بررسی و ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و بهره‌گیری از سامانه GIS (مطالعه موردی: حوضه دیزج صفرعلی چای)

موسی عابدینی [۱*]، محمدرضا ایمانی[۲]، امیرحسام پاسبان[۳]

۱*- استاد گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
abedini@uma.ac.ir

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
A.hesam۷۷۳@gmail.com

ایمیل نویسنده مسئول: abedini@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰۸/۲۷ تاریخ پذیرش:۱٤۰۲/۱۰/۱۱

چکیده

توجه و شناخت پویایی و دینامیک محیط طبیعی با رویکرد سیستمی و حوضه‌ای از اهمیت و ضرورت بسیار بالایی در برنامه‌ریزی‌های توسعه و عمران منطقه‌ای برخودار است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی و ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و بهره‌گیری از سامانه GIS در حوضه دیزج صفرعلی چای بارویکرد توصیفی– تحلیلی از طریق بررسی و تحلیل میزان فعالیت تکونیک با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیک همچون شاخص عدم تقارن (Af)، شاخص تراکم زهکشی (D)، انتگرال هیپسومتریک، میزان سینوزیته یا پیچ و خم رودخانه (RS)، سینوزیته جبهه کوهستان(SMF) و شاخص نسبت شکل حوضه (BS) در محیط ArcGIS انجام گرفته است. نتیجه نشانگر فعال بودن تکتونیک در حوضه آبریز دیزج صفرعلی می‌باشد و میزان آن در ارتباط با نزدیکی با گسل‌های اصلی یا فعال منطقه می‌باشد. با توجه به وجود گسل‌های فراوان در اطراف و نزدیک و در داخل حوضه دیزج صفر علی و فعال بودن تکتونیک در منطقه می‌توان گفت که تشدید فعالیت مورفودینامیک در حوضه دیزج صفر علی در ارتباط و متأثر از عوامل تکتونیکی در این حوضه می‌باشد. در نهایت به‌دلیل وجود گسل‌های متعدد در منطقه ورزقان و نزدیک و داخل محدوده مورد مطالعه انتظار حرکات زمین ساختی و ایجاد زلزله و فرآیندهای دامنه‌ای (خزش، ریزش، زمین لغزش و سولی فلکسیون) در منطقه دور از انتظار نیست. بنابراین مسئولین و سازمان‌های زیربط باید تمهیدات ویژه‌ای را در پرژوه‌های عمرانی و ساخت و سازها در این محدوده اعمال نمایند تا از بروز خسارات جانی و مالی بکاهند و به رفاه و آسایش مردم آسیبی وارد نشود.

کلمات کلیدی

" هیدروژئومورفیک "، " مورفودینامیک "، " GIS "، " حوضه دیزج صفرعلی چای ".

۱- مقدمه

نو زمین‌ساخت فعال به مطالعه فرایندهای پویا و دینامیک مؤثر در شکل‌دهی زمین و چشم‌اندازهای موجود در آن می‌پردازد (تقیان و ملک‌زاده، ۱٤۰۱؛ Keller and Pinter, ۲۰۰۲). شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی فعالیت‌های تکتونیکی و نئوتکتونیکی می‌توانند به‌عنوان ابزاری مفید و کارآمد استفاده شوند، زیرا با استفاده از آن‌ها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع یا کند تکتونیکی را تجربه کرده‌اند به‌آسانی شناسایی کرد (عابدینی، ۱۳۸۵). این شاخص‌ها رابطه تکتونیک و عوارض سطحی را به‌خوبی نشان می‌دهند و با آگاهی از این ارتباط می‌توان حوادث تکتونیکی را از راه بررسی شکل‌ها و ناهمواری‌های سطح زمین تفسیر کرد (Morisava and Hack, ۲۰۲۰).

فلات ایران یک منطقه چین‌خورد آلپی است. در حال حاضر نیز از هر طرف تحت فشار بوده و حرکات نئوتکتونیکی هنوز در آن ادامه دارد. وقوع زمین‌لرزه‌های مکرر در ایران یکی از پیامدهای فعال بودن جنبش‌های نئوتکتونیکی در حال حاضر است. واقع شدن کانون اکثر زمین‌لرزه‌های ثبت شده در امتداد دو کمربند چین‌خورده و جوان حاشیه شمالی و جنوبی (البرز و زاگرس)، ایران به خوبی این ارتباط را نشان می‌دهد (Berberian & King, ۱۹۸۱). تقریبا هیچ منطقه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تأثیر تغییرات نئوتکتونیکی قرار نگرفته باشد (Keller & Pinter,

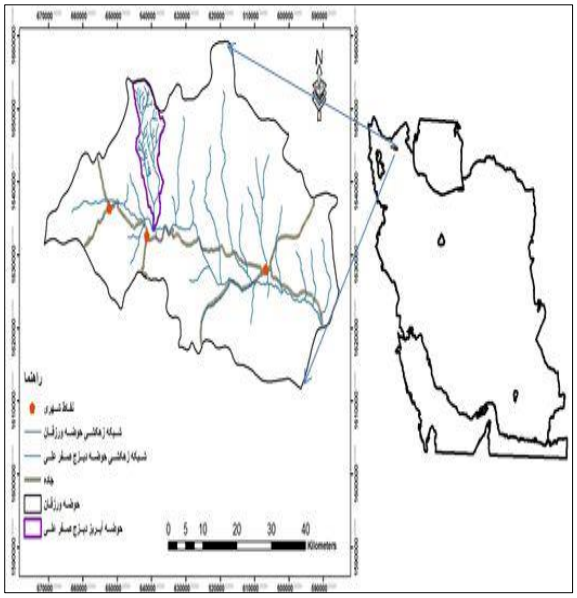
۲۰۰۲). شاخص‌های ژئومورفیک به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان ابزاری برای شناسایی و مشخص کردن بخش‌های تغییر شکل‌یافته به‌وسیله گسل‌های فعال مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Giaconia et al., ۲۰۱۲). هدف ژئومورفومتری، استخراج ویژگی‌های شکلی سطح زمین و عوارض موجود در آن با استفاده از مدل‌های رقومی سطح زمین و نرم‌افزارهای پارامترسازی است (جلالی و همکاران، ۱۳۹۵). شاخص‌های نئوتکتونیک فعال می‌تواند ناهنجاری‌های موجود در سیستم رودخانه‌ای یا در طول جبهه‌های کوهستان را آشکار سازند. این ناهنجاری‌ها ممکن است در نتیجه تغییرات محلی به واسطه فعالیت‌های زمین‌ساختی ناشی از باالآمدگی یا فرونشست حاصل شود (El Hamdouni et al., ۲۰۰۸). اندازه‌گیری کمی لندفرم‌ها این امکان را به ژئومورفولوژیست‌ها می‌دهد تا با اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفولوژی در لندفرم‌های مختلف نقش تکتونیک فعال را در تغییر شکل چشم‌اندازها بررسی کنند (Keller and Pinter, ۲۰۰۲). در ساده‌ترین شکل، لندفرم‌ها و شکل‌های تشکیل‌دهنده زمین با اندازه، ارتفاع، شیب مشخص می‌شوند. به‌عبارتی اندازه‌گیری‌های عددی به ژئومورفولوژیست‌ها این امکان را می‌دهد تا به‌طور عینی و ملموس شکل‌های مختلف را مقایسه و ارزیابی کرده و با محاسبه الگوها و شاخص‌ها به تشخیص و تبیین تفاوت‌ها و تشابهات ژئومورفولوژیکی یک منطقه معین را از یک ناحیه دیگر مبادرت ورزند (عابدینی، ۱۳۹۵). پژوهش‌های زیادی در ارتباط با فعالیت‌های نئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در مناطق مختلف انجام شده است برای مثال، عابدینی و شبرنگ (۱۳۹۳)[1]، به‌بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیکی حوضه آبریز مشکین‌چای را با شاخص‌های ژئومورفولوژی پرداختند. ایشان به نتیجه رسیدند که کل حوضه مورد مطالعه از لحاظ نوتکتونیکی پویاست. دزفولی کلونی و ایلانلو (۱۳۹۷)، ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند در حوضه دالکی، بریدگی نسبتاً زیاد جبهه کوهستانی، موجب سینوسی زیاد آن شده است. شکل حوضه نیمه کشیده و از نظر تقارن توپوگرافی، نیمه متقارن است، ولی بی نظمی‌های موجود در نیمرخ طولی رودخانه به دلیل واحدهای لیتولوژی مختلف و ساختارهای گسلی متعدد، زیاد است. به این ترتیب، مجموع داده‌ها و شواهد زمینی در حوضه آبریز دالکی نیمه فعال بودن آن را از نظر دینامیک نیروهای درونی زمین نشان می‌دهد. نگهبان و درتاج (۱۳۹۸)، به ارزیابی تکتونیک فعال حوضه رودخانه سیروان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند ایشان به این نتیجه رسیدند نتایج حاصله از این شاخص بیانگر این است که در بین زیرحوضه‌های مطالعاتی، زیرحوضه شویشه با میانگین کلاس ۲ ،دارای وضعیت فعال‌تری نسبت به سایر زیرحوضه‌ها است. مقصودی و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه‌های حبله‌رود و کردان بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک پرداختند. این محققین به این نتیجه رسیدند حوضه کردان در کلاس ۱ و حوضه حبله‌رود در کلاس ۲ قرار دارد. طبق طبقه‌بندی از شاخص IATمی‌توان گفت که هر دو منطقه از نظر تکتونیکی فعال هستند ولی میزان فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه کردان نسبت به حوضه حبله‌رود بیش‌تر است. خلج (۱۴۰۰)، به ارزیابی فعالیت نئوتکتونیکی حوضه آبریز قروه- دهکلان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک پرداخت. ایشان به این نتیجه رسید فعالیت زمین‌ساختی بالا را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که به‌دلیل فعالیت گسل‌های موجود در منطقه است. از مهم‌ترین گسل‌های واقع در منطقه می‌توان گسل‌های بنه‌آباد، سورمه علی، پریشان، گسل محمودآباد، گسل سیاه و گسل خلخال را نام برد. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)، به منظور بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان‌لرزه‌زایی گسل‌ها در حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی را پرداختند. نتایج ان‌ها نشان داد که با توجه به شاخص زمین‌ساخت نسبی فعال منطقه مورد مطالعه به پنج رده بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم نئوتکتونیکی تقسیم گردید. براساس ارزیابی توان لرزه خیزی این نتیجه حاصل گردید رابطه زارع با مقدار ۷/۴ ریشتر، نوروزی و اشجعی با مقدار ۹/۵ریشتر و نوروزی ۶/۵ ریشتر می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش فعالیت نئوتکتونیکی متوسط را در بیشتر زیرحوضه‌های کوزه توپراقی نشان می‌دهد که در این مناطق فعالیت گسل شدت نداشته و بنابراین در این مناطق برای مناطق مسکونی خطرات چندانی ایجاد نمی‌کند از مهم‌ترین گسل حوضه کوزه توپراقی می‌توان به گسل آمین‌آباد و ترکه‌ده اشاره کرد. تقیان و ملک‌زاده (۱۴۰۱)، به منظور ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیکی در تحولات حوضه‌های آبریز در جنوب کوهستان کرکس را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از شاخص‌های ژئومورفولوژیک و وجود شواهد ژئومورفولوژیکی موجود در منطقه نشان داد که وجود فعالیت‌های زمین‌ساختی زیاد در حوضه‌های آبریز جنوب

ارتفاعات کرکس است. شدت فعالیت‌های تکتونیکی از جنوب شرق به سمت شمال غرب شدت می‌یابد. مومی‌پور و معاوی (۱۴۰۱)، به تحلیل شرایط تکتونیک و فرسایش در حوضه سد شهید عباسپور با تکنیک‌های ژئومورفومتری پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که فعالیت‌های تکتونیکی در سازندهای فرسایش‌پذیر باعث فرسایش کناره‌ای شده و در نتیجه خاک‌ها فرسایش می‌یابند اما در سازندهای مقاوم فعالیت زمین‌ساختی اثر کمی گذاشته و خاک‌ها تقریبا مقاومت خود را دارند. همچنین از نظر هیپسومتری متعادل بوده و سیمای توپوگرافیک و ژئومورفیک حوضه مورد مطالعه از فعالیت‌های تکتونیک متاثر است که نتیجه آن پستی و بلندی زیاد و کج‌شدگی حوضه است. نجفی و همکاران (۱۴۰۲)، با هدف بررسی و ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیکی در سلفچگان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که با محاسبه شاخص فعالیت نسبی (LAT) از لحاظ فعالیت به چهار رده تقسیم شد که در این تقسیم‌بندی رده‌های ۱ تا ٤ به‌ترتیب بیانگر بیش‌ترین تا کم‌ترین فعالیت زمین‌ساختی است که بر این اساس مشخص گردید که ۲/۸٦ درصد حوضه‌ها در رده ۲، ۵۱/٤۳ درصد حوضه‌ها در رده ۳، و ٤۵/۷۱ درصد حوضه‌ها در رده ٤ قرار دادند. گارنیر و پیروتا (۲۰۰۸)، شاخص‌های ژئومورفیک و پارامترهای رتبه‌ای شبکه‌های زهکشی، تکتونیک فعال را در شمال شرقی سیسیلی ایتالیا مورد بررسی قرار دادند و به نتایج موردانتظار دست یافته است. تروین و دل ستا (۲۰۲۰)، شاخص های مورفومتری را در ارزیابی تکتونیک فعال در ایتالیا مورد استفاده قرار دادند و به نتایج خوبی دست یافتند. نگاپنا و همکاران (۲۰۲۰)، به‌منظور ارزیابی زمین‌ساخت فعال در منطقه ایدیا اسکا در قسمت جنوب غربی کامرون با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیکی پرداختند. نتایج کار این محققین نشان داد که فعالیت مجدد گسل‌های که در این منطقه قرار دارند عامل ایجاد زلزله‌های شدید هستند. گارسیا و والدیا (۲۰۲۰)، فعالیت‌های تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی را در منطقه سن‌لوکاس در کوردیرلای مرکزی با استفاده از شاخص‌های ریخت‌شناسی و ژئومورفولوژیکی مورد مطالعه قرار دادند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین فعالیت زمین‌ساختی مربوط به دامنه کوه سیمیتی، شمال گسل‌های سیمیتی – سن بلاس در راستای گسل‌های با روند شمال غرب جنوب شرق و در شمال حوضه فلسطین است. هدف از پژوهش حاضر بررسی و ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک حوضه دیزج صفرعلی چای و بهره‌گیری از سامانه ArcGIS است.

۲- روش انجام تحقیق

- محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز دیزج صفر علی چای در ورقه یکصد هزارم ورزقان در بخشی از واحد زمین ساختی البرز-آذربایجان که کوه‌های قره داغ و ارسباران را شامل می‌گردد، قرار گرفته است و یکی از زیر حوضه‌های حوضه آبریز ورزقان در استان آذربایجان شرقی است. (شکل۱). پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌ها در حاشیه جنوبی ورزقان در اطراف رودخانه دیزج صفر علی چای به چشم می‌خورد. به علت سخت بودن واحدهای سنگی و کوهستانی بودن منطقه وشیب زیاد رودخانه‌ها در قسمت شمال حوضه، اغلب دره‌های تنگ و باریک را به‌وجود آورده‌اند. به جز بخش‌های حاشیه جنوبی منطقه که از نهشته‌های پلیوسن تشکیل شده و دارای سطوح هموار و فرسوده است، بقیه مناطق به خاطر وجود سنگ‌های سخت علی‌رغم بارش و فرسایش از ستیغ های تیز و خشن تشکیل شده است.که به طور محلی و ناحیه‌ای در اثر فرایندهای هوازدگی شیمیایی و آلتراسیون، کوه‌های با سطوح فرسوده و هموار نیز مشاهده می‌شود در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، منبع: نویسندگان، ۱٤۰۲

تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی میزان نسبی فعالیت زمین‌ساختی در حوضه آبخیز دیزج صفرعلی چای انجام شده است. در ابتدا به محاسبه شاخص‌ها پرداخته شد. در مرحله بعد، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱.۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در گستره مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله پایانی، نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفولوژی و ساختارهای اصلی منطقه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل

قرار گرفت. شاخص‌های مورد بررسی در منطقه عبارت‌اند از: شاخص‌های عدم تقارن (Af)، شاخص تراکم زهکشی (D)، انتگرال هیپسومتریک، میزان سینوزیته یا پیچ و خم رودخانه (RS)، سینوزیته جبهه کوهستان (SMF) و شاخص نسبت شکل حوضه (BS).

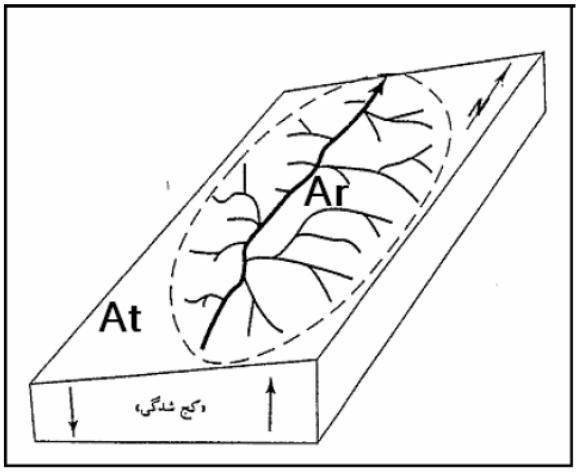
- شاخص‌های ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی

شاخص‌های ژئومورفیک به عنوان یکی ازابزارهای اساسی برای پی بردن به وضعیت و میزان تاثیر فعالیت های نئوتکتونیکی در سطح زمین می‌باشند که بارها توسط محققان زیادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی فعالیت‌های تکتونیکی ابزار مفید و قابل اطمینانی هستند، زیرا با استفاده از آن‌ها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا کند تکتونیکی را تجربه کرده‌اند، به راحتی شناسایی نمود (رامیرز و هیررا، ۱۹۹۸). شاخص‌های ژئومورفیک به‌طور خاص برای مطالعات تکتونیک فعال استفاده می‌شود (داگلاس و همکاران، ۲۰۰۳). تمامی شاخص‌های ژئومورفیک تحت تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ‌ها قرار دارند. بنابراین مقادیر حاصل از به‌کارگیری این شاخص‌ها، به طور مستقیم و یا غیر مستقیم نشان‌دهنده ویژگی‌های مذکور هستند (گورانیر، ۲۰۰۷). تحلیل های مورفومتری که ارزیابی کمی ویژگی های ژئومتری اشکال زمینی و چشم اندازها می باشند، از طریق شاخص های ژئومورفیک و پارامترهای رتبه ای شبکه های زهکشی، تکتونیک فعال یک منطقه را بررسی می کنند(Guarnieri and Pirrotta, ۲۰۰۸).کاربرد این شاخص‌ها مبتنی بر تحلیل شبکه‌های زهکشی و جبهه‌های کوهستانی است (Malik and Mohanty, ۲۰۰۷). بر اساس این شاخص‌ها با رویکرد کمی در تحلیل ژئومورفیک، می‌توان آنومالی‌های موجود در سامانه‌های آبرفتی یا بی‌نظمی‌های امتداد جبهه‌های کوهستانی را تشریح کرد. ممکن است این آنومالی‌ها در اثر تغییرات محلی ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی (بالاآمدگی یا فرونشست) ایجاد شده‌اند (Hamdouni et al, ۲۰۰۸). شاخص‌های ژئومورفیک در نواحی خشک و نیمه خشک جهان مورد استفاده قرار گرفته و به نتایج مورد انتظار دست یافته است.

- شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (**AF**)

$$AF = ۱۰۰ (Ar / At)$$ رابطه ۱

در رابطه فوق AF شاخص مورد نظر و At و Ar به ترتیب مساحت حوضه در برگیرنده زهکش‌های فرعی در سمت راست آبراهه اصلی و مساحت کل حوضه زهکشی بر حسب کیلومترمربع می‌باشد که بر اساس رابطه ۱ و (شکل ۲) محاسبه می‌شود.



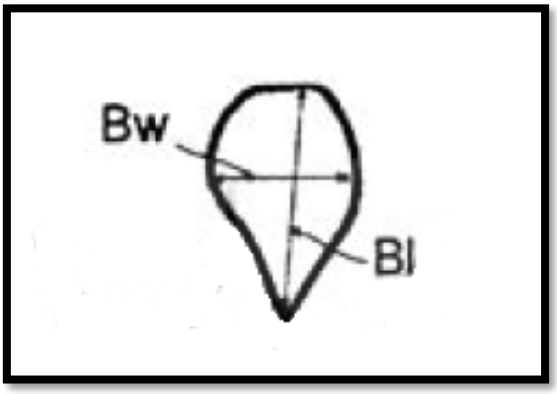
شکل ۲- محاسبه شاخص AF

مسلماً در صورتی‌که تکتونیک در منطقه و یا حوضه مورد نظر اثر گذاشته باشد شاهد توپوگرافی متفاوت خواهیم بود، در یک سو شاهد بالاآمدگی و در سویی دیگر شاهد فرونشست خواهیم بود و تاثیر مستقیم آن افزایش طول آبراهه‌های فرعی و به تبع آن مساحت در برگیرنده این آبراهه‌ها در سمت بالا آمده نسبت به سمت مقابل یا فرو افتاده خواهیم بود. نکته مهم و قابل اشاره آن است که مقادیر عددی به دست آمده از این شاخص چنان‌که در حدود ۵۰ باشد، وجود تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و در نتیجه عدم کج‌شدگی بر اثر بالاآمدگی را نشان می‌دهد و مقادیر بیش‌تر و کم‌تر از ۵۰ به ترتیب بیانگر عملکرد افزایشی در سمت راست و چپ آبراهه اصلی و در نتیجه حضور فعالیت تکتونیکی را به ما بازگو می‌کند.

- شاخص نسبت شکل حوضه (**BS**)

$$BS = Bl / Bw$$ رابطه ۲

در رابطه بالا BS= شاخص شکل حوضه؛ Bl= اندازه طول حوضه از انتهایی ترین مقسم آب تا خروجی حوضه؛ Bw= پهنای حوضه در پهن‌ترین قسمت می‌باشد که براساس رابطه ۲ و (شکل ۳) به‌دست می‌آید.



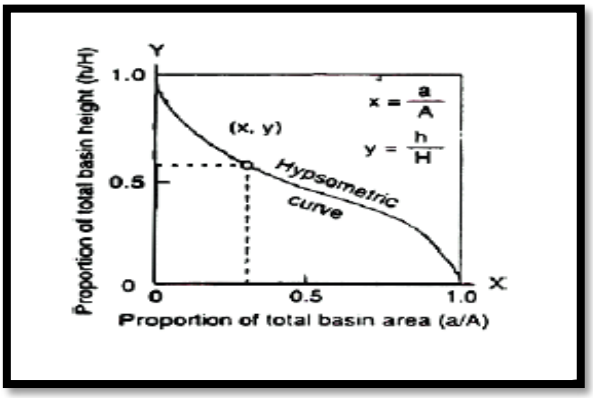
شکل ۳- محاسبه شاخص BS

حوضه‌هایی با تکتونیک فعال، شکل کشیده‌ای دارند. شکل حوضه در طول زمان با توقف میزان بالاآمدگی به تدریج دایره شکل می‌شود (Burbank and Anderson, ۲۰۰۱).
حوضه‌هایی که با مقادیر زیاد یعنی بیش‌تر از ٤ مشخص می‌شوند، از نظر تکتونیکی فعال هستند. زمانی که BS بین ۳ تا ٤ باشد، حوضه‌ها از نظر فعالیت زمین‌ساختی نیمه فعال هستند و مقادیر کم‌تر از ۳، حوضه‌های دایره‌ای شکل را نشان می‌دهند که از نظر فعالیت، غیرفعال‌اند (Hamdouni et al.۲۰۰۸ ,).

- **شاخص انتگرال هیپسومتریک (HI)**
-

رابطه ۳ $Hi= (A – min) / (max – min)$

در رابطه بالا A= ارتفاع متوسط ، min= حداقل ارتفاع ، max= حداکثر ارتفاع می‌باشند و براساس رابطه ۳ و (شکل ٤) بیان می‌گردد.



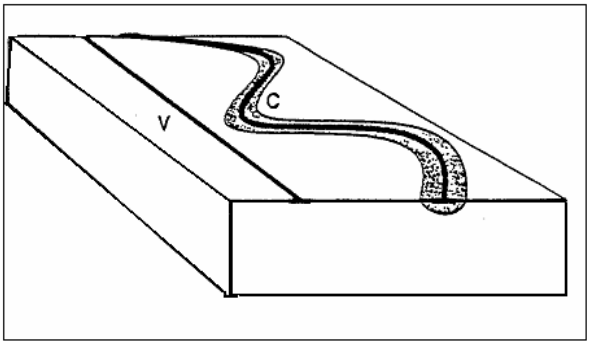
شکل ٤- محاسبه شاخص Hi

نتایج کسب شده از این شاخص برای مناطق مختلف از حداکثر ۰/۵ تا نزدیک به صفر متغیر است. مقادیر بالاتر شاخص بیانگر توپوگرافی جوان و وجود پستی و بلندی زیاد نسبت به میانگین شبکه زهکشی است و با برش‌های عمیق، برجستگی‌های ناهموار، سطوح بالا آمده و بریده شده توسط شبکه زهکشی مشخص می‌شود. مقادیر پایین‌تر شاخص، تعادل در فرآیندهای ژئومورفیک و گذر از مرحله بلوغ به پیری را بیان می‌کند که برجستگی‌های نسبی هموار از ویژگی‌های آن است. ارتباط بین شاخص Hi و درجه بریدگی، سبب شده تا به عنوان معیاری برای تشخیص چرخه مرحله فرسایشِ چشم انداز، مورد استفاده قرار گیرد.

شاخص پیچ وخم رودخانه (RS)

رابطه ٤ $S=C/V$

در رابطه بالا S= میزان سینوسیته یا پیچ و خم رودخانه، C= طول رودخانه، V= طول دره می باشند که بر اساس رابطه ٤ و (شکل ۵).



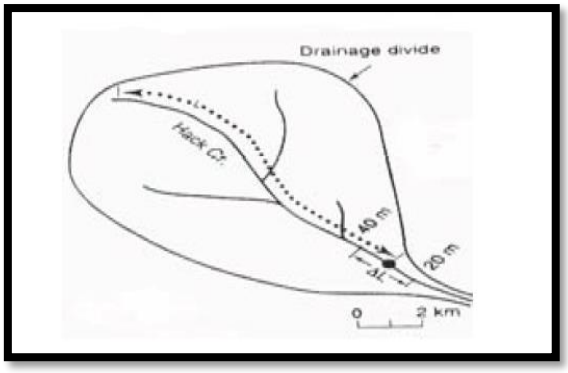
شکل ۵- محاسبه شاخص S

به نظر می‌رسد هر چه مقدار پیچ و خم آبراهه یا رودخانه‌ای بیش‌تر باشد به حالت تعادل نزدیک‌تر بوده در حالی‌که مستقیم بودن مسیر رودخانه بیش‌تر حاکی از جوان بودن منطقه و فعالیت‌های عصر حاضر تکتونیکی و یا نئوتکتونیکی است. بالا بودن مقادیر عددی این شاخص، نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل را نشان می‌دهد در حالی‌که مقادیر کم این شاخص، بیانگر فعالیت تکتونیکی در منطقه مطالعاتی مورد نظر می‌باشد (ولدی، ۱۳۹۲).

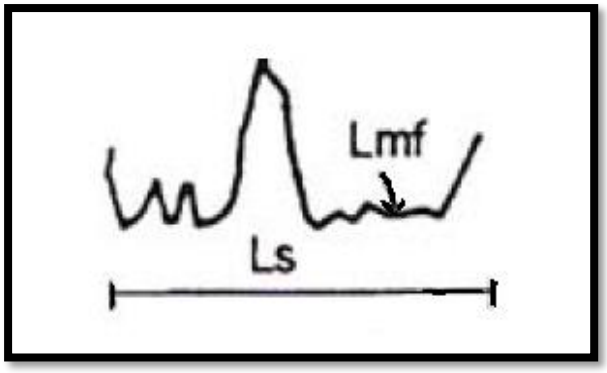
شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)

رابطه ۵ $SL= (\Delta H / \Delta L).L$

در رابطه فوق SL شاخص گرادیان طولی رود، ΔH اختلاف ارتفاع بین ۲ نقطه اندازه‌گیری شده، ΔL طول بازه و L طول کل کانال از خط تقسیم آب تا مرکز بخش که شیب آن محاسبه شده می‌باشد که طبق رابطه ۵ و (شکل ٦) بیان می‌گردد.



شکل ٦- محاسبه شاخص SL



شکل ۷- محاسبه شاخص S_{mf}

شاخص SL با جریان رود مرتبط می‌باشد (هاک، ۱۹۷۳) قدرت کلی جریان که قابل دسترس در یک کانال خاص می‌باشد یک متغییر هیدرولیکی مهم محسوب می‌شود به ویژه هنگامی که با قابلیت یک جریان در جهت انتقال رسوبات و فرسایش بستر آن مرتبط می باشد شاخص SL یک وسیله عملی و کاربردی برای اندازه‌گیری انحراف در راستای پروفیل طولی جریان محسوب می‌شود زیرا نسبت به تغییرات به وقوع پیوسته در شیب کانال حساسیت نشان می‌دهد. این شاخص نسبت به میزان مقاومت سنگ‌ها حساس بوده و تفکیک اثرات ناشی از تکتونیک فعال و مقاومت سنگ ها مشکل می باشد. مقدار عددی شاخص SL به قدرت رودخانه بستگی دارد. زمانی که سنگ‌های بستر رودخانه مقاوم باشد و یا مکان‌هایی که حرکات تکتونیکی فعال موجب تغییر شکل قائم پوسته زمین شده باشند، میزان این شاخص افزایش می‌یابد. البته قابل ذکر است که مقادیر بالای این شاخص در سنگ‌های کم مقاومت و یا در سنگ‌های یکسان از لحاظ مقاومت، می تواند بیانگر حرکات تکتونیکی فعال و جوان باشد (سلیمانی، ۱۳۷۸).

علاوه بر این شاخص SL ممکن است برای تعیین و کشف فعالیت‌های تکتونیکی نیز از طریق مشخص کردن مقادیر متناقض بالای شاخص بر اساس نوع خاص سنگ مورد استفاده قرار گیرد (زوویلی و همکاران، ۲۰۰٤) .

- شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان
-

$$S_{mf} = L_{mf} / L_s \qquad \text{رابطه ٦}$$

در رابطه ارائه شده بالا Lmf طول پیشانی کوهستان در محل حد بین کوهستان و کوهپایه (خط کنیک) و Ls طول خط مستقیم پیشانی کوهستان می‌باشد و بر اساس رابطه ٦ و (شکل ۷) بیان می‌شود.

این شاخص به بررسی توازن و تعادل بین شدت و قدرت رود برای ایجاد یک پیشانی کوهستان نامنظم از یک سو و حرکات تکتونیکی قائم و جوان جهت ایجاد پیشانی مستقیم از سوی دیگر می‌پردازد و به سادگی از طریق عکس‌های هوایی و یا نقشه‌های توپوگرافی قابل محاسبه است. مقادیر عددی نزدیک به ۱ شاخص S_{mf} بیانگر کوه‌هایی است که با بالاآمدگی فعال همراهند و دارای پیشانی مستقیم و فرورفتگی و بیرون زدگی کم‌تری هستند اما چنانچه میزان بالاآمدگی کاهش یافته و یا صفرشود، فرآیند فرسایشی وارد عمل شده و پیشانی کوهستان را به شکل سینوسی و نامنظم شکل می دهد که با گذشت زمان این حالت نامنظم تر می‌شود. بنابراین بالا رفتن درجه پیچ وخم پیشانی کوهستان(شاخص S_{mf}) بیانگر آرامش تکتونیکی آن پیشانی می‌باشد این شاخص برای مناطق بسیار فعال تکتونیکی بین (۱ تا ۱/٦)، برای مناطق با فعالیت متوسط بین (۱/٤ تا ۳) و برای جبهه های کوهستانی غیر فعال تکتونیکی از حدود (۱/۸ تا بیشتر از ۵) می باشد(کلر و پنتر، ۱۹۹٦).

- شاخص (D)

تراکم سنجی آبراهه ها که از طریق نسبت طول آبراهه‌ها به واحد مساحت محاسبه می‌شود، ابزاری کار آمد برای شناسایی زمین ساخت فعال به خصوص در مناطقی است که در آن‌ها که شواهد کم‌تری از حرکات زمین ساختی وجود دارد و یا به وسیله واحدهای کواترنری پوشیده شده‌اند (نگهبان و خطیب، ۱۳۸٤). تراکم الگوهای آبراهه‌ای در مناطقی که حرکات تکتونیکی باعث بالا آمدگی و فرونشست نسبی منطقه شده، متفاوت است و نشان از تکتونیک فعال دارد. در نواحی دارای تکتونیک فعال، تراکم آبراهه ای بالاست، ارتباط مثبتی هم بین تراکم آبراهه‌ها و شیب وجود دارد و تراکم زهکشی در شیب‌های تند بیشتر است (talling et., ۱۹۹۹) (۱۹۹۹) . تراکم زهکشی از رابطه ۷ به دست می آید :

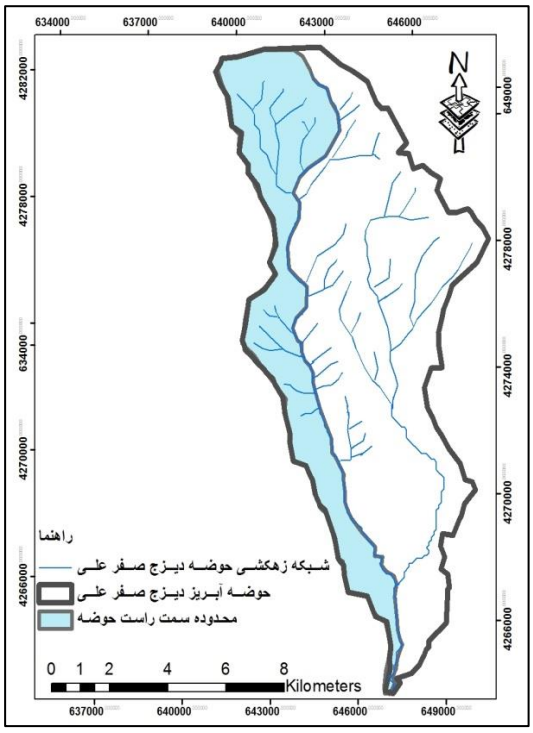
$$\mu = \frac{\sum Li}{A} \qquad \text{رابطه ۷}$$

در رابطه بالا Li: طول هر یک از آبراهه های حوضه بر حسب کیلومتر ؛ A: مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع ؛ µ: تراکم شبکه رودخانه های حوضه بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع می‌باشند.

۳- نتایج

- شاخص عدم تقارن حوضه آبریز (Af^{2})

مقادیر AF برای حوضه مورد مطالعه ۳۰۰ محاسبه شده است. همانطوریکه مشاهده می شود میزان تقارن در حوضه دیزج صفر علی کم بوده و بیانگر بالا آمدگی در ساحل چپ آبراهه اصلی و فعالیت های تکتونیکی و عدم تقارن مشاهده می شود (شکل ۸ و جدول ۱).



شکل ۸- نقشه شاخص عدم تقارن حوضه دیزج صفرعلی، منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲

جدول ۱- شاخص عدم تقارن حوضه آبریز دیزج صفرعلی، منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲

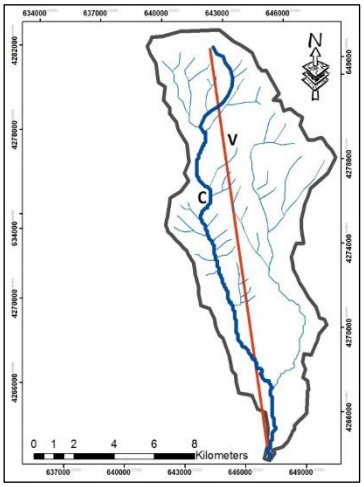
نام حوضه	AR	AT	درصد
دیزج صفر علی	۱۰۰	۳۰	۳۰

- شاخص پیچ و خم رودخانه اصلی ($R s$)[3]

از نظر چار چوب نظری رودخانه‌ای که تقریباً به حالت تعادل رسیده باشد، به منظور حفظ تعادل بین شیب با دبی و رسوب گذاری پیچ می خورد (urbank and et all , ۲۰۰۱). تغییر شیب بستر رودخانه به علت فعالیت‌های تکتونیکی، رابطه مستقیمی با پیچ و خم در مسیر رودخانه دارد. طرح های مئاندری در حال حفر بستر می توانند از جمله نشانه های فرایش فعال باشند؛ زیرا در اصل، رودخانه ای با طرح مئاندری نشانگر محلی است که رودخانه به سطح اساس خود نزدیک شده است. سپس بر اثر وقوع یک و یا چند جابه جایی قائم همان منطقه، بالا می آید و رودخانه، در پاسخ به این تغییر ارتفاع و در نتیجه تغییر گرادیان، مجدداً شروع به حفر بستر می کند و در اینجاست که رودخانه ای با طرح مئاندری و دارای دیواره های جانبی مرتفع و در حال حفر بستر مشاهده می شود (سلیمانی، ۱۳۷۷). هر چه مقادیر عددی به دست آمده زیاد باشد، حاکی از نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل است و هر چه مقادیر کمتر باشد، نشان دهنده فعال بودن تکتونیک در منطقه است. میزان پیچ و خم رودخانه‌ای در آبراهه اصلی حوضه دیزج صفر علی۱.۲۶ بدست آمد (جدول ۲). می توان گفت به دلیل کم بودن میزان شاخص S، منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی فعال بوده و هنوز به حالت تعادل نرسیده است (شکل ۹، جدول ۲).

جدول ۲- شاخص پیچ و خم رودخانه اصلی در حوضه دیزج صفر علی ($R s$)

نام حوضه	میزان S
دیزج صفر علی	۱.۲۶



شکل ۹- شاخص پیچ و خم رودخانه اصلی در حوضه دیزج صفر علی ($R s$)

۱۱- Drainage Asymmetry Factor

۱۲- River Sinuosity

- **شاخص D[۴]**

با توجه به (جدول ۳) میزان تراکم زهکشی در حوضه دیزج صفر علی ۰.۹۹ یا همان ۱ است، این شاخص نشان دهنده وجود فعالیت تکتونیک در بیشتر زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه می باشد.

- **انتگرال هیپسومتری[۵] (Hi)**

این شاخص بیانگر توزیع مساحت ارتفاعات متفاوت است(استرالر۱۹۵۲) و از رابطه ی زیر به دست می آید (پیک و ویلوسون، ۱۹۷۱ ؛ مایر، ۱۹۹۰ ؛ کلرونپیتر) به نقل از(سیف و خسروی،۱۳۲،۱۳۸۹).

مقادیر بالای انتگرال هیپسومتریک بالاتر از، ۵۰درصد دلالت بر وجود پستی بلندی و توپوگرافی بالا نسبت به میانگین حوضه زهکشی - همچون سطوح بالا آمده و فلاتی که به وسیله رودها بریده شده‌اند و مقادیر حد واسط تا کم انتگرال هیپسومتریک حاکی از برش شبکه زهکشی در یک سطح هموارتر می باشد. ارتباط بین انتگرال هیپسومتریک و درجه بریدگی باعث شده تا انتگرال هیپسومتریک به عنوان شاخص و معیاری جهت تشخیص چرخه مرحله فرسایشِ چشم انداز استفاده شود. نتایج در (جدول ۳) آمده است. همان طوریکه مشاهده می شود، در حوضه دیزج صفر علی ۵۰ درصد می باشد که نشانگر وجود پستی بلندی و توپوگرافی بالا نسبت به میانگین حوضه زهکشی می باشد.

جدول ۳: نتایج حاصل از شاخص انتگرال هیپسومتری در حوضه D (واحد اندازه گیری / متر)

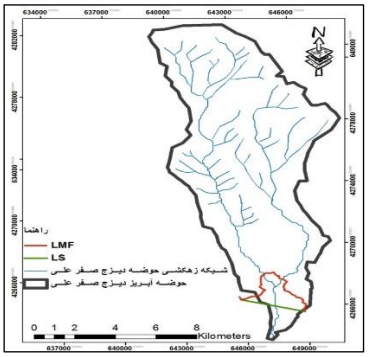
نام حوضه	حداقل ارتفاع	حداکثر ارتفاع	ارتفاع متوسط	انتگرال هیپسومتری
دیزج صفر علی	۱۶۴۳	۲۷۱۰	۲۱۷۷	۰/۵۰

- **شاخص نسبت شکل حوضه**

میزان BS در حوضه دیزج صفر علی بین ۳ تا ٤ باشد، این حوضه‌ها از نظر فعالیت زمین ساختی نیمه فعال می باشد.

- **شاخص سینوزیته جبهه کوهستان[۶]**

این شاخص تعادل بین نیروهای فرسایشی (با گرایش به ایجاد جبهه‌های سینوسی) و نیروهای تکتونیکی با گرایش به ایجاد جبهه های مستقیم را منعکس می‌کند (وریوس و همکاران، ۲۰۰٤). محققین مختلف برای نشان دان میزان فعالیت حوضه بوسیله این شاخص مقادیر مختلفی را بیان کرده اند (جدول ٤) و (شکل ۱۰)، مقادیر عددی نزدیک به ۱ شاخص Smf بیانگر کوه‌هایی است که با بالاآمدگی فعال همراه اند و پیشانی مستقیم و فرورفتگی و بیرون زدگی کمتری دارند، اما چنانچه میزان بالاآمدگی کاهش یافته یا صفر شود، فرآیند فرسایش وارد عمل شده و پیشانی کوهستان را به گونه ای سینوسی و نامنظّم شکل می‌دهد که با گذشت زمان این حالت نامنظّم تر می‌شود. بنابراین، بالارفتن درجه پیچ وخم پیشانی کوهستان(شاخصSmf) بیانگر سکون تکتونیکی آن پیشانی است. میزان شاخص پیچ وخم پیشانی کوهستان در حوضه آبخیز دیزج صفر علی برابر با۲/۱٦ است که نیمه فعال می‌باشد. در کل هرچه این مقدار کمتر باشد نشان دهنده فعالیت بیشتر منطقه می باشد. مقدار بدست آمده، نشان دهنده نیمه فعال بودن تکتونیک در منطقه می‌باشد. در شکل (۱۰) نقشه شاخص SMF حوضه مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱۰- نقشه شاخص smf محدوده

جدول ٤- طبقه‌های شاخص smf از نظر میزان فعالیت تکتونیکی

طبقات	Bull and Mcfadden (1977)	Rockwell et al (1984)	Silva et al (2003)	Hamdouni et al (2008)
فعال	smf: 1.2-1.6	smf<1.4	smf<1.53	smf<1.1
نیمه فعال	smf: 1.8-3.4	----	smf<1.8-2.3	smf<1.1-1.5
بدون فعالیت	smf: 2-7	smf>1.4	smf 2.8-3.5	smf>1.5

- **نتیجه‌گیری از مطالعه شاخص‌ها**

مطالعه و بررسی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و مورفومتریک همچون شاخص عدم تقارن (Af)، شاخص تراکم زهکشی (D) ، انتگرال هیپسومتریک ، میزان سینوزیته یا پیچ و خم رودخانه (RS)، سینوزیته جبهه کوهستان (smf) و شاخص نسبت شکل حوضه(BS)، در

۱۳- Density
۱٤- Hypsometric Integral
۱۵-Mountain front sinuosity

حوضه دیزج صفر علی بیانگر فعال بودن تکتونیک در منطقه می باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که حوضه دیزج صفر علی دارای فعالیت تکتونیکی نسبتاً بالا و نیمه فعالی می باشد، و میزان آن در ارتباط با نزدیکی با گسل های اصلی یا فعال منطقه می باشد.با توجه به وجود گسل های متعدد در منطقه ورزقان و نزدیک محدوده ی مورد مطالعه انتظار حرکات زمین ساختی و ایجاد زلزله و فرآیند های دامنه ای(خزش،ریزش ، زمین لغزش و سولی فلکسیون) در منطقه دور از انتظار نیست .بنابراین مسئولین و سازمان‌های زیربط باید تمهیدات ویژه‌ای را در پرژوه‌های عمرانی و ساخت و سازها در این محدوده اعمال نمایند تا از بروز خسارات جانی و مالی بکاهند و به رفاه و آسایش مردم آسیبی وارد نشود

٤- نتیجه‌گیری

توجه و شناخت پویایی و دینامیک محیط طبیعی با رویکرد سیستمی و حوضه‌ای از اهمیت و ضرورت بسیار بالایی در برنامه‌ریزی‌های توسعه و عمران منطقه‌ای برخودار است، زیرا که شناخت دقیق این ویژگی‌ها می‌تواند به آمایش محیط و جلوگیری از وقوع مخاطرات بیانجامد و از خسارت‌های مالی و جانی بکاهد. شناخت مسائل و ویژگی‌های مورفوتکتونیکی و مورفودینامیکی در حوضه آبریز دیزج صفر علی هدف اصلی انجام این تحقیق بوده است که پس از بررسی و تحلیل میزان فعالیت‌های تکونیکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیک همچون شاخص‌های عدم تقارن (Af)، شاخص تراکم زهکشی (D)انتگرال هیپسومتریک، میزان سینوزیته یا پیچ و خم رودخانه (RS)، سینوزیته جبهه کوهستان (smf) و شاخص نسبت شکل حوضه (BS) نتیجه نشانگر فعال بودن تکتونیک در حوضه آبریز دیزج صفر علی می‌باشند، و طبق این نتایج می‌توان گفت که حوضه دیزج صفر علی دارای فعالیت تکتونیکی نسبتاً بالا و فعالی می‌باشد و میزان آن در ارتباط با نزدیکی با گسل‌های اصلی یا فعال منطقه می‌باشد. مطالعه و بررسی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و مورفومتریک در حوضه دیزج صفر علی بیانگر فعال بودن تکتونیک در منطقه می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که حوضه دیزج صفر علی دارای فعالیت تکتونیکی نسبتاً بالا و نیمه فعالی می‌باشد، و میزان آن در ارتباط با نزدیکی با گسل‌های اصلی یا فعال منطقه می‌باشد. با توجه به وجود گسل‌های فراوان در اطراف و نزدیک و در داخل حوضه دیزج صفر علی و فعال بودن تکتونیک در منطقه می‌توان گفت که تشدید فعالیت مورفودینامیک در حوضه دیزج صفر علی در ارتباط و متأثر از عوامل تکتونیکی در این حوضه می‌باشد. در نهایت به دلیل وجود گسل‌های متعدد در منطقه ورزقان و نزدیک و داخل محدوده ی مورد مطالعه انتظار حرکات زمین ساختی و ایجاد زلزله و فرآیند های دامنه‌ای (خزش،ریزش، زمین لغزش و سولی فلکسیون) در منطقه دور از انتظار نیست. بنابراین مسئولین و سازمان‌های زیربط باید تمهیدات ویژه‌ای را در پرژوه‌های عمرانی و ساخت و سازها در این محدوده اعمال نمایند تا از بروز خسارات جانی و مالی بکاهند و به رفاه و آسایش مردم آسیبی وارد نشود.

منابع

- ادیب، ا. ۱۳۸٤. زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک. ،تهران، انتشارات دانشگاه آزاد.
- بیاتی خطیبی، م. ۱۳۸۸. تشخیص فعالیت های نئو تکتونیکی در حوضه آبریز قرنقو چای با استفاده از شاخص های ژئومورفولوژیک و مورفوتکتونیک، مجله فضای جغرافیایی، ۲۵: ۵۰-۲۳.
- پورکرمانی، م.، صدیق، ح. ۱۳۸۲. پدیده های ژئومورفولوژیکی گسل تبریز، مجله جغرافیا و توسعه، ۳: ٤٤-۳۷.
- جباری، ن. ۱۳۹۱. مطالعه مورفوتکتونیک فعال حوضه ی آبخیز حصارک(شمال غرب تهران)، با استفاده از شاخص های مورفومتریک، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی ، ۱۲(۲): ۲۵-۱۵.
- زمردیان، م. ۱۳۸۱. ژئومورفولوژی ایران (فرایندهای ساختمانی و دینامیک بیرونی)، جلد۱،انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- سلیمانی، ش. ۱۳۷۸. رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه شناسی تهران ،تهران، انتشارات موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- سیف، ع.، خسروی، ق. ۱۳۸۹. بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارسان، پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۷٤: ۱٤٦-۱۲۵.
- عباسی، ع.، علمی زاده، ه. ۱۳۸۹. تجزیه و تحلیل نقش نئوتکتونیک در مورفولوژی و رفتار شبکه زهکشی (مطالعه موردی : حوضه انجیران)، جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای (دوفصلنامه) ۱(۱۵): ۱۲۵-۱۱۰.
- قنواتی، ع. ۱۳۸٦. آشکارسازی تغییرات مورفودینامیک با استفاده از داده های سنجش از دور و منطق فازی در حوضه آبخیز طالقان، مجله پژوهش های جغرافیایی، ٦۲: ۵۳-٤۱.

- کرمی ف. ۱۳۸۸. ارزیابی نسبی فعالیتهای تکتونیکی با استفده از تحلیلهای شکل سنجی، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۳۵: ۱۵٤-۱۳۵.
- گورابی، ا.، نوحه‌گر، ا. ۱۳۸٦. شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه، پژوهش های جغرافیایی، ٦۰: ۱۷۷.
- ولدی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی فعالیت زمین ساختی حوضه آبخیز بادآورد (نورآباد-لرستان) با استفاده از شاخص های ژئومورفیک، پایان نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا،دانشگاه خوارزمی تهران.
- نگهبان، م.، خطیب، م. ۱۳۸٤. بررسی تکتونیک فعال به روش تراکم سنجی آبراهه ها در اطراف گسل نصرت آباد (خاور ایران)، بیست و دومین همایش زمین شناسی، سازمان زمین شناسی کشور.
- مقصودی، م.، کامرانی دلیر، ح.، ۱۳۸۷. ارزیابی نقش تکتونیک فعال تنظیم کانال رودخانه‌ها، مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ تجن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ٦٦: ۵۵-۳۷.
- عابدینی، م.، پاسبان، ا. ح.، نظافت تکله، ب.، پورقاسمی، ا. ۱٤۰۱. بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و توان‌لرزه‌زایی گسل‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی)، مطالعات علوم محیط زیست، ۷(۲): ۵۰۵۲-۵۰٤۳.
- عابدینی، م.، ۱۳۹۵. ژئومورفولوژی تکتونیکی، جلد اول، چاپ اول، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.
- عابدینی، م.، ۱۳۸۵. نقش عوامل مؤثر در گسترش و تکامل مخروط افکنه‌های ارتفاعات درّه دیز دیوان - داغی با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های جدید، پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۵: ۸۹-۷۳.
- عابدینی، م.، شبرنگ، ش.، ۱۳۹۳. ارزیابی فعّالیت‌های نوزمین‌ساخت در حوضه آبخیز مشکین‌چای از طریق شاخص‌های ژئومورفولوژی، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۵، صص ٦٦-٤۹.
- خلج، م.، ۱٤۰۰. ارزیابی فعالیت زمین ساختی حوضهٔ آبریز قروه -دهگلان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، جغرافیا و توسعه، ۱۹(٦۲): ۱۵٦-۱۳۳.
- دزفولی کلونی، ز.، ایلانلو، م.، ۱۳۹۷. ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۱(٤۱): ۱٤۰-۱۲۳.
- تقیان، ع.، ملک زاده، ف. ۱٤۰۱. ارزیابی فعالیت های نئوتکتونیکی در تحولات حوضه های آبریز مطالعه موردی: حوضه های آبریز جنوب کوهستان کرکس، پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۵٤(۲): ۱٦٦-۱۵۱.
- مومی پور، م.، معاوی، م. ۱٤۰۱. تحلیل شرایط تکتونیک و فرسایش در حوضه سد شهید عباسپور با تکنیک های ژئومورفومتری، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(٤۱): ۱٦-۱.
- نجفی، م.، علوی، ا.، احتشامی معین آبادی، م. ۱٤۰۲. ارزیابی فعالیت های نئوتکتونیکی در گستره آتشفشانی رسوبی راوه راهجرد (سلفچگان)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲(٤۵): ۳۹-۲۵.
- Berberian, M. King, G.C.P. ۱۹۸۱. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences. ۱۸,PP. ۲۱۰- ۲٦۵
- Geophysics Study Committee. ۱۹۸٦. Studies in geophysics, active tectonics. National Academy Press. Washington, D.C.
- Keller, E.A. and Pinter, N. ۲۰۰۲. Earthquakes, Uplift, and Landscape. ۳٦۲.
- Giaconia, F. Booth-Rea, G. Martínez-Martínez, J.M. Azañón, J.M. PérezPeña, J.V. Pérez-Romero, J.Villegas, I. ۲۰۱۲. Geomorphic evidence of active tectonics in the Serra Alhamila (eastern Betics, SE Spain). Geomorphology. ۱٤۵-۱٤٦, PP. ۹۰-۱۰٦.
- Keller, E.A. Zepeda, R.L. Rockwell, T.K. Ku, T.L. Dinklage, W.S. ۱۹۹۸..Active tectonics at Wheeler Ridge, southern San Joaquin Valley, California, Geological Society of America Bulletin. **۱۱۰, □□. ۲۹۸□۳۱۰.**
- El Hamdouni, R. Irigaray, C. Fernandez, T. Chacón, J. Keller, E.A. ۲۰۰۸. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain), Geomorphology. ۹٦, PP.۱۵۰-۷۳.
- Ngapna, M.N. Owona, S. Owono, F.M. Ateba, C.B. Tsimi, V.M. Ondoa, J.M. Ekodeck, G.E. ۲۰۲۰. Assessment of relative active tectonics in Edea–Eseka region (SW Cameroon, Central Africa). Journal of African Earth Sciences. ۱٦٤, PP. ۱۰۳-۷۹۸.

- Bull W.B., Mcfadden, LD. ۱۹۷۷. Tectonic Geomorphology North and South of the Garlock Fault, California, In: Doehring, D.O. (Ed), Geomorphology in Arid Regions, Proceedings of the ۸th Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton, ۳۵:۱۱۵-۱۳۸.
- Bull,w.B. ۱۹۸٤. Tectonic, Geomorphology. Journal of Geological Education, ۱۲(۳۲): ۱۱۵-۱۳۰.
- Burbank, D.W., Anderson, R.S. ۲۰۰۱. Tectonic Geomorphology, Blackwell Science.
- Chen, Y.C., Sung, Q., Chen, K.Y. ۲۰۰۳. Along – strike Variations of Morphotectonic Fetures in the Western Foothills of Taiwan, Geomorphology, ٥٦: ۱۰۹-۱۳۷.
- Duglas, W. Burbank, Robert, S. Anderson. ۲۰۰۱. Tectonic Geomorphology. Blackwell Science, Ltd. ۱٥(۲٥): ٤٥-٦۰.

Investigating and Evaluating Neotectonic Activities Using Geomorphic indicators and using GIS System (Case study: Safar Ali Chai Dizj Basin)

Mousa Abedini [*۱] **; Mohamad Reza Imani**[۲]**; Amir Hesam Pasban** [۳]

۱- Professor, Department of Physical Geography, (Geomorphology), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. abedini@uma.ac.ir.

۲- M.Sc., Department of Phisical Geography (Geomorphology), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran .

۳- PhD Student in Physical Geography Department, (Geomorphology), University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: A.hesam۷۷۳@gmail.com

۱*:abedini@uma.ac.ir

Abstract

Introduction

Active geomorphology studies the dynamic and dynamic processes that are effective in the formation of the earth and its features (Taghian and Malekzadeh, ۱٤۰۱; Keller and Pinter, ۲۰۰۲). Geomorphic indices can be used as a useful and efficient tool in investigating tectonic and neotectonic activities, because by using them, you can easily identify areas that have experienced fast or slow tectonic activities in the past (Abedini, ۲۰۱٥). These indicators show the relationship between tectonics and surface effects well, and with the knowledge of this relationship, tectonic events can be interpreted by examining the shapes and unevenness of the earth's surface (Morisava and Hack, ۲۰۲۰). Iranian plateau is a folded alpine region. Currently, it is under pressure from all sides and neotectonic movements are still continuing in it. The occurrence of frequent earthquakes in Iran is one of the consequences of active neotectonic movements at present. The location of the epicenter of most of the recorded earthquakes along the two folded and young belts of the northern and southern margins (Alborz and Zagros), Iran, shows this connection well (Berberian & King, ۱۹۸۱). Almost no region in the world can be found that has not been affected by neotectonic changes during the last few thousand years (Keller & Pinter, ۲۰۰۲).

Methodology

The Dizj Safar Ali Chai watershed is located in the ۱۰۰,۰۰۰th sheet of Varzeghan in a part of the Alborz-Azerbaijan tectonic unit that includes Qara Dagh and Arsbaran mountains, and it is one of the sub-basins of the Varzeghan watershed in East Azerbaijan province. (figure ۱). Barracks and alluvial cones can be seen on the southern edge of Varzeghan around the Dizaj Safar Ali Chai river. Due to the hard rock units and the mountainous nature of the region and the high slope of the rivers in the northern part of the basin, they have often created narrow valleys. Except for the southern part of the region, which consists of Pliocene deposits and has smooth and worn surfaces, the rest of the region is formed of sharp and rough ridges due to the presence of hard rocks despite rainfall and erosion. Locally and regionally, due to the processes Chemical weathering and alteration, mountains with worn and smooth surfaces are also observed. In Figure (۱), the geographical location of the studied area is presented.

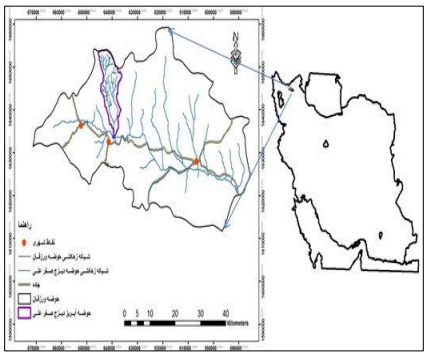


Figure ۱- Geographical location of the studied area, source: authors, ۲۰۲۲.

Discussion

The AF values for the studied basin are calculated as ۳۰۰. As can be seen, the degree of symmetry in the Safar Ali basin is low and indicates the uplift on the left bank of the main waterway and tectonic activities and asymmetry (Figure ۸ and Table ۱). This index reflects the balance between erosion forces (with a tendency to create sinusoidal fronts) and tectonic forces with a tendency to create straight fronts (Verios et al., ۲۰۰٤). Different researchers have expressed different values to indicate the level of activity of the basin by this index (Table ٤) and (Figure ۱۰), numerical values close to ۱ of the Smf index indicate mountains that are associated with active uplift and have straight fronts and depressions and outwards. They have less impact, but if the amount of uplift is reduced or becomes zero, the erosion process starts and shapes the mountain forehead in a sinusoidal and irregular manner, which becomes more irregular with the passage of time. Therefore, the increase in the slope of the mountain front (Smf index) indicates the tectonic stability of that front. The level of the slope of the mountain front in the Safar Ali watershed is ۲،۱٦, which is semi-active. In general, the lower this value is, the more active the area is. The obtained value indicates the semi-active tectonics in the region. Figure (۱۰) shows the SMF index map of the studied basin.

Conclusion

Paying attention and understanding the dynamics and dynamics of the natural environment with a systemic and basin approach is of great importance and necessity in regional development and construction planning, because the accurate knowledge of these features can lead to the improvement of the environment and prevent the occurrence of hazards and financial and life losses. reduce Knowing the morphotectonic and morphodynamic issues and features in the Safar Ali drainage basin, the main purpose of this research was to investigate and analyze the amount of tectonic activities using geomorphological indicators such as asymmetry indicators (Af), drainage density index (D) and hypsometric integral. , the amount of sinuosity or meandering of the river (RS), the sinuosity of the mountain front (smf) and the ratio of the basin shape (BS) indicate the tectonic activity in the Safar Ali Dizaj catchment, and according to these results, it can be said that the Safar Ali Dizaj basin It has relatively high and active tectonic activity and its level is related to the proximity to the main or active faults of the region. The study and investigation of geomorphological and morphometric indicators in Dizj Safar Ali basin indicates that tectonics is active in the region. The results of this research showed that the Dizaj Safar Ali basin has a relatively high and semi-active tectonic activity, and its level is related to the proximity to the main or active faults in the region. Due to the existence of many faults around, near and inside the Dizj basin. Safar Ali and tectonic activity in the region, it can be said that the intensification of morphodynamic activity in the Safar Ali basin is related to and affected by tectonic factors in this basin. Finally, due to the presence of numerous faults in Varzghan region and near and within the study area, tectonic movements and earthquakes and range processes (creep, subsidence, landslides and soliflexion) are not far from expected in the area. Therefore, officials and subordinate organizations should apply special measures in civil works and constructions in this area in order to reduce the occurrence of human and financial losses and not to harm the well-being and comfort of the people.

Keywords: "Hydrogeomorphic", "Moerphodynamic", "GIS", " Safar Ali Chai Dizj Basin", "Neotectonic".