

Analyzing the tectonic activity of Farahzad basin through geomorphic indicators

Reza Mansouri*¹ Amir Safari²

1 Ph.d Candidate in Geomorphology and environment management, earth science faculty, Shahid Beheshti University

2 Associate Professor in Geomorphology, Geography faculty Kharazmi University

Abstract

In the present age the parts of the earth's crust have tectonic movements and, in the future, will be more prone to risk. Geomorphological forms are very sensitive to the tectonic activity and changes by them. The assessment of tectonic activity using by some indicators have a major role in identifying these quantitative activities and helps to interpret the tectonic specifications. In this study for the determination of tectonic activity in Farahzad basin in the northern of metropolitan Tehran, using and calculating geomorphic indices such as Stream length gradient index (SL), Valley floor-valley height ratio (VF), Asymmetric factor (AF), Percentage dissected mountain fronts (FD), Percentage undissected escarpments (EU), Mountain front sinuosity (SMF), Topographic inversion symmetry (T), Drainage basin shape ratio (BS), and meandering rivers (S). The research procedure is based on analytical method. The Physical and conceptual tools of this research are the topography and geology maps of the study area, satellite images and GIS software, in the form of ARC GIS 10 and several field visits from landforms, has been used. This basin, with an area equivalent to 35,8 kilometers, one of the subbasins of the mountain range north of the Tehran metropolis, according to range of processes (mainly sliding and falling), is suitable for the assessment of relative tectonic activity. The results indicate that the Farahzad basin based on indicators of the SL, VF, AF, SMF, EU, FD, T and S in active status and Semi-active status is measured according BS. Analysis of these quantities represent the activity of the basin in the present age and the average tectonic activity based on Iat index (Index of relative active tectonics) puts this basin in the class 1. The results correspond with the geomorphological evidence (landslide occurrence).

Keywords: Tectonic, Farahzad Basin, Tehran Metropolis, Landslide, Geomorphic Indicators.

تحلیل فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبخیز فرحزاد از طریق شاخص‌های ژئومورفیک

رضا منصوری^{۱*}

امیر صفاری^۲

چکیده

بخش‌هایی از پوسته زمین در عهد حاضر دارای حرکات زمین‌ساختی هستند و در آینده نیز مستعد بروز خطر خواهند بود. از این رو، اشکال ژئومورفولوژیکی در برابر فعالیت‌های زمین‌ساختی بسیار حساس بوده و در اثر این حرکات تغییر می‌کنند. ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی با استفاده از برخی از شاخص‌های کمی، نقش مهمی را در شناخت این فعالیت‌ها داشته و به تفسیر وضعیت زمین‌ساختی مناطق کمک می‌نماید. در این پژوهش از شاخص‌های شیب طولی رودخانه (SL)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF)، عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، تقارن توپوگرافی معکوس (T)، نسبت شکل حوضه (BS) و پیچ و خم رودخانه (S) برای تعیین میزان فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبخیز فرحزاد در شمال شهر تهران استفاده شده است. این حوضه با وسعتی معادل ۳۵/۸ کیلومترمربع، یکی از زیرحوضه‌های محدوده کوهستانی شمال این شهر می‌باشد که با توجه به وقوع فرایندهای دامنه‌ای (از جمله لغزشی و ریزشی)، مکان مناسبی برای ارزیابی فعالیت نسبی زمین‌ساخت به حساب می‌آید. رودخانه فرحزاد این حوضه از ارتفاعات خاوری امامزاده داوود سرچشمه می‌گیرد. روش تحقیق بر پایه روش تحلیلی استوار است. ابزارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، تصویر ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی در قالب نرم‌افزار ARC GIS 10 می‌باشد. همچنین، نتایج کمی بدست آمده طی چندین مرحله کار میدانی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه براساس شاخص‌های SL، VF، AF، T، SMF، EU، FD و S از لحاظ زمین‌ساختی در وضعیت فعال و تنها بر اساس شاخص BS در حالت نیمه فعال قرار دارد. تحلیل این کمیت‌ها در مجموع نشانگر فعال بودن این حوضه در عهد حاضر می‌باشد و حوضه براساس شاخص IAT در کلاس ۱ قرار می‌گیرد. این نتایج با شواهد ژئومورفولوژیکی از جمله وقوع زمین‌لغزش در منطقه نیز مطابقت دارد.

واژگان کلیدی: زمین‌ساخت، حوضه فرحزاد، کلان‌شهر تهران، زمین لغزش، شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی.

^۱ - نویسنده مسئول: دانشجو دکتری، رشته ژئومورفولوژی/ مدیریت محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

Re_mansouri@sbu.ac.ir

شماره تماس: ۰۹۱۸۳۴۴۴۰۳۷

Saffari@khu.ac.ir

^۲ - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی

مقدمه

رشته کوه البرز در حاشیه جنوبی حوضه کاسپین جنوبی، با عرض ۱۰۰ کیلومتر و طول ۲۰۰۰ کیلومتر از قفقاز کوچک در شمال باختر تا رشته کوه های پاروپامپ سوز در شمال افغانستان در خاور گسترده است و زمین ساخت فعالی را نشان می دهد (بربریان و ییتس^۱، ۲۰۰۱). شناسایی مناطق فعال زمین ساختی اهمیت فراوانی دارد، زیرا در این گونه بررسی ها زمین ساخت فعال بیانگر حرکات جوانترین دوره زمانی یعنی کواترنر و بخصوص دوره هولوسن و زمان حال می باشد (سلیمانی، ۱۳۷۸، ۱). بسیاری از اشکال ژئومورفولوژیکی در برابر حرکات زمین ساختی فعال بسیار حساس می باشند و همزمان با آن تغییر می کنند (مددی و همکاران، ۱۳۸۳، ۱۲۴). از این رو، تحلیل های توپوگرافیکی، به عنوان یکی از ابزار های مفید در اندازه گیری شکل های چشم اندازها محسوب می شوند؛ زیرا اثر فعالیت های زمین ساختی بر توپوگرافی زمین بسیار گسترده است (صفاری و منصوری، ۱۳۹۲). در مقیاس ناحیه ای، بدست آوردن نرخ زمین ساخت و یا حتی دانستن این که در کدام ناحیه خاص مطالعات کمی برای تعیین نرخ فعالیت صورت می گیرد، مشکل است. طی سال های اخیر پژوهشگران زیادی سعی در کمی نمودن حرکات زمین ساختی داشته اند که نهایتاً شاخص های متعددی را با عنوان شاخص های ریخت زمین ساختی یا شاخص های ریخت سنجی^۲ ارائه نموده اند (سلیمانی، ۱۳۷۸). بمنظور بررسی میزان دگر ریختی ایجاد شده حاصل از فعالیت های زمین ساختی می توان از شاخص های پیکر شناسی زمین استفاده کرد (بال و مک فادن^۳، ۱۹۷۷؛ آزور و همکاران^۴، ۲۰۰۲؛ کلر و پینتر^۵، ۲۰۰۲؛ سیلوا و همکاران^۶، ۲۰۰۳؛ مولین و همکاران^۷، ۲۰۰۴؛ همدونی و همکاران^۸، ۲۰۰۷). شاخص های زمین ریختی بطور ویژه برای مطالعه زمین ساخت فعال مورد استفاده قرار می گیرند (دوگلاس و همکاران^۹، ۲۰۰۱، ۳). شاخص های زمین ریختی در بررسی فعالیت های زمین ساختی ابزار مفید و قابل اطمینانی هستند، چرا که با استفاده از آنها می توان مناطقی را که در گذشته فعالیت های سریع یا کند زمین ساختی را تجربه کرده اند را به راحتی شناسایی نمود (رامیرز-هریرا^{۱۰}، ۱۹۹۸؛ ۳۱۷). استفاده همزمان از شاخص های زمین ریختی این امکان را به ما می دهد تا درک و تحلیل درستی از وضعیت نو زمین ساخت منطقه داشته باشیم (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۵۳). مطالعات پیشین که در سایر نقاط جهان با استفاده از شاخص های زمین ریخت سنجی بر روی حوضه ها و شبکه های آبراهه ها صورت گرفته است، حکایت از کارایی آنها در شناسایی مناطق فعال دارد (شریفی نجف آبادی و همکاران، ۱۳۸۹، ۲۲). لذا بیشتر بررسی های شاخص های زمین ریختی به محاسبه شاخص های خاص در مقیاس منطقه ای، مانند حوضه زهکشی یا پیشانی کوه، پرداخته اند. شاخص های زمین ریختی علاوه بر زمین ساخت، تحت تاثیر جنس زمین و آب و هوای منطقه نیز هستند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۵۳). اندازه گیری کمی چشم اندازهای ریخت شناسی در یک منطقه، در تشخیص برخی ویژگی های آن منطقه از جمله میزان فعالیت زمین ساختی آن مفید است (کلر و پینتر، ۱۹۹۶). شاخص های زمین ریختی، تحول شبکه زهکشی و تغییرات جبهه کوهستان بر اثر فعالیت های نو زمین ساختی را نمایان می سازند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸؛ ۱۵۳). این شاخص ها در مطالعه زمین ساخت فعال نسبی بر اساس تهیه یک شاخص منفرد بسیار مفید شناخته شده اند (بال و مک فادن، ۱۹۷۷؛ آزور و

1 - Berberian, M., Yeatz, R. S.,

2 - Morphometrical Indexes

3 - Bull, W.B., McFadden, L.D.,

4 - Azor et al

5 - Keller, E.A., Pinter, N.,

6 - Silva et al

7 - Molin et al

8 - Hamdouni et al

9 - Duglas et al

10 - Ramírez-Herrera

همکاران، ۲۰۰۲؛ کلر و پینتر، ۲۰۰۲؛ سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳، مولین و همکاران، ۲۰۰۴). هدف از این پژوهش بررسی فعال بودن حرکات نو زمین ساخت حوضه آبخیز فرحزاد با بکارگیری شاخص‌های زمین‌ریختی می‌باشد و در پی این است که آیا نتایج بدست آمده از این شاخص‌ها با شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در حوضه مورد مطالعه مورد تایید قرار می‌گیرند یا نه؟ و آیا این منطقه از لحاظ فعالیت‌های زمین‌ساختی فعال است یا خیر؟

در نقاط مختلف دنیا و ایران برای مطالعه زمین‌ساخت فعال از شاخص‌های زمین‌ریختی استفاده فراوانی شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: کلر و همکاران (۱۹۶۶) برای نخستین بار از دانش ریخت زمین ساخت^۱ بعنوان زمین ساخت ژئومورفولوژی یاد کرده و شاخص‌های کمی زمین‌ریختی را برای حرکات نو زمین ساخت گسترش داده‌اند. همچنین بال و مک فادن (۱۹۷۷) برای نخستین بار از شاخص‌های ریخت سنجی برای مطالعات زمین ساختی استفاده کردند. سپس در مناطق مختلف دنیا توسط افرادی چون رکول و همکاران^۲ (۱۹۸۵) در جنوب باختری آمریکا، ولز و همکاران (۱۹۸۸) در سواحل کاستاریکا، سیلوا و همکاران (۲۰۰۳)، سیلوا (۱۹۹۴) در سواحل مدیترانه‌ای اسپانیا، رامیرز هررا (۱۹۹۸) گرابن آکادمی مکزیک، گارنیری و پیروتا^۳ (۲۰۰۸) شمال خاوری سیسیلی و همدونی و همکاران (۲۰۰۸) در جنوب باختری رشته کوه مرتفع نوادا در اسپانیا و... مورد آزمون قرار گرفته و تایید شده است. علاوه بر اینها، بال (۱۹۸۴) با مطالعه تراس‌های رودخانه‌ای به این نتیجه دست پیدا کرد که تراس‌های رودخانه‌ای و نیمرخ طولی رودخانه‌ها متأثر از حرکات زمین ساختی تحول یافته‌اند. سیلوا و همکاران (۲۰۰۳)، زمین‌ساخت فعال نسبی پیشانی‌های مختلف کوه را در جنوب باختر اسپانیا، با محاسبه شاخص‌های Smf, Vf مورد بررسی قرار داده، اما در مطالعات خود از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده نکرده‌اند. همدونی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی و شاخص نسبی فعالیت زمین ساختی، زمین ساخت فعال جنوب اسپانیا را طبقه بندی و مناطق فعال آن را مشخص نمودند. مقیمی (۲۰۰۹) نیز به مطالعه تاثیرات فعالیت‌های زمین ساختی فعال بر روی حوضه آبریز لوت پرداخته و با استناد به شاخص‌های مختلف زمین‌ریختی به این نتیجه رسیده است که فعالیت‌های زمین‌ساختی رخ داده در این منطقه، جوان‌اند. گورابی و نوحه گر (۱۳۸۶) به بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی زمین‌ساخت فعال حوضه آبخیز درکه با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی پرداخته و دریافته‌اند که مقادیر این شاخص‌ها حاکی از زمین‌ساخت فعال منطقه می‌باشد و در نهایت با توجه به شاخص شیب طولی رود (SL) اقدام به طبقه بندی این حوضه کردند. کرمی (۱۳۸۸) به مطالعه ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین ساختی با استفاده از تحلیل‌های شکل سنجی و داده‌های لرزه زمین‌ساختی در حوضه اوجان چای پرداخته و نتایج این پژوهش نشان دهنده این است که کل حوضه اوجان چای دارای فعالیت‌های زمین‌ساختی زیاد است. خاوری (۱۳۸۹) به بررسی زمین ساخت فعال نسبی حوضه کرج بر اساس شاخص‌های زمین‌ریختی پرداخته و نتایج این بررسی در نهایت بعنوان شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه و به چهار رده شامل مناطق خیلی فعال تا مناطق با فعالیت کم تقسیم بندی شد و در نهایت نشان دهنده فعال بودن حوضه رودخانه کرج است. صفاری و منصوری (۱۳۹۲) در مقاله‌ای با عنوان: ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین ساختی بخش علیای حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به ارزیابی میزان فعالیت‌های زمین ساختی حوضه پیش‌گفته پرداختند و دریافتند که حوضه آبخیز کنگیر دارای وضعیت زمین‌ساختی نسبتاً فعالی است؛ به بیان دقیق‌تر حوضه کنگیر بر اساس شاخص‌های Smf, Eu, Fd, Sl, Af, Vf در کلاس یک فعالیت قرار دارد. همچنین مقادیر کمی شاخص‌های محاسبه شده توسط نامبردگان با شواهد ژئومورفولوژی موجود در منطقه مازند و جود دره‌های ژرف و V شکل، پرتگاه‌های گسلی، سطوح مثلثی شکل، بریدگی کم جبهه کوهستان، کج شدگی زهکش اصلی و عدم تشکیل کوهپایه مطابقت دارد. در این نوشتار، از یک روش کمی بر اساس شاخص‌های زمین‌ریختی، برای تعیین میزان فعالیت زمین ساختی حوضه فرحزاد استفاده شده است (همدونی و همکاران، ۲۰۰۷).

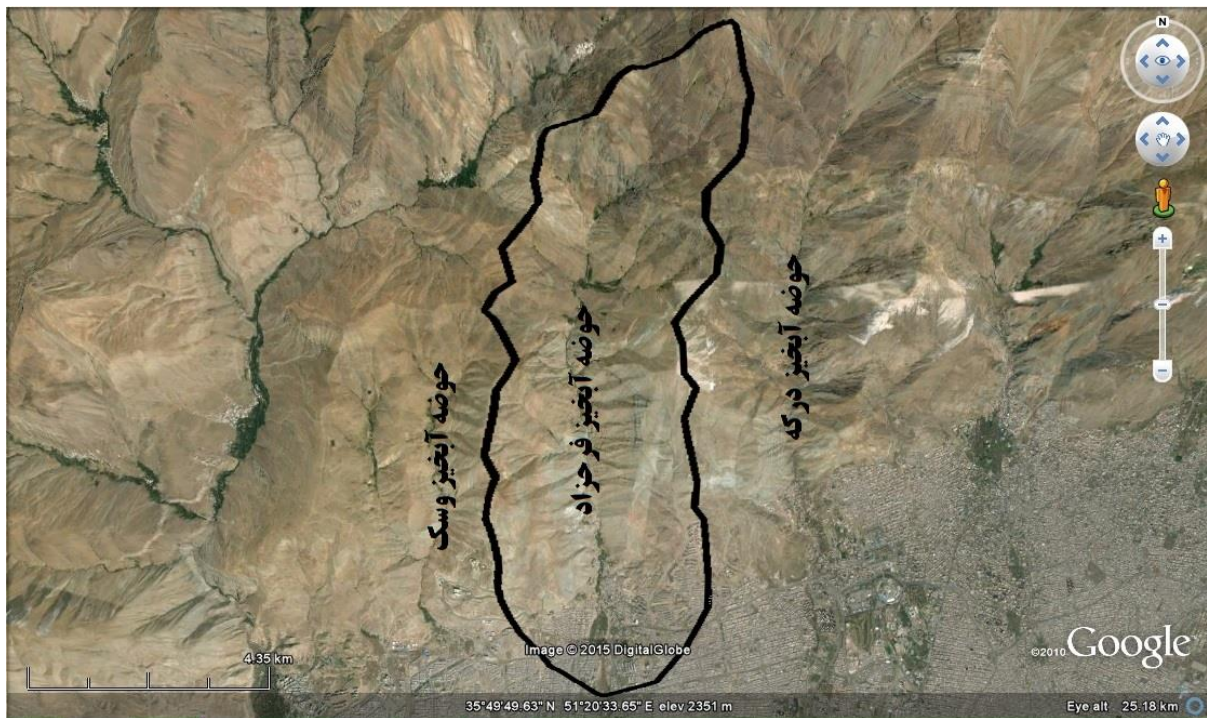
موقعیت منطقه مورد مطالعه

¹ - Morphotectonic

² - Rockwell

³ - Guarnieri, P., Pirrotta, C.,

حوضه آبخیز فرحزاد با وسعتی معادل ۳۵/۸ کیلومترمربع یکی از حوضه‌های شمالی کلان شهر تهران می‌باشد. این حوضه در راستای پهنای جغرافیایی $35^{\circ} 47' 30''$ تا $35^{\circ} 52' 41''$ شمالی از خط استوا و در راستای درازای جغرافیایی $51^{\circ} 19' 10''$ تا $51^{\circ} 21' 58''$ خاوری از نیمروز گرینویچ واقع شده است. تنها زهکش اصلی این حوضه رودخانه فرحزاد می‌باشد. این رودخانه از جهت شمال بسوی جنوب در جریان می‌باشد و شاخه‌های فرعی خود را از دامنه‌های خاوری و باختری دریافت می‌نماید (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی ساختمانی جزئی از البرز مرکزی محسوب می‌گردد (جداری عیوضی، ۱۳۷۸، ۳۹).

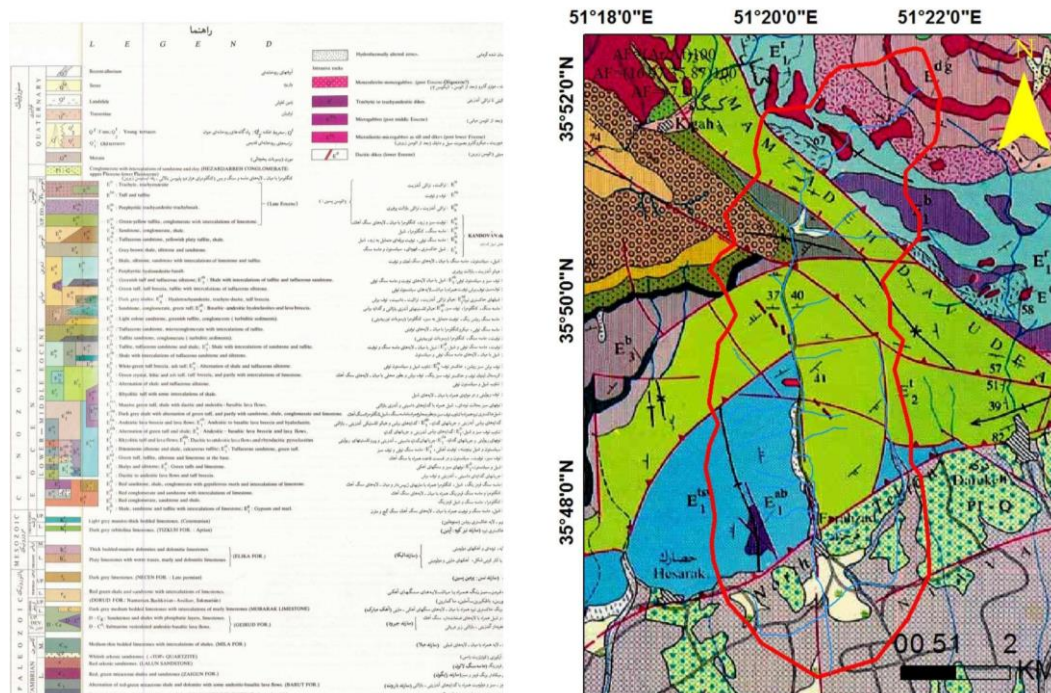


شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز فرحزاد و دیگر حوضه‌های اطراف آن در شمال شهر تهران.
 مأخذ: تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث

تحلیل ساختاری - زمین شناسی منطقه

حوضه آبخیز فرحزاد جزئی از زون البرز مرکزی در بخش ساختاری البرز یعنی زون جنوبی ترشیاری که دارای ولکانیک‌های بسیار ضخیم ائوسن می‌باشد، واقع گردیده است. از لحاظ زمین شناسی قسمت باختری رودخانه فرحزاد اغلب از E_1^{tsv} که دارای توف‌های سبز به حالت توده‌ای شیل همراه با گدازه‌های داسیتی و آندریتی بازالتی می‌باشد، تشکیل شده است. در حالی که در منطقه خاوری دره فرحزاد بویژه در قسمت شمال جنس زمین عمدتاً از کریستالیک توف و خاکستر توف سبز رنگ و به طور محلی لایه‌های سنگ آهک تشکیل شده است. قسمت‌های جنوبی دره فرحزاد که به وسیله راندگی بزرگ تهران از قسمت شمالی بر روی نقشه زمین شناسی جدا شده است عمدتاً مربوط به کواترنر می‌باشد (شکل ۲). از مهمترین عناصر ساختاری منطقه می‌توان به گسل‌ها، درزه‌ها و چین‌ها اشاره کرد که پس از جنس سنگ بیشترین نقش را در شکل‌دهی زمین و فرسایش سنگ‌ها به عهده داشته‌اند. از دیدگاه ژئومورفولوژی ساختمانی که ناهمواری‌های حاصل از فعالیت‌های زمین‌ساختی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد، منطقه مورد مطالعه در واحد کوهستان واقع گردیده است به طوری که در ابتدای دوران کواترنر حرکات زمین‌ساختی شدیدی که آخرین حرکات مهم زمین‌ساختی در البرز نیز بوده در آن اتفاق افتاده است. جبهه جنوبی البرز بویژه منطقه مورد مطالعه به شدت تحت تاثیر این حرکات قرار داشته و دارد. از دیدگاه ریخت شناسی فقط واحد کوهستان در این حوضه قابل شناسایی است که خود بر دو نوع دامنه منظم و نامنظم قابل تفکیک است. در دامنه‌های منظم تغییرات شیب تدریجی و یا ثابت است و برجستگی‌های مشخصی و عمده‌ای در آن دیده نمی‌شود ولی در دامنه‌های

نامنظم که از شیب ناهمگن و غیر یکنواختی برخوردارند تغییرات شیب در نیمرخ آنها بصورت ناگهانی تغییر می‌یابد که از جمله دلایل این امر می‌توان به تغییر در جنس و ماهیت سنگ‌ها، وقوع حرکات توده‌ای مانند لغزش و ریزش، جابجایی دامنه در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی نظیر گسل‌ها و شکستگی‌های بزرگ، عملکرد فرسایش به صورت آبراهه‌های متمرکز و نهایتاً فرسایش تفریقی ناشی از ماهیت کانی شناسی و سنگ شناسی لایه‌ها اشاره کرد (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۲).



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی حوزه آبخیز فرحزاد.

مأخذ: نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تهران، سازمان زمین‌شناسی کشور.

مواد و روش‌ها

ابزارهای اصلی در این پژوهش برای بررسی وضعیت فعالیت زمین‌ساختی در منطقه مورد مطالعه شامل نقشه‌های توپوگرافی (۱/۲۵۰۰۰، ۱/۵۰۰۰۰)، زمین‌شناسی (۱/۱۰۰۰۰۰)، تصاویر ماهواره‌ای منطقه، بازآرایی مکرر صحرایی و نرم افزار ARC GIS 10 می‌باشد. ابتدا بر روی نقشه توپوگرافی مرز حوزه تعیین شد و سپس لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز از آن استخراج گردید، در پایان به محاسبه مقادیر کمی شاخص‌های زمین‌ریختی VF, AF, SL, SMF, EU, FD, T, BS, S به ترتیبی که در زیر می‌آید برای حوزه فرحزاد پرداخته شده است.

بحث و یافته‌های پژوهش

شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF)

VF به عنوان نسبت پهنای کف دره به میانگین ارتفاع آن تعریف (بال و مک فادن، ۱۹۷۷؛ بال، ۱۹۷۸) و به صورت زیر

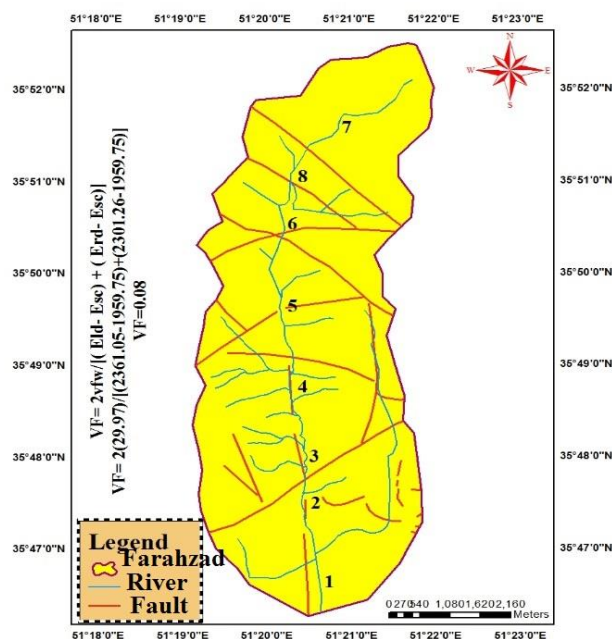
محاسبه می‌شود:

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

فرمول (۱)

در اینجا Vf نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره؛ Vfw پهنای کف دره؛ Eld ارتفاع آب پخش^۱ در سمت چپ دره؛ Erd ارتفاع آب پخش^۱ در طرف راست دره؛ Esc میانگین ارتفاع بستر دره می باشد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۵۹). این شاخص تفاوت میان دره های با بستر پهن و U شکل را در مقایسه با دره های پر شیب و باریک V شکل را نشان می دهد. دره های U شکل معمولاً با مقادیر بالایی از Vf همراه هستند که حاکی از نرخ فراخاست^۲ کم در این نواحی است، در حالی که دره های V شکل مقادیر نسبتاً کمی از شاخص را دارا می باشند که نشان دهنده نرخ فراخاست زیاد و فعال بودن فعالیت های زمین ساختی در منطقه است. این شاخص برای دره های اصلی که جبهه های کوهستان را قطع می کنند محاسبه می شود (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳).

به منظور محاسبه شاخص VF در حوضه فرحزاد ابتدا در هشت مقطع متفاوت اقدام به محاسبه این شاخص گردید (شکل ۳)، سپس از تمام VF های بدست آمده میانگین گرفته و در نهایت مقدار کل این شاخص برای حوضه فرحزاد $VF=0.08$ بدست آمد (جدول ۱) که با توجه به طبقه بندی همدونی و همکاران (۲۰۰۸) در کلاس ۱ فعالیت قرار می گیرد و حاکی از وجود فعالیت های شدید زمین ساختی در این حوضه می باشد.



شکل ۳ موقعیت نیمرخ های هشتگانه محاسبه شاخص VF در حوضه فرحزاد
ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

جدول ۱ مقادیر مربوط به محاسبه شاخص VF در حوضه فرحزاد

IAT	Vf	Esc	Eld	Erd	Vfw	ردیف
۲	۰/۸۳	۱۵۱۷/۸	۱۵۷۰	۱۵۶۰	۳۹/۶	۱
۱	۰/۰۸	۱۶۱۷/۲	۱۷۸۵/۷	۱۸۵۶/۱	۱۷/۹	۲
۱	۰/۰۵	۱۶۹۳/۵	۱۸۵۹/۹	۲۱۳۸/۵	۱۷/۶	۳
۱	۰/۱۰	۱۸۱۸/۹	۲۱۷۰/۳	۲۵۰۳/۵	۵۶/۴	۴

^۱ - Divide

^۲ - Uplift

۵	۴۰/۴	۲۴۷۵/۶	۲۷۰۰/۸	۱۹۶۰/۴	۰/۰۶	۱
۶	۲۰/۳	۲۶۴۶/۸	۲۷۵۴/۱	۲۱۵۳/۹	۰/۰۳	۱
۷	۲۷/۹	۲۶۱۹/۳	۳۰۰۱/۲	۲۶۴۳/۲	۰/۱۶	۱
۸	۱۹/۷	۲۶۱۰/۳	۳۰۱۰/۴	۲۲۷۳/۱	۰/۰۳	۱
میانگین	۲۹/۹۷	۲۳۰۱/۲۶	۲۳۶۱/۰۵	۱۹۵۹/۷۵	۰/۰۸	۱

ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تجزیش و محاسبات نویسندگان

شاخص عدم تقارن (AF)

شاخص عدم تقارن روشی برای ارزیابی وجود کج شدگی‌های ناشی از فعالیت‌های زمین‌ساختی در مقیاس حوضه‌های زهکشی است (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸). این روش شاید برای نواحی نسبتاً بزرگ و وسیع بکار برده شود (هری و گاردنر^۱، ۱۹۸۵؛ کلر و پینتر، ۲۰۰۲). این شاخص بصورت زیر محاسبه می‌شود:

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

فرمول (۲)

که در آن Af شاخص عدم تقارن، Ar مساحت قسمت سمت راست رود اصلی (دید رو به سمت پایاب) و At مساحت کل حوضه زهکشی است. اگر حوضه زهکشی در شرایط پایدار با کج شدگی کم و یا فاقد آن باشد AF برابر ۵۰ می‌باشد که نشانگر وجود تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه‌های اصلی و در نتیجه عدم وجود کج شدگی در اثر فراخاست است. این شاخص به تغییر در راستای عمود بر مسیر آبراهه حساس است. مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ نشانگر کج شدگی حوضه می‌باشند، که می‌تواند در نتیجه فعالیت‌های زمین‌ساختی یا ساختارهای حاصل از ویژگی‌های سنگ شناسی باشد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۵۷). اگر خم شدگی حوضه در جهت باختری باشد شاخه‌های بزرگ تر رود بر روی یال‌های خاوری (سمت چپ رود اصلی، دید به سمت پایاب) حوضه قرار می‌گیرند و بنابراین مقدار شاخص AF کمتر از ۵۰ خواهد بود. با عنایت به اینکه مقدار عددی بدست آمده برای این شاخص برابر با $AF=47.3$ می‌باشد (جدول ۲) و با توجه به اینکه کج شدگی حوضه فرحزاد به سمت باختری حوضه روی داده و نیز اینکه طول رودهای سمت چپ (یال خاوری) حوضه طولانی تر از بخش مقابل است به این نکته پی می‌بریم که زمین‌ساخت در این حوضه دارای فعالیت‌های شدید می‌باشد و از نشانه‌های آن می‌توان به کج شدگی حوضه به سمت راست (باختر) (شکل ۴) و فرایندهای دامنه‌ای (از نوع لغزشی و ریزشی) اشاره کرد.

جدول ۲ مقادیر مربوط به محاسبه شاخص AF در حوضه فرحزاد

نام حوضه	Ar(km ²)	At(km ²)	AF
فرحزاد	۱۶/۹۷	۳۵/۸۷	۴۷/۳۰

ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تجزیش و محاسبات نویسندگان

شاخص شیب طولی رود (SL)

توسعه توپوگرافی پیامد یک توازن بین فرآیندهای فرسایشی مانند جریان جویبارها و رودخانه‌ها بر روی سنگها و خاکها با مقاومت متغیر است (هک^۲، ۱۹۷۳) که در نهایت این توازن به تعادل پویا می‌رسد. شاخص شیب طولی رود تو سط هک در سال ۱۹۷۳ در بررسی رودخانه‌های کوه‌های آپالاش در جنوب خاوری ایالات متحده آمریکا مطرح شده است. طریقه محاسبه این شاخص به صورت زیر می‌باشد:

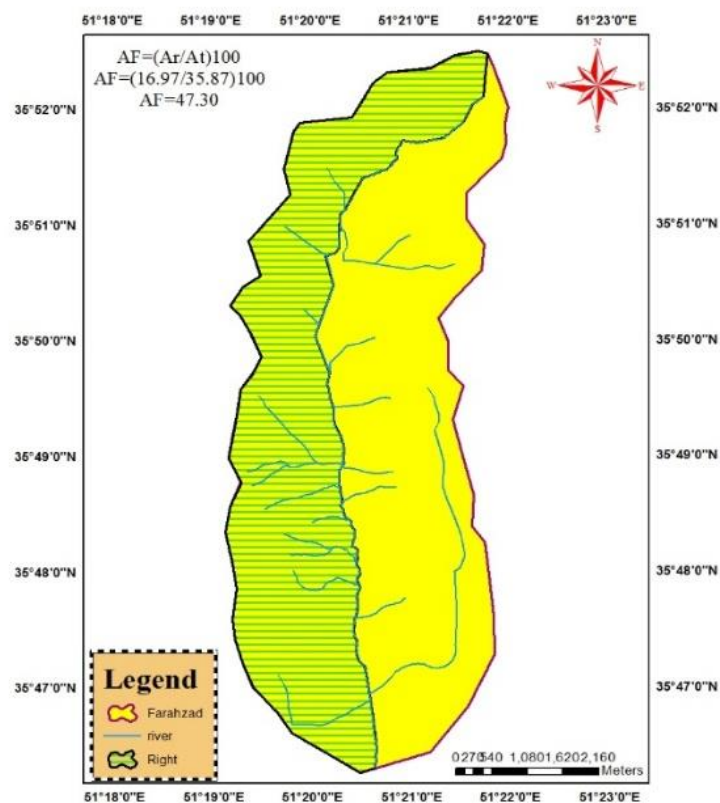
$$SL = (\Delta h / \Delta L) L$$

فرمول (۳)

¹ - Hare, P.W., Gardner, T.W.,

² - Hack

که در آن SL شیب طولی رودخانه، Δh اختلاف ارتفاع بین دو نقطه اندازه گیری شده، ΔL طول مسیر اندازه گیری شده بین دو نقطه از وسط منطقه اندازه گیری شده تا مرز حوضه در سرچشمه می باشد. این شاخص می تواند برای ارزیابی زمین ساخت فعال نسبی مورد استفاده قرار گیرد. شاخص SL در جریان رودخانه ها و جویبارها بر روی فراخاست های فعال دارای مقدار افزایشی است و ممکن است مقادیر پایین تر آن مربوط به جریان های موازی با عوارضی مانند دره های تولید شده توسط گسلش امتداد لغز باشد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۵۴). این شاخص هر گونه بی نظمی را در نیمرخ طولی رودخانه نشان می دهد و از آنجایی که به تغییرات شیب آبراهه بسیار حساس است بنابراین امکان ارزیابی ارتباط بین فعالیت های زمین ساختی با مقاومت سنگ و توپوگرافی را مهیا می سازد. هر گونه فراخاست و کج شدگی ناشی از فعالیت گسل ها و چین های فعال می تواند در افزایش گرادیان آبراهه ها و در نتیجه به افزایش SL بینجامد (خادمی، ۱۳۸۹، ۴۸). مقادیر شاخص شیب طولی رود برای حوضه فرحزاد با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و سامانه ی اطلاعات جغرافیایی تعیین گردیده است. برای محاسبه شاخص SL در حوضه آبخیز فرحزاد ابتدا نیمرخ طولی رودخانه ترسیم گردید (شکل ۵) سپس با توجه به کوهستانی بودن منطقه و به جهت سهولت در محاسبات در فواصل مشخص ۲۰۰ متری مقدار شاخص SL برای کل مسیر رودخانه فرحزاد از خروجی تا سرچشمه اندازه گیری و از تمام SL های حاصل میانگین گرفته شد و در نهایت مقدار SL برای کل رودخانه فرحزاد مقدار عددی $584/2$ بدست آمد (جدول ۳) که نشانه فعال بودن منطقه از لحاظ حرکات نو زمین ساخت و فراخاست حوضه می باشد. با توجه به نیمرخ طولی رودخانه فرحزاد ملاحظه می شود که تغییرات زیادی در طول آن دیده می شود که اکثرا ناشی از حضور و دخالت عملکرد گسهای زیادی است که در این منطقه بر رودخانه فرحزاد اثر گذاشته اند. بطوری که ملاحظه می شود حدود هشت گسل به طور مستقیم محور رودخانه را قطع نموده و سبب بروز آنومالیهای شدیدی در نرخ SL های بدست آمده شده است. همانگونه که این نیمرخ نشان می دهد در مناطقی که عملکرد گسلها کمتر بوده و یا فاقد گسل مهمی می باشد میزان شاخص SL پایین بوده (برای مثال: بالادست حوضه، $SL:250.1$) و هر جایکه گسلها حضور یافته اند میزان شاخص SL افزایش نشان داده است (برای مثال: در بیشتر طول مسیر رودخانه). بدین ترتیب تغییرات شدید نیمرخ طولی رودخانه فرحزاد و همچنین آنومالیهای زیاد در شاخص SL حاکی از فعالیت های نوزمین ساختی شدید در این حوضه می باشد.



شکل ۴ نمایی از کج شدگی حوزه فرحزاد به سمت راست (باختر) حوزه
ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسنندگان



شکل ۵ نیمرخ طولی رودخانه فرحزاد
ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسنندگان

جدول ۳ مقادیر مربوط به محاسبه شاخص SL در حوزه فرحزاد

ردیف	$\Delta H(m)$	$\Delta L(m)$	L(m)	SI
۱	۲۰۰	۳۵۶۴/۶۸	۱۰۹۱۵/۳۴	۶۱۲/۳۹
۲	۲۰۰	۲۶۵۹/۵۳	۷۸۴۶/۵۰	۵۹۰/۰۶
۳	۲۰۰	۱۵۴۷/۶۶	۵۷۷۷/۳۹	۷۴۶/۵۹
۴	۲۰۰	۱۸۵۳/۰۱	۴۰۶۸/۶۵	۴۳۹/۱۳

۹۱۶/۶۴	۲۸۳۹/۰۹	۶۱۹/۴۵	۲۰۰	۵
۶۶۲/۶۷	۲۱۹۹/۴۹	۶۶۳/۸۲	۲۰۰	۶
۲۵۰/۱۸	۱۳۳۶/۳۵	۱۰۶۸/۲۷	۲۰۰	۷
۵۸۴/۲	۴۹۹۷/۵۴	۱۷۱۰/۹۱	-----	میانگین

ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

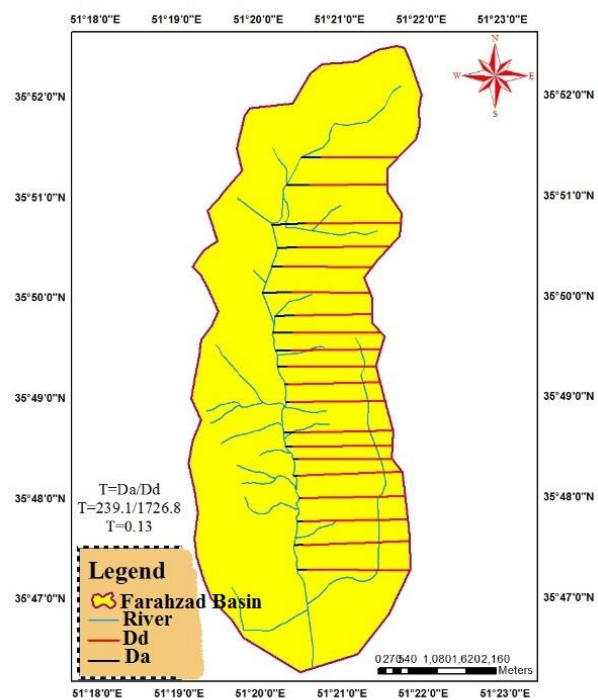
شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)

وجود عدم تقارن توپوگرافی در شبکه زهکشی حوضه‌هایی با ویژگی‌های سنگ‌شناسی تقریباً هم‌سان، عمل‌کرد زمین‌ساخت فعال را نشان می‌دهد (کلر و پینتر، ۲۰۰۲، ۱۲۸). شاخص تقارن توپوگرافی معکوس از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$T = Dd / Da$$

فرمول (۴)

که در آن Da ، فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا کمربند فعال مئاندری حوضه (رود اصلی) و Dd فاصله خط میانی حوضه تا آب‌پخش‌ان آن می‌باشد. مقدار عددی این شاخص برای حوضه‌های کاملاً متقارن برابر صفر می‌باشد، در حالی که با افزایش عدم تقارن توپوگرافی در یک حوضه، مقدار این شاخص نیز افزایش نشان می‌دهد و به عدد یک نزدیک می‌شود. بنابراین شاخص T برداری است که مقداری آن مابین ۱-۰ در تغییر می‌باشد. در محاسبه این شاخص فرض بر این است که شیب طبقات در مهاجرت آبراهه اصلی رودخانه تأثیر اندکی داشته است، در این صورت مهاجرت عمومی و کلی دلیلی بر کج‌شدگی زمین در جهت خاصی می‌باشد (گورابی و نوحه‌گر، ۱۳۸۶، ۱۸۴). برای محاسبه شاخص T در حوضه فرحزاد مقادیر Da و Dd در ۲۰ نقطه از مسیر رودخانه از پایاب تا سرچشمه حوضه اندازه‌گیری شد (شکل ۶)، سپس از مجموع این اندازه‌گیری‌ها میانگین گرفته تا مقدار عددی بدست آمده بیان‌کننده تمام مسیر رودخانه باشد. مقدار شاخص T برای حوضه فرحزاد برابر با عدد ۰/۱۳ می‌باشد (جدول ۴). با توجه به میزان شاخص T در حوضه فرحزاد در می‌یابیم که این حوضه از لحاظ فعالیت‌های نو زمین‌ساختی در وضعیت فعال به سر می‌برد. از شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در حوضه فرحزاد که مقدار شاخص T را تأیید می‌نمایند می‌توان به مواردی چون عدم تقارن شبکه زهکشی و طول بیشتر آبراهه‌ها در ساحل سمت چپ رودخانه فرحزاد اشاره کرد (نک شکل ۴).



شکل ۶ نحوه ارزیابی شاخص T در حوضه فرحزاد
 مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

جدول ۴ مقادیر مربوط به محاسبه شاخص T در حوضه فرحزاد

ردیف	Da	Dd	T
۱	۱۷۱/۶	۱۹۲۰/۴	۰/۰۸
۲	۹۱/۹	۱۹۵۴/۵	۰/۰۴
۳	۸۳/۳	۱۹۳۸	۰/۰۴
۴	۱۲۱/۰۴	۱۸۶۶/۷	۰/۰۶
۵	۱۸۳/۲	۱۸۱۳/۵	۰/۱۰
۶	۵۱/۰۶	۱۷۶۸/۳	۰/۰۲
۷	۱۶۲/۱	۱۶۶۰/۳	۰/۰۹
۸	۳۵۸/۳	۱۶۱۱/۰۵	۰/۲۲
۹	۳۵۶/۱	۱۴۳۰/۲	۰/۲۴
۱۰	۵۰۷/۹	۱۴۷۰/۹	۰/۳۴
۱۱	۲۰۴/۶	۱۶۷۴/۶	۰/۱۲
۱۲	۳۵۸/۴	۱۷۳۳/۶	۰/۲۰
۱۳	۶۳۸/۳	۱۷۴۶/۰۵	۰/۳۶
۱۴	۴۱۱/۹	۱۴۴۴/۶	۰/۲۸
۱۵	۳۵۵/۲	۱۴۷۳/۸	۰/۲۴
۱۶	۲۹/۴	۱۹۳۳/۵	۰/۰۱
۱۷	۴۲/۰۲	۱۷۲۱/۵	۰/۰۲
۱۸	۲۷۴/۲	۱۶۷۴/۰۵	۰/۱۶
۱۹	۱۴۷/۶	۱۹۷۴/۹	۰/۰۷
۲۰	۹۰/۸	۱۷۲۷/۳	۰/۰۵
میانگین	۲۳۱/۹	۱۷۲۶/۸	۰/۱۳

ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

شاخص نسبت شکل حوضه (Bs)

حوضه‌های فعال زمین‌ساختی شکل کشیده‌ای دارند. اما شکل حوضه در طول زمان با توقف میزان فراخاست، به تدریج دایره‌ای می‌شود (باربانک و آندرسون^۱، ۲۰۰۱؛ ۲۰۳). طرح افقی شکل حوضه بوسیله نسبت کشیدگی آن به شکل زیر توصیف می‌شود (کنون^۲، ۱۹۷۶؛ رامیرز-هریرا، ۱۹۹۸).

$$BS = BL/BW$$

فرمول (۵)

در اینجا BS شاخص شکل حوضه، BL طول حوضه اندازه‌گیری شده از سر چشمه تا دهانه است (طول بالاترین و پایین‌ترین ارتفاع حوضه)، و BW پهنای حوضه، که در پهن‌ترین نقطه آن اندازه‌گیری می‌شود. مقادیر بالای شاخص BS مربوط به حوضه‌های کشیده در نواحی با فعالیت‌های زمین‌ساختی فعال می‌باشد، در حال که مقادیر پایین این شاخص بیشتر حوضه‌های دایره‌ای شکل نواحی با فعالیت‌های زمین‌ساختی کم (غیر فعال) را نشان می‌دهد. فراخاست‌های سریع جبهه‌های کوهستانی، حوضه‌های کشیده و تندی را تولید می‌کند و هنگامیکه فعالیت‌های زمین‌ساختی کاهش یابند یا متوقف شوند، پهن‌شدگی حوضه رخ می‌دهد (رامیرز-هریرا، ۱۹۹۸). بر اساس طبقه‌بندی ال. همدونی و همکاران (۲۰۰۸) مقدار شاخص BS برای حوضه‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

¹ - Burbank, D.W., Anderson, R.S.,

² - Cannon, P.J.,

حوضه فعال (کلاس ۱) $BS > 4 \rightarrow$

حوضه نیمه فعال (کلاس ۲) $BS = 3-4 \rightarrow$

حوضه غیر فعال (کلاس ۳) $BS < 3 \rightarrow$

میزان شاخص BS برای حوضه فرحزاد مقدار عددی $BS=3.1$ بدست آمد (جدول ۵)، که با توجه به طبقه بندی مذکور در کلاس $IAT=2$ (نیمه فعال) قرار می گیرد، و حاکی از این است که حوضه فرحزاد بر اساس این شاخص دارای فعالیت زمین ساختی متوسط می باشد و هنوز فعالیت های نو زمین ساختی در کمربند کوهستانی البرز ادامه دارد.

جدول ۵ مقادیر مربوط به شاخص BS در حوضه فرحزاد

نام حوضه	Bl(km)	Bw(km)	BS
فرحزاد	۱۱/۶۴	۳/۸	۳/۱

ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

شاخص پیچ و خم رودخانه (S)

متناسب با تغییرات زمین ساختی که منجر به تغییر شیب دره رودخانه می شود، جهت حفظ تعادل شیب رودخانه، پیچ و خم رودخانه نیز جابجا می شود. از نظر چار چوب نظری، در رودخانه هایی که تقریباً به حالت تعادل رسیده اند، رودخانه جهت حفظ تعادل بین شیب با دبی و رسوبگذاری، پیچ می خورد. به عبارت دیگر رودخانه هایی که دارای پیچ و خم زیاد هستند به حالت تعادل نزدیک شده، در حالی که مستقیم بودن مسیر رودخانه بیشتر حاکی از جوان بودن منطقه و فعالیت نو زمین ساختی است. برای ارزیابی پیچ و خم آبراهه از فرمول ذیل استفاده می گردد:

$$S = C / V \quad \text{فرمول (۶)}$$

که در آن S میزان پیچ و خم آبراهه، C طول رودخانه و V طول دره می باشد. هر چقدر مقادیر عددی بدست آمده زیاد باشد، حاکی از نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل است و هر چقدر کمتر باشد، دلیل بر فعال بودن زمین ساخت در آن منطقه است. با محاسبه شاخص S بر روی حوضه فرحزاد مقدار عددی بدست آمده برای این شاخص برابر با $S=1.16$ می باشد (جدول ۶). بنابراین با توجه به این شاخص می توان نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه از نظر زمین ساخت به حالت تعادل نرسیده و نیروهای درونی و زمین ساختی هنوز هم در تحول شکل زایی منطقه نقش بسزایی دارند.

جدول ۶ مقادیر مربوط به محاسبه شاخص S در حوضه فرحزاد

نام حوضه	c	v	S
فرحزاد	۱۲۵۲۱/۳۱	۱۰۷۸۹/۹۰	۱/۱۶

ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

شاخص پیچ و خم کوهستان (SMF)

این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

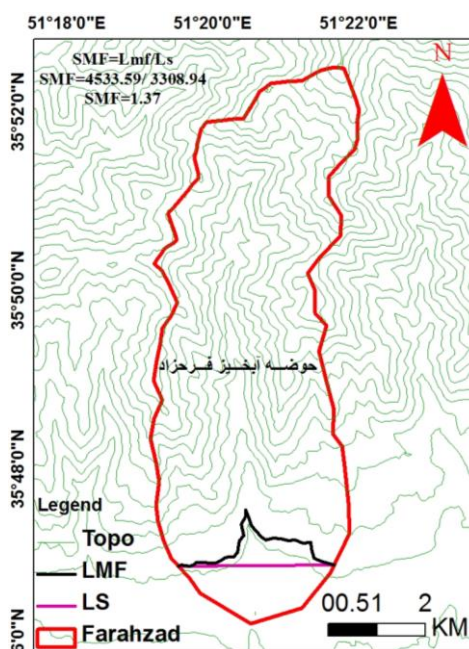
$$Smf = Lmf / Ls \quad \text{فرمول (۷)}$$

که در آن Smf شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان، Lmf طول جبهه کوهستان در امتداد کوهپایه و در محل شکست شیب (خط کنیک) و LS طول مستقیم جبهه کوهستان است. این شاخص نشانگر تعادل بین فرایندهای فرسایشی که تمایل به فرسایش و ایجاد فرورفتگی در جبهه کوهستان دارند و نیروهای زمین‌ساختی می‌باشد که ایجادکننده جبهه‌های کوهستانی مستقیم هم‌زمان با چین‌ها و گسل‌های فعال هستند (بال و مک فادن، ۱۹۷۷؛ کلر، ۱۹۸۶). جبهه‌های کوهستانی فعال با مقادیر کم Smf و جبهه کوهستانی با فعالیت کم یا بدون فعالیت با مقادیر Smf بالایی همراه می‌باشند. مقادیر این شاخص به آسانی از طریق نقشه‌های توپوگرافی و یا عکس‌های هوایی قابل محاسبه است (بال و مک فادن، ۱۹۷۷). مقادیر کمتر از ۱/۴ برای این شاخص نشان‌دهنده جبهه زمین‌ساختی فعال بوده و مقادیر بالاتر آن (معمولاً بیشتر از ۳) به‌طور معمول در ارتباط با جبهه غیرفعال است (راکول و همکاران، ۱۹۸۵؛ کلر، ۱۹۸۶). محاسبه شاخص Smf برای حوضه آبخیز فرحزاد در جدول ۷ ارائه شده است. مقدار عددی به دست آمده برای این شاخص نشانگر وجود فعالیت زمین‌ساختی شدید در این حوضه می‌باشد و آن را در کلاس یک فعالیت قرار می‌دهد (جدول ۷).

جدول (۷) محاسبه شاخص SMF در حوضه فرحزاد

نام حوضه	$LMF(M)$	$LS(M)$	SMF
فرحزاد	۴۵۳۳/۵۹	۳۳۰۸/۹۴	۱/۳۷

ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان



شکل ۶ نحوه ارزیابی شاخص SMF در حوضه فرحزاد

ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

شاخص درصد قسمت‌های بریده نشده جبهه کوهستان (Eu)

شاخص درصد قسمت‌های بریده نشده جبهه کوهستان به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Eu = Lce / Ls$$

فرمول (۸)

که در آن Eu شاخص درصد قسمت‌های بریده نشده جبهه کوهستان، Lce طول بخش‌های بریده نشده کوهستان و Ls طول مستقیم جبهه کوهستان می‌باشد. معمولاً در مناطق فعال زمین‌ساختی، جبهه‌های کوهستانی دارای پرتگاه‌های متعدد و بدون بریدگی می‌باشند، بنابراین مقدار شاخص Eu در این مناطق بالاست. اما در امتداد جبهه‌های کوهستانی با فعالیت زمین‌ساختی پایین‌تر پرتگاه‌های بریده شده بیشتر دیده می‌شوند، بنابراین، این شاخص مقادیر پایینی خواهد داشت (رام‌پرز-هریرا، ۱۹۹۸). میزان این شاخص برای حوضه فرحزاد برابر با عدد ۰/۷۵ به دست آمد و همانند سایر شاخص‌ها دالالت بر فعالیت زیاد زمین‌ساختی در این حوضه دارد (جدول ۸).

جدول (۸) محاسبه شاخص EU در حوضه فرحزاد

EU	LS(M)	LCE(M)	نام حوضه
۰/۷۵	۳۵۱۷/۰۴	۲۶۲۷/۷۱	فرحزاد

ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

شاخص درصد قسمت‌های بریده شده جبهه کوهستان (Fd)

شاخص Fd به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$Fd = Lmfd / Ls$$

فرمول (۹)

که در آن Fd شاخص درصد قسمت‌های بریده شده جبهه کوهستان، Lmfd طول بخش‌های بریده شده جبهه کوهستان ناشی از جریان آبراهه‌ها و Ls طول جبهه کوهستان به خط مستقیم می‌باشد. جبهه‌های کوهستانی در مناطق فعال زمین‌ساختی به دلیل اینکه نیروهای زمین‌ساختی معمولاً پیشانی‌های خطی و مستقیمی ایجاد می‌کنند، کمتر بریده می‌شوند، بنابراین مقادیر شاخص Fd در آنها پایین خواهد بود (ولز و همکاران، ۱۹۹۸). مقادیر حاصل از این شاخص معمولاً به صورت کمیتی بین ۱-۰ تعریف می‌شود. هر چقدر مقدار این شاخص به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، نشانگر فعال بودن جبهه‌های کوهستانی و هر چقدر مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد، نشان از غیر فعال بودن جبهه‌های کوهستانی از لحاظ فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌باشد. محاسبه این شاخص برای حوضه فرحزاد برابر با عدد ۰/۲۷ بدست آمد (جدول ۹)، که همانند دیگر شاخص‌ها، نشان‌گر فعال بودن جبهه کوهستانی در این حوضه می‌باشد.

جدول (۹) محاسبه شاخص FD در حوضه فرحزاد

FD	LS(M)	LMFD(M)	نام حوضه
۰/۲۷	۳۵۱۷/۰۴	۹۶۸/۲۷	فرحزاد

ماخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

نتیجه گیری

هدف این مقاله بررسی وضعیت فعالیتهای زمین‌ساختی در حوضه آبخیز فرحزاد بوده است. شاخص‌های زمین‌ریختی، روش مفید و قابل اطمینانی را برای بررسی میزان فعالیت زمین‌ساختی فراهم می‌آورند. هنگامیکه در یک منطقه ویژه به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل فعالیتهای زمین‌ساختی چندین شاخص ریخت‌زمین‌ساخت باهم مورد استفاده قرار گیرند، نسبت به بکارگیری تنها یک شاخص، نتایج منطقی، مستدل و معنادارتری را نشان خواهد داد. به همین دلیل برای دست‌یابی

به نتایج مطلوب و مطمئن به منظور بررسی وضعیت زمین ساخت حوضه فرحزاد از شش شاخص ریخت زمین ساختی مختلف (VF, AF, SL, SMF, EU, FD, T, BS, S) استفاده گردید.

نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل این شاخص ها در منطقه مورد مطالعه، که از طریق بررسی توپوگرافی، شکل حوضه، وضعیت شبکه آبراهه، ریخت سنجی دره ها و تقارن حوضه صورت گرفت، نشانگر این است که سیمای کلی منطقه تا حد زیادی ناشی از فعالیت های زمین ساختی منطقه و بویژه عملکرد گسل های متعددی است که در محدوده مورد نظر فعالیت داشته اند. براساس بررسی های صورت گرفته برای ارزیابی حرکات نو زمین ساخت فعال در حوضه آبخیز فرحزاد با استفاده از شاخص های زمین ریختی می توان چنین نتیجه گرفت که:

۱- با محاسبه شاخص VF و مقادیر بدست آمده برای حوضه فرحزاد (دره اصلی رودخانه) مشخص شد که این حوضه از لحاظ فعالیت های نو زمین ساختی در وضعیت فعال به سر می برد.

۲- با توجه به نتیجه ی حاصل برای شاخص AF، حوضه فرحزاد دارای فعالیت های نو زمین ساختی شدید می باشد و از نشانه های آن می توان به عدم تقارن حوضه اشاره کرد.

۳- SL محاسبه شده برای حوضه فرحزاد دارای نرخ بالایی است، که این خود نشانه فعال بودن منطقه از لحاظ حرکات نو زمین ساخت و فراخاست حوضه می باشد، بطوری که تغییرات زیاد نیمرخ طولی رودخانه فرحزاد می تواند دلیلی بر این مدعا باشد.

۴- منطقه مورد مطالعه از نظر شاخص T در وضعیت فعال قرار دارد.

۵- این منطقه از لحاظ شاخص BS در وضعیت نیمه فعال (کلاس ۲) قرار دارد.

۶- مقدار محاسبه شده برای شاخص S در حوضه فرحزاد برابر با عدد ۱/۱۶ می باشد. بر اساس این شاخص می توان نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه از نظر زمین ساخت به حالت تعادل نرسیده و نیروهای درونی و زمین ساختی هنوز هم در تحول شکل زایی منطقه نقش بسزایی دارند.

۷- شاخص Smf برای حوضه آبخیز فرحزاد محاسبه گردید و مقدار عددی ۱/۳۷ بدست آمد. این مقدار نشانه فعالیت نسبتاً زیاد زمین ساختی در این حوضه بوده و آن را در کلاس یک فعالیت زمین ساختی قرار می دهد.

۸- مناطق فعال زمین ساختی، در امتداد جبهه های کوهستانی دارای پرتگاه های ممتد و بدون بریدگی می باشند، بنابراین مقدار شاخص Eu در این مناطق زیاد خواهد بود. مقدار بدست آمده برای شاخص Eu در حوضه آبخیز فرحزاد برابر با ۰/۷۵ بدست آمد که نشانگر وجود فعالیت زمین ساختی زیاد در این حوضه می باشد.

۹- گسل هایی است که در مناطق حاشیه ای جبهه های کوهستانی وجود دارند، بر مقادیر شاخص Fd تاثیر می گذارند. از این رو، در مناطق زمین ساختی فعال، جبهه های کوهستانی بریدگی کمتری دارند، بنابراین مقدار این شاخص پایین خواهد بود. مقدار بدست آمده برای این شاخص در حوضه فرحزاد برابر ۰/۲۷ بود. این شاخص نیز همانند دیگر شاخص های به کار گرفته شده در منطقه، گویای فعال بودن این حوضه می باشد.

مقادیر به دست آمده برای شاخص های زمین ریختی و طبقه بندی میزان آنها حاکی از وجود حرکات نو زمین ساخت فعال در حوضه به صورت فراخاست و عملکرد سیستم گسلی می باشد و نشانه این است که حوضه آبخیز فرحزاد دارای فعالیت شدید نو زمین ساختی می باشد و در نهایت با جمع بندی تمام شاخص ها این حوضه در کلاس ۱ فعالیت زمین ساختی ($IAT=1$) قرار می گیرد.

منابع

- ۱- جداری عیوضی، ج (۱۳۷۸)؛ «ژئومورفولوژی ایران»، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- ۲- خادمی، م (۱۳۸۹)؛ «محاسبه و تفسیر برخی شاخص های ریخت زمین ساختی پیرامون گسل ترو، جنوب دامغان»، مجله علوم زمین، شماره ۷۵، صص ۴۷-۵۶.
- ۳- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۶۱)، نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰۰ تجریش.
- ۴- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۶۷)، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ تهران.
- ۵- سازمان فضایی کشور، تصویر ماهواره ای ETM⁺ تهران.
- ۶- سلیمانی، ش (۱۳۷۸)؛ «رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه شناسی»، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، چاپ اول.
- ۷- شریفی نجف آبادی، ر، معیری، م، غیور، ح. ع، صفایی، ه، سیف، ع (۱۳۸۹)؛ «بررسی و تحلیل شواهد ژئومورفیک زمین ساخت در حوضه رودبار از سرشاخه های دز»، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صص ۲۱-۳۶.
- ۸- صفاری، ا، و منصوری، ر، (۱۳۹۲)؛ "ارزیابی نسبی فعالیت های زمین ساختی بخش علیای حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب) با استفاده از شاخص های ژئومورفیک"، مجله جغرافیا و آمایش شهری- منطقه ای، شماره ۷، صص ۳۵-۵۰.
- ۹- گورابی، الف و نوحه گر، الف (۱۳۸۶)؛ «شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه»، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص ۱۹۶-۱۷۷.
- ۱۰- مددی، ع، رضایی مقدم، م. ح، رجایی، ع. ا (۱۳۸۳)؛ «تحلیل فعالیت های نئوتکتونیک با استفاده از روش های ژئومورفولوژی در دامنه های شمال غربی تالش (باغرو داغ)»، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۴۸، صص ۱۲۳-۱۳۸.
- ۱۱- وزارت جهاد کشاورزی (آبخیزداری)، گزارش طرح جامع تهران (هیدرولوژی، اقلیم و زمین شناسی)، ۱۳۸۲، تهران.
- 12- 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, 745-753.
- 13- Berberian, M., Yeatz, R. S., (2001), "Contribution of archeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau", Journal of Structural Geology 23, 563-584.
- 14- 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.
- 15- Bull, W.B., McFadden, L.D., (1977), "Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D.O. (Ed.)", Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton, pp. 115-138.
- 16- Burbank, D.W., Anderson, R.S., (2001), "Tectonic Geomorphology", Blackwell Science.
- Chen, Y.C., Sung, Q., Chen, K.Y., (2003), "Along - strike Variations of Morphotectonic Fetures in the Western Foothills of Taiwan", Geomorphology, 56, 109-137.
- 17- Cannon, P.J., (1976), "Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin". Oklahoma Geology Notes 36 (1), 3-16.
- 18- Duglas W.burbank, Robert S. Anderson (2001), "Tectonic Geomorphology", Blackwell Science, Ltd.
- 19- EL Hamdouni, R.E., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J. , Keller E.A., (2008), "Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada (Southern Spain)", Geomorphology, 96, 150-173.
- 20- 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, MA, pp. 123–134.
- 21- Keller, E.A., Pinter, N., (1996), "Active, Tectonics: Earthquake, Uplift and Landscape, Prentice Hall Publication", London.
 - 22- Keller, E.A., Pinter, N., (2002), "Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. Prentice Hall", New Jersey.
 - 23- 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, 559–589.
 - 24- Ramirez- Herrera, M.T., (1998) "Geomorphic Assessment of active tectonic in the Acambay Graben", Mexican Volcamic belt Earth Surface and landforms 23,317-322.
 - 25- 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", Gemorphology 250, 203–226.
 - 26- Wells, S.G., Bullard, T.F., Menges, T.M., Drake, P.G., Karas, P.A., Kelson, K.I., Ritter, J.B., Wesling, J.R., 1988. Regional variations in tectonic geomorphology along segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica. Geomorphology 1, 239–265.
 - 27- Keller, E. A., 1986-Investigation of active tectonic: use of surficial Earth processes. In: Wallace, R. E. (Ed), Active tectonics, Studies in Gephysics. National Academy Press, Washington, DC, pp. 136-147.