

بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه زهکشی (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی در شمال شرق کشور)

شهرام بهرامی،* استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری

محمد معتمدی راد، دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

الهه اکبری، مربی گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری

چکیده

اغلب لندفرم‌های سطح زمین به آرامی و طی هزاران یا میلیون‌ها سال تکامل می‌یابند. از آن جا که تغییرات لندفرم‌ها در مقیاس عمر بشر قابل تشخیص نمی‌باشند، ارزیابی شواهد ژئومورفولوژیک می‌تواند نقش مهمی در شناسایی حرکات تکتونیکی مناطق ایفا کند. رودخانه‌ها و شبکه زهکشی از جمله مهم‌ترین عوارضی هستند که نسبت به تغییرات زمین‌ساختی بسیار حساس می‌باشند. جهت بررسی تأثیر تکتونیک‌های فعال بر مورفومتری شبکه زهکشی، ابتدا ۴ حوضه آبخیز در رشته کوه آلاداغ- بینالود و کوه‌های جغتای در استان‌های خراسان شمالی و رضوی انتخاب شد. سپس شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa)، تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی (ga)، پارامترهای شاخص انشعابات (R)، شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF)، نسبت شکل حوضه (BS) و نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه ($LSBW$) در آن مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که رابطه مستقیمی بین Δa و ga ($r=0/888$)، Δa و BS ، Δa و PAF ، Δa و $LSBW$ ، ga و BS ، ga و PAF وجود دارد. ضریب همبستگی بین زوج‌های $\Delta a-PAF$ ، $\Delta a-BS$ ، $\Delta a-LSBW$ ، $ga-PAF$ ، $ga-BS$ ، $ga-R$ ، $ga-LSBW$ به ترتیب ۰/۹۵۷، ۰/۹۴۶، ۰/۳۱۷، ۰/۸۵۶، ۰/۸۹۷، ۰/۷۶۴، ۰/۴۹۱ و ۰/۶۵۶ به دست آمده است. همچنین ضریب همبستگی مناسبی بین R و دیگر پارامترها وجود دارد. بررسی روابط بین پارامترها نشان‌دهنده کارایی بالای شاخص Δa و ga در مقایسه با شاخص R برای شناسایی تکتونیک فعال حوضه‌های زهکشی می‌باشند. به طور کلی، براساس شاخص‌های مذکور، تمام حوضه‌های مطالعاتی از نظر تکتونیکی فعال هستند. با این حال، بیشترین فعالیت تکتونیکی به ترتیب در حوضه‌های شماره ۲ و ۱ و ۴ و کم‌ترین مربوط به حوضه شماره ۳ می‌باشد.

واژگان کلیدی

مورفومتری، تکتونیک، ناهنجاری سلسله مراتبی شبکه زهکشی، شاخص انشعابات.

مقدمه

تقریباً هیچ ناحیه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تأثیر تغییرات تکتونیکی قرار نگرفته باشد. سرزمین ایران نیز به عنوان بخشی از زون فعال زمین‌ساختی آلپ-همیالیا، طرح پیچیده‌ای از مجموعه پوسته‌ها، قطعات زمین‌ساخت و زون‌های متفاوت زمین‌ساختی است که از نگاه زمین‌ساختی و لرزه زمین‌ساختی، ویژگی‌های خاصی دارد (زرگرزاده و همکاران، ۱۳۸۸: ۱) به همین لحاظ، ارزیابی و بررسی فرآیندهای تکتونیکی فعال و اثرات ناشی از آن همچون زمین لرزه‌ها برای بسیاری از فعالیت‌های بشری همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه‌ها، سدها، تأسیسات صنعتی و ... از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد؛ تا به واسطه آن بتوان خطرات و خسارات ناشی از این گونه فرآیندهای فعال را به حداقل ممکن رساند. از آن جا که اندازه‌گیری‌های کیفی جوابگوی ارزیابی این فعالیت‌ها نخواهد بود، کمی نمودن رفتار حرکات تکتونیک ضروری به نظر می‌رسد. اندازه‌گیری‌های کمی و عددی این فرصت را به ژئومورفولوژیست‌ها می‌دهد تا به طور واقعی و ملموس لندفرم‌های مختلف را ارزیابی و با یکدیگر مقایسه کنند (گورابی و نوحه‌گر، ۱۳۸۶: ۱۷۷؛ غلامی، ۱۳۸۹: ۳).

تحقیقات میدانی، آزمایشگاهی و مدل‌های عددی نشان می‌دهند که بالآمدگی و تفاوت در سبک تغییرشکل سنگ بستر، باعث آشفته‌گی‌هایی در شبکه رودخانه‌ای خواهد شد (ریبولینی و اسپاگنولو^۱، ۲۰۰۸: ۲۵۳). رودخانه‌ها اولین اشکال محیطی هستند که نسبت به تغییرات در بستر جریان و یا بروز تغییرات در طول بستر جریان، عکس‌العمل نسبتاً سریعی انجام می‌دهند. ژئومورفولوژیست‌ها از چند دهه قبل، از داده‌های مورفومتری یا پارامترهای کمی حوضه‌های زهکشی جهت تحلیل تکتونیک‌های فعال در سراسر دنیا استفاده کرده‌اند. از جمله سیکاسی^۲ و همکاران (۱۹۸۶) شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی را تعریف نمودند. هیر و گاردنر^۳ (۱۹۸۵)، دفونتینز^۴ و همکاران (۱۹۹۲)، جکسون^۵ و همکاران (۱۹۹۸)، لی^۶ و همکاران (۱۹۹۹)، تالینگ و سوتر^۷ (۱۹۹۹)، گولدزورسی^۸ و جکسون (۲۰۰۰)، سیمونی^۹ و همکاران (۲۰۰۳)، سونگ و چن^{۱۰} (۲۰۰۴)، مالیک^{۱۱} و همکاران (۲۰۰۷)، شاخص‌های مورفومتری را در ارزیابی تکتونیک فعال و ایجاد ناهنجاری زهکشی مورد استفاده قرار دادند. همچنین همدونی^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Iat^{۱۳}) به طبقه‌بندی تکتونیک فعال جنوب اسپانیا پرداخته و مناطق فعال تکتونیکی را مشخص نمودند. گارنیری و پیروتا^{۱۴} (۲۰۰۸) نیز جهت بررسی تأثیر تکتونیک در چهار حوضه زهکشی در شمال شرق سیسیلی ایتالیا از شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی و

^۱ - Ribolini & Spagnolo

^۲ - Ciccacci

^۳ - Hare and Gardner

^۴ - Deffontaines

^۵ - Jackson

^۶ - Li

^۷ - Talling and Sowter

^۸ - Goldsworthy

^۹ - Simoni

^{۱۰} - Sung and Chen

^{۱۱} - Malik

^{۱۲} - Hamdouni

^{۱۳} - Index of Relative Active Tectonic

^{۱۴} - Guarnieri & Pirrotta

شاخص انشعابات، استفاده کرده و دریافتند که تکتونیک‌های فعال نظم شبکه زهکشی را بر هم می‌زنند و مقدار شاخص ناهنجاری زهکشی در حوضه‌های فعال از نظر تکتونیک‌ی بیش از حوضه‌های با فعالیت تکتونیک‌ی کم است. آلتین و آلتین ۱ (۲۰۱۰) مورفومتری شبکه زهکشی در زمین‌های آتشفشانی در آنتالیای ترکیه را مورد بررسی قرار دادند و اظهار نمودند که توسعه شبکه زهکشی به گسل و مقاومت سنگ‌ها وابسته است. در ایران نیز ملک (۱۳۷۷)، پورکرمانی و معتمدی (۱۳۸۱)، ذوالفقاری و همکاران (۱۳۸۴)، رادفر و پورکرمانی (۱۳۸۴)، رضایی مقدم و احمدی (۱۳۸۵)، گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶)، بیاتی خطیبی (۱۳۸۸)، زرگرزاده و همکاران (۱۳۸۸)، کرمی (۱۳۸۸ و ۱۳۹۱)، خاوری و همکاران (۱۳۸۹)، روستایی و نیری (۱۳۹۰)، مقصودی و همکاران (۱۳۹۰)، مونسی (۱۳۹۰)، پیراسته و همکاران (۲۰۱۱)، بهرامی (۱۳۹۲) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک نظیر گرادیان رودخانه، عدم تقارن آبراهه‌ها، تقارن توپوگرافی عرضی، تقعر مقطع طولی رودخانه، شاخص شکل حوضه، شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی و ... به ارزیابی تکتونیک فعال پرداختند.

با توجه به نقش به‌سزای فرآیندهای تکتونیک‌ی فعال در بسیاری از فعالیت‌های بشری همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه‌ها، سد‌ها، تأسیسات صنعتی و ... از سویی و مورد بررسی قرار نگرفتن شاخص‌های مربوط به ناهنجاری زهکشی در حوضه‌های خراسان رضوی و شمالی از سویی دیگر، در این پژوهش تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه زهکشی در چهار حوضه زهکشی در شمال شرق کشور مورد بررسی قرار گرفت. به طوری که علاوه بر شاخص‌هایی نظیر: Δa ، g_a و R از شاخص‌هایی همچون نسبت شکل حوضه (BS)، درصد عدم تقارن حوضه (PAF) و شاخص LSBW (نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه) نیز استفاده شده است.

منطقه مورد مطالعه

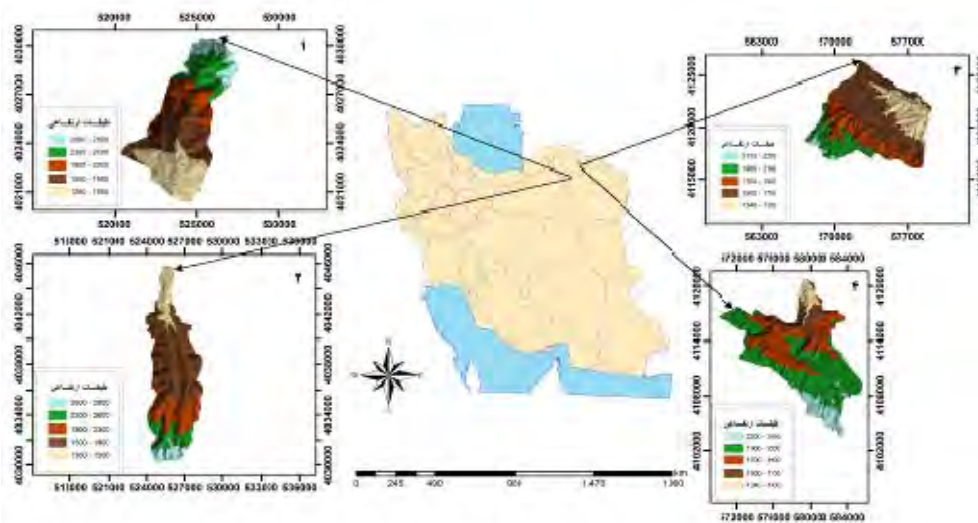
منطقه مورد مطالعه شامل ۴ حوضه در استان‌های خراسان رضوی و شمالی می‌باشد. حوضه‌های ۱ و ۲ به ترتیب با وسعت ۳۳/۱۲ و ۴۴/۵۲ در دامنه جنوبی و شمالی ارتفاعات جغتای واقع شده‌اند. حوضه‌ها دارای دو تیپ تشکیلات زمین‌شناسی است. دسته اول مربوط به تشکیلات افیولیتی است که نشان‌دهنده موقعیت برخورد صفحات توران در شمال و ایران در جنوب است. این دسته سنگ‌ها شامل مجموعه‌ای درهم از گدازه‌های آتشفشانی زیر دریایی گابرو، هارزبورژیت و سرپانتینیت‌های حاصل از دگرسانی دونیت و هارزبورژیت است. دسته دوم سنگ‌های رسوبی که شامل ماسه‌سنگ، مارن، شیل و کنگلومرا است که سن آن‌ها ائوسن گزارش شده است. منطقه سبزوار متشکل از افیولیت و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن می‌باشد که در شمال و جنوب به وسیله گسل‌های میامی و درونه محدود شده است (خلعتبری جعفری و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۱۰). افیولیت‌های جغتای جزئی از افیولیت‌های منطقه سبزوار است. افیولیت‌های جغتای از انواع متعلق به مزوزوئیک می‌باشند. در زمان کرتاسه در این ناحیه یک حوضه محدود ریفتی تشکیل شده است که ظاهراً در اواخر کرتاسه شروع به بسته شدن کرده است. افیولیت‌های مزبور روند شرقی-غربی دارند و از نظر ساختاری از چندین ورقه راندگی تشکیل شده‌اند. گسل‌های راندگی از مهم‌ترین عناصر ساختمانی در ناحیه می‌باشند. در حوضه ۱ گسل راندگی مهر، گسل راندگی کمیز، گسل راندگی کوه سفید و گسل تراستی سیاه‌کوه و در

حوضه ۲ گسل فتح‌آباد و گسل رامشین - حیطه باعث رانده شدن واحدهای مختلف بر روی یکدیگر شده‌اند. روند گسل‌های راندگی عمدتاً شمال‌غربی غرب-جنوب‌شرقی شرق و شیب آن‌ها متوسط تا کم است. حوضه‌های ۳ و ۴ نیز با مساحت ۷۶/۸۷ و ۱۰۸/۰۸ در دامنه شمالی ارتفاعات آلاداغ قرار گرفته‌اند. آهک‌های ژوراسیک و کرتاسه به ویژه در مغرب و مرکز، اسکلت اصلی توده آلاداغ را تشکیل می‌دهند. از نظر زمان شکل‌گیری، پایه اولیه شکل‌گیری این کوه‌ها را به فاز لارامید در اواخر کرتاسه نسبت می‌دهند که در آن فاز، برخورد صفحات گوناگون و متصل شدن آن‌ها این ارتفاعات را به وجود آورده است. در این حوضه‌ها نیز گسل نرمال گلیان و گسل راندگی زوارم و دیگر گسل‌های راندگی معکوس بی‌نظمی‌هایی را سبب گردیده‌اند.

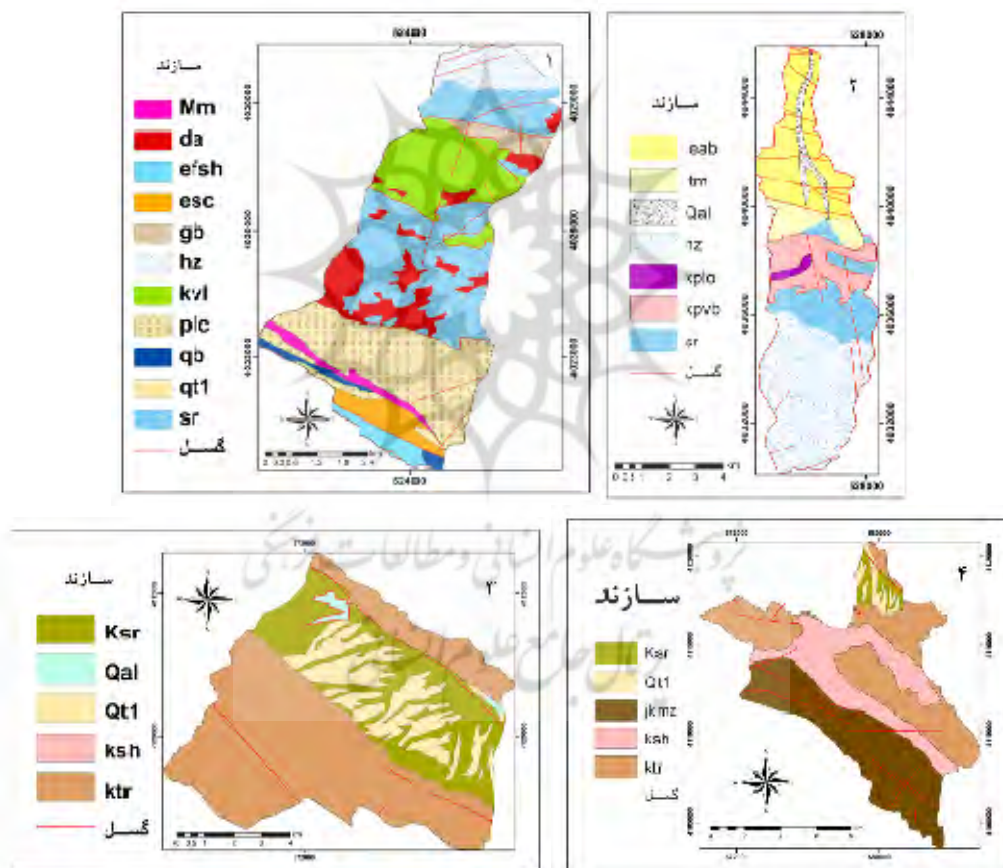
از نظر چینه‌شناسی حوضه ۱ شامل واحد هارزبورژیت، $6/54$ hz (درصد از کل مساحت)، سرپانتینیت، $30/42$ sr، گابرو $2/84$ gb، داسیت، آندزیت داسیتی، کوارتزتراکی آندزیت، $10/69$ da، آمیزه آتشفشانی دگرگونی، $15/55$ kvl، واحد ماسه سنگ و شیل، $2/51$ Efsh، واحد مارنی ائوسن، $2/29$ Mm، واحد کنگلومرایی پلیوسن، $23/33$ plc، واحد البوین-پیروکسن بازالت، $1/49$ Qb، واحد ماسه‌سنگ و کنگلومرای روشن، $4/01$ Esc، واحد مخروطه افکنه و پادگانه‌های قدیمی و مرتفع کواترنر، $0/33$ Qt1 (درصد از مساحت حوضه می‌باشد). حوضه ۲ نیز شامل واحدهای بازالت‌های آندزیتی تا بازالت‌های تراکی آندزیتی، $21/94$ Eab، برش آتشفشانی به همراه رسوبات کم عمق، $12/47$ Kpvb، گدازه‌های آندزیتی بازالت تا گدازه بالشی زیردریایی، $1/05$ Kplo، مخلوط تکتونیک، $6/92$ Tm، $38/24$ hz، $15/76$ sr، $3/62$ Qal و $1/37$ Qt1 (درصد از کل حوضه را شامل می‌شود). در حوضه ۳ نیز واحدهای آهک اربیتولین‌دار روشن نازک تا ضخیم لایه (سازند تیرگان-Ktr)، مارن سبز، آهک مارنی و آهک اربیتولین‌دار (سازند سرچشمه-ksf)، مارن سبز قرمز تا متمایل به صورتی (سازند شورجه-Ksh)، رسوبات آبرفتی در بستر آبراهه‌های بزرگ Qal، واحد مخروطه‌افکنه و پادگانه‌های قدیمی و مرتفع کواترنر Qt1 به ترتیب $58/99$ ، $24/59$ ، $0/07$ ، $1/06$ ، $15/29$ درصد از مساحت کل حوضه را در بر می‌گیرد. در حوضه ۴ واحدهای آهک خاکستری روشن تا سفید و آهک دولومیتی (سازند مزدوران-Jkmz) $34/63$ درصد، $23/63$ Ksh، $35/91$ Ktr، $2/96$ ksr و $2/87$ Qt1 دیده می‌شود. مشخصات کمی حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۱ موقعیت و شکل ۲ سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ مشخصات کمی حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

حوضه	مساحت km ²	محیط km	حد اکثر ارتفاع m	حد اقل ارتفاع m	شیب متوسط (درصد)	طول آبراهه اصلی km	ضریب فشردگی (گراولیوس)
۱	۳۳.۱۲	۲۸.۹۲	۲۸۰۰	۱۲۸۰	۳۳	۱۱.۲۴	۱.۴۰
۲	۴۴.۵۲	۳۹.۵۲	۲۸۰۰	۱۳۶۰	۲۷.۹	۱۶.۶۹	۱.۶۵
۳	۷۶.۸۷	۳۹.۵۳	۲۲۶۰	۱۳۴۰	۲۰.۴	۱۴.۴۱	۱.۲۶
۴	۱۰۸.۰۸	۶۳.۳۸	۲۴۶۰	۱۳۴۰	۲۲.۸	۲۵.۱۱	۱.۷۰



شکل ۱: موقعیت حوضه‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)



شکل ۲: سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

مواد و روش‌ها

پس از شناسایی ۴ حوضه آبخیز در محدوده کوه‌های جغتای و آاداغ-بینالود در Google Earth، بر اساس نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، اطلاعات توپوگرافی مانند سطوح ارتفاعی و شیب توپوگرافی استخراج گردید. همچنین جهت استخراج اطلاعات زمین‌شناسی منطقه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه

استفاده گردید. مورفومتری حوضه‌ها از جمله مساحت، محیط، ارتفاع حداکثر، حداقل و همچنین ارتفاع متوسط حوضه‌ها، طول و عرض حوضه‌ها، طول آبراهه اصلی و مساحت سمت بزرگ تر آبراهه اصلی و طول و تعداد آبراهه‌ها در درجات مختلف در محیط GIS محاسبه شد.

جهت محاسبه شاخصهای Δa ، g_a و R ابتدا رده بندی آبراهه‌ها بر اساس روش استراهلر انجام شد و تعداد آبراهه‌ها در محیط GIS محاسبه گردید. تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی (H_a) برای مسیرهای زهکشی ناهنجار بر اساس رابطه کمی بهرامی (۲۰۱۳) محاسبه شد. سپس شاخص‌های درصد عدم تقارن حوضه (PAF)، نسبت شکل حوضه (BS) و نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه (LSBW) جهت بررسی تأثیر تکتونیک در ناهنجاری زهکشی حوضه‌ها مورد محاسبه قرار گرفت. در نهایت میزان تأثیر تکتونیک بر ناهنجاری شبکه آبراهه‌ها در حوضه‌های مطالعاتی با استفاده از روابط خطی و ضریب همبستگی پارامترها تعیین و تجزیه و تحلیل شد.

یافته‌های تحقیق

شاخص‌های مربوط به ناهنجاری سلسله مراتبی شبکه زهکشی

با استفاده از بعضی از ویژگی‌های سلسله مراتبی شبکه‌های زهکشی، می‌توان به ناهنجاری‌های موجود در آبراهه‌های ناشی از تکتونیک، پی برد. در این پژوهش شاخص‌های زیر مورد بررسی قرار گرفته‌اند:

• شاخص Δa (شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی)

با وقوع حرکات تکتونیک، ناهنجاری عمده در مسیر جریان رودخانه‌ها به وجود می‌آید که می‌توان با بررسی کمی این ناهنجاری‌ها اثرات تکتونیک را تحلیل نمود. یکی از این شاخص‌ها که میزان ناهنجاری موجود در شبکه را نشان می‌دهد شاخص Δa (شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی) می‌باشد.

در سیستم شبکه زهکشی، هر آبراهه درجه ۱ اگر به آبراهه درجه ۲ وارد شود، نظم سلسله مراتبی دارد. اما، اگر آبراهه‌ای به آبراهه با درجه بعلاوه ۲ و بالاتر وارد شود ($1 \rightarrow 3$ ، $1 \rightarrow 4$ ، $2 \rightarrow 4$ ، $2 \rightarrow 5$ ، $3 \rightarrow 5$ ، $3 \rightarrow 6$ و غیره)، اتصال مذکور دارای ناهنجاری سلسله مراتبی است. بنابراین، به این آبراهه‌های درجه ۱ که ناهنجاری دارند، باید به صورت فرضی آبراهه‌هایی اضافه شود تا نظم سلسله مراتبی یابد. آونا و همکاران (۱۹۶۷) شاخصی به نام H_a (تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه) را تعریف کردند. به نظر آونا و همکاران، H_a عبارت است از حداقل تعداد آبراهه‌های درجه یک، که باید به طور فرضی به شبکه زهکشی اضافه شوند؛ تا اتصالات دارای نظم سلسله مراتبی شوند (به نقل از گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷). با توجه به مشکلات ناشی از محاسبه دستی H_a ، بهرامی (۲۰۱۳) رابطه کمی را ارائه داد. بدین صورت که در حالتی که یک آبراهه مبدأ (بعنوان مثال درجه ۱) به آبراهه بالاتر یا مقصد (بعنوان مثال درجه ۳) متصل شود، اگر آبراهه مبدأ i و آبراهه مقصد را j بنامیم، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی هر اتصال آبراهه ($H_{a_{i \rightarrow j}}$) از رابطه ۱ به دست می‌آید (بهرامی، ۲۰۱۳: ۹۱۸):

$$H_{a_{i \rightarrow j}} = 2^{(j-2)} - 2^{(i-1)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

بعد از محاسبه $Ha_{i \rightarrow j}$ ، تعداد آبراهه‌ها در هر اتصال ($Ns_{i \rightarrow j}$) به دست می‌آید. سپس از مجموع حاصل ضرب $Ha_{i \rightarrow j}$ و $Ns_{i \rightarrow j}$ ، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه برای کل حوضه (Ha_t) به دست می‌آید (بهرامی، ۲۰۱۳: ۹۱۸):

$$Ha_t = \sum (Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j}) \quad (\text{رابطه ۲})$$

ابتدا تعداد آبراهه‌ها با درجه مختلف حوضه تعیین شد (شکل ۳) و بعد از آن Ha_t محاسبه گردید. شاخص Ha_t محاسبه شده در ۴ حوضه مورد مطالعه بین ۲۸۲ در حوضه شماره ۱ و ۵۰۸ در حوضه شماره ۴ متغیر می‌باشد (جدول ۲).

بعد از محاسبه Ha_t ، شاخص Δa از رابطه زیر قابل محاسبه است (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷):

$$\Delta a = Ha_t / N1 \quad (\text{رابطه ۳})$$

در رابطه فوق:

Δa = شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی

Ha_t = تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی

$N1$ = تعداد واقعی آبراهه‌های رتبه یک می‌باشد.

هر چه مقدار شاخص ناهنجاری‌های سلسله مراتبی (Δa) بیشتر باشد نشان از تکتونیک بیشتر حوضه‌ها می‌باشد. در ۴ حوضه مورد مطالعه، بالاترین ناهنجاری زهکشی مربوط به حوضه‌های ۲ و ۱ (به ترتیب ۱/۷۲ و ۱/۴۲) می‌باشد. این امر بیانگر تکتونیک فعال تر این دو حوضه نسبت به حوضه‌های شماره ۳ و ۴ می‌باشد (جدول ۲).

• شاخص ga (تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی)

یکی دیگر از شاخص‌هایی که بر اساس آن می‌توان تأثیرات تکتونیکی را مورد تجزیه تحلیل قرار داد؛ شاخص ga (تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی) می‌باشد که از رابطه زیر به دست می‌آید (سیکاسی و همکاران، ۱۹۸۶: ۳۹):

$$ga = Ha_t / A \quad (\text{رابطه ۴})$$

ga = تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی

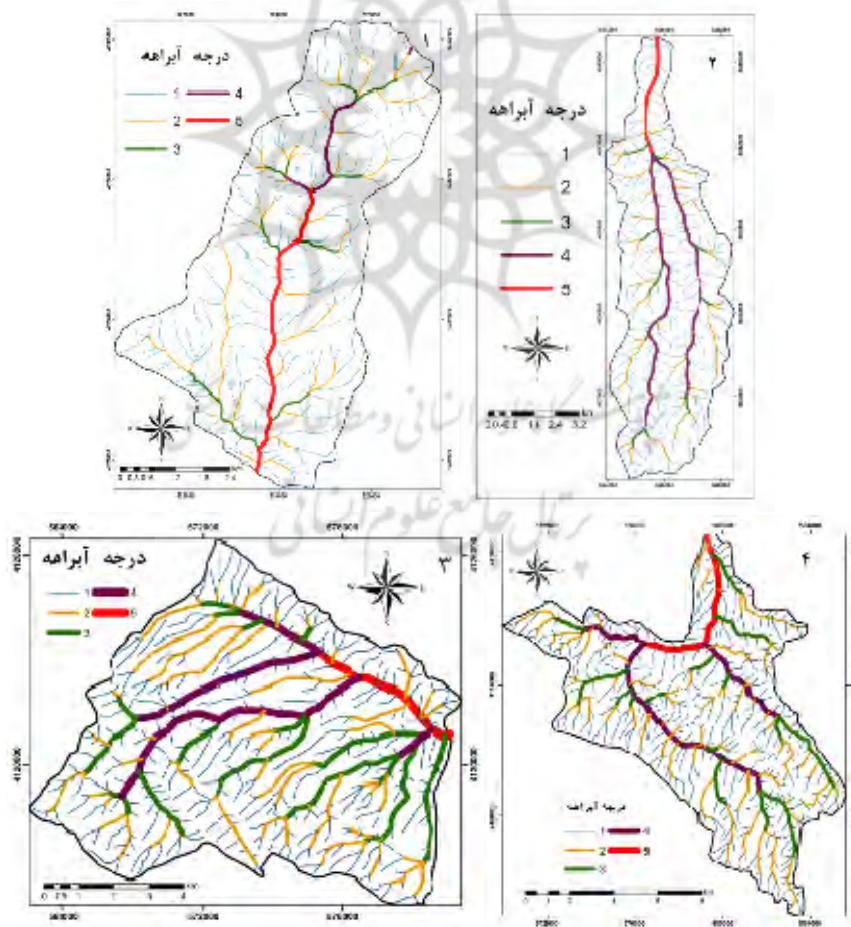
Ha_t = تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه برای کل حوضه

A = مساحت حوضه

مقدار این شاخص نیز در حوضه‌های مورد مطالعه محاسبه شد. بالاترین مقدار این شاخص مربوط به حوضه ۱ (۸/۹۸) و کم‌ترین آن مربوط به حوضه ۴ (۴/۷۰) می‌باشد. جدول ۲ پارامترهای Ha_t و Δa و ga و شکل ۳ شبکه آبراهه‌ها در حوضه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲: پارامترهای Ha و Δa در حوضه‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

مسیر	حوضه ۱ $(Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j})$	حوضه ۲ $(Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j})$	حوضه ۳ $(Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j})$	حوضه ۴ $(Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j})$
۱→۳	۳۰(۱)=۳۰	۱۳(۱)=۱۳	۷۳(۱)=۷۳	۷۱(۱)=۷۱
۱→۴	۸(۳)=۲۴	۷۲(۳)=۲۱۶	۴۷(۳)=۱۴۱	۵۸(۳)=۱۷۴
۱→۵	۲۲(۷)=۱۵۴	۱۷(۷)=۱۱۹	۲۴(۷)=۱۶۸	۲۷(۷)=۱۸۹
۱→۶	۰(۱۵)=۰	۰(۱۵)=۰	۰(۱۵)=۰	۰(۱۵)=۰
۲→۴	۵(۲)=۱۰	۱۵(۲)=۳۰	۵(۲)=۱۰	۲۴(۲)=۴۸
۲→۵	۸(۶)=۴۸	۳(۶)=۱۸	۶(۶)=۳۶	۳(۶)=۱۸
۲→۶	۰(۱۴)=۰	۰(۱۴)=۰	۰(۱۴)=۰	۰(۱۴)=۰
۳→۵	۴(۴)=۱۶	۱(۴)=۴	۱(۴)=۴	۲(۴)=۸
Ha	۲۸۲	۴۰۰	۴۳۲	۵۰۸
Δa	۲۸۲/۱۹۸=۱.۴۲	۴۰۰/۳۳۲=۱.۷۲	۴۳۲/۳۳۱=۱.۳۰	۵۰۸/۴۲۶=۱.۱۹
ga	۸.۵۱	۸.۹۸	۵.۶۱	۴.۷۰



شکل ۳: نقشه شبکه آبراهه‌ها در حوضه‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

• شاخص انشعابات (R)

شاخص انشعاب (رابطه ۵) با وجود ناهنجاری‌ها در شبکه زهکشی در ارتباط است. شاخص مذکور اطلاعات مفیدی را در مورد تیپولوژی فرآیندهای فعال فرسایشی و درجه تحول حوضه ارائه می‌دهد (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷):

$$R = Rb - Rbd \quad \text{رابطه (۵)}$$

شاخص انشعابات از عدد نسبت انشعابات حوضه (Rb) منهای نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) حوضه به دست می‌آید (بارونی^۱ و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۲۳). با افزایش درجه تأثیر عوامل تکتونیکی در حوضه‌ها، مقدار شاخص مذکور افزایش می‌یابد.

جهت محاسبه شاخص انشعابات ابتدا باید نسبت انشعابات (Rb) و سپس نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) محاسبه گردد. نسبت انشعاب (Rb) با استفاده از رابطه ۶ قابل محاسبه است:

$$Rb(u-u+1) = Nu/Nu+1 \quad \text{(رابطه ۶)}$$

در این رابطه:

Rb = نسبت انشعاب

Nu = تعداد آبراهه‌های رتبه ویژه

Nu+1 = تعداد آبراهه‌های رتبه بالاتر می‌باشد (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸: ۳۲-۳۰)

به عبارت دیگر نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه از تقسیم تعداد کل آبراهه‌های آن درجه بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر به دست می‌آید. نسبت انشعابات کل حوضه از میانگین Rb کل درجات محاسبه می‌شود (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷).

نسبت انشعابات برای حوضه ۱ (۳/۹۷۸)، ۲ (۴/۲۰۱)، ۳ (۴/۳۲۴) و ۴ (۴/۶۸۲) محاسبه گردید (جدول ۳).

جدول ۳: تعداد آبراهه‌ها و نسبت انشعابات در حوضه‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

حوضه	۱	۲	۳	۴
درجه آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه
۱	۱۹۸	۲۳۲	۳۳۱	۴۲۶
۲	۴۲	۴۳	۶۰	۷۳
۳	۱۰	۱۱	۱۷	۱۶
۴	۲	۲	۴	۳
۵	۱	۱	۱	۱
۶	۰	۰	۰	۰
Rb	۳.۹۷۸	۴.۲۰۱	۴.۳۲۴	۴.۶۸۲

^۱ -Baroni

نسبت مستقیم انشعاب (Rbd)

شاخص Rbd از رابطه ۷ محاسبه می‌شود (بارونی و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۲۳):

$$Rbd(u-u+1)=Ndu/Nu+1 \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن

Rbd = نسبت مستقیم انشعاب

Ndu = تعداد آبراهه‌های رتبه ویژه که به رتبه بالاتر جریان می‌یابند

Nu+1 = تعداد آبراهه‌های رتبه بالاتر می‌باشد

با افزایش فعالیت تکتونیک، مقدار شاخص انشعابات در حوضه‌ها افزایش می‌یابد. مقدار R در حوضه‌های مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: تعداد آبراهه‌های هر درجه که به طور مستقیم به درجه بالاتر می‌ریزند، نسبت مستقیم انشعابات و مقادیر R در حوضه‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

حوضه	۱	۲	۳	۴
مسیر آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه
۱→۲	۱۳۸	۱۳۰	۱۸۹	۲۷۰
۲→۳	۲۹	۲۵	۴۹	۴۶
۳→۴	۶	۱۰	۱۶	۱۴
۴→۵	۲	۲	۴	۳
۵→۶	۰	۰	۰	۰
Rbd	۲.۷۹۶	۳.۰۷۳	۳.۵۰۸	۳.۵۶۰
R=Rb-Rbd	۱.۱۸	۱.۱۳	۰.۸۱	۱.۱۲

• شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF)

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) به کج شدگی زمین بر اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی دلالت دارد. باید توجه داشت که بخش راست و چپ حوضه را باید در جهت جریان رودخانه در نظر گرفت. اگر مقدار عددی این شاخص در حدود ۵۰ باشد، بیانگر وجود تقارن در دو سمت آبراهه اصلی و در نتیجه عدم فعالیت تکتونیک است. اگر مقدار عددی به دست آمده شاخص شاخص AF بزرگ‌تر از ۵۰ باشد بیانگر بالآمدگی در سمت راست آبراهه اصلی است و اگر میزان شاخص کوچک‌تر از ۵۰ باشد بیانگر بالآمدگی در سمت چپ آبراهه اصلی است. شاخص عدم تقارن حوضه (AF) از تقسیم Ar (مساحت سمت راست رودخانه اصلی حوضه با نگاه از بالادست به سمت پائین‌دست) بر At (مساحت کل حوضه) ضرب‌در ۱۰۰ به دست می‌آید (کلمنت و بروک، ۲۰۰۸: ۱۷۹۸).

در این پژوهش شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF) مورد استفاده قرار گرفته است؛ که بدون در نظر گرفتن کج‌شدگی تکتونیک به سمت راست یا چپ، صرفاً درصد کج‌شدگی را نشان می‌دهد که از رابطه ۸ محاسبه می‌شود (بهرامی، ۲۰۱۳: ۹۱۸):

$$\text{PAF} = \text{ALS} / \text{At} \times 100 \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در آن، ALS مساحت سمت بزرگ تر رودخانه اصلی حوضه و At مساحت کل حوضه به کیلومتر مربع است. مقدار این شاخص از ۵۰ تا ۱۰۰ متغیر است. صرف نظر از کج شدگی تکتونیکی به سمت راست یا چپ حوضه‌ها، هر چه مقدار شاخص PAF به ۱۰۰ نزدیک تر باشد، کج شدگی تکتونیکی حوضه بیشتر است. بیشترین مقدار PAF مربوط به حوضه شماره ۲ (۵۷/۰۱) و کم ترین مقدار این شاخص در حوضه شماره ۳ (۵۰/۳۵) می باشد. به طور کلی بر اساس شاخص مذکور، درصد کج شدگی تکتونیکی حوضه‌های ۲ و ۱ بیشتر از سایر حوضه‌ها می باشد. مقدار شاخص مذکور برای حوضه‌های مطالعاتی در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵: شاخص کج شدگی (PAF) در حوضه‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

حوضه	۱	۲	۳	۴
شاخص PAF	۵۳.۶۱	۵۷.۰۱	۵۰.۳۵	۵۰.۹۳

• نسبت شکل حوضه (BS)

شاخص BS از رابطه ۹ بیان می گردد:

$$\text{BS} = \text{Bl} / \text{Bw} \quad \text{که در آن} \quad (\text{رابطه ۹})$$

BS = شاخص شکل حوضه

Bl = اندازه طول حوضه از انتهای ترین مقسم آب تا خروجی حوضه

Bw = پهنای حوضه در پهن ترین قسمت

حوضه های فعال تکتونیکی، شکل کشیده‌ای دارند. شکل حوضه در طول زمان با توقف میزان بالآمدگی، به تدریج دایره می شود (بوربانک و آندرسون ۱، ۲۰۰۱: ۲۰۳). مقادیر بالای این شاخص مشخص کننده مناطق فعال زمین ساختی است در حالی که مقادیر کوچک آن در حوضه‌های دایره‌ای شکل نواحی غیرفعال را نشان می دهد. زمانی که فعالیت زمین ساختی کم یا متوقف می شود عریض شدگی رخ می دهد و زمانی که پیشانی کوهستانی سریع بالا می آیند، حوضه‌های کشیده و تند را ایجاد می کنند (ده بزرگی و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۳۵). حوضه شماره ۲ به دلیل طویل بودن، بیشترین مقدار شاخص BS را به خود اختصاص داده است (۳/۸۰۱). در حالی که حوضه شماره ۳ که از لحاظ شکل حوضه شبیه دایره می باشد، کم ترین مقدار BS را (۱/۳۱۱) در حوضه‌های مورد مطالعه دارد (جدول ۶).

جدول ۶: مقادیر نسبت شکل حوضه (BS) در حوضه‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

حوضه	۱	۲	۳	۴
شاخص BS	۱.۹۳۳	۳.۸۰۱	۱.۳۱۱	۱.۵۵۸

• نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه (LSBW)

از دیگر شاخص‌های مربوط به شکل حوضه، شاخص نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه (LSBW) می‌باشد. شاخص مذکور نیز مانند شاخص شکل حوضه (BS) می‌تواند بیانگر تکتونیک فعال در حوضه باشد؛ به نحوی که بالا بودن مقدار این شاخص، نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی بالا در منطقه است. این شاخص به صورت رابطه کمی زیر (رابطه ۱۰) محاسبه می‌شود:

$$\text{LSBW} = \text{LS}/\text{MBW} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

که در آن

$$\text{LSBW} = \text{نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه}$$

$$\text{LS} = \text{طول آبراهه اصلی}$$

$$\text{MBW} = \text{متوسط عرض حوضه}$$

این شاخص در حوضه‌های مطالعاتی مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت. بیشترین مقدار این شاخص مربوط به حوضه ۲ برابر با (۵/۷۹) و کم‌ترین مقدار این شاخص در حوضه ۳ برابر با (۲/۴۹) می‌باشد؛ که بیانگر کشیدگی و فعالیت بیشتر تکتونیکی حوضه ۱ نسبت به سایر حوضه‌ها می‌باشد.

جدول ۷: نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه (منبع: نگارندگان)

شاخص LSBW (نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه)	حوضه
۳.۳۸۵	۱
۵.۷۹۳	۲
۲.۴۹۲	۳
۳.۴۸۱	۴

بحث

جهت بررسی نقش تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه زهکشی ۴ حوضه زهکشی انتخاب شد. شاخص‌هایی نظیر ناهنجاری سلسله مراتبی، تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی، انشعابات، درصد عدم تقارن حوضه، نسبت شکل حوضه و نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه مورد استفاده قرار گرفت. مقادیر بالای Δa نشان از تکتونیک فعال حوضه‌ها می‌باشد. بالاترین مقدار شاخص Δa در حوضه‌های مورد مطالعه مربوط به حوضه شماره ۲ (۱/۷۲) و پایین‌ترین مقدار Δa مربوط به حوضه شماره ۴ (۱/۱۹) می‌باشد. بیشترین مقدار g_a نیز به ترتیب مربوط به حوضه‌های شماره ۲ (۸/۹۸۳)، ۱ (۸/۵۱۲)، ۳ (۵/۶۱۹) و ۴ (۴/۷۰) می‌باشد. مقادیر بالای PAF نیز حاکی از کج‌شدگی حوضه‌ها می‌باشد. بیشترین مقدار کج‌شدگی به ترتیب در حوضه‌های ۲، ۱، ۴ و ۳ (به ترتیب ۵۷/۰۱، ۵۳/۶۱، ۵۰/۹۳ و ۵۰/۳۵) می‌باشد. مقادیر بزرگ شاخص BS، شکلی کشیده و فعالیت بالای تکتونیک و مقادیر کوچک آن حوضه‌های دایره‌ای شکل و نواحی غیرفعال را نشان می‌دهد. شاخص مذکور در حوضه شماره ۲ (۳/۸۰۱) بیشترین فعالیت تکتونیکی و در حوضه شماره ۳ (۱/۳۱۱) کم‌ترین فعالیت تکتونیکی را نشان می‌دهد. از دیگر شاخص‌های مربوط به شکل حوضه که می‌تواند بیانگر تکتونیک فعال در حوضه باشد شاخص LSBW (نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه) می‌باشد. بالاترین مقدار شاخص مذکور در حوضه‌های مطالعاتی مربوط به حوضه شماره ۲ (۵/۷۹۳) و

پایین ترین مقادیر این شاخص مربوط به حوضه شماره ۳ (۲/۴۹۲) می باشد که به ترتیب بیشترین و کم ترین فعالیت تکتونیکی را دارا می باشند.

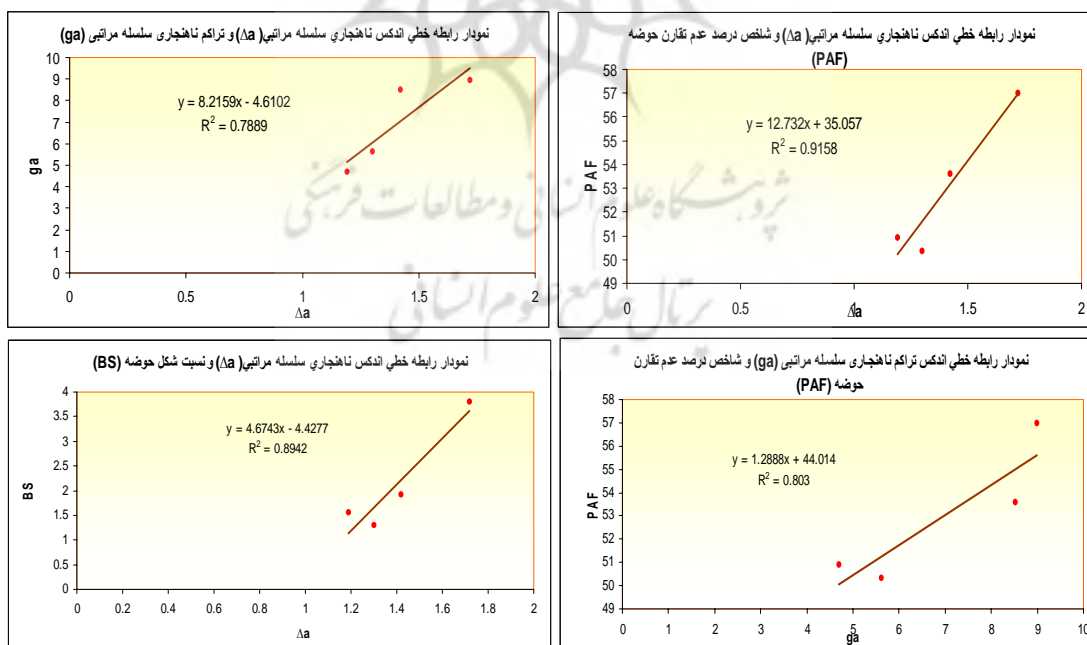
ضریب همبستگی و ضریب تبیین بین پارامترهای مختلف و رابطه خطی آن ها ترسیم گردید (جدول ۸). همان گونه که جدول ۸ نشان می دهد. رابطه مستقیمی بین پارامتر Δa و پارامترهای ga , PAF, BS و LSBW در حوضه های مطالعاتی وجود دارد. همچنین رابطه مستقیمی بین پارامتر ga و پارامترهای PAF, BS, R. LSBW در حوضه های مطالعاتی وجود دارد.

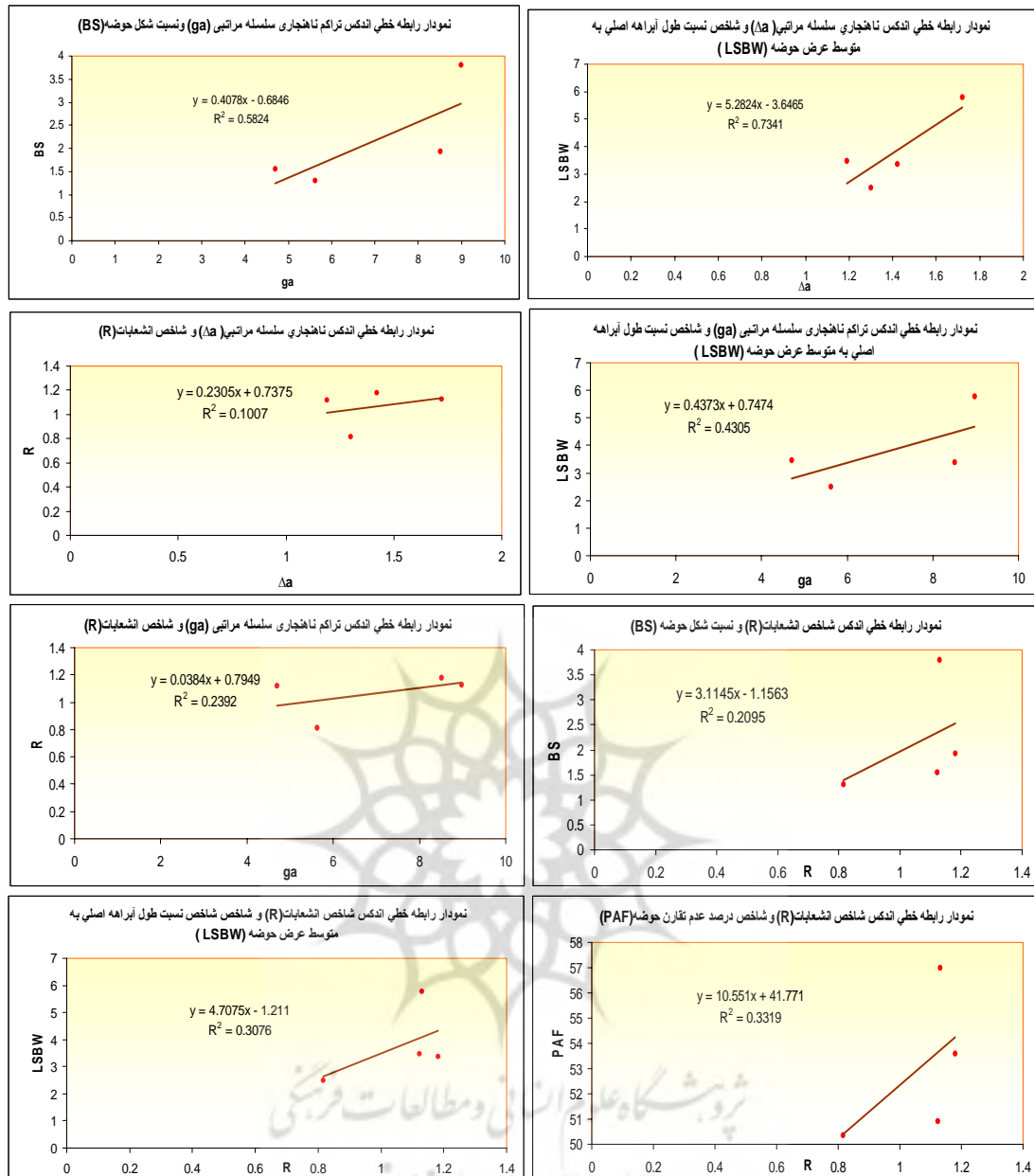
ارزیابی شاخص های Δa , ga و R و ارتباط آن ها با شاخص های دیگر، نشان از کارایی بالای شاخص Δa و ga در مقایسه با شاخص R برای شناسایی تکتونیک فعال حوضه های زهکشی می باشد. شکل ۴ رابطه خطی و مقدار ضریب تبیین بین Δa و ga و با پارامترهایی نظیر PAF, BS, R, LSBW را نشان می دهد.

جدول ۸: رابطه خطی و مقدار ضریب تبیین و ضریب همبستگی بین شاخص های مورد استفاده در حوضه های

مطالعاتی (منبع: نگارندگان)

شاخص	شاخص Δa		شاخص ga	
	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب همبستگی	ضریب تبیین
ga	۰.۸۸۸	۰.۷۸۸		
PAF	۰.۹۵۷	۰.۹۱۵	۰.۸۹۷	۰.۸۰۳
BS	۰.۹۴۶	۰.۸۹۴	۰.۷۶۴	۰.۵۸۲
LSBW	۰.۸۵۶	۰.۷۳۴	۰.۶۵۶	۰.۴۳۰
R	۰.۳۱۷	۰.۱۰	۰.۴۹۱	۰.۲۳۹





شکل ۴: رابطه خطی و مقدار ضریب تبیین بین ga ، Δa و R و پارامترهای BS ، $LSBW$ ، PAF در حوضه‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش جهت بررسی تأثیر تکتونیک‌های فعال بر مورفومتری شبکه زهکشی، ابتدا ۴ حوضه آبخیز انتخاب شد. حوضه ۱ و ۲ در دامنه شمالی و جنوبی کوه‌های جغتای و حوضه ۳ و ۴ در دامنه شمالی ارتفاعات آلاداغ واقع شده‌اند. سپس ویژگی‌های مورفومتری با استفاده از شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa)، تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی (ga)، پارامترهای شاخص انشعابات (R)، شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF)، نسبت شکل حوضه (BS) و نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه ($LSBW$) در آن مورد بررسی قرار گرفت. الگوی زهکشی در حوضه‌های مورد مطالعه، الگوی شبکه درختی و در برخی نقاط الگوی راست‌گوشه است. الگوی راست‌گوشه در مناطقی که گسل‌ها همدیگر را قطع می‌کنند به وجود می‌آید. بنابراین، الگوی زهکشی حوضه‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده تأثیر بالای تکتونیک در شبکه‌های زهکشی است. پارامترهای به کار رفته در این پژوهش نشان از حساسیت این شاخص‌ها در برابر حرکات تکتونیکی فعال می‌باشد؛ که می‌تواند شواهد و مدارک قابل استنادی برای اثبات وجود حرکات نئوتکتونیکی باشد. بر اساس این پارامترها تمام حوضه‌های مطالعاتی، از نظر تکتونیکی فعال هستند اما بیشترین فعالیت تکتونیکی به ترتیب در حوضه‌های شماره ۲ و ۱ و ۴ و کم‌ترین مربوط به حوضه شماره ۳ می‌باشد.

به طور کلی شاخص‌های مورفومتری مربوط به تکتونیک فعال می‌تواند مورد استفاده برنامه‌ریزان برای بسیاری از فعالیت‌های بشری همچون طراحی و احداث سدها، شهرها، نیروگاه‌ها و ... قرار گیرند. با شناسایی حرکات تکتونیکی و با استفاده از برنامه‌ریزی جامع، می‌توان خطرات ناشی از تکتونیک‌های فعال را کاهش داد.

به دلیل نقایص موجود در بانک اطلاعات لرزه‌شناسی در نقاط مختلف جهان و به ویژه ایران و صرفه اقتصادی استفاده از شاخص‌های ناهنجاری زهکشی، ضرورت چنین بررسی‌هایی بیشتر از پیش احساس می‌گردد. لذا، آشنا شدن هر چه بیشتر محققین و برنامه‌ریزان کشورمان با فعالیت‌های تکتونیکی و شناسایی نواحی فعال تکتونیکی ضروری به نظر می‌رسد.

فهرست منابع:

- ۱- بهرامی، شهرام، ۱۳۹۲، معرفی روشی کمی جهت بررسی ناهنجاری سلسله مراتبی شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک، مطالعه موردی: حوضه آبخیز زاگرس، بیستمین همایش ملی ژئوماتیک. تهران.
- ۲- بیاتی‌خطیبی، مریم، ۱۳۸۸، تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیک در حوضه آبخیز قرنق‌چای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک، مجله فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره ۲۵، صص ۲۳-۵۰.
- ۳- پورکرمانی، محسن و حسین، معتمدی، ۱۳۸۱، روش‌های زمین‌شناسی ساختمانی، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- ۴- خاوری، رضوان، قرشی، منوچهر، آری، مهران و خسرو، خسرو تهرانی، ۱۳۸۹، نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال حوضه رودخانه کرج در دامنه جنوبی البرز مرکزی، شمال ایران، علوم زمین، سال نوزدهم، شماره ۷۵، صص ۶۷-۷۴.
- ۵- ذوالفقاری، مهدی، پیروان، حمیدرضا، غیومیان، جعفر و سهیلا، بوذری، ۱۳۸۴، بررسی نقش تکتونیک فعال بر الگوی شبکه آبراه‌های نیمه جنوبی حوضه آبخیز حاج علیقلی (جنوب شرقی دامغان)، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین.
- ۶- رادفر، شهباز و محسن، پورکرمانی، ۱۳۸۴، ریخت زمین‌ساخت گسل کوهبنان، مجله علوم زمین، سال پانزدهم، شماره ۵۷، صص ۱۶۶-۱۸۳.
- ۷- رضائی مقدم، محمدحسین و محمد، احمدی، ۱۳۸۵، تحلیل ژئومورفولوژی کمی الگوی زهکشی شبکه آبراه‌های به کمک زاویه برخورد آن‌ها در زیر حوضه سرباس استان کرمانشاه، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۱، صص ۸۴-۹۸.
- ۸- روستایی، شهرام و هادی، نیری، ۱۳۹۰، تحلیل کمی تأثیر لیتولوژی و تکتونیک بر پروفیل طولی رودخانه در حوضه آبخیز رودخانه مهاباد، جغرافیا و توسعه، سال نهم، شماره ۲۴، صص ۱۳۷-۱۵۳.
- ۹- زرگرزاده، مرضیه، رنگزن، کاظم، چرچی، عباس و احسان، آبشیرینی، ۱۳۸۸، کاربرد GIS و شاخص‌های ژئومورفیک در پهنه‌بندی تکتونیک فعال زون زاگرس، همایش ژئوماتیک، صص ۱۰-۱.
- ۱۰- غلامی، یوسف، ۱۳۸۹، بررسی ژئومورفولوژی تکتونیک در تافدیس گلپایه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی گرایش ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه تربیت معلّم سبزوار.
- ۱۱- کرمی، فریبا، ۱۳۸۸، ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیک در حوضه زهکشی سعیدآباد چای، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۹، صص ۶۷-۸۲.
- ۱۲- کرمی، فریبا، ۱۳۹۱، ارزیابی نسبی تکتونیک فعال با استفاده از روش‌های مورفومتری در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند، فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، سال دوازدهم، سال دوازدهم، شماره ۳۷، صص ۱۸-۱.

- ۱۳- گورابی، ابوالقاسم و احمد، نوحه‌گر، ۱۳۸۶، شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، صص ۱۹۶-۱۷۷.
- ۱۴- مقصودی، مهران، جعفری اقدم، مریم، باقری سید شکری، سجاد و مسعود، مینایی، ۱۳۹۰، بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، جغرافیا و توسعه، سال نهم، شماره ۲۵، صص: ۱۱۱-۱۳۶.
- ۱۵- ملک، علیرضا، ۱۳۷۷، کاربرد شاخص‌های مورفومتریکی در مطالعات نئوتکتونیک بخش‌های جنوبی البرز مرکزی، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- ۱۶- مونسیان، قاسم، ۱۳۹۰، بررسی تأثیرات تکتونیک گسل کمایستان بر شبکه آبه‌ها و مخروط افکنه‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در دامنه‌های شمالی ارتفاعات جغتای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی گرایش ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه تربیت معلّم سبزوار.
- 17- Altin, T.b., Altin, B.N., 2011. *Development and morphometry of drainage network in volcanic terrain, CentralAnatolia, Turkey. Geomorphology, Vol. 125, 485-503.*
- 18- Avena, G.C., Giuliano, G., Lupia Palmieri, E., 1967. *Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali. Boll. Soc. Geol. Ital, Vol. 86, 781-796*
- 19- Bahrami, s., 2013. *Analyzing the drainage system anomaly of Zagros basins: Implications for active tectonics. Tectonophysics, Vol. 608, 914-928.*
- 20- Baroni, C., Noti, V., Ciccacci, S., Righini, G., Salvatore, M.C., 2005. *Fluvial origin of the valley system in northern Victoria Land (Antarctica) from quantitative geomorphic analysis. GSA Bulletin, Vol. 117, 212-228.*
- 21- Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2001. *Tectonic Geomorphology, Blackwell Science, 274 pages.*
- 22- Ciccacci, S., Fredi, P., Lupia Palmieri, E., Pugliese, F., 1986. *Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters. International Geomorphology, Vol. 2, 33-48.*
- 23- Clement, A.J.H., Brook, M.S., 2008. *Tilting of active folds and drainage asymmetry on the Manawatu Anticlines, New Zealand: a preliminary investigation. Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 33, pp. 1787-1795.*
- 24- Deffontaines, B., Chotin, P., Air Brahim, L., Rozanov. M., 1992. *Investigation of active faults in Morocco using morphometric methods and drainage pattern analysis. Geologische Rundschau, Vol. 81, 199-210.*
- 25- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, H., Hosseinias, H., 2010. *Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran, Geomorphology, Vol. 121, 329-341.*
- 26- Goldsworthy, M., Jackson, J., 2000. *Active normal fault evolution in Greece revealed by geomorphology and drainage pattern. Journal of the Geological Society, London, Vol. 157, 967- 981.*
- 27- Guarnieri, P., Pirrotta, C., 2008. *The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily). Geomorphology, Vol. 95, 260-273.*
- 28- Hamdouni, R.El., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller, E.A 2008. *Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). Geomorphology. Vol. 96, 150-173*
- 29- Hare, P. H., Gardner, T.W. M., 1985. *Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica, In Tectonic Geomorphology, Morisawa, M, Hach, J. T (eds). Allen and Unwin, Boston, 75-104.*

- 30- Jackson, J., Van Dissen, R., Berryman, K., 1998. **Tilting of active folds and faults in the Manawatu region, New Zealand: evidence from surface drainage patterns.** *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, Vol. 41, 377–385.
- 31- Khalatbari Jafari, M., Babaie, H.A., Gani, M., 2013. **Geochemical evidence for Late Cretaceous marginal arc-to-backarc transition in the Sabzevar ophiolitic extrusive sequence, northeast Iran.** *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 70–71, 209–230.
- 32- Li, Y., Yang, J., Tan, L., Duan, F., 1999. **Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi corridor, Northwest China.** *Geomorphology*, Vol 28. 299-308.
- 33- Malik, J., Mahanty, C., 2007. **Active tectonic influence on the evolution of drainage and Landscape: Geomorphic signatares From Frontal and hinterl and areas along the Nortwestern Himalaya, Indi.** *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 29, 604–618.
- 34- Piraste, S., Pradhan, B., Rizvi, S.M., 2011. **Tectonic process analysis in Zagros Mountain with the aid of drainage networks and topography maps dated 1950–2001 in GIS.** *Arabian Journal of Geoscience*, Vol. 4, 171-180.
- 35- Ribolini, A., Spagnolo, M., 2008. **Drainage network geometry versus tectonics in the Argentera Massif (French–Italian Alps),** *Geomorphology*, Vol. 93 253–266.
- 36- 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.
- 37- Sung, O., Chen, Y.C., 2004. **Geomorphic evidence and kinematic model for quaternary transfer faulting of the Pakuashan anticline, central Taiwan.** *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 24, 389–404.
- 38- Talling, P., Sowter, M.J., 1999. **Drainage density on progressively tilted surfaces with different gradients, Wheeler Ridge, California.** *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 24, 809-824.
- 39- Zuchiewicz, W., 1998. **Quaternary tectonics of the Outer West Carpathians, Poland.** *Tectonophysics*, Vol. 297, 121–132