فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال یازدهم، شماره ۳۸، بهار ۹۶

کاربردشاخص زاویه تلاقی آبراهه ها (CA) در تحلیل ژئومورفولوژی تکتونیک حوضه‌های آبریز شمال شرق کشور

ابراهیم تقوی مقدم [۱]، شهرام بهرامی[۲] و محمد علی زنگنه اسدی[۳]

۱-دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا و علوم محیطی دانشگاه حکیم سبزواری e.taghavi@hsu.ac.ir
۲- دانشیار ژئومورفولوژی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی
۳- دانشیار ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا و علوم محیطی دانشگاه حکیم سبزواری

چکیده

استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتری برای تعیین و تشخیص تکتونیک‌های فعال دارای اهمیت زیادی است. زاویه اتصال آبراهه ها از جمله پارامترهای مربوط به شبکه زهکشی محسوب می‌شود و ارزیابی کمی آن می تواند در شناسایی تکتونیک های فعال به محققین علوم زمین کمک نماید. واحد زمین شناسی کپه داغ -هزار مسجد و آلاداغ – بینالود از فعالترین واحدهای زمین‌شناسی ایران محسوب می‌شود. در این تحقیق چهار حوضه باغرود و بوژان در زون آلاداغ بینالود و حوضه‌های زاوین وسررود در زون ساختمانی کپه داغ -هزار مسجد جهت ارزیابی نقش تکتونیک در زاویه آبراهه ها انتخاب شد. به این منظور از شاخص زاویه برخورد(CA)، شاخص انشعابات(R)، شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF) و شاخص تضاریس جبهه کوهستان (Smf) استفاده شد. نتایج نشان می دهد حوضه باغرود و بوژان به ترتیب با مقادیر ۱/۸۷ و ۱/۵۷بیشترین میزان R و حوضه های زاوین و سررود با مقادیر ۱/۳۳و ۱/۰۶ کمترین میزان R را به خود اختصاص دادند همچنین پس از محاسبه زاویه متوسط آبراهه‌ها مشخص شد حوضه آبخیز زاوین ۶۷/۷۳ درجه، دارای بیشترین زاویه و حوضه باغرود ۵۶/۰۹ درجه دارای کمترین میزان زاویه آبراهه می باشد. که این عامل نشاندهنده تغییرات مسیر جریان آبراهه‌ها مانند اسارت رود و در نتیجه حرکات تکتونیکی در دامنه طاقدیس خور می‌باشد. همچنین مقادیر(R)(Smf) و(PAF) نیز نشان می‌دهد حوضه های واقع در رشته کوه کپه داغ دارای حرکات تکتونیکی بیشتری نسبت به حوضه های انتخاب شده از رشته کوه بینالود می‌باشند.

واژگان کلیدی:تکتونیک، زاویه تلاقی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، بینالود، هزارمسجد.

مقدمه

واژه تکتونیک اشاره به ساختمان‌های تغییرشکل‌یافته و معماری خارجی‌ترین بخش زمین و ارزیابی این عوارض و ساخت‌ها در طول زمان زمین‌شناسی دارد. تکتونیک فعال به صورت حرکات نئوتکتونیکی که احتمال وقوع آنها در زمان آتی بوده و جوامع بشری را تهدید می‌نمایند، تعریف شده است (Duglas et all.2001.13).قرارگیری ایران در کمربند کوهزایی آلپ هیمالیا 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 تکنونیکی فعال و اثرات ناشی از آن همچون زمین‌لرزه ها برای بسیاری از فعالیتهای بشری همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاهها، سدها، تاسیسات صنعتی و ... از اهمیت بالایی برخودار می‌باشد این دانش بخشی از علوم زمین است که به مطالعه تاثیر متقابل تکتونیک و ژئومورفولوژی می‌پردازد(عبادیان،۱۳۷۹: ۱ ؛سلیمانی،۱۳۷۸: ۳۲). بعلاوه ارزیابی ساختمانها و لندفرم‌های زمین در طول تاریخ پیدایش آنها، موضوع دانش ژئومورفولوژی تکتونیک است(Burbank,2001) در سالهای اخیر ژئومورفولوژی تکتونیک یکی از ابزارهای اساسی و مؤثر در تشخیص

شکل‌های تکتونیکی فعال و تهیه نقشه‌های خطر لرزه‌ای و همچنین درک و فهم تاریخچه چشم‌اندازهای کنونی سطح زمین بوده است(Keller and, A, 2002Pinter) معمولا 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 ریخت شناسی پرداخت که این تغییرات را در خود حفظ کرده‌اند. یکی از عوارضی که نسبت به تغییرات زمین‌ساختی حساس می‌باشد، رودخانه‌ها و در کل شبکه زهکش یک منطقه است(حقی‌پور،۱۳۸۶). رودخانه‌ها اولین اشکال محیطی هستند که نسبت به تغییرات در بستر جریان و یا بروز تغییرات در طول بستر جریان، عکس‌العمل نسبتا سریعی انجام می‌دهند که می‌توان با توجه به عکس‌العمل‌های ثابت شده رودخانه‌ها نسبت به وقوع تغییرات ناگهانی که عمدتا ناشی از تکتونیک می‌باشد و تحلیل آنها با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک، که از شاخص‌های مناسب برای بررسی تاثیر تکتونیک بر رودخانه‌ها محسوب می‌شوند اظهارنظر و به نتایج حاصل از آنها استناد نمود(بیاتی خطیبی،۱۳۸۸).

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 می‌باشند که شاخص‌های مورفومتری را در ارزیابی تکتونیک فعال و ایجاد ناهنجاری زهکشی مورد استفاده قرار داده‌اند. از جمله مطالعاتی که به طور اخص در مورد شبکه‌های زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک می‌توان به تحقیقات(Ciccacci et all1986) 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(Mayer et all 2003). رویکرد مورفوتکتونیک در آنالیز سیستم‌های زهکشی در مرکز ایتالیا را مورد بررسی قرارداده است. (Saha et all,2006) با بررسی ناهنجاری آبراهه رودخانه پنجاب ، علت ناهنجاری بازه ای از رودخانه پنجاب را عامل تکتونیک می‌داند.(Hamdouni et all 2008) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شاخص Iat به طبقه‌بندی تکتونیک فعال جنوب اسپانیا پرداخته و مناطق فعال را مشخص نمودند. (Guarnieri and Pirrotta, 2008) نیز جهت بررسی تاثیر تکتونیک در چهار حوضه زهکشی در شمال شرق سیسیلی ایتالیا از شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی، شاخص انشعابات، استفاده کرده و دریافتند که تکتونیک‌های فعال نظم شبکه زهکشی را بهم می‌زنند و مقدار شاخص ناهنجاری زهکشی در حوضه-های فعال از نظرتکتونیکی بیش از حوضه‌های با فعالیت تکتونیکی کم است.(Altin 2011) توسعه و 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 ملک (۱۳۷۷)، پورکرمانی(۱۳۸۲)، ، مختاری(۱۳۸۴)، رضایی مقدم و احمدی(۱۳۸۵)، گورابی و نوحه‌گر(۱۳۸۶)، بهرامی و همکاران(۱۳۸۷)، بیاتی خطیبی(۱۳۸۸)، زرگریان و همکاران(۱۳۸۸)، کرمی(۱۳۹۱)، یمانی و همکاران(۱۳۸۹)، مقصودی و عمادالدین(۱۳۹۰)، ، مقصودی و همکاران(۱۳۹۰)، پیراسته و همکاران(۲۰۱۱)با هدف ارزیابی تکتونیک فعال از شاخص‌های ژئومورفیک نظیر گرادیان رود خانه ، عدم تقارن آبراهه ها ، تقارن توپوگرافی عرضی وتقعر مقطع طولی رودخانه،شاخص شکل حوضه و غیره استفاده نمودند.

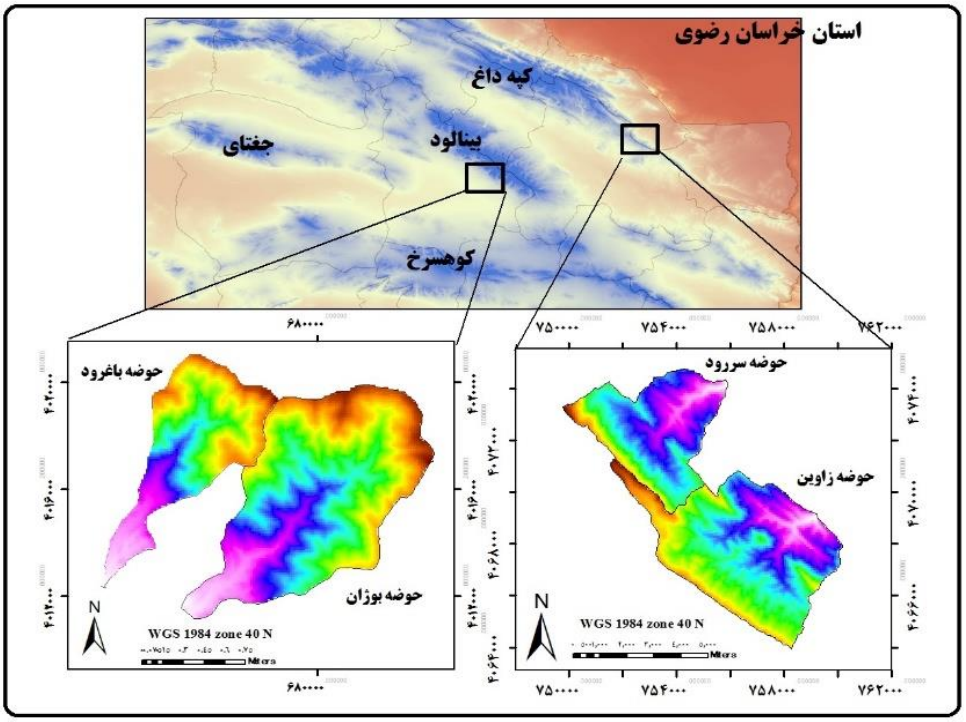
مواد و روش‌ها

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.10.3 جهت رقومی‌سازی و تحلیل‌های جغرافیایی و مورفومتری ، AutoCAD.2010 برای محاسبات مورفومتری آبراهه‌ها و Google Earth ، ENVI.5 جهت صحت سنجی برداشت اطلاعات مکانی در رابطه با رقومی سازی آبراهه‌ها استفاده شد. در این تحقیق با استفاده از نقشه-های توپوگرافی ۵۰۰۰۰ : ۱ و همچنین خطوط میزان رقومی توپوگرافی با دقت ۲۰ متر،حوضه‌های مورد مطالعه

انتخاب و مرزبندی شد. سپس مشخصات و جزئیات فیزیوگرافی حوضه‌ها و آبراهه‌ها استخراج شد . جهت تهیه لایه زمین شناسی از منطقه از نقشه زمین شناسی ۱۰۰۰۰۰ :۱ سازمان زمین شناسی مربوط به شیت نیشابور و کلات نادر استفاده گردید. مورفومتری حوضه ها از جمله مساحت، محیط، ارتفاع حداکثر، حداقل و همچنین ارتفاع متوسط حوضه ها، طول و عرض حوضه ها، طول آبراهه اصلی و مساحت سمت بزرگتر آبراهه اصلی و طول و تعداد آبراهه ها در درجات مختلف در محیط GIS محاسبه شد.در ادامه با استفاده از لایه توپوگرافی تولید شده از نقشه های توپوگرافی ۵۰۰۰۰ :۱ آبراهه های حوضه ترسیم وآبراهه‌ها را به درجات مناسب با توجه به رتبه‌بندی آبراهه‌ها در روش استرالر تفکیک و رتبه‌بندی شد. حوضه، شاخص زاویه برخورد (CA) شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF)، سینوزیته جبهه کوهستان(Smf) برای حوضه های منتخب محاسبه ومورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. آگاهی از مقادیر شاخص های یاد شده برای هر حوضه به عنوان اجزاء سیستم‌های ژئومورفیک می‌تواند محقق را در شناخت رفتارهای تکتونیکی حوضه ها یاری نماید.

منطقه مورد مطالعه

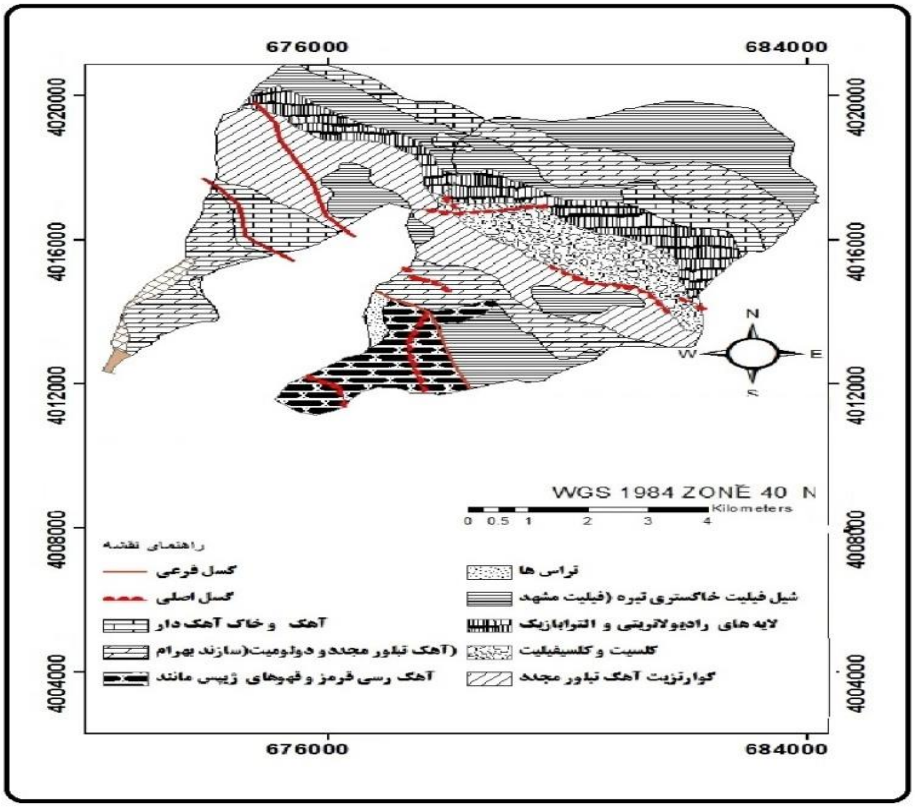
در این تحقیق چهار حوضه آبریز در گستره استان خراسان رضوی و در منتهی الیه شرقی زون ساختمانی کپه داغ – هزار مسجد و آلاداغ – بینالود جهت ارزیابی تکتونیک فعال انتخاب شد. حوضه‌های باغرود و بوژان با ارتفاع متوسط به ترتیب۲۹۵۰ و ۳۱۱۵ متر واقع در دامنه جنوبی بینالود و شمال شهر نیشابوردرچهارچوب مختصاتی ۳۶درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه عرض جغرافیایی تا ۵۸ درجه و ۵۶ دقیقه طول جغرافیایی قرار دارد .حوضه های زاوین و سررود در دامنه شمالی طاقدیس خور، از زون ساختمانی کپه داغ با ارتفاع متوسط به ترتیب۲۲۹۶ و ۲۴۵۵ متر قرار دارد(شکل۱). حوضه های منتخب هر کدام دارای مشخصات مورفومتری متفاوتی هستند که به تفصیل در جدول۱ آمده است. این حوضه ها در گستره زمین شناسی 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 شده اند. ازنظر زمین شناسی حوضه باغرود از شیل فیلیت خاکستری تیره فیلیت مشهد (۱۶/۹) درصد، آهک تبلور مجددو دولومیت(سازند بهرام)(۱۷)درصد، آهک رسی قرمز و قهوه ای ژیپس مانند (۱۴/۷)درصد، کوارتزیت آهک تبلور مجدد(۲۷/۳)درصد، تشکیل شده‌است. همچنین گسل تراستی بوژان وآبقوی با جهت شرقی-غربی در جنوب این حوضه قرارگرفته و در جبهه کوهستان منطقه تاثیر گذاشته است سازندهای منطقه مربوط به دوره های نئوژن در کواترنر و به میزان کمی نیز مربوط به دوره پالئوزوئیک می‌باشد.حوضه بوژان در قسمت شرقی حوضه باغرود قرارگرفته و ازنظر 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 پالئوزوئیک سازند میلا و سنگ های متامرفیک ترشیاری می‌باشد. حوضه سررود در دامنه شمالی طاقدیس خرو می باشد که از نظر لیتولوژی دارای ۳۰/۹ درصد، شیل آمونیت دار با میان لایه های سنگ آهک اربیتولین دار(سازند سرچشمه)۴/۷ درصد، شیل سیلتی، مارن ژیپس دار، ماسه سنگ و ژیپس) ۱۱/۴درصد، شیل خاکستری مایل به سبز ، آهک خاکستری و تراس ها 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 می باشد 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 تقریبی۳۵٪ و جهت شمال شرقی قرار دارند. (شکل۳).



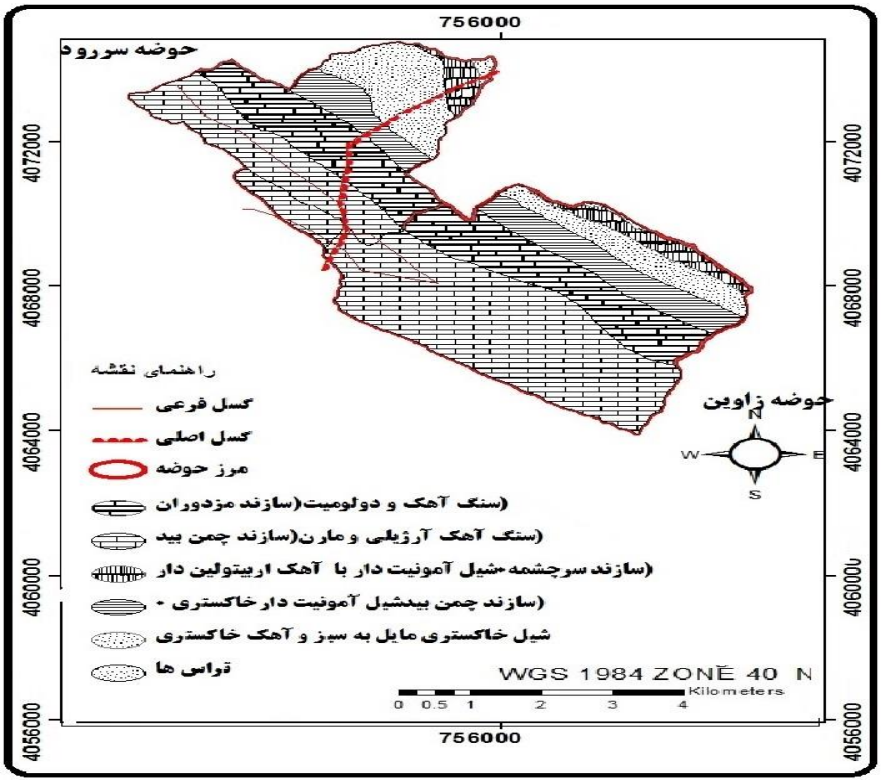
شکل ۱- حوضه های مورد مطالعه

جدول۱- مشخصات فیزیکی حوضه های آبریز مورد مطالعه

نام حوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	متوسط بارش (میلی متر)	شیب متوسط (درصد)	ارتفاع متوسط (متر)	حداقل ارتفاع (متر)	حداکثر ارتفاع (متر)	تراکم زهکشی (متر در کیلومتر مربع)	طول کل شبکه زهکشی (متر)	ضریب فشردگی (گراولیوس)	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)
باغرود	۲۰/۱۷	۲۵/۰۴	۴۵۰	۴۳/۴	۲۹۵۰	۱۴۲۳	۳۰۵۴	۸/۵۴	۱۷۲۲۶۹	۱/۵۷	۱۰/۶۳
بوژان	۴۲/۹۵	۳۰/۲۸	۴۵۵	۹۷/۹۴	۳۱۱۵/۵	۱۴۶۳	۳۳۰۵	۸/۱۱	۳۴۸۴	۱/۳۰	۱۲/۶۱
سرورد	۱۷/۲۳	۲۰/۵۳	۳۸۰	۴۲/۳۲	۲۴۵۵	۱۱۹۶	۲۵۱۸	۱۱/۲	۱۹۴۰۷۸	۱/۳۹	۷/۷۲
زاوین	۲۹/۳۶	۲۷/۸۴	۴۱۰	۳۶/۱	۲۲۹۶/۵	۱۱۸۰	۲۲۳۳	۹/۳۷	۲۷۵۱۳۰	۱/۴۵	۱۰۴۵۹



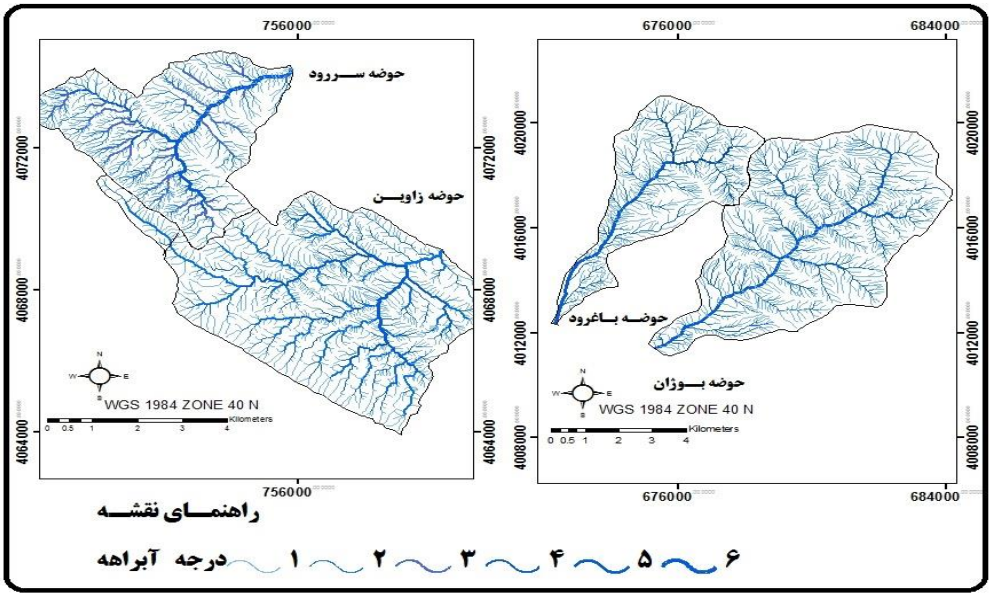
شکل۲- نقشه زمین شناسی حوضه های باغرود و بوژان



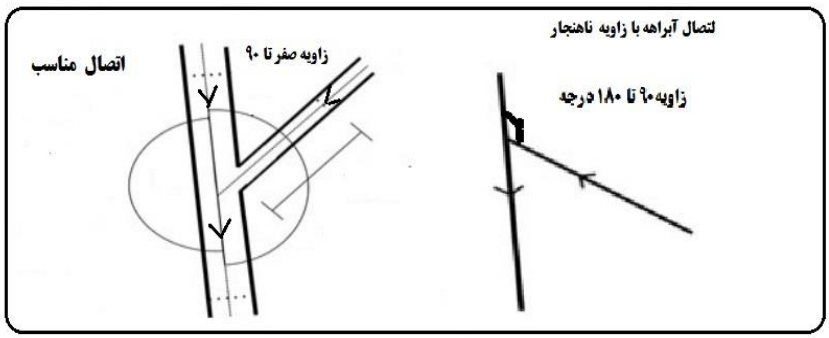
شکل۳- نقشه زمین شناسی حوضه های سررود و زاوین

بحث و نتایج

شبکه زهکشی و نحوه اتصالات شبکه زهکشی در هر حوضه آبخیز رابطه مستقیمی با عوامل تکتونیکی، شکستگی‌ها ولیتولوژی دارد و بررسی شبکه زهکشی و آنالیز مرفومتری 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.در این تحقیق ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی خطوط میزان استخراج گردید سپس با استفاده از شواهد و خصوصیات خطوط میزان آبراهه های هر حوضه ترسیم شد .پس از ترسیم آبراهه های هر حوضه درجه هر آبراهه با استفاده از طبقه بندی استرالر از آبراهه ها درجه هر آبراهه مشخص گردید به نحوی که دو آبراهه درجه یک به آبراهه درجه دو متصل می شود و دو آبراهه درجه دو به آبراهه درجه ۳ متصل می‌شود.(شکل۴)



شکل ۴- آبراهه های حوضه های مورد مطالعه با درجات تعیین شده به روش استرالر



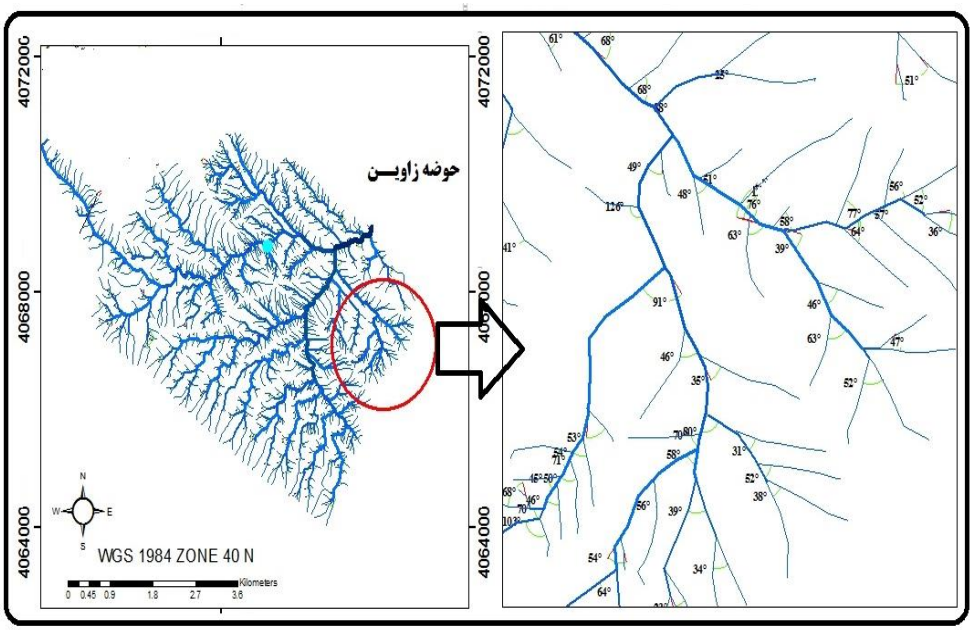
شکل۵- نمایش حالت های مختلف زاویه اتصال آبراهه ها

زاویه برخورد آبراهه(CA)

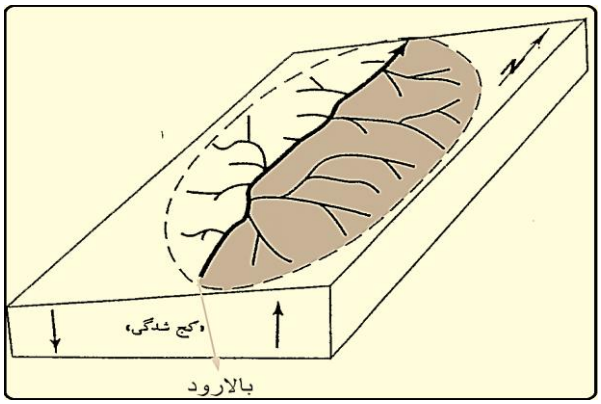
عوامل متعددی چون عوامل زمین شناسی، زمین ساختی، اقلیمی و هیدرولوژی در نظم ترتیب شبکه آبراهه ها دخیل هستند و می تواند در تراکم شبکه زهکشی، الگوی شبکه زهکشی و زاویه برخورد آبراهه-ها تاثیر گذار باشند به طور کلی زاویه های بالاتر از ۹۰ درجه مربوط به فرآیندهایی چون اسارت رودخانه و یا بالا آمدگی نامتقارن در حوضه های فعال می باشد که در اثر اعمال فرآیندهای تکتونیکی باعث تغییر در زاویه اتصال آبراهه ها شده است(Hackney and Carling2011:1364:).(شکل۵).به طور کلی از شاخص‌هایی چون تراکم زهکشی، زاویه برخورد آبراهه، تقارن زهکشی برای تعیین الگوی شبکه زهکشی و طبقه‌بندی حوضه آبریز استفاده می‌شود و بر اساس آن حوضه‌ها به انواع مختلفی چون موازی، درختی، داربستی شعاعی، پراکنده، واگرا و همگرا تقسیم‌بندی می‌شوند(Deffontaines 1994) در این تحقیق زاویه الصاق هر آبراهه به آبراهه دیگر با استفاده از نرم افزار اتوکد۲۰۱۱ محاسبه شد سپس با توجه به درجه بندی آبراهه‌ها و اتصال هر یک از آبراهه‌ها به درجات بعدی زوایای مربوط به هر رده از آبراهه‌ها تفکیک شد (جدول ۵)و در مرحله بعد از زوایای تفکیک شده در هر رده میانگین گرفته شد (شکل۶).بر اساس بررسی انجام شده زاویه متوسط حوضه آبخیز زاوین ۶۷/۷۳ درجه ، حوضه سررود ۵۹/۲۹ حوضه بوژان ۵۸/۷۴ و حوضه باغرود ۵۶/۰۹ درجه می‌باشد که موید این است که بالا بودن زاویه آبراهه‌ها در حوضه زاوین در اثر تغییرات مسیر جریان آبراهه مانند اسارت رود و همچنین حرکات تکتونیکی در دامنه طاقدیس خور می‌باشد،در نتیجه این حوضه به همراه حوضه سررود دارای فعالیت تکتونیکی بیشتری نسبت به سایر حوضه ها می‌باشد.

جدول۲- زاویه برخورد آبراهه ها

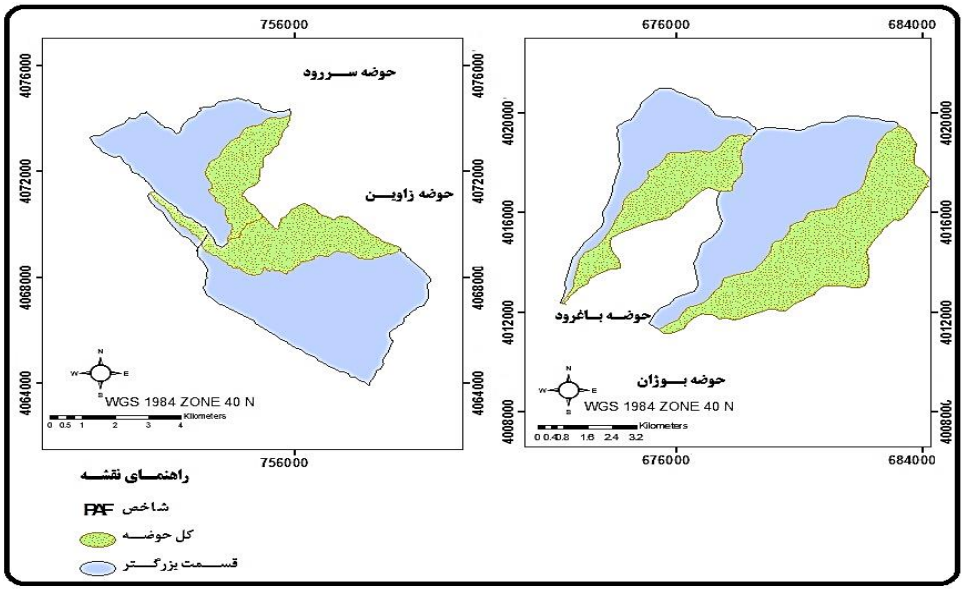
مسیر	حوضه باغرود	حوضه بوژان	حوضه سررود	حوضه زاوین
واحد	زاویه به درجه	زاویه به درجه	زاویه به درجه	زاویه به درجه
۱→۲	۴۲/۶۴	۴۵/۲۸	۵۲/۰۳۳	۶۱/۷۲
۱→۳	۵۹/۱۵	۶۳/۳۳	۵۴/۵۶	۵۰/۸۸
۱→۴	۷۰/۰۵	۶۸/۱۶	۶۱/۰۴	۷۹/۱۶
۱→۵	۶۳/۵۲	۶۰/۱۴	۶۸/۴۲	۷۴/۳۳
۱→۶	..	...	۷۴/۹۶	۴۱/۱۵
۲→۳	۶۳/۶۷	۶۱/۹۶	۴۶/۳۰۶	۷۲/۳۹
۲→۴	۶۷/۲۵	۵۸/۵۵	۶۰/۶۹	۸۴/۸
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



شکل۶- نمونه‌ای از محاسبه زاویه آبراهه‌ها در هر حوضه آبریز



شکل ۷- تاثیر تکتونیک در کج شدگی حوضه آبریز



شکل۸- نحوه محاسبه شاخص PAF

در این پژوهش شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF) مورد استفاده قرار گرفته است که بدون در نظر گرفتن کج‌شدگی تکتونیکی به سمت راست یا چپ ، صرفا درصد کج‌شدگی را نشان می‌دهد(شکل۸) .طبق محاسبات انجام شده حوضه زاوین با ۷۶ درصد دارای بیشترین 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 ۳). در نتیجه حوضه های زاوین و سررود بیشترین فعالیت تکتونیکی ناشی از کج شدگی ،نسبت به حوضه های باغرود وبوژان می باشد.

جدول۳- مقادیر PAF برای هر حوضه

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

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 می‌یابد. به نحوی که هر چه قدر یک شبکه زهکشی دارای انشعابات نامنظم وغیر طبیعی باشد ، تغییر و تحول در ساختار تکتونیکی آن دور از انتظار نیست. شاخص انشعابات از عدد نسبت انشعابات حوضه، منهای نسبت مستقیم انشعابات حوضه بدست می-آید(Baroni et all , 2005).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 آبراهه های آن درجه بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر بدست می‌آید(رابطه۲).

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

نسبت انشعابات کل حوضه از میانگین Rb کل درجات محاسبه می‌شودبه عنوان مثال این نسبت برای حوضه باغرود به این صورت محاسبه شده است. انشعابات در حوضه های باغرود، بوژان، سررود و زاوین به ترتیب ۵/۱۳، ۵/۵۴، ۳/۸۵، ۴/۲۹محاسبه شده است(جدول۳). نسبت مستقیم انشعابات (Rdb) برای هر درجه از آبراهه، از تقسیم تعداد آبراهه‌های آن درجه(که مستقیما به یک درجه بالاتر وارد می شوند) بر تعداد کل آبرا هه‌های یک درجه بالا تر به دست می‌آید . نسبت مستقیم انشعابات کل حوضه از میانگین (Rdb) کل درجه‌ها بدست می‌آید. برای مثال تعداد آبراهه های درجه یک که وارد ۲ می‌شوند در حوضه باغرود ۲۸۷ آبراهه می‌باشد (جدول ۴) و تعداد کل آبراهه‌های درجه ۲ تعداد ۸۹ آبراهه می‌باشد. طبق محاسبات مقدار Rdb برای آبراهه های درجه ۱ حوضه باغرود$\frac{287}{89}$ می باشد. این نسبت ساختار هیدروگرافیک حوضه را بدون این که ناهنجاری‌های سلسله مراتبی را مدنظر قرار گیرند توصیف می‌کند . این نسبت از رابطه ۲ بدست می آید به نحوی که با افزایش فعالیت تکتونیکی، مقدار شاخص انشعابات در حوضه‌ها افزایش می‌یابد.

Rbd(u-u+1)=Ndu/Nu+1

Rb = نسبت مستقیم انشعاب

Ndu = تعداد آبراهه های رتبه ویژه که به رتبه بالاتر جریان می یابند

Nu+1= تعداد آبراهه های رتبه بالاتر می باشد.

جدول ۳- نسبت انشعابات در حوضه های مورد مطالعه

حوضه آبریز	تعداد کل آبراهه	آبراهه درجه۱	آبراهه درجه۲	آبراهه درجه۳	آبراهه درجه۴	آبراهه درجه۵	آبراهه درجه۶	Rb (شاخص نسبت انشعابات)
باغرود	۵۳۷	۴۲۸	۸۹	۱۷	۲	۱	-	۵/۱۴
بوژان	۱۰۶۱	۸۷۸	۱۴۵	۳۰	۷	۱	-	۵/۵۴
سررود	۹۰۱	۶۹۵	۱۵۷	۳۷	۹	۲	۱	۳/۸۶
زاوین	۱۱۶۷	۹۶۰	۱۶۱	۳۷	۶	۲	۱	۴/۳۰

جدول ۴- محاسبه متغیرهای Rbd ، Rb و شاخص R

نام حوضه	باغرود		بوژان		سررود		زاوین	
مسیر آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه های یک درجه بالاتر	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه های یک درجه بالاتر	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه‌های یک درجه بالاتر	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه های یک درجه بالاتر
۱→۲	۲۸۵	۸۹	۳۲۶	۱۴۵	۴۵۵	۱۵۷	۵۲۶	۱۶۱
۲→۳	۵۷	۱۷	۱۰۹	۳۰	۱۲۱	۳۷	۱۱۳	۳۷
۳→۴	۹	۲	۲۱	۷	۲۵	۹	۲۷	۶
۴→۵	۲	۱	۷	۱	۶	۲	۶	۲
۵→۶	۰		۰		۲	۱	۱	۱
Rbd	۳/۲۶۳		۳/۹۷۰		۲/۷۸۹		۲/۹۶۴	
Rb	۵/۱۳۶۰		۵/۵۴۳		۳/۸۵۶		۴/۲۹۶	
R=R-Rbd	۱/۸۷۲۹		۱/۵۷۳۹		۱/۰۶۶۹		۱/۳۳۱	

با افزایش فعالیت تکتونیکی، مقدار شاخص انشعابات در حوضه‌ها افزایش می‌یابد(بهرامی۲۰۱۳).مقدار R در حوضه‌های مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفت و بر طبق آن(جدول ۴) حوضه باغرود و بوژان به ترتیب با مقادیر ۱/۸۷ و ۱/۵۷بیشترین میزان R و حوضه های زاوین و سررود با مقادیر ۱/۳۳و ۱/۰۶ کمترین میزان R را به خود اختصاص دادند.

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 می کند این شاخص از رابطه زیر بدست می آید :

$$Smf = Lmf/Ls$$

که در این شاخص :

Smf = شاخص سینوسی جبهه کوهستان

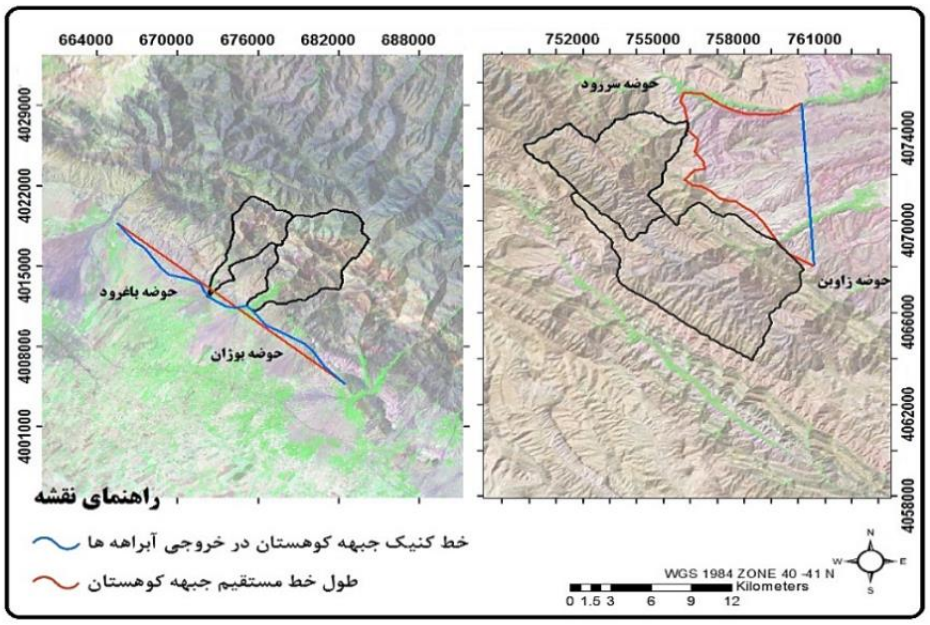
Lmf = طول جبهه کوهستان در امتداد پایکوه

Ls =طول خط مستقیم جبهه کوهستان .

هر چقدر میزان Smf کمتر باشد حاکی از فعال بودن تکتونیک منطقه و جبهه های کوهستانی مستقیم می باشد. 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 ۱/۵تکتونیک شدید در نظر گرفته شده است(همدونی و دیگران۲۰۰۸) مقادیر Smfجبهه کوهستانی در خروجی حوضه های مورد مطالعه طبق جدول ۵ بدست 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(شکل۹). الگوی شبکه زهکشی در یک حوضه به شدت متاثر از فرآیندهای نئوتکتونیکی است. فعالیت تکتونیکی می‌تواند نظم سلسله مراتبی الگوی شبکه زهکشی را برهم‌زند و آن را به نحوی از حالت نرمال خارج سازد. تحقیقاتی که تاکنون انجام شده : بیاتی (۱۳۸۴)کرمی (۱۳۸۸و ۱۳۹۱)و مختاری(۱۳۸۴)، با استفاده شاخص‌های مورفومتری به ارزیابی تکتونیک فعال پرداخته اند. 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 شاخص های ژئومورفومتری دیگری شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF) ، شاخص تضاریس جبهه کوهستان (Smf)، 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 محاسبات انجام شده مشخص شد زاویه متوسط آبراهه ها در حوضه آبخیز زاوین ۶۷/۷۳ درجه ، حوضه سررود ۵۹/۲۹ حوضه بوژان ۵۸/۷۴ و حوضه

جدول۵- مقادیر شاخص Smf در دامنه جنوبی بینالود و دامنه شمالی کپه داغ

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



شکل۹- محاسبه مقادیر Smf در دامنه جنوبی بینالود و دامنه شمالی کپه داغ

باغرود ۵۶/۰۹ درجه می‌باشد که نشاندهنده بالا بودن زاویه آبراهه‌ها در حوضه زاوین در اثر تغییرات مسیر جریان آبراهه مانند اسارت رود و همچنین حرکات تکتونیکی در دامنه طاقدیس خور می‌باشد، در نتیجه این حوضه به همراه حوضه سررود دارای فعالیت تکتونیکی بیشتری نسبت به سایر حوضه ها می‌باشد. شاخص زاویه برخورد آبراهه نیز پارامتر بسیار مناسبی برای تکتونیک فعال محسوب می‌شود. طبق محاسبات انجام شده مشخص شد حوضه زاوین با ۷۶ درصد دارای بیشترین میزان PAF و حوضه های سررود ،بوژان و باغرود به ترتیب با ۷۰/۳٪ -۵۳/۴۴٪-۵۰/۸۲٪ در رتبه های بعدی قرار دارند. در نتیجه حوضه های زاوین و سررود بیشترین فعالیت تکتونیکی ناشی از کج شدگی ،نسبت به حوضه های باغرود وبوژان می باشد.در حالت کلی تمامی حوضه‌های مورد مطالعه تحت تاثیر حرکات نئوتکتونیکی عهد حاضر (هولوسن) می‌باشند. در حوضه‌های بینالود فعالیت گسل امتداد لغز بوژان و نیشابور در جهت شرقی و غربی باعث شده‌است که سازندهای رسوبی تک شیب دامنه جنوبی با عملکرد این گسل به سمت بالا حرکت داشته، به نحوی که شبکه زهکشی برای رسیدن به دشت این سطوح بالا آمده را برش‌زده و دره‌های عمیقی را ایجاد نموده است(شکل۱۰). در مقابل در حوضه‌های منتخب از کپه داغ-هزارمسجد ، عملکرد تکتونیک به صورت بالا آمدن محور طاقدیس می‌باشد که به دلیل تفاوت در لیتولوژی لایه ها باعث ایجاد خط الراس‌هایی با شیب تند در محور طاقدیس خور شده‌است و از این مهمتر عملکرد گسل امتداد لغز شمالی جنوبی سررود ، دقیقا منطبق بر آبراهه اصلی می‌باشد که در جهت عمود بر محور طاقدیس قرارگرفته با تشدید فعالیت‌های کاوشی رودخانه باعث ایجاد یک Watergap در آینده خواهد شد(شکل۱۰).

جدول ۸ -مقادیر شاخص های محاسبه شده در حوضه های مورد مطالعه

شاخص/حوضه	تراکم آبراهه ها متر در متر مربع	Rb	Rdb	CA	PAF درصد	Smf
باغرود	۸/۵۴	۵/۱۴	۳/۲۶۳	۵۶/۰۹	۵۰/۸۲	۰/۹۵۷۴
بوژان	۸/۱۱	۵/۵۴	۳/۹۷	۵۸/۷۴	۵۳/۴۴	
سررود	۱۱/۲	۳/۸۶	۲/۷۸۹	۵۹/۲۹	۷۰/۳۱۲	۲/۲۰۶
زاوین	۹/۳۷	۴/۳	۲/۹۶۴	۶۷/۷۳	۷۶/۰۰۳	

شکل۱۰ -الف: تاثیر تکتونیک فعال در لایه های زمین شناسی دامنه جنوبی بینالود، تصویر ب :عملکرد گسل سررود در برش عرضی دامنه طاقدیس خور

بر اساس محاسبات انجام شده با افزایش فعالیت تکتونیکی مقدار شاخص انشعابات در حوضه‌ها افزایش می‌یابد. مقدار R در حوضه‌های مورد مطالعه، مورد بررسی قرارگرفت و بر طبق آن(جدول۸) حوضه باغرود با ۱/۸۷و بوژان با ۱/۵۷دارای بیشترین میزان R و حوضه‌های زاوین با ۱/۳۳ و سررود با ۱/۰۶کمترین مقادیر R را به خود اختصاص دادند که با توجه به این شاخص حوضه های باغرود و بوژان دارای حرکات تکتونیکی شدیدتری نسبت به زاوین و سررود است و این در اثر تغییرات سطح اساس رودخانه ها به دلیل عملکرد گسل تراستی بینالود و نیشابور است. با محاسبه زاویه متوسط آبراهه‌ها مشخص شد حوضه آبخیز زاوین ۶۷/۷۳درجه ، حوضه سررود ۵۹/۲۹ حوضه بوژان ۵۸/۷۴ و حوضه باغرود ۵۶/۰۹درجه می‌باشد که مقادیر بالای زاویه آبراهه‌ها در حوضه های زاوین وسررود نشان دهنده حرکات تکتونیکی در دامنه طاقدیس خور می‌باشد. مقادیر Smf و PAF نیز نشان می‌دهد حوضه‌های کپه‌داغ نسبت به بینالود دارای حرکات تکتونیکی بیشتری نسبت به حوضه‌های بینالود می‌باشند. در حالت کلی حوضه‌های سررود و زاوین نسبت به باغرود و بوژان از فعالیت بیشتری برخوردار است.

منابع

- **بهرامی، ش ، (۱۳۹۲)**"معرفی روشی کمی جهت بررسی ناهنجاری سلسله مراتبی شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک، مطالعه موردی:۶حوضه آبخیز زاگرس" بیستمین همایش ملی ژئوماتیک، ص: ۱۰-۱
- **بهرامی، ش، مقصودی، م و بهرامی ک،(۱۳۹۰)**،"بررسی نقش تکتونیک در ناهنجاری مورفومتری شبکه زهکشی در چهار حوضه آبخیز در زاگرس"، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره۷۶، ص: ۷۰-۵۱
- **بهرامی،ش؛یمانی وم، علوی پناه،ک(۱۳۸۷)**، "تحلیل مورفومتری و مورفولوژی شبکه زهکشی در مخروط آتشفشانی تفتان " پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ش۶۵،ص ۷۲-۶۱
- **بیاتی خطیبی، م،(۱۳۸۸)**"تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیکی در حوضه آبریز قرنقوچای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک "مجله فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره۲۵، ص: ۵۰-۲۳
- **حقی پور، ن (۱۳۸۶)**" بررسی ریخت زمین ساختی گستره کپه داغ-بینالود بر پایه شاخص‌های گرادیان شیب رود و هیپسومتری"علوم زمین، سال شانزدهم، شماره۶۴، ص: ۸۷-۷۴
- **رضائی مقدم،م ح و احمدی م، (۱۳۸۵)**" تحلیل ژئومورفولوژی کمی الگوی زهکشی شبکه آبراهه ای به کمک زاویه برخورد آنها در زیر حوضه سریاس استان کرمانشاه"فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۲۱ ، پیاپی ۸۱، ص:۹۸-۸۴
- **سلیمانی،ش(۱۳۷۸)**،"رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه شناسی" چاپ اول،پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
- **عبادیان، س(۱۳۷۹)**، "تحلیل ساختاری و زمین ساختی طاقدیس سبزپوشان بر اساس آنالیزهای مورفوتکتونیکی" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران
- **-کرمی، ف،(۱۳۹۱)**، ارزیابی نسبی تکتونیک فعال با استفاده از رو شهای مورفومتری در حوضه های شمالی و شرقی کوه سهند، فصلنامه ی علمی -پژوهشی فضای جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، سال دوازدهم، شماره ی ۳۷، ص۱۸-۱
- **گورابی، ا و نوحه‌گر ا،(۱۳۸۶)**، شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه‌آبخیز درکه، پژوشهای جغرافیایی، شماره۶۰،ص: ۱۹۶-۱۷۷
- **مختاری،د،(۱۳۸۴)**،"کاربرد شاخص‌های‌ریخت‌سنجی در تعیین میزان فعالیت گسل‌ها(نمونه موردی :گسل شمالی میشو)"، مجله علوم زمین، شماره ۵۹ ، ص:۸۳-۷۰

- **مقصودی، م و ، عمادالدین س ، (۱۳۹۰)"** تحلیل شواهد مورفوتکتونیکی گسل درونه در محدوده حوضه آبریز ششطراز و مخرطافکنه پایین دست آن" مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره شانزدهم، ،ص: ۱۲۳-۱۰۷
- **مقصودی، م، جعفری اقدم، م، باقری س ش(۱۳۹۰)**، "بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی" جغرافیا و توسعه، شماره۲۵، ص: ۱۳۶-۱۱۱
- **یمانی، م، کامرانی دلیر،ح(۱۳۸۹)"**مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین ساخت در حوضه آبریز چله(زاگرس شمال غربی) "، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی،شماره ۹۷، ص: ۲۶-۱
- **Altin, T.b and Altin,B.N., (2011)**, "Development and morphometry of drainage network in volcanic terrain,
- **Deffontaines, B., P. Chotin, L. Air Brahim, and M. Rozanov., (1992)**. "Investigation of active faults in Morocco using morphometric methods and drainage pattern analysis", Geologische Rundschau 81, 199-210.
- **DuglasW.burbank,RS.Anderson(2001)."** Tectonic Geomorphology".Blackwell Science, Ltd , pp:460
- **Goldsworthy, M and Jackson, J.,(2000)**. "Active normal fault evolution in Greece revealed by geomorphology an drainage pattern". Journal of the Geological Society, London 157, 967- 981.
- **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, 95, 260-273.
- **Hackney Christopher and Carling Paul (2011)**,"The occurrence of obtuse junction North Marche region , central Italy". Quternary International ,vol 101-102, pp157-167.
- **-Ramirrez-Herrera,M.T.(1998).** "Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graban, Mexican Volcanin belt". Earth surface process and land froms. Vol. 23, pp 317-322.

Central Anatolia, Turkey". Geomorphology, Vol. 125, pp. 485-503
- **Bahrami Shahram, (2013)**, "Analyzing the drainage system anomaly of Zagros basins" implications for Tectonophysics journal ,pp: 914-928
- **Burbank, D.W., Anderson, R.S.,(2001)**, "Tectonic Geomorphology", Blackwell Science. pp:288.
- **Chen, Y.C., Sung, Q., Chen, K.Y., (2003), "**Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis" Geomorphology ,v56,pp:109-137
- **Ciccacci, S., Fredi, P., Lupia Palmieri, E., Pugliese, –F., (1986)**."Indirect evaluation of erosion entity in drainage basins through geomorphic, climatic and hydrological parameters". First International Conference on Geomorphology, 233–248.
- **Deffontaines .B , I. C. Lee, J. Angelier, J. Carvalho(1994),** "New geomorphic data on the active Taiwan orogen: A multisource approach " , Journal Of Geophyslcal Research, Vol. 99, No. B10, pp122-137
angles and changes in channel width below tributaries along the Mekong River, south-east Asia", EARTH Surface Processes And Landforms Journal, 1563–1576
- **Jamieson, S.S.R., Sinclair, H.D., Kirstein, L.A., Purves, R.S.,(2004).** "Tectonic forcing of longitudinal valleys in the Himalaya: morphological analysis of the Ladakh Batholith, North India". Geomorphology 58, 49–63
- **Keller Edward, A, and Nicholas Pinter (2002). "**Active Tectonics Earthquake, Uplift, and Landscape".; Prentice Hall publisher. New, Jersey,362p.
Malik, J.Mahanty. C (2006). "Active tectectonic influence on the evolution of drainage and Landsca pe: Geomorphic signatares From Fronal and hinterl and areas along the Nortwesteren Himalaya", Journal of Asian Earth Sciences 29 (2007) 604–618. 605
- **Saha k. k ,Dave h. d, Mitra d (**2006**)"** Study of Tectonic Elements of Punjab Plains from Satellite Imagery, Drainage Network and Gravity Anomalies", 6 th international Conference & Exposition on Petroleum Geophysics.