

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۲، بهار ۱۳۹۶

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۴/۱

تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۱۰/۲۱

صفحات: ۱۳۲ - ۱۱۷

ارزیابی شاخص‌های مورفوتکتونیک در حوضه قانقلی‌چای

دکتر غلام حسن جعفری^۱، محمدرضا نوروزی^۲

چکیده

نئوتکتونیک از جمله عوامل دینامیکی است که همواره حوضه‌های آبخیز و رودخانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نئوتکتونیک به عوامل جدید تکتونیکی گفته می‌شود که عمدتاً در گسل‌ها نمود پیدا می‌کند. جابجایی گسل‌ها، باعث تشدید کانون‌های زلزله، آزاد شدن نیروهای درونی زمین و در نهایت تغییر شکل عوامل ژئومورفولوژیکی سطح زمین می‌شود. هدف این پژوهش، بررسی وضعیت تکتونیکی حوضه قانقلی‌چای است که زمین‌لغزش ناشی از زلزله ۱۳۶۹ رودبار و منجیل منجر به تشکیل دریاچه باکلور در آن شده است. بدین منظور، به کمک نرم‌افزار Arc GIS، Global Mapper 12 و با استفاده از شاخص‌های نسبی مورفوتکتونیکی مانند: گرادیان طولی رودخانه (SL)، عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، انتگرال منحنی هیپسومتریک (Hi)، نسبت کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شکل حوضه زهکشی (Bs)، پیچ و خم پیشانی کوه (Smf)، تقارن توپوگرافی عرضی (T) و سینوزیت (پیچ‌وخم) رودخانه (Sr) به بررسی این‌گونه فعالیت‌ها پرداخته شد. با توجه به نتایج این پژوهش، شاخص‌های SL، SMF و Sr نشانگر جوان بودن حوضه از نظر سیکل فرسایشی است. فعالیت گسل‌های پشت کوه و منجیل عمود بر حوضه، سبب اختلاف ارتفاع و تغییر قابل توجه‌ای در نیمرخ طولی رودخانه قانقلی‌چای و شاخص SL شده است. بقیه شاخص‌ها، بیانگر فعالیت تکتونیکی متوسط حوضه است. فعالیت زیاد تکتونیکی حوضه از نظر شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (LAT) حاکی از این است که هر کدام از شاخص‌ها به تنهایی نمی‌توانند وضعیت تکتونیکی حوضه را مشخص کنند و نیازمند برآورد شاخص LAT کل حوضه‌هاست؛ براساس آن، حوضه در کلاس ۲ یعنی با فعالیت تکتونیکی زیاد قرار می‌گیرد. استفاده از نمودار بی‌بعد در تأیید فعالیت‌های نئوتکتونیکی حوضه و به خصوص شاخص SL بسیار مفید است. براساس تفسیر آن می‌توان گفت که حوضه قانقلی‌چای از نظر تکتونیکی فعال است. کلید واژگان: نئوتکتونیک، زمین‌ساخت، گسل، باکلو.

مقدمه

تغییرات اساسی در زمین در طی دوران زمین شناسی، ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی بوده است. قرارگیری ایران بر روی کمربند کوهستانی آلپ- هیمالیا، عامل اصلی این گونه فعالیت‌ها در طی زمان بوده و در شرایط کنونی، شواهدی مانند وقوع زلزله‌های متعدد: رودبار منجیل، بویین زهرا، بم و غیره تداوم فعالیت‌های تکتونیکی را مورد تأیید قرار می‌دهد. نئوتکتونیک عامل کنترل کننده اصلی لندفرم‌های سطحی زمین در مناطقی است که تکتونیک فعال دارند و به‌طور قابل توجهی بر سیستم‌های رودخانه‌ای و مناطق کوهستانی اثر می‌گذارد (ده بزرگی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱). تقطیع مخروط‌افکنه‌ها و حفر مجدد بستر رود در سطح آن‌ها همراه با شیب تند حوضه‌ها، فعال بودن آن‌ها را از نظر تکتونیکی مورد تأیید قرار می‌دهد (زمرّدیان، ۱۳۹۲: ۱۲۱). سیستم‌های رودخانه‌ای ابزارهای ارزشمندی در جهت مطالعه فعل و انفعالات تکتونیکی هستند (عزّتی، آق آتابای ۲۰۱۳: ۱۷۷). برای به حداقل رساندن خسارت‌های ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی، ارزیابی و بررسی اثرات آن‌ها بر روی فعالیت‌های انسان همچون احداث شهرها، سدها و تأسیسات صنعتی اهمیت زیادی دارد. به‌علت حساس بودن عوارض ژئومورفولوژیکی در برابر حرکات تکتونیکی فعال، روش‌های ژئومورفولوژیکی نقش مهمی را ایفا می‌کنند (مددی و رضایی مقدم، رجایی، ۱۳۸۳: ۱۲۳). مخروط‌افکنه‌ها لندفرم‌های مهمی در مورفولوژی و مورفومتری هستند که بر اثر تغییرات تکتونیکی، آب و هوایی، سطح اساس و حوضه‌های زهکشی به‌وجود می‌آیند (بهرامی، ۲۰۱۳: ۲۱۷). در دو دهه اخیر شاهد رشد قابل توجه بررسی روابط تکتونیک جهانی و ویژگی توپوگرافی زمین هستیم و به این جهت ژئومورفولوژیست‌ها در پی بررسی نقش فعالیت‌های تکتونیکی در تکامل چشم اندازها هستند (سامرفیلد، ۲۰۰۰: ۱)^۱. فعالیت‌های تکتونیکی بر روی هیدرولوژی و آبرفت رودخانه‌ها، وضعیت سنگ بستر رودخانه‌ها و

نحوه فرسایش و رسوب گذاری اثر می‌گذارد (اسچوم و همکاران، ۲۰۰۰: ۲)^۲. تجدید فعالیت گسل‌های پای کوهی و تغییرات تکتونیکی سطح اساس، موجب حفر مجدد بستر رود در سطح مخروط‌افکنه‌ها و در نتیجه پیدایش پادگانه‌های آبرفتی می‌شود. اگر سرعت بالاآمدگی پیشانی کوهستان نسبت به رسوب گذاری رود در پای کوه کمتر باشد، رأس مخروط توسط رود حفر شده و دره عمیقی در مخروط ایجاد می‌شود. در این صورت، رسوب گذاری به بخش‌های پایین تر منتقل شده و مخروط‌افکنه جوان تری در قاعده مخروط قبلی شکل می‌گیرد (زمرّدیان، ۱۳۹۲: ۱۲۸). با بررسی ویژگی مخروط‌افکنه‌ها و مورفولوژی حوضه‌های زهکشی، با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک می‌توان به وضعیت تکتونیکی مناطق پی برد. در حوضه مورد مطالعه به‌علت وجود فرم‌های ژئومورفولوژیکی که بر اثر عوامل نئوتکتونیکی به‌وجود آمده؛ همچون تشکیل مخروط‌افکنه‌های جدید در قاعده مخروط‌افکنه‌های قدیمی، تشکیل دریاچه طبیعی بر اثر لغزش ناشی از زلزله رودبار و منجیل در سال ۱۳۶۹، همراه با شیب تند و حفر عمودی دره‌ها و وجود کانون‌های زلزله در درون و اطراف حوضه بررسی وضعیت تکتونیکی را با استفاده از شاخص‌های نسبی مورفوتکتونیکی توجیه و ایجاب می‌کرد. این حوضه دارای دو گسل اصلی منجیل در جنوب غرب (نزدیک پایاب) و پشت کوه در شمال غرب (نزدیک سراب) و چندین گسل فرعی مثل گسل باکلور در مرکز هست. گسل باکلور در واقع جزئی از گسل باکلور- کباته- زرد گل است که در یک سیستم پله‌ای در امتداد غرب، شمال غربی، شرق، جنوب شرقی به موازات قزل اوزن و شاهرود ایجاد شده‌اند (شکل ۱). زلزله رودبار در سال ۱۳۶۹ باعث شکستگی رسوبات باکلور به سمت غرب شده است (بربریان و همکاران، ۱۹۹۲: ۱۷۲۹). لغزش توده‌ای مواد دامنه‌ای به داخل رودخانه قانقلی چای، بر اثر زلزله رودبار در ناحیه کوهستانی، منجر به مسدود شدن دره رودخانه و

شواهد زمین‌ریختی در حوضه زهکشی رودخانه ساتوج^۴ در پایین‌دست گسل چنگو کاریک^۵، فعالیت‌های نفوتکتونیک را با استفاده از شاخص‌های مورفومتری مورد بررسی قرار دادند. آل تاج و همکاران (۲۰۰۷)^۶ با انجام شاخص‌های Vf و Smf در امتداد شرقی دریای سیاه در اردن، چنین نتیجه گرفتند که طولانی‌ترین گسل، در امتداد جبهه کوهستانی شرق دریای سیاه، دارای بالاترین مقدار Vf و Smf است. پریز-پنا و همکارانش (۲۰۱۰)^۷ با انجام پژوهشی در منطقه سیرانادا در شرق اسپانیا فعالیت تکتونیک را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و تحلیل الگوی زهکشی مورد بررسی قرار دادند. شفیع بافتی و همکاران (۱۳۸۸) از طریق محاسبه شاخص‌های زمین‌ریختی و ارزیابی فعالیت گسل کوهبنان، فعالیت کنونی این گسل را تأیید کرده‌اند. رامشت و حبیب‌الهیان (۱۳۹۱) بخش علیای زاینده رود را از نظر وضعیت تکتونیک با استفاده از شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنبا مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفته‌اند که این منطقه از لحاظ نفوتکتونیک در وضعیت نیمه‌فعال متمایل به غیرفعال قرار دارد. اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از شاخص SL، به بررسی اثرات مورفوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه واز در استان مازندران پرداختند و چنین نتیجه گرفتند که بین سنگ‌شناسی حوضه و مقادیر به‌دست آمده SL تفاوت معناداری وجود دارد. پژوهشگران دیگری از جمله علی‌پور و همکاران (۲۰۱۱)^۸، فقیه و همکاران (۲۰۱۲)^۹، محمود و ریچارد (۲۰۱۲)^۸، سلیم و همکاران (۲۰۱۳)^۹ با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک، پژوهش‌هایی انجام داده‌اند.

تشکیل دریاچه طبیعی به نام باکلور در پشت رسوبات شده که با بالا آمدن آب در پشت سد طبیعی و سرریز شدن آن، رودخانه به مسیر خود ادامه داده و به قزل‌اوزن می‌ریزد. در محل خروجی رودخانه قانقلی چای از کوهستان، مخروط‌افکنه‌های متداخلی ایجاد شده‌اند. استقرار رأس مخروط‌افکنه‌های جدید در قاعده مخروط قدیمی، دلیلی بر فرازش بیشتر حوضه در بالاتر از پیشانی جبهه کوهستان بر اثر فعالیت‌های نفوتکتونیک بوده که منجر به شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌ای کشیده و طولی در پایاب حوضه شده است؛ به‌گونه‌ای که رأس قدیمی‌ترین مخروط‌افکنه به‌شدت حفر شده و مخروط‌افکنه جدید در قاعده مخروط قدیمی‌تر، شکل گرفته است؛ اختلاف ارتفاع رأس قدیمی‌ترین مخروط‌افکنه از قاعده جدیدترین آن‌ها به بیش از ۷۰۰ متر می‌رسد و از حفر عمودی رأس قدیمی‌ترین مخروط‌افکنه، در طی کوترنری، آثار پادگانه‌ای با اختلاف ارتفاع بیش از ۴۰ متر نسبت به بستر کنونی رودخانه، در رسوبات درشت دانه آبرفتی باقی مانده است.

مبانی نظری

در تجزیه و تحلیل مورفوتکتونیک، استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به عنوان یک ابزار اولیه و سریع، به منظور برآورد تغییرات نسبی فعالیت‌های زمین‌ساخت، گسترش یافته است (کوکالاس و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۷۰۶)^۱. در جهان، سابقه استفاده از شاخص‌های مورفومتری در تشخیص حرکات جوان و فعال تکتونیک، به دهه ۱۹۶۰ و در ایران به بیش از یک دهه نمی‌رسد (رامشت و حبیب‌الهیان، ۱۳۹۱: ۱۰۰). اکثر مطالعات مربوط به شاخص‌های زمین‌ریختی بر شاخص‌های ویژه و در مکان خاصی، مثل جبهه کوهستان یا یک حوضه زهکشی خاص تمرکز دارند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۵۱)^۲. پانت و همکاران (۲۰۱۰)^۳ با تفسیر داده‌های ماهواره‌ای و

4. Satluj

5. Chango Kaurik

6. AL-Taj & et al, 2007

7. Perez-Pena & et al, 2010

8. Mahmood & et al, 2012

9. Selim & et al, 2013

1. Kokkalas & et al, 2004

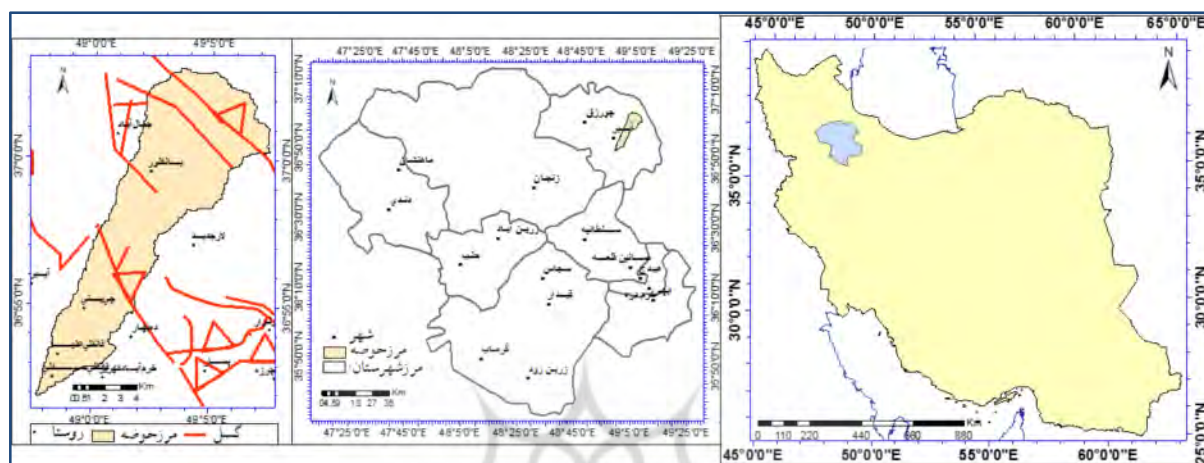
2. EL Hamdouni & et al, 2008

3. Pant & et al, 2010

سد منجیل یا سفیدرود، بین ۴۸ درجه و ۵۶ دقیقه و ۳۶ ثانیه تا ۴۹ درجه و ۸ دقیقه و ۲۴ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). شکل (۲) موقعیت سه بُعدی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

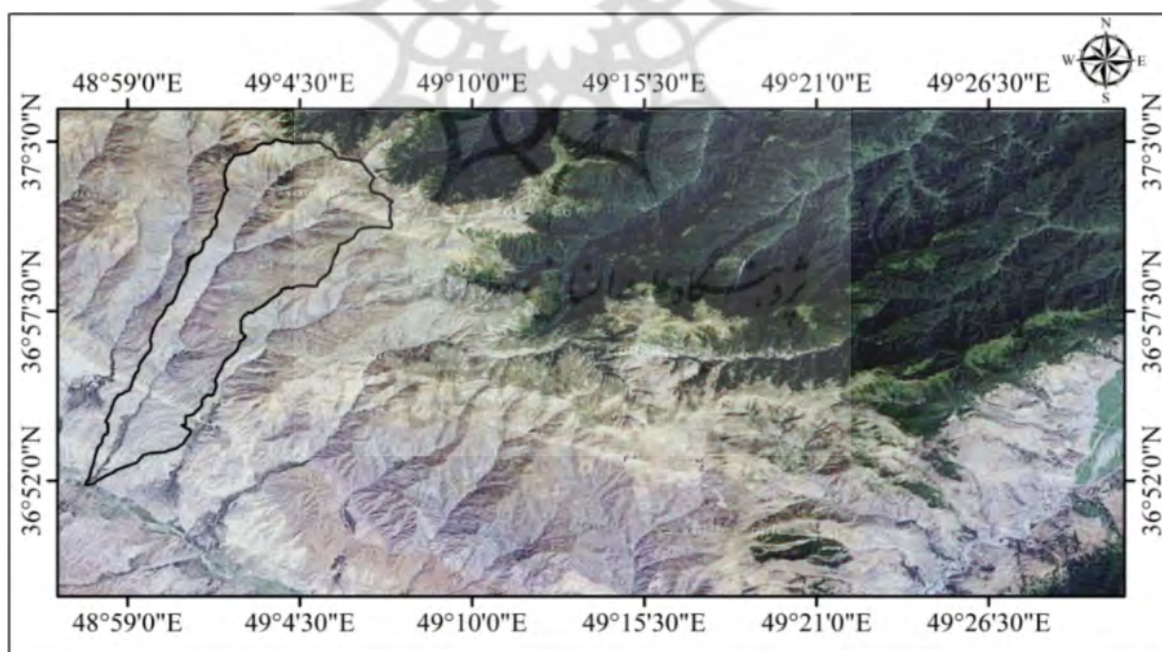
معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه قانقلی چای در حوضه آبی فزل اوزن در شهرستان طارم از استان زنجان واقع شده است. از نظر مختصات جغرافیایی در واحد ارتفاعات شمال غرب ایران و در گروه کوه‌های تالش از زون زمین شناسی البرز، در غرب



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه قانقلی چای و گسل‌ها

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴ منبع گسل: بربریان و همکاران، (۱۹۹۲)



شکل ۲. موقعیت سه بُعدی حوضه قانقلی چای

تهیه و ترسیم: نگارندگان، (۱۳۹۴)

زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ طارم، داده‌های مورفومتریک و گسلی مورد نیاز برای ارزیابی شاخص‌های مورفوتکتونیک در محیط نرم‌افزاری Arc GIS و Global Mapper 12 استخراج شد. اطلاعات حاصل از مراحل فوق، با توجه به برداشت‌ها و محاسبات

داده‌ها، مواد و روش تحقیق

برای ارزیابی شاخص‌های مورفوتکتونیک، ابتدا حوضه مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ تعیین حدود گردید و با استفاده از آن و مدل رقومی ارتفاع با دقت ده متر و نقشه

آن (Vf)، شکل حوضه زهکشی (Bs)، پیچ‌وخم پیشانی کوه (Smf)، تقارن توپوگرافی عرضی (T) و سینوزیته (پیچ‌وخم) رودخانه (Sr). پس از محاسبه شاخص‌های تکتونیکی با توجه به جدول شماره ۱، وضعیت تکتونیکی منطقه مورد سنجش قرار گرفت.

صحرایی، اصلاح و در روابط تجربی قرار گرفت. شاخص‌های مورفوتکتونیک که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند، عبارت‌اند از: گرادیان طول رودخانه (SL)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، انتگرال منحنی هیپسومتریک (Hi)، نسبت کف دره به ارتفاع

جدول ۱. معیار سنجش وضعیت تکتونیک فعال شاخص‌های تکتونیکی

Sr	T	Smf	Bs	Vf	Hi	Af	SL	فعالیت	کلاس
۱	۱	۱/۱ >	۴ <	۰/۵ >	۰/۵۵ - ۱	[Af-۵۰] > ۱۵	SL ≥ ۵۰۰	زیاد	۱
۱ < Sr < ۱/۵	۰ > T < ۱	۱/۱ - ۱/۵	۳ - ۴	۰/۵ - ۱	۰/۴۵ - ۰/۵۵	[Af-۵۰] = ۷ - ۱۵	۳۰۰ ≤ SL < ۵۰۰	متوسط	۲
۱/۵ < Sr	۰	۱/۵ <	۳ >	۱ <	۰ - ۰/۴۵	[Af-۵۰] < ۷	SL < ۳۰۰	کم	۳

منبع: (همدونی و همکاران؛ ۲۰۰۸)

مورفوتکتونیکی متوسل می‌شوند. در این مقاله برای برآورد فعالیت‌های نئوتکتونیکی از هشت شاخص به شرح زیر استفاده شده است:

شاخص شیب طولی رودخانه (SL):^۱ شاخص

شیب طولی جریان (SL) توسط هک (۱۹۷۳)^۲، در یک بررسی از نقش مقاومت سنگ‌ها در جریان رودخانه‌ای در کوه‌های آپالاش در جنوب شرقی ایالات متحده تعریف شده است (رابطه ۱).

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L \quad \text{رابطه ۱}$$

ΔH اختلاف ارتفاع بین دو نقطه اندازه‌گیری شده، ΔL فاصله افقی بین دو نقطه اندازه‌گیری شده و L طول رودخانه از نقطه مرکزی دو نقطه اندازه‌گیری شده تا سرچشمه رودخانه است. شاخص SL در جریان رودخانه‌ها و جویبارهای با تکتونیک فعال، دارای مقادیر افزایشی بوده و ممکن است مقادیر پایین‌تر آن مربوط به جریان‌های موازی با عوارضی مانند گسل امتداد لغز باشد. $\Delta H / \Delta L$ همان شیب قسمتی است که می‌توان با استفاده از آن، رودخانه‌های کوچک با نیمرخ پرشیب و رودخانه‌های بزرگ تر با نیمرخ کم شیب و ملایم را مقایسه کرد (فونت و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۷۶)^۳. برای این حوضه ۲۷ نقطه برای با فواصل هزار متر از هم انتخاب و شاخص SL برای آن‌ها برآورد گردید. SL

در پایان برای تعیین شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (LAT) برای کل حوضه، ارقام برآورد شده برای هر شاخص از وضعیت تکتونیکی در سه کلاس فعالیت زیاد (۱)، متوسط (۲) و کم (۳) طبقه بندی می‌شود. اساس این شاخص، بر میانگین‌گیری از چنین کلاس‌هایی است که با توجه به مقدار برآورد شده هر کدام از شاخص‌ها مشخص می‌شود (جدول ۱) و از میانگین کلاس شاخص‌های مختلف در هر حوضه و توجه به جدول (۲) وضعیت تکتونیکی کل حوضه ارزیابی می‌شود. براساس شاخص LAT مناطق مختلف از نظر تکتونیکی در چهار کلاس خیلی فعال، فعالیت زیاد، متوسط و کم قرار می‌گیرند.

جدول ۲. معیار سنجش شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (LAT)

رده	نوع فعالیت	مقدار LAT
۱	خیلی فعال	۱ < LAT < ۱/۵
۲	فعالیت زیاد	۱/۵ < LAT < ۲
۳	فعالیت متوسط	۲ < LAT < ۲/۵
۴	فعالیت کم	۲/۵ < LAT

منبع: (همدونی و همکاران؛ ۲۰۰۸)

یافته‌های تحقیق

همان‌طوری که گفته شد، برای ارزیابی وضعیت نئوتکتونیکی هر منطقه‌ای به برخی از شاخص‌های

تجمعی (h) به اختلاف ارتفاع کل حوضه (H) مقادیر $Y = h/H$ استفاده می‌شود که در دو محور نمودار جای می‌گیرند. دامنه تغییرات X و Y بین صفر و یک است. برای ترسیم نیمرخ طولی تئوریک بی‌بعد از مقادیر X و Yc استفاده شده است که Yc نیز از طریق روابط (۲ تا ۴) قابل محاسبه است. همان طوری که از شکل (۳) برمی‌آید، به غیر از مناطق سراب و پایاب حوضه که نیمرخ واقعی و تئوریک مماس بر یکدیگرند، در بقیه حوضه به خصوص در بین دو گسل منجیل و پشت کوه، مقادیر واقعی بالاتر از مقادیر تئوریک هست که حاکی از فعال بودن حوضه از نظر تکتونیکی است.

$$Yc = U^z \quad \text{رابطه ۲.}$$

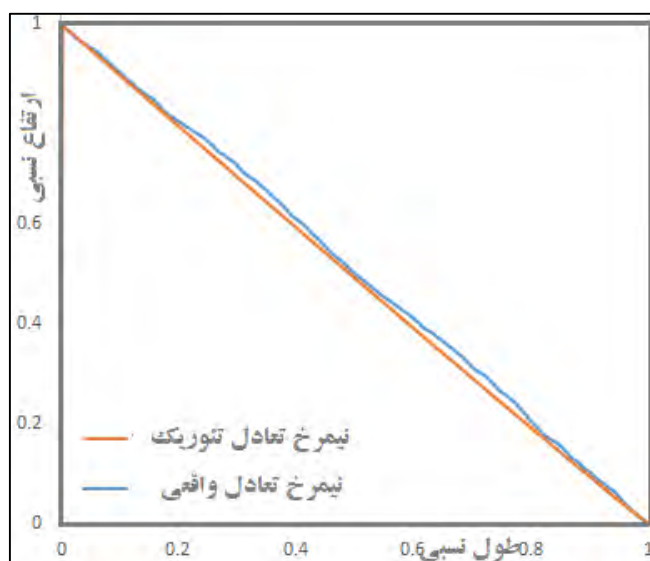
$$U = (((1+a) - (X+a)) / (X+a))^a \quad \text{رابطه ۳.}$$

$$Z = \sum \log y / \sum \log u \quad \text{رابطه ۴.}$$

برآورد شده براساس جدول (۱) طبقه بندی شد (جدول ۳). همان‌گونه که از جدول (۳) برمی‌آید، وضعیت تکتونیکی مناطق منتخب حوضه در سه کلاس طبقه بندی شده‌اند که از خروجی حوضه به سمت سراب، ابتدا تمامی برآوردها در کلاس ۱ با فعالیت تکتونیکی زیاد قرار گرفته و فقط سه نقطه نزدیک سراب در کلاس ۲ یا ۳ با فعالیت کم تکتونیکی قرار می‌گیرند. این موضوع می‌تواند تأثیرپذیری بیشتر مورفولوژی حوضه را از فعالیت گسل منجیل توجیه نماید. فرازش قسمت‌های پایاب حفر عمقی رودخانه را به دنبال دارد. با توجه به فراوانی بیشتر کلاس ۱، حوضه از نظر این شاخص در رده فعالیت زیاد قرار می‌گیرد. نمودار بی‌بعد حوضه نیز نشان‌دهنده همین موضوع است (شکل ۳) که در راستای تحلیل پروفیل طولی بی‌بعد رودخانه ترسیم شد. برای ترسیم پروفیل واقعی، از تقسیم طول جزئی (l) به طول کل (L)، مقادیر $X = l/L$ و از تقسیم اختلاف ارتفاع جزئی

جدول ۳. وضعیت تکتونیکی شاخص SL

ردیف	ΔH	ΔL	L	مقدار SL	کلاس	ردیف	ΔH	ΔL	L	مقدار SL	کلاس
SL۱	۳۳	۹۶۵/۲۸	۲۶۵۰۰	۹۰۵/۹۵	۱	SL۱۵	۴۳	۹۷۶/۰۷	۱۲۵۰۰	۵۵۰/۶۷	۱
SL۲	۴۸	۹۸۱/۲۷	۲۵۵۰۰	۱۲۴۷/۳۶	۱	SL۱۶	۷۱	۹۲۶/۴۵	۱۱۵۰۰	۸۸۱/۳۲	۱
SL۳	۳۰	۹۸۱/۰۱	۲۴۵۰۰	۷۴۹/۲۲	۱	SL۱۷	۵۷	۹۳۱/۷۳	۱۰۵۰۰	۶۴۲/۳۵	۱
SL۴	۳۷	۱۰۰۱/۰۴	۲۳۵۰۰	۸۶۸/۵۹	۱	SL۱۸	۱۰۲	۹۶۹/۹۱	۹۵۰۰	۹۹۹/۰۶	۱
SL۵	۱۸	۹۶۷/۳۱	۲۲۵۰۰	۴۱۸/۶۸	۲	SL۱۹	۱۳۶	۹۶۶/۹۳	۸۵۰۰	۱۱۹۵/۵۳	۱
SL۶	۴۱	۹۸۱/۸۵	۲۱۵۰۰	۸۹۷/۷۹	۱	SL۲۰	۷۴	۹۲۰/۵۹	۷۵۰۰	۶۰۲/۸۷	۱
SL۷	۶۴	۹۷۸/۵۶	۲۰۵۰۰	۱۳۴۰/۷۴	۱	SL۲۱	۷۴	۹۳۷/۱۱	۶۵۰۰	۵۱۳/۲۸	۱
SL۸	۲۷	۹۶۶/۷۹	۱۹۵۰۰	۵۴۴/۵۸	۱	SL۲۲	۹۳	۹۶۲/۸۵	۵۵۰۰	۵۳۱/۲۳	۱
SL۹	۹۰	۹۸۶/۲۱	۱۸۵۰۰	۱۶۸۸/۲۸	۱	SL۲۳	۱۴۷	۹۷۱/۹۹	۴۵۰۰	۶۸۰/۵۶	۱
SL۱۰	۳۴	۹۳۷/۴۱	۱۷۵۰۰	۶۳۴/۷۲	۱	SL۲۴	۱۴۳	۹۹۴/۰۴	۳۵۰۰	۵۰۳/۵	۱
SL۱۱	۶۸	۹۲۹/۷۴	۱۶۵۰۰	۱۲۰۶/۷۸	۱	SL۲۵	۱۳۵	۷۰۲/۰۴	۲۵۰۰	۴۸۰/۷۱	۲
SL۱۲	۵۲	۹۸۱/۸۲	۱۵۵۰۰	۸۲۰/۹۲	۱	SL۲۶	۱۷۶	۹۸۶/۵۴	۱۵۰۰	۲۶۷/۶	۳
SL۱۳	۶۹	۹۸۷/۲۴	۱۴۵۰۰	۱۰۱۳/۴۳	۱	SL۲۷	۱۱۸	۹۶۷/۱۹	۵۰۰	۶۱/۰۰۱	۳
SL۱۴	۴۱	۹۸۵/۷۷	۱۳۵۰۰	۵۶۱/۴۹	۱						



شکل ۳. نیمرخ شاخص SL در منحنی بی‌بُعد

تهیه و ترسیم: (مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴)

باشد. این شاخص اثرپذیری بیشتر سمت چپ رودخانه را نشان می‌دهد. در این روش برای تجزیه و تحلیل ژئومورفیک، فرض بر این است که کنترل‌کننده‌های سنگ‌شناسی (مانند شیب طبقات رسوبی) و شرایط اقلیمی اکولوژیکی (همچون اختلاف پوشش گیاهی بین شمال و جنوب دامنه‌ها) محل، باعث عدم تقارن نمی‌شود (عابدینی، فتحی، بهشتی جاوید، ۱۳۹۴: ۲۳۵) (شکل ۴).

عدم تقارن حوضه زهکشی (Af): شاخص عدم تقارن روشی برای ارزیابی کج‌شدگی‌های ناشی از فعالیت‌های زمین‌ساختی در مقیاس حوضه‌های زهکشی است (رابطه ۵).

$$\text{رابطه ۵. } Af = 100 (Ar / At)$$

در رابطه (۵)، Ar مساحت قسمت سمت راست رود اصلی و At مساحت کل حوضه زهکشی است. عامل نامتقارن (AF) را می‌توان به منظور بررسی چرخش زمین‌ساختی در مقیاس حوضه زهکشی استفاده کرد (ده‌بزرگی و همکاران، ۲۰۱۰: ۵). مقدار Af این حوضه از معادله زیر به دست آمد:

$$Af = (404020 \text{ m}^2 / 978580 \text{ m}^2) 100 = 41.29$$

$$[Af - 50] = 8.71$$

با توجه به مقدار Af می‌توان گفت، فعالیت تکتونیک حوضه حالت متوسطی دارد. در صورتی که گسل‌های منطقه، موازی یا منطبق با رودخانه باشند؛ این شاخص معیار دقیق‌تری برای بررسی وضعیت فرآزش در دو طرف رودخانه است. در مواردی هم که مثل حوضه قانقلی چای گسل‌ها عمود بر رودخانه اصلی باشند؛ عدم تقارن توپوگرافی می‌تواند ناشی از تأثیرپذیری متفاوت دو طرف رودخانه از فعالیت‌های تکتونیک

1. Asymmetric factor

2. Keller & et al, 2002



شکل ۴. لندفرم‌های حاصل از فعالیت‌های نئوتکتونیک در منطقه

تهیه و ترسیم: (نگارندگان، ۱۳۹۴)

نسبت کف دره به ارتفاع آن (Vf): به صورت نسبت عرض کف دره به میانگین ارتفاع آن، تعریف می‌شود (رابطه ۷).

رابطه ۷. $Vf = 2VFW / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$
 در رابطه فوق Vf نسبت عرض کف دره به ارتفاع دره است؛ Vfw عرض بستر دره؛ Eld ارتفاع سمت چپ دره؛ Erd ارتفاع طرف راست دره؛ Esc ارتفاع متوسط بستر دره از سطح دریاست (شکل ۵). این شاخص تفاوت میان دره‌های با بستر عریض نسبت به ارتفاع دیواره دره (U شکل) با دره‌های پرسیب و باریک (V شکل) را نشان می‌دهد. در دره‌های U شکل، معمولاً مقادیر Vf بالا هستند، در حالی که دره‌های V شکل مقادیر Vf نسبتاً کمی از Vf را دارند. در جایی که مقادیر Vf پایین است، نرخ‌های بالاتری از بالآمدگی و بریدگی را شاهد هستیم (بولتین، ۲۰۰۷: ۱۲۶-۱۲۵). این شاخص بر روی جبهه‌های کوه در شرق و مرکز منطقه بتیک کوردیلرا^۴ اعمال شده است (پدرا و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۱۹). مقدار Vf در این حوضه، در ۵ نقطه برآورد گردید (جدول ۴). ارقام برآورد شده دال بر یکسان نبودن فعالیت تکتونیک در همه قسمت‌های حوضه است. در قانقلی پایین و باکلور (جایی که زمین لغزش، دریاچه طبیعی ایجاد کرده) این شاخص به کمترین حد خود رسیده که دال بر تحرک زیاد فعالیت تکتونیک است. از طرفی، در سراب حوضه و قانقلی بالا این مقدار به یک نزدیک تر است و تحرک

انتگرال هیپسومتریک (Hi)^۱: انتگرال هیپسومتریک شاخصی است که توزیع سطوح ارتفاعی یک منطقه از چشم‌انداز زمین را توصیف و ارزیابی می‌کند (استرالر، ۱۹۵۲: ۱۱۱۸). این انتگرال به‌طور کلی برای حوضه زهکشی خاص در نظر گرفته می‌شود و شاخصی مستقل از مساحت حوضه است. این شاخص به صورت ناحیه زیر منحنی هیپسومتریک تعریف شده و قسمتی از حوضه که کمتر فرسایش یافته را مدنظر قرار می‌دهد (ده‌بزرگی و همکاران، ۲۰۱۰: ۵). مقادیر Hi اطلاعات ارزشمندی در مورد عوامل زمین‌شناسی، آب و هوایی و سنگ‌شناسی در کنترل چشم‌انداز حوضه آبریز فراهم می‌کند (هانگ و همکاران، ۲۰۰۶: ۲). معادله ساده‌ای که برای محاسبه شاخص مورد استفاده قرار گیرد، براساس رابطه (۶) تعریف می‌شود.
 رابطه ۶.

(حداقل ارتفاع - حداکثر ارتفاع) / (حداقل ارتفاع -

میانگین ارتفاع) = انتگرال هیپسومتریک

$$0/48 = (2742 - 346) / (1498/42 - 346)$$

مقدار این شاخص بیانگر عدم تعادل نسبی در توپوگرافی حوضه، وجود پستی و بلندی نسبتاً زیاد نسبت به ارتفاع میانگین، در حال گذر بودن حوضه از مرحله بلوغ و نبود تعادل بین فرایندهای ژئومورفولوژیکی است.

4. Valley floor width-to-height ratio
 5. Betic Cordillera
 6. Pedrera & et al, 2009

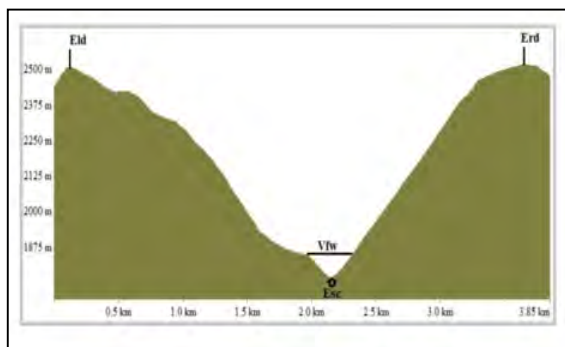
1. Hypsometric curves
 2. Strahler, 1952
 3. Hung & et al, 2006

شکل حوضه زهکشی (Bs)^۱: حوضه‌های زهکشی نسبتاً جوان در مناطق فعال زمین‌ساختی، به شکل کشیده تمایل دارند. با تکامل مداوم فرایندهای زمین‌ساختی، حوضه‌ها به شکل‌های طویل نسبت به دایره، تمایل بیشتری دارند. طرح افقی شکل حوضه ممکن است توسط نسبت کشیدگی شرح داده شده باشد (رامیرز-هررا، ۱۹۹۸: ۳۲۵)^۲ (رابطه ۸).

$$BS = BL/BW \quad \text{رابطه ۸}$$

در رابطه (۸) BL طول حوضه اندازه‌گیری شده از سرچشمه تا دهانه است و Bw عرض حوضه اندازه‌گیری شده در وسیع‌ترین نقطه آن است (شکل ۶).

کم منطقه را نشان می‌دهد. در مجموع این شاخص، تأییدکننده فعالیت متوسط حوضه از نظر تکتونیکی است.

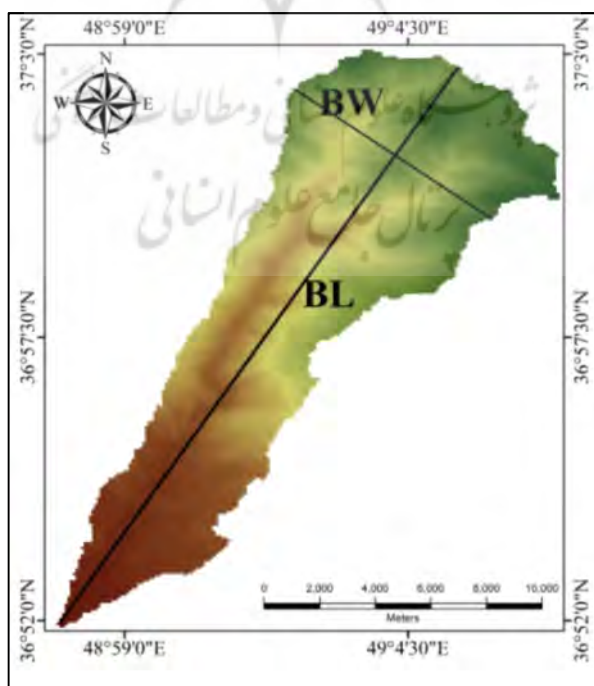


شکل ۵. فاکتورهای موردنظر نسبت کف دره به ارتفاع آن تهیه و ترسیم: (نگارندگان، ۱۳۹۴)

جدول ۴. وضعیت تکتونیکی منطقه با توجه به شاخص Vf

ردیف	مناطق انتخاب شده	ارتفاع سمت راست	ارتفاع سمت چپ	ارتفاع متوسط بستر دره	عرض بستر دره	Vf	Vf نهایی
۱	سرشاخه راست سراب	۲۲۸۷/۴۶	۲۱۴۷/۷۴	۱۵۶۵/۵۴	۵۲۳/۹۳	۰/۸۰۳	۰/۵۳۷
۲	سرشاخه چپ سراب	۱۹۹۹/۹	۱۹۱۷/۵	۱۴۲۶/۸۷	۲۸۱/۹۶	۰/۵۳	
۳	باکلور	۱۷۱۲/۳۹	۱۷۱۲/۳۹	۱۰۸۸/۵۸	۱۷۰/۸	۰/۲۶۵	
۴	قانقلی بالا	۷۵۰/۰۲	۶۹۲/۰۲	۵۳۴/۵۱	۱۸۳/۱۲	۰/۹۸۲	
۵	قانقلی پایین (گدار)	۶۱۰/۷۳	۵۵۹/۶۷	۴۴۷/۸۳	۲۰۷/۲۶	۰/۱۰۵	

منبع: (مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴)



شکل ۶. فاکتورهای موردنظر شاخص شکل حوضه زهکشی تهیه و ترسیم: (نگارندگان، ۱۳۹۴)

1. Basin shape index
2. Ramirez-Herrera, 1998

کوهپایه‌ها رخ می‌دهد (شکست شیب یا کنیک) و L_s طول خط مستقیم جبهه کوهستان را نشان می‌دهد (شکل ۷). شاخص سینوسی جبهه کوهستان نشان‌دهنده تعادل بین فرایندهای فرسایشی و زمین‌ساخت‌های فعال است. فرایندهای فرسایشی تمایل به ساییدن جبهه کوهستان دارند و فرایندهای زمین‌ساخت‌های فعال عمودی تمایل به تولید جبهه‌های کوهستانی مستقیم، اغلب هم زمان با چین‌ها و گسل‌های فعال دارند. هرچه مقادیر S_{mf} کمتر باشد، فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه بیشتر است و هرچه مقادیرش بیشتر باشد، حاکی از تسلط فرایندهای فرسایشی در حوضه است. مقادیر شاخص سینوسی جبهه کوهستان به آسانی از طریق نقشه‌های توپوگرافی و یا عکس‌های هوایی محاسبه می‌شود. با این حال، مقدار به دست آمده به مقیاس بستگی دارد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۶۲). مقدار S_{mf} معمولاً کمتر از ۳ و نزدیک به ۱ و جبهه کوهستان، در جایی از کوهستان است که شیب در امتداد گسل‌ها افزایش می‌یابد (بولتین، ۲۰۰۷: ۱۲۳-۱۲۲). S_{mf} حوضه در معادله زیر این گونه به دست آمد:

$$S_{mf} = 3329 \text{ m} / 22196 \text{ m} = 1/31$$

مقدار این شاخص در محل گسل منجیل (۱/۳۱) بیان‌کننده فعالیت متوسط حوضه از نظر تکتونیکی است؛ یعنی این حوضه از نظر تکتونیکی هنوز به مرحله تعادل نرسیده و زمین‌ساخت هنوز در تحول مورفولوژی حوضه نقش بسزایی دارد. منتهی این فرازش نسبت به سایر عوامل مورفودینامیکی وضعیت متعادلی دارد

ارزش‌های بالای BS در حوضه‌های طویل، به طور کلی در ارتباط با فعالیت‌های نسبتاً بالاتر زمین‌ساختی است. مقادیر پایین BS بیشتر نشان‌دهنده شکل دایره‌ای حوضه است که با فعالیت کم زمین‌ساختی در ارتباط است. جبهه‌های کوهستانی که به سرعت در حال فراخاست هستند، حوضه‌های پرشیب و دراز تولید می‌کنند و زمانی که فعالیت زمین‌ساختی کاهش می‌یابد و یا متوقف می‌شود، گسترش حوضه‌ها از مقابل جبهه کوهستان رخ می‌دهد (رامیرز-هررا، ۱۹۹۸: ۳۲۶-۳۲۵). B_s حوضه در معادله زیر این گونه به دست آمد:

$$B_s = 23361 \text{ m} / 7061 \text{ m} = 3/308$$

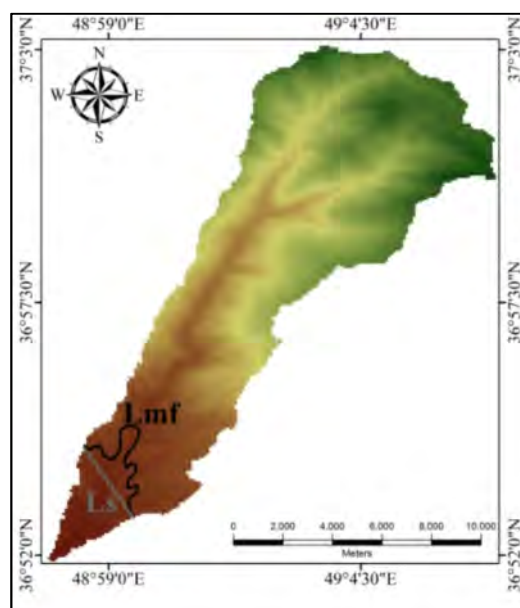
مقدار برآوردی این شاخص بیان‌کننده این است که حوضه در حال گذر از مرحله جوانی (شکل کشیده) به مرحله بلوغ (شکل دایره‌ای) است و فعالیت‌های تکتونیکی حالت متوسطی در حوضه دارند.

پیچ و خم پیشانی کوه (S_{mf}): شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان توازن بین نیروهای فرسایش دهنده متمایل به تخریب و نیروهای زمین‌ساختی را که تمایل به ایجاد ناهمواری دارند، بررسی می‌کند. به عبارت دیگر، پیچ و خم جبهه کوهستان شاخصی است که تعادل و توازن بین شرایط آب و هوایی و نیروهای فرسایشی در ارتباط با وضعیت لیتولوژیکی را با نیروهای تکتونیکی که منجر به شکل‌گیری جبهه کوهستانی مستقیم می‌شوند، ارزیابی می‌کند. جبهه کوهستانی مستقیم با ارتفاعات فرازش یافته بر اثر گسل فعال منطبق است. جبهه‌های کوهستانی که در حال بالآمدگی باشند، نسبتاً خطی و مستقیم هستند و با مقدار کم S_{mf} مشخص می‌شوند و با کاهش نرخ بالآمدگی، میزان S_{mf} افزایش می‌یابد. شاخص سینوسی جبهه کوهستان S_{mf} طبق (رابطه ۹) تعریف می‌شود:

$$S_{mf} = L_{mf}/L_s \quad \text{رابطه ۹}$$

در رابطه فوق L_{mf} طول جبهه کوهستان در امتداد کوهپایه که در آن تغییراتی در شیب کوه به سمت

شاخص T یک بردار با یک جهت و مقدار ۰ تا ۱ است که به کمک آن می‌توان زمینه‌های انحراف جانبی را تشخیص دهد. برای حوضه‌های کاملاً متقارن، $T=0$ است و هر چه مقدار T به یک نزدیک‌تر شود، حوضه نامتقارن‌تر و در نتیجه فعالیت تکتونیکی در آن شدید است (کوکس و همکاران، ۲۰۰۱: ۶۲۱). در این حوضه برای محاسبه شاخص T با دقت زیاد، در ۱۳ نقطه از مسیر اصلی رودخانه به فاصله افقی هزار متر، برآورد گردید (جدول ۵). بررسی این شاخص در ۱۳ نقطه، شرایط تقریباً یکسانی برای قسمت‌های مختلف از نظر تکتونیکی نشان می‌دهد (به غیر از نقطه اول در پایاب با فعالیت کمتر تکتونیکی)، در تمامی موارد مقدار برآوردی بین ۰/۳ تا ۰/۴ متغیر بوده و حاکی از فعالیت تکتونیکی متوسط است.



شکل ۷. طول جبهه کوهستان در امتداد کوهپایه و طول خط مستقیم جبهه کوهستان تهیه و ترسیم: (نگارندگان، ۱۳۹۴)

جدول ۵. وضعیت تکتونیکی شاخص تقارن توپوگرافی

ردیف	Da	Dd	T	T نهایی
۱	۱۸۱/۹۲	۱۴۲۳/۷۴	۰/۱۳	۰/۳
۲	۶۵۹/۲۳	۱۹۳۱/۷۲	۰/۳۴	
۳	۵۳۶/۲۴	۱۵۹۸/۶۷	۰/۳۳	
۴	۶۹۵/۲۸	۱۶۶۸/۹۲	۰/۴۱	
۵	۶۵۲/۲۱	۱۶۷۱/۴۱	۰/۳۹	
۶	۶۳۱/۶۴	۱۸۴۰/۶۵	۰/۳۴	
۷	۶۴۳/۱۸	۱۹۵۵/۳۹	۰/۳۳	
۸	۶۲۸/۷۱	۲۰۰۶/۱۷	۰/۳۱	
۹	۵۵۴/۲۴	۱۶۹۶/۷۱	۰/۳۳	
۱۰	۴۴۳	۱۶۶۶/۵۹	۰/۲۶	
۱۱	۷۶۳/۸۲	۲۲۷۳/۲۳	۰/۳۴	
۱۲	۸۲۱/۰۹	۲۲۲۴/۵۷	۰/۳۷	
۱۳	۱۰۴۱/۱۳	۲۶۰۰/۴۹	۰/۴۱	

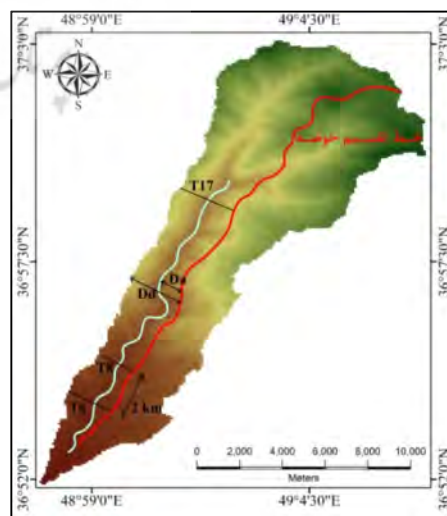
منبع: نگارندگان، ۱۳۹۴

سینوزیته رودخانه (Sr): براساس این شاخص وجود پیچ و خم زیاد در رودخانه، نشان‌دهنده به تعادل رسیدن حوضه است (عدم فعالیت تکتونیکی) و مسیر مستقیم آن حاکی از جوان بودن منطقه و فعالیت زیاد

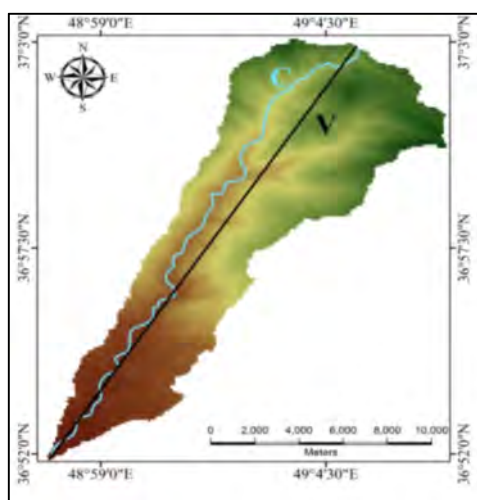
شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T): شاخص تقارن توپوگرافی معکوس از رابطه (۱۰) به دست می‌آید:

$$T = Da/Dd$$

رابطه ۱۰. 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 است (شکل ۸).



شکل ۸. نحوه محاسبه شاخص تقارن توپوگرافی تهیه و ترسیم: (نگارندگان، ۱۳۹۴)



شکل ۹. نحوه مشخص کردن پیچ و خم رودخانه تهیه و ترسیم: (نگارنگان، ۱۳۹۴)

برآورد این شاخص در حوضه (۱/۲۹) بیان‌کننده جوانی و تسلط فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه است. رودخانه نتوانسته پیچ و خم زیادی در مسیر ایجاد کند و مجبور به حفر عمقی بوده است. نهایتاً برای ارزیابی کلی حوضه از نظر نئوتکتونیکی از شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (LAT) استفاده شد. میانگین رده‌های برآورد شده هر کدام از شاخص‌ها با توجه به جدول (۱) ۱/۶۲۵ شد که با توجه به جدول (۲) دلالت پرفعالیت تکتونیکی زیاد حوضه دارد (جدول ۶).

جدول ۶. وضعیت نهایی تکتونیک حوضه

LAT	Sr	T	Smf	Bs	Vf	Hi	Af	SL	شاخص‌های مورفومتریک
۱/۲۹	۰/۳۳	۱/۳۱۵	۳/۳۰۸	۰/۵۳۷	۰/۴۸	۸/۷۱	۷۷۰/۶۷	مقدار شاخص	
۱/۶۲۵	۱	۲	۱	۲	۲	۲	۱	رده	
زیاد	زیاد	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	وضعیت تکتونیکی	

منبع: (نگارنگان، ۱۳۹۴)

قانونی‌چای، مشخص شد که این حوضه از نظر شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (LAT) در کلاس ۲ است که از نظر تکتونیکی فعالیت زیادی دارد. شاخص‌های شیب طولی رودخانه، پیچ و خم پیشانی کوهستان و پیچ و خم رودخانه نشانگر جوان بودن حوضه از نظر سیکل فرسایشی (فعالیت زیاد تکتونیکی) و کلاس یک شاخص LAT است. تأثیر گسل‌های پشت کوه و منجیل به صورت عمود بر حوضه، سبب اختلاف ارتفاع قابل توجه در نیمرخ طولی رودخانه قانونی‌چای و

نئوتکتونیک است (رابطه ۱۱)، (مددی و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۳۱).

$$Sr = C / V$$

رابطه ۱۱.

C طول رودخانه یا جریان در امتداد رودخانه به همراه پیچ و خم‌های آن از ابتدای رودخانه در سراب تا نقطه خروجی برحسب متر و V، طول هوایی دره برحسب متر از ابتدا تا انتهای جایی که طول زمینی رودخانه اندازه‌گیری شده است (شکل ۹). اگر طول رودخانه با طول دره برابر (طول رود / طول دره = ۱) یا عدد به یک نزدیک تر (بین ۱ تا ۱/۵) باشد؛ دال بر جوان بودن منطقه و وجود فعالیت‌های تکتونیکی است و هر چه طول رودخانه بیشتر از طول دره باشد (دو برابر یا سه برابر و بیشتر از عدد ۱/۵)، یعنی فعالیت‌های تکتونیکی جای خود را به فعالیت‌های فرسایشی داده و منطقه به حالت تعادل رسیده است (مددی و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۳۱). شاخص Sr این حوضه به صورت زیر به دست آمد:

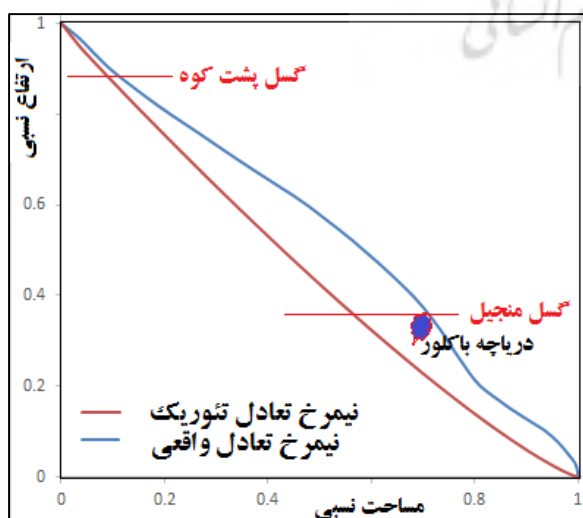
$$Sr = 28650 \text{ m} / 22196 \text{ m} = 1/29$$

نتیجه‌گیری

مورفولوژی حوضه تحت تأثیر تکتونیک و سایر عوامل مورفودینامیک شکل می‌گیرد. در واقع مورفولوژی همه قسمت‌های حوضه، نمی‌تواند ناشی از عملکرد تکتونیک باشد. شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی، برآیندی از تکتونیک و سایر عوامل مورفودینامیکی را نشان می‌دهد و براساس آن می‌توان در مورد وضعیت تکتونیکی حوضه قضاوت کرد. پس از بررسی شاخص‌های مختلف مورفوتکتونیکی در حوضه

توجه به شاخص گرادیان رودخانه، این‌طور به نظر می‌رسد که از پایاب به‌طرف سراب زمین‌ساخت بر فرسایش غلبه کند.

برای نمایش چنین وضعیتی، از نیمرخ طولی رودخانه (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۳۸) یا از منحنی بی‌بُعد (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۵۵) استفاده می‌شود. استفاده از نمودار بی‌بُعد در تأیید فعالیت‌های نفوتکتونیک حوضه و به‌خصوص شاخص SL بسیار مفید است. این منحنی با توجه به وضعیت وسعت سطوح بین ارتفاع نقاطی که برای شاخص SL انتخاب‌شده (محور افقی) با ارتفاع آن‌ها (محور عمودی) در وضعیت بی‌بُعد ترسیم شده است. به‌طور کلی، بالا بودن ارقام واقعی از تئوریک نشانگر فعال بودن تکتونیک در منطقه است. اگر ارقام تئوریک پایین‌تر باشند، نشانگر عدم‌فعالیت تکتونیک در منطقه و در صورتی که روی هم منطبق باشند، حالت تکتونیک متوسط را نشان می‌دهند. در صورتی که به‌جای طول جزئی و کلی در ترسیم منحنی بی‌بُعد از مساحت جزئی و کلی استفاده شود، این دو نمودار فاصله بیشتری از خود می‌گیرند و شرایطی را نشان می‌دهد که در حوضه قانقلی چای شرایط تکتونیک فعالیت زیادی دارد و این همان نتیجه است که از شاخص‌های مورفوتکتونیک در این مقاله حاصل شد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. پروفیل بی‌بُعد واقعی و تئوریک رودخانه تهیه و ترسیم: (نگارندگان، ۱۳۹۴)

تغییرات قابل توجه شاخص SL شده است. بقیه شاخص‌ها، یعنی عدم‌تقارن حوضه زهکشی، انتگرال منحنی هیپسومتریک، نسبت کف دره به ارتفاع آن، شکل حوضه زهکشی و تقارن توپوگرافی عرضی فعالیت تکتونیک متوسط حوضه یا کلاس ۳ شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی را تأیید می‌کنند. شاخص عدم‌تقارن آبراهه‌ها، در مقیاس حوضه زهکشی، از معکوس‌شدگی متوسطی برخوردار است و بیان‌کننده فعالیت تکتونیک بیشتر سمت چپ حوضه است. هر چند دره‌های سمت راست حوضه به‌علت وسعت کمتر نسبت به دره‌های سمت چپ، از فعالیت تکتونیک کمتری برخوردارند؛ ولی به‌خاطر شیب بیشتر به سمت رودخانه، از فرسایش افزون‌تری برخوردار است. یکی از دلایلی که شاخص فوق و شاخص تقارن توپوگرافی حوضه، وضعیت متوسط تکتونیک را نشان داده‌اند؛ عمود بودن گسل‌ها بر رودخانه اصلی باشد. این شاخص‌ها در صورتی که گسل فعال موازی با رودخانه اصلی باشد، تفاوت توپوگرافی زیادی را در سمت چپ و راست رودخانه نشان می‌دهد. شاخص تکتونیک انتگرال هیپسومتریک نشان می‌دهد که حوضه از نظر فعالیت تکتونیک در شرایط متوسطی قرار دارد. این مسئله شاید به‌دلیل شیب زیاد کف دره باشد. مقدار شاخص Vf نشان داد که شکل دره‌های این حوضه متمایل به V بوده و فعالیت تکتونیک متوسطی دارند و حوضه در مرحله جوانی است. این شاخص در یکی از سرشاخه‌های سراب و در یکی از مکان‌های پایابی حوضه، وضعیت تکتونیک غیرفعال را نشان می‌دهد، در صورتی که شواهد روی زمین یعنی فعالیت گسل پشت کوه و منحنی بی‌بُعد، تکتونیک فعال را نشان می‌دهد که می‌تواند دلیلی باشد که این شاخص نمی‌تواند در همه جای حوضه، فعالیت‌های تکتونیک را منعکس کند. از نظر شاخص Smf، وضعیت متوسطی برای حوضه برآورد شده که نشان می‌دهد در قسمت‌های مختلف حوضه و به‌خصوص در قسمت خروجی حوضه در محل اتصال به قزل اوزن هر دو نیروی زمین‌ساخت و فرسایش حاکمیت دارند و با

- earthquake of 20 June 1990 in NW Persia: preliminary field and seismological observations and its tectonic significance *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol 82, No 4, Pp 1726-1755.
- Bulltin, W.B., (2007). *Tectonic geomorphology of mountains: a new approach to paleo seismology* Blackwell, Malden.
- Cox, R.T., Van Arsdale, R.B., Harris, J.B., (2001). Identification of possible Quaternary deformation in the northern Mississippi embayment using quantitative geomorphic analysis of drainage-basin asymmetry *GSA, Bulletin*, 113, pp 615-624.
- Dehbozorgi, M., Pour kermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, H., Hosseiniasl, A., (2010). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran, *Geomorphology*, pp 1-13.
- EL Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller, E.A., (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain), *Geomorphology*, Vol 96, pp 150-173.
- Ezati, M., Agh-Atabai, M., (2013). Active tectonic analysis of Atrac river sub basin located in NE Iran (East Alborz), *Journal of Tethys*, Vol 1, N 3, pp 177-188.
- Faghih, A. Samani, B. Kusky, T. Khabazi, S. Roshanak, R. (2012). Geomorphologic assessment of relative tectonic activity in the Moharlou lake Basin, Zagros Mountains of Iran, *Geological Journal*, Volume 47, Issue 1, pp 30 – 40.
- Font, M., Amorese, D., Lagarde, J.L., (2010). Dem and GIS Analysis of the Stream Gradient Index to Evaluate Effects of Tectonic: the Normandy Intraplate Area (NE France), *Geomorphology*, Vole 119, No3-4, pp 172-180.
- Hack, J.T., (1973). Stream-profiles analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey* 1, pp 421-429.
- Hung, X.J., Niemann, J.D., (2006). An evaluation of the geomorphically effective event for fluvial processes over long periods, *J. of Geography Res-Earth Surf.* 111, F03015, Pp: 1-17.
- Kokkalas, S., Verrios, S., Zygouri, V., (2004). Morphotectonic analysis in the Eliko fault zone (Gulf of Corinth, Greece), *Bulletin of the Geological Society of Greece*. V 36, pp 1706-1715.
- Mahmood, S. A., Richard. G. (2012). Appraisal of active tectonics in Hindukush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis, *Geoscience Frontiers*, Vol: 3 (4). pp 407 – 428.
- Pant, P., Joshi, M., Kothiyari, G., Ahluvalia, A. (2010) "Neotectonic Evidences of Rejuvenation in
- اسماعیلی، رضا؛ متولی، صدرالدین؛ حسین‌زاده، محمد مهدی (۱۳۹۱). بررسی اثرات مورفوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه و از؛ البرز شمالی، استان مازندران. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، شماره ۳. صص ۱۱۴-۱۰۱.
- رامشت، محمدحسین؛ حبیب‌الهیان، محمود (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنب‌در برآورد وضعیت تکتونیک بخش علیای زاینده‌رود. جغرافیا و توسعه. دانشگاه سیستان و بلوچستان، شماره ۲۶. صص ۱۱۲-۹۹.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ خیری زاده آروق، منصور؛ سرافروزه، سلیمان (۱۳۹۲). ارزیابی تکتونیک فعال در دامنه جنوبی میشو داغ. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، سال دوم، شماره ۳. صص ۱۵۸-۱۴۱.
- زمرّدیان، محمدجعفر (۱۳۹۲). ژئومورفولوژی ایران. جلد اول. مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- شفیعی بافتی، امیر؛ پور کرمانی، محسن؛ شاهپسند زاده، مجید؛ ایران منش، فرناز (بهار ۱۳۸۸). ریخت زمین‌ساخت و ارزیابی فعالیت گسل کوهبنان از طریق محاسبه شاخص‌های زمین‌ریختی. فصلنامه جغرافیای طبیعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان، شماره ۳. صص ۵۷-۴۳.
- عابدینی، موسی؛ فتحی، محمدحسین؛ بهشتی جاوید، ابراهیم (۱۳۹۴). تحلیل فعالیت حوضه آبریزهای نئوتکتونیک گنچس دره سی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک. فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، سال ۱۵. شماره ۵۲. صص ۲۴۹-۲۲۳.
- مددی، عقیل؛ رضایی مقدم؛ محمدحسین؛ رجایی، عبدالحمید (۱۳۸۳). تحلیل فعالیت‌های تکتونیک با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال غربی تالش (باغ‌وداغ). پژوهش‌های جغرافیایی. دانشگاه تهران، شماره ۴۸. صص ۱۳۸-۱۲۳.
- AL-Taj, M., Sakour, F., Atallah, M., (2007). Morphotectonic Indices of The Dead Sea Transform, *Jordan Geogr. fis, Dinam, Quat.* Vol 30, pp 5-11.
- Bahrami, S., (2013). Tectonic Controls on the morphometric of alluvial fans around Danekkhoshk anticline, Zagros, Iran *Geomorphology*, vol 180-181, pp 217-230.
- Berberian, M., Qorashi, M., Jackson, J.A., Priestley, K. & Wallace, T., (1992). The Rudbar Tarom

- Graben, Mexican volcanic belt, *Earth Surface Processes and Landforms* 23, pp 317-332.
- Schoumm, A., Dumont, J.F., Holbrook, J.M., (2000). *Active Tectonics and Alluvial Rivers*, Cambridge University Press, New York, p. 276.
- Selim, H. (2013). Tectonics of the buried Kirklareli Fault, Thrace Region, NW Turkey, *Quaternary International* 312, pp 120 – 131.
- Strahler, A.N., (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, *Geol. Soc. Am. Bull.* 63, pp 1117-1142.
- Summerfield, M.A. (2000). *Geomorphology and global tectonics*, Wiley, 386pages.
- KaurikChango Fault Zone, Northwestern Himalaya. "Journal of Geographic Information System, Vole 2 N. 3, pp.169-176.
- Perdrera, A., Perez-Pena, J.V., Galindo-Zaldivar, J., Azanon, J.M., Azor, A. (2009). Testing the sensitivity of geomorphic indices in areas of low-rate active folding (eastern Betic Cordillera, Spain), *Geomorphology* 105, Pp 218-231.
- Pérez-Peña, J., Azor, A., Azañón, J., Keller, E., (2010) Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. *Geomorphology* 119, 74–87.
- Ramirez-Herrera, M.T., (1998). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay





پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی