا تأثیر پذیرفته‌اند. بر اساس ترکیب شاخص‌ها، شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) به دست آمد و منطقه به چهار پهنه تقسیم شد: پهنه با فعالیت خیلی بالا (۲۲٫۳ درصد)، فعالیت بالا (۷۰٫۶ درصد)، فعالیت متوسط (۶٫۱ درصد) و فعالیت پایین (۱ درصد). مقایسه این نتایج با رومرکز زمین‌لرزه‌های دستگاهی نشان داد که مناطق با شاخص‌های بالاتر همپوشانی چشمگیری با لرزه‌خیزی اخیر دارند.

در مجموع، یافته‌ها حاکی از آن است که بخش باختری استان کرمانشاه در دوران کواترنری تحت تأثیر زمین ساخت فعال قرار داشته و رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ، همچون زمین‌لرزه از گله، پدیده‌ای غیرمنتظره نبوده است. این نتایج بر ضرورت توجه به خطر لرزه‌ای و برنامه‌ریزی مدیریت ریسک در منطقه تأکید دارد.

**کلمات کلیدی:** شاخص زمین ریختی، داده‌های لرزه‌ای، زمین ساخت فعال، کرمانشاه، زمین لرزه از گله

\* ایمیل: mehranarian@iau.ac.ir

## Active tectonics in the western part of Kermanshah Province

Nahid Karbasian<sup>1</sup>, Ali Beitollahi<sup>2</sup>, Mehran Arian<sup>3\*</sup>, Ali Moradi<sup>4</sup>, Ali Sorbi<sup>5</sup>

1- Ph.D. Student, Department of Material, Mining Engineering and Geology, SR.C. Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Assistant professor, faculty member, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

3- Professor, Department of Material, Mining Engineering and Geology, SR.C. Islamic Azad University, Tehran, Iran

4- Associate Professor, Institute of Geophysics, Tehran University, Iran

5- Assistant Professor, Department of Earth Sciences, Ka. C., Islamic Azad University, Karaj, Iran

### Abstract

The aim of this research is to investigate active tectonics in the western part of Kermanshah Province using geomorphic indexes. This region is located along major faults of the High Zagros and the Mountain Front Fault, where the occurrence of numerous moderates to large earthquakes, including the Mw 7.3 Ezgeleh earthquake in 2017, highlights the importance of assessing neotectonic activity.

For this purpose, a digital elevation model (DEM) was analyzed, and the study area was divided into 220 drainage basins, of which 197 were entirely located in the western sector of the province. Geomorphic indices including hypsometric integral (HI), drainage basin asymmetry (AF), valley floor width-to-height ratio (Vf), mountain front sinuosity (Smf), and basin shape (Bs) were calculated for these basins.

The results show that many basins are elongated and tilted, indicating significant tectonic influence. Based on the combination of indices, the relative tectonic activity index (Iat) was derived, and the region was classified into four zones: very high activity (22.3%), high activity (70.6%), moderate activity (6.1%), and low activity (1%). Comparison of these results with earthquake epicenters revealed a strong spatial correlation between highly active zones and recent seismicity.

Overall, the findings indicate that the western part of Kermanshah Province has been affected by active tectonics during the Quaternary and that the occurrence of large earthquakes, such as the 2017 Ezgeleh event, should not be considered unexpected. These results emphasize the necessity of recognizing seismic hazards and developing risk management strategies in the region.

**Keyword:** Geomorphic index, Seismic data, Active Tectonics, Kermanshah, Ezgeleh earthquake

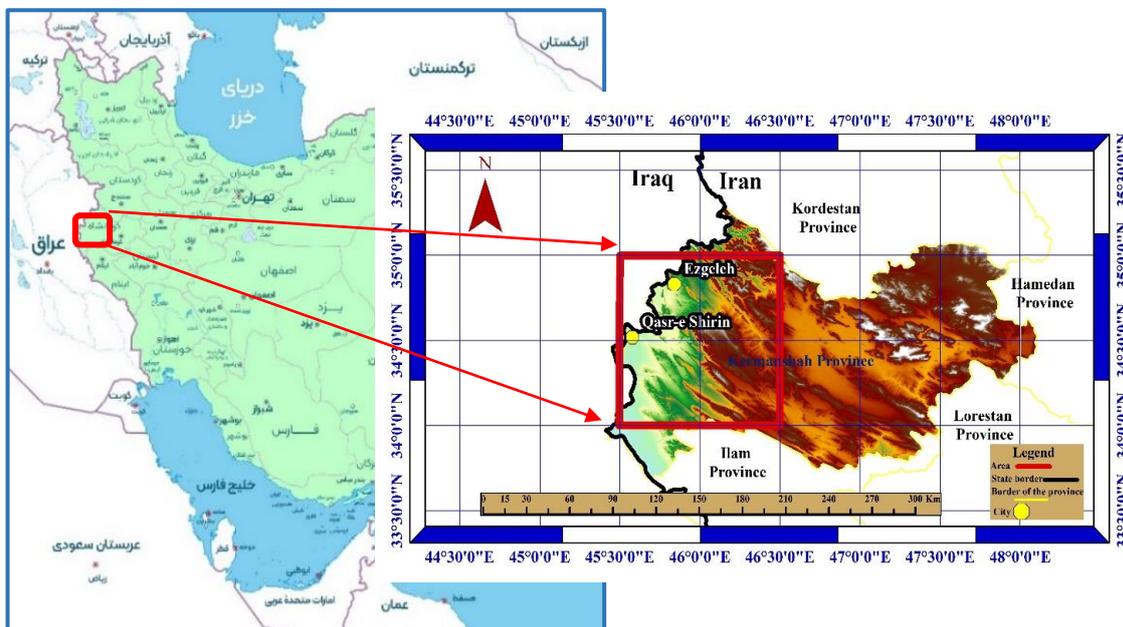
---

\*Email: mehranarian@iaau.ac.ir

Tel: +989123007525

به عنوان نمونه، بررسی ریخت زمین ساختی تاقدیس از گله با کمک شاخص‌ها هست که توسط ایزدی کیان و میرزاجانی مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی شاخص‌های ریخت زمین ساختی حاکی از رشد عرضی تاقدیس از گله است و مکانیسم رشد عرضی آن از نوع لولای ثابت و چرخش یال‌ها است (ایزدی کیان و میرزاجانی، ۱۴۰۱).

گستره مورد مطالعه، در باختر استان کرمانشاه و در بازه طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۳۰ دقیقه خاوری تا ۴۶ درجه و ۳۰ دقیقه خاوری و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه تا ۳۵ درجه شمالی است (شکل ۱). تاقدیس از گله، در شمال باختر محدوده و در مجاورت شهر از گله قرار دارد. در این مطالعه، با کمک نقشه رقمی ارتفاعی (Digital Elevation Model-DEM)، نقشه زمین‌شناسی، نرم افزارهای ArcGIS10.4.1، Global Mapper24.1 و Surfer، شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی اندازه‌گیری شد. همچنین با بررسی هم‌زمان تغییرات زمین‌ریختی و داده‌های لرزه‌ای، زمین‌ساخت فعال نسبی منطقه، مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

گسل‌ها، بخش مسطح باختر منطقه و تفاوت ضخامت پوسته در دو بخش گستره، تحلیل وضعیت زمین‌شناسی منطقه را پیچیده کرده است. به همین دلیل، برای تحلیل منطقی‌تر وضعیت لرزه‌خیزی منطقه باید، مطالعات را دقیق، متنوع و تا حد امکان همه‌جانبه انجام داد.

## ۱- مقدمه

عوارض (Landforms)، سیمای سطح زمین هستند و مطالعه تغییرات ماهیت، منشا و تحول آن‌ها به فرآیندهای سطحی و زمین‌شناسی بستگی دارد. زمین‌ریخت‌شناسی، به عنوان ابزاری جهت محاسبه نرخ فرآیندهای زمین‌ساختی استفاده می‌شود. کاربرد شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی می‌تواند وضعیت ناهنجاری شبکه زهکشی در حوضه‌های آبریز را مشخص کند و وضعیت زمین‌ساخت فعال منطقه را در حد امکان روشن سازد. شواهدی مانند بالا آمدگی زمین، کوتاه شدگی تاقدیس‌ها و زلزله‌های متعدد، نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بالای منطقه است (Hessami et al., 2013). عوامل مختلفی در تشکیل و توسعه حوضه‌های آبریز در محیط‌های متفاوت، نقش دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به عوامل توپوگرافی، سنگ‌شناختی و ساختاری اشاره کرد (Silva et al, 2003).

تغییر در شکل عوارض سطح زمین و توپوگرافی منطقه، یکی از راه‌های تعیین موقعیت مناطق پرخطر در برابر زلزله است.

## ۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه بر روی دو زون سندج - سیرجان و زاگرس قرار دارد. تفاوت پی سنگ منطقه در دو نیمه این گستره، یکی از موارد قابل بررسی در ساختارهای روی این دو پی سنگ متفاوت است. چین خوردگی‌ها،



و سازند پابده به سن پالئوسن تشکیل شده است. واحد ایلام که به عنوان قدیمی ترین واحد در هسته تاقدیس رخنمون دارد از سنگ آهک خاکستری با چرت های رادیولاریتی تشکیل شده است. سازند گورپی شامل مارن و شیل های خاکستری مایل به آبی است که میان لایه هایی از سنگ آهک رسی دارد (مطیعی، ۱۳۷۲). سازند پابده شامل رسوبات مارن و شیل های خاکستری و لایه های آهکی رسی دریایی است (مهندسین مشاور ایمن سازان، ۱۳۸۵).

### ۱-۲- گسل های منطقه

گسل های اصلی منطقه شامل، گسل زاگرس مرتفع، گسلی با درازای ۱۳۷۵ کیلومتر و راستای N130 و با شیب به سوی شمال خاوری، از نوع راندگی است. این گسل در طول کمر بند زاگرس امتداد دارد (Berberian, 1995).

گسل پیشانی کوهستان زاگرس، از پاره های گسلی گوناگون با درازای متفاوت ۱۵ تا ۱۱۵ کیلومتری تشکیل شده است و درازایی در حدود ۱۳۵۰ کیلومتر دارد. راستای کلی این گسل، شمال باختر- جنوب خاور با شیب به سوی شمال خاور و سازوکار این گسل، راندگی- است (Berberian, 1995). گسل های شماره ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۴۲۹ و ۵۵۲ قطعات این دو گسل اصلی هستند که در محدوده قرار دارند (شکل ۳). با توجه به گستره مورد مطالعه، گسل های حسامی و همکاران مورد استفاده قرار گرفته است. به این ترتیب، جدول بخشی از اطلاعات گسل های محدوده با شماره شناسایی قطعه گسلی (ID) تهیه شد (جدول ۱).

جدول ۱. گسل های محدوده مورد مطالعه بر پایه نقشه حسامی و همکاران، (۱۳۸۲).

Fault	ID	Main Fault
15	615	Mountain Front Fault-MFF
16	626	Mountain Front Fault-MFF
17	637	Mountain Front Fault-MFF
18	642	Mountain Front Fault-MFF
429	699	High Zagros Fault-HZF
552	279	High Zagros Fault-HZF

زمین ریخت شناسی و داده های لرزه ای منطقه، مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات توپوگرافی، وسعت، تعداد،

در نقشه زمین شناسی منطقه و تصاویر ماهواره ای، تاقدیس های از هر دو سو متمایل و موازی در گستره دیده می شود که با شواهد رشد در طول زمان و وجود گسل های متعدد بزرگ و کوچک، حاکی از فعال بودن، شکنندگی منطقه و مناسب بودن بستر منطقه برای لرزه خیزی است. راستای بیش تر گسل ها، شمال باختر- جنوب خاور و دارای خمیدگی و مولفه راستگردی هستند.

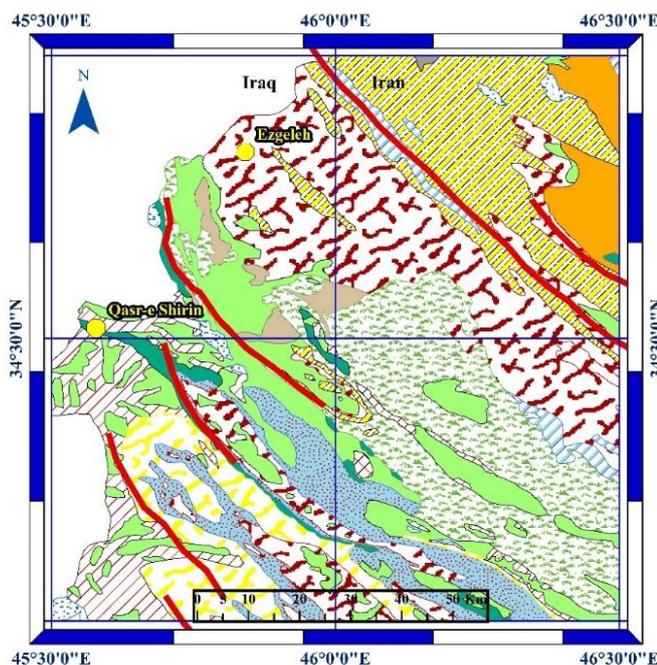
تاقدیس از گله، از نظر تقسیمات ساختاری ایران، در کمر بند کوهزایی زاگرس و در زیر پهنه زاگرس چین خورده قرار دارد (Nogole, Sadat, 1993, Berberian, 1983).

پهنه زاگرس چین خورده، از شمال خاور، توسط گسل زاگرس مرتفع (HZF) و به سمت جنوب باختر، با گسل پیشانی کوهستان (MFF) محدود شده است. این تاقدیس، در بین دو گسل اصلی زاگرس قرار دارد. تاقدیس از گله از نظر تقسیم بندی کمر بند کوهزایی زاگرس، در زیر ناحیه لرستان قرار دارد.

در این ناحیه، سازندهای مقاوم و نامقاوم (سطوح جدایش مکانیکی) تاثیر زیادی در تغییر سبک دگرشکلی این منطقه دارد. شیل های کامبرین، به عنوان قدیمی ترین واحد نامقاوم این ناحیه، نقش سطح جدایش قاعده ای را بازی می کند. سطوح جدایش میانی دیگری نیز وجود دارد که شامل تبخیری های تریاس، سازند دشتک، شیل های آلبین، سازندهای کژدمی و گرو، مارن های ائوسن سازندهای پابده، گورپی و امیران و تبخیری های میوسن (سازند گچساران) است (آقانباتی، ۱۳۸۳). مهمترین واحدهای سنگ شناسی این منطقه به ترتیب از: ایلام به سن کرتاسه بالایی، سازند گورپی با سن کرتاسه بالایی

### ۳- مواد و روش ها

در این مطالعه، نقشه رقومی ارتفاعی و شاخص های



### Legend

Fault

City

### Lithology

- Quaternary-Low level piedment fan and vally terrace deposits
- Quaternary-IIhigh level piedmont fan and vally terrace deposits
- Pliocene-Alternating hard of consolidated, massive, feature forming conglomerate and low -weathering cross -bedded sandstone ( BAKHTYARI FM )
- Miocene-Brown to grey, calcareous, feature-forming sandstone and low weathering, gypsum- veined, red marl and siltstone ( AGHAJARI FM )
- Miocene-Anhydrite, salt, grey and red marl alternating with anhydrite, argillaceous limestone and limestone ( GACHSARAN FM )
- Miocene-Cream to brown - weathering, feature - forming, well - jointed limestone with intercalations of shale ( ASMARI FM )
- Eocene-Miocene-Undivided Asmari and Shahbazan Formation
- Eocene-Fine-bedded argillaceous limestone and calcareous shale ( Kandavan Shale )
- Late.Cretaceous-Grey and brown, medium - bedded to massive fossiliferous limestone ( KAZHDUMI FM )
- Paleocene-Eocene-Grey and brown, medium - bedded to massive fossiliferous limestone ( TALEHIZANG FM )
- Cretaceous-Undivided Bangestan Group, mainly limestone and shale, Albian to Campanian, comprising the following formations: Kazhdumi, Sarvak, Surgah and Ilam
- Triassic-Cretaceous-Kuhe Bistoon limestone
- Triassic-Cretaceous-Purple and red thin - bedded radiolarian chert with intercalations of neritic and pelagic limestone ( Kerman and Neyzar Radiolarites )
- Triassic-Thin to medium - bedded, dark grey dolomite ; thin - bedded dolomite, greenish shale and thin - bedded argillaceous limestone ( KHAMEH Kat and NEYRIZ FM )

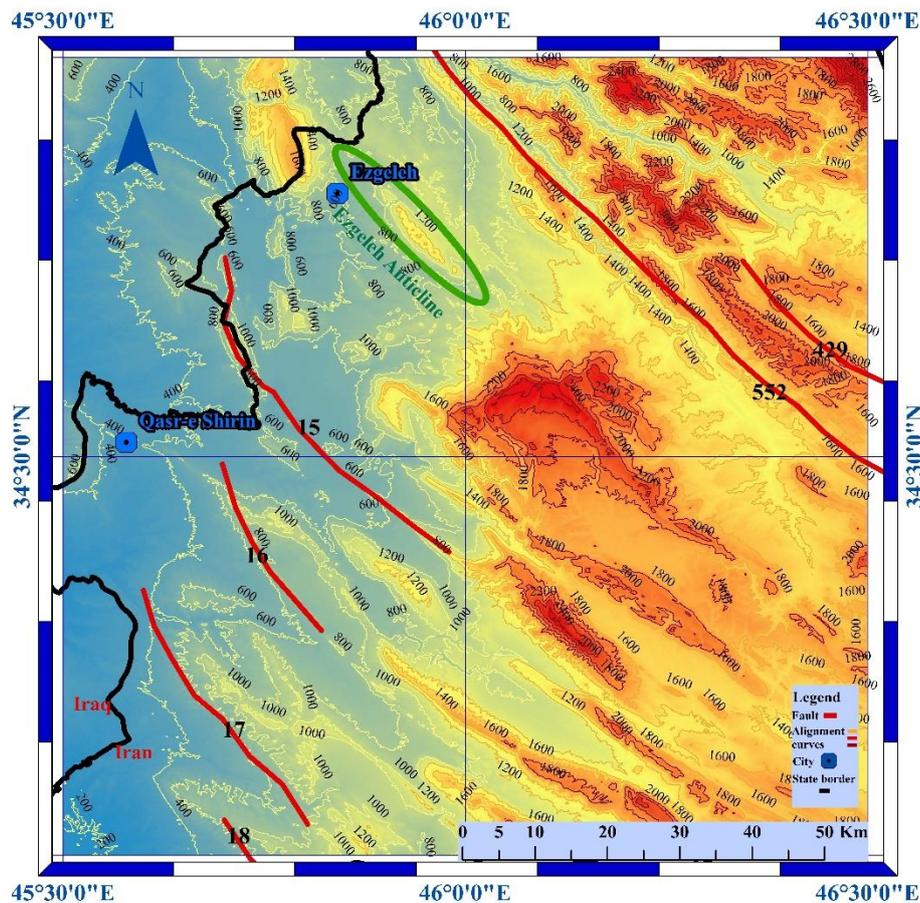
شکل ۲. نقشه زمین شناسی و گسل‌های منطقه مورد مطالعه، برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ قصر شیرین، بر پایه شیپ فایل نقشه زمین شناسی، سایت سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

و ۳۳۳۴ متر است. حدود ۳۱۹۴ متر اختلاف ارتفاع در منطقه وجود دارد. کم ترین ارتفاع، در حاشیه باختری گستره است. در راستای شمال خاور- جنوب باختر، و به سمت شمال خاور، ارتفاع و تراکم چین خوردگی‌ها (کوتاه شدن طول موج چین‌ها)، افزایش و به سمت جنوب باختر، ارتفاع و تراکم چین خوردگی‌ها کاهش می‌یابد. راستای تاقدیس از گله، به موازات گسل‌های منطقه است. چین خوردگی‌ها و گسل‌ها در راستای شمال باختر- جنوب خاور قرار دارند.

شکل و کج شدگی حوضه‌های آبریز اندازه‌گیری شد و با وضعیت بیشینه شتاب منطقه (اندازه‌گیری بیش ترین شتاب منطقه - روش احتمالاتی - برای ۴۷۵ سال) مقایسه شد تا میزان فعالیت زمین ساخت منطقه مشخص شود (Karbasiyan et al., 2024).

### ۳-۱- توپوگرافی

به منظور بررسی تغییرات ارتفاع، با کمک نقشه رقومی ارتفاعی، نقشه توپوگرافی محدوده ترسیم شد (شکل ۳). کم ترین و بیش ترین ارتفاع منطقه، به ترتیب ۱۴۰



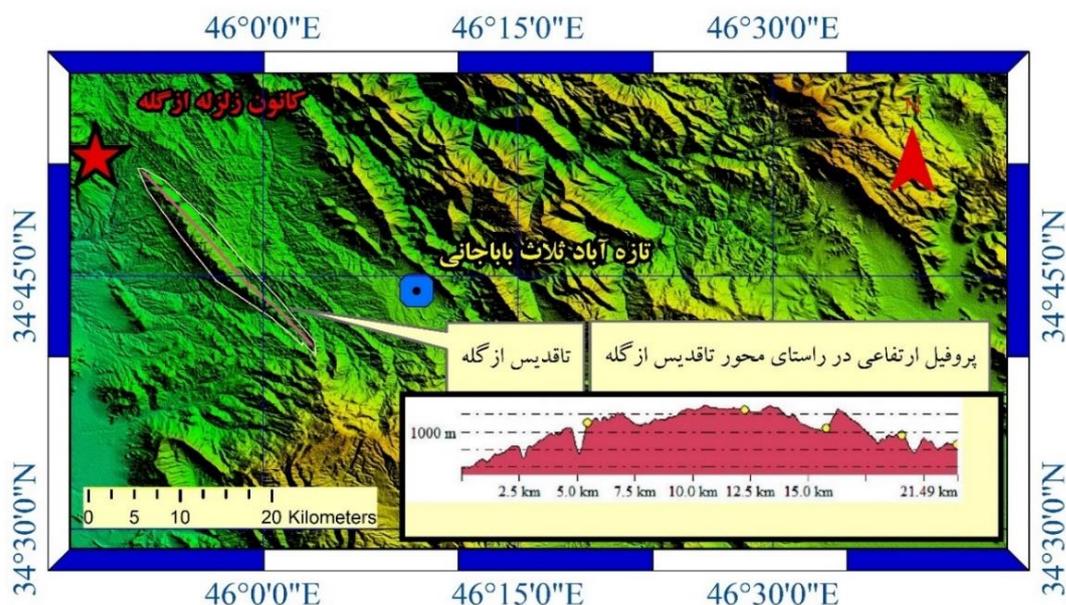
شکل ۳. موقعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه، تاقدیس از گله، گسل های محدوده

فعال چین خوردگی این منطقه است (ایزدی کیان و میرزاجانی، ۱۳۹۹). در این مطالعه، محور طولی تاقدیس از گله و پروفیل ارتفاعی آن ترسیم شد. موقعیت این تاقدیس در نزدیکی شهر از گله و رومرکز زمین لرزه با بزرگای ۷٫۳ سال ۲۰۱۷ از گله قرار دارد (شکل ۴).

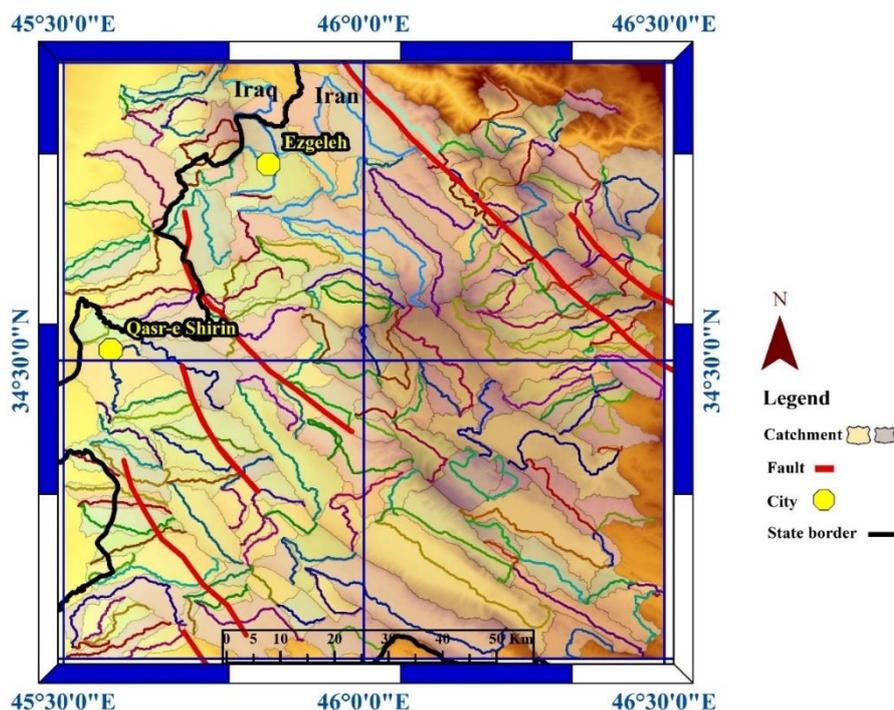
به منظور شناسایی بیش تر ریختزمین ساخت منطقه، در محیط آرک مپ، ۲۲۰ حوضه آبریز کوچک منطقه ترسیم گردید که ۱۹۷ حوضه آن به صورت کامل در محدوده قرار دارد و ۲۳ حوضه مرزی محدوده، با قرار گرفتن بخشی از آن در خارج از محدوده، قابل اندازه گیری نیست. با رسم خطوط مرزی حوضه های آبریز، تنوع شکل حوضه ها، تنوع شیب، تفاوت مسیر مرزی حوضه ها و تنوع اندازه حوضه های آبریز، حاکی از ریختزمین ساخت پیچیده منطقه هست. در باختر کرمانشاه، موقعیت تاقدیس از گله نشان می دهد که این منطقه، بر روی بخش کم ارتفاعتر و حاشیه زاگرس قرار گرفته است ولی، تنوع ویژگی های حوضه های آبریز منطقه، لزوم بررسی شاخص های زمین ریختی را نمایان می کند (شکل ۵).

بررسی ریختزمین ساخت تاقدیس از گله، نسبت به چین خوردگی های اطراف، در نقشه رقمی ارتفاعی، نشان می دهد که این تاقدیس، توسط محیطی با چین خوردگی هایی با طول موج بزرگ و ارتفاع کم؛ احاطه شده و چین خوردگی های زاگرس در محدوده تاقدیس، از هم فاصله گرفته اند.

وجود شکستگی های عمود بر محور تاقدیس و رشد تاقدیس با انحراف در ابتدا و انتهای محور تاقدیس از گله تایید شده هست. تاقدیس بسته از گله، از نوع چین های مرتبط با گسل است. روند عمومی این چین، شمال باختر - جنوب خاور و به هر دو سمت متمایل است. جنس هسته آن از سازند آهکی ایلام و یال های آن از مارن و آهک گورپی و شیل و مارن سازند پایده است. اغلب آبراهه ها در این چین، از نوع موازی هستند. انحراف مسیر آبراهه ها، نشانگر رشد چین به سمت شمال باختر است. همچنین این چین از بخش جنوب خاوری نیز در حال رشد است و باعث انحراف آبراهه ها شده است. این رشد، حاکی از زمین ساخت



شکل ۴. نقشه رقومی ارتفاعی تاقدیس ازگله و پروفیل ارتفاعی در راستای محور NW-SE

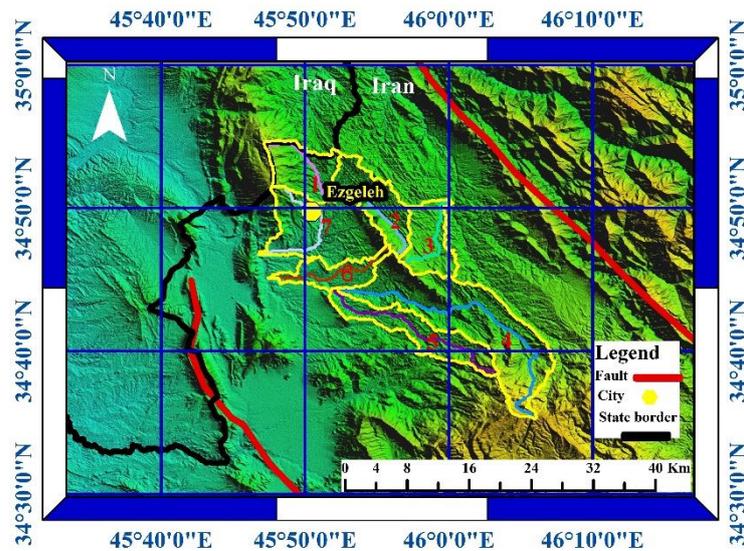


شکل ۵. نقشه ترسیمی حوضه‌های آبریز و آبراهه حوضه‌ها در گستره

### ۲-۳- شاخص‌های زمین‌ریختی

برای بررسی میزان دگرریختی ایجاد شده در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌توان از شاخص‌های زمین‌ریخت شناسی استفاده کرد (Bull & McFadden, 1977; Azor et al., 2002; Keller & Pinter, 2002; Silva et al., 2003; Molin et al., 2004; EL Hamdouni et al., 2008). این شاخص‌ها، ابزارهای مقدماتی و پایه برای تشخیص

به منظور بررسی و مقایسه حوضه‌های کوچک منطقه و حوضه‌های مجاور تاقدیس ازگله، ۷ حوضه از ۱۹۷ حوضه ترسیمی در محدوده، تفکیک و نقشه آن تهیه شد (شکل ۶). حوضه‌های آبریز مجاور تاقدیس ازگله، دارای تنوع در وسعت، شکل، مسیر آبراهه‌ها و شیب هستند. ارتفاع تاقدیس، نسبت به پیرامون آن، بیش از ۴۰۰ متر، اختلاف ارتفاع دارد.



شکل ۶. نقشه ترسیمی حوضه‌های آبریز مجاور تاقدیس ازگله و آبراه‌های آن

نواحی دچار دگرشکلی زمین ساختی سریع می باشند. در این مطالعه، کاربردی ترین شاخص‌های زمین ریختی در مطالعات زمین ساخت فعال به کار گرفته شدند که شامل موارد زیر هستند:

۱-۲-۳- **انتگرال فرازسنجی، هیپسومتری (Hi)**

انتگرال فرازسنجی، پراکندگی ارتفاع را در یک ناحیه خاص نشان می دهد. منحنی فرازسنجی که شامل رسم نسبت ارتفاعی در برابر نسبت مساحت و محاسبه مساحت زیر منحنی است، مستقل از اندازه حوضه و برآمدگی است (Strahler, 1952). این شاخص، نشانگر توزیع ارتفاع در یک ناحیه از زمین از یک حوضه زهکشی تا یک سیاره است و از نسبت کل ارتفاع حوضه (ارتفاع نسبی) در مقابل نسبت کل مساحت حوضه (مساحت نسبی) به دست می آید. استفاده مفید از منحنی فرازسنجی این است که حوضه زهکشی با اندازه های مختلف را می توان مقایسه کرد (Pike&Wilson, 1971; Mayer, 1990; Keller&Pinter, 2002).

انتگرال فراز سنجی، به طور مستقیم با زمین ساخت ارتباط ندارد.

مقادیر بالای این شاخص، نشان دهنده نواحی فعال و جوان و مقادیر پایین آن، با نواحی قدیمی که فرآیند فرسایش بر آن ها حاکم است و کم تر تحت تاثیر زمین ساخت فعال منطقه است، مرتبط هستند (EL

نتیجه این اندازه گیری نشان داد که: شاخص انتگرال فراز نما یا هیپسومتری (Hi)، از نظر درصدی در سه رده جای گرفتند. رده یک (۷,۱۱٪)، رده دو (۱۵,۷۳٪) و رده ۳ (۷۷,۱۶٪) به دست آمد. بیش ترین مقدار هیپسومتری ۰,۶۴۱ مربوط به حوضه شماره ۱۴۲ و کم ترین مقدار ۰,۱۱۲ مربوط به حوضه شماره ۵۸ است. نقشه هیپسومتری منطقه نیز ترسیم گردید (شکل ۷).

ارتفاع حداقل:  $h_{min}$

ارتفاع حداکثر:  $h_{max}$

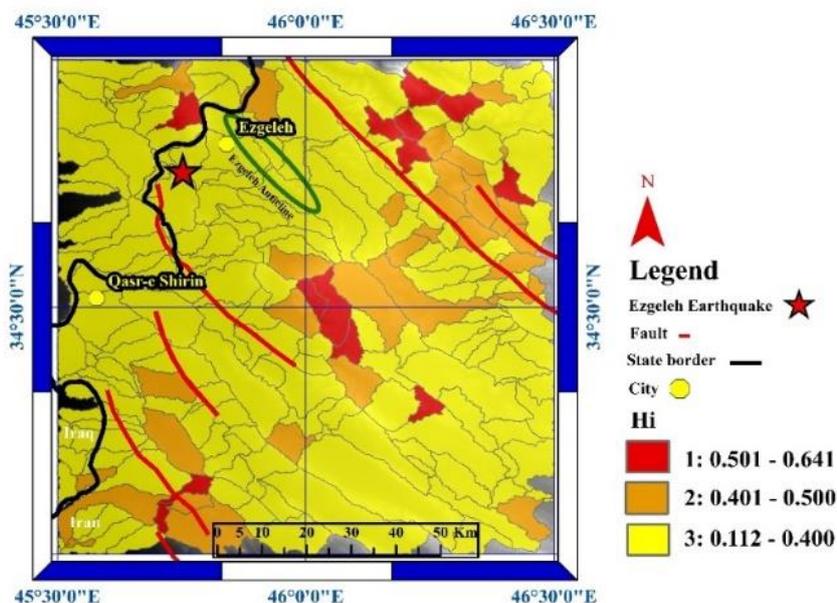
ارتفاع میانگین:  $h_{mean}$

پس از اندازه گیری، در داخل رابطه قرار گرفت:

(رابطه ۱)

$$Hi = \frac{h_{mean} - h_{min}}{h_{max} - h_{min}}$$

نتیجه این اندازه گیری نشان داد که: شاخص انتگرال فراز نما یا هیپسومتری (Hi)، از نظر درصدی در سه رده جای گرفتند. رده یک (۷,۱۱٪)، رده دو (۱۵,۷۳٪) و رده ۳ (۷۷,۱۶٪) به دست آمد. بیش ترین مقدار هیپسومتری ۰,۶۴۱ مربوط به حوضه شماره ۱۴۲ و کم ترین مقدار ۰,۱۱۲ مربوط به حوضه شماره ۵۸ است. نقشه هیپسومتری منطقه نیز ترسیم گردید (شکل ۷).



شکل ۲. نقشه شاخص Hi در حوضه‌های گستره

جدول ۲. شاخص Hi

catch	Hi	catch	Hi	catch	Hi	catch	Hi	catch	Hi	catch	Hi
3	0.371	46	0.375	80	0.27	114	0.421	148	0.341	185	0.314
5	0.498	47	0.357	81	0.457	115	0.412	149	0.337	186	0.385
6	0.245	48	0.312	82	0.37	116	0.456	150	0.426	187	0.326
10	0.184	49	0.283	83	0.305	117	0.215	151	0.359	188	0.243
11	0.287	50	0.376	84	0.31	118	0.397	152	0.302	190	0.33
12	0.47	51	0.168	85	0.276	119	0.256	153	0.39	191	0.316
14	0.191	52	0.536	86	0.45	120	0.419	154	0.354	192	0.178
15	0.383	53	0.446	87	0.404	121	0.233	156	0.237	193	0.313
16	0.466	54	0.363	88	0.291	122	0.18	157	0.294	195	0.294
17	0.362	55	0.528	89	0.278	123	0.242	158	0.36	196	0.466
21	0.549	56	0.334	90	0.203	124	0.566	159	0.324	197	0.341
22	0.338	57	0.208	91	0.222	125	0.416	160	0.312	198	0.35
23	0.332	58	0.112	92	0.345	126	0.349	162	0.401	199	0.323
25	0.338	59	0.402	93	0.174	127	0.221	164	0.32	200	0.413
26	0.545	60	0.5	94	0.161	128	0.155	165	0.349	201	0.338
27	0.263	61	0.357	96	0.167	129	0.52	166	0.316	202	0.326
28	0.125	62	0.347	97	0.401	130	0.252	167	0.438	204	0.182
29	0.34	63	0.424	98	0.223	131	0.282	168	0.27	205	0.459
30	0.541	64	0.175	99	0.337	132	0.19	169	0.284	206	0.351
31	0.284	65	0.194	100	0.278	133	0.309	170	0.211	207	0.525
32	0.251	66	0.313	101	0.224	134	0.322	171	0.32	208	0.515
33	0.333	67	0.4	102	0.209	135	0.319	172	0.577	209	0.257
34	0.499	69	0.269	103	0.5	136	0.319	174	0.253	210	0.422
35	0.607	70	0.414	104	0.217	137	0.194	175	0.258	211	0.442
36	0.521	71	0.293	105	0.311	138	0.312	176	0.239	212	0.286
37	0.251	72	0.285	106	0.381	139	0.291	177	0.39	213	0.298
38	0.36	73	0.293	107	0.304	140	0.195	178	0.278	214	0.271
39	0.311	74	0.319	108	0.297	142	0.641	179	0.379	215	0.392
40	0.348	75	0.259	109	0.175	143	0.348	180	0.299	216	0.272
42	0.243	76	0.445	110	0.314	144	0.267	181	0.288	217	0.443
43	0.184	77	0.487	111	0.377	145	0.266	182	0.419	218	0.297
44	0.388	78	0.313	112	0.353	146	0.354	183	0.31	220	0.394
45	0.28	79	0.353	113	0.406	147	0.237	184	0.231		

هندسه واضحی است. عامل عدم تقارن، برای نمایان ساختن کج شدگی زمین ساختی در مقیاس حوضه زهکشی یا مساحت‌های بزرگ تر است. شاخص عدم تقارن Af به بررسی میزان کج شدگی زمین ساختی

### ۲-۲-۳- عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)

هندسه شبکه‌های رود به صورت کمی و کیفی اندازه‌گیری می‌شود. جایی که زهکشی در حضور زمین ساخت فعال توسعه می‌یابد، شبکه دارای الگو و

سوی جریان در حوضه زهکشی می پردازد (Hare & Gardner, 1985; Keller & Pinter, 2002). در این شاخص، مساحت سمت راست حوضه و مساحت کل هر حوضه اندازه گیری شد برای تعیین سمت راست حوضه، مسیر آبراهه از ارتفاع بیش تر به سمت ارتفاع کم تر (دید از بالا به پایین) نیمه سمت راست مشخص می شود. در رابطه (۲) قرار می گیرد و عدد Af هر حوضه به دست می آید. این عدد می تواند، مساوی ۵۰، بیش تر از ۵۰ یا کم تر از ۵۰ باشد که باعث می شود حوضه ها در سه گروه جای بگیرند. تمام حوضه ها پس از اندازه گیری در این سه گروه قرار گرفتند. برای محاسبه عدم تقارن حوضه ها، از رابطه ۲ استفاده شد.

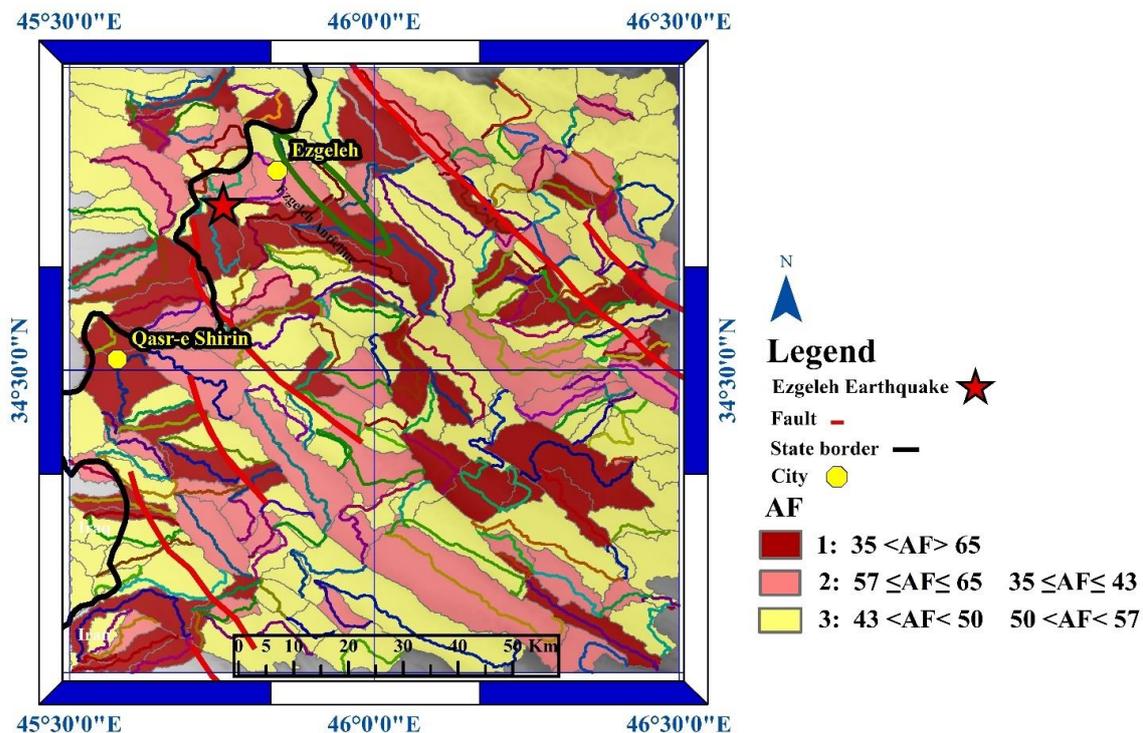
$$AF = 100 \left( \frac{Ar}{At} \right) \quad (\text{رابطه ۲})$$

مساحت سمت راست حوضه: Ar

مساحت کل حوضه: At

عدم تقارن حوضه: AF

مقدار ۵۰ برای Af، حاکی از پایداری رود است. مقادیر بیش تر و کم تر از ۵۰، نشان دهنده کج شدگی حوضه است که می تواند نتیجه فعالیت زمین ساختی و یا ساختارهای موجود در سنگ همچون تورق باشد. برای خنثی کردن نقش لایه بندی و تورق در شاخص Af، چنین فرض می شود که سنگ شناسی (مانند لایه های رسوبی شیب دار) و اقلیم محلی (مانند اختلاف پوشش گیاهی میان شیب های رو به شمال و جنوب) سبب عدم تقارن نمی شوند (EL Hamdouni et al., 2008). با این فرض، این مقدار برای تمام حوضه های کوچک محدوده اندازه گیری شد (جدول ۳). حوضه ها از نظر درصد این شاخص در سه رده، رده یک (۳۲،۹۹٪)، رده دو (۱۹،۸٪) و رده سه (۴۷،۲٪) جای گرفتند. نقشه Af محدوده نیز ترسیم شد (شکل ۸).



شکل ۸. شاخص AF در حوضه های گسترده

به ویژه برای فعالیت های زمین ساختی اواخر کواترنر بسیار حساس است (Bull, 2007). بررسی ریخت شناسی برش عرضی آبراهه ها، در نزدیکی جبهه کوهستان، شاخص مفیدی برای اندازه گیری قدرت حفر قائم

### ۳-۲-۳- نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF)

این شاخص، یکی از معیارهای موثر در شناسایی مناطق فعال زمین ساختی است. نسبت پهنای دره به کف دره،



### جدول ۳- شاخص AF

catch	AF	catch	AF	catch	AF	catch	AF	catch	AF	catch	AF
3	57.5	46	67.5	80	53.2	114	43.7	148	9.4	185	68.8
5	25.7	47	75.4	81	48.2	115	83.3	149	64.6	186	29
6	46	48	38.5	82	37.7	116	34.3	150	46.2	187	14.8
10	55.3	49	69.7	83	39.8	117	60.6	151	42.4	188	67.7
11	72.7	50	66.3	84	76.1	118	40.9	152	15.9	190	38.9
12	38.2	51	40.1	85	45.6	119	25.1	153	79.7	191	61.5
14	70.8	52	73.4	86	79.6	120	64.8	154	51.9	192	72.6
15	27.3	53	56.4	87	22.5	121	62.1	156	40.5	193	56.9
16	44.5	54	46.1	88	55.6	122	45.5	157	6.9	195	58.9
17	43.3	55	36.4	89	52.9	123	56.9	158	58.6	196	8
21	65.3	56	33.2	90	38.4	124	28.3	159	67.3	197	54.9
22	50.9	57	43.5	91	60.9	125	57.3	160	62.4	198	79.8
23	53.1	58	9.1	92	50.8	126	38.1	162	49.6	199	64.3
25	78.6	59	45.2	93	47.6	127	57.1	164	44.1	200	43.2
26	29.9	60	34.5	94	55.2	128	70.6	165	54.5	201	66.7
27	23.7	61	34.3	96	65.3	129	45.8	166	57.1	202	35
28	42.6	62	70.4	97	24.1	130	43.9	167	58.2	204	65.3
29	60.4	63	32.8	98	35.2	131	63.5	168	53.1	205	18.5
30	67.7	64	45.5	99	68.9	132	65.8	169	41.5	206	64.4
31	66.5	65	56.6	100	59.5	133	70.9	170	72.6	207	57
32	20.5	66	46.6	101	26.4	134	63.9	171	29.3	208	43.2
33	42.9	67	59.8	102	42	135	59.8	172	49.9	209	31.3
34	37.5	69	52.8	103	67.9	136	30.4	174	42.6	210	64.7
35	57.1	70	22.7	104	52.8	137	80.7	175	55.3	211	27.7
36	62.4	71	36.5	105	58.5	138	48.9	176	26.6	212	69.6
37	40.1	72	51.6	106	49.2	139	77.4	177	45.6	213	67.8
38	72.9	73	17.9	107	59.1	140	74.1	178	25.1	214	36.9
39	59.1	74	29.3	108	31.9	142	32.8	179	61.6	215	68.5
40	62.9	75	56.2	109	28.2	143	68.6	180	78.7	216	40.8
42	34.8	76	33.1	110	7.3	144	56.2	181	7.9	217	45.9
43	35.2	77	44.5	111	34.5	145	34.5	182	42.3	218	56.4
44	42.5	78	66.1	112	61.6	146	26.9	183	80.2	220	54.5
45	46.5	79	55.1	113	36.4	147	47.9	184	72.3		

$$VF = \frac{V_{\text{fwh}}}{[(E1d - Esc) + (Erd - Esc)]}$$

$V_{\text{fwh}}$ : په‌نای کف دره

ارتفاع دیواره سمت چپ یا ارتفاع خط الراس سمت

پ رودخانه:  $E_{1d}$

ارتفاع دیواره سمت راست دره یا ارتفاع خط الراس

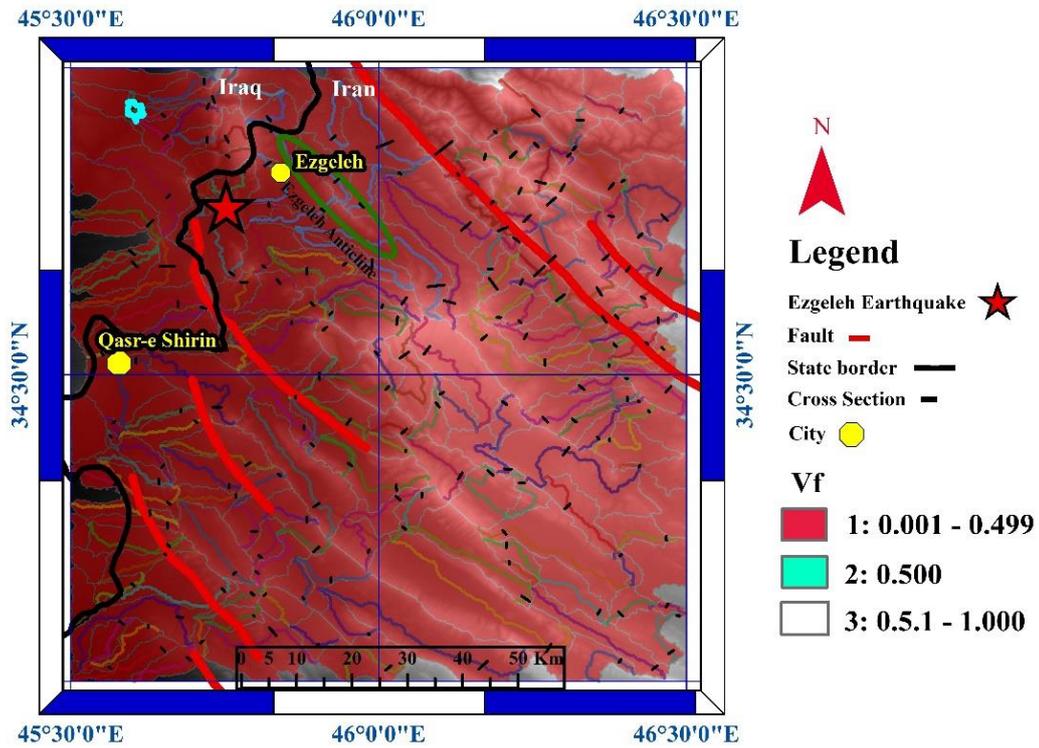
سمت راست رودخانه:  $E_{rd}$

ارتفاع کف بستر دره:  $E_{sc}$

نسبت په‌نای کف دره به ارتفاع: VF

برای رسم نقشه این شاخص، ابتدا مقاطع عرضی آبراهه‌ها ترسیم شدند. نسبت په‌نای کف دره به ارتفاع آن نیز، برای تمام حوضه‌های محدوده اندازه‌گیری شد (جدول ۴). حوضه‌های ۱۰۶، ۱۱۰ و ۱۱۳ به دلیل کوچکی حوضه، قابل اندازه‌گیری نبود. شاخص Vf حوضه کوچک شماره ۱۷ دارای مقدار ۰٫۵ و سایر حوضه‌ها از نظر شاخص VF، کم‌تر از ۰٫۵ است. ۱۹۳ حوضه در رده یک (۹۷، ۹۷٪) و فقط یک حوضه در رده دو (۰٫۵٪) است. سه حوضه غیرقابل اندازه‌گیری (۱، ۵۳٪) از کل را در بر می‌گیرد (شکل ۹).

آبراهه‌ها و بررسی فعالیت زمین‌ساختی منطقه است (Bull&McFadden, 1977). مقادیر بزرگ این شاخص، با نرخ‌های بالا آمدگی پایین که در آن رودها، کف دره پهن را حفر می‌کنند، در ارتباط مستقیم است. مقادیر کم این نسبت، به دره‌های عمیقی اشاره دارد که در آن، رودها به طور فعال، دره‌ها را حفر می‌کنند و معمولاً در ارتباط با بالا آمدگی هستند. در این شاخص، مقاطع عرضی هر آبراهه، در محل مناسب و متناسب به بقیه حوضه‌ها رسم گردید. سپس با نمایش نیم رخ آن در نمودار، با کمک نرم افزار، په‌نای مسطح‌ترین بخش کف آبراهه اندازه‌گیری شد. سپس ارتفاع دیواره سمت راست و چپ آبراهه و ارتفاع کف بستر از لبه دیواره آبراهه اندازه‌گیری شد. اعداد به دست آمده در رابطه (۳) قرار گرفت و شاخص Vf هر حوضه به دست آمد. اعداد به دست آمده در سه گروه کم‌تر از ۰٫۵ (فعال)، بین ۰٫۵ تا ۱ (نیمه فعال) و بزرگ‌تر از ۱ (غیرفعال) جای می‌گیرند. برای محاسبه این شاخص، از رابطه (Bull&McFadden, 1977) استفاده شد (رابطه ۳).



شکل ۹. نقشه شاخص  $V_f$  در گستره مورد مطالعه

جدول ۴. شاخص  $V_f$

catch	$V_f$	catch	$V_f$	catch	$V_f$	catch	$V_f$	catch	$V_f$	catch	$V_f$
3	0.001	46	0.008	80	0.038	114	0.006	148	0.066	185	0.011
5	0.046	47	0.006	81	0.016	115	0.011	149	0.044	186	0.017
6	0.012	48	0.017	82	0.013	116	0.009	150	0.018	187	0.007
10	0.008	49	0.003	83	0.025	117	0.022	151	0.125	188	0.045
11	0.02	50	0.023	84	0.005	118	0.012	152	0.011	190	0.006
12	0.013	51	0.003	85	0.037	119	0.008	153	0.016	191	0.003
14	0.04	52	0.008	86	0.003	120	0.032	154	0.009	192	0.003
15	0.125	53	0.011	87	0.006	121	0.064	156	0.01	193	0.009
16	0.004	54	0.004	88	0.007	122	0.09	157	0.006	195	0.008
17	0.5	55	0.006	89	0.013	123	0.111	158	0.037	196	0.2
21	0.002	56	0.043	90	0.071	124	0.003	159	0.011	197	0.014
22	0.07	57	0.013	91	0.014	125	0.002	160	0.031	198	0.004
23	0.09	58	0.037	92	0.047	126	0.004	162	0.011	199	0.009
25	0.005	59	0.003	93	0.021	127	0.022	164	0.023	200	0.031
26	0.001	60	0.01	94	0.017	128	0.428	165	0.003	201	0.49
27	0.003	61	0.009	96	0.086	129	0.003	166	0.066	202	0.012
28	0.017	62	0.001	97	0.007	130	0.038	167	0.004	204	0.142
29	0.005	63	0.007	98	0.006	131	0.016	168	0.008	205	0.153
30	0.002	64	0.009	99	0.014	132	0.001	169	0.09	206	0.025
31	0.016	65	0.071	100	0.004	133	0.002	170	0.011	207	0.003
32	0.016	66	0.009	101	0.027	134	0.016	171	0.009	208	0.006
33	0.003	67	0.007	102	0.028	135	0.03	172	0.004	209	0.006
34	0.002	69	0.011	103	0.002	136	0.038	174	0.009	210	0.04
35	0.002	70	0.029	104	0.037	137	0.017	175	0.003	211	0.003
36	0.002	71	0.009	105	0.013	138	0.012	176	0.008	212	0.035
37	0.004	72	0.006	106	-	139	0.012	177	0.012	213	0.004
38	0.005	73	0.017	107	0.003	140	0.035	178	0.001	214	0.003
39	0.042	74	0.003	108	0.015	142	0.002	179	0.004	215	0.09
40	0.014	75	0.005	109	0.142	143	0.026	180	0.003	216	0.004
42	0.002	76	0.007	110	-	144	0.166	181	0.025	217	0.125
43	0.016	77	0.002	111	0.017	145	0.003	182	0.003	218	0.006
44	0.007	78	0.01	112	0.062	146	0.02	183	0.003	220	0.007
45	0.011	79	0.004	113	-	147	0.018	184	0.007		

### ۴-۲-۳- پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf)

این شاخص، نشانگر توازن بین نیروهای فرسایشی مایل به بریدن دره‌ها در پیشانی کوهستان و نیروهای زمین‌ساختی مایل به ایجاد پیشانی‌های مستقیم کوهستانی منطبق بر یک گسل فعال دربرگیرنده آن می‌باشد. اگر نرخ بالاآمدگی کاهش یافته یا متوقف شود، فرآیندهای فرسایشی، سبب تراشیده شدن هر چه پیش‌تر پیشانی کوهستانی می‌شود و سینوسیته افزایش می‌یابد. در این شاخص، ابتدا محدوده‌های دارای پیشانی کوهستان توسط نقشه منحنی‌های میزان شناسایی شد. مرز بین کوهستان و بخش مسطح، دارای پیچ و خمی هست که پیشانی کوهستان نامیده می‌شود. این خط محدب اندازه‌گیری شد و سپس ابتدا و انتهای این مسیر به صورت یک خط مستقیم اندازه‌گیری شد. دو عدد به دست آمده برای پیچ و خم‌های شناسایی شده به دست آمد و در رابطه (۴) قرار گرفت. اعداد حاصل از این شاخص، موقعیت پیچ و خم را در سه گروه جای

داد.

شاخص پیچ و خم پیشانی کوه، بر پایه رابطه (Bull and McFadden, 1977; Bull, 1978) برآورد می‌شود (رابطه ۴).

$$S_{mf} = \frac{L_{mf}}{L_s}$$

طول پیشانی کوهستان:  $L_{mf}$

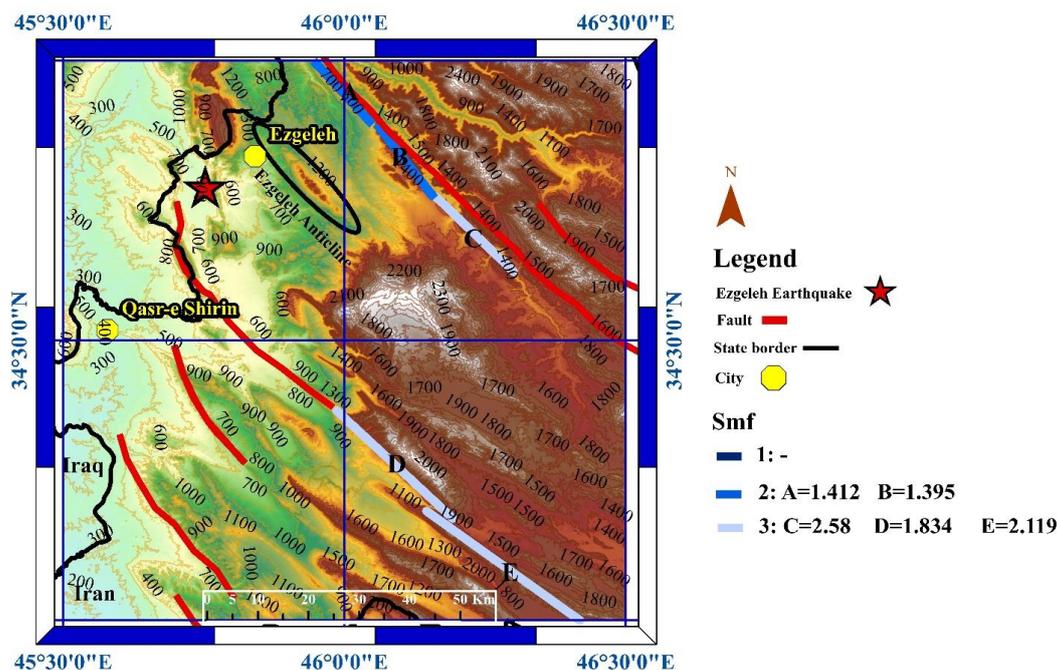
طول خط مستقیم پیشانی کوهستان:  $L_s$

سینوسیته پیشانی کوهستان:  $S_{mf}$

پس از محاسبه این شاخص در تمام حوضه‌ها، جدول داده‌های مربوط به این شاخص نیز تهیه شد (جدول ۵). این شاخص، پس از شناسایی ۵ قطعه پیشانی و طول خط مستقیم آن‌ها، اندازه‌گیری شد. سینوسیته پیشانی کوهستان ( $S_{mf}$ ) اندازه‌گیری شده، به ترتیب از A تا E مقادیر، ۱،۴۱۲، ۱،۳۹۵، ۲،۵۸، ۱،۸۳۴ و ۲،۱۱۹ به دست آمد. این اعداد، حاکی از فعالیت بیش‌تر در محدوده گسل‌های اصلی منطقه است. در ادامه، نقشه  $S_{mf}$  نیز ترسیم گردید (شکل ۱۰).

جدول ۵. سینوسیته پیشانی کوهستان

مولفه	A	B	C	D	E
$L_{mf}$	22413.6	24430.7	39593	52392.7	33113.7.2
$L_s$	15863.9	17504.2	19235.8	28562.4	27645.9
$S_{mf} = \frac{L_{mf}}{L_s}$	1.412	1.395	2.058	1.834	2.119



شکل ۱۰. شاخص  $S_{mf}$  در حوضه‌های گستره

### ۵-۲-۳- شکل حوضه زهکشی (Bs)

با استفاده از این شاخص می توان شکل حوضه را به یک شاخص کمی تبدیل کرد (Cannon, 1976; Ramirez-Herron, 1998).

میزان کشیدی یک حوضه، تحت عنوان شاخص شکل حوضه، با اندازه گیری نسبت طول به عرض به دست می آید و معیاری برای بررسی سطح فعالیت زمین ساختی به شمار می آید. حوضه هایی با کشیدگی زیاد، مشخص کننده مناطق فعال زمین ساختی است، یعنی جایی که جریان به صورت ابتدایی بستر خود را حفر می کند. این روش، برای تجزیه حوضه زهکشی نزدیک پیشانی کوهستان زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که زمین ساخت فعال در یک منطقه، باعث بالا آمدگی سریع (Bull & MacFadden, 1977) و یا دچار فروافتادگی شده است (Ramirez-Herrera, 1998). در این شاخص، ابتدا طول مسیر آبراهه، در بخش میانی حوضه ها اندازه گیری شد. سپس پهن ترین بخش در عرض حوضه اندازه گرفته شد. اعداد در رابطه (۵) قرار گرفت. تمام حوضه ها در سه رده قرار گرفتند (شکل

۱۱). حوضه ها در این شاخص با رابطه زیر اندازه گیری شدند (رابطه ۵).

$$B_S = \frac{BL}{Bw}$$

طولانی ترین بخش هر حوضه زهکشی: BL

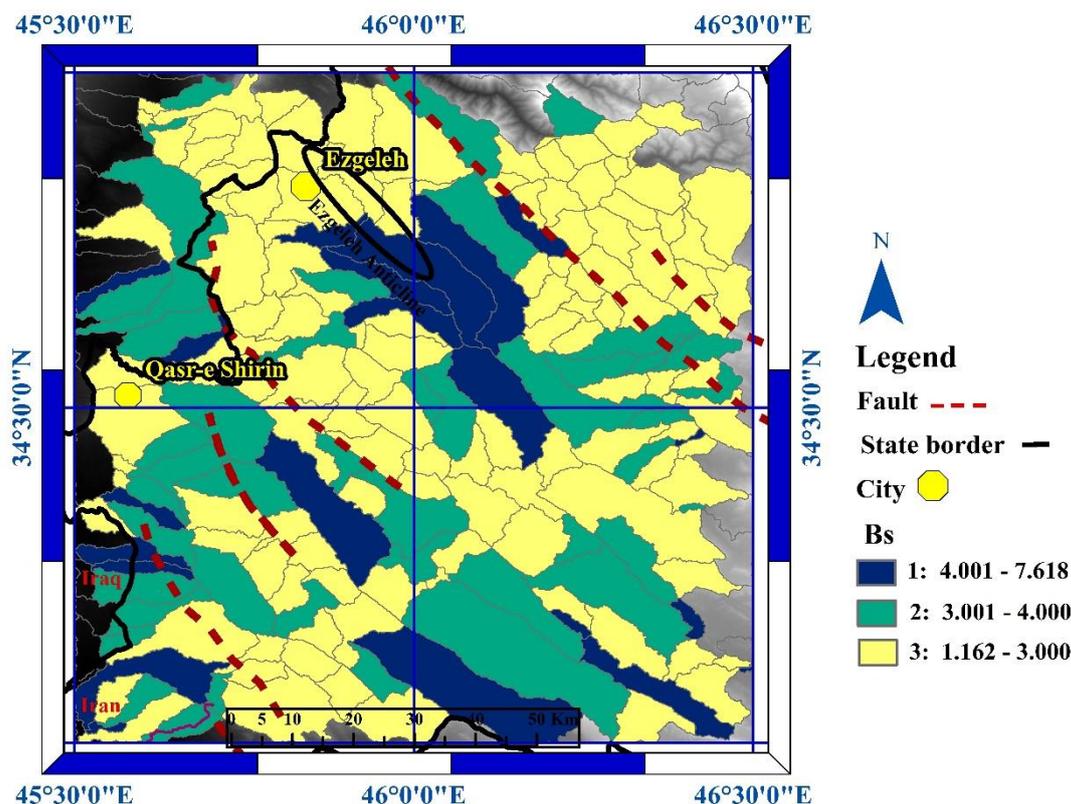
پهن ترین قسمت حوضه زهکشی: Bw

شکل حوضه: Bs

و مقدار Bs تمام حوضه ها به دست آمد (جدول ۶). مقادیر بالای این شاخص، نشان دهنده کشیدگی حوضه و مقادیر پایین آن، حاکی از حوضه های دایره ای شکل است. حوضه های گسترده، دارای کشیدگی کج شدگی هستند. بر پایه تقسیم بندی (EL Hamdouni et al, 2008) حوضه ها در سه رده قرار گرفتند. در ۱۹۷ حوضه مقدار این شاخص در: رده یک (۱۰,۶۶٪)، رده دو (۲۴,۳۷٪) و رده سه (۶۴,۹۷٪) به دست آمد. کم ترین مقدار، ۱,۱۶۲ مربوط به حوضه ۱۰۴ و بیش ترین مقدار ۷,۶۱۸ مربوط به حوضه ۱۷۵ است. پس از آن، نقشه حوضه ها بر پایه مقدار Bs ترسیم شد (شکل ۱۱).

جدول ۶. شاخص Bs

catch	Bs	catch	Bs	catch	Bs	catch	Bs	catch	Bs	catch	Bs
3	3.713	46	3.102	80	6.780	114	3.386	148	2.306	185	3.824
5	2.021	47	1.956	81	2.467	115	1.639	149	3.191	186	4.151
6	2.007	48	2.580	82	1.258	116	4.134	150	2.267	187	1.548
10	1.772	49	5.236	83	3.1593	117	3.487	151	2.326	188	1.983
11	1.222	50	1.985	84	4.919	118	1.817	152	2.072	190	3.705
12	2.165	51	2.157	85	3.393	119	3.833	153	3.245	191	2.930
14	3.524	52	1.795	86	1.697	120	3.481	154	2.966	192	3.631
15	2.215	53	2.743	87	2.194	121	3.438	156	3.110	193	5.052
16	2.891	54	1.794	88	2.070	122	1.671	157	4.645	195	2.806
17	1.723	55	2.363	89	2.950	123	1.356	158	1.812	196	3.501
21	3.108	56	3.377	90	2.028	124	3.229	159	3.201	197	5.577
22	3.023	57	2.187	91	2.180	125	1.566	160	3.837	198	2.866
23	1.380	58	2.242	92	3.682	126	2.315	162	2.499	199	3.901
25	2.287	59	2.498	93	3.108	127	2.222	164	2.148	200	6.145
26	2.355	60	2.211	94	3.008	128	2.033	165	1.757	201	5.150
27	2.474	61	2.850	96	2.011	129	3.546	166	2.568	202	2.480
28	1.837	62	1.780	97	2.624	130	2.136	167	3.153	204	2.664
29	2.069	63	1.522	98	2.330	131	2.549	168	4.502	205	2.476
30	1.870	64	4.166	99	3.08	132	3.020	169	1.803	206	4.117
31	1.385	65	1.643	100	1.399	133	3.522	170	2.137	207	2.589
32	2.211	66	5.883	101	3.726	134	4.605	171	3.077	208	3.461
33	1.656	67	2.653	102	4.493	135	4.352	172	3.151	209	1.959
34	1.572	69	5.452	103	3.323	136	2.847	174	2.556	210	2.663
35	1.984	70	2.085	104	1.162	137	3.115	175	7.618	211	2.235
36	1.193	71	2.080	105	2.728	138	2.853	176	3.379	212	1.732
37	1.455	72	6.182	106	2.469	139	2.314	177	3.920	213	2.391
38	2.916	73	2.642	107	2.401	140	1.987	178	2.287	214	3.360
39	3.254	74	3.135	108	1.609	142	2.335	179	2.643	215	2.800
40	2.017	75	2.761	109	2.494	143	1.717	180	2.798	216	2.320
42	2.344	76	1.350	110	2.349	144	1.616	181	3.381	217	4.754
43	1.813	77	1.360	111	2.070	145	2.143	182	2.341	218	1.504
44	1.791	78	2.020	112	2.198	146	1.761	183	1.886	220	3.162
45	2.702	79	1.958	113	3.384	147	3.802	184	3.990		



شکل ۱۱. شاخص Bs در حوضه‌های گستره

مجموع کلاس‌های شاخص‌های زمین ریختی محاسبه شده: S

تعداد شاخص‌های محاسبه شده: N

شاخص زمین ساخت فعال نسبی: Iat

این شاخص به ما کمک می‌کند تا وضعیت فعالیت زمین ساختی نسبی منطقه را مشخص کند. نقشه شاخص زمین ساخت فعال نسبی در حوضه‌ها ترسیم شد و ارتباط آن با ساختارها و رومرکزهای زمین لرزه به نمایش درآمد (شکل ۱۲). در این نقشه، میزان زمین ساخت فعال نسبی حوضه‌های مربوط به چهار رده تفکیک شد. داده‌های مربوط به رده بندی مورد نظر، در جدول ارائه شده اند (جدول ۷).

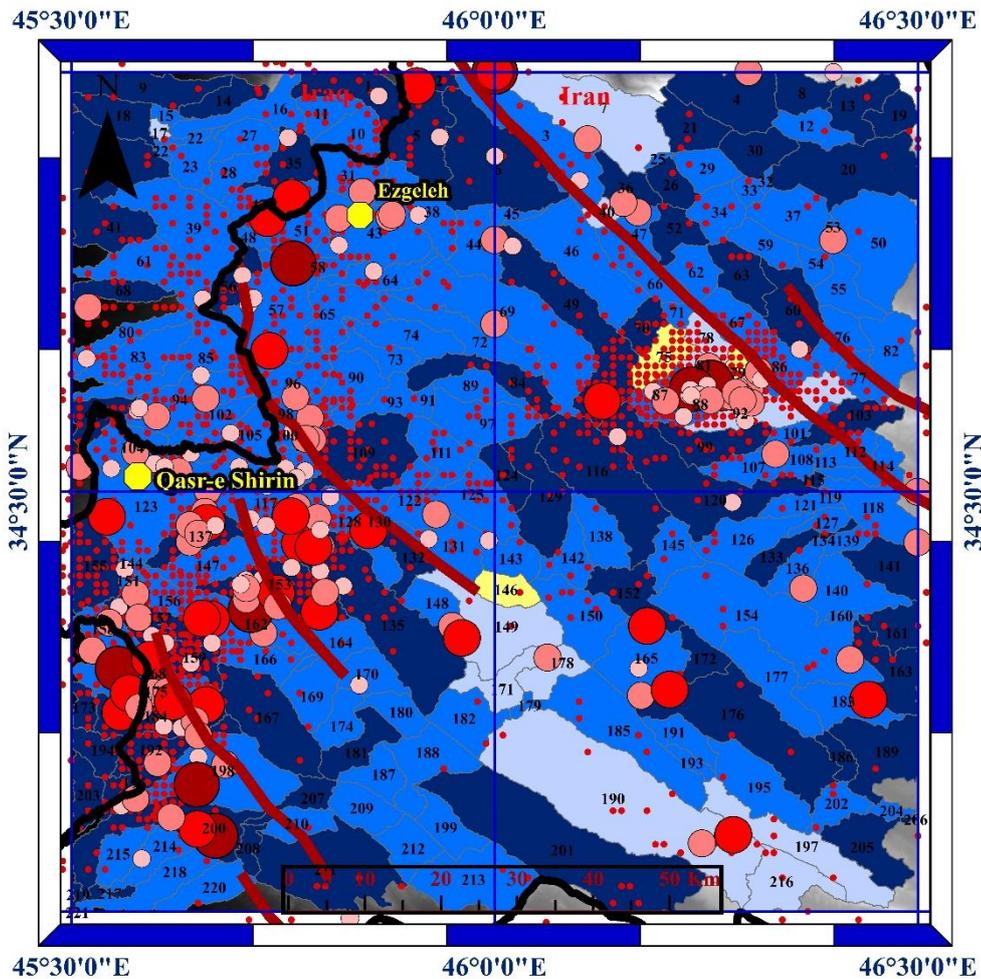
### ۶-۲-۳- شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat)

پس از محاسبه شاخص‌های ذکر شده در این مطالعه، رده یا کلاس هر حوضه در شاخص‌ها مشخص می‌شود. میانگین شاخص‌ها برای هر حوضه محاسبه می‌شود. سپس بر تعداد شاخص‌های اندازه گیری شده، طبق رابطه (۶) تقسیم می‌گردد. شاخص زمین ساخت فعال نسبی حوضه‌ها در چهار رده قرار گرفت. این شاخص بر پایه میانگین مقادیر شاخص‌های بررسی شده توسط الحمدونی و همکاران (El Hamduni et al., 2008) با رابطه زیر محاسبه شده است (رابطه ۶).

$$Iat = \frac{S}{N}$$

جدول ۷. رده بندی شاخص زمین ساخت فعال نسبی بر پایه (EL Hamduni et al., 2008)

رده	خیلی فعال	فعال	نیمه فعال	فعالیت کم
Iat	$1 < (s/n) < 1.5$	$1.5 < (s/n) < 2$	$2 < (s/n)$	$2.5 < (s/n)$



### Legend

Fault			4 - 4.5		1: $1 < (s/n) < 1.5$
City		Mw			2: $1.5 < (s/n) < 2$
Earthquakes					3: $2 < (s/n)$
Catchment Number	1-2-3-.....-220				4: $2.5 < (s/n)$

شکل ۱۲. شاخص زمین ساخت فعال نسبی در حوضه‌ها و ارتباط آن با رومکز زمین لرزه‌های محدوده، بر پایه داده‌های سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پایگاه لرزه نگاری کشور

فعالیت‌های نوزمین ساختی و جابجایی‌های اخیر است. شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق (Vf) و نسبت تقارن توپوگرافی عرضی (T) حاکی از آن است که بسیاری از دره‌های اصلی در وضعیت V شکل و نامتقارن قرار دارند و این خود نشانه‌ای از فرایند بالآمدگی سریع در حاشیه کوهستان‌هاست. همچنین، نتایج شاخص تقارن حوضه (AF) در برخی زیرحوضه‌ها انحراف آشکار زهکشی به سمت گسل‌های اصلی را تایید می‌کند. این الگوها با روند کلی چین خوردگی و فعالیت گسل‌های جوان زاگرس مطابقت دارد.

### ۴- بحث

نتایج حاصل از شاخص‌های زمین ریختی نشان می‌دهد که بخش باختری استان کرمانشاه در حال حاضر از نظر زمین ساختی بسیار فعال است. مقدار بالای شاخص انتگرال فرازونجی (Hi) بیانگر جوان بودن چشم‌انداز و تسلط بالآمدگی زمین ساختی بر فرایندهای فرسایشی است. شاخص طول-گرادیان رودخانه (SL) نیز تغییرات ناگهانی قابل توجهی را به‌ویژه در امتداد گسل‌های اصلی نشان می‌دهد که به احتمال زیاد بازتابی از

در ژرفا دانست. به بیان دیگر چین خوردگی فعال نیز، افزون بر گسلش فعال در این منطقه، حکمفرمایی دارد. همچنین، بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگامی منطقه، به‌ویژه زمین‌لرزه ۲۰۱۷ ازگله با بزرگای ۷.۳، نشان می‌دهد که گسل‌های فعال منطقه توان لرزه‌زایی بالایی دارند. انطباق محل زمین‌لرزه‌های اخیر با مناطقی که دارای مقادیر بالای شاخص‌های SL و Smf هستند، بیانگر ارتباط مستقیم بین لرزه‌خیزی و شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی است. این موضوع تأیید می‌کند که شاخص‌های زمین‌ریختی می‌توانند ابزار مناسبی برای شناسایی بخش‌های فعال و مستعد لرزه‌خیزی باشند.

در مجموع، نتایج این پژوهش بیانگر آن است که فعالیت زمین‌ساختی در منطقه مورد مطالعه، نه تنها بر تکامل شکل حوضه‌های آبریز و شبکه زهکشی اثر گذاشته، بلکه به‌طور مستقیم در ریخت‌زمین‌ساخت منطقه نقش دارد، منطقه‌ای که پتانسیل بالایی برای رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ در آینده دارد.

## ۶- منابع

اسلامی، آ.، محمودی کوهی، ع.، تقابنی، م.، کمیزی، ا.، ۱۳۹۶. گزارش مقدماتی زمین‌لرزه ۲۱ آبان ۱۳۹۶ ازگله استان کرمانشاه. ص ۱

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ص ۲۶۰

ایزدی کیان، ل.، میرزاجانی، م.، ۱۴۰۱. بررسی زمین‌ریخت‌شناسی تاقدیس ازگله، شمال باختر کرمانشاه. فصل‌نامه زمین‌ساخت شماره ۲۲. ص ۱

ایزدی کیان، ل.، میرزاجانی، م.، ۱۳۹۹. تحلیل ساختاری تاقدیس ازگله. فصل‌نامه زمین‌ساخت شماره ۱۲. ص ۷۱

Azor, A., Keller, E.A & Yeats, R.S., 2002-Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain-Oak Ridge Ventura basin, southern California. Geological Society of America Bulletin 114, 754-753.

براین پایه، شاخص‌های زمین‌ریختی در حوضه‌های محدود، برای ارزیابی شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی، اندازه‌گیری شدند. سپس با محاسبه میانگین رده کلاسه شاخص‌ها (s/n) در هر حوضه و ارزیابی آن با روش (EL Hamdouni et al, 2008)، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی، به چهار گروه رده بندی شد. در این رده بندی، رده یک، بیانگر فعالیت زمین‌ساختی خیلی بالا (s/n بین ۱ تا ۱.۵)، رده دو، بیانگر فعالیت زمین‌ساختی بالا (s/n بین ۱.۵ تا ۲)، رده سه، بیانگر فعالیت زمین‌ساختی متوسط (s/n بین ۲ تا ۲.۵) و رده چهار، بیانگر فعالیت زمین‌ساختی پایین (s/n بیش تر از ۲.۵) است. با به کارگیری این رده بندی در منطقه مورد بررسی، وضعیت زمین‌ساخت فعال نسبی در نقشه ترسیم شد (شکل ۱۲). مقایسه رومرکز داده‌های لرزه‌ای با بزرگای بیش از ۴، با ساختارهای چین‌خورده و گسل‌های اصلی منطقه، نشان می‌دهد که بیش‌ترین سطح فعالیت‌های زمین‌ساختی نسبی (رده ۱ و ۲) در ساختارهای چین‌خورده و گسل‌های طولی است. همچنین، زمین‌لرزه‌ها، بیشتر پیرامون گسل‌های اصلی رخ داده‌اند. با تلفیق دو واقعیت یاد شده در بالا، می‌توان چنین ادعان داشت که افزون بر راندگی‌های فعال، چین‌های فعال نیز در بالا آمدگی‌ها دخیل هستند. به بیان دیگر، بر پایه این یافته‌ها، می‌توان بالا آمدگی منطقه را با دگرشکلی‌شکننده-شکل‌پذیر همراه دانست. پدیده‌ای که با رخنمون یافتن هر چه بیش‌تر گسلش سطحی در آینده، قابل توجیه است.

## ۵- نتیجه‌گیری

پس از بررسی شاخص‌های زمین‌ریختی و محاسبه شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی در منطقه، چهار پهنه شامل: پهنه با فعالیت خیلی بالا (۲۲،۳٪)، پهنه با فعالیت بالا (۷۰،۶٪)، پهنه با فعالیت متوسط (۶،۱٪) و پهنه با فعالیت پایین (۱٪) در منطقه شناسایی شد. فعالیت زمین‌ساختی نسبی منطقه، با موقعیت گسل‌ها و تراکم داده‌های لرزه‌ای نشان می‌دهند که تاقدیس‌ها و راندگی‌های طولی، واجد بیش‌ترین بالا آمدگی‌ها در منطقه هستند. همچنین از آن‌جا که بخش‌هایی از طول تاقدیس‌ها، نشانگر بیش‌ترین بالا آمدگی هستند، می‌توان آن بخش‌ها را محل فعالیت راندگی‌های کور

- Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium. Allen and Unwin, Boston, MA, 123-134.
- Hessami, K., Mobayyen, F. & H. Tabassi, H. 2013- The Map of Active Faults of Iran (IIEES, Tehran, Iran.
- Karbasian, N., Beitollahi, A., Arian, M., Moradi, A., Sorbi, A., 2024 Active Tectonics and Seismic Hazard Assessment of Kermanshah Region (West of Iran) by Probabilistic Method: A Case Study, 2024, S96-115.
- 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, E.A. & Pinter, N., 2002- Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice Hall: New Jersey.
- Mayer, L., 1990- Introduction to Quantitative Geomorphology. Prentice Hall, Englewood, Cliffs, NJ.
- 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, 556-589.
- Pike, R.J., Wilson, S.E., 1971- Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis. Geological Society of America Bulletin 82, 1079-1084.
- Ramirez-Herrera, M.A., 1998- Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. Earth Surface Processes and Landforms 23, 317-332.
- Bull, W. B., 1978- Geomorphic Tectonic Classes of the South Front of the San Gabriel Mountains, California. U.S. Geological Survey Contract Report, 14-08-001-G-394, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, CA.
- Bull, W. B. & McFadden, L.D., 1977- Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D.O. (eds), Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton, 115-138.
- Cannon, P. J., 1976- Generation of explicit parameters for quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. Oklahoma Geology Notes 36(1), (3).
- Cox, R.T., 1994- Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi Embayment. Geological Society of America Bulletin 106, 571-581.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). Geomorphology, 96(1-2), 150-173.
- Hack, J.T., 1973- Stream-profiles analysis and stream-gradient index. Journal of Research of the U.S. Geological Survey 1(4), 421-429.
- Hare, P.W. & Gardner, T.W., 1985- Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M., Hack, J.T. (Eds), Tectonic Geomorphology.



- Rockwell, T.K., Keller, E.A. & Johnson, D.L., 1985-Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: Morisawa, M.(Ed), Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15 th Annual Geomorphology Symposium. Allen and Unwin Publishers, Boston , MA, 183-207.
- Salvany, J.M., 2004-Tilting neotectonics of the Guadiamar drainage basin, SW Spain. Earth Surface Processes and Landforms. 29. 145-160.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C. & Bardajm, T., 2003-Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity. Geomorphology, 250, 203-226.
- Stocklin, J., 1974-Northern Iran:Alborz Mountains. In: Spencer, A.(Ed).Mesozoic–Cenozoic Orogenic Belts:Data for Orogenic Studies. Geological Society Special Publication ,London 4, 213-234.
- Strahler, A.N., 1952-Hypsometric(area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin 63, 1117-1142.

