

بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد

ژئومورفولوژیکی

مریم ایلانلو^۱

چکیده

اندازه‌گیری‌های کمی به ژئومورفولوژیست‌ها اجازه می‌دهد تا به طور واقعی و معقول لندفرم‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه کرده و شاخص‌های مورفولوژیک را محاسبه کنند. این امر در تشخیص و توصیف خاص ناحیه‌ای به عنوان مثال میزان فعالیت تکتونیک مفید می‌باشد. رودخانه‌ها و شبکه زهکشی از جمله مهم‌ترین عوارضی هستند که نسبت به تغییرات تکتونیک بسیار حساس می‌باشند. هدف از این پژوهش بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک می‌باشد. بدین منظور با بررسی مطالعات پیشین از شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی **Bs**، انتگرال هیپسومتری **Hi**، تقارن توپوگرافی عرضی **T**، فراز **Ia**، شاخص تراکم زهکشی **D** و گرادیان طول رودخانه **SL** که بیشتر کاربرد داشته است، استفاده شده است. به این منظور، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ به سیستم اطلاعاتی **GIS** در محیط **GIS 10.2** انتقال داده شده و با استفاده از آن لایه‌هایی مانند شبکه زهکشی، شیب، مدل رقمی ارتفاع و **TIN** استخراج گردید و با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه، لایه‌های خطی گسل‌ها و سازندهای تشکیل دهنده بستر رودخانه مورد مطالعه استخراج و به لایه‌های فوق اضافه گردید. پس از محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک در منطقه و برآورد شاخص **Iat** میزان نسبی تکتونیک فعال در زیرحوضه‌های مورد مطالعه مشخص شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد ارقام حاصل از بکارگیری شاخص‌های مختلف نیز نشان دهنده فعال بودن تکتونیک در بخش‌های مختلف حوضه، بویژه در بخش‌های شمالی و جنوبی آن است.

کلیدواژگان: تکتونیک، شاخص‌های ژئومورفیک، گسل، شبکه زهکشی

مقدمه

شبکه‌های زهکشی فعال‌ترین و حساس‌ترین عناصری هستند که می‌توانند به عنوان ابزاری قدرتمند برای درک فعالیت‌های نئوتکتونیک در یک منطقه مورد استفاده قرار گیرند. این نوع فعالیت‌ها در تحول مورفولوژی حوضه‌های زهکشی نقش مهمی دارند (کرمی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۱). تغییرات داده‌های داخلی سبب تغییر مورفولوژی در سیستم ژئومورفیک حوضه‌های آبریز می‌شود. این تغییرات را می‌توان به وسیله شاخص‌ها و شواهد ژئومورفیک توصیف کرد (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۸). در تجزیه و تحلیل مورفوتکتونیک، به منظور شناسایی مناطق و یا برآورد تغییرات نسبی فعالیت‌های زمین ساخت، استفاده از این شاخص‌ها به عنوان یک ابزار اولیه و سریع گسترش یافته است (جعفری، ۱۳۹۴: ۴۲). از میان شواهد ژئومورفولوژیک تکتونیک‌های فعال، شبکه‌های زهکشی و خصوصیات مربوط به آنها مانند الگوی زهکشی، تراکم زهکشی، ناهنجاری‌های زهکشی، نحوه اتصال (زاویه اتصال شبکه‌ها) و جهت شبکه‌ها در شناسایی تکتونیک‌های فعال و تفاوت‌های مکانی آنها نقش مهمی دارند (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۲).

کلر و همکاران (۱۹۶۶) برای نخستین بار از دانش ریخت‌شناسی بعنوان تکتونیک ژئومورفولوژی یاد کرده و شاخص‌های کمی زمین‌ریختی را برای حرکات نئوتکتونیک گسترش داده‌اند.

سیمونی و همکاران^۲ (۲۰۰۳) نقش بالآمدگی در تفاوت‌های مکانی الگو و تراکم زهکشی در آپنین شمالی در ایتالیا را بررسی کردند. مطالعه‌ی آنها نشان داد که تفاوت‌های تکتونیک در بخش‌های مختلف آپنین باعث تفاوت زیادی در الگوی زهکشی و تراکم زهکشی شده است و ناهنجاری‌های زهکشی، از تکتونیک تأثیر یافته است.

ده بزرگی و همکاران^۳ (۲۰۱۰) به تجزیه و تحلیل کمی فعالیت تکتونیک نسبی در منطقه سروستان زاگرس مرکزی، ایران پرداختند و نتایج آنها با مشاهدات میدانی مورفولوژی و زمین‌شناسی سازگار است. متیو و همکاران^۴ (۲۰۱۶) به بررسی تغییر شکل تکتونیک فعال در امتداد گسل فعال در بورنو با استفاده از شواهد ژئومورفولوژی منطقه پرداختند بررسی‌های آنها نشان داد که این گسل بسیار فعال می‌باشد. آرگریو و همکاران^۵ (۲۰۱۷) به بررسی نقش نئوتکتونیک در شبکه‌های زهکشی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در یونان پرداخته‌اند. نتایج آنها نشان می‌دهد که این منطقه که نقاط فعال به لحاظ نئوتکتونیک می‌باشد و در تکامل چشم انداز منطقه مطالعه (به ویژه حوضه‌های غربی) نقش تکتونیک بسیار مشخص است. بایسواز^۱ (۲۰۱۸) با استفاده از GIS و پارامترهای

۱- Keller et al

۲- Simoni et al

۳- Dehbozorgi et al

۴- Mathew et al

۵- Argyriou et al

۶- Biswas

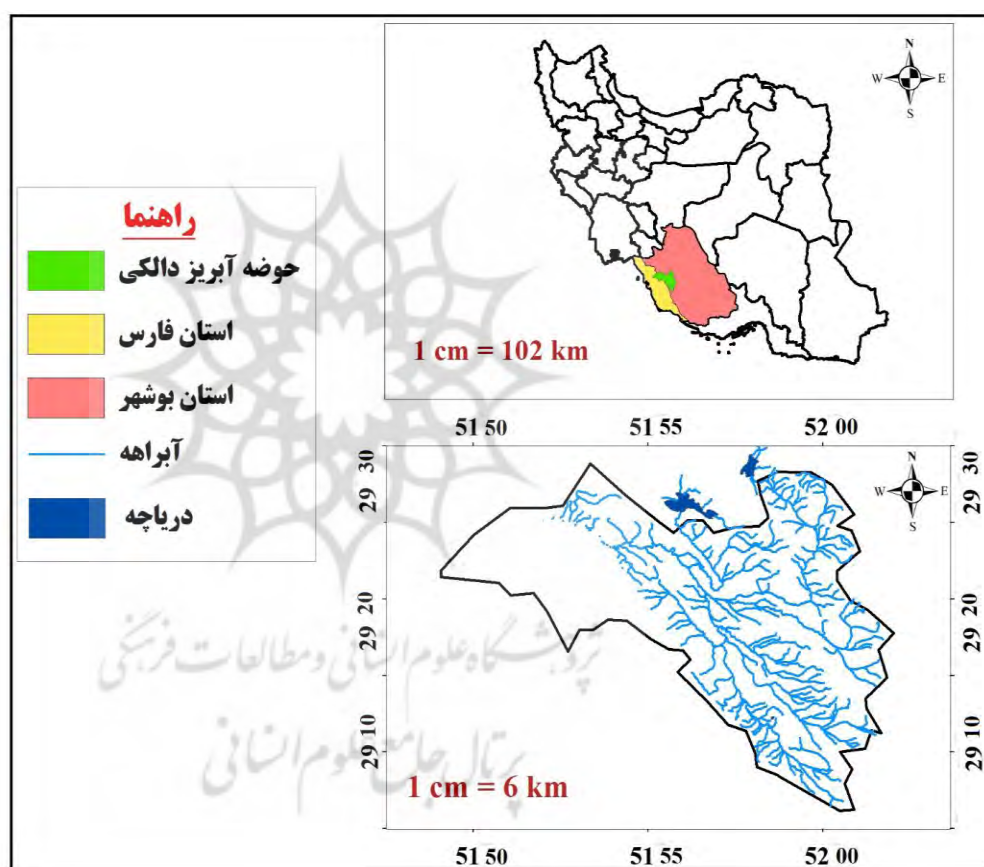
مورفومتری، تغییرات هیدرولوژیکی حوضه رودخانه پارتی در هند را بررسی کرد. تحلیل‌های مورفومتری این حوضه نشان داد که منطقه در مراحل اولیه تحول زهکشی قرار دارد و آبراهه‌های رتبه اول در حوضه بیشتر هستند.

بیاتی خطیبی (۱۳۸۸) به تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیک در حوضه آبریز قرقوچای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک پرداخته است. نتایج این بررسی‌ها و تحلیل‌ها نشان داد که فعالیت‌های نئوتکتونیک بر شبکه زهکشی حوضه کاملاً تاثیر گذاشته است. توپوگرافی و اشکال ژئومورفیک و همچنین معماری دره‌ها با بالا آمدگی‌ها در بخش‌های جنوبی و میانی حوضه در رابطه هستند. کرمی (۱۳۹۱) به ارزیابی نسبی تکتونیک فعال با استفاده از روش‌های مورفومتری در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند پرداخته است. نتایج او نشان داد فعالیت تکتونیک حوضه‌های شمالی متأثر از گسل تبریز می‌باشد و حوضه‌های شرقی از گسل‌های فرعی منطقه تأثیر می‌پذیرند. صفاری و منصور (۱۳۹۲) در مقاله‌ای با عنوان: ارزیابی نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی بخش علیای حوضه آبخیز کنگیر (ایوان غرب) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به ارزیابی میزان فعالیت‌های تکتونیک حوضه پی‌شگفته پرداختند و دریافتند که حوضه آبخیز کنگیر دارای وضعیت تکتونیک نسبتاً فعالی است. جعفری (۱۳۹۴) به بررسی فضایی شاخص‌های مورفوتکتونیک دره‌ها با توجه به ساختمان زمین‌شناسی در استان زنجان پرداخته است. نتایج او نشان داد تمامی مناطق فعال منطبق بر گسل‌ها می‌باشند. بابائی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در البرز مرکزی پرداختند. نتایج حاصل از شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی نشان می‌دهد که گستره مورد بررسی دارای فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا است، همچنین شواهد زمین‌ریختی حاصل از مشاهدات صحرایی اثبات‌کننده نتایج حاصل از شش شاخص ژئومورفولوژی در گستره مورد مطالعه است. رابطی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در حوضه سپیدرود پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد. شاخص‌های اندازه‌گیری شده در هر زیرحوضه نشان می‌دهد که در زیرحوضه‌های منطبق بر گسل‌های منجیل، جیرنده، درفک و دیلمان و همچنین مناطق با تراکم گسلی بالا شاخص‌های اندازه‌گیری شده مقادیر بالایی را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده تأثیر گسل‌های مذکور بر منطقه مورد مطالعه است.

این حوضه یکی از حوضه‌های آبریز مهم استان فارس می‌باشد. آگاهی از شرایط تکتونیک و نئوتکتونیک منطقه می‌تواند تا حدود زیادی از خسارت‌های جانی و مالی زمین‌لرزه‌ها کاسته و در کاهش خسارات ناشی از مخاطرات طبیعی دیگر نظیر حرکات دامنه‌ای موثر واقع شود. مطالعه و شناسایی فعالیت‌های تکتونیک و نئوتکتونیک در رودخانه دالکی برای مقابله با تأثیرات احتمالی این حرکات مفید می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز دالکی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک می‌باشد.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دالکی یکی از زیر حوضه های خلیج فارس و دریای عمان است که مابین استان های فارس و بوشهر در ایران واقع شده است. این حوضه از طرف شمال به حوضه آبریز شاپور، از غرب به ادامه حوضه دالکی (در استان بوشهر) از جنوب به رودخانه شور فیروزآباد و از شرق به حوضه آبریز قره آغاج محدود شده است (شکل ۱). مساحت سطح آبریز این حوضه در استان فارس در حدود ۳۰۵۵ کیلومتر مربع است که مرتفع ترین نقطه آن با ارتفاع ۲۰۵۵ متر در کوه باهیم و پست ترین نقطه آن با ارتفاع ۱۱۰ متر از سطح دریا می باشد. رودخانه اصلی آن، رودخانه دالکی می باشد که یکی از دو شاخه عمده رودخانه حله بوده و بخش خاوری حوضه آبریز رودخانه حله را تشکیل می دهد. این حوضه در محدوده جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۷ دقیقه شرقی و ۲۹ درجه و ۶ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی با مساحتی در حدود ۳۹۰۰ کیلومتر مربع واقع شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

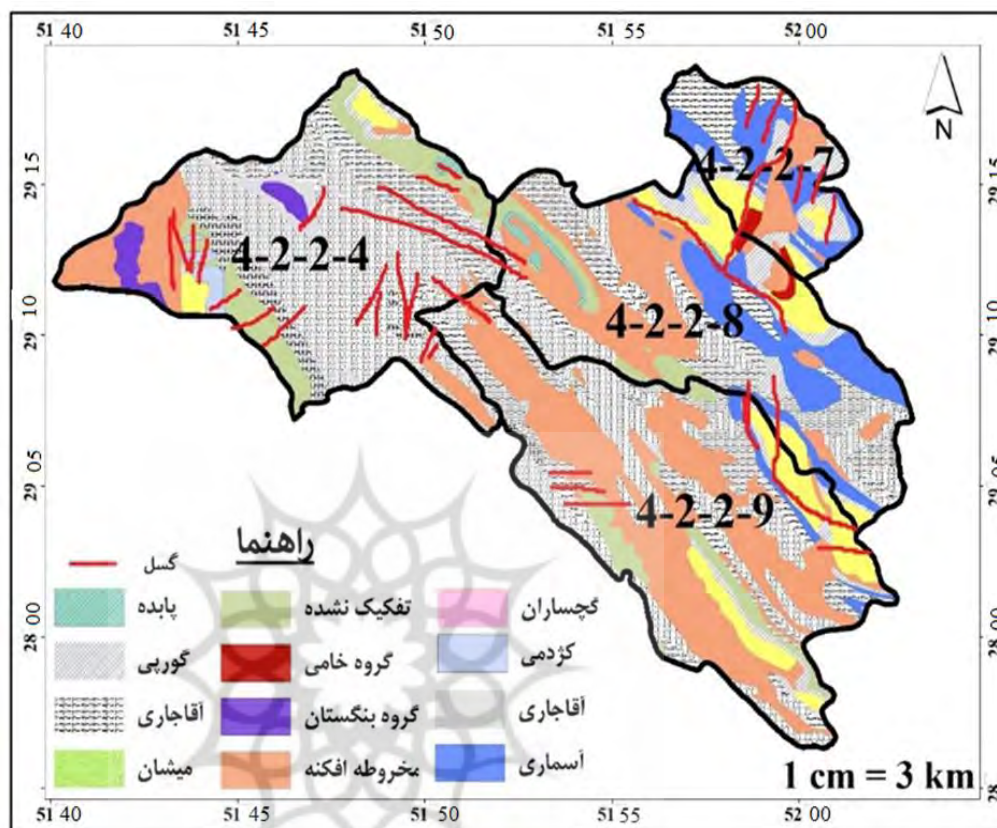
مواد و روش ها

به منظور تعیین زمین ساخت فعال در گستره مورد بررسی با استفاده از شاخص های ژئومورفولوژی:

۱. ابتدا حوضه های زهکشی و آبراهه ها پس از تعیین مرز حوضه آبریز و حوضه آبریز بر اساس فایل GIS دریافتی از وزارت نیرو به ۴ زیر حوضه با شماره ها ۴-۲-۲-۴، ۷-۲-۲-۴، ۸-۲-۲-۴ و ۴-۲-۲-۹ تقسیم گردید (شکل ۲)

۲. در مرحله بعد، واحدهای زمین‌شناسی و ساختارهای اصلی منطقه که شامل گسل‌ها و چین‌ها می‌باشد از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور در گستره مورد مطالعه تعیین گردید.

۳. در مرحله آخر، واحدهای زمین‌شناسی و ساختارهای اصلی منطقه با نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفولوژی و مشاهدات صحرایی، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و بر اساس شاخص Iat میزان نسبی تکتونیک فعال در زیرحوضه‌های مورد مطالعه مشخص شد.



شکل ۲: نقشه زیرحوضه‌ها، زمین‌شناسی و گسل منطقه (ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷)

شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش به شرح ذیل می‌باشد:

تراکم زهکشی^۱ D

تراکم زهکش عبارت از نسبت طول جریان به مساحت می‌باشد (روستایی و نییری، ۱۳۹۰: ۱۴۰). تراکم زهکشی شاخص کمی مفیدی برای ارزیابی تکتونیک در حوضه‌های آبریز به شمار می‌آید. نوع سنگ، پوشش گیاهی، میزان شیب و ... از عوامل مهم تاثیر گذار تراکم زهکشی می‌باشند (دار و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۴۳). این شاخص با رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$\mu = \sum L_i / A \quad \text{(رابطه ۱)}$$

^۱ Drainage density

^۲ Dar et al

۱۱: تراکم زهکشی به کیلومتر بر کیلومتر مربع، L_i طول آبراهه ها به کیلومتر، A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۱).

بالا بودن شریب تراکم بیانگر تکنیک فعال و حساسیت زیاد سازندهای زمین شناسی حوضه است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۲).

نسبت شکل حوضه زهکشی B_s

تجسم افقی یک حوضه بوسیله شاخص شکل یا نسبت کشیدگی حوضه تعریف می شود. شاخص نسبت کشیدگی به صورت رابطه ۲ تعریف می گردد:

$$B_s = B_i / B_w \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه بالا:

B_s : شکل حوضه (متر)، B_i : طول حوضه، فاصلخ پایین ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه از آن، B_w : عرض حوضه، در عرض ترین بخش آن (ده بزرگی و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۳۵).

مقادیر بزرگ این شاخص مربوط به حوضه های کشیده در نواحی فعال زمین ساختی است، در حالیکه مقادیر کوچک آن حوضه های دایره ای شکل نواحی غیرفعال را نشان می دهند. جبهه های کوهستانی که سریع بالا آمده اند، حوضه های کشیده و تندی را ایجاد می کنند و زمانی که فعالیت زمین ساختی کم یا متوقف شود، گستردگی یا پهن شدگی حوضه رخ می دهد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۶۹).

انتگرال هیپسومتری H_i

انتگرال هیپسومتری به صورت غیر مستقیم فعالیت های تکنونیک را منعکس می کنند. مقادیر زیاد شاخص H_i چشم اندازهای جوانی را نشان می دهد که ممکن است در اثر حرکات زمین ساخت به وجود آمده باشند. همچنین می تواند بیانگر حفر اخیر یک سطح ژئومورفیک جوان نهشته گذاری شده باشد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۷۰).

انتگرال هیپسومتری حوضه به وسیله مساحت زیر منحنی هیپسومتریک مشخص می شود. یک راه برای برآورد سریع انتگرال هیپسومتریک رابطه ۳ می باشد:

رابطه (۳)

حداقل ارتفاع - حداکثر ارتفاع / حداقل ارتفاع - میانگین ارتفاع = انتگرال هیپسومتریک

۱- Drainage Basin Shape Ratio

۲- Dehbozorgi et al

۳- Hamdouni et al

۴- Hypsometric integral

در این صورت سه مقدار فرمول فوق، که به آسانی از نقشه های توپوگرافی به دست می‌آید، برای محاسبه انتگرال هیپسومتریک حوضه زهکشی لازم می‌باشند. ماکزیمم و مینیمم ارتفاع به طور مستقیم از نقشه توپوگرافی خوانده می‌شوند (گورابی و نوحه گر، ۱۳۸۶: ۱۹۹).

تقارن توپوگرافی عرضی^۱ T

دیگر شاخص کمی عامل تقارن توپوگرافی معکوس است که در بررسی حرکات تکتونیک فعال به کار برده می‌شود. این شاخص با استفاده از رابطه ۴ به دست می‌آید:

$$T = Da/Dd \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه t شاخص تقارن توپوگرافی عرضی، Da فاصله نوار مئاندردی فعال از خط میانی حوضه آبریز و Dd فاصله خط میانی حوضه آبریز از خط مرز حوضه (خط تقسیم آب) می‌باشد (کلر و پیتر، ۱۹۹۶: ۳۳۸). مقدار T بیان گر یک بردار با مقادیر عددی بین صفر تا یک می‌باشد که مقادیر عددی نزدیک به یک بیان گر تکتونیک فعال است (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۶).

فرازنما I

منحنی فراز نما، توزیع ارتفاعات را در راستای عمود بر یک ناحیه از زمین مثلاً در یک حوضه زهکشی توصیف می‌کند. و به عبارتی دیگر منحنی هیپسومتری، توزیع ارتفاعات را در عرض یک ناحیه از خشکی نشان می‌دهد، خواه این ناحیه یک حوزه آبریز باشد خواه کل سیاره زمین. این منحنی با پیاده نمودن نسبت ارتفاع کل حوضه (ارتفاع نسبی) در مقابل نسبت مساحت کل حوضه ترسیم می‌گردد. شاخص فرازنما (I) از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$I = (H_{mean} - H_{Min}) / (H_{Max} - H_{Min}) \quad \text{رابطه (۵)}$$

که H_{mean} برابر با ارتفاع متوسط و H_{Min} حداقل ارتفاع و H_{max} حداکثر ارتفاع می‌باشد (حبیب اللهبان و رامشت، ۱۳۸۹: ۱۱۰).

مقادیر زیاد انتگرال نماینده آنست که قسمت اعظم توپوگرافی، مرتفع تر از مقدار میانگین می‌باشد. مقادیر متوسط تا کم آن نیز به حوضه های آبریزی مربوط می‌شود که بطور یکنواخت تری بریده شده اند. به عبارتی دیگر، مقادیر عددی بزرگ برای این انتگرال بیانگر توپوگرافی جوان (پستی و بلندی های فراوان به همراه فاینده حفر قائم در دره ی رودخانه ها) و مقادیر عددی متوسط و کم به ترتیب بیانگر توپوگرافی بالغ و پیر می‌باشند.

بحث و نتایج

در ابتدا به برخی ویژگی های زمین شناسی و سنگ شناسی منطقه اشاره خواهد شد: از دیدگاه تکتونیک و زمین شناسی ساختاری، محدوده مطالعاتی حوضه آبریز دالکی در زون ساختاری زاگرس چین خورده قرار گرفته و

^۱ Reverse Topographic symmetry index

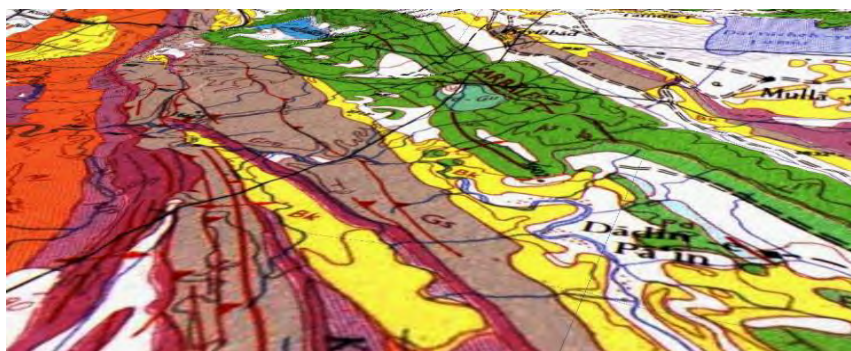
^۲ Keller & Pinter

تنها خروجی حوضه آبریز اراضی مسطح در زون ساختاری زاگرس چین نخورده واقع شده است. محدوده مطالعاتی بر اساس تعریف زاگرس چین خورد شاید یکی از حوضه هایی باشد که تناسب قابل توجه ای با زاگرس چین خورده داشته باشد. از ویژگی های زون چین خورده زاگرس می توان به توالی طاقدیس ها و ناودیس ها اشاره نموده که ارتفاعات و پستی ها را شکل بخشیده است. هدف از مطالعات سنگ شناسی نقش و تاثیر آن بر روی شکل و مورفولوژی سطح زمین است. بر اساس مطالعات به دست آمده تراکم آبراهه ها بر روی سازند آقاجاری و سازند گورپی کاملاً مشهود است. شکل آبراهه ها بر روی سازند زمین شناسی آقاجاری اغلب بصورت درختی است ولی آبراهه هایی که بر روی سازند گورپی توسعه یافته بصورت موازی است.

شکستگی ها و گسل ها از مولفه های اصلی در زمین شناسی ساختمانی حوضه آبریز محسوب می گردد. با توجه به نقشه گسل ها، مشاهده می شود که منطقه گسل از تراکم کمی برخوردار است (شکل ۲). در اثر گسل ها لایه های منظم چین خورده جابجا شده و ساختار چین خوردگیها تغییر شکل داده است که نمونه ای از آن در شکل ۳ قابل مشاهده است. در اثر فعل و انفعالات تکتونیک و جابجایی لایه های زمین شناسی، مورفومتری سطح زمین تغییر می یابد و این تغییرات می تواند بصورت عمودی و یا افقی باشد. از جمله شواهد سطحی فعالیت های تکتونیک و اثر آن بر سطح زمین را می توان جابجایی مسیر رودخانه ها نام برد. در اثر این جابجایی ناگهانی رودخانه از مسیر خود تغییر جهت داده و بصورت مشهود جابجا می شود.



شکل ۳: تغییر شکل آبراهه ها در اثر فعالیت گسل ها



شکل ۴: تغییر شکل چین خوردگی‌ها در اثر گسل در نمای سه بعدی

نسبت شکل حوضه زهکشی BS

پهن‌ترین قسمت و نتایج شاخص BS در کلاس‌های زیر قرار می‌گیرد. چنانچه BS برابر با ۴ باشد در کلاس ۱ (فعال) و بین ۳ تا ۴ باشد در کلاس دو (نیمه فعال) و کمتر از ۳ باشد در کلاس ۳ (غیرفعال) قرار می‌گیرد.

جدول ۱: شاخص BS

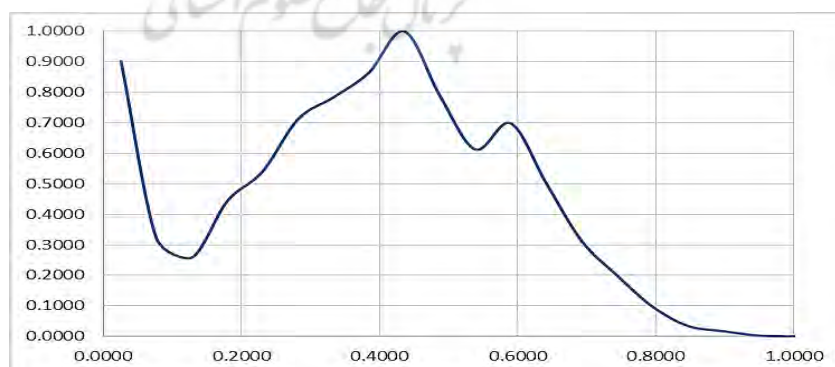
کلاس	BS	BW	BL	زیر حوضه
۳	۰/۵۹	۳۵۰۰۰	۲۰۷۶۰	۷-۲-۲-۴
۳	۱	۶۳۰۰۰	۵۷۰۰۰	۸-۲-۲-۴
۳	۲/۳۵	۳۰۰۰۰	۷۰۵۰۰	۹-۲-۲-۴
۳	۱/۴۴	۵۰۰۰۰	۷۲۰۰۰	۴-۲-۲-۴

(یافته‌های تحقیق: نگارنده، ۱۳۹۷)

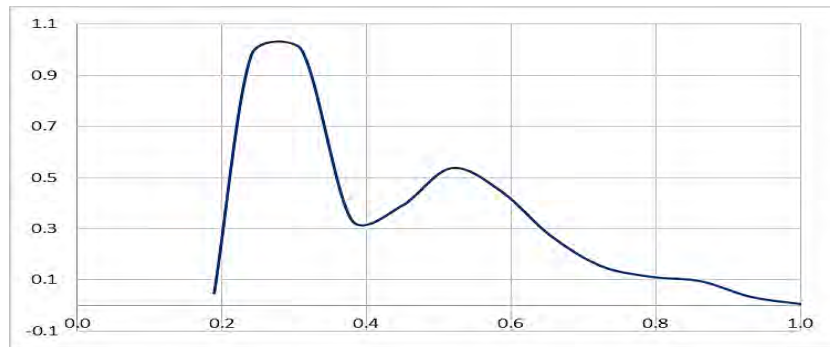
مطابق جدول ۱ در زیر حوضه ۹-۲-۲-۴، به دلیل طولیل بودن حوضه آبریز، بیشترین مقدار شاخص نسبت شکل حوضه به این حوضه تعلق دارد. زیر حوضه ۷-۲-۲-۴ که هم از نظر BS شکل دایره است، مقدار پایینی از شاخص نسبت شکل حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. به طور کلی هر چهار حوضه بر اساس شاخص نسبت شکل حوضه از نظر تکنیکی در کلاس ۳، غیرفعال قرار گرفته‌اند.

H_i : انتگرال هیپسومتری

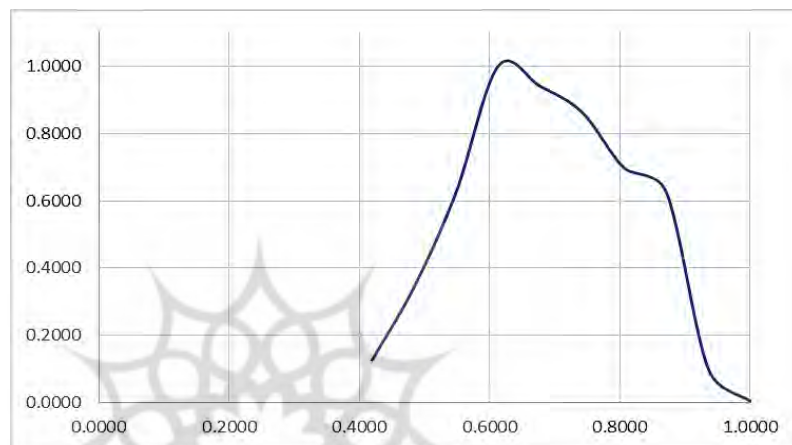
مساحت Y ارتفاع و محور X منحنی هیپسومتری حوضه آبریز بر اساس نقشه‌های توپوگرافی تهیه شده که محور است.



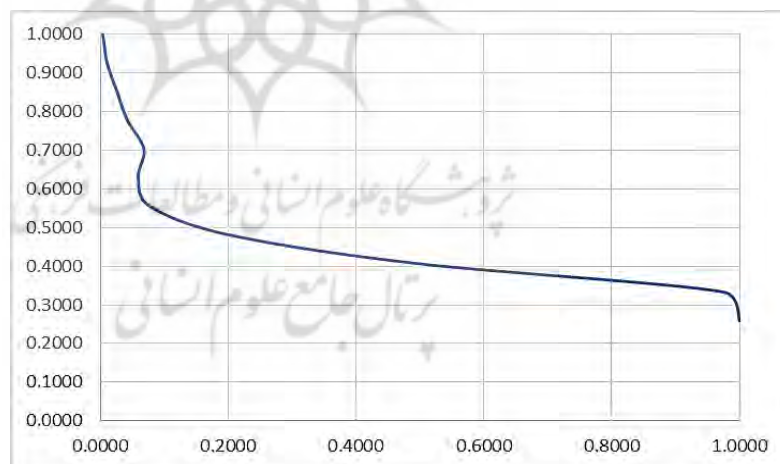
شکل ۵: منحنی انتگرال هیپسومتری حوضه آبریز ۷-۲-۲-۴ (ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷)



شکل ۶: منحنی انتگرال هیپسومتری حوضه آبریز ۴-۲-۲-۸ (ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷)



شکل ۷: منحنی انتگرال هیپسومتری حوضه آبریز ۴-۲-۲-۸ (ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷)



شکل ۸: منحنی انتگرال هیپسومتری حوضه آبریز ۴-۲-۲-۹ (ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۷)

بر اساس طبقه بندی همدونی (۲۰۰۸) کلاس های زیر تعریف می گردد:

(فعال) $Hi < 0.4$ (۳) ، (نیمه فعال) ، (۲) $Hi < 0.4-0.5$ (غیرفعال) ، (۱) $Hi > 0.5$

جدول ۲: شاخص Hi

کلاس	شاخص Hi	حداکثر ارتفاع	حداقل ارتفاع	ارتفاع متوسط	زیر حوضه
۲	۰/۴۸۴	۳۰۸۳	۱۲۳۳	۲۱۳۰	۷-۲-۲-۴
۳	۰/۳۰۳	۲۸۹۷	۵۲۳	۱۲۴۴	۸-۲-۲-۴
۳	۰/۱۵۴	۲۷۷۳	۶۷۵	۹۹۹	۹-۲-۲-۴
۳	۰/۳۷۹	۱۹۴۱	۱۰	۷۴۲	۴-۲-۲-۴

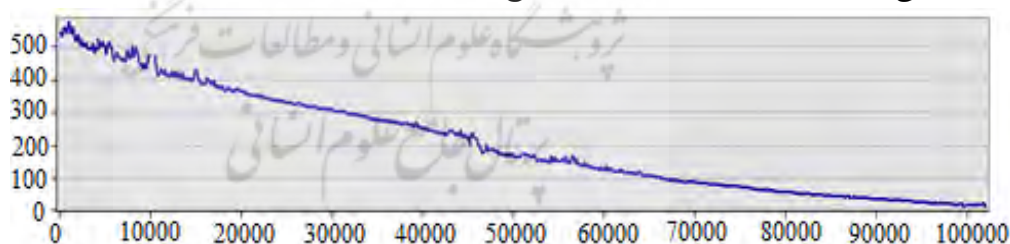
(یافته های تحقیق: نگارنده، ۱۳۹۷)

بر اساس جدول ۲ جزء زیر حوضه ۷-۲-۲-۴ که در کلاس دو یعنی نیمه فعال قرار دارد مابقی زیر حوضه ها در کلاس سه (غیرفعال) قرار دارند. مقادیر زیاد انتگرال نماینده آنست که قسمت اعظم توپوگرافی، مرتفع تر از مقدار میانگین می‌باشد. مقادیر متوسط تا کم آن نیز به حوضه‌های آبریزی مربوط می‌شود که بطور یکنواخت تری بریده شده اند. به عبارتی دیگر، مقادیر عددی بزرگ برای این انتگرال بیانگر توپوگرافی جوان (پستی . بلندی های فراوان به همراه فرآیند حفر قائم در دره ی رودخانه ها) و مقادیر عددی متوسط و کم به ترتیب بیانگر توپوگرافی بالغ و پیر می‌باشد.

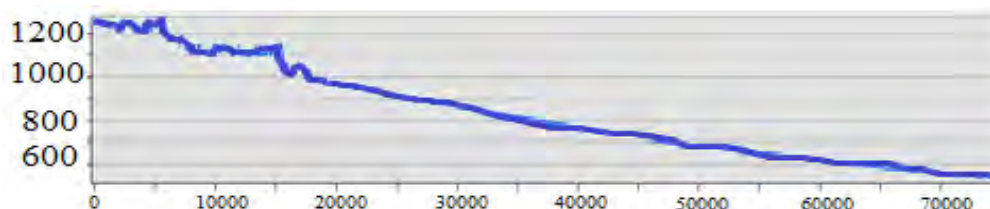
فرازنما I

منحنی فراز نما، توزیع ارتفاعات را در راستای عمود بر یک ناحیه از زمین مثلا در یک حوضه زهکشی توصیف می‌کند. و به عبارتی دیگر توزیع ارتفاعات را در عرض یک ناحیه از خشکی نشان می‌دهد، خواه این ناحیه یک حوزه ی آبریز باشد خواه کل سیاره زمین. این منحنی با پیاده نمودن نسبت ارتفاع کل حوضه (ارتفاع نسبی) در مقابل نسبت مساحت کل حوضه ترسیم می‌گردد (حبیب اللهیان و رامشت، ۱۳۸۹ : ۱۱۰). برای ارزیابی این شاخص، ابتدا بلندترین و پست ترین نقاط از روی نقشه توپوگرافی شناسایی و سپس مساحت کل حوضه و مساحت بین خطوط منحنی میزان محاسبه شد و منحنی هیپسومتری حوضه رسم گردید.

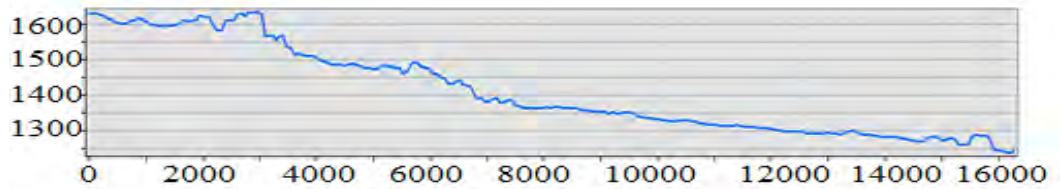
از شکل منحنی بی بعد حوضه می‌توان به این نتیجه رسید که نیمرخ طولی نشان دهنده غلبه فرسایش در حوضه و تأثیرگذاری آن بر ارتفاعات است. این منحنی نشان می‌دهد که مترین سطح حوضه در ارتفاع بالا و بیشترین سطح آن در ارتفاع پایین قرار دارد. میانگین شاخص فراز نما در حوضه برابر با ۰/۴۲۱۱ به دست آمد که بیانگر حاکمیت توپوگرافی بالغ مایل به جوان می‌باشد. اشکال ۹ تا ۱۲ نیمرخ طولی ۴ زیر حوضه را نشان می‌دهند.



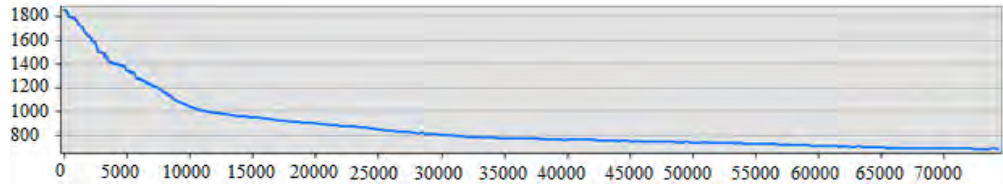
شکل ۹: پروفیل ارتفاعی رودخانه در حوضه ۷-۲-۲-۴



شکل ۱۰: پروفیل ارتفاعی رودخانه در حوضه ۸-۲-۲-۴



شکل ۱۱: پروفیل ارتفاعی رودخانه در حوضه ۷-۲-۴



شکل ۱۲: پروفیل ارتفاعی رودخانه در حوضه ۹-۲-۴

شاخص تقارن توپوگرافی عرضی T:

در منطقه مورد مطالعه مقادیر فوق برای هر یک از زیرحوضه‌ها در Tجه ت برآورد پارمترهای مورد نیاز شاخص مقاطع مختلف بصورت مجزا محاسبه و نتایج نهایی آن در غالب جدول ۳ ارائه شده است.

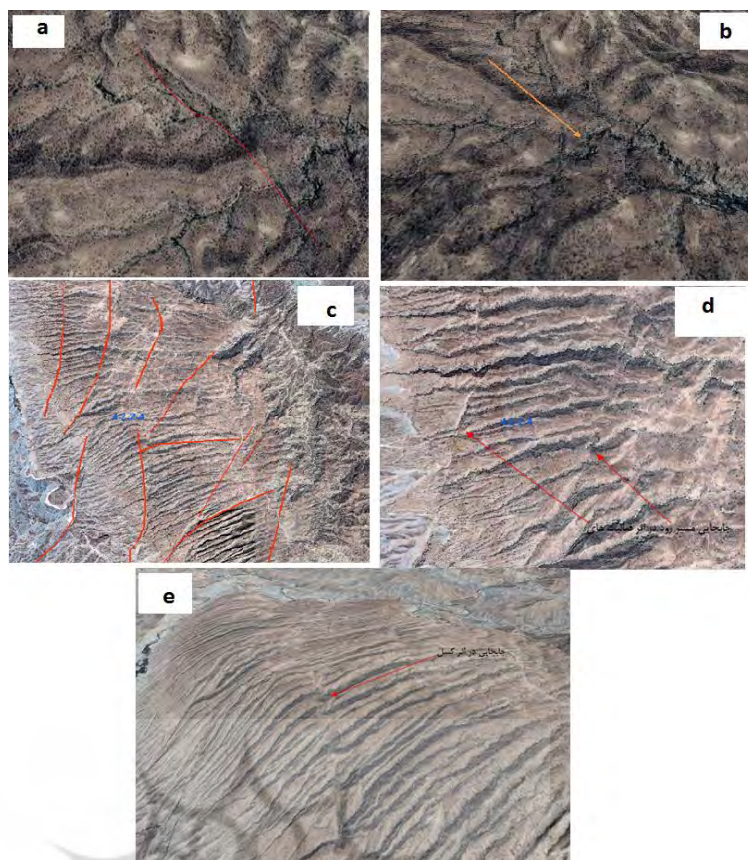
جدول ۳: شاخص T

T	Db	Da	زیر حوضه
۰/۱۶	۱۲۰۰۰	۲۰۰۰	۷-۲-۴
۰/۴۳	۱۶۲۰۰	۷۰۰۰	۸-۲-۴
۰/۲۷	۱۸۰۰۰	۷۰۰۰	۹-۲-۴
۰/۶۲	۱۶۰۰۰	۱۰۰۰۰	۴-۲-۴

(یافته های تحقیق: نگارنده، ۱۳۹۷)

براساس جدول شماره ۳ میزان شاخص توپوگرافی تقارن عرضی کمترین میزان شاخص متعلق به زیر حوضه ۷-۲-۴-۲ می باشد و بیشترین میزان شاخص متعلق به زیرحوضه ۴-۲-۴-۴ می باشد. بدین ترتیب بیشترین میزان عدم تقارن متعلق به زیرحوضه ۴-۲-۴-۴ می باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱۳: A: تغییر مسیر رود در اثر گسل در محدوده مطالعاتی. B: تغییر مسیر رود در اثر گسل در محدوده مطالعاتی در نمای سه بعدی. C: تراکم گسل‌ها بر روی سازند گوربی. D: جابجایی رود توسط گسل بر روی سازند گوربی. E: جابجایی رود توسط گسل بر روی سازند گوربی در نمای سه بعدی. (استخراج از تصاویر گوگل ارث)

شاخص تراکم زهکشی D

مقدار این شاخص به درجه فرسایش و میزان برش چشم اندازها در شبکه زهکشی بستگی دارد. شبکه زهکشی در چشم اندازهای قدیمی که در زمان طولانی در سطح زمین قرار دارند، گسترش بیشتری یافته و در نتیجه دارای مقدار تراکم زهکشی بیشتری است. مقدار تراکم زهکشی در حوضه‌هایی که دارای فعالیت زمین‌ساختی اخیر می‌باشند، کمتر است (بابائی و همکاران، ۱۳۹۶: ۴۹). برای محاسبه این شاخص، مساحت و طول تمام آبراهه‌های هر حوضه در محیط GIS اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه ارائه شده برای این شاخص (رابطه ۱) تراکم زهکشی هر حوضه محاسبه گردید. بیشترین مقدار این شاخص در ۰/۴۸۰ متعلق به زیر حوضه ۷-۲-۲-۴ می‌باشد.

جدول ۵: شاخص زهکشی

کلاس	وضعیت	D	L	A	زیر حوضه
۲	میانی	۰/۴۸۰	۲۴۲	۵۰۴	۷-۲-۲-۴
۳	پیر	۰/۳۹۳	۶۰۱	۱۵۲۸	۸-۲-۲-۴
۲	میانی	۰/۴۰۴	۷۴۸	۱۸۴۹	۹-۲-۲-۴
۲	میانی	۰/۴۶۴	۷۹۸	۱۷۱۷	۴-۲-۲-۴

(یافته‌های تحقیق: نگارنده، ۱۳۹۷)

پس از محاسبه شاخص های ژئومورفیک در منطقه و برآورد شاخص Iat میزان نسبی تکتونیک فعال در زیرحوضه های مورد مطالعه مشخص شد (جدول ۶). براساس طبقه بندی همدونی اگر $Iat = 1-1.5$ باشد حاکی از فعالیت های تکتونیکی شدید است. در صورتی که $Iat < 2$ باشد فعالیت های تکتونیکی زیاد را نشان می دهد. $Iat < 2.5$ بیانگر فعالیت های تکتونیکی متوسط است و $Iat < 2.5$ فعالیت های کم و ناچیز را آشکار می سازد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۶۸).

جدول شماره ۶: خلاصه ای شاخص ها در منطقه

وضعیت	Iat	D	T	Hi	BS	زیر حوضه
متوسط	۲/۵	۲	۳	۲	۳	۷-۲-۲-۴
کم	۲/۷۵	۳	۲	۳	۳	۸-۲-۲-۴
متوسط	۲/۵	۲	۲	۳	۳	۹-۲-۲-۴
متوسط	۲/۲۵	۲	۱	۳	۳	۴-۲-۲-۴

(یافته های تحقیق: نگارنده، ۱۳۹۷)



شکل ۱۴: اختلاف شکل شبکه آبراهه ها در دامنه های مخالف و موافق (استخراج از تصاویر گوگل ارث)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱۵: اختلاف در شکل و تراکم آبراهه‌ها که متأثر از ساختمان زمین‌شناسی است

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از شاخص‌های نوین ژئومورفولوژی به منظور بررسی زمین‌ساخت فعال در گستره مورد مطالعه استفاده شده است. در این پژوهش بر اساس مطالعاتی که صورت گرفت، فعالیت‌های تکتونیکی در زیر حوضه‌های مختلف بر اساس شاخص‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. وقتی چندین شاخص در یک ناحیه خاص برای طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل فعالیت تکتونیکی به کار برده شوند، نسبت به کارگیری یک شاخص، نتایج مستدل‌تری را در برخواهند داشت. بر همین اساس زیر حوضه‌های ۴-۷-۲، ۴-۲-۲، ۲-۴-۹ از زیر حوضه‌های نیمه فعال می‌باشند. مورفولوژی این زیر حوضه‌ها از نوع کوهستانی مرتفع است که متوسط شیب آنها بالاست. اما این ارقام و فرایندهای مورفولوژیک و فرسایش، نمی‌تواند مؤید فعالیت‌های تکتونیکی حوضه‌های آبریز باشد چرا که زمین‌ساخت این زیر حوضه‌ها در دوره‌های پیشین زمین‌شناسی شکل گرفته و این اختلاف ارتفاع و مورفولوژی خشن در این حوضه‌های آبریز ناشی از جوان بودن ساختار زمین‌شناسی زاگرس است. نتایج حاصل از شاخص‌های ژئومورفولوژی نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی در طول گسل‌های گستره مورد مطالعه است، این نتایج با تحقیق بابائی و همکارانش (۱۳۹۶) مطابقت دارد. نتایج تحقیقات‌شان بیانگر فعالیت زمین‌ساختی گسل خزر، شمال البرز، بلده، گلرود شمالی و جنوبی می‌باشد. همچنین با تحقیقات بهرامی و همکارانش (۱۳۹۰) مبنی نقش مهم تعداد گسل‌ها و شکستگی‌ها در افزایش ناهنجاری زهکشی مطابقت دارد.

بر اساس شاخص میانگین شاخص فراز نما در حوضه برابر با $0/4211$ به دست آمد که بیانگر حاکمیت توپوگرافی بالغ مایل به جوان می‌باشد. با مشاهدات میدانی و بررسی‌هایی که بر روی داده‌های ماهواره‌ای انجام گرفته، فعالیت‌های تکتونیکی بر روی سازند گورپی به وضوح قابل مشاهده است و فعالیت‌های نئوتکتونیکی مسبب تغییر شکل آبراهه‌ها و شبکه زهکشی بوده است. هر یک از شاخص‌های یادشده، یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت‌های تکتونیکی ارائه می‌دهند که برای مطالعات شناسایی و بررسی مقدماتی مفید هستند.

نتایج فوق به کارایی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی در تعیین مناطق فعال از نظر تکتونیکی تاکید دارد. در این صورت با استفاده از این شاخص‌ها می‌توان به محل، موقعیت گسل‌ها و تغییرات لیتولوژیکی پی برد. به طور کلی می‌توان گفت که مدیریت حوضه‌ها و رودخانه بدون توجه به نحوه عملکرد فرایندهای ژئومورفولوژیکی

و همچنین عدم مطالعه پیامدهای فعالیت های تکتونیکی در حوضه ها ممکن به نظر نمی رسد. درک درست تغییرات در مسیر جریان رودخانه ها در واقع مستلزم نگرش سیستمی به حوضه ها و اعتقاد به سوق یافتن کل سیستم به ایجاد برقراری تعادل است که گاه به علت تغییرات طبیعی و یا به سبب دخالت های انسانی در طبیعت به هم می خورد. پیشنهاد می شود در تحقیقات آینده، شاخص های ناهنجاری زهکشی در حوضه های بیشتر با خصوصیات تکتونیکی و مورفومتریکی متفاوت بررسی شود تا کارایی و ارزش این شاخص ها به طور دقیق تری تعیین شود.



منابع

۱. بابائی، شیما، ده بزرگی، مریم، حکیمی آسیاب، سعید، حسینی اصل، امین، (۱۳۹۶)، بررسی زمین ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در البرز مرکزی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۱. ص ۴۰-۵۶.
۲. بیاتی خطیبی، مریم، (۱۳۸۸)، تشخیص فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه آبریز قرقوچای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک، مجله علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی؛ سال نهم، شماره ۱، ص ۲۵-۵۰.
۳. بهرامی، شهرام. معتمدی راد، محمد، اکبری، الله، (۱۳۹۲)، بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه زهکشی (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی در شمال شرق)، مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال سوم، شماره ۱۲، صص ۸۵-۱۰۲.
۴. رابطی، دنیا، ده‌بزرگی، مریم، حکیمی آسیاب، سعید، نوزعیم، رضا، (۱۳۹۷)، بررسی زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در حوضه سپیدرود، البرز غربی، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، پاییز. ص ۱۵۷-۱۴۰.
۵. رامشت، محمد حسین، سیف، عبد...، شاه زیدی، سمیه و انتظاری، مژگان، (۱۳۸۸)، تأثیر تکتونیک جنبا بر مورفولوژی مخروط افکنه درختگان در منطقه شهداد کرمان، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، ص ۲۹-۴۶.
۶. روستایی، شهرام، نیری، هادی، (۱۳۹۰)، تحلیل کمی تأثیر لیتولوژی و تکتونیک بر پروفیل طولی رودخانه در حوضه ی آبریز رودخانه مهاباد، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۴، صص ۱۵۳-۱۳۷.
۷. حبیب‌اللهیان محمود، رامشت محمد حسین، (۱۳۸۹)، کاربرد شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنبا در برآورد وضعیت تکتونیکی بخش علیای زاینده رود. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۶، صص ۹۹-۱۱۲.
۸. جعفری، غلامحسین، (۱۳۹۴)، بررسی فضایی شاخص‌های مورفوتکتونیکی دره‌ها با توجه به ساختمان زمین شناسی (مطالعه موردی: بخشی از ناهمواری‌های استان زنجان)، مجله هیدروژئومورفولوژی، شماره ۵، صص ۶۱-۴۱.
۹. جمال آبادی جواد، امیراحمدی ابوالقاسم، مونسیان قاسم، شایان یگانه علی اکبر، (۱۳۹۳)، بررسی تأثیرات تکتونیکی گسل کمایستان بر شبکه زهکشی و مخروط افکنه‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در دامنه‌های شمالی ارتفاعات جغتای، مجله آمایش جغرافیایی فضا فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه گلستان، سال چهارم/ شماره ۱۱.
۱۰. عابدینی، موسی، کرمی، فریبا، سرمستی، نادر، (۱۳۹۴)، ارزیابی فعالیت گسل تبریز با شاخص‌های ژئومورفیک، تکنیک سنجش از دور و GIS، مجله هیدروژئومورفولوژی، شماره ۵، صص ۴۰-۱۷.
۱۱. گورابی، ابوالقاسم، نوحه گر، احمد، (۱۳۸۶)، شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص ۱۷۸.
۱۲. منصوری و صفاری (۱۳۹۴)، به تحلیل فعالیت زمین ساختی حوضه آبخیز فرحزاد از طریق شاخص‌های ژئومورفیک، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۲۴، شماره ۹۵.
۱۳. کرمی، فریبا، (۱۳۹۱)، ارزیابی نسبی تکتونیک فعال با استفاده از روش‌های مورفومتری در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند، فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره ۳۷، صص ۱-۱۸.

۱۴. مقصودی، مهران، کامرانی دلیر، حمید، (۱۳۸۷)، ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه ها، مطالعه موردی: رودخانه تجن، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، ص ۳۷ ص ۵۵
۱۵. Argyrioua, Athanasios V, Richard M. Teeuwa, Pantelis Soupiosb, Apostolos Sarris, (2017), Neotectonic control on drainage systems: GIS-based geomorphometric and morphotectonic assessment for Crete, Greece, *Journal of Structural Geology*, vol 104, p 93-111.
۱۶. Biswas, S.S., (2016). Analysis of GIS Based Morphometric Parameters and Hydrological Changes in Parbati River Basin, Himachal Pradesh, India, *Journal of Geography & Natural Disasters*, 6(2): 1-8
۱۷. Dar, Reyaz Ahmad, Romshoo, Shakil Ahmad, Chandra, Rakesh, Ishtiaq Ahmad, (2014), Tectono-geomorphic study of the Karewa Basin of Kashmir Valley, *Journal of Asian Earth Sciences*, vol 92, p 143-156.
۱۸. Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, H., Hosseinias, H., (۲۰۱۰). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran, *Geomorphology*, Vol. 121, 329–341.
۱۹. Hamdouni, R.E., Irigaray, c., Fernadez, T., Chacon, J., Keller E.A (2008). Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada (Southern Spain), *Geomorphology*, Vol, 96. PP:150-173
۲۰. Keller, E.A., Pinter, N., (1996), “Active, Tectonics: Earthquake, Uplift and Landscape, Prentice Hall Publication”, London
۲۱. Keller, E.A., Pinter, N., (2002), “Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. Prentice Hall”, New Jersey. 23- Molin
۲۲. Mathew, Manoj Joseph, David Menier, Siddiqui, Numair, Gaurav Kumar, Shashi, Authemayou, Christine, (2016), Active tectonic deformation along rejuvenated faults in tropical Borneo: Inferences obtained from tectono-geomorphic evaluation, *Journal geomorphology*, vol 267. P 1-15
۲۳. Simoni, A., Elmi, C., Picotti, V., (2003). Late Quaternary uplift and valley evolution in the Northern Apennines: Lamone catchment, *Quaternary International*, Vol. 101–102, 253–267