

تحلیل ناهنجاری های شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک فعال در حوضه های آبریز شمال تبریز

فریبا کرمی* - استاد گروه پژوهش های جغرافیایی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز
معصومه رجیبی - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز
کلثوم اباذری - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۱۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۵/۱۴

چکیده

شبکه های زهکشی فعال ترین و حساس ترین عناصری هستند که می توانند به عنوان ابزاری قدرتمند برای درک فعالیت های نئوتکتونیک در یک منطقه مورد استفاده قرار گیرند. به منظور تحلیل اثرات تکتونیک فعال در حوضه های زهکشی از تحلیل های مورفومتری که ابزار مفیدی در مطالعات تکتونیک محسوب می شوند، استفاده می شود. در این پژوهش تاثیر فعالیت های تکتونیک گسل تبریز بر حوضه های آبریز ورکش چای، گمانچ چای، نهند چای و سرند چای واقع در شمال تبریز با استفاده از شاخص های تراکم زهکشی (Dd)، فرکانس زهکشی (Df)، ضریب گردواری (CR)، نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه (LSBW)، حجم به سطح حوضه (VA)، نسبت کشیدگی (Re)، شاخص انشعاب (R)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، نسبت شکل حوضه (BS) و شاخص تعقر لانگین (IC)، شاخص ناهنجاری های سلسله مراتبی (Δa) و شاخص تراکم ناهنجاری های سلسله مراتبی (ga) بررسی شدند. بین شاخص های مذکور رابطه همبستگی بیرونی برقرار شد و ضریب تبیین بدست آمد. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی بین پارامترهای Δa -CR, Δa -Bs, Δa -LSBW, Δa -R, Δa -Re, Δa -IC, Δa -ga به ترتیب $+0.91$, $+0.69$, -0.87 , -0.85 , $+0.55$ است و بین پارامترهای ga -Re, ga -CR, ga -Bs, ga -LSBW, ga -R, ga -IC, ga -ga به ترتیب $+0.93$, $+0.95$, $+0.83$, $+0.94$, -0.80 , $+0.65$ برقرار است. نتیجه تحلیل ها نشان می دهد که شاخص های Δa و ga کاملاً تحت تاثیر کشیدگی حوضه ها که ناشی از اثر تکتونیک فعال می باشد قرار دارند. در ضمن ناهنجاری های شبکه زهکشی تمامی حوضه های شمال تبریز از شاخص تعقر نیمرخ رودخانه نیز متاثر می شوند.

واژگان کلیدی: ناهنجاری های سلسله مراتبی شبکه زهکشی، پارامترهای مورفومتری، شاخص های ژئومورفیک، تکتونیک فعال، حوضه های شمال تبریز.

مقدمه

تشکیل و تحول شبکه های زهکشی از مشارکت عواملی مانند اقلیم، لیتولوژی و فعالیت های تکتونیکی ناشی می شود (گارنیری و پیروتا^۱، ۲۰۰۸؛ ۲۶۴). فعالیت های تکتونیکی در تحول مورفولوژی حوضه های زهکشی نقش مهمی دارند. بطوری که تحلیل یک حوضه زهکشی در پاسخ به فرایندهای تکتونیکی، می تواند حوادث تغییر شکل گذشته و اخیر آن منطقه را معلوم کند. شبکه های زهکشی فعال ترین و حساس ترین عناصر هستند که می توانند به عنوان ابزاری قدرتمند برای درک فعالیت های نئوتکتونیکی در یک منطقه مورد استفاده قرار گیرند (احمد و راو^۲، ۲۰۱۶؛ ۵۴). به منظور تحلیل اثرات تکتونیک فعال در حوضه های زهکشی از شاخص های مورفومتری که ابزار مفیدی در مطالعات تکتونیکی محسوب می شوند، استفاده می شود (استپانیکووا^۳ و همکاران، ۲۰۰۸؛ ۶۹). تحلیل های مورفومتری به تحلیل کمی خصوصیات هندسی لندفرم ها اطلاق می شود و شامل شاخص های ژئومورفیک و شاخص های سلسله مراتبی^۴ شبکه زهکشی می شود (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸؛ ۲۶۴). در واقع، مورفومتری اندازه گیری و تحلیل ریاضی وضعیت سطح زمین، شکل و ابعاد لندفرم هایش می باشد (پراکاش^۵ و همکاران، ۲۰۱۶؛ ۱۲۱). شاخص های ژئومورفیک مانند عدم تقارن حوضه زهکشی، نسبت شکل حوضه، سینوسی رودخانه، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن و غیره معیارهای توانمندی برای آشکار کردن واکنش لندفرم ها به فرایندهای تغییر شکل اخیر هستند و بنابراین می توانند برای شناسایی بخش های تغییر شکل یافته به وسیله گسل های فعال مورد استفاده قرار گیرند (پدرا^۶ و همکاران، ۲۰۰۹؛ ۲۱۸). شاخص های سلسله مراتبی شبکه زهکشی مانند رتبه بندی شبکه رودخانه ایی، نسبت انشعاب، شاخص ناهنجاری های سلسله مراتبی، شاخص تراکم ناهنجاری های سلسله مراتبی، تراکم شبکه رودخانه ایی، فرکانس زهکشی و غیره پارامترهایی هستند که با محاسبه آن ها امکان بررسی تاثیر تکتونیک در تحول حوضه های آبریز آشکار می شود (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸؛ ۲۶۶). مطالعات متعدد نشان می دهند که رودخانه ها لزوماً از ارتفاعات بالا به پایین به موازات حداکثر شیب منطقه ای جریان می یابند. انحراف جهت جریان رودخانه از شیب توپوگرافی منطقه بدلیل عدم پیوستگی (بریدگی) ساختاری یا لیتولوژی به عنوان ناهنجاری زهکشی در نظر گرفته می شود (سدرته^۷ و همکاران، ۲۰۱۶؛ ۳۴۵؛ پابلیر^۸ و همکاران، ۱۹۹۴؛ ۲۳۶؛ دفونتینس^۹ و همکاران، ۱۹۹۲، ۲۰۰).

با وجودی که مطالعات گسترده ای در زمینه ویژگی های سیستم های زهکشی و ارتباط آنها با فعالیت های تکتونیکی انجام شده است، اما پژوهش های اندکی در زمینه نظم سلسله مراتبی شبکه های زهکشی وجود دارد. مطالعات کمی سیستم های زهکشی بوسیله هورتن (۱۹۴۵) آغاز شد و بوسیله استرالر (۱۹۵۲) دنبال شد که در این مطالعات آنها مفهوم رتبه بندی رودخانه را معرفی کردند (بهرامی، ۲۰۱۳؛ ۹۱۴). آونا^{۱۰} و همکاران (۱۹۶۷) شاخص انشعاب (R)، نسبت انشعاب مستقیم (Rbd)، تعداد ناهنجاری های سلسله مراتب (Ha)، شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa) و تراکم ناهنجاری های سلسله مراتبی را معرفی کردند. گارنیری و پیروتا (۲۰۰۸) ناهنجاری های سلسله مراتبی را به منظور آشکار کردن فعالیت های تکتونیکی شمال شرقی سیسیلی ایتالیا بررسی کردند و گسل های نرمال و راستگرد را مسئول تغییر شکل اخیر

1- Guarnieri & Pirrotta
 2- Ahmed & Rao
 3- Stepancikova
 4- Hierarchical index
 5- Prakash
 6- Perdrera
 7- Sedrette
 8- Pubellier
 9- Deffontaines
 10- Avena

و در نتیجه اصلاح شبکه هیدروگرافی در این منطقه معرفی کردند. راماسامی^۱ و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از تکنیک سنجش از دور، ناهنجاری های شبکه زهکشی جنوب هند را در ارتباط با فعالیت های تکتونیکی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که نیروی فشاری به سمت شمال که صفحه هند را به سمت شمال حرکت می دهد، هنوز فعال است و موجب تغییر شکل صفحه هند می شود. راج^۲ (۲۰۱۲) در مطالعه سیستم های زهکشی شمال شرق گوجرات هند با استفاده از شاخص های انشعاب (R) و نسبت انشعاب (Rb) دریافت کج شدگی به سمت شرق سیستم زهکشی در منطقه در طول گسل های متعدد به تشکیل برخی شبکه های هیدروگرافی ضعیف منجر شده است. فرهان و همکاران (۲۰۱۵) به تحلیل کمی پارامترهای ژئومورفیک وادی کراک در اردن با استفاده از سنجش از دور و GIS پرداختند. نتیجه تحلیل های مورفومتری نشان داد که در گذشته، چهار مرحله تجدید جوانی فرسایش شدید و حفر پایین دست رودخانه را در پی داشته و در حال حاضر هم این منطقه مستعد فرسایش سطحی می باشد. بایسواز^۳ (۲۰۱۶) با استفاده از GIS و پارامترهای مورفومتری، تغییرات هیدرولوژیکی حوضه رودخانه پارتی در هند را بررسی کرد. تحلیل های مورفومتری این حوضه نشان داد که منطقه در مراحل اولیه تحول زهکشی قرار دارد و آبراهه های رتبه اول در حوضه بیشتر هستند. شکل کشیده حوضه، رواناب کم و ظرفیت نفوذپذیری بالای حوضه بیانگر این است که منطقه در ارتباط با فعالیت های تکتونیکی قرار دارد و بنابراین مورفولوژی رودخانه بسیار پویا خواهد بود. در زمینه ناهنجاری های سیستم های زهکشی ایران برخی مطالعات انجام شده اند، برای مثال علایی طالقانی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی نقش تکتونیک فعال در مورفولوژی کانال های جریان حوضه بالادست الوند در غرب استان کرمان پرداختند. در این زمینه از برخی شاخص های سلسله مراتبی شبکه زهکشی و شاخص های ژئومورفیک و GIS استفاده کردند. نتیجه پژوهش نشان داد که وضعیت تکتونیک حوضه در مورفولوژی کانال های جریانی نقش موثری داشته است. بطوری که در ناودیس رجباب تعداد بیشتر گسل ها و شکستگی های طولی و عرضی، نقش مهمی در ناهنجاری های زهکشی آن منطقه داشته است. بهرامی (۱۳۹۴) به تحلیل ناهنجاری های سلسله مراتبی شبکه زهکشی ده حوضه آبخیز زاگرس در ارتباط با تکتونیک پرداخت. در این زمینه از تحلیل های مورفومتری شامل شاخص های سلسله مراتبی شبکه زهکشی و شاخص های ژئومورفیک و GIS استفاده کرد. نتیجه تحلیل ها نشان داد ناهنجاری های شبکه زهکشی حوضه های مورد مطالعه، کاملاً تحت تاثیر درصد کج شدگی و کشیدگی حوضه ها قرار دارند. جمال آبادی و همکاران (۱۳۹۵) برای بررسی تاثیر تکتونیک فعال در مورفومتری شبکه های زهکشی در دامنه جنوبی بینالود از شاخص های ناهنجاری سلسله مراتبی و برخی شاخص های ژئومورفیک استفاده کرد. نتیجه پژوهش نشان داد که ناهنجاری های شبکه زهکشی در حوضه های بار، بقیع و قلعه میدان از نسبت شکل حوضه و نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه بیشتر تاثیر می پذیرند. در وضعیت تکتونیک فعال در حوضه های شمال تبریز نیز کرمی و بیاتی خطیبی (۱۳۹۳) ضمن بررسی وضعیت لرزه خیزی و سائز موتکتونیکی منطقه، به ارزیابی تکتونیک فعال با استفاده از شاخص های ژئومورفیک پرداختند. نتیجه تحلیل شاخص ها نشان داد حوضه های مورد مطالعه با تاثیر پذیری از گسل شمال تبریز، دارای فعالیت های تکتونیکی زیاد می باشند.

کشور ایران به دلیل قرارگیری در کمربند زلزله خیز آلپ - هیمالیا، از نواحی فعال تکتونیکی جهان محسوب می شود. تکتونیک فعال در ایران از همگرایی پوسته های قاره ای عربستان و اوراسیا ناشی می شود (مارتینی^۴ و همکاران، ۱۹۹۸، ۱۸۷). این همگرایی باعث حرکت روبه شمال صفحه عربستان به سمت پوسته اوراسیا و فشردگی سپر فلات ایران بین دو صفحه می شود. به همین علت، در منطقه شمال غرب کشور از لحاظ روند ساختاری پیچیدگی های خاصی دیده می شود. در این منطقه گسل های مهمی فعالند که از دیدگاه تکتونیکی اهمیت بسیار زیادی دارند. از مهمترین گسل های آذربایجان که

1-Ramasamy

2-Raj

3-Biswas

4-Martini

در تکامل ساختمانی آن نقش اساسی ایفا کرده است، گسل شمال تبریز است. گسل شمال تبریز بصورت سیستمی از شاخه‌های گسلی است. این گسل از نزدیکی ارتفاعات شمالی تبریز عبور کرده و تاثیر زیادی بر روند زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی حوضه‌های زهکشی منطقه گذاشته است. بنابراین در این پژوهش برای درک فعالیت های تکتونیکی گسل تبریز، حوضه های آبریز ورکش چای، گمانج چای، نهند چای و سرند چای واقع در شمال تبریز بررسی می شوند. قابل ذکر است شهر تبریز به عنوان بزرگترین پایگاه جمعیتی شمال غرب کشور در جنوب این حوضه ها قرار دارد. علاوه بر شهر تبریز در حدود سی شهر و روستای دیگر در این منطقه استقرار دارند که همگی در معرض فعالیت گسل شمال تبریز قرار دارند. از آنجایی که شواهد و شاخص های ژئومورفیک و سلسه مراتبی شبکه زهکشی اطلاعات زیادی در مورد تاثیر تکتونیک فعال در تغییر چشم اندازها و تحول حوضه های آبریز ارائه می دهند (مالیک و موهانتی^۱، ۲۰۰۷؛ ۶۰۵)، از اینرو هدف این تحقیق در مرحله اول محاسبه پارامترهای مورفومتری شامل محاسبه پارامترهای سلسله مراتبی (شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa)، شاخص تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی (ga)، نسبت انشعاب (Rb)، نسبت مستقیم انشعاب (Rbd)، شاخص تراکم زهکشی (Dd)، شاخص فرکانس زهکشی (Df) و غیره و سپس شاخص های ژئومورفیک (شاخص عدم تقارن (AF)، شاخص تعقر لانگبین (IC) و شاخص شکل حوضه (BS) می باشد. در نهایت ارتباط بین پارامترهای مورفومتری برای آشکار شدن تاثیر تکتونیک فعال در حوضه های مورد مطالعه بررسی می شود.

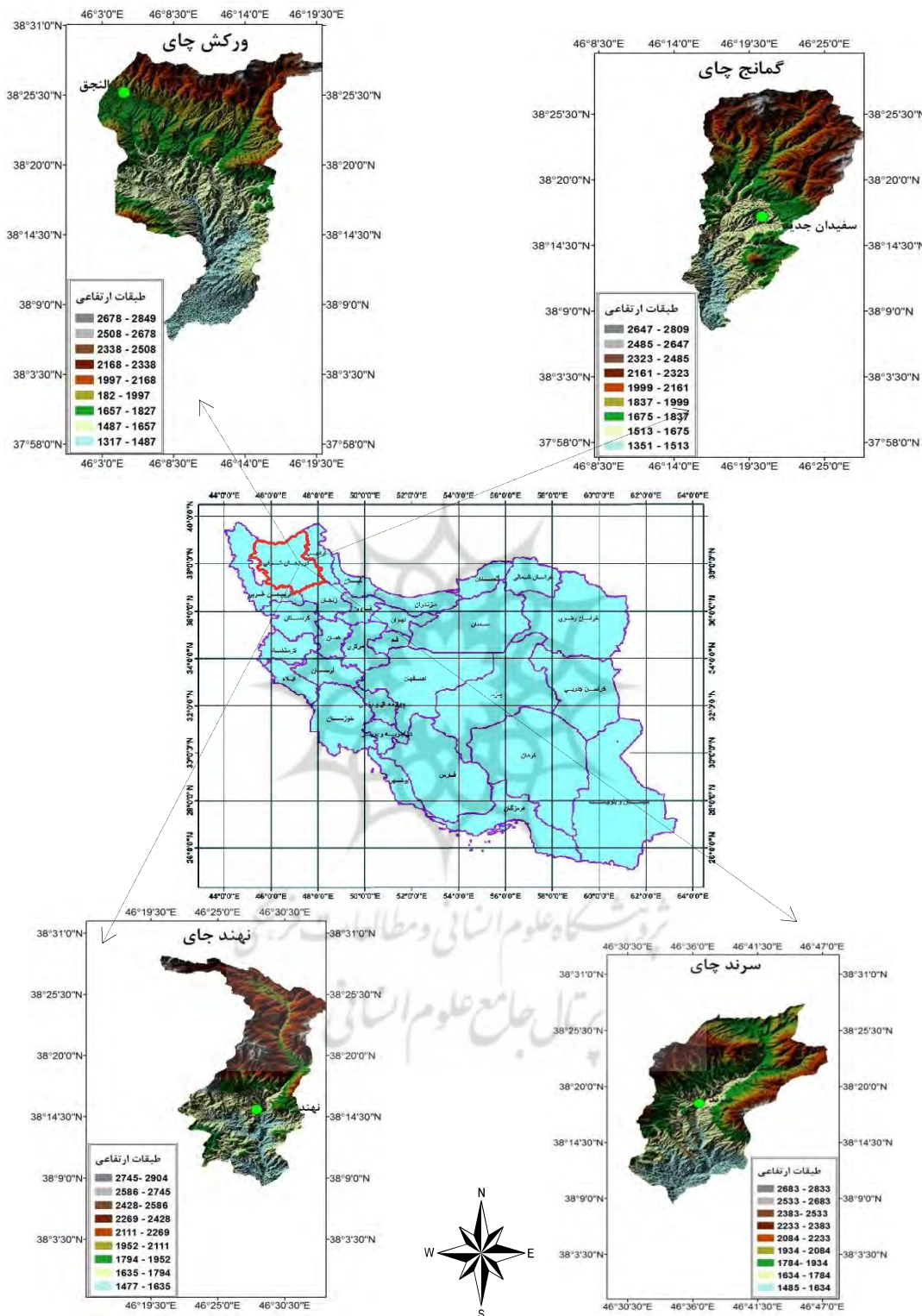
معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال شرقی دریاچه ارومیه و شمال شهر تبریز واقع شده است (شکل ۱). محدوده این منطقه در دامنه‌های جنوبی قره داغ (آذربایجان) قرار دارد. مختصات جغرافیایی این منطقه ۲۷' ۲۹" ۳۱" - ۳۸' ۰۹" عرض شمالی و ۴۷' ۴۷" - ۴۶' ۱۰" طول شرقی می‌باشد و شامل حوضه‌های زهکشی ورکش چای، گمانج چای، نهندچای و سرند چای می باشد که هر چهار رودخانه در شمال تبریز به آبی چای می‌پیوندند. بلندترین نقطه محدوده مورد مطالعه به ارتفاع ۲۹۰۴ متر در شمال منطقه (نزدیکی کوه قصبه) قرار دارد. پست‌ترین نواحی در جنوب شرقی منطقه به ارتفاع ۱۳۱۷ متر به سواحل غربی دریاچه ارومیه منتهی می‌شود (جدول ۱). گسل شمال تبریز با امتداد شمال غربی - جنوب شرقی، یکی از ساختارهای مهم منطقه می باشد که از جنوب حوضه های مورد مطالعه عبور می کند (شکل ۲). حرکات این گسل در گذشته باعث پایین افتادگی بخش جنوبی دشت تبریز و بالا آمدگی بخش شمالی آن شده است. گسل تبریز مجموعه ای از روندهای گسلی است که بصورت یک سیستم با سه قطعه گسلی تعیین شده است (زارع، ۱۳۸۰؛ ۴۸). سن گسل تبریز به دونین و فاز کالدونین نسبت داده شده است. در راستای این گسل رسوبات نئوژن شمال تبریز بوسیله سنگ های پالئوزوئیک کوه مورو بر روی دشت رانده شده است (پورکرمانی و آرین، ۱۳۷۷؛ ۶۹). گسل خواجه و اهر و تعداد زیادی از گسل های فرعی دیگر در این منطقه وجود دارند. از نظر سنگ شناسی، قدیمترین واحدها در این منطقه به پالئوزوئیک مربوط می شود. عمده ترین سنگ های منطقه بویژه در شمال و شمال شرق را تناوبی از شیل، مارن و ماسه سنگ (فلیش گونه) تشکیل می دهد. در جنوب نیز اغلب سازندهای میوسن (ماسه سنگ و مارن) و کواترنر گسترش دارند (شکل ۲).

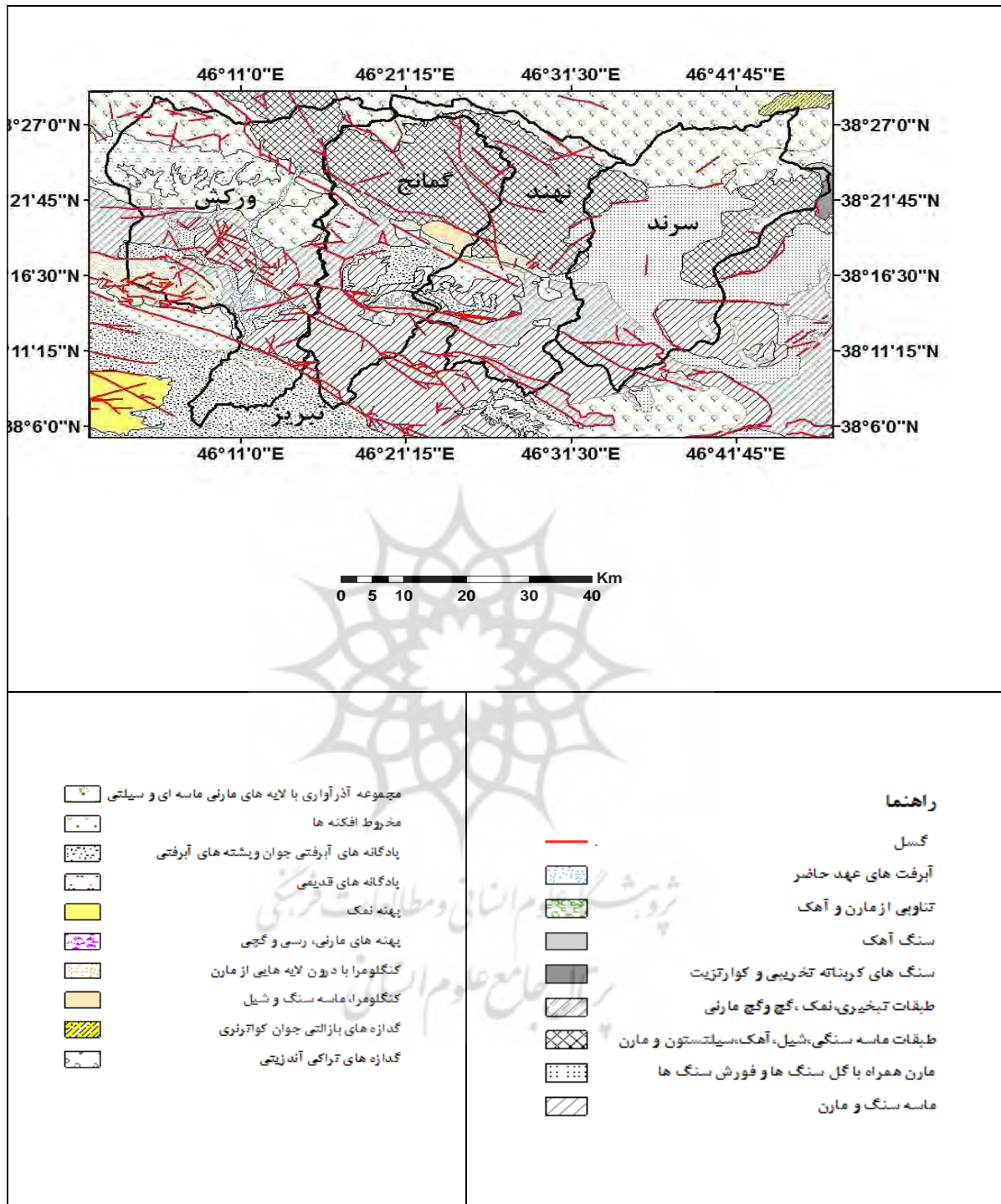
جدول ۱: مشخصات کمی حوضه های آبریز مطالعاتی

حوضه	مساحت km ²	محیط km	طول آبراهه اصلی km	مجموع طول جریان km	حداقل ارتفاع m	حداکثر ارتفاع m
ورکش چای	۵۵۴	۱۲۶	۴۱	۹۴۹	۱۳۱۷	۲۸۴۹
گمانج چای	۴۰۶	۱۱۲	۴۸	۷۹۴	۱۲۵۱	۲۸۰۹
نهند چای	۳۴۹	۱۱۸	۴۸	۴۸۵	۱۴۷۷	۲۹۰۴
سرند چای	۴۶۰	۱۱۳	۵۱	۹۴۷	۱۴۸۵	۲۸۳۳

¹ -Malik & Mohanty



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه های آبریز شمال تبریز



شکل ۲: نقشه زمین شناسی حوضه های آبریز مورد مطالعه

مواد و روش ها

محدوده منطقه مورد مطالعه در روی نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ شامل نقشه های نهند، تبریز ۱، تبریز ۲، مهترلو، النجق و در نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شامل نقشه های تبریز و خوجا می شود. به منظور شناسایی و ترسیم نقشه های منطقه و انجام محاسبات از نقشه های DEM با دقت ۳۰ متر استفاده شد. همچنین برای تعیین و برآورد پارامترهای هیدرولوژی و خصوصیات مورفومتری حوضه مانند تعیین شبکه آبراهه ها، رتبه بندی آبراهه ها و غیره از Arc

GIS/ استفاده شد. در این پژوهش چهار حوضه از زیر حوضه های آبی چای واقع در شمال تبریز (ورکش چای، گمانج چای، نهند چای و سرنند چای) با استفاده از پارامترهای مورفومتری شامل برخی شاخص های سلسله مراتبی سیستم زهکشی و ژئومورفیک (شامل $\Delta a, ga, R, Re, Dd, Df, CR, LSBW, Af, Bs, Va, CI$) به منظور تحلیل ناهنجاری های شبکه های زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک مورد بررسی قرار می گیرند.

شاخص انشعاب^۱ (R)

شاخص انشعاب از عدد نسبت انشعاب حوضه (Rb) منهای نسبت مستقیم انشعاب (Rbd) حوضه به دست می آید (رابطه ۱). شاخص انشعاب با وجود ناهنجاری ها در شبکه زهکشی در ارتباط است. این شاخص اطلاعات مفیدی را در مورد تیپولوژی فرآیندهای فعال فرسایشی و درجه تغییر و تحول حوضه ارائه می دهد (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷). برای محاسبه شاخص انشعاب ابتدا باید نسبت انشعاب (Rb) و سپس نسبت مستقیم انشعاب (Rbd) محاسبه شود.

$$R = Rb - Rbd \quad \text{رابطه (۱)}$$

نسبت انشعاب^۲ (Rb)

این شاخص براساس رابطه (۲) محاسبه می شود.

$$Rb(u-u+1) = Nu/Nu+1 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه، Rb نسبت انشعاب، Nu تعداد آبراهه های رتبه ویژه، $Nu+1$ تعداد آبراهه های رتبه بالاتر می باشد (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷). به عبارت دیگر نسبت انشعاب عبارت از نسبت تعداد رودخانه های یک درجه مشخص به تعداد رودخانه های رده بالاتر است. نسبت انشعابات کل حوضه از میانگین Rb کل درجات محاسبه می شود. نسبت انشعاب درون یک حوضه با افزایش رده کاهش می یابد، زیرا با افزایش رده، درصد آبراهه هایی که بهم می پیوندند و رده بالاتر را ایجاد می کنند افزایش می یابد. مقدار میانگین این نسبت برای حوضه های سطح ۲ و برای حوضه های کوهستانی بین ۳-۴ متغیر است (ساویندرا، ۱۹۹۸). نسبت انشعاب برای حوضه های آبریزی که ساختارهای زمین شناسی آنها دچار تغییر کرده اند، متغیر است. نسبت انشعاب پایین از ویژگی های حوضه هایی است که آشفتگی های ساختاری کمتری دارند و الگوی زهکشی در آنها غیر طبیعی نیست (استرالر، ۱۹۶۴).

نسبت مستقیم انشعاب^۳ (Rbd)

منظور از این شاخص تعداد آبراهه های یک درجه مشخص که به طور منظم و بدون ناهنجاری به رتبه بالاتر خود می ریزند، است. این شاخص از رابطه (۳) محاسبه می شود.

$$Rbd(u-u+1) = Ndu/Nu+1 \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳)، Rbd نسبت مستقیم انشعاب، Ndu تعداد آبراهه های رتبه ویژه که مستقیماً به رتبه بالاتر جریان دارند، $Nu+1$ تعداد آبراهه های رتبه بالاتر می باشد (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷). با افزایش فعالیت تکتونیک، مقدار شاخص انشعاب در حوضه افزایش می یابد.

شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی^۴ (Δa)

با وقوع حرکات تکتونیک، ناهنجاری عمده در مسیر جریان رودخانه ها به وجود می آید که می توان با بررسی کمی این ناهنجاری ها اثرات تکتونیک را تحلیل نمود. به این ترتیب که در سیستم شبکه زهکشی، هر آبراهه درجه ۱ اگر به آبراهه درجه ۲ وارد شود، نظم سلسله مراتبی دارد. اما اگر آبراهه ای به آبراهه با درجه بعلاوه ۲ و بالاتر وارد شود

¹ -Bifurcation index

² -Bifurcation ratio

³ -Direct Bifurcation ratio

⁴ -Hierarchical anomaly index

(۱→۳، ۱→۴، ۱→۵، ۲→۴، ۲→۵، ۳→۵ و غیره)، اتصال مذکور دارای ناهنجاری سلسله مراتبی است. بنابراین، به این آبراهه های درجه ۱ که ناهنجاری دارند، باید به صورت فرضی آبراهه هایی اضافه شود تا نظم سلسله مراتبی یابند. لذا در این خصوص آونا و همکاران (۱۹۶۷) پارامتر H_a را ارائه داده اند که عبارت است از حداقل تعداد آبراهه های درجه یک لازم که بطور فرضی به شبکه زهکشی اضافه شوند، تا شبکه زهکشی دارای نظم سلسله مراتبی شود (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸؛ ۲۶۷). برای راحتی محاسبه پارامتر H_a بهرامی (۱۳۹۴؛ ۲۰) رابطه (۴) را ارائه داده است، به این 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 را i و آبراهه مقصد را j بنامیم، بنابراین تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی هر اتصال آبراهه از رابطه (۴) بدست می آید.

$$Ha_{i \rightarrow j} = -2^{(i-1)} \quad 2^{(j-2)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

پس از محاسبه $Ha_{i \rightarrow j}$ ، تعداد آبراهه ها در هر اتصال به دست می آید ($NS_{i \rightarrow j}$) و در نهایت از مجموع حاصل ضرب ($Ha_{i \rightarrow j} \times NS_{i \rightarrow j}$)، تعداد ناهنجاری های سلسله مراتبی برای کل حوضه Ha_t به دست می آید. پس از محاسبه Ha_t شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی Δa از رابطه (۵) محاسبه می شود (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸؛ ۲۶۷).

$$\Delta a = Ha_t / N1 \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه (۵)، Δa شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی، Ha_t تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی و $N1$ تعداد واقعی آبراهه های درجه ۱ می باشد. هر چه مقدار شاخص ناهنجاری های سلسله مراتبی (Δa) بیشتر باشد نشان دهنده تاثیر بیشتر تکنونیک بر حوضه ها می باشد.

شاخص تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی (ga)

یکی دیگر از شاخص هایی که بر اساس آن می توان تأثیرات تکنونیکی را مورد تجزیه تحلیل قرار داد، شاخص تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی (ga) می باشد که از رابطه (۶) به دست می آید (سیکاسی^۱ و همکاران، ۱۹۸۶؛ ۳۹).

$$ga = Ha_t / A \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه فوق، ga تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی، Ha_t تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی کل حوضه و A مساحت حوضه می باشد.

شاخص تراکم زهکشی^۲ (Dd)

این شاخص از تقسیم طول شبکه ی هیدروگرافی حوضه (شامل شبکه های اصلی و فرعی) به مساحت حوضه به دست

می آید. در این شاخص هر چه ضریب تراکم بیشتر باشد، بیانگر تکنونیک فعال و حساسیت زیاد سازندها و تشکیلات زمین شناسی موجود در حوضه است (آلتین^۳ و آلتین، ۲۰۱۱؛ ۴۸۸).

$$Dd = \Sigma Li / A \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این رابطه؛ Dd تراکم زهکشی، Li طول آبراهه ها به کیلومتر و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است.

۱ - Ciccacci

۲ - Drainage density

3- Altin

شاخص فرکانس زهکشی^۱(Df)

فرکانس زهکشی از تقسیم تعداد کل آبراهه‌ها بر مساحت حوضه بدست می‌آید (دوی^۲ و همکاران، ۲۰۱۱؛ ۲۰).

$$Df = \sum Nu / A \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن Nu تعداد آبراهه‌های یک درجه مشخص و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است.

شاخص نسبت کشیدگی^۳(Re)

یکی از شاخص‌های مربوط به شکل حوضه نسبت کشیدگی است که از تقسیم طول حوضه در جهت موازی با طولانی

ترین آبراهه حوضه بر مساحت حوضه به دست می‌آید که از رابطه (۹) محاسبه می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۹؛ ۴۹۹).

$$Re = \frac{1}{Lm} \times \left(\frac{A}{0.786} \right)^{0.5} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در رابطه (۹) Lm طول حوضه در جهت موازی با طولانی‌ترین آبراهه حوضه (کیلومتر) و A مساحت حوضه (کیلومتر مربع) می‌باشد.

ضریب گردواری^۴(CR)

ضریب گردواری حوضه که از رابطه (۱۰) بدست می‌آید (سریدوی^۵ و همکاران، ۲۰۰۵؛ ۴۷۷).

$$CR = \frac{4 \times \pi \times A}{P^2} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در آن A مساحت حوضه به کیلومتر مربع، P محیط حوضه به کیلومتر و π مقدار عدد ۳/۱۴ است. مقدار این شاخص بین ۰ و ۱ متغیر است هرچه عدد به ۱ نزدیکتر باشد حوضه دایره‌ای و هر چه به صفر نزدیکتر باشد حوضه کشیده‌تر است.

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

یکی دیگر از شاخص‌های مربوط به شکل حوضه، شاخص نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه

(LSBW) می‌باشد. شاخص مذکور نیز مانند شاخص نسبت کشیدگی حوضه (Re) میتواند بیانگر تکتونیک فعال

در حوضه باشد؛ به نحوی که بالا بودن مقدار این شاخص، نشان دهنده فعالیت تکتونیک بالادری منطقه است. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌شود (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲؛ ۹۶).

$$LSBW = LS / MBW \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

در رابطه مذکور، LSBW نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه، LS طول آبراهه اصلی (کیلومتر) و MBW متوسط عرض حوضه (کیلومتر) است.

شاخص حجم به سطح حوضه^۶(VA)

شاخص حجم به سطح حوضه از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$VA = Vi / Ai \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

¹ -Drainage frequency

² -Devi

³ -Index of basin elongation ratio

⁴ -Circulatory ratio

⁵ -Sreedevi

⁶ -Basin Volume / Area

در این رابطه، VA مقدار عددی شاخص حجم به سطح، Vi حجم حوضه (مترمکعب)، Ai مساحت حوضه (متر مربع)، مقدار عددی زیاد برای این شاخص، نشان دهنده پستی و بلندی زیاد و فعالیت شدید تکتونیک در منطقه است (هارکینز و همکاران، ۲۰۰۵).

شاخص های ژئومورفیک

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی^۱(AF)

شاخص عدم تقارن برای نمایش کج شدگی تکتونیک حوضه ها بکار می رود. به عبارت دیگر، این شاخص امکان می دهد کج شدگی جانبی یک حوضه نسبت به مسیر اصلی رودخانه ثابت شود. این کج شدگی ممکن است با فعالیت گسلی نرمال که موازی با جهت رودخانه اصلی است در ارتباط باشد (گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸، ۲۶۵). این شاخص از رابطه (۱۳) بدست می آید.

$$AF = 100(Ar / At) \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

Ar مساحت حوضه (کیلومتر مربع) در سمت راست آبراهه اصلی (بطرف پایین دست حوضه)، At مساحت کل حوضه (کیلومتر مربع)، اگر رودخانه به سمت شمال جریان داشته باشد و حرکت تکتونیکي بطرف غرب صورت گیرد، انشعابات طرف شرق رودخانه اصلی در مقایسه با طرف غربی طولانی تر خواهد بود. در صورتی که تمایل رودخانه در جهت مخالف باشد، آبراهه های کشیده تر در طرف چپ رودخانه اصلی جریان پیدا می کنند. مقادیر شاخص $[AF-50] > 15$ باشد حوضه از نظر تکتونیکي فعال است، در صورتی که $[AF-50]: 7-15$ نسبتا فعال و شاخص با مقدار $[AF-50] < 7$ حاکی از فعالیت کم است (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۶۹).

نسبت شکل حوضه زهکشی^۲(BS)

شکل پلانیمتری حوضه ها بوسیله نسبت شکل حوضه توصیف می شود. این نسبت از رابطه (۱۵) محاسبه می شود.

$$Bs = Bl / Bw \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

در این رابطه، Bl اندازه طول حوضه از مقسم آب تا خروجی حوضه (کیلومتر) و Bw پهناي حوضه در پهن ترین قسمت کیلومتر) می باشد.

شاخص تقعر لانگبین^۳(IC)

نیمرخ طولی متوازن یا متعادل رودخانه بطرف بالادست مقعر هستند. برای بررسی تقعر نیمرخ رودخانه از شاخص لانگبین

استفاده می شود. رابطه (۱۶) نحوه محاسبه این شاخص را بیان می کند.

$$IC = 2A / H \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

در این رابطه، A اختلاف ارتفاع بین میانه نیمرخ و یک خط مستقیم متصل به انتهای نیمرخ، H اختلاف ارتفاع بین سرچشمه و خروجی رودخانه می باشد. اگر مقدار (IC) به صفر نزدیک باشد شکل نیمرخ به خط مستقیم نزدیک است. در صورتی که مقدار شاخص به یک نزدیک شود، نیمرخ رودخانه شکل L دارد. هر چه مقادیر این ضریب کمتر باشد نشان دهنده این است که حوضه و بستر رودخانه بیشتر تحت تاثیر فعالیت های تکتونیکي هستند (لاریو، ۲۰۰۵؛ ۴۲۵).

^۱ - Asymmetry Factor

^۲ - Drainage Basin Shape Ratio

^۳ - Langbein Concavity Index (IC)

بحث و نتایج

در این پژوهش برای محاسبه ناهنجاری های سلسله مراتبی، ابتدا با استفاده از روش رتبه بندی استرالر، حوضه های مورد مطالعه رتبه بندی شدند. شکل (۳) شبکه های زهکشی و نحوه رتبه بندی آنها را نشان می دهد. بر این اساس، آبراهه اصلی حوضه های نهندچای، سرندچای و گمانج چای دارای رتبه چهار هستند و شاخه اصلی ورکش چای، رتبه پنج دارد. میزان نسبت انشعاب سرندچای با ۵/۹۲ و گمانج چای با ۵/۰۲، نهندچای ۴/۹۶ و ورکش چای ۴/۰۳ می باشد (جدول ۲). بیشترین مقادیر شاخص نسبت مستقیم انشعاب (Rbd) و شاخص انشعاب (R) با ۴/۳۹ و ۱/۵۳ برای حوضه سرندچای بدست آمد (جدول ۳). محاسبه شاخص های سلسله مراتبی نشان می دهد ورکش چای با ۳۲۷ ناهنجاری، بیشترین ناهنجاری های سلسله مراتبی را در بین حوضه های مورد مطالعه دارد. سرندچای با تعداد ۱۷۰ مورد، گمانج چای با ۹۷ مورد و نهند چای با ۷۶ مورد در رتبه های بعدی قرار دارند (جدول ۴).

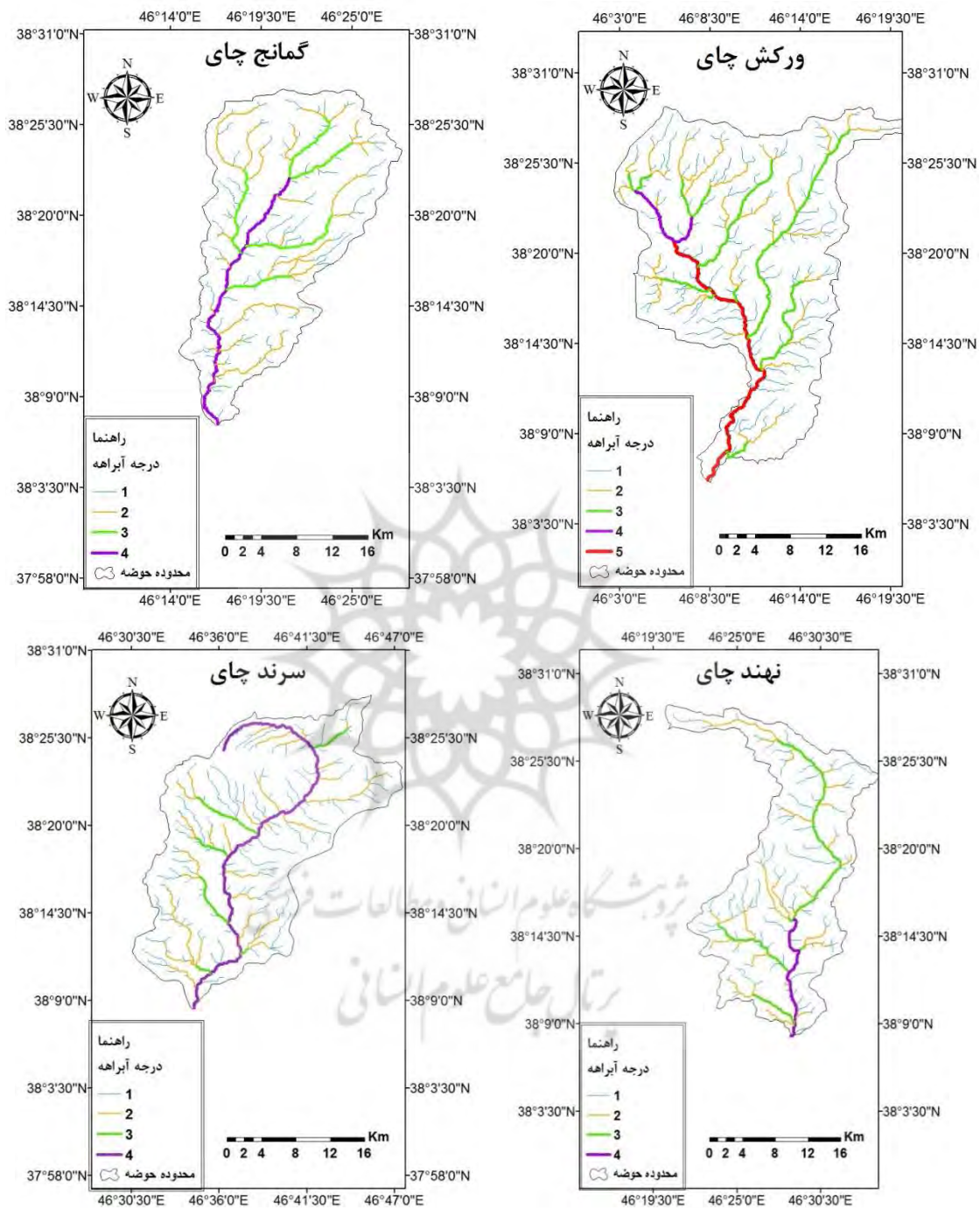
جدول ۲: مقادیر نسبت انشعاب Rb حوضه های آبریز

حوضه	ورکش چای	گمانج چای	نهند چای	سرندچای
درجه آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه
۱	۱۹۵	۱۳۷	۱۲۲	۲۰۰
۲	۳۷	۲۹	۲۶	۳۳
۳	۱۱	۵	۵	۷
۴	۲	۱	۱	۱
۵	۱	۰	۰	۰
Rb	۴/۰۳۲۵	۵/۰۲۳۳	۴/۹۶۳۳	۵/۹۲۳۳

جدول ۳: مقادیر نسبت مستقیم انشعاب Rbd و شاخص انشعاب R حوضه های آبریز

حوضه	ورکش چای	گمانج چای	نهند چای	سرند چای
مسیر آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه
۱→۲	۱۱۲	۹۰	۷۲	۱۱۰
۲→۳	۳۴	۲۰	۲۳	۲۰
۳→۴	۴	۵	۵	۷
۴→۵	۲	۰	۰	۰
Rbd	۲/۵۲۷۵	۴/۰۲۳۳	۴/۱۸۶۶	۴/۳۹۳۳
R=Rb-Rbd	۱/۵۰۵	۰/۹۹	۰/۷۷۶	۱/۵۳

ورکش چای با ۱/۶۷۶ و ۰/۵۹ بیشترین میزان شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی و شاخص تراکم سلسله مراتبی را دارد و نهند چای با ۰/۶۲۲ و ۰/۲۱۷ کمترین میزان شاخص های فوق را دارد. به این ترتیب بیشترین ناهنجاری های سلسله مراتبی به حوضه ورکش چای تعلق دارد. میزان شاخص نسبت کشیدگی (Re) در حوضه های مورد مطالعه ما بین ۰/۶۴۷-۰/۴۳۸ متغیر است. با توجه به اینکه حوضه های فعال تکتونیکی، نسبت کمتری دارند و کشیده تر هستند، از اینرو حوضه های این منطقه با مقادیر کمتر شاخص، دارای فعالیت های تکتونیکی می باشند.



شکل ۳: نقشه شبکه های زهکشی و رتبه بندی آنها در حوضه های آبریز مورد مطالعه

این فعالیت بر اساس این شاخص در نهندچای بیشتر است (جدول ۵). مقادیر عددی ضریب گردآوری (CR)، چهار حوضه در شمال تبریز، حداقل ۰/۳۱۴ در نهندچای و حداکثر ۰/۴۵۲ در حوضه سرنج چای می باشد (جدول ۵). این مقادیر ضریب، بیانگر کشیدگی حوضه های مورد مطالعه هستند. مقادیر شاخص نسبت طول آبراهه اصلی به عرض حوضه (LSBW)، در حوضه های مطالعاتی، مابین ۳/۹ - ۲/۹ تغییر می کند. بیشترین میزان این شاخص به نهندچای تعلق دارد و کمترین میزان آن به ورکش چای مربوط می شود (جدول ۵). میزان تراکم زهکشی (Dd) در حوضه های مورد مطالعه، مابین ۱/۳۸ در حوضه نهندچای تا ۲/۰۵ در حوضه سرنج چای متفاوت است. این مقادیر بیانگر قرار گرفتن این حوضه ها از نظر تراکم

زهکشی در طبقات زیاد و خیلی زیاد است. ویژگی این مناطق، پستی و بلندی زیاد، پوشش گیاهی اندک و مواد زیر سطحی ضعیف یا نفوذ ناپذیر می باشد. فراوانی تراکم زهکشی (Df) نیز در حوضه های شمال تبریز، حداقل ۰/۴۲۱ در نهندچای و حداکثر ۰/۵۲۳ در سرندهای می باشد. حداقل شاخص حجم به سطح (VA) در حوضه سرندهای برابر با ۴۹۲/۵۱ می باشد در حالیکه حداکثر آن در حوضه گمانج چای ۷۲۵/۹۸ است (جدول ۵).

جدول ۴: مقادیر شاخص های Δa و ga در حوضه های آبریز مطالعاتی

$i \rightarrow j$	$Ha_{i \rightarrow j}$	ورکش چای		گمانج چای		نهند چای		سرندهای چای	
		$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j}$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j}$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j}$	$Ns_{i \rightarrow j}$	$Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j}$
۱→۳	۱	۴۶	۴۶	۳۱	۳۱	۴۰	۴۰	۶۳	۶۳
۱→۴	۳	۵	۱۵	۱۶	۴۸	۱۰	۳۰	۲۷	۸۱
۱→۵	۷	۳۲	۲۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲→۴	۲	۱	۲	۹	۱۸	۳	۶	۱۳	۲۶
۲→۵	۶	۲	۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳→۵	۴	۷	۲۸						
			$=327Ha_t$ $\Delta a=1.676$ $ga=0.59$		$=97Ha_t$ $\Delta a=0.708$ $ga=0.238$		$=76Ha_t$ $\Delta a=0.622$ $ga=0.217$		$=170Ha_t$ $\Delta a=0.85$ $ga=0.369$

جدول ۵: مقادیر شاخص های VA , Df , Dd , Re , CR , $LSBW$ حوضه های آبریز

VA	Df	Dd	$LSBW$	CR	Re	حوضه
۶۱۰/۳۶	۰/۴۴۴	۱/۷۱	۲/۹	۰/۴۳۸	۰/۶۴۷	ورکش چای
۷۲۵/۹۸	۰/۴۲۳	۱/۹۵	۳/۶۳	۰/۴۰۶	۰/۴۷۳	گمانج چای
۵۹۹/۱۷	۰/۴۲۱	۱/۳۸	۳/۹	۰/۳۱۴	۰/۴۳۸	نهند چای
۴۹۲/۵۱	۰/۵۲۳	۲/۰۵	۳/۲	۰/۴۵۲	۰/۴۷۴	سرندهای چای

شاخص های ژئومورفیک مورد استفاده در این پژوهش برای تعیین فعالیت های تکتونیکی منطقه، شامل شاخص های IC , BS , Af هستند. با محاسبه شاخص عدم تقارن رودخانه (Af)، مشخص می شود حوضه نهندچای با مقدار ۱۵/۷ و عدم تقارن زیاد دارای فعالیت تکتونیکی زیاد می باشد. سپس حوضه ورکش چای با مقدار ۱۴/۴، حوضه سرندهای با ۷/۷۸ و حوضه گمانج چای با ۷/۱۳ در کلاس دو عدم تقارن و فعالیت تکتونیکی قرار دارند (جدول ۶). در مورد شاخص BS ، از آنجایی که مقادیر ۳-۴ شاخص بر حوضه های نیمه فعال تکتونیکی دلالت می کنند و مقادیر کمتر از ۲ نیز به حوضه های مربعی شکل و دایره ای شکل، که از نظر تکتونیکی فعالیت کمی دارند، تعلق دارند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸، ۱۶۹)، از اینرو باستانای ورکش چای بقیه حوضه ها دارای فعالیت های تکتونیکی متوسطی هستند (جدول ۶). با توجه به اینکه مقادیر محاسبه شده برای شاخص (IC) رودخانه های حوضه های مورد مطالعه کمتر از ۱/۵ هستند، بنابراین از نظر تکتونیکی فعال می باشند. از نظر شاخص تقعر نیز باستانای ورکش چای که تقعر متوسطی را نشان می دهد بقیه حوضه های مطالعاتی از تقعر بالایی برخوردارند و فعالترند (جدول ۶).

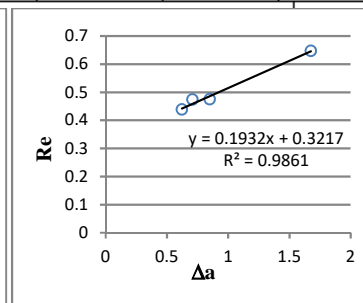
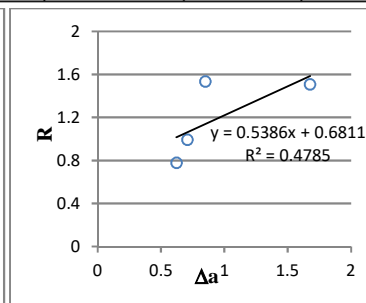
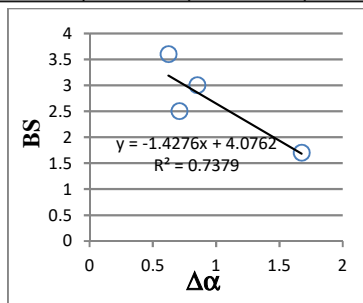
جدول ۶: مقادیر شاخص های Af, BS, IC حوضه های آبریز مطالعاتی

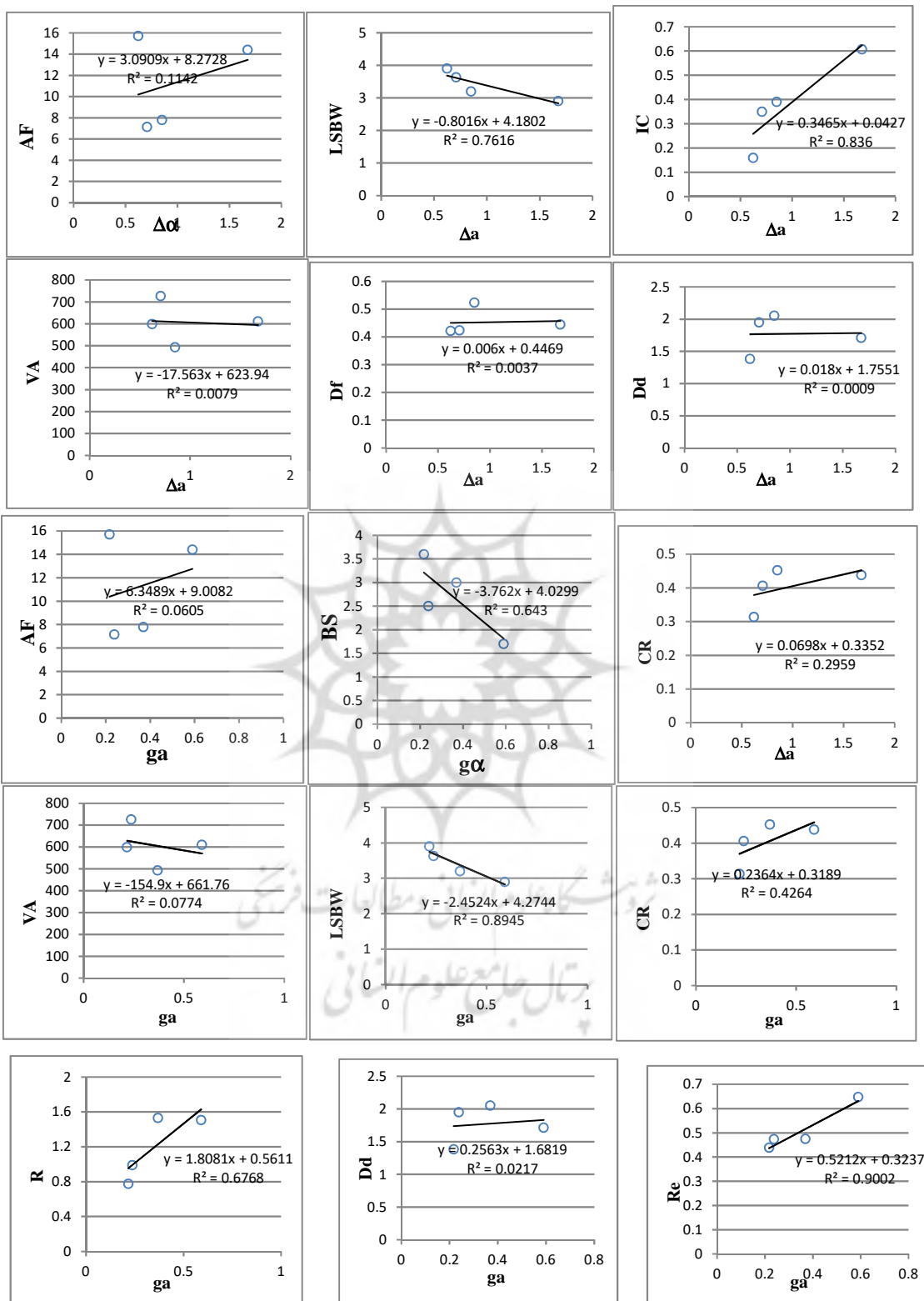
حوضه	Af	BS	IC
ورکش چای	۱۴/۴	۱/۷	۰/۶۰۷
گمانج چای	۷/۱۳	۲/۵	۰/۳۵
نهند چای	۱۵/۷	۳/۶	۰/۱۶
سرنند چای	۷/۷۸	۳	۰/۳۹

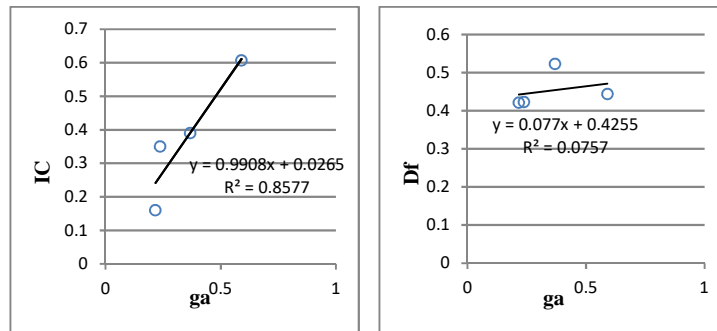
پس از محاسبه شاخص های ناهنجاری های سلسله مراتبی و مشخص شدن وجود این ناهنجاری ها ارتباط بین آنها و شاخص های مورفومتریک با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون برقرار گردید. جدول (۷) و شکل (۴) مقادیر ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تبیین بین پارامترهای مختلف را نشان می دهد. بر این اساس پارامترهای Re , IC , BS , R , CR , $LSBW$ همبستگی قوی را با شاخص ناهنجاری های سلسله مراتبی (Δa) دارند. بطوری که بین پارامترهای مذکور با شاخص های Δa (۹۹ درصد، ۸۷ درصد، ۵۵ درصد، ۶۹ درصد، ۸۵ درصد و ۹۱ درصد) همبستگی قوی برقرار است. در بین پارامترهای مورد نظر، BS و $LSBW$ رابطه منفی دارند و بقیه متغیرهای دارای رابطه مستقیم و مثبت هستند. بین پارامترهای Δa و VA , Df , Dd رابطه چندان معنی داری وجود ندارد و همبستگی بین $Af - \Delta a$ ضعیف است. بر اساس جدول (۷) بین پارامترهای ga و پارامترهای IC , BS , R , CR , $LSBW$, Re همبستگی قوی وجود دارد. بطوری که ضریب همبستگی بین پارامترهای مذکور با شاخص های ga (۹۵ درصد، ۹۴ درصد، ۸۰ درصد، ۶۵ درصد، ۸۳ درصد، ۸۰ درصد و ۹۳ درصد) می باشد. در این ارتباط هم بین BS و $LSBW$ با ga رابطه منفی برقرار است. در ضمن بین شاخص تراکم ناهنجاری های سلسله مراتبی (ga) و پارامترهای VA , Df , Dd و Af همبستگی ضعیفی وجود دارد. به این ترتیب، مشخص می شود عدم تقارن حوضه زهکشی، تراکم زهکشی و فرکانس زهکشی در حوضه های مورد مطالعه تاثیر زیادی بر مقادیر ناهنجاری های سلسله مراتبی و تراکم ناهنجاری ها ندارند.

جدول ۷: مقادیر ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تبیین بین شاخص های مورفومتری حوضه های آبریز مورد مطالعه

	Re	Af	BS	CR	LSBW	VA	R	Dd	Df	IC
Δa	-/۰۹۹	-/۰۳۳	-/۰۸۵	-/۰۵۵	-/۰۸۷	-/۰۰۸	-/۰۶۹	-/۰۰۲	-/۰۰۶	-/۰۹۱
R										
Δa	-/۰۹۸	-/۰۱۱	-/۰۷۴	-/۰۰۳	-/۰۷۶	-/۰۰۸	-/۰۴۸	-/۰۰۰۹	-/۰۰۴	-/۰۸۴
R^2										
ga	-/۰۹۵	-/۰۲۵	-/۰۸۰	-/۰۶۵	-/۰۹۴	-/۰۲۷	-/۰۸۳	-/۰۱۴	-/۰۲۷	-/۰۹۳
R										
ga	-/۰۹	-/۰۰۶	-/۰۶۴	-/۰۴۳	-/۰۸۹	-/۰۰۸	-/۰۶۷	-/۰۰۲	-/۰۰۷	-/۰۸۶
R^2										







شکل ۵: رابطه خطی و ضریب تبیین Δa و ga و شاخص های VA, LSBW, CR, Re, R, IC, Df, Dd, Af, BS در حوضه های شمال تبریز

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر چهار حوضه (ورکش چای، گمانج چای، نهند چای و سرنند چای) از زیر حوضه های آبی چای واقع در شمال تبریز انتخاب شد و تاثیر تکنیک فعال، ناشی از فعالیت گسل تبریز بر حوضه های مطالعاتی بررسی و از شاخص های ژئومورفیک و سلسله مراتبی شبکه زهکشی استفاده شد. شاخص های تراکم زهکشی (Dd)، فرکانس زهکشی (Df)، ضریب گردواری (CR)، نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه (LSBW)، حجم به سطح حوضه (VA)، نسبت کشیدگی (Re)، عدم تقارن حوضه (Af)، نسبت شکل حوضه (BS)، شاخص انشعاب (R)، شاخص ناهنجاری های سلسله مراتبی (Δa)، شاخص تراکم ناهنجاری های سلسله مراتبی (ga) و شاخص تعقر لانگین (IC) محاسبه شدند. پس از اطمینان از وجود ناهنجاری های سلسله مراتبی، رابطه همبستگی بین پارامترهای سلسله مراتبی با شاخص های مورفومتری بدست آمد. محاسبه پارامترها نشان دادند، سرنندچای با مقادیر $5/9$ و $1/53$ بیشترین میزان نسبت انشعاب و شاخص انشعاب را دارد. بیشترین تعداد ناهنجاری های سلسله مراتبی شبکه زهکشی (H_a) به تعداد ۳۲۷ مورد در ورکش چای و سپس با ۱۷۰ مورد در سرنندچای مشاهده شد. همچنین مقادیر (Δa) با مقدار $1/676$ ابتدا در ورکش چای و سپس با مقدار $0/85$ در سرنند چای بدست آمد. به تبع پارامترهای قبلی، بیشترین مقدار (ga) با $0/59$ در ورکش چای و سپس در سرنندچای دیده شد. پارامترهای نسبت کشیدگی، ضریب گردواری، نسبت طول آبراهه اصلی به متوسط عرض حوضه، شاخص انشعاب و تعقر لانگین بیشترین رابطه همبستگی را با شاخص های Δa و ga نشان می دهند. در این زمینه رابطه بین Δa -Re و ga -Re به ترتیب با مقادیر $0/99$ و $0/95$ بیشتر از سایر متغیرها می باشد. یعنی شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی و شاخص تراکم ناهنجاری ها، کاملاً تحت تاثیر کشیدگی حوضه ها که ناشی از اثر تکنیک فعال می باشد قرار دارند. در همین زمینه، راج (۲۰۱۲) و پراکش و همکاران (۲۰۱۶) پارامتر Re را به عنوان یک شاخص تکنیکی در تبیین بی نظمی های حوضه زهکشی استفاده کردند. همچنین بهرامی (۱۳۹۴) نشان داد با افزایش کشیدگی حوضه ها، میزان ناهنجاری های سلسله مراتبی شبکه زهکشی افزایش می یابد. با افزایش کشیدگی حوضه ها، تعداد آبراهه های درجه یک بیشتر شده و بدنبال آن میانگین طول آبراهه های رده یک افزایش می یابد. حوضه هایی که در اثر تکنیک فعال دارای شکل کشیده تری هستند امکان اتصال آبراهه های با درجه پایین (۱ و ۲) با درجات بالا (۴ و ۵) بیشتر بوده و بنابراین این مقادیر شاخص های Δa و ga افزایش می یابد. همبستگی بین Δa -BS و ga -BS نیز با مقادیر $-0/85$ و $-0/80$ نشانگر تاثیر پذیری شاخص های ناهنجاری از نسبت شکل حوضه های شمال تبریز هستند. مشابه همین نتیجه، بهرامی و همکاران (۱۳۹۳) و (۱۳۹۴) در بررسی حوضه های صد خرو، کلاته سادات، فاروب رومان و گلپان به رابطه مستقیم با ضریب همبستگی بالا بین Δa -BS و ga -BS دست یافتند. از دیگر شاخص ها که می تواند بیانگر وضعیت تکنیکی حوضه باشد LSBW می باشد. این شاخص با شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی و شاخص تراکم ناهنجاری در حوضه های مورد مطالعه، رابطه $-0/87$ و $-0/94$ نشان می دهد. در ارتباط با این شاخص، بهرامی (۲۰۱۳) در ... بین Δa -

LSBW به همبستگی بالایی پیدا کرد. همانطور که پراکش و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از پارامترهای شکل حوضه، کشیدگی حوضه و غیره توانستند وضعیت تکتونیکی حوضه رودخانه ای داسان هند را منعکس کنند، این مطالعه نیز نشان داد با استفاده از تحلیل پارامترهای مورفومتری می توان به درک بهتری از وضعیت تکتونیکی حوضه های زهکشی دست یافت و علل بی نظمی آنها را بیان کرد.

منابع

- بهرامی، شهرام، معتمدی راد، محمد، اکبری، الهه، ۱۳۹۲، بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی های کمی شبکه زهکشی (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی در شمال شرق کشور)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال ۳، شماره ۱۲، صص ۱۰۲-۸۵.
- بهرامی، شهرام، اکبری، الهه، معتمدی راد، محمد، ۱۳۹۳، تحلیل ژئومتری حوضه های زهکشی با استفاده از شواهد ژئومورفولوژی تکتونیک (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی صدخرو، کلاته سادات، فاروب رومان و گلیان)، فضای جغرافیایی، شماره ۴۸، صص ۲۲۲-۱۹۹.
- بهرامی، شهرام، ۱۳۹۴، تحلیل کمی ناهنجاری سلسله مراتبی شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک (مطالعه موردی ۱۰: حوضه آبخیز زاگرس)، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۶، شماره ۱، صص ۳۴-۱۵.
- جمال آبادی، جواد، امیراحمدی، ابوالقاسم، مونسیان، قاسم، شایان یگانه، علی اکبر، ۱۳۹۳، بررسی تأثیرات تکتونیکی گسل کمایستان بر شبکه زهکشی و مخروط افکنه ها با استفاده از شاخص های ژئومورفیک در دامنه های شمالی ارتفاعات جغتای، آمایش جغرافیایی فضا، سال ۴، شماره ۱۱، صص ۸۴-۶۳.
- زارع، مهدی، ۱۳۸۰، خطر زمینلرزه و ساخت و ساز در حریم گسل شمال تبریز و حریم گسل های لرزه ای، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره ۲ و ۳، صص ۴۶-۵۷.
- علایی طالقانی، محمود، رحیم زاده، زهرا، رضاپور، ۱۳۹۲، ارزیابی نقش تکتونیک فعال در مورفولوژی کانال های جریان حوضه بالادست الوند، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۱، صص ۱۸-۱.
- علیزاده، امین، ۱۳۸۹، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ ۲۹.
- کرمی، فریبا، بیاتی خطیبی، مریم، ۱۳۹۳، بررسی گسلش فعال و و خطر گسترش شهرها در پیرامون گسل های فعال (مطالعه موردی: حوضه های شمال تبریز)، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۵۵، صص ۲۰-۱.
- Ahmed, K., Rao, S., 2016. *Morphotectonic Studies Of The Tuirini Drainage Basin: A Remote Sensing And Geographic Information System Perspective, International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences*, 6(1): 54-65.
- Altin, T.B., Altin, B.N., 2011. *Development and morphometry of drainage network in volcanic terranic, Central Anatolia, Turkey, Geomorphology* 125: 485-503.
- Biswas, S.S., 2016. *Analysis of GIS Based Morphometric Parameters and Hydrological Changes in Parbati River Basin, Himachal Pradesh, India, Journal of Geography & Natural Disasters*, 6(2): 1-8.
- Bahrami, S., 2013. *Analyzing the Drainage System Anomaly of Zagros Basins: Implications for Active Tectonics, Tectonophysics*, 608, 914-928.
- 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.
- Devi, R.K.M., Bhakuni., Bora, P.B., 2011. *Tectonic implication of drainage set-up in the Sub-Himalaya: A case study of Papumpare district, Arunachal Himalaya, India. Geomorphology*, Vol, 127, pp.14- 31.

- Deffontaines, B., Chotin, P., AitBrahim, L. and Rozanov, M., 1992. Investigation of Active Faults in Morocco Using Morphometric Methods and Drainage Pattern Analysis. *Geologische Rundschau*, 81, 199-210.
- Farhan, Y., Anbar, A., Enaba, O., Al-shaik, N., 2015. Quantitative analysis of geomorphometric parameters of Wadi Kerak, Jordan, *Journal of Water Resources and Protection*, 7:456-475.
- 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.
- Harkins, N. W., Anastasio, D. J. Pazzaglia, F. J., 2005. Tectonic geomorphology of the Red Rock fault, insights into segmentation and landscape evolution of a developing range front normal fault, *Journal of structural Geology*, 27: 1925-1939.
- Hamdouni, R.E., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller E.A., 2008. Assessment of
 - relative active tectonic, South west border of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*, 96, 150-173.
- Larue, P.J., 2005. The status of ravine-like incisions in the dry valleys of the Pays de Thelle (Paris basin, France), *Geomorphology*, 68: 242 – 256.
- Malik., J.N., Mohanty., C., 2007. Active tectonic influence on the evolution of drainage and landscape geomorphic signatures from frontal and hinter land areas along the North western Himalya, India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 604-618.
- Martini, P.M., Hessami, k., Pantosi, D., Addezio, G., Alinaghi, H., Ghafory-Ashtiani, M., 1998. A geologic contribution to the evaluation of seismic potential of the kahrizak fault (Tehra, Iran). *Tectonophysics*.287,187-199.
- Perdrera, A. Perez-Pena, J.V. Galino- Zaldivar, J., 2009. Testing the sensitivity of geomorphic indices in areas of low rate active folding ,Spain, *Geomorphology*, 105:218-231.
- Prakash, K., Mohanty, T., Singh, S., Chaubey, K., Prakash, P., 2016. Drainage morphometry of the Dhasan river basin, Bundelkhand craton, central India, using remote sensing and GIS techniques, *Journal of Geomatics*, 10 (2): 121-132.
- Pubellier, M., Deffontaines, B., Quebral, R. and Rangin, C., 1994. Drainage Network Analysis and Tectonics of Mindanao Southern Philippines. *Geomorphology*, 9, 325-342.
- Raj, R., 2012. Active tectonics of NE Gujarat (India) by morphometric and morphostructural studies of Vatrak river basin. *Journal of Asian Earth Sciences* 50: 66–78.
- Ramasamy, S.M., Kumanan, C. J., Selvakumar, R., Saravanavel, J., 2011. Remote sensing revealed drainage anomalies and related tectonics of South India, *Tectonophysics*, 501:41-51.
- Sedrette, S., Rebai, M., Mastere, M., 2016. Evaluation of Neotectonic Signature Using Morphometric Indicators: Case Study in Nefza, North-West of Tunisia, *Journal of Geographic Information System*, 8: 388-350.
- Sreedevi, P.D., Subrahmanyam, K and Ahmed, S., 2005, The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain. *Environmental Geology*, Vol, 47, pp. 412-420.
- Stepancikova, P., Stemberk, J., Vilimek, V., Kostak, B., 2008. Neotectonic development of drainage networks in the East Sudeten Mountains and monitoring of recent fault displacements (Czech Republic), *Geomorphology* 102, 68-80.