

تحلیل فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبخیز فرحزاد از طریق شاخص‌های ژئومورفیک

رضا منصوری^۱

امیر صفاری^۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۶/۲۷

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۲/۱

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 S، SL، VF، AF، T، SMF، EU، FD 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.

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

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی/ مدیریت محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی Re_mansouri@sbu.ac.ir

۲- دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی Saffari@khu.ac.ir

مقدمه

زمین‌ریختی بطور ویژه برای مطالعه زمین‌ساخت فعال مورد استفاده قرار می‌گیرند (داگلاس و همکاران، ۲۰۰۱). شاخص‌های زمین‌ریختی در بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی ابزار مفید و قابل اطمینانی هستند، چرا که با استفاده از آنها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع یا کند زمین‌ساختی را تجربه کرده‌اند به راحتی شناسایی نمود (رامیرز-هریرا، ۱۹۹۱: ۳۱۷). استفاده همزمان از شاخص‌های زمین‌ریختی این امکان را به ما می‌دهد تا درک و تحلیل درستی از وضعیت نو زمین‌ساخت منطقه داشته باشیم (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۵۳). مطالعات پیشین که در سایر نقاط جهان با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریخت‌سنجی بر روی حوضه‌ها و شبکه‌های آبراهه‌ها صورت گرفته است، حکایت از کارایی آنها در شناسایی مناطق فعال دارد (شریفی نجف آبادی و همکاران، ۱۳۸۹، ۲۲). لذا بیشتر بررسی‌های شاخص‌های زمین‌ریختی به محاسبه شاخص‌های خاص در مقیاس منطقه‌ای، مانند حوضه زهکشی یا پیشانی کوه، پرداخته‌اند. شاخص‌های زمین‌ریختی علاوه بر زمین‌ساخت، تحت تأثیر جنس زمین و آب و هوای منطقه نیز هستند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۵۳). اندازه‌گیری کمی چشم‌اندازهای ریخت‌شناسی در یک منطقه، در تشخیص برخی ویژگی‌های آن منطقه از جمله میزان فعالیت زمین‌ساختی آن مفید است (کلر و پینتر، ۱۹۹۶). شاخص‌های زمین‌ریختی، تحول شبکه زهکشی و تغییرات جبهه کوهستان بر اثر فعالیت‌های نو زمین‌ساختی را نمایان می‌سازند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸؛ ۱۵۳). این شاخص‌ها در مطالعه زمین‌ساخت فعال نسبی بر اساس تهیه یک شاخص منفرد بسیار مفید شناخته شده‌اند (بال و مک فادن، ۱۹۷۷؛ آزور و همکاران، ۲۰۰۲؛ کلر و پینتر، ۲۰۰۲؛ سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، مولین و همکاران، ۲۰۰۴). هدف از این پژوهش بررسی فعال بودن حرکات نو زمین‌ساخت 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 تأیید

رشته‌کوه البرز در حاشیه جنوبی حوضه کاسپین جنوبی، با عرض ۱۰۰ کیلومتر و طول ۲۰۰۰ کیلومتر از قفقاز کوچک در شمال باختر تا رشته کوه‌های پاروپامیسوز در شمال افغانستان در خاور گسترده است و زمین‌ساخت فعالی را نشان می‌دهد (بربریان و یس، ۲۰۰۱). شناسایی مناطق فعال زمین‌ساختی اهمیت فراوانی دارد، زیرا در این گونه بررسی‌ها زمین‌ساخت فعال بیانگر حرکات جوانترین دوره زمانی یعنی کوآترن و بخصوص دوره هولوسن و زمان حال می‌باشد (سلیمانی، ۱۳۷۸، ۱). بسیاری از اشکال ژئومورفولوژیکی در برابر حرکات زمین‌ساختی فعال بسیار حساس می‌باشند و همزمان با آن تغییر می‌کنند (مددی و همکاران، ۱۳۸۳، ۱۲۴). از این رو، تحلیل‌های توپوگرافیکی، به عنوان یکی از ابزارهای مفید در اندازه‌گیری شکل‌های چشم‌اندازها محسوب می‌شوند؛ زیرا اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی بر توپوگرافی زمین بسیار گسترده است (صفاری و منصوری، ۱۳۹۲). در مقیاس ناحیه‌ای، بدست آوردن نرخ زمین‌ساخت و یا حتی دانستن این که در کدام ناحیه خاص مطالعات کمی برای تعیین نرخ فعالیت صورت می‌گیرد، مشکل است. طی سال‌های اخیر پژوهشگران زیادی سعی در کمی نمودن حرکات زمین‌ساختی داشته‌اند که نهایتاً شاخص‌های متعددی را با عنوان شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی یا شاخص‌های ریخت‌سنجی^۲ ارایه نموده‌اند (سلیمانی، ۱۳۷۸). بمنظور بررسی میزان دگرریختی ایجاد شده حاصل از فعالیت‌های زمین‌ساختی، از شاخص‌های پیکر شناسی زمین می‌توان استفاده کرد (بال و مک فادن، ۱۹۷۷؛ آزور و همکاران، ۲۰۰۲؛ کلر و پینتر، ۲۰۰۲؛ سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳؛ مولین و همکاران، ۲۰۰۴؛ همدونی و همکاران، ۲۰۰۷). شاخص‌های

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 - Ramirez-Herrera

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 دریافتند که مقادیر این شاخص‌ها حاکی از زمین‌ساخت فعال منطقه می‌باشد و در نهایت با توجه به شاخص شیب طولی رود (SL) اقدام به طبقه‌بندی این حوضه کردند. کرمی (۱۳۸۸) به مطالعه ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی با استفاده از تحلیل‌های شکل‌سنجی و داده‌های لرزه‌زمین‌ساختی 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 زمین‌ساخت فعال نسبی حوضه کرج بر اساس شاخص‌های زمین‌ریختی پرداخته و نتایج این بررسی در نهایت بعنوان شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه و به چهار رده شامل مناطق خیلی فعال تا مناطق با فعالیت کم تقسیم‌بندی شد و در نهایت نشان دهنده فعال بودن حوضه رودخانه کرج است. صفاری و منصور (۱۳۹۲) در مقاله‌ای با عنوان: ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی بخش علیای حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به ارزیابی میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی حوضه پیش‌گفته پرداختند و دریافتند که حوضه آبخیز کنگیر دارای وضعیت زمین‌ساختی نسبتاً فعالی است؛ به بیان دقیق‌تر حوضه کنگیر بر اساس شاخص‌های Smf, Vf, Af, Sl, Fd, Eu, Smf در کلاس یک فعالیت قرار دارد. همچنین مقادیر کمی شاخص‌های محاسبه شده توسط نامبردگان با شواهد ژئومورفولوژی موجود در منطقه مانند وجود دره‌های ژرف و V شکل، پرتگاه‌های گسلی، سطوح مثلثی شکل، بریدگی کم‌جبهه کوهستان، کج‌شدگی زهکش اصلی و عدم تشکیل کوهپایه مطابقت دارد. در این نوشتار، از یک روش کمی بر اساس شاخص‌های زمین‌ریختی، برای تعیین میزان فعالیت زمین‌ساختی حوضه فرحزاد استفاده شده است (همدونی و همکاران، ۲۰۰۷).

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 به موارد زیر می‌توان اشاره کرد: کلر و همکاران (۱۹۶۶) برای نخستین بار از دانش ریخت‌زمین‌ساخت^۱ بعنوان زمین‌ساخت ژئومورفولوژی یاد کرده و شاخص‌های کمی زمین‌ریختی را برای حرکات نو زمین‌ساخت گسترش داده‌اند. همچنین بال و مک فادن (۱۹۷۷) برای نخستین بار از شاخص‌های ریخت‌سنجی برای مطالعات زمین‌ساختی 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) گراین آکادمی مکزیک، گارنیری و پیروتا^۳ (۲۰۰۸) شمال خاوری سیسیلی و همدونی و همکاران (۲۰۰۸) در جنوب باختری رشته‌کوه مرتفع نوادا در اسپانیا و... مورد آزمون قرار گرفته و تأیید 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 زمین‌ساختی 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 زمین‌ساختی، زمین‌ساخت فعال جنوب اسپانیا را طبقه‌بندی و مناطق فعال آن را مشخص نمودند. مقیمی (۲۰۰۹) نیز به مطالعه تأثیرات فعالیت‌های زمین‌ساختی فعال بر روی حوضه آبریز لوت پرداخته و با استناد به شاخص‌های مختلف زمین‌ریختی به

1 - Morphotectonic

2 - Rockwell

3 - Guarnieri, P., Pirrotta, C.,

موقعیت منطقه مورد مطالعه

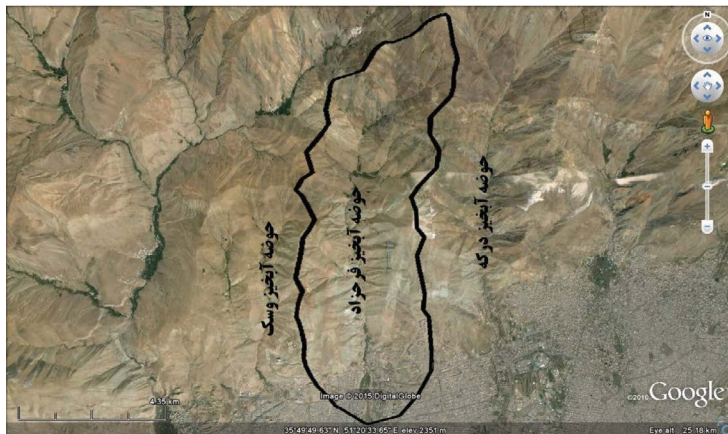
حوضه آبخیز فرحزاد با وسعتی معادل ۳۵/۸ کیلومترمربع یکی از حوضه‌های شمالی کلان شهر تهران می‌باشد. این حوضه در راستای پهنای جغرافیایی ۳۰° ۴۷' تا ۳۵° ۴۱' ۵۲' شمالی از خط استوا و در راستای درازای جغرافیایی ۱۰° ۱۹' ۵۱' تا ۵۸° ۲۱' ۵۱' خاوری از نیمروز گرینویچ واقع شده است. تنها زهکش اصلی این حوضه رودخانه فرحزاد می‌باشد. این رودخانه از جهت شمال بسوی جنوب در جریان می‌باشد و شاخه‌های فرعی خود را از دامنه‌های خاوری و باختری دریافت می‌نماید (نگاره ۱). منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی ساختمانی جزیی از البرز مرکزی محسوب می‌گردد (جداری عیوضی، ۱۳۷۱، ۳۹).

تحلیل ساختاری - زمین شناسی منطقه

حوضه آبخیز فرحزاد جزیی از زون البرز مرکزی در بخش ساختاری البرز یعنی زون جنوبی ترشیاری که دارای ولکانیک‌های بسیار ضخیم ائوسن می‌باشد، واقع گردیده است. از لحاظ زمین‌شناسی قسمت باختری رودخانه فرحزاد اغلب از E1tsv 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 زمین‌شناسی جدا شده است عمدتاً

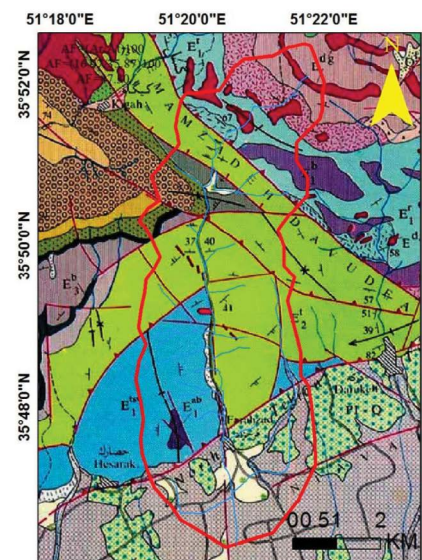
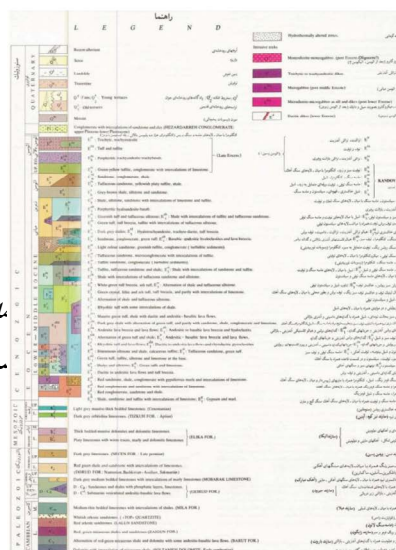
نگاره ۱. موقعیت حوضه آبخیز فرحزاد و دیگر حوضه‌های اطراف آن در شمال شهر تهران.

مأخذ: تصویر ماهواره‌ای گوگل‌ارث



نگاره ۲. نقشه زمین‌شناسی حوضه آبخیز فرحزاد.

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



فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر) تحلیل فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبخیز فرحزاد ... / ۹۷

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 حوضه 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:

فرمول (۱)

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

در اینجا Vf نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره؛ Vfw پهنای کف دره؛ Eld ارتفاع آب پخشان^۱ در سمت چپ دره؛ Erd ارتفاع آب پخشان در طرف راست دره؛ Esc میانگین ارتفاع بستر دره می‌باشد (همدون و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۵۹). این شاخص تفاوت میان دره‌های با بستر پهن و U شکل را در مقایسه با دره‌های پرشیب و باریک V شکل را نشان می‌دهد. دره‌های U شکل معمولاً با مقادیر بالایی از Vf همراه هستند که حاکی از نرخ فراخاست^۲ کم در این نواحی است، در حالیکه دره‌های V شکل مقادیر نسبتاً کمی از شاخص را دارا می‌باشند که نشان‌دهنده نرخ فراخاست زیاد و فعال بودن فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه است. این شاخص برای دره‌های اصلی که جبهه‌های کوهستان را قطع می‌کنند محاسبه می‌شود (سیلو و همکاران، ۲۰۰۳).

به منظور محاسبه شاخص VF در حوضه فرحزاد ابتدا در هشت مقطع متفاوت اقدام به محاسبه این شاخص گردید (نگاره ۳)، سپس از تمام VFهای 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 طبقه‌بندی همدون و همکاران (۲۰۰۸) در کلاس ۱ فعالیت قرار می‌گیرد و حاکی از وجود فعالیت‌های شدید زمین‌ساختی در این حوضه می‌باشد.

مربوط به کوتاه‌تر می‌باشد (نگاره 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 کوتاه‌تر 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 تأثیر این حرکات قرار داشته و دارد.

از دیدگاه ریخت‌شناسی 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 مشخص 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 کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی لایه‌ها اشاره کرد (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۲).

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، بازدیدهای مکرر صحرائی و نرم افزار ARC GIS 10 می‌باشد. ابتدا بر روی نقشه توپوگرافی مرز حوضه تعیین شد و سپس لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز

1 - Divide

2 - Uplift

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 طولانی‌تر 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) (نگاره ۴) و فرایندهای دامنه‌ای (از نوع لغزشی و ریزشی) اشاره کرد.

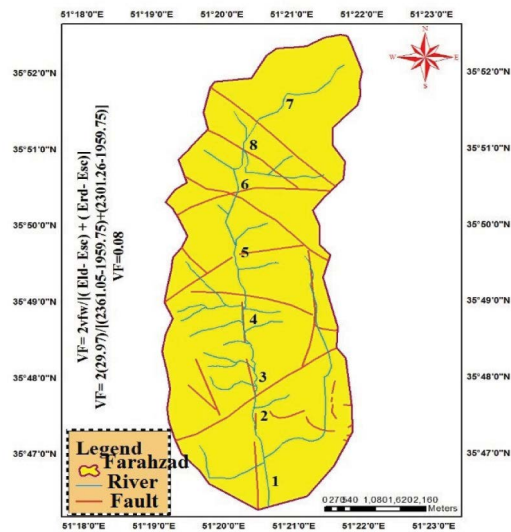
جدول ۲: مقادیر مربوط به محاسبه شاخص AF در حوضه فرحزاد

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

مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندهگان

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 (مک، ۱۹۷۳) که در نهایت



نگاره ۳: موقعیت نیم‌رخ‌های هشتگانه محاسبه شاخص VF در حوضه فرحزاد

مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندهگان

جدول ۱: مقادیر مربوط به محاسبه شاخص Vf در حوضه فرحزاد

ردیف	Vfw	Erd	Eld	Esc	Vf	IAT
۱	۳۹/۶	۱۵۶۰	۱۵۷۰	۱۵۱۷/۸	۰/۸۳	۲
۲	۱۷/۹	۱۸۵۶/۱	۱۷۸۵/۷	۱۶۱۷/۲	۰/۰۸	۱
۳	۱۷/۶	۲۱۳۸/۵	۱۸۵۹/۹	۱۶۹۳/۵	۰/۰۵	۱
۴	۵۷/۴	۲۵۰۳/۵	۲۱۷۰/۳	۱۸۱۸/۹	۰/۱۰	۱
۵	۴۰/۴	۲۴۷۵/۶	۲۷۰۰/۸	۱۹۶۰/۴	۰/۰۶	۱
۶	۲۰/۳	۲۶۴۷/۸	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
میلیگین	۲۹/۹۷	۲۳۰۱/۲۶	۲۳۶۱/۰۵	۱۹۵۹/۷۵	۰/۰۸	۱

مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندهگان

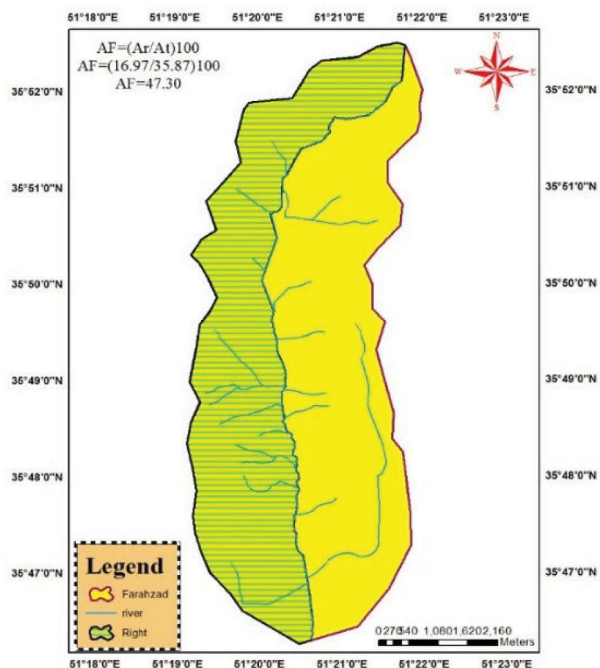
شاخص عدم تقارن (AF)

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، ۱۹۸۵؛ کلو و پیتر، ۲۰۰۲). این شاخص بصورت زیر محاسبه می‌شود:

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

فرمول (۲)

لحاظ حرکات نو زمین‌ساخت و فراخاست حوضه می‌باشد. با توجه به نیمرخ طولی رودخانه فرحزاد ملاحظه می‌شود که تغییرات زیادی در طول آن دیده می‌شود که اکثراً ناشی از حضور و دخالت عملکرد گسل‌های زیادی است که در این منطقه بر رودخانه فرحزاد اثر گذاشته‌اند. بطوری که ملاحظه می‌شود حدود هشت گسل به طور مستقیم محور رودخانه را قطع نموده و سبب بروز آنومالی‌های شدیدی در نرخ SL‌های بدست آمده شده است. همانگونه که این نیمرخ نشان می‌دهد در مناطقی که عملکرد گسل‌ها کمتر بوده و یا فاقد گسل مهمی می‌باشد میزان شاخص SL پایین بوده (برای مثال: بالادست حوضه، SL:250.1) و هر جایی که گسل‌ها حضور یافته‌اند 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 فعالیت‌های نو زمین‌ساختی شدید در این حوضه می‌باشد.



نگاره ۴: نمایی از کج شدگی حوضه فرحزاد به سمت راست (باختر) حوضه

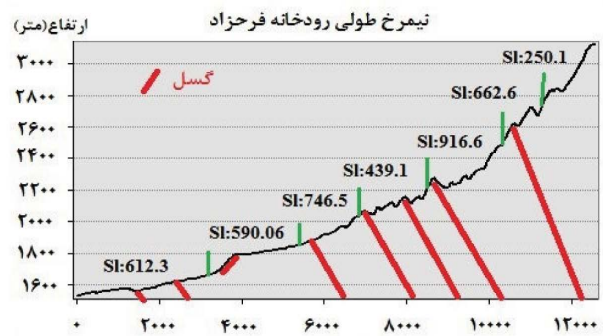
مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

این توازن به تعادل پویا می‌رسد. شاخص شیب طولی رود توسط 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:

$$SL = (\Delta h / \Delta L) L \quad (۳)$$

که در آن SL شیب طولی رودخانه، Δh اختلاف ارتفاع بین دو نقطه اندازه‌گیری شده، ΔL طول مسیر اندازه‌گیری شده بین دو نقطه از وسط منطقه اندازه‌گیری شده تا مرز حوضه در سرچشمه می‌باشد. این شاخص می‌تواند برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی مورد استفاده قرار گیرد. شاخص SL در جریان رودخانه‌ها و جویبارها بر روی فراخاست‌های فعال دارای مقدار افزایشی است و ممکن است مقادیر پایین تر آن مربوط به جریان‌های موازی با عوارضی مانند دره‌های تولید شده توسط گسلش امتداد لغز باشد (ممدونی و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۵۴). این شاخص هر گونه بی‌نظمی را در نیمرخ طولی رودخانه نشان می‌دهد و از آنجایی که به تغییرات شیب آبراهه بسیار حساس است بنابراین امکان ارزیابی ارتباط بین فعالیت‌های زمین‌ساختی با مقاومت سنگ و توپوگرافی را مهیا می‌سازد. هرگونه فراخاست و کج شدگی ناشی از فعالیت گسل‌ها و چین‌های فعال می‌تواند در افزایش گرادیان آبراهه‌ها 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 سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی تعیین گردیده است. برای محاسبه شاخص SL در حوضه آبخیز فرحزاد ابتدا نیمرخ طولی رودخانه ترسیم گردید (نگاره 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 اندازه‌گیری و از تمام SL‌های حاصل میانگین گرفته شد و در نهایت مقدار SL برای کل رودخانه فرحزاد مقدار عددی ۵۸۴/۲ بدست آمد (جدول ۳) که نشانه فعال بودن منطقه از

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 کج شدگی زمین در جهت خاصی می‌باشد (گورابی و نوحه گر، ۱۳۸۶، ۱۳۸۴). برای محاسبه شاخص T در حوضه فرحزاد مقادیر Da و Dd در ۲۰ نقطه از مسیر رودخانه از پایاب تا سرچشمه حوضه اندازه‌گیری شد (نگاره ۶)، سپس از مجموع این اندازه‌گیری‌ها میانگین گرفته تا مقدار عددی بدست آمده بیان کننده 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 نگاره ۴).



نگاره ۵: نیمرخ طولی رودخانه فرحزاد

مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسنندگان

جدول ۳: مقادیر مربوط به محاسبه شاخص SL در حوضه فرحزاد

ردیف	SL	L(m)	ΔL(m)	ΔH(m)
۱	۶۱۲/۳۹	۱۰۹۱۵/۳۴	۳۵۶۴/۶۸	۲۰۰
۲	۵۹۰/۰۶	۷۸۴۶/۵۰	۲۶۵۹/۵۳	۲۰۰
۳	۷۴۶/۵۹	۵۷۷۷/۳۹	۱۵۴۷/۶۶	۲۰۰
۴	۴۳۹/۱۳	۴۰۶۷/۶۵	۱۸۵۳/۰۱	۲۰۰
۵	۹۱۶/۶۴	۲۸۳۹/۰۹	۶۱۹/۴۵	۲۰۰
۶	۶۶۲/۶۷	۲۱۹۹/۴۹	۶۶۳/۸۲	۲۰۰
۷	۲۵۰/۱۸	۱۳۳۶/۳۵	۱۰۶۷/۲۷	۲۰۰
میانگین	۵۸۴/۲	۴۹۹۷/۵۴	۱۷۱۰/۹۱	-----

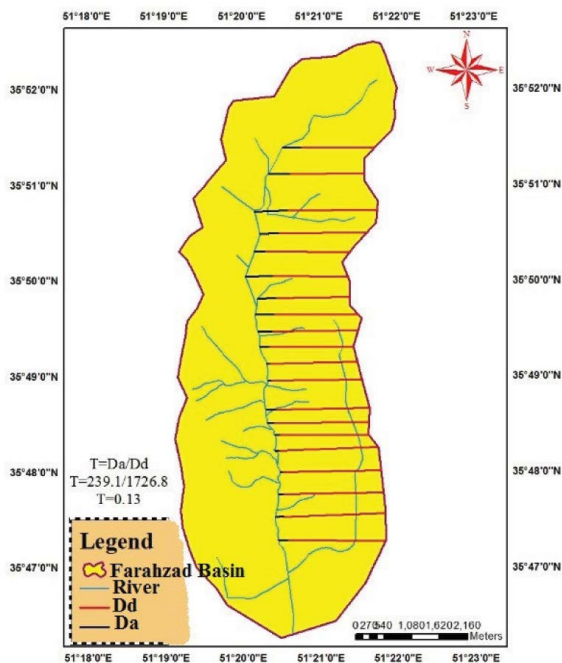
مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسنندگان

شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)

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

$$T = Da / Dd \quad (۴)$$

که در آن Da، فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا کمر بند فعال مئاندری حوضه (رود اصلی) و Dd فاصله خط میانی حوضه تا آب پنخشان 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 مقادیر



نگاره ۶: نحوه ارزیابی شاخص T در حوضه فرحزاد

مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسنندگان

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۱۰۱)
تحلیل فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبخیز فرحزاد ... / ۱۰۱

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 هنگامی که فعالیت‌های زمین‌ساختی کاهش یابند یا متوقف شوند، پهن شدگی حوضه رخ می‌دهد (رامیرز-هریرا، ۱۹۹۸). بر اساس طبقه بندی ال. همدونی و همکاران (۲۰۰۸) مقدار شاخص BS برای حوضه‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

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 می‌گیرد، و حاکی از این است که حوضه فرحزاد بر اساس این شاخص دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط می‌باشد و هنوز فعالیت‌های نو زمین‌ساختی 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

مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

شاخص پیچ و خم رودخانه (S)

متناسب با تغییرات زمین‌ساختی که منجر به تغییر شیب دره رودخانه می‌شود، جهت حفظ تعادل شیب رودخانه، پیچ و خم رودخانه نیز جابجا می‌شود. از نظر چار چوب نظری، در رودخانه‌هایی که تقریباً به حالت تعادل رسیده‌اند، رودخانه جهت حفظ تعادل بین شیب با دبی و رسوبگذاری،

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

مأخذ: 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، ۲۰۰۱؛ ۲۰۰۳). 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

1 - Burbank, D.W., Anderson, R.S.,

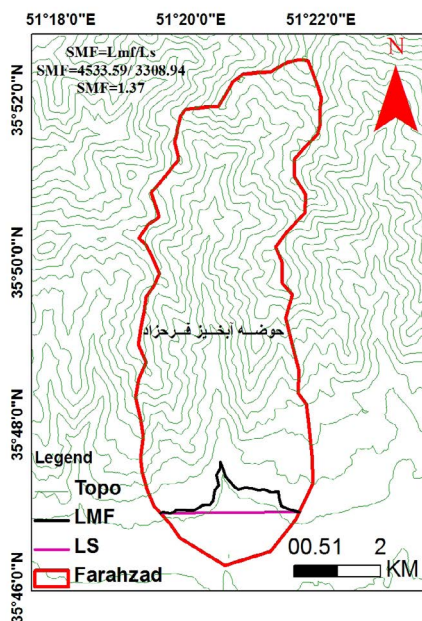
2 - Cannon, P.J.,

هستند (بال و مک فادن، ۱۹۱۷؛ کلمر، ۱۹۱۶). 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، ۱۹۱۷). 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، ۱۹۱۵؛ کلمر، ۱۹۱۶). 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

مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان



نگاره ۷: نحوه ارزیابی شاخص SMF در حوضه فرحزاد

مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

پیچ می‌خورد. به عبارت دیگر رودخانه‌هایی 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 زمین‌ساختی است. برای ارزیابی پیچ و خم آبراهه از فرمول ذیل استفاده می‌گردد:

$$S = C / V$$

فرمول (۶)

که در آن S میزان پیچ و خم آبراهه، C طول رودخانه و V طول دره می‌باشد. 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 زمین‌ساخت در آن منطقه است. با محاسبه شاخص S بر روی حوضه فرحزاد مقدار عددی بدست آمده برای این شاخص برابر با $S=1.16$ می‌باشد (جدول ۶). بنابراین با توجه به این شاخص می‌توان نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌ساخت به حالت تعادل نرسیده و نیروهای درونی و زمین‌ساختی 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

مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

شاخص پیچ و خم کوهستان (SMF)

این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Smf = Lmf / Ls$$

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 هم زمان با چین‌ها و گسل‌های فعال

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
 تحلیل فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبخیز فرحزاد ... / ۱۰۳

صورت کمیته بین ۱-۰ تعریف می‌شود. هر چقدر مقدار این شاخص به عدد صفر نزدیک 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 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

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

مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

نتیجه‌گیری

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 زمین‌ساخت حوضه فرحزاد از شش شاخص ریخت‌زمین‌ساختی مختلف (VF, AF, SL, SMF, EU, FD, T, BS,S) استفاده گردید.

نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل این شاخص‌ها در منطقه مورد مطالعه، که از طریق بررسی توپوگرافی، شکل حوضه، وضعیت شبکه آبراهه، ریخت‌سنجی دره‌ها و تقارن حوضه صورت گرفت، نشانگر این است که سیمای کلی منطقه تا حد زیادی ناشی از فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه و بویژه عملکرد گسل‌های متعددی است که در محدوده مورد نظر فعالیت داشته‌اند. براساس بررسی‌های صورت گرفته برای ارزیابی حرکات نو زمین‌ساخت فعال در حوضه

شاخص درصد قسمت‌های بریده نشده جبهه کوهستان (Eu)

شاخص درصد قسمت‌های بریده نشده جبهه کوهستان به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Eu = Lce / Ls \quad \text{فرمول (۸)}$$

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 ممتد 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 (رامیرز-مریر، ۱۹۹۱). میزان این شاخص برای حوضه فرحزاد برابر با عدد ۰/۷۵ به دست آمد و همانند سایر شاخص‌ها دلالت بر فعالیت زیاد زمین‌ساختی در این حوضه دارد (جدول ۸).

جدول ۸: محاسبه شاخص EU در حوضه فرحزاد

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

مأخذ: نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰۰ تجریش و محاسبات نویسندگان

شاخص درصد قسمت‌های بریده شده جبهه کوهستان (Fd)

شاخص Fd به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$Fd = Lmfd / Ls \quad \text{فرمول (۹)}$$

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، ۱۹۹۱). مقادیر حاصل از این شاخص معمولاً به

۹. گسل‌هایی که در مناطق حاشیه‌ای جبهه‌های کوهستانی وجود دارند، بر مقادیر شاخص Fd تأثیر می‌گذارند. از این رو، در مناطق زمین‌ساختی فعال، جبهه‌های کوهستانی بریدگی کمتری دارند، بنابراین مقدار این شاخص پایین خواهد بود. مقدار بدست آمده برای این شاخص در حوضه فرحزاد برابر $0/27$ بود. این شاخص نیز همانند دیگر شاخص‌های به‌کار گرفته شده در منطقه، گویای فعال بودن این حوضه می‌باشد.
- مقادیر به دست آمده برای شاخص‌های زمین‌ریختی و طبقه‌بندی میزان آنها حاکی از وجود حرکات نو زمین ساخت فعال در حوضه به صورت فراخاست و عملکرد سیستم گسلی می‌باشد و نشانه این است که حوضه آبخیز فرحزاد دارای فعالیت شدید نو زمین‌ساختی می‌باشد و در نهایت با جمع بندی تمام شاخص‌ها این حوضه در کلاس ۱ فعالیت زمین‌ساختی ($IAT=1$) قرار می‌گیرد.
- منابع و مأخذ**
۱. جداری عیوضی، ج (۱۳۷۸)؛ «ژئومورفولوژی ایران»، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
 ۲. خادمی، م (۱۳۸۹)؛ «محاسبه و تفسیر برخی شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی پیرامون گسل ترو، جنوب دامغان»، مجله علوم زمین، شماره ۷۵، صص ۵۶-۴۷.
 ۳. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور (۱۳۶۱)، نقشه توپوگرافی $1/500000$ تجریش.
 ۴. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۶۷)، نقشه زمین‌شناسی $1/1000000$ 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 لرزه‌شناسی»، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، چاپ اول.
 ۷. شریفی نجف‌آبادی، ر، معیری، م، غیور، ح.ع، صفایی، ه، سیف، ع (۱۳۸۹)؛ «بررسی و تحلیل شواهد ژئومورفیک آبخیز فرحزاد با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی می‌توان 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 فعالیت‌های نو زمین‌ساختی در وضعیت فعال به سر می‌برد.
 ۲. با توجه به نتیجه‌ی حاصل برای شاخص AF، حوضه فرحزاد دارای فعالیت‌های نو زمین‌ساختی شدید می‌باشد و از نشانه‌های آن می‌توان 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 می‌باشد، بطوری که تغییرات زیاد نیم‌رخ طولی رودخانه فرحزاد می‌تواند 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 $1/16$ می‌باشد. بر اساس این شاخص می‌توان نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه از نظر زمین‌ساخت به حالت تعادل نرسیده و نیروهای درونی و زمین‌ساختی هنوز هم در تحول شکل زایی منطقه نقش بسزایی دارند.
 ۷. شاخص Smf برای حوضه آبخیز فرحزاد محاسبه گردید و مقدار عددی $1/37$ بدست آمد. این مقدار نشانه فعالیت نسبتاً زیاد زمین‌ساختی در این حوضه بوده و آن را در کلاس یک فعالیت زمین‌ساختی قرار می‌دهد.
 ۸. مناطق فعال زمین‌ساختی، در امتداد جبهه‌های کوهستانی دارای پرتگاه‌های ممتد و بدون بریدگی می‌باشند، بنابراین مقدار شاخص Eu در این مناطق زیاد خواهد بود. مقدار بدست آمده برای شاخص Eu در حوضه آبخیز فرحزاد برابر با $0/75$ بدست آمد که نشان‌گر وجود فعالیت زمین‌ساختی زیاد در این حوضه می‌باشد.

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 Volcanic 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.

زمین ساخت در حوضه رودبار از سرشاخه های دز»، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صص ۳۶-۲۱.

۸ صفاری، ا.، و منصوری، ر.، (۱۳۹۲)؛ «ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی بخش علیای حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک»، مجله جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، شماره ۷، صص ۵۰-۳۵.

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 شمالغربی تالش (باغرو داغ)»، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۴۸، صص ۱۳۸-۱۲۳.

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

