

جغرافیا و توسعه شماره ۲۵ زمستان ۱۳۹۰

وصول مقاله : ۱۳۸۹/۹/۲۵

تأیید نهایی : ۱۳۹۰/۳/۲۹

صفحات : ۱۳۶-۱۱۱

بررسی تکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز کفرآور* با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی

دکتر مهران مقصودی^۱، مریم جعفری اقدم^۲، سجاد باقری سیدشگری^۳، مسعود مینایی^۴

چکیده

حوضه‌ی آبخیز کفرآور در زاگرس شمال غربی در جنوب استان کرمانشاه واقع شده است. شواهد ژئومورفولوژیکی حوضه‌ی مورد بحث حاکی از ادامه فعالیت‌های نئوتکتونیک در دوران پلیو-کواترنر می‌باشد. هدف از این پژوهش ارزیابی تکتونیک فعال منطقه و مقایسه نتایج به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی (پرتگاه‌های گسلی جوان، سطوح مثلثی شکل، عدم وجود کوهپایه، مخروط‌افکنه‌های بریده شده و جابه‌جا شده و عدم تقارن رودخانه کفرآور، پادگان‌های ارتفاع یافته، جوان‌شدگی رودخانه) می‌باشد. در این پژوهش از بازبندی‌های متعدد میدانی لندفرم‌ها، شاخص‌های ژئومورفیک (Facet, Smf, Vf, Fd Af, T), SL, Bs، شاخص طبقه‌بندی IAT، نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی منطقه، تصاویر سنجنده IRS در جهت تجزیه و تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک منطقه استفاده گردیده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد مقادیر به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک و بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی حاکی از فعال بودن نئوتکتونیک در حوضه می‌باشد و حوضه بر اساس طبقه‌بندی شاخص IAT در کلاس یک قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده‌ی فعالیت‌های نئوتکتونیک شدیدی در حوضه می‌باشد. مقادیر کمی به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک توسط شواهد ژئومورفولوژیکی منطقه تأیید می‌گردد.

کلیدواژه‌ها : نئوتکتونیک، شاخص‌های ژئومورفیک، GIS، شواهد ژئومورفولوژیکی، زاگرس شمال غربی، حوضه کفرآور.

* Kefravar
maghsoud@ut.ac.ir
m.jafari.geo@gmail.com
s.bagheri.geo@gmail.com
minaiy.gis@gmail.com

۱- دانشیار جغرافیا دانشگاه تهران (نویسنده مسؤل)
۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان
۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تهران
۴- کارشناس ارشد GIS دانشگاه تهران

مقدمه

لندفرم در نواحی دارای فعالیت‌های تکتونیکی، حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تأثیرات حرکات عمودی و افقی مربوط به بلوک‌های پوسته‌ای و فرسایش یا رسوبگذاری توسط فرایندهای سطحی است (Ioannis^۱ و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۱۱). شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی فعالیت‌های تکتونیکی ابزار مفید و قابل اطمینانی هستند، زیرا با استفاده از آنها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا کند تکتونیکی را تجربه کرده‌اند به راحتی شناسایی نمود (Ramiez و Heera^۲، ۱۹۹۸: ۳۱۷). شاخص‌های ژئومورفیک به طور خاص برای مطالعات تکتونیک فعال مورد استفاده قرار می‌گیرند (Douglas^۳ و همکاران، ۲۰۰۱: ۳). استفاده‌ی همزمان از شاخص‌های ژئومورفیک به ما امکان می‌دهند که تحلیل درستی از وضعیت نئوتکتونیک منطقه داشته باشیم (Hamdouni و همکاران^۴، ۲۰۰۸: ۱۵۳). بسیاری از لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی در مقابل حرکات تکتونیکی فعال بسیار حساس می‌باشند و همزمان با آن تغییر می‌کنند (مددی و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۲۴). شاخص‌های ژئومورفیک تحول شبکه‌ی زهکشی و تغییرات جبهه کوهستان بر اثر فعالیت‌های نئوتکتونیکی را نمایان می‌سازند (Hamdouni و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۵۳).

با مطالعه و بررسی لندفرم‌های توپوگرافی و الگوی سیستم شبکه‌های زهکشی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و با در نظر گرفتن ساختمان زمین‌شناسی و لیتولوژی هر منطقه، می‌توان عملکرد تکتونیک فعال را در هر منطقه مورد ارزیابی قرار داد و وجود یا عدم وجود حرکات تکتونیکی فعال را مشخص نمود. شواهد ژئومورفولوژیکی همچون آبراهه‌های جابه‌جا شده، پرتگاه‌های گسلی جوان، مخروط‌افکنه تقطیع شده، آبراهه‌های جوان شکل گرفته در رسوبات کواترنری، سطوح مثلثی شکل، دره‌های V شکل عمیق، پادگانه‌های ارتفاع یافته و عدم شکل‌گیری کوهپایه حاکی از ادامه‌ی فعالیت‌های نئوتکتونیکی در منطقه می‌باشد. با توجه به واقع شدن منطقه‌ی مورد مطالعه در زون زاگرس به عنوان لرزه‌خیزترین منطقه ایران (میرزائی، ۱۹۹۷: ۴۰)، نتایج حاصل از بررسی نئوتکتونیک منطقه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی با توجه به وجود گسل‌های راندگی در شمال و جنوب حوضه به منظور استفاده در ارزیابی خطر زمین‌لرزه منطقه، اهمیت ویژه‌ای دارد و در بررسی نئوتکتونیک منطقه لازم و ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش بررسی فعال بودن

1-Ioannis et al, 2006

2-Ramiez- Heera, 1998

3-Douglas et al, 2001

4-Hamdouni et al, 2008-4

نئوتکتونیک منطقه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و پاسخ به این سؤال است که آیا نئوتکتونیک منطقه فعال می‌باشد و نتایج حاصل از شاخص‌های ژئومورفیک توسط شواهد ژئومورفولوژیکی منطقه تأیید می‌گردند؟

شاخص‌های ژئومورفیک در نقاط مختلف دنیا و ایران برای بررسی تکتونیک فعال مورد استفاده قرار گرفته‌اند که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: بول^۱ (۱۹۸۴)، در مطالعه‌ی تراست‌های رودخانه‌ای به این نتیجه رسید که پادگانه‌های رودخانه‌ای و نیمرخ طولی رودخانه‌ها تحت تأثیر حرکات تکتونیکی متحول شده‌اند. کلر^۲ و همکاران (۱۹۹۶) برای اولین بار از علم مورفوتکتونیک به عنوان تکتونیک ژئومورفولوژی یاد می‌کنند و شاخص‌های کمی ژئومورفیک را برای بررسی حرکات نئوتکتونیک گسترش می‌دهند. لی و همکاران (۱۹۹۹)^۳ به بررسی تأثیر تکتونیک بر لندفرم‌های رودخانه‌ای در شمال غرب چین پرداختند و دریافتند که حرکات زمین ساخت می‌تواند با تغییر سطح اساس رودخانه‌ها موجب تغییر شکل عوارض رودخانه‌ای گردد.

مالیک^۴ و همکاران (۲۰۰۶) به مطالعه‌ی تأثیر تکتونیک در تکامل شبکه‌ی زهکشی و چشم‌اندازها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در هیمالیای هند پرداختند. آنها دریافتند که جنبه‌های اصلی تکتونیک و تراست‌هایی موجود در منطقه نقش مهمی در شکل‌دهی لندفرم‌ها دارند. همدونی و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شاخص IAT به طبقه‌بندی تکتونیک فعال جنوب اسپانیا پرداخته و مناطق فعال را مشخص نمودند. مددی و همکاران (۱۳۸۳)، برای آگاهی از میزان فعالیت‌های نیروهای درونی و تکتونیکی در دامنه‌ی شمال غربی تالش از شاخص‌های ژئومورفیک نظیر سینوزیته جبهه کوهستان، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع، شاخص گرادیان رودخانه و... استفاده کرده‌اند. نتایج حاکی از آن است که در شمال غربی ارتفاعات تالش از نظر تکتونیکی هنوز هم فعالیت وجود دارد، اما در بخش جنوب شرقی منطقه این نیروها دارای شدت بیشتری می‌باشند.

در مطالعه‌ای که رادفر و همکاران (۱۳۸۴)، در مورد مورفوتکتونیک گسل کوهبنان در ایران مرکزی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک انجام دادند، جابه‌جایی عرضی، ارتفاعی، کج‌شدگی رودخانه‌ها، آبراهه‌ها و پادگانه‌های رودخانه‌ای را از لندفرم‌های ثانویه فعالیت

1-Bull, 1984

2-Keller et al, 1996

3-Li et al, 1999

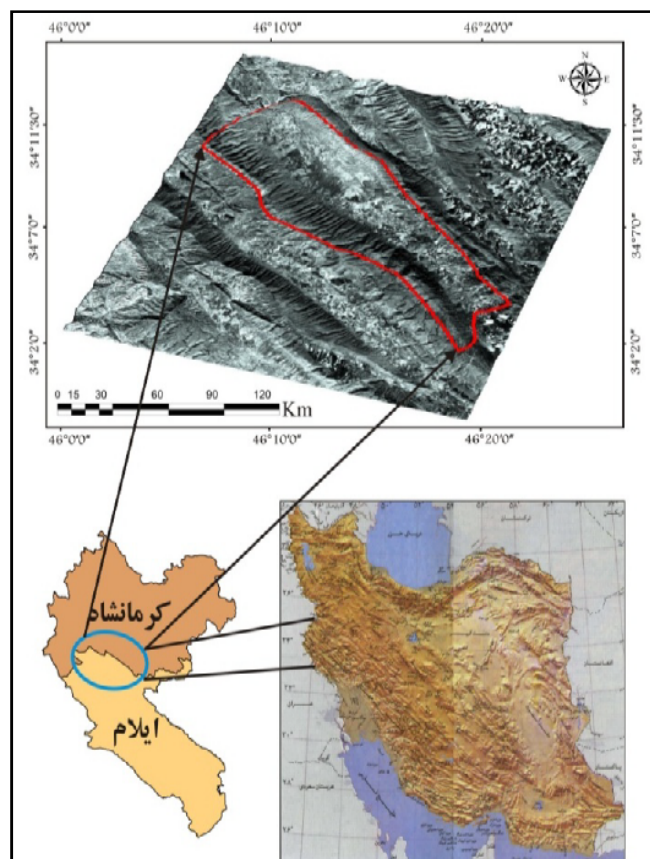
4-Malik et al, 2006

گسل کوهبنان دانسته‌اند. پورکرمانی و همکاران (۱۳۸۲)، در تحقیقی جابه‌جایی و قطع-شدگی آبراهه‌ها را از پدیده‌هایی ژئومورفولوژیکی گسل تبریز دانسته‌اند. مختاری (۱۳۸۵)، با استفاده از داده‌های حاصل از تحلیل‌های توپوگرافی، بررسی سامانه‌های رودخانه‌ای منطقه و شواهد زمین‌ریخت‌شناختی حاصل از مشاهدات میدانی، نشان می‌دهد که دست کم در اواخر پلیستوسن و هولوسن، حرکات اریب لغز با مؤلفه افقی راستگرد گسل بیشتر از حرکات بالآمدگی و فعالیت گسل در میشو باختری بیشتر از میشو خاوری بوده است. در حال حاضر، دامنه‌ی شمالی میشوداغ در حال تطبیق تدریجی خود با شرایط زمین‌ساختی فعالی است که چشم‌انداز کلی آن را تحت تأثیر قرار داده است.

گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶)، در تحقیقی به بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداخته و دریافتند که مقادیر کمی این شاخص‌ها حاکی از تکتونیک فعال منطقه می‌باشد. زرگزاده و همکاران (۱۳۸۶)، در بررسی رشته‌کوه‌های زاگرس با استفاده از شاخص‌هایی چون SL, Vf, Smf ، نقشه‌ی پهنه‌بندی تکتونیک فعال در ۵ رده تفکیک گردید. نقشه‌ی پهنه‌بندی تهیه شده افزایش میزان فعالیت تکتونیک را از جنوب غرب به سمت شمال شرق نشان می‌دهد. یمانی و همکاران (۱۳۸۹)، به بررسی نقش نوزمین ساخت در تحول شبکه‌ی زهکشی حوضه‌ی آبخیز رودخانه چله با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی پرداختند. نتایج به دست آمده از این شاخص‌ها حاکی از فعال بودن نوزمین ساخت منطقه و تأثیر این فعالیت بر الگوی شبکه‌ی زهکشی و مورفولوژی بستر رودخانه چله می‌باشد. به‌طور کلی همگرایی شمالی- جنوبی صفحه عربی- اوراسیا منطبق بر شمال غرب زاگرس می‌باشد که به‌وسیله‌ی ترکیبی از کوتاه‌شدگی شمال شرق- جنوب غرب در زاگرس چین‌خورده و حرکات امتداد لغز راست بر گسل‌های معکوس (راندگی‌ها) می‌باشد. میزان کوتاه‌شدگی در سرتاسر زون زاگرس چین‌خورده ۱۰ میلیمتر در سال می‌باشد (بلازک^۱، ۲۰۰۳: ۴۰۱) و میزان کوتاه‌شدگی در زاگرس شمال غربی ۳ تا ۵ میلیمتر در سال است (ورنر^۲، ۲۰۰۴: ۱۱۲) به نقل از (حسامی و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۴۳).

موقعیت جغرافیای منطقه

حوضه‌ی آبخیز رودخانه کفرآور با روند شمال غربی، جنوب شرقی در زون زاگرس شمال غربی و در جنوب غرب استان کرمانشاه منطبق بر محدوده‌ی سیاسی دهستان کفرآور (بخش مرکزی شهرستان گیلانغرب) واقع شده است (شکل ۱). این حوضه با وسعتی برابر با ۲۷۸ کیلومتر مربع بین عرض‌های جغرافیایی $33^{\circ}57'$ تا $34^{\circ}10'$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $45^{\circ}59'$ تا $46^{\circ}17'$ شرقی واقع شده و حداکثر ارتفاع حوضه، قله کچل با ارتفاع ۲۳۵۵ متر و حداقل ارتفاع حوضه در خروجی حوضه با ارتفاع ۹۵۵ متر می‌باشد. رودخانه‌ی کفرآور زهکش اصلی حوضه می‌باشد. این حوضه بر اساس تقسیم‌بندی وزارت نیرو جزء حوضه‌ی آبخیز رود الوند می‌باشد و به خلیج فارس می‌ریزد.



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه مورد مطالعه

مأخذ: نویسندگان

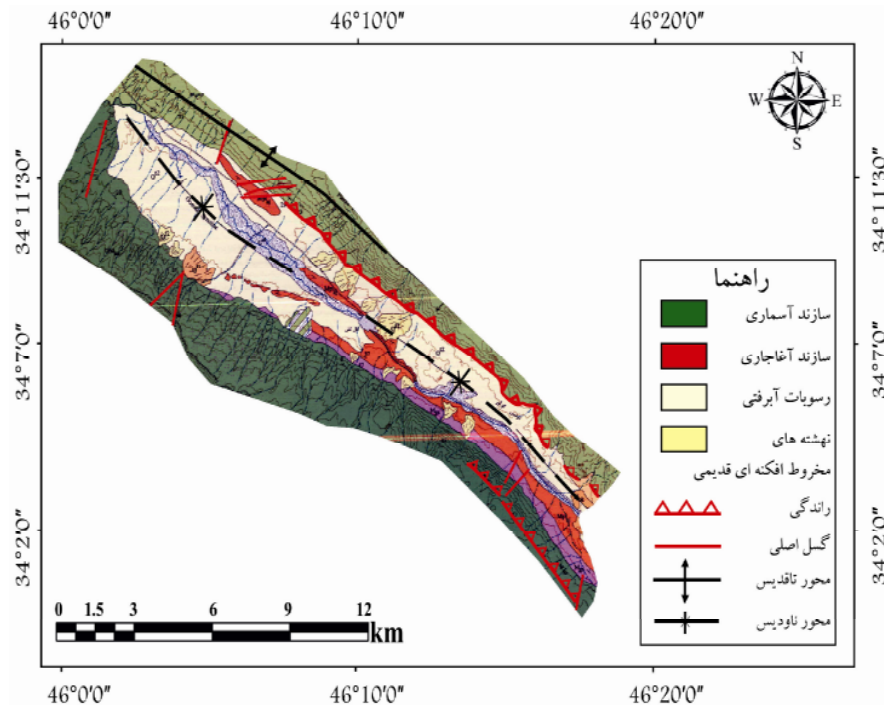
تحلیل ساختاری و زمین‌شناسی منطقه

منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر ساختمانی ساده و در زون چین‌های برگشته زاگرس چین‌خورده واقع شده است. چین‌خوردگی در زاگرس از میوسن شروع شده و در توپوگرافی منعکس شده است که به صورت کوه‌های تاقدیسی و دره‌های ناودیسی درآمده‌اند (کولمن‌سد، ۱۹۷۸: ۹۸۴). عامل اصلی شرایط تکتونیک فعال در زاگرس شمال‌غربی ارتباط تراس‌های پنهان و چین‌ها می‌باشد (باچمانوف^۱، ۲۰۰۳: ۲۲۴). تاقدیس‌های حوضه در رده‌ی تاقدیس‌های کشیده قرار می‌گیرند و دارای راندگی در یال جنوبی خود می‌باشند.

از نظر زمین‌شناسی ساختمانی تاقدیس‌های حوضه در قسمت شمال‌غربی خود دارای پلانچ به سمت شمال‌غربی برگشته و نامتقارن می‌باشد. ناودیس کفرآور دارای برگشتی می‌باشد. تاقدیس‌های حوضه بر اثر مکانیسم چین‌خوردگی حاصل از گسلش^۲ در امتداد راندگی‌ها شکل گرفته است. و از نوع چین‌خوردگی همزمان با گسلش است (باقری، ۱۳۸۷: ۲).

گسل‌های اصلی منطقه از نوع سیستم برشی بوده و امتداد آنها شمال‌غرب- جنوب شرقی و شیب آنها با زاویه بالا و به سمت شمال شرقی است (قصی/ویلی، ۱۳۷۶: ۷۱). جهت فشارش صفحه‌ی عربستان در حوضه‌ی کفرآور N30-40E می‌باشد. حوضه‌ی مورد بحث از نظر ساختمان سنگ‌شناسی از واحدهای گورپی، پابده، آسماری، گچساران، آغا‌جاری، بختیاری و نهشته‌های کواترنری تشکیل شده است (شکل ۲).

1-Bachmanov et al, 2003
2-Fault related fold



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی حوضه‌ی کفرآور
مأخذ: نویسندگان

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه و بررسی تکتونیک فعال منطقه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، موقعیت حوضه‌ی آبریز مورد نظر مشخص گردید. در این پژوهش از مقادیر کمی به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک (SL, Facet, Smf, Vf, Fd Af, T) و بررسی‌های میدانی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی متأثر از تکتونیک جدید استفاده شده است. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ سال ۱۳۳۵، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر سنجنده IRS منطقه به عنوان ابزار اصلی تحقیق در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند.

از نرم‌افزارهای ENVI 4.3 و Coreldraw x4 به منظور مشاهده و تفسیر بصری پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و تهیه‌ی تصاویر مورد نظر و ترسیم گرافیکی پدیده‌های تکتونیک و ژئومورفولوژیکی منطقه بر روی تصاویر ماهواره‌ای منطقه، استفاده گردید. پس از انتقال لایه‌های اطلاعاتی حاصل از رقومی سازی نقشه‌های توپوگرافی منطقه، به سیستم اطلاعات جغرافیای (GIS) ویژگی‌های مورفومتری لندفرم‌های توپوگرافی، جبهه کوهستان و شبکه زهکشی منطقه

به طور دقیق محاسبه شد و نقشه‌ها و نیمرخ‌های لازم ترسیم گردید. سپس با استفاده از شاخص IAT و داده‌های کمی به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک میزان فعالیت تکتونیکی منطقه تعیین گردید و در آخر نتایج حاصل از داده‌های ژئومورفیک با شواهد ژئومورفولوژیکی مقایسه گردید.

بحث

شاخص گرادیان طول رودخانه (Stream Length-Gradient Index) SL

این شاخص‌های از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید :

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

در این رابطه :

SL : شاخص گرادیان رودخانه

ΔH : اختلاف ارتفاع در یک مقطع مشخص

ΔL : فاصله افقی در آن مقطع مشخص

L : طول رودخانه از نقطه مرکزی مقطع اندازه‌گیری شده تا سرچشمه رودخانه

شاخص گرادیان هر رود یک عنصر مورفولوژیکی است و برای مقایسه مکانی مستقل عناصر مورفولوژیکی حساسترین آنها به بالآمدگی محسوب می‌شود (مریتس و وینسنت^۱: ۱۹۸۹) به نقل از (عبادیان، ۱۳۷۹: ۳۳).

شاخص SL به تغییرات شیب رودخانه بسیار حساس می‌باشد، این حساسیت برآورد میزان روابط موجود بین فعالیت‌های تکتونیکی، مقاومت سنگ و توپوگرافی را امکان‌پذیر می‌سازد. این شاخص در مناطقی که بستر رودخانه در سنگ‌های سخت قرار دارد، افزایش می‌یابد. میزان SL در مناطق فعال تکتونیکی زیاد می‌باشد (کلر و پنتیر^۲، ۱۹۹۶: ۱۳۰). همچنین شاخص SL به ساختمان سنگ‌شناسی بسیار حساس می‌باشد و در تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از مقادیر SL باید تأثیر ساختمان سنگ‌شناسی را به حداقل رساند. در مطالعه‌ای که چن^۳ و همکاران (۲۰۰۳) در تایوان انجام دادند دریافتند که هر چه قدر طول رودخانه بیشتر باشد، رودخانه‌ی مورد نظر کمتر تحت تأثیر ساختمان سنگ‌شناسی بستر خود می‌باشد و برعکس.

1-Merritts and Vincent, 1989

2-Keller & Pinter, 1996

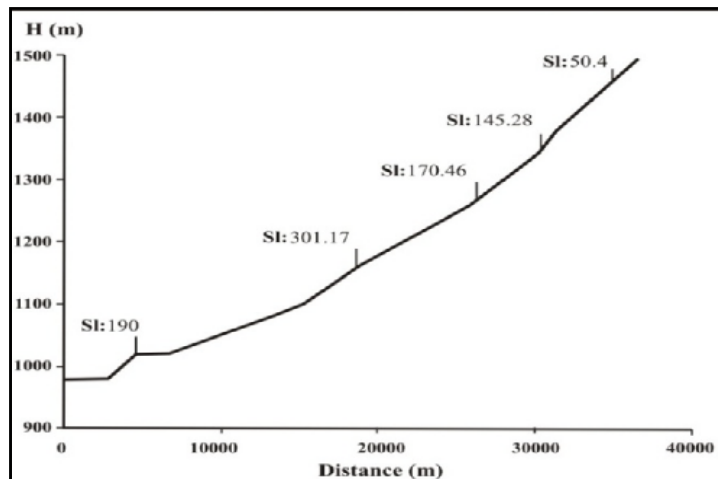
3-Chen et al, 2003

برای محاسبه‌ی شاخص SL در حوضه‌ی کفرآور ابتدا نیمرخ طولی رودخانه ترسیم شد (شکل ۳) و در فواصل معین ۱۰۰ متری میزان شاخص SL برای تمام مسیر رودخانه از خروجی تا سرچشمه به ترتیب ۱۰۰ متر به ۱۰۰ متر انجام گرفت و از تمام SL‌های به دست آمده میانگین گرفته شد. SL کل رودخانه‌ی کفرآور ۱۷۱.۴ به دست آمد (جدول ۱). رودخانه‌ی کفرآور دارای تغییرات شدید در نیمرخ طولی خود می‌باشد که حاکی از فعالیت‌های نئوتکتونیک می‌باشد. شواهد ژئومورفولوژیکی همچون تغییرات شدید در نیمرخ طولی رودخانه، دیواره‌ی قائم مسلط بر رودخانه، جوان‌شدگی رودخانه و ایجاد پادگانه جدید در دشت سیلابی مقادیر بالای SL منطقه را تأیید می‌کنند (شکل ۴).

جدول ۱: مقادیر شاخص (SL) در حوضه‌ی کفرآور

ارتفاع (m)	نقطه میانی	$\Delta h(m)$	$\Delta L(m)$	L(m)	SL
۹۸۰-۱۰۸۰	۱۰۳۰	۱۰۰	۱۴۸۶۲	۲۸۲۴۰	۱۹۰
۱۰۸۰-۱۱۸۰	۱۱۳۰	۱۰۰	۶۲۲۴	۱۸۷۴۵	۳۰۱.۱۷
۱۱۸۰-۱۲۸۰	۱۲۳۰	۱۰۰	۷۰۶۷	۱۲۰۴۷	۱۷۰.۴۶
۱۲۸۰-۱۳۸۰	۱۳۳۰	۱۰۰	۴۳۴۴	۶۳۱۱	۱۴۵.۲۸
۱۳۸۰-۱۴۸۰	۱۴۳۰	۱۰۰	۴۰۰۰	۲۰۱۶	۵۰.۴

مأخذ: نویسندگان



شکل ۳: نیمرخ طولی رودخانه کفرآور

مأخذ: نویسندگان



شکل ۴: نمایی از دشت سیلابی و پادگانه‌های مسلط بر رودخانه‌ی کفرآور (دید رو به شمال)
عکس: نگارندگان

شاخص سینوسی جبهه کوهستان Smf (Mountain- Front Sinuosity)

این شاخص از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید :

$$Smf = Lmf/Ls$$

که در این شاخص :

Smf: شاخص سینوسی جبهه کوهستان

Lmf: طول جبهه کوهستان در امتداد پایکوه (خط کنیک)

Ls: طول خط مستقیم جبهه کوهستان.

شکل (۵) نحوه ارزیابی شاخص Smf حوضه را نشان می‌دهد.

این شاخص بیانگر توازن بین نیروهای فرساینده که تمایل به بریدن جبهه‌ی کوهستان و ایجاد فرورفتگی‌های خلیجی شکل دارند و نیروهای تکتونیکی که گرایش به ایجاد جبهه‌های خطی به صورت جبهه‌های کوهستانی مستقیم و منظم و احتمالاً همراه با گسل خوردگی دارند. ولس و همکاران^۱ (۱۹۸۸) ویژگی‌های لازم برای محاسبه‌ی شاخص سینوسی جبهه کوهستان را به ترتیب ذکر کرده‌اند:

الف- بریده شدن توسط یک آبراهه که در مقایسه با پیشانی کوه بزرگ باشد؛

ب- انحراف ناگهانی در پیشانی کوه

1-Wells et al 1988

ج- تغییرات ناگهانی در سنگ‌شناسی؛

د- تغییرات ناگهانی ویژگی‌های ژئومورفولوژی اصلی نسبت به بخش دیگر پیشانی کوه متصل به آن.

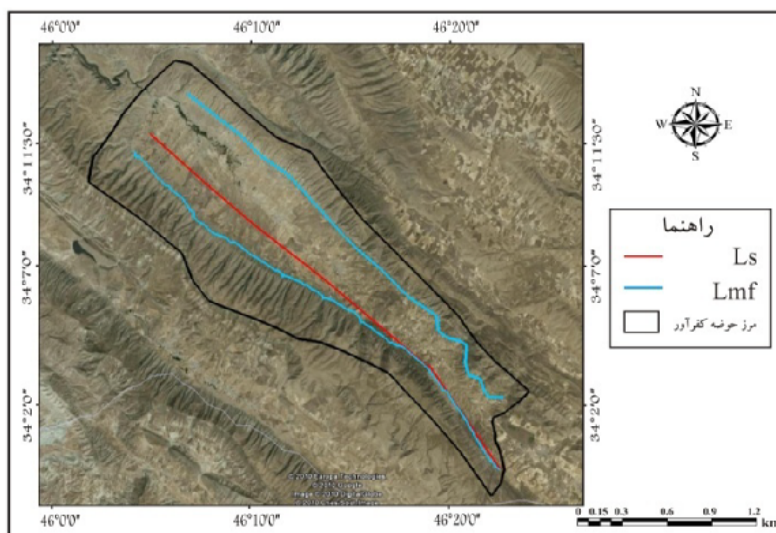
جبهه‌های کوهستانی همراه با بالآمدگی و تکتونیک فعال دارای جبهه‌های نسبت خطی و با مقادیر کم Smf همراه هستند. با کاهش یا متوقف شدن میزان بالآمدگی فعال، فرایندهای فرساینده جبهه کوهستان را از حالت خطی خارج می‌کنند و Smf در این حالت مقادیر بالایی را نشان می‌دهد. شاخص Smf حوضه‌ی کفرآور کمتر از ۱.۰۴ می‌باشد (جدول ۲) که حاکی از فعالیت‌های نئوتکتونیک‌ی شدید در این حوضه می‌باشد.

جدول ۲: مقادیر شاخص (Smf) در حوضه کفرآور

نام حوضه	Lmf	Ls	Smf	میانگین
کوهستان شمالی شمالی	۳۳۲۱۵M	۳۲۲۷۶m	۱.۰۲	۱.۰۴
کوهستان جنوبی	۳۴۵۴۷m	۳۲۲۷۶m	۱.۰۷	

مأخذ: نویسندگان

شواهد ژئومورفولوژیکی همچون عدم تشکیل کوهپایه (شکل ۶ و ۷) مقادیر بالای شاخص Smf حوضه‌ی کفرآور را تأیید می‌کنند.

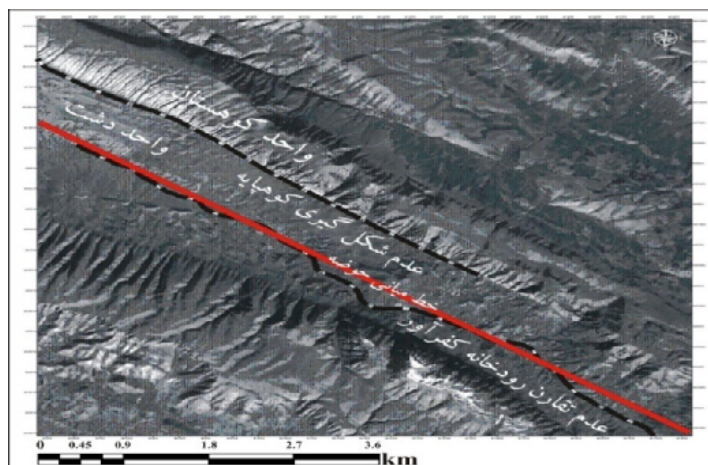


شکل ۵: ارزیابی شاخص Smf در حوضه‌ی مورد مطالعه

مأخذ: نویسندگان



شکل ۶: تصویر ماهواره‌ای IRS نشان‌دهنده عدم شکل‌گیری کوهپایه و همچنین عدم تقارن رودخانه کفرآور
مأخذ: نویسندگان



شکل ۷: نمایی از عدم شکل‌گیری کوهپایه در تاقدیس جنوبی حوضه (دید رو به جنوب)
مأخذ: نویسندگان

شاخص درصد سطوح چندوجهی جبهه کوهستان F_{mf}

این شاخص از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$F_{mf} = L_f / L_s \times 100$$

که در این شاخص:

F_{mf} : درصد سطوح چندوجهی در امتداد جبهه کوهستان

L_f : مجموع طول اشکال چندوجهی

L_s : طول جبهه کوهستان به خط مستقیم می‌باشد.

شکل (۸) ارزیابی شاخص Fmf حوضه را نشان می‌دهد.

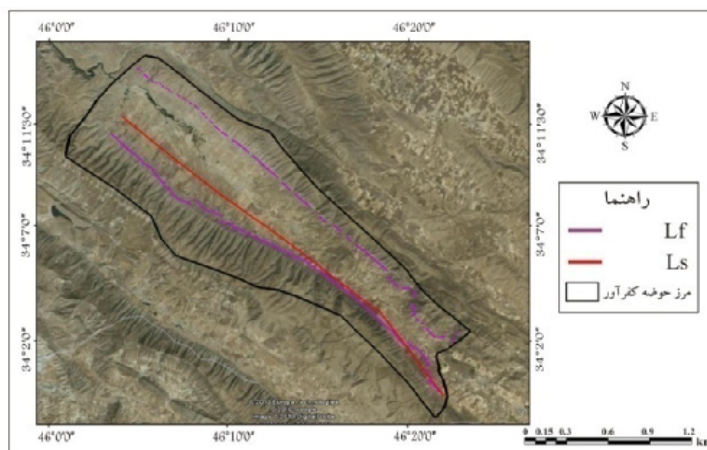
این شاخص به صورت نسبتی از یک جبهه کوهستان که به علت‌های متفاوت مثل گسل خوردگی به صورت اشکال چندوجهی درآمده است، تعریف می‌شود. در مناطق فعال تکتونیکی فعالیت گسل‌ها و تداوم آنها موجب می‌شود تا اشکال چند وجهی بزرگ و پیوسته و به عبارتی دیگر درصد بالایی از سطوح چندوجهی شدن مشاهده گردد (ولس و همکاران: ۱۹۸۸: ۱۷) به نقل از (مختاری، ۱۳۸۵: ۷۸).

مقدار شاخص Lmf برای حوضه کفرآور به میزان ۹۸.۵ محاسبه شده (جدول ۳) که حاکی از فعالیت شدید تکتونیکی در این حوضه می‌باشد. از علت‌های بالا بودن مقدار این شاخص در حوضه‌ی کفرآور می‌توان به وجود پرتگاه گسلی، راندگی یال شمالی تاقدیس قلاجه و راندگی یال جنوبی تاقدیس پیکلا که به صورت دیواره‌های نسبتاً پیوسته‌ای و همچنین لیتولوژی مقاوم آهک آسماری اشاره کرد. شواهد ژئومورفولوژیکی چون سطوح مثلثی (اشکال ۹ و ۱۰) عدم شکل‌گیری کوهپایه (اشکال ۶ و ۷) در حوضه کفرآور مقادیر بالای شاخص Fmf را تأیید می‌کند.

جدول ۳: مقادیر شاخص (Fmf) در حوضه مورد مطالعه

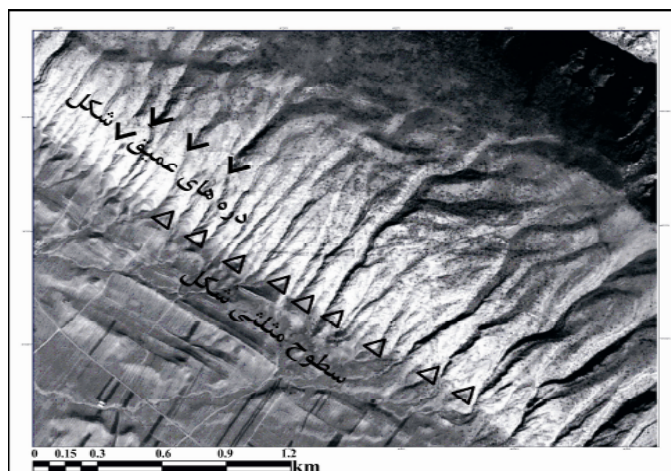
نام حوضه	Lf	Ls	Fmf	میانگین
کوهستان شمالی	۳۲۱۹۳m	۳۲۲۷۶m	۹۹	۹۸/۵
کوهستان جنوبی	۳۱۶۰۳m	۳۲۲۷۶m	۹۸	

مأخذ: نویسندگان



شکل ۸: سطوح چندوجهی حوضه کفرآور را نشان می‌دهد.

مأخذ: نویسندگان



شکل ۹: سطوح مثلثی شکل و دره های عمیق V شکل را در تاقدیس شمالی حوضه نشان می دهد
مأخذ: نویسندگان



شکل ۱۰: نمایی از سطوح مثلثی شکل در یال جنوبی تاقدیس پیکلا در شمال حوضه (دید روبه شمال)
مأخذ: نویسندگان

شاخص درصد قسمت های بریده شده جبهه کوهستان F_d

این شاخص به صورت زیر تعریف می شود :

$$FD = L_{mfd} / L_s$$

در این شاخص:

F_d : درصد قسمت های بریده شده جبهه کوهستان

L_{mfd} : طول بخش های بریده شده جبهه کوهستان

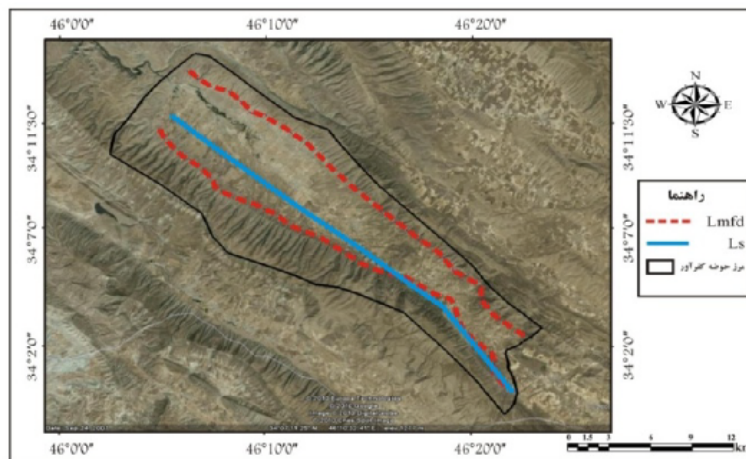
L_s : طول جبهه کوهستان به خط مستقیم می باشد.

شکل (۱۱) نحوه‌ی ارزیابی شاخص Fd حوضه را نشان می‌دهد. جبهه‌های کوهستانی مناطق فعال تکتونیک کم‌تر بریده شده‌اند و به عبارت دیگر مقادیر Fd در آنها کمتر است (ولس و همکاران، ۱۹۸۸) به نقل از (مختاری، ۱۳۸۵: ۷۸). جبهه‌های کوهستانی در مناطق فعال تکتونیک به علت تمایل فعالیت‌های تکتونیک به ایجاد جبهه‌های کوهستانی خطی و مستقیم کم‌تر بریده شده است. هر چقدر شاخص مقدار شاخص Fd به یک نزدیک‌تر باشد جبهه‌ی کوهستانی از لحاظ تکتونیک غیرفعال است و هر چه مقدار این شاخص به صفر نزدیک باشد جبهه‌ی کوهستانی از لحاظ تکتونیک فعال می‌باشد. مقدار کم شاخص $Fd=0.24.5$ در حوضه‌ی کفرآور به دلیل دیواره گسلی یکپارچه در هر دو تاقدیس شمالی، جنوبی حوضه می‌باشد. جدول (۴) مقادیر شاخص Fd حوضه کفرآور را نشان می‌دهد. اشکال (۶) و (۱۲) به ترتیب قسمت‌های بریده شده تاقدیس‌های پیکلا در شمال و قلاجه در جنوب حوضه را نشان می‌دهند. شکل (۱۲) نشان می‌دهد که به علت فعالیت‌های نئوتکتونیک فاصله‌ی بریدگی‌ها که به صورت دره می‌باشند زیاد و عرض آنها کم می‌باشد که حاکی از تکتونیک فعال منطقه می‌باشد.

جدول ۴: مقادیر شاخص Fd حوضه کفرآور

نام حوضه	Lmfd	Ls	Fd	میانگین
چله	۷۹۴۵m	۳۲۲۷۹ m	۰.۲۴	۰.۲۴.۵
کفرآور	۸۱۲۳m	۳۲۲۷۹m	۰.۲۵	

مأخذ: نویسندگان



شکل ۱۱: ارزیابی شاخص Fd حوضه کفرآور

مأخذ: نویسندگان



شکل ۱۲: نمایی از قسمت‌های بریده شده تاقدیس قلاجه در جنوب حوضه (دید رو به شمال)
مأخذ: نویسندگان

شاخص عدم تقارن حوضه آبریز (Af)

شاخص عدم تقارن روشی برای تشخیص وجود کج‌شدگی ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌های زهکشی می‌باشد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۵۶). این شاخص به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$Af = (Ar / At) \times 100$$

در این رابطه:

Ar: عدم تقارن زهکشی می‌باشد

At: مساحت قسمت راست مسیر رود اصلی

Ar: مساحت کل حوضه زهکشی می‌باشد.

شکل (۱۳) نحوه ارزیابی شاخص Af حوضه را نشان می‌دهد.

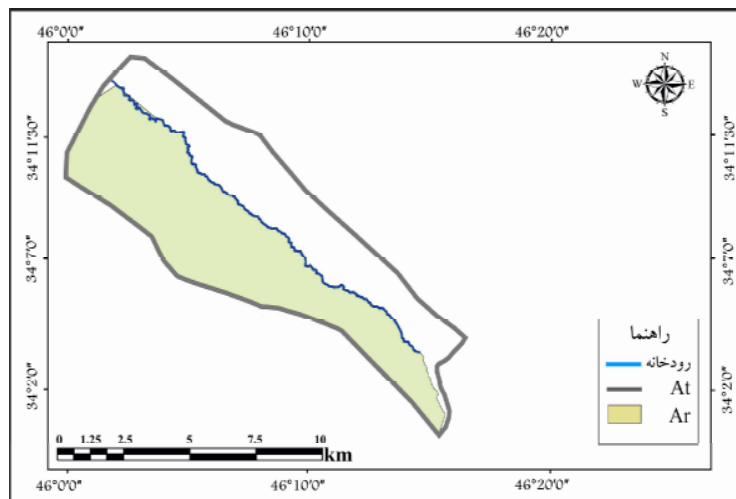
برای رودخانه‌های در حال تعادل که تداوم جریان در حالت ثابتی وجود دارد، Af برابر ۵۰ می‌باشد که بیانگر وجود تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه‌ی اصلی و در نتیجه عدم وجود کج‌شدگی بر اثر بالآمدگی خواهد بود. مقادیر بیش از ۵۰ بیانگر عمل بالآمدگی در ساحل راست و کمتر از ۵۰ بیانگر بالآمدگی در ساحل چپ آبراهه اصلی است. در حوضه‌ی کفرآور شاخص $Af = 43\%$ می‌باشد (جدول ۵) که حاکی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی فعال و فرایش در سمت چپ رودخانه می‌باشد، با توجه به جهت جنوب شرقی - شمال غربی رودخانه در این حوضه فرایش سمت چپ رودخانه ناشی از بالآمدگی تاقدیس قلاجه در اثر کوتاه‌شدگی زاگرس و

جنبش راندگی گیلانغرب در یال جنوبی تقادیس می‌باشد. مقدار بالای این شاخص در حوضه‌ی کفرآور توسط شواهد ژئومورفولوژیکی عدم تقارن رودخانه اصلی (شکل ۶) و وجود سه پادگانه (شکل ۴) در سمت راست بستر رودخانه تأیید می‌گردد.

جدول ۵: مقادیر شاخص (Af) در حوضه کفرآور

نام حوضه	At	Ar	Af
کفرآور	$240.38 \text{ } 167.83 \text{ } Km^2$	$102.20 \text{ } Km^2$	٪۴۳

مأخذ: نویسندگان



شکل ۱۳: ارزیابی شاخص Af در حوضه کفرآور

مأخذ: نویسندگان

شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)

شاخصی است که در ارزیابی نامتقارن بودن حوضه و بررسی حرکات تکتونیک فعال به کار برده می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$T = Da / Dd$$

در این فرمول:

$$T = \text{شاخص تقارن توپوگرافی معکوس}$$

Da = فاصله‌ی خط میانی حوضه‌ی زهکشی تا کمربند فعال مئاندری حوضه (رودخانه اصلی)

Dd = فاصله‌ی خط میانی حوضه تا خط تقسیم آب می‌باشد.

شکل (۱۴) نحوه‌ی ارزیابی شاخص T حوضه را نشان می‌دهد.

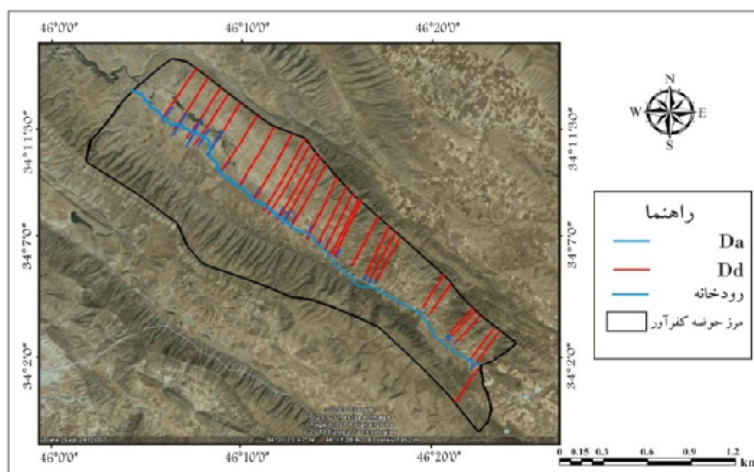
بررسی این شاخص همراه شاخص Af می‌تواند برای شناسایی سریع مناطق کج شده بر اثر عامل فرسایش فعل به کار گرفته شود. در حوضه‌های کاملاً متقارن $T=0$ است و مقدار T بیانگر یک بردار با مقدار عددی بین ۰ تا ۱ می‌باشد. با افزایش عدم تقارن مقدار T افزایش پیدا می‌کند (رندل، ۱۹۹۴: ۵۷۷). در این شاخص مقادیر عددی نزدیک به ۱ بیانگر تکتونیک فعال می‌باشد، در حوضه مورد مطالعه مقادیر Da و Dd در ۳۰ نقطه از مسیر رودخانه‌ها از خروجی تا سرچشمه رودخانه‌ها اندازه‌گیری شده و از مجموع این اندازه‌گیری‌ها میانگین گرفته شده تا عدد به دست آمده نماینده و بیان‌کننده‌ی کل مسیر رودخانه باشد. شاخص T برای حوضه‌ی مورد نظر به شرح زیر است (جدول ۶):

جدول ۶: مقادیر شاخص T در حوضه کفرآور

نام حوضه	Da	Dd	T
کفرآور	۲۶.۸۵۶ km	۱۳۲.۳۸۰ km	۰.۲۰

مأخذ: نویسندگان

میزان شاخص T در حوضه‌ی کفرآور حاکی از فعالیت‌های نئوتکتونیک فعال در این حوضه می‌باشد. شواهد ژئومورفولوژیکی همچون عدم تقارن شبکه زهکشی (شکل ۶) و طول بیشتر آبراهه‌ها در سمت راست رودخانه مقادیر شاخص T را در حوضه‌ی کفرآور تأیید می‌کنند.



شکل ۱۴: ارزیابی شاخص T در حوضه‌ی کفرآور

مأخذ: نویسندگان

شاخص پیچ خم رودخانه اصلی S

$$S = C/V$$

این شاخص به صورت زیر تعریف می‌شود:

که در این فرمول:

S: شاخص پیچ خم رودخانه اصلی

C: طول رودخانه

V: طول دره به خط مستقیم می‌باشد

شکل (۱۵) نحوه‌ی ارزیابی شاخص S حوضه را نشان می‌دهد.

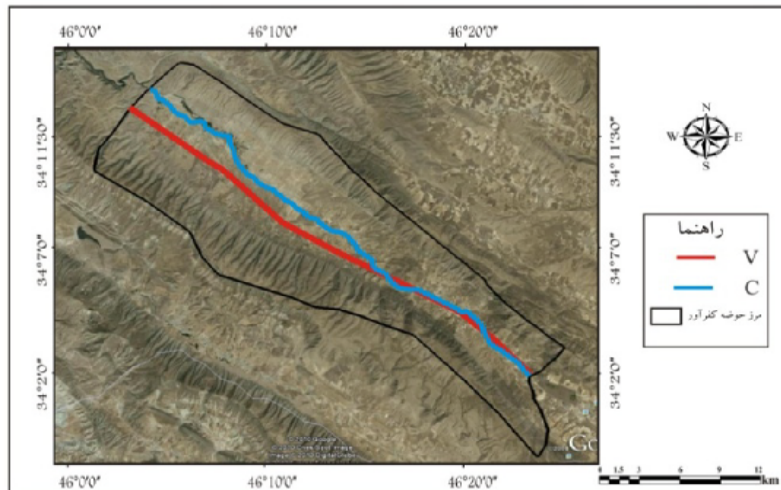
از نظر چارچوب نظری رودخانه‌ای که تقریباً به حالت تعادل رسیده باشد، رودخانه جهت حفظ تعادل بین شیب با دبی و رسوبگذاری پیچ می‌خورد (باربانک و آندرسون^۱، ۲۰۰۰: ۸۳). تغییر شیب بستر رودخانه به علت فعالیت‌های تکتونیکی رابطه‌ی مستقیمی با پیچ خم در مسیر رودخانه دارد. طرح‌های مئاندری در حال حفر بستر می‌توانند یکی از نشانه‌های فرایش فعال باشند رودخانه‌ای با طرح مئاندری و دارای دیواره‌های جانبی مرتفع و در حال حفر بستر مشاهده می‌نماییم (سلیمانی، ۱۳۷۷: ۱۴). هر چه میزان شاخص S بیشتر باشد نشان‌دهنده‌ی فعال بودن تکتونیک در منطقه است.

جدول ۷: مقادیر شاخص S در حوضه‌ی کفرآور

نام حوضه	C	V	S
کفرآور	km۳۶.۵۲۷	km۳۲.۷۱۲	۱.۱

مأخذ: نویسندگان

مقدار شاخص S (جدول ۷) نشان می‌دهد که رودخانه کفرآور هنوز به حالت تعادل نرسیده و نیروهای تکتونیکی در زمان کنونی هم در تحول مورفولوژی منطقه عامل اصلی می‌باشند و حوضه کفرآور دارای حرکات نئوتکتونیکی فعال و پیچ و خم رودخانه کم و حالت خطی دارد و شواهد ژئومورفولوژیکی مسیر خطی رودخانه و عدم تعادل آن، مئاندرهای پهن شده، کم بودن مئاندرها در مسیر رودخانه، تغییر میزان عمق و پهنای بستر میزان بالای شاخص T را در حوضه تأیید می‌کنند.



شکل ۱۵: ارزیابی شاخص S در حوضه کفرآور

مأخذ: نویسندگان

شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره Vf

این شاخص به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$Vf = 2Vfw / (Eld - Esc) + (Erd - Esc)$$

در این فرمول:

Vf : نسبت پهنای کف دره به عمق دره

Vfw : پهنای کف دره به متر

Erd : ارتفاع دیواره سمت راست دره

Eld : ارتفاع دیواره سمت چپ

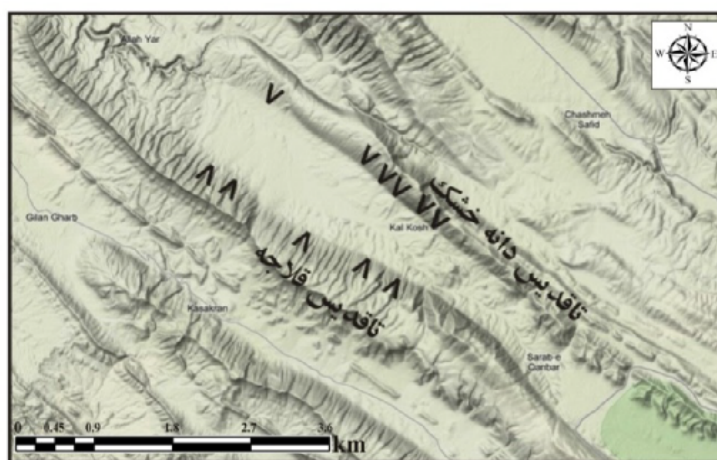
Esc : ارتفاع کف دره می‌باشند

شکل (۱۶) نحوه‌ی ارزیابی شاخص Vf را در دره‌های حوضه نشان می‌دهد.

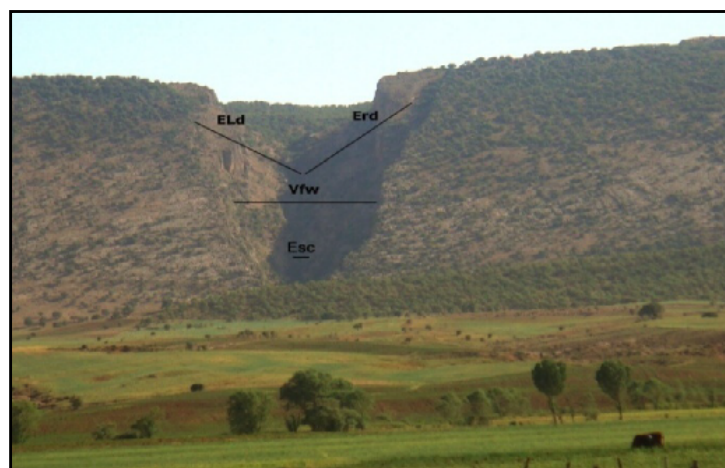
این شاخص را معمولاً در فاصله‌ی یک کیلومتری از جبهه کوهستان به طرف بالادست آبراهه اندازه‌گیری می‌کنند (بول و مک‌فادن^۱، ۱۹۷۷: ۱۲۶). مقدار کم Vf نشان‌دهنده‌ی فعال بودن منطقه از لحاظ فعالیت‌های تکتونیکی و V شکل بودن دره است و مقادیر زیاد این شاخص نشان‌دهنده‌ی عدم فعالیت یا کم بودن مقدار فعالیت تکتونیکی در منطقه است و رودخانه در این گونه مناطق به صورت جانبی بستر خود را حفر نموده و دره‌های U شکل را به

1-Bull & Mcfadden, 1997

وجود می‌آورد. برای محاسبه‌ی شاخص Vf در حوضه‌ی مورد مطالعه در هر یک از تقادیس‌ها این شاخص برای پنج دره در جبهه کوهستان محاسبه گردید (شکل ۱۷) و سپس میانگین کل $Vf=0.49$ محاسبه گردید (جدول ۸). مقادیر به دست آمده این شاخص نشان می‌دهد که حوضه‌ی کفرآور دارای فعالیت‌های نئوتکتونیکی شدید می‌باشد و عمیق و V شکل بودن دره‌های منطقه به عنوان شواهد ژئومورفولوژیک مقادیر بالای این شاخص را در حوضه تأیید می‌کنند (شکل ۸).



شکل ۱۶: محل اندازه‌گیری شاخص Vf در حوضه‌ی مورد مطالعه
مأخذ: نویسندگان



شکل ۱۷: ارزیابی شاخص Vf در یکی از دره‌های منطقه‌ی مورد مطالعه
مأخذ: نویسندگان

جدول ۸: مقادیر شاخص Vf در حوضه ی کفرآور

کوهستان شمالی	$m=70 \cdot Vwf$ $m=1580 \cdot Erd$ $m=1600 \cdot Eld$ $m=1320 \cdot Esc$ $0.26 = Vf$	$m=50 \cdot Vwf$ $m=1540 \cdot Erd$ $m=1600 \cdot Eld$ $m=1400 \cdot Esc$ $0.29 = Vf$	$m90 = Vwf$ $m = 1500 \cdot Erd$ $m=1580 \cdot Eld$ $m=1360 \cdot Esc$ $0.5 = Vf$	$m=200 \cdot Vwf$ $m=1600 \cdot Erd$ $m=1660 \cdot Eld$ $m=1380 \cdot Esc$ $0.8 = Vf$	$m = 80 \cdot Vwf$ $m=1520 \cdot Erd$ $m = 1640 \cdot Eld$ $m = 1380 \cdot Esc$ $0.4 = Vf$	$\Sigma Vf = 0.45$	$\Sigma Vf = 0.49$
کوهستان جنوبی	$m=80 \cdot Vwf$ $m = 1420 \cdot Erd$ $m=1400 \cdot Eld$ $m=1220 \cdot Esc$ $0.42 = Vf$	$m = 60 \cdot Vwf$ $m=1200 \cdot Erd$ $m=1320 \cdot Eld$ $m = 1240 \cdot Esc$ $0.66 = Vf$	$m = 40 \cdot Vwf$ $m=1460 \cdot Erd$ $m=1420 \cdot Eld$ $m=1360 \cdot Esc$ $0.5 Vf =$	$m=120 \cdot Vwf$ $m=1580 \cdot Erd$ $m=1540 \cdot Eld$ $m=1380 \cdot Esc$ $0.66 = Vf$	$m = 90 \cdot Vwf$ $m=1640 \cdot Erd$ $m=1600 \cdot Eld$ $m=1400 \cdot Esc$ $0.41 = Vf$	$\Sigma Vf = 0.53$	

مأخذ: نویسندگان

طبقه‌بندی شاخص‌ها بر اساس شاخص (Index Active Tectonic) IAT در طبقه‌بندی ارائه شده برای شاخص‌های Af، Br، Vf، Smf، Sl توسط همدونی و همکاران (۲۰۰۸)، این شاخص‌ها بر اساس مقدار کمی به دست آمده در سه کلاس ۳، ۲، ۱ طبقه‌بندی شده‌اند. در این طبقه‌بندی کلاس ۱ بالاترین فعالیت و کلاس ۳ کمترین فعالیت نئوتکتونیک را دارا می‌باشند (جدول ۹).

جدول ۹: طبقه‌بندی ارائه شده توسط همدونی و همکاران (۲۰۰۸)

شاخص‌ها	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳
Ls	میزان تغییرات زیاد	میزان تغییرات کم	بدون تغییرات
Smf	$Smf < 1.1$	$Smf : 1.1 - 1.5$	$Smf > 1.5$
Vf	$Vf < 0.5$	$Vf : 0.5 - 1$	$Vf > 1$
Bs	$Bs > 4$	$Bs : 4 - 3$	$Bs > 3$
Af	$Af - 50 > 15$	$Af - 50 : 7 - 15$	$Af - 50 < 7$

مأخذ: نویسندگان

شاخص IAT به وسیله‌ی میانگین کلاس‌های مختلف شاخص‌های ژئومورفیک (S/n) به دست می‌آید و براساس مقدار به دست آمده از (S/n) به چهار کلاس تقسیم می‌گردد (جدول ۱۰) که در این تقسیم‌بندی کلاس ۱ با فعالیت بسیار بالای نئوتکتونیک، کلاس ۲ با فعالیت نئوتکتونیک بالا، کلاس ۳ با فعالیت نئوتکتونیک متوسط و کلاس ۴ با فعالیت نئوتکتونیک کمی فعال مشخص می‌شوند.

جدول ۱۰: طبقه‌بندی شاخص IAT

IAT	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴
(s/n)	۱ - ۱.۵	۱.۵ - ۲	۲ - ۲.۵	۲.۵ < (s/n)

مأخذ: نویسندگان

بر اساس شاخص IAT فعالیت‌های نئوتکتونیکی حوضه‌ی مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۱۱) آمده است:

جدول ۱۱: طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس شاخص IAT

نام حوضه	کلاس شاخص‌ها					S/n	IAT
	Sl	Af	Vf	Bs	Smf		
کفرآور	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۲	کلاس ۱	کلاس ۱	۷/۵=۱.۴	کلاس ۱

مأخذ: نویسندگان

بر اساس داده‌های جدول (۱۱) حوضه‌ی کفرآور در کلاس ۱ با فعالیت شدید نئوتکتونیکی قرار می‌گیرد. نتایج کمی سایر شاخص‌های اندازه‌گیری شده برای حوضه‌ی مورد مطالعه در جدول (۱۲) آمده است.

جدول ۱۲: طبقه‌بندی شاخص‌های Fmf, Fd, T, S در منطقه‌ی مورد مطالعه

نام حوضه	Fmf	Fd	T	S	توصیف کیفی
کفرآور	۹۸	۰.۲۵	۰.۲۰	۱.۱	فعالیت شدید

مأخذ: نویسندگان

نتایج جدول (۱۲) نیز حاکی از فعالیت شدید نئوتکتونیکی در حوضه‌ی کفرآور می‌باشد.

نتیجه

هر یک از شاخص‌های فوق یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی ارائه می‌دهند. برای اطمینان از صحت عدد کمی به دست آمده از این شاخص‌ها نتایج آنها توسط شاخص طبقه‌بندی IAT و شواهد ژئومورفولوژیکی حاصل از تکتونیک فعال مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای بررسی همه‌جانبه‌ی حوضه، شاخص‌ها در دو دسته کمیت‌های توپوگرافی, Smf, Facet

Vf, Fd برای جبهه کوهستان‌ها و شاخص‌های زهکشی Af, T, S, SL برای بررسی سامانه‌ی رودخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. مقادیر به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک و طبقه‌بندی میزان آنها نشان‌دهنده‌ی فعال بودن نئوتکتونیک در حوضه به صورت بالاآمدگی و فعالیت گسل‌ها می‌باشد و حوضه‌ی کفرآور دارای فعالیت شدید نئوتکتونیک می‌باشد و بر اساس طبقه‌بندی شاخص IAT در کلاس ۱ قرار می‌گیرد. با توجه به این که لندفرم‌های کواترنری واضح‌ترین شواهد فعالیت‌های نئوتکتونیک در عصر حاضر می‌باشند، بر این اساس، شواهد ژئومورفولوژیکی حاصل از فعالیت گسل و سطوح آبرفتی شکل گرفته و تحول یافته توسط حرکات نئوتکتونیک نشان‌دهنده‌ی وجود و ادامه‌ی حرکات نئوتکتونیک فعال در دوران کواترنر و عصر حاضر در حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد.

مقادیر کمی به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک، توسط شواهد ژئومورفولوژیکی همچون تغییرات شدید در نیمرخ طولی رودخانه، دیواره قائم مسلط بر رودخانه، جوان‌شدگی رودخانه و ایجاد پادگانه جدید در دشت سیلابی، عدم تقارن رودخانه اصلی، وجود سه پادگانه در سمت راست بستر، عدم تقارن شبکه زهکشی، طول بیشتر آبراهه‌ها در سمت راست رودخانه، مسیر خطی رودخانه و عدم تعادل آن، مئاندرهای پهن شده، کم بودن مئاندرها در مسیر رودخانه، تغییر میزان عمق و پهنای بستر رودخانه، سطوح مثلثی شکل، دره‌های عمیق V شکل و عدم تشکیل کوهپایه تأیید می‌گردند. نتایج شاخص‌های مورد بررسی و شواهد ژئومورفولوژیکی حاکی از تأثیرپذیری بیشتر سامانه رودخانه‌ی حوضه از حرکات نئوتکتونیک جوان است. جمع‌بندی این شواهد و نتایج شاخص‌ها حاکی از ادامه فعالیت‌های نئوتکتونیک شدید در منطقه می‌باشد.

منابع

- ۱- باقری سیدشکری، سجاد (۱۳۸۷). بررسی نقش تکتونیک در شکل‌گیری و تحول لندفرم‌های تاق‌دیس قلاجه (استان کرمانشاه)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- ۲- پورکرمانی، محسن و حمید صدیق (۱۳۸۲). پدیده‌های ژئومورفولوژیکی حاصل از گسل تبریز جغرافیا و توسعه، شماره ۲.
- ۳- تصاویر سنجنده IRS؛ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح؛ سال ۲۰۰۲.
- ۴- رادفر، شهباز و محسن پورکرمانی (۱۳۸۴). ریخت زمین‌ساخت گسل کوهبنان، مجله علوم زمین. شماره ۵۸.

- ۵- زرگرزاده، مرضیه؛ کاظم رنگزن، عباس چرچی و احسان آبشیرینی (۱۳۸۶). مطالعه تکتونیک فعال منطقه زاگرس با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و پارامترهای مورفومتریک در محیط GIS و دورسنجی. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی کشور.
- ۶- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، عکس‌های هوایی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه، سال ۱۳۳۵.
- ۷- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برگ کال کش.
- ۸- سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ برگ کردند.
- ۹- سلیمانی، شهریار (۱۳۷۷). رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان "با نگرشی بر مقدمات دیرینه‌شناسی"، چاپ اول. تهران. انتشارات مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- ۱۰- عبادیان، سارا (۱۳۷۹). تحلیل ساختاری و زمین‌ساختی تاق‌دیس سبزپوشان بر اساس آنالیزهای مورفوتکتونیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی.
- ۱۱- قصی‌اویلی، جعفر (۱۳۷۶). مطالعه لیتواستراتیگرافی و بررسی کارستی شدن رخنمون‌های کربناته منطقه نوا- قلاجه در غرب استان کرمانشاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- ۱۲- گورابی، ابوالقاسم و احمد نوحه‌گر (۱۳۸۶). شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز در که، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۶۰.
- ۱۳- مختاری، داود (۱۳۸۵). کاربرد شاخص‌های ریخت‌سنجی در تعیین میزان فعالیت گسل‌ها، مورد نمونه: گسل شمالی میشو. مجله علوم زمین. شماره ۵۹.
- ۱۴- مددی، عقیل؛ محمدحسین رضایی‌مقدم و عبدالحمید رجایی (۱۳۸۳). تحلیل فعالیت‌هایی نئوتکتونیکی با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال غربی تالش (باغروداغ). مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۸.
- ۱۵- میرشکرایی، امیرعباس (۱۳۷۶). مطالعه لیتواستراتیگرافی و زمین‌شناسی ساختمانی در منطقه امام حسن ویزنان (گیلانغرب)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- ۱۶- یمانی، مجتبی؛ سجادباقری و مریم‌جعفری‌ا قدم (۱۳۸۹). تأثیر نوزمین‌ساخت در مورفولوژی آبراهه‌های حوضه‌ی آبریز چله (زاگرس غربی). مجله محیط جغرافیایی. شماره ۱.

17- Bachmanov, D.M, Trifonov, Kh. T, Hessami, A, I, Uozhurin, T.P, Ivanovo, E.A, Rogozhin, M.C, Hademi, F.H, Tamali (2003). Active faults in the Zagros and central Iran, Tectonophysics Vol 380.

18- Blance, E, Allen, M, Inger, S, Hassani, H (2003). structural styles in the Zagros simple folded zone Iran, geological society, Vol 160.

- 19- Bull, W.B. McFadden, L (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Dohring, D.O (ed), Geomorphology in arid regions. Publ. In geomorphology, State University of New York, Binghamton.
- 20- Bull, W.B (1984). Tectonic, Geomorphology. Journal of Geological Education, V(32).
- 21- Burbank, Douglas. W, Anderson, Robert. S (2000). Tectonic Geomorphology, Blackwell.
- 22- Chen, Y.C. et al (2003). Along- Strike variation of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implication based on Stream-gradient and hypsometric analysis. Geomorphology, Vol 56.
- 23- Duglas, W. Burbank, Robert, S. Anderson (2001). Tectonic Geomorphology. Blackwell Science, Ltd.
- 24- Hamdouni, R.El. Iriggaray, C. Fernandez, T. Chacon, J. Keller, E.A (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). Geomorphology. 96.
- 25- Hessami, KH, Nilfoyoushan, Christopher. J, Tablot (2006). active deformation within the Zagros Mountains deduced GPS measurements, geology society, Vol 163.
- 26- Ioannis, M.T. Ioannis, K.K. Pavlides, S (2006). Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf Corinth (Beotia, central Greece). Tectonophysics Vol 453(2008).
- 27- Keller, E. A, Pinter, N (1996). Active tectonic: Earthquakes, Uplift. And Landscape. Prentice Hall, Pub.
- 28- Li, Youli. Yang, Jingchun. Tan, Lihua. Duan, Fengian (1999). Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi corridor, Northwest China. Geomorphology Vol 28.
- 29- Malik, J. Mahanty. C (2006). Active tectonic influence on the evolution of drainage and Landscape: Geomorphic signatares From Frontal and hinterl and areas along the Northwestern Himalaya, Indi. Journal of Asian Earth Sciences.
- 30- Mirzaei, N (1997). seismic zoning of Iran, dissertation for Ph.d degree in Geophysics, Institute of Geophysics, state semi logical Bureau, Beijing, people Republic of china, publisher
- 31- Ramiez-Heerea, M.T (1998). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graban, Mexican Volcanin belt. Earth surface process and land forms. Vol. 23.
- 32- Randel, T.C (1994). Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify area of possible quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. Geological Society. V 106.
- 33- Wells, S.G. et al (1988). Regional variation geomorphology along a segmented convergent plate boundary, pacific coast of coast Rica. Geomorphology, 1:239-265.