

مطالعه ژئومورفولوژی (مرفوتکتونیک) بخش میانی طاقدیس کبیر کوه ایلام (محدوده بین پشته اریشت تا امامزاده شاه محمد کوه نشین)

محمدرضا ثروتی - استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
محمد مهدی حسین زاده - دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
مریم ده بزرگی - استادیار دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی
نورالله نیک پور* - کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۷/۰۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۱۲/۱۸

چکیده

اندازه‌گیری‌های کمی به ژئومورفولوژیست‌ها این امکان را می‌دهد که لندفرم‌های مختلف را بررسی و شاخص‌های ژئومورفیک را محاسبه کنند. از جمله مهم‌ترین عوارضی که نسبت به تغییرات زمین‌ساختی بسیار حساس هستند رودخانه‌ها، شبکه‌های زهکشی و عوارض توپوگرافی می‌باشند. حوضه‌ی آبخیز طاقدیس کبیر کوه در زاگرس میانی، در محدوده‌ی جغرافیایی استان ایلام واقع شده است که شواهد ژئومورفولوژیکی در این حوضه نشان از فعالیت نئوتکتونیک در دوران پلیو-کواترنر دارد. در این مطالعه به منظور ارزیابی میزان فعالیت تکتونیک اخیر در بخش میانی طاقدیس کبیر کوه، تعداد ۳۰ حوضه آبریز به همراه طولانی‌ترین مسیر احتمالی عبور رودخانه آن‌ها در محیط ArcGIS10.1، استخراج گردیده و سپس شاخص‌های ژئومورفیک گرادیان طولی رود (SL)، عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، شاخص تقارن توپوگرافی (T)، انتگرال هیپسومتریک (Hi)، سینوسی پیشانی کوهستان (Smf) و نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (Vf) و شاخص سینوسیته کانال رودخانه (S) مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند. در نهایت، با تلفیق شاخص‌های مزبور، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) در این بخش از طاقدیس مزبور ارائه گردید. بر این اساس در ۲۸ زیر حوضه منطقه، سطح فعالیت تکتونیک با شدت متوسط تا بالا عمل می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده از این روش با شواهد صحرایی و ژئومورفولوژیکی مانند تغییرات شدید در نیمرخ طولی رودخانه‌ها، پیشانی‌های مستقیم کوهستان، تنگه‌ها، عدم تقارن شبکه زهکشی، سطوح مثلثی، دره‌های V شکل، شیب‌های تند، زمین‌لغزش‌ها و همچنین گزارش مرکز لرزه‌نگاری کشور مبنی بر ثبت بیش از ۱۰۰۰ زمین‌لرزه در سال ۱۳۹۳ در این محدوده همخوانی خوبی داشته و بیانگر فعالیت نئوتکتونیک در بخش میانی طاقدیس کبیر کوه می‌باشد.

واژگان کلیدی: تکتونیک، شاخص‌های مورفو تکتونیک، طاقدیس کبیر کوه، لند فرم‌ها.

مقدمه

در علوم زمین واژه تکتونیک اشاره به ساختمان تغییر شکل یافته و معماری خارجی ترین بخش زمین یعنی پوسته‌ی زمین و ارزیابی این عوارض و ساختها در طول زمان زمین‌شناسی دارد (جباری، ۱۳۸۸). تقریباً هیچ ناحیه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تأثیر حرکات تکتونیکی قرار نگرفته باشد. به همین لحاظ، ارزیابی و بررسی فرآیندهای تکتونیکی فعال و اثرات ناشی از آن همچون زمین‌لرزه‌ها برای بسیاری از فعالیت‌های بشری از اهمیت بالایی برخوردار است، تا به واسطه آن بتوان خطرات و خسارات ناشی از این‌گونه فرآیندهای فعال را به حداقل رساند. شناسایی مناطق فعال به لحاظ تکتونیکی از اهمیت ویژه‌ای در بررسی‌های برآورد خطر زمین‌لرزه برخوردار می‌باشد. در این‌گونه بررسی‌ها، لفظ فعال بیانگر حرکات تکتونیکی در جوان‌ترین بازه زمانی یعنی "کواترن پسن"، و بخصوص در عهد حاضر می‌باشد. در سال‌های اخیر مطالعه زمین‌ساخت فعال به‌طور چشمگیری، به‌عنوان یکی از ابزارهای مؤثر در تشخیص شکل‌های زمین‌ساختی فعال و تهیه نقشه‌های خطر لرزه‌ای به‌ویژه در مناطقی که در زمان هولوسن و پلیوستوسن فعالیت بالایی نشان داده‌اند و همچنین درک تاریخچه چشم‌اندازهای کنونی سطح زمین کارساز بوده است (Keller and Pinter 2002). با این اوصاف ژئومورفولوژیست‌های داخلی و خارجی زیادی جهت برآورد تکتونیک فعال در حوضه‌های زهکش، از پارامترهای کمی (شاخص‌های مورفو تکتونیک)، استفاده نموده، و به نتایج قابل قبولی دست یافته‌اند. به‌طور کلی در طول چند سال اخیر محققین مختلف در کنار بررسی شاخص‌های مورفو تکتونیکی کیفی در مناطق دارای حرکات تکتونیکی فعال و جوان سعی در کمی نمودن رفتار حرکات تکتونیکی داشته و برای این امر، شاخص‌های مختلفی را تحت عنوان شاخص‌های «مورفومتریک یا شاخص‌های ریخت سنجی» ارائه نموده‌اند (سلیمانی، ۱۳۷۸ ص ۵۵). از جمله این محققان، دفونتینز^۱ و همکاران (۱۹۹۴)، ریبولینی و اسپاگنولو^۲ (۲۰۰۸)، رمزی^۳ و همکاران (۲۰۰۸)، همدونی^۴ و همکاران (۲۰۰۸)، گارنیری و پیروتا^۵ (۲۰۰۸)، آلتین و آلتین^۶ (۲۰۱۰)، دمیولین^۷ (۲۰۱۱)، ده بزرگی و همکاران (۲۰۱۰)، پیراسته و همکاران (۲۰۱۱)، بهرامی (۲۰۱۳) و (نیک پور، ۱۳۹۳)، را می‌توان نام برد. ابرلندر تودور (۱۹۶۵)، مطالعاتی را بر روی تغییرات آبراهه‌ها در کمربند کوهزایی زاگرس انجام داده و بیان نمود که تقریباً بین خطوط شبکه‌های آبراهه‌ای و جهت‌گیری ساختمان زمین‌شناسی تطابقی وجود ندارد. خسروی و همکاران (۱۳۸۹)، تکتونیک فعال را در قلمرو تراس زاکرس منطقه فارسان مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که گسل‌های فرعی منشعب از گسل اصلی زاگرس دارای تکتونیک بسیار فعال می‌باشند. غلامی نیا و همکاران (۱۳۸۷)، ژئومورفولوژی و مورفو تکتونیک طاقدیس گچ را مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه مطالعه آن‌ها نشان از، عملکرد تکتونیک فعال در منطقه بود. نریمانی (۱۳۸۸)، تحلیل الگوی چین در طاقدیس میش واقع در زاگرس چین‌خورده را مورد مطالعه قرار داد که تهیه برش‌های ساختاری از این تاقدیس و استخراج داده‌های مورد نیاز از آن‌ها، بر روی نمودارهای چین‌های مرتبط باراندگی و انطباق هندسه چین با مدل‌های هندسی موجود، هندسه چین‌های گسترش گسلی حمل شده با انتقال از محور ناودیس را برای تاقدیس میش نشان می‌دهد. دریکوند و همکاران (۱۳۹۱)، تحلیل ساختاری طاقدیس زنگول لرستان در زاگرس چین‌خورده را مطالعه نمود که تحلیل هندسی و جنبشی ریزچین‌های همراه تاقدیس نشان داد که هندسه این چین‌ها در هسته جناغی و در بالاترین سطح چین باز می‌باشد. چنین هندسه‌ای که شبیه هندسه چین‌های جدایشی است به‌وسیله آزمون هندسی و بر اساس میزان کوتاه شگی تاقدیس زنگول نیز تحلیل گردیده است. و بر همین مبنا سازند گرو به‌عنوان

¹ - Deffontaines

² - Ribolini & Spagnolo

³ - Ramsey

⁴ - Hamdouni

⁵ - Guarnieri & Pirrotta

⁶ - Altin & Altin

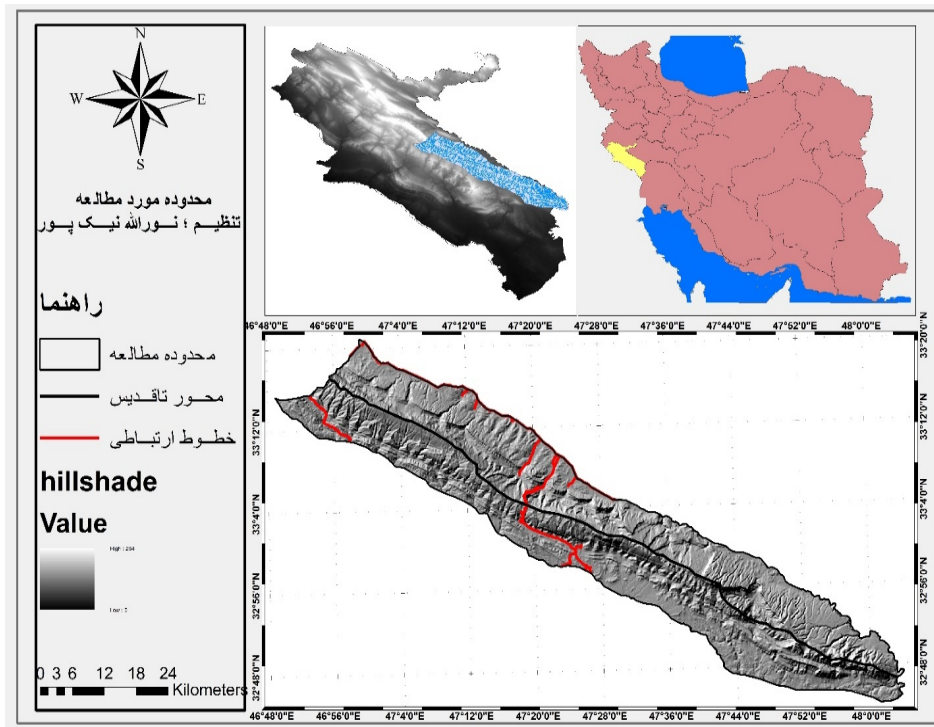
⁷ - Demoulin

سطح جدایش عامل هندسه جدایشی چین در افق دهرم معرفی گردیده است. کرم پور و رضائی (۱۳۸۷)، مورفوتکتونیک طاقدیس گدوان را مورد ارزیابی قرار داده و نقشه خطواره منطقه را طراحی نموده که در تعیین محل حفاری چاه‌های آب، در دشت داریان کمک شایانی نموده است. گورابی و همکاران (۱۳۸۶)، شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه را ارزیابی نموده و نشان دادند که این حوضه از فعالیت تکتونیک فعال بالایی برخوردار است. باین وجود روش‌های متفاوتی جهت برآورد فعالیت‌های تکتونیک یک منطقه وجود دارد، که در این بین روش‌های ژئومورفولوژی و استفاده از شاخص‌های مورفومتری از اهمیت بسزایی برخوردار است. مهم‌ترین ویژگی استفاده از شاخص‌های مورفومتری، سادگی نسبی روش محاسبه و همچنین سرعت عمل بالا در به‌کارگیری آن‌ها برای بررسی میزان فعالیت تکتونیک در مناطق بزرگ بوده و نیز داده‌های مورد نیاز در به‌کارگیری این شاخص‌ها به راحتی از نقشه‌های توپوگرافی، و عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای قابل استخراج است. استفاده از این شاخص‌ها در تشخیص حرکات فعال و جوان، در ایران سابقه چندانی نداشته و سابقه آن در جهان به دهه ۱۹۶۰ برمی‌گردد (حبیب‌اللهیان و همکاران، ۱۳۹۱). در مطالعه حاضر جهت بررسی میزان فعالیت تکتونیک جنوب شرق تاقدیس کبیرکوه و با توجه به ویژگی‌های عمومی حوضه از ۷ شاخص مورفومتری استفاده شده است و در آخر از ترکیب نتایج شاخص‌های مورد بررسی از یک شاخص واحد به نام (IAT)^۱ جهت آنالیز نهایی فعالیت تکتونیک منطقه استفاده شده است.

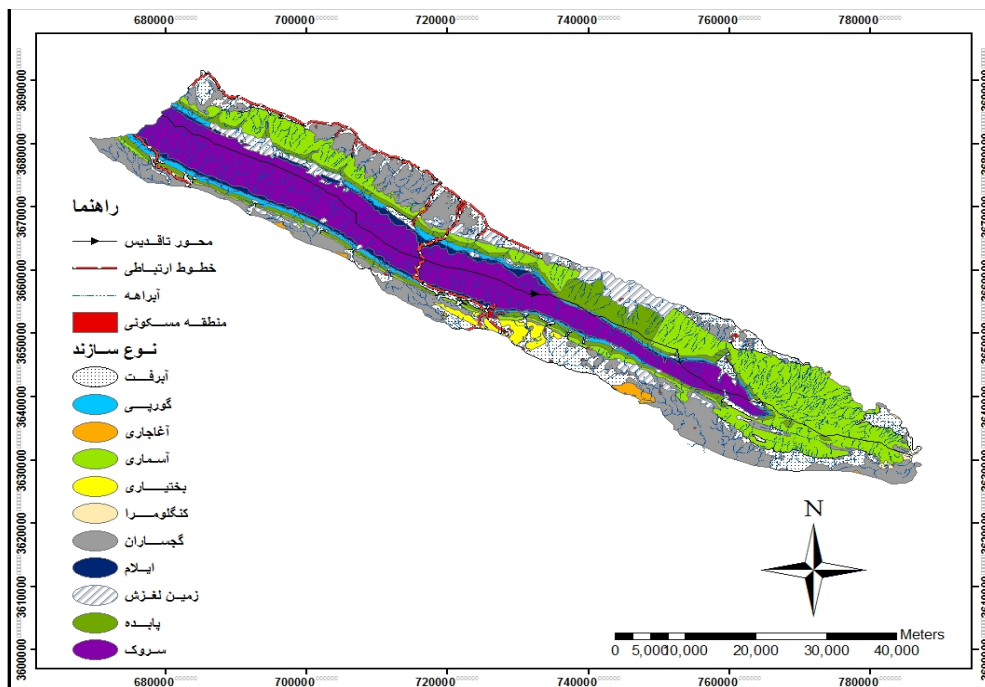
معرفی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (شکل شماره ۱) با عنوان بخش میانی تاقدیس کبیرکوه با وسعت 1965 km^2 کیلومتر مربع، و با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۴۸ دقیقه و ۲۲ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۵۹ دقیقه و ۳۵ ثانیه طول شرقی می‌باشد. کل این تاقدیس به صورت یک تاقدیس عظیم به طول حدوداً ۱۶۰ کیلومتر استان ایلام را به دو منطقه پشت‌کوه و پیش‌کوه تقسیم می‌کند. این تاقدیس بخشی از زاگرس چین‌خورده میانی می‌باشد که در غرب کشور ایران واقع شده است. از ویژگی‌های بارز منطقه وجود کوهستان‌های مضرس، شیب بالا و اشکال مختلف ژئومورفولوژیکی متنوع می‌باشد. بالاترین ارتفاع در محدوده‌ی مورد مطالعه ۲۵۰۰ متر می‌باشد. حدود تقریبی محدوده‌ی مورد مطالعه از شمال موازی با جاده بدره - دره شهر - تا ماژین می‌باشد و از جنوب موازی با مسیر جاده میمه زرین آباد - آبدانان - و از آنجا تا نزدیک سد کرخه امتداد می‌یابد، و وارد استان خوزستان می‌شود. به لحاظ زمین‌شناسی منطقه شامل سازندهای پایده، آسماری، سروک، گچساران، گورپی، آغاچاری و ایلام می‌باشد که هسته اصلی این تاقدیس را سازند سروک تشکیل می‌دهد (نقشه زمین‌شناسی 1:100000 منطقه). اما به لحاظ ژئومورفولوژی، در تاقدیس کبیرکوه مجموعه کاملی از اشکال ژئومورفولوژیکی شکل گرفته است از جمله هوگ بگ‌ها، اشکال کارستیکی، دره‌های نزولی (روز)، لند اسلایدها، آبرفت‌های کواترنری، گپ‌ها و تنگ‌ها و را می‌توان نام برد (نگارنده).

¹ - Index active tectonic



شکل (شماره ۱)؛ نقشه محدوده مورد مطالعه



شکل (شماره ۲)؛ نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این تحقیق داده و اطلاعات مورد نیاز بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و عملیات میدانی، عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نیروهای مسلح، و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، موقعیت تقادیس مورد نظر مشخص شد و ضمن شناسایی اشکال مورفولوژیکی، وضعیت تکتونیک محدوده مورد مطالعه با

استفاده از شاخص‌های مورفومتریک زیر مورد ارزیابی قرار گرفته است؛ ۱- شاخص منحنی هیپسو متریک (HC) و شاخص انتگرال هیپسو متریک (Hi) ۲- شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (SMF) ۳- شاخص عدم تقارن حوضه زهکش (AF) ۴- شاخص عدم تقارن توپوگرافی عرضی (T) ۵- شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (VF) ۶- شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) ۷- شاخص پیچ و خم رودخانه (S). از آنجایی که این شاخص‌ها، ابزار مفید و مؤثری در تعیین شدت نسبی فرآیندهای تکتونیکی و بررسی نسبی مقدار بالا آمدن یا نشست زمین به شمار می‌روند، از آن‌ها می‌توان جهت ارزیابی درجه نسبی فعالیت تکتونیکی در یک منطقه استفاده کرد. در این مطالعه جهت محاسبه‌ی شاخص‌های مورفومتری ابتدا این نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه در محیط GIS رقومی شده و لایه‌های موردنظر با دقت بالا از این نقشه‌ها استخراج شده و جهت برآورد شاخص‌های موردبررسی از آن استفاده شده است. با توجه به وسعت بسیار زیاد محدوده‌ی مورد مطالعه حوضه‌ی موردنظر به ۳۰ زیر حوضه تقسیم شده و موردبررسی قرار گرفته است. و شاخص‌های مورد مطالعه برای هر کدام از زیر حوضه‌ها به‌طور جداگانه محاسبه شده‌اند. که در آخر از ترکیب نتایج شاخص‌های موردبررسی از یک شاخص واحد به نام (IAT) جهت آنالیز نهایی فعالیت تکتونیکی منطقه استفاده شده است.

شاخص منحنی هیپسو متریک و انتگرال هیپسو متریک (Hi^۱)

تجزیه و تحلیل هیپسو متریک به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای تفکیک مناطق و نواحی فعال و غیرفعال از نظر زمین‌ساختی دارای اهمیت و جایگاه خاصی می‌باشند. شاخص هیپسو متریک از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Pike and Wilson, 1971; Mayer, 1990; Keller and Pinter, 2002)

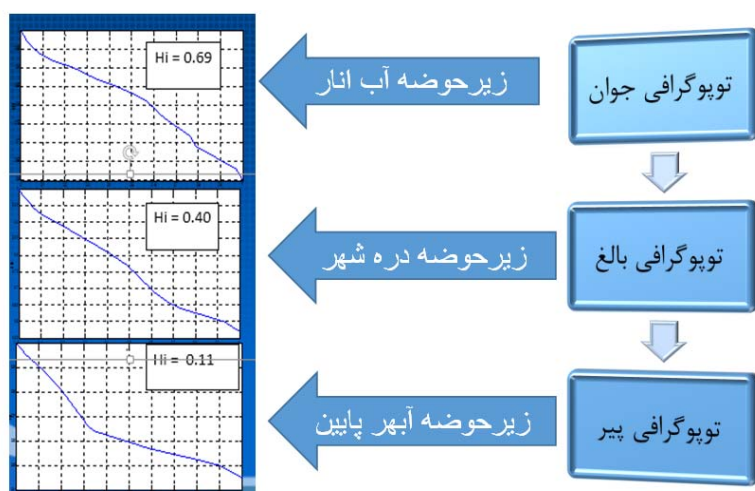
$$Hi = \frac{\text{average elev.} - \text{min. elev.}}{(\text{max. elev.} - \text{min. elev.})} \quad \text{رابطه: (۱)}$$

ارتفاع بیشینه و کمینه و متوسط به‌طور مستقیم از نقشه توپوگرافی و مدل ارتفاعی رقومی به دست می‌آید. مقادیر بالای شاخص ($Hi \geq 0.5$) دلالت بر وجود پستی و بلندی و توپوگرافی بالا نسبت به میانگین حوضه زهکشی - همچون سطوح بالا آمده و فلاتی که به‌وسیله رودها بریده شده‌اند و مقادیر کم تا متوسط شاخص هیپسو متریک ($Hi < 0.4$) حاکی از برش شبکه زهکشی در یک سطح هموارتر می‌باشد (El Hamdouni et al., 2007). در این مطالعه بر اساس مدل رقومی ارتفاعی DEM، منحنی هیپسو متریک زیر حوضه‌ها ترسیم (شکل شماره ۳) شد، که منحنی‌های ترسیمی برای ۳۰ زیر حوضه به این صورت است که زیر حوضه‌های (آگریید، بدره، چم کبود بالا، بیدک، دره شهر، گرماباد، کوشک، ماژین، کول هزاری، نصرالله آباد، شیخ مکان، تاور کبود) دارای منحنی هیپسو متریک محدب که نشان‌دهنده جوان بودن این زیر حوضه‌ها می‌باشد و بقیه زیر حوضه‌ها دارای منحنی هیپسو متریک مقعر و نامنظم که نشان از عملکرد فرسایشی بیشتر در این زیر حوضه می‌باشد. و سپس میزان انتگرال هیپسو متریک هر زیر حوضه محاسبه شده است. با توجه به محاسبات صورت گرفته در جدول (شماره ۱)، میزان انتگرال هیپسو متریک در زیر حوضه‌های (آب انار، آگریید، بیدگ، گرماباد، کول هزاری و تاور کبود) فعال‌ترین بخش از نظر فعالیت تکتونیکی هستند. همچنین در زیر حوضه‌های (بانزرگوش، دره شهر، ماژین، نصرالله آباد و شیخ مکان) شاهد گذر از مرحله بلوغ هستیم، و بین فرآیندهای ژئومورفیک تعادل نسبی در مقایسه با سایر مناطق برقرار است و در دیگر زیر حوضه‌ها شاهد توپوگرافی پیر و فرسوده هستیم. این شاخص در سه کلاس زیر طبقه‌بندی می‌شود. کلاس ۱: مقادیر عددی بزرگ‌تر از ($Hi \geq 0.5$) بیانگر توپوگرافی جوان، کلاس ۲: مقادیر عددی متوسط ($0.4 \leq Hi < 0.5$) بیانگر توپوگرافی بالغ، کلاس ۳: مقادیر عددی کمتر ($Hi < 0.4$) بیانگر توپوگرافی پیر می‌باشد.

¹ -Hypsometric Integral(Hi)

جدول (شماره ۱) : مقادیر محاسبه شده شاخص انتگرال هیپسو متریک

کلاس	Hi	h	H _{min}	H _{max}	زیر حوضه ها
۱	۰/۶۹	۱۱۵۰	۵۱۵	۱۴۳۴	آب انار
۳	۰/۱۱	۱۱۵۰	۹۹۱	۲۴۲۹	آبهر پایین
۱	۰/۶	۱۱۵۰	۱۱۴۲	۲۴۷۹	آگرید
۳	۰/۳۸	۱۱۵۰	۶۱۱	۲۰۳۸	ارمو
۳	۰/۱۰	۱۱۵۰	۱۰۳۵	۲۲۰۲	بدره
۲	۰/۴۸	۱۱۵۰	۴۳۶	۱۹۱۲	بانزر گوش
۱	۰/۶۲	۱۱۵۰	۳۳۱	۱۶۵۹	بیدک
۳	۰/۲۹	۱۱۵۰	۷۵۰	۲۱۴۱	چم کبود بالا
۳	۰/۳۰	۱۱۵۰	۷۵۰	۲۰۷۶	چمکبود پایین
۳	۰/۰۷	۱۱۵۰	۱۰۵۶	۲۳۹۱	چینه
۲	۰/۴۰	۱۱۵۰	۶۸۱	۱۸۵۵	دره شهر
۳	۰/۱۴	۱۱۵۰	۹۳۹	۲۴۵۲	فدک
۱	۰/۶۰	۱۱۵۰	۳۹۱	۱۶۶۶	گرماباد
۳	۰/۰۵	۱۱۵۰	۱۰۸۲	۲۴۳۹	گوراب
۳	۰/۳۰	۱۱۵۰	۶۴۶	۲۳۱۴	کل سفید
۱	۰/۵۵	۱۱۵۰	۳۵۰	۱۸۱۶	کول هزاری
۳	۰/۳۹	۱۱۵۰	۴۹۳	۲۱۹۸	کوشک
۲	۰/۴۵	۱۱۵۰	۴۲۱	۲۰۳۳	مازین
۳	۰/۳۸	۱۱۵۰	۴۷۸	۲۲۳۱	مهتابی
۳	۰/۱۰	۱۱۵۰	۱۰۳۹	۲۱۸۶	میمه
۲	۰/۴۲	۱۱۵۰	۳۹۳	۲۱۷۹	نصرالله آباد
۳	۰/۲۵	۱۱۵۰	۸۱۲	۲۱۴۰	سراب آبدانان
۳	۰/۳۹	۱۱۵۰	۴۹۳	۲۱۹۸	سراب نقل
۳	۰/۱۲	۱۱۵۰	۱۰۲۹	۲۰۱۲	سارکده
۲	۰/۴۰	۱۱۵۰	۶۳۵	۱۹۱۲	شیخ مکان
۳	۰/۳۴	۱۱۵۰	۶۶۸	۲۰۷۲	سیکان
۳	۰/۰۵	۱۱۵۰	۱۰۸۰	۲۴۹۱	تختان
۱	۰/۷۱	۱۱۵۰	۲۵۷	۱۵۲۳	تاور کبود
۳	۰/۲۹	۱۱۵۰	۶۳۷	۲۴۲۹	زید



شکل شماره ۳: نمونه‌هایی از منحنی‌های هیپسومتریک HC محاسبه شده

شاخص سینوسی یا پیچ‌وخم پیشانی کوهستان^۱ (Mountain Front Sinuosity)
این معادله از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Bull, 2007):

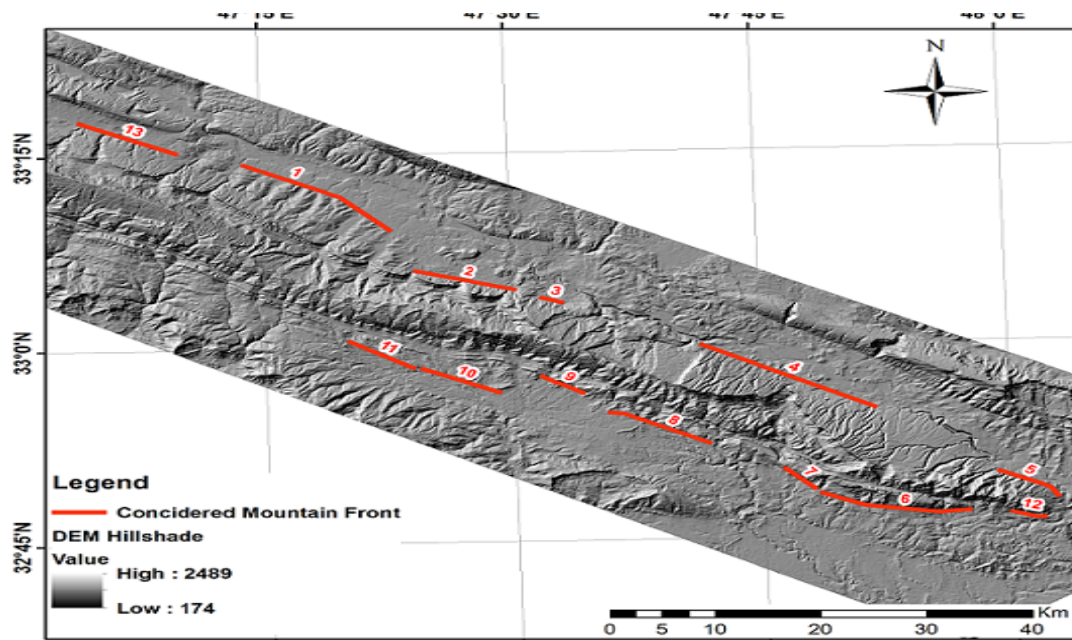
$$smf = \frac{LMF}{LS} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این معادله: Mf طول جبهه کوهستان در امتداد قاعده‌ی کوهستان و LS طول خط مستقیم در جلوی جبهه‌ی کوهستان است. اگر در اثر کاهش فعالیت‌های تکتونیکی منطقه، فرآیندهای فرسایشی تأثیر بیشتری روی جبهه‌ی کوهستان بگذارند، مقدار سینوسیته افزایش می‌یابد. هرگاه مقدار این شاخص با یک برابر باشد، بیانگر زون فعال از نظر تکتونیکی است. و افزایش مقدار آن بیانگر کاهش در فعالیت تکتونیکی منطقه می‌باشد (Keller & Pinter ۲۰۰۲). در این مطالعه مقدار smf برای هر دو دامنه تاقدیس با محاسبه Lmf و LS برای ۱۳ جبهه کوهستان از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و DEM به دست آمده و به سه کلاس مناطق بسیار فعال تکتونیکی $smf < ۱.۱$ ، مناطق با فعالیت متوسط $۱.۵ < smf < ۱.۱$ ، جبهه‌های با فعالیت کم تا آرام تکتونیکی $smf > ۱.۵$ دسته‌بندی شده‌اند (ال همدونی و همکاران، ۲۰۰۷). مقادیر smf به دست آمده برای ۱۳ جبهه‌ی کوهستانی مورد مطالعه بین ۱ تا ۱/۲۶ می‌باشد که نشانگر فعالیت تکتونیکی متوسط به بالا در منطقه است. به طور کلی در نتایج به دست آمده، جبهه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ در کلاس یک بسیار فعال و جبهه‌های ۱۰، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ در کلاس دو و فعال می‌باشند (جدول شماره ۲) (شکل ۴).

جدول (شماره ۲): مقادیر SMF محاسبه شده محدودده مورد مطالعه (بخش میانی و پایانی تاقدیس کبیر کوه)

جبهه کوهستان	Length- ls KM	Length- Lmf KM	Smf
جبهه ۱	10.49	10.97	1.04
جبهه ۲	17.34	21.92	1.26
جبهه ۳	10.17	10.17	1
جبهه ۴	2.47	2.58	1.04
جبهه ۵	19.10	20.24	1.05
جبهه ۶	7.33	7.60	1.03
جبهه ۷	14.90	15.28	1.02
جبهه ۸	4.48	5.13	1.14
جبهه ۹	10.94	12.13	1.10
جبهه ۱۰	5.01	5.65	1.12
جبهه ۱۱	8.56	8.80	1.02
جبهه ۱۲	7.43	7.48	1
جبهه ۱۳	3.78	3.93	1

¹ -Mountain Front Sinuosity



شکل (شماره ۴): خطوط مستقیم (LS)، محل‌های محاسبه شاخص سینوسیته کوهستان

شاخص قرینگی یا عدم تقارن آبراهه‌ها در حوضه آبریز^۱ (AF)

در مناطقی که شبکه زهکشی در حضور تغییر شکل‌های زمین‌ساختی توسعه پیدا می‌کند، شبکه زهکشی اغلب دارای شکل هندسی و الگوی متمایزی می‌باشد. عامل عدم تقارن از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Hare and Gardner, 1985; Keller and Pinter, 2002)

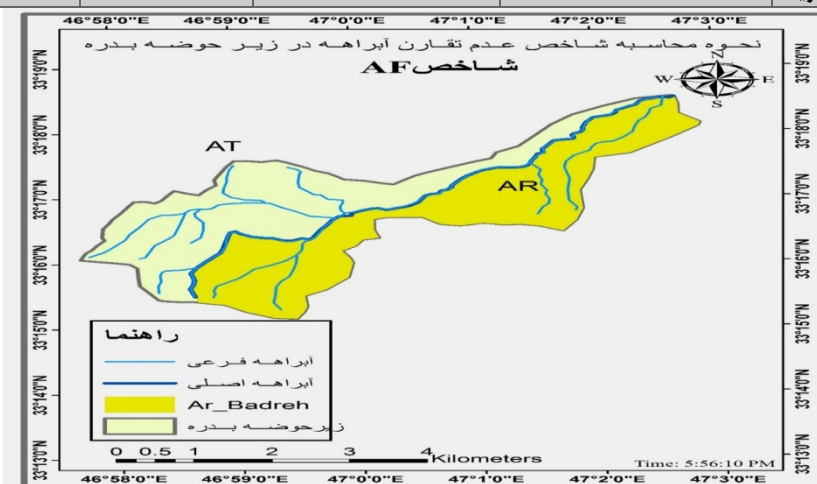
$$Af = 100 \frac{A_r}{A_t} \quad (۳)$$

در رابطه فوق، (A_r) مساحت قسمت راست حوضه در جهت پایین‌رود نسبت به رود اصلی و (A_t) مساحت کل حوضه زهکشی می‌باشد. برای شبکه رودی که تشکیل شده و تداوم جریان در حالت ثابتی وجود دارد، (Af) باید برابر 50 باشد. (Af) به خم‌شدگی عمود بر امتداد رود اصلی در حوضه زهکشی حساس می‌باشد. مقادیر بیشتر یا کمتر از 50 ممکن است حاکی از کج‌شدگی حوضه زهکشی باشد. در این مطالعه، مقادیر (A_r) و (A_t) در محیط Arc GIS اندازه‌گیری شده و شاخص (Af) در ۲۷ زیر حوضه در منطقه مورد مطالعه محاسبه گردیده است. آنگاه شاخص ژئومورفیکی فوق، طبق تقسیم‌بندی $43 \leq Af \leq 57$ ، $Af > 35$ ، $43 > Af > 35$ ، $57 < Af < 65$ و $Af \geq 65$ (El Hamdouni et al., 2007) به ترتیب به سه رده زمین‌ساختی ۱، ۲ و ۳ تقسیم شده است (جدول ۳). میزان شاخص Af برای ۲۷ تا از زیر حوضه‌ها محاسبه شده است. که زیر حوضه‌های تختان و زرانگوش با کمترین مقدار Af و بالاترین میزان فعالیت و زیر حوضه‌های آبه‌ر پایین، کل سفید، کوشک و زید با فعالیت متوسط تکتونیکی، و دیگر زیر حوضه‌ها با فعالیت ضعیف مشخص شدند (جدول ۳) (شکل ۵).

¹ -Drainage asymmetry factor

جدول (شماره ۳): مقادیر محاسبه شده شاخص عدم تقارن زیر حوضه‌ها (AF) در محدوده مورد مطالعه

کلاس تکتونیک	AF	AT(KM ^۲)	AR (KM ^۲)	زیر حوضه
۲	۳۶.۳	۳۰.۴۴	۱۱.۰۶	آب انار
۲	۳۷	۲۷.۴۷	۹.۸۱	آبهر پایین
۳	۵۳.۶	۲۵.۱	۱۳.۴۷	آگر بید
۳	۵۴.۵	۲۴.۸۲	۱۳.۵۴	ارمو
۳	۵۲	۱۷.۹۴	۹.۲۹	بدره
۳	۵۲	۳۹.۱	۲۰.۳۳	بانزرگه
۱	۷۶	۱۷.۳	۱۳.۱۱	بیدک
۱	۷۶.۵	۴۹.۳۱	۳۷.۷۱	چم کبود پایین
۱	۶۹.۵	۵۰.۶۳	۳۵.۲۲	چینه
۳	۵۲	۲۵.۷۳	۱۳.۴۳	دره شهر
۳	۴۷	۲۹.۹۴	۱۴.۰۶	فدک
۳	۵۵	۲۲.۰۹	۱۲.۱۵	گرم آباد
۲	۵۷.۵	۴۴.۸۵	۲۵.۸۳	گوراب
۲	۴۱.۳	۲۵	۱۰.۳۴	کل سفید
۳	۵۲.۵	۸۹.۶۲	۴۷.۱۳	مازین
۲	۴۱	۶۳.۹۴	۲۶.۳۴	کوشک
۳	۴۷.۴	۳۸.۷۳	۱۸.۳۶	مهبابی
۳	۵۳.۷	۵۵.۰۶	۲۹.۶۱	میمه
۳	۴۸	۴۰.۸۱	۱۹.۶۱	نصرالله آباد
۳	۴۹.۳	۴۱.۹۴	۲۰.۶۹	سرآب آبدانان
۳	۴۶.۷	۱۰۴.۲۳	۴۸.۷۴	سرآب نقل
۳	۴۷	۲۲.۰۳	۱۰.۳۴	شیخ مکان
۳	۴۶.۲	۵۵.۲	۲۵.۵۴	سیکان
۱	۲۸.۷	۶۰.۴۹	۱۷.۳۷	تختان
۳	۴۸	۲۵.۲۳	۱۲.۱۵	تاور کبود
۱	۳۱.۷	۶۰.۳۸	۱۹.۲	زرانگوش
۲	۴۰.۵	۳۵.۱۷	۱۴.۲۵	زید



شکل (شماره ۵): نقشه نحوه محاسبه شاخص عدم تقارن آبراهه به عنوان نمونه در زیر حوضه بدره

شاخص تقارن توپوگرافی «T»

مقدار (T) بیانگر یک بردار با مقدار عددی بین ۰ و ۱ است. در این شاخص مقدار عددی نزدیک به یک بیانگر تکتونیک فعال است (گورابی، به نقل از راندل، ۱۹۹۷). شاخص تقارن توپوگرافی معکوس حوضه‌ها (T) از طریق معادله ۴ قابل محاسبه است (COX، ۱۹۹۴):

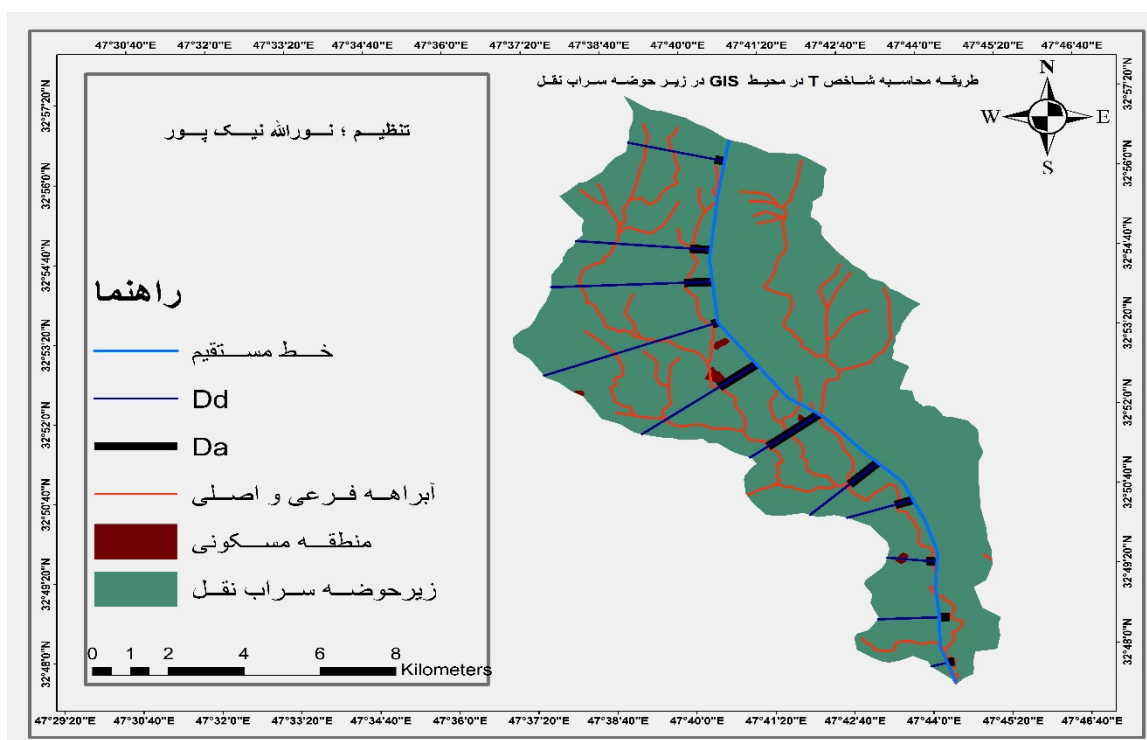
$$T = \frac{DA}{Dd} \quad \text{رابطه ۴:}$$

در این معادله؛ DA : فاصله از خط وسط حوضه‌ی آبریز به کمربند مئاندر فعال و Dd : فاصله از خط وسط حوضه به خط تقسیم آب است. در حوضه‌های کاملاً متقارن مقدار عددی شاخص (T) صفر می‌باشد. با کاهش تقارن حوضه، مقدار عددی (T) افزایش یافته و به عدد ۱ نزدیک‌تر می‌شود. با پذیرش این موضوع که اثرات جزئی شیب بستر را می‌توان در مهاجرت و جابجایی کانال رودخانه‌ها در سطح زمین مشاهده نمود. جهت مهاجرت ناحیه‌ای کانال رودها یکی از نشانه‌های کج شدگی زمین در آن جهت خواهد بود (سلیمانی، ۱۳۷۸). با استناد این موضوع چون در هیچ کدام از زیر حوضه‌های مورد مطالعه مقدار عددی این شاخص صفر نشده پس هیچ کدام از زیر حوضه‌ها در این محدوده کاملاً متقارن نیستند. با این پیش فرض سه کلاس تکتونیکي جهت تشخیص شدت فعالیت تکتونیکي مشخص شده است. رده ۱: مقدار عددی بین کمتر از ۱ و بیشتر از 0,5 گویای فعالیت شدید تکتونیکي می‌باشد. رده ۲: مقدار عددی کمتر از 0,5 با کاهش تقارن و شدت فعالیت متوسط همراه است. رده ۳: مقدار عددی صفر که حاکی از تقارن کامل حوضه و عدم فعالیت تکتونیکي می‌باشد. به طور کلی ۲۹ زیر حوضه ما از برآورد این شاخص کمتر از ۰,۵ می‌باشند و دارای فعالیت تکتونیکي متوسط به بالا هستند و فقط مقدار عددی زیر حوضه بیدک در این شاخص به یک نزدیک است و در کلاس یک قرار می‌گیرد (جدول ۴) (شکل ۶).

جدول (شماره ۴): مقادیر محاسبه شده شاخص تقارن توپوگرافی حوضه‌ها (T) در محدوده مورد مطالعه

زیر حوضه‌ها	DA	Dd	T	کلاس تکتونیکي
آب انار	۵۱۲۸	۱۱۲۱۷	۰/۴۶	۲
آبهر پایین	۱۴۷۸	۵۴۲۱	۰/۲۷	۲
آگرید	۹۹۵	۸۰۸۰	۰/۱۲	۲
ارمو	۱۱۷۶	۶۴۵۳	۰/۱۸	۲
بدره	۲۵۵۶	۵۱۶۹	۰/۴۹	۲
بانزرگان	۱۳۶۳	۴۵۴۶	۰/۳	۲
بیدک	۲۴۲۷	۴۰۸۲	۰/۵۹	۱
چم کبود بالا	۵۶۲۳	۱۱۶۳۵	۰/۴۸	۲
چم کبود پایین	۴۹۵۷	۱۰۲۰۶	۰/۴۹	۲
چینه	۴۷۳۶	۱۴۰۸۷	۰/۳۴	۲
دره شهر	۱۶۹۶	۸۴۹۵	۰/۲	۲
فدک	۲۰۷۰	۸۰۹۱	۰/۲۶	۲
گرم آباد	۱۳۴۴	۶۲۵۷	۰/۲۱	۲
گوراب	۱۷۶۶	۱۲۴۸۶	۰/۱۴	۲
کال سیفی	۱۰۸۰	۷۲۵۵	۰/۱۵	۲
کول هزاری	۱۴۶۹	۵۴۳۴	۰/۲۷	۲
ماژین	۲۷۱۳	۱۰۸۹۱	۰/۲۵	۲
کوشک	۲۲۰۶	۱۵۱۱۰	۰/۱۵	۲
مهتابی	۱۱۳۰	۹۰۱۰	۰/۱۳	۲
میمه	۴۱۸۹	۱۲۸۳۱	۰/۳۳	۲
نصرالله آباد	۱۱۰۶	۸۹۳۸	۰/۱۲	۲
سراب آبدانان	۱۵۵۵	۷۶۵۸	۰/۲	۲
سراب نقل	۶۸۳۷	۲۸۷۹۷	۰/۲۴	۲
سارکده	۴۲۰۶	۲۱۶۳۳	۰/۱۹	۲
شیخ مکان	۱۴۲۴	۸۴۱۴	۰/۱۷	۲
سیکان	۲۲۳۴	۱۹۷۰۶	۰/۱۱	۲

تختان	۵۳۵۲	۱۵۶۱۸	+۰/۳۴	۲
تاور کبود	۲۱۷۶	۹۵۴۲	+۰/۲۳	۲
زرانگوش	۳۱۱۹	۹۰۵۸	+۰/۳۴	۲
زید	۳۰۸۰	۱۱۸۰۰	+۰/۲۶	۲



شکل (شماره ۶) : نقشه نحوه محاسبه شاخص تقارن توپوگراف T به‌عنوان نمونه در زیر حوضه سراب نقل

شاخص نسبت پهناي کف دره به ارتفاع دره^۱ (Vf)

شاخص نسبت عرض کف بستر به ارتفاع دره (Vf) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

رابطه : (۵)

$$Vf = Vfw / [(Ald - Asc) + (Ard - Asc) / 2]$$

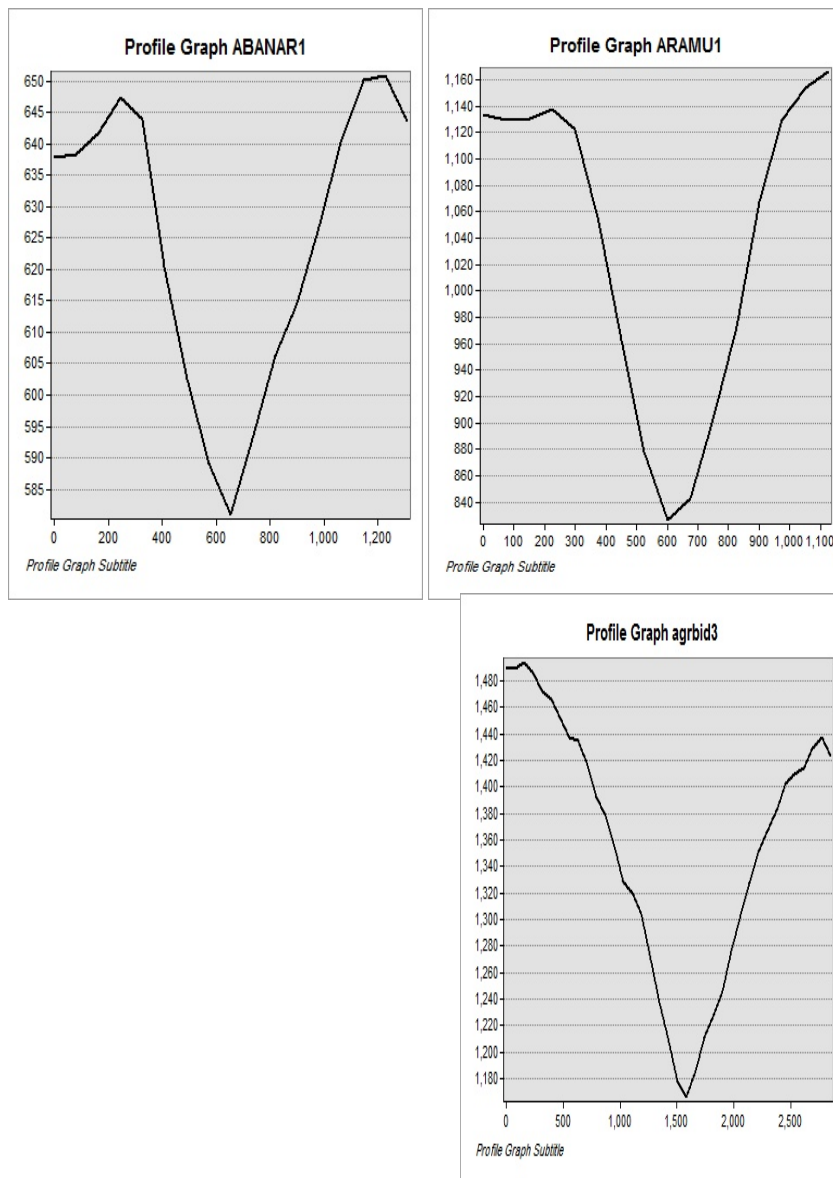
در رابطه فوق (Vf) نسبت عرض به ارتفاع دره، (Vfw) پهناي دره، (Asc)، (Ald)، (Ard)، به ترتیب، ارتفاع خط تقسیم آب در قسمت راست و چپ دره و کف بستر دره می‌باشند. این پارامتر در فاصله معین ۱ - ۰/۵ کیلومتر از پیشانی کوهستان برای هر دره مورد بررسی قرار می‌گیرد (Silva et al., 2003). این شاخص، دره‌های "U" شکل با مقادیر (Vf) نسبتاً زیاد را از دره‌های "V" شکل با مقادیر کم (Vf) تفکیک می‌کند. مقادیر زیاد (Vf) مرتبط با نرخ‌های کم بالآمدگی می‌باشند. مقادیر کم (Vf) بیانگر دره‌های ژرف همراه با رودهایی که به‌طور فعال کف بستر خود را حفر می‌کنند و همچنین به‌طور معمول همراه با بالآمدگی است، می‌باشد. در این بررسی، به‌منظور محاسبه (Vf)،

^۱ - Ratio of valley floor width to valley height

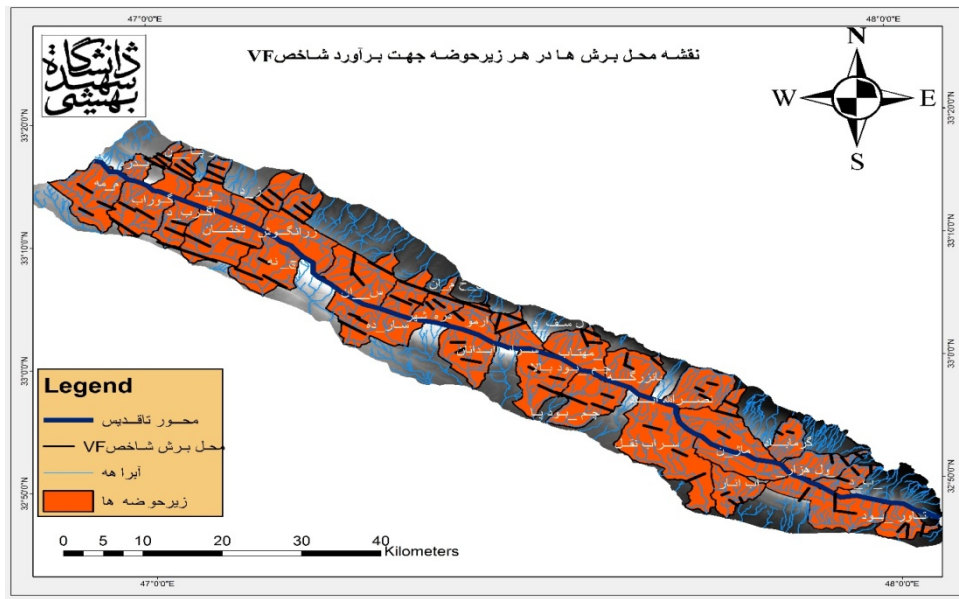
برش عرضی دره در هر کدام از حوضه‌ها ترسیم شده و با استفاده از این برش‌ها و نیز مدل ارتفاعی رقومی منطقه همراه با نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ رقومی شده، مقادیر V_{fw} , A_{ld} , A_{sc} , A_{rd} در هر کدام از حوضه‌ها به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شده است. آنگاه شاخص ژئومورفیکی فوق، طبق تقسیم‌بندی $V_f > 1$ ، $0.5 < V_f < 1$ و $V_f < 0.5$ به ترتیب به سه رده زمین‌ساختی ۱، ۲ و ۳ تقسیم شده است (جدول ۵). نسبت عرض کف بستر دره به ارتفاع دره (V_f) بیانگر این است که آن دسته از آبراهه‌ها دره زیرین خود را به‌طور ژرف بریده‌اند، که از روی پیشانی‌های فعال جریان یافته‌اند. با توجه به اینکه میانگین مقدار V_f در زیر حوضه‌های دامنه شرقی و دامنه غربی این تاقدیس کمتر از ۱ می‌باشد، و همچنین با توجه به توضیحات بالا، نشان از V شکل بودن دره‌ها و فعالیت تکتونیکی نسبتاً بالا در محدوده مورد مطالعه دارد. که کمترین مقدار V_f و فعالیت تکتونیکی بالا برای زیر حوضه سارکده و کول هزاری به میزان ۰/۴۴ و بیشترین مقدار V_f و فعالیت کم برای زیر حوضه چینه به میزان ۱/۲۸ می‌باشد. به‌طور کلی با توجه به میانگین کمتر از یک زیر حوضه‌های شرقی و غربی نتایج این شاخص بیانگر فعالیت تکتونیکی بالا و قرار گرفتن زیر حوضه‌ها در کلاس یک و دو می‌باشد (جدول ۵) (شکل ۷ و ۸).

جدول (شماره ۵): مقادیر محاسبه‌شده شاخص نسبت پهنای دره به عمق (V_f) در محدوده مورد مطالعه

نام زیر حوضه‌های غربی	۱	نام زیر حوضه‌های شرقی	۱
تختان	$V_f=0/83$	آبهر پایین	$V_f=0/97$
چم کبود پایین	$V_f=0/74$	ارمو	$V_f=0/8$
میمه	$V_f=1.6$	کل سفید	$V_f=0/40$
سراب آبدانان	$V_f=0/65$	کول هزاری	$V_f=0/44$
سراب نقل	$V_f=0/81$	مازین	$V_f=0/45$
دره شهر	$V_f=0/8$	مهتابی	$V_f=0/59$
چینه	$V_f=1.28$	سیکان	$V_f=0/66$
کوشک	$V_f=0/48$	زرانگوش	$V_f=0/78$
آگر بید	$V_f=0/85$	شیخ مکان	$V_f=0/65$
چم کبود بالا	$V_f=0/83$	زید	$V_f=0/67$
تاور کبود	$V_f=0/72$	فدک	$V_f=0/46$
سارکده	$V_f=0/$	بدره	$V_f=0/8$
گوراب	$V_f=0/73$	بیدک	$V_f=0/69$
آب انار	$V_f=1.4$	گرم آباد	$V_f=0/$
---	---	بانزرگه	$V_f=0/9$
---	---	نصرالله آباد	$V_f=1.1$
$\Sigma v_f=12.16$		$\Sigma v_f= 10.96$	
$V_f(\text{mean})=\%86$		$V_f(\text{mean})=\%68$	
کلاس تکتونیکی = 2		کلاس تکتونیکی = 2	



شکل (شماره ۷): نمونه‌هایی از پروفایل‌های گرفته‌شده برای محاسبه شاخص VF



شکل (شماره ۸): نقشه GIS محاسبه شاخص VF در محدوده‌ی مورد مطالعه

شاخص گرادیان طولی رودخانه^۱ (SL)

شاخص گرادیان طولی رود (SL) برای یک محدوده و مسیر مشخص شبکه زهکشی بر اساس رابطه زیر محاسبه و مشخص می‌شود، (Hack, 1957, 1973, 1982):
رابطه ۶:

$$SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} \cdot L$$

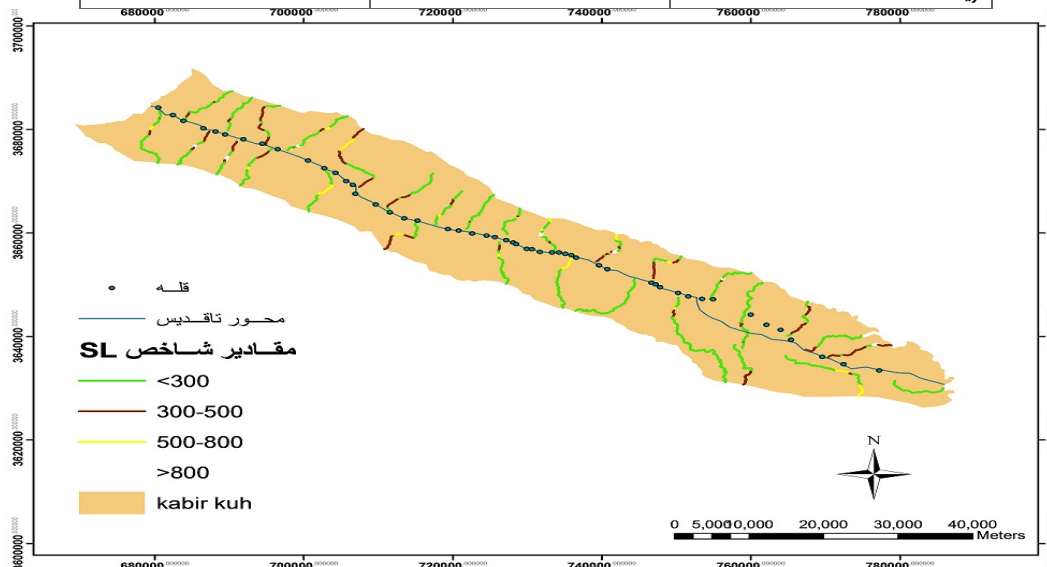
در رابطه فوق، SL : شیب طولی رودخانه ΔH : اختلاف ارتفاع بین دونقطه اندازه‌گیری شده، ΔL : طول رودخانه بین دونقطه اندازه‌گیری شده و L : طول رودخانه از وسط منطقه اندازه‌گیری شده تا مرتفع‌ترین منطقه اندازه‌گیری شده می‌باشد. این شاخص، زیر حوضه‌ی تاور کبود با کمترین مقدار SL یعنی ۱۴۰ و زیر حوضه تختان با بالاترین میزان SL یعنی ۶۵۴ به ترتیب دارای کمترین و بالاترین میزان فعالیت تکتونیک در محدوده مورد مطالعه می‌باشند. کلاس تکتونیک هر کدام از زیر حوضه‌ها در محدود مورد مطالعه محاسبه و مشخص شده است (جدول ۶) (شکل ۹).

جدول (شماره ۶): مقادیر محاسبه‌شده شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL) برای هر کدام از زیر حوضه‌ها

کلاس تکتونیک	$SL = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L}\right)L$	زیر حوضه‌ها
۳	۲۱۲	آب انار
۳	۲۴۶	آبهر پایین
۱	۶۹۶	آگریید
۲	۴۳۲	ارمو
۳	۲۶۲	بدره
۱	۵۹۸	بانزرگه
۲	۳۳۸	بیدک
۱	۵۶۴	چم کبود بالا
۳	۲۲۲	چم کبود پایین
۳	۲۸۶	چینه
۳	۲۹۲	دره شهر
۲	۴۷۴	فدک

^۱ -River Gradient Index

۳	۲۷۴	گرم آباد
۱	۶۰۲	گوراب
۱	۵۶۶	کل سفید
۲	۳۵۴	کل هزاری
۳	۱۸۴	ماژین
۲	۴۸۴	کوشک
۱	۶۴۶	مهتابی
۳	۲۷۸	میمه
۱	۵۵۸	نصرالله آباد
۳	۲۵۲	سراب آبدانان
۳	۲۶۲	سراب نقل
۲	۳۶۲	سارکده
۲	۳۶۸	شیخ مکان
۲	۳۲۸	سیکان
۱	۶۵۴	تختان
۳	۱۴۰	تاور کبود
۱	۵۳۸	زرانگوش
۱	۶۰۴	زید



شکل (شماره ۹): نقشه GIS محاسبه شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)

شاخص سینوسیته کانال رودخانه^۱ (S)

این شاخص از معادله روبرو به دست می‌آید (Adams et al, ۱۹۹۹):

$$S = \frac{C}{V}$$

رابطه ۷؛

C : طول کانال رودخانه و V : طول خط مستقیم در راستای دره می‌باشد. الگو و طرح رودها نسبت به شیب بسیار حساس است (Adams et al, ۱۹۹۹). به نظر می‌رسد که هر چه مقدار پیچ‌وخم آبراهه یا رودخانه‌ای بیشتر باشد به حالت تعادل نزدیک‌تر بوده، درحالی‌که مستقیم بودن مسیر رودخانه بیشتر حاکی از جوان بودن منطقه و فعالیت‌های عصر حاضر تکتونیکی و نئوتکتونیکی است. بالا بودن مقدار عددی این شاخص، نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل را نشان می‌دهد. درحالی‌که مقادیر کم این شاخص، بیانگر فعالیت بالای تکتونیک در محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشد. مقادیر

^۱ - Sinuosity of river chanell

نهایی به دست آمده از این شاخص در ۱۲ تا از زیر حوضه‌های اصلی که دارای مسیر مشخص کانال رود جهت محاسبه این شاخص بودند، به شرح ذیل است. در این مطالعه با توجه به توضیحات بالا مقادیر به دست آمده از این شاخص که کمتر از 0,5 است را به عنوان فعالیت بالای تکتونیک، مقادیر بین 0,5 تا 0,7 را فعالیت متوسط و بیشتر از 0,7 درصد را فعالیت ضعیف در نظر می‌گیریم. که در نتیجه جز رودخانه‌های میمه، سراب نقل و اب انار که دارای فعالیت ضعیف بودند بقیه زیر حوضه دارای فعالیت بالایی متوسط هستند (جدول ۷).

جدول (شماره ۷): مقادیر محاسبه شده شاخص سینوسیته کانال رودخانه (S) در محدوده مورد مطالعه

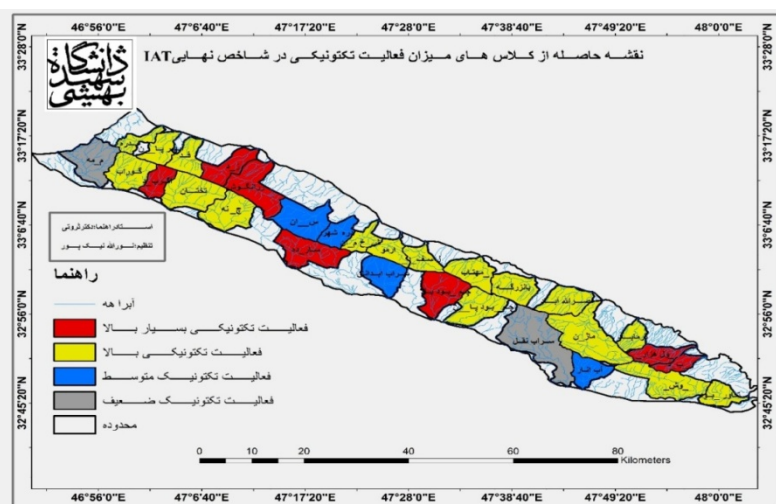
کلاس تکتونیک	S	V	C	زیر حوضه‌ها
۳	۰/۸۳	۱۱۵۰۹	۹۵۶۵	آب انار
۱	۰/۴۴	۹۸۹۴	۴۳۴۷	چینه
۱	۰/۴۳	۸۲۶۶	۳۵۳۱	دره شهر
۱	۰/۴۵	۸۷۲۶	۳۹۰۷	گوراب
۲	۰/۵۴	۱۳۶۰۸	۷۳۰۸	کول هزاری
۱	۰/۴۲	۱۶۰۵۹	۶۷۲۹	ماژین
۳	۰/۷۲	۱۳۴۹۷	۹۶۸۷	میمه
۲	۰/۶۴	۹۶۲۴	۶۱۹۳	سراب آبدانان
۳	۰/۷۴	۲۵۱۶۴	۱۸۵۳۸	سراب نقل
۱	۰/۴۴	۸۱۷۰	۳۶۰۶	شیخ مکان
۲	۰/۵۱	۱۰۲۷۵	۵۲۷۰	سیکان
۱	۰/۴۶	۹۶۵۸	۴۴۹۰	تختان

نتیجه‌گیری بر اساس شاخص IAT (Index Active Tectonic)

در این مطالعه، ۷ شاخص مورفوتکتونیک به تفکیک در هر کدام از ۳۰ حوضه محاسبه شده و به ۳ رده زمین‌ساختی تقسیم گردیده‌اند. آنگاه در هر حوضه به طور مجزا میانگین مقادیر رده شاخص‌های ژئومورفیک (S/n) اندازه‌گیری شده و سپس به ۴ رده که در حقیقت همان رده‌های شاخص زمین‌ساخت فعال (Iat) گستره مورد مطالعه می‌باشند، طبقه‌بندی شده است (جدول ۸). رده ۱ سطح فعالیت زمین‌ساختی، شامل مقادیر $1.5 > S/n > 1$ بوده و نشانگر فعالیت نسبی خیلی زیاد می‌باشد. رده ۲ بیانگر فعالیت زمین‌ساختی نسبی زیاد با مقادیر $2 > S/n > 1.5$ ، رده ۳ نشان‌دهنده‌ی فعالیت زمین‌ساختی نسبی متوسط با مقادیر $2.5 > S/n > 2$ و رده ۴ با مقادیر $S/n > 2.5$ فعالیت زمین‌ساختی نسبی کم را ارائه می‌نماید (El Hamdouni et al., 2007). در نهایت، نقشه توزیع سطح فعالیت زمین‌ساخت نسبی، برای تأقدیس کبیرکوه ترسیم شده و گستره مورد مطالعه به چهار بخش خیلی فعال، فعال، فعالیت متوسط و فعالیت کم تقسیم گردیده است (شکل ۴). با توجه به نتایج به دست آمده از شاخص (Iat) در تمام زیر حوضه‌های محدوده‌ی مورد مطالعه، به لحاظ میزان فعالیت تکتونیک تقریباً در ۲۸ تا از زیر حوضه‌ها شدت این فعالیت از متوسط به بالا و فقط در دو زیر حوضه‌ی میمه و سراب نقل میزان این فعالیت از حد متوسط به پایین است. و در زیر حوضه‌های بیدک، چم کیود بالا، کول هزاری، سارکده، زرانگوش و زید میزان فعالیت تکتونیک به حداکثر خود می‌رسد (جدول ۸).

جدول (شماره ۸) : مقادیر محاسبه شده کلاس‌های تکتونیکی هر شاخص برای به دست آوردن شاخص IAT

زیر حوضه‌ها	مقادیر Smf	مقادیر AF	مقادیر VF	مقادیر SL	مقادیر S	مقادیر T	مقادیر Hi	شاخص Iat	نتایج فعالیت Iat
آب انار	۲	۲	۳	۳	۳	۲	۱	۲/۳	فعالیت تکتونیکی متوسط
آبهر پایین	۱	۲	۲	۳	---	۲	۳	۱/۸۵	فعالیت تکتونیکی بالا
آگرید	۱	۳	۲	۱	---	۲	۱	۱/۴۲	فعالیت تکتونیکی بسیار بالا
ارمو	۱	۳	۲	۲	---	۲	۳	۱/۸۵	فعالیت تکتونیکی بالا
بدره	۱	۳	۲	۳	---	۲	۳	۲	فعالیت تکتونیکی بالا
بازرگه	۱	۳	۲	۱	---	۲	۲	۱/۵۷	فعالیت تکتونیکی بالا
بیدک	۱	۱	۲	۲	---	۱	۱	۱/۱۴	فعالیت تکتونیکی بسیار بالا
چم کبود بالا	۲	---	۲	۱	---	۲	۳	۱/۴۲	فعالیت تکتونیکی بسیار بالا
چم کبود پایین	۲	۱	۲	۳	---	۲	۳	۱/۸۵	فعالیت تکتونیکی بالا
چینه	۱	۱	۳	۳	۱	۲	۳	۲	فعالیت تکتونیکی بالا
دره شهر	۲	۳	۲	۳	۱	۲	۲	۲/۱۴	فعالیت تکتونیکی متوسط
فدک	۱	۳	۱	۲	---	۲	۳	۱/۷۱	فعالیت تکتونیکی بالا
گرم آباد	۱	۳	۲	۳	---	۲	۱	۱/۷۱	فعالیت تکتونیکی بالا
گوراب	۱	۲	۲	۱	۱	۲	۳	۱/۷۱	فعالیت تکتونیکی بالا
کل سفید	۱	۲	۱	۱	---	۲	۳	۱/۷	فعالیت تکتونیکی بالا
کل هزاری	۱	---	---	۲	۲	۲	۱	۱/۴۲	فعالیت تکتونیکی بسیار بالا
ماژین	۱	۳	۱	۳	۱	۲	۲	۱/۸۵	فعالیت تکتونیکی بالا
کوشک	۲	۲	۱	۲	---	۲	۳	۱/۷۱	فعالیت تکتونیکی بالا
مهتابی	۱	۳	۲	۱	---	۲	۳	۱/۷۱	فعالیت تکتونیکی بالا
میمه	۲	۳	۳	۳	۳	۲	۳	۲/۷۱	فعالیت تکتونیکی ضعیف
نصرالله آباد	۱	۳	۳	۱	---	۲	۲	۱/۷۱	فعالیت تکتونیکی بالا
سراب آبدانان	۲	۳	۲	۳	۲	۲	۳	۲/۴۲	فعالیت تکتونیکی متوسط
سراب نقل	۲	۳	۲	۳	۳	۲	۳	۲/۵۷	فعالیت تکتونیکی ضعیف
سارکده	۱	---	۱	۲	---	۲	۳	۱/۲۸	فعالیت تکتونیکی بسیار بالا
شیخ مکان	۱	۳	۲	۲	۱	۲	۲	۱/۸۵	فعالیت تکتونیکی بالا
سیکان	۱	۳	۲	۲	۲	۲	۳	۲/۴۲	فعالیت تکتونیکی متوسط
تختان	۲	۱	۲	۱	۱	۲	۳	۱/۷۱	فعالیت تکتونیکی بالا
تاور کبود	۲	۳	۲	۳	---	۲	۱	۱/۸۵	فعالیت تکتونیکی بالا
زرانگوش	۱	۱	۲	۱	---	۲	---	۱	فعالیت تکتونیکی بسیار بالا
زید	۱	۲	۲	۱	---	۲	۳	۱/۵۷	فعالیت تکتونیکی بسیار بالا



شکل (شماره ۱۰)؛ نقشه حاصله از توزیع فعالیت تکتونیکی در محدوده مورد مطالعه بر اساس نتایج حاصل از شاخص IAT

بحث و نتیجه گیری

از تلفیق نتایج حاصل از مطالعات زمین‌شناسی صحرائی (بازدید میدانی) و شاخص‌های ژئومورفیک و مطالعه عکس‌های هوایی سال ۱۳۵۵ و تصاویر ماهواره‌ای (IRS)، نتایج زیر حاصل می‌شود؛ هر یک از شاخص‌های مورد بحث در این پژوهش یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت‌های تکتونیکی را ارائه می‌دهند که برای مطالعات شناسایی و بررسی مقدماتی مفید می‌باشد. وقتی چندین شاخص در مطالعه یک ناحیه خاص برای طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل فعالیت تکتونیکی به کار برده می‌شوند، نسبت به به کارگیری یک شاخص، نتایج بامعنا تر و مستدل تری را در بر خواهد داشت. در این تحقیق برای اطمینان از صحت عدد کمی به دست آمده از این شاخص‌ها، نتایج هر شاخص توسط شاخص (Iat) و شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال مورد ارزیابی قرار گرفته است. این مفهوم برای برآورد میزان فعالیت تکتونیک حوضه‌ی آبخیز تاقدیس کبیرکوه واقع در غرب کشور ایران، از چین‌خوردگی‌های زاگرس غربی بکار برده شده است. حوضه‌ی مورد بررسی که در استان ایلام واقع شده است جزء سیستم چین‌خورده زاگرس خارجی می‌باشد، که به نظر می‌رسد از نظر فعالیت، با توجه به جوان بودن سیستم چین‌خوردگی و همچنین به علت قرار گرفتن در محل فشارش صفحه عربستان از فعالیت بالایی برخوردار باشد. برای بررسی همه‌جانبه‌ی حوضه، شاخص‌ها به دودسته کمیت‌های توپوگرافی، smf ، vf ، Hi و شاخص‌های حوضه زهکش S ، T ، Af ، SI برای بررسی رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. مقادیر به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک و طبقه‌بندی میزان آن‌ها در (جدول شماره ۸) نشان دهنده‌ی فعالیت تکتونیک بسیار بالاتر حوضه‌های (آگریید، بیدک، چم کبود بالا، کل هزاری، سارکده، زرانگوش، زید) به صورت بالآمدگی شدید، در حوضه‌های (آب انار، آبه‌ر پایین، ارمو، بدره، بانزرگه، چم کبود پایین، چینه، دره شهر، فدک، گرم آباد، گوراب، کل سفید، ماژین، کوشک، مهتابی، نصرالله آباد، سراب آبدانان، شیخ مکان، سیکان، تختان، تاور کبود) میزان فعالیت بالا تا متوسط و فقط در زیر حوضه‌های (میمه، سراب نقل) میزان این فعالیت ضعیف می‌باشد. همان‌طور که در نتایج به دست آمده مشهود است تاقدیس کبیرکوه تحت تأثیر بادهای باران‌آور غربی و تغییرات دمایی بالا، بسیار فرسایش یافته و به صورت یک توپوگرافی فرسوده و پیر از میان سلسله جبال زاگرس میانی سر برافراشته است. و از طرفی شیب نسبتاً بالا در این تاقدیس و همچنین لیتولوژی و سازندهای با مقاومت متفاوت باعث شده تا بکرترین و چشم‌نوازترین اشکال ژئومورفولوژی در آن شکل گیرد. که از جمله این اشکال دره‌های عمیق (روز) می‌باشند که در هر دو دامنه شمالی و جنوبی این تاقدیس چشم هر بیننده‌ای را به خود خیره می‌کنند. این حوضه از سه واحد ژئومورفولوژیکی کوهستان، تپه‌ماهور و دشت در مقیاس کوچک تشکیل شده است. این سه واحد نه تنها در رفتار هیدرولوژیکی و فرایندهای هیدروژئومورفیک حوضه تأثیر گذاشته‌اند، خود نیز متأثر از فرایندهای هیدروژئومورفیک بوده و هستند. علاوه بر این عوامل عواملی همچون مورفوتکتونیک، مورفوکلیماتیک، آنتروپوژنیک و فیزیوگرافیک نیز نقش قاطعی در ایجاد اشکال در فرایندها و فرم‌های هیدروژئومورفیک داشته‌اند. فعالیت تکتونیک با توجه به مقادیر کمی به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک، توسط شواهد ژئومورفولوژیکی همچون تغییرات شدید در نیمرخ طولی رودخانه‌ها، دیواره قائم مسلط به دره‌ها، تنگه‌ها و گپ‌ها، عدم تقارن شبکه زهکشی، سطوح مثلثی و اتویی شکل، V شکل بودن دره‌ها، شیب تند، زمین لغزش‌ها و زمین لرزه‌ها تأیید می‌گردد. که بر همین اساس فعالیت تکتونیک با توجه به دیواره‌های مضرس، کوهستان با پیشانی مستقیم و بدون پیشانی، و همچنین گزارش ثبت بالغ بر ۱۵۰۰ زمین لرزه در سال ۱۳۹۳ سازمان ژئوفیزیک دانشگاه تهران، نه تنها نقش به سزایی در شکل‌زایی و ایجاد لند فرم‌ها داشته بلکه عامل اصلی ایجاد لند فرم در این تاقدیس است که فرایندهای بعدی همچون جریان آب، باد، درجه حرارت و دخالت انسان موجب تکامل و تغییر این اشکال شده است که با توجه به آب‌وهوای منطقه و جنس سازندها و فرسودگی تاقدیس کبیرکوه به نظر می‌رسد عمل فرسایش سریع‌تر از میزان بالآمدگی در منطقه عمل کند. و در پایان، فرایندهای ذکر شده و لند فرم‌های زایشی آن‌ها یک سری پتانسیل‌ها، تنگناها و خطرات احتمالی بالقوه در حوضه‌ی کبیرکوه ایجاد کرده است. از جمله تنگناها، ریزش‌ها، رخداد سیل، ایجاد یک محور

کوهستانی به طول ۱۶۰ کیلومتر و ایجاد مشکل ارتباطی و همچنین زمین‌لغزش‌ها در مقیاس وسیع همانند زمین‌لغزش بزرگ کبیرکوه را ایجاد کرده است. از طرفی فرآیندهای رودخانه‌ای و ایجاد رسوبات و دشت‌های حاصلخیز همانند رودخانه سیمره، و رودخانه‌های پرآب و سدهای مخزنی، دریاچه‌های دوقلو، جنگل‌های بلوط و رسوبات شن و ماسه از پتانسیل‌های این محدوده می‌باشد. از طرفی بنا بر گفته ابرلندر شرایط پالئو هیدرومورفوتکتونیک که از اعمال مشترک بین عوامل تکتونیک و هیدرومورفیک است، در شکل‌زایی دیرینه لندفرم‌ها مانند، کلوزها، گپ‌ها، و دره‌های عرضی که محصول مشترک آب‌های جاری (آنتسدانت-پیشینه رود) و بالآمدگی فرود محوری تاقدیس‌ها هستند مؤثر بوده است. در شکل (شماره ۱۰) با استناد به نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ محدوده‌ی مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که علت فعالیت تکتونیک متفاوت در زیر حوضه‌های تاقدیس کبیرکوه به این صورت است، که در زیر حوضه‌هایی که در مرحله جوانی به سر می‌برند در کلاس یک و دو و بسیار فعال و فعال هستند و بارنگ قرمز و زرد نشان داده شده‌اند، اما در زیر حوضه‌هایی که در مرحله بلوغ به سر می‌برند در کلاس سه و با فعالیت متوسط که بارنگ آبی نشان داده شده‌اند و در این تاقدیس فقط دو زیر حوضه‌ی سراب نقل و میمه دارای فعالیت تکتونیک ضعیف می‌باشند که آن‌هم می‌تواند دلایل مختلفی از جمله گذر از مرحله بلوغ این زیر حوضه‌ها، تأثیر بیشتر فرسایش در این زیر حوضه‌ها و همچنین جنس سازندهایی که در این زیر حوضه‌ها وجود دارد، باشد.

منابع

- ابرلندر، تئودور (۱۹۶۵). رودخانه‌های زاگرس از دیدگاه ژئومورفولوژی، ترجمه معصومه رجبی، احمد عباس نژاد، (۱۳۷۸). انتشارات دانشگاه تبریز
- بهرامی، شهرام، (۱۳۸۹). ارزیابی شواهد ژئومورفیک تکتونیک فعال در تاقدیس گلیان، انتشارات پنجمین همایش ملی زمین‌شناسی و محیط‌زیست ص ۱
- پاینده، زینب (۱۳۹۰). بررسی تکتونیک فعال منطقه شمال غرب تاقدیس کبیرکوه با استفاده از برآورد شاخص‌های مورفومتریک در زاگرس چین‌خورده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه طبهرستان چالوس
- جباری، ندا، (۱۳۹۱). مطالعه مورفوتکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز حصارک (شمال غرب تهران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی
- خسروی، قاسم، (۱۳۸۹). بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس، رساله دکتری دانشگاه اصفهان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۴
- حبیب‌اللهیان، حامد (۱۳۹۱). کاربرد شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنبا در برآورد وضعیت تکتونیک بخش علیای زاینده‌رود، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۶
- دریکوند، سمیه؛ یساقی، علی (۱۳۹۱). تحلیل ساختاری تاقدیس‌های زنگول و پشت جنگل در شمال غرب پهنه لرستان، زاگرس پین‌خورده رانده، نشریه دانشگاه تربیت‌معلم، جلد ۱۰، شماره ۲
- سازمان جغرافیایی وزارت دفاع، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه
- سازمان زمین‌شناسی کل کشور، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه
- سلیمانی، شهریار (۱۳۷۸). رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
- عبادیان، سارا، و علوی، سید احمد (۱۳۷۹). تحلیل ساختاری و زمین‌ساختی طاقدیس سبز پوشان بر اساس آنالیز مورفوتکتونیک منطقه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی
- غلامی‌نیا، حکیمه و همکاران، (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی و مورفوتکتونیک تاقدیس گچ، مقاله مجله پژوهش‌های علوم زمین
- کرم پور، امین، و رضایی، زهره، (۱۳۸۷). مورفوتکتونیک تاقدیس گدوان (شمال شرق شیراز)، گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شمار ۱

- کرم پور، امین، و رضایی، زهره، (۱۳۸۷). مورفوتکتونیک تاقدیس گدوان (شمال شرق شیراز)، گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۱
- گورابی، ابوالقاسم و همکاران (۱۳۸۴)، بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰ رساله دکتری دانشگاه تهران
- مقصودی، مهرا و محمد نژاد آروق (۱۳۹۰). چاپ اول، ژئومورفولوژی مخروطه افکنه ها، انتشارات تهران. ص ۱۴۰-۱۳۰
- نریمانی، حسین، و همکاران (۱۳۸۸). تحلیل ساختاری الگوی چین‌خوردگی تاقدیس میش در زاگرس چین خوره - رانده، فصلنامه زمین‌شناسی، سال چهارم، شماره ۱۵
- نیک پور، نورالله (۱۳۹۳). بررسی ژئومورفولوژی (مورفوتکتونیک) بخش میانی تاقدیس کبیرکوه استان ایلام، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی.
- Adams, K.D., Wesnousky, S.G., and Bills, B.G., 1999, *Isostatic rebound, active faulting, and potential geomorphic effects in the Lake Lahontan basin, Nevada and California.*
- Altin, T.b and Altin, B.N., (2011), *Development and morphometry of drainage network in volcanic terrain, Central Anatolia, Turkey. Geomorphology, Vol. 125, pp. 485-503*
- Bahrami, sh., (2013), *Analyzing the drainage system anomaly of Zagros basins: Implications for active tectonics, To appear in: Tectonophysics, Reference: TECTO 125988, pp. 1-48*
- Bahrami, sh., (2013), *Analyzing the drainage system anomaly of Zagros basins: Implications for active tectonics, To appear in: Tectonophysics, Reference: TECTO 125988, pp. 1-48*
- Cox R.T (1994). *Analysis of drainage basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible quaternary tilt block tectonics: an example from the Mississippi embayment. Geol. Soc. Am. Bull. 106, 571-581.*
- Dehbozorgi, M., & others, 2010., *Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. Journal Geomorphology Elsevier.*
- Demoulin, A., (2011), *Basin and river profile morphometry: A new index with a high potential for relative dating of tectonic uplift, Geomorphology 126 (2011) 97-107*
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., Keller, E.A., 2007. *Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). Geomorphology Vol. 96, PP. 150-173.*
- Guarnieri, P., Pirrotta, C., (2008), *The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily), Geomorphology, 95, 260-273.*
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002. *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape (2nd Ed). Prentice Hall, New Jersey*
- Oberlander, T.M. (1968) *The origin of the Zagros defiles. In: The Cambridge History of Iran 1: The Land of Iran (Ed. by W.B. Fisher), pp. 195-198. Cambridge University Press, Cambridge.*
- Piraste, S., Pradhan, B., Rizvi, S.M., (2011). *Tectonic process analysis in Zagros Mountain with the aid of drainage networks and topography maps dated 1950-2001 in GIS. Arabian Journal of Geoscience, 4(1-2), 171-180.*
- Ramsey, L.A., Walker, R.T., Jackson, J., (2008). *Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SE Iran. Basin Research 20, 23-48.*
- Ribolini Adriano, Spagnolo, Matteo (2008) *Drainage network geometry versus tectonics in the Argentera Massif (French-Italian Alps), Geomorphology 93 (2008) 253-266, Available online at www.sciencedirect.com*