

ارزیابی تکتونیک فعال حوضه رودخانه کوند غرب با استفاده از تحلیل ویژگی‌های شبکه زهکشی

منصور پروین* - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۴

چکیده

حوضه آبخیز کوند غرب در شمال غربی زون زاگرس چین‌خورده در غرب استان کرمانشاه واقع شده است. قرارگیری حوضه مورد مطالعه در زون فعال زاگرس و وجود گسل کوند در محدوده آن سبب فعال‌بودن حرکات تکتونیکی در این حوضه آبخیز شده است. بنابراین، ارزیابی و برآورد تکتونیک فعال این حوضه و مخاطرات ناشی از آن لازم و ضروری است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی و برآورد تکتونیک فعال حوضه کوند غرب براساس تحلیل ویژگی‌های شبکه زهکشی است. بر این اساس، نخست محدوده حوضه مورد مطالعه و شبکه زهکشی آن استخراج شد. سپس، با استفاده از شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفیک (S ، SL ، Bs ، T ، Af ، Rbd ، Rb ، R ، ga ، $\Delta\alpha$)، که مختص تحلیل شبکه زهکشی بوده، تکتونیک فعال حوضه مورد مطالعه ارزیابی شد. در ادامه نتایج شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفیک با هم مقایسه شد و با شواهد ژئومورفیک موجود در حوضه کوند غرب تطبیق داده شد. نتایج حاصل از شاخص‌های مورد استفاده نشان می‌دهد ناهنجاری‌های سلسله‌مراتبی در شبکه زهکشی حوضه کوند غرب تحت تأثیر تکتونیک فعال است. این ناهنجاری به صورت تعداد بسیار زیاد آبراهه‌های رتبه ۱ مشخص شده است. نتایج شاخص‌های ژئومورفیک نیز بیانگر بالآمدگی ساحل چپ رودخانه اصلی به علت جنبش راندگی کوند بوده و این امر سبب کج‌شدگی حوضه و عدم تقارن شبکه زهکشی در حوضه مورد مطالعه شده است. یافته‌های پژوهش بیانگر آن است که فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه کوند غرب به صورت بالآمدگی کلی حوضه و نامتقارن‌بودن آن است. نتایج شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفیک و تطبیق آن‌ها با شواهد ژئومورفولوژی تکتونیک فعال بیانگر فعال‌بودن تکتونیک در حوضه کوند غرب است.

واژگان کلیدی: تکتونیک فعال، حوضه کوند غرب، شاخص‌های ژئومورفیک و مورفومتری، شبکه زهکشی، شواهد ژئومورفیک.

مقدمه

تکتونیک در علم زمین‌شناسی عوامل به‌وجودآورنده ساختمان‌ها و رابطه شکل هندسی ساختمان به‌وجودآمده و نیروهای مؤثر را بازگو می‌کند (پورکرمانی و صدیق، ۱۳۸۲: ۳۸). تکتونیک فعال نیز بیانگر حرکات تکتونیکی جوان‌ترین دوره زمانی یعنی کواترنر و به‌خصوص دوره هولوسن و زمان حال است (سلیمانی، ۱۳۷۷: ۱). مطالعات تکتونیک فعال از مباحث مهم در علوم زمین است و نتایج آن برای ارزیابی مخاطرات طبیعی و برنامه‌های توسعه و مدیریت کاربری اراضی در مناطق پُرجمعیت کاربرد زیادی دارد (پدرا و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۲۰). الگوی شبکه زهکشی جزو بارزترین لندفرم‌های سطح زمین محسوب می‌شود (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰۶) و به تغییرات حاصل از فعالیت‌های زمین‌ساختی بسیار حساس است (کلر و پنتیر، ۲۰۰۲: ۱۱۱). زیرا تغییر شکل در سنگ بستر به‌وسیله آشفستگی در شبکه زهکشی نشان داده می‌شود (ریبولینی و پاگنولو، ۲۰۰۷: ۲). گاسیون و همکاران (۲۰۰۱) بر آن‌اند که واکنش رودخانه‌ها و شبکه زهکشی به فعالیت‌های زمین‌ساختی به شدت و نوع این فعالیت‌ها و

اندازه نسبی رودخانه‌ها وابسته است. بنابراین، تحلیل ویژگی‌های شبکه زهکشی به روشن‌ساختن موقعیت ساختمان‌های فعال کمک می‌کند (چیچ و همکاران، ۲۰۰۶: ۳۱). شاخص‌های ژئومورفیک به‌علت سرعت و دقت بالا در ارزیابی تکتونیک فعال در مناطق وسیع کارآمدند (کلر و پینتر، ۲۰۰۲: ۱۵۴) و برای درک فرایندهای ژئومورفیک، سرعت بال‌آمدگی حوضه، و طبقه‌بندی لندفرم‌ها استفاده می‌شوند (ویجیس و همکاران، ۲۰۱۷: ۴۲). درواقع، شاخص‌های ژئومورفیک می‌توانند ناهنجاری‌ها را در یک سیستم زهکشی نشان دهند (ال‌همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۵۳). اما، مورفومتری آنالیز ریاضی ابعاد لندفرم‌ها است (آگاروال، ۱۹۹۸: ۱۷۱) و منعکس‌کننده شرایط زمین‌شناسی و فرایندهای ژئومورفولوژی حاکم بر حوضه‌ها در طول زمان است (هورترز و همکاران، ۱۹۹۹: ۸۰۱). ارزیابی کمی پارامترهای مورفومتری حوضه به شناخت تأثیرات لیتولوژیکی و تکتونیک منجر شده (زانگ و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۱) و برای ارزیابی فعالیت تکتونیک فعال مفید است. مطالعات زیادی در زمینه تکتونیک فعال و شبکه زهکشی انجام شده که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: لی و همکاران (۱۹۹۹) در ارزیابی تأثیر تکتونیک بر لندفرم‌های رودخانه‌ای در شمال غرب چین دریافتند که تکتونیک فعال با تغییر سطح اساس رودخانه‌ها موجب تغییر شکل عوارض رودخانه شده است. مالیک و ماهاتی (۲۰۰۷) به ارزیابی تکتونیک فعال در تکامل شبکه زهکشی در هیمالیای هند پرداختند؛ نتایج بیانگر آن است که تکتونیک منطقه نقش مهمی در ویژگی‌های شبکه زهکشی دارد. چیچ و همکاران (۲۰۰۶) به مطالعه تأثیرات تکتونیک فعال بر شبکه زهکشی در جلگه ساحلی تایوان پرداختند؛ نتایج مطالعه آنان نشان داد تکتونیک فعال باعث شکل‌گیری حرکات موجی رودخانه شده است. ریبولین و اسپانگولو (۲۰۰۷) به ارزیابی تأثیرات تکتونیک فعال بر شبکه زهکشی در آلپ ایتالیا پرداختند؛ نتایج نشان داد که شبکه زهکشی منطقه تحت تأثیر تکتونیک قرار داشته؛ به‌طوری‌که بیشتر آبراهه مستقیم بوده و الگوی شبکه زهکشی داریستی است.

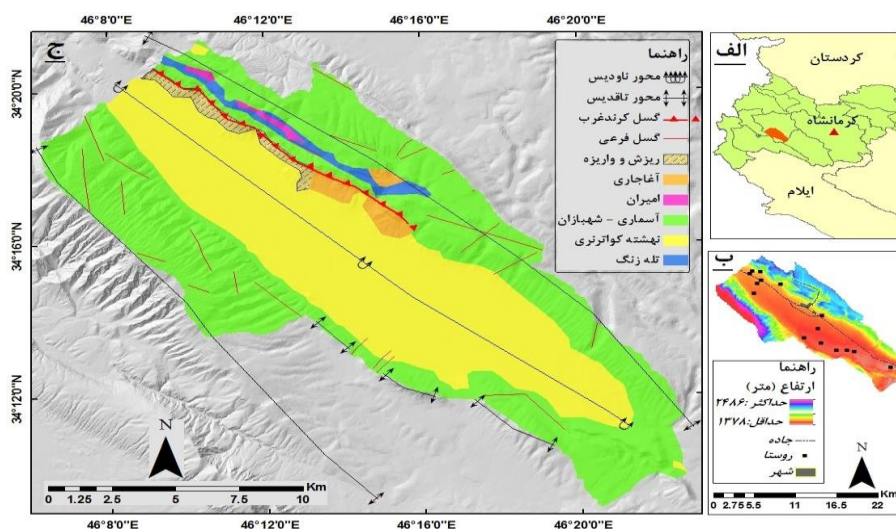
راج (۲۰۱۲) به مطالعه ارزیابی سیستم شبکه زهکشی در گجرات هند با استفاده از شاخص‌های مورفومتری پرداخت؛ نتایج حاکی از کج‌شدگی به سمت شرق سیستم‌های زهکشی است. بایسوز (۲۰۱۶) با استفاده از پارامترهای مورفومتری به ارزیابی حوضه رودخانه پارتی در هند پرداخت؛ نتایج نشان داد تکتونیک حوضه فعال بوده و این امر سبب پویایی سیستم رودخانه شده است. رجابی و کرمی (۱۳۸۳) در ارزیابی نقش تکتونیک در تحول ژئومورفولوژیکی کوه بزقوش آذربایجان شرقی دریافتند که آبراهه‌های رتبه پایین با روند گسل‌های منطقه همبستگی دارند. نگهبان و خطیب (۱۳۸۴) در مطالعه آبراهه‌های دو طرف گسل نصرت‌آباد دریافتند که بال‌آمدگی در خاور گسل باعث کنترل توزیع آبراهه‌ها در دو سمت آن شده است. یمانی و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی تأثیر نوزمین ساخت در مورفولوژی آبراهه‌های حوضه چله پرداختند؛ نتایج نشان داد تکتونیک فعال بر مورفولوژی بستر رودخانه اصلی حوضه تأثیر داشته و تأثیرات تکتونیک شبکه زهکشی متفاوتی را برای زیرحوضه‌های تحت بررسی الگوسازی کرده است. بهرامی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی چهار شبکه زهکشی در شمال شرق ایران پرداختند؛ نتایج نشان داد که شاخص Δa کارایی بهتری برای شناسایی تکتونیک فعال دارد و تقریباً همه زیرحوضه‌ها از نظر تکتونیک فعال‌اند. کرمی و همکاران (۱۳۹۷) به تحلیل ناهنجاری شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک فعال در حوضه‌های شمال تبریز پرداختند؛ نتایج نشان داد همه زیرحوضه‌ها تحت تأثیر تکتونیک فعال قرار دارند. زون زاگرس از نظر تکتونیک فعال بوده و همگرایی صفحه عربی-اورسیا در زاگرس شمال غربی ترکیبی از کوتاه‌شدگی و حرکات راست‌الغز راست‌بر گسل‌های معکوس است (بالانک آلن و همکاران، ۲۰۰۳: ۴۰۱). حسامی و همکاران (۲۰۰۶) میزان کوتاه‌شدگی زاگرس شمال غربی را حداکثر ۵ میلی‌متر در سال برآورد کردند. میرزایی (۱۹۹۷) بر آن است که بیش از ۵۰ درصد زلزله‌های ثبت‌شده در ایران در زون زاگرس لرزه‌خیزترین منطقه ایران است. شعبانی (۱۳۸۳) گسل‌ها را یک چشمه زمین‌لرزه در استان کرمانشاه معرفی کرده است. حوضه کوند غرب در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده و گسل لرزه‌کند در این حوضه

قرار دارد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد تکتونیک منطقه فعال بوده و با توجه به قرارگیری شهر کرند غرب و تعداد زیادی روستا و تأسیسات انسانی در این حوضه، ارزیابی و برآورد تکتونیک فعال آن لازم و ضروری است. هدف از این پژوهش ارزیابی و برآورد تکتونیک فعال حوضه کرند غرب با استفاده از تحلیل شبکه زهکشی است.

موقعیت جغرافیایی و تحلیل ساختاری و زمین‌شناسی حوضه مورد مطالعه

حوضه آبخیز کرند غرب با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی در غرب استان کرمانشاه منطبق بر محدوده سیاسی دهستان حومه بخش مرکزی شهرستان دالاهو واقع شده است (شکل ۱- الف). حوضه مورد مطالعه بین عرض‌های جغرافیایی $34^{\circ}09'$ تا $34^{\circ}22'$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $46^{\circ}06'$ تا $46^{\circ}23'$ شرقی واقع شده است. حداکثر ارتفاع حوضه کرند غرب ۲۴۸۶ متر منطبق بر ارتفاعات ناکوه در جنوب حوضه و حداقل ارتفاع آن ۱۳۷۸ متر در خروجی حوضه است (شکل ۱- ب). زهکشی اصلی حوضه رودخانه کرند غرب بوده و براساس تقسیم‌بندی وزارت نیرو جزو حوضه آبخیز کرخه است.

حوضه کرند غرب از نظر زمین‌شناسی در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده و از نظر زمین‌ساختی ساده و مشتمل بر طاقدیس‌های حاشیه و ناودیس کرند است. طاقدیس ناکوه با روند شمال‌غربی - جنوب‌غربی در جنوب حوضه کرند غرب کشیده شده و این طاقدیس پلانژدار بر اثر مکانیسم چین‌خوردگی خمش- لغزش و سطح خنثی شکل گرفته است (بهرامی، ۲۰۱۲: ۳۹). طاقدیس کرند غرب دارای مکانیسم چین‌خوردگی حاصل از گسلش است و یک طاقدیس برگشته، پلانژدار، و نامتقارن است که یال جنوبی آن توسط گسل کرند غرب بریده شده است. گسل کرند غرب از نوع معکوس بزرگ زاویه با مؤلفه راندگی است (مهندسین مشاور سنجش از دور، ۱۳۷۷: ۴۴). گسل کرند غرب یک گسل فعال است و به‌عنوان یک چشمه لرزه در استان کرمانشاه مطرح است (شعبانی، ۱۳۸۳: ۸۶). گسل‌های فرعی حوضه دارای روندهای مختلف است و عمدتاً از نوع گسل‌های نرمال‌اند. حوضه مورد بحث از نظر ساختمان سنگ‌شناسی از قدیم به جدید از سازندهای امیران (شیل، سیلت استون با بین لایه‌های ماسه‌سنگی)، تله‌زنگ (سنگ آهک با بین لایه‌های از شیل و سنگ آهک‌رسی)، آسماری- شهبازان (سنگ آهک دولومیتی، دولومیت، و بین لایه‌های از سنگ آهک‌رسی و شیل)، آغاچاری (مارن و ماسه‌سنگ)، نهشته‌های کواترنری و ریزش و واریزه تشکیل شده است (شکل ۱- ج).



شکل ۱. الف) نقشه موقعیت حوضه آبخیز کرند غرب؛ ب) نقشه سطوح ارتفاعی و سکونتگاه‌های انسانی؛ ج) نقشه زمین‌شناسی حوضه کرند غرب

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، پس از تهیه داده‌های مورد نیاز، در محیط نرم‌افزار ArcGIS محدوده حوضه کُرد غرب و شبکه زهکشی آن از DEM منطقه استخراج شد. آبراهه‌ها براساس روش استرالر رتبه‌بندی و ویژگی‌های ساختاری و لیتولوژیکی حوضه ارزیابی شد. در ادامه شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفیک (جدول ۱) برای حوضه کُرد غرب محاسبه شد (شکل ۲). سپس، با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث و تصاویر ماهواره IRS بررسی‌های اولیه در مورد شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال در این حوضه انجام گرفت (شکل ۲). با مراجعه میدانی اثرهای تکتونیک فعال بر لندفرم‌ها ارزیابی شد و در صورت لزوم از آن‌ها تصویربرداری شد. در ادامه نتایج حاصل از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفومتری با شواهد ژئومورفیک تطبیق داده شد و وضعیت تکتونیک فعال در حوضه کُرد غرب مشخص شد (شکل ۲). DEM ده متر سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برگه کُرد غرب، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ کُرد غرب و تصاویر ماهواره IRS و گوگل ارث داده‌های مورد استفاده در این پژوهش‌اند.

شاخص‌های مورفومتری و محاسبه آن‌ها

در این پژوهش از شاخص‌های مورفومتری Δa ، R_b ، R ، ga ، R_b و Rbd استفاده می‌شود. نحوه محاسبه این پارامترها (به جز پارامتر Δa) در جدول ۱ شرح داده شده است.

شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی (Δa): در سیستم شبکه زهکشی هر آبراهه درجه ۱ اگر به آبراهه درجه ۲ وارد شود، نظم سلسله‌مراتبی دارد. اما اگر آبراهه‌ای به آبراهه‌ای با درجه به‌علاوه ۲ و بالاتر وارد شود، اتصال مذکور دارای ناهنجاری سلسله‌مراتبی است. بنابراین، به این آبراهه‌های درجه ۱، که ناهنجاری دارند، باید به‌صورت فرضی آبراهه‌هایی اضافه شود تا نظم سلسله‌مراتبی یابد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۰۸). این شاخص به‌ترتیب براساس رابطه‌های ۱ تا ۳ محاسبه می‌شود:

$$Ha_{i \rightarrow j} = 2^{(j-2)} - 2^{(i-1)} \quad (1)$$

در این رابطه Ha تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی، i آبراهه مبدأ، و j آبراهه مقصد است.

$$Ha_i = \sum (Ha_{i \rightarrow j} * N_{S_{i \rightarrow j}}) \quad (2)$$

در این رابطه Ha_i تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی آبراهه برای کل حوضه، $Ha_{i \rightarrow j}$ تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی، و $N_{S_{i \rightarrow j}}$ تعداد آبراهه‌ها در هر اتصال است (بهرامی، ۲۰۱۳: ۹۱۸).

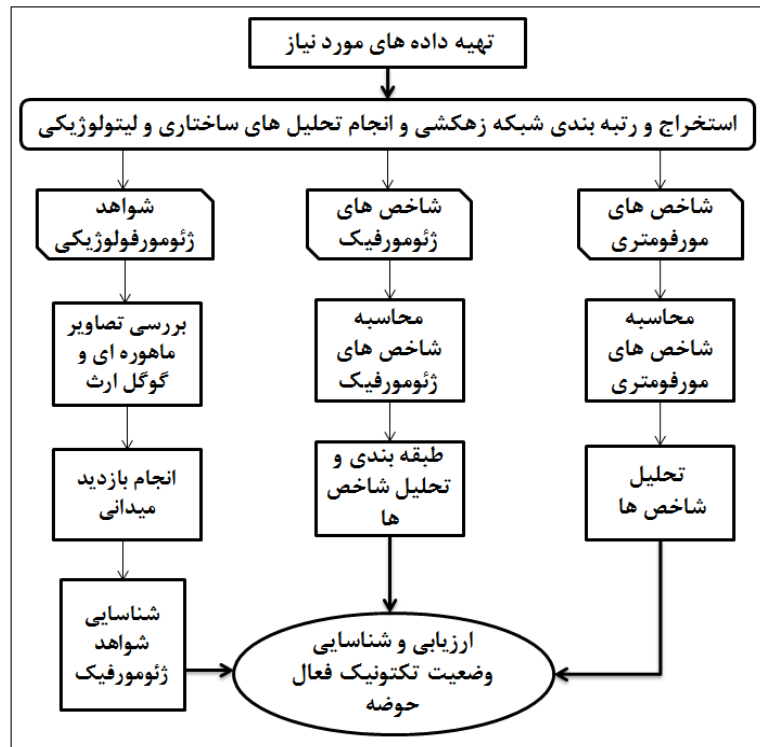
$$(\Delta a) = Ha_i / N1 \quad (3)$$

در این رابطه Δa شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی، Ha_i تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی آبراهه برای کل حوضه، و $N1$ تعداد آبراهه‌های واقعی رتبه ۱ در حوضه است (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷).

شاخص‌های ژئومورفیک و نحوه محاسبه آن‌ها

در این پژوهش از شاخص‌های ژئومورفیک T ، Af ، BS ، SL ، و S استفاده می‌شود (جدول ۱). مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص‌های ژئومورفیک Af ، BS ، و SL براساس طبقه‌بندی ال‌همدونی و همکاران (۲۰۰۸) از نظر میزان فعالیت

تکتونیک طبقه‌بندی شد (جدول ۲) و سپس مقدار شاخص IAT برای حوضه کوند غرب محاسبه گردید (جدول ۳). در این شاخص s مجموع امتیاز کلاس‌ها و n تعداد هر کلاس است.



شکل ۲. فلوجارت پژوهش و مراحل اجرای روش‌های مورد استفاده

جدول ۱. پارامترهای مورفومتریکی و ژئومورفیک و نحوه محاسبه آن‌ها

| رابطه | پارامتر | فرمول | منبع |
|-------|--|--|-------------------------|
| ۴ | شاخص تراکم ناهنجاری (سلسله‌مراتبی (ga) | $ga = Ha_t / A$ در این رابطه Ha_t تراکم ناهنجاری سلسله‌مراتبی و A مساحت حوضه | سیکاسی و همکاران (۱۹۸۷) |
| ۵ | نسبت انشعاب (Rb) | $Rb = Nu / (Nu + 1)$ در این رابطه Nu تعداد آبراهه‌های یک رده، $Nu + 1$ تعداد آبراهه‌های یک رده بالاتر | شوم (۱۹۵۶) |
| ۶ | نسبت مستقیم انشعاب (Rbd) | $Rbd(u-u+1) = Ndu / (Nu + 1)$ در این رابطه Ndu تعداد آبراهه‌های رتبه ویژه که مستقیماً به رتبه بالاتر جریان دارند، $N\mu + 1$ تعداد آبراهه‌های رتبه بالاتر | گارنیری و پیروتا (۲۰۰۸) |
| ۷ | شاخص انشعابات (R) | $R = Rb - Rbd$ در این رابطه Rb نسبت انشعاب و Rbd نسبت مستقیم انشعاب | گارنیری و پیروتا (۲۰۰۸) |
| ۸ | شاخص عدم تقارن حوضه آبریز A_f | $A_f = (A_r / A_t) \times 100$ در این رابطه A_r مساحت قسمت راست مسیر رود اصلی و A_t مساحت کل حوضه زهکشی | کلر و پنتیر (۲۰۰۲) |
| ۹ | شاخص T عرضی | $T = Da / Dd$ در این رابطه Da فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا رودخانه اصلی و Dd فاصله خط میانی حوضه تا خط تقسیم آب | راندل (۱۹۹۴) |
| ۱۰ | شاخص شکل حوضه B_s | $B_s = B_l / B_w$ در این رابطه B_l طول حوضه از خروجی تا خط تقسیم آب و B_w پهناي حوضه در پهن‌ترین قسمت حوضه | کانتون (۱۹۷۶) |
| ۱۱ | شاخص سینوزیته رودخانه (S) | $S = C / V$ در این رابطه، C طول رودخانه و V طول دره به خط مستقیم است | میلر (۱۹۵۳) |
| ۱۲ | شاخص گردایان طول رودخانه SL | $SL = (\Delta H / \Delta L) \cdot L$ در این رابطه Δh اختلاف ارتفاع در یک مقطع مشخص، ΔL فاصله افقی در آن مقطع، و L طول رودخانه از نقطه مرکزی مقطع اندازه‌گیری شده تا سرچشمه رودخانه | کلر و پنتیر (۲۰۰۲) |

جدول ۲. طبقه‌بندی ارائه‌شده توسط ال‌همدونی و همکاران (۲۰۰۸)

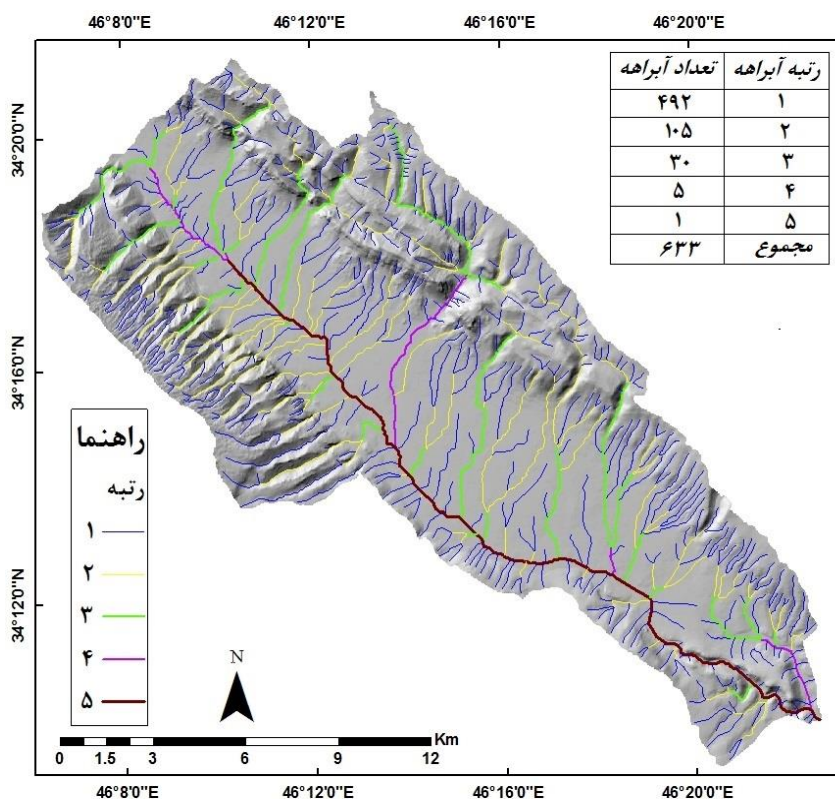
| شاخص‌ها | کلاس ۱ (فعالیت زیاد تکتونیکی) | کلاس ۲ (فعالیت متوسط تکتونیکی) | کلاس ۳ (فعالیت کم تکتونیکی) |
|---------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| SL | میزان تغییرات زیاد | میزان تغییرات کم | بدون تغییرات |
| Bs | $Bs > 4$ | $Bs : 4-3$ | $Bs > 3$ |
| Af | $Af - 50 > 15$ | $Af - 50 : 7-15$ | $Af - 50 < 7$ |

جدول ۳. طبقه‌بندی شاخص IAT

| IAT | کلاس ۱ | کلاس ۲ | کلاس ۳ | کلاس ۴ |
|--------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| (s/n) | ۱ - ۱,۵ | ۱,۵ - ۲ | ۲ - ۲,۵ | $2,5 < (s/n)$ |
| میزان فعالیت | فعالیت شدید تکتونیکی | فعالیت زیاد تکتونیکی | فعالیت متوسط تکتونیکی | فعالیت کم تکتونیکی |

یافته‌های پژوهش

حوضه کرنند غرب با مساحت ۲۳۸ کیلومتر مربع دارای الگوی زهکشی دندریتی است و رودخانه کرنند غرب زهکش اصلی این حوضه است که در خروجی حوضه دارای رتبه ۵ است (شکل ۳). مجموع تعداد آبراهه‌های حوضه ۶۳۳ قطعه است (شکل ۳) و آبراهه‌های رتبه ۱ با تعداد ۴۹۲ بیشترین تعداد آبراهه‌های حوضه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است.



شکل ۳. نقشه شبکه زهکشی حوضه کرنند غرب

محاسبه شاخص‌های مورفومتری

برای محاسبه شاخص Δa ، نخست براساس رابطه ۱ تعداد ناهنجاری‌های سلسله‌مراتبی هر اتصال آبراهه محاسبه شد (جدول ۴). پس از آن تعداد ناهنجاری آبراهه‌ها در هر مسیر ذکرشده در جدول ۲ براساس نقشه شبکه زهکشی حوضه مورد مطالعه شمارش شد. آبراهه‌های اتصالات $1 \rightarrow 3$ و $1 \rightarrow 5$ به ترتیب با مقادیر ۶۱ و ۵۴ بیشترین فراوانی ناهنجاری و آبراهه‌های اتصال $2 \rightarrow 4$ کمترین فراوانی ناهنجاری را دارا می‌باشند (جدول ۲). تعداد ناهنجاری سلسله‌مراتبی آبراهه‌های کل حوضه کوند غرب ۷۳۰ عدد و تعداد آبراهه‌های رتبه ۱ واقعی این حوضه ۴۹۲ عدد است. بنابراین، براساس رابطه ۳ مقدار شاخص Δa برای حوضه مورد مطالعه ۱/۴۸ محاسبه شد که بیانگر فعال بودن تکنیک حوضه مورد مطالعه است.

جدول ۴. پارامترهای Ha و Hat در حوضه مورد مطالعه

| مسیر | 1→3 | 1→4 | 1→5 | 2→4 | 2→5 | 3→5 | مجموع |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| Ha | ۱ | ۳ | ۷ | ۲ | ۶ | ۴ | - |
| $Ns_{i \rightarrow j}$ | ۶۱ | ۳۰ | ۵۴ | ۵ | ۲۲ | ۱۵ | - |
| $Hat = Ha_{i \rightarrow j} * Ns_{i \rightarrow j}$ | ۶۱ | ۹۰ | ۳۷۸ | ۱۰ | ۱۳۲ | ۶۰ | ۷۳۰ |

شاخص تراکم ناهنجاری سلسله‌مراتبی (ga) حوضه رودخانه کوند غرب براساس رابطه ۴ محاسبه شد. میزان پارامتر Ha_i در حوضه کوند غرب ۷۳۰ آبراهه است و مساحت این حوضه نیز ۲۳۸ کیلومترمربع است. مقدار شاخص ga برای حوضه مورد مطالعه ۳/۰۶ (متر/کیلومترمربع) است که حاکی از تکنیک فعال حوضه کوند غرب است. نسبت انشعاب ارتباط نزدیکی با الگوی اتصال شبکه زهکشی دارد (شوم، ۱۹۵۶: ۶۱۱). استرالر (۱۹۶۴) بر آن است که نواحی کوهستانی و پُرشیب دارای نسبت انشعاب بالا بوده و حوضه‌های دارای نسبت انشعاب بالا از لحاظ فعالیت‌های تکنیکی فعال‌اند (یمانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۷۵). نسبت انشعاب حوضه کوند غرب ۴/۲ است و این میزان بیانگر ناهمواری بالا، تکنیزه‌بودن، و ادامه فعالیت تکنیکی در حوضه کوند غرب است. شاخص نسبت مستقیم انشعاب (Rbd) براساس رابطه ۶ محاسبه شده و تفاوت آن با شاخص نسبت انشعاب حذف آبراهه‌های ناهنجار در هر رتبه است. به عبارتی، آبراهه‌هایی که مستقیماً وارد رتبه بالاتر خود نشده و به صورت ناهنجار وارد رتبه‌های بالاتر شده‌اند در این شاخص حذف شده‌اند. میزان شاخص Rbd حوضه کوند غرب ۲/۷۶ است که بیانگر تکنیک فعال این حوضه است (جدول ۵). شاخص انشعابات (R) براساس رابطه ۶ محاسبه شده و میزان آن برای حوضه مورد مطالعه ۱/۴۶ است که حاکی از تکنیک فعال حوضه کوند غرب است (جدول ۳).

جدول ۵. پارامترهای R و Rbd در حوضه کوند غرب

| مسیر | 1→2 | 2→3 | 3→4 | Rb | Rbd | R |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| تعداد آبراهه | ۳۴۷ | ۷۸ | ۱۵ | ۴/۸ | ۲/۷۶ | ۲/۰۴ |
| تعداد آبراهه‌های یک رتبه بالاتر | ۱۰۵ | ۳۰ | ۵ | | | |

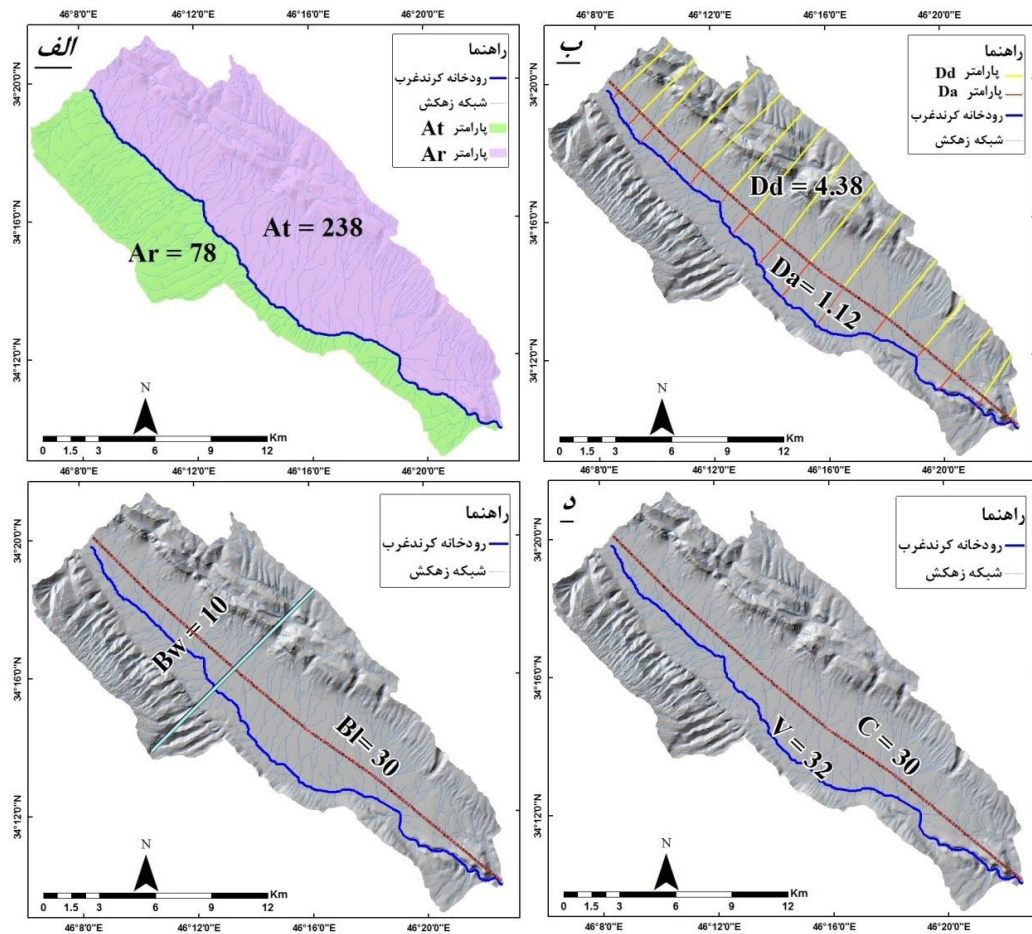
محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک

شاخص عدم‌تقارن (Af) به ارزیابی کج‌شدگی ناشی از فعالیت‌های تکنیکی در حوضه‌های زهکشی می‌پردازد (ال‌همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۵۶). در رودخانه‌های در حال تعادل میزان شاخص Af حدود ۵۰ درصد بوده که بیانگر

وجود تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و در نتیجه فقدان کج‌شدگی بر اثر بالآمدگی خواهد بود. مقادیر بیش از ۵۰ درصد بیانگر عمل بالآمدگی در ساحل راست و کمتر از ۵۰ درصد بیانگر بالآمدگی در ساحل چپ آبراهه اصلی است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۳). در حوضه کردند غرب میزان شاخص عدم تقارن ۳۲ درصد بوده که حاکی از عدم تقارن، کج‌شدگی، و تکتونیک فعال این حوضه است (شکل ۴- الف). شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) برای ارزیابی نامتقارن بودن حوضه و بررسی تکتونیک فعال به کار گرفته می‌شود. رندل (۱۹۹۴) بر آن است که میزان این شاخص در همه حوضه‌ها بین ۰ تا ۱ بوده و در حوضه‌های کاملاً متقارن میزان این شاخص صفر بوده و با افزایش عدم تقارن مقدار شاخص T افزایش می‌یابد. در این شاخص مقادیر عددی نزدیک به ۱ بیانگر تکتونیک فعال است. در این پژوهش مقادیر پارامترهای Da و Dd در ۱۵ نقطه از مسیر رودخانه کردند غرب اندازه‌گیری شد (شکل ۴- ب). در ادامه از مجموع این اندازه‌گیری‌ها میانگین گرفته شد و عدد به دست آمده نماینده کل مسیر رودخانه است. میزان این شاخص برای حوضه کردند غرب ۰/۲۸ بوده و بیانگر عدم تقارن حوضه و فعال بودن تکتونیک آن است. شاخص نسبت شکل حوضه (BS) برای ارزیابی میزان کشیدگی شکل حوضه و بررسی تکتونیک فعال به کار می‌رود. بوربانک و ادرسون (۲۰۰۱) بر آنند که با کاهش میزان بالآمدگی در طول زمان شکل حوضه به تدریج دایره‌ای شده و حوضه‌هایی با تکتونیک فعال دارای شکل کشیده‌اند. بنابراین، هر چه مقدار شاخص BS بیشتر باشد حوضه از لحاظ تکتونیکی فعال است. میزان شاخص نسبت شکل برای حوضه کردند غرب ۳ بوده که بیانگر شکل کشیده و تکتونیک فعال حوضه مورد مطالعه است (شکل ۴- ج). شاخص سنیوزیته رودخانه (S) برای ارزیابی تأثیر تکتونیک فعال بر رودخانه به کار رفته و مقادیر ۱ این شاخص بیانگر مسیر رودخانه مستقیم و تکتونیک فعال است. مقادیر بین ۱ تا ۱/۵ نیز بیانگر فعالیت نسبی تکتونیک و حالت مئاندری کم رودخانه و مقادیر بیش از ۱/۵ بیانگر حالت مئاندری شدید رودخانه و فعالیت کم تکتونیک است (تیواری و همکاران، ۲۰۱۴: ۷۷). میزان شاخص سنیوزیته رودخانه کردند غرب ۱/۰۶ است که بیانگر تأثیر تکتونیک فعال در حوضه این رودخانه است (شکل ۴- د). شاخص گرادیان رودخانه (SL) به تغییرات شیب رودخانه بسیار حساس است. این حساسیت برآورد میزان روابط موجود بین فعالیت‌های تکتونیکی، مقاومت سنگ، و توپوگرافی را امکان‌پذیر می‌کند (یمانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۷۸). مقادیر شاخص SL در مناطق فعال تکتونیکی بالا بوده (کلر و پنتیر، ۱۹۹۶: ۱۳۰) و هر چه مقادیر آن بیشتر باشد تکتونیک آن منطقه فعال‌تر است. میزان شاخص SL رودخانه کردند غرب ۲۲۷ است که مقادیر این شاخص نیز بیانگر فعال بودن تکتونیک در حوضه کردند غرب است (جدول ۶).

جدول ۶. مقادیر شاخص (SI) در حوضه آبخیز چله

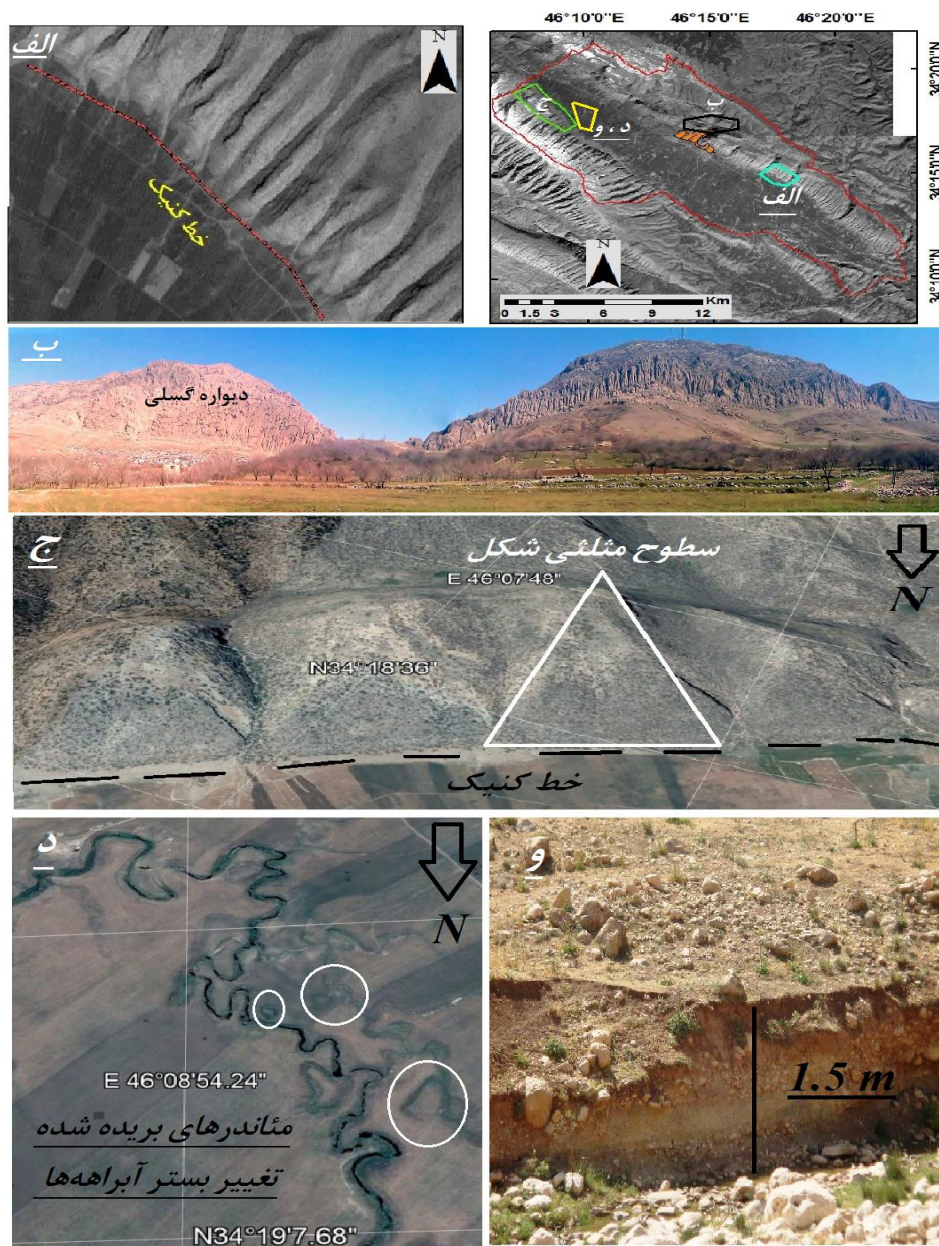
| SI | L(m) | $\Delta L(m)$ | $\Delta h(m)$ | نقطه میانی (m) | ارتفاع (m) |
|-----|-------|---------------|---------------|----------------|------------|
| ۲۲۷ | ۲۱۴۶۱ | ۱۴۱۸۰ | ۱۵۰ | ۱۴۵۵ | ۱۵۳۰-۱۳۸۰ |



شکل ۴. محاسبه شاخص‌های مورفولوژیک و پارامترهای آن‌ها در حوضه کوند غرب؛ الف) شاخص عدم تقارن در حوضه کوند غرب (AF)؛ ب) شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) در حوضه کوند غرب؛ ج) شاخص شکل حوضه (Bs) در حوضه کوند غرب؛ د) شاخص سینوزیته رودخانه (S) در حوضه کوند غرب

شواهد ژئومورفولوژیکی حاصل از تکتونیک فعال

شبکه زهکشی به حرکات تکتونیکی بسیار حساس است و راهنمای خوبی برای شناسایی شواهد تکتونیکی فعال است (ریبولین و پاگنولو، ۲۰۰۷: ۲). از مهم‌ترین شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیکی فعال در حوضه کوند غرب دیواره‌های گسلی راندگی کوند غرب است (شکل ۵-ب). دیواره‌های قائم، فرسایش‌نیافته، و عدم تشکیل کوهپایه در دامنه‌های طاق‌دیس کوند در شمال حوضه (شکل ۵-الف) بیانگر فعال بودن این گسل است. وجود سطوح مثلثی‌شکل در دامنه‌های نواکوه در جنوب حوضه و عدم شکل‌گیری کوهپایه و وجود خط کنیک مشخص از دیگر شواهد تکتونیکی فعال حوضه کوند غرب است (شکل ۵-ج). آبراهه‌های جابه‌جاشده و مائندهای بریده‌شده (شکل ۵-د) و دیواره‌های عمودی و پُرشیب بستر آبراهه‌ها که بیانگر بالاآمدگی منطقه بوده (شکل ۵-و) از دیگر شواهد ژئومورفیک تکتونیکی فعال حوضه کوند غرب است. عدم تقارن حوضه و شبکه زهکشی آن و همچنین طول بیشتر آبراهه‌ها در ساحل چپ رودخانه از دیگر شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیکی فعال در حوضه مورد مطالعه است.

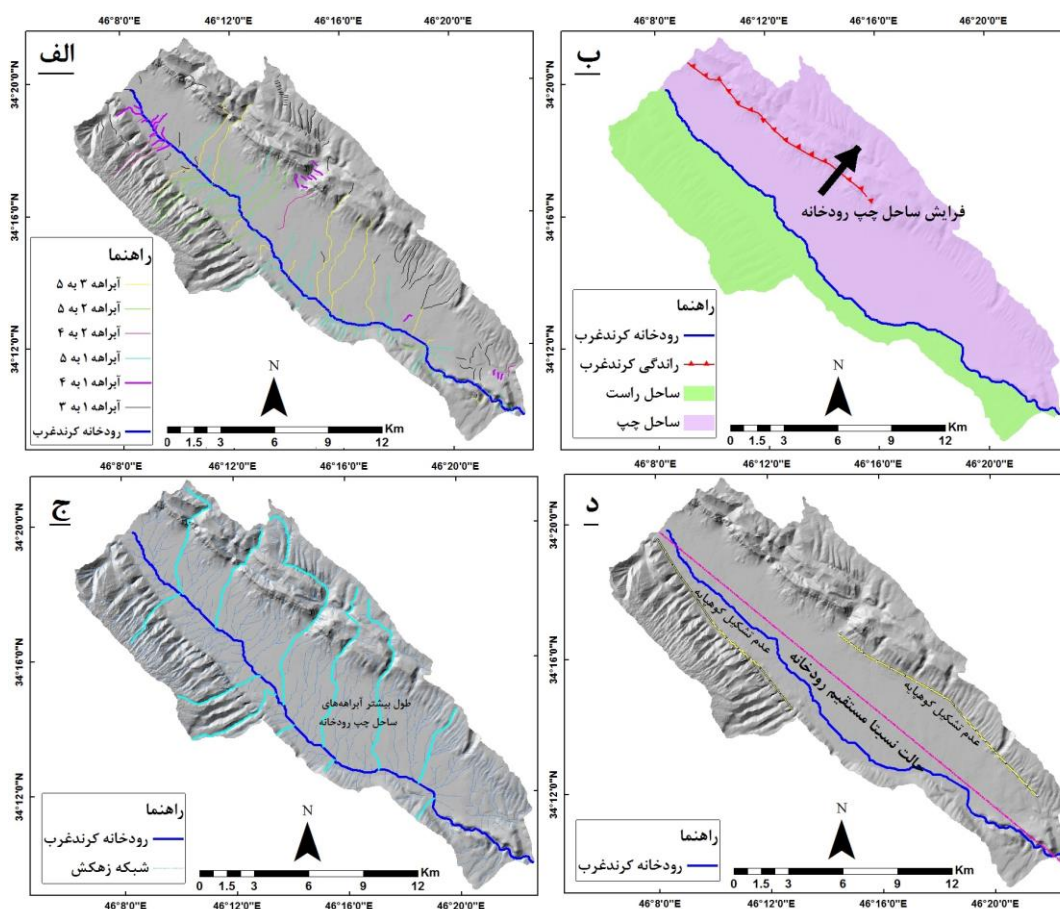


شکل ۵. الف) عدم تشکیل کوهپایه در ارتفاعات شمالی حوضه کرند غرب (تصویر پان کروماتیک ماهواره IRS؛ ب) نمایی از دیواره گسل تراستی کرند در شمال شهر کرند غرب (دید رو به شمال؛ ج) تصویر گوگل ارث از سطوح مثلثی و عدم تشکیل کوهپایه در ارتفاعات جنوبی حوضه؛ د) تصویر گوگل ارث از مئاندرهای بریده شده و تغییرات بستر آبراهه؛ و) نمایی از دیواره قائم بستر آبراهه (دید رو به جنوب)

بحث

حوضه کرند غرب در منطقه چین‌های برگشته در زون زاگرس چین‌خورده واقع شده و گسل فعال کرند غرب در این حوضه قرار دارد. باچمانوف و همکاران (۲۰۰۳) عامل اصلی تکتونیک فعال زاگرس شمال غربی را ارتباط گسل‌های پنهان با چین‌ها می‌دانند. در پژوهش حاضر وضعیت تکتونیک فعال حوضه کرند غرب براساس ویژگی‌های شبکه زهکشی ارزیابی شد. شبکه زهکشی حوضه کرند غرب دارای ناهنجاری سلسله‌مراتبی است و آبراهه‌های رتبه ۱ بیشترین میزان

ناهنجاری را داراست (شکل ۶ الف). تعداد آبراهه‌هایی با ناهنجاری سلسله‌مراتبی در حوضه مورد مطالعه ۱۸۷ آبراهه است که در کل حوضه پراکنش دارند (شکل ۶- الف). این امر بیانگر تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر شبکه زهکشی حوضه کوند غرب است. مقادیر شاخص‌های Δa و ga نیز بیانگر ناهنجاری در شبکه زهکشی و فعال بودن تکتونیک حوضه مورد مطالعه است. آبراهه‌های رتبه ۱ و ۲ به ترتیب ۷۷٫۷ درصد و ۱۶٫۵ درصد تعداد آبراهه‌های حوضه را به خود اختصاص و این امر بیانگر ناهنجاری سلسله‌مراتبی آبراهه و همچنین نسبت انشعاب بالا در حوضه کوند غرب است. مقادیر پارامترهای Rbd و R نیز بیانگر ناهنجاری سلسله‌مراتبی و تأثیرپذیری شبکه زهکشی حوضه کوند غرب از فعالیت‌های تکتونیکی است. در این پژوهش شاخص‌های ژئومورفیک برای ارزیابی شکل حوضه و کج‌شدگی آن و بررسی وضعیت رودخانه اصلی به کار رفته‌اند. مقدار شاخص (Af) در حوضه کوند غرب بیانگر تکتونیک فعال و بالآمدگی در سمت چپ رودخانه کوند غرب بوده که با توجه به جهت شمال‌غربی- جنوب‌شرقی این رودخانه بالآمدگی سمت چپ رودخانه ناشی از بالآمدگی طاقدیس کوند در اثر کوتاه‌شدگی زاگرس و جنیش راندگی کوند در یال جنوبی آن است (شکل ۶- ب). براساس شاخص ارائه‌شده توسط ال‌همدونی و همکاران (۲۰۰۸)، میزان شاخص (Af) حوضه کوند غرب در کلاس ۱ با فعالیت شدید تکتونیکی قرار می‌گیرد (جدول ۷). میزان شاخص (T) حوضه کوند غرب بیانگر عدم تقارن توپوگرافی و طول بیشتر آبراهه‌های سمت چپ این حوضه است (شکل ۶- ج) و نشان‌دهنده دخالت تکتونیک فعال و بالآمدگی ساحل چپ رودخانه است. میزان شاخص (Bs) حوضه کوند نشان می‌دهد بالآمدگی جبهه‌های کوهستانی ناشی از تکتونیک فعال‌تر از فرایندهای فرسایشی است و شکل حوضه کوند غرب کشیده است و براساس طبقه‌بندی ال‌همدونی و همکاران (۲۰۰۸) در کلاس ۲ با فعالیت متوسط تکتونیکی قرار دارد. میزان شاخص (S) رودخانه کوند غرب نشان می‌دهد این رودخانه به علت تکتونیک فعال به حالت تعادل نرسیده و دارای حالت نسبتاً مستقیم است (شکل ۶- د). میزان شاخص (SL) رودخانه کوند غرب بیانگر تغییرات شدید در نیمرخ طولی رودخانه به علت تکتونیک فعال بوده و براساس طبقه‌بندی ال‌همدونی و همکاران (۲۰۰۸) در کلاس ۱ با فعالیت زیاد تکتونیکی قرار دارد (جدول ۷). براساس شاخص IAT حوضه کوند غرب از نظر فعالیت تکتونیکی در کلاس ۱ با فعالیت شدید تکتونیکی قرار می‌گیرد. تعداد بسیار زیاد آبراهه‌های رتبه پایین در حوضه کوند غرب به عنوان یک شاهد ژئومورفیک تأییدکننده وجود ناهنجاری در شبکه زهکشی و تکتونیک فعال در این حوضه است و نتایج شاخص‌های مورفومتری را تأیید می‌کند. عدم تقارن حوضه، رودخانه کوند غرب، و شبکه زهکشی و طول بیشتر آبراهه‌ها در سمت چپ رودخانه شواهد ژئومورفولوژیکی تأییدکننده مقادیر شاخص‌های AF و T است. عدم تشکیل کوهپایه و دامنه‌های کاملاً مشخص و مستقیم و شکل کشیده حوضه کوند غرب تأییدکننده میزان شاخص BS است. میزان شاخص تغییرات نیمرخ طولی رودخانه، دیواره قائم مسلط بر بستر رودخانه، جابه‌جایی آبراهه‌ها، مائندهای بریده‌شده، و حالت خطی رودخانه از جمله شواهد ژئومورفولوژیکی فعال بودن تکتونیک حوضه و بستر رودخانه بوده که نتایج شاخص‌های SL و S را تأیید می‌کنند. تنوع لیتولوژیکی حوضه کوند غرب بسیار کم بوده و سطح دشت از نهشته‌های کواترنری و ارتفاعات نیز عمدتاً از سازند آسماری- شهبازان تشکیل شده است. بنابراین، تنوع لیتولوژیکی و تناوب سازندهای فرسایش‌پذیر و فرسایش‌ناپذیر در مقادیر شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفیک تأثیر نداشته و مقادیر آنها تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی است.



شکل ۶. الف) آبراهه‌هایی با ناهنجاری سلسله‌مراتبی در حوضه کرند غرب؛ ب) بالآمدگی ساحل چپ رودخانه کرند غرب؛ ج) عدم تقارن حوضه و طول بیشتر آبراهه‌ها در ساحل چپ رودخانه؛ د) حالت مستقیم رودخانه و عدم تشکیل کوهپایه

جدول ۷. طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک منطقه مورد مطالعه براساس شاخص IAT

| کلاس شاخص‌های مورفولوژیک | | | S/n | IAT |
|--------------------------|--------|--------|---------------|------|
| SL | Af | Bs | | |
| کلاس ۱ | کلاس ۱ | کلاس ۲ | $\frac{4}{3}$ | ۱,۳۳ |

نتیجه‌گیری

در این پژوهش متناسب با هدف آن و برای ارزیابی تکتونیک فعال از شاخص‌های مورفومتری برای ارزیابی وضعیت ناهنجاری شبکه زهکشی از شاخص‌های ژئومورفیک AF، T، و BS برای ارزیابی کج‌شدگی حوضه و شکل حوضه و از شاخص‌های SL و S برای ارزیابی وضعیت رودخانه اصلی استفاده شد. ناهنجاری‌های شبکه زهکشی حوضه کرند غرب توسط شاخص‌های مورفومتری ارزیابی شد و نتایج آن‌ها بیانگر وجود ناهنجاری‌های سلسله‌مراتبی در شبکه زهکشی این حوضه تحت تأثیر تکتونیک فعال است. این ناهنجاری به صورت تعداد بسیار زیاد آبراهه‌های رتبه ۱ نمونه یافته؛ به طوری که میزان پارامتر H_{a1} در حوضه کرند غرب ۷۳۰ آبراهه بوده که از این تعداد ۵۲۸ آبراهه مرتبط به ناهنجاری سلسله‌مراتبی آبراهه‌های رتبه ۱ است. ناهنجاری آبراهه‌های رتبه ۱ علاوه بر شاخص‌های ناهنجاری سلسله‌مراتبی و تراکم آن در شاخص‌های انشعابات تأثیرگذارند. نتایج حاصل از به‌کارگیری پارامترهای مورفومتری توسط بهرامی و

همکاران (۱۳۹۳) در حوضه‌های پیران و پاتاق در حاشیه حوضه مورد مطالعه بیانگر مشابهت مقادیر آن‌ها با نتایج این پژوهش بوده و بیانگر تکتونیک فعال این حوضه‌ها و زون زاگرس شمال غربی است. نتایج شاخص‌های ژئومورفیک نیز بیانگر بالآمدگی ساحل چپ رودخانه اصلی به‌علت جنبش راندگی کوند غرب بوده و این امر سبب کج‌شدگی حوضه و عدم تقارن شبکه زهکشی در حوضه کوند غرب شده است. همچنین، شکل کشیده و ناهنجاری‌های نیمرخ طولی و بستر رودخانه نیز بیانگر تکتونیک فعال این حوضه است. نتایج شاخص‌های ژئومورفیک حاکی از تکتونیک فعال با شدت زیاد در حوضه کوند غرب است. نتایج حاصله از تحلیل شاخص‌های ژئومورفیک و ارزیابی شواهد ژئومورفیک توسط یمانی و همکاران (۱۳۹۰) و مقصودی و همکاران (۱۳۹۰) در حوضه‌های چله و کفراور در جنوب حوضه کوند غرب مشابه نتایج پژوهش حاضر بوده و بیانگر فعالیت تکتونیک در این حوضه‌ها و زون زاگرس شمال غربی است. نتایج شاخص‌های مورفومتری، شاخص‌های ژئومورفیک، و شواهد ژئومورفولوژی تکتونیک فعال در حوضه کوند غرب تأییدکننده یکدیگر بوده و بیانگر تکتونیک فعال حوضه کوند غرب است. براساس نتایج این پژوهش، می‌توان ادعان کرد فعالیت‌های تکتونیک در حوضه کوند غرب به‌صورت بالآمدگی کلی حوضه و همچنین بالآمدگی ساحل چپ رودخانه به‌علت جنبش گسل فعال کوند است. این امر با نتایج مطالعات بلانک آلن و همکاران (۲۰۰۳)، باچمانوف و همکاران (۲۰۰۳)، و حسامی و همکاران (۲۰۰۶)، که به بالآمدگی زاگرس شمال غربی معتقد بوده‌اند، همخوانی دارد. فعال بودن تکتونیک حوضه کوند غرب و همچنین کل محدوده زاگرس شمال غربی می‌تواند سبب ایجاد مخاطرات ناشی از تکتونیک فعال همچون زلزله شود. بنابراین، مدنظر قراردادن این شرایط در برنامه‌ریزی‌های عمرانی و مباحث مدیریتی لازم و ضروری است.

منابع

- بهرامی، ش.؛ اکبری، ا. و معتمدی راد، ال. (۱۳۹۳). تحلیل ژئومتری حوضه‌های زهکشی با استفاده از شواهد ژئومورفولوژی تکتونیک (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی صدخرو، کلاته سادات، فاروب رومان، و گلیان)، مجله فضای جغرافیایی، ش ۴۸.
- بهرامی، ش.؛ تقوی‌مقدم، ا. و زنگنه اسدی، م. ع. (۱۳۹۶). کارایی شاخص‌های ژئومورفومتری شبکه زهکشی جهت ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه‌های باغرود، بوژان، زاوین، و سررود در شمال شرق کشور، مجله آمایش جغرافیا فضا، ش ۲۵.
- بهرامی، ش.؛ مقصودی، م. و بهرامی، ک. (۱۳۹۳). بررسی نقش تکتونیک در ناهنجاری مورفومتری شبکه زهکشی در چهار حوضه آبخیز در زاگرس، مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ش ۷۶.
- بهرامی، ش.؛ اکبری، ا. و معتمدی راد، م. (۱۳۹۳). تحلیل ژئومتری حوضه‌های زهکشی با استفاده از شواهد ژئومورفولوژی تکتونیک (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی صدخرو، کلاته سادات، فاروب رومان و گلیان)، مجله فضای جغرافیایی، ۱۴(۴۸).
- پورکرمانی، م. و صدیق، ح. (۱۳۸۲). پدیده‌های ژئومورفولوژیکی حاصل از گسل تبریز، مجله جغرافیا و توسعه، ۲: ۳۷-۴۴.
- رجایی، ع. و کرمی، ف. (۱۳۸۳). نقش زمین‌ساخت در تحول زمین‌ریخت‌شناسی پایکوه‌های شمالی کوه بزقوش، مجله علوم زمین، ۲۳: ۵۱-۵۲.
- سلیمانی، ش. (۱۳۷۷). رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان «با نگرشی بر مقدمات دیرینه‌شناسی، تهران: انتشارات مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- شعبانی، ا. (۱۳۸۳). برآورد خطر زمین‌لرزه گستره کرمانشاه- سنندج به روش احتمالی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
- کرمی، ف.؛ خطیبی، م. و ابادری، ک. (۱۳۹۷). تحلیل ناهنجاری‌های شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک فعال در حوضه‌های آبریز شمال تبریز، مجله ژئومورفولوژی کمی، ش ۱، شماره پیاپی ۲۵.
- مقصودی، م.؛ جعفری اقدم، م. و باقری سیدشکری، س. (۱۳۹۱). تحلیل عوامل مؤثر در آنومالی شبکه زهکشی تاقدیس نثار (زاگرس شمال غربی)، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۰۴: ۱۰۶-۱۳۱.
- مقصودی، م.؛ جعفری، م.؛ باقری سیدشکری، س. و مینایی، س. (۱۳۹۰). بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآر با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، فصل‌نامه توسعه جغرافیا، ش ۲۵.
- مهندسین مشاور سنجش از دور (۱۳۷۷). گزارش زمین‌شناسی حوضه الوند، ج ۱، سازمان آب منطقه‌ای کرمانشاه.
- نگهبان، م. و خطیب، م. م. (۱۳۸۴). بررسی تکتونیک فعال به روش تراکم‌سنجی آبراه‌ها در اطراف گسل نصرت‌آباد (خاور ایران)، بیست‌ودومین همایش زمین‌شناسی کشور.
- یمانی، م.؛ باقری سیدشکری، س. و جعفری اقدم، م. (۱۳۸۹). تأثیر نوزمین‌ساخت در مورفولوژی آبراه‌های حوضه آبریز چله (زاگرس غربی)، مجله محیط جغرافیایی، ۱: ۶۷-۸۲.
- یمانی، م.؛ کامرانی دلیر، ح. و باقری سیدشکری، س. (۱۳۸۹). مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک جهت تعیین میزان فعالیت نوزمین‌ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس شمال غربی)، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره پیاپی ۷۹.
- Agarwal, C. S. (1998). Study of drainage pattern through aerial data in Naugarh area of Varanasi district, UP. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 26(4): 169-175.

- Al Hamdouni, R.El.; Iriggaray, C.; Fernandez, T.; Chacon, J. and Keller, E.A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*, 96: 150-173.
- Bachmanov, D.M.; Trifonov, Kh.T.; Hessami, A.; Uozhurin, I.; Ivanovo, T.P.; Rogozhin, E.A.; Hademi, M.C. and Tamali, F.H. (2003). Active faults in the Zagros and central Iran, *Tectonophysics*, 380: 221-241.
- Bahrami, Sh. (2012). Morphotectonic evolution of triangular facets and wine-glass valleys in the Noakoh anticline, Zagros, Iran: Implications for active tectonics. *Geomorphology*, 159: 37-49.
- Bahrami, Sh. (2013). Analyzing the drainage system anomaly of Zagros basins: implications for *Tectonophysics journal*, Vol. 608, Elsevier.
- 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.
- Blance, E.; Allen, M.; Inger, S. and Hassani, H. (2003). Structural styles in the Zagros simple folded zone Iran, *Geological society*, Vol. 160.
- Burbank, D. W. and Anderson, R. S. (2001). *Tectonic geomorphology*. John Wiley & Sons.
- Cannon, PJ. (1976). Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of the Mill Creek drainage basin. *Okla GeolNotes*, 36: 3-16.
- Chich, C.; Shanchen, W.; Wu, L. and Lin, C. (2006). Active deformation Front delineated by drainage pattern analysis and vertical movement rates, southwestern coastal plain Taiwan, *Journal of Asian Earth Sciences*.
- Ciccacci, S.; Fredi, P.; Lupia Palmieri, E. and Pugliese, F. (1987). Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters. In *International geomorphology, 1986: proceedings of the First International Conference on Geomorphology/ed on behalf of the British Geomorphological Res Group by V. Gardiner and sectional ed, MG Anderson...[et al.]*. Chichester: Wiley, c1987.
- Guarnieri, P. and Pirrotta, C. (2008). The response of drainage basins to the late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 95(3-4): 260-273.
- Guccione, M.J.; Mueller, K.; Champion, J.; Shepherd, S.; Carlson, S.D.; Odhiambo, B. and Tate, A. (2001). Stream response to repeated coseismic folding, Tiptonville dome, New Madrid seismic zone. *Geomorphology*, 43: 313-349.
- Hamdouni, R.El.; Iriggaray, C.; Fernandez, T.; Chacon, J. and Keller, E.A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*, 96: 150-173.
- Hessami, K., Nilforoushan, F., Talbot, C. J. (2006). Active deformation within the Zagros Mountains deduced GPS measurements, *Geology society*, 163: 143-148.
- Hurtrez, J.E.; Sol, C. and Lucazeau, F. (1999). Effect of drainage area on hypsometry from an analysis of small-scale drainage basins in the Siwalik hills (central Nepal). *Earth Surf Process Landform*.
- Keller, E. A. and Pinter, N. (1996). *Active tectonic: Earthquakes, Uplift. And Landscape*. Prentice Hall, Pub.
- Keller, E. A. and Pinter, N. (2002). *Active Tectonics: Earthquakes uplift and Landscape second edition: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall*, p 362.
- Li, Y.; Yang, J.; Tan, L. and Duan, F. (1999). Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi corridor, Northwest China. *Geomorphology*, Vol. 28.

- Malik, J. and Mahanty, C. (2006). Active tectonic influence on the evolution of drainage and Landscape: Geomorphic signatures From Frontal and hinterland areas along the Northwestern Himalaya, India. *Journal of Asian Earth Sciences*.
- Malik, J. N. and Mohanty, C. (2007). Active tectonic influence on the evolution of drainage and landscape: geomorphic signatures from frontal and hinterland areas along the Northwestern Himalaya, India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29(5-6): 604-618.
- Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphologic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Project.
- Mirzaei, N. (1997). Seismic zoning of Iran, dissertation for Ph.D degree in Geophysics, Institute of Geophysics, State Geological Bureau, Beijing, People's Republic of China, 134pp.
- Pedreira, A.; Pérez-Peña, J. V.; Galindo-Zaldívar, J.; Azañón, J. M. and Azor, A. (2009). Testing the sensitivity of geomorphic indices in areas of low-rate active folding (eastern Betic Cordillera, Spain). *Geomorphology*, 105(3-4): 218-231.
- Raj, R. (2012). Active tectonics of NE Gujarat (India) by morphometric and morphostructural studies of Vatrak River basin. *Journal of Asian Earth Sciences*, 50: 66-78.
- Randel, T. C. (1994). Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. *Geological Society*, 106: 571-581.
- Ribolin, A. and Spagnolo, M. (2007). Drainage network geometry versus tectonics in the Argentera Massif (French-Italian Alps). *Geomorphology*, pp. 1-14.
- Schumm, S. (1956). Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, 67: 597-646.
- Strahler, A. N. (1964). Part II. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. *Handbook of Applied Hydrology*: McGraw-Hill, New York, 4-39.
- Tiwari, V. M.; Srinivas, N. and Singh, B. (2014). Hydrological changes and vertical crustal deformation in south India: Inference from GRACE, GPS and absolute gravity data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 231: 74-80.
- Vijith, H.; Prasannakumar, V.; Sharath Mohan, M. A.; Ninu Krishnan, M. V. and Pratheesh, P. (2017). River and basin morphometric indexes to detect tectonic activity: a case study of selected river basins in the South Indian Granulite Terrain (SIGT). *Physical Geography*, 38(4): 360-378.
- Zhang, H. Y.; Shi, Z. H.; Fang, N. F. and Guo, M. H. (2015). Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China. *Geomorphology*, 234: 19-27.