هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۹، سال ۵، تابستان ۱۳۹۸، صص۲۰۹-۱۸۷
Hydrogeomorphology, Vol.5, No.19, Summer 2019, pp (187-209)

ارزیابی تکتونیک فعال حوضه‌ی رودخانه سیروان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک

سعید نگهبان*[1]، دیانا درتاج[2]

وصول مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۲۴ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۰۴

چکیده

حرکات تکتونیکی همواره تأثیرات بسیار زیادی بر نقاط مختلف کره‌ی زمین دارند و هر منطقه‌ای که در حال حاضر نیز حرکات تکتونیکی در آنها وجود دارد به اصطلاح دارای تکتونیک فعال است. رودخانه‌ها نسبت به حرکات تکتونیکی حساس هستند و رابطه نزدیکی بین لندفرم‌های رودخانه‌ای و حرکات تکتونیکی وجود دارد. به‌منظور بررسی وضعیت تکتونیکی یک منطقه یا حوضه روش‌های مختلفی وجود دارد. در این میان، شاخص‌های ژئومورفیکی در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی ابزاری مفید و قابل اطمینان هستند. بر این اساس در تحقیق حاضر به بررسی وضعیت تکتونیکی حوضه‌ی رودخانه‌ی سیروان پرداخته شده است. در این تحقیق حوضه‌ی رودخانه‌ی سیروان شامل ۵ زیرحوضه‌ی گاران، شویشه، قشلاق، گاورود و سیروان مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. به منظور بررسی تأثیر تکتونیک بر زیرحوضه‌های مورد مطالعه از ۸ شاخص، شامل: شاخص پیچ و خم (سینوسی) جبهه کوهستان (Smf)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)، شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)، شاخص تراکم سطحی آبراهه (P)، شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi)، شاخص سینوسی رودخانه (S) و شاخص شکل حوضه (Bs) استفاده شده است. پس از ارزیابی حوضه بر مبنای شاخص‌های موجود، به منظور طبقه‌بندی حوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیکی، از شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Lat) استفاده شده است که نتایج حاصله از این شاخص بیانگر این است که در بین زیرحوضه‌های مطالعاتی، زیرحوضه‌ی شویشه با میانگین کلاس ۲، دارای وضعیت فعال‌تری نسبت به سایر زیرحوضه‌ها است.

کلمات کلیدی: تکتونیک فعال، شاخص‌های ژئومورفولوژی، حوضه سیروان.

۱- استادیار ژئومورفولوژی بخش جغرافیا، دانشگاه شیراز، شیراز، (نویسنده‌ی مسئول).E-mail: snegahban@shirazu.ac.ir
۲ -کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان، لار.

مقدمه

رودخانه‌ها نسبت به حرکات تکتونیکی حساس هستند و رابطه‌ی نزدیکی بین لندفرم‌های رودخانه‌ای و حرکات تکتونیکی وجود دارد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۴). اصطلاح مورفوتکتونیک بیان‌کننده‌ی ارتباط بین ژئومورفولوژی و تکتونیک است و در بسیاری از موارد مورفوتکتونیک، برابر تکتونیک ژئومورفولوژی در نظر گرفته می‌شود (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۱). در سال‌های اخیر ژئومورفولوژی تکتونیکی به طور چشم‌گیر، یکی از ابزارهای عمده و اساسی و مؤثر در تشخیص شکل‌های تکتونیکی فعال و تهیه‌ی نقشه‌های خطر لرزه‌ای و همچنین درک و فهم تاریخچه چشم اندازهای کنونی سطح زمین بوده است (کلر و همکاران، ۲۰۰۲: ۱). به منظور بررسی وضعیت تکتونیکی یک منطقه یا حوضه روش‌های مختلفی وجود دارد. در این میان، شاخص‌های ژئومورفیکی در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی ابزاری مفید و قابل اطمینان هستند زیرا از روی آن‌ها می‌توان نواحی‌ای را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا حتی کند تکتونیکی را پشت سر گذاشته‌اند، به راحتی شناسایی نمود (رامیرز-هررا[1]، ۱۹۹۸: ۳۱۷). این شاخص‌ها به ژئومورفولوژیست‌ها اجازه می‌دهد تا به اندازه‌گیری کمی بپردازد و به طور واقعی و معقول لندفرم‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه کرده و شاخص‌های مورفولوژیک را محاسبه کنند. حوضه‌ی رودخانه سیروان با توجه به موقعیت قرارگیری (زاگرس چین خورده)، از نظر تکتونیکی منطقه‌ای فعال محسوب می‌شود. بر این اساس ارزیابی و بررسی فعالیت‌های تکتونیکی و اثرات ناشی از آن در برنامه‌ریزی‌های عمران ناحیه‌ای و آمایش سرزمین و مدیریت محیط از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد (گورابی و نوحه‌گر، ۱۳۸۶: ۱۷۷). با توجه به موارد مذکور در تحقیق حاضر به ارزیابی وضعیت تکتونیکی حوضه‌ی سیروان پرداخته شده است.

1- Ramirez- Herrera

در مورد موضوع مورد مطالعه تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به تروینی و دلاستا[1] (۲۰۰۸) اشاره کرده که به بررسی فعالیت‌های نوزمین ساخت جبهه‌های کوهستان فعال شمال غرب هیمالیا پرداختند. در این تحقیق از تجزیه و تحلیل گسل‌ها و شاخص‌های مورفوتکتونیکی استفاده شده است و نتایج به دست آمده بیانگر فعال بودن پیشانی کوهستان مورد مطالعه است. آنوپ و همکاران[2] (۲۰۱۱) به بررسی وضعیت مورفوتکتونیکی دره اسپیتی در شمال غرب اسپانیا پرداختند. نتایج حاصل از از تجزیه و تحلیل ژئومورفومتریک و محاسبه‌ی شاخص‌های ژئومورفیک نشان داده است که زمین‌ساخت فعال از عوامل مهم حاکم بر چشم‌انداز دره اسپیتی در شمال‌غرب هیمالیا است و تغییرات توپوگرافی آن در ارتباط با زمین‌ساخت فعال و نقش سایر عوامل مؤثر است. گیکونیا و همکاران[3] (۲۰۱۲) به بررسی وضعیت مورفوتکتونیک دامنه‌های سیرا در جنوب شرقی اسپانیا پرداختند. در این تحقیق از ۶ شاخص ژئومورفیک استفاده شده است. نتایج این تحقیق بیانگر این است که فعالیت‌های زمین‌ساختی مؤثر بر تغییر شکل آبراهه‌ها در محدوده‌ی مطالعاتی مربوط به دو منطقه گسلی، گسل معکوس از خط‌الرأس به سمت شمال و شرق و دیگری گسل نرمال از خط‌الرأس به طرف جنوب می‌دانند. ویوینا و همکاران[4] (۲۰۱۳) تاثیر بالاآمدگی تکتونیکی ابرین پنسولیا را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق از عکس‌های هوایی و روش‌های مورفومتری استفاده شده است و نتایج به دست آمده بیانگر پیدایش شکاف‌ها در سازندهای سخت و شکل‌گیری تراس در کنار دره‌های رودخانه‌ی مونو در نتیجه فرو رفتن رودخانه در بستر آبرفت‌ها است. شارما و همکاران[5] (۲۰۱۸) وضعیت مورفوتکتونیکی حوضه‌ی رودخانه شیرخاد[6] در هندوستان را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفومتریک استفاده

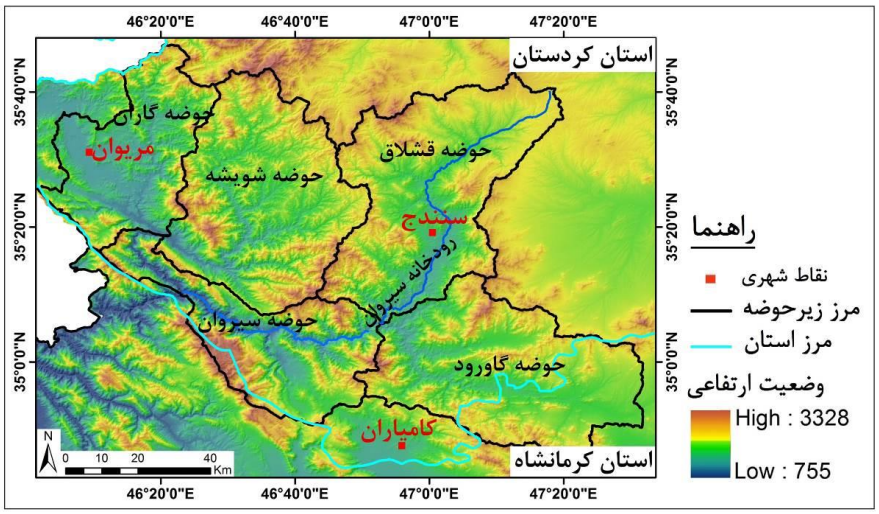
1- Troiani & Della Seta
2- Anoop et al.,
3- Giaconia et al.,
4- Viveena et al.,
5- Sharma et al.,
6- Sheer Khadd

شده است. نتایج به دست آمده بیانگر این است که این حوضه بر اساس شاخص‌ها مورد استفاده (عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی، انتگرال هیپسومتریک، سینوسیته جبهه کوهستان و ...) فعال می‌باشد که این فعال بودن ناشی از فعالیت‌های گسلی منطقه است. کرمی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی و تحلیل شواهد ژئومورفولوژیک و تکتونیک فعال در حوضه‌های شمالی شهرچای میانه پرداختند. در این تحقیق از شاخص‌های ژئومورفیک استفاده شده است که نتایج تحلیل این شاخص‌ها با استفاده از شاخص Iat نشان می‌دهد که ۵۷/۱ درصد حوضه‌های شمالی شهرچای دارای حرکات تکتونکی متوسط، ۲۸/۶ درصد دارای فعالیت تکتونیکی زیاد و ۱۴/۳ درصد دارای فعالیت‌های تکتونیکی کم هستند. عابدینی و شبرنگ (۱۳۹۳) به ارزیابی فعالیت‌های نو زمین‌ساخت در حوضه آبخیز مشکین چای پرداختند. در این تحقیق از ۱۰ شاخص ژئومورفولوژیکی استفاده شده است. نتایج ارزیابی شاخص‌های ژئومورفولوژی نشان داده است که کل حوضه‌ی مورد مطالعه از لحاظ فعالیت‌های زمین ساختی پویا است و زیرحوضه‌ی مشکین‌چای نسبت به زیرحوضه‌های بینوچای و کرکرچای از فعالیت زمین ساختی بیش‌تری برخوردار است. جمال‌آبادی و همکارام (۱۳۹۵) به بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه‌های زهکشی در حوضه‌های بار، بقیه و قلعه میدان پرداختند. در این از شاخص‌های ژئومورفولوژی استفاده شده است و نتایج تحقیق بیانگر این است که بین شاخص انشعابات حوضه و دیگر شاخص‌ها همبستگی مطلوبی وجود دارد. منصوری و سربازی (۱۳۹۶)، به منظور بررسی وضعیت تکتونیک فعال طاقدیس بانکول پرداختند. در این تحقیق از شاخص‌های مورفوتکتونیک و شواهد ژئومورفولوژیکی استفاده شده است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که طاقدیس بانکول دارای وضعیت تکتونیک فعالی است. همچنین، این یافته‌ها گویای تداوم حرکت‌های نئو تکتونیکی و بالاآمدگی در طاقدیس بانکول می‌باشند. با توجه به موارد مذکور هدف از تحقیق بررسی وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌های سیروان با استفاده از ۸ شاخص Smf، AF، SL، T، P، Hi، S و Bs می‌باشد.

مواد و روش‌ها

- محدوده‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مطالعاتی شامل حوضه رودخانه سیروان است که از نظر تقسیمات سیاسی در غرب و جنوب استان کردستان و بخش کمی از آن نیز در شمال استان کرمانشاه قرار دارد (شکل ۱). این حوضه با وسعت ۸۴۵۶ کیلومترمربع، از زیرحوضه‌های خلیج فارس محسوب می‌شود که از نظر ژئومورفولوژی عمدتا شامل واحد کوهستانی می‌شود. بخش عمده‌ای از منطقه را دامنه‌های پرشیب در برگرفته است و مناطق مسطح آن اغلب به صورت دشت‌های میانی کوهی هستند که در سطح حوضه پراکنده‌اند. از نظر اقلیمی نیز دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های تقریبا معتدل است. در این تحقیق حوضه‌ی سیروان به ۵ زیرحوضه گاران، شویشه، فشلاق، گاورود و سیروان تقسیم شده است.

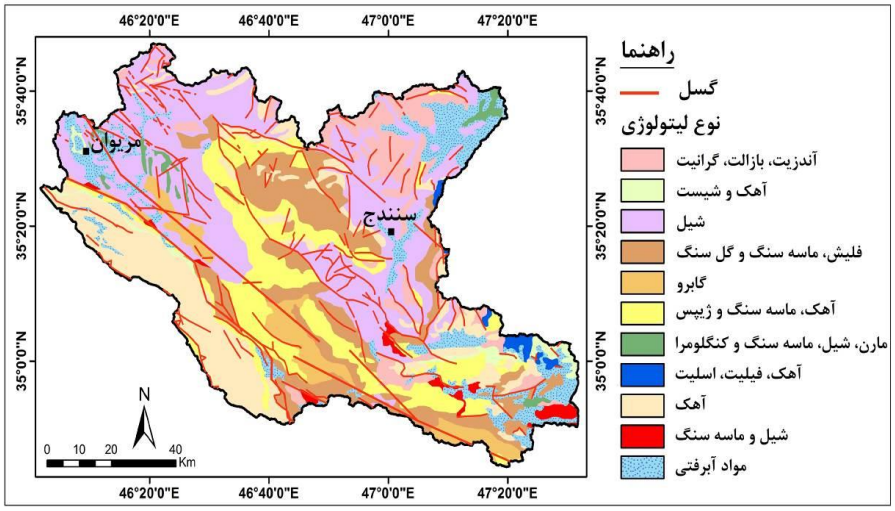


شکل(۱) نقشه موقعیت حوضه‌ی رودخانه سیروان

- وضعیت زمین‌شناسی حوضه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی رودخانه سیروان از نظر تقسیمات مورفوتکتونیکی در دو واحد مورفوتکتونیکی

سنندج ـ سیرجان و زاگرس مرتفع قرار دارد. در واقع نیمه‌ی جنوبی این حوضه به روند شمال غرب- جنوب شرق جز زاگرس مرتفع محسوب می‌شود و بقیه‌ی حوضه که از غرب مریوان شروع می‌شود و تا شرق سنندج ادامه پیدا می‌کند، جز زون سنندج سیرجان قرار می‌گیرد. پهنای زون زاگرس رورانده در حوضه‌ی سیروان در حدود ۳۰ کیلومتر است. پرتگاه‌های بلند جبهه‌ی رورانده، پرتگاه‌های خطّ گسل، پیچیدگی ساختمان چین‌ها و نمای کارستی و خشن از اختصاصات مهم ریخت‌شناسی زاگرس مرتفع است (جباری، ۱۳۹۳). این حوضه با توجه به موقعیت مورفوتکتونیکی که دارد، داری شبکه‌ی متراکمی از گسل‌ها است که مهم‌ترین گسل‌های آن دو گسل اصلی زاگرس هستند که به موازات هم کشیده شده‌اند و دارای روند شمال غرب ـ جنوب شرق هستند. این گسل‌ها واحدهای سنندج ـ سیرجان از زاگرس مرتفع و زاگرس مرتفع از زاگرس چین خورده را از هم جدا کرده‌اند. در شکل (۲)نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ی رودخانه‌ی سیروان نشان داده شده است که مطابق آن بخش عمده‌ای از لیتولوژی منطقه را آهک و شیل در برگرفته است.



شکل(۲) نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ی رودخانه سیروان

در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر تکتونیک بر زیرحوضه‌های، حوضه‌ی سیروان، ابتدا منابع و یافته‌های علمی در زمینه‌ی موضوع پژوهش از طریق بررسی‌های کتابخانه‌ای جمع‌آوری و سپس به منظور ارزیابی زیرحوضه‌های مورد مطالعه از شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژیک استفاده شده است. داده‌های تحقیق حاضر شامل DEM ۳۰ متر STRM، نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. به منظور ارزیابی شاخص‌ها و همچنین تهیه‌ی نقشه‌ی خروجی نهایی از نرم‌افزار ARCGIS استفاده شده است.

با توجه به اهداف مورد نظر، به منظور بررسی تاثیر تکتونیک در زیرحوضه‌های مورد مطالعه از ۸ شاخص، شامل: شاخص پیچ و خم (سینوسی) جبهه کوهستان (Smf)، شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی (AF)، شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL)، شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)، شاخص تراکم سطحی آبراهه (P)، شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi)، شاخص سینوسی رودخانه (S) و شاخص شکل حوضه (Bs) استفاده شده است. پس از ارزیابی حوضه بر مبنای شاخص‌های موجود، زیرحوضه‌های مورد مطالعه با استفاده از شاخص Lat مورد ارزیابی قرار گرفته شده است و در نهایت نتیجه نهایی وضعیت فعالیت تکتونیکی هر کدام از زیرحوضه‌ها مشخص شده است.

بحث و نتایج

- بررسی وضعیت تکتونیکی حوضه‌ی مورد مطالعه

به منظور بررسی وضعیت تکتونیکی حوضه‌ی مورد مطالعه، از ۸ شاخص استفاده شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

الف) شاخص پیچ و خم (سینوسی) جبهه کوهستان (Smf): این شاخص تعادل بین نیروی‌های فرسایشی و نیروهای تکتونیکی را نشان می‌دهد (سیلوا و همکاران[1]، ۲۰۰۳: ۲۰۷). در این روش با اندازه‌گیری پیچ و خم‌های ایجاد شده توسط آبراهه‌ها در جبهه کوهستان و

1- Silva et al.,

تقسیم آن بر طول افقی در راستای گسل و جبهه‌ی کوهستان، می‌توان وضعیت یک منطقه را از نظر فعال بودن تکتونیکی مشخص نمود (کلر و پینتر[1]، ۲۰۰۲: ۱۳۸). این شاخص به صورت رابطه‌ی (۱) می‌باشد:

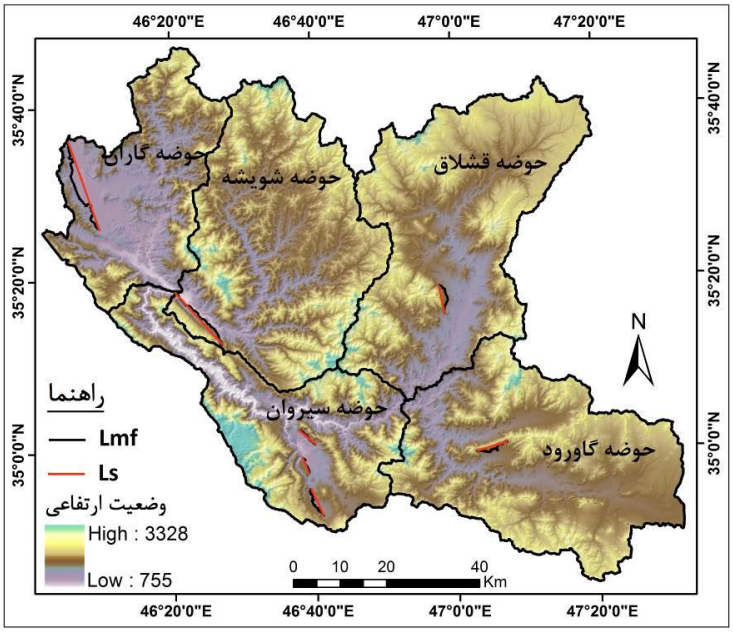
رابطه‌ی (۱) شاخص Smf $Smf= Lms/Ls$

در این رابطه، Smf: شاخص سینوسی جبهه کوهستان، Lmf: طول جبهه‌ی کوهستان در محل تلاقی پایکوه و کوهستان و همچنین Ls: طول خط مستقیم جبهه‌ی کوهستان می‌باشد. این شاخص در مناطق مختلف متناسب با وضعیت تکتونیک حاکم بر منطقه متغیر می‌باشد. چنانچه این مقدار به عدد یک نزدیک‌تر شود، منطقه دارای حرکات تکتونیکی فعال است و جبهه‌ی کوهستان دارای نرخ افزایش می‌باشد. در کوهستان‌هایی که مقدار Smf بیش از ۳ می‌باشد با یک جبهه‌ی کوهستانی به شدت فرسایش یافته مواجه هستیم (ده‌بزرگی و همکاران[2]، ۲۰۱۰). در جدول (۱) نتایج محاسبه‌ی شاخص سینوسی جبهه‌ی کوهستان برای زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان نشان داده شده است که بر اساس جدول مذکور زیرحوضه‌ی شویشه با میزان Smf ۱/۱۱ فعال‌ترین زیرحوضه محسوب می‌شود. با توجه به کوهستانی بودن حوضه‌ی مورد مطالعه، محاسبه‌ی این شاخص تنها در بخش‌های محدودی امکان‌پذیر بوده است که در شکل (۳) نحوه‌ی محاسبه آن نشان داده شده است.

جدول (۱) شاخص Smf زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان

زیرحوضه	Lmf (km)	Ls (km)	Smf
سیروان	۱۹/۶۲	۱۵/۳۰	۱/۲۸
شویشه	۱۷/۰۱	۱۵/۳۳	۱/۱۱
قشلاق	۷/۴۹	۶/۱۹	۱/۲۱
گاران	۲۷/۰۶	۲۰/۲۸	۱/۳۳
گاورود	۱۰/۶۶	۶/۸۸	۱/۵۴
کل حوضه	۸۱/۸۴	۶۳/۹۸	۱/۲۸

1- Keller & Pinter
2- Deh Bozorgi et al.,



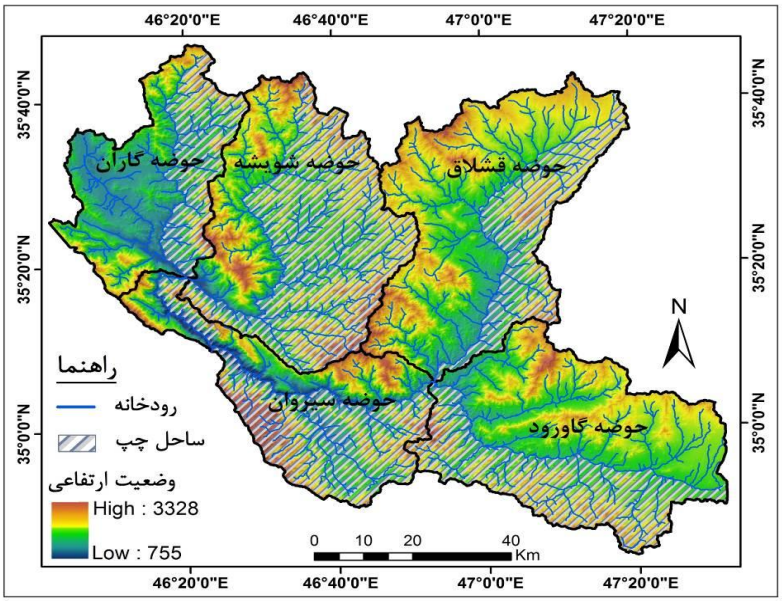
شکل (۳) نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص Smf زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان

ب) شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF): شاخص عدم تقارن حوضه‌ی زهکشی است تغییرات انحراف عمودی مسیر آبراهه را نشان می‌دهد که براساس رابطه‌ی (۲) می‌باشد:

$$AF= 100 (Ar/At)$$ رابطه‌ی (۲) شاخص AF

در این رابطه AF: شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، Ar: مساحت ساحل راست حوضه و At: مساحت ساحل چپ حوضه است. این شاخص برای تشخیص وجود کج شدگی در حوضه‌های زهکشی براثر فعالیت‌های تکتونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مناطق دارای شرایط تکتونیکی فعال به دلیل تأثیرات توپوگرافی حاصل از فرایش در یک سو و به تبع آن ایجاد فرونشست در سوی دیگر، طول آبراهه‌های فرعی در منطقه یا اطراف بالا آمده بیش‌تر از همین طول در سمت مقابل خواهد بود (سلیمانی، ۱۳۷۷).

برای رودخانه‌های در حال تعادل که تداوم جریان در حالت ثباتی وجود دارد، AF برابر ۵۰ است که این خود بیانگر وجود تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه‌های اصلی و در نتیجه، فقدان کج‌شدگی براثر بالاآمدگی خواهد بود. مقادیر بیش‌تر از ۵۰ بیانگر عمل بالاآمدگی در ساحل راست و کم‌تر از ۵۰ بیانگر بالاآمدگی در ساحل چپ آبراهه اصلی است (ده بزرگی و همکاران[1]، ۲۰۱۰). در جدول ۲ مقادیر AF برای زیرحوضه‌های مورد مطالعه محاسبه شده است که مطابق نتایج به دست آمده، ضریب AF برای زیرحوضه‌های قشلاق، گاران و گاورود بیانگر بالاآمدگی در سمت راست و برای زیرحوضه‌های شویشه و سیروان بیانگر بالاآمدگی از سمت چپ است و همچنین این ضریب برای کل حوضه برابر ۵۲/۲ می‌باشد که این میزان بیانگر حالت تعادل تقریبی کل حوضه است. در شکل (۴) ساحل راست و چپ زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان نشان داده شده است.



شکل (۴) سواحل راست و چپ زیرحوضه‌های رودخانه سیروان

1- Deh Bozorgi et al.,

جدول (۲) شاخص AF زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان

زیرحوضه	Ar (km2)	At (km2)	AF
سیروان	۴۴۳	۱۲۹۲	۳۴/۳
شویشه	۶۰۶	۱۹۶۸	۳۰/۸
قشلاق	۱۴۳۴	۲۰۳۶	۷۰/۴
گاران	۷۵۸	۱۲۰۴	۶۳
گاورود	۱۱۷۱	۱۹۵۵	۵۹/۹
کل حوضه	۴۴۱۳	۸۴۵۶	۵۲/۲

ج) شاخص گرادیان طولی رودخانه (SL): شاخص SL یکی از روش‌های اندازه‌گیری تغییرات ناگهانی شیب در مسیر طولی بستر رودخانه است. زیرا جریان آب نسبت به تغییرات به وقوع پیوسته در شیب بستر حساسیت نشان می‌دهد (ترونی و دلاستا[1]، ۲۰۰۸). این شاخص بر اساس رابطه‌ی (۳) می‌باشد:

$$SL= (\Delta H / \Delta Lr)\ LCS \qquad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

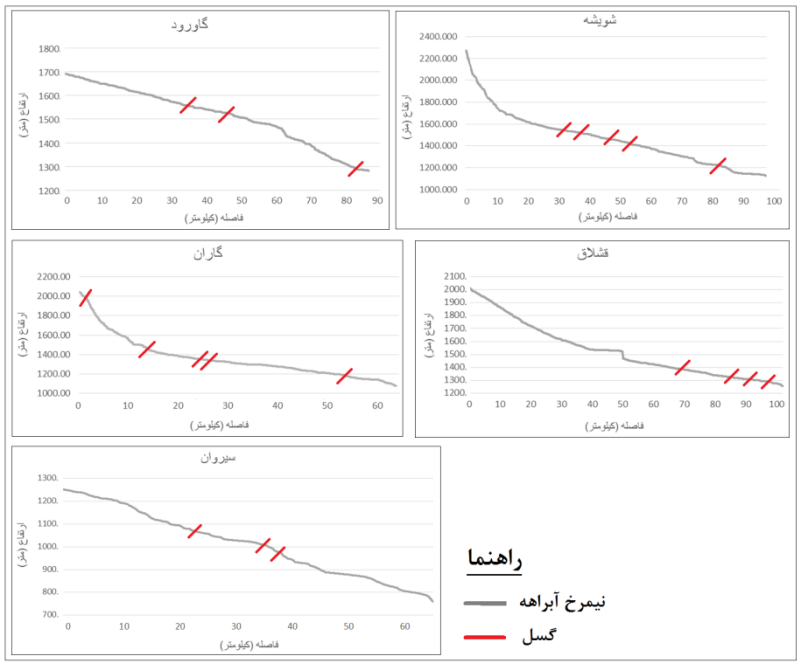
در این رابطه، SL: شاخص گرادیان طولی رودخانه، ΔH: اختلاف ارتفاع، ΔLr: طول افقی رودخانه از سرچشمه تا خروجی و LCS طول آبراهه است. در این تحقیق از نرم‌افزار ARCGIS به منظور محاسبه پارامترهای مورد مذکور استفاده شده است. آستانه‌های این شاخص در سه کلاس طبقه‌بندی می‌شود و به این صورت است که مقادیر بیش از ۵۰۰ دارای تکتونیک فعال، بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ دارای تکتونیک نسبتا فعال و کم‌تر از ۳۰۰ دارای تکتونیک غیرفعال هستند (ده‌بزرگی و همکاران[2]، ۲۰۱۰). در جدول ۳ مقادیر SL زیرحوضه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است، که مطابق جدول مذکور، تمامی زیرحوضه‌ها دارای وضعیت فعال هستند و در بین زیرحوضه‌های مورد مطالعه، زیرحوضه‌ی سیروان با ۳۱۳۳ دارای بالاترین میزان SL می‌باشد و همچنین میزان SL

1- Troiani & Della Seta
2- Deh Bozorgi et al.,

کل حوضه نیز برابر ۳۱۲۸ می‌باشد. در شکل (۵) نیمرخ طولی رودخانه‌های اصلی زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان نشان داده شده است.

جدول (۳) شاخص SL زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان

زیرحوضه	ΔH(m)	ΔLr(m)	LCS (m)	SL
سیروان	۲۵۸۲	۷۵۰۵۷	۹۱۰۹۲	۳۱۳۳
شویشه	۱۹۵۶	۷۸۴۹۶	۹۷۲۵۹	۲۴۲۳
قشلاق	۱۶۸۸	۸۳۰۰۲	۹۷۵۴۶	۱۹۸۳
گاران	۱۸۵۰	۵۹۷۶۵	۶۸۹۵۲	۲۱۳۴
گاورود	۱۶۵۸	۷۱۸۵۶	۸۶۱۵۹	۱۹۸۸
کل حوضه	۲۵۸۲	۱۴۳۳۲۵	۱۷۳۶۳۸	۳۱۲۸



شکل (۵) نمیرخ طولی رودخانه‌های اصلی زیرحوضه‌های رودخانه سیروان

د) شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T): شاخص تقارن توپوگرافی معکوس نیز یکی دیگر از شاخص‌های مورد استفاده است که بر اساس رابطه‌ی (۴) می‌باشد:

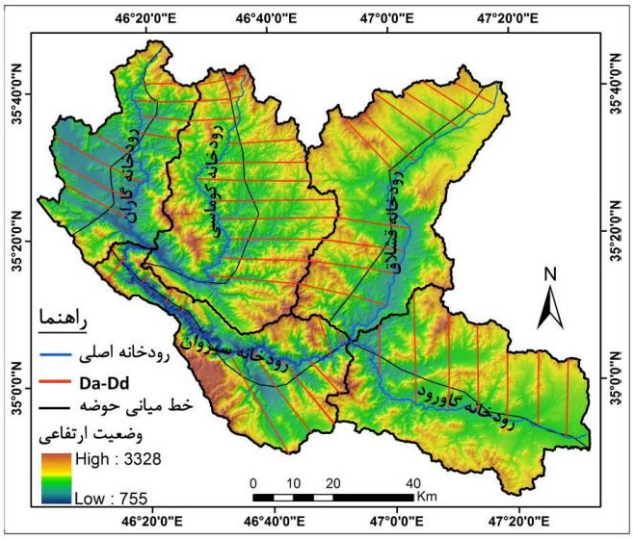
رابطه‌ی (۴) $T: Da/Dd$

در این رابطه‌ی T: شاخص تقارن توپوگرافی، Da: فاصله بین خط میانی حوضه تا کمربند مئاندر و Dd: فاصله بین خط میانی حوضه و خط تقسیم آب می‌باشد. شاخص T بین ۰ تا ۱ متغیر می‌باشد که این میزان برای حوضه‌های کاملاً متقارن صفر است و با افزایش عدم تقارن این میزان به ۱ نزدیک می‌شود (ده‌بزرگی و همکاران[1]، ۲۰۱۰). در جدول (۴) نتایج بررسی وضعیت شاخص T در زیرحوضه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است که بر اساس نتایج به دست آمده بیش‌ترین میزان عدم تقارن با ۴/. مربوط به حوضه‌ی شویشه می‌باشد و برای کل حوضه نیز حدود ۳۱/. می‌باشد که بیانگر نامتقارن بودن حوضه است. در شکل (۶) نحوه‌ی محاسبه شاخص T در زیرحوضه‌های رودخانه سیروان نشان داده شده است.

جدول (۴) شاخص T زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان

زیرحوضه	Da (km2)	Dd (km2)	T
سیروان	۳/۰۲	۹/۱۹	./۳۳
شویشه	۶/۰۶	۱۵/۱۵	./۴
قشلاق	۴/۱۹	۱۴/۳۶	./۲۹
گاران	۴/۰۱	۱۱/۲۸	./۳۶
گاورود	۳/۲۶	۱۷/۲۹	./۱۹
کل حوضه	۲۰/۵۴	۶۷/۲۷	./۳۱

1- Deh Bozorgi et al.,



شکل (۶) محاسبه‌ی شاخص T زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان

ه) شاخص تراکم سطحی آبراهه (P): این شاخص به منظور بررسی میزان تراکم آبراهه در واحد سطح به کار می‌رود که ارتباط مستقیمی با وضعیت تکتونیکی منطقه دارد. برای محاسبه‌ی شاخص P از رابطه‌ی (۵) استفاده می‌شود:

$$P=\sum Li/A \qquad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

در این رابطه P: شتخص تراکم سطحی آبراهه، Li: طول آبراهه و A: مساحت حوضه می‌باشد. در این شاخص هرچه ضریب تراکم بیش‌تر باشد، بیانگر تکتونیک فعال و حساسیت زیاد سازندها و تشکیلات زمین‌شناسی موجود در حوضه است. همچنین، نشان از جوان بودن و نرسیدن به مرحله‌ی تعادل حوضه‌ی زهکشی دارد (ده بزرگی و همکاران[1]، ۲۰۱۰). در جدول ۵ وضعیت تراکم زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان نشان داده شده است که بر اساس نتایج به دست آمده از نظر وضعیت تراکم زیرحوضه‌های

1- Deh Bozorgi et al.,

مورد مطالعه، تقریباً دارای اختلاف ناچیزی هستند به طوری که بیش‌ترین میزان تراکم با ۳۹۷/. مربوط به زیرحوضه قشلاق و کم‌ترین میزان تراکم با ۳۷۷/. مربوط به زیرحوضه‌ی سیروان می‌باشد و میزان تراکم کل حوضه نیز حدود ۳۸۸/. می‌باشد.

جدول (۵) شاخص P زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان

زیرحوضه	∑ Li(km)	A (km2)	P
سیروان	۴۸۸	۱۲۹۲	۳۷۷/.
شویشه	۷۶۹	۱۹۶۸	۳۹۰/.
قشلاق	۸۱۰	۲۰۳۶	۳۹۷/.
گاران	۴۶۲	۱۲۰۴	۳۸۳/.
گاورود	۷۵۲	۱۹۵۵	۳۸۴/.
کل حوضه	۳۲۸۱	۸۴۵۶	۳۸۸/.

و) شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi): شاخص انتگرال هیپسومتری بیانگری مساحت زیر منحنی هیپسومتریک است (رودیگر و همکاران[1]، ۲۰۰۹: ۲۰۶). انتگرال هیپسومتریک بر اساس رابطه‌ی (۶) می‌باشد:

رابطه‌ی (۶) Hi=Hmean-Hmin/Hmax-Hmin

در این رابطه Hi: شاخص انتگرال هیپسومتری، Hmean: ارتفاع میانگین حوضه، Hmin: حداقل ارتفاع حوضه و Hmax: حداکثر ارتفاع حوضه می‌باشد. در این رابطه در صورتی که میزان Hi بیش‌تر از ۵/. باشد، بیانگر بالاآمدگی و شکل‌گیری توپوگرافی جدید است. در صورتی که میزان Hi بین ۵/. تا ۴/. باشد، بیانگر وضعیت زمین‌ساختی نسبتاً فعال است و همچنین در صورتی که میزان Hi از ۴/. کم‌تر باشد، بیانگر حوضه‌های پست با فعالیت‌های زمین‌ساختی کم است (ده‌بزرگی و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۳۳). در جدول (۶) نتایج محاسبه‌ی شاخص Hi برای زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، زیرحوضه‌ی شویشه با ۴۲۰/. و زیرحوضه‌ی گاران

1- Rudiger et al.,

با ۳۰۹/. دارای بالاترین و پایین‌ترین میزان Hi هستند و همچنین این میزان برای کل حوضه برابر با ۴۱۵/. می‌باشد.

جدول (۶) شاخص Hi زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان

زیرحوضه	Hmean (m)	Hmin (m)	Hmax (m)	Hi
سیروان	۱۸۱۲	۷۵۲	۳۳۳۴	./۴۱۰
شویشه	۱۸۷۴	۱۰۵۲	۳۰۰۸	./۴۲۰
قشلاق	۱۸۷۳	۱۲۴۷	۲۹۳۵	./۳۷۱
گاران	۱۶۲۱	۱۰۴۹	۲۸۹۹	./۳۰۹
گاورود	۱۸۵۳	۱۲۵۳	۲۹۰۵	./۳۶۳
کل حوضه	۱۸۲۳	۷۵۲	۳۳۳۴	./۴۱۵

ز) شاخص سینوسی رودخانه (S): تغییرات سینوسی رودخانه‌ها، به طور معمول ناشی از بالاآمدگی و فرونشست‌هایی است که در بستر روی می‌دهد (کلر و پینتر، ۱۹۹۶: ۱۵۵). برای برآورد این شاخص از رابطه ۷ استفاده می‌شود:

رابطه‌ی (۷) شاخص S $S=La/Ls$

در این رابطه، S: شاخص سینوسی رودخانه، La: شاخص طول رودخانه، Ls: طول مستقیم دره است. هر چقدر میزان S به ۱ نزدیک‌تر باشد بیانگر این است که حوضه از نظر تکتونیکی فعال‌تر است. نتایج ارزیابی شاخص S برای زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان در جدول (۷) نشان داده شده است که نتایج بدست آمده بیانگر این است که زیرحوضه قشلاق با ضریب ۱/۳۱ دارای کم‌ترین ضریب و در نتیجه فعال‌ترین زیرحوضه از نظر این شاخص است و همچنین میزان ضریب S برای کل حوضه نیز برابر با ۱/۷۶ می‌باشد.

ح) شاخص شکل حوضه (Bs): این شاخص براساس وضعیت شکل حوضه می‌باشد و با استفاده از رابطه‌ی (۸) محاسبه می‌شود:

رابطه‌ی (۸) شاخص Bs $(Bs=Bi/Bw$

جدول (۷) شاخص S زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان

زیرحوضه	La (km)	Ls (km)	S
سیروان	۹۱	۵۹	۱/۵۴
شویشه	۹۷	۵۱	۱/۹
قشلاق	۹۸	۷۵	۱/۳۱
گاران	۶۸	۴۹	۱/۳۹
گاورود	۸۶	۶۳	۱/۳۶
کل حوضه	۱۷۳	۹۸	۱/۷۶

در این رابطه، Bs: شاخص شکل حوضه، :Bi: طول حوضه و Bw: عرض حوضه در عریض‌ترین بخش آن است. مقادیر بزرگ این شاخص مربوط به حوضه‌های کشیده در نواحی فعال زمین‌ساختی است درحالی که مقادیر کوچک در حوضه‌های دایرهای شکل، نواحی غیرفعال را نشان می‌دهند (گورابی و امامی، ۱۳۹۶). در واقع، در صورتی که مقادیر این شاخص از ۴ بیش‌تر باشد، بیانگر حوضه‌های طولی با زمین ساخت فعال است. در صورتی که بین ۳ تا ۴ باشد، بیانگر حوضه‌های با فعالیت زمین ساختی متوسط است و در صورتی که میزان Bs کم‌تر از ۳ باشد، بیانگر دایره‌ای بودن و فعالیت زمین ساختی کم حوضه است (ده بزرگی و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۳۵). در جدول (۸) نتایج ارزیابی شاخص Bs برای زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان نشان داده شده است که مطابق نتایج به دست آمده هیچ‌کدام از زیرحوضه‌ها از نظر این شاخص، فعال نیستند. همچنین این شاخص برای کل حوضه نیز ۱/۶۷ می‌باشد.

جدول (۸) شاخص Bs زیرحوضه‌های رودخانه‌ی سیروان

زیرحوضه	Bi (km)	Bw (km)	Bs
سیروان	۶۸	۳۶	۱/۸۹
شویشه	۵۶	۴۳	۱/۳
قشلاق	۷۷	۳۶	۲/۱۴
گاران	۵۲	۳۴	۱/۵۳
گاورود	۶۶	۴۲	۱/۵۷
کل حوضه	۶۳/۸	۳۸/۲	۱/۶۷

- نتایج و طبقه‌بندی نسبی فعالیت تکتونیکی در زیر حوضه‌های مورد مطالعه: در این تحقیق به منظور بررسی وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌های مطالعاتی از ۸ شاخص استفاده شده است. پس از ارزیابی وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌ها از نظر تمامی شاخص‌ها، به منظور طبقه‌بندی حوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیکی، از شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Lat) استفاده شده است. در این شاخص زیرحوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیکی به ۳ کلاس تقسیم می‌شوند که کلاسه بندی بر اساس جدول (۹) صورت گرفته است.

جدول (۹) مبنای کلاسه‌بندی زیرحوضه از نظر فعالیت تکتونیکی (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸)

شاخص	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳
Smf	کم‌تر از ۱/۱	۱/۱-۱/۵	بیش‌تر از ۱/۵
AF	AF-50 > 15	AF-50 : 7-15	AF-50 < 7
SL	بیش‌تر از ۵۰۰	۳۰۰ - ۵۰۰	کم‌تر از ۳۰۰
T	۱-./۶۶	./۳۳ - ./۶۶	۰-./۳۳
P	بیش‌تر از ./۶	./۵ - ./۶	کم‌تر از ./۵
Hi	بیش‌تر از ./۵	./۴ - ./۵	کم‌تر از ۰/۴
S	۱ - ۱/۵	۱/۵ - ۲	بیش‌تر از ۲
Bs	بیش‌تر از ۴	۳ - ۴	کم‌تر از ۳

شاخص Lat به وسیله میانگین کلاس‌های مختلف شاخص‌های ژئومورفیک به دست می‌آید. در جدول (۱۰) نتایج حاصل از شاخص Lat برای زیرحوضه‌های مطالعاتی به دست آمده است و بر اساس این شاخص، زیرحوضه‌هایی که مقادیر میانگین کلاس‌های آن کم‌تر از ۱/۵ باشد دارای فعالیت تکتونیکی شدید، در صورتی که این مقدار بین ۱/۵ تا ۲ باشد دارای فعالیت تکتونیکی زیاد، در صورتی که این مقدار بین ۲ تا ۲/۵ باشد دارای فعالیت تکتونیکی متوسط و در صورتی که این مقدار بیش از ۲/۵ باشد دارای فعالیت تکتونیکی کم می‌باشد. در جدول (۱۰) وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌های بر اساس شاخص Lat نشان داده شده است.

جدول (۱۰) وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌های بر اساس شاخص Lat

نام حوضه	شاخص								میانگین	وضعیت‌تکتونیکی
	Smf	AF	SL	T	p	Hi	S	Bs		
سیروان	۲	۱	۱	۳	۳	۲	۲	۳	۲/۱۲۵	متوسط
شویشه	۲	۱	۱	۲	۳	۲	۲	۳	۲	زیاد
قشلاق	۲	۱	۱	۳	۳	۳	۱	۳	۲/۱۲۵	متوسط
گاران	۲	۲	۱	۲	۳	۳	۱	۳	۲/۱۲۵	متوسط
گاورود	۳	۲	۱	۳	۳	۳	۱	۳	۲/۳۷۵	متوسط
کل حوضه	۲	۳	۱	۳	۳	۲	۲	۳	۲/۳۷۵	متوسط

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با توجه به اهداف مدنظر، از شاخص‌های ژئومورفیک برای بررسی وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌های مورد مطالعه استفاده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی‌ها در زیرحوضه‌های مختلف متفاوت بوده است، به طوری که از نظر شاخص Smf (بیانگر میزان غلبه تکتونیک و فرسایش در منطقه است) در بین زیرحوضه‌های مورد مطالعه، زیرحوضه شویشه با میزان Smf ۱/۱۱ فعال‌ترین زیرحوضه محسوب می‌شود. از نظر شاخص AF (تشخیص وجود کج شدگی در حوضه‌های زهکشی براثر فعالیت‌های تکتونیکی) در بین زیرحوضه‌های مورد مطالعه، زیرحوضه قشلاق با ضریب ۷۰/۴ دارای بالاترین کج‌شدگی و به سمت راست است. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص SL (تغییرات ناگهانی شیب رودخانه) نیز بیانگر این است که زیرحوضه سیروان با SL برابر ۳۱۳۳، فعال‌ترین زیرحوضه از نظر این شاخص محسوب می‌شود. ارزیابی شاخص T (شاخص تقارن توپوگرافی معکوس) بیانگر این است که از نظر این شاخص، حوضه شویشه با ضریب ۴/. دارای بیش‌ترین میزان عدم تقارن است. ارزیابی شاخص P (تراکم سطحی آبراهه) بیانگر این است که بیش‌ترین میزان تراکم با ۳۹۷/. مربوط به زیرحوضه قشلاق است و بر این اساس از نظر این شاخص، زیرحوضه قشلاق، فعال‌ترین زیرحوضه محسوب می‌شود. بر اساس شاخص Hi (انتگرال هیپسومتری) زیر حوضه شویشه با ضریب ۴۲۰/.

به عنوان فعال‌ترین زیرحوضه محسوب می‌شود. از نظر شاخص S (سینوسی رودخانه) زیرحوضه‌ی قشلاق با ضریب ۱/۳۱ دارای کم‌ترین ضریب و در نتیجه فعال‌ترین زیرحوضه از نظر این شاخص است. همچنین از نظر شاخص Bs (شکل حوضه) حوضه‌ی قشلاق با ضریب ۲/۱۴ به عنوان طولی‌ترین و فعال‌ترین زیرحوضه از نظر این شاخص محسوب می‌شود. پس از ارزیابی حوضه بر مبنای شاخص‌های موجود، به منظور طبقه‌بندی حوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیکی، از شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Lat) استفاده شده است که 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 می‌باشد. با توجه به اهمیت فعالیت‌های تکتونیکی و تأثیرگذاری آن بر زیرساخت‌های مختلف، لازم است تا در انجام هرگونه برنامه‌ریزی عمرانی، آمایش سرزمین و مدیریت محیط به وضعیت فعالیت تکتونیکی زیرحوضه‌هایی که دارای بالاین فعالیت هستند توجه شود تا ضمن پرهیز از هرگونه اعمال مخاطره‌آمیز، بتوان در راستای استفاده بهینه از منابع طبیعی و کاهش اثرات سوء هرگونه برنامه‌ریزی گام برداشت.

References

-Abedini, Mousa, Shabrang, Shenou (2014), **Evaluation of Neoconal Construction Activities in Meshkin Chai Watershed by Geomorphologic Indicator**s, Geography and Development Magazine, No. 35, pp.66-49.

-Anoop, A., Prasad, S., Basavaiah, N., Brauer, A., Shahzad, F., & Deenadayalan, K. (2012), **Tectonic versus climate influence on landscape evolution: a case study from the upper Spiti valley, NW Himalaya**. Geomorphology, No. 145, pp.32-44.

-Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, H., & Hosseiniasl, A. (2010), **Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran**. Geomorphology, No.121, Vol.(3-4), pp.329-341.

-Esmaili, R.; Motavli, S. Sadin, H. Hosseinzadeh, M. Mohammad Mahdi (2012), **Investigating the Effects of Morphotectonics on the Profile of the Waz River, Northern Alborz, Mazandaran Province**, Quantitative Geomorphology Researches, No. 3, pp.11-101.

-Giaconia, F., Booth-Rea, G., Martínez-Martínez, J. M., Azañón, J. M., Pérez-Peña, J. V., Pérez-Romero, J., & Villegas, I. (2012), **Geomorphic evidence of active tectonics in the Sierra Alhamilla (eastern Betics, SE Spain)**, Geomorphology, 145, pp.90-106.

-Goorabi, Abolghasem; Emami, Kamyar (2017**)**, **Neonate effects on morphological changes in drainage basins of Makran coast, Southeast Iran**, Quantitative Geomorphology Researches, 2008, No. 6, pp.89-74.

-Goorabi, Abolghasem; Nohahar, Ahmad (2007), **Geomorphologic evidence of Active Tectonics in the watershed of Darek, Natural** Geography Researches, No.60, pp.196-166.

-Jabbari, Iraj (2014), **The role of geological and geophysicistic features in the pollution of the Sirvan River,** Journal of Geography and Environmental Sustainability, No. 12, pp. 42-27.

-Jamal-Abadi, Javad, Zanganeh Asadi, Mohammad Ali, Fatehi, Zahra, Survival Robat, Maryam (2016), **Investigating the Effect of Tectonics**

on the Quantitative Characteristics of Drainage Networks (Case Study: Bar, Baqi and Castle Square in the Domain Binalood Mountain Range), Quantitative Georphology Researches, Vol. 4, No. 4, pp.87-103.

-Karami, Fariba, Bayati Khatibi, Maryam, Nikjou, Mohammad Reza, Mokhtari, Davood (2013), **Investigation and Analysis of Geomorphologic Evidences and Active Tectonics in the Northern Basin of Shahri Chayi Mianeh**, Journal of Geographic Space Research, Vol. 13, No. 42, Pp. 53-33.

-Keller, E.A. and Pinter, N. (2002), **Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape (second edition): Englewood Cliffs**, New Jersey, Prentice Hall, P.362.

-Mansoori, Reza; Sarabazi, Zahra (2017), **Investigating the Status of Active Tectonics of the Antarctic Quadrangle of Bangulo in Zagros China-Eaten (Using Morphotectonic Indicators and Geomorphologic Evidences,** Journal of Natural Geography, Vol. 10, No. 37, pp.142- 125.

-Roostaei, Shahram, Rajabi, Masoumeh, Salmandar, Nasrin (2015), **The study of the role of factors affecting the evolution of geomorphologic conic and substrate of Skochaei basin,** Hydroromyorphology Journal, No. 2, pp.60-41.

-Ramirez- Herrera, M.T. (1998**), Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graben, Mexican Volcanic belt**, Earth surface processes and land forms, Vol.23, PP.317-322.

-Ruszkiczay-Rüdiger, Z., Fodor, L., Horváth, E., & Telbisz, T. (2009**), Discrimination of fluvial, eolian and neotectonic features in a low hilly landscape: A DEM-based morphotectonic analysis in the Central Pannonian Basin, Hungary**, Geomorphology, No. 104, Vol. (3-4), pp.203-217.

-Sharma, A., Singh, P., & Rai, P.K. (2018), **Morphotectonic analysis of Sheer Khadd River basin using geo-spatial t**ools, Spatial Information Research, Vol. *26*, No. 4, pp.405-414.

-Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., & Bardajı, T. (2003), **Fault-generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of**

tectonic and seismic activity, Geomorphology, Vol. 50, Np.1-3, pp.203-225.

-Suleimani, Shahriar (1998), **Guidelines for the identification of active and young tectonic movements (with an attitude on the preconditions of paleontology),** Seismological Institute and Earthquake Engineering Institute, First edition, Tehran.

-Troiani, F., & Della Seta, M. (2008), **The use of the Stream Length–Gradient index in morphotectonic analysis of small catchments: A case study from Central Italy,** Geomorphology, Vol.102, No.1, pp.159-168.

-Viveen, W., Schoorl, J.M., Veldkamp, A., Van Balen, R.T., Desprat, S., & Vidal-Romani, J.R. (2013), **Reconstructing the interacting effects of base level, climate, and tectonic uplift in the lower Miño River terrace record: a gradient modelling evaluation**, Geomorphology, No. 186, pp.96-118.