جغرافیا و توسعه شماره ۴۱ زمستان ۱۳۹۴
وصول مقاله : ۱۳۹۲/۰۱/۱۶
تأیید نهایی : ۱۳۹۳/۰۶/۲۴
صفحات : ۱۸۴-۱۶۱

شاخص‌های اَرزیابی تکتونیک فعّال در برآورد وضعیت تکتونیکی در حوضه‌ی آبخیز حبله‌رود

دکتر ابوالقاسم امیراحمدی[۱]، مجید ابراهیمی[۲]، سیما پورهاشمی[۳]

چکیده

اندازه‌گیری‌های کمّی به ژئومورفولوژیست‌ها اجازه می‌دهد تا بطور منطقی لند فرم‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه کرده و شاخص‌های مورفولوژیک را محاسبه کنند. مخروط‌افکنه‌ها از اشکال متداول مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشند که تحت تأثیر عوامل زمین ساختی و اقلیمی شکل می‌گیرند. این اشکال به تغیرات تکتونیکی بسیار حساس بوده، آثار آن را در خود ثبت می‌نمایند. لذا از طریق بررسی این آثار و شواهد می‌توان به روند تأثیرات تکتونیکی و تحولات مخروط‌افکنه‌ها پی برد. هدف از این پژوهش بررسی وضعیت نو زمین ساخت با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی همچنین تحلیل نقش عوامل تکتونیکی در شکل‌گیری و تحول مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ی گرمسار می‌باشد. در این پژوهش نقشه‌های توپوگرافی، زمین شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) به عنوان داده‌های اصلی تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های منطقه از نزدیک و به صورت میدانی مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک که شامل شاخص سینوسی جبهه‌ی کوهستان (Smf)، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، عامل عدم تقارن حوضه (Af)، گرادیان طولی رودخانه (Sl)، عامل تقارن توپوگرافی (T) و شاخص ضریب مخروط‌گرایی (FCI) وضعیت منطقه از نظر میزان فعالیّت‌های تکتونیکی مورد اَرزیابی قرار گرفت. از ترکیب این شاخص‌ها با یکدیگر می‌توان رابطه‌ی شاخص فعالیّت‌های تکتونیکی (Iat) را به دست آورد. نتایج بررسی نشان داد که طبق مقادیر شاخص فعالیّت‌های تکتونیکی (Iat) مخروط‌افکنه‌ی گرمسار در کلاس فعالیّت‌های نئوتکتونیک متوسط قرار دارد، شواهد ژئومورفولوژیکی به‌دست آمده مانند پادگانه‌های رودخانه‌ای ارتفاع یافته، توالی مخروط‌افکنه‌ها، تغییر سطح اساس رودخانه حبله‌رود و وجود تراس‌های قدیمی و آبراهه‌های عمیق شده نتایج تحقیق را تأیید می‌کند.

کلیدواژه‌ها: مورفولوژی، نئوتکتونیک، شاخص‌های ژئومورفیک، حوضه‌ی آبخیز حبله‌رود.

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری (نویسنده مسؤول) amirahmadi@hsu.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری majid_ebrahimi2@yahoo.com
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری s_pourhashemi@yahoo.com

مقدمه

تکتونیک فعّال به مطالعه‌ی فرآیندهای پویا و مؤثر در شکل‌دهی زمین و چشم‌اَندازهای موجود در آن می‌پردازد. در سال‌های اَخیر تکتونیک ژئومورفولوژی بطور چشمگیر، یکی از ابزارهای عمده و اساسی و مؤثر در تشخیص شکل‌های تکتونیکی فعّال و تهیه‌ی نقشه‌های خطر لرزه‌ای و همچنین درک و فهم تاریخچه‌ی چشم‌اندازهای کنونی سطح زمین بوده است *(Keller et al, 2002:1)*.

اَرزیابی ساختمان‌ها و لندفرم‌های زمین در طول تاریخ پیدایش آنها موضوع دانش تکتونیک ژئومورفولوژی می‌باشد *(Stanley et al, 2000: 2-3)*. تشکیل مخروط‌افکنه‌ها در جبهه‌های کوهستان مناطق آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک از بارزترین نمونه‌های اشکال‌ژئومورفولوژیکی است *(خیام وهمکاران،۱۳۸۲: ۳)*. گسترش مخروط‌افکنه‌ها در ایران به علت قرار گرفتن آن در کمربند چین‌خوردگی آلپ- هیمالیا و نیز خشک و نیمه‌خشک بودن آب و هوای ایران بسیار زیاد است. مخروط‌افکنه‌ها اغلب در کواترنر ایجاد شده و بیانگر نکات جالبی در مورد روند عملکرد و تاریخچه‌ی تحولات نو زمین‌ساختی می‌باشد. بویژه با توجه به مشخصات آن ازنظر مطالعه‌ی لرزه‌خیزی نواحی‌مختلف ایران بسیار باارزش است *(عباسی‌نژاد، ۱۳۷۵: ۳۸)*. برخی از شاخص‌های ژئومورفیک، به عنوان ابزارهای اساسی برای تشخیص تغییر شکل‌های سریع تکتونیکی تجربه و آزمون شده و بطور وسیع مورد استفاده قرار گرفته‌اند، آن گاه نتایج حاصل در طرح‌های تحقیقاتی جهت کسب اطلاعاتی جامع و کامل درباره‌ی تکتونیک فعّال مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شاخص‌های ژئومورفیک بطور خاص برای مطالعات تکتونیک فعّال استفاده می‌شوند*(Duglas et al, 2002: 13-32)*. این موضوع به دلیل نقش این شاخص‌ها در اَرزیابی سریع مناطق وسیع از نظر میزان تأثیر فعالیّت‌های تکتونیکی می‌باشد. مخروط‌افکنه‌ها به عنوان یکی از بارزترین اشکال آبرفتی، مورفولوژی و تحول آنها به شدت تحت تأثیر حرکات تکتونیکی قرار می‌گیرد. حرکت تکتونیکی سطح اساس فرسایش را تغییر داده و فرآیندهای فعّال در سطح مخروط‌افکنه‌ها و تکامل آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد *(Yang et al, 1985: 10)*. با توجه به وجود حرکات تکتونیکی فعّال در دوران پلیو-کواترنر و ادامه‌ی این حرکات در عهد حاضر (هولوسن)، در البرز و منطقه‌ی مورد مطالعه، مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های منطقه می‌تواند راهنمای خوبی برای شناسایی این حرکات باشند. هدف از این پژوهش بررسی نقش تکتونیک در شکل‌گیری و تحول مخروط‌افکنه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه و اثبات وجود حرکات تکتونیکی در دوران کواترنر و و ادامه‌ی آنها در زمان حاضر در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. آگاهی از شرایط نئوتکتونیکی منطقه می‌تواند نقش مهمی در مکان‌گزینی و مدیریت بهتر طرح‌ها و پروژه‌های گوناگون محیطی ایفا کند و تا حدود زیادی از خسارات جانی و مالی زمین‌لرزها کاسته و در کاهش خسارات ناشی از بلایای طبیعی دیگر نظیر حرکات دامنه‌ای، مؤثر واقع شود.

پیشینه تحقیق

استفاده از شاخص‌های مورفومتریک در تشخیص حرکات‌فعّال و جوان، در جهان سابقه‌ی چندانی نداشته به دهه‌ی ۱۹۶۰ برمی‌گردد. در ایران سابقه این گونه مطالعات به بیش از یک دهه نمی‌رسد و می‌توان آن را علمی جدید در ایران به شمار آورد. بول و مک‌فادن[1] (۱۹۷۷)، با استفاده از شاخص نسبت پهنا به عمق یا ارتفاع دره Vf برای شناسایی عامل فرسایش استفاده کرده‌اند و تأثیر تکتونیک را از طریق نیمرخ عرضی دره‌ها مورد بررسی قرار داده‌اند. تحقیقات آن‌ها در

1-Bull and McFadden

شمال و جنوب گسل گارلوک انجام شد. مطالعات آن‌ها در منطقه به سه رده‌بندی مهم منجر گردید. مطالعات منگس[1] (۱۹۸۷) روی جبهه‌ی کوهستانی شمال نیومکزیکو از درجه فعالیّت‌های تکتونیک و نقش گسل‌های اصلی در مشخصات سطوح مثلثی (مساحت، شیب و قاعده) حکایت داشته است. رامیرز هررا[2] (۱۹۹۸) تغییرات مکانی تکتونیک‌های فعّال را بر اساس روش‌های ژئومورفیک و مورفومتریک اَرزیابی نموده است. در این رابطه شدت فعالیّت‌های تکتونیکی بر اساس مطالعه‌ی دقیق ژئومورفولوژی جبهه‌ی کوهستان و سیستم آبرفتی اَرزیابی شده است. ویسراس و همکاران[3](۲۰۰۳) در مطالعه‌ای در منطقه‌ی بتیک کوردیلرای اسپانیا به بررسی اشکال افتراقی مخلوط‌افکنه‌هایی که توسط تکتونیک کنترل می‌شوند، پرداختند. سینگ و تاندون[4] (۲۰۰۷) مطالعه‌ای مربوط به دو مخروط‌افکنه در منطقه‌ی پینجور در شمال غرب کوه‌های هیمالیا انجام دادند. نتایج تحقیق حاکی از آن بود که تکتونیک نقش مهم‌تری را نسبت به عوامل اقلیمی در تحول مخروط‌افکنه‌ها داشته است. در خصوص استفاده از شاخص‌های مورفومتریک در ایران می‌توان به موارد چند اشاره کرد:خیام و مختاری‌کشکی (۱۳۸۲)، به اَرزیابی عملکرد فعالیّت‌های تکتونیکی براساس مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها پرداختند و از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی برای بررسی فعالیّت‌های تکتونیکی مخروط‌افکنه‌های دامنه‌های شمالی میشوداغ استفاده نمودند و بر اساس یافته‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که فعالیّت‌های تکتونیکی در بخش شرقی میشو در دوره‌های اخیر زمین‌شناسی و حتی در کواترنر نیز تداوم داشته است.

رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۸۴)، عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش مخروط‌افکنه‌ی رودخانه‌ی روئین در دامنه‌ی جنوبی آلاداغ را بررسی کرده‌اند و نتایج تحقیق نشان داد که در بین عوامل درونی نقش تکتونیک از اهمیت بیشتری برخوردار است.

رامشت و همکاران (۱۳۸۸)، تأثیرات تکتونیک جنبا را بر مورفولوژیک مخروط‌افکنه‌ی درختنگان در منطقه‌ی شهداد کرمان بررسی نمودند. فعالیّت‌های تکتونیکی با تأثیرگذاری در محل استقرار مخروط‌افکنه، افزایش رسوبدهی، افزایش شیب و در نتیجه افزایش توان حمل و مقدار رسوب رودخانه‌ای درختنگان، نقش خود را در تحول و تکامل امروزی آن ایفا کرده است. با استناد به اَرزیابی روش‌های متعدد تکتونیک جنبا، این منطقه جزء مناطق فعّال تکتونیکی قلمداد می‌شود. مقصودی و همکاران (۱۳۸۸)، به بررسی نقش تکتونیک در شکل‌گیری و تحول مخروط‌افکنه‌های دامنه‌ی تاقدیس قلاجه در جنوب استان کرمانشاه پرداخته‌اند و با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک میزان فعالیّت‌های تکتونیکی در منطقه را اَرزیابی نموده‌اند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که تکتونیک منطقه (گسل‌ها) نقش اصلی را در شکل‌گیری و تحول و مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های منطقه دارد.

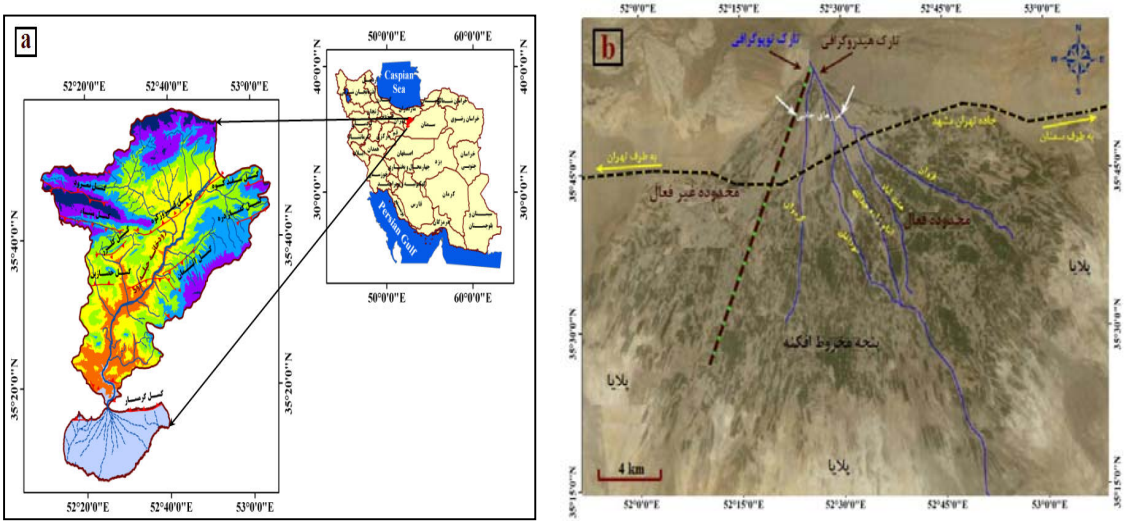
سیف و خسروی(۱۳۸۹)، تکنوتیک‌های فعّال را در قلمرو تراست منطقه‌ی فارسان، مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج شاخص‌های متفاوت تبدیل به شاخص (Iat) شده‌اند و نقشه‌ی پهنه‌بندی تکنوتیکی حوضه‌ی فارسان در چهار کلاس بسیار فعّال، فعّال، نیمه‌فعّال و غیرفعّال ترسیم گردیده است.

منطقه‌ی مورد مطالعه

مخروط‌افکنه‌ی گرمسار، یک نمونه‌ی بارز از مخروط‌افکنه‌های کلاسیک می‌باشد که در نتیجه‌ی فرسایش حوضه‌ی آبخیز بزرگ رودخانه حبله‌رود و رسوب‌گذاری این رودخانه تشکیل شده است. حوضه‌ی آبخیز حبله‌رود در یال جنوبی البرز مرکزی و از نظر مختصات جغرافیایی، در ´۷ ´۸ °۳۵ تا ´۳۰ ´۵۷ °۳۶

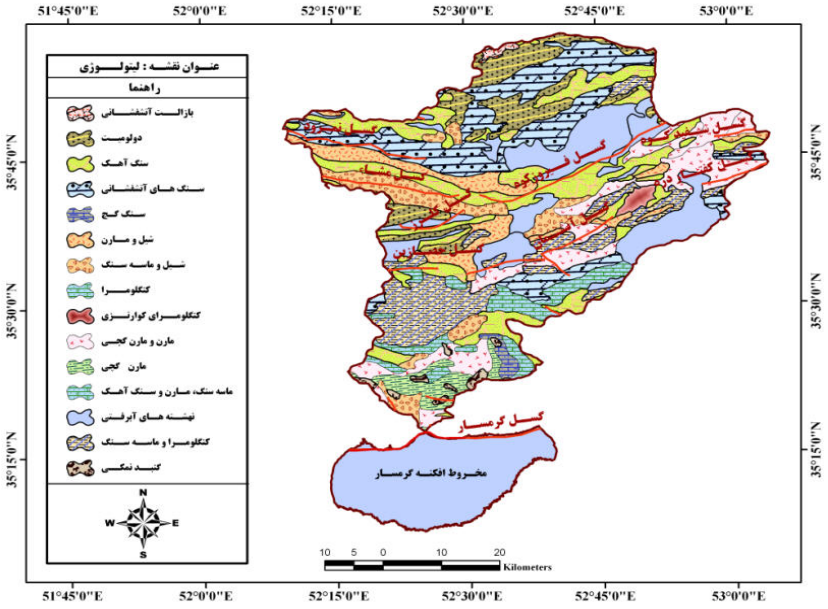
1-Mengs
2-Ramirez Herrera
3-Viseras et al
4-Singh and Tandon

عرض شمالی و ۳۰ ´ ۱۰ ° ۵۲ تا ۱۰ ´ ۵ ° ۵۳ طول شرقی قرار دارد (شکل a.۱). آب و هوای مخروط‌افکنه‌ی گرمسار در کل نظیر پهنه‌ی ایران مرکزی است و می‌تواند به عنوان محیطی قاره‌ای، نیمه‌خشک تا خشک تعریف گردد. بر اساس اقلیم نمای آمبرژه منطقه‌ی گرمسار دارای اقلیم‌خشک وسرد می‌باشد *(احمدی، ۱۳۶۷: ۲۱۳)*. سرشاخه‌های شمالی حبله‌رود از کوه‌های شمال شرق و شمال فیروزکوه (ارتفاعات گدوک) با شاخه گورسفید آغاز گردیده و به تدریج شاخه‌های زیادی به آن می‌پیوندند. رودخانه‌های مهم مخروط‌افکنه‌ی گرمسار از شرق به غرب، فروان، هشت‌آباد، امامزاده علی‌اکبر، سوداغلان و کردوان نام دارد (شکل b.۱). از آن‌جا که حوضه‌ی آبخیز حبله‌رود، در بخش خمیده‌ی البرز قرار دارد، ساختارهای زمین‌شناسی مانند چین‌خوردگی و گسلش به وفور در آن دیده می‌شود. بخش زیادی از رسوبات منطقه، مربوط به دوره‌ی سنوزوئیک است. ساختار این گسترده از قدیم به جدید شامل سازند فجن زیارت(پالئوسن)، کند، کرج(ائوسن)، سرخ‌پایین، قم(الیگوسن)، سرخ بالا (میوسن)، هزاردره (پلیو-پلیوستوسن)، کهریزک و آبرفت‌های کواترنری است که از دیدگاه سنگ‌شناسی، بطور عمده متشکل از مارن، شیل، سنگ آهک، نمک، گچ، سنگ ماسه، کنگلومرا، توف و نهشته‌های آبرفتی است (شکل ۲). از مهم‌ترین گسل‌های ناشی از این تکتونیک فعّال می‌توان به راندگی گرمسار، راندگی سرخه کلوت، گسل راستالغز فیروزکوه، گسل راستالغز مشا، سیمین‌دشت، راندگی حصاربن، گسل راستالغز دره لیلی، گچه، کفتاردره، جنوب دلیچای و کلرز اشاره کرد (شکل ۲). تعداد زیاد گسل‌های فعّال در منطقه را می‌توان دلیلی بر وسعت بسیار زیاد مخروط‌افکنه گرمسار، که به حدود ۴۵۰ کیلومترمربع می‌رسد، دانست *(مهندسین مشاور نتپا، ۱۳۸۷ : ۱۲۳)*. گسل گرمسار که گسلی رورانده مربوط به کواترنر است، در قسمت شمالی مخروط‌افکنه، مرز روشنی میان سازندهای شمالی و آبرفت‌های دشت را تشکیل می‌دهد. این گسل بسیار فعّال بوده و محققان زمین‌لرزه‌های اخیر گرمسار را ناشی از فعالیّت گسل گرمسار دانسته‌اند *(Bunte, 2001: 428)*.



شکل a.۱): موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه؛ شکل b.۱): مرزهای هندسی و محدوده‌های تقریبی فعّال و غیرفعّال مخروط‌افکنه با خط چین مشخص شده‌اند

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۲: نقشه لیتولوژی حوضه‌ی آبخیز حبله‌رود

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

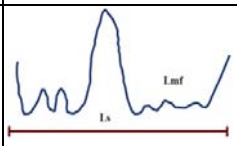
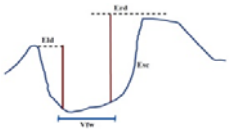
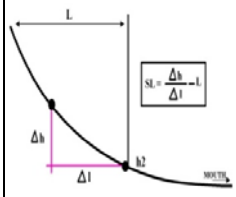
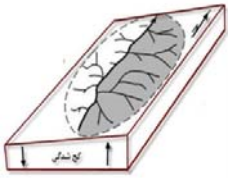
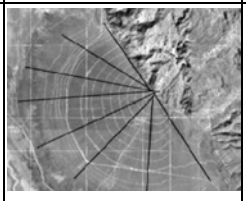
مواد و روش‌ها

الف- مواد: برای شناسایی دقیق و مطالعه‌ی منطقه و انجام محاسبات از منابع و اطلاعات زیر استفاده گردید:

- نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱: ۲۵۰۰۰۰ ، ۱: ۵۰۰۰۰ ، ۱: ۲۵۰۰۰ ، ۱: ۱.
- نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱: ۲۵۰۰۰۰ ، ۱: ۱۰۰۰۰۰ ، ۱.
- تصاویر ماهواره‌ای (TM) لندست پنج با مشخصات فریم ۳۵- ۱۶۴.
- عکس‌های هوایی منطقه.

ب- روش‌ها: پس از تعیین محدوده‌ی حوضه و جبهه‌ی کوهستان، شاخص‌های ژئومورفیک که شامل شاخص سینوسی جبهه‌ی کوهستان (Smf)، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، عامل عدم تقارن حوضه (Af)، گرادیان طولی رودخانه (Sl)، عامل تقارن توپوگرافی (T)، شاخص ضریب مخروط‌گرایی (FCI) و شاخص فعالیّت‌های تکتونیکی (Iat) بودند مطابق جدول (۱) محاسبه شدند.

جدول ۱: شاخص‌های مورد استفاده برای اَرزیابی تکتونیک فعّال در منطقه‌ی مورد مطالعه

شاخص‌های کمّی	تعریف اجزای معادله	روش اندازه‌گیری	معنی‌داری
سینوزیته جبهه‌کوهستان Smf=Lmf/Ls	Lmf: طول جبهه کوهستان در محل تلاقی پایکوه و کوهستان Ls: طول خط مستقیم جبهه کوهستان		مقادیر عددی نزدیک به یک بیانگر مناطق دارای حرکات تکنوتیکی فعال است.
نسبت پهنای دره به ارتفاع آن Vf=2vfw/(Eld-Esc)+(Erd-Esc)	Vfw: عرض کف دره؛ Eld: ارتفاع کف دره از سمت چپ؛ Erd: ارتفاع کف دره از سمت راست؛ Esc: ارتفاع کف دره.		Vf<1 فعّال 1<vf<2 نیمه فعّال Vf>2 غیرفعّال
تقارن توپوگرافی عرضی T=Da/Dd	Da: فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا کمربند فعّال مئاندری؛ Dd: فاصله خط میانی حوضه و خط تقسیم آب		مقدار عددی این شاخص در حوضه‌های متقارن برابر با صفر است و هرچه به عدد یک نزدیک‌تر شود، تقارن حوضه کاهش می‌یابد.
گرادیان طولی رودخانه $Sl = (\Delta H / \Delta L)L$	ΔH: اختلاف ارتفاع قطعه موردنظر؛ ΔL: طول شاخه مورد نظر؛ L: مجموع طول آبراهه از مرکز نقطه‌ای که شاخص محاسبه می‌شود تا مرتفع‌ترین نقطه‌ی آبراهه در بالادست		مقادیر بالای بی‌نظمی، گویای کلاس ۱ فعالیّت‌های تکتونیکی است و میزان کم آنومالی در نیمرخ طولی رودخانه، کلاس ۲ حرکات تکنوتیکی را نشان می‌دهد.
عدم تقارن آبراهه‌ها Af=100(Ar/At)	Af: شاخص عدم تقارن؛ Ar: مساحت حوضه آبریز در سمت راست آبراهه اصلی؛ At مساحت کل حوضه.		اگر 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.
مخروط‌گرایی FCI=AIF/ATF	ATF: مساحت مخروط ایده‌آل که از فرمول $\pi r^2 \times dfA/360$ محاسبه می‌شود، dfA زاویه رأس مخروط و r^2 شعاع مخروط‌افکنه؛ ATF مساحت واقعی مخروط‌افکنه.		اگر میزان این شاخص از عدد یک کمتر باشد نشان‌دهنده‌ی این است که مخروط‌افکنه کمتر اجازه‌ی رشد و تکامل یافته است که علت این امر فعالیّت‌های تکتونیکی می‌باشد.
اَرزیابی فعالیّت تکتونیکی Jat=S/N	S: مجموع کلاس‌های شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه شده؛ N: تعداد شاخص‌های محاسبه شده	----------	1<lat<1/5 : فعالیّت شدید 1/5<lat<2 : فعالیّت زیاد 2<lat<2/5 فعالیّت متوسط 2/5>lat : فعالیّت کم

مأخذ: *Hamdoni et al, 2008*

یافته‌های پژوهش

محاسبه‌ی شاخص‌های کمّی جهت اَرزیابی تکتونیک فعّال

- شاخص سینوسی جبهه کوهستان[1] (smf)

شاخص سینوسی (سینوزیته) یا پیچ و خم جبهه کوهستان، از جمله شاخص‌های ژئومورفیک برای اَرزیابی تکتونیک فعّال می‌باشد. این شاخص تعادل بین نیروهای فرسایشی و نیروهای تکتونیکی را نشان می‌دهد (*Silva et al, 2003: 207*) . در این روش با اندازه‌گیری پیچ و خم‌های ایجاد شده توسط آبراهه‌ها در جبهه‌ی کوهستان و تقسیم آن بر طول افقی در راستای گسل و جبهه کوهستان، می‌توان وضعیت یک منطقه را از نظر فعّال بودن تکتونیکی مشخص نمود. شاخص مربوط به صورت رابطه‌ی (۱) بیان می‌گردد *(Keller&Pinter, 1996: 138)*.

رابطه ۱: **Smf =Lms/Ls**

Smf: شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان؛ Lmf : طول جبهه کوهستان در محل تلاقی پایکوه و کوهستان؛ Ls: طول خط مستقیم جبهه کوهستان می‌باشد. شاخص (Smf) برای جبهه‌های کوهستانی هر منطقه برحسب میزان فعالیّت‌های تکتونیکی آن منطقه، متغیّر است. چنانچه این مقدار به عدد یک نزدیک‌تر شود، منطقه دارای حرکات تکتونیکی فعّال است و جبهه‌های کوهستان دارای نرخ فرایش[2] می‌باشند. در کوهستان‌هایی که مقدار (Smf) بیش از عدد ۳ باشد، با یک جبهه‌ی کوهستانی به شدت فرسایش یافته مواجه هستیم. جداول (۲و۳) دو نوع تقسیم‌بندی برای اَرزیابی میزان فعالیّت‌های تکتونیکی مناطق را بر اساس شاخص (Smf) نشان می‌دهند.

جدول ۲: تقسیم‌بندی فعالیّت‌های تکتونیکی مناطق بر اساس میزان شاخص(Smf)

مناطق	بسیار فعّال	با فعالیّت متوسط	غیرفعّال
میزان Smf	۱-۱/۶	۱/۴-۳	۱/۸-۵ و بیشتر

مأخذ: Keller&Pinter, 1996

جدول ۳: تقسیم‌بندی فعالیّت‌های تکتونیکی مناطق بر اساس میزان شاخص(Smf)

مناطق	بسیار فعّال	با فعالیّت متوسط	غیرفعّال
میزان Smf	Smf<1/1	1/1<Smf<1/5	Smf>1/5

مأخذ: Hamdouni et al, 2008

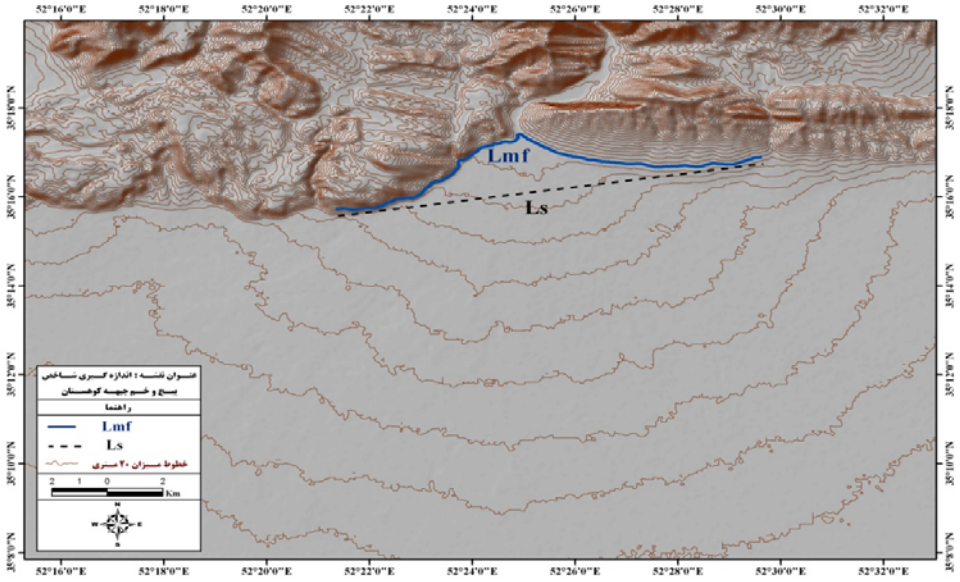
برای محاسبه‌ی میزان این شاخص در منطقه‌ی مورد مطالعه، بر روی نقشه‌ی توپوگرافی، مقاطعی مشخص گردید (شکل ۳)، سپس با استفاده از رابطه‌ی ذکر شده، میزان سینوزیته‌ی جبهه‌ی کوهستان محاسبه شد. مقدار شاخص به دست آمده و پارامترهای مربوط به آن در جدول (۴) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۴: شاخص (Smf) و پارامترهای آن در جبهه‌ی کوهستانی منطقه‌ی مورد مطالعه

مکان مقطع	Lmf(m)	Ls(m)	Smf	ارتفاع خط منحنی میزان (m)
شمال مخروط‌افکنه گرمسار	۱۵۵۱۶/۳	۱۳۷۸۷/۵	۱/۱	۹۸۰

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

1-Mountain Front Sinousity
2-Uplift



شکل ۳: چگونگی اندازه‌گیری شاخص سینوسی جبهه کوهستان (smf) در مخروط‌افکنه گرمسار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

طبق جدول شماره (۴) مشاهده می‌شود که، مقادیر به دست آمده از شاخص (Smf)، طبق تقسیم‌بندی ارائه شده از سوی کلر و پینتر، منطقه‌ی مورد بررسی را جزء مناطق بسیار فعّال و براساس کلاس‌بندی همدونی[1] و همکارانش در کلاس ۲، یعنی مناطقی با فعالیّت متوسط جای می‌دهد. بنابراین بر اساس این شاخص، منطقه‌ی مورد بررسی دارای فرایش می‌باشد.

- شاخص پهنای دره به ارتفاع آن[2] (Vf)

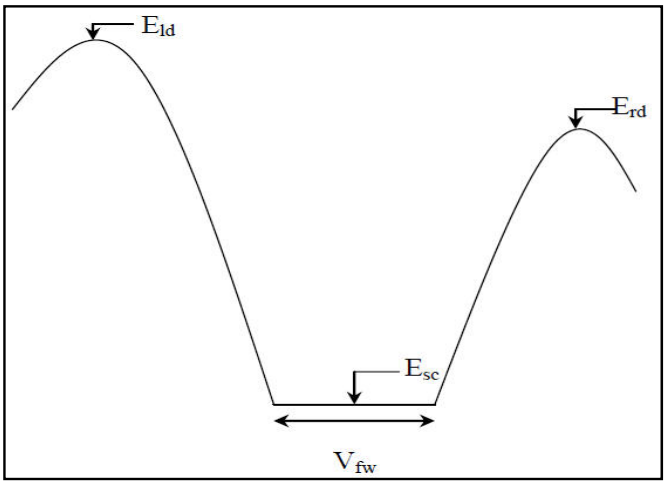
شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن، دره‌های (V) شکلی را که در پاسخ به بالاآمدگی، پایین‌دست خود را حفر می‌کنند، از دره‌های (U) شکلی که در اثر ثبات سطح اساس و آرامش تکتونیکی، فرسایش کناری در آن‌ها برتری دارد، متمایز می‌سازد *(Garcia–Tortosa et al, 2008: 378)*.

شاخص (Vf) به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود *(Keller& pinter, 1996: 140)*.

$$Vf=2vfw/(E_{ld}-E_{sc})+(E_{rd}-E_{sc})$$ *رابطه ۲:*

Vf: نسبت پهنای دره به عمق آن؛ Vfw: عرض بستر دره؛ Esc : ارتفاع کف دره؛ Eld: ارتفاع خط مستقیم آب در سمت چپ دره؛ Erd: ارتفاع خط تقسیم آب در سمت راست دره می‌باشد (شکل ۴).

1-Hamdoni et al
2-Valley Floor width to height



شکل ۴: تصویر شماتیک از پارامترهای لازم برای محاسبه شاخص (Vf)

مأخذ: Keller&Pinter, 2002

شاخص (Vf) را معمولاً در فاصله‌ی معینی از جبهه کوهستان، به سمت بالا دست رودخانه اندازه‌گیری می‌کنند *(مددی و همکاران، ۱۳۸۳:۱۳۲)*. با محاسبه‌ی شاخص (Vf) برای قسمت‌های نزدیک‌تر دره به جبهه کوهستان، می‌توان در مورد فعّال یا غیرفعّال بودن جبهه کوهستان قضاوت نمود. دره‌های با بستر پهن مقادیر عددی زیاد و دره‌های عمیق و (V) شکل، مقادیر کمتری را نشان می‌دهند. در واقع تشکیل دره‌های (V) شکل در پاسخ به حرکات قائم و جوان است. در جداول (۵ و ۶) میزان فعالیّت‌های تکتونیکی مناطق بر اساس شاخص (Vf) به دو روش ارائه شده است.

جدول ۵: تقسیم‌بندی فعالیّت‌های تکتونیکی مناطق بر اساس میزان شاخص (Vf)

مناطق	بسیار فعّال	با فعالیّت متوسط	غیرفعّال
میزان Vf	Vf<1	1<Vf<2	Vf>2

مأخذ: Keller&Pinter, 1996

جدول ۶: تقسیم‌بندی فعالیّت‌های تکتونیکی مناطق بر اساس میزان شاخص (Vf)

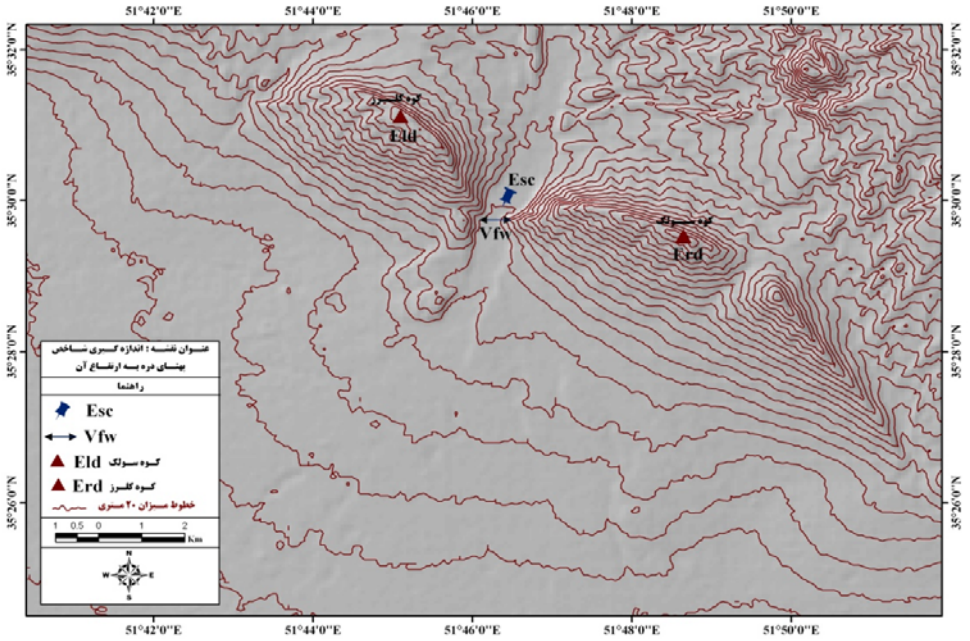
مناطق	بسیار فعّال	با فعالیّت متوسط	غیرفعّال
میزان Vf	Vf<0/5	0/5<Vf<1	Vf>1

مأخذ: Hamdouni et al, 2008

جدول ۷: میزان شاخص Vf و پارامترهای آن در منطقه‌ی مورد مطالعه

مکان مقطع	Vfm(m)	Esc(m)	Eld	Erd(m)	Vf
بین کوه سولک و کوه کلرز	۲۲۶/۱۵	۱۰۰۰	۱۱۸۰	۱۲۸۰	۰/۹

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۵: چگونگی اندازه‌گیری شاخص پهنای دره به ارتفاع آن (Vf) در مخروط‌افکنه گرمسار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

طبق جدول (۷) مقادیر به دست آمده از شاخص(Vf) در منطقه‌ی مورد مطالعه را، می‌توان به این صورت تحلیل نمود. طبق تقیسم‌بندی کلر و پینتر، جبهه کوهستانی شمال مخروط‌افکنه‌ی گرمسار، جزء مناطق بسیار فعّال شناسایی گردید. همچنین در کلاس‌بندی ارائه شده از همدونی، جبهه‌ی کوهستانی در شمال مخروط‌افکنه‌ی گرمسار جزء کلاس۲ یعنی مناطقی با فعالیّت متوسط قرار دارد. بنابراین این دره‌ها از نوع (V) شکل می‌باشند که در پاسخ به حرکات قائم و جوان ایجاد شده‌اند.

- شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز[1] (Af)

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، کج‌شدگی جانبی حوضه را نسبت به مسیر رودخانه اصلی، در أثر نیروهای تکتونیکی نشان می‌دهد *(Guarnieri & Pirrotta, 2008: 265)*.

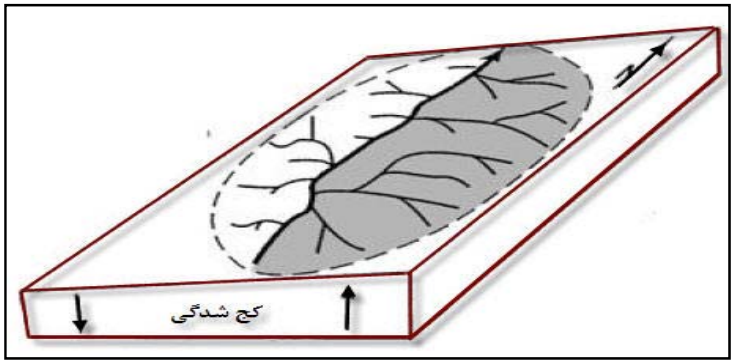
در مناطق دارای تکتونیک فعّال، به دلیل ظاهر شدن أثر این حرکات بر توپوگرافی محل، در یک سوی منطقه بالاآمدگی و در سوی دیگر فرونشست ایجاد می‌گردد. بنابراین طول آبراهه‌های فرعی در سوی فرایش یافته بیش از طول آبراهه‌های منطقه فرونشست خواهد بود *(مقصودی و کامرانی دلیر، ۱۳۸۷:۵۲)*. شاخص (Af) به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود:

رابطه ۳: **Af=100(Ar/At)**

Af: شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی؛ Ar: مساحت حوضه در سمت راست آبراهه اصلی در جهت پایین رود؛ At: مساحت کل حوضه‌ی زهکشی می‌باشد (شکل ۶). هرگاه 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 بیشتر از ۵۰

1- Drainage Asymmetry Factor

نشان‌دهنده‌ی عملکرد فرایش در ساحل سمت راست و مقدار کمتر از ۵۰، فرایش را در ساحل سمت چپ نمایش می‌دهد. مساحت حوضه در بر گیرنده‌ی زهکش‌های فرعی در سمت راست و مساحت کل حوضه‌های زهکشی طبق شکل (۷) محاسبه گردید. در جدول شماره (۸) تقسیم‌بندی مناطق، بر اساس شاخص (Vf) مشاهده می‌گردد.



شکل ۶: بلوک دیاگرام یک حوضه‌ی زهکشی متأثر ازحرکات فرایشی (تکتونیک)

مأخذ: مقصودی و همکاران، ۱۳۸۸

جدول ۸: تقسیم‌بندی فعالیّت‌های تکتونیکی مناطق بر اساس میزان شاخص Af

مناطق	بسیار فعّال	با فعالیّت متوسط	غیرفعّال
میزان Af	Af-50>15	7<Af-50<15	Af-50<7

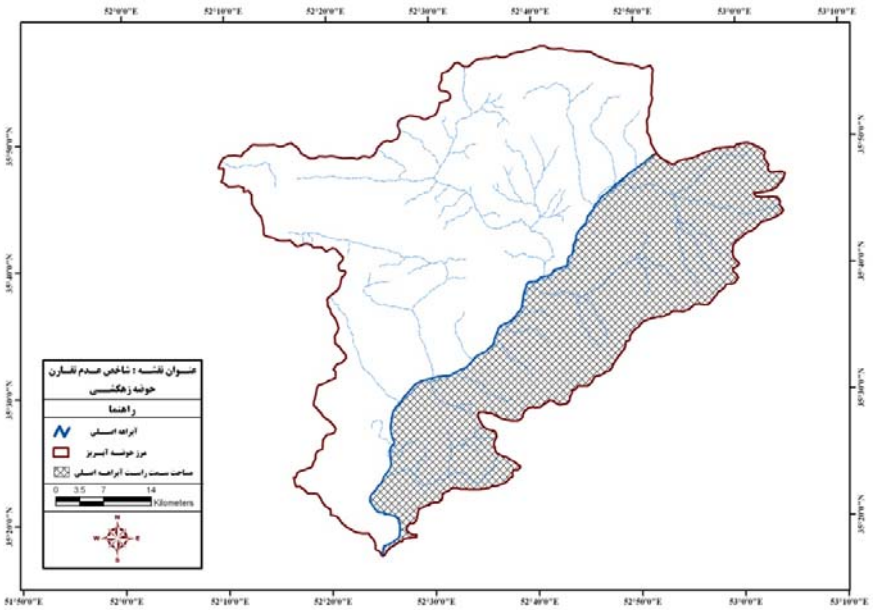
مأخذ: Hamdouni et al, 2008

نتایج بررسی این شاخص در منطقه‌ی مورد مطالعه به شرح جدول شماره (۹) است.

جدول ۹: میزان شاخص(Af) و پارامترهای آن در منطقه‌ی مورد مطالعه

مکان مقطع	At(km^2)	Ar(km^2)	Af	Af-50
حوضه‌ی آبریز حبله‌رود	۳۰۸۸/۸	۱۱۱۵/۵	۳۶/۱	-۱۳/۹

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۷: نقشه‌ی اندازه‌گیری شاخص عدم تقارن آبراهه‌ی اصلی در حوضه‌ی مورد مطالعه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

از نتایج به دست آمده این طور استنباط می‌شود که در حوضه‌ی آبریز حبله‌رود فرایش در ساحل سمت چپ در جریان است. همچنین بر اساس کلاس‌بندی ارائه شده توسط همدونی و همکارانش، حوضه‌ی حبله‌رود جزء مناطق غیرفعال معرفی می‌شود.

- شاخص گرادیان طولی رودخانه[1] (SL)

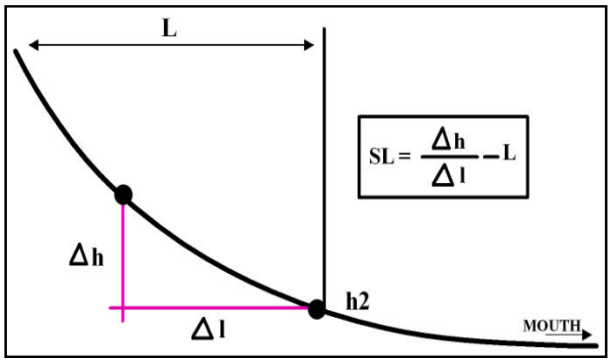
شاخص شیب طولی رودخانه به تغییرات شیب آبراهه حساس است و می‌تواند هرگونه بی‌نظمی را که در أثر فعالیّت‌های تکتونیکی یا مقاومت سنگ در شیب طولی آبراهه ایجاد شده است، نشان دهد *(Ramirez-Herra, 1998: 323)*.

مقادیر زیاد (Sl) در سنگ‌های دارای مقاومت کم و یا در سنگ‌های از لحاظ مقاومت یکسان، می‌تواند بیانگر حرکات تکتونیکی فعّال و جوان باشد. مقدار عددی زیاد شاخص گرادیان (Sl>3000)، بیانگر فرایش فعّال و شدید بوده و مقادیر عددی کوچکتر از ۱۰۰۰ بیانگر عدم فعالیّت تکتونیکی در منطقه می‌باشد *(سلیمانی، ۱۳۷۸: ۵۸)*. این شاخص به صورت رابطه (۴) بیان می‌شود:

$$Sl= (\Delta H/\Delta L)L$$ *رابطه ۴:*

Sl : شاخص گرادیان طولی رودخانه؛ $\Delta H/\Delta L$: شیب آبراهه یا گرادیان یک قطعه؛ ΔH : اختلاف ارتفاع قطعه مورد نظر؛ ΔL : طول شاخه‌ی مورد نظر؛ L: مجموع طول آبراهه از نقطه‌ای که شاخص محاسبه می‌شود تا مرتفع‌ترین‌نقطه‌ی آبراهه در بالادست می‌باشد (شکل۸) *(Garcia-Tortosa et al,2008:380)*.

1-Stream Length Gradient Index



شکل ۸: تصویر شماتیک پارامترهای لازم جهت محاسبه شاخص (SL)

مأخذ : سلیمانی، ۱۳۷۸

نتایج حاصل از تغییرات این شاخص در طول یک رودخانه به این شرح است:

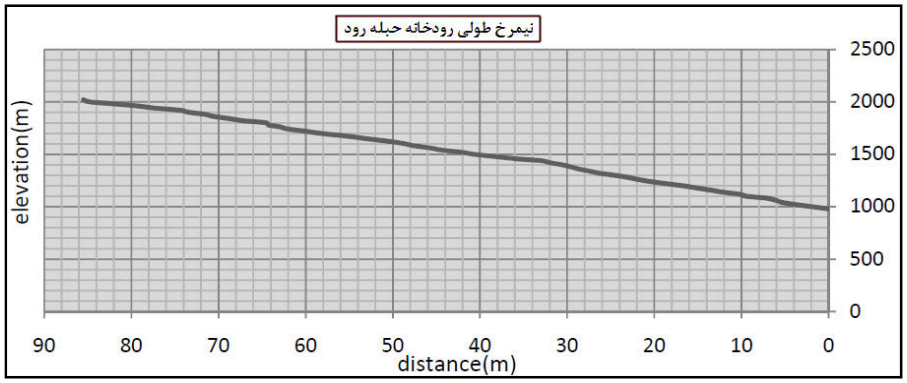
۱- در حوضه‌هایی که مقدار عددی شاخص (Sl) از بالادست به سوی پایین دست کاسته شود، میزان بالاآمدگی کم است.

۲- در حوضه‌هایی که مقدار عددی شاخص (Sl) از بالادست به سوی پایین دست افزایش یابد، آهنگ بالاآمدگی زیاد است.

۳- در حوضه‌هایی‌که تغییرات شاخص (Sl) از بالادست به‌سوی پایین‌دست شیب یکنواخت داشته باشد، میزان بالاآمدگی متوسط می‌باشد.

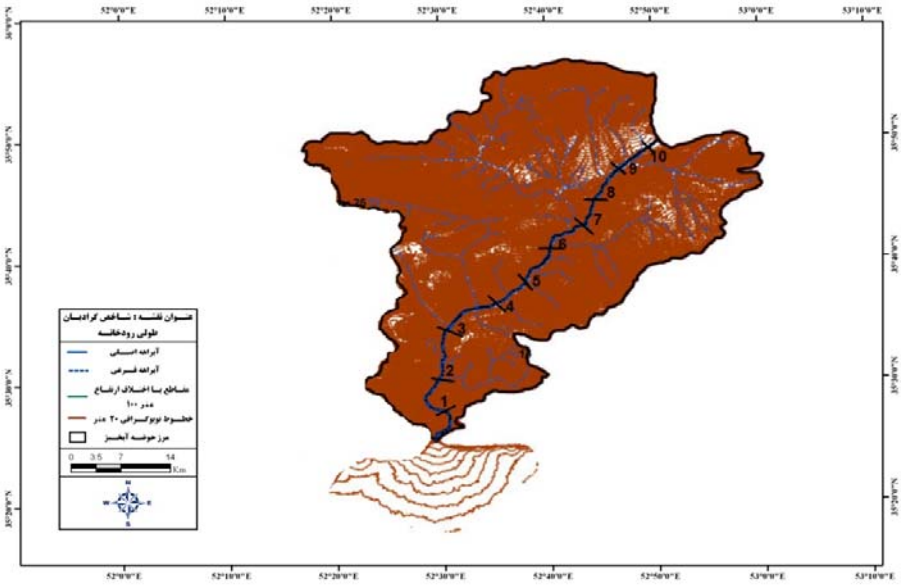
۴- در حوضه‌هایی که مقدار شاخص (Sl) در نوسان است، آهنگ بالاآمدگی متوسط می‌باشد *(Keller, 1986: 211)*.

مقادیر بالای بی‌نظمی، گویای کلاس۱ فعالیّت‌های تکتونیکی است و میزان کم آنومالی در نیمرخ طولی رودخانه، کلاس۲ حرکات تکتونیکی را نشان می‌دهد. این در حالی است که نیمرخ‌های منظم و بدون تغییرات، به رودخانه‌های با آرامش تکتونیکی دلالت می‌کنند *(Hamdouni et al, 2008: 169)*. برای محاسبه‌ی این شاخص ابتدا نیمرخ طولی رودخانه حبله‌رود ترسیم گردید (شکل ۹). سپس در رودخانه‌ی اصلی حبله‌رود مقاطعی با اختلاف ارتفاع ۱۰۰ متر طبق شکل (۱۰) مشخص گردید که با توجه به ارتفاع حوضه، تعداد ۱۰ مقطع برای بررسی این شاخص در نظر گرفته شد و پارامترهای لازم برای محاسبه‌ی این شاخص اندازه‌گیری شد.



شکل ۹: نیمرخ‌های طولی رودخانه‌ی حبله‌رود

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۱۰: نقشه‌ی موقعیت مقاطع در حوضه‌ی مورد مطالعه جهت محاسبه‌ی شاخص (SL)

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

جدول ۱۰: پارامترهای لازم برای محاسبه شاخص(Sl) در حوضه‌ی حبله‌رود

منحنی میزان	*ΔH(m)*	*ΔL(m)*	*ΔH/ΔL*	L(m)	Sl
۹۸۰-۱۰۸۰	۱۰۰	۷۱۵۰	۰/۰۱۳	۸۱۷۰۰	۱۱۴۲/۶۵
۱۰۸۰-۱۱۸۰	۱۰۰	۸۱۳۰	۰/۰۱۲	۷۴۷۰۰	۹۱۸/۸۱
۱۱۸۰-۱۲۸۰	۱۰۰	۷۶۰۰	۰/۰۱۳	۶۶۹۰۰	۸۸۰/۲۶
۱۲۸۰-۱۳۸۰	۱۰۰	۶۶۰۰	۰/۰۱۵	۵۹۷۰۰	۹۰۴/۵۴
۱۳۸۰-۱۴۸۰	۱۰۰	۸۸۰۰	۰/۰۱۱	۵۱۴۳۰	۵۸۴/۴۳
۱۴۸۰-۱۵۸۰	۱۰۰	۹۰۹۰	۰/۰۱۱	۴۴۴۰۰	۴۸۸/۴۴
۱۵۸۰-۱۶۸۰	۱۰۰	۸۴۰۰	۰/۰۱۱	۳۵۵۰۰	۴۲۲/۶۱
۱۶۸۰-۱۷۸۰	۱۰۰	۸۳۰۰	۰/۰۱۲	۲۶۳۰۰	۳۱۶/۸۶
۱۷۸۰-۱۸۸۰	۱۰۰	۷۰۲۰	۰/۰۱۴	۱۹۲۰۰	۲۷۳/۵
۱۸۸۰-۱۹۸۰	۱۰۰	۱۰۳۰۰	۰/۰۰۹	۱۰۴۰۰	۱۰۰/۹۷

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

جدول ۱۱: میزان شاخص(Sl) و پارامترهای آن در منطقه‌ی مورد مطالعه

موقعیت	منحنی میزان	*ΔH(m)*	*ΔL(m)*	*ΔH/ΔL*	L(m)	Sl
آبراهه‌ی اصلی حبله‌رود	۹۸۰-۲۰۰۰	۱۰۲۰	۸۶۰۲۵/۵	۰/۰۱۱	۴۳۰۱۲/۷۵	۵۱۰

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

با توجه به جدول (۱۰) ملاحظه می‌شود که، شاخص (Sl) در منطقه‌ی مورد نظر عدد نسبتاً پایینی را نشان می‌دهد. لذا این حوضه به کلاس۲ یعنی مناطق با فعالیّت تکتونیکی متوسط تعلق دارد. این در حالی است که حوضه‌ی حبله‌رود به علت قرارگیری در زون البرز مرکزی پوشیده از سنگ‌های مقاوم می‌باشند. از سوی دیگر این رودخانه، دارای طول زیادی است، در نتیجه می‌توان علت بالا بودن مقادیر این شاخص را به فعالیّت‌های تکتونیکی حوضه نسبت داد. بر اساس نظر چن و همکارانش اگر در بالا بودن مقدار شاخص(Sl)، سنگ‌شناسی بستر رودخانه را مؤثر ندانیم، علت طول زیاد رودخانه‌ها می‌تواند به دلیل فعالیّت‌های تکتونیکی حوضه‌ها باشد نه به دلیل مقاومت بیشتر سنگ‌ها، براساس این شاخص می‌توان نتیجه گرفت که حوضه‌ی مورد بررسی از نظر تکتونیکی فعّال بوده و این فعالیّت‌ها در تحولات مخروط‌افکنه بی‌تأثیر نمی‌باشند.

- شاخص تقارن توپوگرافی عرضی[1] (T)

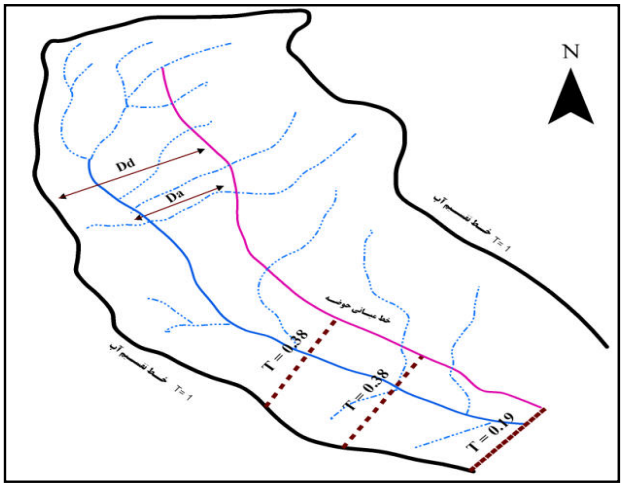
شاخص دیگری که می‌توان برای اَرزیابی نامتقارن بودن حوضه و متعاقب آن، در بررسی حرکات تکتونیکی فعّال از آن سود جست، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی می‌باشد. این شاخص به صورت رابطه (۵) تعریف‌می‌شود*(Keller&Pinter, 1996: 127)*.

$$T=Da/Dd \qquad \text{رابطه ۵ :}$$

Da: فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا کمربند فعال مئآندری؛ Dd: فاصله خط میانی حوضه و خط تقسیم آب. مقدار عددی این شاخص در حوضه‌های متقارن برابر با صفر است و هرچه به عدد یک نزدیک‌تر شود، تقارن حوضه کاهش می‌یابد.

فرض بر این است که شیب طبقات بر مهاجرت کانال اصلی رودخانه تأثیر ناچیزی دارد، در این صورت مهاجرت ناحیه‌ای کانال رودها دلیلی بر کج‌شدگی زمین بر اثر فعالیّت‌های تکتونیکی می‌باشد. بنابراین (T) بیانگر یک بردار با جهت و مقدار ۱-۰ می‌باشد *(گورایی و نوحه‌گر، ۱۳۸۶:۱۸۴)*. در شکل (۱۱) مقادیر (T) محاسبه شده برای بخش‌های مختلف دره‌ها نشان داده شده است.

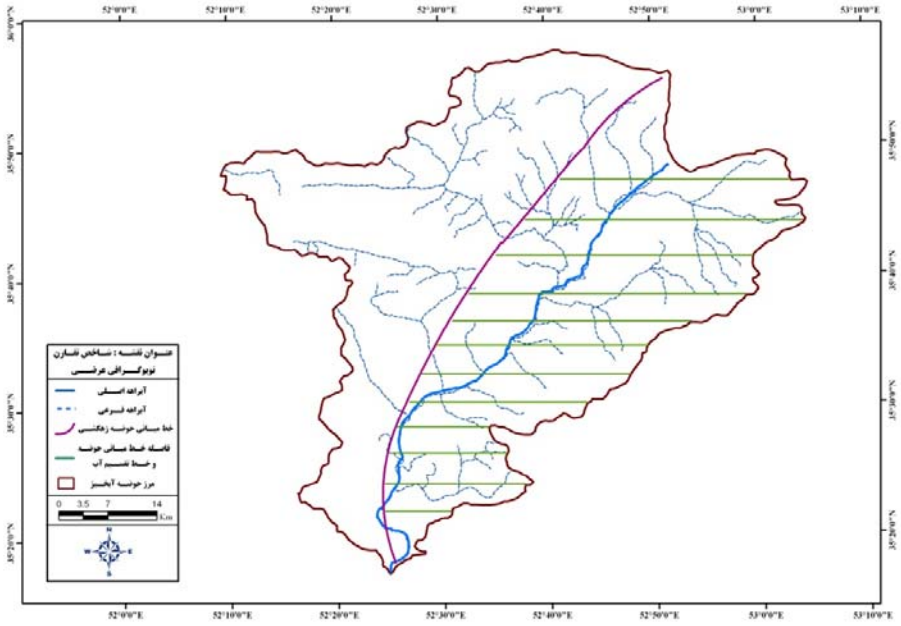
1-Transverse Topographic Symmetry Factor



شکل ۱۱: تصویر شماتیک پارامترهای لازم جهت محاسبه شاخص (T)

مأخذ : مقصودی و همکاران، ۱۳۸۷

برای برآورد پارامترهای مورد نیاز شاخص(T) در منطقه‌ی مورد مطالعه، مقادیر(Da) و (Dd) برای حوضه در فواصل ۵ کیلومتری اندازه‌گیری شد. بنابراین با توجه به وسعت حوضه‌ی مورد مطالعه، ۱۲ مقطع بررسی شد (شکل ۱۲). در جدول (۱۲) مقادیر عددی شاخص (T) به همراه سایر پارامترهای لازم برای منطقه‌ی مورد مطالعه مشاهده می‌شود.



شکل ۱۲: نقشه‌ی موقعیت مقاطع جهت محاسبه شاخص (T) در حوضه‌ی مورد مطالعه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

جدول ۱۲: مقاطع اندازه‌گیری شده شاخص (T) در حوضه‌ی حبله‌رود

شماره مقطع	Da(m)	Dd(m)	T
۱	۲۵۵۹/۶	۵۲۸۶/۴	۰/۴۸
۲	۲۲۹/۴	۱۸۰۸۴/۳	۰/۰۱
۳	۷۲۳/۳	۱۶۱۳۶/۸	۰/۰۴
۴	۱۱۱/۲	۱۲۲۴۱/۶	۰/۰۰۹
۵	۱۶۱۳/۶	۲۷۳۲۱/۲	۰/۰۵
۶	۷۴۰۰/۶	۲۸۴۳۴/۱	۰/۲۶
۷	۷۷۳۴/۵	۲۸۲۱/۵	۰/۲۷
۸	۸۹۵۸/۶	۳۷۱۱۴/۵	۰/۲۴
۹	۱۲۸۵۳/۷	۳۷۵۵۹/۷	۰/۳۴
۱۰	۱۲۰۷۴/۷	۳۵۸۳۴/۸	۰/۳۳
۱۱	۱۱۹۰۷/۸	۳۹۶۱۸/۵	۰/۳۰
۱۲	۱۳۳۵۴/۵	۳۶۹۴۷/۶	۰/۳۶
میانگین	۶۶۱۸/۴	۲۴۷۸۳/۴	۰/۲۲

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

همانطور که در جدول (۱۲) ملاحظه می‌شود مقادیر عددی شاخص(T) در حوضه، نشان‌دهنده‌ی متقارن بودن این حوضه بر اثر فعالیّت‌های تکتونیکی است. میانگین مقادیر این شاخص در حوضه ۰/۲۲ است بنابراین می‌توان دریافت آبراهه اصلی این حوضه، تقریباً در بخش میانی حوضه قرار گرفته است.

- شاخص ضریب مخروط‌گرایی[۱] (FCI)

شکل واقعی یک مخروط‌افکنه شباهت زیادی به مخروط دارد. معیار سنجش شکل واقعی یک مخروط‌افکنه، نخستین بار توسط موکرجی در سال ۱۹۷۶ ارایه شد. ضریب مخروط‌گرایی برای یک مخروط‌افکنه‌مشخص و تیپیک می‌باشد.مخروط‌افکنه‌ای که دارای ضریب مخروط‌گرایی یک باشد، کمتر تحت تأثیر عوامل مخرب و محدودکننده قرار گرفته است و به شکل یک مخروط واقعی نزدیک‌تر است. هرچه میزان این شاخص از عدد یک کمتر باشد نشان‌دهنده‌ی این است که مخروط‌افکنه کمتر اجازه‌ی رشد و تکامل یافته است که علت این امر فعالیّت‌های فرسایشی و یا فعالیّت‌های تکتونیکی می‌باشد *(روستایی و دیگران، ۱۳۸۸:۱۴۷)*. این شاخص با استفاده از رابطه‌ی (۶) محاسبه می‌شود *(Mukerji, 1976: 199)*.

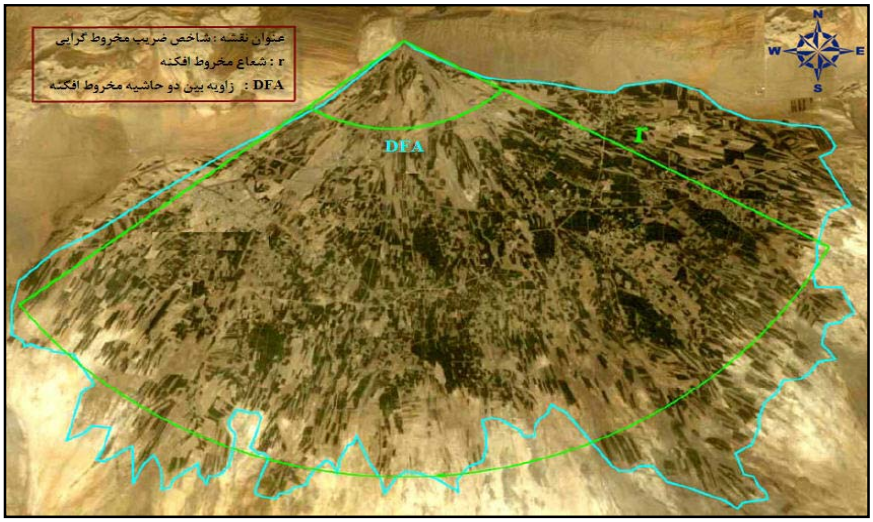
رابطه ۶ : $$FCI = \frac{AIF}{ATF}$$

AIF[۲]:مساحت مخروط ایده‌آل؛ ATF[۳]: مساحت واقعی مخروط‌افکنه.

برای محاسبه‌ی مخروط ایده‌آل نیز رابطه (۷) زیر بیان می‌شود:

رابطه ۷ : $$ALF=\pi r^2 \times dFA/360$$

π: عدد پی معادل ۳/۱۴؛ r^2: شعاع مخروط‌افکنه؛ dFA: زاویه بین دو حاشیه‌ی مخروط‌افکنه که در محل رأس آن اندازه‌گیری می‌شود. در شکل (۱۳) پارامترهای لازم جهت محاسبه و بررسی این شاخص، در منطقه‌ی مورد مطالعه آمده است.



شکل ۱۳: چگونگی اندازه‌گیری شاخص ضریب مخروط‌گرایی (FCI) در مخروط‌افکنه‌ی گرمسار

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

جدول ۱۳: پارامترهای لازم برای محاسبه‌ی ضریب مخروط‌گرایی (FCI)

مخروط‌افکنه	$r^2(km)$	dFA	$AIF(km^2)$	$ATF(km^2)$	FCI
گرمسار	۲۶۰/۶۷	۸۸	۲۰۰۰/۰۷	۳۱۵/۱۳	۰/۶۳

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

طبق جدول (۱۳) مشاهده می‌شود که ضریب مخروط‌گرایی در مخروط‌افکنه گرمسار، رقم کمتر از یک را نمایش می‌دهند. پس می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که گسترش مخروط‌افکنه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه تحت تأثیر تکتونیک و سایر عوامل فرسایش مانند آب و هوا، دچار محدودیت شده و به تکامل واقعی خود نرسیده است.

- شاخص اَرزیابی نسبی فعالیّت‌های تکتونیکی[1] (Iat)

شاخص اَرزیابی نسبی فعالیّت‌های تکتونیکی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Iat = S/N$$

Iat: شاخص فعالیّت‌های نسبی تکتونیک؛ S: مجموع کلاس‌های شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه شده؛ N: تعداد شاخص‌های محاسبه شده. طبقات مختلف شاخص (Iat) به صورت جدول زیر است *(Hamdouni et al, 2008: 171)*.

برای محاسبه‌ی این شاخص، از بین ۶ شاخص محاسبه شده در منطقه‌ی مورد مطالعه، تعداد ۵ شاخص که دارای کلاس‌بندی بودند انتخاب گردید. در جدول شماره (۱۵) نتایج اَرزیابی شاخص فعالیّت‌های تکتونیکی (Iat) قابل مشاهده است.

جدول ۱۴: طبقه‌بندی شاخص فعالیّت‌های تکتونیکی (Iat)

فعالیّت زمین‌ساختی شدید	فعالیّت زمین‌ساختی زیاد	فعالیّت زمین‌ساختی متوسط	فعالیّت زمین‌ساختی کم
1<Iat<1/5	1/5<Iat<2	2<Iat<2/5	2/5>Iat

مأخذ: Hamdouni et al, 2008

جدول ۱۵: مقدار شاخص فعالیّت‌های تکتونیکی (Iat) در منطقه‌ی مورد مطالعه

موقعیت	Smf	Vf	Af	T	SI	Iat	کلاس
حبله‌رود	۲	۲	۳	۳	۲	۲/۴	متوسط

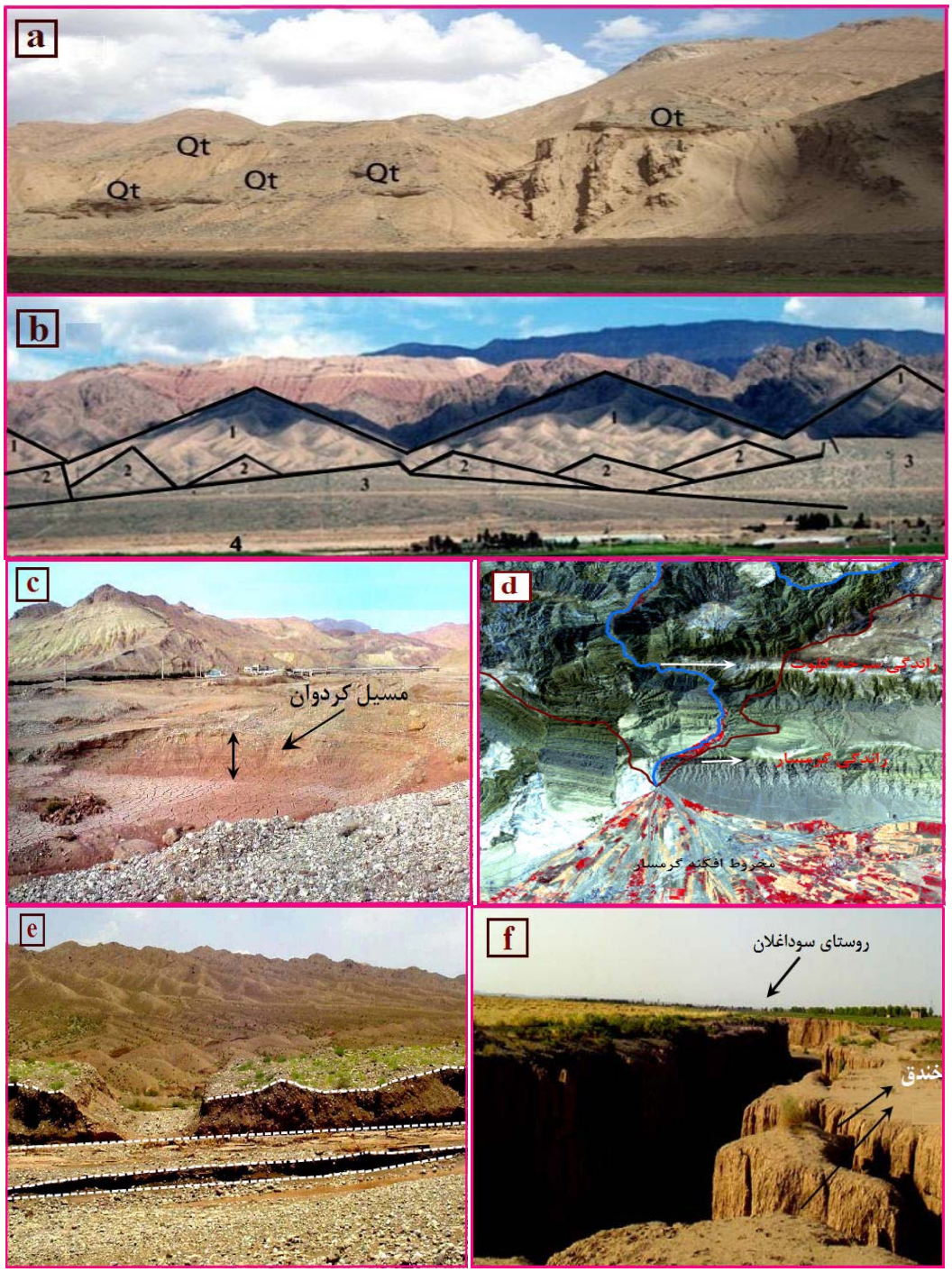
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

با اَرزیابی شاخص مزبور در منطقه‌ی مورد مطالعه دریافتیم، که حوضه‌ی حبله‌رود در کلاس فعالیّت‌های زمین‌ساختی متوسط قرار دارد.

نتیجه

پس از اَرزیابی نئوتکتونیک توسط شاخص‌های مورفومتریک نتایج فوق بدست آمد؛ مقادیر به‌دست آمده از شاخص(Smf) در جبهه‌ی کوهستانی مخروط‌افکنه‌ی مورد مطالعه طبق تقسیم‌بندی ارائه شده ازسوی کلر و پینتر، منطقه‌ی مورد بررسی را جزء مناطق بسیار فعّال و بر اساس کلاس‌بندی همدونی و همکارانش در کلاس ۲، یعنی مناطق فعّال جای می‌دهد. بنابراین بر اساس این شاخص، منطقه‌ی مورد بررسی دارای فرایش می‌باشد. از دیگر شاخص‌های ژئومورفیک مورد استفاده در این مطالعه، شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf) است. طبق تقیسم‌بندی کلر و پینتر، مخروط‌افکنه‌ی گرمسار، جزء مناطق بسیار فعّال شناسایی گردید همچنین در کلاس‌بندی ارائه شده از همدونی، این مخروط‌افکنه جزء کلاس۲ یعنی مناطقی با فعالیّت متوسط تعلق دارد. بنابراین این دره‌ها از نوع V شکل می‌باشند که در پاسخ به حرکات قائم و جوان ایجاد شده‌اند. سومین شاخصی که در منطقه‌ی مورد مطالعه اَرزیابی گردید، شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی (Af) بود از نتایج به دست آمده از این شاخص این گونه استنباط می‌شود که در حوضه‌ی آبریز حبله‌رود فرایش در ساحل سمت چپ در جریان است. همچنین بر اساس کلاس‌بندی ارائه شده توسط همدونی و همکارانش، حوضه‌ی حبله‌رود جزء مناطق غیر فعّال تکتونیکی معرفی می‌شود. دیگر شاخص مورد بررسی در این پژوهش شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) است. با توجه به مقادیر به دست آمده شاخص، ملاحظه می‌شود که شیب مقاطع در رودخانه حبله‌رود از بالادست به سمت پایین دست دارای روندی تقریباً یکسان است و لذا آهنگ بالاآمدگی متوسط می‌باشد. لذا حوضه‌ی حبله‌رود به کلاس مناطقی با فعالیّت متوسط تکتونیکی تعلق دارد. شاخص دیگری که می‌توان برای اَرزیابی نامتقارن بودن حوضه و متعاقب آن، در بررسی حرکات تکتونیکی فعّال از آن سود جست، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) می‌باشد. مقادیر این شاخص در حوضه‌ی حبله‌رود، نشان‌دهنده‌ی تقارن نسبی این حوضه‌ها می‌باشد. شاخص ضریب مخروط‌گرایی (FCI) از دیگر شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش می‌باشد. ضریب مخروط‌گرایی در مخروط‌افکنه‌ی گرمسار، رقم کمتر از یک را نمایش می‌دهند. پس می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که گسترش مخروط‌افکنه‌ی گرمسار، تحت تأثیر تکتونیک و سایر عوامل فرسایش مانند آب و هوا، دچار محدودیت شده و به تکامل واقعی خود نرسیده‌اند. در نهایت با اَرزیابی نسبی فعالیّت‌های تکتونیکی (Iat) در منطقه‌ی مورد مطالعه دریافتیم حوضه‌ی حبله‌رود در کلاس فعالیّت‌های زمین‌ساختی متوسط قرار دارند. شواهد ژئومورفولوژیک نیز تأثیر تکتونیک بر منطقه‌ی مورد مطالعه را تأیید می‌کند. مطالعه‌ی جابری و همکاران نشان داد که فعالیّت گسل گرمسار سبب ارتفاع پادگانه‌های آبرفتی شرق روستای بنه‌کوه شده است(شکل ۱۴.a). همچنین مطالعه‌ی پیشانی گسل گرمسار، توالی مخروط‌افکنه‌ها را در ۴ سطح نشان می‌دهد(شکل ۱۴.b).

در ادامه با مطالعه‌ی بستر مخروط‌افکنه در بخش جنوبی گسل گرمسار، حفر عمودی بستر رودخانه فصلی کردوان مشاهده می‌شود که بیانگر تغییر سطح اساس سطوح جنوبی، بر اثر بالا آمدن گسل گرمسار است(شکل ۱۴.c). همچنین بر اثر تغییر سطح اساس، رودخانه حبله‌رود در مسیر شمال به جنوب، به محض رسیدن به گسل سرخه کلوت تغییر مسیر داده و شروع به تعریض بستر خود می‌کند و با ایجاد قوس‌های مآندری شدید در ادامه راه، گسل گرمسار را قطع کرده و وارد دشت گرمسار می‌شود (شکل ۱۴.d). در بالاترین قسمت مخروط‌افکنه گرمسار جایی که رودخانه حبله‌رود از یک آبراهه کوهستانی وارد دشت می‌گردد، به دلیل تغییر و پایین رفتن سطح اساس رودخانه چندین تراس از رسوبات قدیمی رودخانه مشاهده می‌شود. تراس‌ها به صورت افقی بر روی رسوبات سازند هزار دره که لایه‌های آن به صورت شیب دار به زیر دشت گرمسار کشیده شده است، قرار دارد. وجود تراس‌های قدیمی و آبراهه‌های عمیق شده در مخروط‌افکنه گرمسار نیز می‌تواند مبین پایین افتادن سطح اساس رودخانه در اثر بالا آمدن رشته کوه البرز و پایین رفتن حوضه‌ی ایران مرکزی باشد (شکل ۱۴.e). از دیگر اشکال ژئومورفولوژیکی مشاهده شده می‌توان به گالی‌های در حال توسعه و نیز بدلندهای گسترده در بخش جنوب غربی منطقه در مسیر رودخانه‌ی سوداغلان در بخش جنوب غربی منطقه اشاره کرد که فعالیّت گسل گرمسار نقش عمده‌ای در ایجاد و گسترش آنها دارد (شکل ۱۴.f). در مجموع می‌توان گفت شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژیکی وجود حرکات نئوتکتونیک را در مخروط‌افکنه‌ی گرمسار اثبات می‌نماید.



شکل ۱۴: a) ارتفاع یافتن پادگانه‌های آبرفتی (Qt) در شرق روستای بنه کوه روی سازند سرخ بالایی؛ شکل b.۱۴) فعالیّت گسل گرمسار سبب ارتفاع یافتن مخروط‌افکنه آبرفتی گرمسار و توالی مخروط‌افکنه‌ها شده است؛ شکل c.۱۴) حفر عمودی بستر رودخانه فصلی کردوان که بیانگر تغییر سطح اساس سطوح جنوبی، بر اثر بالا آمدن گسل گرمسار است؛ شکل d.۱۴) تغییر سطح اساس رودخانه حبله‌رود در مسیر شمال به جنوب، به محض رسیدن به گسل سرخه کلوت و ایجاد قوس‌های مآندری شدید؛ شکل e.۱۴) وجود تراس‌های قدیمی و آبراهه‌های عمیق شده در مخروط‌افکنه‌ی گرمسار، مبین پایین افتادن سطح اساس رودخانه در اثر فعالیّت‌های تکتونیکی شکل f.۱۴) گالی‌های در حال توسعه و بدلندهای گسترده در بخش جنوب غربی منطقه در مسیر رودخانه سوداغلان که فعالیّت گسل گرمسار نقش عمده‌ای در ایجاد و گسترش آنها دارد.

منابع

- احمدی، حسن (۱۳۶۷). ژئومورفولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران.
- جابری، مریم؛ سیاوش شایان؛ مجتبی یمانی؛ محمدرضا قاسمی؛ محمد شریفی‌کیا (۱۳۹۱). نقش نوزمین‌ساخت در تحولات ژئومورفولوژیک مرز ساختاری البرز جنوبی- ایران مرکزی، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۴.
- خیام، مقصود؛ داود مختاری کشکی (۱۳۸۲). اَرزیابی عملکرد فعالیّت‌های تکتونیکی بر اساس مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها (مخروط‌افکنه‌های دامنه شمالی میشوداغ)، مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره‌ی ۴۴.
- رامشت، محمدحسین؛ عبدالله سیف؛ سمیه سادات شاه‌زیدی؛ مژگان انتظاری (۱۳۸۸). تأثیر تکتونیک جنبا بر مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ی درختنگان در منطقه‌ی شهدادکرمان،مجله جغرافیا و توسعه.شماره۱۶.
- روستایی، شهرام؛ محمدجعفر زمردیان؛ معصومه رجبی؛ غلامرضامقامی‌مقیم(۱۳۸۸). نقش فعالیّت‌های‌تکتونیکی در شکل‌گیری و گسترش مخروط‌افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلاداغ، مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۱۳.
- رضایی‌مقدم، محمدحسین؛ غلامحسین مقامی‌مقیم؛ معصومه رجبی (۱۳۸۴). عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش مخروط‌افکنه رودخانه روئین در دامنه‌ی جنوبی آلاداغ در شمال شرق ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۷۹.
- سلیمانی، شهریار (۱۳۷۸). رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعّال و جوان (با نگرشی بر مقدمات دیرینه‌شناسی)، نتشارات مؤسسه‌ی بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- سیف، عبدالله؛ قاسم خسروی (۱۳۸۹). بررسی تکنونیک فعّال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارسان، مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۷۴.
- عباس‌نژاد، احمد (۱۳۷۵). پژوهش‌های ژئومورفولوژی در دشت رفسنجان، پایان‌نامه دکتری. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز.
- گورابی، ابوالقاسم؛ احمد نوحه‌گر (۱۳۸۶). شواهد مورفولوژیکی تکتونیک فعّال حوضه آبخیز درکه، مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۰.
- مددی، عقیل؛ محمدحسین رضایی‌مقدم؛ عبدالحمید رجایی (۱۳۸۳). تحلیل فعالیّت‌های نئوتکتونیک با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال غربی تالش (باغروداغ)، مجله پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۴۸.
- مهندسین مشاور نتپا (۱۳۸۷). نواندیشان توسعه پایدار آسیا، مطالعات مهندسی رودخانه شهرستان گرمسار. جلد سوم. مطالعات تخصصی ریخت‌شناسی و بررسی شرایط زیست‌محیطی.
- مقصودی، مهران؛ سجاد باقری (۱۳۸۸). بررسی نقش تکتونیک در شکل‌گیری و تحول مخروط‌افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط‌افکنه‌های تاقدیس قلاجه)، مجله‌ی جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. شماره ۱۲.
- مقصودی، مهران؛ حمید کامرانی‌دلیر (۱۳۸۷). اَرزیابی نقش تکتونیک فعّال در تنظیم کانال رودخانه‌ها مطالعه موردی رودخانه تجن، مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. شماره ۶۶.
- Bunte k, Abt S.R (2001). Sampling surface and subsurface particle- size Distributions in Wadable gravel- and cobble- Bed streams for Analyses in sediment transport, Hydraulics, and stream bed monitoring, National System Technology Center, PP:428.
- Bull, W, B. McFadden, L (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, Californmia. In geomorphology, Stane University of New York, Binghamton.
- Duglas W.burbank, Robert S. Anderson (2001). Tectonic Geomorphology.Blackwell Science, Ltd.

- Garcia-tortosa, F.J., Alfaro, P., Galindo-Zaldivar, J., Gibert, Lopez-Garrido A.C., Sanz de Galdeano, C., Urena, M (2008). Geomorpholgy Evdemce of the Active Baza Fault(Betic Cordillera, South Spain), Geomorphology, Vol 97, PP: 374-391.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C (2008). The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait(NE), Geomorphology, Vol 95, PP: 260-273.
- Hamdouni, R.E., Irigaray, c., Fernadez, T., Chacon, J., Keller E.A (2008). Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada (Southern Spain), Geomorpholgy, Vol, 96. PP:150-173.
- Yang J.C (1985). Geomorphology (in Chinese). High Education press. Beijing. PP: 320.
- Keller E.A and Pinter, N (1996). Active Tectonics Earthquakes, Uplift and Landscape, new jersey: prentice hall, pub.
- Keller, E. A. and Pinter, N (2002)., Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape (second edition): Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, PP: 362.
- Menges, C. M (1987). Temporal and spatial segmentation of the Pliocene-Quaternary fault rupture along the western Sangre de Cristo mountain front, northern New Mexico: U.S. Geological Survery Open-File Report 87-673, PP: 203-222.
- Mukerji, A.B (1976). Teminal fans of inlands streams in Sutlej –Yamuna Plain, India, zeitschrift fur Geomorphology, 20, PP: 190-204.
- Ramirz Herra, M. T (1998). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graben, Mexican volcanic Belt. Earth surface processes and landforms.
- Singh Vimal and S.K. tendon (2007). Evidence and consequences of tilting of two alluvial fans in the pinjaur dan, North western Himalayan foothills, Quaternary in ternational, Vol. 159, PP:21-31.
- Silva, P.G, J.L., Zazo, C., Bardji, T (2003). Fault Generated Mountain Fronts in Southest Spain: Geomorphology Assessment of Tectonic and Seismic Activity, Geomorphology, Vol, 50. PP: 203-225.
- Stanley A. Schumm, Jean F. document & John M. Holbrook (2000). Active Tectonics and Alluvial Rivers. Cambridge university press.
- Visteras, Ceasar, Mariel Calvache, Juses M. Soria, Juan Fernandez (2003). Differential Features of alluvial fans controlled by tectonic of ecstiatic accommodation space. Examples from the Betic Cordillera, Spain Geomorphology, Vol. 50, PP: 181-202.