

مطالعه‌ی مورفوتکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز حصارک (شمال غرب تهران)، با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک

ندا جباری* - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی
محمد رضا ثروتی - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی
محمد مهدی حسین‌زاده - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۸/۱۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۱/۲۵

چکیده

حوضه‌ی آبخیز حصارک در شمال غرب شهر تهران، در ناحیه‌ی زمین‌شناختی البرز مرکزی واقع شده است. با توجه به فعال بودن حرکات کوه‌زایی در برخی از نواحی ایران و برای آگاهی از میزان فعالیت نیروهای درونی و تکتونیک در منطقه‌ی مطالعه‌ی، از هشت شاخص ژئومورفیک که عبارت‌اند از: شاخص‌های منحنی هیپسومتریک و انتگرال هیپسومتریک، شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان، شاخص‌های عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی و تقارن توپوگرافی عرضی، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره، شاخص گرادیان طولی رودخانه و شاخص پیچ‌وخم رودخانه استفاده شده است. به‌طور کلی، دانش تکتونیک ژئومورفولوژی، مطالعه‌ی ساختارهایی است که بر اثر تکتونیزم و عکس‌العمل میان فرآیندهای تکتونیک و ژئومورفولوژیکی حاصل شده‌اند. رودخانه‌ی فصلی حصارک، حوضه‌ی آبخیز حصارک را زهکشی کرده و از به‌هم‌پیوستن دو شاخه‌ی اصلی تشکیل شده است. بنابراین، هر شاخه به‌عنوان یک زیرحوضه در نظر گرفته شده و شاخص‌های ژئومورفیک برای هر زیرحوضه، جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به ویژگی‌های خاص هر یک از شاخص‌ها و نتایج حاصل از آنها در سه زیرحوضه، مشخص شد که حوضه‌ی حصارک از نظر تکتونیک جزئ مناطق فعال است.

کلیدواژه‌ها: تکتونیک ژئومورفولوژی، شاخص‌های ژئومورفیک، رودخانه‌ی حصارک، حوضه‌ی آبخیز حصارک.

مقدمه

تکتونیک فعال یا تکتونیک ژئومورفولوژی فعال به مطالعه‌ی فرآیندهای پویا و دینامیک مؤثر در شکل‌دهی زمین و چشم‌اندازهای موجود در آن می‌پردازد. در علوم زمین، واژه‌ی تکتونیک اشاره به ساختمان‌های تغییرشکل‌یافته و معماری

خارجی‌ترین بخش زمین، یعنی پوسته‌ی زمین و ارزیابی این عوارض و ساخت‌ها در طول زمان زمین‌شناسی دارد. در واقع، تکتونیک فعال^۱ به صورت حرکات تکتونیک تعریف شده است که احتمال وقوع آنها در زمان آتی بوده و جوامع بشری را تهدید می‌کند (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۴). در میان روش‌های زمین‌شناختی برای مطالعه‌ی حرکات تکتونیک فعال، بررسی‌های زمین‌ریخت‌شناسی^۲ و ریخت‌شناسی زمین‌ساختی^۳ نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند؛ زیرا بسیاری از عوارض ژئومورفیک در مقابل حرکات تکتونیک فعال، بسیار حساس هستند.

از مشهورترین تلاش‌ها برای برقراری ارتباط میان ساختارهای ژئومورفیک و حرکات تکتونیک، می‌توان به چرخه‌ی فرسایش ویلیام موریس دیویس اشاره کرد. دیویس در سال ۱۸۹۹ میلادی، یک سیستم بسته‌ی ژئومورفیک را ارائه کرده است که در آن به دنبال یک افزایش سریع، ساختارهای ژئومورفیک در سراسر یک دوره‌ی ساختاری ظاهر می‌شوند. در چرخه‌ی دیویس، مورفولوژی هر مجموعه‌ی ساختاری - ژئومورفیک در مراحل جوانی، بلوغ و پیری نسبت به ساختارهای ژئومورفیک دیگر متفاوت است (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۳۳).

بول و مک‌فادن^۴ در سال ۱۹۷۷ میلادی، والاس^۵ در سال‌های ۱۹۷۷ و ۱۹۷۸ میلادی، بوکنام و اندرسون^۶ در سال ۱۹۷۹ میلادی و کلر^۷ در سال ۱۹۹۶ میلادی، رفتار متقابل حرکات تکتونیک و ساختارهای ژئومورفیک را با استفاده از روشی تجربی و عملی مورد آزمون قرار داده‌اند. در این مطالعات سن‌یابی یا برآورد میزان تغییرات ساختاری بر اساس تفسیرهای تکتونیک، به عنوان یک هدف اصلی میسر شده است.

پژوهشگران دیگری مانند سیلوا^۸ (۲۰۰۳، ۲۰۰۸)، استوک و همکاران^۹ (۲۰۰۸)، گاروته^{۱۰} (۲۰۰۸) و ایتاکر و همکاران^{۱۱} (۲۰۰۸) با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک، پژوهش‌های بسیاری انجام داده‌اند. موريساوا و هک^{۱۲} (۱۹۸۵)، از مورفوتکتونیک به عنوان مشخص‌کننده‌ی رابطه بین تکتونیک و عوارض سطحی یاد کرده و بر این باورند که با داشتن این ارتباط، می‌توان حوادث تکتونیک را از طریق مطالعه‌ی اشکال و ناهمواری‌های سطح زمین تفسیر کرد.

مهم‌ترین ویژگی استفاده از شاخص‌های مورفومتريک، سادگی نسبی روش محاسبه و همچنین سرعت عمل بالا در به‌کارگیری آنها برای بررسی میزان فعالیت تکتونیک مناطق بزرگ است. داده‌های مورد نیاز این شاخص‌ها، به راحتی از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آید. در این مطالعه، برای ارزیابی حوضه‌ی آبخیز حصارک از نظر نوع تکتونیک، هشت شاخص مورفومتريک به کار گرفته شده است که عبارت‌اند از:

1. Active Tectonic
2. Geomorphology
3. Morphotectonic
4. Bull & McFadden
5. Wallace
6. Bucknam & Anderson
7. Keller
8. Silva
9. Stokes et al
10. Garrote
11. Whittaker et al
12. Morrisava & Hack

- ۱- شاخص منحنی هیپسومتریک؛^۱
- ۲- انتگرال هیپسومتریک؛^۲
- ۳- شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان؛^۳
- ۴- شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی؛^۴
- ۵- شاخص تقارن توپوگرافی عرضی؛^۵
- ۶- شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره؛^۶
- ۷- شاخص گرادیان طولی رودخانه؛^۷
- ۸- شاخص پیچ‌وخم رودخانه.^۸

ویژگی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

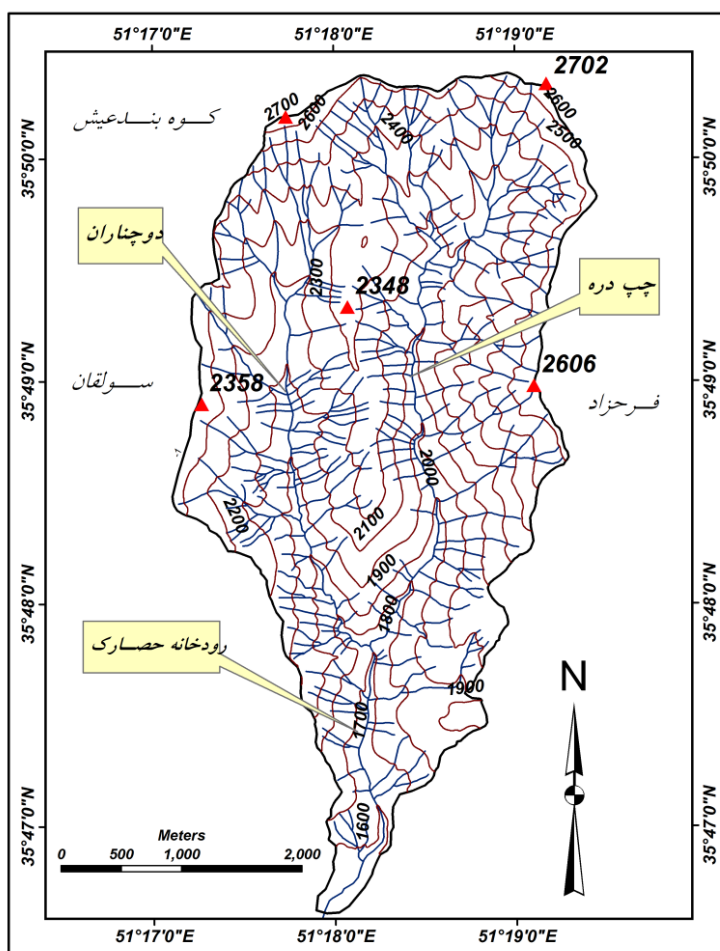
حوضه‌ی آبخیز حصارک (شکل شماره ۱)، با پهنه‌ای برابر ۱۴/۴۰ کیلومتر مربع در شمال غرب شهر تهران، در ناحیه‌ی زمین‌شناختی البرز مرکزی بر روی تشکیلات سازند کرج واقع شده و از شرق با حوضه‌ی فرحزاد، از شمال با قلّه‌ی بندعیش و از غرب با حوضه‌ی کن - سولقان محدود شده است. راندگی شمال تهران در جنوب حوضه و تراست پورکان - وردیج در قسمت‌های میانی حوضه، از جمله گسل‌های مهم در حوضه‌ی مورد مطالعه هستند. رودخانه‌ی فصلی حصارک، این حوضه را زهکشی کرده و در امتداد شمالی - جنوبی پس از عبور از روستای حصارک، به مسیل برگردان غرب می‌ریزد و در نهایت به رودخانه‌ی کن می‌پیوندد.

مواد و روش‌ها

برای به‌دست آوردن داده‌های مورد نیاز این پژوهش، از نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ کن و تصویر ماهواره‌ای IRS تهران استفاده شده است. نخست لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز از نقشه‌ی توپوگرافی در سیستم اطلاعاتی Arc Gis ساخته شده، سپس شاخص‌های ژئومورفیک مورد بررسی؛ یعنی منحنی هیپسومتریک، انتگرال هیپسومتریک، شاخص سینوسیتهی جبهه‌ی کوهستان، شاخص نسبت پهنای دره به عمق دره، عدم تقارن آبراهه، تقارن توپوگرافی عرضی، شاخص گرادیان طولی رودخانه و شاخص پیچ‌وخم رودخانه برای حوضه‌ی آبخیز حصارک محاسبه شده‌اند. با توجه به اینکه رودخانه‌ی حصارک از به‌هم‌پیوستن دو شاخه‌ی اصلی چپ‌دره و دوچناران در ارتفاع ۱۷۲۰ متری تشکیل شده است، بنابراین شاخص‌های مورد نظر، در چهارچوب سه زیرحوضه؛ یعنی زیرحوضه‌ی شاخه‌ی شرقی (چپ‌دره)، زیرحوضه‌ی شاخه‌ی

1. Hypsometric curve
2. Hypsometric integral
3. Mountain front sinuosity or (Smf)
4. Drainage basin asymmetry factor or (AF)
5. Transverse topographic symmetry factor or (T)
6. Ratio of vally floor width to valley height or (Vf)
7. Stream length- gradient index or (SL)
8. River sinuosity or (S)

غربی (دوچناران) و زیرحوضه‌ی حصارک، مورد بررسی قرار گرفته است. در انتها، بر اساس مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های مورد نظر، میزان فعالیت تکتونیکی حوضه‌ی آبخیز حصارک ارزیابی شده است.

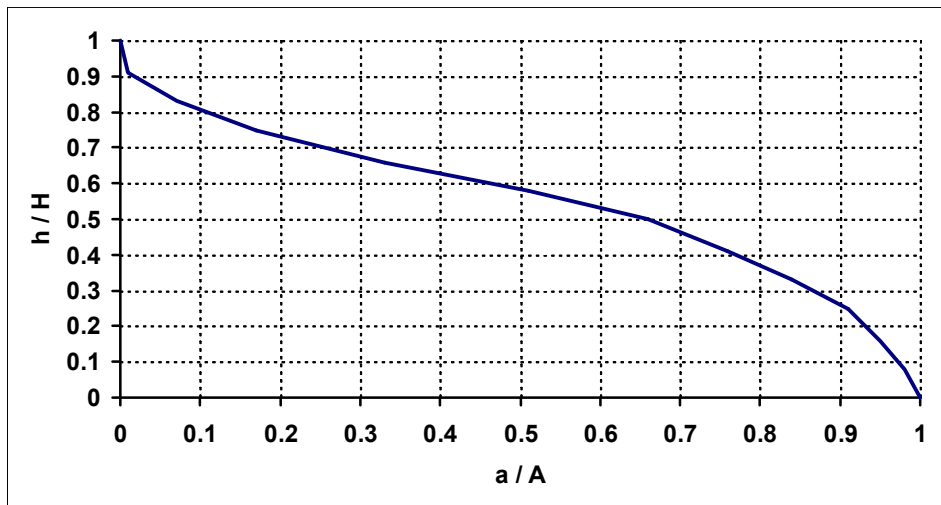


شکل ۱. موقعیت حوضه‌ی آبخیز حصارک

یافته‌های تحقیق

منحنی هیپسومتریک و انتگرال هیپسومتریک

منحنی هیپسومتریک، توزیع ارتفاعات را در راستای عمود بر یک ناحیه از زمین، برای مثال در یک حوضه‌ی زهکشی توصیف می‌کند. این منحنی با پیاده‌کردن نسبت ارتفاع کل (ارتفاع نسبی) در مقابل نسبت مساحت کل (مساحت نسبی) کشیده می‌شود (کلر و پنتر، ۱۹۹۶). شکل شماره ۲، منحنی هیپسومتریک حوضه‌ی آبخیز حصارک را نمایش می‌دهد. در این شکل، A مساحت کل حوضه و بیانگر مجموع مساحت بین خطوط تراز و H نیز، ارتفاع بلندترین نقطه در حوضه است. سطح a شامل مساحتی از حوضه است که بالای ارتفاع h قرار داشته باشد. مقدار عددی مساحت نسبی $\frac{a}{A}$ ، بین ۱ در پایین‌ترین نقطه‌ی حوضه ($\frac{h}{H}=0$) و ۰ در بالاترین نقطه‌ی حوضه ($\frac{h}{H}=1$) متفاوت است (جدول شماره ۱).



شکل ۲. منحنی هیپسومتریک حوضه‌ی آبخیز حصارک

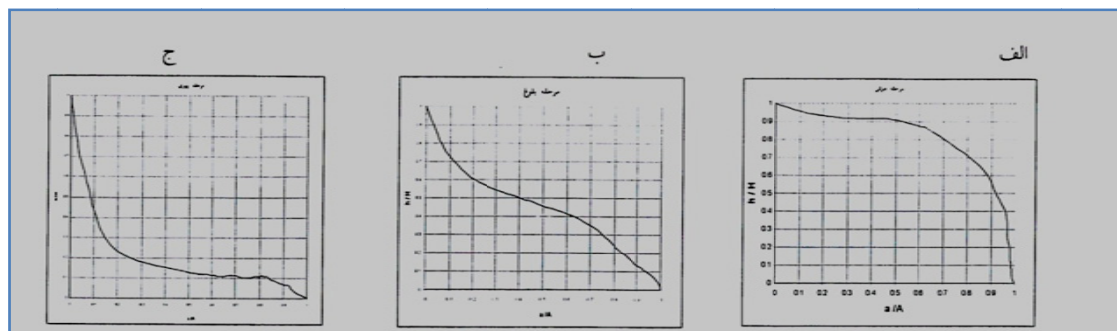
در یک حوضه‌ی آبخیز، برای تفسیر شکل منحنی هیپسومتریک، می‌توان انتگرال هیپسومتریک آن را محاسبه کرد. این انتگرال به صورت مساحت زیر منحنی هیپسومتریک تعریف شده و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\text{حداقل ارتفاع} - \text{حداکثر ارتفاع} / \text{حداقل ارتفاع} - \text{متوسط حوضه} = \text{انتگرال هیپسومتریک}$$

سه شاخص مورد نظر، به راحتی از نقشه‌های توپوگرافی به دست می‌آیند. حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه، به وسیله‌ی نقشه‌ی توپوگرافی و ارتفاع متوسط حوضه نیز، از روش مدل ارتفاعی رقومی حوضه به دست می‌آیند.

$$0/51 = 1539 - 2765 / 2175 - 1539 = \text{انتگرال هیپسومتریک}$$

مقادیر عددی بالا برای انتگرال هیپسومتریک (بالاتر از ۵۰٪)، بیانگر توپوگرافی جوان، پستی و بلندی زیاد و فرآیند حفر قائم در دره رودخانه‌ها (شکل شماره‌ی ۳-الف) و مقادیر عددی متوسط تا کم، به ترتیب حاکی از توپوگرافی بالغ و پیر هستند (شکل شماره‌ی ۳-ب و ج).



شکل ۳. منحنی‌های هیپسومتریک نظری

منبع: ادوارد و همکاران، ۱۹۹۵: ۱۲۵؛ گورابی، ۱۳۸۶: ۱۸۲

جدول ۱. جدول هیسومتریک حوضه‌ی آبخیز حصارک

Area	a / A	H	h / H	Area	a / A	H	h / H
۱۴/۴	۱	۰	۰	۷/۴۵	۰/۵۱	۷۰۰	۰/۵۸
۱۴/۱۹	۰/۹۸	۱۰۰	۰/۰۸	۴/۸۳	۰/۳۳	۸۰۰	۰/۶۶
۱۳/۷۷	۰/۹۵	۲۰۰	۰/۱۶	۲/۵	۰/۱۷	۹۰۰	۰/۷۵
۱۳/۱۶	۰/۹۱	۳۰۰	۰/۲۵	۱/۰۹	۰/۰۷	۱۰۰۰	۰/۸۳
۱۲/۱۹	۰/۸۴	۴۰۰	۰/۳۳	۰/۲۴	۰/۰۱	۱۱۰۰	۰/۹۱
۱۱/۰۷	۰/۷۶	۵۰۰	۰/۴۱	۰/۰۴	۰	۱۲۰۰	۱
۹/۵۷	۰/۶۶	۶۰۰	۰/۵				

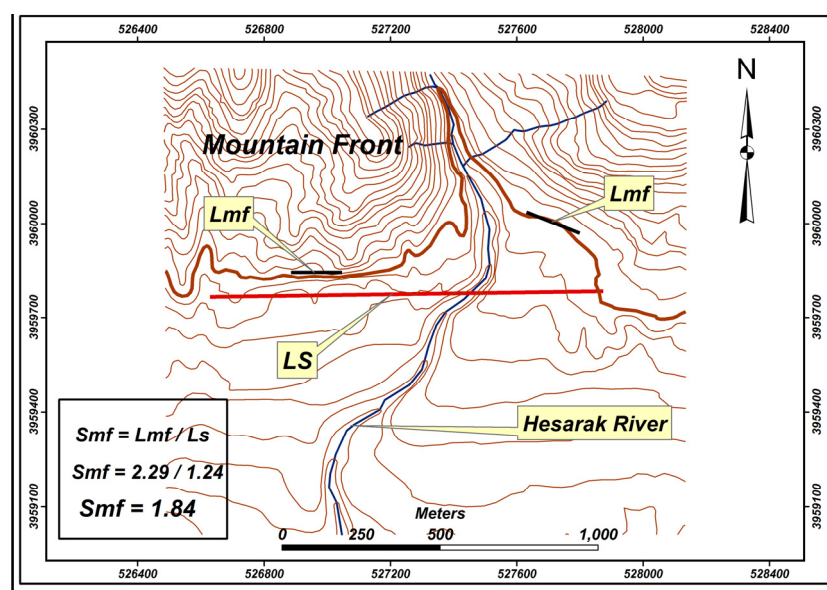
با توجه به منحنی هیسومتریک حوضه در سنجش با سه نمونه‌ی ارائه شده در شکل شماره ۳، مشاهده می‌شود که حوضه‌ی آبخیز حصارک در مرحله‌ی بلوغ قرار دارد. از این شاخص می‌توان در شناسایی سریع‌تر مناطقی با فرایش فعال استفاده کرد.

شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان

این شاخص به صورت رابطه‌ی شماره ۱ تعریف می‌شود (بول، ۲۰۰۸: ۱۲۲):

$$S_{mf} = \frac{L_{mf}}{L_s} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

در رابطه‌ی شماره ۱، S_{mf} شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان، L_{mf} طول پیشانی کوهستان در مکانی حد بین کوهستان و کوهپایه (خط کنیک) و L_s طول خط مستقیم پیشانی کوهستان را نشان می‌دهد. شکل شماره ۴ چگونگی محاسبه این شاخص را نمایش می‌دهد.



شکل ۴. عامل‌های مورد نیاز محاسبه‌ی شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان

این شاخص بیانگر توازن و تعادل بین شدت و قدرت رود برای ایجاد یک پیشانی کوهستان نامنظم از یک سو و حرکات تکتونیکی قائم و جوان برای ایجاد پیشانی مستقیم از سوی دیگر بوده و به‌سادگی با عکس‌های هوایی یا نقشه‌های توپوگرافی محاسبه می‌شود. از جمله افرادی که از این شاخص برای ارزیابی فعالیت تکتونیکی استفاده کرده‌اند، می‌توان به بول و فادن در سال ۱۹۷۷ اشاره کرد.

مقادیر عددی نزدیک به ۱ شاخص S_{mf} بیانگر کوه‌هایی است که با بالآمدگی فعال همراه‌اند و پیشانی مستقیم و فرورفتگی و بیرون‌زدگی کمتری دارند، اما چنانچه میزان بالآمدگی کاهش یافته یا صفر شود، فرآیند فرسایش وارد عمل شده و پیشانی کوهستان را به‌گونه‌ای سینوسی و نامنظم شکل می‌دهد که با گذشت زمان این حالت نامنظم‌تر می‌شود. بنابراین، بالارفتن درجه‌ی پیچ‌وخم پیشانی کوهستان (شاخص S_{mf}) بیانگر سکون تکتونیکی^۱ آن پیشانی است. این شاخص برای مناطق بسیار فعال تکتونیکی بین (۱ تا ۱/۶)، برای مناطق با فعالیت متوسط بین (۱/۴ تا ۳) و برای جبهه‌های کوهستانی غیرفعال تکتونیکی از حدود (۱/۸ تا بیشتر از ۵) است (کلر و پنتر، ۱۹۹۶: ۱۴۰؛ مددی، ۱۳۸۳: ۱۳۵). میزان شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوهستان در حوضه‌ی آبخیز حصارک برابر با ۱/۸۴ است.

عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی

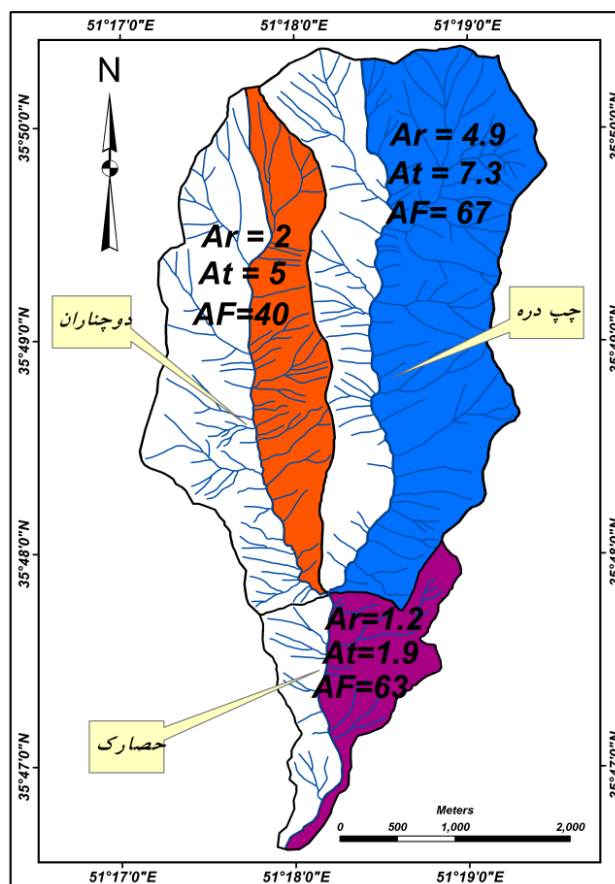
طول آبراهه و زهکش‌های فرعی در دو سوی آبراهه‌ی اصلی از شاخص‌های دیگر مورفوتکتونیکی است که برای ارزیابی تکتونیک فعال مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص با رابطه‌ی شماره‌ی ۲ محاسبه می‌شود: (کلر و پنتر، ۱۹۹۶).

$$AF = 100 (Ar/At) \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

در این رابطه، Ar مساحت حوضه‌ی دربرگیرنده‌ی زهکش‌های فرعی در سمت راست آبراهه‌ی اصلی و At مساحت کل حوضه‌ی زهکشی برحسب km^2 است (شکل شماره‌ی ۵).

در مناطقی که تکتونیک عمل کرده باشد، شاهد دو توپوگرافی متفاوت بالآمدگی در یک سو و فرونشست در سوی دیگر هستیم. بنابراین، طول آبراهه‌های فرعی و به‌دنبال آن مساحت دربرگیرنده‌ی این آبراهه‌ها در سمت فرایزش یافته‌ی منطقه، بیشتر از همین طول در سمت مقابل خواهد بود. مقادیر عددی به‌دست آمده از این شاخص زمانی که در حدود ۵۰ باشد، وجود تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه‌ی اصلی و عدم وجود کج شدگی بر اثر بالآمدگی را تأیید کرده و مقادیر بیشتر و کمتر از ۵۰، به‌ترتیب بیانگر عملکرد فرایش در ساحل راست و چپ آبراهه‌ی اصلی خواهد بود.

با توجه به تقسیم حوضه‌ی آبخیز حصارک به سه زیرحوضه، مشاهده می‌شود که در زیرحوضه‌ی شرقی (چپ‌دَره)، چرخش تکتونیکی به سمت شرق، طول زهکش‌های فرعی در جانب راست بیشتر و AF بزرگتر از ۵۰ و برابر با ۶۷ است. در زیرحوضه‌ی غربی (دوچناران)، چرخش تکتونیکی به سمت غرب، طول زهکش‌های فرعی در سمت چپ نسبت به آبراهه‌ی اصلی این زیرحوضه بیشتر و AF کوچکتر از ۵۰ و برابر با ۴۰ است. در زیرحوضه‌ی حصارک نیز چرخش تکتونیکی به سمت راست و AF بزرگتر از ۵۰ و برابر با ۶۳ است.



شکل ۵. محاسبه‌ی شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی

شاخص تقارن توپوگرافی عرضی

شاخص دیگری که می‌توان در ارزیابی نامتقارن بودن حوضه‌ی آبخیز و به تبع آن، در بررسی فعالیت حرکات تکتونیکی استفاده کرد، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی است که با رابطه‌ی شماره‌ی ۳ به دست می‌آید (کلر و پنتر، ۱۹۹۶):

$$T = \frac{D_a}{D_d} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

در این رابطه:

D_a = فاصله‌ی خط میانی حوضه‌ی زهکشی تا مسیر رود اصلی (نوار مئاندری فعال حوضه)؛

D_d = فاصله‌ی خط میانی حوضه‌ی زهکشی تا خط تقسیم آب است (شکل شماره‌ی ۶).

درواقع شاخص T ، برداری با جهت‌گیری خاص و با مقادیری از ۰-۱ است. در حوضه‌های کاملاً متقارن، مقدار این

شاخص برابر با صفر است. با کاهش تقارن حوضه، شاخص T افزایش یافته و به عدد ۱ نزدیک می‌شود.

بررسی شاخص T به همراه شاخص AF که پیشتر ارائه شد، می‌تواند برای شناسایی سریع‌تر مناطق کج‌شده بر اثر

تکتونیک فعال، مورد استفاده قرار گیرد. برای برآورد داده‌های مورد نیاز شاخص T در منطقه‌ی مطالعاتی، مقادیر D_a و

D_d برای هر یک از زیرحوضه‌ها در ۱۰ مقطع جداگانه محاسبه شده و نتایج آن در جداول شماره‌ی ۲ و ۳ و ۴ ارائه شده

است.

جدول ۲. محاسبه‌های شاخص T، زیرحوضه‌ی غربی (دوچناران)

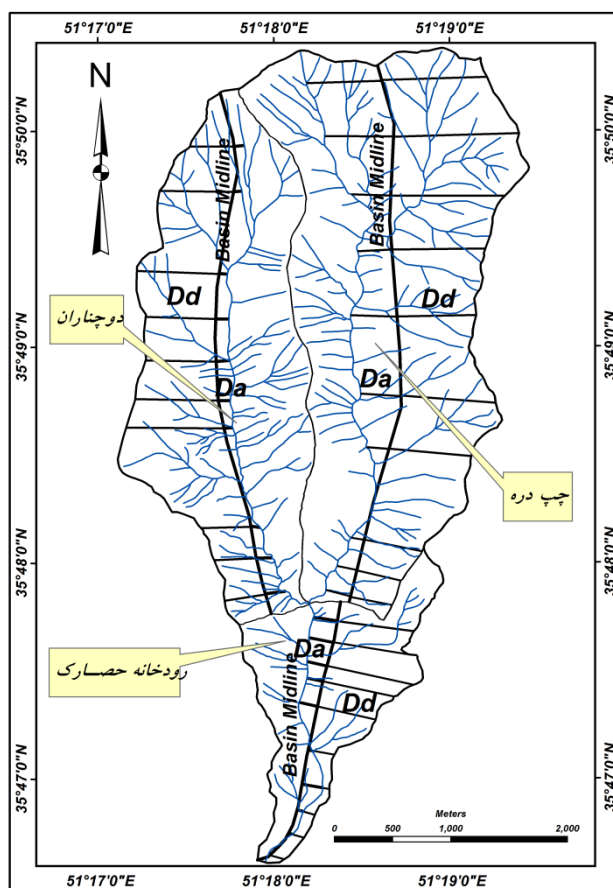
T	D_d	D_a	شماره‌ی مسیر	T	D_d	D_a	شماره‌ی مسیر
۰/۱۹	۶۰۴/۷	۱۱۶/۱	۶	۰/۴۹	۳۵۴/۶	۱۷۴/۴	۱
۰/۱۸	۵۹۸/۲	۱۱۳/۱	۷	۰/۳۷	۳۶۰/۳	۱۳۲/۷	۲
۰/۱۰	۷۰۱/۸	۷۱/۲	۸	۰/۱۹	۴۲۴/۴	۸۰/۳	۳
۰/۱۱	۶۳۳/۶	۷۲/۶	۹	۰/۰۹	۸۳۶/۶	۷۳/۵	۴
۰/۲۳	۳۷۵/۲	۸۷/۹	۱۰	۰/۱۵	۷۱۰/۶	۱۰۳/۱	۵
۰/۱۸	۵۶۰	۱۰۲/۵	Mean				

جدول ۳. محاسبه‌های شاخص T، زیرحوضه‌ی حصارک

T	D_d	D_a	شماره‌ی مسیر	T	D_d	D_a	شماره‌ی مسیر
۰/۳۲	۵۱۲/۱	۱۶۱/۵	۶	۰/۰۹	۱۲۹/۷	۱۲/۲	۱
۰/۲۲	۶۲۳/۷	۱۳۹/۲	۷	۰/۲۵	۱۳۹/۶	۳۴/۴	۲
۰/۲۳	۷۶۲/۸	۱۷۵/۱	۸	۰/۳۴	۱۵۹/۱	۵۴/۷	۳
۰/۳۳	۶۴۹/۳	۲۱۴/۳	۹	۰/۷۶	۲۴۰/۲	۱۸۲/۳	۴
۰/۳۱	۶۶۲/۹	۲۰۶/۸	۱۰	۰/۱۵	۲۲۸/۲	۳۳/۸	۵
۰/۳۰	۴۱۰/۷۶	۱۲۱/۴۳	Mean				

جدول ۴. محاسبه‌های شاخص T، زیرحوضه‌ی شرقی (چپ‌دزه)

T	D_d	D_a	شماره‌ی مسیر	T	D_d	D_a	شماره‌ی مسیر
۰/۵۸	۶۸۴/۷	۳۹۸/۸	۶	۰/۶۰	۳۶۷/۶	۲۱۹/۷	۱
۰/۳۶	۸۰۶/۲	۲۹۲/۸	۷	۰/۴۵	۳۸۹/۶	۱۷۳/۸	۲
۰/۳۴	۹۸۹/۶	۳۴۰/۵	۸	۰/۲۲	۵۱۱/۲	۱۱۳/۶	۳
۰/۵۵	۱۰۷۹/۲	۵۸۹/۲	۹	۰/۲۷	۷۱۴/۸	۱۹۲/۵	۴
۰/۷۱	۹۰۷/۶	۶۴۸/۵	۱۰	۰/۴۲	۸۱۸/۴	۳۴۷/۶	۵
۰/۴۶	۷۲۶/۹	۳۳۱/۷	Mean				



شکل ۶. روش محاسبه‌ی شاخص تقارن توپوگرافی عرضی

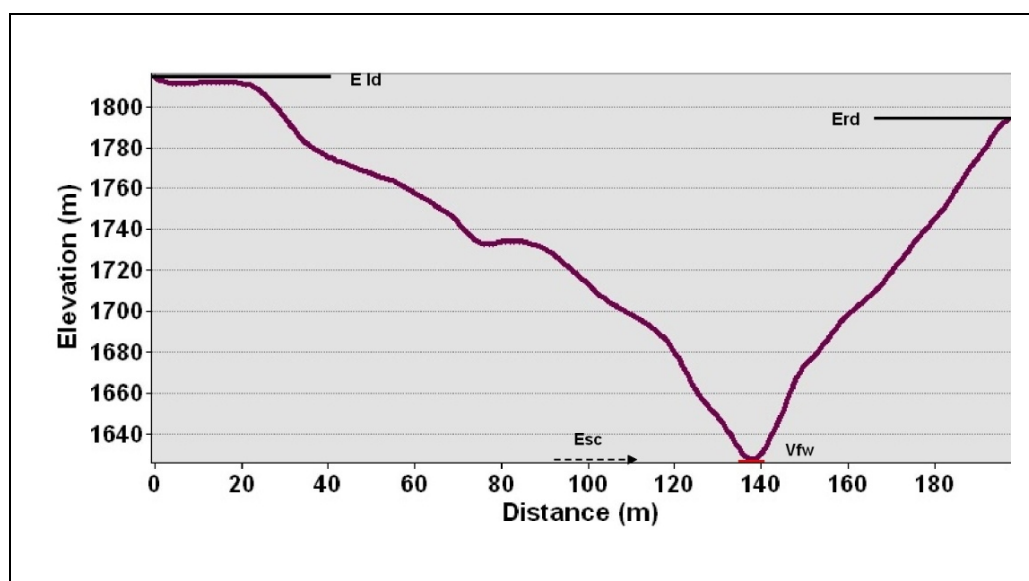
مقادیر حاصل از شاخص تقارن توپوگرافی عرضی در سه زیرحوضه، بین ۰/۱۸ تا ۰/۴۶ متغیر است. با توجه به اینکه در این شاخص مقدار عددی صفر بیانگر تقارن حوضه بوده و نتایج به دست آمده از محاسبه‌ها از صفر بیشتر و به عدد یک نزدیک است، عدم تقارن در سه زیرحوضه اثبات شده و می‌توان بیان کرد که منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر تکتونیکی و با توجه به این شاخص، حوضه‌ای فعال به شمار می‌آید.

نسبت پهنای کف درّه به ارتفاع درّه

این شاخص با رابطه‌ی شماره‌ی ۴ محاسبه می‌شود (بول، ۲۰۰۸: ۱۲۴):

$$V_f = 2 \times V_{fw} / [(E_{Id} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})] \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

در این رابطه، V_f نشان‌دهنده‌ی نسبت پهنای کف درّه به ارتفاع درّه، V_{fw} پهنای (عرض) کف درّه، E_{rd} و E_{Id} به ترتیب ارتفاع خط تقسیم آب در سمت چپ و راست درّه و E_{sc} ارتفاع کف بستر درّه هستند.



شکل ۷. محاسبه‌ی شاخص نسبت پهنای کف درّه به ارتفاع درّه

در محاسبه‌ی شاخص V_f باید این نکته را در نظر داشت که اندازه‌گیری داده‌ها در یک فاصله‌ی معین نسبت به پیشانی کوهستان (به‌طور معمول یک کیلومتر از جبهه‌ی کوهستان به‌طرف بالادست رودخانه) انجام شود (Bull, 1930: 126). شاخص V_f برای تفکیک درّه‌های U شکل از درّه‌های V شکل به‌کار می‌رود، به‌گونه‌ای که مقادیر کوچک V_f وجود درّه‌های عمیق و V شکل که می‌توانند نتیجه‌ی عملکرد تکتونیک فعال باشند، به‌همراه زیاد بودن میزان بالآمدگی را نشان می‌دهند. مقادیر بزرگ V_f نیز، نشان‌دهنده‌ی کم بودن میزان بالآمدگی و وجود درّه‌هایی با کف پهن و U شکل است که در اثر فرسایش جانبی ناشی از ثبات پیشانی کوهستان تشکیل شده‌اند. به‌طور کلی، فرسایش درّه‌های رودخانه‌ای و مورفولوژی درّه‌ها در مقطع قائم از ابزارها و شواهدی هستند که در تفسیر فعالیت‌های تکتونیک به‌کار گرفته می‌شوند. بال و مک‌فادن، حرکت کوهستان را بر اساس مقادیر V_f به‌صورت زیر تقسیم کرده‌اند: (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸: ۲۹).

$$\text{بسیار فعال } V_f < 1 \qquad \text{نیمه فعال } 1 > V_f > 2 \qquad \text{آرام } V_f > 2$$

درواقع، میزان این شاخص با چشم‌پوشی از تأثیر عوامل دیگر، نشان‌دهنده‌ی بالآمدگی و فرونشینی بستر یک رودخانه در یک دوره‌ی زمانی بلند است.

در این پژوهش برای محاسبه‌ی میزان V_f ، به‌طور جداگانه برای هر یک از زیرحوضه‌ها، برش‌هایی عرضی در جهت عمود بر آبراهه‌ی اصلی هر زیرحوضه ترسیم و مقدار این شاخص محاسبه شده است که نتایج حاصل از آن در جداول شماره‌ی ۵ و ۶ و ۷ خلاصه شده است.

جدول ۵. مقادیر شاخص V_f ، زیرحوضه‌ی شرقی (چپ‌دزّه)

ردیف	V_f	V_{fw}	E_{Id}	E_{Td}	E_{Sc}
۱	۰/۲۶	۴۵/۸۰	۲۰۱۳	۱۷۹۳	۱۷۲۹
۲	۰/۲۲	۵۲/۹۵	۲۰۶۲	۱۹۴۲	۱۷۶۲
۳	۰/۰۹	۲۵/۲۱	۲۰۹۰	۲۰۲۰	۱۷۹۵
۴	۰/۱۰	۳۵/۸۴	۲۲۸۳	۲۱۴۳	۱۸۵۶
۵	۰/۱۰	۴۱/۵۹	۲۴۰۵	۲۲۴۰	۱۹۲۹
۶	۰/۰۹	۳۷/۲۶	۲۵۱۸	۲۲۶۰	۲۰۱۰
۷	۰/۰۴	۲۰/۷۹	۲۵۷۴	۲۳۰۰	۲۰۸۰
۸	۰/۰۹	۳۱/۲۲	۲۵۶۲	۲۳۴۰	۲۱۲۲
۹	۰/۱۲	۲۳/۸۰	۲۵۲۰	۲۳۱۳	۲۲۲۵
۱۰	۰/۱۸	۳۲/۶۴	۲۵۹۰	۲۴۶۵	۲۳۵۵
۱۱	۰/۲۷	۴۰/۱۰	۲۴۳۰	۲۶۱۰	۲۳۷۵
Mean	۰/۱۴	۳۵/۲	۲۳۶۸	۲۲۲۱	۲۰۲۲

جدول ۶. مقادیر شاخص V_f ، زیرحوضه‌ی غربی (دوچناران)

ردیف	V_f	V_{fw}	E_{Id}	E_{Td}	E_{Sc}
۱	۰/۱۰	۱۹/۹۲	۱۹۲۱	۲۰۷۲	۱۸۰۷
۲	۰/۰۵	۲۱/۷۳	۱۹۹۰	۲۱۱۰	۱۸۳۶
۳	۰/۱۴	۳۶/۲۴	۲۱۳۰	۲۲۱۵	۱۹۱۵
۴	۰/۰۵	۱۵/۱۳	۲۲۴۰	۲۳۲۰	۱۹۷۹
۵	۰/۱۰	۲۸/۶۲	۲۲۶۰	۲۳۴۸	۲۰۳۵
۶	۰/۱۳	۱۹/۸۲	۲۳۰۴	۲۲۲۷	۲۱۱۸
۷	۰/۴۸	۷۷/۸۰	۱۸۱۰	۲۰۵۰	۱۷۷۰
Mean	۰/۱۵	۳۱/۳	۲۰۹۴	۲۱۹۲	۱۹۲۳

جدول ۷. مقادیر شاخص V_f ، زیرحوضه‌ی حصارک

ردیف	V_f	V_{fw}	E_{Id}	E_{Td}	E_{Sc}
۱	۲/۳۹	۵۰/۳۷	۱۵۷۴	۱۵۶۲	۱۵۴۷
۲	۲/۰۳	۳۸/۷۰	۱۵۸۴	۱۵۷۴	۱۵۶۰
۳	۰/۷۶	۲۰/۳۰	۱۶۰۰	۱۵۹۱	۱۵۶۹
۴	۰/۸۲	۴۳/۷۱	۱۶۰۹	۱۶۶۳	۱۵۸۳
۵	۰/۳۱	۲۹/۵۷	۱۶۵۰	۱۷۴۹	۱۶۰۷
۶	۰/۱۱	۲۰/۰۸	۱۸۱۶	۱۷۹۱	۱۶۲۷
۷	۰/۱۳	۳۵/۷۸	۱۹۱۵	۱۹۱۲	۱۶۵۵
۸	۰/۰۴	۱۴/۸۶	۱۹۷۹	۱۹۹۸	۱۶۷۹
Mean	۰/۸۳	۳۲	۱۷۱۵	۱۷۳۰	۱۶۰۳

مقادیر عددی شاخص V_f در زیرحوضه‌ی چپ‌دره برابر $۰/۱۴$ ، دوچناران برابر $۰/۱۵$ و حصارک برابر $۰/۸۳$ به‌دست آمده است. با توجه به تقسیم‌بندی این شاخص از سوی بال و مک‌فادن که پیش از این گفته شد و اهمیّت این نکته که مقادیر عددی کمتر از ۱ در این شاخص، نشانه‌ی عملکرد تکتونیک فعال است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حوضه‌ی آبخیز حصارک از دید تکتونیک، منطقه‌ای فعال به‌شمار می‌رود.

شاخص گرادیان طولی رودخانه

شاخص گرادیان طولی رود (SL) با رابطه‌ی شماره‌ی ۵ محاسبه می‌شود (کلر و پنتر، ۱۹۹۶: ۱۲۹):

$$SL = (\Delta H / \Delta L) \times L \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

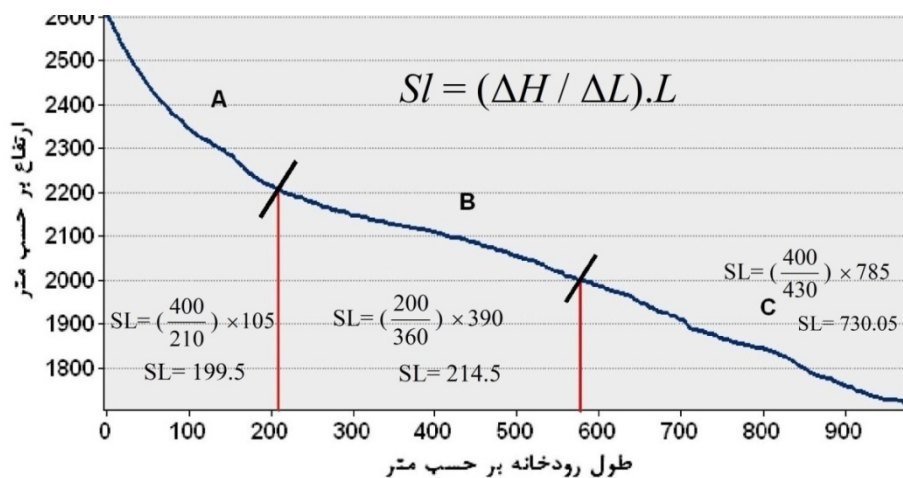
در این رابطه، SL شاخص گرادیان طولی رود، $\Delta H / \Delta L$ بیانگر شیب محلی رود، ΔH اختلاف ارتفاع بین دو نقطه‌ی اندازه‌گیری شده، ΔL طول بازه و L طول کل کانال از خط تقسیم آب تا مرکز بخشی که شیب آن محاسبه شده است.

مقادیر عددی شاخص SL به قدرت رودخانه (برحسب دبی رود و شیب سطح آب) بستگی دارند. این شاخص نسبت به میزان مقاومت سنگ‌ها حسّاس بوده و تفکیک آثار ناشی از تکتونیک فعال و مقاومت سنگ‌ها مشکل است. زمانی که سنگ‌های بستر رودخانه مقاوم باشند یا مکان‌هایی که حرکات تکتونیک فعال سبب تغییر شکل قائم پوسته‌ی زمین شده باشند، میزان این شاخص افزایش می‌یابد. گفتنی است که مقادیر بالای این شاخص در سنگ‌های کم‌مقاومت و سنگ‌هایی با مقاومت یکسان، می‌تواند بیانگر حرکات تکتونیک فعال و جوان باشد (سلیمانی، ۱۳۷۸: ۱۵).

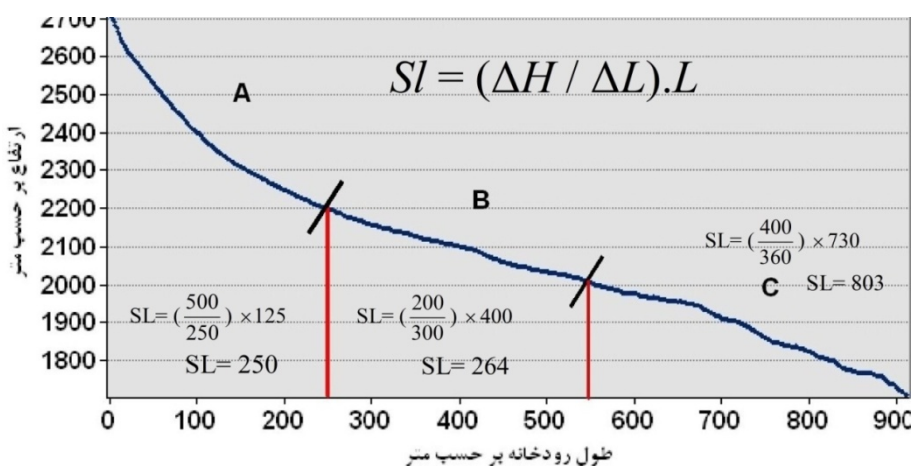
برای محاسبه‌ی شاخص گرادیان رودخانه (SL)، نخست نیمرخ طولی آبراهه‌ی اصلی سه زیرحوضه از روی نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ آماده شد (اشکال شماره‌ی ۸ و ۹ و ۱۰) و مقدار این شاخص در فواصل ۳۰۰-۱۰۰ متری (مقدار این فواصل در هر زیرحوضه متغیّر است و بر مبنای خط تغییر شیب نیمرخ طولی آبراهه تعیین شده است) به‌دست آمد. در انتها برای محاسبه‌ی SL کلّ جریان رودخانه از تمام SL های به‌دست آمده میانگین گرفته شده است. میزان متوسط شاخص گرادیان طولی رودخانه در منطقه‌ی مورد مطالعه از $۷۶/۱۸$ در زیرحوضه‌ی حصارک تا $۴۷۳/۳۸$ در زیرحوضه‌ی غربی نوسان دارد. جدول شماره‌ی ۸ مقادیر شاخص SL را نشان می‌دهد.

جدول ۸. مقادیر شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)

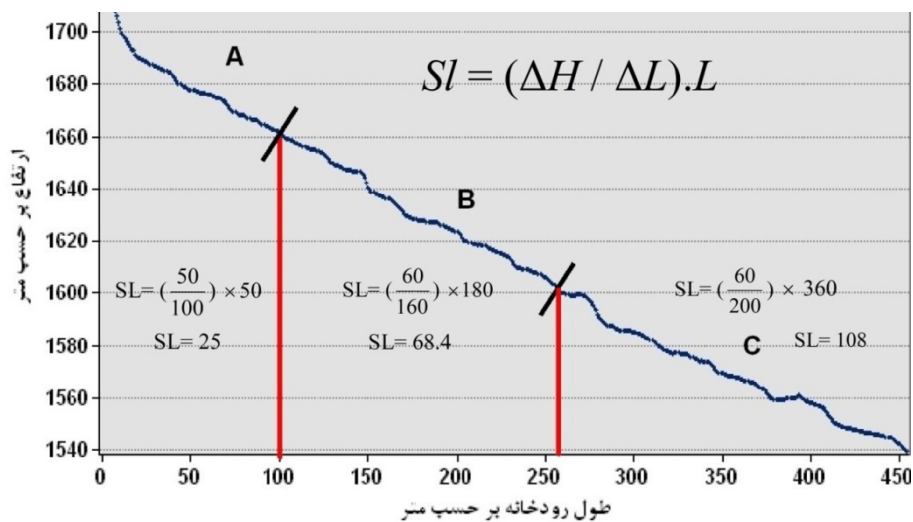
متوسط شاخص گرادیان رودخانه (SL)	مقادیر شاخص SL در هر بازه			نام حوضه
	A	B	C	
۴۳۳/۰۳	۱۹۹/۵	۲۱۴/۵	۷۳۰/۰۵	زیرحوضه‌ی شرقی (چپ‌دره)
۴۷۳/۳۸	۲۵۰	۲۶۴	۸۰۳	زیرحوضه‌ی غربی (دوچناران)
۷۶/۱۸	۲۵	۶۸/۴	۱۰۸	زیرحوضه‌ی حصارک



شکل ۸. نیمرخ طولی شاخه‌ی شرقی (چپ‌دره)



شکل ۹. نیمرخ طولی شاخه‌ی غربی (دوچناران)



شکل ۱۰. نیمرخ طولی رودخانه‌ی حصارک

با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مطالعاتی می‌توان بیان کرد که میزان کم شاخص SL، به دلیل جریان مسیر رودخانه بر روی سنگ‌های سست و متناوب شیل و توف است که به آسانی به وسیله‌ی آبهای جاری فرسایش می‌یابند. بالا بودن مقدار شاخص SL در زیرحوضه‌ی غربی و شرقی را نیز می‌توان به گسل‌های موجود در این بخش ارتباط داد. البته مقاوم بودن سنگ‌های بستر رودخانه در دو زیرحوضه‌ی شرقی و غربی نیز بر بالا بودن میزان SL دلالت دارند.

شاخص پیچ‌وخم رودخانه

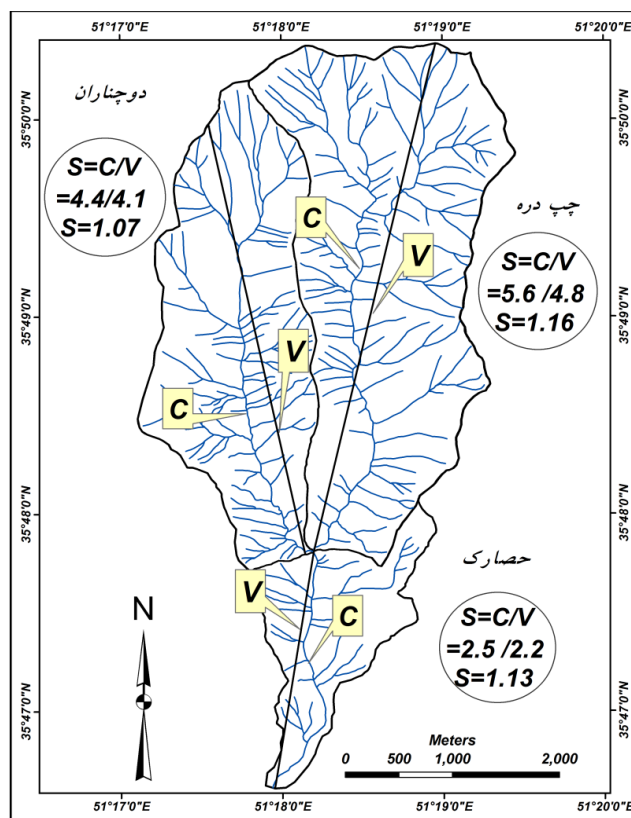
از دیگر شاخص‌های مورد استفاده برای بررسی فعالیت تکتونیک حوضه‌ی آبخیز حصارک، شاخص پیچ‌وخم آبراهه‌ی اصلی است. شاخص پیچ‌وخم رودخانه به وسیله‌ی رابطه‌ی شماره‌ی ۶ به دست می‌آید (شکل شماره‌ی ۱۱):

$$S = \frac{C}{V} \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

S = میزان سینوسیته یا پیچ‌وخم رودخانه؛

C = طول رودخانه؛

V = طول دره (کلر و پنتر، ۱۹۹۶: ۱۵۵).



شکل ۱۱. روش محاسبه‌ی شاخص پیچ‌وخم رودخانه

رودخانه‌هایی که پیچ‌وخم زیادی دارند به حالت تعادل نزدیک شده، در حالی که مستقیم بودن مسیر رودخانه بیشتر گویای جوان بودن منطقه و فعالیت تکتونیکی است.

زیاد بودن مقادیر عددی این شاخص، نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل را نشان می‌دهد، در حالی که مقادیر کم این شاخص، نشان‌دهنده فعالیت تکتونیک در منطقه‌ی مطالعاتی است. مقادیر این شاخص در جدول شماره ۹ خلاصه شده است.

جدول ۹. مقادیر شاخص پیچ‌وخم رودخانه

نام حوضه	مقادیر شاخص پیچ‌وخم رودخانه
زیرحوضه‌ی شرقی (چپ‌دره)	۱/۱۶
زیرحوضه‌ی غربی (دوچناران)	۱/۰۷
زیرحوضه‌ی حصارک	۱/۱۳

با توجه به مقادیر به‌دست آمده از این شاخص می‌توان گفت که حوضه‌ی مورد مطالعه از دید تکتونیکی به حالت تعادل نرسیده و تکتونیک در منطقه در حال فعالیت است.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش از هشت شاخص ژئومورفولوژیکی برای طبقه‌بندی فعالیت تکتونیکی حوضه‌ی آبخیز حصارک استفاده شده و مقادیر به‌دست آمده برای هر یک از شاخص‌های مورفوتکتونیکی، زمینه‌ی مناسبی را برای طبقه‌بندی منطقه‌ی مطالعاتی از نظر نوع فعالیت تکتونیکی فراهم کرده است. نتایج حاصل از شاخص‌های گفته شده برای هر سه زیرحوضه در جدول شماره ۱۰ آمده است. با توجه به مقادیر به‌دست آمده و شرح مربوط به هر یک از شاخص‌ها، می‌توان گفت که حوضه‌ی آبخیز حصارک از دید تکتونیکی منطقه‌ای فعال به‌شمار می‌آید.

جدول ۱۰. نتایج حاصل از محاسبه‌ی شاخص‌های مورفوتکتونیکی حوضه‌ی آبخیز حصارک

شاخص‌ها	مقادیر عددی	نوع فعالیت	شاخص‌ها	مقادیر عددی	نوع فعالیت
منحنی هیپسومتریک	—	مرحله‌ی بلوغ	عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی	۴۰-۶۷	فعال
انتگرال هیپسومتریک	۰/۵۱	مرحله‌ی بلوغ	شاخص تقارن توپوگرافی عرضی	۰/۱۸ - ۰/۴۶	فعال
پیچ‌وخم پیشانی کوهستان	۱/۸۴	فعالیت متوسط	نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره	۰/۱۴ - ۰/۸۳	بسیار فعال
گرادیان طولی رودخانه	۴۷۳/۳۸ - ۷۶/۱۸	فعال	پیچ‌وخم رودخانه	۱/۰۷ - ۱/۱۶	فعال

منابع

- Alavi, A., Derakhshani, R., Haghshenas, A., 2006, **Analysis Morphotectonic of Nar anticline (North West Lamerd)**, Quarterly Geographical Journal of Territory, Vol. 3, No. 12, Tehran, PP. 59-73.
- Bayati Khatibi, M., 2009, **Detection of Activities Neotectonic in the Catchment of Gharanghochay Using Indicators of Geomorphic and Morphotectonic**, Geographic Space, Islamic Azad University Vol. 9, No. 25, PP. 23-50.
- Bull, W. B., 2008, **Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology**, Blackwell Science.
- Bull, W. B., and McFadden, L. D., 1977, **Tectonic Geomorphology North and South of the Garlock Fault**, California, Proceeding of the 8th Annual Geomorphology Symposium, New York.
- Burbank, D.W. & Anderson, R. S., 2001, **Tectonic Geomorphology**, Blackwell Science, Ltd.
- Cheng, S., and Yang, G., 1999, **Segmented Variations in Tectonic Geomorphology of Datong-yangyuan Fault Zone, NW Beijing, China**, Journal of the Balkan Geophysical Society, Vol. 2, No. 2, PP. 46-62.
- Densmore, A.L., Yong, L., Ellis, M.A., and Rongjun, Z., 2005, **Active Tectonics and Erosional Unloading at the Eastern Margin of the Tibetan Plateau**, Journal of Mountain Science, Vol. 2, No. 2, PP. 146-154.
- Goorabi, A., Nohegar, A., 2007, **Geomorphic Indices of Active Tectonics in Darakeh Basin**, Geographical Research Quarterly, N. 60, PP.177-196.
- Goudie, A.S, 2004, **Encyclopedia of Geomorphology**, Vol. 2, Rutledge Ltd.
- Keller, E. A., and Pinter, N., 1996, **Active Tectonics Earthquake, Uplift and Landscape**, Prentice Hall Publication, London.
- Madadi, A., Rezaei Moghadam, M.H., Rajaei, A., 2004, **The Analysis of Neotectonical Activities Using Geomorphological Methods in Northwest Slopes of Talesh**, Researches in Geography, No. 48, PP. 123-138.
- Mayer, L., 1986, **Tectonic Geomorphology of Escarpment and Mountain Fronts, in Active Tectonics**, Compiled by Wallace, R. E., National Academic Press, Washington.
- Morrisava, M. and Hack, J. T., 1985, **Tectonic Geomorphology**, Unwin Hyman, Boston.
- Pedrerera, A., Perez-Pena, J.V., Galdino-Zaldivar, J., Azanon, J.M., and Azor, A., 2008, **Testing the Sensitivity of Geomorphic Indices in Areas of Low-rate Active Folding (Eastern Betic Cordillera, Spain)**, Geomorphology, Vol.105, PP. 218-231.
- Pour-Kermani, M., Arian, M., 1998, **Seismotectonic**, Publishing Consulting Engineers Dezab, Tehran.
- Rockwell, T.K., Keller, E.A., and Johnson, D.L., 1985, **Tectonic Geomorphology of Alluvial Fans and Mountain Fronts**, Near Ventura, in Morisava, M. and Hack, J.T, Tectonic Geomorphology, Unwin Hyman, California.
- Sarvati, M. R., Saddogh, H., Gholaminiah, H., 2008, **Geomorphology and Morphotectonic of Gach Anticline**, Journal of Research in Earth Sciences, Vol. 1, No.1, PP. 54-70.
- Satellite Picture of Tehran IRS, 2002, **The Iranian Space Agency**.

Soleimani, SH., 2000, **Guidelines on the Identification of Active Tectonics and Younger (With an Outlook on the Premises Paleontology)**, International Institute of Earthquake Engineering Seismology, Tehran.

Topographic Map of Kan, 1:25000, 2002, **Geographic Organization of Armed Forces**, First Published, Tehran.