

ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک

(مطالعه موردی: شمال غرب تاق‌دیس کبیر کوه)

زینب پاینده* - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه طبرستان چالوس
محمد رضا ثروتی - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی
فاطمه شفیع - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی - دانشگاه طبرستان چالوس

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۱۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۱/۲۴

چکیده

تاق‌دیس کبیر کوه یکی از مهم‌ترین ارتفاعات زاگرس چین‌خورده بوده و بررسی سابقه لرزه‌خیزی و همچنین شواهد ژئومورفولوژیکی حاکی از ادامه حرکات نوزمین‌ساخت در این منطقه می‌باشد. با توجه به واقع شدن منطقه در زون زاگرس به‌عنوان لرزه‌خیزترین زون ساختمانی کشور و ادامه حرکات زمین‌ساختی در آن، ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی جهت شناخت این نوع فعالیت‌ها در منطقه ضروری می‌باشد. هدف از این پژوهش ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی تاق‌دیس کبیر کوه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک می‌باشد. در این راستا از شاخص‌های ژئومورفیک، انتگرال هیپسومتریک (Hi)، شاخص منحنی هیپسومتریک (Hc)، شاخص سینوسیت جبهه کوهستان (Smf)، شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق (Vf)، شاخص گرادیان طولی رودخانه (SI)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af) و شاخص واحد (Iat) استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از لحاظ فعالیت نوزمین‌ساخت به سه بخش جنوب شرقی با فعالیت نوزمین‌ساخت شدید، دامنه غربی و قسمت‌هایی از دامنه شرقی با فعالیت نوزمین‌ساختی متوسط و بخش سوم که در منطقه پراکندگی دارد، با فعالیت نوزمین‌ساختی کم تقسیم می‌شود. مقادیر شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی حاکی از فعال بودن حرکات نوزمین‌ساختی در بخش‌های از منطقه است. تنوع لیتولوژیکی، وقوع زمین‌لغزش‌ها و دره‌های کارستی بر میزان کمی شاخص‌های ژئومورفیک مؤثر بوده و در نهایت می‌توان گفت که حرکات نوزمین‌ساختی در قسمت‌های مختلف منطقه دارای شدت و ضعف بوده و در کل منطقه دارای حرکات نوزمین‌ساخت متوسط می‌باشد.

واژگان کلیدی: نوزمین‌ساخت، شاخص‌های ژئومورفیک، استان ایلام، تاق‌دیس کبیر کوه.

مقدمه

در علوم زمین واژه تکتونیک اشاره به ساختمان‌های تغییر شکل یافته و معماری خارجی‌ترین بخش زمین یعنی پوسته زمین و ارزیابی این عوارض و ساخت‌ها در طول زمان زمین‌شناسی دارد (سلیمانی، ۱۳۸۷، ص ۴). تکتونیک ژئومورفولوژی به مطالعه لندفرم‌های که تحت تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی شکل گرفته و تحول یافته‌اند، می‌پردازد. لندفرم‌ها در نواحی با زمین‌ساخت فعال، حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تأثیر حرکات عمودی و افقی مربوط به بلوک‌های پوسته و فرسایش یا رسوب‌گذاری توسط فرآیندهای سطحی می‌باشند (ایوانیس ۱ و همکاران ۲۰۰۶، ص ۲۱۱). نو زمین‌ساخت یک فاکتور مهم در کنترل و توسعه لندفرم‌ها در نواحی فعال تکتونیک است. جهت برآورد فعالیت‌های نوزمین‌ساختی یک منطقه روش‌های مختلفی وجود دارد که در این میان شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی به دلیل سادگی نسبی روش محاسبه، سرعت عمل بالا در به‌کارگیری آن‌ها، استخراج داده‌های مورد نیاز از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای و نتایج مطلوب از اهمیت زیادی برخوردار هستند. زاگرس از نظر فعالیت‌های نوزمین‌ساختی فعال بوده و بر اساس مطالعه میرزایی (۱۹۹۷) بیش از ۵۰٪ زلزله‌های ثبت شده در ایران در زون زاگرس رخ داده و زاگرس لرزه‌خیزترین زون ساختمانی ایران است. باچمانوف ۲، (۲۰۰۳، ۲۲۴) معتقد است که عامل اصلی شرایط نو زمین‌ساخت فعال در زاگرس شمال غربی ارتباط تراستهای پنهان و چین‌ها می‌باشد. حسامی و همکاران (۲۰۰۶) میزان کوتاه شدگی زاگرس شمال غربی را ۳ تا ۵ میلی‌متر در سال تخمین زده‌اند. منطقه مورد مطالعه از نظر ساختمانی ساده و در زون چین‌های برگشته زاگرس چین‌خورده واقع شده است. بررسی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در زاگرس با توجه به لرزه‌خیز و فعال بودن آن یک امر حیاتی جهت شناخت وضعیت نوزمین‌ساختی در هر منطقه در این زون می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در زمینه برنامه‌ریزی‌های عمرانی و کاهش خطرات ناشی از فعال بودن نو زمین‌ساخت منطقه مفید باشد. هدف از این پژوهش ارزیابی و شناخت فعالیت‌های نوزمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در تقادیس کبیرکوه می‌باشد. پژوهش‌های زیادی در زمینه‌ی ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در سطح جهان، ایران و زاگرس انجام گرفته که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

بول ۳ (۱۹۸۴)، راک وال و همکاران (۱۹۸۵)، کلر ۴ و همکاران (۱۹۹۶)، لی و همکاران (۱۹۹۹) ۵، مالیک ۶ و همکاران (۲۰۰۶)، رامیز و هرار (۱۹۹۸)، همدونی و همکاران (۲۰۰۰) ۷، مولین و همکاران (۲۰۰۲) ۸، کلر و همکاران (۲۰۰۲) ۹، چن و همکاران (۲۰۰۳) ۱۰، دلکایلو و همکاران (۲۰۰۶) ۱۱، همدونی و همکاران (۲۰۰۸)، که در نقاط مختلف دنیا شاخص‌های ژئومورفیک را برای ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی بکار برده و نتایج حاکی از کارایی مطلوب این شاخص‌ها می‌باشد. مددی و همکاران (۱۳۸۳)، مختاری (۱۳۸۵)، گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶)، رادفرد و همکاران (۱۳۸۴)، یمانی و مقصودی (۱۳۸۲)، مقصودی و کامرانی (۱۳۸۷) شاخص‌های ژئومورفیک را در مناطق مختلف ایران بکار گرفته و نتایج حاکی از کارایی مطلوب این شاخص‌ها در ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی می‌باشد. زرگزاده و همکاران (۱۳۸۵)، باقری (۱۳۸۸)،

1 - Ioannis et al 2006

2 - Bachmanov, 2003

3 - Bull, 1984

4 - Keller et al, 1996

5 - Li et al, 1999

6 - Malik et al, 2006

7 - Hamdovni et al, 2000

8 - Molin et al

9 - Keller et al, 2002

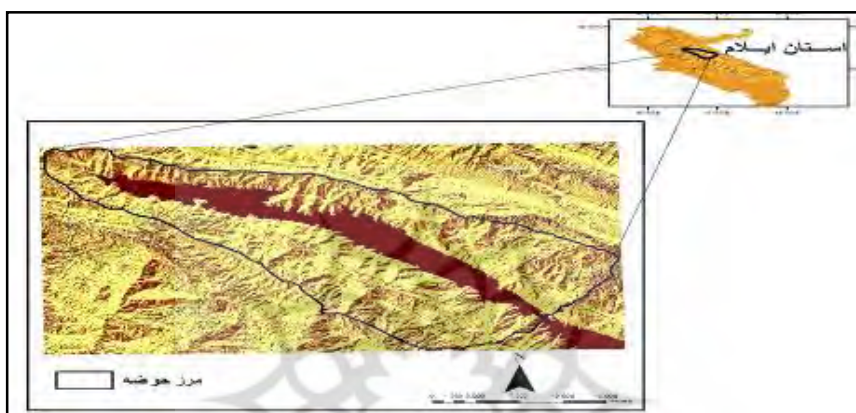
10 - Chn et al

11 - Dlkilo et al, 2000

یمانی و همکاران (۱۳۸۹)، مقصودی و همکاران (۱۳۹۰) در منطقه زاگرس به ارزیابی نو زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومرفیک پرداختند و نتایج حاکی از فعال بودن نو زمین‌ساخت منطقه و کارایی مطلوب شاخص‌ها می‌باشد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

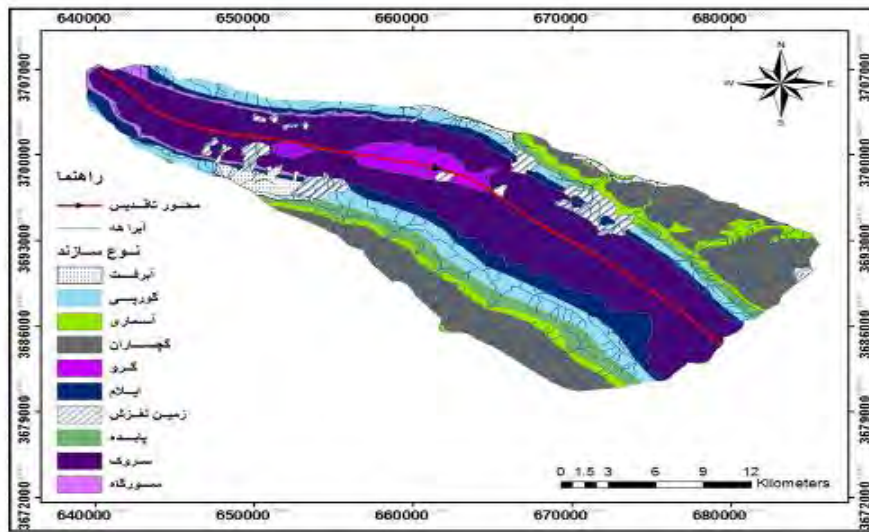
تاقدیس کبیرکوه با روند شمالغرب - جنوب شرق با طول تقریبی ۱۶۰ کیلومتر، در حدفاصل دو استان ایلام و لرستان واقع شده است. منطقه مورد مطالعه بخش شمالغرب تاقدیس کبیرکوه به وسعت ۵۶۰ کیلومتر و با مختصات جغرافیایی $10''$ تا $15' 33''$ تا $29' 49'' 33''$ عرض شمالی و $30' 46''$ تا $38' 59'' 46''$ طول شرقی، از جنوب شهر ایلام (ارکواز ملکشاهی) تا شهرک ولیعصر امتداد دارد (شکل ۱). بالاترین ارتفاع منطقه منطبق بر قله کان صیفی با ارتفاع ۲۸۲۵ متر از سطح دریا است.



تسکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه شمالغرب تاقدیس کبیرکوه بر روی نقشه استان ایلام

زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی تاقدیس مورد مطالعه

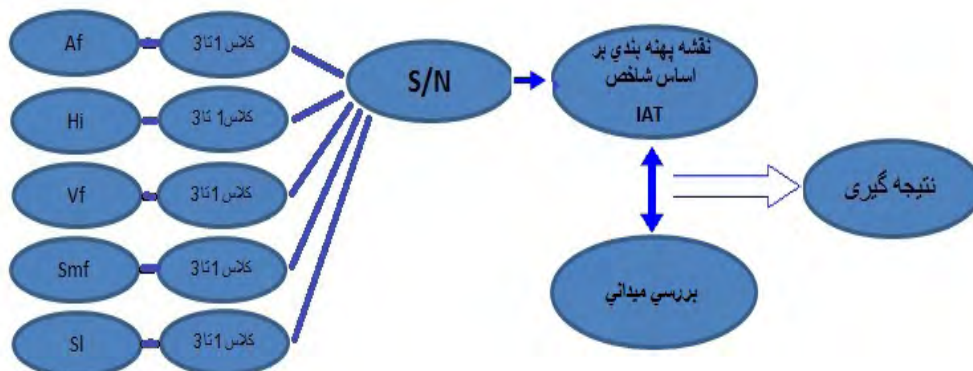
تاقدیس کبیرکوه از نوع تاقدیس‌های پشت‌نهنگی و دارای پلانچ به سمت شمال غرب بوده و توسط سازکار خمش - لغزش و سطح - خنثی شکل گرفته است. از نظر چینه‌شناسی در تاقدیس مورد مطالعه رخنمون‌هایی از سنگ‌های کرتاسه بالایی تا کواترنری دیده می‌شود که از قدیم به جدید عبارت‌اند از: گرو، سروک، سورگاه، ایلام، گورپی، پابده، آسماری، گچساران و نهشته‌های کواترنری شامل پادگانه جدید و قدیم و مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید می‌باشد (شکل ۲). سازندهای گرو، سروک، ایلام و آسماری از جنس آهک بامیان لایه‌های رسی، ماری و شیلی تشکیل شده، جزء سازندهای مقاوم به فرسایش می‌باشند. سازند سورگاه از شیلهای پیریت دار و آهک نازک لایه، سازند ایلام آهکی و بامیان لایه‌های شیلی و رسی و سازندهای گورپی، پابده و گچساران ماری و شیلی بوده و جزء سازندهای نرم فرسا می‌باشند. بیشتر مساحت تاقدیس توسط سازند سروک پوشانده شده و سایر سازندها به صورت نواری در حواشی تاقدیس رخنمون دارند. گسل اصلی و تأثیرگذاری در تاقدیس مورد مطالعه وجود ندارد. از نظر ژئومورفولوژی دامنه شمالی و تا حدودی جنوبی به صورت دیواره‌های مرتفع و بسیار پرشیب می‌باشند و این امر منجر به وقوع زمین‌لغزش‌های در دامنه‌های تاقدیس شده است. از دیگر لندفرم‌ها می‌توان به اشکال کارستی، دره‌های کارستی، تالوس، سطوح مثلثی شکل، پادگانه‌های رودخانه‌ای و مخروط افکنه‌های دامنه جنوبی اشاره کرد.



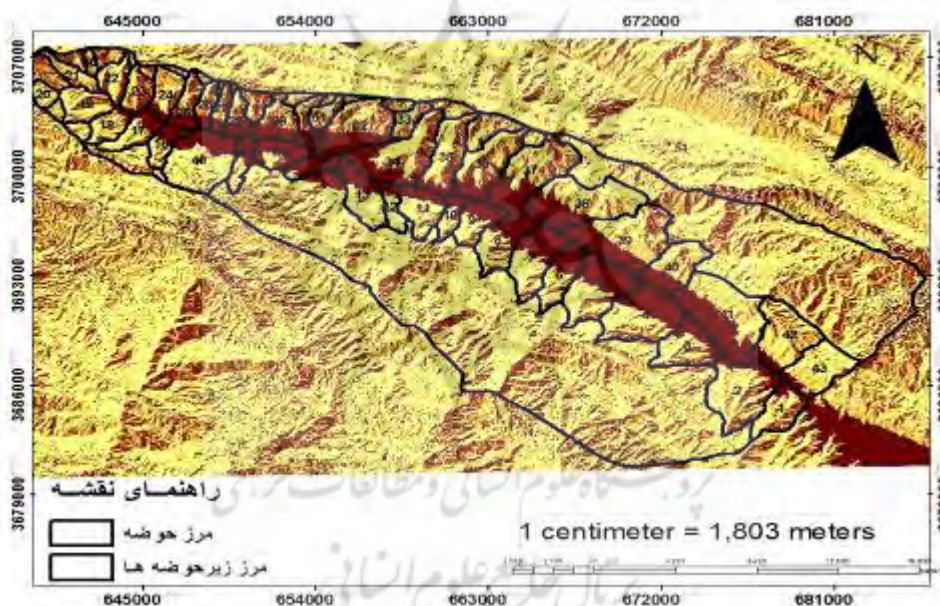
شکل ۲: نقشه زمین شناسی تاقدیس مورد مطالعه

مواد و روش ها

به منظور ارزیابی فعالیت نو زمین ساخت منطقه با استفاده از نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، موقعیت تاقدیس مورد نظر مشخص گردید. در این پژوهش از مقادیر کمی به دست آمده از شاخص های ژئومورفیک (H_c , S_{mf} , V_f , H_i , S_L , A_f) و بررسی های میدانی لندفرم های ژئومورفولوژیکی متأثر از نو زمین ساخت استفاده شده است (شکل ۳). نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، عکس های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ سال ۱۳۳۵، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر سنجنده IRS منطقه به عنوان ابزار اصلی تحقیق در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. از نرم افزارهای ENVI 4.3 و به منظور مشاهده و تفسیر بصری پدیده های ژئومورفولوژیکی منطقه بر روی تصاویر ماهواره ای منطقه، استفاده گردید. سپس به منظور بالا رفتن دقت محاسبات، منطقه به ۴۶ زیر حوضه تقسیم شد و شاخص های مورد بررسی برای هر کدام از زیر حوضه ها به طور جداگانه محاسبه شد (شکل ۴). پس از انتقال لایه های اطلاعاتی حاصل از رقومی سازی نقشه های توپوگرافی منطقه، به سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ویژگی های مورفومتری لندفرم های توپوگرافی، جبهه کوهستان و شبکه زهکشی منطقه به طور دقیق محاسبه شد. جهت ترسیم منحنی هیپسومتریک (H_i)، پس از استخراج داده های مورد نیاز از لایه ارتفاعی Dem، با استفاده از نرم افزار MATLAB، منحنی های هیپسومتریک زیر حوضه ها ترسیم گردید. سپس با استفاده از شاخص IAT و داده های کمی به دست آمده از شاخص های ژئومورفیک میزان فعالیت نوزمین ساختی منطقه تعیین و در آخر نتایج حاصل از داده های ژئومورفیک با شواهد ژئومورفولوژیکی مقایسه گردید. در این میان نقش عامل لیتولوژی و ژئومورفولوژیکی در تحلیل نتایج به دست آمده مدنظر قرار داده شد تا نتایج به دست آمده منعکس کننده ی واقعیت های موجود باشد.



شکل ۳: الگوریتم طرح پژوهش



شکل ۴: تقسیمات زیر حوضه‌های منطقه شمالغرب تافدیس کبیرکوه جهت برآورد شاخص‌های مورفومتری

یافته‌های تحقیق

شاخص گرادیان رودخانه (SL)

این شاخص ابتدا به وسیله (هاک، ۱۹۷۳) در مطالعه نقش مقاومت سنگ‌ها بر جریان آب‌ها در کوه‌های آپالاش در جنوب شرقی آمریکا به صورت رابطه زیر تعریف شده است:

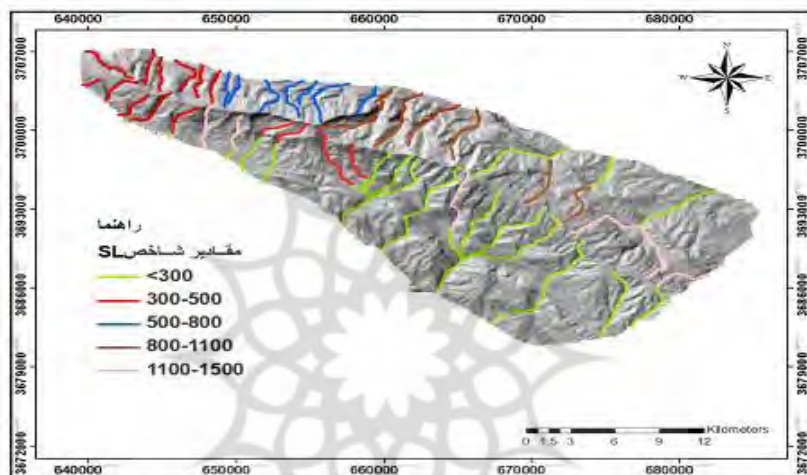
$$SI = (\Delta H / \Delta L) L$$

شاخص گرادیان رودخانه SI:

رود محلی گرادیان $\Delta H / \Delta L$:

L: طول کانال رودخانه از خط تقسیم آبراهه تا مرکز بخشی که گرادیان آن محاسبه شده است.

مقادیر عددی شاخص گرادیان رودخانه زمانی که سنگ‌های بستر رودخانه مقاوم باشند و یا در مناطقی که حرکات تکتونیکی فعال در تغییر شکل قائم پوسته زمین مؤثر باشد، زیاد می‌باشد. بر این اساس مقادیر بالای SL در سنگ‌های دارای مقاومت کم و یا در سنگ‌های از لحاظ مقاومتی یکسان هستند، می‌تواند بیانگر حرکات تکتونیکی فعال و جوان باشد. در تاق‌دیس مورد مطالعه با استفاده از طبقه‌بندی (ال همدونی و همکاران، ۲۰۰۷) شاخص SL به سه کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۵). کلاس یک ($SL > 500$) دارای حرکات نوزمین ساختی شدید، کلاس دو ($300 < SL < 500$) دارای حرکات نوزمین ساختی متوسط و کلاس سه ($SL < 300$) با حرکات نوزمین ساختی کم. در منطقه مورد مطالعه کمترین میزان شاخص SL برابر با ۵ در زیر حوضه‌های ۲، ۲۶ و ۴۱ و بیشترین آن به میزان ۱۴۱۶ در زیر حوضه ۴ می‌باشد. بر اساس مقادیر به دست آمده از این شاخص دامنه خوب شرقی تاق‌دیس دارای فعالیت کم نوزمین ساختی می‌باشد و سایر قسمت‌ها دارای فعالیت متوسط و شدید می‌باشند.



شکل ۵: شاخص SL محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه

منحنی هیپسومتریک و انتگرال هیپسومتریک

منحنی هیپسومتریک توزیع ارتفاعات در راستای عمود بر یک ناحیه از زمین مثلاً حوضه زهکشی را توصیف می‌کند. این منحنی با پیاده نمودن نسبت ارتفاع کل حوضه (ارتفاع نسبی) در مقابل نسبت مساحت کل حوضه (مساحت نسبی) ترسیم می‌گردد، منحنی‌های هیپسومتریک یک حوضه زهکشی به عنوان ابزاری جهت دست یافتن به مراحل توسعه ژئومورفیک ناشی از فرایندهای هم‌زمان زمین‌ساخت و برهنه سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند (شوتبرو همکاران، ۲۰۰۷). انتگرال هیپسومتری نتایج حاصل از مورفولوژی یک حوضه زهکشی را به صورت خلاصه و با یک مقدار واحد (استرالر، ۱۹۵۲) و بر اساس شکل و میزان تحدب و تعقر منحنی هیپسومتریک به سه کلاس تقسیم می‌شود. مقادیر عددی بزرگ‌تر ($Hi > 0/5$) بیانگر توپوگرافی جوان، مقادیر عددی متوسط ($0/4 < Hi < 0/5$) بیانگر توپوگرافی بالغ و مقادیر عددی کم ($Hi < 0/4$) بیانگر توپوگرافی پیر می‌باشد. این انتگرال را می‌توان به سادگی از رابطه زیر محاسبه کرد (پیک و ویلسون، ۱۹۷۱؛ مایر، ۱۹۹۰).

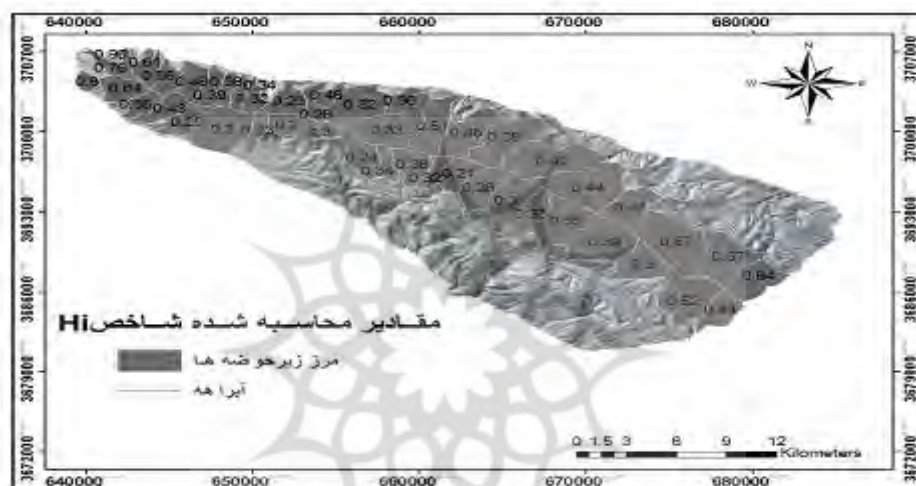
$$H_{mean} - H_{min} / H_{max} - H_{min}$$

در این رابطه: H_{mean} : ارتفاع متوسط حوضه؛ H_{max} : بیشترین ارتفاع حوضه؛ H_{min} : کمترین ارتفاع حوضه است. بر اساس منحنی‌های هیپسومتریک ترسیم شده درصد بالایی از مساحت حوضه دارای توپوگرافی پیر و بالغ است و تنها در چند زیر حوضه توپوگرافی جوان مشاهده شد. منحنی هیپسومتریک سه زیر حوضه به عنوان نمونه مراحل توسعه و تکامل فرایندهای فرسایشی حوضه (جوانی، بلوغ و پیری) ارائه شده است (شکل ۶). مقادیر به دست آمده انتگرال هیپسومتریک بین ۰/۲ تا ۰/۹۶ می‌باشد (شکل ۷) که نشان دهنده وجود هر سه کلاس تکتونیکی در حوضه است که البته بیشتر مقادیر

کمتر از ۰/۵ است و بیانگر توپوگرافی پیر و بالغ منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در این میان نقش حرکات توده‌ای و فرسایش آبی بخصوص دره‌های کارستی در کم بودن میزان این شاخص کاملاً مشهود است.



شکل ۶: منحنی هیپسومتریک زیر حوضه‌های مورد مطالعه



شکل ۷: میزان شاخص منحنی هیپسومتریک و انترگرال هیپسومتریک در تاق‌دیس مورد مطالعه

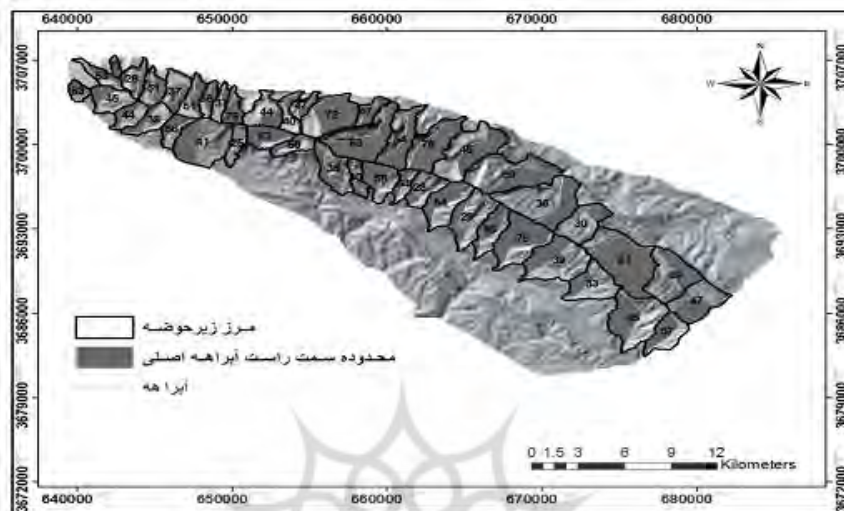
شاخص عدم تقارن آبراهه (Af) روش‌گاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
 شاخص عدم تقارن آبراهه می‌تواند کج شدگی ناشی از تکنیک را در مقیاس یک حوضه و یا یک ناحیه وسیع را نشان دهد (هیروگاردنر، ۱۹۸۵، کلر و پیتتر، ۲۰۰۲). این شاخص به صورت زیر تعریف شده است:

$$Af = 100 \times \frac{Ar}{At}$$

Af: شاخص عدم تقارن رودخانه ؛ **Ar**: مساحت حوضه دربرگیرنده زهکش‌های فرعی در ساحل راست آبراهه اصلی (برحسب کیلومتر مربع) ؛ **At**: مساحت کل حوضه (کیلومتر مربع)

مقادیر عددی بیشتر و یا کمتر از ۵۰ این شاخص بیانگر وجود کج شدگی حوضه بر اثر عملکرد فرسایش در ساحل راست یا چپ آبراهه اصلی و یا ناشی از کنترل نوع سنگ بر فرسایش تفریقی بوده و هرگاه این مقادیر در حدود ۵۰ باشد بیانگر وجود تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و در نتیجه عدم وجود کج شدگی ناشی از تأثیر فعالیت زمین‌ساختی می‌باشد. در بین زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه زیر حوضه شماره ۴۴ با عدد شاخص ۲۵ و زیر حوضه شماره ۱۵ با عدد شاخص ۸۳ به ترتیب بالاترین عدم تقارن را نشان می‌دهند (شکل ۸). مقادیر شاخص عدم تقارن آبراهه در سه گروه دسته‌بندی می‌شوند بر اساس تقسیم‌بندی (ال همدونی و همکاران، ۲۰۰۷) حوضه‌های با میزان $Af \geq 65$ یا ۳۵ $Af <$ در کلاس ۱ که حاکی از فعالیت‌های بالای نوزمین‌ساختی می‌باشد. در کلاس ۲ مقدار شاخص $43 > Af \geq 35$ یا $65 \leq Af < 57$ و نشان‌دهنده فعالیت متوسط نوزمین‌ساختی و کلاس ۳ که میزان شاخص $43 \geq Af > 57$ و

نشان دهنده فعالیت نو زمین ساختی کم می باشد. ۱۳ زیر حوضه در کلاس (۱)، ۱۶ زیر حوضه در کلاس (۲) و ۱۷ زیر حوضه در کلاس (۳) واقع شده اند. عامل اصلی آنومالی این شاخص را می توان شدت و ضعف فعالیت های نوزمین ساختی در قسمت های مختلف تاقدیس و همچنین عامل لیتولوژی دانست. در نهایت بر اساس این شاخص می توان گفت که منطقه دارای حرکات نوزمین ساختی متوسط می باشد.



شکل ۸: میزان شاخص Af در تاقدیس مورد مطالعه

شاخص نسبت پهنای دره به عمق (Vf)

این شاخص به صورت زیر تعریف شده است (بول، ۱۹۷۸).

$$vf = 2 \times \frac{vfm}{[(E_{1d} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]}$$

V_{fd} : عرض بستر دره؛ E_{1d} : ارتفاع دیواره سمت چپ دره؛ E_{rd} : ارتفاع دیواره سمت راست دره؛ E_{sc} : ارتفاع بستر دره. در یک سنگ یکسان، شکل دره ها در مناطق فعال و غیرفعال نوزمین ساختی دارای تفاوت زیادی است. در مناطق فعال به دلیل بالا رفتن شیب و پایین رفتن سریع، بستر دره ها عموماً باریک بوده و نسبت عمق به پهنای دره ها بیشتر از مناطق با فعالیت کم و یا غیرفعال است. دره های U شکل دارای مقادیر بالا و دره های V شکل دارای مقادیر پایین شاخص Vf هستند. نوع سنگ بستر نیز در شکل دره دارای نقش اساسی است. بر این اساس مقادیر شاخص Vf با توجه به اندازه حوضه و نیز دبی رود یا دره و نوع سنگ متفاوت می باشد. شاخص Vf معمولاً در یک فاصله معین از جبهه کوهستانی اندازه گیری می شود که معمولاً بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و با لحاظ کردن اندازه و وسعت حوضه در نظر گرفته می شود (ال همدونی و همکاران، ۲۰۰۷). مقادیر شاخص Vf به سه کلاس تقسیم می شوند:

$$\text{کلاس ۱: } (Vf < 0.5), \text{ کلاس ۲: } (0.5 \leq Vf < 1), \text{ کلاس ۳: } (Vf > 1)$$

میزان این شاخص بین ۰.۱۳ تا ۰.۸۶ در منطقه نوسان دارد که میزان این اختلاف را می توان به لیتولوژی متفاوت دره ها نسبت داد. در نهایت بر اساس این شاخص ۱۳ دره در کلاس (۱)، و ۱۳ دره در کلاس (۲) قرار دارند که حاکی از فعالیت نوزمین ساختی متوسط در منطقه است (شکل ۹).



شکل ۹: مقادیر شاخص Vaf در منطقه مورد مطالعه و محل اندازه‌گیری دره‌ها

شاخص سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)

این شاخص به صورت زیر تعریف می‌شود (بول و ام سی فادن، ۱۹۷۷؛ بول، ۱۹۷۸).

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls}$$

Smf: سینوسیته ی جبهه کوهستان؛ **Lmf:** طول جبهه کوهستان در محل حد بین کوهستان و کوهپایه؛ **Ls:** طول مستقیم جبهه کوهستان.

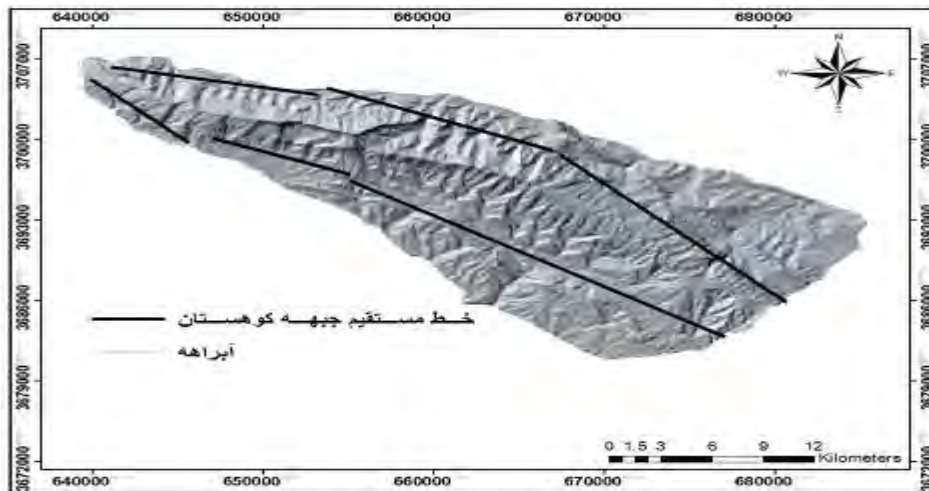
شاخص سینوسیته جبهه کوهستان تعادل میان فرایندهای فرساینده که از طریق جریانات سطحی به بریدن و نامنظم کردن جبهه کوهستان گرایش دارند و نو زمین ساخت فعال و قائم، اغلب مطابق با گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها، که گرایش به ایجاد جبهه کوهستانی مستقیم دارند را نشان می‌دهد (بول و ام سی فادن، ۱۹۷۷؛ کلر، ۱۹۸۶). جبهه‌های کوهستانی که با فرایش فعال همراهند تقریباً شکلی مستقیم را بر روی نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی به نمایش می‌گذارند و در صورتی که حرکات تکتونیکی کم باشند، فرایندهای فرسایشی باعث ایجاد جبهه کوهستانی نامنظم و سینوسی شکل می‌شوند. عدد این شاخص در جبهه‌های کوهستانی با فعالیت تکتونیکی بالا به ۱ بسیار نزدیک بوده و کمتر از ۱.۴ نشان‌دهنده یک جبهه کوهستانی فعال می‌باشد (راکول و همکاران، ۱۹۸۶؛ کلر، ۱۹۸۶). در این پروژه مقادیر Smf برای ۶ جبهه کوهستانی محاسبه شده (شکل ۱۰) و به ۳ کلاس تقسیم‌بندی شد (آل همدونی^۱ و همکاران، ۲۰۰۷).

کلاس ۱: جبهه کوهستانی بسیار فعال : $Smf < 0.1$

کلاس ۲: جبهه کوهستانی فعال : $0.1 \leq Smf < 0.5$

کلاس ۳: جبهه‌های کوهستانی با فعالیت کم تا آرام : $Smf \geq 0.5$

مقادیر Smf به دست آمده برای جبهه‌های کوهستانی مورد مطالعه بین ۱/۲۷ تا ۲/۰۷ و نشانگر وجود دو کلاس نوزمین‌ساختی فعال و فعالیت کم تا آرام (کلاس ۲ و ۳ تکتونیکی) در منطقه است (جدول ۱). وجود دره‌های کارستی میزان این شاخص را در دامنه‌های تاقدیس افزایش داده است.



شکل ۱۰: خطوط مستقیم محل های محاسبه شاخص سینوسیته جبهه کوهستان

جدول ۱: مقادیر Smf محاسبه شده جبهه های کوهستانی واقع در شمالغرب تاقدیس کبیرکوه

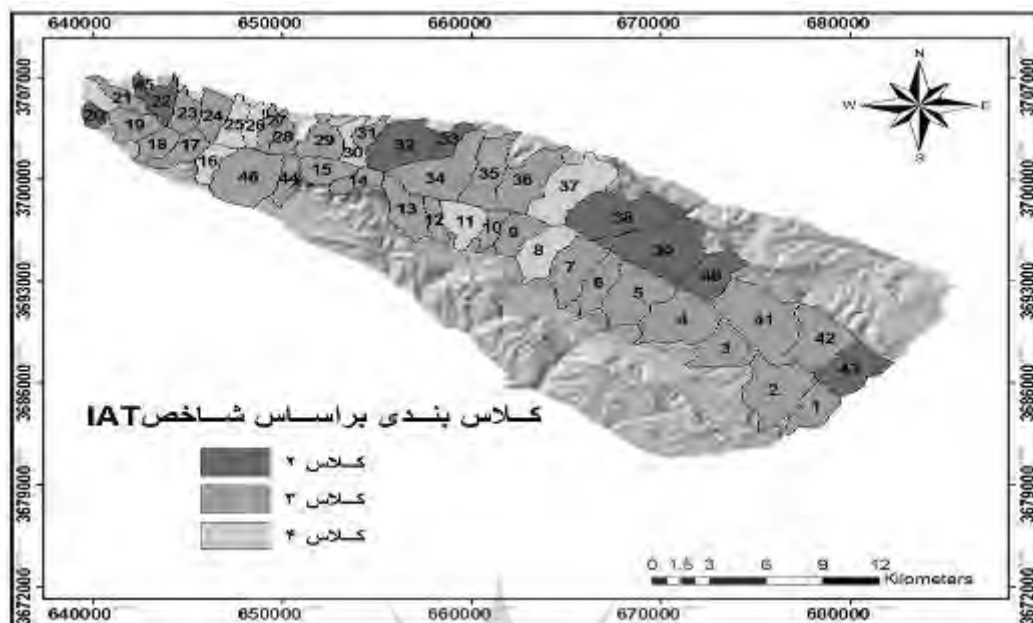
کلاس فعالیت تکتونیکی	Smf	Ls (m)	Lmf(m)	جبهه کوهستانی
2	1.27	18485	23532	جبهه ۱
3	1.71	14306	24504	جبهه ۲
3	1.54	12356	19099	جبهه ۳
3	2.07	25850	53509	جبهه ۴
3	1.67	8657	14487	جبهه ۵
3	1.52	7983	12190	جبهه ۶

شاخص IAT

ال همدونی و همکاران (۲۰۰۷) از ترکیب شاخص های مختلف یک شاخص واحد (Iat) به عنوان معیار برآورد فعالیت تکتونیکی را معرفی نموده و نتایج حاصل از آن در زمینه طبقه بندی فعالیت های تکتونیکی کارایی مناسبی دارد. مقادیر به دست آمده این شاخص به ۴ کلاس به شرح زیر تقسیم می شود (ال همدونی و همکاران، ۲۰۰۷).

کلاس (۱) فعالیت نوزمین ساختی بسیار بالا: ($1 \geq Iat > 1/5$)؛ کلاس (۲) فعالیت نوزمین ساختی بالا ($1/5 \geq Iat >$ ۲)؛ کلاس (۳) فعالیت نوزمین ساختی متوسط: ($2 \geq Iat > 2/5$)؛ کلاس (۴) فعالیت نوزمین ساختی پایین یا بدون فعالیت ($Iat \geq 2/5$).

طبق محاسبات انجام شده منطقه مورد مطالعه به لحاظ فعالیت های نوزمین ساختی ترکیبی از سه کلاس ۲، ۳ و ۴ است که نشان دهنده فعالیت زمین ساختی شدید، متوسط و کم است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: توزیع فعالیت نسبی تکتونیک در ناقدیس مورد مطالعه بر اساس نتایج حاصل از شاخص IAT

شواهد ژئومورفولوژیکی حاصل از تکتونیک فعال

بامطالعه و بررسی لندفرم‌ها و سیستم شبکه‌های زهکشی با مدنظر قراردادن زمین‌ساخت و لیتولوژی می‌توان عملکرد نو زمین‌ساخت فعال را در هر منطقه مورد ارزیابی قرارداد. وجود لندفرم‌های همچون سطوح مثلثی شکل، عدم وجود کوهپایه (شکل ۱۲) و دره‌های عمیق V (شکل ۱۳)، نشان‌دهنده‌ی فعال بودن حرکات نو زمین‌ساخت در قسمت‌های از منطقه مورد بررسی می‌باشند. مورفولوژی مخروط افکنه‌ها به‌شدت تحت تأثیر حرکات نو زمین‌ساخت قرار می‌گیرد. وجود مخروط افکنه‌های تقطیع شده (شکل ۱۴) پادگانه‌های مطبق و شکل‌گیری پادگانه‌های جدید در دشت‌های سیلابی و دیواره‌های قائم مسلط بر بستر رودخانه‌ها (شکل ۱۵) نشان‌دهنده‌ی فعال بودن حرکات نوزمین‌ساختی و تأثیرپذیری سیستم زهکشی منطقه از این حرکات می‌باشد.



شکل ۱۲: سطوح مثلثی شکل و عدم تشکیل کوهپایه در دامنه غربی کبیر کوه (منبع گوگل ارث)



شکل ۱۳: نمایی از دره‌های V شکل در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۴: نمایی از سطوح مثلثی و مخروط افکنه تقطیع شده در دامنه غربی کبیر کوه (منبع گوگل ارث)



شکل ۱۵: نمایی از پادگانه‌های مطبق، جوان شدگی رودخانه و بریدن دشت سیلابی و دیواره‌های قائم مسلط بر رودخانه

نتیجه‌گیری

شاخص‌های ژئومورفیک مورد استفاده یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت‌های نوزمین‌ساختی ارائه می‌دهند. برای ارائه یک طبقه‌بندی کلی و یک دید جامع از فعالیت‌های نوزمین‌ساختی منطقه بر اساس نتایج تمام شاخص‌ها از شاخص طبقه‌بندی IAT و شواهد ژئومورفولوژیکی حاصل از نوزمین‌ساخت فعال استفاده گردید. شاخص‌های ژئومورفیک در دو دسته کمیت‌های توپوگرافی H_c , H_i , S_{mf} , V_f برای جبهه کوهستان‌ها و شاخص‌های زهکشی SL , A_f برای بررسی شبکه زهکشی مورد استفاده قرار گرفتند. مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص‌های ژئومورفیک و طبقه‌بندی میزان آن‌ها بر اساس شاخص IAT نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه از لحاظ فعالیت نوزمین‌ساخت به سه بخش تقسیم می‌شود. بخش جنوب شرقی منطقه در دامنه شرقی، دارای توپوگرافی جوان‌تر و فعالیت نوزمین‌ساخت بالا می‌باشد این بخش ۲۰ درصد مساحت منطقه را در برمی‌گیرد. بخش دوم که شامل دامنه غربی و قسمت‌هایی از دامنه شرقی است دارای فعالیت نوزمین‌ساختی متوسط می‌باشد و در مجموع ۶۵ درصد مساحت حوضه را در بردارد. بخش سوم که به‌طور پراکنده در حوضه قرار دارد با اشغال ۱۵ درصد از مساحت کلی دارای فعالیت نوزمین‌ساختی پایین با توپوگرافی کاملاً فرسایش یافته است. شواهد ژئومورفولوژیکی به‌عنوان بارزترین شاهد فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در عصر حاضر نیز تأیید کننده‌ای نتایج به‌دست‌آمده از شاخص‌های ژئومورفیک است. در واقع شدت و ضعف این حرکات نیز بر روی لندفرمها تأثیرگذار بوده و در جاهای که فعالیت‌های نوزمین‌ساختی شدید بوده لندفرمها تحت تأثیر آن قرار گرفته‌اند. مقادیر کمی به‌دست‌آمده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی همچون تغییرات شدید در نیمرخ طولی رودخانه در بعضی از زیر حوضه‌ها، دیواره قائم مسلط بر رودخانه، ایجاد پادگانه جدید در دشت سیلابی، توالی پادگانه‌ها، سطوح مثلثی شکل، دره‌های عمیق V شکل و عدم تشکیل کوهپایه حاکی از فعال بودن حرکات نوزمین‌ساختی در قسمت‌های از منطقه است. البته در این میان تنوع لیتولوژیکی و اختلاف جنس سازندها، وقوع زمین‌لغزش‌ها و دره‌های کارستی بر میزان کمی شاخص‌های ژئومورفیک مؤثر بوده است. به‌طوری‌که زمین‌لغزش‌ها شاخص انتگرال هیپسومتریک را در بعضی از زیر حوضه‌ها تحت تأثیر قرار داده است. در نهایت با جمع‌بندی نتایج شاخص‌ها و شواهد ژئومورفیک و در نظر گرفتن ژئومورفولوژی و لیتولوژی منطقه می‌توان گفت که حرکات نوزمین‌ساختی در قسمت‌های مختلف منطقه دارای شدت و ضعف بوده و در کل منطقه دارای حرکات نوزمین‌ساخت متوسط می‌باشد.

منابع

- باقری سیدشکری، سجاد. ۱۳۸۷. بررسی نقش تکتونیک در شکل گیری و تحول لندفرم های تاقدیس قلاجه (استان کرمانشاه)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- پاینده، زینب. ۱۳۹۰. ژئومورفولوژی تاقدیس کبیرکوه با تأکید بر تکتونیک، پایان نامه کارشناسی ارشد، طبرستان چالوس، استاد راهنما: محمدرضا ثروتی
- رادفر، شهباز، پورکرمانی، حسن. ۱۳۸۴. ریخت زمین ساخت گسل کوهبنان، مجله علوم زمین شماره ۵۸، صص ۱۸۳-۱۶۶.
- زرگرزاده، مرضیه؛ کاظم رنگزن، عباس چرچی و احسان آبشیرینی. ۱۳۸۶. مطالعه تکتونیک فعال منطقه زاگرس با استفاده از شاخص های ژئومورفیک و پارامترهای مورفومتریک در محیط GIS و دورسنجی. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین شناسی کشور.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، عکس های هوایی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه سال ۱۳۳۵.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- سازمان زمین شناسی کشور، نقشه زمین شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
- سلیمانی، شهریار. رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان «با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه شناسی». مجله پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. شماره: ۱۱-۹۹-۷۸ ص ۴.
- گورابی، ابوالقاسم و نوحه گر، احمد. ۱۳۸۶. شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز در که، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۰.
- مختاری، داود. ۱۳۸۵. کاربرد شاخص های ریخت سنجی در تعیین میزان فعالیت گسل ها، مورد نمونه: گسل شمالی میشو، مجله علوم زمین، شماره ۵۹؛ صص ۸۴-۷۰.
- مددی، عقیل؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ رجایی، عبدالحمید. ۱۳۸۳. تحلیل فعالیت های نفوتکتونیکی با استفاده از روش های ژئومورفولوژی در دامنه های شمال غربی تالش (باغروداغ). مجله پژوهش های جغرافیایی، شماره ۴۸، صص ۱۳۸-۱۲۳.
- مقصودی، مهران؛ جعفری اقدم، مریم؛ باقری سیدشکری، سجاد؛ مینایی، مسعود. ۱۳۹۰. بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۵.
- مقصودی، مهران؛ کامرانی دلیر، حمید. ۱۳۸۷. ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه ها (مطالعه موردی: رودخانه تجن) ف پژوهش های جغرافیایی طبیعی شماره ۶۶.
- یمانی، مجتبی؛ باقری، سجاد؛ جعفری اقدم، مریم. ۱۳۸۹. تأثیر نو زمین ساخت در مورفولوژی آبراهه های حوضه آبریز چله (زاگرس غربی)، مجله محیط جغرافیایی، شماره ۱؛ صص ۸۲-۶۷.
- یمانی، مجتبی؛ مقصودی، مهران. ۱۳۸۲. نقش تکتونیک و تغییرات اقلیمی در تحول مخروطه افکنه ها (مطالعه موردی مخروطه افکنه های چاله سیرجان). بیابان شماره ۱.
- *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 380, pp: 221-241.*
- *Bull, W.B., 1984 Tectonic Geomorphology. Journal of Geological Education, v(32). pp: 310-342.*
- *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, Vol56.*

- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller, E.A., 2007. Assessment of relative tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain) *Geomorphology* 96, 150-173.
- Hamdouni, R. El. Irigaray, C. Fernandez, T. Chacon, J. Keller, E.A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*. 96. pp: 150-173.
- Hessami, K.H., Nilfouyoushan, Christopher, J., Tablot, (2006), active deformation within the Zagros Mountains deduced GPS measurements, *geology society*, vol 163, pp: 143-148.
- 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). pp, 211-232.
- Keller, E.A. Gurrola, L. Tierney, T. E. (۲۰۰۲). Geomorphic criteria to determine direction of lateral propagation of reverse faulting and folding. *Geology*; ; v. 27; no. 6; p. 515-518;
- Keller, Edward A., Pinter, Nicholas. (1996). **Active tectonics**; Prentice Hall publisher, New Jersey.
- Li, Youli. Yang, Jingchun. Tan, Lihua. Duan, Fengian (1999). Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi corridor, Northwest China. *Geomorphology* Vol 28.
- Malik, J. Mahanty. c. (2006) , Active tectonic influence on the evolution of drainage and Landscape: Geomorphic signatures From Frontal and hinterland areas along the Northwestern Himalaya, India. *Journal of Asian Earth Sciences*. V(29).
- Malik, J. Mahanty, c. (2006). Active tectonic influence on the evolution of drainage and Landscape: Geomorphic signatures From Frontal and hinterland areas along the Northwestern Himalaya, India. *Journal of Asian Earth Sciences*. V(29).
- 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, 134pp.
- Pike, R.J., Wilson, S.E., 1971. Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin* 82, 1079-1084.
- Ramiez-Heerea, M.T. (1998). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graben, Mexican Volcanic belt. *Earth surface process and land forms*. Vol. 23, pp 317-322.
- Rockwell, T.K., Keller, E.A., Johnson, D.L., 1985. Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: Morisawa, M. (Ed)
- Shtober-Zisu, N., Greenbaum, N., Inbar, M., Flexer, A., 2007. Morphometric and geomorphic approaches for assessment of tectonic activity, Dead Sea Rift (Israel). *Geomorphology* 102, 93-104.
- Silva, P.G., 1994. Evolución geodinámica de la depresión del Guadalentín desde el Mioceno superior hasta la Actualidad: Neotectónica y geomorfología. Dissertation, Complutense University, Madrid, Ph.D.
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* 63, 1117-1142.
- Wells, A.J., 1969, The crush zone of the Iranian Zagros mountains, and its implications, *Geological magazine*, v. 106, p. 358-394.