



سال چهاردهم، شماره ۴۸
زمستان ۱۳۹۳، صفحات ۲۲۲-۱۹۹

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی

شهرام بهرامی^۱
الهه اکبری^۲
محمد معتمدی راد^۳

تحلیل ژئومتری حوضه‌های زهکشی با استفاده از شواهد ژئومورفولوژی تکتونیک (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی صدخرو، کلاته سادات، فاروبرومان و گلیان)

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۰۲/۲۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۰۸/۰۷

چکیده

شبکه‌های زهکشی به‌عنوان بخشی از لندفرم‌های ژئومورفولوژیک در مقابل حرکات نئوتکتونیک حساس هستند. هدف این پژوهش بررسی ناهنجاری سلسله مراتبی شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک در حوضه‌های زهکشی صدخرو و کلاته‌سادات (دامنه جنوبی کوه‌های جغتای)، فاروبرومان (دامنه جنوبی بینالود) و گلیان (دامنه شمالی کوه‌های آلاداغ) می‌باشد. شاخص‌های ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa)، تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی (ga)، شاخص انشعابات (R)، شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF)، نسبت شکل حوضه (BS) و میانگین طول آبراهه درجه ($LN1$) در آن مورد محاسبه قرار گرفت. سپس رابطه خطی بین پارامترها و ضریب همبستگی بین آن‌ها به‌دست آمد. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که رابطه مستقیمی بین Δa و ga با ضریب همبستگی بالا ($r=0.963$) در حوضه‌های

E-mail: S.bahrami@hsu.ac.ir.

E-mail: e.akbari@hsu.ac.ir.

E-mail: motamedi_1@yahoo.com.

۱- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری.

۲- مربی گروه جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری.

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.

مطالعاتی وجود دارد. هم‌چنین رابطه مستقیمی بین پارامترهای Δa و ga با پارامترهای PAF, BS و LN1 می‌باشد. ضریب همبستگی Δa با پارامترهای PAF, BS و LN1 به ترتیب ۰/۷۹۶، ۰/۷۳۷ و ۰/۸۹۲ و ضریب همبستگی ga با پارامترهای PAF, BS و LN1 نیز به ترتیب ۰/۹۲۰، ۰/۸۷۵ و ۰/۸۹۶ به دست آمد. رابطه معناداری بین R و دیگر پارامترها وجود ندارد. بررسی روابط بین پارامترها نشان‌دهنده کارایی بالای شاخص Δa و ga در مقایسه با شاخص R برای شناسایی تکتونیک فعال حوضه‌های زهکشی می‌باشد. براساس شاخص‌های مذکور، هر چند تمام حوضه‌های مطالعاتی از نظر تکتونیکی فعال هستند اما بیش‌ترین فعالیت تکتونیکی به ترتیب در حوضه‌های فاروب‌رومان، صدخرو و گلیان و کم‌ترین مربوط به حوضه کلاته سادات می‌باشد.

کلید واژه‌ها: ژئومتری، تکتونیک، ناهنجاری سلسله مراتبی شبکه زهکشی، شاخص انشعابات، کلاته‌سادات.

مقدمه

ایران با قرارگیری در کمربند کوه‌زایی آلپ هیمالیا همواره شاهد زلزله‌های مخرب و اثرات تکتونیک‌های فعال بوده است. در این راستا روش‌های تعیین تکتونیک‌های فعال بسیار هزینه‌بر و گاهی غیرممکن هستند. بنابراین استفاده از شاخص‌های مورفومتری برای تعیین و تشخیص تکتونیک‌های فعال می‌تواند بسیار سودمند باشد (غلامی، ۱۳۸۹: ۲؛ کرمی، ۱۳۸۸: ۶۷؛ 265؛ Guarnieri & Pirrotta, 2008؛ 31-32؛ Douglas et al, 2001). برای بررسی اثرات تدریجی تکتونیک در طی هزاران سال بایستی به بررسی عوارض ریخت‌شناسی پرداخت که آن‌ها را حفظ کرده‌اند. یکی از عوارضی که نسبت به تغییرات زمین‌ساختی عکس‌العمل نشان می‌دهد، رودخانه‌ها و شبکه زهکش منطقه است (Ribolini & Spagnolo, 2008: 253). این تغییرات را با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک می‌توان تحلیل نمود. این شاخص‌ها مناسب برای بررسی تاثیر تکتونیک بر رودخانه‌ها محسوب می‌شوند و می‌توان به نتایج حاصل از آن‌ها استناد نمود (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸: ۲۵). با وجود این‌که مطالعات زیادی در زمینه بررسی تکتونیک‌های فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (سینوسیته جبهه کوهستان، نسبت پهنای دره به ارتفاع دره، انتگرال هیپسومتری، سطوح مثلثی شکل، تقعر نیم‌رخ رودخانه، عدم تقارن حوضه زهکشی، شکل حوضه و...) انجام شده است (بول،

۱۹۷۸؛ هیر و گراردنر^۵، ۱۹۸۵؛ دفونتینز^۶ و همکاران ۱۹۹۲ و ۱۹۹۴؛ جکسون^۷ و همکاران، ۱۹۹۸؛ لی^۸ و همکاران، ۱۹۹۹؛ تالینگ و سوتر^۹، ۱۹۹۹؛ گولدزورسی^{۱۰} و جکسون، ۲۰۰۰؛ سیمونی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۳؛ جیمیسون^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۴؛ سونگ و چن^{۱۳}، ۲۰۰۴؛ مالیک^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۷؛ ریبولینی و اسپاگنولو^{۱۵}، ۲۰۰۸؛ رامسی^{۱۶} و همکاران، ۲۰۰۸؛ همدونی^{۱۷} و همکاران، ۲۰۰۸؛ آلتین و آلتین^{۱۸}، ۲۰۱۰؛ دمبولین^{۱۹}، ۲۰۱۱؛ پیراسته و همکاران، ۲۰۱۱؛ جوشی^{۲۰} و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاپوتنیگ^{۲۱} و همکاران، ۲۰۱۳؛ پروکا^{۲۲} و همکاران، زیر چاپ؛ کاله^{۲۳} و همکاران، زیر چاپ؛ ملک، ۱۳۷۷؛ پورکرمانی، ۱۳۸۲؛ ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۸۳؛ رادفر و پورکرمانی، ۱۳۸۴؛ رضایی مقدم و احمدی، ۱۳۸۵؛ گورابی و نوحه‌گر، ۱۳۸۶؛ بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸؛ زرگریان و همکاران، ۱۳۸۸؛ کرمی، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۱؛ خاوری و همکاران، ۱۳۸۹؛ یمانی و همکاران، ۱۳۸۹؛ مقصودی و عمادالدین، ۱۳۹۰؛ روستایی و نیری، ۱۳۹۰؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰ و مونسیان، ۱۳۹۰) مطالعات محدودی در زمینه بررسی ناهنجاری سلسله مراتبی شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک انجام شده است (سیکاسی^{۲۴} و همکاران، ۱۹۸۶؛ گارنیری و پیروتا^{۲۵}، ۲۰۰۸؛ بهرامی، ۲۰۱۳).

با توجه به این که فرایندهای تکتونیکی فعال در بسیاری از فعالیت‌های بشری هم‌چون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه‌ها، سدها، تاسیسات صنعتی و ... نقش به‌سزایی دارند و از سوی دیگر شاخص‌های مربوط به ناهنجاری سلسله مراتبی زهکشی در حوضه‌های خراسان رضوی و شمالی کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. لذا هدف این

-
- 5- Hare and Gardner
 - 6- Deffontaines
 - 7- Jackson
 - 8- Li
 - 9- Talling and Sowter
 - 10- Goldsworthy
 - 11- Simoni
 - 12- Jamieson
 - 13- Sung and Chen
 - 14- Malik
 - 15- Ribolini & Spagnolo
 - 16- Ramsey
 - 17- Hamdouni
 - 18- Altin & Altin
 - 19- Demoulin
 - 20- Joshi
 - 21- Popotnig
 - 22- Perucca
 - 23- Kale
 - 24- Ciccacci
 - 25- Guarnieri & Pirrotta

پژوهش بررسی تاثیر ناهنجاری سلسله مراتبی شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک در ۴ حوضه زهکشی با استفاده از شاخص‌های مورفومتری می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

با توجه به این که هدف این تحقیق بررسی تاثیر مورفومتری و شکل حوضه‌ها در ناهنجاری شبکه زهکشی بوده است، بنابراین حوضه‌هایی انتخاب شد که از نظر مورفومتری و شکل متفاوت باشند. از آنجا حضور حوضه‌های با ویژگی‌های مورفومتری متفاوت در یک منطقه جغرافیایی کوچک امکان‌پذیر نیست، ۴ حوضه‌ها با فواصل جغرافیایی و اختلافات شبکه زهکشی در استان‌های خراسان رضوی و شمالی انتخاب گردید. حوضه‌های صدخرو و کلاته‌سادات به ترتیب با وسعت ۵۶/۱۸ و ۴۳/۶۷ در دامنه جنوبی ارتفاعات جغتای، واقع شده‌اند. حوضه‌های صدخرو و کلاته‌سادات دارای دو تیپ تشکیلات زمین‌شناسی است. دسته اول مربوط به تشکیلات افیولیتی است که نشان‌دهنده موقعیت برخورد صفحات توران در شمال و ایران در جنوب است. این دسته سنگ‌ها شامل مجموعه‌ای درهم از گدازه‌های آتشفشانی زیردریایی گابرو، هارزبورژیت و سرپانتینیت‌های حاصل از دگرسانی دونیت و هارزبورژیت است. دسته دوم سنگ‌های رسوبی که شامل ماسه‌سنگ، شیل و کنگلومرا است که سن آن‌ها ائوسن گزارش شده است. منطقه سبزوار متشکل از افیولیت و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن می‌باشد که در شمال و جنوب به وسیله گسل‌های میامی و درونه محدود شده است (Khalatbari et al, 2013: 210). افیولیت‌های جغتای جزئی از افیولیت‌های منطقه سبزوار است. افیولیت‌های جغتای از انواع متعلق به مزوزوئیک می‌باشند. در زمان کرتاسه در این ناحیه یک حوضه محدود ریفتی تشکیل شده است که ظاهراً در اواخر کرتاسه شروع به بسته شدن کرده است. افیولیت‌های مزبور روند شرقی- غربی دارند و از نظر ساختاری از چندین ورقه راندگی تشکیل شده‌اند. گسل‌های راندگی از مهم‌ترین عناصر ساختمانی در ناحیه می‌باشند. در حوضه صدخرو گسل راندگی مهر، کمیز، باشتین و ساروق و در حوضه کلاته‌سادات گسل راندگی مهر، ساروق، کوه سفید و ذوالفراز باعث رانده شدن واحدهای مختلف بر روی یکدیگر شده‌اند. روند گسل‌های راندگی عمدتاً شمال‌غربی غرب- جنوب‌شرقی شرق و شیب آن‌ها متوسط تا کم است.

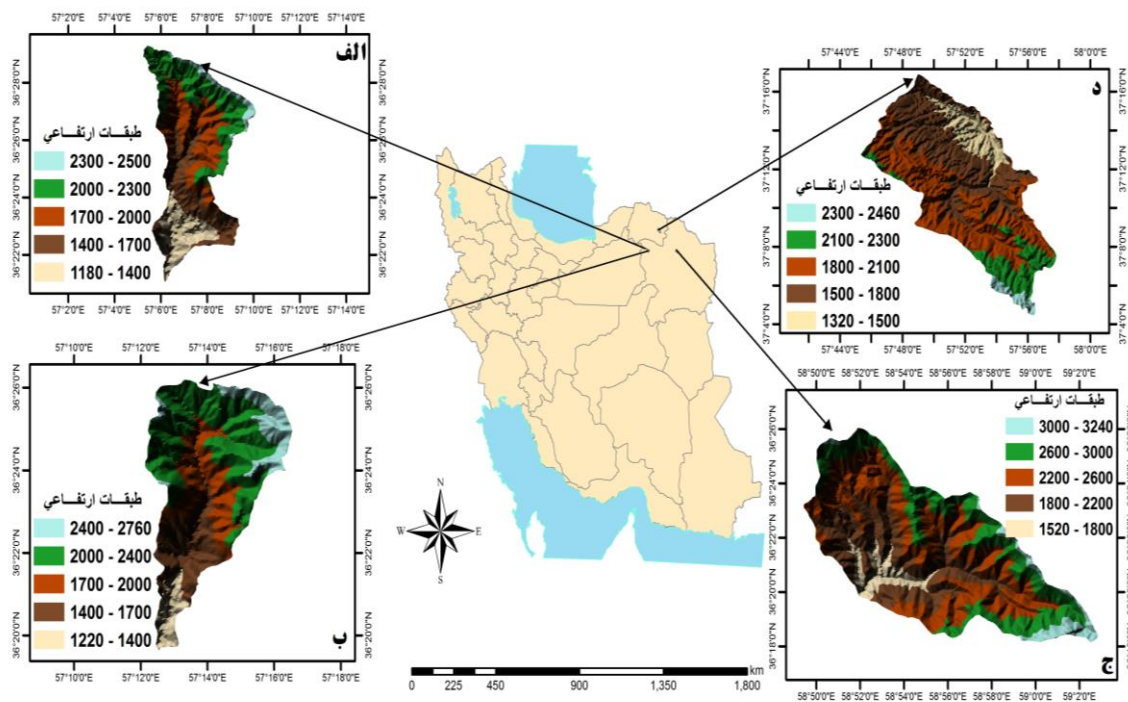
حوضه فاروب‌رومان مساحت ۱۴۴/۸۳ در دامنه جنوبی بینالود واقع شده است. رشته‌کوه بینالود یک نوار چین‌خورده و شکسته است و به دنبال برخورد پوسته ایران مرکزی از سمت جنوب غرب و پوسته توران در حاشیه شمال شرق

شکل گرفته است. چون این برخورد همراه با فرورانش پوسته ایران مرکزی به زیر پوسته توران بوده است، در نتیجه ساختمان بینالود به صورت صفحات رورانده ساده و منفرد یا دوبلکس در آمده است. توده اصلی بینالود گرانیت است که با ساختمان باتولیت میان رسوب‌های پالئوزوئیک و بعد از آن سر برآورده است. سازندهای حوضه فاروب‌رومان متشکل از سازندهای لالون، آهک بهرام، معادل دلیچای، معادل لار و... می‌باشد. در این حوضه ورقه‌های رورانده از ساختارهای اصلی به‌شمار می‌آیند. هر یک از این ورقه‌ها، با یک گسل تراستی در ارتباط است. امتداد تمامی گسل‌ها شمال‌غرب- جنوب‌شرق است که از شمال به سمت جنوب سن آن‌ها جوان‌تر می‌شود. از مهم‌ترین گسل‌های حوزه فاروب‌رومان گسل‌های تراستی جنوب حوضه، گسل‌های تراستی مرکزی و شمالی و گسل‌های عادی در جنوب حوضه را می‌توان نام برد.

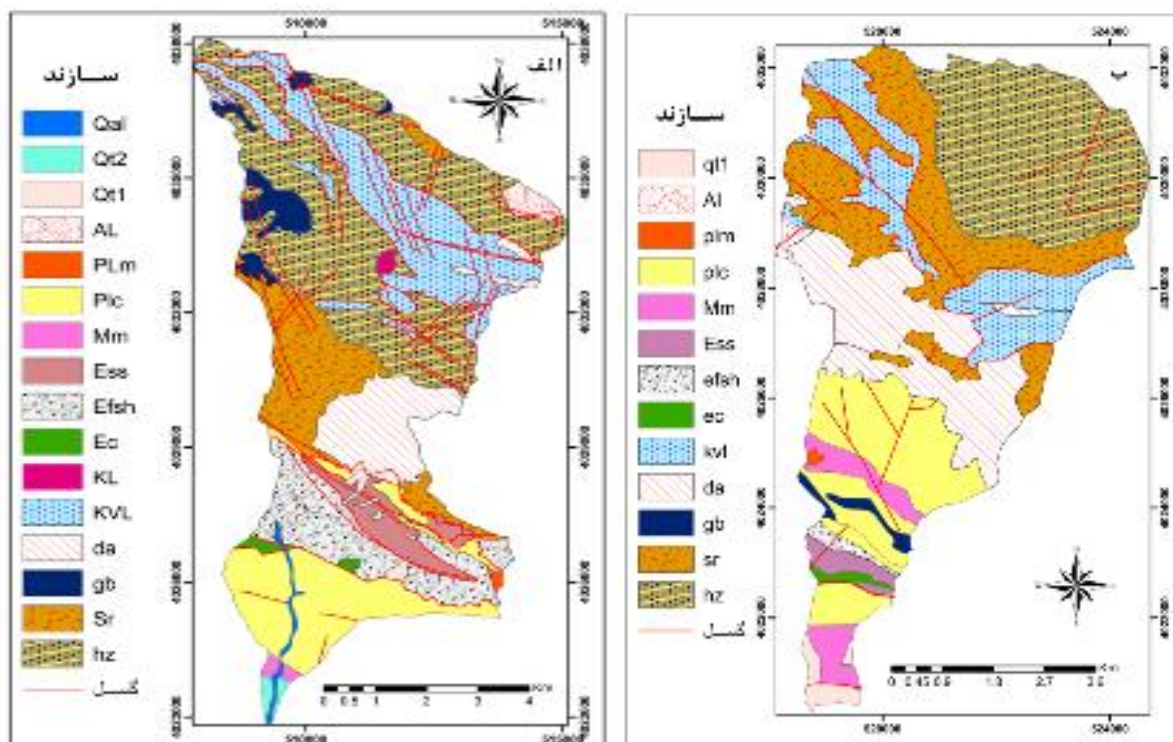
حوضه گلیان با مساحت ۱۸۵/۳۵ در دامنه شمالی ارتفاعات آلاداغ واقع شده. آهک‌های ژوراسیک و کرتاسه به‌ویژه در مغرب و مرکز، اسکلت اصلی توده آلاداغ را تشکیل می‌دهند. از نظر زمان شکل‌گیری، پایه اولیه شکل‌گیری این کوه‌ها را به فاز لارامید در اواخر کرتاسه نسبت می‌دهند که در آن فاز، برخورد صفحات گوناگون و متصل شدن آن‌ها این ارتفاعات را به‌وجود آورده است. مهم‌ترین سازندهای حوضه گلیان شامل سازند مزدوران، شوربجه، تیرگان، سرچشمه و... می‌باشد. در این حوضه‌ها نیز گسل گلیان و گسل راندگی زوارم و دیگر گسل‌های راندگی معکوس بی‌نظمی‌هایی را سبب گردیده‌اند. شکل ۱ موقعیت حوضه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. مشخصات کمی حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌های مورد مطالعه در شکل ۲ آمده است.

جدول ۱- مشخصات کمی حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه

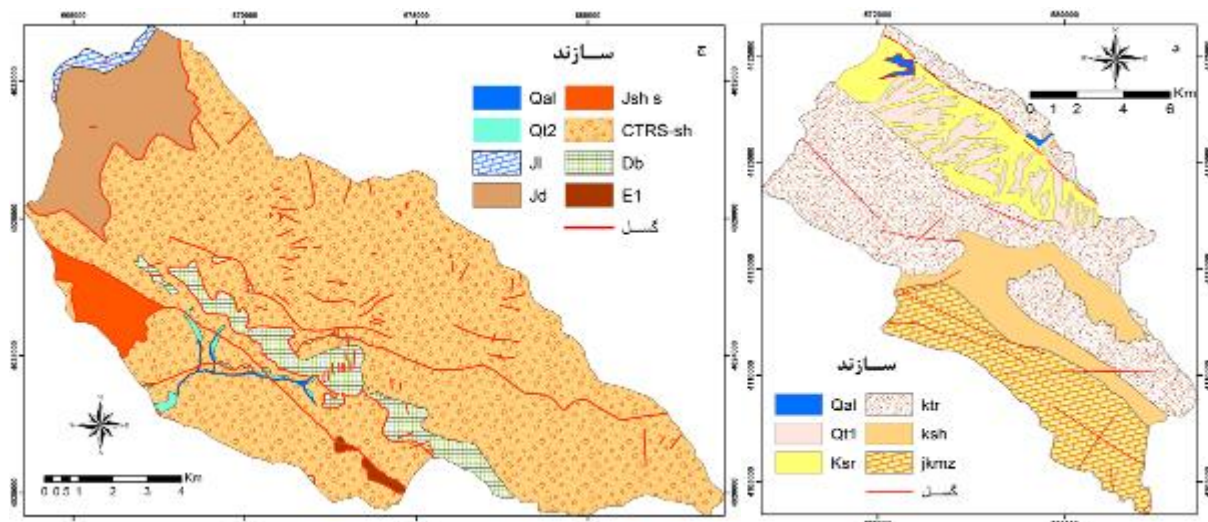
نام حوضه	مساحت km ²	محیط km	حداکثر ارتفاع m	حداقل ارتفاع m	شیب متوسط (درصد)	طول آبراهه اصلی km	ضریب فشردگی (گراولیوس)
صدخرو	۵۶/۱۸۳۵	۴۴/۷۴۸۳	۲۵۰۰	۱۱۸۰	۳۱	۱۶/۵۷	۱/۶۷
کلاته سادات	۴۳/۶۷۷۱	۳۴/۹۸۰۲	۲۷۶۰	۱۲۲۰	۲۵/۳۱	۱۵/۲۹	۱/۴۸
فاروب رومان	۱۴۴/۸۳۶۵	۵۸/۹۰۱۶	۳۲۴۰	۱۵۲۰	۴۶/۵۵	۱۹/۳۹	۱/۳۷
گلیان	۱۸۵/۳۵۶۰	۷۲/۱۵۰۰	۲۴۶۰	۱۳۲۰	۲۱/۹۰	۲۵/۷۹	۱/۴۸



شکل ۱: موقعیت حوضه‌های مورد مطالعه (الف) صدخرو، (ب) کلاته‌سادات، (ج) فاروبرومان، (د) گلیان



شکل ۲: سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌های مورد مطالعه: (الف) صدخرو، (ب) کلاته‌سادات



ادامه شکل ۲: سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌های مورد مطالعه: (ج) فاروب‌رومان، (د) گلیان

مواد و روش‌ها

پس از شناسایی ۴ حوضه آبریز در محدوده کوه‌های جغتای و آاداغ- بینالود در Google Earth، بر اساس نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، اطلاعات توپوگرافی مانند سطوح ارتفاعی و شیب توپوگرافی استخراج گردید. همچنین جهت استخراج اطلاعات زمین‌شناسی منطقه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه استفاده گردید. مورفومتری حوضه‌ها از جمله مساحت، محیط، ارتفاع حداکثر، حداقل و همچنین ارتفاع متوسط حوضه‌ها، طول و عرض حوضه‌ها، طول آبراهه اصلی و مساحت سمت بزرگ‌تر آبراهه اصلی و طول و تعداد آبراهه‌ها در درجات مختلف در محیط GIS محاسبه شد.

در مرحله بعد شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa) بر اساس حداکثر درجه آبراهه (بر اساس روش استرالر)، تعیین گردید. علاوه بر این، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی (H_a) برای مسیرهای زهکشی ناهنجار محاسبه شد. در این شاخص بایستی به صورت فرضی آبراهه‌هایی اضافه شود تا شبکه زهکشی دارای نظم سلسله مراتبی شوند تا در مرحله بعد، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی به دست آید. بعد از تعیین شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی (Δa) و تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی (ga)، پارامترهای شاخص انشعابات (R)، شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF)، نسبت شکل حوضه (BS) و میانگین طول آبراهه درجه ۱ ($LN1$) جهت بررسی تاثیر تکتونیک در ناهنجاری زهکشی حوضه‌ها به ترتیبی که در ذیل به تفصیل آمده است مورد محاسبه قرار گرفت. در نهایت میزان تاثیر تکتونیک بر

ناهنجاری شبکه آبراه‌ها در حوضه‌های مطالعاتی با استفاده از روابط خطی و ضریب همبستگی پارامترها تعیین و تجزیه و تحلیل شد.

شاخص‌های مربوط به ناهنجاری سلسله مراتبی شبکه زهکشی

شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی $(\Delta a)^{26}$

از جمله شاخص‌هایی که میزان ناهنجاری موجود در شبکه را نشان می‌دهد و از حساسیت بالایی در برابر حرکات تکتونیکی برخوردار است شاخص ناهنجاری سلسله مراتبی (شاخص Δa) می‌باشد (Guarnieri & Pirrotta, 2008). (268) 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 به‌علاوه ۲ و بالاتر وارد شود (۱→۳، ۱→۴، ۲→۴، ۲→۵، ۳→۵، ۳→۶ 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^{۲۷} و همکاران (۱۹۶۷) شاخصی بنام Ha (تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه) را تعریف کردند (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۴). به‌نظر آونا و همکاران، Ha حداقل تعداد آبراهه‌های درجه یک، که باید به‌طور فرضی به شبکه زهکشی اضافه شوند تا اتصالات دارای نظم سلسله مراتبی شوند می‌باشد (به نقل از گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸: ۲۶۷) با توجه به مشکلات ناشی از محاسبه دستی Ha ، بهرامی رابطه کمی را ارائه دادند بدین صورت که در حالتی که یک آبراهه مبدا (به‌عنوان مثال درجه ۱) به آبراهه بالاتر یا مقصد (به‌عنوان 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 به‌دست می‌آید (Bahrami, 2013: 918):

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

بعد از محاسبه $Ha_{i \rightarrow j}$ ، تعداد آبراهه‌ها در هر اتصال ($Ns_{i \rightarrow j}$) به‌دست می‌آید سپس از مجموع حاصل ضرب $Ha_{i \rightarrow j}$ و $Ns_{i \rightarrow j}$ ، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه برای کل حوضه (Ha_t) به‌دست می‌آید (Bahrami, 2013: 918):

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

برای محاسبه این شاخص ابتدا تعداد آبراهه‌ها با درجه مختلف حوضه تعیین شد (شکل ۳) و بعد از آن Ha_t محاسبه گردید. بعد از محاسبه Ha_t ، شاخص ناهنجاری‌های سلسله مراتبی (Δa) از رابطه زیر قابل محاسبه است (Guarnieri & Pirrotta, 2008: 267؛ بهرامی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۹):

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

در رابطه فوق:

$$\Delta a = \text{شاخص ناهنجاری}$$

$$Ha_t = \text{تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی}$$

$$N1 = \text{تعداد واقعی آبراهه‌های رتبه یک می‌باشد.}$$

این شاخص از حساسیت بالایی در مقابل حرکات نئوتکتونیک برخوردار است. هر چه مقادیر شاخص ناهنجاری‌های سلسله مراتبی (Δa) بیش‌تر باشد نشان از تکتونیک بیش‌تر حوضه‌ها می‌باشد (Guarnieri & Pirrotta, 2008: 268).

$$\text{شاخص تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی}^{28} (ga)$$

یکی دیگر از شاخص‌هایی که بر اساس آن می‌توان تاثیرات تکتونیک را مورد تجزیه تحلیل قرار داد شاخص ga (تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی) می‌باشد که از رابطه زیر به دست می‌آید (Ciccacci, 1986: 39):

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

$$ga = \text{تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی}$$

$$Ha_t = \text{تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه برای کل حوضه}$$

$$A = \text{مساحت حوضه}$$

$$\text{شاخص انشعابات}^{29} (R)$$

شاخص انشعاب (رابطه ۵) با حضور ناهنجاری‌ها در شبکه زهکشی در رابطه است و اطلاعات مفیدی را در مورد تیپولوژی فرایندهای فعال فرسایشی و درجه تحول حوضه ارائه می‌دهد (Guarnieri & Pirrotta, 2008: 267؛ بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸: ۳۲-۳۰)

28- density of hierarchical anomaly

29- bifurcation index

$$R=Rb-Rbd \quad \text{رابطه (۵)}$$

به بیانی دیگر شاخص انشعابات از عدد نسبت انشعابات حوضه (Rb) منهای نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) حوضه به دست می‌آید (Baroni et al, 2005: 223). با افزایش درجه تاثیر عوامل تکتونیکی در حوضه‌ها، مقدار شاخص مذکور افزایش می‌یابد (Guarnieri & Pirrotta, 2008: 267).

جهت محاسبه شاخص انشعابات ابتدا باید نسبت انشعابات (Rb) و سپس نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) محاسبه گردد.

$$\text{نسبت انشعاب}^{۳۰} (Rb)$$

نسبت انشعاب (Rb) با استفاده از رابطه ۶ قابل محاسبه است (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸: ۳۲-۳۰):

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

در این رابطه:

$$Rb = \text{نسبت انشعاب}$$

$$Nu = \text{تعداد آبراهه‌های رتبه ویژه}$$

$$Nu+1 = \text{تعداد آبراهه‌های رتبه بالاتر می‌باشد}$$

به عبارت دیگر نسبت انشعابات برای هر رده از آبراهه از تقسیم تعداد کل آبراهه‌های آن درجه بر تعداد کل آبراهه‌های یک درجه بالاتر به دست می‌آید. نسبت انشعابات کل حوضه از میانگین Rb کل درجات محاسبه می‌شود (Guarnieri & Pirrotta, 2008: 267)

$$\text{نسبت مستقیم انشعاب}^{۳۱} (Rbd)$$

این نسبت ساختار هیدروگرافیک حوضه را بدون این که ناهنجاری‌های سلسله مراتبی را مدنظر قرار گیرند توصیف می‌کند. نسبت مذکور با رابطه ۷ قابل معرفی است (Baroni et al, 2005: 223):

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

که در آن

$$Rbd = \text{نسبت مستقیم انشعاب}$$

30- Bifurcation ratio

31- Direct Bifurcation Ratio

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

$Nu+1 =$ تعداد آبراهه‌های رتبه بالاتر می‌باشد

- شاخص درصد عدم تقارن حوضه^{۳۲} (PAF)

از جمله شاخص‌هایی که جهت بررسی کج شدگی تکتونیک حوضه‌های زهکشی مطرح شده است، شاخص عدم تقارن حوضه (AF) است که از تقسیم Ar (مساحت سمت راست رودخانه اصلی حوضه با نگاه از بالادست به سمت پائین دست) بر At (مساحت کل حوضه) ضرب در ۱۰۰ به دست می‌آید (Clement and Brook, 2008: 1798). هر چه مقدار AF به عدد ۱۰۰ نزدیک شود، نشان‌دهنده کج شدگی حوضه به سمت چپ و هر چه به صفر نزدیک شود، نشان‌دهنده کج شدگی حوضه به سمت راست است. مقدار ۵۰ نیز حوضه‌های بدون کج شدگی را نشان می‌دهد. در این پژوهش شاخص درصد عدم تقارن حوضه (PAF) مورد استفاده قرار گرفته است که بدون در نظر گرفتن کج شدگی تکتونیک به سمت راست یا چپ، صرفاً درصد کج شدگی را نشان می‌دهد که از رابطه ۸ محاسبه می‌شود (بهرامی، ۱۳۹۲: ۶):

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

که در آن، ALS مساحت سمت بزرگ‌تر رودخانه اصلی حوضه و At مساحت کل حوضه به کیلومتر مربع است. مقدار این شاخص از ۵۰ تا ۱۰۰ متغیر است. صرف‌نظر از کج شدگی تکتونیک به سمت راست یا چپ حوضه‌ها، هر چه مقدار شاخص PAF به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، کج شدگی تکتونیک حوضه بیش‌تر است.

شکل حوضه^{۳۳} (BS)

حوضه‌های فعال تکتونیک، شکل کشیده‌ای دارند. شکل حوضه در طول زمان با توقف میزان بالاآمدگی، به تدریج دایره می‌شود (Burbank & Anderson, 2001, 203). شکل حوضه با رابطه ۹ بیان می‌گردد:

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

که در آن

$BS =$ شاخص شکل حوضه

$Bl =$ اندازه طول حوضه از انتهای‌ترین مقسم آب تا خروجی حوضه

32- percent of basin asymmetry

33- Basin Shape Ratio

Bw = پهنای حوضه در پهن‌ترین قسمت

مقادیر بزرگ این شاخص مربوط به حوضه‌های کشیده در نواحی فعال زمین‌ساختی است، درحالی‌که مقادیر کوچک آن در حوضه‌های دایره‌ای شکل نواحی غیرفعال را نشان می‌دهد. زمانی که فعالیت زمین‌ساختی کم یا متوقف می‌شود عریض‌شدگی رخ می‌دهد و زمانی که پیشانی کوهستانی سریع بالا می‌آیند حوضه‌های کشیده و تند را ایجاد می‌کنند (Dehbozorgi et al, 2010: 335؛ Teresa & Herrera, 1998: 323).

شاخص میانگین طول آبراهه درجه ۱ (LN1)^{۳۴}

یکی از شاخص‌های نشان‌دهنده تکتونیک فعال شاخصی به نام LN1 است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۱۰

که در آن

$$LN1 = \text{میانگین طول آبراهه درجه ۱}$$

$$\sum L1 = \text{مجموع طول آبراهه درجه ۱}$$

$$N = \text{تعداد آبراهه درجه ۱ حوضه}$$

آبراهه‌های درجه ۱ از حساسیت بالایی در برابر حرکات تکتونیک برخوردارند و از شاخص‌های مناسب برای شناسایی فعالیت‌های نفوتکتونیک محسوب می‌شوند (Jordan, 2007: 574). هر چه مقادیر به دست آمده شاخص LN1 بالاتر باشد نشانگر تکتونیک فعال است به طوری که در مناطق دارای بالآمدگی سریع، تنها شبکه‌های درجه ۱ توسعه می‌یابند (Zuchiewicz, 1988; 127).

یافته‌ها و بحث

بعد از ترسیم شبکه زهکشی حوضه‌ها و درجه‌بندی آبراهه‌ها (شکل ۳)، مقدار شاخص‌های Ha_1 و Δa و ga (جدول ۲) محاسبه شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مقادیر شاخص‌ها در حوضه‌های مطالعاتی متغیر است. مقدار شاخص Ha_1 در حوضه گلیان و فاروب‌رومان (به ترتیب ۱۰۶۱ و ۸۴۶) بیش‌تر از دو حوضه صدخرو و

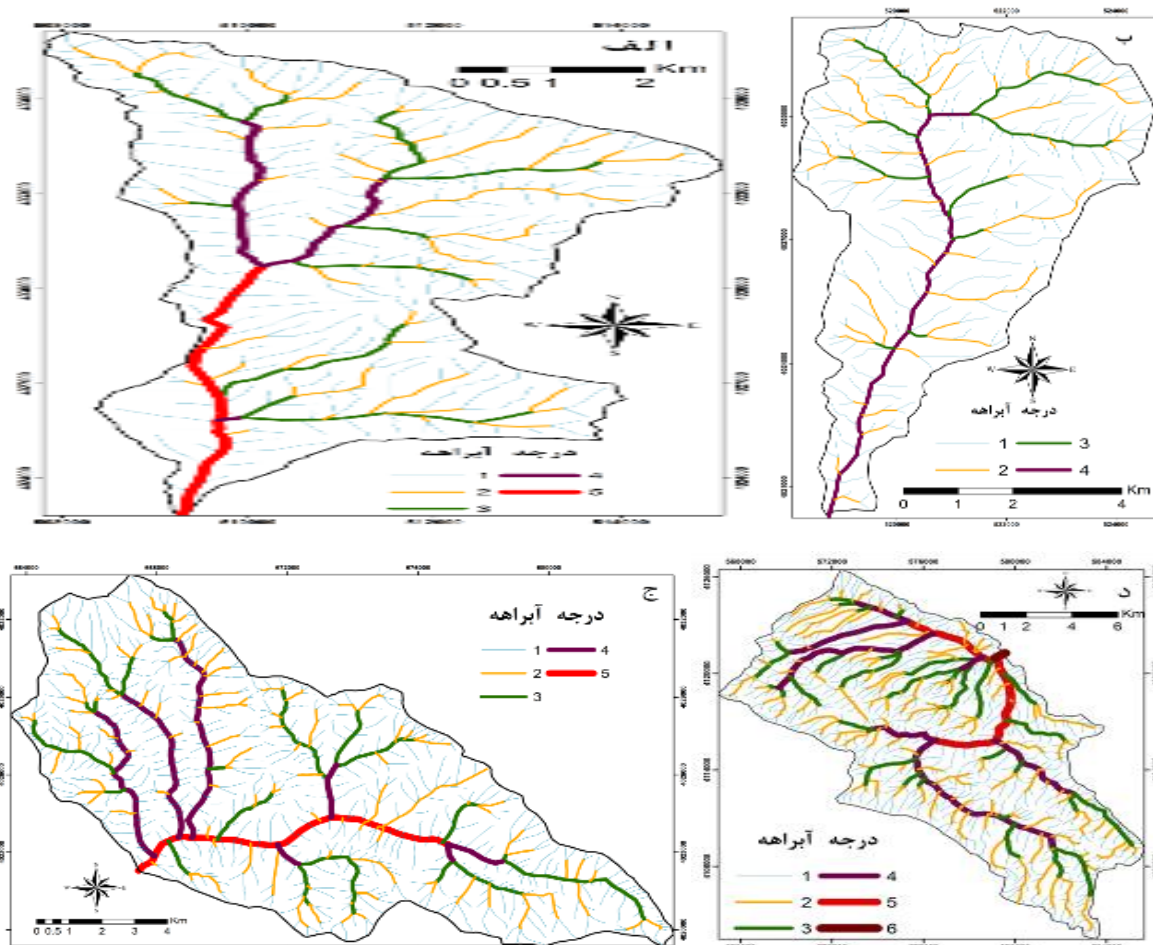
34- mean length of first order streams

کلاته‌سادات است. بالاترین مقدار شاخص Δa مربوط به حوضه گلیان ($1/4$) و پایین‌ترین مقدار مربوط به حوضه کلاته‌سادات ($0/779$) می‌باشد. (جدول ۲).

بالاترین مقدار شاخص ga مربوط به حوضه‌های فاروب‌رومان و صدخرو (به ترتیب $5/84$ و $5/76$) و کم‌ترین آن مربوط به حوضه‌های کلاته‌سادات و گلیان (به ترتیب $4/05$ و $5/72$) می‌باشد. جدول ۲ پارامترهای Ha_i و Δa و ga و شکل ۳ شبکه آبراهه‌ها در حوضه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- پارامترهای Ha و Δa در حوضه‌های مورد مطالعه

گلیان	فاروب رومان	کلاته سادات	صدخرو	مسیر
تعداد آبراهه‌ها ضرب در حداقل آبراهه درجه ۱ لازم برای منظم کردن شبکه $(Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j})$	تعداد آبراهه‌ها ضرب در حداقل آبراهه درجه ۱ لازم برای منظم کردن شبکه $(Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j})$	تعداد آبراهه‌ها ضرب در حداقل آبراهه درجه ۱ لازم برای منظم کردن شبکه $(Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j})$	تعداد آبراهه‌ها ضرب در حداقل آبراهه درجه ۱ لازم برای منظم کردن شبکه $(Ha_{i \rightarrow j} \times Ns_{i \rightarrow j})$	
$144(1)=144$	$150(1)=150$	$45(1)=45$	$43(1)=43$	۱→۳
$105(3)=315$	$108(3)=324$	$36(3)=108$	$29(3)=87$	۱→۴
$51(7)=357$	$36(7)=252$	$0(7)=0$	$22(7)=154$	۱→۵
$1(15)=15$	$0(15)=0$	$0(15)=0$	$0(15)=0$	۱→۶
$30(2)=60$	$21(2)=42$	$12(2)=24$	$6(2)=12$	۲→۴
$9(6)=54$	$11(6)=66$	$0(6)=0$	$4(6)=24$	۲→۵
$0(14)=0$	$0(14)=0$	$0(14)=0$	$0(14)=0$	۲→۶
$29(4)=116$	$3(4)=12$	$0(4)=0$	$1(4)=4$	۳→۵
۱۰۶۱	۸۴۶	۱۷۷	۳۲۴	Ha
$1061/758=1399$	$846/620=136$	$177/227=0.779$	$324/265=1.22$	Δa
$5/72$	$5/84$	$4/05$	$5/76$	ga



شکل ۳: نقشه شبکه آبراهه‌ها بر اساس روش درجه‌بندی استرالز در حوضه‌های مورد مطالعه (الف) صدخرو، (ب) کلاته‌سادات

(ج) فاروب‌رومان (د) گلیان

جدول ۳- تعداد آبراهه‌ها و نسبت انشعابات در حوضه‌های مورد مطالعه

نام حوضه	صدخرو	کلاته سادات	فاروب رومان	گلیان
درجه آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه
۱	۲۶۵	۲۲۷	۶۲۰	۷۵۸
۲	۵۲	۴۵	۱۰۸	۱۳۵
۳	۱۰	۹	۲۱	۳۲
۴	۳	۱	۷	۷
۵	۱	۰	۱	۲
۶	۰	۰	۰	۱
Rb	۴/۱۵۷	۶/۳۴۸	۵/۲۲	۳/۹۸

جدول ۴- تعداد آبراهه‌های هر درجه که مستقیماً به یک درجه بالاتر می‌ریزند، نسبت مستقیم انشعابات و مقادیر R در حوضه‌های مورد مطالعه

نام حوضه	مسیر آبراهه	صدخرو	کلاته‌سادات	فاروب‌رومان	گیلان
		تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه	تعداد آبراهه
۱→۲		۱۷۱	۱۴۶	۳۲۶	۴۵۷
۲→۳		۴۲	۳۳	۷۶	۹۶
۳→۴		۹	۹	۱۸	۲۹
۴→۵		۳	۰	۷	۷
۵→۶		۰	۰	۰	۲
Rbd		۳/۳۷۲	۵/۳۰	۴/۰۵۲	۳/۲۰۵
R=R-Rbd		۰/۷۸۵	۱/۰۴۸	۱/۱۷	۰/۷۷۵

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های PAF, BS و LN1

نام حوضه	صدخرو	کلاته‌سادات	فاروب‌رومان	گیلان
شاخص PAF	۸۰/۶۹	۵۲/۲۶	۷۰/۹۹	۷۱/۳۲
شاخص BS	۲/۳۸۷	۱/۹۱۷	۲/۳۸۰	۲/۱۳۱
شاخص LN1	۰/۴۲۸	۰/۴۵۹	۰/۵۰۰	۰/۴۸۳

جهت محاسبه شاخص انشعابات (R) ابتدا نسبت انشعابات (Rb) و سپس نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) محاسبه گردید (جدول ۴). نسبت انشعابات برای حوضه‌های صدخرو، کلاته‌سادات و فاروب‌رومان و گیلان به ترتیب برابر با ۴/۱۵، ۶/۳۴، ۵/۲۲، ۳/۹۸ به دست آمد (جدول ۳). نسبت مستقیم انشعابات (Rbd) نیز برای حوضه‌های مذکور به ترتیب برابر با ۳/۳۷۲، ۵/۳۰، ۴/۰۵۲ و ۳/۲۰۵ محاسبه گردید. مقدار شاخص انشعابات (R) در حوضه‌های فاروب‌رومان، کلاته‌سادات، صدخرو و گیلان به ترتیب ۱/۱۷، ۱/۰۴۸، ۰/۷۸۵ و ۰/۷۷۵ می‌باشد.

مقادیر شاخص PAF نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار این شاخص مربوط به حوضه صدخرو (۸۰/۶۹) و کم‌ترین مقدار این شاخص در حوضه کلاته‌سادات (۵۲/۲۶) می‌باشد. به طور کلی بر اساس شاخص مذکور، درصد کج شدگی تکتونیکی حوضه‌های صدخرو و گیلان بیش‌تر از سایر حوضه‌ها می‌باشد.

مقادیر BS نیز در حوضه‌ها از ۱/۹۱۷ (کلاته‌سادات) تا ۲/۳۸۷ (صدخرو) متغیر می‌باشد که بیانگر کشیدگی حوضه و فعالیت زمین‌ساختی حوضه‌ها می‌باشد. بیش‌ترین مقدار این شاخص مربوط به حوضه‌های صدخرو و فاروب‌رومان است. کم‌ترین مقدار شاخص مذکور نیز به حوضه کلاته‌سادات اختصاص دارد.

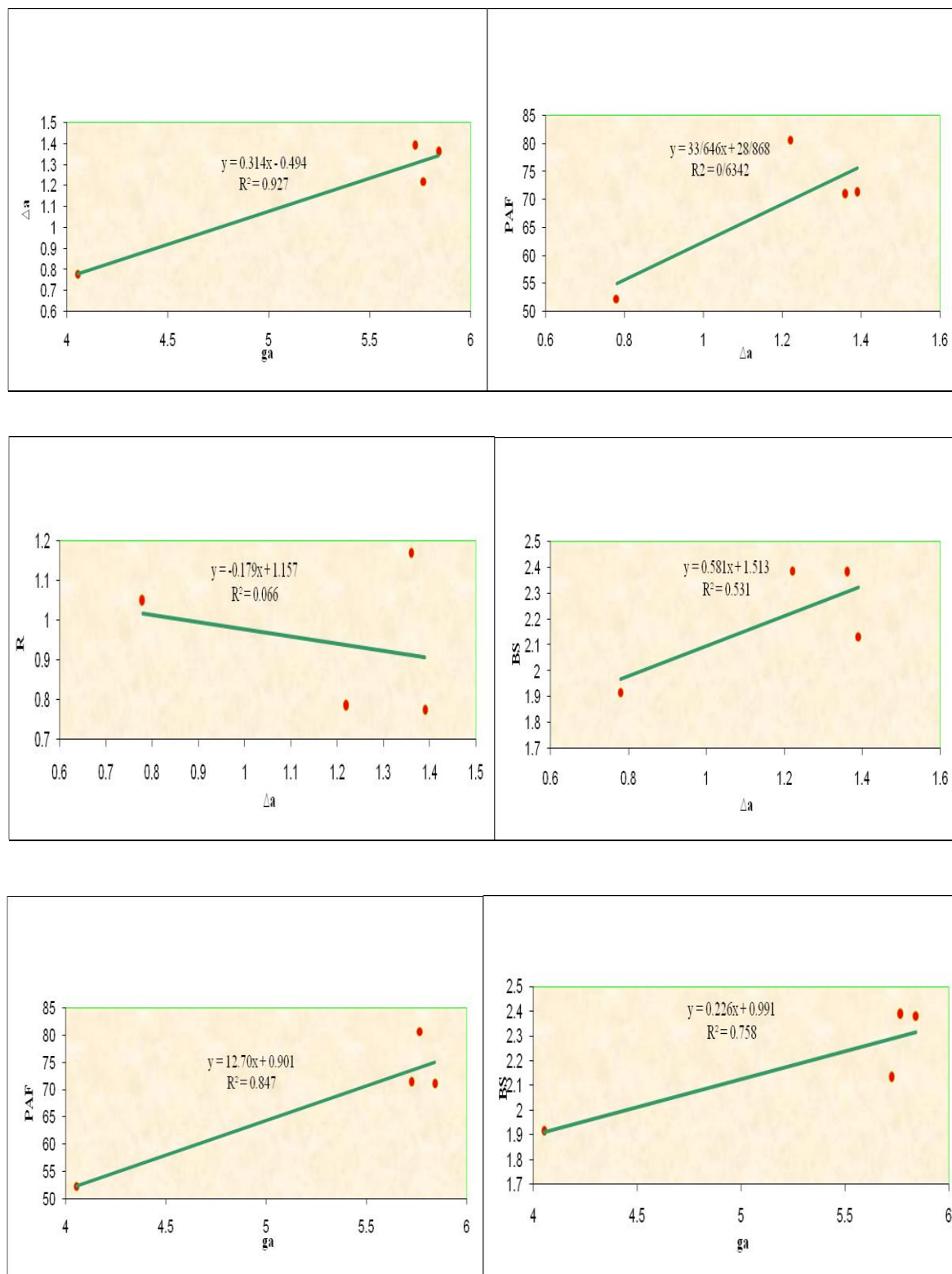
شاخص LN1 که میانگین طول آبراهه درجه ۱ می‌باشد نیز از دیگر شاخص‌هایی است که نشان‌دهنده فعالیت مناطق از نظر تکتونیکی است. به‌طور افزایش تعداد و طول آبراهه درجه ۱ در حوضه‌ها نشان‌دهنده فعالیت بالای تکتونیک است. مقادیر شاخص LN1 در حوضه‌های مطالعاتی به ترتیب مربوط به فاروب‌رومان (۰/۵۰۰)، گلیان (۰/۴۸۳)، کلاته‌سادات (۰/۴۵۹) و صدخرو (۰/۴۲۸) می‌باشد که بر اساس این شاخص حوضه فاروب‌رومان بیش‌ترین و حوضه صدخرو کم‌ترین فعالیت تکتونیک را دارا می‌باشد. جدول ۵ مقادیر شاخص‌های LN1، BS، PAF را نشان می‌دهد.

در این پژوهش، جهت بررسی نقش تکتونیک و تاثیر آن در مقادیر Δa و ga ، ضریب همبستگی و ضریب تعیین بین پارامترهای مختلف محاسبه و رابطه خطی آن‌ها ترسیم گردید. جدول ۶ ضریب همبستگی بین شاخص‌های مورد استفاده در حوضه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

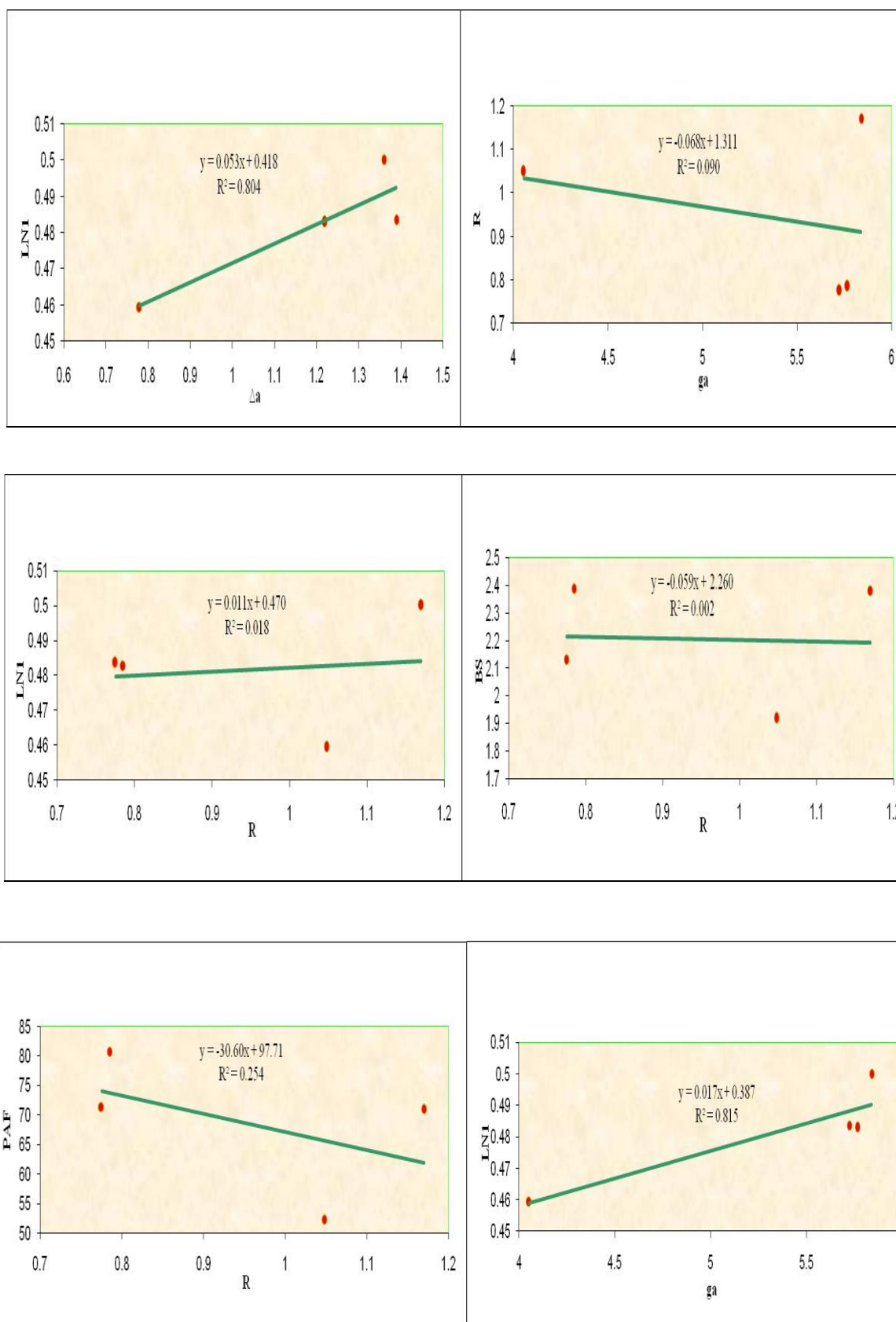
بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که رابطه مستقیمی بین Δa و ga با ضریب همبستگی بالا ($r=0/963$) در حوضه‌های مطالعاتی وجود دارد. هم‌چنین رابطه مستقیمی بین پارامترهای Δa و ga با پارامترهای LN1، BS، PAF به چشم می‌خورد. ضریب همبستگی Δa با پارامترهای LN1، BS، PAF، R به ترتیب ۰/۷۹۶، ۰/۷۳۷، ۰/۸۹۲ و ۰/۲۵۸- و ضریب همبستگی ga با پارامترهای LN1، BS، PAF، R نیز به ترتیب ۰/۹۲۰، ۰/۸۷۵، ۰/۸۹۶ و ۰/۲۹۹- به دست آمد. از طرفی، رابطه معناداری بین R و دیگر پارامترها وجود ندارد (جدول ۶). به طور کلی داده‌های جدول ۶ نشان‌دهنده کارایی بالای شاخص‌های Δa و ga جهت شناسایی تکتونیک فعال حوضه‌های زهکشی می‌باشد. شکل ۴ رابطه خطی و مقدار ضریب تعیین بین Δa و ga را با پارامترهای LN1، BS، PAF، R نشان می‌دهد.

جدول ۶- مقادیر ضریب همبستگی بین شاخص‌های مورد استفاده در حوضه‌های مطالعاتی

شاخص	Δa	ga	PAF	BS	LN1	R
Δa	۱					
ga	۰/۹۶۳	۱				
PAF	۰/۷۹۶	۰/۹۲۰	۱			
BS	۰/۷۳۷	۰/۸۷۵	۰/۸۸۴	۱		
LN1	۰/۸۹۲	۰/۸۹۶	۰/۷۰۲	۰/۸۶۱	۱	
R	-۰/۲۵۸	-۰/۲۹۹	-۰/۵۰۴	-۰/۰۴۷	۰/۱۵۲	۱



شکل ۴: رابطه خطی و مقدار ضریب تعیین بین Δa , g_a و R و پارامترهای BS , PAF و $LN1$ در حوضه‌های مورد مطالعه



ادامه شکل ۴: رابطه خطی و مقدار ضریب تعیین بین Δa ، ga و R و پارامترهای BS، PAF و LNI در حوضه‌های مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

ارزیابی نظم سلسله مراتبی آبراهه‌ها یا به عبارتی دیگر، نظم در ورود هر رده از آبراهه به رده‌های بالاتر، به وسیله پارامترهایی مانند Δa ، ga و R انجام می‌شود. بررسی پارامترهای مذکور نقش مهمی در ارزیابی نقش عوامل خارجی به‌ویژه تکتونیک در سیستم زهکشی حوضه‌ها ایفا می‌کند. از طرف دیگر، بررسی وضعیت تکتونیک حوضه‌ها با استفاده از شاخص‌هایی مانند PAF و Bs انجام می‌شود. بالا بودن شاخص‌های PAF و BS شدت فعالیت‌های تکتونیک را نشان می‌دهد درحالی‌که بالا بودن پارامترهای Δa ، ga و R بیانگر ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه‌ها است. با توجه به این‌که ممکن است تفاوت‌هایی در شدت فعالیت‌های تکتونیک در هر منطقه وجود داشته باشد، در این تحقیق چهار حوضه زهکشی با مساحت‌ها و شکل‌های متفاوت انتخاب شدند تا نقش تکتونیک در شاخص‌های مربوط به ناهنجاری شبکه زهکشی مورد ارزیابی قرار گیرد. بررسی این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش شاخص‌های PAF ، BS و $LN1$ مقدار پارامترهای Δa و ga نیز افزایش می‌یابد درحالی‌که رابطه معنی‌داری بین پارامتر R و دو پارامتر Δa ، ga وجود ندارد. این موضوع نشان می‌دهد که حوضه کشیده‌تر و نامتقارن (کج شده) دارای ناهنجاری شبکه زهکشی بیش‌تری هستند. رابطه مستقیم بین پارامتر $LN1$ و پارامترهای Δa ، ga نیز بیانگر آن است که در حوضه‌هایی که طول آبراهه‌های درجه یک بیش‌تر است مقدار ناهنجاری شبکه زهکشی بیش‌تر است. با افزایش کشیدگی حوضه‌ها، تعداد آبراهه‌های درجه ۱ بیش‌تر شده و متعاقب آن میانگین طول آبراهه‌های درجه یک افزایش می‌یابد. حوضه‌هایی که تحت تاثیر تکتونیک، نامتقارن شده و دارای شکلی کشیده‌تر هستند امکان اتصال آبراهه‌های با درجه پایین (۱ و ۲) به درجات بالا (۵ و ۶) بیش‌تر بوده و بنابراین مقدار شاخص‌های ga و Δa افزایش یافته است. به طور کلی بررسی شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق نشان می‌دهد که اگرچه تمام حوضه‌های مطالعاتی از نظر تکتونیک فعال هستند اما بیش‌ترین فعالیت تکتونیک به ترتیب در حوضه‌های فاروب‌رومان، صدخرو و گلیان و کم‌ترین آن مربوط به حوضه کلاته‌سادات می‌باشد.

منابع

- بهرامی، ش؛ مقصودی، م؛ ک، بهرامی (۱۳۹۰)، «بررسی نقش تکتونیک در ناهنجاری مورفومتری شبکه زهکشی در چهار حوضه آبخیز در زاگرس»، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶، صص ۷۰-۵۱.
- بهرامی، ش (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، ۹-۱۱ اردیبهشت، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور، صص ۱۰-۱.
- بیاتی خطیبی، م (۱۳۸۸)، «تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیک در حوضه آبریز قرنقوچای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک»، مجله فضای جغرافیایی، شماره ۲۵، صص: ۲۳-۵۰.
- پور کرمانی، م؛ معتمدی، ح (۱۳۸۱)، «روش‌های زمین‌شناسی ساختمانی»، تهران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.
- خاوری، ر؛ قرشی، م؛ آرین، م. خ؛ خسرو تهرانی، خ (۱۳۸۹)، «نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال حوضه رودخانه کرج در دامنه جنوبی البرز مرکزی، شمال ایران»، علوم زمین، شماره ۷۵، صص ۷۴-۶۷.
- ذوالفقاری، م؛ پیروان، ح؛ غیومیان، ج؛ بوذری، س (۱۳۸۳)، «بررسی نقش تکتونیک فعال برالگوی شبکه آبراهه‌ای نیمه جنوبی حوزه آبریز حاج علیقلی (جنوب شرقی دامغان)»، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین، ۲۸-۲۶ بهمن ماه، تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رادفر، ش؛ پورکرمانی، م (۱۳۸۴)، «ریخت زمین‌ساخت گسل کوه‌بنان»، مجله علوم زمین، شماره ۵۷، صص ۱۸۳-۱۶۶.
- رضائی مقدم، م؛ احمدی، م (۱۳۸۵)، «تحلیل ژئومورفولوژی کمی الگوی زهکشی شبکه آبراهه ای به کمک زاویه برخورد آنها در زیر حوضه سرباس استان کرمانشاه»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۱، صص ۹۸-۸۴.
- روستایی، ش؛ نیری، ه (۱۳۹۰)، «تحلیل کمی تاثیر لیتولوژی و تکتونیک بر پروفیل طولی رودخانه در حوضه آبریز رودخانه مهاباد»، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۴، صص ۱۵۳-۱۳۷.
- زرگرزاده، م؛ رنگزن، ک؛ چرچی، ع؛ آبشیرینی، آ (۱۳۸۸)، «کاربرد GIS و شاخص‌های ژئومورفیک در پهنه‌بندی تکتونیک فعال زون زاگرس»، ژئوماتیک، شماره ۶، صص ۱۰-۱.

- سلیمانی، ش (۱۳۷۸)، «رهنموده‌هایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه شناسی»، تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- غلامی، ی (۱۳۸۹)، «بررسی ژئومورفولوژی تکتونیک در تاقدیس گلپان»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار.
- کرمی، ف (۱۳۸۸)، «ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیک در حوضه زهکشی سعید آباد چای»، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۹، صص ۸۲-۶۷.
- کرمی، ف (۱۳۹۱)، «ارزیابی نسبی تکتونیک فعال با استفاده از رو شهای مورفومتری در حوضه های شمالی و شرقی کوه سهند»، فصلنامه فضای جغرافیایی، شماره ۳۷، صص ۱۸-۱.
- گورابی، ا؛ نوحه‌گر، ا (۱۳۸۶)، «شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه»، پژوهشهای جغرافیایی، شماره ۶۰، صص ۱۹۶-۱۷۷.
- مختاری، د (۱۳۸۴)، «کاربرد شاخص‌های ریخت‌سنجی در تعیین میزان فعالیت گسل‌ها (نمونه موردی: گسل شمالی میشو)»، مجله علوم زمین، شماره ۵۹، صص ۸۳-۷۰.
- مقصودی، م؛ عمادالدین، س (۱۳۹۰)، «تحلیل شواهد مورفوتکتونیک گسل درونه در محدوده حوضه آبریز شش‌طراز و مخروط‌افکنه پایین دست آن»، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره شانزدهم، صص ۱۲۳-۱۰۷.
- مقصودی، م؛ جعفری اقدم، م؛ باقری سید شکر، س؛ مینایی، م (۱۳۹۰)، «بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی»، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۵، صص ۱۳۶-۱۱۱.
- ملک، ع (۱۳۷۷)، «کاربرد شاخص‌های مورفومتریکی در مطالعات نئوتکتونیک بخش‌های جنوبی البرز مرکزی»، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- مونسیان، ق (۱۳۹۰)، «بررسی تاثیرات تکتونیک گسل کمایستان بر شبکه آبها و مخروط افکنه ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک در دامنه‌های شمالی ارتفاعات جغتای»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار.

- یمانی، م؛ کامرانی دلیر، ح؛ باقری، س (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، صص ۱-۲۶.

- Altin, T.b and Altin, B.N., (2011), "Development and morphometry of drainage network in volcanic terrain, Central Anatolia, Turkey", *Geomorphology*, 125: 485-503
- Avena, G.C., Giuliano, G., Lupia Palmieri, E., (1967), "Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali", *Boll. Soc. Geol. Ital.* 86, 781-7965.
- Bahrami, s., (2013), "Analyzing the drainage system anomaly of Zagros basins: Implications for active tectonics", *Tectonophysics*, 608:914-928.
- Baroni, C., Noti, V., Ciccacci, S., Righini, G., Salvatore, M.C, (2005), "Fluvial origin of the valley system in northern Victoria Land (Antarctica) from quantitative geomorphic analysis", *GSA Bulletin*, 117: 212-228.
- Bull, W. B, (1978), "Geomorphic Tectonic Classes of the South Front of the San Gabriel Mountain", California U.S. Geological Survey Contract Report, 14-08-001-G-394, Office of Earthquakes, *Volcanoes and Engineering*, Menlo Park, CA.
- Burbank, D.W., Anderson, R.S., (2001), *"Tectonic Geomorphology"*, Blackwell Science.
- 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*, 56: 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", *International Geomorphology*, 37: 233-248.
- Clement, A.J.H., Brook, M.S., (2008), "Tilting of active folds and drainage asymmetry on the Manawatu Anticlines, New Zealand: A preliminary investigation". *Earth Surface Processes and Landforms*, 33:1787-1795.
- Deffontaines, B., P. Chotin, L. Air Brahim., Rozanov, M., (1992), "Investigation of active faults in Morocco using morphometric methods and drainage pattern analysis", *Geologische Rundschau*, 81: 199-210.
- Deffontaines, B., Lee, J.C., Angelier, J., Carvalho, J., Rudant, J.P, (1994), "New geomorphic data on the active Taiwan orogen: A multisource approach", *Journal of Geophysical Research*, 99: 20243- 20266.
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi H., Hosseinias, H., (2010), "Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran, GEOMOR-03284; No of Pages 13,0169-555X/\$ – see front matter © 2010 Published by Elsevier B.V eomorphology, doi:10.1016/j.geomorph.2010.05.002.

- Demoulin, A., (2011), "Basin and river profile morphometry: A new index with a high potential for relative dating of tectonic uplift", *Geomorphology*, 126 : 97–107
- Douglas, W., Burbank, R. A., (2001), "Tectonic Geomorphology. Blackwell Science, Ltd , ISBN: 0632043865, 9780632043866, 288 p.
- 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.
- Hamdouni, R.El., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller, E.A., (2008), "Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain)", *Geomorphology*, 96: 150-173.
- Hare, P. H., Gardner, T. W. M., (1985), "Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica", In *Tectonic Geomorphology*, Morisawa, M, Hach, J. T (eds). Allen and Unwin, Boston, 75-104.
- 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*, 58:49–65.
- Jordan, G.,(2007), "Adaptive smoothing of valleys in DEMs using TIN interpolation from ridgeline elevations: An application to morphotectonic aspect analysis". *Computers & Geosciences*, 33: 573–585.
- Joshi, Parul N., Maurya, D.M., Chamyal, L.S., (2013), "Morphotectonic segmentation and spatial variability of neotectonic activity along the Narmada–Son Fault, Western India: Remote sensing and GIS analysis", *Geomorphology*, 180–181: 292–306.
- Kale, V., S., Sengupta, S., Achyuthan, H., Jaiswal, M. K.,(2002), "Tectonic controls upon Kaveri River drainage, cratonic Peninsular India: Inferences from longitudinal profiles, morphotectonic indices, hanging valleys and fluvial records", *Geomorphology*, 197: 1-13.
- Keller, E. A., Nicholas, P., (2002), "*Active Tectonics Earthquake, Uplift, and Landscape* "; Prentice Hall publisher. New, Jersey, 362 p.
- Khalatbari, J., M., Babaie, H.A., Gani, M., (2013), "Geochemical evidence for Late Cretaceous marginal arc-to-backarc transition in the Sabzevar ophiolitic extrusive sequence, northeast Iran", *Journal of Asian Earth Sciences*, 70–71 , 209–230.
- Li, Y., Yang, J., Tan, L., Duan, F., (1999), "Impact of tectonics on alluvial landforms in Hexi corridor, Northwest China", *Geomorphology*, 28: 18-34.

- Malik, J., Mahanty, C., (2007), "Active tectonic influence on the evolution of drainage and Landscape: Geomorphic signatures from Frontal and Hinterland areas along the Northwestern Himalaya, India", *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 604–618.
- Perucca, L., P., Rothlis, M., Vargas, H. N., (2015), Morphotectonic and neotectonic control on river pattern in the Sierra de la Cantera piedmont, central Precordillera, province of San Juan, Argentina. To appear, *Geomorphology*, 198: 1-29, Available : WWW.GEOMOR.com.
- Piraste, S., Pradhan, B., Rizvi, S.M., (2011), "Tectonic process analysis in Zagros Mountain with the aid of drainage networks and topography maps dated 1950–2001 in GIS", *Arabian Journal of Geoscience*, 4(1-2):171-180.
- Popotnig, A., Tschegg, D., Decker, K., (2013), "Morphometric analysis of a reactivated Variscan fault in the southern Bohemian Massif (Budějovice basin, Czech Republic)", *Geomorphology*, 197: 108–122
- Ramsey, L.A., Walker, R.T., Jackson, J., (2008), "Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars province, SE Iran", *Basin Research*, 20: 23-48.
- Ribolini, A., Spagnolo, M., (2008), "Drainage network geometry versus tectonics in the Argentera Massif (French–Italian Alps)", *Geomorphology*, 93: 253–266, Available online at www.sciencedirect.com
- Simoni, A., Elmi, C., Picotti, V., (2003), "Late Quaternary uplift and valley evolution in the Northern Apennines: Lamone catchment", *Quaternary International*, 101–102 - 253–267.
- Stanley, A., Schumm, J. F., Holbrook, M., (2000), "Active tectonics alluvial rivers", Cambridge University Press Cambridge.
- Sung, O., Chen, Y.C., (2004), "Geomorphic evidence and kinematic model for quaternary transfer faulting of the Pakuashan anticline, central Taiwan", *Journal of Asian Earth Sciences*, 24: 389–404.
- Talling, P., Sowter, M. J., (1999), "Drainage density on progressively tilted surfaces with different gradients, Wheeler Ridge, California", *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: 809-824.
- Teresa, M., Herrera, R., (1998), "Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt", *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 317-332
- Zuchiewicz, W., (1998), "Quaternary tectonics of the Outer West Carpathians", *Poland. Tectonophysics*, 297: 121–132