تحلیل مورفومتری تاقدیس‌های بابا کوهی و کفترک و ارتباط آن با تکتونیک‌های فعال

فاطمه پرهیزکار *
دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، ایران
اسدا... حجازی
دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، ایران
لیلا خدایی قشلاق
دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۱۵

چکیده

مطالعات مورفوتکتونیکی شامل بررسی لند فرم‌ها و پدیده‌های سطحی به‌عنوان کلیدی جهت مشخص کردن وجود فعالیت تکتونیکی است. همچنین با این نوع مطالعه، می‌توان نواحی نسبتاً با ثبات و فعال تکتونیکی را مشخص کرد. اندازه‌گیری‌های کمی لند فرم‌ها این امکان را به ژئومورفولوژیست‌ها می‌دهد، تا با اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفولوژی در لند فرم‌های مختلف، نقش تکتونیک‌های فعال را در تغییر شکل چشم‌اندازها بررسی کنند. منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش، تاقدیس‌های بابا کوهی و کفترک در شمال شهر شیراز است. هدف این پژوهش، ارزیابی مورفومتری تاقدیس‌های بابا کوهی و کفترک و ارتباط آن با تکتونیک‌های فعال یا غیرفعال منطقه است. جهت دستیابی به هدف فوق، داده‌های مورد نیاز از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست استخراج شد. نقشه سطوح ارتفاعی و شیب و تکتونیک تاقدیس‌ها تهیه شد. شبکه زهکشی به‌طور دقیق ترسیم شد. درجه‌بندی آبراهه‌ها به روش استراهلر انجام شد. همچنین مطالعات میدانی از اشکال و فرآیندهای ژئومورفیک انجام شد. داده‌های مورد نیاز برای محاسبه‌ی شاخص‌های ژئومورفولوژیک تقارن چین، سینوسیته جبهه کوهستان، خطالرأس تاقدیس، نسبت جهت، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، فرکانس رودخانه، بافت زهکشی، نسبت بافت و الگوی زهکشی بعد از ورود به محیط نرم‌افزار GIS محاسبه و به دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش بیانگر فعالیت تکتونیکی، و فعالیت‌های رو به رشد تاقدیس بابا کوهی است. همچنین نشان‌دهنده‌ی جوان بودن تاقدیس بابا کوهی و فعالیت تکتونیکی متوسط تا بالا است هر چند پلانژ جنوب شرقی این تاقدیس در اثر گسل خوردگی و فرسایش شدید از بین رفته است. گسل‌های فعال بمو و سبزپوشان موجب تغییرات روند تاقدیس بابا کوهی و ایجاد گسل‌های عرضی شده است. در بخش شمالی تاقدیس کفترک گسل فعال سعدی و همچنین گسل‌هایی با امتدادهای متفاوت مشاهده شدند اما بر اساس نتایج محاسبه شاخص‌ها در تاقدیس کفترک تکتونیک کمتر از تاقدیس بابا کوهی دخالت کرده و نتایج، فعالیت کم تا متوسط تکتونیکی را نشان می‌دهند. و به‌طور کلی هر دو بخش از نظر تکتونیکی تقریباً فعال بوده و احتمال مخاطره در این بخش‌ها وجود دارد.

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۹۹۰۸۶۹۰۳ Email: Fatyma7parhizkar@yahoo.com

واژگان کلیدی: تاقدیس، بابا کوهی، کفترک، تکتونیک فعال، مورفومتری.

مقدمه

ژئومورفولوژی تکتونیک، به مطالعه‌ی فرآیندهای پویا و دینامیک مؤثر در شکل‌دهی و چشم‌اندازهای موجود در آن می‌پردازد. در سال‌های اخیر ژئومورفولوژی تکتونیک به‌طور چشم‌گیر، یکی از ابزارهای عمده و اساسی و مؤثر در تشخیص شکل‌های تکتونیکی فعال و نقشه‌های خطر لرزه‌ای و همچنین درک و فهم تاریخچه چشم‌اندازهای کنونی سطح زمین بوده است. مطالعات مورفوتکتونیکی شامل بررسی لند فرم‌ها و پدیده‌های سطحی به‌عنوان کلیدی جهت مشخص کردن وجود فعالیت تکتونیکی است. همچنین با این نوع مطالعه، می‌توان نواحی نسبتاً با ثبات و فعال تکتونیکی را مشخص کرد. مطالعه تکتونیک فعال در ارزیابی خطر بسیار مهم است. مخصوصاً در نواحی که میزان فعالیت‌های تکتونیکی در هولوسن و پلیئستوسن بالایی، نسبتاً زیاد بوده، دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. اگرچه تکتونیک فعال گسستگی آرام پوسته زمین است که امکان دارد به سازه‌های انسانی صدمه بزند ولی بیشتر فرآیندهای تکتونیکی فعالی که قادر هستند رویدادهای ناگهانی به وجود آورند اهمیت دارند بنابراین با شناخت تکتونیک فعال در یک منطقه می‌توان خطرات ناشی از وقوع رویدادهای ناگهانی مانند زمین‌لرزه را کاهش داد (Keller and Pinter, 2001). زاگرس از جنبه لرزه‌خیزی بسیار فعال برخوردار بوده و لرزه‌خیزترین منطقه ایران است و بیش از ۵۰ درصد زمین‌لرزه‌هایی که توسط شبکه جهانی در ایران به ثبت رسیده‌اند در گستره زاگرس است. با توجه به ادامه حرکت‌های نئوتکتونیکی در زاگرس و تکتونیزه بودن منطقه، بررسی نئوتکتونیک منطقه به‌منظور استفاده در ارزیابی خطر زمین‌لرزه و شناخت مخاطرات محیطی ناشی از تکتونیک فعال در منطقه ضروری است. همچنین فرآیندهای تکتونیکی فعال در بسیاری از فعالیت‌های بشری همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه‌ها سدها تأسیسات صنعتی، ساخت مجتمع‌های مسکونی و ...نقش به سزایی دارند و دو تاقدیس مورد بررسی نیز منطقه‌ای با ساخت و سازهای گسترده در شهر شیراز است و از جنبه تکتونیکی مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا هدف پژوهش حاضر، مقایسه فعالیت‌های تکتونیکی تاقدیس‌های بابا کوهی و کفترک از طریق تحلیل‌های مورفومتری می‌باشد.

واحد ساختمانی زاگرس چین‌خورده از نظر تکتونیکی، فعال بوده و در اثر فشارهای ساختمانی از اوایل پلیوسن در حال بالا آمدن و کوتاه شدگی است (فالکن[1]، ۱۹۷۴: ۱۹۹) .اندازه‌گیری‌های کمی لند فرم‌ها این امکان را به ژئومورفولوژیست‌ها می‌دهد، تا با اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفولوژی در لند فرم‌های مختلف، نقش تکتونیک‌های فعال را در تغییر شکل چشم‌اندازها بررسی کنند (پین‌تر وکلر[2]، ۲۰۰۱: ۱۲۱).

مطالعات مختلف نشانگر وجود تکتونیک‌های فعال، بالاآمدگی‌ها و کوتاه شدگی تاقدیس‌ها و وجود زلزله‌های متعدد در زاگرس است (بربریان، ۱۹۹۵: ۱۹۹). مثال بررسی‌ها نشان می‌دهد که بالا آمدگی تکتونیکی یک تاقدیس در دزفول باعث

[1]- Falcon
[2]- Pinter & keller

شده است که یک کانال آبیاری دوره ساسانی در طی ۱۷۰۰ سال حدود ۲۰ متر به سمت بالا جابه‌جا شود (بیدون[1] و همکاران، ۱۹۹۲: ۳۲۱). رشته کوه زاگرس یکی از مناطق فعال از نظر تکتونیکی است. فعالیت‌های تکتونیکی خود زمینه‌ساز لرزش‌ها و مخاطرات متفاوتی می‌باشند. در این پژوهش به ارزیابی مورفومتری تاقدیس‌های بابا کوهی و کفترک در شمال شیراز و ارتباط آن با تکتونیک فعال یا غیرفعال منطقه پرداخته شده است.

پیشینه پژوهش

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه شاخص‌های ژئومورفولوژیکی مربوط به تکتونیک‌های فعال در دنیا انجام شده است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود:

تالینگ و سوتر[2] (۱۹۹۹) نقش تکتونیک و بالاآمدگی تاقدیس ویلر ریج در کالیفرنیا را در تراکم زهکشی بررسی کردند. مطالعه آن‌ها نشان داد که تراکم زهکشی در پهلوهای پرشیب کمتر است. آزور[3] و همکاران (۲۰۰۲) با مطالعه تاقدیس اوک ریج در جنوب کالیفرنیا، تفاوت میزان بالاآمدگی تاقدیس و فعالیت تکتونیکی آن را بر اساس پارامترهای تراکم زهکشی، شیب لایه‌ها، انتگرال هیپسومتری زیر حوضه‌ها، شاخص شیب رودخانه و سینوسیته جبهه کوهستان محاسبه کردند. سونگ و چن[4] (۲۰۰۴) نقش گسل خوردگی و ساختمان تاقدیس پاکوشان در مرکز تایوان را در جهت‌گیری و الگوی شبکه زهکشی بررسی می‌کردند. دلایکو[5] و همکاران (۲۰۰۶) نقش بالاآمدگی دو تاقدیس جانوری و چاندیگار در غرب هند را در ایجاد الگوهای مختلف آبراهه‌ای تحلیل کردند. احمدی[6] و همکاران (۲۰۰۶) واکنش شبکه‌های زهکشی به یک تاقدیس در حال رشد با فرود محوری دو طرفه را در کوه‌های اطلس در تونس مورد ارزیابی قرار دادند. رامسی و همکاران (۲۰۰۸) در مقاله خود با عنوان تحول چین‌خوردگی و توسعه شبکه زهکشی، در رشته کوه‌های زاگرس فارس، تکامل شبکه زهکشی و تغییرات الگوی زهکشی در تاقدیس‌های در حال رشد (در امتداد محور) در زاگرس فارس (تاقدیس‌های کوه سفیدار، کوه هندون و کوه خنج) را ارزیابی کردند. آن‌ها اظهار کرده‌اند که مقایسه بین شبکه‌های رودخانه‌ای امروزی وضعیت این شبکه‌ها در گذشته ممکن است اطلاعاتی را در مورد تاریخچه تکتونیک و رشد چین‌خوردگی‌ها در نواحی کوهستان فراهم کند. به نظر آن‌ها شواهد ژئومورفولوژی حاکی از این است که تاقدیس‌ها در زاگرس به احتمال زیاد دارای رشد طولی هستند. پیراسته و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی با عنوان تجزیه و تحلیل فرآیندهای تکتونیکی در کوه‌های زاگرس به کمک شبکه زهکشی و نقشه توپوگرافی (۱۹۵۰–۲۰۰۱) به کمک GIS، عنوان کردند که تغییرات الگوی زهکشی، طول شبکه زهکشی، شیب شبکه‌ها و تعداد شبکه‌ها نشان می‌دهند که

[1]- Beydon
[2]-Talling & sowter
[3]- Azor
[4]- Sung & chen
[5]- Delcaillau
[6]- Ahmadi

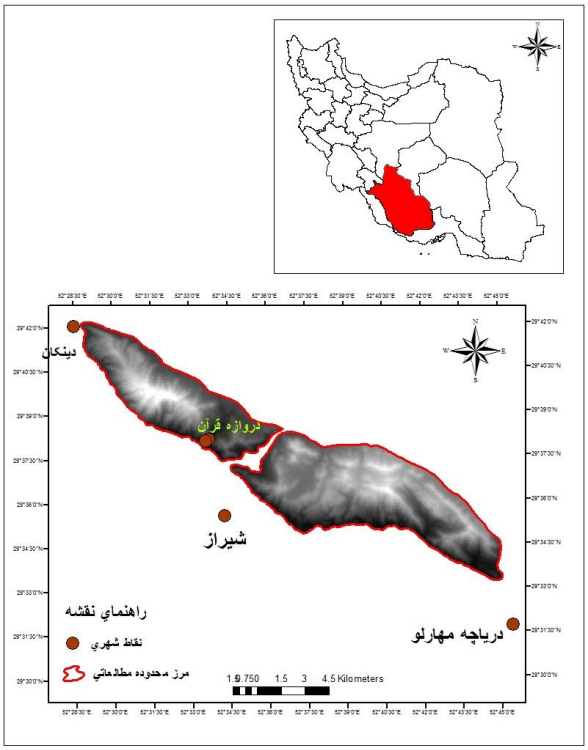
کوه‌های زاگرس در معرض فرآیندهای تکتونیکی جدید هستند. بهرامی[1] (۲۰۱۲) به بررسی تکامل مورفولوژی دره‌های ساغری شکل و اشکال مثلثی شکل بر روی تاقدیس نواکوه پرداخت و به این نتیجه رسید که بین شیب پهلوی تاقدیس و طول قاعده‌ی مثلث‌ها رابطه‌ای قوی وجود دارد.

رشته کوه زاگرس در محل پلاتفرم عربستان و اوراسیا، نمونه یک کمربند کوهزایی جوان و فعال است که بخش اعظم آن تحت تأثیر تکتونیک‌های فعال قرار دارد. وجود زلزله‌ها، شکستگی‌های مختلف شاهد این واقعیت است. طاقدیس‌های کفترک و بابا کوهی بخشی از زاگرس چین‌خورده است و با توجه به قرارگیری آن در بین صفحات عربستان و ایران مرکزی در حال بالا آمدن و چین‌خوردگی است و از نظر تکتونیک، منطقه‌ای فعال محسوب می‌شود و در این پژوهش تلاش می‌شود شاخص‌های تکتونیکی مختلفی را در منطقه مورد بررسی قرار دهیم.

منطقه مورد مطالعه

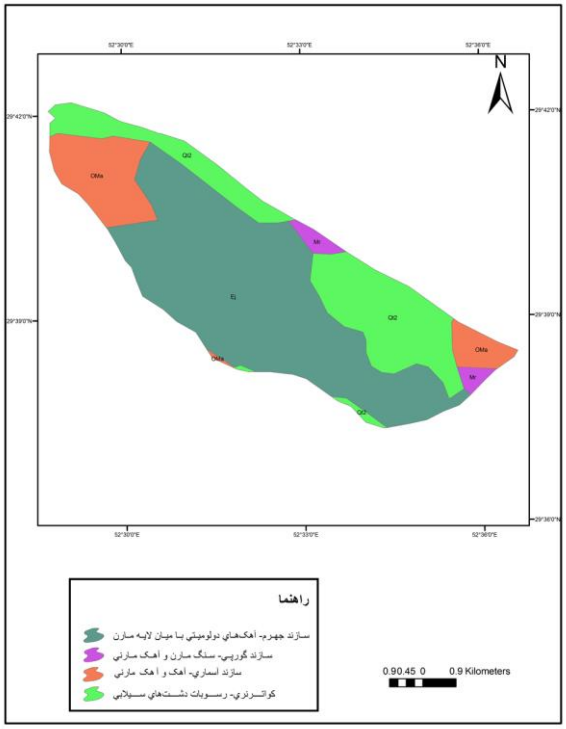
مناطق مورد مطالعه در شمال شهر شیراز می‌باشند (شکل ۱) که تاقدیس بابا کوهی در محدوده‌ی جغرافیایی " ۵۷ '۳۷ °۲۹ الی " ۴۱ '۴۲ °۲۹ عرض شمالی و" ۴۹ '۲۸ °۵۲ الی " ۵۷ '۳۵ °۵۲ طول شرقی بوده و تاقدیس کفترک از " ۵ '۳۳ °۲۹ الی " ۶,۱۷ '۳۷ °۲۹ عرض شمالی و " ۳۲ '۳۴ °۵۲ الی " ۴۹ '۴۴ °۵۲ طول شرقی گسترده شده‌اند. تاقدیس بابا کوهی تقریباً متقارن است و دارای روند شمال غرب–جنوب شرقی با طول تقریبی ۱۶ کیلومتر و مساحت ۴۵,۹۰ کیلومتر مربع می‌باشد. مرتفع‌ترین نقطه آن با ۲۱۶۰ متر در قسمت مرکزی و پست‌ترین نقطه آن با ۱۵۴۰ در بخش جنوب شرقی تاقدیس است. تاقدیس کفترک دارای روند شمال غرب– جنوب شرقی با طول تقریبی ۱۹ کیلومتر و مساحت ۷۵,۷۶ کیلومتر مربع می‌باشد. حداکثر ارتفاع آن ۲۱۴۰ متر در قسمت شمال غربی و پست‌ترین نقطه آن ۱۴۸۰ متر در بخش جنوب شرقی تاقدیس قرار دارد. سازندهای تاقدیس بابا کوهی شامل سازند آسماری، جهرم، گورپی و کواترنر و تاقدیس کفترک شامل، سازند آسماری، جهرم، گورپی، ساچون و کواترنر می‌باشد، سازندهای برونزد یافته‌ی تاقدیس بابا کوهی و کفترک بیشتر از سازند جهرم است (شکل ۲ و ۳).

[1]- Bahrami



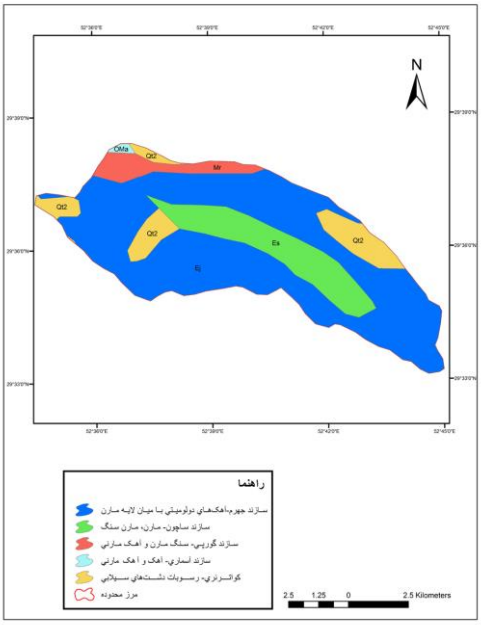
مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی تاقدیس‌های مورد مطالعه



مأخذ: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رقومی شده ایران

شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی تاقدیس بابا کوهی



مأخذ: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رقومی شده ایران

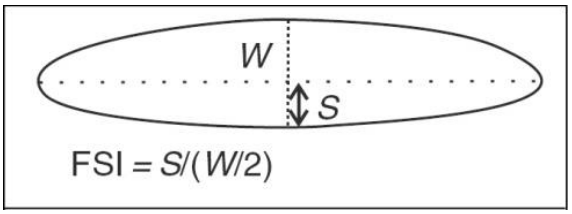
شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی تاقدیس کفترک

روش کار

هدف این پژوهش بررسی ویژگی‌های مورفومتری تاقدیس‌های بابا کوهی و کفترک ارتباط آن با تکتونیک‌های فعال منطقه می‌باشد. روش پژوهش حاضر به روش استقرایی انجام می‌شود که اساس آن پرداختن به قضایای جزیی و تعمیم آن به قضایای کلی است که ما در این روش تمامی اشکال و شواهد جزیی تاقدیس را مورد بررسی قرار می‌دهیم و نوع این پژوهش از نظر ماهیت توصیفی–تحلیلی و میدانی می‌باشد. جهت دستیابی به این هدف، از ابزارهایی مثل نقشه زمین‌شناسی، نقشه توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، نرم‌افزارهای Arc GIS، Excel و photoshop استفاده شده است؛ که در ابتدا نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رقومی شده ایران تهیه و مقاطع زمین‌شناسی تاقدیس‌ها استخراج گردید. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تاقدیس‌های مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار GIS رقومی شد و نقشه سطوح ارتفاعی و شیب و تکتونیک تاقدیس‌ها تهیه شد. شبکه زهکشی به‌طور دقیق ترسیم گردید. درجه‌بندی آبراهه‌ها به روش استراهلر انجام شد. بعد از رقومی سازی شبکه زهکشی در نرم‌افزار GIS، طول و تعداد آبراهه‌ها با درجه‌های مختلف به دست آمد و بر اساس آن شاخص‌های نسبت انشعاب‌های (Rb)، فرکانس زهکشی (Fs) و بافت زهکشی (Rt) تراکم زهکشی (Dd) تاقدیس‌ها محاسبه گردید. محاسبه شاخص‌های سینوسیته جبهه چین (FFS)، خط الرأس طاقدیس (AD) شاخص تقارن چین (FSI) و نسبت جهت (AR) بر اساس تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و نقشه زمین‌شناسی در محیط GIS انجام شد. روش تجزیه و تحلیل هر کدام از شاخص‌ها به تفکیک در ادامه بیان شده است. در نهایت ارتباط تمامی پارامترهای ژئومورفیک و تکتونیکی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

شاخص تقارن چین (FSI[1])

شاخص تقارن چین از مهم‌ترین پارامترهایی است که میزان نابرابری دو یال تاقدیس و در نتیجه میزان فعالیت تکتونیکی را نشان می‌دهد. شاخص تقارن چین (FSI) از تقسیم S (عرض پهلوی کوتاه‌تر تاقدیس) بر نصف عرض تاقدیس (W/2) به دست می‌آید (شکل ۴).

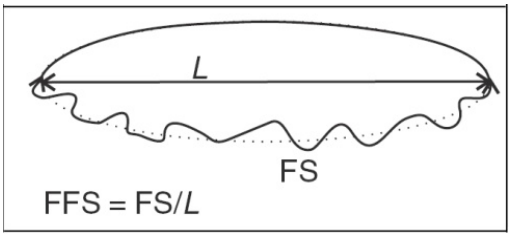


مأخذ: (بابربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۴)

شکل ۴: روش محاسبه FSI و FFS به‌طور شماتیک

شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS[2])

از دیگر پارامترهایی که بر اساس آن می‌توان درجه فعالیت‌های تکتونیکی یا سن سیستم چین‌خوردگی را تعیین نمود، شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) است. شاخص مذکور از نسبت طول جبهه تاقدیس (FS) به طول تاقدیس (L) به دست می‌آید (شکل ۵).



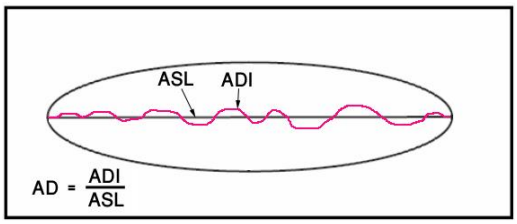
مأخذ: (بابربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۴)

شکل ۵: روش محاسبه FSI و FFS به‌طور شماتیک

شاخص خط‌الرأس تاقدیس (AD[3])

در این پژوهش شاخصی بنام AD (شاخص خط‌الرأس تاقدیس) تعریف شده است که از تقسیم ADI (طول خط الرأس واقعی تاقدیس) بر ASL (طول خط مستقیم بین ابتدا و انتهای خط‌الرأس) به دست می‌آید (شکل ۶).

[1] Fold Symmetry Index
[2]- Fold Front Sinuosity
[3]- Crest lenght



مأخذ: (بهرامی، ۱۳۹۲)

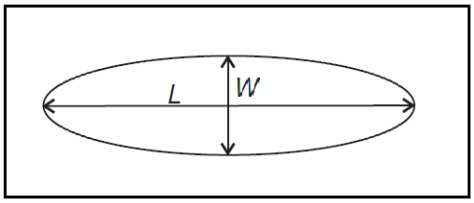
شکل ۶: روش محاسبه AD به‌طور شماتیک

شاخص نسبت جهت (Ar[1])

شاخص نسبت جهت (Ar) عبارت است از نسبت طول به عرض مشخص در یک تاقدیس (شکل ۷) و از رابطه (۱) به دست می‌آید (باربری و همکاران، ۲۰۰۸: ۴۲۳):

$$Ar = \frac{L}{W}$$ رابطه (۱)

که در آن L، طول تاقدیس و W، حداکثر عرض تاقدیس است.



مأخذ: (باربری و همکاران، ۲۰۰۸: ۴۲۳)

شکل ۷: روش محاسبه شاخص نسبت جهت به‌طور شماتیک

نسبت انشعاب (Rb[2])

نسبت انشعاب‌های (Rb)، تخمینی کمّی از تکامل شبکه‌ی آبراهه‌ها با درجه‌های مختلف است (سینگ وچن، ۲۰۰۸: ۲۳۱). نسبت انشعاب‌های برای هر رده از آبراهه از رابطه (۲) به دست می‌آید (گارنیری و پیروتا[3]، ۲۰۰۸: ۲۶۷):

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$ رابطه (۲)

که در آن N_u تعداد آبراهه با رتبه u و N_{u+1} تعداد آبراهه در یک رتبه بالاتر است.

تراکم زهکشی (Dd[4])

تراکم زهکشی (Dd)، نسبت طول آبراهه‌ها به مساحت در یک منطقه مشخص است و از رابطه (۳) زیر به دست می‌آید (توکر[1] و همکاران،۲۰۰۱: ۱۸۷):

---

[1]- Aspect ratio
[2]- Bifurcation ratio
[3]- Guarnieri & Pirrotta,
[4]- Drainage density

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$ رابطه (۳)

که در آن Li، طول هر یک از آبراهه‌های حوضه اعم از آبراهه‌های دائم و غیر دائم به کیلومتر و A، مساحت منطقه برحسب کیلومتر مربع می‌باشد.

فرکانس رودخانه (Fs[۲])

فرکانس آبراهه (Fs) از جمله پارامترهای کمی مربوط به مورفومتری شبکه زهکشی است که از رابطه (۴) به دست می‌آید (سردیوی[۳] و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۱۵):

$$Fs = \sum Nu / A$$ رابطه (۴)

که در آن Nu تعداد آبراهه‌ها در تمامی درجه‌ها و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است. مقدار پارامتر Fs به عواملی مانند زمین‌شناسی، اقلیم، پوشش گیاهی، جنس سنگ و خاک، و توپوگرافی بستگی دارد.

شاخص بافت زهکشی (Rt[۴])

بافت زهکشی یکی از مفاهیم اساسی و مهم در ژئومورفولوژی است. تعداد خطوط زهکشی در مناطق با نفوذپذیری کم نسبت به مناطق با نفوذپذیری زیاد بیشتر است.

بافت زهکشی از رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$Rt = Nu/P$$ رابطه (۵)

که در آن Rt بافت زهکشی، Nu تعداد کل آبراهه‌ها، P محیط حوضه به Km می‌باشد.

شاخص نسبت بافت (T[۵])

نسبت بافت (T) یک عامل مهم در تجزیه و تحلیل مورفومتریک زهکشی است، که به لیتولوژی زیرین، ظرفیت نفوذ و جهت پستی و بلندی‌های زمین وابسته است (ویجید و سادش[۶]،۲۰۰۶: ۱۸۶).

نسبت بافت از رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$T= N1/p$$ رابطه (۶)

که در آن،T نسبت بافت، N1 تعداد آبراهه‌های درجه ۱، P محیط حوضه به Km می‌باشد.

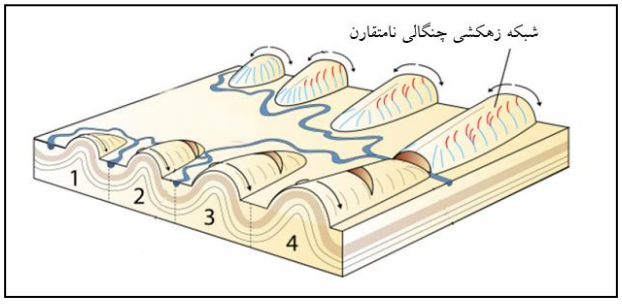
---

[1]- Tucker
[2]- Stream frequency
[3]- Sreedevi
[4]- Drainge texture
[5]- Texture ratio
[6]- Vijithand & Satheesh

الگوی زهکشی حوضه

الگوی زهکشی یک ویژگی کیفی است که چگونگی به هم پیوستن شاخه‌ها و انشعاب‌های شبکه زهکشی را نشان می‌دهد و ارتباط نزدیکی با جنس سنگ‌ها و ساختمان زمین‌شناسی دارد که بسته به آن الگوهای زهکشی مختلفی مانند درختی، موازی، داربستی و.... را ایجاد می‌کند. به‌طوری‌که گسترش الگوی زهکشی متفاوت از مشخصه اصلی در زون‌های لیتوتکتونیکی کمربند ساختاری زاگرس می‌باشد.

یکی از شواهد رشد جانبی تاقدیس‌های زاگرس، وجود شبکه‌های زهکشی چنگالی نامتقارن است (رامسی و همکاران، ۳۵;۲۰۰۸). در تاقدیس‌های زاگرس، اگر در بخش فرود محوری شمال غربی، بخش بالادست آبراهه‌ها به سمت مرکز تاقدیس منحرف شوند، این موضوع بیانگر رشد طولی تاقدیس به سمت شمال غرب است و همچنین اگر در بخش فرود محوری جنوب شرقی، بخش بالادست آبراهه به سمت مرکز تاقدیس منحرف شوند، این موضوع بیانگر رشد طولی تاقدیس به سمت جنوب‌شرق‌وز است شکل (۸).



مأخذ: (برتیس و همکاران، ۲۰۱۱: ۶۱۹)

شکل ۸: نمای شماتیک از الگوی شبکه زهکشی چنگالی نامتقارن

یافته‌های پژوهش

شاخص تقارن چین

در یک تاقدیس کاملاً متقارن، مقدار این شاخص یک است در حالی که در یک تاقدیس نامتقارن، مقدار شاخص مذکور کمتر از ۱ است (بابربری[1] و همکاران، ۱۳۴,۲۰۱۰) هر چه مقدار این شاخص کمتر از عدد یک باشد نشانگر فعال بودن نیروهای زمین‌ساخت در ناحیه می‌باشد که منجر به ایجاد تاقدیس نامتقارن، با طرفین پرشیب و با شکست‌ها و گسل‌ها می‌شود. مقدار زیاد این شاخص بیانگر عدم تأثیرگذاری فعالیت‌های تکتونیکی و شکل‌گیری تاقدیس‌ها به شکل متقارن می‌باشد. مقدار شاخص مذکور برای طاقدیس بابا کوهی ۹۶. و برای تاقدیس کفترک ۶۷. به‌دست‌آمده است.

[1]- Burbery

شاخص سینوسیته جبهه چین

یک جبهه کوهستانی مستقیم وجود گسل فعال را نشان می‌دهد. در حالی که پیشانی پر پیچ و خم کوهستان، فعالیت تکتونیکی ضعیف و برتری فرسایش را در ارتفاع‌ها بیان می‌کند (Silva et al, 2003: 207).

مقدار کم این شاخص، نشان‌دهنده چین‌خوردگی‌های جوان است در حالی که مقدار بالای شاخص مذکور نشان‌دهنده جبهه‌های فرسایش یافته یا چین خورگی‌های قدیمی است (باربری و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۴۴) مقدار محاسبه شده شاخص FFS برای تاقدیس‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مقدار شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام تاقدیس	L(km)	FS(km)	FFS
بابا کوهی	۲۹,۲۶	۳۶,۲۷	۱,۲۳
کفترک	۴۴,۱	۶۱,۱۴	۱,۳۸

مأخذ: نگارندگان

شاخص خطالرأس تاقدیس

طول خطالرأس تاقدیس نسبت به خط مستقیم (بین ابتدا و انتهای خطالرأس) تا حدودی نشان‌دهنده میزان فرسایش و سن چین خورگی است. در تاقدیس‌های جدید، خطالرأس تقریباً مستقیم است در حالی که در طاقدیس‌های قدیمی و فرسایش یافته، خطالرأس دارای طول بیشتری است مقدار شاخص AD برای تاقدیس بابا کوهی ۱,۰۲ و برای طاقدیس کفترک ۱,۰۶ به‌دست‌آمده است که همان‌طور که مشاهده می‌شود هردو دارای مقدار نزدیک به هم هستند.

شاخص نسبت جهت

از شاخص‌های مورفومتری برای تعیین میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی یک منطقه، شاخص نسبت جهت می‌باشد؛ میزان بالای این شاخص نشان‌دهنده فعالیت تکتونیک بالا و میزان کم آن نیز کاهش فعالیت زمین‌ساختی را نشان می‌دهد؛ مقدار شاخص مذکور در تاقدیس بابا کوهی ۳,۶۷ و در طاقدیس کفترک ۳,۱۲ به‌دست‌آمده است (جدول ۲).

جدول ۲: مقادیر پارامترهای مربوط به شاخص نسبت جهت (AR) در طاقدیس‌های مطالعاتی

نام تاقدیس	L(km)	W(km)	AR
بابا کوهی	۱۶,۱۱	۴,۳۸	۳,۶۷
کفترک	۱۹,۱۵	۶,۱۳	۳,۱۲

مأخذ: نگارندگان

نسبت انشعاب

نسبت انشعاب‌ها برای هر تاقدیس از میانگین Rb تمام رده‌ها به دست آمد. نسبت انشعاب‌ها، به‌جز در مناطق تکتونیکی فعال، دارای مقادیر بین ۳ تا ۵ می‌باشد (اوزمیر و برد[1]، ۲۰۰۹: ۱۴۱۰) تکتونیک نقش مهمی در تعداد آبراهه‌های با درجات مختلف داشته و بنابراین نسبت انشعاب‌ها در تاقدیس‌های جوان بسیار بالاتر از تاقدیس‌های فرسایش یافته و قدیمی می‌باشد. به عبارتی در تاقدیس‌های جوان‌تر، تعداد آبراهه‌های درجه پایین (۱ و ۲) بالا بوده و شبکه‌ی آبراهه‌ها با درجه‌های بالاتر، هنوز تکامل نیافته‌اند که این امر باعث می‌شود نسبت انشعاب در این‌گونه تاقدیس‌ها بالا باشد. در این مطالعه ابتدا تعداد آبراهه‌های با درجه‌های مختلف به دست آمد (جدول شماره ۳) و بر اساس آن نسبت انشعاب‌ها در تاقدیس‌ها محاسبه گردید (جدول ۴). مقدار Rb در تاقدیس بابا کوهی ۴,۹۴ و در تاقدیس کفترک ۴,۰۹ به‌دست‌آمده است.

تراکم زهکشی

تراکم زهکشی بالا به‌ویژه آبراهه‌های درجه ۱، نشان‌دهنده فعال‌تر بودن مناطق از نظر تکتونیکی است (زوچیویکس[2]، ۱۹۹۸: ۱۲۷). به‌طوری‌که در مناطق دارای بالاآمدگی سریع‌تر، تنها شبکه‌های درجه ۱ توسعه می‌پایند. در تاقدیس‌های با بالاآمدگی آرام‌تر و عرض بیشتر، شبکه‌های زهکشی با درجه‌های بالاتر نیز توسعه می‌یابند. در این پژوهش طول آبراهه‌های با درجه‌های مختلف تعیین شد. همچنین تراکم زهکشی برای آبراهه‌های درجه ۱ نیز به دست آمد (جدول ۴). همان‌گونه که جدول ۴ نشان می‌دهد تعداد آبراهه‌های درجه ۱ در تاقدیس کفترک زیاد است.

فرکانس رودخانه

در مناطق تکتونیکی فعال به‌ویژه در تاقدیس‌های جوان، تعداد آبراهه‌های درجه ۱ بیشتر است. بنابراین در این پژوهش، علاوه بر فرکانس رودخانه تمام درجه‌ها، فرکانس رودخانه آبراهه‌های درجه ۱ نیز برای تاقدیس‌های مورد مطالعه نیز محاسبه شد. همچنین نسبت آبراهه‌های درجه ۱ نسبت به‌کل آبراهه‌ها محاسبه شد (جدول ۴).

جدول ۳: تعداد و طول آبراهه‌های با درجه‌های مختلف در تاقدیس‌های مطالعاتی

نام تاقدیس	آبراهه درجه ۱		آبراهه درجه ۲		آبراهه درجه ۳		آبراهه درجه ۴		آبراهه درجه ۵		نسبت آبراهه‌های درجه ۱ به تعداد کل آبراهه‌ها	
	تعداد	طول (کیلومتر)	تعداد	طول	تعداد	طول	تعداد	طول	تعداد	طول	تعداد کل	نسبت (به درصد)
بابا کوهی	۴۶۶	۲۰۲,۴۶	۱۱۲	۶۳,۷۶	۲۴	۱۸,۳۰	۴	۴,۶۳	۰	۰	۶۰۶	۷۶,۸۹
کفترک	۱۱۰۵	۸,۸۲	۲۶۳	۸۳,۹۷	۶۴	۴۱,۰۲	۱۴	۱۷,۳۱	۴	۴,۹۲	۱۴۵۰	۷۶,۲۰

مأخذ: نگارندگان

[1]- Ozdemir
[2]- Zuchiewicz

جدول ۴: مقادیر پارامترهای کمی محاسبه شده در تاقدیس‌های مطالعاتی

پارامتر / نام تاقدیس	A	Dd		Rb	Fs	
		در تمام آبراهه‌ها	در آبراهه‌های درجه ۱		در تمام آبراهه‌ها	در آبراهه‌های درجه ۱
بابا کوهی	۴۵,۸۹	۶,۳۰	۴,۴۱	۴,۹۴	۱۳,۲	۱۰,۱۵
کفترک	۷۵,۷۶	۲,۰۵	۰,۱۱	۴,۰۹	۱۹,۱۳	۱۴,۵۸

مأخذ: نگارندگان

شاخص بافت زهکشی

بر اساس نظر هورتون (۱۹۴۵) بافت زهکشی از تقسیم تعداد کل آبراهه‌ها به محیط منطقه‌ی مورد نظر محاسبه می‌شود. او ظرفیت نفوذ را تنها عامل مهمی که در بافت زهکشی مؤثر است، شناسایی کرده و بافت زهکشی را که در برگیرنده‌ی تراکم زهکشی و فرکانس جریان است را مطرح کرده است. (سرینی واسا[1]، ۲۰۰۴: ۳۶۰). مقادیر محاسبه شده برای شاخص بافت زهکشی در جدول ۵ آورده شده است.

شاخص نسبت بافت

مقادیر محاسبه شده برای نسبت بافت در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵: مقادیر پارامترهای مربوط به شاخص بافت زهکشی (Rt) و نسبت بافت (T) در تاقدیس‌های مطالعاتی (پرهیزکار، ۱۳۹۵)

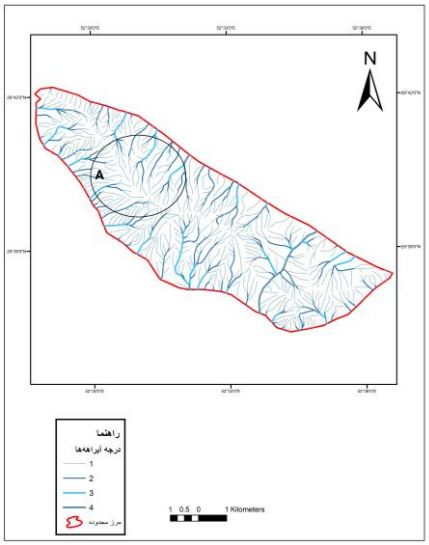
نام تاقدیس	Nu	N1	P(km)	Rt	T
بابا کوهی	۶۰۶	۴۶۶	۳۲,۷۸	۱۸,۴۸	۱۴,۲۱
کفترک	۱۴۵۰	۱۱۰۵	۴۳,۹۵	۳۲,۹۹	۲۵,۱۴

مأخذ: نگارندگان

الگوی زهکشی حوضه

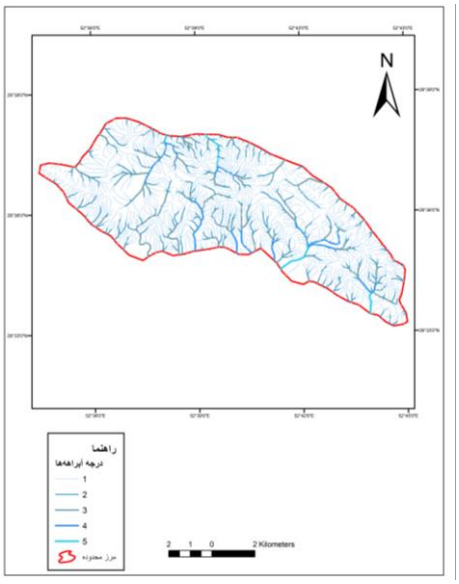
در یک حوضه زهکشی که از نظر فعالیت‌های تکتونیکی متعادل است الگوی زهکشی در زیر حوضه‌های آن بسته به ساختمان زمین‌شناسی و شیب زمین مشابه است. در حوضه‌های با فعالیت تکتونیکی به‌صورت نامتعادل، شبکه‌های زهکشی در زیر حوضه‌ها از الگوهای متفاوتی پیروی می‌کنند (غلامی، ۱۳۸۹: ۸۴). الگوی زهکشی در تاقدیس بابا کوهی به‌صورت، شبه موازی و شاخه درختی می‌باشد، در تاقدیس کفترک الگوی زهکشی شاخه درختی است (شکل ۹ و ۱۰). الگوی زهکشی چنگالی نامتقارن که نشان‌دهنده توسعه یافتگی تاقدیس هست را در تاقدیس بابا کوهی مشاهده می‌کنیم (شکل ۹ بخش A).

[1]- Srinivasa



مأخذ: نگارندگان

شکل ۹: نقشه الگوی زهکشی و شبکه زهکشی چنگالی نامتقارن (بخش A) تاقدیس بابا کوهی



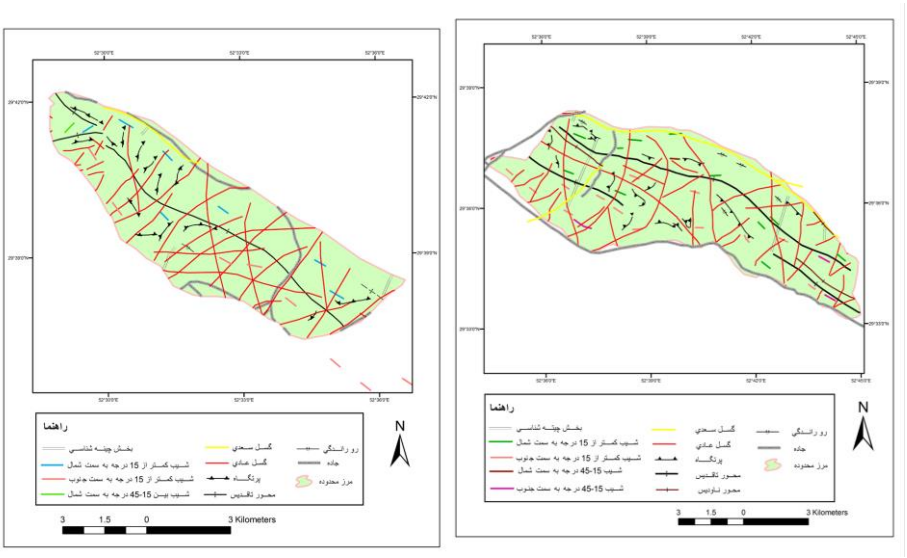
مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۰: نقشه الگوی زهکشی تاقدیس کفترک

گسل‌های منطقه مورد مطالعه

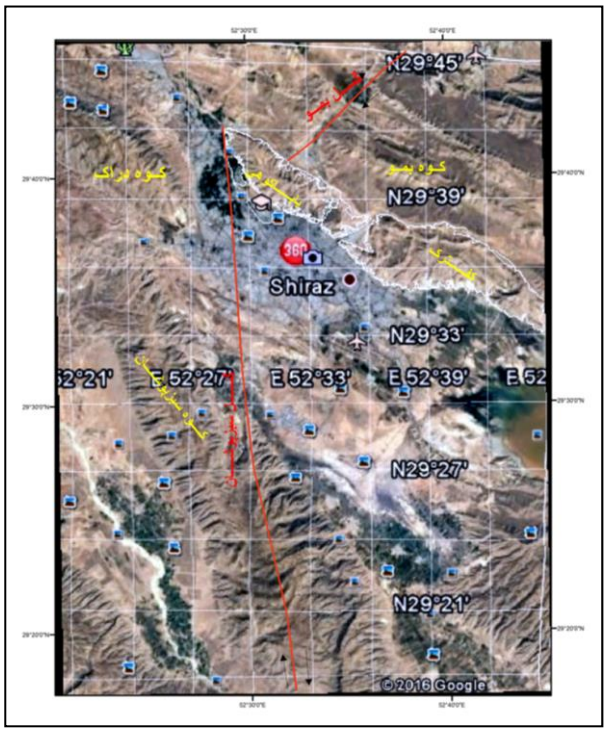
با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) مدل‌های مختلف توپوگرافی همچون نقشه شیب، نقشه جهت شیب، مدل ارتفاعی سایه‌دار و مدل سه بعدی، ایجاد و جهت آشکار سازی روند کلی مانند لند فرم‌ها، آبراهه‌ها، دره‌ها، پرتگاه‌ها، قله‌ها و در نهایت شناسایی خطواره‌ها بکار گرفته شدند. و پس از مشاهده‌ها میدانی از منطقه و استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی نقشه تکتونیک منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۱۱) و چگونگی توزیع خطواره‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. گسل‌های فرعی در هر دو تاقدیس به‌خوبی قابل مشاهده است که نشان‌دهنده فعالیت و تأثیر تکتونیک در

دوره‌های گذشته است. همچنین گسل بمو با امتداد SW-NE و گسل سبزپوشان با امتداد NW-SE (شکل ۱۲) که مشاهده می‌شود با توجه به وضعیت هندسی و مکانیزم پهنه گسلی باعث ایجاد تنش فشاری در تاقدیس بابا کوهی شده است و باعث تغییرات روند تاقدیس در طول محور آن گردیده است که باعث ایجاد گسل‌های عرضی شده است. همچنین در بخش شمالی تاقدیس کفترک گسل سعدی با امتداد NE-SE مشاهده می‌شود.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۱: نقشه تکتونیک تاقدیس‌های کفترک و بابا کوهی



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۲: موقعیت گسل بمو و سبزپوشان

نتیجه‌گیری

بررسی عوارض و شواهد زمین ریخت‌شناسی ساختمانی از بهترین روش‌های ارزیابی حرکات تکتونیکی فعال می‌باشند. هر یک از شاخص‌های فوق یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت‌های تکتونیکی ارائه می‌دهند که برای شناسایی و بررسی مقدماتی تکتونیک‌های فعال مفید می‌باشند. وقتی چندین شاخص در یک ناحیه برای طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل فعالیت‌های تکتونیکی به‌کاربرده می‌شوند، نتایج با معناتر و مستدل‌تری را در بر خواهند داشت.

زاگرس از جنبه لرزه‌خیزی بسیار فعال برخوردار بوده و لرزه‌خیزترین منطقه ایران است و بیش از ۵۰ درصد زمین‌لرزه‌هایی که توسط شبکه جهانی در ایران به ثبت رسیده‌اند در گستره زاگرس است. با توجه به ادامه حرکت‌های نئوتکتونیکی در زاگرس و تکتونیزه بودن منطقه، بررسی نئوتکتونیک منطقه به‌منظور استفاده در ارزیابی خطر زمین‌لرزه و شناخت مخاطرات محیطی ناشی از تکتونیک فعال در منطقه ضروری می‌باشد. بررسی فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌ها، مخروط افکنه‌ها، مناطق مسکونی، مناطق نفتی و ...، در نقاط مختلف جهان به‌منظورهای مختلف صورت می‌گیرد، این پژوهش نیز با استفاده از شاخص‌های جهانی به بررسی فعالیت تکتونیکی دو تاقدیس در محدوده زاگرس چین‌خورده پرداخته است.

تاقدیس‌های بابا کوهی و کفترک نیز بخشی از زاگرس چین‌خورده هستند و به‌تبع ویژگی‌های زاگرس چین‌خورده را دارا می‌باشند. در این پژوهش از چند شاخص ژئومورفولوژی کمی به‌منظور تعیین درجه شدت فعالیت‌های تکتونیکی استفاده شد. شاخص تقارن چین از مهم‌ترین پارامترهایی است که میزان نابرابری دو یال تاقدیس و در نتیجه میزان فعالیت تکتونیکی را نشان می‌دهد. در یک تاقدیس کاملاً متقارن، مقدار این شاخص ۱ است در حالی که در یک تاقدیس نامتقارن، مقدار شاخص مذکور کمتر از ۱ است. مقدار شاخص مذکور برای تاقدیس بابا کوهی ۹۶. و برای تاقدیس کفترک ۶۷. به‌دست‌آمده است که بیانگر جوان‌تر بودن و تأثیر بیشتر تکتونیک بر تاقدیس کفترک است و متقارن بودن تقریبی تاقدیس بابا کوهی را نشان می‌دهد. از دیگر پارامترهایی که بر اساس آن می‌توان درجه فعالیت‌های تکتونیکی یا سن سیستم چین‌خوردگی را تعیین نمود، شاخص سینوسیته جبهه چین (FFS) است. مقدار محاسبه شده برای تاقدیس بابا کوهی ۱,۲۳ و برای تاقدیس کفترک ۱,۳۸ است که نشان‌دهنده‌ی فعالیت متوسط تکتونیکی هر دو تاقدیس است. طول خط‌الرأس تاقدیس تا حدودی نشان‌دهنده میزان فرسایش و سن چین خورگی است. مقدار شاخص AD برای تاقدیس بابا کوهی ۱,۰۲ و برای تاقدیس کفترک ۱,۰۶ به‌دست‌آمده است که نشان‌دهنده فعالیت بیشتر تاقدیس بابا کوهی است. از دیگر شاخص‌های مورفومتری برای تعیین میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی یک منطقه، شاخص نسبت جهت می‌باشد. میزان این شاخص برای تاقدیس بابا کوهی ۳,۶۷ و برای تاقدیس کفترک ۳,۱۲ به‌دست‌آمده است که نشان‌دهنده‌ی فعالیت‌های تکتونیکی بیشتر تاقدیس بابا کوهی نسبت به کفترک است.

نسبت انشعاب‌ها (Rb)، تراکم زهکشی (Dd)، فرکانس رودخانه (Fs)، تخمینی کمّی از تکامل شبکه‌ی آبراهه‌های با درجه‌های مختلف است. تکتونیک نقش مهمی در تعداد آبراهه‌های با درجات مختلف داشته و بنابراین نسبت انشعاب‌ها،

تراکم زهکشی و فرکانس رودخانه در تاقدیس‌های جوان بسیار بالاتر از تاقدیس‌های فرسایش یافته و قدیمی می‌باشد. در تاقدیس بابا کوهی، مقدار Rb ۴,۹۴، مقدار Dd ۴,۴۱ و مقدار Fs ۱۰,۱۵ است. در تاقدیس کفترک مقدار Rb ۴,۰۹، مقدار Dd ۲,۰۵ و مقدار Fs ۱۴,۵۸ به‌دست‌آمده است. خصوصاً که تعداد آبراهه‌های درجه ۱ در تاقدیس کفترک بسیار زیاد است که از نظر نگارندگان نتیجه فرسایش زیاد تاقدیس است نه فعالیت‌های زیاد تکتونیکی تاقدیس کفترک؛ به همین منظور به بررسی رابطه‌ی تعداد آبراهه‌های درجه ۱ و وضعیت فعالیت‌های تکتونیکی، نسبت تعداد آبراهه‌های درجه ۱ به‌کل آبراهه‌های تاقدیس بررسی و محاسبه شد؛ که مقادیر محاسبه‌شده برای تاقدیس بابا کوهی ۷۶,۸۹ و تاقدیس کفترک ۷۶,۲۰ درصد به دست آمد؛ که نشانگر تکتونیک فعال، جوان بودن و سرعت زیاد بالاآمدگی تاقدیس بابا کوهی است. شاخص بافت زهکشی (Rt) و نسبت بافت (T) نیز شاخص‌های دیگری هستند که برای مشخص کردن مورفومتری منطقه، مورد بررسی قرار گرفتند؛ که بیانگر جوان بودن تاقدیس کفترک هستند. الگوی زهکشی شاخص دیگری است که در صورت نبود شواهد تکتونیکی می‌تواند کلیدی برای شناسایی فعالیت‌های تکتونیکی باشد و در این بررسی الگوی زهکشی تاقدیس بابا کوهی به‌صورت، شبه موازی و شاخه درختی می‌باشد، که این الگو بازگو کننده‌ی تکتونیک تقریباً فعال در این تاقدیس است. در تاقدیس کفترک الگوی زهکشی شاخه درختی است که نشان‌دهنده‌ی شرایط آرام حاکم بر تاقدیس می‌باشد. از دیگر شواهد تکتونیک فعال، رشد جانبی تاقدیس‌ها وجود شبکه‌های زهکشی چنگالی نامتقارن است که در تاقدیس بابا کوهی با جهت شمال غرب–جنوب‌شرق‌وز، جهت توسعه یافتگی تاقدیس برحسب این معیار بیشتر به سمت شمال غرب است و توسعه به سمت جنوب‌شرق‌وز کمتر خود را نشان داده است. در تاقدیس کفترک این الگو مشاهده نشد. به‌طور کلی مقادیر شاخص‌های کمی محاسبه شده و همچنین شاخص‌های کیفی بررسی شده در این پژوهش بیانگر فعالیت تکتونیکی، و فعالیت‌های رو به رشد تاقدیس بابا کوهی است. همچنین نشان‌دهنده‌ی جوان بودن تاقدیس بابا کوهی و فعالیت تکتونیکی متوسط تا بالا است هر چند پلانژ جنوب شرقی این تاقدیس در اثر گسل خوردگی و فرسایش شدید از بین رفته است. همچنین وجود گسل راستالغز–راستگرد با امتداد SW-NE از منطقه بمو و گسل راستالغز–راستگرد سبزپوشان با امتداد NW-SE فشارهایی در تاقدیس بابا کوهی ایجاد نموده است که موجب تغییرات روند تاقدیس و ایجاد گسل‌های عرضی شده است. در بخش شمالی تاقدیس کفترک گسل سعدی با امتداد NW-SE گسل‌هایی با امتدادهای متفاوت در تاقدیس مشاهده می‌شوند اما بر اساس نتایج محاسبه شاخص‌ها در تاقدیس کفترک تکتونیک کمتر دخالت کرده و نتایج، فعالیت کم تا متوسط را نشان می‌دهند و همچنین در این تاقدیس عامل فرسایش غلبه بیش‌تری دارد که خود نشان‌دهنده یکی از عوامل تأثیر کمتر تکتونیک در این بخش است. به‌طور کلی نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که هر دو بخش از نظر تکتونیکی تقریباً فعال بوده و احتمال مخاطره در این بخش‌ها وجود دارد. خصوصاً که ساخت و سازها و سکونت در این بخش‌ها در حال گسترش است که همین مسئله اهمیت موضوع را دو چندان می‌کند. پیشنهاد می‌شود محدوده مورد مطالعه از دیدگاه تصاویر ماهواره‌ای نیز مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد تا نتایج دقیق‌تر و گسترده‌تری حاصل شود.

منابع

۱- بهرامی، شهرام؛ فاطمه پرهیزکار. الهه اکبری. تیمور جعفری. (۱۳۹۲): بررسی رابطه ژئومورفولوژی تکتونیک بر اکتشاف مخازن هیدروکربنی زاگرس فارس (مطالعه موردی: تاقدیس‌های خشت و نورا)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، در دست چاپ ۲.

۲- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۷۶): نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ رقومی شده ایران.

۳- غلامی، یوسف. (۱۳۸۹): بررسی ژئومورفولوژی تکتونیک در تاقدیس گلیان شیروان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار.

۴- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رقومی شده ایران.

5- Azor, A., Keller, E.A., Yeats, R.S. (2002): Geomorphic Indicators of Active Fold Growth: South Mountain–Oak Ridge Anticline, Ventura Basin, Southern California. Geological Society of America Bulletin 114(6), 745–753.

6- Ahmadi, R., Ouali, J., Mercier, E., Mansy, J.L. (2006): The Geomorphologic Responses to Hinge Migration In The Fult-Related Folds In The Southern Tunnisian Atlas. Journal of Structural Geology 28, 721-728.

7- Bahrami, S. (2012): Morphtectonic Evolution of Triangular Facets and Wine-Glass Valleys In The Noakoh Anticline, Zagros, Iran: Implications For Active Tectonics. Geomorphology 159, 37-49.

8- Bretis, B., Bartl, N., Grasemann, B. (2011): Lateral Fold Growth and Linkage In The Zagros Fold and Thrust Belt (Kurdistan, NE Iraq). Basin Research 23, 615–630.

9- Berberian, M. (1995): ″Master "Blind" Thrust Faults Hidden Under The Zagros Folds: Active Basement Tectonics and Surface morphotectonics", Tectonophysics, Vol. 241, 193-224.

10- Beydon, Z.R., Hughes Clark, MW and Stone, R., (1992): Petroleum In The Zagros Basin In: Macqueen, R.W. and Leckie, D.A. (Eds), Foreland Basine and Fold Belt. AAPG Mem 55, 309-340.

11- Burbery, C.M, Cosgrove, J. W, Liu, J.G. (2008): Spatial Arrangement of Fold Types In The Zagros Simply Folded Belt, Iran, Indicated By Lanform Morphology and Drainage Pattern Characteristics, Journal of Maps, 417-430.

12- Burbery, C. M, Cosgrove, J. W, Liu, J.G. (2010): A Stady of Fold Characteristics and Deformation Style Using The Evolution of The Land Surface: Zagros Simply Folded Belt, Iran, Geological Society of London, 139 – 153.

13- Delcaillau, B., Carozza, J.M., Laville, E. (2006): Recent Fold Growth and Drainage Development: The January and Chandigarh Anticlines In The Siwalik Foothills, Northwest India. Geomorphology 76, 241-256.

14- Falcon, N.L. (1974): Southern Iran: Zagros Mountains. In: Mesozoic- Cenozoic Organic Belts (Geol. Soc. Lond. Spec. Publ., Ed. By A.M. Spencer), 4, 199-212.

15- 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

16-Keller, E.A. and Pinter, N. (2001); Active Tectonics. Earthquakes, Uolift and Landscape, New Jersey: Prentice Hall. P.2. 121.

17- Ozdemir, H and Bird, D. (2009): Evaluation of Morphometric Parameters of Drainage Networks Derived From Topographic Maps and DEM in Point of Floods. Environmental Geology, 56, 1405–1415.

18- 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, 171-180.

19- Ramsey, L. A., Walker, R.T., Jackson, J. (2008): Fold Evolution and Drainage Development In The Zagros Mountains of Fars Province, SEIran. Basin Research, 20, 23-48.

20- Singh, T and Jain, V. (2008): Tectonic Constraints On Watershed Development On Frontal Ridges: Mohr and Ridge, NW Himalaya, India. Geomorphology, 102,231-141.
21- Silva, P.G., Goy. J.L., Zazo, C., Bardji, T. (2003): "Fault-Generated Mountain Fronts in Southeast Spain: Geomorphologic Assessment of Tectonic and Seismic Activity", Geomorphology, 50, 203-225.
22- Sreedevi, P. D., Subramanian, K and Ahmed, S. (2005): The Significance of Morphometric Analysis For Obtaining Groundwater Potential Zones in a Structurally Controlled Terrain. Environmental Geology, 47, 412–420.
23- Srinivasa Vittala, S., Govindaiah, S., Honne Gowda, H. (2004): Morphometric Analysis of Sub-Watersheds In The Pavagada Area of Tumkur District, South India Using Remote Sensing and GIS Techniques, Journal of The Indian Society of Remote Sensing 32, 1-12
24- Sung. O., Chen, Y.C. (2004): Geomorphic Evidence and Kinematic Model For Quaternary Transfer Faulting of The Pakuashan Anticline, Central Taiwan. Journal of Asian Earth Sciences 24, 389-404.
25- Talling, P and Sowter, M.J. (1999): Drainage Density on Progressively Tilted Surfaces With Different Gradients, Wheeler Ridge, California. Earth Surface Processes and Landform 24, 809-824.
26- Tucker, G.E., Catani, F., Rinaldo, A., Bras, R.L. (2001): Statistical Analysis of Drainage Density From Digital Terrain Data. Geomorphology, 36, 187–202.
27- Vijith and, H., Satheesh, R. (2006): GIS Based Morphometric Analysis of Two Major Upland Sub-Watersheds of Meenachil River In Kerala, Journal of The Indian Society of Remote Sensing, Vol. 42, No 2, Pp: 180-185.
28- Zuchiewicz, W. (1998): Quaternary Tectonics of The Outer West Carpathians, Poland. Tectonophysics, 297, 121–132.