



The Assessment of Neotectonic Activity in Raveh-Rahjerd Volcano-Sedimentary Area (Salafchegan)

Mostafa Najafi^{a*}, Seyed Ahmad Alavi^b, Mohsen Ehteshami-Moinabadi^c

^a Msc in Tectonics, Department of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

^b Professor, Department of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

^c Associate Professor, Department of Sedimentary Basins and Petroleum, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 23 November 2021

Revised: 31 January 2022

Accepted: 5 March 2022

Abstract

Tectonics geomorphology is one of the most important modern scientific disciplines. Quantitative analysis based on defined morphometric indices is an available and relatively low-cost and fast method that is used to understand the differences in the amount of tectonic activities in young landscapes. These indices are used as a basic identification tool to detect tectonic deformations or to estimate the relative variations of tectonic activity in a particular area. However, these studies are more sensitive in areas consisting of volcanic rocks, especially for the precise definition of sub-basin boundaries. The study area that consists of outcrops of volcanic rock and young deposits is located in the south of Salafchegan; on the border of Qom-Markazi provinces. Six morphometric indices were measured to determine neotectonic activity: Stream length gradient index (SL), Ratio of valley Floor width to valley height (Vf), hypsometric integral (Hi), drainage basin shape (Bs), drainage basin asymmetry (Af), and transverse topographic symmetry (T) for each sub-basins. After calculating the indices, averages of them, and the relative active tectonic index (Iat), the area was divided into four different tectonic zones based on activity ratio. In this categorization, category 1 to 4 respectively represent the highest to lowest tectonic activity. It was also found that 2.86% of the basins are in category 2, 51.43% in category 3, class and 45.71% in category 4.

Keywords: Salafchegan, Neotectonic, Morphotectonic Indices, Relative Activity Index, Morphometry

* Corresponding author: Mostafa Najafi

Email: mostafanajafi83@gmail.com

Tel: +989372196151

How to cite this Article: Najafi, M., Alavi, S. A., & Ehteshami-Moinabadi, M. (2023). The assessment of neotectonic activity in Raveh-Rahjerd volcano-sedimentary area (Salafchegan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 25-39.

DOI:10.22067/GEOEH.2022.73218.1124



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 1 - Number 45, Spring 2023

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

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73218.1124>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۲۵-۳۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیک در گستره آتشفشانی-رسوبی راهجرد-سلفچگان

مصطفی نجفی^۱ - کارشناسی ارشد، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
سید احمد علوی - استاد، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
محسن احتشامی معین‌آبادی - استادیار، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴

چکیده

تکتونیک ژئومورفولوژی یکی از دانش‌های مورد استفاده مهم در بررسی زمین‌ساخت جنبا است. تحلیل‌های کمی مبتنی بر شاخص‌های مورفومتری تعریف شده از روش‌های در دسترس و نسبتاً ارزان محسوب می‌شود که برای درک تفاوت‌ها در میزان فعالیت زمین‌ساختی در چشم‌اندازهای جوان کاربرد دارد و با توجه به سرعت بالا و هزینه پایین در استفاده از این‌گونه روش‌ها، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. این شاخص‌ها به صورت ابزار شناسایی پایه برای تشخیص تغییر شکل‌های تکتونیک یا تخمین ناپایداری نسبی فعالیت‌های تکتونیک در منطقه‌ای ویژه به کار می‌روند. البته این بررسی‌ها در مناطق متشکل از سنگ‌های آتشفشانی از حساسیت بیشتری به ویژه در تعریف دقیق مرز زیرحوضه‌ها برخوردار است. در این مطالعه گستره‌ای متشکل از رخنمون سنگ‌های آتشفشانی و نهشته‌های جوان که در جنوب سلفچگان و در مرز استان‌های قم-مرکزی قرار دارد، برای مشخص کردن فعالیت‌های نئوتکتونیک بر اساس شش شاخص مورفومتری گرادیان طولی رودخانه (SL)، نسبت پهنای کف دره به عمق (Vf)، انتگرال هیپسومتری (Hi)، شکل حوضه آبریز (Bs)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af) و تقارن توپوگرافی

Email: mostafanajafi83@gmail.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۷۲۱۹۶۱۵۱

نحوه ارجاع به این مقاله:

نجفی، مصطفی؛ علوی، سید احمد؛ احتشامی معین‌آبادی، محسن؛ ۱۴۰۲. ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیک در گستره آتشفشانی-رسوبی راهجرد-سلفچگان. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۱). صص ۲۵-۳۹

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.73218.1124>

عرضی (T) مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت پس از محاسبه شاخص‌ها با میانگین گرفتن از آن‌ها و محاسبه شاخص فعالیت نسبی (Iat) گستره از لحاظ فعالیت به چهار رده تقسیم شد که در این تقسیم‌بندی رده‌های ۱ تا ۴ به ترتیب بیانگر بیشترین تا کم‌ترین فعالیت زمین‌ساختی است که بر این اساس مشخص شد که ۲/۸۶ درصد حوضه‌ها در رده ۲، ۵۱/۴۳ درصد حوضه‌ها در رده ۳ و ۴۵/۷۱ درصد حوضه‌ها در رده ۴ جای می‌گیرند.

کلیدواژه‌ها: سلفچگان، نئوتکتونیک، شاخص‌های مورفوتکتونیک، شاخص فعالیت نسبی، مورفومتری.

۱- مقدمه

اندرکنش زمین‌ساخت فعال، فرآیندهای ژئومورفولوژیکی سطحی و اقلیم اساس تغییر و تحولات در چشم‌انداز کواترنری مناطق پویا را تشکیل می‌دهد که فضای زندگی انسان را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. با افزایش فعالیت کمربندهای اصلی لرزه‌ای اهمیت این گرایش‌ها بیش از پیش بروز می‌یابد. با توجه به افزایش سریع توسعه اقتصادی و اجتماعی، ارزیابی خطرات لرزه‌ای بیش‌ازپیش مورد نیاز است تا امکان پیشگیری از زلزله شهری و روستایی و کاهش بلایا فراهم شود (وو و هوو^۱، ۲۰۱۹). در رابطه با تعریف و بازه زمانی نئوتکتونیک نظرات متعددی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به این موارد اشاره کرد. تحقیقات مربوط به حرکت نئوتکتونیک باید به آب‌وهوای کواترنری و تغییر سطح دریا، زمین‌لرزه و آتشفشان، رشد و کاهش صفحات یخ و سایر عوامل تغییر جهانی مرتبط باشد (استیوارت و همکاران^۲، ۲۰۰۸). فعالیت‌های نئوتکتونیک به‌طور خاص به تغییر شکل در طول نئوژن، یا حرکت تکتونیک پس از میوسن اشاره دارد، به‌طوری‌که از حرکت تکتونیک پلیستوسن یا حتی دوران هولوسن باید تمیز یابد. مرحله نئوتکتونیک کل زمان سنوزوئیک پسین است (پانیزا و همکاران^۳، ۱۹۸۷). فعالیت حاشیه ورقه‌ای امروزی مناسب‌ترین نشانه حرکت نئوتکتونیک است و شروع مرحله نئوتکتونیک یک منطقه را نشان می‌دهد (هانکوک و همکاران^۴، ۱۹۸۶)؛ بنابراین تعاریف مطالعه تکتونیک جنباً با نئوتکتونیک ارتباط تنگاتنگی دارد. یکی از روش‌های در دسترس و ارزان‌قیمت برای برآورد اولیه وضعیت تکتونیک فعال در یک گستره استفاده از مطالعات مورفوتکتونیک است (جین و سینا^۵، ۲۰۰۵؛ توروسکی و همکاران^۶، ۲۰۰۶؛ آموس و بروبنک^۷، ۲۰۰۷). از آنجاکه مطالعات مورفوتکتونیک اغلب مبتنی بر داده‌های میان‌رشته‌ای و نیازمند داده‌های سن‌سنجی کواترنری است، پژوهشگران روش‌های کم‌هزینه‌تر بر پایه اندازه‌گیری‌های کمی تغییرات ریخت و هندسه لندفرم‌های سطح زمین را در پاسخ به نئوتکتونیک ابداع کرده‌اند

1 Wu & Hu

2 Stewart et al

3 Panizza et al

4 Hancock et al

5 Jain and Sinh

6 Turowski et al

7 Amos and Burbank

که تحت عنوان ریخت‌سنجی (مورفومتری) بررسی می‌شود. استفاده از مورفومتری برای عوارض با استفاده از داده‌های رقومی دارای دقت بسیار بالایی است و به‌عنوان بخشی از ژئومورفومتری کمی از آن یاد می‌شود (ثورن^۱، ۱۹۸۸؛ شیدگر^۲، ۱۹۹۱؛ رودز و ثورن^۳، ۱۹۹۶). برخی از شاخص‌های ژئومورفیک به‌عنوان ابزارهای اولیه شناسایی، برای شناسایی مناطقی که دچار تغییر شکل سریع زمین ساختی می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرند (کلر^۴، ۱۹۸۶). سایر شاخص‌ها برای کمی کردن توصیف چشم‌انداز توسعه داده شده‌اند (استرالر^۵، ۱۹۵۲). شاخص‌های ژئومورفیک به‌ویژه در مطالعات زمین ساختی مفید هستند زیرا می‌توانند برای ارزیابی سریع مناطق بزرگ مورد استفاده قرار گیرند و داده‌های لازم را اغلب می‌توان به‌راحتی از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی به دست آورد (کلر و پیتر^۶، ۲۰۰۲). استفاده از شاخص‌های مورفومتری در تشخیص حرکات فعال و جوان در ایران و جهان سابقه چندانی نداشته و سابقه آن در جهان به دهه ۱۹۶۰ میلادی برمی‌گردد (هک^۷، ۱۹۶۰). هرچند طی سال‌های اخیر مطالعات مورفوتکتونیک متعددی با هدف بررسی فعالیت زمین‌ساختی در گستره ایران زمین انجام شده است (مددی و همکاران، ۱۳۸۳؛ شفیع و همکاران، ۱۳۸۸؛ سمندر و روستایی، ۱۳۹۵ و سامانی و همکاران، ۱۴۰۰)؛ اما در این میان اندازه‌گیری‌های مورفوتکتونیک در نواحی با سنگ‌بستر آتشفشانی، آذرآواری و یا لندفرم‌های باقی‌مانده از فعالیت آتشفشانی نئوژن با چالش‌های بیشتری به‌ویژه در زمینه تعریف محدوده زیر حوضه‌ها و اندازه‌گیری‌های کمی مواجه است. در این مقاله، گستره با استفاده از شش شاخص: گرادیان طولی رودخانه، انتگرال هیپسومتری، عدم تقارن حوضه زهکشی، نسبت پهنای کف دره به عمق، تقارن توپوگرافی عرضی و شکل نسبی حوضه مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از این شش شاخص، شاخص فعالیت نسبی تکتونیک محاسبه شد. استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی به‌عنوان فعالیت‌های نسبی تکتونیک، اهمیت آن‌ها را در مطالعات مربوط به فعالیت تکتونیک جوان در یک گستره مشخص می‌کند. مهم‌ترین ویژگی استفاده از این شاخص‌ها، سادگی نسبی روش محاسبه و همچنین سرعت عمل بالا در به‌کارگیری آن‌ها در بررسی میزان فعالیت تکتونیک مناطق بزرگ است. هدف اصلی به‌کارگیری شاخص‌های ریخت‌سنجی در مورفوتکتونیک، خارج کردن مطالعه لندفرم‌های زمین از حالت کیفی و توصیفی و عددی نمودن آن‌ها است.

-
- 1 Thorn
 - 2 Scheidegger
 - 3 Rhoads & Thorn
 - 4 Keller
 - 5 Strahler
 - 6 Keller & Pinter
 - 7 Hack

۲- منطقه مورد مطالعه

موقعیت منطقه مورد بررسی در جنوب سلفچگان و در استان مرکزی است (شکل ۱). این گستره از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری در محدوده ایران مرکزی قرار دارد و بخشی از نوار ماگمایی ارومیه-دختر محسوب می‌شود (شکل ۲). مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر یک مجموعه از سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی است که در امتداد کمربند کوهزایی زاگرس با روند خطی مشخص می‌شود و کمان ماگمایی وابسته به فرورانش را در حاشیه فعال صفحه ایرانی تشکیل می‌دهد (علوی^۱، ۲۰۰۴). مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر شامل بخش‌های سنگ‌شناسی متنوعی مانند توده‌های گابرو-دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت با اندازه‌های مختلف است. این مجموعه همچنین حاوی توزیع گسترده‌ای از جریان‌های گدازه‌های بازالتی، تراکی‌بازالت، ایگنمبریت و سنگ‌های آذرآواری می‌باشد که بیشتر توف و آگلومرا هستند (علوی^۲، ۱۹۹۴). سنگ‌های ائوسن در این مجموعه با ناپیوستگی زاویه دار بر روی سازندهای قدیمی تر قرار گرفته‌اند (اشتوکلین^۳، ۱۹۶۸). به نظر می‌رسد با این که فرورانش فعال بین ورقه‌های ایران-عربستان تمام شده، اما فعالیت ماگمایی متوقف نشده است (بربریان و کینگ^۴، ۱۹۸۱؛ قاسمی و تالبوت^۵، ۲۰۰۶). تکین (تکین^۶، ۱۹۷۲) ضمن همسو بودن با نظریه زمین‌ساخت ورقه‌ای، بیشتر سنگ‌های آتشفشانی ایران را مربوط به زمان توقف و یا به حداقل رسیدن گسترش بستر اقیانوس هند می‌داند. بر اساس بررسی‌های قاسمی و تالبوت (قاسمی و تالبوت، ۲۰۰۶) منشاء فعالیت ماگمایی بعد از برخورد در مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر همراه با فعالیت پلوتونیک و بالاآمدگی زون سنندج-سیرجان، شکستگی قطعه فرورونده می‌باشد و این شکستگی منجر به بروز اوج فعالیت ماگمایی در امتداد مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر در ائوسن میانی شده است. فوران‌های اولیه ائوسن ایران مرکزی از نوع کلسیمی-قلیایی و زیردریایی بوده و سپس انواع سنگ‌های آتشفشانی که به‌طور متناوب کلسیمی-قلیایی بوده‌اند، با حجم‌های مختلف و بدون نظم و ترتیب خارج شده‌اند. در ائوسن پسین ترکیب گدازه‌ها به طرف قلیایی (سدیمی و یا پتاسیمی) و به شدت قلیایی گرایش پیدا کرده‌اند (آقا نباتی، ۱۳۸۳). در کمان ماگمایی ارومیه-دختر، در بیشتر جاها فعالیت آتشفشانی پلیوسن با تکاپوهای انفجاری آغاز شده که با خروج مقدار قابل توجهی خاکستر آتشفشانی و همچنین لاپیلی و بمب آتشفشانی همراه بوده است. پس از گام انفجاری، با کاهش گاز موجود، قطعات آتشفشانی در حد بمب دوکی شکل و کروی پرتاب شده‌اند که بر روی هم مخروط‌های آذرآواری گنبدی شکل را به وجود آورده‌اند که ترکیب سنگ‌شناسی و شیمیایی آن‌ها ریولیتی-داسیتی و گاه آندزیتی-تراکی آندزیت است که از آن جمله می‌توان به گنبد‌های خروجی مناطق سولقان، شکر بند، راهجرد و راونج در جنوب باختری قم اشاره کرد.

1 Alavi

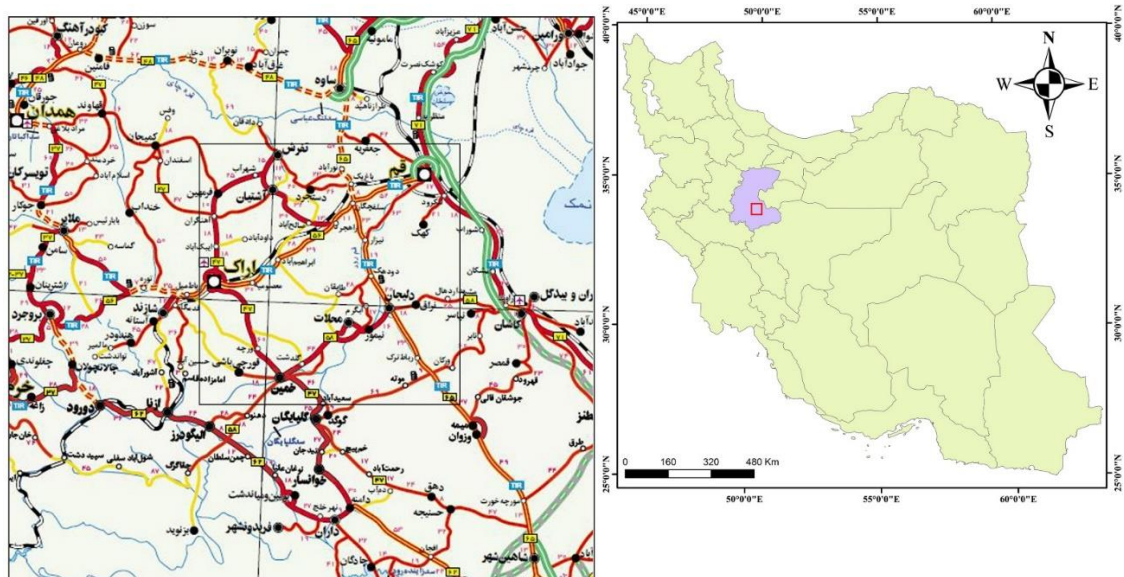
2 Alavi

3 Stocklin

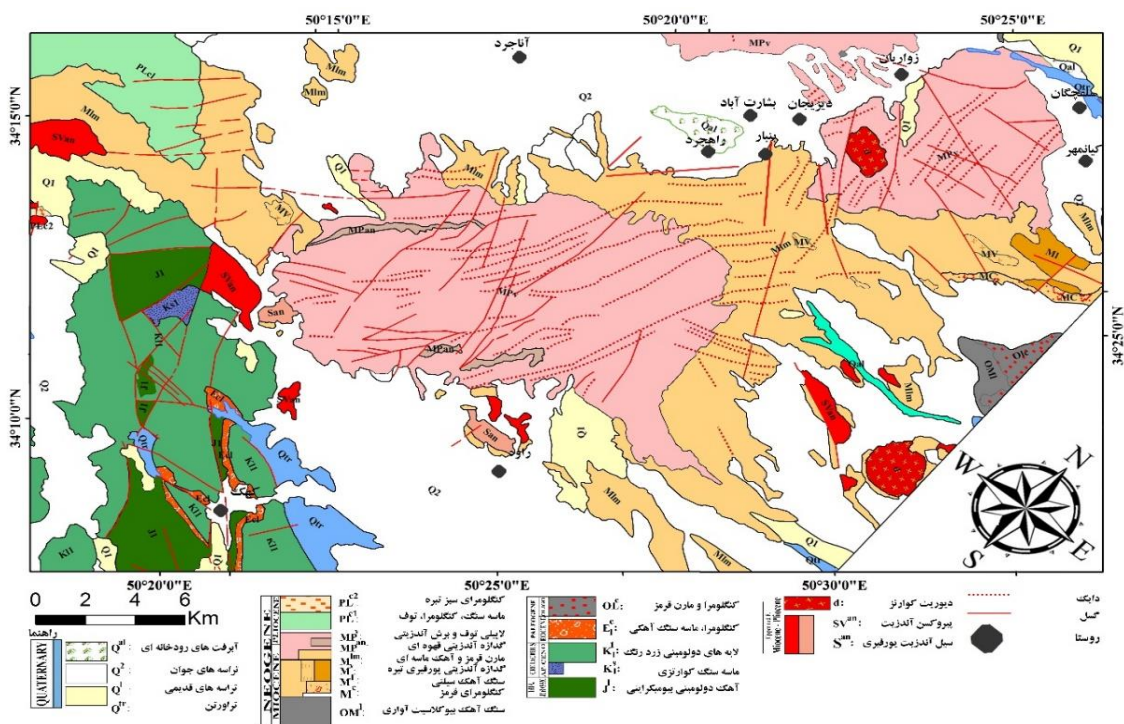
4 Berberian & King

5 Ghasemi & Talbot

6 Takin



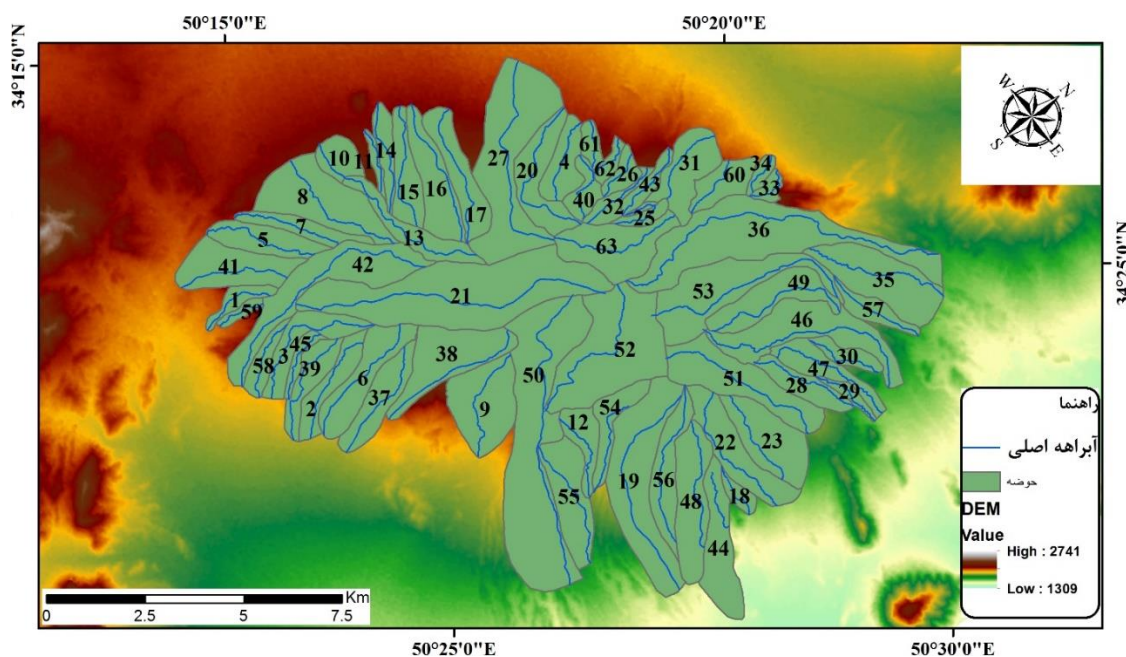
شکل ۱- راه‌های دسترسی برگرفته از نقشه گیتا شناسی



شکل ۲- نقشه زمین شناسی گستره با تغییر از علایی مهابادی و همکاران ۱۳۷۹

۳- روش مطالعه

در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای سنجنش‌ازدور، مدل ارتفاعی رقومی (SRTM) و نرم‌افزارهای Arc GIS 10.7.1، Global Mapper 20.1 و Google Earth برای تجزیه و تحلیل‌های توپوگرافی و محاسبه شاخص‌های مورفوتکتونیک موردنیاز، استفاده شده است. برای اینکه امکان تفکیک و درجه‌بندی نسبی میزان فعالیت تکتونیک در قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه فراهم شود، ۶۳ زیرحوضه آبریز را که از اطراف به خط‌الرأس‌های توپوگرافی محدود می‌شوند، با توجه به مدل ارتفاعی و شبکه زهکشی انتخاب شد (شکل ۳). بدین منظور با استفاده از نرم‌افزار GIS، زیر حوضه‌ها بر مبنای مدل ارتفاعی تعریف شده است. از آنجاکه گستره مورد مطالعه متشکل از سنگ‌بستر آتشفشانی و آذر آواری است، زیرحوضه‌هایی که به‌طور خودکار توسط نرم‌افزار ترسیم می‌شوند از دقت و اعتبار کافی برخوردار نبودند بنابراین با صرف وقت بسیار و بررسی تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار Google Earth فرایند اصلاح زیر حوضه‌ها به دلیل تغییرات شدید توپوگرافی به صورت تک تک صورت گرفته است.



شکل ۳- نمای کلی حوضه آبریز به همراه آبراهه‌های اصلی

۳-۱- شاخص‌های مورفومتری

شاخص گرادیان طولی رودخانه یکی از شاخص‌های مهم جهت تفکیک مناطق فعال می‌باشد. مقادیر عددی این شاخص به قدرت رودخانه برحسب دبی رود و شیب سطح آب بستگی دارد. این شاخص همچنین به مقاومت سنگ‌ها حساس می‌باشد. تغییر مقدار شاخص گرادیان طولی رودخانه، در سنگ‌های دارای مقاومت کم و یا در

سنگ‌های از لحاظ مقاومتی یکسان می‌تواند بیانگر حرکات تکتونیک فعال و جوان باشد (کلر و پیتر، ۲۰۰۲). شاخص SL به سه رده از فعالیت تکتونیک تقسیم می‌شود: رده ۱ ($SL \geq 500$)، رده ۲ ($300 \leq SL < 500$) و رده ۳ ($SL < 300$) (هک، ۱۹۷۳؛ الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸؛ فونت و همکاران، ۲۰۱۰).

از شاخص عدم تقارن می‌توان برای ارزیابی کج شدگی در حوضه آبریز بهره جست (هر و گاردنر، ۱۹۸۵؛ کلر و پیتر، ۲۰۰۲). در مناطق با بالآمدگی فعال معمولاً به دلیل بروز اثرات توپوگرافی حاصل از بالآمدگی در یک سوی منطقه و به تبع آن ایجاد فرونشست در سوی دیگر، مساحت در برگیرنده این آبراه‌ها در سمت بالا آمده منطقه بیش از همین مساحت در سمت مقابل است. هرگاه مقادیر عددی این شاخص در حدود ۵۰ باشد، بیانگر وجود تقارن زهکشی‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و در نتیجه عدم وجود کج شدگی بر اثر بالآمدگی خواهد بود. مقادیر عددی بیشتر یا کمتر از ۵۰ نیز به ترتیب بیانگر بالآمدگی در طرف راست و یا چپ آبراهه اصلی خواهد بود. فاکتور عدم تقارن برای پیدا کردن کج شدگی تکتونیک در مقیاسی از حوضه زهکشی یا مساحت بزرگ‌تر تعریف شده است. شاخص Af به سه رده تقسیم می‌شود: رده ۱ ($Af > 15$)، رده ۲ ($7 < Af < 15$) و رده ۳ با فعالیت کم تکتونیک ($Af < 7$) (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

یک ویژگی مفید منحنی هیپسومتری این است که حوضه‌های زهکشی با اندازه‌های مختلف را می‌توان با یکدیگر مقایسه کرد؛ زیرا مساحت و ارتفاع به‌عنوان توابعی از مساحت کل و ارتفاع کل رسم می‌شوند (کلر و پیتر، ۲۰۰۲). مقادیر عددی بالا برای این شاخص بیانگر توپوگرافی جوان، مقادیر عددی متوسط و کم به ترتیب بیانگر توپوگرافی بالغ و پیر می‌باشند. به‌طور خلاصه، تجزیه و تحلیل هیپسومتری ابزاری قدرتمند برای تمایز تکتونیک مناطق فعال از سایر مناطق است (پایک و ویلسون، ۱۹۷۱؛ مایر، ۱۹۹۰؛ کلر و پیتر، ۲۰۰۲). شاخص Hi به سه رده تقسیم می‌شود: رده ۱ ($Hi > 0.5$)، رده ۲ ($0.4 < Hi < 0.5$) و رده ۳ با فعالیت کم تکتونیک ($Hi < 0.4$) (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸). شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق موجب تفکیک دره‌های V شکل از دره‌های U شکل می‌گردد. به‌طوری‌که مقادیر بزرگ آن نشانگر کم بودن میزان بالآمدگی و در نتیجه وجود دره‌هایی با کف پهن و U شکل است که در اثر فرسایش جانبی، ناشی از ثبات جبهه کوهستان، تشکیل شده‌اند. درحالی‌که مقادیر کوچک این شاخص، زیاد بودن میزان بالآمدگی و همچنین وجود دره‌های عمیق و V شکل را مشخص می‌کند. این شاخص به ۳ رده تقسیم می‌شود: رده ۱ ($Vf < 0.5$)، رده ۲ ($1 < Vf < 0.5$) و رده ۳ ($Vf < 1$) (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

1 Hack

2 El Hamdouni et al

3 Font et al

4 Hare and Gardner

5 Pike and Wilson

6 Mayer

حوضه‌های زهکشی جوان در مناطق فعال تکتونیکی طویل شدگی را نشان می‌دهند که در ادامه سیر تکاملی یا کاهش فعالیت‌های زمین ساختی از حالت مستقیم خارج شده و تمایل دارند که بیشتر شبیه دایره شوند (بول و همکاران، ۱۹۷۷). تصویر افقی شکل حوضه به وسیله نسبت طویل شدگی شاخص شکل حوضه آبریز توصیف می‌شود (کنون، ۱۹۷۶؛ بول و مک فادن، ۱۹۸۰، کلر و پیتر، ۲۰۰۲). در واقع این شاخص تفاوت بین حوضه‌های طویل شده با مقادیر بالای Bs و حوضه‌های دایره‌ای شکل با مقادیر کم Bs را مشخص می‌کند. این شاخص به ۳ رده تقسیم می‌شود: رده ۱ با فعالیت بالای تکتونیکی ($Bs > 4$)، رده ۲ با فعالیت متوسط تکتونیکی ($3 < Bs < 4$) و رده ۳ با فعالیت کم تکتونیکی ($Bs < 3$) (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

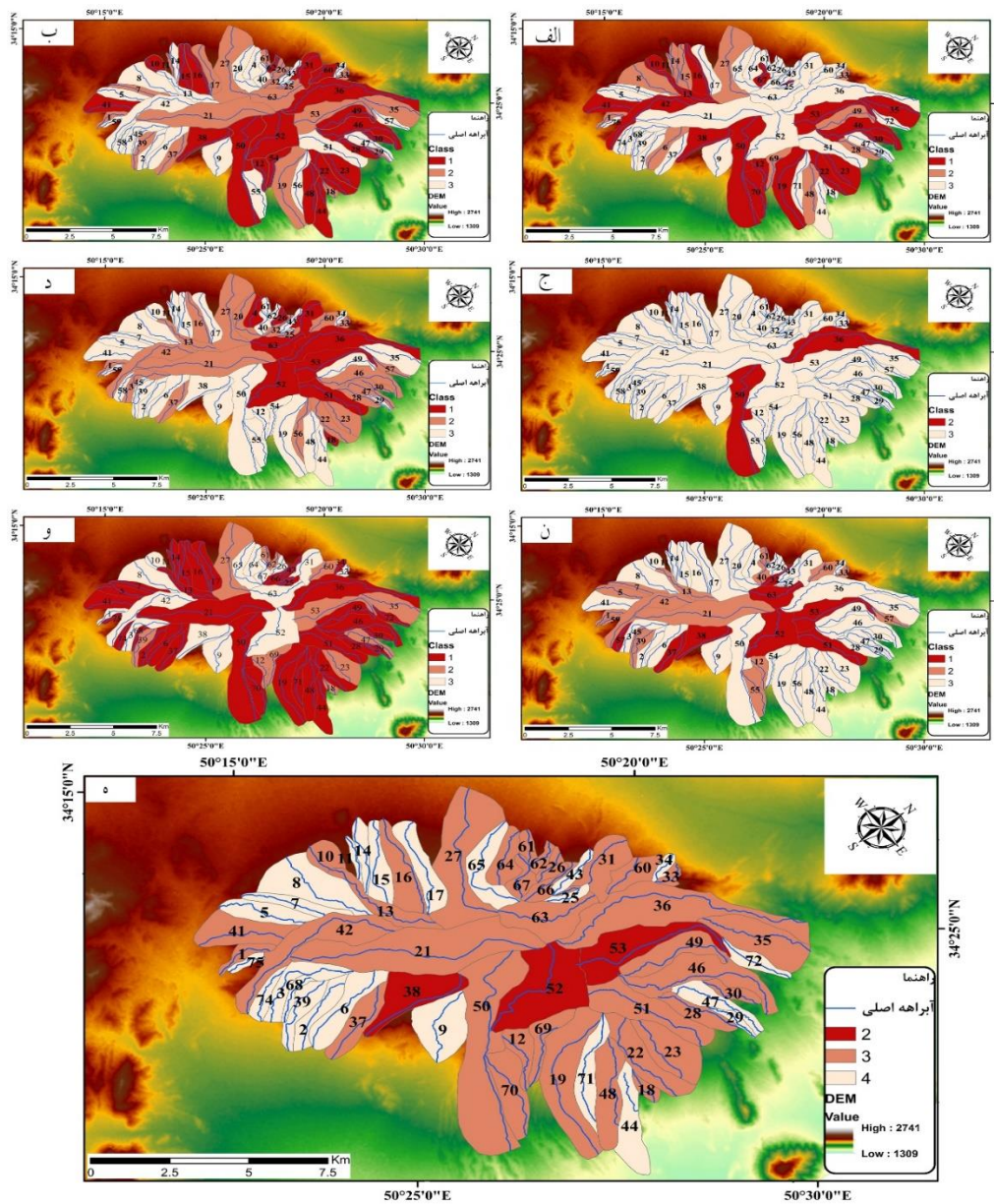
شاخص دیگری که می‌توان از آن در بررسی حرکات تکتونیکی فعال استفاده کرد شاخص تقارن توپوگرافی عرضی است. در حوضه‌های کاملاً متقارن مقدار عددی شاخص T صفر است و با کاهش تقارن حوضه مقادیر عددی T افزایش یافته و به عدد ۱ نزدیک می‌شود. با توجه به اینکه، اثرات جزئی شیب سنگ‌بستر را می‌توان به صورت مهاجرت و جابه‌جایی آبراهه مشاهده نمود، جهت مهاجرت ناحیه‌ای آبراهه‌ها یکی از نشانه‌های کج شدگی زمین در آن جهت خواهد بود. در نتیجه T برداری با جهت‌گیری خاص و با مقادیری از صفر تا یک است که مقادیر عددی نزدیک به ۱ می‌تواند بیانگر فعالیت بالا آمدگی باشد. بررسی این شاخص همراه با شاخص Af می‌تواند برای شناسایی سریع‌تر مناطق کج شده بر اثر فعالیت‌های تکتونیکی مورد استفاده قرار گیرد. تجزیه آماری T می‌تواند برای ارزیابی جهت غالب مهاجرت رود استفاده شود. این شاخص به ۳ رده تقسیم می‌شود: رده ۱ ($T > 0.38$)، رده ۲ ($0.38 > T > 0.3$) و رده ۳ ($T < 0.3$) (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

۲-۳- ارزیابی فعالیت نسبی تکتونیکی (Iat)

یکی از روش‌های جدید را برای ارزیابی و طبقه‌بندی نسبی از سطح فعالیت تکتونیکی در سرتاسر منطقه، الحمدونی و همکاران (الحمدونی و همکاران، ۲۰۰۸) ارائه کرده‌اند. در این روش به‌طور قراردادی، شاخص‌های مختلف مورفولوژیکی به سه رده طبقه‌بندی شده است. رده ۱ بیانگر فعالیت تکتونیکی بالا، رده ۲ فعالیت تکتونیکی متوسط و رده ۳ بیانگر فعالیت پایین تکتونیکی می‌باشد. سپس یک شاخص کلی که فعالیت تکتونیک نسبی را نشان می‌دهد (Iat) به وسیله میانگین گرفتن از رده‌های مختلف شاخص‌های مورفولوژیکی به دست می‌آید و از لحاظ فعالیت منطقه مورد مطالعه را به چهار رده تقسیم می‌کند. رده ۱ ($1.5 > S/n \geq 1$)، رده ۲ ($2 > S/n \geq 1.5$)، رده ۳ ($2.5 > S/n \geq 2$) و رده ۴ ($S/n \geq 2.5$). نتایج طبقه‌بندی گستره بر این اساس شاخص‌های یاد شده در (جدول ۱) و نقشه رده‌بندی گستره بر این اساس در (شکل ۴) نشان داده شده است.

1 Bull and McFadden

2 Cannon



شکل ۴- نقشه رده‌بندی گستره بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک (الف) تقارن توپوگرافی معکوس (ب) بی‌تقارنی (ج) گرادیان طولی رودخانه (د) نسبت پهنای کف دره به عمق (ن) انتگرال هیپسومتری (و) شکل حوضه (ه) فعالیت نسبی تکتونیک)

جدول ۱- نتیجه بررسی و طبقه‌بندی کلی شاخص‌ها

Basin no.	Class of Hi	Class of Sl	Class of Vf	Class of Bs	Class of Af	Class of T	value of lat	Class of lat
1	2	3	2	3	2	2	2.33	3
2	3	3	3	3	3	3	3	4
3	3	3	2	3	3	3	2.83	4
4	3	3	1	3	3	3	2.67	4
5	2	3	3	3	3	3	2.83	4
6	3	3	3	3	3	2	2.83	4
7	2	3	3	3	2	3	2.67	4
8	3	3	3	3	3	2	2.83	4
9	3	3	3	3	3	3	3	4
10	3	3	3	3	1	1	2.33	3
11	3	3	3	3	2	2	2.67	4
12	2	3	3	3	1	1	2.17	3
13	2	3	2	3	3	1	2.33	3
14	3	3	3	3	3	2	2.83	4
15	3	3	3	3	3	2	2.83	4
16	3	3	2	3	1	1	2.17	3
17	3	3	3	3	2	3	2.83	4
18	3	3	1	2	2	3	2.33	3
19	3	3	3	3	2	1	2.5	3
20	3	3	2	3	3	3	2.83	4
21	2	3	2	3	2	3	2.5	3
22	3	3	2	3	1	1	2.17	3
23	3	3	2	3	1	1	2.17	3
24	3	3	3	3	3	1	2.67	4
25	3	3	2	2	2	3	2.5	3
26	3	3	1	3	2	3	2.5	3
27	3	3	2	3	2	2	2.5	3
28	3	3	2	3	1	2	2.33	3
29	3	3	3	3	2	3	2.83	4
30	3	3	2	2	1	1	2	2
31	3	3	1	3	1	3	2.33	3
32	1	3	2	3	2	3	2.33	3
33	2	3	2	3	2	2	2.33	3
34	3	3	3	3	3	3	3	4
35	3	3	3	3	2	1	2.5	3
36	3	2	1	3	1	3	2.17	3
37	1	3	2	3	2	3	2.33	3
38	1	3	3	3	1	1	2	2
39	2	3	3	3	2	3	2.67	4
40	2	3	3	3	3	1	2.5	3
41	3	3	3	3	1	1	2.33	3
42	2	3	2	3	3	1	2.33	3
43	3	3	3	3	3	3	3	4
44	3	3	3	3	1	3	2.67	4
45	2	3	3	3	3	3	2.83	4
46	3	3	2	3	1	1	2.17	3
47	3	3	2	3	3	3	2.83	4
48	3	3	3	3	1	1	2.33	3
49	3	3	3	3	1	2	2.5	3
50	3	2	3	3	1	1	2.17	3
51	1	3	1	3	3	3	2.33	3
52	1	3	1	3	1	3	2	2
53	1	3	1	3	2	1	1.83	2
54	3	3	3	3	1	2	2.5	3
55	2	3	3	2	3	1	2.33	3
56	3	3	2	3	3	3	2.83	4
57	2	3	2	3	3	3	2.67	4
58	1	3	3	3	3	3	2.67	4
59	2	3	3	3	3	3	2.83	4
60	2	3	2	3	1	3	2.33	3
61	2	3	3	3	2	3	2.67	4
62	3	3	3	3	1	3	2.67	4
63	1	3	1	3	2	3	2.17	3

۴- نتایج و بحث

گستره مورد مطالعه در فلات ایران واقع شده که در مرکز سیستم کمربند همگرایی فعال عربی-اوراسیا قرار دارد و چند حادثه دگر شکلی و فعالیت تکنونیک ناشی از فرورانش و بسته شدن نئوتتیس را تجربه کرده است (تکین، ۱۹۷۲؛ بربریان و کینگ، ۱۹۸۱؛ قاسمی و تالبوت، ۲۰۰۶). این همگرایی هنوز فعال است و باعث رخ داد زمین‌لرزه می‌شود. در فلات ایران، ایران مرکزی به‌عنوان محدوده احاطه شده با گسل‌های فعال امتداد لغز محلی با حرکت راست‌گرد یا چپ‌گرد نسبت به زاویه همگرایی شناخته می‌شود (آلن و همکاران، ۲۰۱۱). پیرامون گستره مطالعه گسل‌های مهمی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به گسل قم، ایندس، کوشک نصرت، کهک و... اشاره کرد (بابا احمدی و همکاران، ۲۰۱۰؛ آلن و همکاران، ۲۰۱۱؛ خدایپرست و همکاران، ۲۰۲۰)؛ که برخی از آنان شواهد حرکات زمین‌ساختی جوان را نشان می‌دهند. با این حال پس از بررسی گستره مورد مطالعه براساس شاخص‌های ژئومورفیکی نتایج، فعالیت متوسط را نشان می‌دهد که این امر توسط بررسی لرزه‌خیزی گستره با استفاده از سایت

1 Allen et al

2 Babaahmadi et al

3 Khodaparast et al

USGS در ۱۰۰ سال اخیر تأیید می‌شود. تأکید این پژوهش بر تحلیل شاخص‌های ژئومورفیک تکتونیک فعال برای بررسی فعالیت کنونی گستره مورد مطالعه است. بررسی‌های مورفومتری یک رهیافت برای مطالعه سریع منطقه از نظر فعالیت است. به‌طور معمول برای این‌گونه بررسی‌ها در محیط‌های با رخنمون آتشفشانی از شاخص‌های نسبت طول به سطح، درصد تقعر پروفیلی، بررسی تقعر و تحدب، برجستگی ارتفاعی و... استفاده می‌کنند (گروس و همکاران، ۲۰۱۲؛ صلحی و سیف، ۱۳۹۷؛ کشتگر و همکاران، ۱۳۹۹). با این حال در این پژوهش به‌منظور بررسی بهتر فعالیت زمین‌ساختی از شاخص‌های ذکر شده در بالا استفاده شده است. نتایج به دست آمده از بررسی شواهد ژئومورفیک و مورفوتکتونیک یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت تکتونیک ارائه می‌دهند که برای مطالعات، شناسایی و بررسی‌های مقدماتی مفید می‌باشند. وقتی چندین شاخص جهت بررسی فعالیت تکتونیک یک منطقه به کار برده شوند نتایج مستدل‌تری خواهند داشت. شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه شده با استفاده از GIS برای ارزیابی اثرات تکتونیک فعال در یک منطقه مناسب تلقی می‌شوند. این روش برای شناسایی ناهنجاری‌های ژئومورفیک و ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی در گستره راه‌جرد به کار گرفته شد. به‌منظور بررسی کامل گستره ما در این پژوهش از شش شاخص ژئومورفیک استفاده کردیم که هر کدام از جنبه‌های متفاوتی گستره را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. اگر چه رخساره گستره آتشفشانی بوده و بالتبع مقادیر بالای شاخص گرادیان طولی رودخانه انتظار می‌رفت در بررسی گستره با استفاده از شاخص گرادیان طولی رودخانه مشخص شد که گستره از منظر این شاخص دارای فعالیت کمی است که این کم بودن میزان شاخص به دلیل کم بودن تغییرات لیتولوژی در آبراهه‌ها است. شاخص عدم تقارن و تقارن توپوگرافی معکوس که معرف کج شدگی هستند، نشان می‌دهند که فعالیت بخش شرقی گستره از بخش غربی آن بیشتر است این شاخص زمانی که لیتولوژی یکسان باشد بهتر عمل می‌کند هر چند که این دو شاخص نمی‌توانند شواهد مستقیمی مبنی بر کج شدگی باشند ولی می‌تواند روشی سریع برای پیدا کردن کج شدگی احتمالی باشند. از مزایای شاخص انتگرال هیپسومتری می‌توان به مستقل بودن آن از اندازه حوضه اشاره کرد. از این شاخص برای بررسی فرسایش می‌توان استفاده کرد میزان بالای آن توپوگرافی جوان، فعالیت تکتونیک بالا و فرسایش کم را نشان می‌دهد و بالعکس. بررسی‌ها نشان می‌دهد که از دیدگاه این شاخص گستره دارای فعالیت کمی است. بررسی گستره با استفاده از شاخص v_f فعالیت متوسطی را نشان می‌دهد. شاخص شکل حوضه فعالیت بالایی را نشان می‌دهد. در نهایت با ترکیب نتایج این شاخص‌ها و محاسبه شاخص فعالیت نسبی میزان فعالیت گستره بررسی می‌شود. بر این اساس پس از بررسی شاخص‌ها و میانگین گرفتن از آن‌ها این نتیجه به دست آمد که $2/86$ درصد حوضه‌ها در رده ۲، $51/43$ درصد حوضه‌ها در رده ۳ و $45/71$ درصد حوضه‌ها در رده ۴ جای می‌گیرند. نتایج فوق سودمندی تجزیه و تحلیل ریخت‌سنجی را برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال تأیید می‌کند.

الف



ب



شکل ۵- الف) گسل خوردگی در واحدهای سنگی ب) دورنمای گستره مطالعه

۵- جمع بندی

با توجه به تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر ویژگی‌های شبکه زهکشی و توپوگرافی سطح زمین و کاربرد شاخص‌های ژئومورفیک در مطالعات نئوتکتونیکی، با بررسی چند شاخص، میزان فعالیت نسبی نئوتکتونیکی گستره مورد مطالعه برآورد شده و بر اساس نسبت فعالیت زمین‌ساختی تقسیم‌بندی شده است. بر این اساس با بررسی شاخص‌ها و میانگین گرفتن از آن‌ها معلوم شد که گستره دارای فعالیت متوسطی است و این نتیجه توسط بررسی گستره از لحاظ لرزه‌خیزی با استفاده از سایت USGS به تأیید می‌رسد. با توجه به این‌که حوضه آبریز مورد مطالعه بر روی رخنمون سنگ‌های آتشفشانی قرار دارد؛ در نتیجه یکی از عمده‌ترین عوامل مؤثر در تغییر پارامترهای مورفومتری ویژگی‌های فیزیوگرافیک سنگ‌های آتشفشانی و نوع رخساره‌های آذرآواری است. لذا نتیجه‌گیری برای فعالیت‌های تکتونیکی براساس شاخص‌های مورفومتری در چنین سرزمین‌هایی نیازمند دقت نظر بیشتری است تا استفاده از این شاخص‌ها اطلاعات مناسبی برای بررسی فعالیت گستره در اختیار قرار دهد.

کتابنامه

- آقائباتی، ع؛ ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی کشور. <https://gsi.ir/ahwaz/fa/book/166/>
- سامانی، ب؛ چرچی، ع؛ راضی جلالی، ی؛ ۱۴۰۰. تحلیل نوزمین ساخت گسل شوشتر با استفاده از شاخص‌های مورفومتری. زمین‌ساخت. (۴) ۱۳. ۲۱-۱. <https://doi.org/10.22077/JT.2021.1598>
- سمندر، ن؛ روستایی، ش؛ ۱۳۹۵. بررسی تکتونیک فعال حوضه اسکو چای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و

شواهد ژئومورفولوژیکی. مخاطرات محیط طبیعی، ۵(۹)، ۵۵-۷۶.

<https://doi.org/10.22111/JNEH.2016.2907>

شفیعی، ا؛ علوی، س. ا؛ نادری میقان، ن؛ ۱۳۸۸. تکتونیک فعال در رشته‌کوه بینالود با تکیه بر بررسی‌های مورفوتکتونیک. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۱ (۷۰)، ۷۹-۹۱.

https://jphgr.ut.ac.ir/article_21523.html?lang=fa.

صلحی، س؛ سیف، ع؛ ۱۳۹۷. مورفومتری پروفیل طولی دره سهند. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۶(۴)، ۵۳-۶۹.

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1397.6.4.4.1>.

علایی مهابادی، س؛ کهنسال، ر؛ قمیان، ی؛ ۱۳۷۹. نقشه زمین‌شناسی سلفچگان-خوره (۱:۱۰۰۰۰۰). سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

کشتگر، ش؛ پرتابیان، ع؛ نظری، م؛ ۱۳۹۹. پارامترهای مورفومتری و منشأ تکتونیک مخروط آتشفشانی توزکی، پهنه چین خورده-رانده سیستان، شرق ایران. زمین‌ساخت، ۴(۱۳)، ۳۹-۲۱.

<https://doi.org/10.22077/jt.2021.1599>.

مددی، ع؛ رضایی مقدم، م. ح؛ رجایی، ع؛ ۱۳۸۳. تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه شمال‌غربی تالش. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۸، ۱۲۳-۱۳۸.

https://jrg.ut.ac.ir/article_10014.html.

Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3-4), 211-238. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2).

Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, 304(1), 1-20. <https://www.ajsonline.org/content/304/1/1.short>.

Allen, M. B., Kheirkhah, M., Emami, M. H., & Jones, S. J., 2011. Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia-Eurasia collision zone. *Geophysical Journal International*, 184(2), 555-574. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04874.x>.

Amos, C. B., & Burbank, D. W., 2007. Channel width response to differential uplift. *Journal of Geophysical Research*, 112, F0201. <https://doi.org/10.1029/2006JF000672>.

Babaahmadi, A., Safaei, H., Yassaghi, A., Vafa, H., Naeimi, A., Madanipour, S., & Ahmadi, M., 2010. A study of Quaternary structures in the Qom region, West Central Iran. *Journal of Geodynamics*, 50(5), 355-367. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2010.04.006>.

Berberian, M., & King, G. C. P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18(2), 210-265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>.

Bull, W. B., & McFadden, L. D., 1980. 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, 115-138.

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780429299230-5/tectonic-geomorphology-north-south-garlock-fault-california-william-bull-leslie-mcfadden>.

Cannon P. J., 1976. Generation of explicit parameter for a quantitative geomorphic study of the Mill Creek drainage basin. *Oklahoma Geology Notes*, 36(1), 3-16. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCALGEODEBRGM7720>

157747.

- Font, M., Amorese, D. & Lagarde, J. L., 2010. Dem and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: the Normandy intraplate area (NW France). *Geomorphology*, 119, 172–180. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.03.017>.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., & Keller, E. A., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1–2), 150–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004>.
- Ghasemi, A., & Talbot, C. J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(6), 683–693. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.01.003>.
- Grosse, P., van Wyk de Vries, B., Euillades, P. A., Kervyn, M., & Petrinovic, I. A. (2012). Systematic morphometric characterization of volcanic edifices using digital elevation models. *Geomorphology*, 136(1), 114–131. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.001>.
- Hack, J. T., 1960. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. *American Journal of Science*, 258(A), 80–97. https://earth.geology.yale.edu/~ajs/1960/ajs_258A_11.pdf/80.pdf
- Hack, J. T., 1973. Stream Profile Analysis and Stream Gradient Index, U.S. Geological Survey, 1(4), 421–429. <https://pubs.usgs.gov/journal/1973/vol1issue4/report.pdf#page=49>.
- Hancock, P. L., & Williams, G. D., 1986. Neotectonics. *Journal of the Geological Society*, 143(2), 325–326. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.143.2.0323>.
- 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. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium*. Allen and Unwin, Boston, 123–134. <https://eurekamag.com/research/019/061/019061959.php>.
- Jain, V., & Sinha, R., 2005. Response of active tectonics on the alluvial Bagmati River, Himalayan foreland basin, eastern India. *Geomorphology*, 70, 339–356. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.012>.
- Keller, E. A., 1986. Investigations of active tectonics: use of surficial earth processes. *Active tectonics*, 1, 136–147. https://www.google.com/books/edition/Active_Tectonics/qaz9KnE2lxQC?hl=en&gbpv=0.
- Keller, E. A., & Pinter, N., 2002. *Active tectonics*. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ. https://www.google.com/books/edition/Active_Tectonics/sXASAQAIAAJ?hl=en.
- Khodaparast, S., Madanipour, S., & Nozaem, R., 2020. Structural evidence on strike slip kinematic inversion of the Kushk-e-Nosrat Fault zone, Central Iran. *Geopersia*, 10 (1), 195–209. <https://doi.org/10.22059/GEOPE.2020.291450.648508>.
- Mayer, L., 1990. *Introduction to Quantitative Geomorphology*. Prentice Hall, Englewood, Cliffs, NJ. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19911959868>.
- Panizza, M., Castaldini, D., Bollettinari, G., Carton, A., & Mantovani, F., 1987. Neotectonic research in applied geomorphological studies. *Zeitschrift Fur Geomorphologie. Supplementband*, 63, 173–211. <https://iris.unimore.it/bitstream/11380/1081750/1/1987NeotectResearch.pdf>.
- Pike, R. J., Wilson, S. E., 1971. Elevation–relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area–altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82(4), 1079–1084. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1971\)82\[1079:ERHIAG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1971)82[1079:ERHIAG]2.0.CO;2)
- Rhoads, B. L., Thorn, C. E., 1996. *The Scientific Nature of Geomorphology. Earth Surface Processes and Landforms*, 24 (7), 571–662. <http://geoinfo.amu.edu.pl/wpk/natgeo/preface.pdf>.

- Scheidegger, A. E., 1991. Theory of Aeolian and Desert Features; Theoretical Geomorphology, 400-421. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75659-7_8.
- Stewart, I. S., Sauber, J. & Rose, J., 2000. Glacio-seismotectonics: ice sheets, crustal deformation and seismicity. *Quaternary Science Reviews*, 19(14-15), 1367-1389. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(00\)00094-9](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(00)00094-9).
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran. *AAPG Bulletin*, 52(7), 1229-58. <https://archives.datapages.com/data/bulletns/1968-70/data/pg/0052/0007/1200/1229.htm>.
- Strahler, A. N., 1952. Hypsometric (area-altitude curve) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 1117-1141. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2).
- Takin, M., 1972. Iranian Geology and Continental Drift in the Middle East. *Nature*, 235(5334), 147-150. <https://doi.org/10.1038/235147a0>.
- Thorn, C. E., 1988. *An Introduction to Theoretical Geomorphology*. Boston: Unwin Hyman. 247 p. <https://link.springer.com/book/9789401094436>.
- Turowski, J. M., Lague, D., Crave, A., Hovius, N., 2006. Experimental channel response to tectonic uplift. *Journal of Geophysical Research*, 111, F03008. <https://doi.org/10.1029/2005JF000306>.
- Wu, Z., & Hu, M., 2019. Neotectonics, active tectonics and earthquake geology: terminology, applications and advances. *Journal of Geodynamics*, 127, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2019.01.007>.