

جغرافیا و توسعه شماره ۲۶ بهار ۱۳۹۱

وصول مقاله: ۱۳۸۹/۱۲/۱۵

تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۹/۳

صفحات: ۹۹-۱۱۲

کاربرد شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنبا در برآورد وضعیت تکتونیک

بخش علیای زاینده‌رود

محمود حبیب‌اللهیان^۱، دکتر محمدحسین رامشت^۲

چکیده

با توجه به اینکه کشور ایران بر روی کمربند زلزله‌خیزی آلپ-همالیا قرار دارد و هر چند یک‌بار شاهد زلزله‌های مخرب ویرانگری همانند زلزله‌های بم و طارم و غیره در کشورمان می‌باشیم، بررسی وضعیت تکتونیک فعال (جنبا) که از جمله عوامل ایجاد و بروز زمین‌لغزه‌ها می‌باشند و ارزیابی تهدیدات و خسارات بروز این فعالیت‌ها در شهرها از اهمیت بالایی برخوردار است. رودخانه زاینده‌رود، بزرگترین و مهم‌ترین رودخانه دائمی ایران مرکزی است که سد عظیم زاینده‌رود بر روی آن بسته شده است. بخش علیای رودخانه، در شمال شرق استان چهارمحال و بختیاری و غرب استان اصفهان در مختصات طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه و ۵۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۴۵ دقیقه و ۵۰ ثانیه شمالی قرار گرفته است. این منطقه از نظر زمین‌شناسی بخشی از زون سندانج-سیرجان می‌باشد.

در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک کمی از قبیل منحنی هیپسومتری (بی‌بعد) حوضه‌های آبریز، انتگرال منحنی هیپسومتری حوضه‌های آبریز، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، نسبت "V" عدم تقارن آبراهه‌ها، شاخص گرادبان-طول رودخانه، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی، فعالیت‌های تکتونیک و فرایشی در دره‌ی طولی رودخانه زاینده‌رود و دره‌های عرضی سواحل سمت راست و چپ در مساحتی حدود ۴۰۰ کیلومتر مربع مطالعه گردید.

بررسی این شاخص‌ها نشان داد که دره اصلی (طولی) رودخانه از نظر شاخص‌های "V_f" و نسبت "V" نیمه فعال، دره‌های فرعی در سواحل سمت راست و چپ رودخانه از لحاظ شاخص‌های "V_f" و نسبت "V" فعال و نیمه فعال قرار داشت. همچنین نتایج مؤید این مطلب بود که منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ شاخص "SL" در وضعیت غیرفعال بوده و از نظر شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه‌های آبریز، سمت چپ رودخانه نسبت به سمت راست از فعالیت بیشتری برخوردار است.

از لحاظ شاخص تقارن توپوگرافی عرضی "T"، شمال حوضه از جنوب آن فعال‌تر ولی در کل از شدت زیادی برخوردار نیست و از نظر دو شاخص منحنی بی‌بعد و انتگرال منحنی بی‌بعد، می‌توان گفت منطقه مورد مطالعه در حالت بالغ مایل به پیر قرار دارد. بررسی و ارزیابی نتایج حاصل از تلفیق کلیه شاخص‌ها، منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ تکتونیک در وضعیت نیمه فعال متمایل به غیر فعال قرار دارد. کلیدواژه‌ها: شاخص‌های مورفومتریک، تکتونیک جنبا، ژئومورفولوژی، زاینده‌رود.

مقدمه

تقریباً هیچ ناحیه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تأثیر تغییرات تکتونیکی قرار نگرفته باشد. به همین لحاظ، ارزیابی و بررسی فرآیندهای تکتونیکی فعال و اثرات ناشی از آن همچون زمین‌لرزه‌ها برای بسیاری از فعالیت‌های بشری همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه‌ها، سدها، تأسیسات صنعتی و... از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد تا به واسطه‌ی آن بتوان خطرات و خسارات ناشی از این گونه فرآیندهای فعال را به حداقل ممکن رساند.

در طول چند سال اخیر محققین مختلف در کنار بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیکی کیفی در مناطق دارای حرکات تکتونیکی فعال و جوان سعی در کمی نمودن رفتار حرکات تکتونیکی داشته و برای این امر، شاخص‌های متعددی را تحت عنوان "شاخص‌های مورفومتریکی یا شاخص‌های ریخت سنجی"^۱ ارائه نموده‌اند (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۵۵).

از مهمترین ویژگی‌ها و محاسن استفاده از شاخص‌های مورفومتریکی می‌توان به سادگی نسبی در روش محاسبه، سرعت عمل بالا در به کارگیری شاخص‌ها برای بررسی میزان فعالیت‌های تکتونیکی مناطق بویژه مناطق بزرگ، تعیین درجه نسبی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق مختلف، ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی مناطق در زمان کوتاه، آسان‌تر کردن مقایسه‌ی منطقی و معقول لندفرم‌ها در مطالعات ژئومورفولوژی، تعیین نرخ لغزش بویژه نرخ فرایش بر روی مناطق مورد مطالعه و به حداقل رساندن سلايق و نظرات شخصی در مطالعات اشاره کرد. استفاده از شاخص‌های مورفومتریکی در تشخیص حرکات فعال و جوان، در ایران و جهان سابقه‌ی چندانی نداشته و سابقه‌ی آن در جهان به دهه‌ی ۱۹۶۰ برمی‌گردد. در ایران سابقه این‌گونه مطالعات به بیش از یک دهه نمی‌رسد و می‌توان آن را علمی جدید در ایران به شمار آورد که خود حاصل جوان بودن آن در جهان می‌باشد.

پژوهشکده‌ی سوانح طبیعی (۱۳۸۳) در گزارش "پهنه‌بندی لرزه‌ای استان چهارمحال و بختیاری" با استفاده از شاخص گردایان- طول رودخانه، چنین نتیجه گرفته است: "شاخص گردایان رودخانه برای بخشی از رودخانه زاینده‌رود که در شمال شهرکرد جریان دارد، محاسبه گردید. میزان این شاخص در بخش‌های شمالی بسیار کم و در بخش‌های جنوبی نزدیک به ۱۰۰۰ می‌باشد" (پژوهشکده سوانح طبیعی، ۱۳۸۳: ۶۱). کرمی (۱۳۸۱) در پژوهش خود با استفاده از شاخص‌های مورفومتریکی به تشخیص میزان فعالیت زمین ساخت در دامنه‌های شمالی رشته‌کوه بزقوش و دشت انباشتی سراب دست زده است.

ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۳) با پژوهشی در نیمه‌ی جنوبی حوضه‌ی آبریز حاج علیقلی (جنوب شرقی دامغان) با استفاده از شاخص‌های مورفومتریکی به ارزیابی تکتونیک فعال پرداخته و به این نتیجه رسیده که حاشیه‌ی جنوبی حوضه تحت بررسی از نظر تکتونیکی غیرفعال بوده و به سمت شمال بر میزان فعالیت‌های تکتونیکی افزوده می‌شود.

ملک (۱۳۷۷) در پژوهش خود با استفاده از شاخص‌های مورفومتریکی، بخش‌های جنوبی البرز مرکزی را مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار داده است. بررسی نتایج حاصل از این پژوهش دلالت بر نرخ بالای کوهزایی در این مناطق می‌کند. حاجی‌علی‌بیگی (۱۳۸۰) در پژوهشی با استفاده از شاخص‌های مورفومتریکی به بررسی این شاخص‌ها در دو واحد جبهه کوهستانی و گستره کوهپایه و زیر واحدهای حوضه تهران پرداخته است. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که زیر واحدهای کرج و توچال در واحد جبهه کوهستانی البرز فعالیت نسبی زمین ساختی بیشتری نسبت به واحد آنتی البرز نشان می‌دهند.

سلیمانی و زارع (۱۳۷۸) در پژوهش خود به بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیک کیفی و محاسبه‌ی شاخص‌های مورفومتریکی کمی منطقه تهران- کرج پرداخته است.

بررسی نتایج حاصل از این پژوهش دلالت بر نرخ بالای عملکرد حرکات تکتونیکی فعال در این بخش از کوه‌های البرز

ایشان تأثیر تکتونیک را از طریق نیمرخ عرضی دره‌ها مورد بررسی قرار دادند. تحقیقات این دو نفر در شمال و جنوب گسل گارلوک انجام شد. مطالعات آن‌ها در منطقه به سه رده‌بندی مهم منجر گردید. در رده‌ی اول نسبت " V_f " کوچکتر از ۱ و این نشان می‌داد که منطقه متعلق به مناطق پرتحرک تکتونیکی است. در رده‌ی دوم " V_f " از ۱ تا ۲ تغییر می‌کرد و این نشان‌دهنده‌ی فعالیت کم یا متوسط تکتونیکی منطقه است و رده بزرگتر از ۲ دلالت بر عدم فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه داشت.

مواد و روش‌ها

مواد: برای شناسایی دقیق و مطالعه منطقه و برداشت‌ها و

محاسبات از منابع و اطلاعات زیر استفاده شد:

- نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، ۱/۵۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰
- داده‌های رقومی (TM) ماهواره لندست پنج با مشخصات ۱۶۴/۳۷
- نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰
- عکس‌های هوایی منطقه.

روش‌ها

- **مرحله‌ی اول:** برداشت‌ها و محاسبات از روی نقشه‌های توپوگرافی؛ ابتدا نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰ منطقه برای انجام محاسبات انتخاب گردید. در مرحله‌ی بعد با توجه به نوع توپوگرافی منطقه از میان شاخص‌های ده‌گانه، شاخص‌های گرادیان رودخانه " SL "، نسبت پهنای دره به عمق " V_f "، نسبت " V "، عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز " AF "، تقارن توپوگرافی عرضی " T " و منحنی فرازنا (بی‌بعد) و انتگرال فرازنا (بی‌بعد) به منظور تعیین میزان نسبی تکتونیک فعال انتخاب شد. بعد از آن مبادرت به شناسایی دره‌های فرعی ساحل سمت راست و چپ رودخانه نموده و نسبت به محاسبه شاخص‌های نسبت پهنای دره به عمق " V_f " و نسبت " V " اقدام گردید سپس با استفاده از دستگاه‌های کرویمتر، میزان SL و شاخص گرادیان رودخانه به دست آمد. در مرحله‌ی بعد با استفاده از دستگاه

مرکزی دارد. عبادیان (۱۳۷۹) در پژوهشی به منظور توجیه ساختار و زمین‌ساخت طاق‌دیس سبزیپوشان، روش‌های کمی (شاخص‌های مورفومتریک) و کیفی ریخت زمین‌ساخت و زمین‌شناسی ساختمانی را به کار برده است.

آرین و پورکرمانی (۱۳۸۰) در پژوهشی با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک به تشریح وضعیت کنونی دگر شکلی در بخش‌هایی از طول حدوداً صد کیلومتری رودخانه قزل‌اوزن در استان زنجان پرداخته‌اند. به این ترتیب مشخص می‌گردد که پژوهش‌های تحلیلی و جامعی در مورد مسائل نئوتکتونیک در حوضه‌ی زاینده‌رود صورت نگرفته است.

در خصوص استفاده از شاخص‌های مورفومتریک در جهان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

هاک^۱ (۱۹۷۳) به منظور کمی کردن نیمرخ طولی بدنه‌ی اصلی رودخانه‌ها در سال ۱۹۷۳ شاخص طول- گرایان رودخانه " SL " را ابداع کرد. وی ضمن مطالعه‌ی رابطه بین شیب کانال و اندازه ذرات بستر رودها در کوه‌های آپالاش به این شاخص دست یافت. او در تجزیه و تحلیل‌هایش به طریق تجربی استدلال نمود که مقدار شاخص " SL " به اختلاف مقاومت سنگ‌ها و اندازه ذرات تشکیل‌دهنده بستر رود بستگی دارد و نتیجه گرفت که با قدرت رود نیز در ارتباط است.

کلر^۲ (۱۹۷۷) با مطالعه در کوه‌های سن گابریل جنوب کالیفرنیا، مشاهده نمود که در مکان‌هایی با نرخ بالاآمدگی^۳ زیاد، مقادیر شاخص " SL " نیز زیاد می‌باشد. با این یافته وی بر فایده شاخص مزبور به عنوان ابزاری جهت حصول اطلاعات مقدماتی درباره بالا آمدگی تأکید نمود.

شاخص درصد تسطح‌شدگی جبهه کوهستان " $Facet\%$ " اولین بار در سال ۱۹۸۷ توسط ولس^۴ ارائه شد.

بال و مک‌فادن^۵ (۱۹۷۷) با استفاده از شاخص نسبت پهنای به عمق یا ارتفاع دره " V_f " برای شناسایی عامل فرسایش استفاده کرده‌اند و ایجاد مورفولوژی دره‌ها را توجیه کرده‌اند.

1-Hack
2-Keller
3-Uplift
4-Wells
5-Bull & Mcfadden

تحلیل داده‌های حاصل از شاخص‌های ششگانه مورد استفاده در منطقه پرداخته و وضعیت تکتونیک جنبا در منطقه تشخیص داده شد.

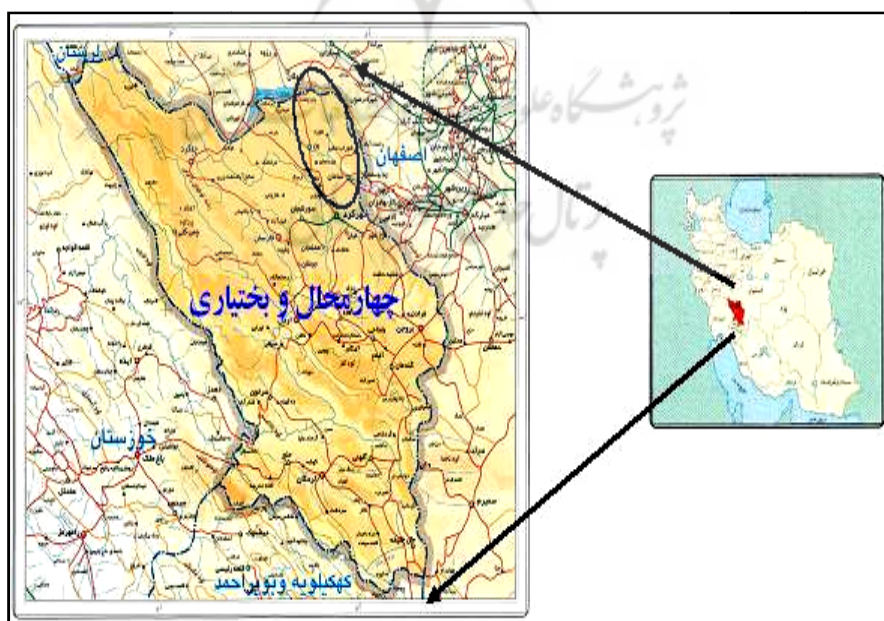
موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در مرکز ایران و در غرب استان اصفهان و شمال شرقی استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. این منطقه قسمتی از زون سنندج-سیرجان می‌باشد و از نظر موقعیت جغرافیایی بین عرض ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۴۵ دقیقه و ۵۰ ثانیه شمالی و طول ۵۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه و ۵۰ ثانیه شرقی واقع شده است. مساحت منطقه ۴۵۰/۷۶۷ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۲۱۳۲/۰۹ متر است و پست‌ترین نقطه‌ی آن پل زمانخان است که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۸۹۰ متر می‌باشد. منطقه‌ی مورد مطالعه جزئی از استان چهارمحال و بختیاری بوده و بخش کوچکی از آن در استان اصفهان واقع شده است. (شکل ۱).

پلانیمتر، به محاسبه‌ی شاخص‌های منحنی فرازنا (بی‌بعد) و انتگرال فرازنا (بی‌بعد) و عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه‌ی آبریز "AF" اقدام گردید. و در آخر به محاسبه‌ی شاخص تقارن توپوگرافی عرضی "T" پرداخته شد.

- **مرحله دوم:** برداشت‌ها و محاسبات صحرایی و تصحیح محاسبات نقشه‌ای؛ در این مرحله با توجه به شناخت کلی که از منطقه، با استفاده از منابعی که در مرحله‌ی اول تحقیق به آن‌ها اشاره شد، به دست آمد، به بازدید عینی از منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. در این بازدیدها ضمن شناسایی بصری عوارض ژئومورفولوژی از جمله دره طولی و دره‌های عرضی سمت راست و چپ رودخانه‌ی زاینده‌رود، اقدام به برداشت و محاسبات صحرایی توسط دستگاه GPS و چک کردن و تصحیح محاسبات نقشه‌ای شاخص‌ها گردید. در ضمن بازدیدها، از منطقه و محل محاسبه شاخص‌ها عکسبرداری نیز صورت گرفت.

- **مرحله سوم:** تجزیه و تحلیل داده‌ها؛ در این مرحله با توجه به نتایج به دست آمده در مراحل دوم و سوم، به تجزیه و



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در کشور

مأخذ: نویسندگان

محاسبه شاخص‌های کمی جهت ارزیابی تکتونیک فعال

الف- شاخص‌های نسبت پهنا به عمق یا ارتفاع دره "V_f" و نسبت "V": شاخص "V_f" با استفاده از رابطه‌ی

$$V_f = \frac{2 \times V_{fw}}{[(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]}$$

محاسبه شد. در این رابطه

"V_f" نسبت پهنا به عمق دره، "V_{FW}" پهنا به عمق دره یا عرض بستر دره، E_{sc} ارتفاع متوسط کف دره از سطح دریا، E_{ld} ارتفاع دیواره‌ی سمت چپ دره یا ارتفاع خط‌الرأس سمت چپ رودخانه (خط تقسیم سمت چپ از سطح دریا)، E_{rd} ارتفاع دیواره سمت راست دره یا ارتفاع خط‌الرأس سمت راست رودخانه (خط تقسیم آب سمت راست از سطح دریا) می‌باشد (شکل ۲) (Bull & McFadden, 1977:115-138)

این شاخص منعکس‌کننده‌ی اختلاف بین دره‌هایی V شکل و U شکل است، به این معنی که هر چه مورفولوژی دره به شکل V نزدیک‌تر شود مقدار V_{FW} به صفر نزدیک شده که نشان‌دهنده‌ی عمل تخریب و فرسایش آب‌های جاری در پاسخ به فرآیندهای تکتونیکی فعال و هر چه مورفولوژی دره به شکل U نزدیک‌تر شود مقدار V_{FW} افزایش می‌یابد و حاصل رابطه‌ی بالا بزرگ‌تر می‌شود که نشان‌دهنده‌ی تعریض و تسطیح دره توسط آب‌های جاری و کم شدن شدت فرآیندهای تکتونیکی و پایداری دره است (ملک، ۱۳۷۷: ۶۹). شاخص نسبت "V" عبارتست از نسبت مساحت دره به مساحت نیم‌دایره‌ای با شعاع معادل عمق دره ایجاد شده (ملک، ۱۳۷۷: ۱۰).

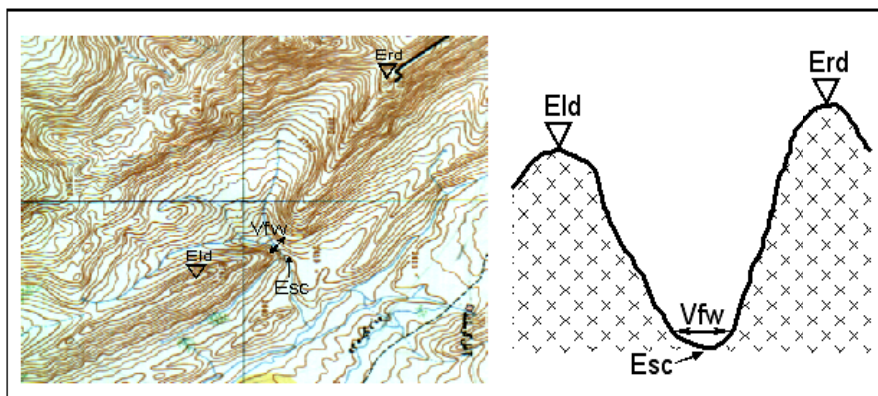
این شاخص با استفاده از رابطه $V = \frac{A_v}{A_c}$ محاسبه شد.

در این رابطه A_v مساحت دره در مقطع عرضی به متر مربع، A_c مساحت نیم‌دایره‌ای به شعاع H به مترمربع و H ارتفاع دره به متر می‌باشد (Mayer, 1986:129).

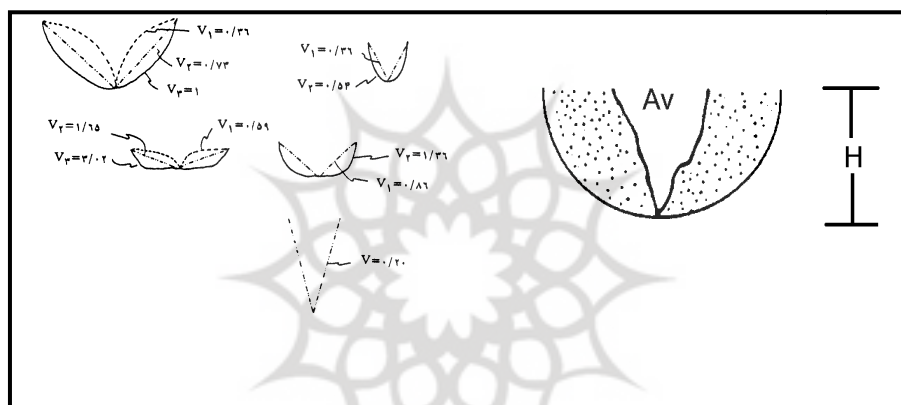
منطقه‌ی مورد مطالعه، منطقه‌ی پستی است که بین دو سری ارتفاعات مرتفع در جنوب‌غرب و شمال‌شرق واقع شده است. سری ارتفاعات جنوب غربی عبارتند از کوه برآفتاب (۳۱۴۵ متر)، کوه چهل دختران (۲۴۹۷ متر)، کوه یان چشمه (۲۹۳۲ متر) و ارتفاعات شمال شرقی عبارتند از کوه دالان (۳۴۵۰ متر)، کوه پرپر (۲۹۵۳ متر)، کوه پیرپیر (۲۶۴۶ متر)، کوه کمانسون (۲۵۴۶ متر) و کوه مستان. در صورتی که به نقشه‌ی توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰۰ شهر کرد نگاه کنیم خواهیم دید که این دو سری ارتفاعات با روندی شمال غرب- جنوب شرق منطقه‌ی مورد مطالعه را محصور کرده است (دودیان‌دهکردی، ۱۳۸۴: ۵).

موضوع بحث

در این پژوهش، با بررسی و ارزیابی اثرات نئوتکتونیک در بخش علیای رودخانه مذکور به وسیله‌ی شاخص‌های مورفومتریکی از قبیل منحنی هیپسومتری (بی‌بعد) حوضه‌های آبریز، انتگرال منحنی هیپسومتری حوضه‌های آبریز، نسبت پهنا به عمق دره به ارتفاع دره، نسبت "V"، عدم تقارن آبراهه‌ها، شاخص گرادیان- طول رودخانه، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی به تشخیص پدیده تکتونیک فعال پرداخته شده است. این مقوله (تکتونیک فعال) با توجه به وجود سد زاینده‌رود در منطقه و حجم بالای ذخیره آب آن و وجود شهر اصفهان و ده‌ها شهر کوچک و بزرگ مسیر رودخانه زاینده‌رود نیز قابل بررسی می‌باشد. به منظور محاسبه‌ی کمی میزان تکتونیک فعال (جنبا) و ارزیابی آن، با مشاهده و بررسی منطقه مورد مطالعه، از میان نه شاخص مورفومتریکی، با توجه به نوع توپوگرافی منطقه و عدم وجود جبهه کوهستان و مخروط‌افکنه در منطقه، شاخص‌های سینوزیته جبهه کوهستان، تسطیح‌شدگی جبهه کوهستان و وسعت مخروط‌افکنه قابل محاسبه نبوده و بنابراین از شاخص‌های باقیمانده برای تشخیص و ارزیابی تکتونیک فعال در منطقه استفاده گردید.



شکل ۲: نسبت پهنای کف دره به ارتفاع (نمای جانبی) و نحوه نمایش آن در نقشه توپوگرافی (نمای عمودی)
مأخذ: نویسندگان

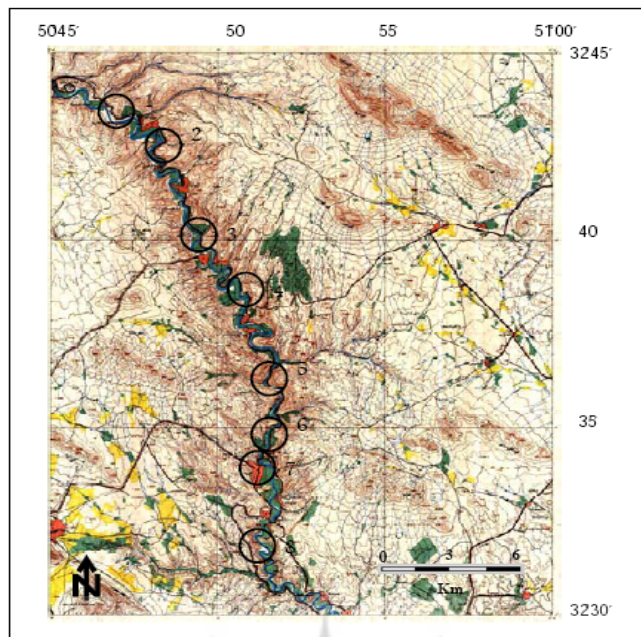


شکل ۳: مقطعی قائم از یک دره فرضی و پارامترهای لازم جهت محاسبه "V" و مقادیر مختلف این شاخص و رابطه آن با شکل دره
مأخذ: Mayer, 1986

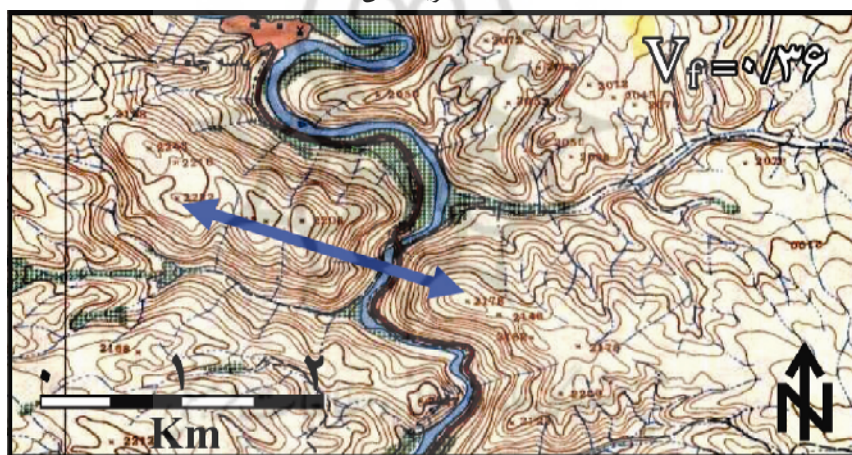
مهم عرضی سمت راست و چپ رودخانه جهت محاسبه، شناسایی و در نظر گرفته شد. در این پژوهش میزان V_f و نسبت "V" هشت مقطع از دره اصلی (شکل ۴) و چهار دره فرعی ساحل سمت راست و یازده دره فرعی ساحل سمت چپ رودخانه محاسبه شد که نتایج آنها در جدول‌های ۱ تا ۳ قابل مشاهده است. بصورت نمونه مقطع محاسبه شده V_f ، مقطع و نیمرخ عرضی و شاخص نسبت "V" یکی از مقاطع منتخب دره اصلی در شکل‌های ۵ تا ۷ قابل مشاهده است.

هر چه مقدار عددی شاخص V به عدد ۱ نزدیکتر باشد شکل مقطع عرضی دره به شکل U نزدیکتر بوده و بین فرایش و فرسایش منطقه توازن برقرار می‌باشد. هر چه مقادیر عددی شاخص V از عدد ۱ بزرگتر باشد میزان فرسایش در این نوع دره‌ها بیشتر خواهد بود و در نهایت هر چه مقدار عددی شاخص V از عدد ۱ کوچکتر باشد این موضوع بیانگر دره‌هایی به شکل V بوده و میزان فعالیت در چنین دره‌هایی بیشتر خواهد بود (Mayer, 1986: 129).

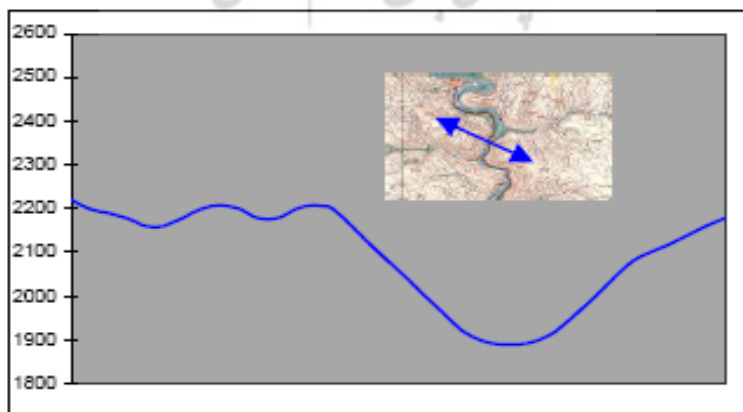
برای ارزیابی این دو شاخص ابتدا با بررسی منطقه‌ی مورد مطالعه از سد زاینده‌رود تا پل زمانخان از روی نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰ منطقه، دره‌ی طولی رودخانه و دره‌های



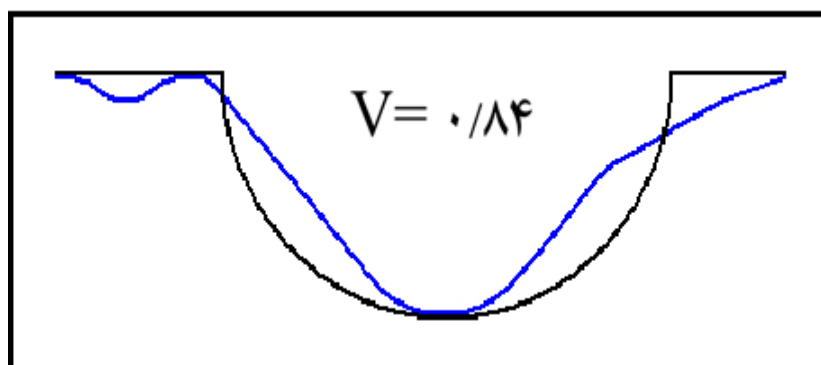
شکل ۴: نقشه توپوگرافی منطقه‌ی مورد مطالعه و محل نیمرخ‌های دره‌ی اصلی
 مأخذ: نویسندگان



شکل ۵: مقطع محاسبه شده V_f حد فاصل هوره و یا سه چاه
 مأخذ: نویسندگان



شکل ۶: مقطع عرضی حد فاصل هوره و یا سه چاه و نیمرخ آن $V = 0.84$
 مأخذ: نویسندگان



شکل ۷: نیمرخ مقطع عرضی حد فاصل هوره و یاسه چاه (جنوب روستای یاسه چاه، پل گزستان) و شاخص نسبت "V"
مأخذ: نویسندگان

جدول ۱: مقاطع منتخب هشتگانه در دره اصلی رودخانه زاینده رود و وضعیت تکتونیکی آن
بر اساس شاخص های "V_f" و شاخص نسبت "V"

شماره مقطع	نام محل	میزان V _f	وضعیت تکتونیکی	نسبت "V"	وضعیت تکتونیکی
۱	سد تنظیمی	۱/۱۲	نیمه فعال	۱/۰۹	نیمه فعال
۲	حد فاصل حجت آباد- گرمدره	۰/۸۹	فعال	۱/۱۱	نیمه فعال
۳	شمال مارکده و قوچان	۱/۴۶	نیمه فعال	۱/۱۸	نیمه فعال
۴	حد فاصل صادق آباد و مارکده	۱/۹۸	نیمه فعال	۱/۱۷	نیمه فعال
۵	حد فاصل هوره و یاسه چاه	۰/۳۶	فعال	۰/۸۴	فعال
۶	حد فاصل هوره و یاسه چاه	۰/۷۶	فعال	۰/۹۵	فعال
۷	روستای هوره	۱/۵۴	نیمه فعال	۰/۸۷	فعال
۸	حد فاصل چم کاکا و چم جنگل	۱/۲۹	نیمه فعال	۱/۱۵	نیمه فعال

مأخذ: نویسندگان

جدول ۲: مقاطع منتخب در چهار دره اصلی ساحل سمت راست رودخانه زاینده رود و وضعیت تکتونیکی آن

بر اساس شاخص های "V_f" و شاخص نسبت "V"

شماره دره	نام دره	میزان V _f	وضعیت تکتونیکی	نسبت "V"	وضعیت تکتونیکی
۱	مرد حق	۰/۴۱	فعال	۱/۳۱	نیمه فعال
۲	قافل دره	۰/۵۲	فعال	۱/۸۳	نیمه فعال
۳	کاس دره	۰/۸۴	فعال	۱/۹۳	نیمه فعال
۴	دراز دره	۱/۷	نیمه فعال	۲/۹۰	غیر فعال

مأخذ: نویسندگان

جدول ۳: مقاطع منتخب در یازده دره اصلی ساحل سمت چپ رودخانه زاینده‌رود و وضعیت تکتونیکی آن بر اساس شاخص‌های "V_f" و شاخص نسبت "V"

شماره دره	نام دره	میزان V _f	وضعیت تکتونیکی	نسبت "V"	وضعیت تکتونیکی
۱	ساری دره	۰/۶۱	فعال	۱/۱۶	نیمه‌فعال
۲	گنجگاه	۰/۵۱	فعال	۱/۶۸	نیمه‌فعال
۳	اوزون‌آخار	۰/۷۵	فعال	۱/۱۸	نیمه‌فعال
۴	گرم‌دره	۰/۴۹	فعال	۱/۴۹	نیمه‌فعال
۵	چم بالا	۰/۸۵	فعال	۱/۹۵	نیمه‌فعال
۶	بستان	۰/۴۳	فعال	۱/۱۵	نیمه‌فعال
۷	مارکده	۰/۲۴	فعال	۱/۲۲	نیمه‌فعال
۸	امام	۰/۸۷	فعال	۱/۷۶	نیمه‌فعال
۹	گزستان	۰/۸۳	فعال	۲/۱۹	غیرفعال
۱۰	نیستان	۰/۵۲	فعال	۱/۵۸	نیمه‌فعال
۱۱	شر دره سی	۱/۰۶	نیمه‌فعال	۱/۴۳	نیمه‌فعال

مأخذ: نویسندگان

تکتونیکی فعال و جوان باشد. مقادیر عددی زیاد شاخص گرادیان ($SL > 3000$)، بیانگر فرایش فعال و شدید بوده و مقادیر عددی کوچکتر از ۱۰۰۰ بیانگر عدم‌فعالیت تکتونیکی در منطقه می‌باشد (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۵۸).

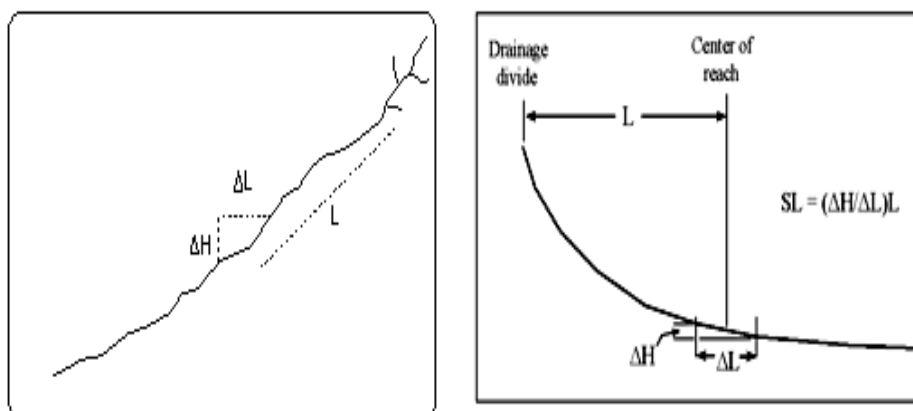
برای محاسبه‌ی این شاخص، ابتدا با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه، نیمرخ طولی رودخانه از سد تنظیمی تا پل زمانخان ترسیم شد (شکل ۹) و سپس چهار نقطه از رودخانه تعیین و فاکتور SL برای هر یک از نقاط محاسبه شد (جدول ۴).

ب- شاخص گرادیان - طول رودخانه "SL"

سومین شاخصی که به ارزیابی آن در منطقه پرداخته شد، شاخص گرادیان رودخانه "SL" می‌باشد. این شاخص با استفاده از رابطه $SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} \times L$ محاسبه می‌گردد. در این شاخص شاخص طول - گرادیان رودخانه، $\frac{\Delta H}{\Delta L}$ گرادیان - محلی رودخانه (شیب محلی رودخانه یا کانال) و L طول کانال رودخانه از خط تقسیم آبراهه تا مرکز بخشی که گرادیان آن محاسبه شده است، می‌باشد (شکل ۸).

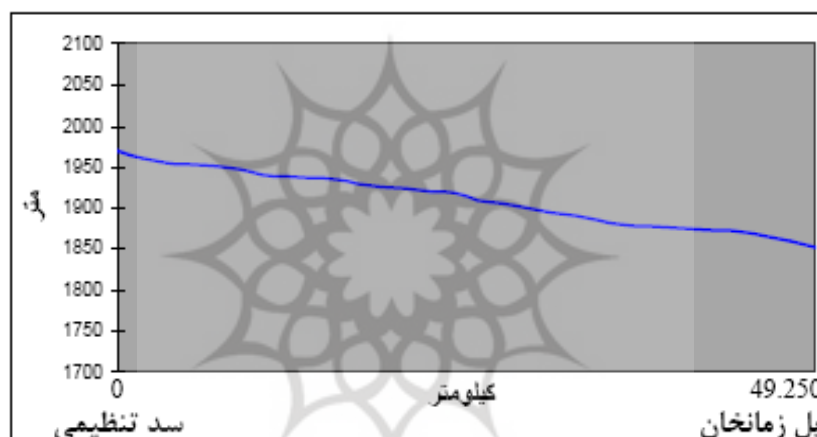
(Hack, 1973: 421-429; Keller, 1977: 39-46; Keller & Pinter, 2001)

مقادیر زیاد SL در سنگ‌های دارای مقاومت کم و یا در سنگ‌های از لحاظ مقاومت یکسان، می‌تواند بیانگر حرکات



شکل ۸: شاخص طول-گرادیان رودخانه و پارامترهای محاسبه آن

مأخذ: Molin & others, 2003



شکل ۹: نیمرخ طولی رودخانه زاینده‌رود از سد تنظیمی تا پل زمانخان

مأخذ: نویسندگان

جدول ۴: مشخصات محدوده‌های تعیین شده و میزان SL و وضعیت تکتونیکی آنها

نام محل	ΔH به متر	ΔL به متر	L به متر	میزان SL	وضعیت تکتونیکی
مارکده	۲۰	۱۲۷۵۰	۱۶۳۵۰	۲۵/۷	غیرفعال
یاسه چاه	۲۰	۷۲۵۰	۲۶۳۷۵	۷۲/۷۵	غیرفعال
هوره	۲۰	۷۲۵۰	۴۰۸۷۵	۱۱۲/۷۵	غیرفعال
چم جنگل	۲۰	۹۸۷۵	۴۲۱۸۷	۸۵/۴۴	غیرفعال

مأخذ: نویسندگان

ج- شاخص عدم تقارن آبراه‌ها در حوضه آبریز "AF" شاخص "AF" با استفاده از رابطه $AF = 100(Ar/At)$ محاسبه می‌گردد (Gardner & Others, 1987: 343-401; Molin & others, 2003) در این رابطه AF شاخص عدم تقارن آبراه‌ها، Ar مساحت حوضه دربرگیرنده‌ی زهکش‌های

باتوجه به نتایج و میزان SL محدوده‌های تعیین شده در حوضه، می‌توان گفت این میزان در قسمت شمال حوضه کم، در مرکز متوسط و در جنوب نیز کم می‌باشد ولی در کل حوضه و مقادیر به‌دست آمده، میزان SL پایین می‌باشد و نشان‌دهنده‌ی تحرک کم منطقه از لحاظ این شاخص می‌باشد.

$$AF = (167/775 \div 450/775) \times 100$$

$$AF = 37/22$$

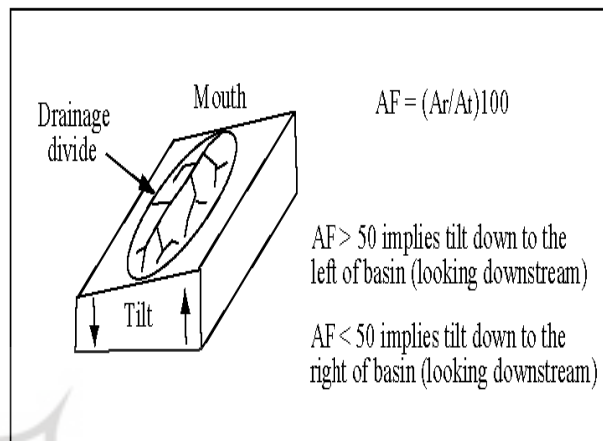
در نتیجه با توجه به اینکه AF برابر ۳۷/۲۲ می‌باشد می‌توان گفت، به فرض یکسان بودن عواملی مانند لیتولوژی، پوشش گیاهی و... عملکرد فرایش در ساحل سمت چپ بیشتر از ساحل سمت راست می‌باشد.

د) شاخص تقارن توپوگرافی عرضی "T"

این شاخص با استفاده از رابطه $T = \frac{D_a}{D_d}$ به دست می‌آید (Cox, 1994). در این رابطه T شاخص تقارن توپوگرافی عرضی، D_a فاصله نوار مئاندری فعال از خط میانی حوضه آبریز و D_d فاصله خط میانی حوضه آبریز از خط مرز حوضه (خط تقسیم آب) می‌باشد (Keller & Pinter, 1996:338).

در حوضه‌های کاملاً متقارن مقدار عددی شاخص "T" صفر می‌باشد. با کاهش تقارن حوضه، مقادیر عددی "T" افزایش یافته و به عدد ۱ نزدیک می‌شود. با پذیرش این موضوع که اثرات جزئی شیب سنگ بستر را می‌توان در مهاجرت و جابجایی کانال رودخانه‌ها در سطح زمین مشاهده نمود، "جهت مهاجرت ناحیه‌ای کانال رودها" یکی از نشانه‌های کج‌شدگی زمین در آن جهت خواهد بود (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۶۴). در (شکل ۱۱) مقادیر "T" محاسبه شده برای بخش‌های مختلف دره‌ها نشان داده شده است. شکل مذکور، "مهاجرت ترجیحی آبراهه‌ها" را عمود بر محور حوضه‌ی آبریز نشان می‌دهد.

فرعی در ساحل سمت راست آبراهه اصلی (برحسب کیلومتر مربع) و At مساحت حوضه‌های دربرگیرنده‌ی زهکش‌های فرعی در ساحل سمت چپ و راست آبراهه اصلی (برحسب کیلومتر مربع) می‌باشد (شکل ۱۰) (Molin & others, 2003)



شکل ۱۰: نمایش نحوه محاسبه عامل عدم تقارن توسط نمودار مکعبی مأخذ: Molin & others, 2003

هر گاه مقادیر عددی این شاخص در حدود ۵۰ باشد، بیانگر وجود تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و در نتیجه عدم وجود کج‌شدگی بر اثر فرایش خواهد بود. مقادیر عددی بیش از ۵۰ و کمتر از ۵۰ به ترتیب بیانگر عملکرد فرایش در ساحل راست و چپ آبراهه اصلی خواهد بود (Molin & others, 2003). کارایی این شاخص محدود به مواردی است که جهت کج‌شدگی بر مسیر جریان رود اصلی عمود باشد. هنگام کاربرد شاخص مزبور فرض اینست که عوامل کنترل‌کننده زمین‌شناسی (نظیر جنس سنگ‌ها، شیب لایه‌بندی‌ها و...) و آب و هوای محل (نظیر اختلاف پوشش گیاهی در دامنه‌های شمالی و جنوبی) هیچ یک تأثیری بر عدم تقارن نداشته‌اند (عبادیان، ۱۳۷۹: ۳۰). در منطقه‌ی مورد مطالعه مساحت حوضه دربرگیرنده آبراهه‌های فرعی در ساحل سمت راست آبراهه‌ی اصلی ۱۶۷/۷۷۵ کیلومتر مربع و مساحت حوضه دربرگیرنده آبراهه‌های فرعی در ساحل سمت چپ آبراهه اصلی ۲۸۳ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۱۱)، بنابراین:

همانطور که در (جدول ۵) مشاهده می‌شود، میزان تقارن توپوگرافی عرضی در شمال و جنوب حوضه متفاوت بوده و با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت، شمال حوضه از جنوب آن نامتقارن‌تر و در نتیجه تکتونیک جنب‌فعال‌تر می‌باشد. در مرکز حوضه تقارن به حداکثر خود می‌رسد.

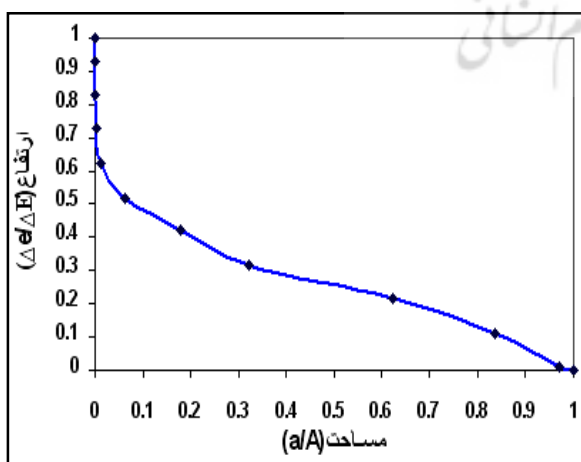
ه) شاخص منحنی فرازنا (بی‌بعد) و انتگرال فرازنا

- شاخص منحنی فرازنا

منحنی فرازنا، توزیع ارتفاعات را در راستای عمود بر یک ناحیه از زمین مثلاً در یک حوضه زهکشی توصیف می‌کند (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۶۵) و به عبارتی دیگر منحنی هیپسومتری، توزیع ارتفاعات را در عرض یک ناحیه از خشکی نشان می‌دهد، خواه این ناحیه یک حوزه‌ی آبریز باشد خواه کل سیاره زمین (عبدیان، ۱۳۷۹: ۲۶).

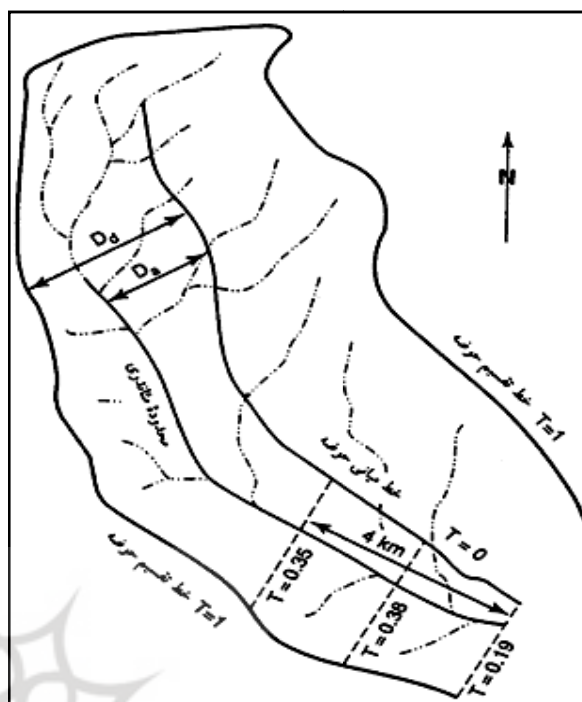
این منحنی با پیاده نمودن "نسبت ارتفاع کل حوضه" (ارتفاع نسبی) در مقابل "نسبت مساحت کل حوضه" (مساحت نسبی) ترسیم می‌گردد.

برای ارزیابی این شاخص، ابتدا بلندترین و پست‌ترین نقاط حوضه از روی نقشه توپوگرافی به ترتیب با ۲۸۶۵ و ۱۸۹۰ متر شناسایی و سپس با دستگاه پلانی متر مساحت کل حوضه و مساحت بین خطوط منحنی میزان محاسبه شد و منحنی هیپسومتری حوضه رسم گردید (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: منحنی هیپسومتری بی‌بعد حوضه

مأخذ: نویسندگان



شکل ۱۱: نقشه‌ی شماتیک از یک حوضه آبریز و پارامترهای

لازم جهت محاسبه شاخص "T"

مأخذ: Keller & Pinter, 1996

برای محاسبه این شاخص ابتدا خط میانی حوضه (خط تقارن) ترسیم شد و سپس با توجه به وضعیت قرارگیری خطوط مئاندری و میانی حوضه نسبت به یکدیگر و اینکه خطوط مئاندری و میانی حوضه در میان حوضه تقریباً بر هم منطبق هستند، دو محل از شمال و دو محل از جنوب حوضه برای محاسبه T انتخاب شد. محل‌های انتخاب شده و مشخصات آنها، در (جدول ۵) قابل مشاهده است.

جدول ۵: محل‌های محاسبه شاخص T و پارامترهای اندازه‌گیری آن

محل	میزان Da (به متر)	میزان Dd (به متر)	میزان T
حد فاصل حجت‌آباد و گرم‌دره	۳۸۱۳	۶۵۱۹	۰/۵۸۴
محدوده‌ی مارکده و قوچان	۱۹۶۸	۴۹۲۰	۰/۴
شمال روستای هوره	۱۹۶۸	۶۲۷۳	۰/۳۱۳
محدوده‌ی روستای چم جنگل	۷۳۸	۸۷۳۳	۰/۰۸

مأخذ: نویسندگان

نتیجه

پس از ارزیابی نئوتکتونیک (جنب‌ها) توسط شاخص‌های مورفومتریک، می‌توان نتیجه گرفت که:

۱- دره اصلی (طولی) رودخانه از نظر شاخص‌های V_f و نسبت "V" نیمه فعال می‌باشد.

۲- دره‌های فرعی در ساحل سمت راست رودخانه از لحاظ شاخص‌های V_f و نسبت "V" فعال و نیمه فعال می‌باشند.

۳- دره‌های فرعی در ساحل سمت چپ رودخانه از نظر شاخص‌های V_f و نسبت "V" فعال و نیمه فعال می‌باشند.

۴- دره‌های سمت چپ رودخانه از لحاظ تکتونیک و شاخص‌های V_f و نسبت "V" نسبت به دره‌های سمت راست فعال‌تر می‌باشند (عملکرد کمتر فرسایش در دره‌های سمت چپ).

۵- منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ شاخص "SL" در وضعیت غیر فعال قرار دارد.

۶- از نظر شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه‌های آبریز، سمت چپ رودخانه نسبت به سمت راست از فعالیت بیشتری برخوردارند (عملکرد کمتر فرسایش در دره‌های سمت چپ).

۷- از لحاظ شاخص تقارن توپوگرافی عرضی "T"، شمال حوضه از جنوب آن فعال‌تر ولی در کل از شدت زیادی برخوردار نیست.

۸- در نتیجه دو شاخص منحنی بی‌بعد و انتگرال منحنی بی‌بعد، می‌توان گفت منطقه‌ی مورد مطالعه در حالت بالغ مایل به پیر قرار دارد.

۹- در کل منطقه‌ی مورد مطالعه، پل گزستان در حدود ۶ کیلومتری شمال روستای هوره با توجه به نتایج دو شاخص V_f و نسبت "V" و شکل دره، فعال‌ترین نقطه به حساب می‌آید.

با توجه به نتایج کلی همه شاخص‌ها، منطقه‌ی مورد مطالعه از لحاظ نئوتکتونیک در وضعیت نیمه‌فعال متمایل به غیر فعال قرار دارد.

از شکل منحنی بی‌بعد حوضه می‌توان به این نتیجه رسید که نیمرخ طولی نشان‌دهنده‌ی غلبه فرسایش در حوضه و تأثیرگذاری آن بر ارتفاعات است. این منحنی نشان می‌دهد که کمترین سطح حوضه در ارتفاع بالا و بیشترین سطح آن در ارتفاع پایین قرار دارد.

- شاخص انتگرال فرازنا

از روش‌های ساده در تعیین شکل منحنی فرازنا برای یک حوضه‌ی آبریز فرضی، محاسبه نمودن "انتگرال فرازنا" برای آن می‌باشد. این انتگرال به صورت "مساحت زیر منحنی فرازنا" تعریف شده است.

این انتگرال از رابطه $I = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}$ به دست می‌آید.

در این رابطه H_{mean} ارتفاع متوسط حوضه، H_{min} ارتفاع کمینه حوضه و H_{max} ارتفاع بیشینه حوضه می‌باشد (Keller & Pinter, 1996: 338). مقادیر زیاد انتگرال نماینده آنست که قسمت اعظم توپوگرافی، مرتفع‌تر از مقدار میانگین می‌باشد. مقادیر متوسط تا کم آن نیز به حوضه‌های آبریزی مربوط می‌شود که بطور یکنواخت‌تری بریده شده‌اند. به عبارتی دیگر، مقادیر عددی بزرگ برای این انتگرال بیانگر توپوگرافی جوان (پستی و بلندی‌های فراوان به همراه فرآیند حفر قائم در دره‌ی رودخانه‌ها) و مقادیر عددی متوسط و کم به ترتیب بیانگر توپوگرافی بالغ و پیر می‌باشد.

این مقادیر مابین عدد ۱ و صفر قرار دارد. بطور مثال عدد ۰/۷۹۵ بیانگر توپوگرافی جوان، عدد ۰/۴۲۰ نشان‌دهنده توپوگرافی بالغ و عدد ۰/۱۷۶ گویای توپوگرافی پیر می‌باشد. با به دست آوردن ارتفاع متوسط حوضه از طریق رابطه $\bar{H} = \frac{\sum(a \times H)}{A}$ و مشخص نمودن حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه از روی نقشه توپوگرافی، انتگرال منحنی فرازنا محاسبه و میزان ۰/۲۴۸۳ به دست آمد که بیانگر حاکمیت توپوگرافی بالغ مایل به پیر است.

منابع

- ۱۰- ملک، علیرضا (۱۳۷۷). کاربرد شاخص‌های مورفومتریک در مطالعات نئوتکتونیک بخش‌های جنوبی البرز مرکزی، پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز.
- 11-Bull W., and McFadden L (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California, *Geomorphology in Arid regions*, D. O. Doehring, ed., Publications in Geomorphology, State University of New York at Binghamton, 115-138.
- 12- Cox R.T (1994). Analysis of drainage basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible quaternary tilt block tectonics: an example from the Mississippi embayment. *Geol. Soc. Am. Bull.* 106, 571- 581.
- 13- Gardner, T.W., Back, W., Bullard, T.F, Hare, P.W, Kesel, R.H., Lowe, D.R., Menges, C.M., Mora, S.C., Pazzaglia, F.J, Sasowsky, I.D., Troester, J. W, and Wells, S. G (1987). Central America and the Caribbean, in Graf W.L. ed, *Geomorphic systems of North America*: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Centennial Special Volume 2, 343-401.
- 14-Hack J (1973). Stream profile analysis and stream gradient index, *U. S. Geol. Surv. J. Res.* 1, 421-429.
- 15-Keller, E. A (1977). Fluvial systems: selected observations. In *Riparian Forests in California: Their Ecology and Conservation*, Anne Sands (ed.), University of California, Davis, Institute of Ecology, Publication No. 15, Chapter 5.
- 16- Keller E (1986). Investigation of active tectonics: use of surficial earth processes. In: Wallace, R. E. (eds), *Active Tectonics studies in Geophysics*. Nat. Acad. Press, Washington, Dc, 136-147.
- 17- Keller, E. A., and Pinter, N (1996). *Active Tectonics* Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ,, pp. 338.
- 18- Keller E. A., and Pinter, N (2001). *Active Tectonics, Earthquake, Uplift and Landscape*, Earth Sciences Series, Preintice- Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- 19- Mayer, Larry (1986). *Tectonic Geomorphology of Escarpments and Mountain Fronts*, Miami University.
- 20- Molin, P, Pazzaglia, F. J, Dramis, F (2003). *Geomorphic Expression of Active Tectonics in a Rapidly Deforming Arc, Sila Massif, Calabria, Southern Italy*, Dipartimento Di Scienze Geologiche, Universita Degli Roma Tre.

- ۱- آرین، مهران؛ محسن پورکرمانی (۱۳۸۰). مورفولوژی رودخانه‌ها و تکتونیک فعال (با نگرشی بر وضعیت کنونی رودخانه قزل‌اوزن در استان زنجان)، پنجمین همایش سالانه انجمن زمین‌شناسی ایران، شرکت ملی نفت ایران و دانشگاه شهید بهشتی.
- ۲- پژوهشکده سوانح طبیعی (۱۳۸۳). گزارش مرحله اول پهنه-بندی لرزه‌ای استان چهارمحال و بختیاری.
- ۳- حاج‌علی‌بیگی، حسین (۱۳۸۰). مورفوتکتونیک حوضه تهران، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی.
- ۴- داودیان‌دهکردی، علیرضا (۱۳۸۴). تحول تکتونومورفیک و ماگماتیک ناحیه بین شهرکرد و داران (زون سنندج- سیرجان، ایران). پایان‌نامه دوره دکتری. دانشگاه اصفهان.
- ۵- ذوالفقاری، مهدی؛ حمیدرضا پیروان؛ جعفر غیومیان و سهیلا بوذری (۱۳۸۳). بررسی نقش تکتونیک فعال بر الگوی شبکه آبراه‌های نیمه‌ی جنوبی حوضه آبریز حاج علیقلی (جنوب شرقی دامغان)، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- ۶- سلیمانی، شهریار (۱۳۷۸). رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- ۷- سلیمانی، شهریار؛ مهدی زارع (۱۳۷۸). بررسی مورفوتکتونیک و حرکات تکتونیک جوان در منطقه تهران- کرج، مجموعه مقالات سومین کنفرانس زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. جلد سوم. تهران. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- ۸- عبادیان، سارا (۱۳۷۹). تحلیل ساختاری و زمین‌ساختی طلاقدیس سبزپوشان بر اساس آنالیز مورفوتکتونیک منطقه، پایان‌نامه‌ی دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی.
- ۹- کریمی، فریا (۱۳۸۱). بررسی مسائل ژئومورفولوژی دامنه‌های شمالی رشته‌کوه بزقوش و دشت انباشتی سراب، پایان‌نامه دوره دکتری. دانشگاه تبریز.