



Evaluation of Neotectonic Activity in Catchment Developments Case Study: Southern Karkas Mountain Watersheds

Alireza Taghian^{a*}, Farokh Malekzadeh^b.

^a. Assistant Professor Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

^b. Ph.D. Candidate Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Extended Abstract

Introduction

By studying, the geological structure, landforms topography, pattern of drainage network systems, indicators and geomorphological evidences of each region, the performance of Active tectonics can be evaluated. The Karkas Mountain is located in the east of Isfahan and the magmatic arc of Urmieh – Dokhtar between Sannandaj and Sirjan. The purpose of this study is to investigate, evaluate and estimate Neotectonic and its effect on morphology, behavior, formation and evolution of southern catchments of Karkas heights using geomorphic morphometric indices and its adaptation to geomorphological evidence in the region.

Materials and methods

In this study, after studying and collecting library information, preparing the required data, in the ArcGIS software environment, the area of the basins south of Karkas Heights (10 catchments) was determined and their drainage network was extracted from DEM. Using Geomorphologic indexes to evaluate the amount and intensity of Active Tectonics in the area. This Geomorphologic Indicators are the Ratio of a Circle (Re), Bifurcation ratio (Rb), Basin form (FF), Geomorphic features of the Hypsometric integral (Hi), Basin Volume Area (V/A), The topographic symmetry Factor (T), River Length-Gradient (SL), River Sinuosity (S), Mountain Front Sinuosity (Smf), Basin shape ratio (Bs), Alluvial fan Area (Af), Alluvial fan Slope (Sf). Then using the relative active tectonic index (Iat), As a model and conceptual technique the amount of tectonic activity in catchments was calculated. Finally, the morphological evidence of active tectonics in the study area was examined. DEM 90-meter of the country is surveying organization, geological map 1: 100000, topographic map 1: 50000, IRS satellite images and Google inherit the data used in this study.

Result and discussion

Each of the quantitative characteristics of catchment basins with specific values represents a form in the catchments. The relative active tectonic index (Iat) and Geomorphological Indices show that the area is very active. The Niazmargh, Soh, Safiabad were more active than other catchment. Existence of numerous faults that are part of the Qom-Zefrah fault system is one of the geomorphological evidences in the study area. Each of the catchments in the area is affected by one or more fault systems. Quaternary faults do not exist in all catchments of the region and

*. Corresponding author (a.taghian@geo.ui.ac.ir)

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2021.254527.1007197>

Received: 25 March 2022; Received in revised form: 24 May 2022; Accepted: 27 July 2022

Copyright © 2022 The Authors. Published by University of Tehran. This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

are seen only in the catchments of Maravand, Absenjed, Robat, Panavand, niazmargh and the border between Safiabad catchment area and niazmargh and Panavand catchments. The valleys and canals of the rivers of Maravand, Niazmargh, Soh and Kalahrood are suitable with geological structure, tectonic activities, slopes and erosion processes have different shapes. Another geomorphological evidence in the study area is alluvial fan section. The old, semi-active and active alluvial fan can be seen in Soh area. In Kalahrood catchment, the traces of old alluvial fans have been largely destroyed and only a few parts of it have been left. Tilt of the alluvial fan and displacement of the main waterway on the alluvial fan are the other effects of tectonic movements in the region.

The course of rivers in the mountainous part, depending on the land structure or tectonic structure, has an almost east-west or northeast-southwest trend, but after leaving the mountain, under the influence of the northern part, it turns to the south and goes north-south. Some rivers (Soh, Kalahrood and Robat) have been diverted to the east due to the more uplifted of the northwestern part. In the northwestern part, due to more uplift, successive alluvial fans have been formed, while in the south-eastern part no evidence of it is observed. The slope of basins and rivers in the northwestern part is more than twice their slope in the southeastern part, which can be affected by tectonic movements. The average slope of the basins in the northwestern part is 25 percent and in the southeastern part is 12.7 percent and the average slope of rivers in the northwestern part is 20.75 and in the southeastern part is 8.1 percent. In the northwestern part, the erosion power of rivers has increased so that rivers have been able to create deeper valleys (Soh and Kalahrood valleys). While in the southeastern part, the width of the valleys is usually greater than their depth. V_f is 1.7 in the northwestern part and 8 in the southeastern. The heights of Karkas and its surroundings are active in terms of seismicity, so that in the last three hundred years, about six earthquakes of more than 4 Richter were recorded, the last of which occurred in 2016 in the Habibabad basin. During a four-year period (2008-2004), 1250 earthquakes have been recorded in Isfahan seismic network (Kalahrood, Zefreh, Nain, Qarneh and Pirpir stations)). The seismicity of Qom-Zefreh fault is estimated to be about seven Richter. According to the values of geomorphic indicators and seismic data it seems that the region is tectonically active and this activity has been more intense in Maravand, Niazmargh, Soh and Kalahrood basins. The intensity of tectonic activities decreases from northwest to southeast, so the region can be divided into northwestern and southeastern in terms of activity intensity.

Conclusion

The relative active tectonic index (I_{at}) and Geomorphic Indices show that the area is very active. The Niazmargh, Soh, Safiabad were more active than other catchment. The I_{at} index of catchments is 1.93 which varies from 1.2 to 2.6 in catchments. The deep River valleys (Soh, Kalahrood, Niazmargh and Panavand), consecutive and fragmented alluvial fan (Soh and Kalahrood rivers), river terraces, diversion paths and riverbeds (Soh, Kalahrood and Robat) and numerous faults are geomorphological evidence that confirm the characteristics of the basins are affected by tectonic movements in the region. The results of geomorphological indices and seismic data of the region show that the catchments are active in terms of tectonic activity, but the intensity of tectonic activity in the region is not the same and its amount decreases from northwest to southeast. The impact of tectonic activity in the northwestern basins has been greater than its impact in the southeast. These activities have deepened valleys, changed the course and bed, increased the slope of some rivers, increased the erosive power and fragmentation and sequencing of alluvial fans.

Keywords: Watershed, Geomorphological indexes Neotectonic, Karkas.

ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیک در تحولات حوضه‌های آبریز مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز جنوب کوهستان کرکس

علیرضا تقیان^۱ - استادیار جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
فرخ ملک‌زاده - دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

با مطالعه و بررسی ساختمان زمین‌شناسی، لندفرم‌های توپوگرافی، الگوی سیستم‌های شبکه زهکشی، شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژیک هر منطقه می‌توان عملکرد زمین‌ساخت فعال را ارزیابی کرد. کوهستان کرکس در شرق اصفهان و کمان ماگمایی ارومیه- دختر حد فاصل پهنه سنندج- سیرجان قرار دارد. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در حوضه‌های آبریز جنوب کوهستان کرکس است. برای ارزیابی میزان فعالیت‌های نوزمین‌ساخت شاخص‌های ژئومورفولوژیک از جمله نسبت کشیدگی (Re)، نسبت انشعابات (Rb)، فرم حوضه (FF)، انتگرال فرازنا (Hi)، حجم به سطح حوضه (V/A)، تقارن توپوگرافی عرضی (T)، گرادیان پیچ رودخانه (SL)، پیچ‌وخم رودخانه (S)، سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)، نسبت شکل حوضه (BS)، وسعت مخروط‌افکنه (Af)، شیب مخروط‌افکنه (Sf) محاسبه شد و سپس با استفاده از شاخص نسبی زمین‌ساخت فعال (Iat) به‌عنوان تکنیک مدلی و مفهومی میزان فعالیت‌های تکتونیک در حوضه‌های آبریز برآورد شد. در نهایت، شواهد مورفولوژیک زمین‌ساخت فعال در منطقه مطالعاتی بررسی شد. نتایج حاصل از شاخص‌های ژئومورفولوژیک و وجود شواهد ژئومورفولوژیک موجود در منطقه بیانگر وجود فعالیت‌های زمین‌ساختی زیاد در حوضه‌های آبریز جنوب ارتفاعات کرکس است. شدت فعالیت‌های تکتونیک از جنوب شرق به سمت شمال غرب شدت می‌یابد. این تحرکات باعث تعمیق برخی دره‌ها، افزایش شیب و انحراف و تغییر مسیر برخی از رودخانه‌ها و تقطیع مخروط‌افکنه‌ها شده است.

واژگان کلیدی: حوضه آبریز، شاخص‌های ژئومورفولوژیک، کوهستان کرکس، نئوتکتونیک.

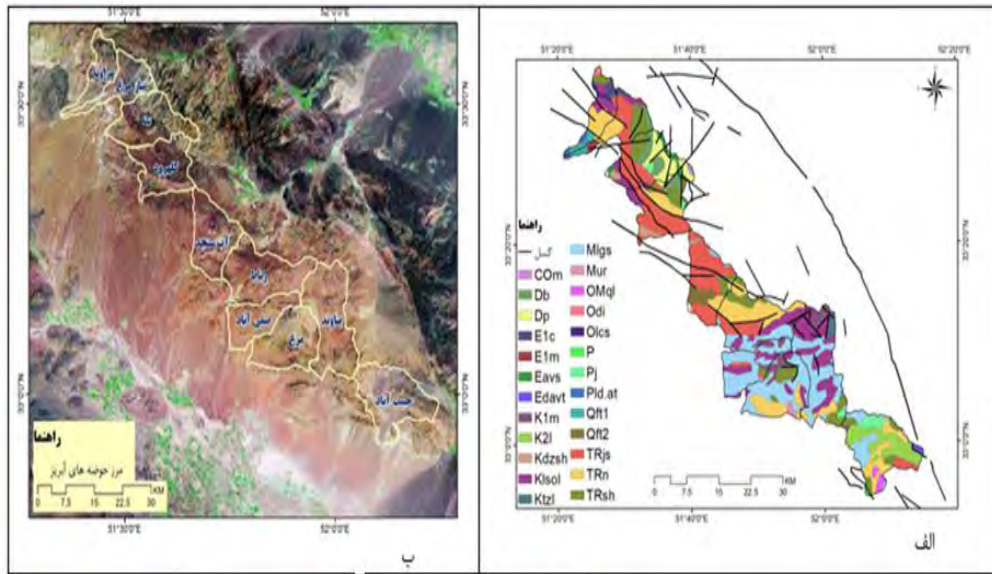
مقدمه

نوزمین‌ساخت فعال به مطالعه فرایندهای پویا و دینامیک مؤثر در شکل‌دهی زمین و چشم‌اندازهای موجود در آن می‌پردازد (Keller & Pinter, 2002:80). مسلماً هر جا فعالیتی از نظر تکتونیکی در زمان زمین‌شناسی کواترنر دیده شود آثار و شواهد آن به شکل‌های مختلف در سطح زمین قابل شناسایی است (Guarnieri & Pirrotta, 2008:6). به‌طور کلی، بخش عمده‌ای از چشم‌انداز یک منطقه حاصل فعالیت‌های نیروهای درونی زمین و عملکرد آن‌ها در سطح زمین است. یکی از این چشم‌اندازها کوهستان است. معمولاً، در این کوهستان‌ها شبکه‌های هیدرولوژی مشخصی در جریان خواهند بود و حوضه‌های آبریز متنوعی را خواهند ساخت که همواره دارای مخاطرات محیطی و طبیعی مشخص خواهند بود (کرمی، ۱۳۸۸: ۶۷). شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی فعالیت‌های تکتونیکی و نتوکتونیکی می‌توانند به‌عنوان ابزاری مفید و کارآمد استفاده شوند، زیرا با استفاده از آن‌ها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع یا کند تکتونیکی را تجربه کرده‌اند به‌آسانی شناسایی کرد (Ramirez & Herrera, 1998:317). این شاخص‌ها رابطه تکتونیک و عوارض سطحی را به‌خوبی نشان می‌دهند و با آگاهی از این ارتباط می‌توان حوادث تکتونیکی را از راه بررسی شکل‌ها و ناهمواری‌های سطح زمین تفسیر کرد (Morrisava & Hack, 1985:200). از مهم‌ترین ویژگی‌ها و محاسن این شاخص‌ها می‌توان اشاره کرد به سادگی نسبی در روش محاسبه، سرعت عمل زیاد در به‌کارگیری آن‌ها برای بررسی مقدار فعالیت تک، ارزیابی فعالیت تکتونیکی مناطق در زمان کوتاه، آسان‌تر کردن مقایسه منطقی و معقول لندفرم‌ها در پژوهش‌های ژئومورفولوژی، تعیین مقدار لغزش به‌ویژه مقدار فرایش بر روی مناطق مورد بررسی، و به‌کمینه رساندن سلیقه‌ها و نظرهای شخصی در پژوهش‌ها (حبیب‌اللهیان و رامشت، ۱۳۹۱: ۱۰۰). در سطح جهان می‌توان به مطالعات بول و مک فادن (۱۹۷۷)، فرانکل و پازگیلا (۲۰۰۶)، بهرامی (۲۰۱۳)، کاستلیک و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد. عمده بررسی‌های انجام‌گرفته برای سنجش مقدار فعالیت‌های تکتونیکی با استفاده از شاخص‌های تکتونیک ژئومورفولوژی در ایران بیان‌کننده حاکمیت فرایندهای تکتونیکی و تأثیرشان بر لندفرم‌ها و زمین‌شکل‌های مناطق مختلف است (گورابی و کیارستمی، ۱۳۹۴: ۴۶۶). از مطالعات انجام‌گرفته در این زمینه می‌توان اشاره کرد به پژوهش‌های سلیمانی (۱۳۷۸)، حسامی و طیبی (۱۳۸۵)، مقصودی و همکاران (۱۳۹۰)، جباری و همکاران (۱۳۹۱)، بهرامی (۱۳۹۲)، یمانی و علیزاده (۱۳۹۵)، شریفی پیچون و همکاران (۱۳۹۶)، کرمی و همکاران (۱۳۹۷)، و پروین (۱۳۹۹). هدف از این پژوهش ارزیابی فعالیت‌های نتوکتونیک و تأثیر تحول حوضه‌های آبریز جنوب ارتفاعات کرکس با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیک است. بدین منظور، برای ارزیابی میزان فعالیت‌های نوزمین‌ساخت شاخص‌های ژئومورفولوژیک برآورد شده است؛ از جمله نسبت کشیدگی (Re)، نسبت انشعابات (Rb)، فرم حوضه (FF)، انتگرال فرازنا (Hi)، حجم به سطح حوضه (V/A)، تقارن توپوگرافی عرضی (T)، گرادیان رودخانه (SL)، پیچ و خم رودخانه (S)، سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)، نسبت شکل حوضه (BS)، وسعت مخروط‌افکنه (Af)، و شیب مخروط‌افکنه (Sf). سپس، با استفاده از شاخص نسبی زمین‌ساخت فعال (Iat)، به‌عنوان تکنیک مدلی و مفهومی، میزان فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌های آبریز محاسبه شده است.

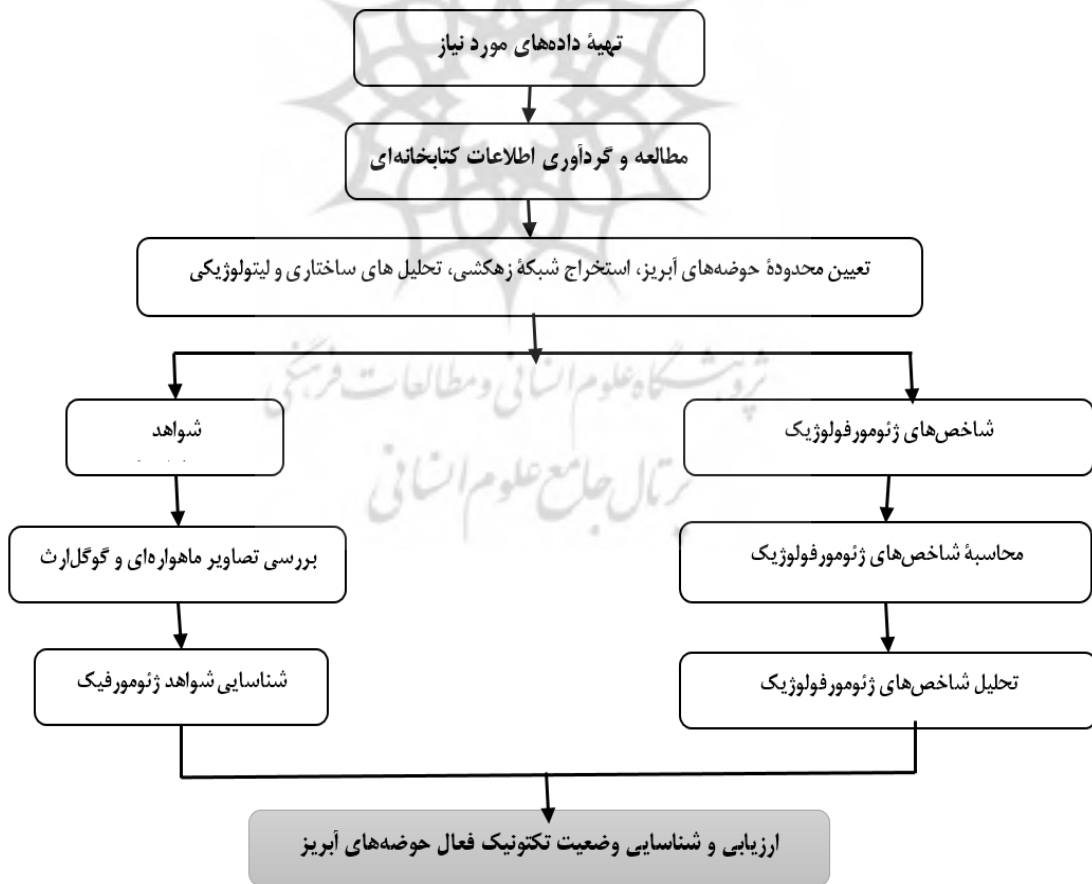
روش پژوهش

به منظور تهیه داده‌های مورد نیاز، در محیط نرم‌افزار ArcGIS محدوده حوضه‌های آبریز جنوب ارتفاعات کرکس (۱۰ حوضه آبریز) مشخص و شبکه زهکشی آن‌ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استخراج و ترسیم گردید شد (شکل ۱: الف). و سپس، وضعیت تکتونیکی شاخص‌های ژئومورفیک (جدول ۱) حوضه‌های آبریز محاسبه و مقادیر به‌دست آمده برای شاخص‌های ژئومورفیک با توجه به روش ال‌همدونی و همکاران (۲۰۰۸) طبقه‌بندی شد. و سپس، مقدار شاخص IAT به‌عنوان تکنیک مدلی و مفهومی برای هر یک از حوضه‌های آبریز جنوب ارتفاعات کرکس محاسبه شده است. نقشه زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و گسل‌های سازمان زمین‌شناسی کشور ترسیم شد (شکل ۱: الف). سپس، بررسی‌های اولیه در مورد شواهد ژئومورفولوژیک تکتونیک فعال در حوضه‌های آبریز جنوب ارتفاعات کرکس با استفاده از نرم‌افزار گوگل‌ارث و تصاویر ماهواره IRS صورت انجام گرفت (شکل ۱: ب). DEM -۹۰ متر سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی

۱:۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره IRS، و گوگل‌ارث داده‌های مورد استفاده در این پژوهش‌اند هستند. شکل ۲ الگوریتم پژوهش را به طور به‌طور شماتیک نشان می‌دهد.



شکل شماره ۱. الف) نقشه گسل و زمین‌شناسی حوضه‌های آبریز جنوب ارتفاعات کرکس؛ ب) تصویر ماهواره‌ای حوضه‌های آبریز جنوب ارتفاعات کرکس



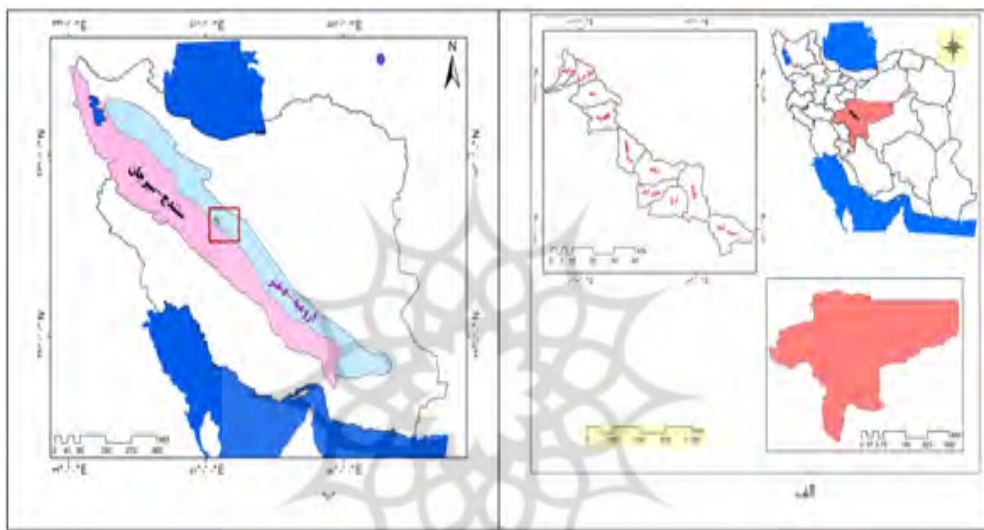
شکل شماره ۲. الگوریتم پژوهش

جدول شماره ۱. پارامترهای ژئومورفولوژیک و نحوه محاسبه آنها

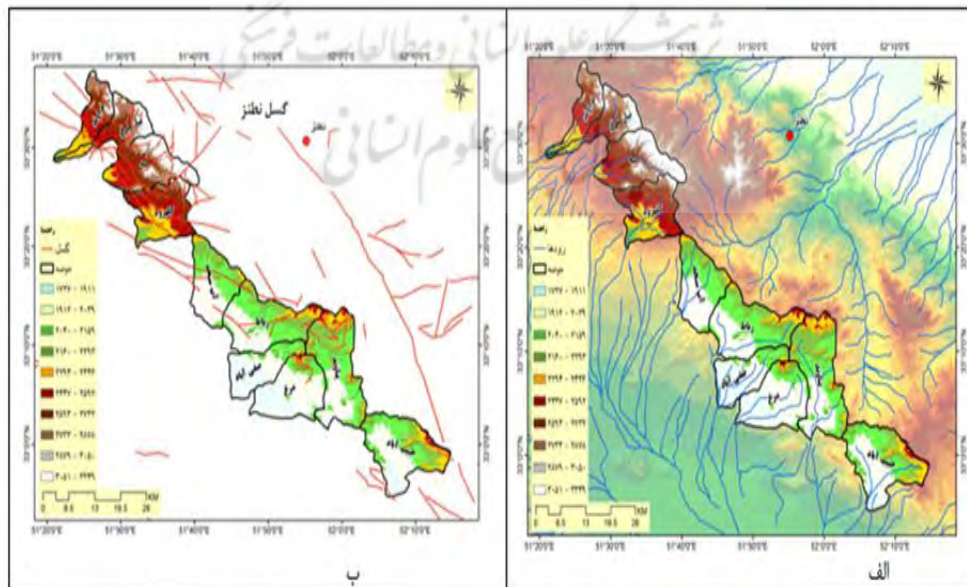
پارامتر	علامت اختصاری	فرمول	رابطه	مرجع
مساحت	A	-	-	-
محیط	P	-	-	-
نسبت کشیدگی	Re	$Re = \frac{2}{Lm} \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5} = \left(\frac{A}{0.786}\right)^{0.5} \frac{1}{Lm}$	۱	علیزاده (۱۳۹۴)
نسبت انشعابات	Rb	$Rb = Nu/Nu+1$	۲	شوم (۱۹۵۶)
فرم حوضه	FF	$FF = \frac{A}{L^2}$	۳	علیزاده (۱۳۹۴)
منحنی فراز نما و انتگرال فراز نما	Hi	$Hi = (Hmax - Hmin) / (Hmean - Hmin)$	۴	کلر و پینتر (۱۹۹۶)
حجم به سطح حوضه	V/A	$V/A = Vi/Ai$	۵	هارکینز و همکاران (۲۰۰۵)
تقارن توپوگرافی عرضی	T	$T = Da/Dd$	۶	کلر و پینتر (۱۹۹۶)
گرادیان شیب رودخانه	SL	$SL = \Delta H / \Delta L$	۷	هک (۱۹۷۳)
پیچ و خم رودخانه	S	$S = C/V$	۸	هک (۱۹۷۳)
سینوزیته جبهه کوهستان	Smf	$Smf = Lmf/Ls$	۹	بول و مک‌فادن (۱۹۷۷)
نسبت شکل حوضه	Bs	$Bs = BL/Bw$	۱۰	رامیرز و هیرا (۱۹۹۸)
وسعت مخروط افکنه	Af	$Af = CAD^n$	۱۱	سلیمانی (۱۳۷۸)
شیب مخروط افکنه	Sf	$S = CA^{-b}$	۱۲	راچوکی و چورد (۱۹۹۰)
زمین ساخت فعال	IAT	$IAT = S/N$	۱۳	ال‌همدونی و همکاران (۲۰۰۸)

محدوده مورد مطالعه

حوضه‌های آبریز جنوب ارتفاعات کرکس با وسعت ۱۳۴۶/۳۵ کیلومتر مربع و روند شمال غربی - جنوب شرقی در شرق استان اصفهان، بین طول‌های جغرافیایی ۵۱ تا ۵۲ درجه طول شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲ تا ۳۳ (شکل ۳-الف) و از نظر زمین‌ساختی در زون سندج-سیرجان و کمان ماگمائی ارومیه-دختر و بخش مرکزی سامانه گسلی QZFS در غرب شهرستان نطنز واقع شده‌اند (شکل ۳-ب). قسمت‌های جنوبی کوهستان کرکس در طی دوران‌های زمین‌شناسی تحت تأثیر فازهای تکتونیک متعددی قرار داشته و حرکات پوسته‌ای زمین سبب ایجاد سیستم‌های متعدد گسلی با ویژگی‌های متعدد، فعالیت‌های آتشفشانی، تغییرات سطوح ارتفاعی، و ... شده است. برای درک این فازهای مهم در جنوب ارتفاعات کرکس، منطقه با توجه به سیستم زهکشی و آبراهه‌های موجود به ده حوضه آبریز تقسیم شده است (شکل ۴-الف). در شرق منطقه مذکور یادشده گسل راستگرد بزرگ قم-زفره با عملکرد فشاری قرار گرفته است. در جنوب ارتفاعات کرکس ۳۳ خرده گسل با جهت‌های مختلف شمال غربی - جنوب شرقی (۱۴)، جهت شمال شرق - جنوب غرب (۱۰)، روند شمالی - جنوبی (۵) و روند شرقی - غربی (۴) وجود دارد که در واقع بخشی از سیستم گسلی قم-زفره می‌باشد است (شکل ۴-ب).



شکل شماره ۳. الف) نقشه موقعیت ریاضی؛ ب) موقعیت زمین ساخت



شکل شماره ۴. الف) -نقشه حوضه‌های آبریز؛ ب) گسل‌های جنوب ارتفاعات کرکس

بحث و یافته‌ها

برای بررسی موضوع زمین‌ساخت فعال شواهدی زیادی وجود دارد که برخی از آن‌ها را می‌توان با شاخص‌های کمی سنجید. داده‌های حاصل امکان انجام محاسبات آماری مختلف را فراهم می‌سازد و می‌تواند جهت پهنه‌بندی مناطق مختلف و مقایسه آن‌ها با همدیگر به کار برود.

شاخص‌های ژئومورفولوژیک

به منظور شناخت ارتباط میان فعالیت‌های نوزمین‌ساختی و ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبریز، نخست با مشخص کردن محدوده حوضه‌های آبریز جنوب ارتفاعات کرکس با استفاده از نرم‌افزار Arc map و سپس مساحت (۱۲۵۰ کیلومتر مربع) و محیط (۵۵۴ کیلومتر) کل منطقه مطالعاتی و مساحت و محیط هر یک از حوضه‌های آبریز تعیین و الگوی شبکه هیدروگرافی آن‌ها ترسیم شد. الگوی شبکه هیدروگرافی در کوهستان کرکس از عوامل ساختمانی، حرکات تکتونیکی، و ... متأثر شده است (شکل ۳- الف). شاخص‌های ژئومورفولوژیک به شکلی کمی برخی ویژگی‌های حوضه‌های آبریز را، که متأثر از فعالیت‌های تکتونیکی‌اند، آشکار می‌کند:

۱. **نسبت کشیدگی (Re):** حوضه‌های آبریز واقع در مناطق فعال تکتونیکی کشیده‌تر بوده و لذا دارای نسبت کشیدگی کمتر هستند. کمترین مقدار نسبت متعلق به حوضه نیازمرغ و بیشترین متعلق به حوضه حبیب‌آباد است.
۲. **نسبت انشعاب (Rb):** در نواحی کوهستانی و پُرشیب حوضه‌های آبریز دارای نسبت انشعاب بالا بوده و لذا این حوضه‌ها معمولاً از لحاظ فعالیت تکتونیکی فعال‌اند (یمانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۵). بیشترین مقدار نسبت انشعاب در حوضه صفی‌آباد و سه و کمترین مقدار در حوضه حبیب‌آباد است.
۳. **فرم حوضه (FF):** فرم حوضه با ضریب کمتر بیانگر فعالیت زمین‌ساختی بیشتر و ضریب فرم بیشتر مبین فعالیت زمین‌ساختی کمتر است. کمترین میزان ضریب فوق در حوضه نیازمرغ و بیشترین مقدار در حبیب‌آباد است. (جدول ۲).

۴. **شاخص انتگرال فرازنا یا هیپسومتری (Hi):** هیپسومتری پارامتر مناسبی برای تشخیص مراحل توسعه‌یافتگی حوضه محسوب می‌شود (پرز-پنا، ۲۰۰۹؛ استرالر، ۱۹۵۲). منحنی فرازنا توزیع ارتفاعات در راستای عمود بر یک نقطه یا ناحیه از زمین را توصیف می‌کند که از نسبت ارتفاع نسبی کل حوضه در برابر مساحت نسبی کل حوضه برآورد و ترسیم می‌شود. یک روش ساده برای تعیین شکل منحنی فرازنا در یک حوضه آبریز محاسبه انتگرال هیپسومتری یا فرازنا برای آن حوضه است. این انتگرال به صورت مساحت زیر منحنی هیپسومتری (رابطه ۴) تعریف شده است (کلر و پیتر، ۱۹۹۶). اگرچه به ظاهر منحنی هیپسومتری با تکتونیک رابطه مستقیمی ندارد، غیرمستقیم توزیع سطوح ارتفاعی در هر یک از حوضه‌های آبریز منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. در این پارامتر مقادیر بالا بیانگر مرتفع بودن منطقه همراه با بریدگی‌های عمیق و مقادیر پایین نشان‌دهنده ارتفاع کم و فرسوده بودن منطقه است. مقدار انتگرال بالاتر از ۰/۶ با منحنی محدب ناحیه و مرحله جوانی است. مقدار متوسط انتگرال در دامنه بین ۰/۶ تا ۰/۳۵ ناحیه است که در مرحله تعادل (بلوغ) قرار دارد و در نهایت مقدار کم این شاخص (کمتر از ۰/۳۵ با منحنی مقعر ویژگی مناطقی در مرحله پیری یا موندانوک) حوضه‌های آبریز است (استرالر، ۱۹۵۲).

منحنی فرازنا می‌تواند حوضه‌های آبریز نیازمرغ (۴۷، شکل ۴- ب)، سه (۴۵، شکل ۴- ج)، و مراوند (۴۴، شکل ۴- الف) بیشترین مقادیر انتگرال فرازنا را دارند. منحنی فرازنا می‌تواند حوضه آبریز مراوند بیشترین حالت تحدب را دارد که بیانگر جوان بودن این حوضه و فعالیت تکتونیکی بیشتر نسبت به سایر حوضه‌های آبریز است. به نظر می‌رسد حوضه‌های آبریز بخش شمالی غربی منطقه مورد مطالعه (مراوند، نیازمرغ، سه) از نظر فعالیت‌های تکتونیکی نسبت به سایر حوضه‌ها فعال‌تر بوده‌اند.

۵. **شاخص حجم به سطح حوضه (V/A):** مقدار عددی زیاد برای این شاخص نشان‌دهنده پستی و بلندی زیاد و فعالیت‌های شدید زمین‌ساختی در منطقه است (هارکینز و همکاران، ۲۰۰۵). باید توجه داشت که این مقادیر نسبی بوده و بستگی به حجم ناهمواری‌های موجود در منطقه دارد. در این پژوهش، با در نظر گرفتن مطالب فوق و شرایط محلی، مقادیر بالاتر از ۱۰۰ به عنوان مناطق فعال، مقادیر بین ۶۰ تا ۱۰۰ مناطق نیمه‌فعال، و مقادیر کمتر از ۶۰ برای مناطق با

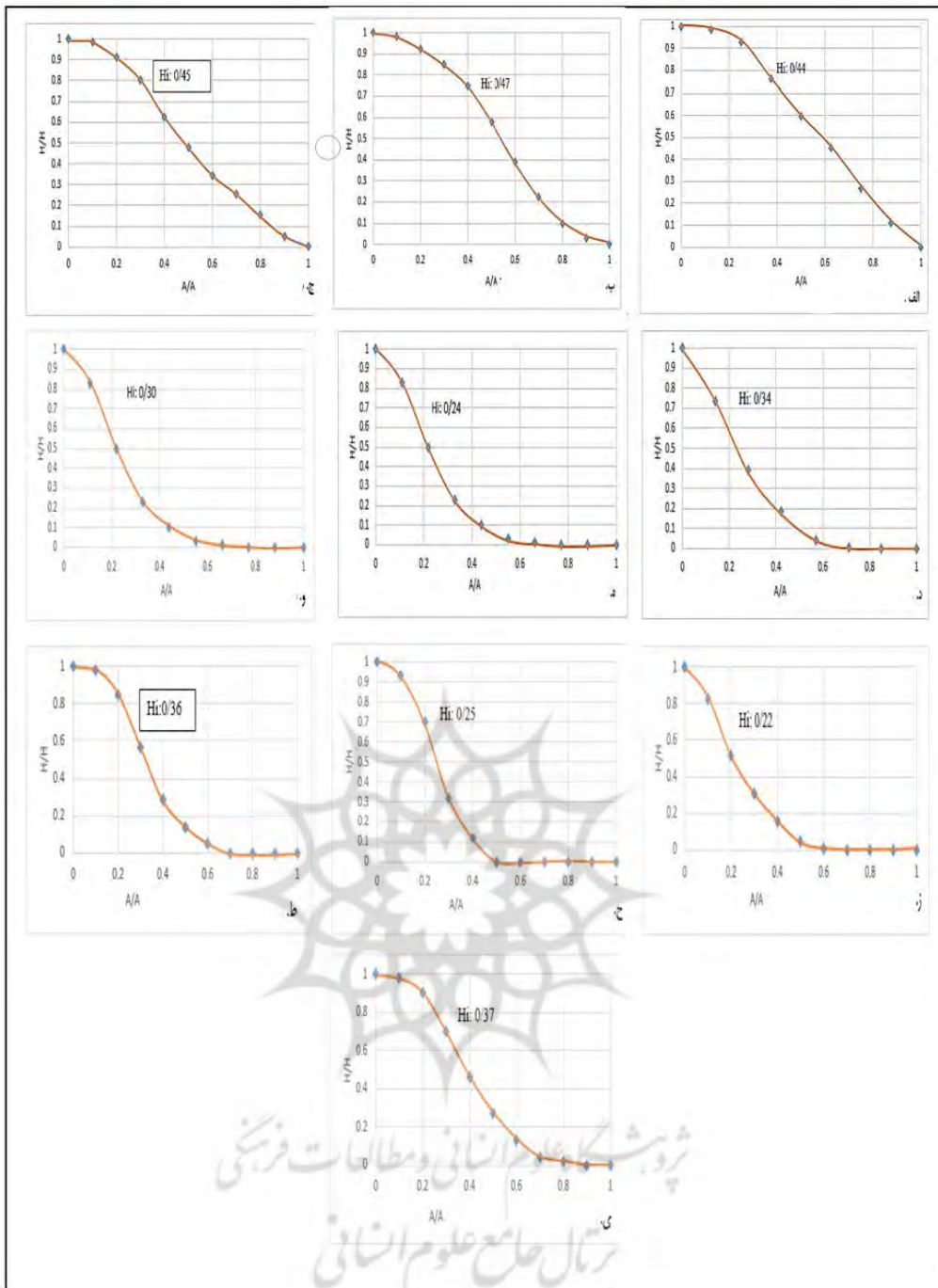
فعالیت کم در نظر گرفته شده است. مقدار کل این شاخص در منطقه ۷۷/۴۳ است که در رده نیمه‌فعال از نظر فعالیت‌های تکتونیک قرار می‌گیرد.

۶. شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T): برای ارزیابی نامتقارن بودن حوضه‌های آبریز و بررسی تکتونیک فعال شاخص تقارن توپوگرافی عرضی به کار گرفته می‌شود. در اصل T برداری با جهت‌گیری خاص و با مقادیری از صفر تا یک است که مقادیر عددی نزدیک به ۱ می‌تواند بیانگر فعالیت فرایشی باشد (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۶۴). کمترین میزان انحراف (۰/۳) متعلق به حوضه آبریز آب‌سنجد و بیشترین آن (۰/۸۸) در حوضه آبریز رباط است. انحرافات فوق می‌تواند ناشی از فعالیت‌های تکتونیک یا نوع آرایش ساختمان زمین‌شناسی منطقه باشد. حوضه‌های آبریز بر اساس مقادیر شاخص T به سه دسته تقسیم شدند: فعال (بیشتر از ۰/۵۰)، نیمه‌فعال (بین ۰/۳۰-۰/۵۰)، و با فعالیت کم (کمتر از ۰/۳۰). بنابراین، حوضه‌های آبریز مراوند، نیازمرغ، سه، کلهرود، و رباط فعال‌اند، حوضه‌های آبریز صفی‌آباد، مرغ، پناوند، و حبیب‌آباد نیمه‌فعال، و حوضه آبریز آب‌سنجد با فعالیت کم.

۷. شاخص گرادیان شیب رودخانه: به تغییرات شیب رودخانه بسیار حساس است. این حساسیت برآورد میزان روابط موجود بین فعالیت‌های تکتونیک، مقاومت سنگ، و توپوگرافی را امکان‌پذیر می‌کند (یمانی، ۱۳۸۹: ۷۸). مقادیر شاخص SL در مناطق فعال تکتونیک بالا بوده (کلر و پینتر، ۱۹۹۶: ۱۳۰) و هرچه مقادیر آن بیشتر باشد تکتونیک آن منطقه فعال‌تر است. مقادیر این شاخص از حداقل ۱۹۰/۰۶ در حوضه آبریز آب‌سنجد تا حداکثر ۳۸۳/۵۵ در حوضه آبریز حبیب‌آباد متغیر بوده است که تفاوت یادشده می‌تواند ناشی از تغییرات لیتولوژیکی، وجود گسل، و تداوم فعالیت‌های تکتونیک در منطقه باشد (جدول ۲). بر اساس همین مقادیر، حوضه‌ها به سه دسته فعال (با مقدار گرادیان شیب رودخانه بالاتر از ۳۰۰)، نیمه‌فعال (با مقدار گرادیان شیب رودخانه بین ۲۰۰ تا ۳۰۰)، و با فعالیت کم (با مقادیر گرادیان شیب کمتر از ۲۰۰) تقسیم شدند. بنابراین، حوضه‌های آبریز سه، کلهرود، صفی‌آباد، و حبیب‌آباد فعال و حوضه‌های آبریز مراوند، نیازمرغ، رباط، مرغ، و پناوند نیمه‌فعال، و حوضه آبریز آب‌سنجد با فعالیت کم در نظر گرفته می‌شوند.

جدول ۲. شاخص‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز منطقه مطالعاتی

Sf	Af	Bs	Smf	S	SL	T	Re	Va	Hi	فرم حوضه (FF)	نسبت انشعابات (Rb)	نسبت کشیدگی (Re)	محیط (P) Km	مساحت (A) Km ²	شاخص نام حوضه
۲/۱	۳۳/۸۷	۲/۷۱	۱/۰۹	۱/۰۳	۲۷۲/۵۹	۰/۵۰	۰/۷۲	۶۲/۰۱	۰/۴۴	۰/۴۱	۳/۷۲	۰/۷۲	۴۸	۶۷/۵	مراوند
۴/۰۷	۳۶/۹۳	۴/۸۵	۱/۱۰	۱/۰۳	۲۴۰/۲۹	۰/۵۳	۰/۴۷	۷۷/۸۳	۰/۴۷	۰/۱۸	۴/۰۸	۰/۴۷	۵۷	۷۹	نیازمرغ
۲/۳	۴۸/۵۷	۲/۰۶	۱/۱۱	۱/۰۳	۳۸۳/۵۱	۰/۵۶	۰/۷۲	۱۲۱/۴۹	۰/۴۵	۰/۴۱	۴/۷۶	۰/۷۲	۵۵	۱۳۰	سه
۱/۹	۴۶/۰۵	۱/۲۶	۱/۳۱	۱/۰۳	۳۳۴/۰۵	۰/۵۱	۰/۹۲	۹۸/۴۹	۰/۳۴	۰/۶۷	۳/۶۰	۰/۹۲	۵۵	۱۱۸	کلهرود
۱/۹	۴۶/۴۸	۱/۵۰	۱/۳۷	۱/۰۵	۱۹۰/۰۶	۰/۳	۰/۸۸	۲۷/۰۰۴	۰/۳۴	۰/۶۱	۳/۳۷۵	۰/۸۸	۴۹	۱۲۰	آب سنجد
۱/۷	۵۴/۲۶	۱/۳۵	۱/۱۵	۱/۰۲	۲۱۲/۵۹	۰/۸۸	۰/۷۷	۳۰/۳۸	۰/۳۰	۰/۴۶	۲/۴۶	۰/۷۷	۶۱	۱۵۹	رباط
۱/۴	۴۱/۵۸	۱/۸۶	۱/۲۱	۱/۰۴	۳۳۴/۸۱	۰/۳۷	۰/۷۲	۵۲/۹۸	۰/۲۲	۰/۴۱	۵/۳۷۵	۰/۷۲	۴۸	۹۸	صفی-آباد
۱/۴	۴۹/۵۹	۲/۳۷	۱/۵۶	۱/۰۴	۲۶۶/۵	۰/۳۶	۰/۶۲	۱۲۳/۰۹	۰/۲۵	۰/۳۱	۲/۸۰۵	۰/۶۲	۵۰	۱۳۵	مرغ
۱/۶	۵۷/۹۱	۲/۳۹	۱/۱۴	۱/۰۳	۲۲۸/۳۱	۰/۳۴	۰/۷۵	۱۰۹/۳۲	۰/۳۶	۰/۴۵	۳/۱۳۵	۰/۷۵	۷۰	۱۷۹	پناوند
۱/۵	۵۵/۲۸	۰/۹۸	۱/۷۴	۱/۰۸	۳۸۳/۵۵	۰/۴۶	۱/۲۰	۸۱/۷۸	۰/۳۷	۱/۱۳	۲/۷۹۷	۱/۲۰	۶۱	۱۶۴/۵	حبیب‌آباد
۱/۹۸۷	۴۷/۰۵۲	۲۱/۳۳	۱/۲۷۸	۱/۰۳۸	۲۸۴/۶۲	۰/۴۸۱	۷/۷۷	۷۷/۴۳	۰/۳۴۴						کل منطقه



شکل شماره ۵. منحنی‌های فرازناهی حوضه‌های آبریز منطقه مطالعاتی: الف) مراوند؛ ب) نیازمرغ؛ ج) سه؛ د) کلهرود؛ م) آسنجد؛ و) رباط؛ ز) صفی‌آباد؛ ح) مرغ؛ ط) پناوند؛ ی) حبیب‌آباد

۸. شاخص پیچ و خم رودخانه (S): مستقیم بودن رودخانه بیشتر گویای جوان بودن منطقه و فعالیت نئوتکتونیک است. بنابراین، هر چه مقادیر عددی به دست آمده از این شاخص زیاد باشد، حاکی از نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل است و هر چه کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی فعال بودن تکتونیک در منطقه است (کلر و همکاران، ۲۰۰۲). هرگاه مقدار این شاخص از یک دور شود بیانگر کاهش در فعالیت تکتونیک منطقه است. در این تحقیق محدوده بین ۱/۰۳-۱ برای مناطق فعال، ۱/۰۳-۱/۰۵ برای مناطق نیمه فعال، و مقادیر بیش از ۱/۰۵ برای مناطقی با فعالیت کم در نظر گرفته شده است. حداقل و حداکثر عدد به دست آمده برای این شاخص به ترتیب ترتیب ۱/۰۲ برای حوضه آبریز رباط و ۱/۰۸ در حوضه آبریز حبیب‌آباد بوده است (جدول ۲). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که نیروهای درونی و زمین‌ساختی در تحول مورفولوژی منطقه نقش بسزایی داشته و منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیک فعال و به حالت تعادل نرسیده

است.

۹. شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf) : در این شاخص با اندازه‌گیری پیچ و خم‌های ایجاد شده توسط آبراهه‌ها در جبهه‌های کوهستان و تقسیم آن بر طول افقی در راستای گسل و جبهه‌های کوهستان، می‌توان وضعیت یک منطقه را از نظر فعال بودن تکتونیک مشخص کرد (کلر و پینتر، ۱۹۹۶: ۱۳۸). این شاخص تعادل و توازن میان نیروهای فرسایشی را نشان می‌دهد که سعی در ایجاد فرسایش سطوح کوهستانی و نیروهای تکتونیک را که باعث ایجاد جبهه‌ای صاف و مستقیم در طول گسل می‌شود دارند را نشان داده؛ یعنی اگر در تکتونیک فعال حضور داشته باشند و منطقه در حال بالآآمدگی باشد، مقادیر کم اندیس sSmf و در صورت غلبه فرایندهای فرسایش بر این جبهه مقادیر بالای Smf Smf مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص سینوزیته جبهه کوهستان در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که تقریباً تمامی سراسر منطقه از نظر تکتونیک فعال است. هر چند که کمترین میزان SSmf در دامنه‌های بخش شمالی در حوضه‌های آبریز مراوند با مقدار ۱/۰۹ می‌باشد که احتمالاً ناشی از وجود گسل‌های متعدد در این بخش بوده و نشان دهنده‌ی فعالیت زیاد تکتونیک است. بیشترین میزان SSmf در دامنه‌های بخش جنوبی و در حوضه‌های آبریز حبیب‌آباد با مقدار ۱/۷۴ می‌باشد (جدول ۲). در این ناحیه، علیرغم به‌رغم وجود فعالیت‌های فرسایشی و برخی ساختارهای نه‌چندان مقاوم زمین‌شناسی، فعالیت‌های زمین‌ساختی همچنان در بالآآمدگی منطقه و ایجاد جبهه‌های کوهستانی نسبتاً خطی و مستقیم مؤثرند می‌باشند.

۱۰. شاخص نسبت شکل حوضه (BS): مقادیر بالاتر این شاخص حوضه‌هایی، با فعالیت‌های متوسط زمین‌ساختی را نشان می‌دهد و با توقف فعالیت یا غلبه فرایندهای فرسایشی، شکل حوضه به تدریج در طی زمان دایره می‌شود و شاخص کاهش می‌یابد ($BS < 3$) بر اساس طبقه‌بندی ال‌همدونی (۲۰۰۸: ۱۵۰)، مقادیر زیاد شاخص شکل حوضه ($BS > 4$) حوضه‌های طولی با زمین‌ساخت فعال ($BS > 3 < 4$)، حوضه‌هایی با فعالیت متوسط زمین‌ساختی و مقادیر پایین ($BS < 3$) حوضه‌هایی دایره‌ای شکل‌اند می‌باشند. محاسبه ایه این شاخص به سهولت امکان پذیر بوده و با اندازه‌گیری طول و عرض هر حوضه و تقسیم آن‌ها بر یکدیگر انجام صورت می‌گیرد. مقادیر این شاخص از حداقل ۰/۹۸ در حوضه آبریز حبیب‌آباد تا حداکثر ۴/۸۵ در حوضه آبریز نیاز مرغ متغیر است. با مبنا قرار دادن طبقه‌بندی ال‌همدونی در منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز نیاز مرغ با مقدار بیش از ۴ (۴/۸۵) فعال بوده و دیگر حوضه‌های آبریز با مقادیر کمتر از ۳ مناطق با فعالیت کم محسوب می‌شوند.

۱۱. شاخص وسعت مخروط افکنه (Af): در شکل‌گیری و گسترش مخروط افکنه‌ها عوامل متعددی دخالت دارند که تکتونیک یکی از مهم‌ترین این عوامل است (تقیان، ۱۳۸۸: ۷۸). برای تعیین میزان شاخص وسعت مخروط افکنه در جبهه کوهستانی فعال از رابطه ($Af = 3.34Ad0.55$) و رابطه ($Af = 0.59Ad0.8$)، که بیانگر مخروط افکنه‌هایی است که در مناطقی با آرامش تکتونیک نسبتاً بیش‌تر تشکیل شده‌اند، استفاده و هر دو معادله برای منطقه‌ی مورد مطالعه محاسبه شده است. نرخ فرایش در همه حوضه‌ها بالا بوده؛ در نتیجه مخروط افکنه‌ها توانسته‌اند در شرایط تقریباً آرام تکتونیک ایجاد شوند و توسعه یابند. از نظر آماری، ارتباط معنی‌داری بین مساحت مخروط افکنه و مساحت حوضه‌های آبریز وجود ندارد و مقایسه میزان مساحت حوضه به مساحت مخروط بیانگر آن است که مساحت مخروط افکنه‌های منطقه، بر خلاف معمول، تابعی از مساحت حوضه‌های تأمین‌کننده خود نیستند و عوامل دیگری می‌توانند در ایجاد و توسعه آن‌ها دخالت مؤثری داشته باشند. این عدم تابعیت را، نسبت مساحت مخروط‌ها به مساحت حوضه‌هایشان نیز به خوبی نشان می‌دهد. کمترین مقدار این نسبت متعلق به بزرگ‌ترین حوضه منطقه، یعنی حوضه آبریز پناوند، با ۰/۸۱ می‌باشد. بیشترین مقدار متعلق به کوچک‌ترین حوضه منطقه، یعنی حوضه آبریز نیاز مرغ، با عدد ۳/۱۷ می‌باشد (جدول ۳).

۱۲. شاخص شیب مخروط افکنه (SF): عامل تکتونیک از طریق تأثیرگذاری در محل استقرار مخروط افکنه‌ها، تأثیر در

شیب حوضه آبریز و انحراف و افزایش رسوب‌دهی رودخانه نقش خود را در شکل‌گیری و گسترش مخروط‌ها ایفا می‌کند (رضایی مقدم و همکاران احمدی، ۱۳۸۵).

جدول شماره ۳. شاخص وسعت و شیب مخروط‌افکنه‌ها در منطقه مطالعاتی

نام حوضه	مساحت به دست آمده برای		مساحت حوضه	نسبت مساحت مخروط به مساحت حوضه	شیب حوضه (درصد)	شیب مخروط (درصد)
	$Af=3.34Ad^{0.55}$	$Af=0.59Ad^{0.8}$				
مراوند	۳۳،۸۷	۱۷،۱۵	۶۷،۵	۱،۵۱	۲۲،۸	۲،۱
نیاز مرغ	۳۶،۹۳	۱۹،۴۵	۷۹	۳،۱۷	۲۴،۷	۴،۰۷
سه	۴۸،۵۷	۲۸،۹۷	۱۳۰	۱،۸۳	۲۸،۷	۲،۳
کلهرود	۴۶،۰۵	۲۶،۸۱	۱۱۸	۲،۲۱	۲۴،۲	۱،۹
آب سنجد	۴۶،۴۸	۲۷،۱۷	۱۲۰	۰،۸۶	۱۲،۸	۱،۹
رباط	۵۴،۲۶	۳۴،۰۳	۱۵۹	۰،۹۵	۱۵،۳	۱،۷
صفی آباد	۴۱،۵۸	۲۳،۱۱	۹۸	۰،۹۹	۱۴،۲	۱،۴
مرغ	۴۹،۵۹	۲۹،۸۶	۱۲۱،۷	۰،۹۰	۱۴	۱،۴
پناوند	۵۷،۹۱	۳۷،۴۲	۱۴۵،۲	۰،۸۱	۱۹،۴	۱،۶
حبیب آباد	۵۵،۲۸	۳۴،۹۷	۲۰۳،۱۲	۱،۲۳	۱۸،۹	۱،۵

به اعتقاد راجوکی و چورد (۱۹۹۰)، زاویه شیب مخروط‌افکنه در ارتباط با ویژگی رودخانه‌های آن‌ها تعیین می‌شود. به همین دلیل، وی رودخانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های مربوط را بر حسب شیب به شرح جدول ۴ طبقه‌بندی کرده است. برای تعیین میزان این تأثیر در منطقه ارتباط بین مساحت مخروط‌افکنه‌ها و شیب حوضه‌های آبریز از رابطه ۱۲ در جدول ۱ استفاده شده است. نتایج به دست آمده (جدول ۴) بیانگر این است که از نظر آماری ارتباط معنی‌داری بین شیب مخروط‌افکنه‌ها و شیب حوضه‌های آبریز وجود ندارد، اما این مقدار دلیلی بر رد تأثیر و نقش شیب حوضه در مساحت مخروط نیست، بلکه بیانگر این است که عوامل دیگری وجود دارند که نقش مؤثرتری در ایجاد مخروط‌ها داشته‌اند. بر این اساس، مخروط‌افکنه‌های منطقه مورد مطالعه را به سه گروه فعال، نیمه‌فعال، و با فعالیت کم تقسیم کرده که گروه اول شامل مخروط‌افکنه‌های مراوند، نیازمرغ، و سه است. مخروط‌هایی فعال در نظر گرفته شده‌اند که متوسط شیب حوضه و مخروط‌های این گروه به ترتیب ۲۵/۴۰ و ۲/۸۲ است. وسعت مخروط‌های این گروه زیاد بوده؛ به گونه‌ای که میانگین نسبت مساحت مخروط به مساحت حوضه حدود ۲/۱۷ است که وسعت زیاد مخروط‌ها می‌تواند متأثر از دو عامل ضخامت کم مخروط‌ها و افزایش بیشتر حوضه‌ها و مخروط‌ها باشد. گروه دوم شامل مخروط‌های کلهرود، آب‌سنجد، رباط، پناوند، و حبیب‌آباد است. این گروه نیمه‌فعال بوده و متوسط شیب این مخروط‌ها ۱/۷۲ درصد و متوسط شیب حوضه‌های آن‌ها ۱۸/۱۱ درصد است. متوسط نسبت مساحت مخروط به مساحت حوضه ۱/۲۱ است که نسبت به گروه اول کمتر بوده و ناشی از تأثیر کمتر فعالیت‌های تکتونیکی در این مخروط‌هاست. گروه سوم مخروط‌افکنه‌های صفی‌آباد و مرغ است که با میزان فعالیت کم در نظر گرفته شده‌اند. متوسط شیب این مخروط‌ها ۱/۴ درصد و متوسط شیب حوضه‌های آن‌ها ۱۴/۱ درصد است. متوسط نسبت مساحت مخروط به مساحت حوضه ۰/۹۴۵ است که نسبت به گروه دوم کمتر است و ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی کمتر در این حوضه‌هاست.

جدول شماره ۴. انواع رودخانه‌ها و مخروط‌ها بر حسب شیب (راجوکی و چورد، ۱۹۹۰)

رودخانه	شیب بر حسب درجه	مخروط افکنه	شیب بر حسب درجه
دائمی بزرگ	۲	شیب دار	> ۱۵
دائمی کوچک	۲-۱۰	ملاپیم	۲-۵
موقتی	> ۲۵	سطح	< ۲

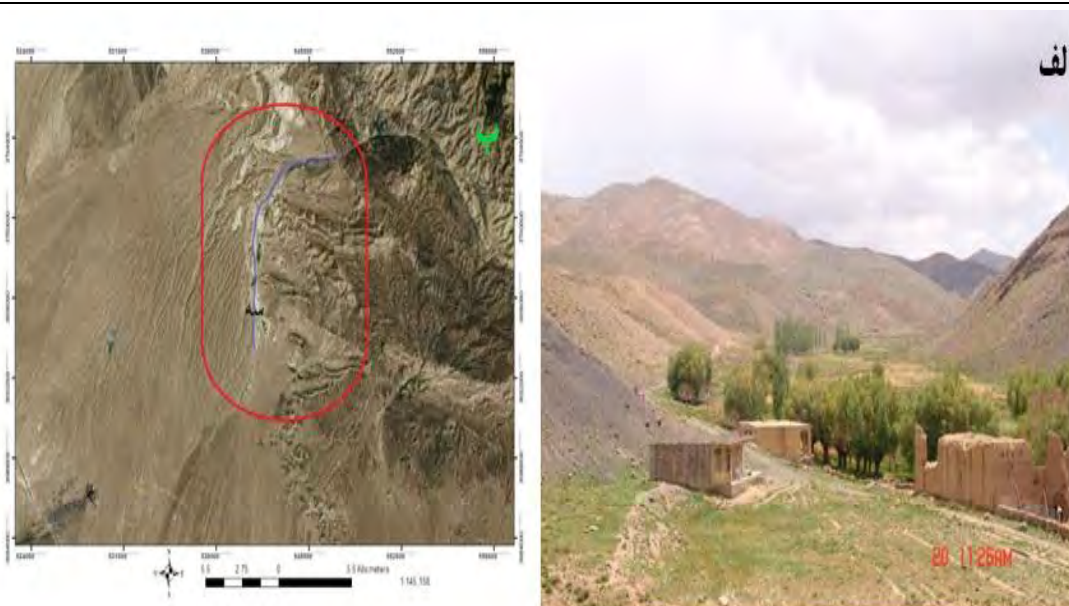
۱۳. ترکیب شاخص‌ها و محاسبه نسبی زمین‌ساخت فعال (Iat): با استفاده از شاخص Iat، نتایج شاخص‌های محاسبه‌شده با یکدیگر ترکیب می‌شود تا وضعیت نئوتکتونیک حوضه‌های موردبررسی مشخص شود (ال‌همدونی و همکاران، ۲۰۰۸). برای محاسبه این شاخص، نه شاخص محاسبه‌شده در حوضه‌های آبریز منطقه مطالعاتی از نظر میزان فعالیت به سه کلاس تقسیم شد. در این تقسیم‌بندی، طبق نظر ال‌همدونی، کلاس ۱ با مقادیر عددی $1/5 < Iat < 1$ فعالیت زمین‌ساختی شدید، کلاس ۲ با مقادیر عددی $2 < Iat < 5/1$ فعالیت زمین‌ساختی زیاد، و کلاس ۳ با مقادیر عددی $Iat < 2/5$ فعالیت زمین‌ساختی کم و ناچیز مشخص شده است. مقدار شاخص Iat در کل منطقه مطالعاتی ۱/۹۳ است که بیانگر فعالیت زمین‌ساختی زیاد است. حوضه‌های آبریز منطقه مطالعاتی از نظر میزان فعالیت به سه گروه زیر تقسیم شدند: ۱. مراوند، نیازمرغ، و سه با مقادیر عددی کمتر از ۱/۵ دارای فعالیت زمین‌ساختی شدید، ۲. حوضه‌های آبریز کلهرود، رباط، و پناوند با مقادیر عددی ۲ دارای فعالیت زمین‌ساختی زیاد، و ۳. حوضه‌های آبریز آب‌سنجد، صفی‌آباد، مرغ، و حبیب‌آباد با مقادیر عددی بیشتر از ۲ دارای فعالیت زمین‌ساختی کم و ناچیز.

جدول ۵. ترکیب شاخص‌ها و محاسبه نسبی زمین‌ساخت فعال (Iat)

میزان فعالیت زمین‌ساختی	Iat	Sf	Af	Bs	Smf	S	SL	T	V/a	Hi	شاخص نام حوضه
شدید	۱/۴	۱	۱	۳	۱	۱	۲	۱	۲	۱	مراوند
شدید	۱/۲	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۱	نیازمرغ
شدید	۱/۳	۱	۱	۳	۲	۱	۱	۱	۱	۱	سه
زیاد	۱/۷	۲	۲	۳	۲	۱	۱	۱	۲	۲	کلهرود
کم و ناچیز	۲/۶	۲	۲	۳	۲	۲	۳	۳	۳	۳	آب‌سنجد
زیاد	۲	۲	۲	۳	۲	۱	۲	۱	۳	۲	رباط
کم و ناچیز	۲/۴	۳	۳	۳	۲	۲	۱	۲	۳	۳	صفی‌آباد
کم و ناچیز	۲/۵	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۱	۳	مرغ
زیاد	۱/۶	۲	۲	۳	۲	۱	۲	۲	۱	۲	پناوند
کم و ناچیز	۲	۲	۲	۳	۳	۳	۱	۲	۲	۲	حبیب‌آباد
زیاد	۱/۹۳	۱/۹	۱/۹	2/8	۲	۱/۵	۱/۷	۱/۶	۲	۲	کل منطقه

شواهد ژئومورفولوژیکی

از جمله شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه مطالعاتی، علاوه بر نزدیکی به گسل قم- زفره، وجود گسل‌های متعدد (۳۳ خرده کل)، دره‌ها، و کانال‌های رودخانه‌ای عمیق (رودخانه‌های سه و کلهرود)، مخروط‌افکنه‌های متوالی، تراس‌های رودخانه‌ای، تغییر مسیر، و جابه‌جایی برخی رودخانه‌ها را می‌توان نام برد. رودخانه سه تا نزدیکی روستای سه در دره‌ای عمیق در مسیری شرقی- غربی جریان دارد و پس از آن، با یک چرخش، مسیری شمالی- جنوبی می‌یابد (شکل ۶- الف). این چرخش مسیر می‌تواند ناشی از فرایش بیشتر بخش شمال غربی ارتفاعات کرکس باشد که مانند یک مانع در برابر رودخانه عمل کرده و رودخانه را مجبور به تغییر مسیر کرده است (شکل ۶- ب). وجود دره‌ای نسبتاً عمیق و بزرگ در مخروط‌افکنه قدیمی سه احتمالاً حاکی از تغییر مسیر و تغییر بستر رودخانه سه در گذشته است (شکل ۸- ب).



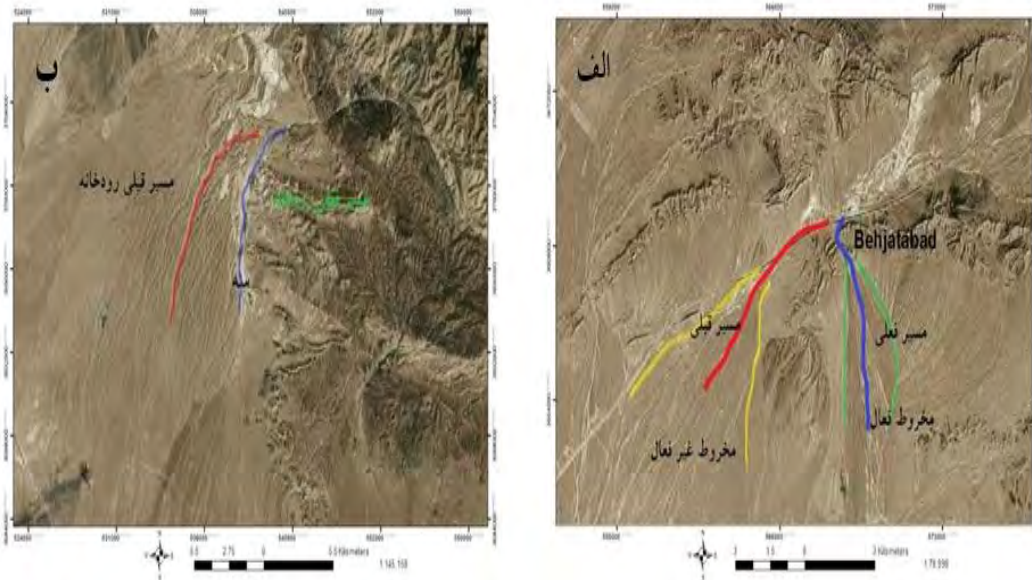
شکل شماره ۶. الف) دره رودخانه سه؛ ب) تغییر و انحراف مسیر رودخانه سه به سمت جنوب

رودخانه کلهرود نیز وضعیتی مشابه دارد. دره رودخانه کلهرود در ارتفاع ۲۳۲۰ متری نسبتاً عمیق و با عرض کم بوده (شکل ۷-الف) و جهتی شمال شرق- جنوب غرب دارد. این رودخانه در ادامه در جنوب غربی روستای کلهرود از کوهستان خارج شده و با یک چرخش جهتی شمالی- جنوبی به خود می‌گیرد (شکل ۷-ب). در ارتفاع ۲۲۰۰ متری دره شکل طشتکی با عرض زیاد و عمق کم به خود گرفته که داخل آن ترس‌های رودخانه‌ای تشکیل شده است.



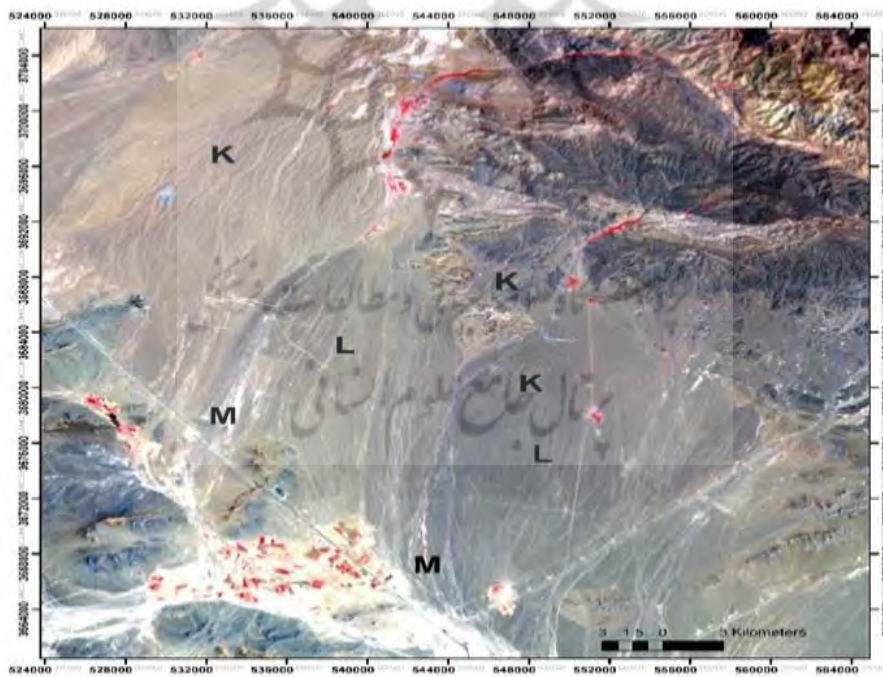
شکل شماره ۷. الف) دره رودخانه کلهرود؛ ب) تغییر مسیر رودخانه کلهرود

رودخانه رباط ابتدا جهتی شرقی- غربی دارد، ولی در غرب بهجت‌آباد با برش در ارتفاعات تغییر مسیر می‌دهد و به سمت جنوب جاری می‌شود (شکل ۸-الف).



شکل شماره ۸. الف) تغییر بستر رودخانه رباط؛ ب) تغییر بستر رودخانه سه

یکی دیگر از شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه تقطیع و توالی مخروط‌افکنه‌هاست؛ به‌گونه‌ای که مخروط‌های پیر و قدیمی، (غیرفعال)، مخروط‌های نیمه‌فعال، و مخروط‌های فعال در ناحیه سه قابل مشاهده است. در ناحیه کله‌رود آثار مخروط‌افکنه قدیمی تا حدود زیادی از بین رفته و بخش‌های محدودی از آن برجای مانده است. هر چه به سمت جنوب شرق پیش رویم آثار مخروط‌های قدیمی کمتر مشاهده می‌شود یا اصلاً مشاهده نمی‌شود (شکل ۹).



شکل شماره ۹. مخروط‌افکنه‌های سه و کله‌رود. K غیرفعال، L نیمه‌فعال، و M فعال

ارتفاعات کرکس و اطراف آن از نظر لرزه‌خیزی منطقه‌ای فعال بوده‌اند؛ به‌گونه‌ای که در سیصد سال گذشته حدود شش زلزله بیش از ۴ ریشتر ثبت شده که آخرین آن در سال ۱۳۹۵ در حوضه حیب‌آباد رخ داده است. تعداد ۱۲۵۰ زلزله در شبکه لرزه‌نگاری اصفهان (ایستگاه‌های کله‌رود، زفره، نایین، قارنه، و پیرپیر) طی یک دوره چهارساله (۲۰۰۴-۲۰۰۸) ثبت شده است. توان لرزه‌زایی گسل قم- زفره حدود هفت ریشتر برآورد شده است (ریاضی راد و جوان دولویی، ۱۳۸۷).

با توجه به مقادیر شاخص‌ها و شواهد ژئومورفیک و داده‌های زمین لرزه‌ای، چنین به نظر می‌رسد که منطقه از نظر تکتونیکی فعال بوده و این فعالیت در حوضه‌های مراوند، نیاز مرغ، سه، و کلهرود شدیدتر بوده است. شدت فعالیت‌های تکتونیکی از شمال غرب به جنوب شرق کاهش می‌یابد. بنابراین، می‌توان منطقه را از نظر شدت فعالیت به دو بخش شمال غربی و جنوب شرقی تقسیم کرد.

تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر تحولات حوضه‌های آبریز

- مسیر رودخانه‌ها در بخش کوهستانی با تبعیت از ساختمان زمین یا ساختار تکتونیکی تقریباً روند شرقی- غربی یا شمال شرقی- جنوب غرب دارند، ولی پس از خروج از کوهستان تحت تأثیر فرایش بخش شمالی به سمت جنوب چرخش پیدا می‌کنند و جهتی شمالی- جنوبی به خود می‌گیرند (شکل‌های ۶- ب، ۷- ب).

- برخی از رودخانه‌ها (سه، کلهرود، و رباط)، بر اثر فرایش بیشتر بخش شمال غربی، به سمت شرق منحرف و جابه‌جا شده‌اند (شکل ۸- الف و ۸- ب).

- در بخش شمال غربی، به علت فرایش بیشتر، مخروط‌افکنه‌های متوالی تشکیل شده؛ در صورتی که در جنوب بخش شرقی شواهدی از آن مشاهده نمی‌شود (شکل ۹).

- شیب حوضه‌ها و آبراهه‌های بخش شمال غربی بیش از دو برابر شیب آن‌ها در بخش جنوب شرقی است که می‌تواند متأثر از حرکات تکتونیک باشد. متوسط شیب حوضه‌ها در بخش شمال غربی ۲۵ درصد و در بخش جنوب شرقی ۱۲/۷ درصد و متوسط شیب آبراهه‌ها در بخش شمال غربی ۲۰/۷۵ و در بخش جنوب شرقی ۸/۱ درصد است.

- در بخش شمال غربی قدرت فرسایش رودخانه‌ها بیشتر شده؛ به گونه‌ای که رودخانه‌ها توانسته‌اند دره‌های عمیق‌تری (دره سه و کلهرود) ایجاد کنند. در صورتی که در بخش جنوب شرقی معمولاً عرض دره‌ها نسبت به عمق آن‌ها بیشتر است. شاخص Vf در بخش شمال غربی ۱/۷ و در بخش جنوب شرقی ۸ است.

نتیجه‌گیری

مقادیر حاصل از پارامترهای ژئومورفیک بیانگر نسبت کشیدگی کم، نسبت انشعاب زیاد و ضریب فرم کم، حوضه‌ها است. در پارامتر نسبت کشیدگی و ضریب فرم حوضه، حوضه آبریز نیاز مرغ، در نسبت انشعاب حوضه‌های آبریز سه و صفی‌آباد نسبت به سایر حوضه‌ها فعالیت بیشتری داشتند. شاخص Iat محدوده مطالعاتی ۱/۹۳ است که در حوضه‌های آبریز از ۱/۲ تا ۲/۶ متغییر است. دره‌ها عمیق رودخانه (سه، کلهرود، نیاز مرغ، و پناوند)، مخروط‌های متوالی و تقطیع شده (رودخانه‌ها سه و کلهرود)، تراس‌های رودخانه‌ای، انحراف مسیر و بستر رودخانه‌ها (سه، کلهرود و رباط) و گسل‌های فراوان، شواهد ژئومورفولوژیک مؤید متأثر شدن ویژگی‌های حوضه‌ها از حرکات تکتونیکی منطقه‌اند می‌باشند.

نتایج شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژیک و داده‌های لرزه نگاری منطقه نشان می‌دهد که حوضه‌های آبریز از نظر فعالیت‌های تکتونیکی فعال بوده‌اند، اما شدت فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه یکسان نبوده است و میزان آن از شمال غرب به جنوب شرق کاهش می‌یابد. تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌های شمال غربی بیش از جنوب شرقی بوده است. این فعالیت‌ها باعث تعمیق دره‌ها تغییر مسیر و بستر، افزایش شیب بعضی از رودخانه‌ها، افزایش توان فرسایشی آن‌ها، و تقطیع و توالی مخروط افکنه‌ها شده است.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- (۱) بهرامی، ش. (۱۳۹۲). معرفی روش کمی جهت بررسی ناهنجاری سلسله‌مراتبی شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک (مطالعه موردی: ۶ حوضه آبخیز زاگرس)، بیستمین همایش ملی ژئوماتیک. ۹۱۴-۹۲۸.
- (۲) پروین، منصور. (۱۳۹۹). ارزیابی تکتونیک فعال حوضه رودخانه کوند غرب با استفاده از تحلیل ویژگی‌های شبکه زهکشی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۲ (۳)، ۴۹۹-۵۱۴.
- (۳) تقیان، ع.ر. (۱۳۸۸). تحلیل سیستم‌های شکل‌زای کوآترنری در دامنه‌های کرکس، رساله دکتری، استاد راهنما، مجتبی یمانی، دانشگاه تهران.
- (۴) جباری، ن؛ ثروتی، م. و حسین‌زاده، م. (۱۳۹۱). مطالعه مورفوتکتونیک فعال حوضه آبریز حصارک (شمال غرب تهران) با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱ (۲۶)، ۱۷-۳۴.
- (۵) حبیب‌اللهیان، م. و رامشت، م.ج. (۱۳۹۱). کاربرد شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنب‌در برآورد وضعیت تکتونیک فعال در برآورد وضعیت تکتونیک بخش علیای زاینده‌رود. جغرافیا و توسعه، ۱۰ (۲۶)، ۹۹-۱۱۲.
- (۶) حسامی، خ. و طیبی، ه. (۱۳۸۵). گسل رازک و عوارض ریخت‌زمین‌ساختی مرتبط با آن. پژوهشنامه پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱ (۲)، ۲۳-۳۱.
- (۷) رضایی مقدم، م.ج. و احمدی، م. (۱۳۸۵). تحلیل ژئومورفولوژی کمی الگوی زهکشی شبکه آبراه‌ای به کمک زاویه برخورد آن‌ها در زیرحوضه سرپاس، استان کرمانشاه. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۴، ۱۱-۳۱.
- (۸) ریاضی راد، ز. و جوان دولویی، غ. (۱۳۸۷). بررسی لرزه‌خیزی و ساختار سرعتی ناحیه اصفهان بر اساس امواج پیکری، زمین، ۳ (۴)، ۱-۱۶.
- (۹) سلیمانی، ش. (۱۳۷۸). رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- (۱۰) شریفی پیچون، م؛ زارع، ف. و طاهری‌نژاد، ک. (۱۳۹۶). ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (نمونه موردی: حوضه آبریز کذاب یزد). مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۶ (۱۱)، ۱۵-۳۲.
- (۱۱) علیزاده، ا. (۱۳۹۴). اصول هیدرولوژی کاربردی، ج ۴۰، ناشر دانشگاه امام رضا (ع).
- (۱۲) کرمی، ف. (۱۳۸۸). ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیک در حوضه زهکشی سعیدآباد چای. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۶۹، ۶۷-۸۲.
- (۱۳) گورابی، ا. و کیارستمی، ف. (۱۳۹۴). ارزیابی زمین‌ساخت حوضه‌های آبریز با استفاده از اختصاصات ژئومورفیک در قالب الگوی Tec DEM مطالعه موردی: حوضه آبریز رودک در شمال شرق تهران). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷ (۳)، ۴۶۵-۴۷۹.
- (۱۴) مقصودی، م؛ جعفری اقدم، م؛ باقری سیدشکری، س. و مینایی، م. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، جغرافیا و توسعه، ۹، ۱۱۱-۱۳۶.
- (۱۵) یمانی، م؛ کامرانی دلیر، ح. و باقری سیدشکری، س. (۱۳۹۲). مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک جهت تعیین میزان فعالیت نوزمین‌ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس شمال غربی). فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۹ (۹۷)، ۲۶-۱.
- (۱۶) یمانی، م. و علیزاده، ش. (۱۳۹۵). بررسی فعالیت‌های نوزمین‌ساخت حوضه آبخیز کرج از طریق شاخص‌های ژئومورفیک، جغرافیای طبیعی، ۹ (۳۱)، ۱-۱۸.
- (۱۷) یمانی، م؛ امیری‌نژاد ترک، س؛ غلامی، ف. و نژادحسینی، ر. (۱۳۹۷). بررسی تکتونیک فعال در حوضه سمنان (جنوب سمنان) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۱۶ (۱)، ۱-۱۶.

References

- 1) Alizadeh, A., (2015). Principales of applied hydrology, 40th edition, University of Imam Reza press.
- 2) Bahrami, S., (2013). Analyzing the drainage system anomaly of Zagros basins: Implications for active tectonics. Tectonophysics, 608, 914-928. [In Persian].
- 3) Bull, W.B., & McFadden, L.D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlok fault, California. 8th Annual Geomorphology Symposium". State University of New York. Binghamton. 115-138.
- 4) El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandes, T., Chacon, J., & Keller, E. A., (2008). Assesment of relative active tectonics, Southwest border of the sierra Nevada (Southern Spain). Geomorphology, 96, 150-173.

- 5) Frankel, K. L. & Pazzaglia, F. J. (2006). Mountain fronts, base-level fall, and landscape evolution. Insights from the southern Rocky Mountains, Geological Society of America. Special paper, 398, 419-434.
- 6) Goorabi, A. & Kiarostamh, F. (2015). Assessment of Watershed Tectonic Using Geomorphologic Characteristic in the TecDem Model, Rodak Basin in North East Tehran. Physical Geography Research Quarterly, 47(3), 465-479. [In Persian].
- 7) Guarnieri, P., & Pirrotta, C. (2008). The response of drainage basins to the late quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). Geomorphology, 95, 260-273.
- 8) Habibolahiyani, M. & Ramesht, M.H. (2012). Active Morphotectonic study catchment Hisarak Using morphometric parameters. Quantitative Geomorphology Research. 1 (2), 17-34. [In Persian].
- 9) Hack, J.T., (1973). Stream-profile analysis and stream-gradient index. US Geological Survey Journal of Research, 1, 421-429.
- 10) Harkins, Nathan., W., Anastasio, David. J., & Pazzaglia, Frank. J. (2005). Tectonic geomorphology of the Red Rock Fault, insights into segmentation and landscape evolution of a developing range front normal fault. Journal of Structural Geology, 27, 1925-1939.
- 11) Hesami, KH., & Tabasi, H., (2006). Razak fukt and the related morphotectonic problems". Unpublished Research Report. International Institute of Earthquake Engineering & Sismology. Tehran. [In Persian].
- 12) Jabari, N., Sarvati, Mm., & Hossein-zadeh, M., (2012). Active morphotectonic Study Catchment Hisarak Using morphometric parameters. Quantitative Geomorphology Resrarch, 1(2), 17-34. [In Persian].
- 13) Karami, F., (2009). Geomorphologic Survey of Tectonic Activities on Saeidabadi Chai Drainage Basin. Physical Geography Research Quarterly, 69, 67-82. [In Persian].
- 14) Kastelic, V., Michele, M.C., Carafa, & Visini, F., (2016). Neotectonic Deformation Models for Probabilistic Seismic Hazard: A Study in the External Dinarides. Geophysical Journal International, Advance Access published March 21, 1-36.
- 15) Keller, E.A. & Pinter, N., (1996). Active Tectonics: Earthquake, Uplift and Landscapae Prentice, Hall "Publication. London.
- 16) Keller, E.A., & Pinter, N., (2001). Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape (2nd Edition)". New Jersey. Prentice Hall. 1-362.
- 17) Keller, E.A., & Pinter, N.D.J. (2002). Active Tectonics, Earthquakes, Uplift, and Landscape. Environmental and Engineering Geoscience, 3(3), 463-463.
- 18) Morrisava, M., & Hack, J. (1985). Tectonic Geomorphology. Boston: Unwind Hyman Press. National Cartographic Survey. 2.5-meter resolution kartosta satellite image.
- 19) National Cartographic Survey. Specifications Garmabdar permanent Geodynamic station (2006-2010).
- 20) Parvin, M. (2020).). Assessment of active tectonics of the Karrand River Basin using drainage network feature analysis, Physical geography Researcher Quarterly, Faculty of Geography Institute of geography, Tehran, vVol. 52, No. 3, PP. 499-514.
- 21) Perez-Pena, J.V., ; Azanon, J.M., . and Azor, A., (2009),). CalHypso: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain. Computers & Geosciences, 35 (6),); 1214—1223.
- 22) Rachoki, A. H. and cChurds, Mm. (1990),. Alluvial fan: A Filed approach, John Wiley and sons, Inc.
- 23) Ramirez, M.tT. and Herrera, M., (1998). "Geomorphologic Assessment of Active Tectonics in the Acambaygraben, Mexican Volcanic Belt". Earth Surface Processes and Landforms. Vol. 23, ppPP. 317-332. (In Persian).
- 24) Rezaei Moghadam, M.H., . and Ahmadi, Mm., (2006),). Quantitative Geomorphologic Analysis of Drainage Patterns of Serias Sub-Basin (Kermanshah), Using Conjunction Angle, Vol. 21, No. 2, PPpp. 84-98.
- 25) Sharifi piychoon, Mm.,; Zare, F. and Taherinejad, K. (2016). "Assessment of New tectonic activities Using Geomorphical indicators Case Study: Kazab Basin - Yazd". Natural Environmental hazards. Vol, 11. NoO.6, pp PP. 15-32. (In Persian).
- 26) Siva, P.G., ; Zazo, C., . and Bardji, T., (2003),). "Fault Generated Mountain Fronts in Southwest Spain: Geomorphology Assessment of Tectonic and Seismic Activity", Geomorphology, 50: 203-225.
- 27) Solimani, Sh., (1999). Guidelines on Detecting and NeoTectonic Movements with Approach to Preliminaries of Pale Seismology, First Edition. Publication of Seismology and Earthquake Engineering International Institute. Tehran. [In Persian].
- 28) Schumm, S. (1956). Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. Geological Society of America Bulletin, 67, 597-646.
- 29) Strahler, A.N., (1952). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union, 8 (6), 913-920.

- 30) Strahler, A. N. (1964). Part II. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. Handbook of Applied Hydrology: McGraw-Hill, New York, 4-39.
- 31) Yamani, M., Kamrani-Dalir, H., & Bagheri, S. (2013). Morphometric and geomorphic assessment criteria for determining the amount of Neotectonic activity in Cheleh Basin (northwestern Zagros), Journal of Geographical Research, 29(97), 1-26 [in Persian].
- 32) Yamani, M., & Alizadeh, S.H., (2016). Neotectonic Activities Survey of Karaj Basin by Using Geomorphic Parameters. Journal of Physical Geomorphology, 9(1), 1-18.
- 33) Yamani, M., & Amirinejad Tork, S., Gholami, F., & Nejad Hoseyni, R., (2018). Investigation of the active tectonic in Semnan basin (South of Semnan), U using geomorphological indices, 6(1), 149-174.

