



موسی عابدینی^۱
محمد حسین فتحی^۲
ابراهیم بهشتی جاوید^۳

تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک حوضه آبریز "گچی دره‌سی" با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۵

چکیده

عوامل تکتونیک از جمله عوامل دینامیکی می‌باشند که همواره حوضه‌های آبخیز و مخصوصاً نیمرخ طولی رودخانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این عوامل موجب تغییر رفتار رودخانه و در نیمرخ طولی رودخانه‌ها و در نتیجه موجب تغییر در فرآیندهای فرسایشی و نهشته‌گذاری در الگوی جریان رودخانه‌ها می‌شوند. هدف این پژوهش بررسی وضعیت تکتونیک حوضه آبخیز گچی دره‌سی به وسیله داده‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، مشاهدات میدانی و با استفاده از شاخص‌های منحنی هیپسومتریک، انتگرال هیپسومتریک، عدم تقارن حوضه زهکشی، شاخص گرادیان طولی رود، شاخص سینوسی جبهه کوهستان، نسبت عرض بستر دره به ارتفاع دره و تقارن توپوگرافی معکوس حوضه زهکشی در این زمینه می‌باشد. با توجه با نتایج این پژوهش، منحنی هیپسومتری و انتگرال

E-mail: abedini@uma.ac.ir

۱- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی.

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی.

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی.

هیپسومتری نشانگر جوان بودن حوضه از لحاظ سیکل فرسایشی بوده و تغییرات شاخص V_f (که برابر $1/2$ است) که انعکاس دهنده فعالیت تکتونیکی فعال می‌باشد. ایجاد گسل‌ها در سنگ‌های مقاوم سبب اختلاف ارتفاع قابل توجهی در نیمرخ طولی رودخانه گنچی دره‌سی و تغییرات قابل توجه شاخص SL شده است. حوضه دارای مقدار زیاد شاخص سینوسی (Smf) در ناحیه مورد بررسی و برابر $(1/3)$ می‌باشد و نسبت عرض کف بستر به ارتفاع دره اختلاف بسیار زیادی دارد. شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) برابر $(57/45)$ است. این شاخص به همراه شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (با مقدار $0/21$) و نیز شاخص $4 < Bs$ که نشانگر شکل حوضه و ضریب کشیدگی می‌باشد، بیانگر فعالیت تکتونیکی بالا در منطقه می‌باشند.

کلید واژه‌ها: شاخص‌های ژئومورفولوژی، گنچی دره‌سی، تکتونیک فعال، گسل، ARCGIS.

مقدمه

نوئوتکتونیک به حرکات جدید تکتونیکی اطلاق می‌شود که عمدتاً در گسل‌ها نمود پیدا می‌کند (رجبی، ۱۳۸۵: ۱۷۸). علاوه بر جابجایی گسل‌ها آثار این حرکات را می‌توان در نحوه تحول مخروط‌افکنه‌ها و دشت‌های آبرفتی، نوع نهشته‌گذاری مواد و رفتار سیستم زهکش نیز مشاهده نمود (عابدینی، ۱۳۸۵: ۷۴). رابطه اشکال ناهمواری‌های زمین با بالا آمدگی‌های تکتونیکی یکی از مباحث مهم ادبیات ژئومورفیک است (مختاری، ۱۳۸۶: ۲۹). بالا آمدگی تکتونیکی به هر مقدار، وسعت و زمانی که باشد، هم در مدل‌های تکامل چشم‌انداز کلاسیک (دیویس، ۱۸۹۹، پنک، ۱۹۵۳)^۴ و هم در بسیاری از مدل‌های نوین مثل تعادل دینامیکی (هک، ۱۹۶۰) و حساسیت چشم‌انداز برونسندن و برنز (۱۹۷۹) و برونسندن (۱۹۸۰) به‌عنوان یک عامل اولیه در شکل‌گیری و تکامل اشکال سطح زمین به‌شمار می‌آید. ارزیابی ساختمان‌ها و لندفرم‌های زمین و فعالیت‌های تکتونیکی و به‌خصوص حرکات تکتونیکی معاصر و جوان موضوع دانش تکتونیک ژئومورفولوژی می‌باشد (استانلی و دیگران، ۲۰۰۰: ۲).^۵ در سال‌های اخیر تکتونیک ژئومورفولوژی به‌طور چشم‌گیر، یکی از ابزارهای عمده و اساسی و مؤثر در تشخیص شکل‌های تکتونیکی

4- Davis, W.M & Penck, W

5- Stanley, A et al

فعال و تهیه نقشه‌های خطر لرزه‌ای و همچنین درک و فهم تاریخچه چشم اندازهای کنونی سطح زمین بوده است (کلر و نیکلاس، ۲۰۰۲: ۱).^۶

ژئومورفولوژی تکتونیک کاربرد مؤثری در دانش ژئومورفولوژی دارد، این امر ناشی از ایجاد و تشکیل چشم‌اندازها و لندفرم‌های زمین از طرف دیگر می‌باشد. علاوه بر آن پیشرفت‌های جدید در نمایش چشم اندازهای فضایی لندفرم‌ها که خود ناشی از گسترش ماهواره‌ها و تصاویر ماهواره‌ای دقیق و همچنین گسترش علم ژئودزی حاصل شده است، این امر روزبه‌روز فراگیرتر می‌گردد (گورابی، ۱۳۸۶: ۱۷۸). مورفومتری و مورفولوژی به‌عنوان سنجش و توصیف کمی شکل‌ها و چشم‌اندازهای زمین تعریف شده‌اند. در ساده‌ترین شکل، لندفرم‌ها و شکل‌های تشکیل دهنده زمین با اندازه، ارتفاع (حداقل و حداکثر) و شیب مشخص می‌شوند. اندازه‌گیری‌های عددی به ژئومورفولوژیست‌ها اجازه می‌دهد تا به‌طور عینی و ملموس شکل‌های مختلف را مقایسه و ارزیابی کرده، با محاسبه الگوها و شاخص‌ها (شاخص‌های ژئومورفیک) به تشخیص توصیفی خاص از ناحیه اقدام کنند. به‌عنوان مثال می‌توان میزان فعالیت و فعال بودن تکتونیک یک منطقه را به کمک این شاخص‌ها مورد ارزیابی قرار داد. برخی از شاخص‌های ژئومورفیک که در مطالعات مربوط به ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک بیش‌ترین کاربرد را داشته و استفاده می‌شوند (کلر و دیگران، ۲۰۰۲: ۱۲۲) عبارتند از: منحنی هیپسومتریک، انتگرال هیپسومتریک، عدم تقارن حوضه زهکشی، شاخص گرادیان طولی رود، شاخص سینوسی جبهه کوهستان، نسبت عرض بستر دره به ارتفاع دره و تقارن توپوگرافی معکوس حوضه زهکشی.

پیشینه پژوهش

استفاده از شاخص‌های مورفومتری در مطالعات فعالیت‌های تکتونیک به وسیله بال و مکفادن (۱۹۷۷)^۷ آغاز شد. سپس در نواحی مختلف دنیا مانند جنوب غرب آمریکا (راک ول و همکاران، ۱۹۸۵)^۸، سواحل کاستاریکا (والز، ۱۹۸۸)^۹، سواحل مدیترانه اسپانیا (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳)^{۱۰}، (سیلوا، ۱۹۹۴)^{۱۱}، گرابن آکامبی مکزیک (رامیرز،

6- Keller Edward, A et al

7- Bull W.B., Mcfadden, L.D

8- Rockwell et al

9- Wells

10- Silva et al

۱۱) (۱۹۹۸)، شمال شرقی سیسیلی (گرانیری و پروتا، ۲۰۰۸)^{۱۲} و ... مورد آزمون قرار گرفته و تأیید شده است. مالیک و ماهانتی (۲۰۰۶)^{۱۳}، تأثیر تکتونیک را در تکامل شبکه‌ی زهکشی و چشم‌اندازها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در هیمالیای هند مورد بررسی قرار داده و دریافتند که جنبه‌های اصلی تکتونیک و تراست‌های موجود در منطقه نقش مهمی در شکل‌دهی لندفرم‌ها دارند. همدونی و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شاخص Lat به طبقه‌بندی تکتونیک فعال جنوب اسپانیا پرداخته و مناطق فعال را مشخص نمودند. ده‌بزرگی و همکاران (۲۰۱۰)^{۱۴}، به بررسی تحلیل‌های کمی مؤثر در تکتونیک فعال در ناحیه سروستان منطقه مرکزی زون زاگرس پرداخته است و نتایج به‌دست آمده منطقه مورد پژوهش از لحاظ فعالیت تکتونیکی به چهار کلاس مجزا به ترتیب، مناطق با فعالیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی نموده است.

در کشور ایران نیز در این زمینه مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است که می‌توان به مطالعات انجام شده توسط ایران‌پناه (۱۳۴۷)، اشتوکلین و نبوی (۱۳۵۰)، به بررسی و تهیه نقشه تکتونیکی ایران با استناد به فرآیندهای ژئومورفیک و لیتولوژی موجود و داده‌های زمین‌شناسی پرداخته‌اند. درویش‌زاده و محمدی (۱۳۷۴)، در پژوهشی مشابه به بررسی فرآیندهای زمین‌شناسی و نقش آن‌ها در لندفرم‌های جغرافیایی پرداخته و نتیجه تحقیقات خود را به‌صورت کتابی منتشر کرده‌اند. جمالی و بلورچی (۱۳۷۴)، نیز در پژوهشی با استفاده از شاخص‌های زمین ریخت‌شناسی به شناسایی و بررسی مناطق تکتونیکی فعال پرداخته‌اند. در سال‌های اخیر نیز برخی مطالعات در این خصوص صورت گرفته است، از جمله تقی‌پور و همکاران (۱۳۸۲)، به بررسی شواهد تکتونیک فعال در امتداد گسل شمال تبریز پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که منطقه به لحاظ تکتونیکی بر اساس شواهد موجود و داده‌های کمی به‌دست آمده فعال می‌باشد. رفاقی و یساقی (۱۳۸۲)، در پژوهشی به بررسی وضعیت ساینز موتکتونیکی (لرزه‌خیزی) شمال‌غرب ایران پرداخته‌اند. پور کرمانی و صدیق (۱۳۸۳)، در تحقیقی جابه‌جایی و قطع‌شدگی آبراهه‌ها را از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی گسل تبریز دانسته‌اند. عابدینی و رجایی (۱۳۸۳) اقدام به بررسی نقش نئوتکتونیک در تحول و تکامل ناحیه دیوان‌داغی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک نموده‌اند، آن‌ها با استفاده از ۸ شاخص مهم و با استناد به نتایج مشاهدات میدانی منطقه دیوان‌داغی را به لحاظ تکتونیک بسیار فعال ارزیابی نموده‌اند. رادفر و پور

11- Ramirez-Herra

12- Guarnieri and Pirrotta

13- Malik, J.Mahanty. C

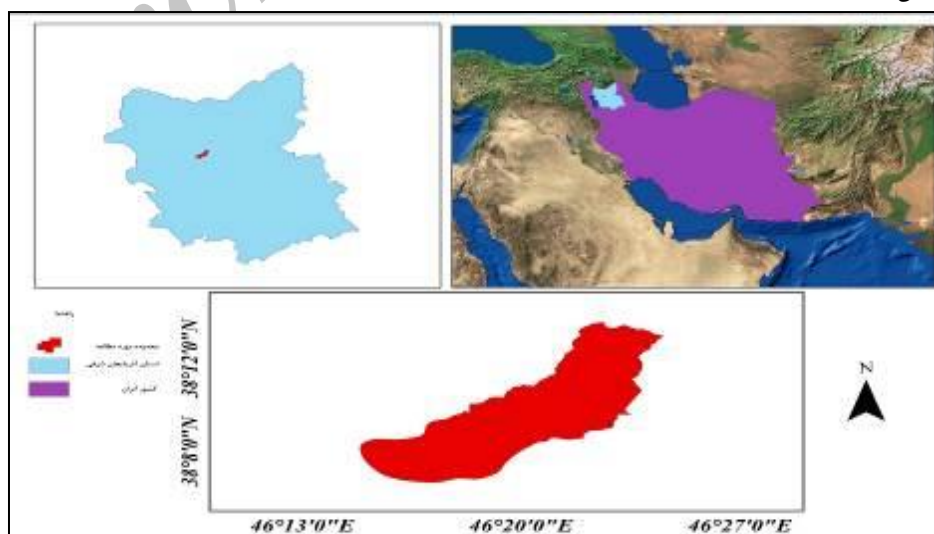
14- Dehbozorgi et al

کرمانی (۱۳۸۴)، در مورد مورفوتکتونیک گسل کوهبنان ایران مرکزی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک تحقیقی انجام دادند و جابه‌جایی عرضی، ارتفاعی، کج شدگی رودخانه‌ها، آبراه‌ها و پادگانه‌های رودخانه‌ای را از لندفرم‌های ثانویه فعالیت گسل کوهبنان دانسته‌اند. مختاری (۱۳۸۵)، با استفاده از داده‌های حاصل از توپوگرافی، بررسی سامانه‌های رودخانه‌ای منطقه و شواهد زمین ریخت‌شناسی حاصل از مطالعات میدانی، نشان می‌دهد که دست‌کم در اواخر پلیستوسن و هولوسن، حرکات اریب لغز با مؤلفه افقی راست‌گرد گسل بیش‌تر از حرکات بالآآمدگی و فعالیت گسل در میشو غربی بیش‌تر از قسمت شرقی آن بوده است. در مطالعه‌ای دیگر (۱۳۸۶) به بررسی تحلیل‌های زمین ساخت-رسوبی چاله تکتونیک و در حال گسترش مرنند پرداخته است. گورابی (۱۳۸۶)، در تحقیقی به بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداخته و دریافتند که مقادیر کمی این شاخص‌ها حاکی از تکتونیک فعال منطقه می‌باشد. مقصودی و دلیر (۱۳۸۷)، به ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه تهن پرداخته است، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با توجه به ضرایب به‌دست‌آمده از شاخص‌های ژئومورفولوژی و داده‌های ایستگاه‌های ژئودینامیک، منطقه از لحاظ فعالیت‌های نئوتکتونیک یا تکتونیک جوان فعال می‌باشد. منتهی میزان فعالیت در همه جای آن یکسان نیست. روستایی (۱۳۸۸)، در پژوهشی دیگر نقش فعالیت‌های تکتونیک را در شکل‌گیری و گسترش مخروط افکنه‌های همین منطقه را مورد ارزیابی قرار داده و شکل‌گیری، جایگزینی، شکل، وسعت، گسترش، ضخامت رسوبات و تکه‌تکه شدن مخروط افکنه‌های موجود را متأثر از فعالیت‌های تکتونیک موجود در منطقه دانسته‌اند. خطیبی (۱۳۸۸)، در تحلیلی اثرات فعالیت‌های نئوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه‌های حوضه قرانقوچای واقع در دامنه‌های شرقی سهند پرداخته و با این نتیجه رسیده است که نیمرخ طولی رودخانه‌ها علی‌رغم یکسان بودن نوع لیتولوژی و شاخص سینوزیته بسیار بالا بوده و این امر به علت متأثر شدن از فعالیت‌های تکتونیک و تغییر در فرآیند نهشته‌گذاری و فرسایشی می‌باشد. کرمی (۱۳۸۸)، به ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیک با استفاده از تحلیل‌های شکل‌سنجی در حوضه اوجان چای واقع در شمال‌شرق کوهستان سهند پرداخته است، نتایج حاصل نشانگر فعالیت‌های نئوتکتونیک است. در تأیید این تحلیل‌ها، ویژگی‌های لرزه زمین‌ساختی حوضه و تمرکز کانون زمین‌لرزه‌های پیرامون گسل‌های منطقه، تکتونیک فعال را در حوضه اوجان‌چای آشکار می‌سازند. یمانی و همکاران (۱۳۸۹)، به بررسی نقش نوزمین ساخت در تحول شبکه‌ی زهکشی حوضه آبخیز رودخانه چله با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی

پرداختند. نتایج به دست آمده از این شاخص‌ها حاکی از فعال بودن نوزمین‌ساخت منطقه و تأثیر این فعالیت بر الگوی شبکه زهکشی و مورفولوژی بستر رودخانه چله می‌باشد. مقصودی و همکاران (۱۳۹۰)، به بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژی پرداخته و نتایج حاصله نشانگر فعال بودن حوضه از لحاظ تکتونیک می‌باشد، دست یافته است الهیان و رامشت (۱۳۹۱) در پژوهشی به کاربرد شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنبا در برآورد وضعیت تکتونیک بخش علیای زاینده‌رود پرداخته و پس از بررسی و ارزیابی، نتایج حاصل از تلفیق کلیه شاخص‌ها، منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ نئوتکتونیک در وضعیت نیمه فعال متمایل به غیرفعال قلمداد نموده است. عابدینی و شبرنگ (۱۳۹۳) فعالیت‌های نوزمین‌ساختی حوضه‌ی آبریز مشکین‌چای را با شاخص‌های ژئومورفولوژی ارزیابی نمودند. نتایج نشان داده است که کل حوضه‌ی مورد مطالعه از لحاظ نوزمین‌ساختی پویاست. در ادامه این پژوهش، با استفاده از تحلیل‌های مورفومتری به بررسی تکتونیک فعال در بخشی از حوضه آبخیز گنچ‌دره‌سی می‌پردازیم.

ویژگی‌های منطقه مطالعه

حوضه گنچ‌دره‌سی در دامنه‌های جنوبی کوه عون ابن علی در مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۳ دقیقه الی ۴۶ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۵ دقیقه الی ۳۸ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این حوضه از زیر حوضه‌های آجی‌چای بوده که پس از گذر از نواحی شمال‌شرق تبریز به دریاچه ارومیه می‌ریزد (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

سرشاخه‌های این رودها از قلال شمال شرقی و شمال کوهستان سهند سرچشمه گرفته و با روند شمال شرق-جنوب-غرب تا دشت تبریز و سپس با جهتی شمالی-جنوبی تا پیوستن به آجی چای جریان دارند. حداکثر ارتفاع این حوضه در کوهستان شمال شرقی گبروه داغی، با ارتفاع ۲۴۰۰ متر است و از قلال منفرد و مرتفع این حوضه می‌توان اوچ قارداش داغی ۱۹۴۸ متر، گوپال داغ ۱۸۱۹ متر و سلور داغی ۲۱۷۵ متر را نام برد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای منطقه استفاده شده است. ابتدا لایه‌های اطلاعاتی نقشه‌های توپوگرافی به سیستم اطلاعاتی GIS انتقال داده شد. آنگاه هفت شاخص ژئومورفولوژیک (جدول ۲)، یعنی منحنی هیپسومتریک، انتگرال هیپسومتریک، عدم تقارن حوضه زهکشی، تقارن توپوگرافی معکوس حوضه زهکشی، شاخص گرادیان طولی رود، شاخص سینوسی جبهه کوهستان و نسبت عرض بستر دره به ارتفاع دره برای حوضه آبخیز گنچی دره‌سی به ترتیبی که در زیر به تفصیل توضیح داده شده است، محاسبه شده‌اند. پس از برآورد شاخص‌های ژئومورفیک در منطقه مورد مطالعه و تعیین کلاس آن‌ها بر پایه جدول نهایی ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیک با استفاده از شاخص (Iat^{15}) به دست می‌آید.

$$Iat = S / n$$

رابطه (۱)

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک از نظر فعالیت‌های تکتونیک

Hamdouni et al, (۲۰۰۸)	Silva et al, (۲۰۰۳)	Rockwell et al, (۱۹۸۹)	Bull & Mcfadden, (۱۹۷۷)	ردیف
$S_{mf} < ۱,۱$ & $V_f < ۰,۵$ Sl: High anomalous values $[Af - ۵۰] > ۱۵$ & $B_s > ۴$	$S_{mf} < ۱,۵۳$ $V_f < ۰,۶$	$S_{mf} < ۱,۴$ $V_f < ۱$	$S_{mf}: ۱,۲-۱,۶$ $V_f: ۰,۵۵-۰,۵$	کلاس ۱ (فعال)
$S_{mf}: ۱,۱-۱,۵$ & $V_f: ۰,۵-۱$ Sl: low anomalous values $[Af - ۵۰]: ۷-۱۵$ & $B_s: ۴-۳$	$S_{mf}: ۱,۸-۲,۳$ $V_f: ۰,۳-۰,۸$	$۱,۴=S_{mf}$ $V_f=۱$	$S_{mf}: ۱,۸-۳,۴$ $V_f: ۰,۵-۳,۶$	کلاس ۲ (نیمه فعال)
$S_{mf} > ۱,۵$ & $V_f > ۲$ Sl: no anomalous value $[Af - ۵۰] < ۷$ & $B_s < ۳$	$S_{mf}: ۳,۵-۲,۸$ $V_f: ۰,۸-۱,۲$	$S_{mf} > ۱,۴$ $V_f > ۱$	$S_{mf}: ۲-۷$ $V_f: ۲-۴,۷$	کلاس ۳ (غیرفعال)

مأخذ: کرمی، ۱۳۹۱

جدول ۲- شاخص‌های ژئومورفیک مورد استفاده در تحلیل تکنیکی حوضه آبخیز گنچی دره‌سی

نام شاخص‌ها	فرمول عمومی	مولفان	توضیحات
منحنی هیپسومتری و انتگرال هیپسومتری HI	انتگرال هیپسومتری = ارتفاع میانگین - ارتفاع حداقل / ارتفاع حداکثر - ارتفاع حداقل		برای توصیف شکل منحنی هیپسومتری یک حوضه زهکشی به کار می‌رود
عدم تقارن حوضه (AF)	$AF = 100(Ar / At)$ عامل عدم تقارن حوضه = AF مساحت حوضه در سمت راست آبراهه اصلی به طرف Ar = (مساحت کل حوضه) At = پایین دست حوضه	Harkins et al, (2005) Guarnieri and Pirrotta (2008)	کج شدگی تکنیکی حوضه‌های زهکشی را ارزیابی می‌کند.
شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)	$T = Da / Dd$ Da = فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا کمربند فعال مماندری حوضه (مسیر رود اصلی) Dd = فاصله خط میانی حوضه و خط تقسیم آب می‌باشد.	Harkins et al, (2005) Guarnieri and Pirrotta (2008)	از لحاظ تقارن شبکه زهکشی حوضه را مورد ارزیابی تکنیکی قرار می‌دهد
نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)	$Vf = 2 \sqrt{fw} / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$ = Vf شاخص نسبت پهنای کف دره ارتفاع آن = Vfم پهنای کف دره Eld, Erd = ارتفاع متوسط خط تقسیم آب در سمت چپ و راست دره Es = ارتفاع متوسط کف دره از سطح آب‌های آزاد	Bull and Mcfadden (1977) Silva et al, (2003) Guarnieri and Pirrotta (2008)	بیانگر تفاوت دره‌های پهن با مقادیر نسبتا زیاد شاخص و V دره‌های شکل با مقادیر کم شاخص هستند.
سینوسی جبهه کوهستان (Smf)	$Smf = Lmf / Ls$ = Smf سینوسیته یا پیچ‌وخم جبهه کوهستان = Lmf طول جبهه کوهستان در مرز بین کوهستان و دشت = Ls طول خطی مماس در امتداد جبهه کوهستان	Bull and Mcfadden (1977) Keller and Pinter(2002)	رابطه بین تمایل رودخانه و فرآیندهای دامنه‌ای را به ایجاد جبهه کوهستانی نامنظم و نیروهای تکنیکی که جبهه ممتد و مستقیمی را به وجود می‌آورند، نشان می‌دهد.
شاخص نسبت شکل حوضه Bs	$Bs = Bl / Bw$ شاخص Bs شاخص فرم حوضه؛ Bl = طول دورترین نقطه تا خروجی حوضه؛ Bw = طول پهن‌ترین بخش حوضه	Hamadouni, (2008)	مقادیر زیاد شاخص (Bs > ۴) معمولاً شکل حوضه‌ها که از نظر زمین‌ساخت فعال هستند، کشیده است. در این حوضه‌ها میزان شاخص از عدد مبنای ۴ بیشتر است. مقادیر (Bs < ۳) حوضه‌هایی با فعالیت

ادامه جدول ۲

های متوسط زمین ساختی را نشان می‌دهد و با توقف فعالیت یا غلبه فرآیندهای فرسایشی، شکل حوضه به تدریج در طی زمان دایره می‌شود و شاخص کاهش می‌یابد ($BS < 3$).			
مقادیر کم یا زیاد شاخص اگر با عوامل لیتولوژی در ارتباط نباشد، بی‌نظمی‌های ناشی از تکتونیک را آشکار می‌کند.	Keller and Pinter (2002) Larue (2008)	$SI = (\Delta H / \Delta L)L$ $SI =$ شاخص شیب طولی رودخانه، $\Delta H / \Delta L =$ شیب آبراهه یا گرادیان یک قطعه $\Delta H =$ اختلاف ارتفاع قطعه مورد نظر $L =$ مجموع طول آبراهه $\Delta L =$ طول شاخه مورد نظر	شیب طولی رودخانه (SI)

انتگرال هیپسومتریک (H_i) و منحنی هیپسومتریک (H_c)

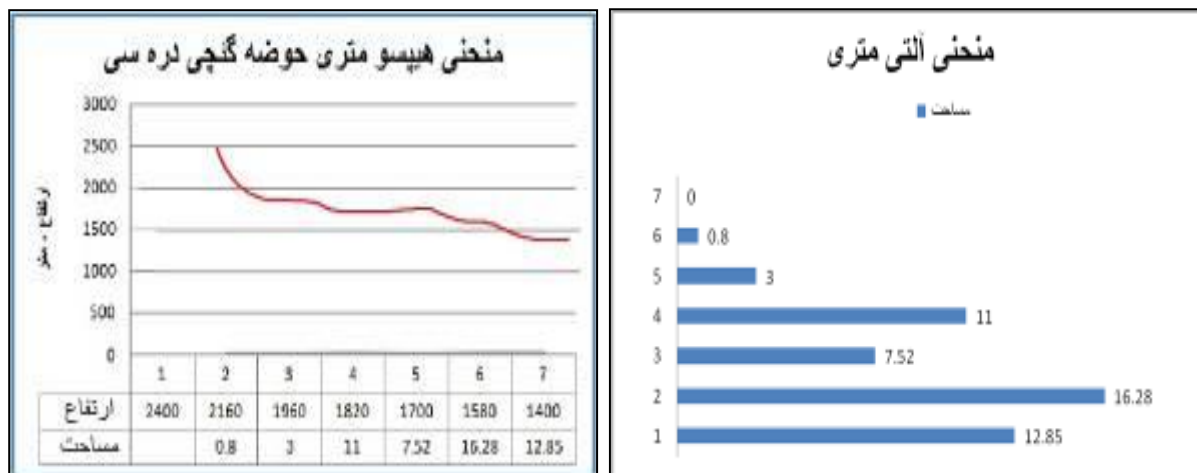
منحنی هیپسومتریک حوضه با ترسیم ارتفاع کل (ارتفاع نسبی) در مقابل مساحت کل (مساحت نسبی) حوضه ترسیم می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۰: ۴۴۸-۴۴۶). انتگرال هیپسومتریک بیانگر مساحت زیر منحنی هیپسومتریک است. انتگرال هیپسومتریک بدین وسیله برآورد می‌شود (رودیگر^{۱۶}، ۲۰۰۹: ۲۰۶).

$$H_i = H_{\text{mean}} - H_{\text{min}} \div H_{\text{max}} - H_{\text{min}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{انتگرال هیپسومتریک حوضه آبخیز گنچی دره‌سی} = 2142 - 820 \div 3300 - 820 = 0/475$$

در معادله فوق و الذکر $H_i =$ انتگرال هیپسومتریک؛ $H_{\text{mean}} =$ ارتفاع متوسط حوضه؛ $H_{\text{min}} =$ حداقل ارتفاع حوضه و $H_{\text{max}} =$ حداکثر ارتفاع حوضه است (شکل ۲)، منحنی هیپسومتریک و آلتی‌متری حوضه آبخیز گنچی دره‌سی را نشان می‌دهد.

مساحت کل حوضه (A) برابر مساحتی که بالاتر از ارتفاع ۱۴۰۰ متری قرار گرفته است، سطح (a) مساحتی از حوضه را در برمی‌گیرد که بین دو خطوط میزان مجاور هم باشد جدول (۳).



شکل ۲: منحنی هیسومتري (سمت چپ) و منحنی آلتی متری (سمت راست) منطقه مور مطالعه

جدول ۳- محاسبه مساحت خطوط ارتفاعی

ردیف	Elevation (h)	Area (km ²)	a	A %
۱	۱۴۰۰	۵۱/۴۵	۱۲/۸۵۰	۱۰۰
۲	۱۵۸۰	۳۸/۶	۱۶/۲۸۰	۷۵/۰۲
۳	۱۷۰۰	۲۲/۳۲	۷/۵۲۰	۴۳/۳۸
۴	۱۸۲۰	۱۱/۴۸	۱۱	۲۸/۷۶
۵	۱۹۶۰	۳/۸	۳	۷/۳۸
۶	۲۱۶۰	۰/۸	۰/۸	۱/۵۵
۷	۲۴۰۰	-----	-----	-----

یکی از ساده‌ترین راه‌ها برای توصیف شکل منحنی هیسومتريک یک حوضه زهکشی مشخص، محاسبه انتگرال هیسومتريک آن حوضه می‌باشد. انتگرال هیسومتريک حوضه به وسیله مساحت زیر منحنی هیسومتريک مشخص می‌شود. یک راه برای برآورد سریع انتگرال هیسومتريک رابطه زیر می‌باشد:

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{حداقل ارتفاع} - \text{حداکثر ارتفاع} / \text{حداقل ارتفاع} - \text{میانگین ارتفاع} = \text{انتگرال هیسومتريک}$$

میانگین ارتفاع حوضه آبخیز گنچی دره سی به وسیله فرمول زیر محاسبه و مشخص می‌شود یا به وسیله مدل ارتفاعی حوضه حاصل می‌شود.

$$H = \frac{\sum(a \cdot h)}{\text{Area}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

متوسط ارتفاع حوضه که برابر ۱۶۹۵ متر به دست آمد.

h: میانگین ارتفاع بین خطوط منحنی میزان، a: مساحت بین خطوط منحنی میزان، Area: مساحت کل حوضه. مقادیر بالای انتگرال هیپسومتریک ($H_i > 0.5$) بالآمدگی‌ها و شکل‌گیری توپوگرافی جدید، مقادیر متوسط ($0.4 < H_i < 0.5$) وضعیت زمین‌ساختی نسبتاً فعال و مقادیر پایین ($H_i < 0.4$) حوضه‌های پست با فعالیت‌های زمین‌ساختی کم را بیان می‌کنند (ده بزرگی^{۱۷}، ۲۰۱۰: ۳۳).

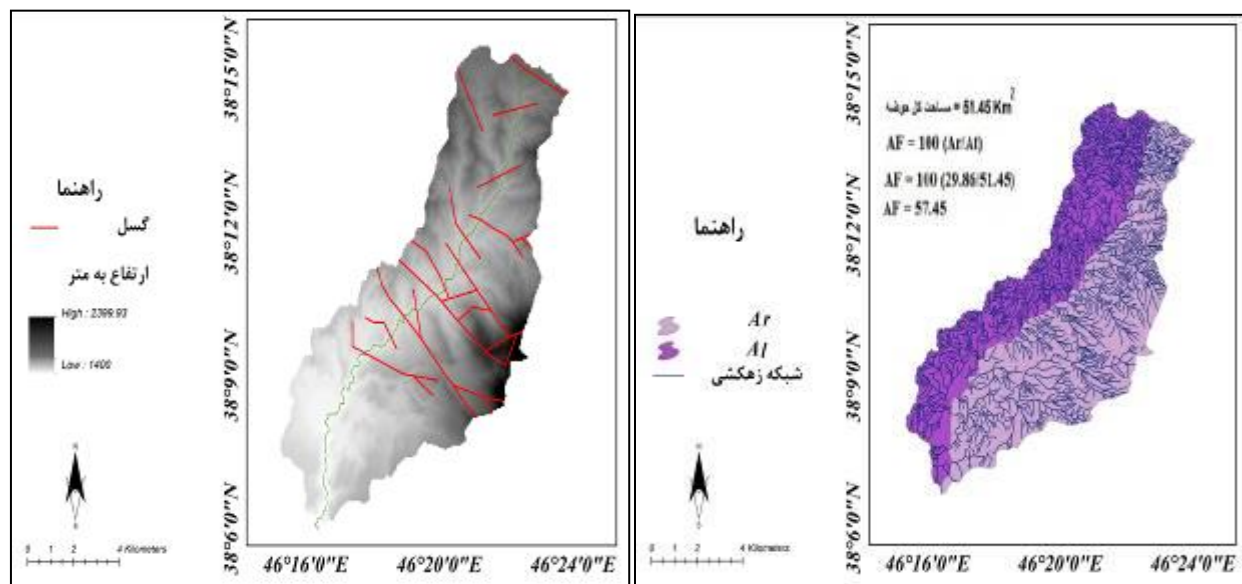
$$0.295 = 1695 - 1400 / 2400 - 1400 = \text{انتگرال هیپسومتریک حوضه آبخیز گنچی دره‌سی}$$

چنانچه مساحت زیر منحنی هیپسومتریک به وسیله انتگرال محاسبه شود، میزان دقیق انتگرال هیپسومتریک حوضه آبخیز گنچی دره‌سی که برابر (۵۱/۴۵) می‌باشد، حاصل می‌شود. این مقدار محاسبه شده، نسبت به میزان احتسابی با فرمول فوق (۰/۲۹۵) تفاوت زیادی دارد. مقادیر بالای انتگرال هیپسومتریک (بالا تر از ۰.۵۰) دلالت بر وجود پستی، بلندی و توپوگرافی بالا نسبت به میانگین حوضه زهکشی، همچون سطوح بالآمده و فلاتی که به وسیله رودها بریده شده‌اند و مقادیر حد واسط تا کم انتگرال هیپسومتریک حاکی از برش شبکه زهکشی در یک سطح هموارتر می‌باشد. ارتباط بین انتگرال هیپسومتریک و درجه بریدگی باعث شده تا انتگرال هیپسومتریک به عنوان شاخص و معیاری جهت تشخیص چرخه مرحله فرسایش چشم‌انداز استفاده شود.

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)

عامل عدم تقارن، برای توصیف و درک ارتباط کج شدگی تکتونیک در نواحی با مقیاس حوضه زهکشی متوسط و بزرگ به کار می‌رود. در مناطقی که شبکه زهکشی در حضور تغییر شکل‌های تکتونیک توسعه پیدا می‌کند، شبکه

زهکشی اغلب دارای شکل هندسی و الگوی متمایزی می‌باشد. در حالت کلی، تمایل به چپ در قسمت بالادست رودخانه و تمایل به سمت راست در قسمت پایین‌دست با حرکت امتداد لغز گسل موجود منطبق می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴: ارزیابی عدم تقارن حوضه زهکشی (سمت راست) گسل‌های موجود در حوضه (سمت چپ)

این وضعیت سبب شده حوضه گنچی دره‌سی را از نظر فعالیت‌های (AF) شاخص تکتونیکی فعال نشان دهد.

$$\text{رابطه (۵)} \quad AF = 100 (Ar/At)$$

در رابطه فوق Ar مساحت قسمت راست حوضه (در جهت پایین‌رود) نسبت به رود اصلی و At مساحت کل حوضه زهکشی می‌باشد. مقادیر بالاتر ($AF > 65$) یا پایین‌تر از ($AF < 35$)، بیانگر کج شدگی حوضه‌ها و مقادیر (۵۷ $< AF < 43$) بیانگر حوضه‌های پایدار می‌باشند. مقدار متوسط این شاخص ($35 < AF < 43$ یا $57 < AF < 65$)، حوضه‌های نسبتاً پایدار را نشان می‌دهد (ده بزرگی^{۱۸}، ۲۰۱۰: ۳۳). در حوضه زهکشی گنچی دره‌سی که جریان رود آن به سوی جنوب جاری است، چرخش تکتونیکی در بالادست به طرف شرق و در پایین‌دست به طرف غرب می‌باشد. شاخه‌های روی کناره‌های غربی (چپ) نسبت به شاخه‌های کناره‌های شرقی (جانب راست) رود اصلی، کوتاه‌تر می‌باشند و شاخص AF بزرگ‌تر از ۵۰ می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴- مقادیر شاخص AF برای حوضه آبخیز گنچی دره‌سی

ردیف	Ar	At	AF	AF-۵۰	کلاس
۱	۲۹/۸۶	۵۱/۴۵	۵۷/۴۵	۷/۴۵	۲



شکل ۵: لندفرم‌های حاصل از فعالیت تکتونیک موجود در منطقه

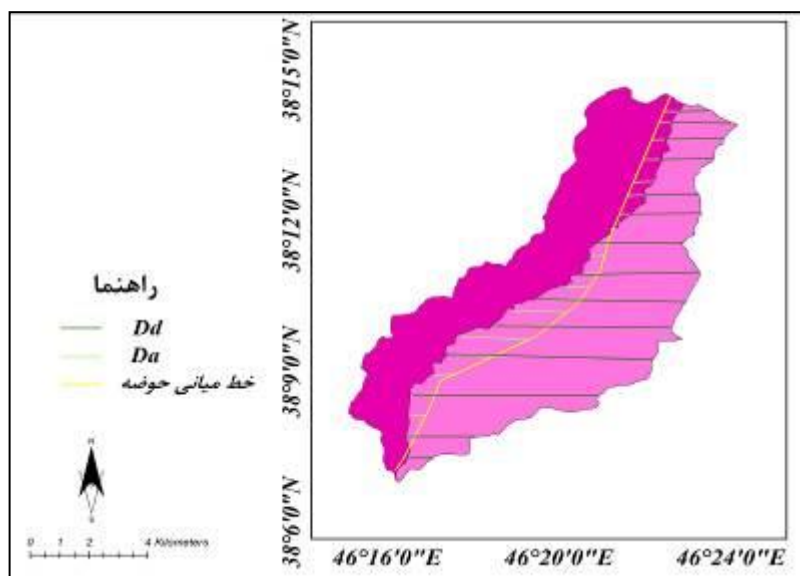
اگر خم‌شدگی در جهت عکس باشد، شاخه‌های بزرگ‌تر رود بر روی دامنه‌های غربی (چپ) رود اصلی حوضه قرار می‌گیرند و AF کم‌تر از ۵۰ می‌باشد؛ مانند اغلب شاخص‌های ژئومورفیک AF در مناطق و حوضه‌های زهکشی که حوضه زهکشی در سنگ‌های یکسانی گسترده باشند، بهترین عملکرد را دارد. در روش AF، برای تجزیه و تحلیل‌های ژئومورفیک فرض بر این است که نه کنترل‌کننده‌های سنگ‌شناسی (مانند شیب طبقات رسوبی) و نه شرایط اقلیمی و اکولوژیکی (همچون اختلاف پوشش گیاهی بین شمال و جنوب دامنه‌ها) محل باعث عدم تقارن نمی‌شوند (شکل ۵).

شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)

دیگر شاخص کمی برای ارزیابی عدم تقارن حوضه، عامل تقارن توپوگرافی معکوس (T) است. شاخص تقارن توپوگرافی معکوس از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$T = Da / Dd \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه فوق، Da فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا کمربند فعال مئاندری حوضه (مسیر رود اصلی) و Dd فاصله خط میانی حوضه و خط تقسیم آب می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۶: ارزیابی شاخص تقارن توپوگرافی معکوس

برای حوضه‌های کاملاً متقارن، $T=0$ می‌باشد. با افزایش عدم تقارن، شاخص T افزایش پیدا می‌کند و در نهایت به ۱ نزدیک می‌شود. در مناطقی که مقدار عددی شاخص عدم تقارن توپوگرافی از ۱ فاصله گرفته باشد منطقه فعال زمین‌ساختی محسوب می‌شود و زمانی که مقادیر به عدد ۱ نزدیک‌تر شوند منطقه از ثبات و آرامش نسبی برخوردار است (کلر ۱۹، ۱۹۹۶: ۱۵۲)، به نقل از (گورابی و نوحه‌گر، ۱۳۸۶: ۱۸۴). شاخص‌های T و AF به‌طور مستقیم شاهدی بر خم‌شدگی و کج‌شدگی حوضه زهکشی نمی‌باشد، اما AF روشی برای تشخیص سریع احتمال کج‌شدگی است. برای برآورد پارامترهای مورد نیاز شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T) در حوضه، مقادیر Da و Dd در ۲۰ مقطع محاسبه و نتایج حاصل در (جدول ۵)، آورده شده است.

شاخص گرادیان طولی رود (SL)

شاخص گرادیان طولی رود (SL) برای یک محدوده و مسیر مشخص شبکه زهکشی بر اساس رابطه زیر محاسبه و مشخص می‌شود.

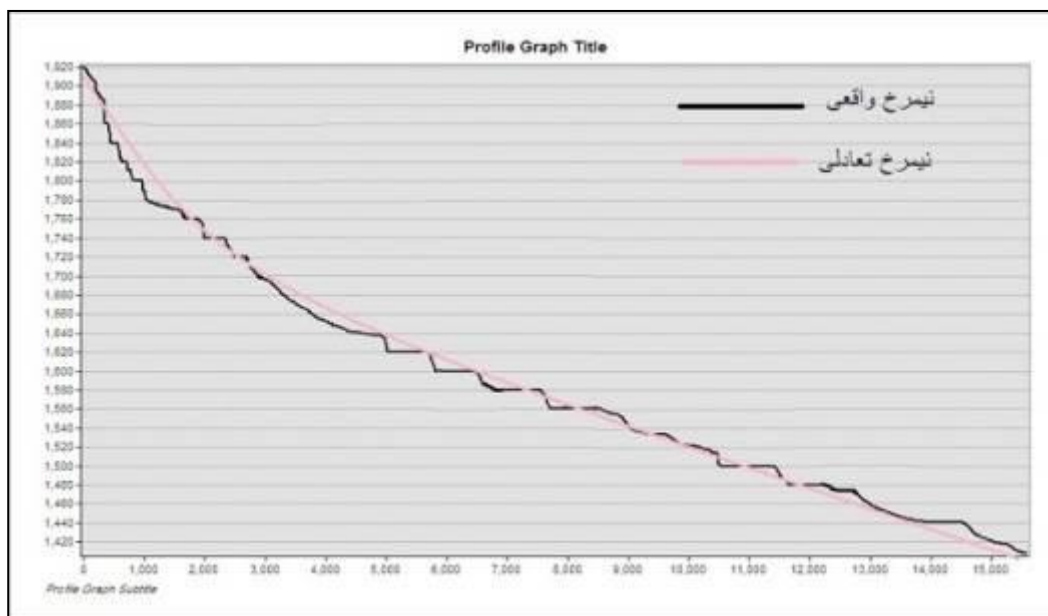
$$SL = (\Delta H / \Delta L) * L$$

رابطه (۷)

در رابطه فوق SL شاخص گرادیان طولی رود و $\Delta H/\Delta L$ شیب کانال یا گرادیان مسیر مشخص شده می‌باشد ΔH اختلاف ارتفاع بین دو نقطه اندازه‌گیری شده و ΔL طول رودخانه در ناحیه مورد نظر و L طول کل کانال از نقطه مشخص شده و جایی که شاخص شروع به ارزیابی شده تا مرتفع‌ترین نقطه کانال می‌باشد (شکل ۷). آستانه‌های این شاخص در سه کلاس طبقه‌بندی می‌گردد مقادیر $SL > 500$ زمین‌ساخت فعال، $300 < SL < 500$ با فعالیت متوسط و $SL < 300$ مناطق غیرفعال می‌باشد (ده بزرگی، ۲۰۱۰: ۲۰-۳۳) شاخص SL با قدرت رود ارتباط دارد. نیروی قابل دسترس رود در یک محدوده مشخص (ریچ) کانال، متغیر هیدرولوژیکی مهمی می‌باشد؛ زیرا به توانایی یک رود در فرسایش کف بستر آن و همچنین حمل مواد حاصل از فرسایش ارتباط دارد. نیروی کل یا نیروی قابل دسترس رود متناسب با شیب سطح آب و دبی می‌باشد.

جدول ۵- شاخص تقارن توپوگرافی معکوس در حوضه آبخیز گنچی دره سی (T)

ردیف	Da	Dd	T	ردیف	Da	Dd	T
۱	۳۹۷	۱۱۷۲	۰/۳۳	۱۱	۱۱۵۰	۳۸۴۹	۰/۲۹
۲	۲۷۱	۱۸۱۹	۰/۱۴	۱۲	۱۳۶۰	۴۲۷۰	۰/۳۱
۳	۳۳۵	۱۸۶۱	۰/۱۸	۱۳	۱۴۸۴	۴۶۲۲	۰/۳۲
۴	۴۱۸	۱۷۷۷	۰/۲۳	۱۴	۱۷۵۹	۵۰۶۰	۰/۳۴
۵	۵۶۵	۱۵۴۸	۰/۳۶	۱۵	۱۱۹۳	۵۳۵۶	۰/۲۲
۶	۴۱۸	۱۸۲۰	۰/۲۲	۱۶	۵۶۵	۵۵۰۰	۰/۲۲
۷	۲۵۰	۲۱۳۳	۰/۱۲	۱۷	۵۶۶	۴۷۶۸	۰/۱۰
۸	۵۷۸	۳۱۷۰	۰/۱۸	۱۸	۴۱۸	۳۲۶۰	۰/۲۲
۹	۲۷۲	۲۲۵۸	۰/۱۳	۱۹	۲۳۱	۱۷۷۷	۰/۱۲
۱۰	۱۰۸۱۶	۳۵۱۲	۰/۲۳	۲۰	۱۲۵	۵۸۵	۰/۲۱
							۰/۲۱
							میانگین



شکل ۷: پروفیل طولی رودخانه

شیب سطح آب معمولاً ارتباط زیادی با شیب کانال دارد ($\Delta H/\Delta L$) و همچنین ارتباط خوبی بین طول کل کانال به طرف بالا و دبی سرریز (دبی موردنیاز برای پر شدن کامل کانال) که تصور می‌شود در شکل‌گیری و تداوم رودهای جاری مهم می‌باشد، وجود دارد. شاخص SL به تغییرات شیب کانال بسیار حساس است و این حساسیت، شرایط لازم برای ارزیابی مقدار ارتباط فعالیت تکتونیکی با مقاومت سنگ و توپوگرافی را فراهم می‌کند. در تحقیق حاضر شاخص SL در سه مقطع بالا رود، میان‌رود و پایین‌رود در نواحی پیرامونی گسل‌های موجود برابر (جدول ۶) در امتداد نیمرخ طولی حوضه آبخیز گنچی دره‌سی مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۸).



شکل ۸: مقاطع انتخاب شده برای شاخص SL

روند این شاخص در طول مسیر با شیب یکسانی تداوم ندارد، بلکه در قسمت‌های مختلف مسیر نواحی گسلی با تغییر همراه می‌باشد. با بررسی‌های میدانی و مراجعه به لایه اطلاعاتی زمین‌شناسی مشخص شد که شاخص SL در مناطق بالادست حوضه به ساختمان سنگ‌شناسی و به‌ویژه زمین‌شناسی بسیار حساس می‌باشد و در قسمت‌های میانی و پایین‌دست حوضه به لحاظ مجاورت گسلی و بی‌نظمی‌های موجود در مسیر آبراهه‌ها بیانگر فعالیت‌های تکتونیک منطقه است. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که حوضه با لحاظ فعالیت‌های تکتونیک در وضعیت نیمه فعال قرار دارد.

جدول ۶- شاخص SL در حوضه آبخیز گنچی دره‌سی

ردیف	بالا رود	میان‌رود	پایین‌رود	کل حوضه
۱	۱۰۸/۳۳	۳۴۲/۳	۱۱۹۰	
کلاس	۳	۲	۱	۲

تغییرات قابل توجه SL در ارتفاع ۱۸۰۰ متری در اثر گسل و برونزد سنگ‌های آذرین از جمله گرانیب و ترکیب کنگلومرای قرمز همراه با ماسه‌سنگ می‌باشد. برخورد مسیر آبراهه‌ها در کیلومتر ۱۶۶۰ به سنگ‌های سست و متناوب شیل و مارن ماسه‌ای گچ دار به همراه ماسه‌سنگ باعث کاهش شاخص SL شده است. تغییر ناگهانی شیب نیمرخ طولی آبراهه در ارتفاع ۱۵۵۰ نیز به علت برخورد به خط گسلی و سنگ مقاوم افزایش یافته است. ایجاد گسل‌ها در سنگ‌های مقاوم سبب اختلاف ارتفاع قابل توجهی در نیمرخ طولی رودخانه گنچی دره‌سی شده است. اختلاف ارتفاع حدود ۷۵ متری، ناشی از عملکرد گسلی می‌باشد. بررسی‌ها و مطالعه شاخص SL در حوضه آبخیز گنچی دره‌سی، وجود ارتباط بین سنگ‌های مقاوم و شاخص گرادیان طولی رود را اثبات می‌کند. از طرف دیگر لندفرم‌های زمین با مقاومت سنگ‌ها تطابق خوبی دارد. یک ناحیه با شاخص SL بالا، روی سنگ‌های نرم و سست ممکن است که بیانگر فعالیت‌های تکتونیک جدید باشد. بی‌نظمی مقادیر کم شاخص نیز ممکن است، بیانگر فعالیت تکتونیک باشد. به‌عنوان مثال، در امتداد دره‌های ایجاد شده به‌وسیله گسل‌ها تصور می‌شود، شاخص‌ها دارای مقدار کمی باشند، زیرا سنگ‌های دره‌ها اغلب در اثر حرکات گسل خرد و متلاشی شده‌اند و جریان رود از میان این سنگ‌های خرد و متلاشی شده دره‌ها باید شیب کم‌تری داشته باشند.

شاخص سینوسی جبهه کوهستان (Smf)

شاخص سینوسی جبهه کوهستان از رابطه زیر به دست آورده می‌شود.

$$Smf = Lmf / Ls$$

رابطه (۸)



شکل ۹: شاخص سینوسی جبهه کوهستانی محدوده مورد مطالعه در محل پیوستن به رودخانه آجی چای

شاخص Smf در حوضه مذکور با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و DEM منطقه برابر (۱/۳۳) به دست آمد (جدول ۷). در رابطه فوق Smf شاخص سینوسی جبهه کوهستان Lmf طول جبهه کوهستان در امتداد کوهپایه و در محل شکست مشخص شیب (کنیک)، Ls طول خط مستقیم جبهه کوهستان را نشان می‌دهند (شکل ۹). شاخص سینوسی جبهه کوهستان شاخصی است که از یک طرف بیانگر تعادل بین نیروهای فرسایش دهنده که تمایل به بریدن و ایجاد شکل‌های خلیجی شکل و برش به داخل جبهه کوهستان را دارد و از طرفی نیروهای تکتونیکی که تمایل به ایجاد یک جبهه کوهستانی مستقیم به‌طور هم‌زمان با گسل خوردگی متوالی و مرحله به مرحله را دارند، می‌باشد. این جبهه‌های کوهستانی با بالآمدگی تکتونیک فعال که به‌طور نسبی مستقیم هستند، با مقادیر کم Smf همراه می‌باشند. اگر نرخ بالآمدگی کاهش یافته یا متوقف شده باشد، در نتیجه فرآیندهای فرسایش جبهه کوهستان را به‌طور قهقراپی حفر خواهند کرد و Smf افزایش پیدا خواهد کرد. در عمل مقادیر Smf ممکن است به آسانی از روی نقشه‌های توپوگرافی یا عکس‌های هوایی محاسبه شود. با وجود این، مقادیر Smf بستگی به مقیاس تصاویر و نقشه‌ها

هرچقدر این شاخص کم‌تر باشد و به عدد ۱ نزدیک شود می‌تواند دلیلی بر فعالیت‌های نئوتکتونیک باشد (عابدینی، ۱۳۹۱: ۸).

جدول ۷- نتایج حاصله از شاخص سینوسی جبهه کوهستان به کیلومتر

جبهه	Lmf	Ls	Smf	Class
۱	۱۱/۴	۸/۴۹	۱/۳۳	۱
۲	۶/۰۸	۴/۵۱	۱/۳۴	۱

نسبت عرض کف بستر به ارتفاع دره (Vf)

$$VF = 2 VFW / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)] \quad \text{رابطه (۹)}$$

در رابطه فوق Vf، نسبت عرض به ارتفاع دره Vfw پهنا (عرض) دره Eld و Erd به ترتیب، ارتفاع خط تقسیم آب در قسمت راست و چپ دره و ESC ارتفاع کف بستر دره می‌باشد شکل (۹). مقدار Vf کم‌تر از عدد ۱ نشانگر فعالیت‌های نو زمین‌ساخت و بین عدد ۱ تا ۲ معرف نسبتاً فعال و بزرگ‌تر از عدد ۲ بیانگر عدم فعالیت تکتونیک تفسیر شود (عابدینی، ۱۳۹۱: ۸). نسبت پهنای کف دره به ارتفاع متوسط آن شاخصی را معرفی می‌کند که تفاوت بین دره‌های با کف نسبتاً پهن شکل (U) را با دره‌های باریک و شیب و دیواره‌های بلند (V) شکل بیان می‌کند. از آنجایی که بالآمدگی با حفر بستر آبراهه مقادیر زیادتر (VF) ارتباط دارد، میزان کم شاخص بالآمدگی، حفر دره و وجود فعالیت تکتونیک را نشان می‌دهد. مقادیر زیاد VF مرتبط با نرخ‌های کم بالآمدگی می‌باشند. بنابراین رود پهنای بستر خود را فرسایش داده، به طوری که به طور گسترده پهنای بستر دره افزایش می‌یابد. مقادیر کم VF بیانگر دره‌های عمیق همراه با رودهایی که به طور فعال کف بستر خود را حفر می‌کنند و همچنین به طور معمول همراه با بالآمدگی است، (جدول ۷) پارامترهای لازم برای محاسبه VF حوضه آبخیز گنچی دره‌سی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در (جدول ۷) مشخص شده است، برای ارزیابی منطقی مقدار VF، ۱۵ برش عرضی در جهت عمود، بر آبراهه اصلی حوضه آبخیز در اطراف گیل‌های موجود ترسیم و میزان VF برای هر یک محاسبه شده است. آنگاه میانگین VF کل حوضه آبخیز محاسبه شده و به عنوان مقدار عددی مبنای سنجش فعالیت‌های تکتونیک لحاظ شده است (جدول ۸).

میزان VF همان‌طور که در جدول مشخص است، برای گسل‌های موجود محاسبه گردید. میانگین این شاخص برای حوضه برابر (۱/۲۰) می‌باشد؛ که از لحاظ فعالیت تکتونیکی در کلاس دوم (نیمه فعال) قرار می‌گیرد.

جدول ۸- مقادیر شاخص VF در حوضه آبخیز گنچی دره سی

ردیف	VF	VFW	Eld	Esc	Erd	ردیف	VF	VFW	Eld	Esc
۱	۱	۱۵۰	۱۵۲۰	۱۴۰۰	۱۵۸۰	۹	۰/۵۲	۹۰	۱۶۹۰	۱۵۴۸
۲	۱/۳۳	۲۰۰	۱۵۶۰	۱۴۲۰	۱۵۸۰	۱۰	۱/۷۷	۱۶۰	۱۶۸۰	۱۶۰۰
۳	۲/۱۱	۳۰۰	۱۵۶۰	۱۴۳۸	۱۶۰۰	۱۱	۲/۱۰	۲۰۰	۱۷۲۰	۱۶۴۰
۴	۱/۷۳	۲۰۰	۱۵۳۰	۱۴۵۵	۱۶۱۰	۱۲	۱/۲۹	۱۲۰	۱۷۲۵	۱۶۷۰
۵	۱/۱۴	۱۳۰	۱۵۵۰	۱۴۸۶	۱۶۵۰	۱۳	۱/۲۸	۱۶۰	۱۸۲۰	۱۷۰۰
۶	۱/۴۸	۱۸۵	۱۵۸۰	۱۵۰۰	۱۶۷۰	۱۴	۱/۶۱	۲۳۰	۱۸۳۵	۱۷۵۰
۷	۰/۷۸	۱۰۰	۱۶۲۰	۱۵۱۸	۱۶۷۰	۱۵	۱/۲	۱۵۰	۱۸۶۰	۱۷۸۰
۸	۰/۳۰	۵۰	۱۶۸۰	۱۵۲۶	۱۷۰۰	میانگین	۱/۲	۱۹۴	۱۶۶۱	۱۵۶۲

شاخص شکل حوضه (Bs)

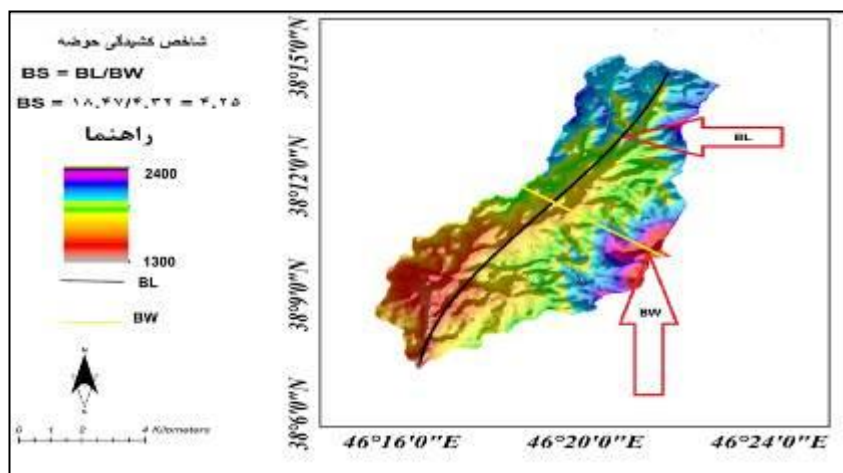
نسبت شکل حوضه زهکشی BS نیز شاخصی است که در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی به کار می‌رود. مقادیر بالاتر از حوضه‌هایی با فعالیت‌های متوسط زمین ساختی را نشان می‌دهد و با توقف فعالیت یا غلبه فرآیندهای فرسایشی، شکل حوضه به تدریج در طی زمان دایره می‌شود و شاخص کاهش می‌یابد ($Bs < 3$). بر اساس طبقه‌بندی (همدانی، ۱۵۰:۲۰۰۸)، مقادیر زیاد شاخص شکل حوضه ($Bs > 4$) حوضه‌های طولی با زمین‌ساخت فعال ($Bs > 3 < 4$) حوضه‌هایی با فعالیت‌های متوسط زمین ساختی و مقادیر پایین ($Bs < 3$) حوضه‌های دایره‌ای شکل می‌باشد. محاسبه نسبت این شاخص با معادله زیر تعریف می‌شود.

$$Bs = Bl / Bw \quad \text{معادله (۹)}$$

شاخص Bs شاخص فرم حوضه؛ Bl = طول دورترین نقطه تا خروجی حوضه؛ Bw = طول پهن‌ترین بخش حوضه می‌باشد، با توجه به نتیجه به‌عمل آمده مقدار عددی شاخص شکل حوضه ($4/25$) می‌باشد (جدول ۹)، که حوضه فعالی را به لحاظ فعالیت تکتونیکی نشان می‌دهد (شکل ۱۰).

جدول ۹- مقادیر شاخص BS

کلاس	BS	BW	BL	حوضه
۱	۴/۲۵	۴/۳۲	۱۸/۴۷	گنچی دره‌سی



شکل ۱۰: محاسبه شاخص شکل حوضه

شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی (I_{at}): این شاخص برای تجزیه و تحلیل شاخص‌های ژئومورفولوژیک و جمع‌بندی نتایج آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد تا وضعیت نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه مشخص شود. شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساخت (I_{at}) از تقسیم مجموع کلاس‌های شاخص‌های ژئومورفولوژیک محاسبه شده (S) بر تعداد شاخص‌های محاسبه شده (N) به دست می‌آید.

$$I_{at} = S/N$$

معادله (۱۰)

شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساخت در ۴ کلاس مناطق با فعالیت زمین‌ساختی شدید $1/5 < I_{at} < 1$ ؛ فعالیت‌های زمین‌ساختی زیاد $2 < I_{at} < 1/5$ ؛ فعالیت‌های زمین‌ساختی متوسط $2/5 < I_{at} < 2$ و فعالیت‌های کم و ناچیز $I_{at} > 2/5$ طبقه‌بندی می‌شود (همدانی، ۲۰۰۸: ۱۶۶). نتایج شاخص I_{at} بیانگر فعالیت‌های زمین‌ساختی زیاد کل حوضه گنچی دره‌سی می‌باشد (جدول ۹). هر یک از شاخص‌های مورد بحث در فوق یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت تکتونیک ارایه می‌دهند که برای مطالعات شناسایی و بررسی‌های مقدماتی مفید می‌باشند. وقتی چندین شاخص در یک ناحیه خاص برای طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل فعالیت تکتونیک به کار برده شوند، نسبت به به کارگیری یک شاخص، نتایج با معنی‌تر و

مستدل‌تری را در بر خواهند داشت. مرحله نهایی خلاصه ارزیابی پارامترهای ژئومورفولوژیکی که برای تجزیه و تحلیل فعالیت تکتونیکی حوضه گنچی دره‌سی استفاده شده‌اند، بر اساس جدول زیر جمع‌بندی و مشخص گردید که کل حوضه از لحاظ فعالیت تکتونیکی بر اساس شاخص LAT با ۱/۶۶ در کلاس زیاد قرار دارد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌های ژئومورفولوژیک در حوضه آبخیز گنچی دره‌سی

ردیف	HC	HI	AF	AF-50	T	Vf	Smf	SL	Bs	Lat	کلاس
۱	مرحله جوانی	۵۱/۴۵	۵۷/۴۵	۷/۴۵	۰/۲۱	۱/۲	۱/۳	۱۱۹۰-۱۸۰	۴/۲۵	---	
کلاس	۱	۱	۲	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۱/۶۶	زیاد

نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش بررسی تکتونیک فعال گنچی دره‌سی به وسیله داده‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و مشاهدات میدانی و با استفاده از شاخص‌های موجود در این زمینه می‌باشد، انجام گردید گسل شمال تبریز و دیگر گسل‌های فرعی منطقه در طول کوتاه‌تر نقش اصلی را در ساختار ژئومورفولوژی منطقه ایفا کرده است؛ به طوری که آثار این فعالیت‌ها بر روی ویژگی‌های سیستم رودخانه‌ای و حوضه زهکشی دیده می‌شود. با بررسی به عمل آمده و مشاهدات و فعالیت‌های پیمایشی و میدانی، شاهد تغییرات محسوسی در سطح حوضه هستیم. علل این تغییرات در بالادست حوضه ناشی از عوامل تکتونیکی و لیتولوژیکی و در قسمت پایین دست عمدتاً متأثر از لیتولوژی و هیدرولوژی منطقه می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از شاخص‌های مربوطه و مورفومتری کلیه عناصر تأثیرگذار در فعالیت‌های تکتونیکی و مقایسه نتایج حاصله و وضعیت موجود، مشخص گردید که کل حوضه از لحاظ فعالیت تکتونیکی فعال بوده و نتایج فوق به کارایی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی در تعیین مناطق فعال از نظر تکتونیکی تأکید دارد. شاخص AF بزرگ‌تر از ۵۰ می‌باشد و نشانگر تکتونیک فعال حوضه می‌باشد. میزان VF برای کل حوضه برابر (۱/۲۰) می‌باشد. از لحاظ فعالیت تکتونیکی در کلاس دوم (نسبتاً فعال) قرار می‌گیرد. شاخص سینوسی جبهه کوهستان Lmf نیز طبقه فعال را نشان داد. از لحاظ شاخص گرادیان طولی رود (SL) نیز در کلاس نیمه فعال واقع شد. بر اساس شاخص کشیدگی حوضه و نتایج حاصله از محاسبات شاخص Bs ۴/۲۵ می‌باشد و نشانگر فعال بودن

حوضه به لحاظ فرآیند نئوتکتونیک می‌باشد. شاخص Lat مستخرج از نتایج کل شاخص‌های ژئومورفیک نشانگر فعال بودن حوضه به لحاظ نئوتکتونیک می‌باشد. با عنایت به این‌که وجود مراکز جمعیتی و مسکونی در چنین مناطقی می‌تواند در آینده موجب ضرر و زیان جانی و مالی بر دوش جامعه گردد، لذا در راستای برنامه‌ریزی منطقه‌ای از استقرار کاربری‌های مختلف و تمرکز بیش‌تر جمعیت و فعالیت انسانی در محدوده‌های گسل‌های فعال تکتونیک در صورت امکان اجتناب نمود و یا در انطباق ساخت‌وسازها و طرح‌های عمرانی مد نظر قرار داد.

Archive of SID

منابع

- اشتوکلین، یووان؛ نبوی، محمدحسن (۱۳۵۰)، «نقشه تکتونیک ایران»، تهران، انتشارات زمین‌شناسی.
- الهیان، محمودحبیب؛ رامشت، محمدحسین (۱۳۹۱)، «کاربرد شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنبا در برآورد وضعیت تکتونیکی بخش علیای زاینده‌رود»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۲۶، صص ۹۹-۱۱۲.
- ایران پناه، اسدالله (۱۳۴۷)، «*زمین‌ساخت (تکتونیک)*»، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۸)، «تحلیل اثرات ثنوتکتونیکی در نیمرخ طولی رودخانه‌های حوضه قرانقوچای واقع در دامنه‌های شرقی سهند»، *فصلنامه فضای جغرافیایی*، شماره ۲۷، صص ۷۹-۱۱۳.
- پور کرمانی، محسن؛ صدیق، حمید (۱۳۸۲)، «پدیده‌های ژئومورفولوژیکی گسل تبریز»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۳، صص ۳۷-۴۴.
- تقی‌پور، کریم؛ عباسی، محمدرضا؛ ستارزاده، یوسف (۱۳۸۲)، «شواهد تکتونیک فعال در امتداد گسل شمال تبریز»، *مجموعه مقالات بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، صص ۳۳-۴۵*.
- درویش‌زاده، علی؛ محمدی، مهین (۱۳۷۴)، «*زمین‌شناسی ایران برای رشته جغرافیا*»، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- درویش‌زاده، علی (۱۳۸۲)، «*زمین‌شناسی ایران*»، تهران، نشر دانش امروز.
- رادفر، شهباز؛ پور کرمانی، محسن (۱۳۸۴)، «ریخت زمین‌ساخت گسل کوهبنان»، *مجله علوم زمین*، شماره ۵۸، صص ۳۳-۴۵.
- رجبی، معصومه (۱۳۸۵)، «تحلیل فعالیت‌های ثنوتکتونیکی در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ در شمال شرقی ایران»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۴، صص ۱۹۱-۱۷۸.
- رزاقی، جواد؛ یساقی، علی (۱۳۸۲)، «بررسی وضعیت سائز موتکتونیکی (لرزه‌خیزی) شمال غرب ایران»، *مجموعه مقالات بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، صص ۸۵-۱۰۳*.
- روستایی، شهرام (۱۳۸۸)، «نقش فعالیت‌های تکتونیکی در شکل‌گیری و گسترش مخروط افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلاداغ»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۳، صص ۱۰۶-۱۳۷.

- جداری عیوضی، جمشید (۱۳۷۸)، «ژئومورفولوژی ایران»، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- جمالی، فرشاد؛ بلورچی، محمدجواد (۱۳۷۴)، «شاخص‌های زمین ریخت‌شناختی در ارزیابی مناطق با زمین‌ساخت فعال»، مجموعه مقالات چهاردهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ایران، صص ۲۱۲-۲۱۸.
- عابدینی، موسی (۱۳۹۱)، «بررسی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز باسمنج چای با تأکید بر شاخص‌های هیدرواقلمی، تکتونیک و فرساینده‌گی باران»، فصلنامه محیط جغرافیای ناحیه‌ای، شماره ۳، صص ۶۳-۷۶.
- عابدینی، موسی؛ رجایی، عبدالحمید (۱۳۸۳)، «پژوهشی در نقش نئوتکتونیک در تحول و تکامل ناحیه دیوان داغی با شاخص‌های ژئومورفیک»، ویژه‌نامه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تبریز، شماره ۱۵، صص ۱۶۱-۱۳۷.
- عابدینی، موسی (۱۳۸۵)، «بررسی نقش عوامل مؤثر در گسترش و تکامل مخروط‌افکنه‌های ارتفاعات دره دیز-دیوان داغی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های جدید»، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۵، صص ۸۹-۷۳.
- عابدینی، موسی؛ شنو، شبرنگ (۱۳۹۳)، «ارزیابی فعالیت‌های نو زمین‌ساخت در حوضه‌ی آبخیز مشکین‌چای از طریق شاخص‌های ژئومورفولوژی»، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۵، صص ۶۶-۴۹.
- علیزاده، امین (۱۳۸۰)، «اصول هیدرولوژی کاربردی»، مشهد، انتشارات آستان قدس.
- کرمی، فریبا (۱۳۸۸)، «ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیک با استفاده از تحلیل‌های شکل سنجی (مورد نمونه: حوضه‌ی اوجانچای، شمال شرقی کوهستان سهند)»، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۳، صص ۱۳۵-۱۵۴.
- گورابی، ابوالقاسم؛ نوحه‌گر، احمد (۱۳۸۶)، «شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه»، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص ۲۵-۱۳.
- مختاری، داوود (۱۳۸۵)، «کاربرد شاخص‌های زمین ریخت‌سنجی در تعیین میزان فعالیت گسل‌ها، مورد نمونه: گسل شمالی میشو»، مجله علوم زمین، شماره ۵۹، صص ۵۹-۴۴.
- مختاری، داوود (۱۳۸۶)، «تحلیل‌های زمین‌ساخت-رسوبی چاله تکتونیک و در حال گسترش مرند»، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص ۱۴۶-۱۲۹.

- مقصودی، مهران؛ کامرانی دلیر، حمید (۱۳۸۷)، «ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه‌ها مطالعه موردی: رودخانه تجن»، *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۶۶، صص ۳۷-۵۵.
- مقصودی، مهران؛ جعفری اقدم، مریم؛ باقری سیدشکری، سجاده؛ مینایی، مسعود (۱۳۹۰)، «بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژی»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۲۵، صص ۱۱۱-۱۳۶.
- یمانی، مجتبی؛ باقری، سجاده؛ جعفری اقدم، مریم (۱۳۸۹)، «تأثیر نو زمین‌ساخت در ژئومورفولوژی آبراهه‌های حوضه آبریز چله»، *مجله محیط جغرافیایی*، شماره ۱، صص ۷۲-۶۷.
- Brunsden, D., Thornes, J. B., (1979), "Landscape sensitivity and change", *Transactions of the Institute of British Geographers*, 4: 463-484.
- 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 8th Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton*, pp 115-138.
- Davis, W. M., (1899), "The geographical cycle", *Geographical Journal*, 14: 481-504.
- Dehbozorgi, M, Pourkermani, M., Matkan, A. A., Motamedi, H., Hosseiniasl, A., (2010), "Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros", *Iran, Geomorphology*, 121: 329-341.
- 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.
- Hack, J.T., (1960), "Interpretation of erosional topography in humid temperate regions", *American Journal of Science, Bradley*, 285: 80-97.
- 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 (SouthernSpain)", *Geomorphology*, 96:150-173.
- Keller, E.A., Nicholas, P., (1995), "*Active Tectonics Earth and Landscape*", Prentice Hall publisher, New Jersey.
- Malik, J., Mahanty. C., (2006), "Active tectonic influence on the evolution of drainage and landscape: Geomorphic signatures from Frontal and Hinteral and areas along the northwestern Himalaya", *India. Journal Fasin*, 33: 15-56.
- Penck, W., (1953), "*Morphological Analysis of Landforms*", (translated by H.Czech and K.C.Boswell), Macmillan.

- Ramirez- Herrera, M.T., (1998), "Geomorphic Assessment of Active Tectonic in the Acambay Graben, Mexican Volcanic belt", *Journal of Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 317-322.
- Rüdiger, Z.R., Fodor, L., Horváth, E., (2009), "Discrimination of fluvial, eolian and neotectonic features in a low hilly landscape: A DEM-based morphotectonic analysis in the Central Pannonian Basin, Hungary", *Geomorphology*, 104: 203-217.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardji, T., (2003), "Fault generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity", *Geomorphology*, 50: 203-225.
- Stanley, A., Schumm, J., document, F., John, M., (2000), "*Active Tectonics and Alluvial Rivers*", Cambridge, Cambridge University Press.

Archive of SID