جغرافیا و توسعه شماره ۴۹ زمستان ۱۳۹۶
وصول مقاله : ۱۳۹۵/۰۵/۰۳
تأیید نهایی : ۱۳۹۵/۱۱/۲۷
صفحات : ۱۸۸-۱۶۳

تجزیه و تحلیل تکتونیک – ژئومورفولوژی حوضهٔ رودخانهٔ درونگر

سعیده اعظم مابقی[۱]*، دکتر سیدرضا حسین‌زاده[۲]

چکیده

حوضهٔ آبخیز رودخانهٔ درونگر، در رشته‌کوه‌های کپّه‌داغ، در شمال استان خراسان رضوی واقع شده است. شواهد ژئومورفولوژیکی حوضهٔ مورد بحث، حاکی از ادامهٔ فعالیت‌های نئوتکتونیکی در دوران پلیو- کواترنر است. هدف از این پژوهش، ارزیابی تکتونیک فعال و مقایسهٔ نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی حوضه و تأثیر آن بر شبکهٔ زهکشی رودخانه‌ای است. در این پژوهش از شاخص‌های ژئومورفولوژیک (Hi، Bs ، AF، Smf ، S ، Vf و SL)، شاخص طبقه‌بندی IAT ، نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع (DEM)[۱] جهت تجزیه و تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیکی حوضه استفاده شده است. نتایج به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک و بررسی شواهد ژئومورفولوژیکی، حاکی از فعال بودن نئوتکتونیک در حوضه می‌باشد و بر اساس شاخص طبقه‌بندی IAT، این حوضه جزء مناطق فعال از نظر تکتونیکی به‌حساب می‌آید.

کلیدواژه‌ها: نئوتکتونیک، شاخص‌های ژئومورفیک، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)[۲] شواهد ژئومورفولوژیکی، شمال شرق ایـران، حوضهٔ درونگر.

۱- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران *
s.mabaqi@yahoo.com
۲- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
srhosseinzadeh@yahoo.com

مقدّمه

عوامل تکتونیکی از عوامل دینامیکی هستند که بر تمام اجزای سیستم زهکشی اثر می‌گذارند. در میان عوامل‌زمین‌شناسی،تکتونیک مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر مورفولوژی رود است *(Mahmood, 1987: 10)*. حوضه‌های زهکشی به طور اعم و نیمرخ طولی به‌طور اخص، به تغییرات حاصل از فعالیت‌های تکتونیکی عکس‌العمل نشان می‌دهند. الگوی زهکشی و شکل نیمرخ طولی، علاوه بر تأثیرپذیری از ویژگی‌های زمین‌شناسی و لیتولوژیکی، تحت تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی، به‌خصوص متأثر از اثرات تکتونیکی در نیمرخ طولی رودخانه است. نحوهٔ این عکس‌العمل‌ها در تغییر فرایندهای فرسایشی و رسوب‌گذاری و الگوی جریان‌رود منعکس‌می‌شود*(بیاتی‌خطیبی،۱۳۸۸: ۸۰-۷۹)*. شوم و همکاران در رابطه با پاسخ رودهای آبرفتی به فعالیت‌های تکتونیکی بیان می‌کنند که عکس‌العمل رودها به دو صورت کج‌شدگی طولی و عرضی آشکار می‌شود. استفادهٔ هم‌زمان از شاخص‌های ژئومورفیک به ما این امکان را می‌دهد که تحلیل درستی از وضعیت نئوتکتونیک حوضه داشته باشیم. شاخص‌های مذکور، تحول شبکهٔ زهکشی و تغییرات جبههٔ کوهستان بر اثر فعالیت‌های نئوتکتونیکی را نمایان می‌سازند *(Hamdouni et al;2008:153)*.

با مطالعه و بررسی اشکال سطحی و الگوی شبکه‌های زهکشی و با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و همچنین با در نظر گرفتن ساختمان زمین‌شناسی و لیتولوژی هر حوضه، می‌توان عملکرد تکتونیک فعال را مورد ارزیابی قرار داده و وجود یا نبود حرکات تکتونیکی فعال را مشخص کرد *(مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۱۲)*.

شاخص‌های ژئومورفیک در نقاط مختلف دنیا و ایران برای بررسی تکتونیک فعال مورد استفاد قرار گرفته‌اند که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: پابلیر[1] و دیگران (۱۹۹۴) به تجزیه و تحلیل تکتونیک و شبکهٔ زهکشی در میندانائو[2] (جنوب فیلیپین) پرداخته‌اند. این منطقه، محل تصادم پوستهٔ اقیانوسی با پوستهٔ قاره‌ای در اواخر پلیوستوسن است؛ به‌همین دلیل دارای ویژگی‌های تکتونیکی و گسل‌های اصلی است. نتایج نشان‌دهندهٔ وجود حوضهٔ آبخیز با ویژگی‌های زمین‌شناسی ثابت و آنومالی‌های زهکشی است که بیشتر ناشی از امتداد لغز و محور چین‌خوردگی لایه‌ها می‌باشد.

استپانسیکوا[3] و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی توسعهٔ نئوتکتونیک شبکه‌های زهکشی در کوه‌های شرق سودتن[4] (جمهوری چک) پرداخته‌اند. این منطقه یکی از برجسته‌ترین مورفولوژی ساختار نئوتکتونیک در اروپای مرکزی است. نتایج نشان می‌دهد که در مناطق با فعالیت‌های تکتونیکی کم، مطالعهٔ دقیق ویژگی‌های فردی شبکهٔ زهکشی، به‌خصوص روابط خاص فضایی و نظارت بر حرکات جزئی گسل‌ها، می‌تواند نوع و حرکت تکتونیک در حال انجام را نشان دهد.

گارنیری و پیروتا[5] (۲۰۰۸) واکنش شبکهٔ زهکشی به تکتونیک، در اواخر کواترنر در تنگهٔ مسینا[6] (شمال شرق سیسیل) را توسط شاخص‌های زمین‌ریختی بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که این بخش از تنگه مسینا، به‌وسیلهٔ یک گسل عادی با جهت ENE-WSW و گسل راست‌گرد مایل با جهت NNW-SSE، کنترل شده است که مسئول تغییر شکل‌های اخیر و درنهایت اصلاح و کنترل شبکهٔ هیدروگرافی می‌باشند.

وجتکو[7] و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر نئوتکتونیک بر الگوی زهکشی حوضهٔ لیبورک[8] در

1-Pubellier

2-Mindanao
3-Štěpančíková
4-Sudeten
5-Guarnieri & Pirrotta
6-Messina
7-Vojtko
8-Laborec

شمال شرق اسلوواکی پرداخته‌اند. نتایج، نشان‌دهندهٔ بالاآمدگی و فرونشینی تفریقی[1] است که موجب سازماندهی مجدد شبکه رودخانه به‌وسیلهٔ فعالیت‌های تکتونیکی در امتداد شمال‌شرق- جنوب غرب است که این امر با پتانسیل بالای فرسایش، اسارت و پدیدهٔ دوباره جوان شدن[2] همراه است.

تودشکی و آریان[3] (۲۰۱۱) به تجزیه و تحلیل مورفوتکتونیک در حوضهٔ رودخانهٔ قزل‌اوزن (شمال غرب ایران) با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی در بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۷ پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که میزان فعالیت‌های تکتونیکی از غرب به شرق افزایش می‌یابد و مقدار کج‌شدگی تکتونیکی ناچیز بوده که در تطابق با روند لرزه‌خیزی منطقه است.

رامشت[4] و دیگران (۲۰۱۱) به ارزیابی ویژگی‌های مورفوتکتونیک در حوضهٔ آبریز تیگرانی[5] در ماهان با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی پرداخته و دریافتند غرب زیرحوضهٔ فعالیت تکتونیکی متوسطی داشته (IAT=۲)،ولی شرق آن دارای فعالیت تکتونیکی بالایی است (IAT=۱/۵).

پیراسته[6] و همکاران (۲۰۱۱) به تجزیه و تحلیل فرایندهای تکتونیکی در کوه‌های زاگرس با توجه به شبکهٔ زهکشی و نقشه‌های توپوگرافی پرداخته‌اند. نتیجه اینکه تغییر در الگوی زهکشی، طول و شیب جریان و تعداد بخش‌های زهکشی منظم در بازهٔ زمانی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۱ میلادی، حاکی از فعالیت‌های اخیر نئوتکتونیک در رشته‌کوه زاگرس و همچنین تأکید بر وجود یک منطقه تازه فعال شده دارد.

گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶) شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضهٔ آبخیز درکه را با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیک بررسی کرده و دریافتند که این حوضه جزء مناطق فعال تکتونیکی است و با توجه به شاخص گرادیان طولی رود، حوضهٔ مذکور را طبقه‌بندی کرده‌اند.

بیاتی‌خطیبی (۱۳۸۸) به تحلیل اثرات فعال نئوتکتونیکی در نیمرخ طولی رودخانه‌های حوضهٔ قرنقوچای (دامنه‌های شرقی سهند) با استفاده از شاخص گرادیان طولی رودخانه پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که در بعضی از بخش‌های حوضه، علی‌رغم یکسان بودن نوع لیتولوژی، مقادیر شاخص فوق بسیار بالا است که این امر حاکی از تحت تأثیر قرارگرفتن نیمرخ طولی رودخانه‌ها از فعالیت‌های تکتونیکی و تغییر در فرایندهای رسوب‌گذاری و فرسایشی است.

مقصودی و عمادالدین (۱۳۹۰) تحلیل شواهد مورفوتکتونیکی گسل درونه در محدودهٔ حوضهٔ آبریز شش‌طراز و مخروط‌افکنه پایین دست آن را با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیکی بررسی کرده‌اند. نتیجه اینکه حوضهٔ مورد مطالعه از نظر تکتونیکی فعال و مورفولوژی مخروط‌افکنه و سطوح تقطیع شدهٔ آن، دال بر صحت این ادعاست.

مقصودی و همکاران (۱۳۹۰) به‌بررسی تکتونیک فعال حوضهٔ آبریز کفرآور[7] با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی پرداختند. نتایج نشان‌دهندهٔ فعال بودن نئوتکتونیک در حوضه به صورت بالاآمدگی و فعالیت گسل‌ها می‌باشد.

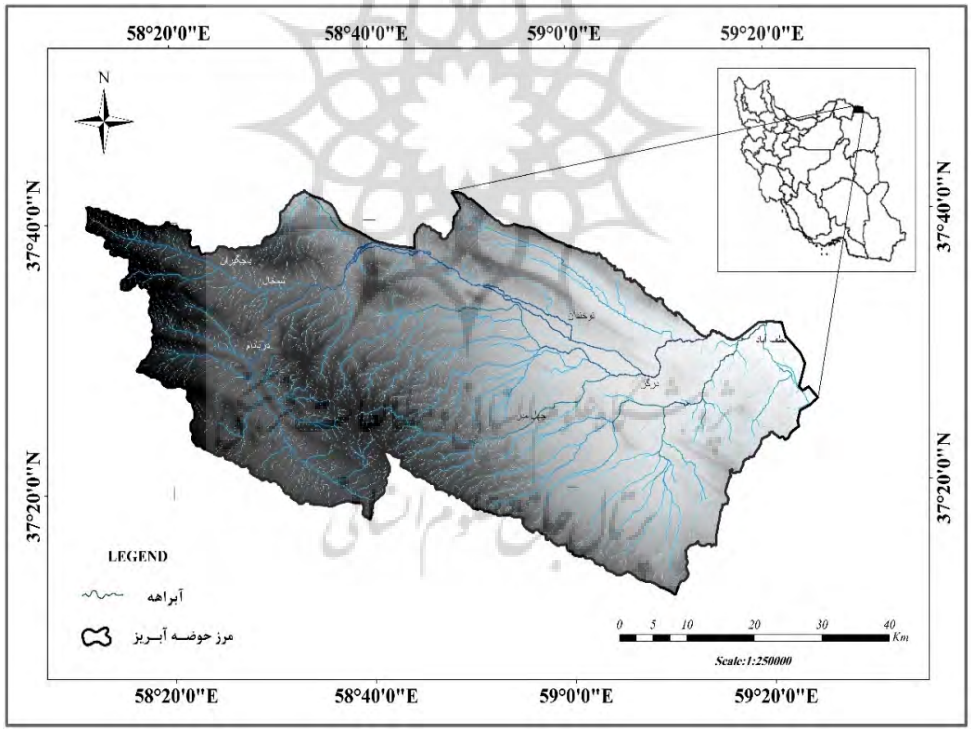
حبیب‌اللهیان و رامشت (۱۳۹۱) کاربرد شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنبا در برآورد وضعیت تکتونیکی بخش علیای زاینده‌رود با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک کمّی را مورد بررسی قرار داده و دریافتند که منطقه از لحاظ نئوتکتونیک در وضعیت نیمه فعال متمایل به غیر فعال قرار دارد. این مقاله به تجزیه و

1-Differential Subsidence
2-Rejuvenation
3-Toudeshki & Arian
4-Ramesht
5-Tigrani
6- Pirasteh
7-Kefravar

تحلیل تکتونیک- ژئومورفولوژی در حوضهٔ رودخانه درونگر می‌پردازد. هدف از انتخاب این حوضه برای تحقیق، حضور خطوط گسلی فراوان در منطقه و تأثیرات بارز آن در هدایت شبکهٔ آبراهه‌ها و فرم حوضهٔ مذکور و هدف از به‌کارگیری شاخص‌های مورفوتکتونیک به دلیل سهولت در تشخیص مناطق فعال تکتونیکی با وسعت زیاد نظیر حوضهٔ مذکور است و به دلیل عواملی مانند وسعت زیاد حوضه (۳۲۶۴ کیلومترمربع) و به‌کارگیری ۷شاخص مهم‌مورفومتریک به‌طور همزمان در حوضهٔ مذکور، وجه تفاوت این پژوهش با تحقیقات قبلی در این زمینه است.

موقعیّت‌جغرافیایی و مشخصات‌منطقهٔ موردمطالعه

حوضهٔ آبریز درونگر[1] در رشته‌کوه‌های کپه‌داغ[2] شمال شرق کشور و در شمال استان خراسان رضوی واقع گردیده است. محدودهٔ مورد مطالعه، بخشی از حوضهٔ آبریز قره‌قوم در شمال شهرستان قوچان بوده که با وسعت ۳۲۶۴ کیلومترمربع، بین مختصات جغرافیایی ً ۵۵ ´۱۱ ° ۳۷ تا ً۱۸ ´۴۲ ° ۳۷ عرض شمالی و ً۳۰ ´۱۱ ° ۵۸ تا ً۲۷ ´۲۴ ° ۵۹ طول شرقی واقع شده که در بخش شمالی با کشور ترکمنستان هم‌مرز است (شکل ۱).

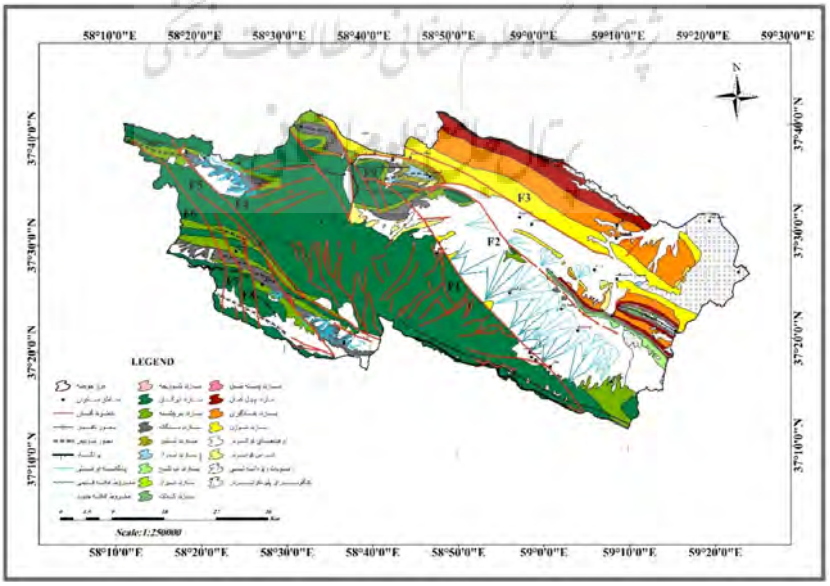


شکل ۱: موقعیت حوضهٔ آبریز رودخانهٔ درونگر

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

1-Dorungar
2-Koppet dagh Mountains

زهکش اصلی حوضه تحت عنوان رودخانهٔ درونگر، شاخه‌های اصلی خود به نام شمخال و شاه‌رگ را از ارتفاعات‌غرب(۲۹۰۳متر) و جنوب‌غرب حوضه (۲۴۴۴ متر) دریافت می‌کند و با جهتی غربی- شرقی، پهنهٔ شمالی دشت درگز را طی کرده و در ۲/۵ کیلومتری شمال‌شرق شهر درگز به سمت شمال منحرف و تا خط مرزی ایران و ترکمنستان امتداد می‌یابد. این رودخانه مسافت کوتاهی از مرز سیاسی دو کشور (حدود پنج کیلومتر) را تشکیل داده و سپس وارد خاک ترکمنستان و در نهایت بیابان قره قوم می‌شود. همچنین شاخه‌های فرعی دیگری به نام‌های رودخانهٔ یاقول (در شمال حوضه با جهت شرقی- غربی) و کال شور صداقت (در شرق حوضه با جهت‌شمالی-جنوبی)، در انتهای آبراههٔ اصلی به آن می‌پیوندند. حوضه‌های آبریز بیابان‌های قره قوم در شمال، رودخانهٔ زنگلانلو در جنوب، جنوب شرق و شرق و رودخانهٔ اترک در غرب و جنوب غرب، حوضهٔ آبریز رودخانهٔ درونگر را محدود می‌کنند*(حسین‌زاده، ۱۳۷۲: ۱۱۷-۱۱۶)*. منطقهٔ مورد مطالعه بر اساس ویژگی‌های فیزیکی، به ۴۳ زیرحوضه تفکیک شده است. ارتفاع بلندترین قلل منطقه در شمال غرب آن حدود ۲۸۷۲ متر و پست‌ترین نقطهٔ آن در شمال‌شرق حوضه، ۲۳۳ متر ارتفاع دارد. ارتفاع متوسط حوضه، حدود ۱۵۰۰ متر است. شیب متوسط حوضه ۴/۶۲ درصد است. شیب‌های ملایم (۰ تا ۱۰ درصد) محدوده‌های مرکز و شرق حوضه را می‌پوشاند که به دلیل کاهش شیب، سرعت رواناب کمتر و شبکه‌های سرگردان فزونی می‌یابد. در جنوب و غرب حوضه که منطبق بر مرتفع‌ترین کوهستان‌های حوضه است، شیب به‌شدت افزایش می‌یابد. از نظر زمین‌شناسی، سازندهای آهکی دورهٔ کرتاسه در نواحی غرب و جنوب و سازندهای سست دوران سوم در بخش‌های شرقی و شمالی و رسوبات دوران‌چهارم در محدودهٔ دشت درگز رخنمون یافته‌اند. واحدهای ژئومورفولوژی این حوضه شامل واحد کوهستان (۵۹ درصد)، تپه ماهور (۵ درصد)، دشت‌سر (۱۷/۵درصد) و دشت تراکمی (۱۸/۵ درصد) است. گسل‌های حوضهٔ درونگر به چهار گروه عمده راستالغز راستگرد، راستالغز چپگرد، عادی و معکوس تقسیم می‌شوند که نوع اول فراوانی بیشتری دارد (جدول ۱) (شکل ۲).



شکل ۲ : نقشهٔ زمین‌شناسی حوضهٔ آبریز درونگر

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۲

جدول ۱: مشخصات گسل‌های مهم حوضهٔ آبریز مورد مطالعه

نام	طول (Km)	جهت	نوع- جابه‌جایی	تأثیرات مورفولوژیکی
F1	57	شمال غرب- جنوب شرق	عادی – قائم با اختلاف سطح بسیار زیاد	پرتگاه خط گسل با شیب بسیار زیاد و به وجود آمدن سیستم فرسایش فعال رودخانه‌ای و در نهایت بریده شدن سطح پرتگاه، ایجاد درّه‌های تنگ و عمیق و دامنه‌های پرشیب، تغییر فرم شبکهٔ زهکشی از الگوی درختی به موازی، جداکنندهٔ کوه و دشت، پیدایش چشمه‌های کارستی
F2	38	شمال غرب - جنوب شرق	احتمالی	عدم تأثیر زیاد در توپوگرافی محدوده
F3	41	شمال غرب- جنوب شرق	عادی- قائم با اختلاف سطح زیاد	ایجاد پرتگاه گسلی و جداکنندهٔ دشت آبرفتی درگز و پهلوی جنوبی تاقدیس زرّینه کوه و ایجاد دیواره‌های مسلط به آبراهه‌ها در شمال گسل مذکور
F4	36	شمال غرب- جنوب شرق	امتدادلغز، راستگرد	پرتگاه خط گسل در سازند تیرگان مسلط بر سطوح پادگانه آبرفتی رودخانهٔ شمخال
F5	42	شمال غرب- جنوب شرق	امتدادلغز، راستگرد	وجود تیغه‌ها در ارتفاعات باجگیران و ایجاد پرتگاه در جنوب غرب گردنهٔ باجگیران و امتداد آن به‌سمت جنوب غرب حوضه
F6	36	شمالی- جنوبی	امتدادلغز، راستگرد	پرتگاه و جریان‌های سولی‌فلوکسیونی
F7	20	شمالی- جنوبی	امتدادلغز، راستگرد	پرتگاه و جریان‌های سولی‌فلوکسیونی
F8	17	شمالی- جنوبی	امتدادلغز، راستگرد	پرتگاه و جریان‌های سولی‌فلوکسیونی
F9	18	غربی- شرقی	عادی – قائم با اختلاف سطح زیاد	انطباق مسیر شاخهٔ اصلی رودخانهٔ درونگر و ایجاد درّهٔ گسلی همراه با دیوارهٔ عظیم و پرشیب مسلط بر رودخانه و همچنین وقوع ریزش‌های محلی در محدوده به علت فرسایش پای پرتگاه

مأخذ: اعظم باقی، ۱۳۹۲: ۷۸

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد نیاز برای بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه و نیز بررسی نیمرخ طولی رودخانه‌ها و فواصل طولی و ارتفاعی آن، از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ 7664 به شمارهٔ I، 7665 به شماره‌های II و III، 7764 به شماره‌های I و IV، ۷۷۶۵ به شماره‌های II و III، 7864 به شماره‌های I، III و IV و 7865 به شماره‌های II و III، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ درگز، لطف‌آباد، نوخندان، قوچان، فاروج و باجگیران، تصاویر ماهواره‌ای لندست، مدل رقومی ارتفاع (DEM[1]) نوع ASTER ۵۰ متری به‌دست آمده است. به‌منظور تحلیل شاخص‌های رودخانه‌ها، آبراهه‌های بزرگ و اصلی که تا خط تقسیم اصلی زیرحوضه‌ها امتداد داشته، در نظر گرفته شده‌اند. در این پژوهش از مقادیر کمّی به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک[2] (Hi، Bs، Af، Smf، S، Vf و SL) و بررسی‌های میدانی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی متأثر از تکتونیک جدید استفاده شده است.

شاخص‌های مذکور در دو دسته کمیّت‌های توپوگرافی، شامل انتگرال هیپسومتریک ($Hi = \frac{H_{mean}-H_{min}}{H_{max}-H_{min}}$)، شاخص سینوسی پیشانی کوهستان ($Smf = Lmf / Ls$)، شاخص نسبت شکل حوضه($BS = BL/ BW$) برای جبههٔ کوهستان‌ها و شاخص‌های زهکشی، مانند شاخص سینوسیته رودخانهٔ اصلی ($S = C/V$)، نامتقارن بودن حوضهٔ آبریز ($AF = 100 (Ar/At)$)، شاخص پهنای کف‌درّه‌به‌عمق آن($V_f =2 V_{fw}/[(E_{ld}-E_{sc})+(E_{rd}-E_{sc})]$) و شاخص‌گرادیان رودخانه($SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} \times L$)، برای بررسی سیستم رودخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و ساده کردن تحلیل شاخص‌ها، پنج شاخص S، Af، Bs، Hi و SL به دلیل استخراج مقادیر برای هر ۴۳ زیرحوضه، به‌صورت جدول ارائه شده و دو شاخص Vf و Smf را به دلیل تفاوت در موقعیت نقاط انتخابی، به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار داده‌ایم. پس از انتقال لایه‌های اطلاعاتی حاصل از رقومی‌سازی نقشه‌های توپوگرافی منطقه به سیستم اطلاعات جغرافیایی، ویژگی‌های مورفومتری لندفرم‌های توپوگرافی، جبههٔ کوهستان و

1-Digital Elevation Model
2-Index Of Geomorphology

شبکهٔ زهکشی منطقه به‌طور دقیق محاسبه و نقشه‌ها و نیمرخ‌های لازم ترسیم شد. هر یک از شاخص‌های فوق، یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت‌های نئوتکتونیکی را ارائه می‌دهند. برای اطمینان از صحت اعداد کمّی به‌دست آمده از این شاخص‌ها، نتایج آنها توسط شاخص طبقه‌بندی IAT و شواهد ژئومورفولوژیکی حاصل از تکتونیک فعال مورد بازیابی قرار گرفته، میزان فعالیت تکتونیکی نسبی منطقه تعیین و در انتها نتایج حاصل از داده‌های‌ژئومورفیک با شواهد ژئومورفولوژیکی منطقه، مقایسه و نقشهٔ پهنه‌بندی تکتونیک فعال منطقه در ۴ رده (بسیارفعال،فعال،نیمه‌فعال و غیرفعال) تفکیک و ارائه شد.

در این پژوهش، از نرم‌افزارهای ArcGIS9.3، Envi4.7، Global Mapper8 و Excel به منظور مشاهده و تفسیر بصری پدیده‌های ژئوموفولوژیکی و تهیهٔ تصاویر مورد نظر و ترسیم گرافیکی پدیده‌های تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی منطقه استفاده شده است.

بررسی شاخص‌ها به تفکیک

-شاخص انتگرال هیپسومتریک[1]

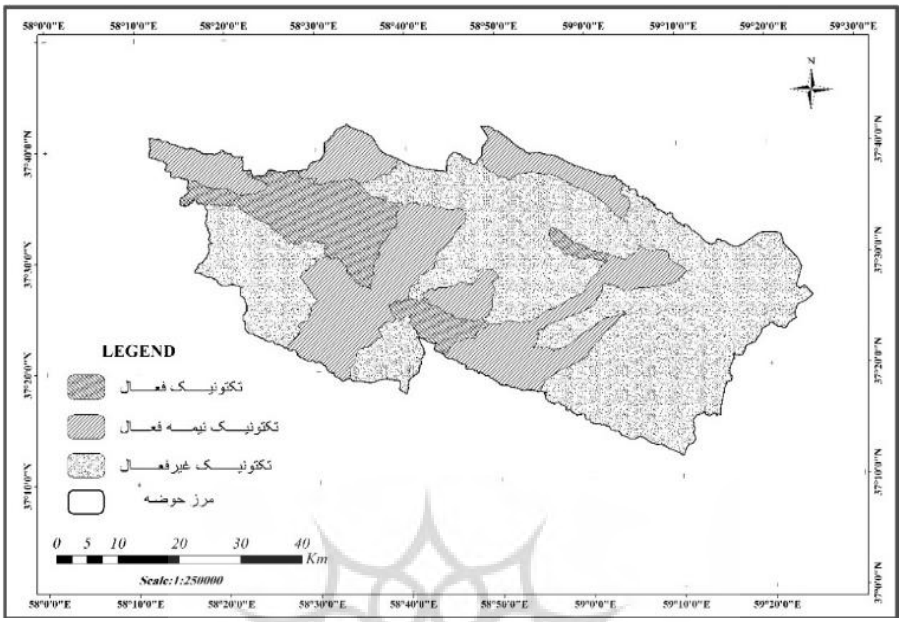
این شاخص، بیانگر توزیع مساحت ارتفاعات متفاوت است. مقادیر عددی بزرگ برای این انتگرال، بیانگر توپوگرافی جوان (پستی و بلندی‌های فراوان به همراه فرایند "حفر قائم" در درّهٔ رودخانه‌ها) و مقادیر عددی متوسط و کم، به‌ترتیب بیانگر توپوگرافی بالغ و پیر می‌باشند*(سلیمانی،۱۳۷۸: ۶۶)* (جدول۲). با استفاده از قابلیت نرم‌افزاری، از مدل رقومی ارتفاع گسترهٔ مورد مطالعه، ارتفاع حداکثر، حداقل و میانگین هر حوضه تعیین و با استفاده از رابطهٔ فوق، برای هر ۴۳ زیرحوضه، انتگرال ارتفاع‌سنجی به دست آمد. در این بررسی، بیشترین مقدار این شاخص به ترتیب مربوط به حوضه‌های شمارهٔ ۱۴، ۲۰ و ۲۹ و کمترین مقدار آن برای حوضه‌های شمارهٔ ۳۶، ۳۷ و ۳۸ است. بر اساس مقادیر محاسبه شده با استفاده از این شاخص، برای ۴۳ زیرحوضه در گسترهٔ مورد مطالعه، ۱۴ درصد حوضه‌ها دارای مناطق مرتفع با تکتونیک فعال‌اند. ۲۶ درصد از حوضه‌ها دارای تکتونیک نیمه فعال‌اند و۶۰ درصد از حوضه‌ها، تکتونیک غیرفعال را از خود نشان می‌دهند (شکل ۳).

جدول۲: طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک [1]

Index Of Geomorphology	Class 1	Class 2	Class 3
Hi	۰/۵ < Hi	Hi = ۰/۵ - ۰/۴	۰/۴ > Hi

مأخذ: Hamdouni, 2008

1 . **Hypsometric Integral Index**



شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی تکتونیکی از نظر شاخص انتگرال هیپسومتری

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

شاخص نسبت شکل حوضه [1]

معمولاً حوضه‌های فعال تکتونیکی شکل کشیده‌ای دارند. شکل حوضه در طول زمان با توقف میزان بالاآمدگی، به‌تدریج دایره‌ای شکل می‌شود (*Hamdouni, 2008: 161*).

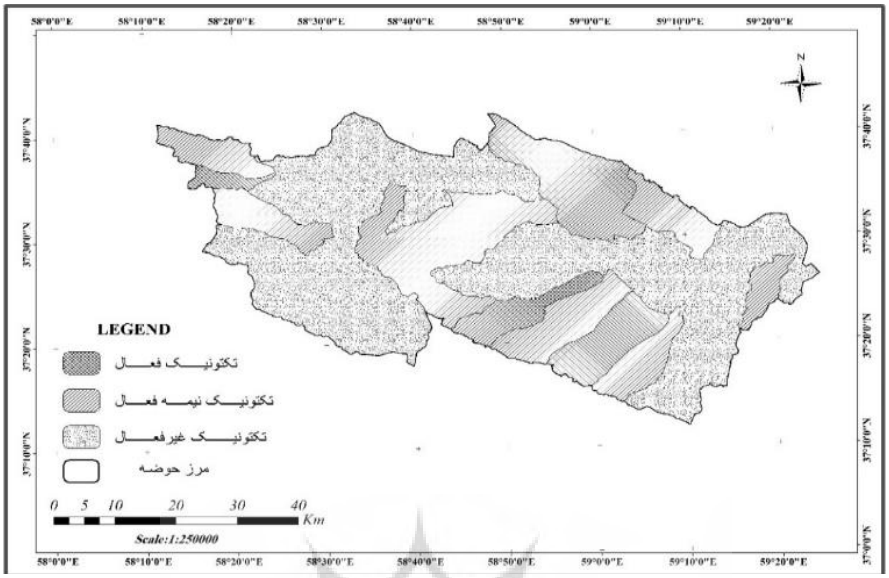
مقادیر بالای این شاخص، بیانگر حوضه‌های کشیده بوده و معمولاً تکتونیک فعال‌تری را در قیاس با حوضه‌های گرد نشان می‌دهد (جدول ۳). بر اساس مقادیر محاسبه شده برای ۴۳ زیرحوضه در گسترهٔ مورد مطالعه، ۱۹ درصد حوضه‌ها دارای تکتونیک فعال‌اند و کشیدگی را نشان می‌دهند. ۲۸ درصد از حوضه‌ها تکتونیک نیمه‌فعال داشته و۵۳ درصد تکتونیک غیرفعال را از خود نشان می‌دهند (شکل ۴). بیشترین مقدار این شاخص به‌ترتیب مربوط به حوضه‌های شمارهٔ ۲۴، ۳۸ و ۲۲ بوده که این بیانگر کشیده بودن آنهاست و کمترین مقدار آن به‌ترتیب برای حوضه‌های شمارهٔ ۳۲، ۴۴ و۳۴ است.

جدول۳: طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک

Index Of Geomorphology	*Class 1*	*Class 2*	*Class 3*
Bs	۴ < *Bs*	*Bs* = ۴ -۳	۳ > *Bs*

مأخذ: Hamdouni, 2008

1-Drainage Basin Shape Ratio Index



شکل ۴: نقشهٔ پهنه‌بندی تکتونیکی از نظر نسبت شکل حوضه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی[1]

طول آبراهه و زهکش‌های فرعی نیز در دو سوی یک آبراههٔ اصلی، می‌توانند برای ارزیابی فرایش فعال در مناطق بالادست جبهه‌های کوهستان مورد استفاده قرار گیرند. در مناطق دارای فرایش فعال، معمولاً به‌دلیل تظاهر اثرات توپوگرافی حاصل از فرایش در یک سوی منطقه و به تبع آن ایجاد فرونشست در سوی دیگر، طول آبراهه‌های فرعی (و در نتیجه مساحت دربرگیرنده این آبراهه‌ها)، در سوی فرایش یافته منطقه، بیش از همین طول در سمت مقابل خواهد بود *(سلیمانی، ۱۳۷۸: ۶۲)*. برای یک رودخانه با جریان پایدار AF باید حدود ۵۰ باشد و هر قدر مقدار به‌دست آمده از عدد ۵۰ فاصله بگیرد، بیانگر کج‌شدگی بیشتر حوضه است. اعداد منفی، کج شدگی به‌سمت چپ را نشان می‌دهند (جدول ۴).
(Hamdouni;2008:156-157).

پس از تفکیک کردن منطقه به زیرحوضه‌ها، مسیر رودخانهٔ اصلی را در هر زیرحوضه با توجه به رده‌بندی آبراهه‌ها مشخص کردیم (شکل ۵). در ادامه مساحت سمت راست حوضه (دید به سمت پایین دست) و مساحت کل حوضه را برای ۴۳ زیرحوضهٔ تفکیک شده در گسترهٔ مورد مطالعه، اندازه‌گیری و محاسبات با رابطهٔ فوق انجام شد. براساس مقادیر محاسبه شده برای ۴۳ زیرحوضه در گسترهٔ مورد مطالعه، ۶۳ درصد حوضه‌ها دارای تکتونیک فعال‌اند و کج‌شدگی را نشان می‌دهند (کج‌شدگی در این ناحیه عمدتاً به سمت چپ حوضه است)، ۱۴ درصد از حوضه‌ها تکتونیک نیمه فعال‌اند و ۲۳ درصد تکتونیک غیرفعال را از خود نشان می‌دهند. در این بررسی بیشترین مقادیر این شاخص به ترتیب مربوط به حوضه‌های شمارهٔ ۴۴، ۳۲ و ۲۴ است و کمترین مقدار آن به ترتیب برای حوضه‌های شمارهٔ ۱۹، ۲۵، ۳۴ و ۶ است (جدول ۵).

1- Drainage Basin Asymmetry Factor

جدول۴: طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک

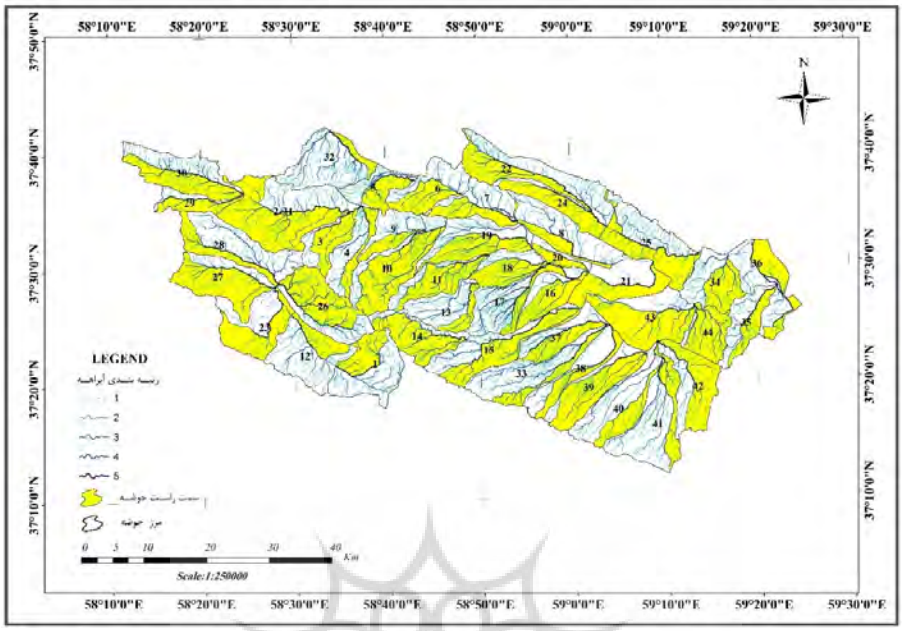
Index Of Geomorphology	Class 1	Class 2	Class 3
Af	$\|Af - 50\| > 15$	$\|Af - 50\| = 7\text{-}15$	$\|Af - 50\| < 7$

مأخذ: Hamdouni, 2008

جدول ۵: نتایج حاصل از شاخص عدم تقارن حوضهٔ زهکشی (واحد اندازه‌گیری کیلومتر مربع)

Class	$\|AF - 50\|$	$AF - 50$	*AF*	مساحت حوضه (سمت راست)	مساحت کل حوضه	حوضه
1	16.362	-16.362	33.638	30.486	90.629	1
1	16.366	16.366	66.366	105.968	159.672	31-2
1	20.489	20.489	70.489	32.392	45.953	3
1	17.14	-17.14	32.860	17.334	52.750	4
3	2.441	2.441	52.441	23.174	44.190	5
3	1.986	-1.986	48.014	31.808	66.246	6
3	6.347	-6.347	43.653	26.645	61.038	7
1	28.183	-28.183	21. 817	18.767	86.020	8
1	16.406	-16.406	33.594	14.771	43.969	9
1	26.205	26.205	76.205	78.082	102.463	10
1	24.645	24.645	74.645	43.036	57.654	11
1	25. 841	-25. 841	24.159	22.731	94.088	12
1	26.294	-26.294	23.706	14.177	59.802	13
1	30.339	30.339	80.339	54.460	67.787	14
2	9.151	9.151	59.151	58.934	99.633	15
1	21.448	21.448	71.448	32.982	46.162	16
1	27.5	-27.5	22.500	17.137	76.162	17
1	17.936	17.936	67.936	33.282	48.990	18
3	1.248	1.248	51.248	44.889	87.591	19
2	9.007	9.007	59.007	11.818	20.028	20
3	4.213	4.213	54.213	41.193	75.983	21
2	7.969	-7.969	42.031	45.376	107.956	22
3	6.854	6.854	56. 854	48.440	85.200	23
1	34.970	34.970	84.970	42.283	49.762	24
3	1.784	1.784	51.784	54.052	104.379	25
1	19.045	19.045	69.045	68.204	98.781	26
1	28.475	28.475	78.475	70.086	89.309	27
1	22.766	-22.766	27.234	27.760	101.931	28
1	17.125	17.125	67.125	21.015	31.307	29
3	3.493	3.493	53.493	47.384	88.579	30
1	39.226	-39.226	10.774	9.806	91.010	32
1	25.712	-25.712	24.288	22.563	92.894	33
3	1.838	1.838	51. 838	34.748	67.031	34
2	8.97	-8.97	41.030	21.959	53.519	35
2	7.557	-7.557	42.443	35.491	83.619	36
3	2.742	2.742	52.742	27.635	52.396	37
2	12.335	-12.335	37.665	23.274	61.791	38
1	30.133	30.133	80.133	64.750	80.803	39
1	19.476	-19.476	30.524	28.339	92.841	40
1	23.959	-23.959	26.041	28.279	108.59	41
1	16.408	16.408	66.408	53.635	80.765	42
1	23.015	23.015	73.015	76.701	105.048	43
1	42.861	42. 861	92. 861	45.787	49.307	44

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل۵ : نقشه رده‌بندی آبراهه‌ها همراه با مشخص‌کردن سمت راست زیرحوضه‌ها در حوضه آبریز درونگر

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۲

شاخص سینوسیته جبهه کوهستان

این شاخص توازن میان قدرت رودها و فرایندهای فرسایشی را که باعث تضادیس جبههٔ کوهستان و حرکات تکتونیکی قائم و جوان که گرایش به ایجاد جبهه‌ای خطی و مستقیم در جبههٔ کوهستان می‌شود، نشان می‌دهد. بدین منظور خط توپوگرافی، که مبیّن حد کوهستان و دشت می‌باشد، به عنوان خط پیشانی کوه در نظر گرفته شد و منطقهٔ مورد مطالعه بر اساس اصول ولز، به ۴ قطعه (A ,B ,C ,D) تقسیم و هر قطعه به جبهه‌هایی تفکیک شده است (شکل۶). در نهایت با استفاده از رابطهٔ فوق برای هر قطعه، شاخص سینوسیتی جبههٔ کوهستان محاسبه شد (جدول۶ و۷).

جدول۶: طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک

Index Of Geomorphology	*Class 1*	*Class 2*	*Class 3*
Smf	*Smf* < 1/1	*Smf* = ۱/۱ –۱/۵	*Smf* > 1/5

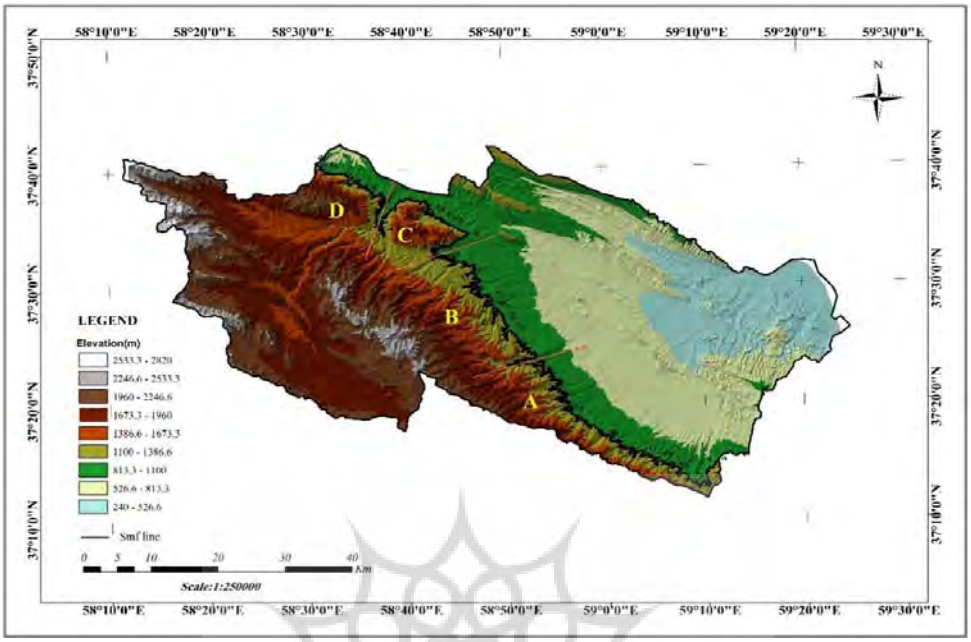
مأخذ: Hamdouni, 2008

جدول ۷ : نتایج خلاصه شدهٔ حاصل از ۳۴ شاخص سینوسیته جبههٔ کوهستان

قطعه	جبهه کوهستان تفکیک شده	حداقل و حداکثر سینوسیته	میانگین شاخص سینوسیته جبهه کوهستان هر قطعه
A	202	1.011 - 9.823	2.245
B	135	1.003 - 7.232	2.141
C	63	1.008 - 9.807	2.207
D	56	1.018 - 10.314	2.185

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

1-Mountain Front Sinuosity Index



شکل۶ : نقشهٔ شبکهٔ نامنظم مثلثاتی حوضهٔ آبریز درونگر همراه با جبههٔ کوهستان و قطعات تفکیک‌شده بر روی آن

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۲

شاخص سینوسیتهٔ رودخانه[1]

تغییر شیب بستر رودخانه به علت فعالیت‌های تکتونیکی، رابطهٔ مستقیمی با پیچ و خم در مسیر رودخانه دارد؛ بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که با افزایش مقدار کج‌شدگی برای رسیدن به یک مقدار ثابت شیب، سینوسیتی رود کاهش و با کاهش کج‌شدگی این مقدار افزایش می‌یابد (جدول ۸). برای محاسبهٔ این شاخص، پس از شناسایی آبراهه‌های اصلی هر زیرحوضه (شکل ۷)، مقادیر مذکور استخراج و نتیجه‌گیری به عمل آمد. بر اساس شاخص محاسبه شده برای ۴۳ زیرحوضه در گسترهٔ مورد مطالعه، ۱۰ درصد از حوضه‌ها دارای تکتونیک فعال‌اند؛ ۸۱ درصد از حوضه‌ها تکتونیک نیمه‌فعال را از خود نشان می‌دهند و ۹درصد حوضه‌ها از نظر تکتونیکی غیرفعال هستند (جدول ۹). بیشترین مقدار این شاخص به‌ترتیب مربوط به رودخانه‌های حوضهٔ شمارهٔ ۱۴، ۳ و ۲۳ می‌باشد و کمترین مقدار آن به ترتیب برای رودخانه‌های حوضه‌های شمارهٔ ۲۰،۳۰ و ۴۴ و ۲۷ است که بیانگر فعال‌بودن منطقه ازلحاظ تکتونیکی است.

جدول ۸ : طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک

Index Of Geomorphology	Class 1	Class 2	Class 3
S	S < 1/1	۱/۱ –۱/۵= S	S > 1/5

مأخذ: Hamdouni, 2008

1-River Sinuosity Index

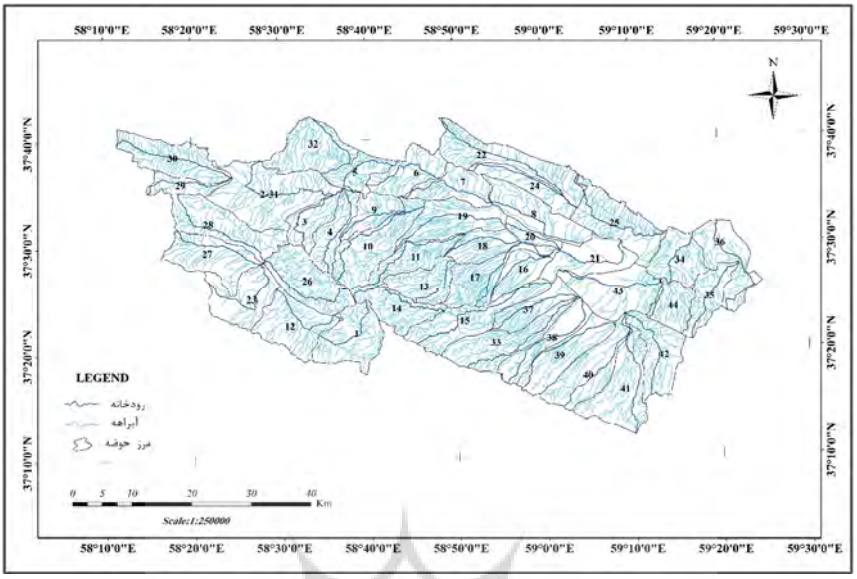
جدول ۹: نتایج حاصل از شاخص سینوسیته رودخانه (واحد اندازگیری متر)

حوضه	طول رودخانه (C)			طول دره (V)			پیچ و خم رودخانه (S)			میانگین(S)	کلاس
	1	2	3		2	3	4	1	2	3	4		
1	8185.100	6981.013	*		5916.517	*	*	1.245	1.179	*	*	1.212	2
2	7002.147	19104.72	*		15633.520	*	*	1.373	1.220	*	*	1.296	2
3	19934.57	*	*		*	*	*	1.601	*	*	*	1.601	3
4	9901.088	8565.233	*	8427.887	6451.534	*	*	1.174	1.327	*	*	1.250	2
5	6936.337	1627.734	7233.168	3933.812	1434.471	3332.111	*	1.168	1.134	2.047	*	1.449	2
6	9639.321	6640.238	*	7303.908	5881.790	*	*	1.319	1.128	*	*	1.223	2
7	17220.47	1701.680	*	13955.058	1480.768	*	*	1.233	1.149	*	*	1.191	2
8	1943.685	7088.927	16448.47	1880.075	6836.882	12526.589	*	1.033	1.036	1.302	*	1.123	2
9	8448.520	5704.343	*	3525.214	4908.871	*	*	1.122	1.162	*	*	1.142	2
10	14575.72	10923.12	*	9960.682	10146.780	*	*	1.463	1.076	*	*	1.269	2
11	21671.18	*	*	17725.759	*	*	*	1.222	*	*	*	1.222	2
12	3244.344	5126.640	3540.450	6644.022	4753.577	1615.320	*	1.240	1.078	2.191	*	1.503	3
13	11132.95	1953.655	1160.356	7437.858	1574.384	856.513	*	1.496	1.266	1.354	*	1.372	2
14	21321.84	1848.459	*	13761.577	1045.997	*	*	1.549	1.767	*	*	1.658	3
15	21828.15	1688.340	6694.941	18225.098	998.729	5677.028	*	1.197	1.690	1.179	*	1.355	2
16	13351.14	*	*	11560.864	*	*	*	1.144	*	*	*	1.144	2
17	2238.359	14859.17	2726.153	3500.212	11983.58	2495.384	3018.309	1.159	1.239	1.092	1.159	1.162	2
18	11318.99	3530.851	*	9896.143	3149.703	*	*	1.143	1.121	*	*	1.132	2
19	23863.46	*	*	19448.002	*	*	*	1.227	*	*	*	1.227	2
20	10736.92	*	*	10211.945	*	*	*	1.051	*	*	*	1.051	1
21	8463.666	7414.061	*	7555.717	4773.106	*	*	1.120	1.553	*	*	1.356	2
22	19252.35	9178.187	3961.147	16428.285	7873.952	3356.159	*	1.171	1.165	1.180	*	1.172	2

ادامه جدول ۹

کلاس	میانگین (S)	پیچ و خم رودخانه (S)				طول دره (F)			طول رودخانه (C)			حوزه
		4	3	2	1	4	3	2		3	2	1	قطعه
3	1.513	*	*	1.125	1.902	*	*	5549.664	7830.612	*	6020.512	14858.56	23
2	1.135	*	*	*	1.135	*	*	*	18553.135	*	*	21061.99	24
2	1.370	*	1.540	1.432	1.339	*	5615.252	2618.141	10275.307	*	7529.377	3750.871	13767.49	25
2	1.222	*	*	1.058	1.576	*	*	3929.878	11434.298	*	*	4201.014	15737.82	26
1	1.098	*	*	1.066	1.131	*	*	7339.678	7950.710	*	*	7830.825	8995.680	27
2	1.192	*	*	1.174	1.210	*	*	8744.501	9806.059	*	*	10274.58	11873.57	28
2	1.148	*	*	1.030	1.216	*	*	4985.661	9513.433	*	*	5388.236	11568.67	29
1	1.083	*	*	*	1.083	*	*	*	20093.666	*	*	*	21780.07	30
2	1.253	*	*	1.401	1.105	*	*	213.154	9538.609	*	*	298.7433	10546.19	32
2	1.137	*	1.125	1.095	1.153	*	4646.573	1433.139	16447.879	*	5230.470	1569.706	19631.60	33
2	1.117	1.083	1.057	1.229	1.102	3252.547	231.517	2550.457	3797.049	3525.171	244.8725	3135.684	4184.856	34
2	1.107	*	*	*	1.107	*	*	*	15365.583	*	*	*	17013.31	35
2	1.199	*	1.283	1.135	1.131	*	6555.617	5764.256	7452.404	*	8157.767	6832.212	8435.771	36
2	1.100	*	1.110	1.107	1.084	*	2480.944	7036.563	6455.287	*	2755.196	7793.604	7001.407	37
2	1.159	*	*	1.159	1.160	*	*	5887.831	14164.751	*	*	6825.646	16434.54	38
2	1.134	*	*	*	1.134	*	*	*	19226.434	*	*	*	21807.10	39
2	1.137	*	*	1.036	1.189	*	*	2586.162	16742.399	*	*	2591.827	19913.88	40
2	1.131	1.152	1.120	1.164	1.093	3472.988	7493.960	2429.443	4618.703	4004.033	8397.385	2828.307	5377.733	41
2	1.247	*	*	*	1.247	*	*	*	14994.296	*	*	*	18710.03	42
2	1.125	*	*	*	1.125	*	*	*	17035.955	*	*	*	19780.57	43
1	1.095	*	*	1.025	1.165	*	*	323.849	9529.715	*	*	331.961	11109.12	44

مأخذ: محاسبات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۷: نقشهٔ آبراهه‌های حوضهٔ آبریز درونگر همراه با آبراههٔ اصلی هر زیرحوضه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

شاخص نسبت پهنا به عمق درّه‌ها[1]

درّه‌های با کف پهن با مقادیر بالای Vf مشخص شده‌اند و حالتی U شکل دارند. مقادیر پایین این اندیس، منعکس‌کنندهٔ دره‌های عمیق با جریان‌هایی هستند که معمولاً قدرت برش آنها بسیار زیاد است و بالاآمدگی در مدت‌زمان کم را نشان می‌دهد. (درّه‌های V شکل). این شاخص برای درّه‌های اصلی که جبههٔ کوهستان را قطع می‌کنند،محاسبه می‌شود. در گسترهٔ مورد مطالعه ۲۱ مقطع از درّه با توجه به اصلی بودن آن و نزدیک بودن به جبههٔ کوهستان انتخاب و پروفیل‌های عرضی در جهت نمایش شکل درّه، ترسیم شد (شکل ۹). همچنین نقشهٔ موقعیت این پروفیل‌ها (شکل ۸) و نتایج حاصل از محاسبهٔ شاخص مربوط آورده شده است (جداول ۱۰ و ۱۱). با توجه به میانگین‌گیری از نقاط برداشت شدهٔ هر درّه، کمترین میزان Vf با عدد ۰/۲۴۲در درّه شیخ‌ها (پروفیل شمارهٔ ۱۹) می‌باشد و بعد از آن درّه دربادام با عدد ۰/۲۶۵ (پروفیل‌های شمارهٔ ۱۴-۱۸)، کمترین میزان را به خود اختصاص داده است که پایین بودن مقدار Vf در درّه‌های نامبرده، بالابودن فعالیت تکتونیکی را منعکس می‌کند و تشکیل درّه‌های V شکل پاسخی به حرکات تکتونیکی جوان است. بیشترین مقدار Vf نیز با عدد ۱/۱۱ (پروفیل‌های شمارهٔ ۷ و ۸)، مربوط به درّه‌ای هست که بین بابانیستان و کلاته رزم واقع شده که تشکیل درّه‌های U شکل، پایین بودن و یا نبود فعالیت‌های نئوتکتونیکی درّه‌های مذکور را نشان می‌دهد.

جدول۱۰: طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک

Index Of Geomorphology	*Class 1*	*Class 2*	*Class 3*
Vf	*Vf* < 0/5	*Vf* = ۱ – ۰/۵	*Vf* > 1

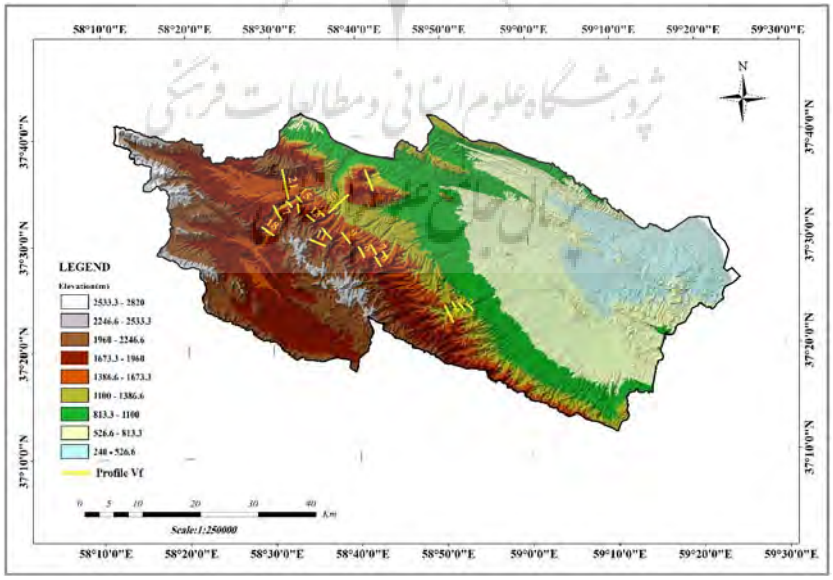
مأخذ: Hamdouni, 2008

1-Ratio Of Valley-Floor With To Valley Height Index

جدول ۱۱: نتایج حاصل از شاخص نسبت پهنا به عمق دره‌ها (واحد اندازگیری متر)

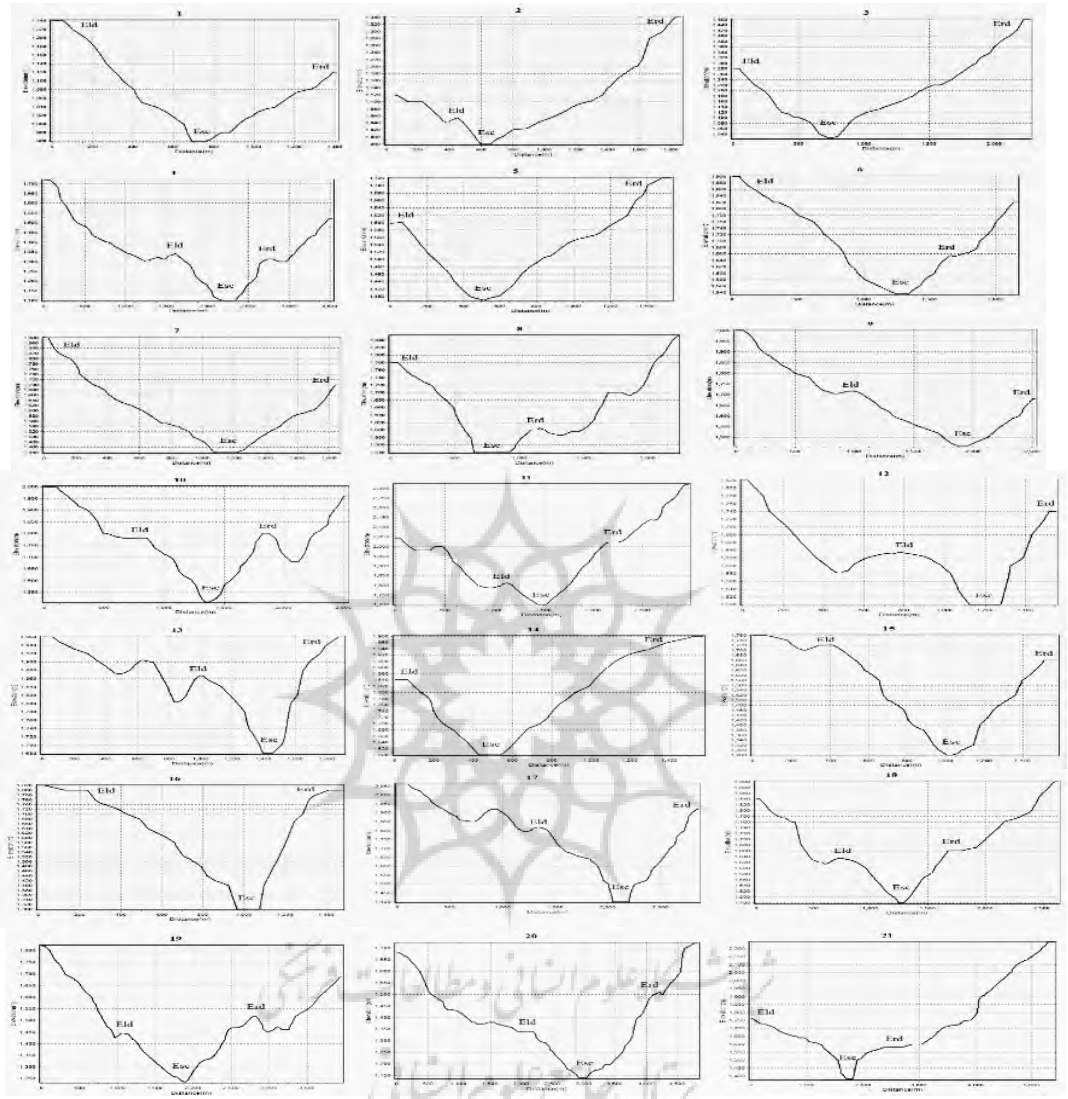
شماره	نام دره	Vfw	Esc	Eld	Erd	Vf	میانگین	کلاس
1	چهل میر	76	960	1240	1120	0.345	0.4545	1
2		70	980	1055	1340	0.321		
3		140	1025	1280	1460	0.405		
4		170	1100	1340	1315	0.747		
5	بابانیستان	75	1390	1600	1720	0.277	0.433	1
6		140	1540	1900	1655	0.589		
7	بین بابانیستان و کلاته‌رزم	147	1440	1880	1700	0.42	1.11	3
8		270	1540	1780	1600	1.8		
9	کلاته رزم	100	1460	1715	1680	0.421	0.421	1
10	بین‌کلاته رزم و علی‌بلاغ	100	1508	1780	1800	0.354	0.386	1
11		90	1700	1810	2020	0.418		
12	علی بلاغ	150	1500	1635	1740	0.8	0.518	2
13		55	1680	1865	1960	0.236		
14	دربادام	115	1600	1840	1980	0.370	0.2658	1
15		60	1280	1720	1660	0.146		
16		115	1300	1800	1800	0.23		
17		150	1400	1820	1920	0.319		
18		45	1480	1640	1660	0.264		
19	شیخ‌ها	60	1235	1445	1520	0.242	0.242	1
20	احمدآباد	130	1140	1340	1510	0.456	0.456	1
21	شمخال	90	1380	1760	1555	0.324	0.324	1

مأخذ: *مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲*



شکل ۸ : نقشهٔ موقعیت پروفیل‌های عرضی دره‌های برداشت‌شده در حوضهٔ آبریز درونگر

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۹ : تصاویر پروفیل‌های عرضی درّه‌های برداشت شده در حوضهٔ آبریز درونگر

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۲

شاخص گرادیان طول رودخانه[1]

مقادیر عددی شاخص SL به‌قدرت رودخانه (بر حسب دبی رود و شیب سطح آب) بستگی دارند. شاخص گرادیان رودخانه درهنگامی‌که جزء قائم تغییر شکل فعال بسیار شدید باشد، از پارامترهای مهم به‌شمار می‌آید. به‌طور کلی بالا بودن مقدار این شاخص، نشان‌دهندهٔ مناطق با فعالیت تکتونیکی بالا و قدرت فرسایشی شدید آبراهه‌ها و مقدار پایین آن، مناطق با فعالیت کم را نشان می‌دهد (جدول ۱۲). برای محاسبهٔ این اندیس،ابتدا نیمرخ طولی آبراهه‌های اصلی هر یک از زیرحوضه‌های تفکیک شدهٔ گسترهٔ مورد مطالعه، از روی نقشهٔ توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ مدل رقومی‌ارتفاعی تهیه شده از منطقه، با کمک نرم‌افزار ArcGIS[2] ترسیم شد و بسته به نیاز در این پژوهش،

1-Stream Length-Gradient Index

2-Geographical Information Systems

براساس و مبنای خط تغییر شیب، نیمرخ طولی آبراهه تعیین شد. در منطقهٔ مورد مطالعه این شاخص برای ۴۳ آبراهه اصلی در ۱۶۵۳ نقطهٔ مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۰) که نتایج به دست آمده، به‌صورت پروفیل برای حوضه‌ها ترسیم گردید (شکل ۱۱). در نهایت از SLهای برداشت‌شده از هر رودخانه میانگین-گیری شد (جدول ۱۳). بر اساس مقادیر محاسبه شده برای ۴۳ زیرحوضه در گسترهٔ مورد مطالعه، ۲۱ درصد حوضه‌ها دارای تکتونیک فعال‌اند. ۶۲درصد از حوضه‌ها تکتونیک نیمه فعال‌اند و ۱۷ درصد تکتونیک غیرفعال را از خود نشان می‌دهند *(Hamdouni, 2008: 168)*

جدول ۱۲: طبقه‌بندی شاخص‌های ژئومورفیک

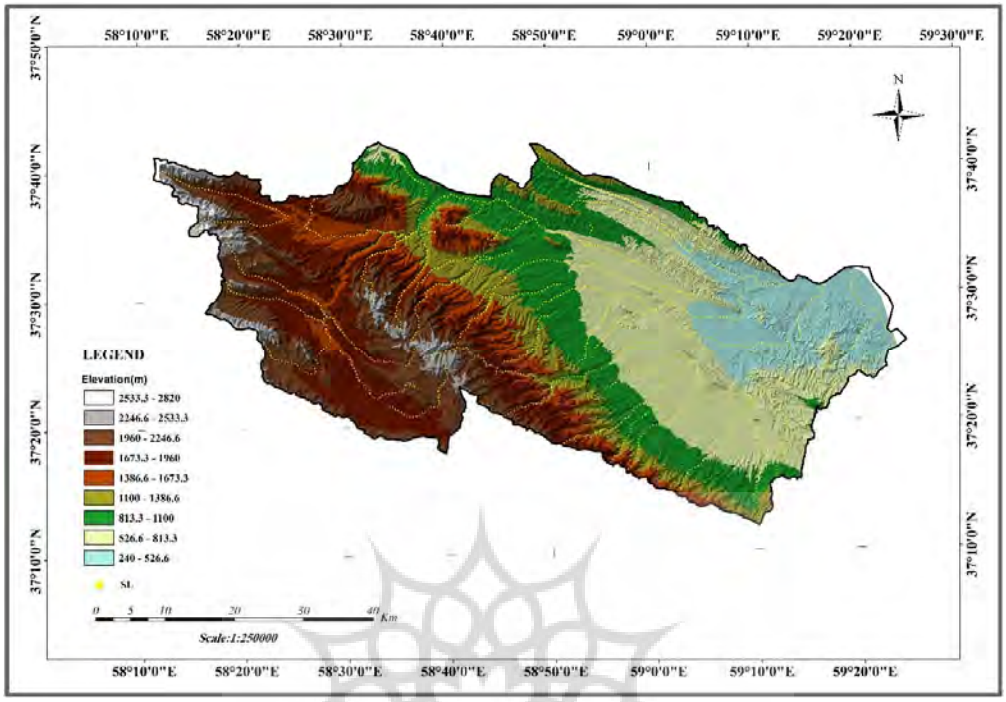
Index Of Geomorphology	Class 1	Class 2	Class 3
SL	High anomalous values	Low anomalous values	No anomalies

مأخذ: Hamdouni, 2008

جدول ۱۳ : میانگین شاخص طول- گرادیان‌رود (SL) در گسترهٔ مورد مطالعه

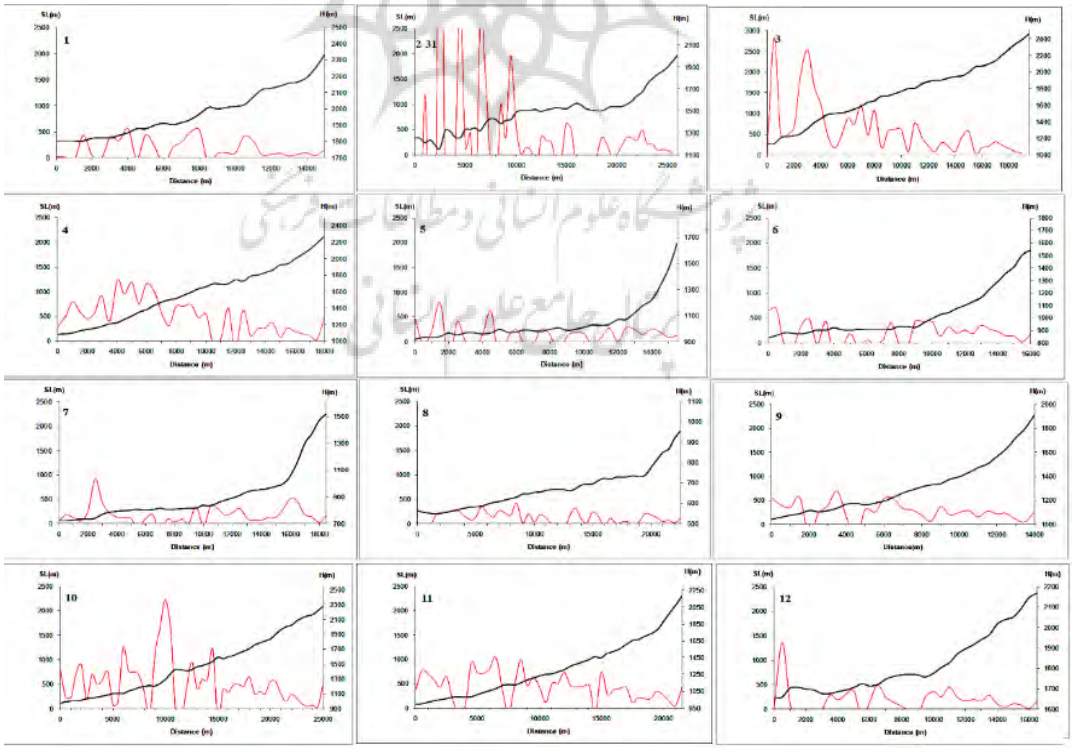
حوضه	میانگین SL	کلاس	حوضه	میانگین SL	کلاس	حوضه	میانگین SL	کلاس
1	169.924	2	16	130.382	3	32	154.216	2
31-2	236.493	1	17	167.625	2	33	440.431	1
3	606.765	1	18	164.900	2	34	55.704	3
4	492.539	1	19	280.006	2	35	202.241	2
5	124.368	2	20	59.130	3	36	76.981	3
6	183.885	2	21	56.789	3	37	196.330	2
7	180.099	2	22	237.085	2	38	289.490	2
8	105.869	3	23	205.715	2	39	290.055	2
9	268.552	2	24	152.589	2	40	257.843	2
10	507.034	1	25	176.712	2	41	236.589	2
11	425.199	1	26	248.645	2	42	136.004	2
12	156.644	2	27	183.650	2	43	90.182	2
13	332.252	2	28	216.557	2	44	111.426	3
14	609.106	1	29	456.915	1	*	*	*
15	528.172	1	30	291.466	2	*	*	*

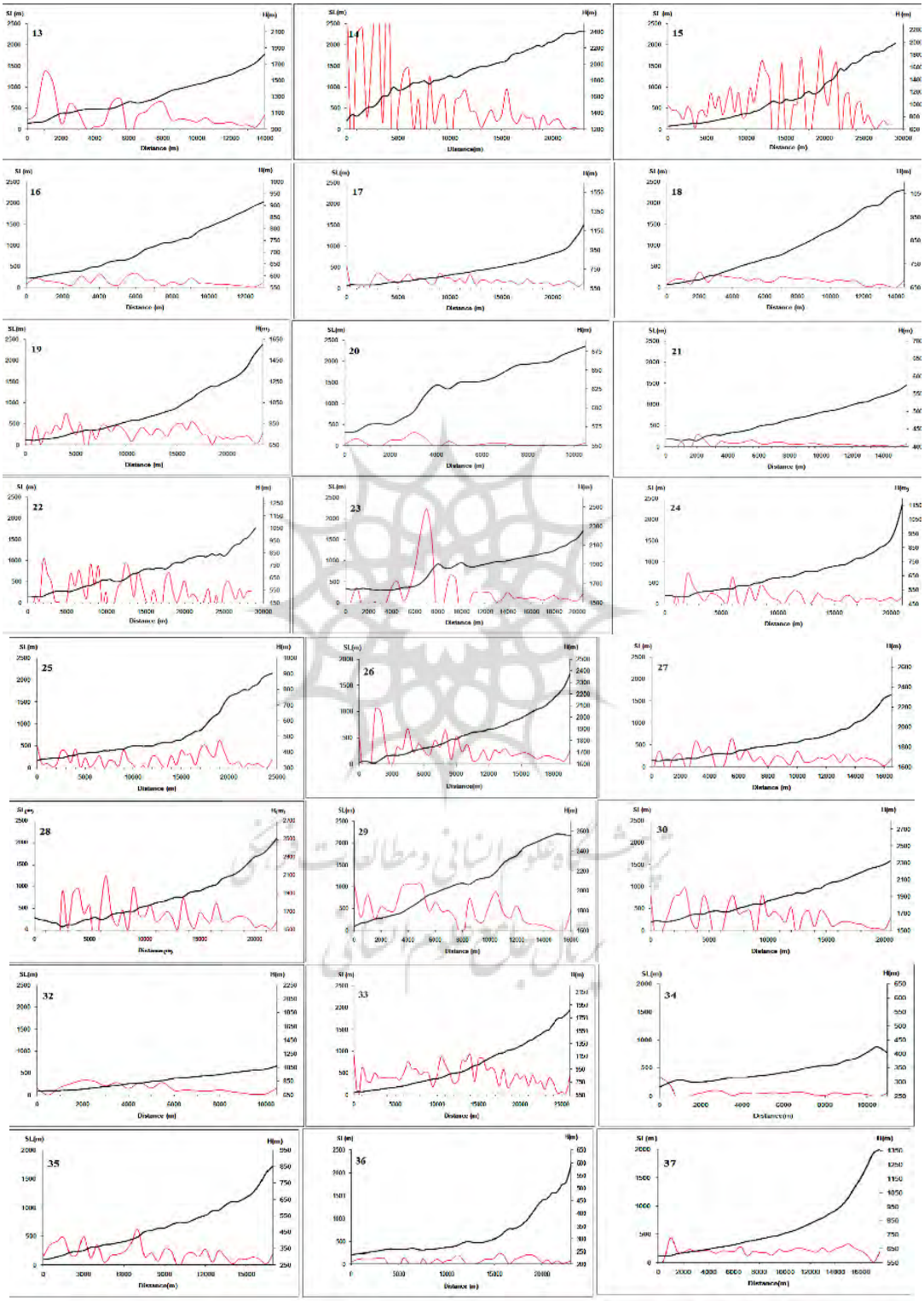
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲

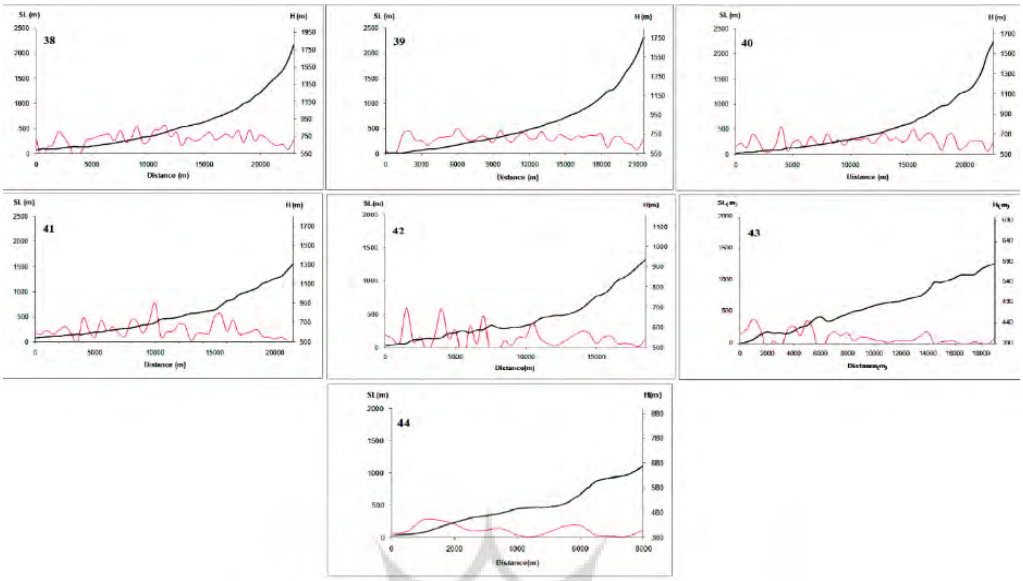


شکل ۱۰: نقشهٔ موقعیت نقاط برداشت شده شاخص SL در حوضهٔ آبریز درونگر

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲




13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
32
33
34
35
36
37



شکل۱۱: پروفیل طولی رودخانه‌های گسترهٔ مورد مطالعه، شیب رودخانه: خط تیره و گرادیان طولی رودخانه: خط روشن

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

محاسبه شاخص تکتونیک فعال نسبی (IAT)

برای اطمینان از صحت اعداد کمّی به‌دست آمده از این شاخص‌ها، نتایج آن‌ها توسط شاخص طبقه‌بندی IAT و شواهد ژئومورفولوژیکی حاصل از تکتونیک فعال،مورد بازیابی قرار گرفتند. برای بررسی همه‌جانبهٔ حوضه‌ها، شاخص‌ها در دو دستهٔ کمیّت‌های توپوگرافی شامل شاخص‌های Hi،Smf،Bs برای جبههٔ کوهستان‌ها و شاخص‌های زهکشی S، Af و SL، Vf برای بررسی سامانهٔ رودخانه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک و طبقه‌بندی میزان آن‌ها، نشان‌دهندهٔ فعال بودن نئوتکتونیک در حوضه، به صورت بالاآمدگی و فعالیت گسل‌ها می‌باشد که در جدول مربوط، وضعیت تکتونیکی از نظر فعال یا غیرفعال بودن به تفکیک برای هر حوضه آمده است. در این جدول نتایج به‌دست آمده از پنج شاخص جمع‌بندی و بر اساس آن، S/n محاسبه شد، سپس تمام مقادیر به‌دست آمده، در چهار کلاس دسته‌بندی شده است. مقدار S/n بین ۰-۱/۵ در کلاس یک، ۱/۵-۲ در کلاس دو، ۲-۲/۵ در کلاس سه و بیشتر از ۲/۵ در کلاس چهار دسته‌بندی شده است (جدول ۱۴).

جدول ۱۴: طبقه‌بندی شاخص IAT

IAT	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴
(s/n)	۰-۱/۵	۱/۵-۲	۲-۲/۵	۲/۵ < (s/n)

مأخذ: سیف، ۱۳۸۹: ۱۳۸

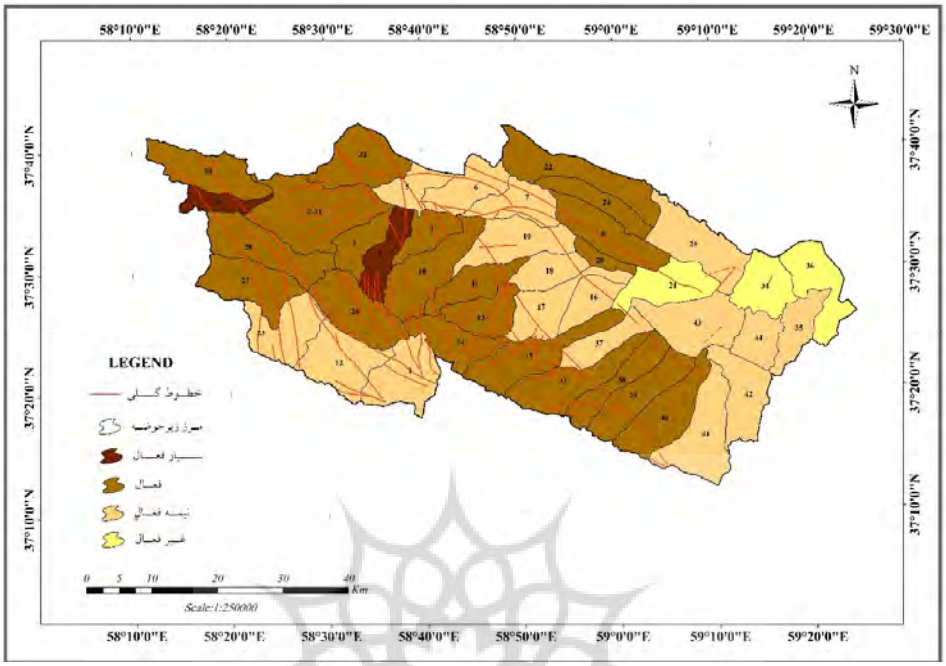
سپس بر این اساس نقشهٔ پهنه‌بندی فعالیت‌های تکتونیکی حوضهٔ درونگر، ترسیم شده است (شکل ۱۲). همانطورکه در نقشه مشاهده می‌شود،کلاس یک با رنگ قهوه‌ای تیره نشانگر فعالیت بسیار شدید است و ۴/۶۵ درصد حوضه را شامل می‌شود. این پهنه شامل زیرحوضه‌های شمارهٔ ۴ و ۲۹ است. کلاس دوم با رنگ قهوه‌ای روشن و با رقم ۴۸/۸۴ درصد، نشانگر پهنه‌های با فعالیت تکتونیکی زیاد است. این پهنه که بیشترین وسعت حوضهٔ بزرگ درونگر را در برگرفته است در زیرحوضه‌های شمارهٔ ۳۱-۲، ۳، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۲۰، ۲۲، ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۳۰، ۳۲، ۳۳، ۳۸، ۳۹ و ۴۰ قرار دارد. کلاس سوم با مقدار ۳۹/۵۳ نمایانگر

پهنه‌هایی با فعالیت متوسط است که در نقشه به رنگ نارنجی ملاحظه می‌شود و شامل زیرحوضه‌های شمارهٔ ۱، ۵، ۶، ۷، ۱۲، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۳، ۲۵، ۳۵، ۳۷، ۴۱، ۴۲، ۴۳ و ۴۴ است. در نهایت کلاس چهارم با رقم ۶/۹۷درصد و رنگ کرم در نقشهٔ مذکور، نمایانگر تقریباً غیرفعال بودن این بخش حوضه از لحاظ تکتونیکی است که زیرحوضه‌های شمارهٔ ۲۱، ۳۴ و ۳۶ را شامل می‌شود. بر اساس شاخص IAT، فعالیت‌های نئوتکتونیکی حوضهٔ مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱۵ آمده است.

جدول ۱۵: شاخص IAT بر اساس شاخص‌های (Hi ، Bs ، Af، S ، SL) هر یک از زیرحوضه‌ها به تفکیک

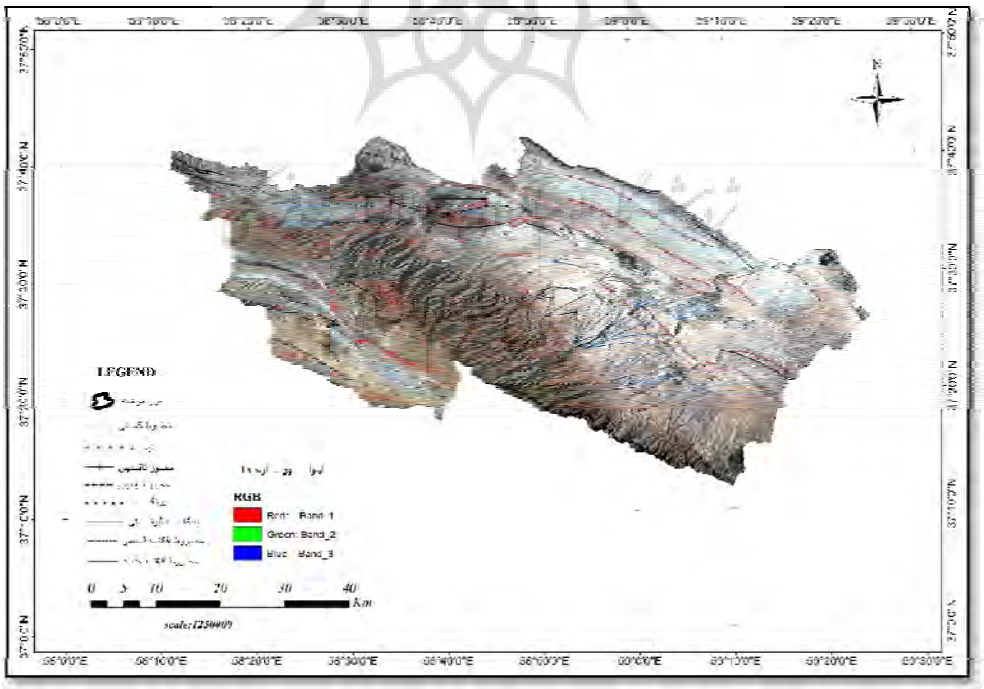
IAT	S/n	SL	S	Af	Bs	Hi	حوضه
3	2.2	2	2	1	3	3	1
2	1.6	1	2	1	3	1	31-2
2	1.8	1	3	1	3	1	3
1	1.4	1	2	1	2	1	4
4	2.6	2	2	3	3	3	5
4	2.6	2	2	3	3	3	6
4	2.6	2	2	3	3	3	7
2	2	3	2	1	1	3	8
2	2	2	2	1	3	2	9
2	1.6	1	2	1	2	2	10
2	1.8	1	2	1	2	3	11
3	2.2	2	3	1	3	2	12
2	2	2	2	1	3	2	13
2	1.6	1	3	1	2	1	14
2	1.6	1	2	2	1	2	15
3	2.4	3	2	1	3	3	16
3	2.2	2	2	1	3	3	17
3	2.2	2	2	1	3	3	18
3	2.4	2	2	3	2	3	19
2	1.6	3	1	2	1	1	20
4	2.6	3	2	3	3	2	21
2	1.8	2	2	2	1	2	22
4	2.8	2	3	3	3	3	23
2	1.8	2	2	1	1	3	24
3	2.4	2	2	3	2	3	25
2	2	2	2	1	3	2	26
2	2	2	1	1	3	3	27
2	2	2	2	1	2	3	28
1	1.2	1	2	1	1	1	29
2	2	2	1	3	2	2	30
2	2	2	2	1	3	2	32
2	1.6	1	2	1	2	2	33
4	2.8	3	2	3	3	3	34
3	2.2	2	2	2	2	3	35
4	2.6	3	2	2	3	3	36
3	2.4	2	2	3	2	3	37
2	2	2	2	2	1	3	38
2	1.8	2	2	1	1	3	39
2	2	2	2	1	2	3	40
3	2.2	2	2	1	3	3	41
3	2.2	2	2	1	3	3	42
3	2.2	2	2	1	3	3	43
3	2.2	3	1	1	3	3	44

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۱۲: نقشهٔ پهنه‌بندی حوضهٔ آبریز درونگر بر اساس نتایج حاصل از شاخص IAT

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۱۳: تصویرماهواره‌ای لندست باندهای ۳۲۱ برای نمایش شواهد مورفوتکتونیکی در حوضهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۲

نتیجه

در طبقه‌بندی ارائه شده برای شاخص‌های Hi، Bs، Af، Smf، S، Vf و SL توسط همدونی و همکاران (۲۰۰۸)، این شاخص‌ها بر اساس مقادیر کمّی به‌دست آمده در سه کلاس ۱، ۲ و۳ طبقه‌بندی شده‌اند.

در این طبقه‌بندی، کلاس ۱ بالاترین فعالیت و کلاس ۳ کمترین فعالیت نئوتکتونیکی را دارا می‌باشند. همچنین براساس نتایج شاخص IAT حدود ۵۳ درصد از سطح حوضهٔ دارای تکتونیک فعال بوده و این مناطق تمام نواحی کوهستانی و پایکوهی جنوب و غرب را در بر گرفته و هرگونه طرح‌های توسعه در این مناطق باید با شرایط مذکور همگام شود. وجود درّه‌های فراوان منطبق بر خطوط گسلی از یک‌طرف و فراوانی گسل‌های عمود بر مسیرهای زهکشی از طرف دیگر و همچنین خطوط جدید گسلی که آثار آن هنوز در مراحل ابتدایی تغییر چشم‌انداز قرار دارد، ضمن تأیید نتایج فوق، بیان‌کنندهٔ شدت قابل ملاحظهٔ نئوتکتونیک و نیروهای تکتونیکی وارده در جهات چندگانه به منطقه است. این موارد نیاز به مطالعات جدید و تفضیلی مبتنی بر اندازه‌گیری‌های میدانی درازمدت است و در انتها در شکل شمارهٔ ۱۳ تصویر ماهواره‌ای لندست جهت‌نمایش شواهد مورفوتکتونیکی حوضه بر روی آن آورده شده است.

منابع

- بیاتی‌خطیبی، مریم (۱۳۸۸). تحلیل اثرات فعال نئوتکتونیکی در نیمرخ طولی رودخانه‌های‌حوضه قرنقوچای واقع در دامنه‌های شرقی سهند، مجله علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی. سال نهم. شماره ۲۷. صفحات ۱۱۳-۷۹.
- حبیب‌اللهیان، محمود؛ محمدحسین رامشت (۱۳۹۱). کاربرد شاخص‌های ارزیابی تکتونیک جنبا در برآورد وضعیت تکتونیکی بخش علیای زاینده‌رود، مقاله پژوهشی. دوره ۱۰. شماره ۲۶. صفحات ۱۱۲- ۹۹.
- حسین‌زاده، سیّدرضا (۱۳۷۲). پالئوژئومورفولوژی حوضهٔ رودخانه درونگر و تحول ناهمواری‌های آن در کوترانر، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال هشتم. شماره ۳۱.
- سلیمانی، شهریار (۱۳۷۸). رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی فعال و جوان (با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه‌شناسی)،پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. تهران.
- سیف، عبداله؛ قاسم خسروی (۱۳۸۹). بررسی تکتونیک‌فعال در قلمرو تراست‌زاگرس منطقه فارسان، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. شماره ۷۴. صفحات ۱۴۶- ۱۲۵.
- گورابی، ابوالقاسم، احمد نوحه‌گر (۱۳۸۶). شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبخیز درکه، پژوهش‌های‌جغرافیایی.شماره۶۰. صفحات ۱۹۶-۱۷۷.
- مقصودی، مهران، عمادالدین، سمیه، (۱۳۹۰). تحلیل شواهد مورفوتکتونیکی گسل درونه در محدوده حوضه آبریز ششطراز و مخروط‌افکنه پایین‌دست آن، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۱۶.
- مقصودی، مهران؛ مریم جعفری‌اقدم؛ سجاد باقری سیدشکری؛ مسعود مینایی (۱۳۹۰). بررسی تکتونیک فعال حوضه آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیکی، فصلنامه جغرافیا و توسعه (علمی-پژوهشی). شماره ۲۵. صفحات ۱۳۶-۱۱۱.
- اعظم‌مابقی، سعیده (۱۳۹۲). تجزیه تحلیل تکتونیک-ژئومورفولوژی در حوضهٔ آبریز درونگر و تأثیر آن بر شبکه زهکشی رودخانه‌ای حوضهٔ رودخانهٔ درونگر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی دکتر سیدرضا حسین‌زاده. دانشگاه فردوسی مشهد.
- سازمان‌زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳). نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد، فاروج، قوچان، باجگیران، نوخندان و لطف‌آباد.

- Ramesht, M. H., Mohammadabadi, T., Pourkhosravani, M., Mousavi, S. H (2011). Assessment of Morphotectonic properties of Mahan Tigrani watershed, Management Science Letters, Vol. 1 Issue 4, P: 503.
- Štěpančíková, P., Stemberk, J., Vilímek, V., Košťák, B (2008). Neotectonic development of drainage networks in the East Sudeten Mountains and monitoring of recent fault displacements (Czech Republic), Geomorphology Vol.102, PP:68-80.
- Toudeshki,V.H,Arian, M (2011).Morphotectonic Analysis in the Ghezel Ozan River Basin, NW Iran, Journal of Geography & Geology, Vol. 3, Issue 1, P: 258.
- Vojtko, R., Petro, L., Benová, A., Bóna, J., Hók, J (2011). Neotectonic evolution of the northern Laborec drainage basin (northeastern part of Slovakia), Geomorphology, Vol 03760, P: 19.
- 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, Volume 95, Issue 3-4, PP: 260-273 .
- Hamdouni, R.E., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller, E. A (2008). Assessment of Relative Active Tectonic, Southwest Border of the Sierra Nevada (Southern Spain). Geomorphology, V.96, PP: 150-173.
- Mahmood, K (1987). Reservoir Sedimentation: Impact, Extent, and Mitigation",Techn, No.71, The World Bank, Washington D.C, USA.
- Pirasteh, 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 Geosciences, Volume 4, Issue 1-2, PP: 171-180.
- Pubellier, M., Deffontaines, B., Quebral, R., Rangin, C (1994). Drainage network analysis and tectonics of Mindanao, southern Philippines, Geomorphology,Vol 9, PP:325-342.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی