

## کارایی شاخص‌های ژئومورفومتری شبکه زهکشی جهت ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه‌های باغرود، بوژان، زاوین و سررود در شمال شرق کشور

شهرام بهرامی<sup>۱</sup>، ابراهیم تقوی مقدم<sup>۲\*</sup>، محمدعلی زنگنه اسدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه شهید بهشتی تهران

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری

<sup>۳</sup> دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲

### چکیده

اندازه‌گیری‌های کمی عوارض زمین این امکان را به ژئومورفولوژیست‌ها می‌دهد، تا با اعمال شاخص‌های ژئومورفولوژیکی بر عوارض سطح زمین، نقش تکتونیک فعال را در تغییر شکل چشم‌اندازها بررسی کنند. استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتری برای تعیین و تشخیص تکتونیک‌های فعال دارای اهمیت زیادی است. واحد زمین‌شناسی کپه داغ - هزار مسجد و آلاداغ - بینالود از پویاترین و فعال‌ترین واحدهای زمین‌شناسی ایران محسوب می‌شود. در این تحقیق چهار حوضه باغرود و بوژان در زون آلاداغ - بینالود و حوضه‌های زاوین و سررود در زون ساختمانی کپه داغ - هزارمسجد جهت ارزیابی تکتونیک فعال انتخاب شد. به این منظور از شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی ( $\Delta a$ )، تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی ( $ga$ )، شاخص انشعابات ( $R$ )، شاخص زاویه برخورد ( $CA$ )، شاخص درصد عدم تقارن حوضه ( $PAF$ ) و شاخص تضاریس جبهه کوهستان ( $Smf$ ) استفاده شد. بدین ترتیب از نظر شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی حوضه‌های سررود و بوژان به ترتیب با مقادیر  $1/948$  و  $1/841$  دارای بیشترین مقدار  $\Delta a$  می‌باشند، در مورد شاخص  $R$  حوضه سررود با  $2/176$  و زاوین با  $1/891$  دارای بیشترین میزان  $R$  و حوضه‌های باغرود با  $1/872$  و بوژان با  $1/573$  کمترین مقادیر  $R$  را به خود اختصاص دادند. محاسبه شاخص زاویه برخورد آبراهه‌ها ( $CA$ ) نشان داد حوضه آبخیز زاوین  $67/73$  درجه، حوضه سررود  $59/29$ ، حوضه بوژان  $58/74$  و حوضه باغرود  $56/09$  درجه است و مقادیر بالای زاویه آبراهه‌ها در حوضه‌های زاوین و سررود بیانگر تغییرات مسیر جریان آبراهه‌ها مانند اسارت رود و در نتیجه حرکات تکتونیک در دامنه طاق‌دیس خور می‌باشد. همچنین مقادیر  $smf$  و ( $PAF$ ) نیز نشان می‌دهد حوضه‌های واقع در رشته کوه کپه‌داغ دارای حرکات تکتونیک بیشتری نسبت به حوضه‌های انتخاب شده از رشته‌کوه بینالود می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** ژئومورفومتری، تکتونیک، بینالود، شبکه زهکشی، کپه داغ

### مقدمه

بیانگر این موضوع است که بخش اعظم آن تحت تاثیر تکتونیک‌های فعال قرار دارد و از شواهد این امر می‌توان وجود زلزله‌های مخرب، گسل‌ها و شکستگی‌های مختلف را نام برد. بنابراین ارزیابی و بررسی فرآیندهای تکتونیک فعال و اثرات ناشی از آن همچون زمین‌لرزه‌ها برای بسیاری از فعالیتهای بشری همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه‌ها، سد‌ها، تأسیسات صنعتی و غیره اهمیت بسیاری دارد تا به واسطه آن به توان خطرات و خسارات ناشی از این‌گونه فرآیندهای فعال را به حداقل ممکن رساند. دانشی که

واژه تکتونیک اشاره به ساختمان‌های تغییرشکل یافته و معماری خارجی‌ترین بخش زمین و ارزیابی این عوارض و ساخت‌ها در طول زمان زمین‌شناسی دارد. تکتونیک فعال به صورت حرکات نفوذتکتونیک که احتمال وقوع آنها در زمان آتی بوده و جوامع بشری را تهدید می‌نمایند، تعریف شده است (داگلاس<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱: ۱۳).  
قرارگیری ایران در کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا

\* نویسنده مسئول: taghavi21@yahoo.com

نسبت به وقوع تغییرات ناگهانی که اغلب ناشی از تکتونیک می‌باشد و تحلیل آنها با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک، که از شاخص‌های مناسب برای بررسی تاثیر تکتونیک بر رودخانه‌ها محسوب می‌شوند اظهار نظر و به نتایج حاصل از آنها استناد نمود (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸: ۲۵).

ژئومورفولوژیست‌ها از چند دهه قبل، از داده‌های مورفومتری یا پارامترهای کمی حوضه‌های زهکشی جهت تحلیل تکتونیک‌های فعال در سراسر دنیا استفاده کرده‌اند. از تحقیقات انجام شده در این زمینه از جمله:

لی<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۹۹)، به بررسی تکتونیک فعال در رسوبات آبرفتی شمال غرب چین پرداخته و برش در مخروطه‌افکنه‌های قدیمی و تغییر مسیر آبراهه را از مهم‌ترین شواهد تکتونیک فعال معرفی می‌کند. جیمسون<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۴)، به بررسی تکتونیک در دامنه جنوبی هیمالیا و ۶۲ حوضه آن پرداخته و عملکرد گسل‌های شرق-غربی این دامنه را در بالآمدگی دامنه جنوبی و افزایش فرسایش و رسوب در منطقه موثر تشخیص داده‌اند. چن و سونگ<sup>۵</sup> (۲۰۰۳)، به ارزیابی تکتونیک فعال با استفاده از داده‌های ارتفاعی و منحنی هیپسومتریک در ارتفاعات غرب تایوان پرداخته و تغییر شکل دره‌ها و رژیم رسوبی رودخانه‌ها را از مهم‌ترین شواهد تکتونیک منطقه معرفی کرده است.

از جمله مطالعاتی که به طور اخص در مورد شبکه‌های زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک می‌توان به تحقیقات، سیکاسی<sup>۶</sup> و همکاران (۱۹۸۶) اشاره نمود. آنها شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی را به صورت نسبت حداقل آبراهه‌های درجه یک (که باید به شبکه زهکشی اضافه شوند تا شبکه‌ها دارای یک نظم سلسله مراتبی شوند) به تعداد کل آبراهه‌های درجه یک موجود در حوضه تعریف کردند. مایر<sup>۷</sup> (۲۰۰۳) رویکرد مورفوتکتونیک در آنالیز سیستم‌های زهکشی در مرکز

می‌توان در این زمینه از آن سود جست، علم نوپای ژئومورفولوژی تکتونیک است. این دانش بخشی از علوم زمین است که به مطالعه تاثیر متقابل تکتونیک و ژئومورفولوژی می‌پردازد (عبادیان، ۱۳۷۹: ۱؛ سلیمانی، ۱۳۷۸: ۳۲). به‌علاوه ارزیابی ساختمان‌ها و لندفرم‌های زمین در طول تاریخ پیدایش آنها، موضوع دانش ژئومورفولوژی تکتونیک است (استانلی<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۲۰۰: ۱). در سال‌های اخیر ژئومورفولوژی تکتونیک یکی از ابزارهای اساسی و مؤثر در تشخیص شکل‌های تکتونیک فعال و تهیه نقشه‌های خطر لرزه‌ای و همچنین درک و فهم تاریخچه چشم‌اندازهای کنونی سطح زمین بوده است (کلر و پینتر<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲: ۱). یکی از ابزارهای سودمند برای تحلیل اشکال زمینی و ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک در نواحی مختلف شاخص‌های ژئومورفیک می‌باشد (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۵: ۲۶۵) که به‌طور خاص برای مطالعات تکتونیک فعال استفاده می‌شوند (داگلاس، ۲۰۰۱: ۳۲). شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی فعالیت‌های تکتونیک ابزار مفید و قابل اطمینانی هستند (کرمی، ۱۳۸۸: ۶۷)، زیرا با استفاده از آنها می‌توان مناطقی را که در گذشته فعالیت‌های کند و سریع تکتونیک را تجربه کرده‌اند به راحتی شناسایی نمود (رامیرز و هیرارا، ۱۹۸۸: ۳۱۷). معمولاً دگرشکل‌های زمین‌ساختی سطح زمین به آرامی در بیش از هزاران سال اتفاق می‌افتند، بنابراین با توجه به این که این تغییرات توسط چشم بشر قابل تشخیص نمی‌باشند در نتیجه بایستی به بررسی عوارض ریخت‌شناسی پرداخت که این تغییرات را در خود حفظ کرده‌اند. یکی از عوارضی که نسبت به تغییرات زمین‌ساختی حساس می‌باشد، رودخانه‌ها و در کل شبکه زهکشی یک منطقه است (حقی‌پور، ۱۳۸۶: ۷۵). 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 که می‌توان با توجه به عکس‌العمل‌های ثابت شده رودخانه‌ها

3- Li  
4- Jamieson  
5- Chen and Sung  
6- Ciccacci  
7- Mayer

1- Stanley  
3- Keller & Pinter  
4- Guarnieri & Pirrotta  
5- Ramirez & Herrera

دسته‌بندی کرده است. یمانی و همکاران (۱۳۸۹)، به ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نوزمین ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس شمال غربی) پرداخته‌اند، مقصودی و همکاران (۱۳۹۰)، به بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی پرداخته و این حوضه را فوق‌العاده فعال معرفی کرده است. پیراسته و همکاران (۲۰۱۱) با هدف ارزیابی تکتونیک فعال از شاخص‌های ژئومورفیک نظیر گرادیان رودخانه، عدم تقارن آبراهه‌ها، تقارن توپوگرافی عرضی و تقعر مقطع طولی رودخانه، شاخص شکل حوضه را استفاده نمودند. بهرامی (۲۰۱۳) به ارزیابی ناهنجاری شبکه زهکشی در ۱۵ حوضه در زاگرس پرداخته و با استفاده از پارامترهای Ha (تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی)،  $\Delta a$  (شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی)، R (شاخص انشعابات)، AF (فاکتور عدم تقارن حوضه)، T (تقارن توپوگرافی عرضی حوضه) مشخص نموده است که بین ناهنجاری سلسله‌مراتبی و سایر شاخص‌ها مورفومتری ارتباط معناداری وجود داشته و استفاده از این شاخص را جهت ارزیابی تکتونیک فعال مناسب می‌داند جمال‌آبادی و همکاران ۱۳۹۳ به ارزیابی نقش گسل کامیستان در تکتونیک دامنه شمالی جغتای پرداخته و با تحلیل شبکه زهکشی و مخروطه افکنه‌ها این منطقه را نیمه‌فعال (بالغ مایل به پیر) معرفی کرده است. هدف این تحقیق ارزیابی تکتونیک فعال در ۴ حوضه شمال شرق کشور با استفاده از شاخص‌های مورفومتری شبکه زهکشی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی تکتونیک فعال در مناطق یاد شده ابتدا، ۴ حوضه آبریز در محدوده زون‌های ساختمانی آلاداغ-بینالود و کپه داغ-هزار مسجد شناسایی شد. در این تحقیق از نرم‌افزارهای Arc.GIS ۱۰.۳، SURFER ۱۰. جهت رقوم‌سازی و تحلیل‌های جغرافیایی و مورفومتری، ۲۰۱۰ AutoCAD برای محاسبات مورفومتری آبراهه‌ها و Google Earth، ENVI.۵ جهت صحت‌سنجی

ایتالیا بررسی کردند. الهمدونی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شاخص Iat به طبقه‌بندی تکتونیک فعال جنوب اسپانیا پرداخته و مناطق فعال را مشخص نمودند. گارنیری و پیروتا (۲۰۰۸) نیز جهت بررسی تاثیر تکتونیک در چهار حوضه زهکشی در شمال شرق سیسیلی ایتالیا از شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی و شاخص انشعابات استفاده کرده و دریافتند که تکتونیک‌های فعال نظم شبکه زهکشی را بهم می‌زنند و مقدار شاخص ناهنجاری زهکشی در حوضه‌های فعال از نظر تکتونیک بیشتر از حوضه‌های با فعالیت تکتونیک کم است. بایتر آلتین و نکاتی آلتین<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) مورفومتری شبکه زهکشی در زمین‌های آتشفشانی در آنتالیای ترکیه را مورد بررسی قرار دادند و اذعان نمودند که توسعه شبکه زهکشی به گسل و مقاومت سنگها وابسته است. در سطح ملی نیز مطالعات کاملی در این زمینه صورت گرفته از جمله: مطالعات مختاری (۱۳۸۴) که با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی میزان فعالیت گسل شمالی میثو را بررسی نموده است، گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶) تکتونیک فعال در حوضه آبخیز در که را با ۷ شاخص مورفوتکتونیک بررسی و این حوضه را از حیث فعالیت‌های تکتونیک طبقه‌بندی نموده است. بهرامی و همکاران (۱۳۸۷) به تحلیل مورفومتری و مورفولوژی شبکه زهکشی در مخروط آتشفشانی تفتان پرداخته و با بیان بی‌نظمی در شبکه زهکشی عنوان می‌کند که گدازه‌های جدید تر الگوی موازی و در نمونه‌های قدیمی‌تر از الگوی شبکه درختی تبعیت می‌کنند. بیاتی خطیبی (۱۳۸۸)، فعالیت‌های نئوتکتونیک حوضه آبریز قرقوچای را بررسی کرده و نتیجه می‌گیرد فعالیت‌های نئوتکتونیک بر شبکه زهکشی حوضه کاملاً تاثیر گذاشته است و حضور شکستگی‌ها و بی‌نظمی‌ها را در نیمرخ طولی رودخانه از مهمترین شواهد تکتونیک فعال معرفی می‌کند. کرمی (۱۳۸۸)، به ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیک در حوضه زهکشی سعیدآباد چای پرداخته و زیرحوضه‌ها را براساس تکتونیک

1- Hamdouni

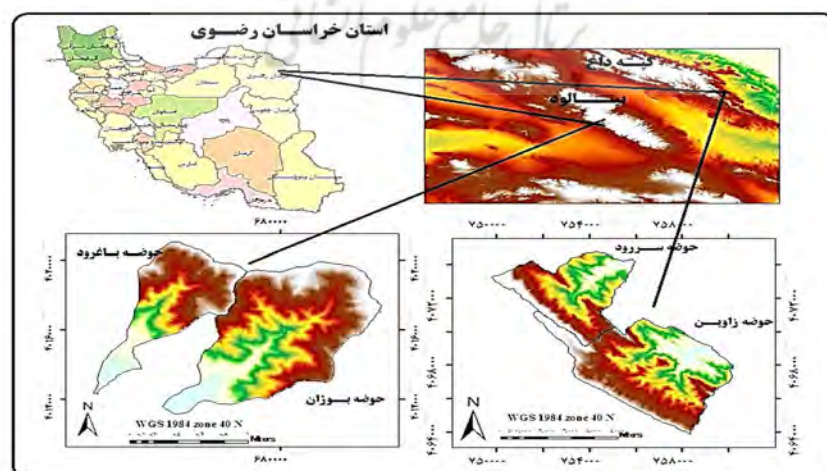
2- Altın. Bayter & Altın. Necati

سلسله مراتبی (ga)، پارامتر R، نسبت انشعابات حوضه (Rb)، نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) حوضه، شاخص زاویه برخورد (CA) شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF)، سینوزیته جبهه کوهستان (Smf) برای حوضه‌های منتخب محاسبه، بررسی و تحلیل گردید. آگاهی از مقادیر شاخص‌های یاد شده برای هر حوضه به عنوان اجزاء سیستم‌های ژئومورفیک می‌تواند محقق را در شناخت رفتارهای تکتونیکی حوضه‌ها یاری نماید.

### معرفی منطقه پژوهش

در این تحقیق چهار حوضه آبریز در گستره استان خراسان رضوی و در منتهی‌الیه شرقی زون ساختمانی کپه‌داغ - هزار مسجد و آلاداغ - بینالود جهت ارزیابی تکتونیک فعال انتخاب شد. حوضه‌های باغرود و بوژان به ترتیب با ارتفاع متوسط ۲۹۵۰ و ۳۱۱۵ متر واقع در دامنه جنوبی بینالود واقع شده و در چهارچوب مختصاتی ۳۶ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه عرض جغرافیایی تا ۵۸ درجه و ۵۶ دقیقه طول جغرافیایی قرار دارد. حوضه‌های زاوین و سررود در دامنه شمالی طاق‌دیس خور، از زون ساختمانی کپه‌داغ به ترتیب با ارتفاع متوسط ۲۲۹۶ و ۲۴۵۵ متر در چهارچوب مختصاتی ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۹ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۵۴ دقیقه طول جغرافیایی قرار دارند (شکل ۱).

برداشت اطلاعات مکانی در رابطه با رقومی‌سازی آبراهه‌ها استفاده شد. در این تحقیق با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ و همچنین خطوط میزان رقومی توپوگرافی با دقت ۲۰ متر، حوضه‌های مورد مطالعه انتخاب و مرزبندی شدند. بعد مشخصات و جزئیات فیزیوگرافی حوضه‌ها و آبراهه‌ها استخراج شد. جهت تهیه لایه زمین‌شناسی از منطقه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی مربوط به شیت نیشابور و کلات نادر 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 بزرگتر آبراهه اصلی و طول و تعداد آبراهه‌ها در درجات مختلف در محیط GIS محاسبه شد. پس با استفاده از لایه توپوگرافی تولید شده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ آبراهه‌های حوضه ترسیم و آبراهه‌ها با درجه‌های مناسب با توجه به رتبه‌بندی آبراهه‌ها در روش استرالر تفکیک و رتبه‌بندی شد سپس شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی ( $\Delta a$ ) اعمال گردید در ادامه تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی ( $H_a$ ) برای مسیرهای زهکشی ناهنجار محاسبه شد. به بیان دیگر عاملی باعث شده که نظم سلسله مراتبی رده آبراهه‌ها بهم بخورد؛ در نتیجه باید به صورت فرضی تعداد آبراهه‌هایی به شبکه زهکشی اضافه شود تا نظم سلسله مراتبی برقرار شود. بعد از تعیین شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی ( $\Delta a$ )، تراکم ناهنجاری



شکل ۱: حوضه‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

شمال شرق کشور و در دو واحد زمین شناسی آلاداغ - بینالود و کپه داغ- هزار مسجد که دارای جهت شمال غربی - جنوب شرقی هستند واقع شده‌اند.

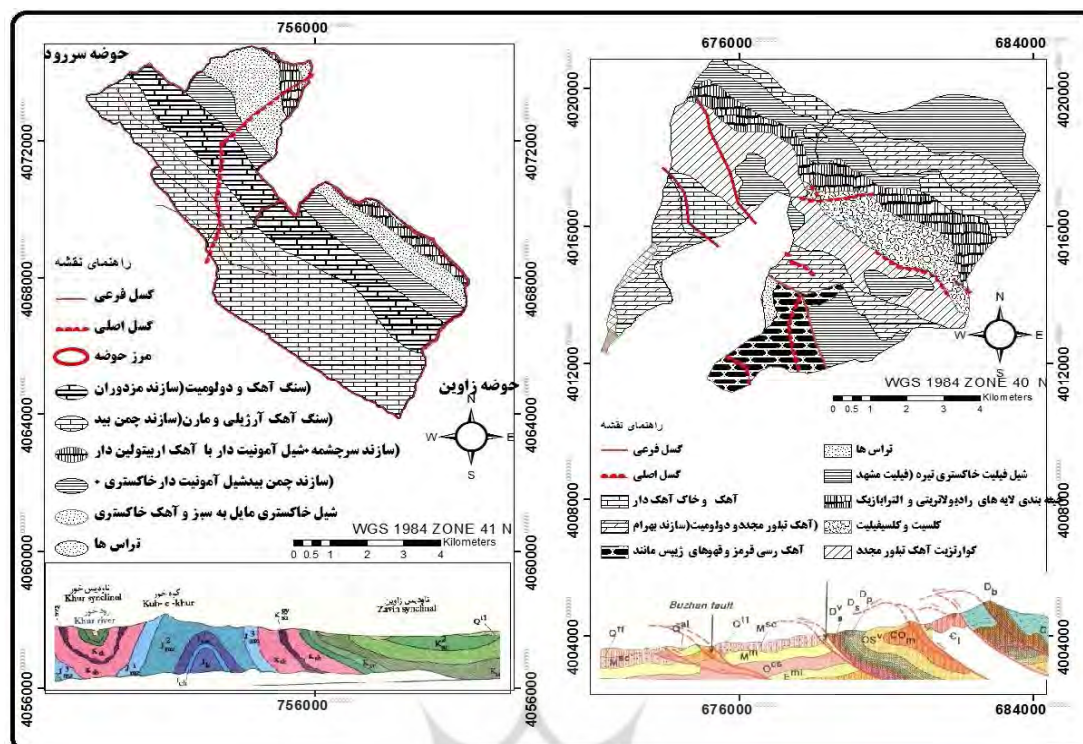
حوضه‌های منتخب هر کدام دارای مشخصات مورفومتری متفاوتی هستند که به تفصیل در جدول ۱ آمده است. این حوضه‌ها در گستره زمین شناسی

جدول ۱: مشخصات فیزیکی حوضه‌های آبریز مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

نام حوضه	مساحت کیلومتر مربع	متوسط بارش میلی‌متر	محیط کیلومتر	حداکثر ارتفاع متر	حداقل ارتفاع متر	ارتفاع متوسط متر	شیب متوسط (درصد)	طول آبراهه اصلی کیلومتر	ضریب فشرده‌گی (گراولیوس)	طول کل شبکه زهکشی متر	تراکم زهکشی کیلومتر مربع متر در
باغرود	۲۰/۱۷	۴۵۰	۲۵/۰۴	۳۰۵۴	۱۴۲۳	۲۹۵۰	۴۳/۴	۱۰/۶۳	۱/۵۷	۱۷۲۲۶۹	۸/۵۴
بوژان	۴۲/۹۵	۴۵۵	۳۰/۲۸	۳۳۰۵	۱۴۶۳	۳۱۱۵/۵	۹۷/۹۴	۱۲/۶۱	۱/۳۰	۳۴۸۴	۸/۱۱
سررود	۱۷/۲۳	۳۸۰	۲۰/۵۳	۲۵۱۸	۱۱۹۶	۲۴۵۵	۴۲/۳۲	۷/۷۲	۱/۳۹	۱۹۴۰۷۸	۱۱/۲
زاوین	۲۹/۳۶	۴۱۰	۲۷/۸۴	۲۲۳۳	۱۱۸۰	۲۲۹۶/۵	۳۶/۱	۱۰/۴۵۹	۱/۴۵	۲۷۵۱۳۰	۹/۳۷

از نظر زمین‌شناسی حوضه باغرود از شیل، فیلیت خاکستری و تیره مشهد (۱۶/۹) درصد، آهک تبلور مجدد و دولومیت (سازند بهرام) (۱۷) درصد، آهک رسی قرمز و قهوه‌ای ژئوپس مانند (۱۴/۷) درصد، کوارتزیت آهک تبلور مجدد (۲۷/۳) درصد، چینه‌بندی لایه‌های رادیولاریتی و التراپازیک ۱۰/۵ کلسیت و کلسیفیلیت ۹/۸ مخروطه افکنه جدید (۲/۷) درصد، تراست‌ها و مخروطه‌افکنه‌های جوان وقلوه‌سنگی (۰/۵) درصد تشکیل شده است. همچنین گسل تراستی بوژان و آبقوی با جهت شرقی - غربی در جنوب این حوضه قرار گرفته و در جبهه کوهستان منطقه تاثیر گذاشته است. سازندهای منطقه مربوط به دوره‌های نئوژن در کواترنر و به میزان کمی نیز مربوط به دوره پالئوژوئیک می‌باشد. حوضه بوژان در قسمت شرقی حوضه باغرود قرار گرفته و از نظر ساختاری شبیه به باغرود بوده و از نظر شکستگی‌ها نیز گسل بوژان و آبقوی در قسمت جنوبی حوضه و در مرز کوهستان همچنان امتداد داشته و باعث تضاریس جبهه کوهستان شده است از دیگر مشخصات این حوضه وجود گسل تراستی برفریز در قسمت شمالی حوضه و همچنین لیتولوژی مربوط به دوره پالئوژوئیک سازند

میلا و سنگ‌های متامرفیک ترشیاری می‌باشد. حوضه سررود در دامنه شمالی طاقدیس خرو است که از نظر لیتولوژی دارای سنگ آهک و دولومیت (سازند مزدوران) ۳۰ درصد، سنگ آهک آرژیلی و مارن (سازند چمن بید) ۳۰/۹ درصد، شیل آمونیت دار با میان لایه‌های سنگ آهک اربیتولین دار (سازند سرچشمه) ۴/۷ درصد، شیل سیلتی، مارن ژئوپس دار، ماسه سنگ و ژئوپس (۱۱/۴) درصد، شیل خاکستری مایل به سبز، آهک خاکستری و تراست‌ها ۲۲ درصد می‌باشد. گسل امتداد لغز سررود با جهت جنوب غربی شمال غربی از خط القعر این حوضه گذشته به نحوی که آبراهه اصلی این رودخانه منطبق با این گسل می‌باشد و باعث گسستگی در سازند آهکی مزدوران گشته است همچنین در محل آینه گسل در گسل‌های فرعی منطقه با امتداد شرقی - غربی باعث ایجاد پرتگاه‌های گسلی شده است. حوضه زاوین در قسمت شرقی حوضه سررود قرار گرفته و از نظر لیتولوژی شبیه به حوضه سررود است این حوضه فاقد گسل و شکستگی می‌باشد و لایه‌ها با شیب تقریبی ۳۵ درصد و جهت شمال شرقی قرار دارند (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه زمین شناسی حوضه‌ها (منبع: نگارندگان)

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 (۳→۱، ۴→۱، ۴→۲، ۵→۲، ۵→۳، ۶→۳ 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 بنام  $H_a$  (تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه) را تعریف کردند (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۴). بنظر 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 بسیار دقیقی را ارائه داد بدین صورت که در حالتی که یک آبراهه مبدا (به عنوان مثال درجه ۱) به آبراهه بالاتر یا مقصد

### بحث و یافته‌های تحقیق

شبکه زهکشی و نحوه اتصال‌های شبکه زهکشی در هر حوضهٔ آبخیز رابطهٔ مستقیمی با عوامل تکتونیکی، شکستگی‌ها و لیتولوژی دارد و بررسی شبکه زهکشی و آنالیز مورفومتری حوضه‌ها با توجه به خصوصیات دینامیکی و لیتولوژیکی آنها می‌تواند روش مناسبی برای ارزیابی تکتونیک فعال در مطالعات ژئومورفولوژیکی باشد. در این تحقیق با نیل به این هدف ۴ حوضه در شمال شرق کشور انتخاب و شاخص‌های مورفومتری مربوط به شبکه زهکشی برای هر یک از حوضه‌ها محاسبه شد.

### شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی ( $\Delta a$ )

با وقوع حرکات تکتونیکی، ناهنجاری عمده در مسیر جریان رودخانه‌ها به وجود می‌آید که می‌توان با ثابت نمودن این ناهنجاری‌ها اثرات تکتونیکی را تحلیل نمود. یکی از این شاخص‌ها که میزان ناهنجاری موجود در شبکه را نشان می‌دهد شاخص  $\Delta a$  (شاخص ناهنجاری سلسله‌مراتبی) می‌باشد.

می‌آید (بهرامی، ۱۳۹۲: ۴):

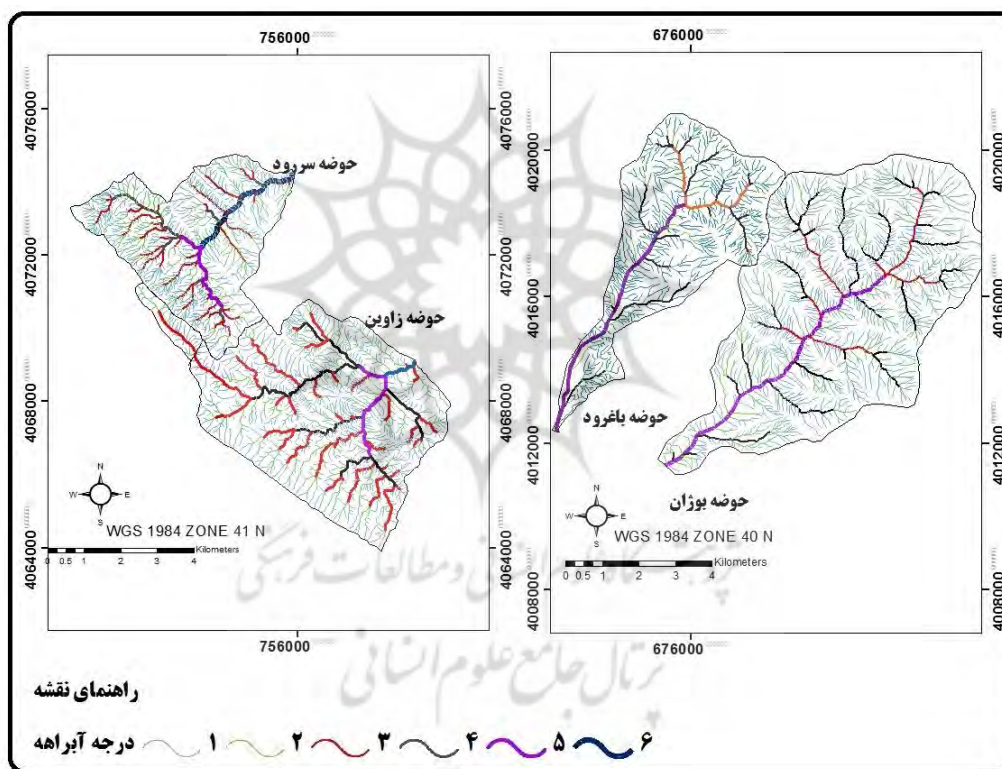
$$Ha_i = \sum (Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j}) \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این تحقیق ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی خطوط میزان استخراج گردید سپس با استفاده از شواهد و خصوصیات خطوط میزان آبراهه‌های هر حوضه ترسیم شد. پس از ترسیم آبراهه‌های هر حوضه، درجه هر آبراهه با استفاده از طبقه‌بندی استرالر از مشخص گردید به نحوی که دو آبراهه درجه یک به آبراهه درجه دو متصل می‌شود و دو آبراهه درجه دو به آبراهه درجه سه متصل می‌شود (شکل ۳).

(بعنوان مثال درجه ۳) متصل شود، اگر آبراهه مبدا را  $i$  و آبراهه مقصد را  $j$  بنامید، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی هر اتصال آبراهه ( $Ha_{i \rightarrow j}$ ) از رابطه ۱ بدست می‌آید (بهرامی، ۱۳۹۲: ۴):

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

بعد از محاسبه  $Ha_{i \rightarrow j}$ ، تعداد آبراهه‌ها در هر اتصال ( $Ns_{i \rightarrow j}$ ) بدست می‌آید سپس از مجموع حاصل ضرب  $Ha_{i \rightarrow j}$  و  $Ns_{i \rightarrow j}$ ، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه برای کل حوضه ( $Ha_i$ ) بدست



شکل ۳: آبراهه‌های حوضه‌های مورد مطالعه با درجات تعیین شده به روش استرالر

برای محاسبه این شاخص ابتدا تعداد آبراهه‌ها بادرجه‌های مختلف و در ارتباط با اتصال به آبراهه‌های درجه بعدی تعیین شد (جدول ۲) و سپس  $Ha_i$  آن (تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی) محاسبه شد. بعد از محاسبه  $Ha_i$ ، شاخص ناهنجاری‌های سلسله مراتبی ( $\Delta a$ ) از رابطه زیر محاسبه شد.

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

در رابطه فوق:

$\Delta a$  = شاخص ناهنجاری

$Ha_i$  = تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی

$N1$  = تعداد واقعی آبراهه‌های رتبه یک می‌باشد

گازنیری و پیروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷؛ بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸: ۳۲؛ بهرامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۹

بر اساس محاسبه  $\Delta a$  مشخص شد حوضه‌های سررود و بوژان به ترتیب با مقادیر  $1/524$  و  $1/532$  دارای بیشترین مقدار  $\Delta a$  می‌باشند و با توجه به این که هر چه مقایر شاخص ناهنجاری‌های سلسله مراتبی ( $\Delta a$ ) بیشتر باشد نشان‌دهنده تکتونیک بالا در این حوضه‌ها 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) است که از رابطه زیر به دست می‌آید (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲)

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

$Ga$  = تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی  
 $Ha_i$  = تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه برای کل حوضه  
 $A$  = مساحت حوضه

با توجه به مقادیر بدست آمده از محاسبه  $ga$  مشخص شد بیشترین تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی مربوط حوضه سررود به مقدار  $79/744$  و در مرحله بعد حوضه زاوین به مقدار  $40/80$  می باشد (جدول ۲) که نشان‌دهنده فعالیت‌های تکتونیک بیشتری در این دو حوضه می‌باشد و مقادیر آنومالی شبکه زهکشی این حوضه‌ها را در واحد سطح افزایش داده است.

جدول ۲: شاخص  $\Delta a$  و  $ga$  در حوضه‌های مورد مطالعه

حوضه	مسیر	H		باغرود		بوژان		سررود		زاوین	
		$(H \times Ns_{i \rightarrow j})$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$(H \times Ns_{i \rightarrow j})$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$(H \times Ns_{i \rightarrow j})$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$(H \times Ns_{i \rightarrow j})$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$(H \times Ns_{i \rightarrow j})$	$Ns_{i \rightarrow j}$
۱→۲	۰	۰	۲۸۷	۰	۳۳۳	۰	۴۶۱	۰	۵۲۲	۰	۰
۱→۳	۱	۷۱	۷۱	۲۵۷	۲۵۷	۱۵۳	۱۵۳	۲۷۲	۲۷۲	۲۷۲	۲۷۲
۱→۴	۳	۳۲	۹۶	۲۱۷	۶۵۱	۲۵	۷۵	۳۹۳	۱۳۱	۳۹۳	۳۹۳
۱→۵	۷	۴۹	۳۴۳	۷۶	۵۳۲	۲۷	۱۸۹	۲۶۶	۳۸	۲۶۶	۲۶۶
۱→۶	۱۵	۰	۰	۰	۰	۳۹	۵۸۵	۱۰۵	۷	۱۰۵	۱۰۵
۲→۳	۰	۵۷	۰	۱۰۹	۰	۱۲۱	۰	۰	۱۱۳	۰	۰
۲→۴	۲	۷	۱۴	۲۱	۴۲	۱۴	۲۸	۶۴	۳۲	۶۴	۶۴
۲→۵	۶	۱۹	۱۱۴	۱۸	۱۰۸	۶	۳۶	۳۰	۵	۳۰	۳۰
۲→۶	۱۴	۰	۰	۰	۰	۱۴	۱۹۶	۲۸	۲	۲۸	۲۸
۳→۴	۰	۹	۰	۲۱	۰	۲۵	۰	۰	۲۷	۰	۰
۳→۵	۴	۶	۲۴	۹	۳۶	۶	۲۴	۱۶	۴	۱۶	۱۶
۳→۶	۱۲	۰	۰	۰	۰	۶	۷۲	۲۴	۲	۲۴	۲۴
۴→۶	۸	۰	۰	۰	۰	۲	۱۶	۰	۰	۰	۰
۵→۶	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	۲	۰	۰
مجموع	-	۵۳۷	۶۶۲	۱۰۶۱	۱۶۲۶	۹۰۱	۱۳۷۴	۱۱۹۸	۱۱۶۷	۱۱۹۸	۱۱۹۸
$\Delta a$	-	-	۱/۵۰۷۹۷	-	۱/۸۴۱۴۴	-	۱/۹۴۸۹۳۱	۱/۲۲۲۴	-	۱/۲۲۲۴	۱/۲۲۲۴
$Ga$	متر در کیلومتر مربع	۳۲/۱۱۸۷	۳۲/۱۱۸۷	۳۷/۸۵۴	۳۷/۸۵۴	۷۹/۷۴۴	۷۹/۷۴۴	۴۰/۸۰۳	۴۰/۸۰۳	۴۰/۸۰۳	۴۰/۸۰۳

می‌یابد. به نحوی که هر چه قدر یک شبکه زهکشی دارای انشعابات نامنظم و غیر طبیعی باشد، تغییر و تحول در ساختار تکتونیکی آن دور از انتظار نیست. شاخص انشعابات از عدد نسبت انشعابات حوضه،

شاخص انشعابات (R): شاخص انشعابات از دیگر شاخص‌های تعیین آنومالی سیستم زهکشی در حوضه‌های آبخیز است که با افزایش درجه تأثیر عوامل تکتونیکی در حوضه‌ها مقدار شاخص مذکور افزایش



Rb کل درجات محاسبه می‌شود (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸:۲۶۹). به‌عنوان مثال این نسبت برای حوضه باغرود به این صورت محاسبه شده است. نسبت انشعابات در حوضه‌های باغرود، بوژان، سررود و زاوین به‌ترتیب ۵/۱۳، ۵/۵۴، ۳/۸۵، ۴/۲۹ محاسبه شده است (جدول ۳).

منه‌ای نسبت مستقیم انشعابات حوضه بدست می‌آید (بارونی و همکاران، ۲۰۰۵:۲۲۳). برای محاسبه شاخص انشعابات ابتدا نسبت انشعابات Rb و سپس نسبت مستقیم انشعابات Rbd محاسبه شد. نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه از تقسیم تعداد کل آبراهه‌های آن درجه بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر بدست می‌آید. نسبت انشعابات کل حوضه از میانگین

$$Rb = \frac{1}{5-1} \times \left\{ \frac{428}{89} + \frac{89}{17} + \frac{17}{2} + \frac{2}{1} \right\} = 5/13$$

(رابطه ۵)

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

Rb (شاخص نسبت انشعابات)	تعداد آبراهه درجه ۶	تعداد آبراهه درجه ۵	تعداد آبراهه درجه ۴	تعداد آبراهه درجه ۳	تعداد آبراهه درجه ۲	تعداد آبراهه درجه ۱	تعداد کل آبراهه	حوضه آبریز
۵/۱۴	-	۱	۲	۱۷	۸۹	۴۲۸	۵۳۷	باغرود
۵/۵۴	-	۱	۷	۳۰	۱۴۵	۸۷۸	۱۰۶۱	بوژان
۴/۹۷	۱	۲	۹	۳۷	۱۵۷	۶۹۵	۹۰۱	سررود
۴/۸۶	۱	۲	۶	۳۷	۱۶۱	۹۶۰	۱۱۶۷	زاوین

سلسله مراتبی را مدنظر قرار گیرند توصیف می‌کند. این نسبت از رابطه ۶ بدست می‌آید، به نحوی که با افزایش فعالیت تکتونیکی، مقدار شاخص انشعابات در حوضه‌ها افزایش می‌یابد.

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

$$Rb = \text{نسبت مستقیم انشعاب}$$

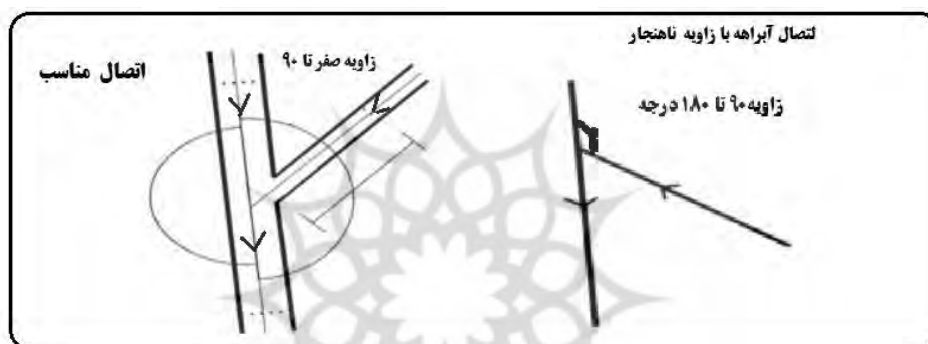
$Ndu =$  تعداد آبراهه‌های رتبه ویژه که به رتبه بالاتر جریان می‌یابند.

$Nu+1 =$  تعداد آبراهه‌های رتبه بالاتر می‌باشد (بارونی، ۲۰۰۵:۲۲).

نسبت مستقیم انشعابات (Rdb) برای هر درجه از آبراهه، از تقسیم تعداد آبراهه‌های آن درجه (که مستقیماً به یک درجه بالاتر وارد می‌شوند) بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر به دست می‌آید. نسبت مستقیم انشعابات کل حوضه از میانگین (Rdb) کل درجه‌ها بدست می‌آید (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸:۲۶۹). برای مثال تعداد آبراهه‌های درجه یک که وارد ۲ می‌شوند در حوضه باغرود ۲۸۷ آبراهه می‌باشد (جدول ۵) و تعداد کل آبراهه‌های درجه ۲ تعداد ۸۹ آبراهه می‌باشد. بنابراین مقدار Rdb برای آبراهه‌های درجه ۱ حوضه باغرود  $\frac{287}{89}$  می‌باشد. این نسبت ساختار هیدروگرافیک حوضه را بدون این‌که ناهنجاری‌های

جدول ۴: محاسبه پارامترهای Rbd, Rb و شاخص R

زاوین		سررود		بوژان		باغرود		نام حوضه
تعداد آبراهه‌های یک درجه بالاتر	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه‌های یک درجه بالاتر	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه‌های یک درجه بالاتر	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه‌های یک درجه بالاتر	تعداد آبراهه	مسیر آبراهه
۱۶۱	۵۲۶	۱۵۷	۴۵۵	۱۴۵	۳۲۶	۸۹	۲۸۵	۱→۲
۳۷	۱۱۳	۳۷	۱۲۱	۳۰	۱۰۹	۱۷	۵۷	۲→۳
۶	۲۷	۹	۲۵	۷	۲۱	۲	۹	۳→۴
۲	۶	۲	۶	۱	۷	۱	۲	۴→۵
۱	۱	۱	۲		۰		۰	۵→۶
۲/۹۶۴		۲/۷۸۹		۳/۹۷۰		۳/۲۶۳		Rbd
۴/۸۵۶۲۲۱		۴/۹۶۶۱۵		۵/۵۴۳		۵/۱۳۶۰		Rb
۱/۸۹۱۹۹		۲/۱۷۶۹		۱/۵۷۳۹		۱/۸۷۲۹		R=R-Rbd



شکل ۴: نمایش حالت‌های مختلف زاویه اتصال آبراهه‌ها (ماخذ نگارندگان)

زهکشی، الگوی شبکه زهکشی و زاویه برخورد آبراهه‌ها تاثیرگذار باشند (رضایی مقدم و احمدی، ۱۳۸۵: ۸۶). به‌طور کلی زاویه‌های بالاتر از ۹۰ درجه مربوط به فرآیندهایی چون اسارت رودخانه و یا بالا آمدگی نامتقارن در حوضه‌های فعال می‌باشد که در اثر اعمال فرآیندهای تکتونیکی باعث تغییر در زاویه اتصال آبراهه‌ها شده است (هاچنی و کارلینگ، ۲۰۱۱: ۱۳۶۴). (شکل ۴).

به‌طور کلی از شاخص‌هایی چون تراکم زهکشی، زاویه برخورد آبراهه، تقارن زهکشی برای تعیین الگوی شبکه زهکشی و طبقه‌بندی حوضه آبریز استفاده می‌شود.

با افزایش فعالیت تکتونیکی، مقدار شاخص انشعابات در حوضه‌ها افزایش می‌یابد (بهرامی، ۲۰۱۳). مقدار R در حوضه‌های مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفت و بر طبق آن (جدول ۴) حوضه سررود و زاوین به ترتیب با مقادیر ۲/۱۷ و ۱/۸۹ بیشترین میزان R و حوضه‌های باغرود و بوژان با مقادیر ۱/۸۷ و ۱/۵۷ کمترین میزان R را به خود اختصاص دادند.

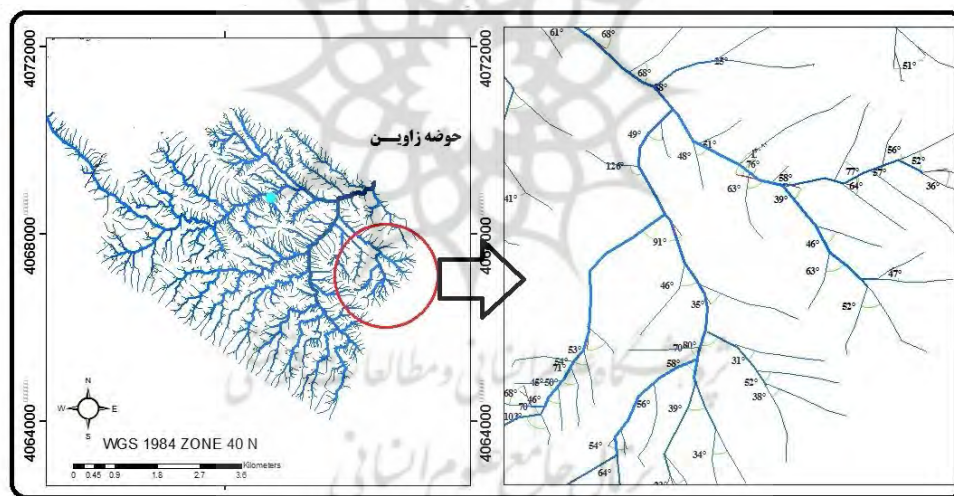
#### زاویه برخورد آبراهه (CA)<sup>۱</sup>

عوامل متعددی چون عوامل زمین‌شناسی، زمین‌ساختی، اقلیمی و هیدرولوژی در نظم ترتیب شبکه آبراهه‌ها دخیل هستند و می‌تواند در تراکم شبکه

1- Confluence angle

جدول ۵: زاویه برخورد آبراهه‌ها

مسیر واحد	حوضه باغرود	حوضه بوژان	حوضه سررود	حوضه زاوین
۱→۲	زاویه به درجه	زاویه به درجه	زاویه به درجه	زاویه به درجه
	۴۲/۶۴	۴۵/۲۸	۵۲/۰۳۳	۶۱/۷۲
۱→۳	۵۹/۱۵	۶۳/۳۳	۵۴/۵۶	۵۰/۸۸
۱→۴	۷۰/۰۵	۶۸/۱۶	۶۱/۰۴	۷۹/۱۶
۱→۵	۶۳/۵۲	۶۰/۱۴	۶۸/۴۲	۷۴/۳۳
۱→۶	..	...	۷۴/۹۶	۴۱/۱۵
۲→۳	۶۳/۶۷	۶۱/۹۶	۴۶/۳۰۶	۷۲/۳۹
۲→۴	۶۷/۲۵	۵۸/۵۵	۶۰/۶۹	۸۴/۸
۲→۵	۵۹/۴۲	۵۷/۵۲۶	۷۵/۴۴	۷۴/۵۹
۲→۶	...	...	۸۱/۵	۴۲
۳→۴	۶۰/۲۸	۷۸/۴۵	۶۹/۷۸	۸۸/۵۹
۳→۵	۵۹	۶۱/۱۱۱	۷۴/۶	۷۴/۲۵
۳→۶	...	...	۷۵/۶	۹۰
۴→۵	۱۱۶	۶۹/۰۵	۶۱/۵۶	۶۵/۲۵
۴→۶	...	...	۶۱/۵	...
۵→۶	...	...	۴۵	۹۷
متوسط زاویه ها	۵۶/۰۹	۵۸/۷۴	۵۹/۲۹	۶۷/۷۳



شکل ۵: نمونه‌ای از محاسبه زاویه آبراهه‌ها در هر حوضه آبریز (ماخذ: نگارندگان)

این تحقیق زاویه الصاق هر آبراهه به آبراهه دیگر با استفاده از نرم‌افزار اتوکد ۲۰۱۱ محاسبه شد. سپس با توجه به درجه‌بندی آبراهه‌ها و اتصال هر یک از آبراهه‌ها به درجه‌های بعدی زاویه‌های مربوط به هر رده از آبراهه‌ها تفکیک شد (جدول ۵) و در مرحله بعد از زوایای تفکیک شده در هر رده میانگین گرفته شد

بر اساس آن حوضه‌ها به انواع مختلفی چون موازی<sup>۱</sup>، درختی<sup>۲</sup>، داربستی<sup>۳</sup>، شعاعی<sup>۴</sup>، پراکنده<sup>۵</sup>، واگرا<sup>۶</sup> و همگرا<sup>۷</sup> تقسیم می‌شوند (دفونینز<sup>۸</sup>، ۱۹۹۴: ۲۸).

- 1- Parallel
- 2- Dendritic
- 3- Trellis
- 4- radial
- 5- Scattered
- 6- Outward
- 7- Inward

8- Deffontaines

تکتونیک فعال و یا فرسایش دیفرانسیل بستگی دارد. این شاخص به این صورت می باشد که:

$$\text{PAF} = \left( \frac{A_r}{A_t} \right) \cdot 100 \quad (\text{رابطه ۷})$$

در این رابطه PAF درصد عدم تقارن زهکشی می باشد.

$A_r$  = مساحت قسمت بزرگتر رود اصلی

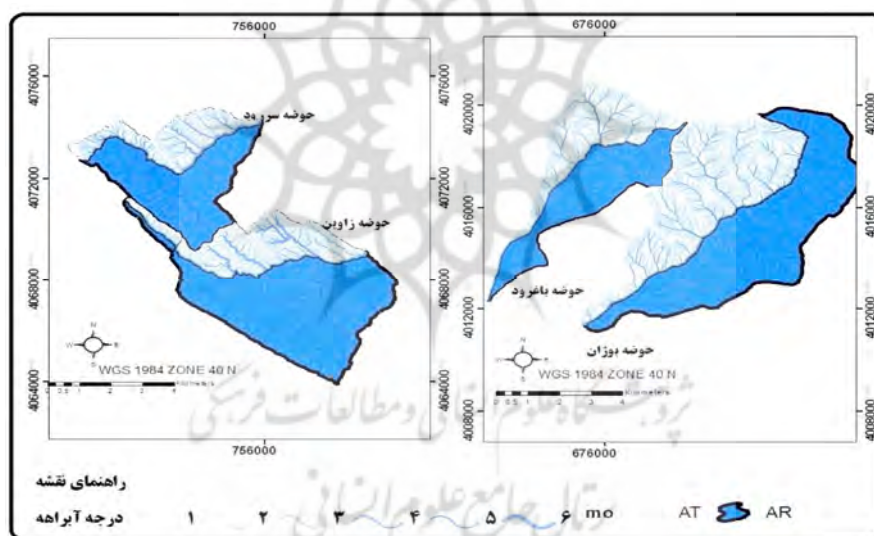
$A_t$  = مساحت کل حوضه زهکشی

در روش فوق برای تجزیه و تحلیل ژئومورفیک عقیده بر این است که کنترل کننده های سنگ شناسی و شرایط اقلیم محلی باعث عدم تقارن نمی شوند برای رودخانه های در حال تعادل که تداوم جریان در حالت ثابتی وجود دارد،  $A_f$  برابر ۵۰ می باشد که بیانگر وجود تقارن زهکش های فرعی نسبت به آبراهه های اصلی و در نتیجه عدم وجود کج شدگی بر اثر بالآمدگی خواهد بود.

(شکل ۵). بر اساس بررسی انجام شده زاویه متوسط حوضه آبخیز زاوین ۶۷/۷۳ درجه، حوضه سررود ۵۶/۰۹، حوضه بوژان ۵۸/۷۴ و حوضه باغرود ۵۹/۲۹ درجه می باشد که موید این مطلب است که بالابودن زاویه آبراهه ها در حوضه زاوین در اثر تغییرات مسیر جریان آبراهه مانند اسارت رود و همچنین حرکات تکتونیکی در دامنه طاقدیس خور می باشد، در نتیجه این حوضه به همراه حوضه سررود دارای فعالیت تکتونیکی بیشتری نسبت به سایر حوضه ها می باشد.

#### شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF)

شاخص عدم تقارن روشی برای تشخیص وجود کج شدگی ناشی از فعالیت های تکتونیکی در حوضه های زهکشی می باشد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۵۶). مقدار PAF در حوضه های آبریز به



شکل ۶: نحوه محاسبه شاخص PAF

میزان PAF و حوضه های سررود، بوژان و باغرود به ترتیب با ۷۰/۳٪ - ۵۳/۴۴٪ - ۵۰/۸۲٪ در رتبه های بعدی قرار دارند (جدول ۶). در نتیجه حوضه های زاوین و سررود بیشترین فعالیت تکتونیکی ناشی از کج شدگی، نسبت به حوضه های باغرود و بوژان را دارند.

در این پژوهش شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF) استفاده شد که بدون در نظر گرفتن کج شدگی تکتونیکی به سمت راست یا چپ، صرفاً درصد کج شدگی را نشان می دهد (شکل ۶). طبق محاسبات انجام شده حوضه زاوین با ۷۶ درصد دارای بیشترین

جدول ۶: مقادیر PAF برای هر حوضه

حوضه‌ها	AR	AL	AT	AF	PAF
باغرود	۱۰/۲۵۱۹	۹/۹۱۹۵۳	۲۰/۱۷۱۴۳	۰/۵۰۸۲۳۹	۵۰/۸۲
بوزان	۲۲/۹۵۵۵	۱۹/۹۹۸۳	۴۲/۹۵۳۸	۰/۵۳۴۴۲۳	۵۳/۴۴
سررود	۲۰/۶۴۷۴	۸/۷۱۷۸۳	۶۳/۱۲۵۲۳	۰/۷۰۳۱۲۴	۷۰/۳۱۲
زاوین	۱۱/۵۹۹۹	۵/۶۳۴۱۳	۱۰۶/۰۷۹	۰/۶۷۳۰۸۱	۷۶/۰۰۳

$ls =$  طول خط مستقیم جبهه کوهستان.

هر چقدر میزان Smf کمتر باشد حاکی از فعال بودن تکتونیک منطقه و جبهه‌های کوهستانی مستقیم می‌باشد. آستانه مناسب برای ارزیابی وضعیت سینوزیته جبهه کوهستان به این صورت است که مقدار کمتر از ۱/۱ تکتونیک کم، بین ۱/۱ تا ۱/۵ تکتونیک متوسط و بیشتر از ۱/۵ تکتونیک شدید در نظر گرفته شده است (همدونی و دیگران، ۲۰۰۸) مقادیر Smf جبهه کوهستان در خروجی حوضه‌های مورد مطالعه طبق جدول ۲ به‌دست آمده است. محاسبات انجام شده حکایت از فعالیت تکتونیکی بیشتری در دامنه شمالی هزارمسجد در اثر بالاآمدگی فرود محوری طاق‌دیس خور دارد در حالی که این میزان در دامنه جنوبی بینالود کمتر است (شکل ۷).

شاخص تضاریس جبهه کوهستان (Smf): شاخص سینوسی جبهه کوهستان، شاخصی است که میان نیروهای فرسایشی در جبهه کوهستان، که تمایل به ایجاد اشکال خلیجی مانند دارند و نیروی تکتونیک که در پی جبران فرسایش و ایجاد یک انطباق مستقیم در جبهه کوهستان است تعادل برقرار می‌کند (کلر و پینتر، ۲۰۰۲). این شاخص از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$Smf = lmf / ls \quad \text{(رابطه ۸)}$$

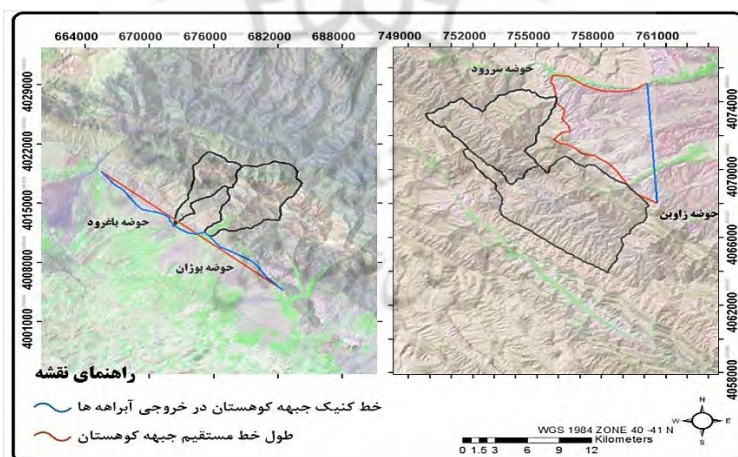
که در این شاخص :

$Smf =$  شاخص سینوسی جبهه

$lmf =$  طول جبهه کوهستان در امتداد پایکوه (خط

کنیک)

کوهستان



شکل ۷: محاسبه مقادیر Smf در دامنه جنوبی بینالود و دامنه شمالی کپه‌داغ

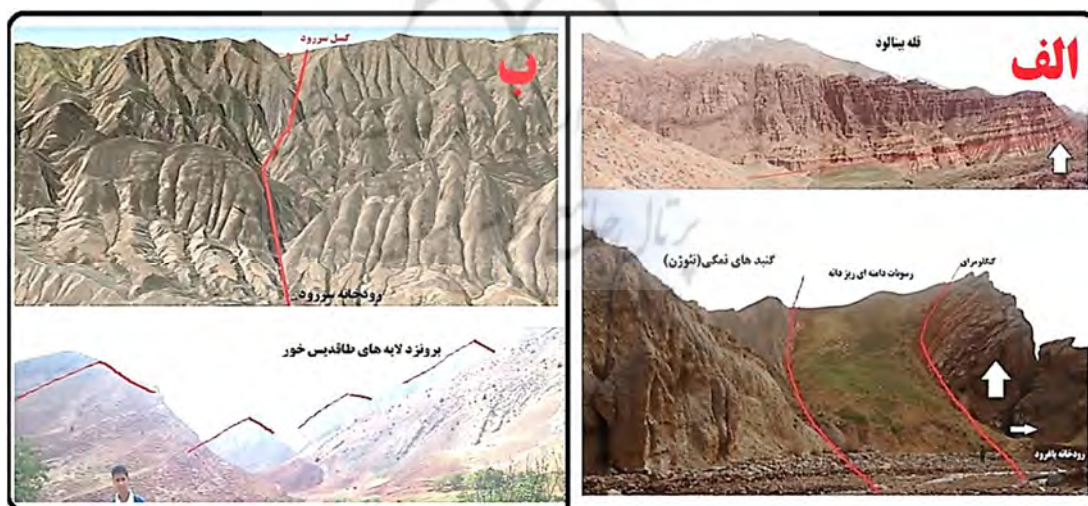
جدول ۷: مقادیر شاخص Smf در دامنه جنوبی بینالود و دامنه شمالی کپه‌داغ

جبهه کوهستان	smf	ls	lmf
جبهه کوهستان بینالود	۰/۹۵۷۴	۲۳۰۷۰	۲۲۰۸۷
جبهه کوهستان هزارمسجد	۲/۲۰۶	۷۱۲۶	۱۵۷۱۸

## نتیجه‌گیری

الگوی شبکه زهکشی در یک حوضه به شدت متأثر از فرآیندهای نئوتکتونیک است. فعالیت تکتونیک می‌تواند نظم سلسله مراتبی الگوی شبکه زهکشی را برهم‌زند و آن را به نحوی از حالت نرمال خارج سازد. طبق تحقیقاتی که تاکنون انجام شده: بیاتی (۱۳۸۸) و مختاری (۱۳۸۴)، با استفاده شاخص‌های مورفومتری به ارزیابی تکتونیک فعال پرداخته‌اند. بهرامی (۱۳۹۰، ۱۳۹۲) تکتونیک فعال را با استفاده از شاخص‌های مورفومتری زهکشی از جمله ناهنجاری سلسله مراتبی و تراکم زهکشی و... بررسی نموده است. در این تحقیق که برای اولین بار و به صورت علمی و دقیق از شاخص زاویه برخورد آبراهه (CA) برای بررسی تکتونیک فعال استفاده شد؛ همچنین با استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتری دیگری چون شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی ( $\Delta a$ ) شاخص انشعابات (R)، شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF)، شاخص تضاریس جبهه کوهستان ( $S_{mf}$ )، تکتونیک فعال در حوضه‌های باغرود و بوژان در دامنه جنوبی بینالود و حوضه‌های آبریز سررود و زاوین در دامنه شمالی کپه داغ-هزارمسجد مورد ارزیابی قرار

گرفت. بر اساس نتایج تحقیق نشان می‌دهد شاخص زاویه برخورد آبراهه پارامتر بسیار مناسبی برای تکتونیک فعال محسوب می‌شود. در حالت کلی تمامی حوضه‌های مورد مطالعه تحت تاثیر حرکات نئوتکتونیک عهد حاضر (هولوسن) می‌باشند. در حوضه‌های بینالود فعالیت گسل امتداد لغز بوژان و نیشابور در جهت شرقی و غربی باعث شده است که سازندهای رسوبی تک شیب دامنه جنوبی با عملکرد این گسل به سمت بالا حرکت داشته باشد، به نحوی که شبکه زهکشی برای رسیدن به دشت این سطوح بالا آمده را برش‌زده و دره‌های عمیقی را ایجاد کرده است (شکل ۸). در مقابل در حوضه‌های منتخب از کپه داغ-هزارمسجد، عملکرد تکتونیک به صورت بالا آمدن محور طاق‌دیس می‌باشد که به دلیل تفاوت در لیتولوژی لایه‌ها باعث ایجاد خط‌الراس‌هایی با شیب تند در محور طاق‌دیس خور شده‌است و از این مهم‌تر عملکرد گسل امتداد لغز شمالی- جنوبی سررود، دقیقاً منطبق بر آبراهه اصلی می‌باشد که در جهت عمود بر محور طاق‌دیس قرار گرفته با تشدید فعالیت‌های کاووشی رودخانه باعث ایجاد یک واترگپ در آینده خواهد شد (شکل ۸).



شکل ۸: تصویر الف: تاثیر تکتونیک فعال در لایه‌های زمین‌شناسی دامنه جنوبی بینالود،

تصویر ب: عملکرد گسل سررود در برش عرضی دامنه طاق‌دیس خور

جدول ۸: مقادیر شاخص‌های محاسبه شده در حوضه‌های مورد مطالعه

شاخص/حوضه	تراکم آبراهه‌ها (متر در مترمربع)	$\Delta a$	ga	R	CA	PAF (درصد)	Smf
باغرود	۸/۵۴	۱/۵۰۷	۳۲/۸۱	۱/۸۷۲	۵۶/۰۹	۵۰/۸۲	۰/۹۵۷۴
بوژان	۸/۱۱	۱/۸۴۱	۳۷/۸۵	۱/۵۷۳	۵۸/۷۴	۵۳/۴۴	
سررود	۱۱/۲	۱/۹۴۸	۷۹/۷۴	۲/۱۷۶	۵۹/۳۹	۷۰/۳۱۲	۲/۲۰۶
زاوین	۹/۳۷	۱/۲۲۲	۴۰/۸۰	۱/۸۹۱	۶۷/۷۳	۷۶/۰۰۳	

بر اساس محاسبات انجام شده حوضه‌های سررود و بوژان به ترتیب با مقادیر  $1/948$ ،  $1/841$  دارای بیشترین مقدار شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی  $\Delta a$  می‌باشند، شاخص تراکم ناهنجاری محاسبه شده نیز نشان داد این دو حوضه دارای بیشترین مقدار هستند. با افزایش فعالیت تکتونیکی مقدار شاخص انشعابات در حوضه‌ها افزایش می‌یابد. مقدار R در حوضه‌های مورد مطالعه، بررسی شد. و بر طبق آن (جدول ۸) حوضه سررود با  $2/176$  و زاوین با  $1/891$  دارای بیشترین میزان R و حوضه‌های باغرود با  $1/872$  و بوژان با  $1/573$  کمترین مقادیر R را دارند که با توجه به این شاخص، حوضه‌های سررود و زاوین دارای حرکات تکتونیکی شدیدتری نسبت به زاوین و سررود می‌باشند که این فرآیند، در اثر تغییرات سطح اساس رودخانه‌ها به دلیل عملکرد گسل تراستی بینالود و نیشابور است. با محاسبه زاویه متوسط آبراهه‌ها مشخص شد حوضه آبخیز زاوین  $67/73$  درجه، حوضه سررود  $59/29$ ، حوضه بوژان  $58/74$  و حوضه باغرود  $56/09$  درجه می‌باشد که مقادیر بالای زاویه آبراهه‌ها در حوضه‌های زاوین و سررود نشان‌دهنده حرکات تکتونیکی در دامنه طاق‌دیس خور می‌باشد. در حالت کلی تمامی حوضه‌های منتخب دارای تکتونیک فعال می‌باشد ولی ساختار و سازندهای زمین‌شناسی به نحوی بر تکتونیک حوضه‌ها تاثیر دارند، با این وجود براساس محاسبات انجام شده و همچنین مقادیر Smf و PAF حوضه‌های سررود و زاوین نسبت به باغرود و بوژان دارای فعالیت بیشتری هستند.

### منابع

۱- بهرامی، شهرام، مهران مقصودی و بهرامی کاظم، ۱۳۹۰. بررسی نقش تکتونیک در ناهنجاری

مورفومتری شبکه زهکشی در چهار حوضه آبخیز در زاگرس، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران.

۲- 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، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.

۳- بهرامی، شهرام. مجتبی یمانی و سیدکاظم علوی‌پناه. ۱۳۸۷. تحلیل مورفومتری و مورفولوژی شبکه زهکشی در مخروط آتشفشانی تفتان پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۶۵، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران.

۴- بیاتی خطیبی، مریم. ۱۳۸۸. تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیکی در حوضه آبریز قرنقوچای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک مجله فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره ۲۵، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر.

۵- حقی‌پور، نگار. ۱۳۸۶. بررسی ریخت زمین‌ساختی گستره کپه داغ-بینالود بر پایه شاخص‌های گرادیان شیب رود و هیپسومتری، علوم زمین، سال شانزدهم، شماره ۶۴، سازمان زمین‌شناسی کشور تهران.

۶- جمال‌آبادی، جواد. ابوالقاسم امیراحمدی و قاسم مونسیان و علی‌اکبر شایان‌یگانه. ۱۳۹۳. بررسی تأثیرات تکتونیکی گسل کمایستان بر شبکه زهکشی و مخروط افکنه‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در دامنه‌های شمالی ارتفاعات جغتای، مجله آمایش جغرافیایی فضا، جلد ۴، شماره ۱۱، دانشگاه گلستان.

۷- رضائی مقدم، محمدحسین و محمد احمدی. ۱۳۸۵. تحلیل ژئومورفولوژی کمی الگوی زهکشی شبکه آبراهه‌ای به کمک زاویه برخورد آنها در زیرحوضه سرباس استان کرمانشاه، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۲۱، پیاپی ۸۱، مشهد.

- Turkey. *Geomorphology*, Vol. 125, Elsevier.
- 17-Avena, Gian Carlo, and Giuseppe Giuliano and Elvidio Lupia Palmieri 1967. Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali. *Boll. Soc. Geol.* 86, Italy.
- 18-Bahrami Shahram, 2013. Analyzing the drainage system anomaly of Zagros basins: implications for Tectonophysics journal, Vol. 608, Elsevier.
- 19-Baroni, Carlo. And Valerio Noti and Sirio Ciccacci and Maria Giovanni Righini and Cristina Salvatore. 2005. Fluvial origin of the valley system in northern Victoria Land (Antarctica) from quantitative geomorphic analysis. *GSA Bulletin*, Vol. 117, Geological Society of America.
- 20-Burbank, Douglas and Robert Anderson. 2001. *Tectonic Geomorphology*, Blackwell Science.
- 21-Chen, Yen-Chieh and Sung Quocheng and Cheng Kuang-Yu. 2003. Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis. *Geomorphology* Vol. 56, Issues 1-2, Elsevier.
- 22-Ciccacci, Sirio. and Paola Fredi, and Lupia Palmieri Elvidio and Francesco Pugliese. 1986. Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters. *International Geomorphology conference*. Chichester, UK.
- 23-Deffontaines Benoit and Jiin-Fa Lee and Jacques Angelier and J.-P. Rudant. 1994, New geomorphic data on the active Taiwan orogen: A multisource approach, *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 99, American Geophysical Union.
- 24-Deffontaines Benoit and P Chotin and Lahsen AIT Brahim and Michel Rozanov. 1992. Investigation of active faults in Morocco using morphometric methods and drainage pattern analysis, *Geologische Rundschau* 81, 199-210.
- ۸- سلیمانی، شهریار. ۱۳۷۸. رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه‌شناسی، چاپ اول، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- ۹- عبادیان، سارا. ۱۳۷۹. تحلیل ساختاری و زمین‌ساختی طاق‌دیس سبزپوشان بر اساس آنالیزهای مورفوتکتونیک، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما: دکتر سیداحمد علوی، دانشگاه شهید بهشتی تهران. دانشکده علوم‌زمین، تهران.
- ۱۰- کرمی، فریبا. ۱۳۸۸. ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیک در حوضه زهکشی سعیدآبادچای، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۹، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران.
- ۱۱- گورابی، ابولقاسم و نوحه‌گر احمد، ۱۳۸۶. شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه‌آبخیز در که، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۰، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران.
- ۱۲- مختاری، داوود. ۱۳۸۴. کاربرد شاخص‌های ریخت‌سنجی در تعیین میزان فعالیت گسل‌ها (نمونه موردی: گسل شمالی میشو)، مجله علوم زمین، شماره ۵۹، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.
- ۱۳- مقصودی، مهران، مریم جعفری اقدم و سیدشکری باقری. ۱۳۹۰. بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۵، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- ۱۴- مونسیان، قاسم. ۱۳۹۰. بررسی تاثیرات تکتونیک گسل کمایستان بر شبکه آبها و مخروط‌افکنه‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در دامنه‌های شمالی ارتفاعات جغتای، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد جغرافیای طبیعی گرایش ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، استاد راهنما: دکتر ابولقاسم امیراحمدی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار.
- ۱۵- یمانی، مجتبی و حسن کامرانی‌دلیر. ۱۳۸۹. مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نوزمین‌ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس شمال غربی)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۷، مشهد.
- 16- Altin, Turkan Bayer and Bekir Necati Altin. 2011. Development and morphometry of drainage network in volcanic terrain, CentralAnatolia,



- Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain), *Geomorphology*, 96. Issues 1–2, Elsevier.
- 31- Jamieson, Stewart and Hugh Sinclair and Linda Kirstein and Ross Purves. 2004. Tectonic forcing of longitudinal valleys in the Himalaya: morphological analysis of the Ladakh Batholith, North India. *Geomorphology* 58, 1-4, Elsevier.
- 32- Keller Edward and Nicholas Pinter. 2002. *Active Tectonics Earthquake, Uplift, and Landscape*. Prentice Hall publisher. New, Jersey, 362p.
- 33- Li, Youli and Yang Jingchun and Tan Lihua and Duan Fengian. 1999. Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi corridor, Northwest China. *Geomorphology* Vol 28, Elsevier.
- 34- Mayer linne, Daniele Savelli and Marco Menichetti and Olivia Nesci. 2003. Morphotectonic approach to the drainage analysis in the North Marche region, central Italy. *Quaternary International*, Vol. 101-102, pp: 157-167. International Union for Quaternary Research (INQUA) United States.
- 35- Ramirez María Teresa. 1998. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graban, Mexican Volcanin belt. *Earth surface process and land froms*. Vol. 23, pp 317-322. British Geomorphological Research Group.UK.
- 25- Dehbozorgi Maryam, Mohsen Pourkermani and mohammad Arian and aliakbar Matkan and Hossain Motamedi. 2010. Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran, *geomorphology*, 121, 3-4.
- 26- Pirasteh Saied, and Biswajeet Pradhan and seyed Mohammad Rizvi. 2011. Tectonic process analysis in Zagros Mountain with the aid of drainage networks and topography maps dated 1950–2001 in GIS, *Arabian Journal of Geosciences*, 4.
- 27- Goldsworthy Mary and James Jackson. 2000. Active normal fault evolution in Greece revealed by geomorphology an drainage pattern. *Journal of the Geological Society*, London 157, 967-981, UK.
- 28- Guarnieri, Pierpaolo and Claudia Pirrotta. 2008, *The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily)*, *Geomorphology*, 95, 260-273, Elsevier.
- 29- Hackney Christopher and Carling Paul. 2011. The occurrence of obtuse junction angles and changes in channel width below tributaries along the Mekong River, south-east Asia, *Earth Surface Processes And Landforms Journal*, British Geomorphological Research Group.UK.
- 30- Hamdouni, Rachid and Irigaray and Fernandez and Chacon and Keller. 2008.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی