

ارزیابی حوضه‌های آبخیز استان کردستان از منظر تکتونیک فعال با رویکرد کمی - مقایسه‌ای مبتنی بر تحلیل شبکه زهکشی

هادی نبیری^۱

ممنند سالاری^۲

چکیده

این پژوهش با توجه به اهمیت و جایگاه مطالعات تکتونیک- ژئومورفولوژی، به ارزیابی و طبقه بندی تکتونیک فعال حوضه‌های آبخیز استان کردستان با نگرش کمی- مقایسه‌ای بر مبنای پارامترهای شاخص شبکه زهکشی می‌پردازد. روش پژوهش شامل برآورد کمی پارامترهای شاخص شبکه زهکشی مرتبط با تکتونیک و به‌کارگیری روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی است. یافته‌های تحقیق نشان داد که حوضه‌های مورد مطالعه از لحاظ تکتونیک فعال در دو خوشه متفاوت قرار می‌گیرند. مقایسه نسبی بین این خوشه‌ها نشان می‌دهد که حوضه‌های واقع در خوشه اول از فعالیت تکتونیکی بیشتر با دامنه‌های متفاوت‌تر بیشتر برخوردارند. در همین ارتباط حوضه‌های خوشه دوم دارای فعالیت تکتونیکی کمتر، متجانس‌تر و با آستانه تشکیل خوشه سریع‌تر مشخص شدند. با توجه به نتایج چنین استنباط می‌شود وضعیت حوضه‌های خوشه اول با بار فعالیت تکتونیکی بالاتر، ناشی از پراکنش مکانی بیشتر آن‌ها و به تبع آن تأثیرپذیری از کانون‌های تکتونیکی متفاوت به ویژه گسل‌های فعال باشد. وضعیت موجود حوضه‌های خوشه دوم نیز در ارتباط با وضعیت قرارگیری

۱- استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان (نویسنده مسئول)

Email: nayyerihadi@yahoo.com

۲- استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

مکانی همگن تر آن‌ها منطبق بر نواحی مرکزی محدوده مطالعاتی و فعالیت آرام‌تر زون سندج-سیرجان قابل تفسیر است.

واژگان کلیدی: تکتونیک فعال، شبکه زهکشی، تحلیل خوشه‌ای، استان کردستان

مقدمه

مورفوتکتونیک یا ریخت‌شناسی زمین‌ساختی، مطالعه اشکال و سیمایای ایجاد شده در سطح زمین بر اثر فرآیندهای تکتونیک می‌باشد. بر این اساس علم ژئومورفولوژی در مطالعه و بررسی مسائل تکتونیک کاربرد فراوانی دارد. امروزه تقریباً هیچ ناحیه‌ای را در جهان نمی‌توان پیدا کرد که در طی چند هزار سال اخیر تحت تأثیر تغییرات تکتونیک قرار نگرفته باشد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۶). با توجه به موقعیت خاص ایران در بین صفحات تکتونیک و قرارگیری در میان کمربند کوه زایی آلپی، متأثر از این فشار دائمی، برآیند آن ایجاد شکستگی‌های تکتونیک متعدد با جهت‌های گوناگون می‌باشد (زمردیان، ۱۳۸۱: ۱۰۰). وضعیت زمین‌ساختی و ناپایداری صفحات ایران به علت قرار داشتن در یک منطقه پرتحرک، آن را در منطقه زلزله‌خیز و ناآرام قرار داده است (درویش‌زاده، ۱۳۸۵، ۴۷). مجموعه این مسایل بیانگر تکتونیک فعال در سطح کشور است. بررسی شاخص‌های توسعه جهانی انجام گرفته توسط بانک جهانی (۲۰۰۴) بیانگر آن است که ۷۰ درصد از جمعیت و ۶۷ درصد از تولید ناخالص کشور در مناطق در معرض خطر زلزله و با آسیب پذیری بالا واقع است. با این اوصاف جایگاه مطالعات تکتونیک فعال در ارزیابی خطر بسیار مهم است.

تکنیک‌های مورفومتریک به عنوان ابزارهای شناساگر برای شناسایی مناطقی که تغییر شکل تکتونیک را تجربه می‌نمایند به کار می‌رود (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸: ۲۵). این شاخص‌ها نشان‌دهنده یک رویکرد کمی برای تحلیل ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیک در سطح حوضه‌های آبخیز هستند. در این بین سیستم‌های رودخانه‌ای از شاخص‌ترین سیستم‌های ژئومورفیک در واکنش به فعالیت‌های تکتونیک و به ویژه تکتونیک فعال هستند.

به‌کارگیری فراوان شاخص‌های رودخانه‌ای در مناطق مختلف توسط محققین نشان‌دهنده این است که تحلیل شبکه‌های زهکشی ابزار قدرتمندی برای شناسایی فعالیت‌های تکتونیکی هستند (روستایی و نیری، ۱۳۹۰: ۱۴۶).

بخش‌های زیادی از استان کردستان در زون نسبتاً آرام "سندج- سیرجان" واقع شده است ولی با توجه به سرچشمه‌های اصلی لرزه زای موجود در استان کردستان از جمله پهنه گسله زاگرس، گسل اصلی جوان زاگرس، گسل معکوس بزرگ زاگرس (راندگی زاگرس) و گسل پیرانشهر و نیز با توجه به گزارشات پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور مبنی بر وقوع بیش از ۱۴۶ زمین‌لرزه در فاصله زمانی ۱۹۷۱-۲۰۰۸ در استان مطالعه بیشتر در این زمینه ضروری است. ضمناً مطالعات قبادی و همکاران (۱۳۹۰) که نشان از پتانسیل وقوع زلزله با بزرگای ۶/۱ تا ۶/۹ در مقیاس ریشتر و همچنین زیرساخت‌های ضعیف و پایین بودن کیفیت ابنیه، نیاز به مطالعه و ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی به وسیله شاخص‌هایی که هم قابلیت مقایسه نواحی مختلف را ممکن سازد و هم با هزینه کم و در زمان اندک جوابگوی این نیازها باشد، لازم است

مطالعات صورت گرفته در این زمینه با تحقیقات بول و مک‌فادن^۱ (۱۹۷۷) شروع شده و با توجه به اهمیت موضوع در مناطق مختلف بر مبنای آنالیزها و شاخص‌های متناسب با نواحی ادامه پیدا کرده است. از مهم‌ترین مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌توان پژوهش‌های چن و همکاران^۲ (۲۰۰۳)، کالی و شجوالکار^۳ (۲۰۰۸)، فونت و همکاران^۴ (۲۰۱۰)، گی‌کونیا و همکاران^۵ (۲۰۱۲) را نام برد. جدیدترین مطالعات نیز در این زمینه توسط چانگ و همکاران^۶، یان و همکاران^۷، لویری و همکاران^۸ (۲۰۱۵) و نیز بالی و

^۱ - Bull & McFadden

^۲ - Chen et al

^۳ - Kale Shejwalkar

^۴ - Font et al

^۵ - Giaconia et al

^۶ - Chang et al

^۷ - Yan et al

^۸ - Luirei et al

همکاران^۱، بنونوتی و همکاران^۲، گاسپارینی و همکاران^۳، توپال و همکاران^۴ و پیروتا و همکاران^۵ (۲۰۱۶) صورت گرفته است که غالباً به ارزیابی نسبی فعالیت تکتونیکی در سطح حوضه‌ها بر اساس تحلیل شاخص‌های ژئومورفیک و مورفومتریک بوده که بیانگر اهمیت مطالعات در این زمینه است.

شاخص‌های شبکه رودخانه‌ای در مناطق مختلف توسط محققین داخلی نیز به صورت گسترده به کار گرفته شده‌اند که نشان دهنده این است مطالعه شبکه‌های زهکش روش مناسبی برای تعیین فعالیت نسبی تکتونیک می‌باشد. از مهم‌ترین مطالعات مرتبط با موضوع می‌توان به پژوهش‌های مختاری کشکی (۱۳۸۳)، سلیمانی (۱۳۷۸)، گورابی و نوحه‌گر (۱۳۸۶)، کرمی (۱۳۸۸)، مقصودی و همکاران (۱۳۹۰)، روستایی و همکاران (۱۳۹۱)، رجبی و سلیمانی (۱۳۹۲)، رضایی مقدم و خیری‌زاده (۱۳۹۳)، عابدینی و شیرنگ (۱۳۹۳)، منصور و صفاری (۱۳۹۴) و نیز محمدنژاد آروق (۱۳۹۵) اشاره کرد.

در سطح استان کردستان، مطالعات با این شاخص‌ها به صورت محدود توسط یمانی و علمی زاده (۱۳۹۲) در حوضه نی‌چی مریوان بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک و نیز شهبابی و همکاران (۱۳۹۰) در ارتباط با پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با روش تحلیل چند معیاره فضایی در استان کردستان صورت گرفته است. بنابراین با توجه به خلأ مطالعاتی در این زمینه، پژوهش حاضر به ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی حوضه‌های واقع در استان کردستان به وسیله شاخص‌های مورفومتریک شبکه زهکشی که از ویژگی‌های آن‌ها سادگی نسبی در روش محاسبه، سرعت عمل بالا در به‌کارگیری می‌باشد، با رویکرد جدید به صورت کمی-مقایسه‌ای می‌پردازد.

¹ - Bali et al

² - Benvenuti et al

³ - Gasparini et al

⁴ - Topal et al

⁵ - Pirrotta et al

معرفی منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش تمام حوضه‌های آبخیز و حوضه‌های مشترک با استان کردستان جهت تحلیل تکتونیکی به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. در مجموع ۱۸ حوضه آبخیز با نگاه مقایسه‌ای مورد شناسایی و مطالعه قرار گرفت. حوضه‌های مطالعاتی شامل ۸ حوضه در داخل استان کردستان (قروه، بانه، سقز، دیواندره، سنندج، رزآب، قزلچه و مریوان) و ۱۰ حوضه مشترک با دیگر استان‌ها (انگوران، بوکان، گل‌تپه، کامیاران، پاوه، روانسر، شاهین‌دژ، سردشت، تپه‌اسماعیل و تکاب) هستند. این محدوده با مساحت ۵۱۷۸۰/۱۹ کیلومتر مربع بین ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۷ و ۱۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۸ دقیقه طول شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد که شامل استان کردستان و قسمت‌های جنوبی استان آذربایجان غربی و غرب استان زنجان، شمال غربی استان همدان و شمال کرمانشاه است (شکل ۱). حوضه‌های انتهایی سیستم‌های زهکشی موجود در این محدوده شامل سه حوضه آبخیز خلیج فارس، دریای خزر و دریاچه ارومیه است. جدول شماره یک ویژگی‌های عمومی حوضه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات حوضه‌های آبخیز مطالعاتی

ردیف	حوضه	مساحت Km ²	طول آبراهه اصلی Km	ردیف	حوضه	مساحت Km ²	طول آبراهه اصلی Km
۱	انگوران	۶۷۷۲	۸۲/۵	۱۰	پاوه	۴۹۹	۳۴/۱۵
۲	بانه	۹۳۰	۵۳/۲۸	۱۱	روانسر	۱۲۴۰	۵۹/۷۰
۳	بوکان	۲۹۰۲	۸۰/۷۷	۱۲	رزآب	۳۹۷۹	۶۸/۹۴
۴	بیجار	۵۳۶۳	۷۴/۰۸	۱۳	شاهین‌دژ	۲۱۶۰	۵۹
۵	قزلچه	۲۸۲	۱۷	۱۴	سنندج	۲۰۳۴	۷۸/۷۳
۶	قروه	۷۲۴۱	۱۲۴/۰۶	۱۵	سقز	۴۵۹۱	۲۰۶
۷	گل‌تپه	۵۱۷۲	۱۱۴	۱۶	سردشت	۱۸۰۴	۷۱/۵۲
۸	کامیاران	۹۶۶	۸۰	۱۷	تپه اسماعیل	۲۸۳۸	۱۰۵/۷۴
۹	مریوان	۴۹۴	۳۳/۷۵	۱۸	تکاب	۲۴۰۳	۷۲/۱۳

به کار رفته در تحقیق گردید. شبکه‌های آبراهه‌ای رقومی شده و بر اساس روش استرالر درجه بندی گردیدند. همچنین نیمرخ طولی تا رتبه ۴ برای شاخه‌های اصلی حوضه‌ها ترسیم شد. سپس اقدام به انتخاب و بررسی مهم‌ترین شاخه‌های شبکه زهکشی که متأثر از تکتونیک بوده و به تبع آن در ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیک در سطح حوضه‌های آبخیز کارا هستند، شده است. شاخص‌های نسبت انشعاب مستقیم، گرادبان رودخانه، شاخص استاندارد، آنومالی سلسله مراتبی و تراکم زهکشی برای تمامی حوضه‌های مطالعاتی محاسبه شدند. با توجه به اهمیت این شاخص‌ها به عنوان بحث اصلی پژوهش، ماهیت و نیز روابط کمی برآورد آنها در ادامه بحث روش‌شناسی مورد واکاوی قرار گرفته است. در مرحله بعد، برای رسیدن به هدف نهایی تحقیق که طبقه بندی حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه در برابر تکتونیک فعال می‌باشد، داده‌های حاصل از محاسبه شاخص‌ها استاندارد شدند و با استفاده از تحلیل خوشه‌ای نمودار دندروگرام برای حوضه‌ها ترسیم و با توجه به آن طبقه‌بندی و تحلیل به صورت مقایسه‌ای صورت گرفت.

شاخص نسبت انشعاب مستقیم (R_{bd}):

این نسبت توصیف‌کننده ساختار هیدروگراف حوضه است (بیاتی خطی، ۱۳۸۸: ۳۱) که دای و همکاران^۱ (۲۰۱۶) و نیز بهرامی و همکاران (۱۳۹۲) آن را در ارتباط با فعالیت تکتونیک به کار گرفتند. این شاخص از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$R_{bd} (u-u+1) = NU / NU+1 \quad \text{رابطه ی ۱}$$

در این رابطه $NU+1$: تعداد آبراهه‌های رتبه بالاتر و NU : تعداد آبراهه‌های رتبه ویژه است.

^۱ - Dai et al

شاخص گرادیان رودخانه (SL):

این شاخص با فعالیت تکتونیکی رابطه مستقیمی دارد. بر این اساس می‌توان برای ارزیابی تکتونیک آن را به کار گرفت همچنان که کلر و پینتر^۱ (۲۰۰۲) در بررسی‌های تکتونیکی از آن استفاده کردند. مقادیر عددی زیاد آن ($SL \geq 500$) بیانگر فعالیت شدید و مقادیر عددی کوچک‌تر از ۳۰۰ بیانگر عدم فعالیت تکتونیکی در منطقه می‌باشد (سلیمانی، ۱۳۷۸؛ ۵۸). شاخص طول گرادیان رود در رابطه (۲) نشان داده شده است:

$$SL = (\Delta H / \Delta L) \times L \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

در این رابطه ΔH : اختلاف ارتفاع در یک مقطع از رودخانه، ΔL : فاصله افقی همان محل و L : طول رودخانه از نقطه مرکزی همان محل تا سرچشمه رودخانه

شاخص استاندارد (IE)

این شاخص از تقسیم شاخص طول گرادیان رود به شاخص تععر مقطع طولی رودخانه به دست می‌آید. میزان بالای این شاخص نشان‌دهنده فعالیت بیشتر تکتونیکی می‌باشد (هک^۲، ۱۹۷۳، به نقل از روستایی و نیری، ۱۳۹۰). سیبر و گارنیت^۳ (۱۹۸۳) این شاخص را در رودخانه آسور به کار بردند. رابطه این شاخص به صورت زیر است:

$$IE = SL / K \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

که K به عنوان شاخص تععر رودخانه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$K = (H_i - H_j) / (\ln L_j - \ln L_i) \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

i و j دو نقطه در طول رودخانه H : ارتفاع و L : طول مسیر می‌باشند در این مقاله i : ابتدای رتبه شاخه اول j : انتهای رتبه شاخه چهارم است.

^۱ - Keller & Pinter

^۲ - Hack

^۳ - Seeber & Gornitz

شاخص آنومالی سلسله مراتبی (Δa):

این شاخص بیانگر آنومالی سیستم‌های زهکشی متأثر از فرایندهای تکتونیکی می‌باشد. بنابراین شاخصی موثر برای برآوردهای تکتونیکی در سطح حوضه‌های آبخیز است. در سیستم‌های رودخانه‌ای، روند طبیعی، اتصال یک آبراهه به آبراهه دیگر با یک رتبه بالاتر و گویای یک نظم سلسله مراتبی است. در غیر این صورت سیستم زهکشی دارای آنومالی سلسله مراتبی است. در این راستا، شاخص H_a که شامل حداقل تعداد آبراهه‌های درجه یک، که باید به طور فرضی به شبکه زهکشی اضافه شوند؛ تا اتصالات دارای نظم سلسله مراتبی شوند توسط آونا و همکاران تعریف شد که توسط محققین مختلف از جمله گارنری و پیروتا^۱ (۲۰۰۸) به کار گرفته شده و نیز بهرامی (۲۰۱۳) برای تسهیل در محاسبات این شاخص یک رابطه کمی جدید ارائه داد. بدین صورت که در حالتی که یک آبراهه مبدأ (به‌عنوان مثال درجه ۱) به آبراهه بالاتر یا مقصد (به‌عنوان مثال درجه ۳) متصل شود، اگر آبراهه مبدأ را i و آبراهه مقصد را j بنامیم، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی هر اتصال آبراهه ($H_{ai \rightarrow j}$) از رابطه ۵ به دست می‌آید (بهرامی، ۲۰۱۳؛ ۹۱۸).

$$H_{ai \rightarrow j} = 2^{(j-2)} - 2^{(i-1)} \quad \text{رابطه ۵}$$

بعد از محاسبه $H_{ai \rightarrow j}$ ، تعداد آبراهه‌ها در هر اتصال ($N_{si \rightarrow j}$) به دست می‌آید. سپس از مجموع حاصل ضرب $H_{ai \rightarrow j}$ و $N_{si \rightarrow j}$ ، تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی آبراهه برای کل حوضه (Hat) به دست خواهد آمد (بهرامی، ۲۰۱۳؛ ۹۱۸).

$$Ha_t = \sum (H_{ai \rightarrow j} \times N_{si \rightarrow j}) \quad \text{رابطه ۶}$$

ابتدا تعداد آبراهه‌ها با درجه مختلف حوضه تعیین شد و بعد از آن Hat محاسبه گردید. بعد از محاسبه Hat شاخص Δa از رابطه زیر محاسبه شد (گارنری و پیروتا به نقل از بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲).

¹ - Guameri & Pirrotta

$$\Delta a = \text{Hat}/N1$$

رابطه‌ی ۷

در این رابطه Ha: تعداد ناهنجاری سلسله مراتبی، N1: تعداد واقعی آبراهه های رتبه یک می‌باشد.

شاخص تراکم زهکشی (D)

تراکم زهکشی عبارت از نسبت طول جریان به مساحت می‌باشد که به وسیله رابطه زیر به دست می‌آید:

$$D = L/A$$

رابطه‌ی ۸

در این رابطه D: شاخص تراکم زهکشی، L: مجموعه طول جریان به کیلومتر و A: مجموعه مساحت به کیلومتر مربع است. این شاخص بیانگر گسیختگی توپوگرافی است که می‌تواند مرتبط با تکتونیک، نوع سنگ بستر و میزان بارش باشد (ریتز^۱، ۱۹۹۵: ۲۴۳؛ به نقل از روستایی و نیری، ۱۳۹۰).

یافته‌ها و بحث

برای سنجش وضعیت تکتونیکی حوضه‌های آبخیز با یک نگرش کمی و سیستماتیک، یک شاخص نمی‌تواند فعالیت محیطی را به خوبی نشان دهد و استفاده از یک شاخص اغلب با شک و تردید همراه است. به همین دلیل مهم‌ترین شاخص‌های زهکشی منعکس کننده تکتونیک در حوضه های مطالعاتی بررسی و برای دستیابی به نتایج اصلی پژوهش مورد تحلیل‌های آماری دقیق و با دید سیستمی - مقایسه‌ای قرار گرفته و در ادامه اقدام به پردازش و طبقه‌بندی آنها شد تا زمینه ارزیابی صحیح‌تر فراهم گردد که در زیر به آنها اشاره می‌شود.

شاخص‌های پنج‌گانه انتخابی برای ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی و نیز طبقه‌بندی حوضه‌ها در همین ارتباط شامل شاخص‌های نسبت انشعاب مستقیم، گرادیان رودخانه،

^۱ - Ritter



شاخص استاندارد، آنومالی سلسله مراتبی و تراکم زهکشی هستند. بر اساس روابط کمی موجود برای برآورد شاخص‌ها، مقادیر کمی کامل شاخص‌ها برای تمامی حوضه‌های موجود در سطح محدوده مطالعاتی با دقت بالا محاسبه گردیده و در قالب جدول ۲ نمایش داده شده و در زیر نتایج آنها مورد واکاوی قرار می‌گیرد.

شاخص یک، نسبت انشعاب مستقیم (R_{bd}) است که با توصیف ساختار و سیستم هیدروگرافیک حوضه زمینه تحلیل تکتونیک را فراهم می‌آورد. بر اساس روابط کمی موجود، مقادیر این شاخص برای تمامی حوضه‌های موجود مطالعاتی محاسبه گردید. نتایج نشان داد که مقادیر عددی این شاخص از $2/99$ در حوضه سردشت تا $5/69$ در حوضه‌های پاوه و تپه اسماعیل متفاوت است. دامنه این مقادیر می‌تواند گویای تفاوت فعالیت تکتونیک و نیز زمینه‌ای برای پردازش و طبقه‌بندی باشد.

شاخص دو، شاخص گرادیان رودخانه (SL) است. برای محاسبه آن، در این تحقیق بعد از طبقه بندی شبکه زهکشی با روش استرالر، طول مسیر رودخانه برای رتبه چهار و اختلاف ارتفاع بین رتبه یک تا رتبه چهار به ترتیب به عنوان ΔL و ΔH محاسبه شدند. میزان L مسیر رودخانه از رتبه ۱ تا مرکز رتبه ۴ است. برای برآورد میانگین این شاخص، برای هر یک از حوضه‌های مطالعاتی ده نیمرخ ترسیم و این شاخص محاسبه شد. میانگین این شاخص برای همه حوضه‌ها در جدول ۲ آمده است. نتایج این شاخص دامنه اختلافی زیادی برای حوضه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد. بالاترین این شاخص در حوضه سردشت با مقدار عددی 1529 و کمترین میزان در قروه با 354 دیده می‌شود. این تفاوت مقادیر می‌تواند با توجه به گستره مطالعاتی، منعکس کننده تفاوت در وضعیت تکتونیک حوضه‌ها باشد که با پردازش به روش تحلیل خوشه‌ای می‌توان بهتر نتیجه گرفت.

شاخص سه، شاخص استاندارد (IE) است که در این پژوهش با هدف زمینه برای تحلیل تکتونیک مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج برآوردشده این شاخص در جدول شماره ۲ آمده است. دامنه تغییرات این شاخص نیز بالا بوده و از مقادیر $2/08$ در حوضه پاوه

تا ۵/۶ در حوضه شاهین‌دژ را در برمی‌گیرد. تفاوت موجود این شاخص در حوضه‌های مطالعاتی می‌تواند بیانگر تفاوت معنادار جریان‌ها و نیز فعالیت‌های تکتونیکی باشند.

شاخص چهار، آنومالی سلسله مراتبی (Δa) است. محاسبات مربوط به این شاخص در جدول شماره ۲ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین آنومالی مربوط به حوضه بانه (۲/۴۱) و کمترین مربوط به پاره (۱/۰۷) است. میزان بالای این شاخص نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی بیشتر و برعکس میزان پایین آن نشان‌دهنده گسیختگی کمتر و فعالیت تکتونیکی پایین‌تر است (روستایی و نیری، ۱۳۹۰).

شاخص پنج، تراکم زهکشی (**D**) است که به عنوان آخرین پارامتر موثر شبکه زهکشی در ارتباط با فعالیت تکتونیکی حوضه‌های مطالعاتی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این ارتباط، مساحت و طول آبراهه‌های هر حوضه در محیط GIS محاسبه و در رابطه مذکور قرار داده شد. مقادیر برآورد شده برای این شاخص آستانه‌های ۰/۲۳ برای حوضه میروان تا ۰/۴۶ برای حوضه تکاب را شامل می‌شود که می‌تواند در ارتباط با فعالیت‌های تکتونیکی قرار گیرد. نکته دیگر تاثیرگذاری لیتولوژی بر این شاخص است که نمونه بارز آن حوضه روانسر در محدوده آهکی و کارستیک با مقادیر عددی نسبتاً پایین و ۱/۲۶ است.

جدول ۲- مقادیر کمی محاسبه شده شاخص‌های شبکه زهکشی مرتبط با تکتونیک

کد	حوضه	R_{bd}	SL	IE	Δa	D
۱	انگوران	۴/۵۶	۹۴۲	۳/۵۵	/۹۸	/۴۳
۲	بانه	۳/۴۴	۶۳۶	۳/۱۰	۲/۴۱	/۳۵
۳	بوکان	۴/۷۷	۳۹۹	۳/۷۱	/۶۲	/۳۳
۴	پاره	۵/۶۹	۶۸۷	۲/۰۸	/۰۷	/۳۳
۵	تپه اسماعیل	۵/۶۹	۹۵۲	۴/۹۲	/۶۶	/۳۲
۶	تکاب	۳/۸۹	۹۰۷	۳/۶۵	۱/۵۸	/۴۶
۷	دیواندره	۴/۱۲	۴۴۳	۳/۰۴	۱	/۳۷
۸	رزآب	۴/۱۳	۶۷۳	۲/۹۹	/۷۷	/۳۷
۹	روانسر	۳/۴۰	۳۵۵	۳/۱۳	/۶۲	/۲۷

۱۰	شاهین دژ	۳/۹۴	۶۵۳	۵/۶	۸۳	۴۲
۱۱	سردشت	۲/۹۹	۱۵۲۹	۴/۲۹	۸۳	۳۲
۱۲	سقز	۳/۸۰	۵۲۷	۲/۹۵	۶۵	۳۴
۱۳	سنندج	۵/۵۸	۴۱۰	۲/۲۲	۱۰۲	۴۵
۱۴	قروه	۴/۳	۳۵۴	۳/۲۳	۱	۳۳
۱۵	قزلجه	۳/۲۰	۳۹۶	۲/۷۵	۰۸	۴
۱۶	گل تپه	۴/۰۶	۴۸۷	۳/۱۶	۰۳	۳۷
۱۷	کامیاران	۳/۵۲	۵۵۶	۳/۱۶	۹۵	۳۴
۱۸	مریوان	۳/۷۵	۴۷۵	۲/۴۶	۲۱	۲۳

استاندارد کردن داده‌ها :

پارامترهای مورفومتریک محاسبه شده موجود در جدول بالا با توجه به اینکه از مقیاس‌های متفاوتی برخوردار هستند، بر مبنای نظر متخصصین همچون اصغریپور (۱۳۹۲) قبل از قرار دادن در روش مطالعاتی با هدف انجام عمل طبقه‌بندی، استاندارد شدند. برای استاندارد کردن روش زیر بکار رفت.

$$z = \frac{x}{\max x} \quad \text{رابطه‌ی ۸}$$

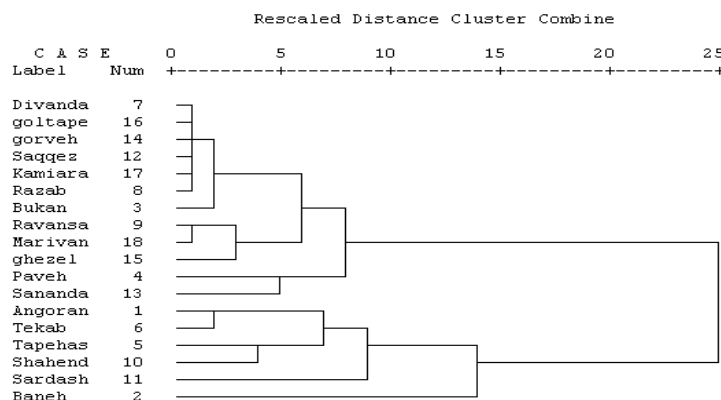
در این رابطه، z : مقادیر استاندارد داده، x : مقادیر به دست آمده هر شاخص برای هر حوضه و \max_x : بزرگ‌ترین عدد بدست آمده برای شاخص مورد نظر است.

جدول ۳- مقادیر استاندارد شده شاخص‌های شبکه زهکشی حوضه‌های مطالعاتی

کد	حوضه	R _{bd}	SL	IE	Δa	D
۱	انگوران	/۸۰	/۶۲	/۶۳	/۴۱	/۹۳
۲	بانه	/۶۰	/۴۱	/۵۵	۱	/۷۶
۳	بوکان	/۸۴	/۲۶	/۶۶	/۲۶	/۷۱
۴	پاوه	۱	/۴۵	/۳۷	/۰۳	/۷۱
۵	تپه اسماعیل	۱	/۶۲	/۸۸	/۲۷	/۶۵
۶	تکاب	/۶۸	/۵۹	/۶۵	/۶۵	۱
۷	دیواندره	/۷۲	/۲۹	/۵۴	/۴۱	/۸۰
۸	رزآب	/۷۳	/۴۴	/۵۳	/۳۲	/۸۰
۹	روانسر	/۶۰	/۲۳	/۵۶	/۲۶	/۵۹
۱۰	شاهین دژ	/۶۹	/۴۳	۱	/۳۴	/۹۱
۱۱	سردشت	/۵۲	۱	/۷۷	/۳۴	/۶۵
۱۲	سقز	/۶۷	/۳۴	/۵۳	/۲۷	/۷۴
۱۳	سنندج	/۹۸	/۲۷	/۴۰	/۴۲	/۹۸
۱۴	قروه	/۷۵	/۲۳	/۵۸	/۴۱	/۷۱
۱۵	قرلجه	/۵۶	/۲۶	/۴۹	/۰۳	/۸۷
۱۶	گل تپه	/۷۱	/۳۲	/۵۶	/۴۳	/۸۰
۱۷	کامیاران	/۶۲	/۳۶	/۵۶	/۳۹	/۷۴
۱۸	مریوان	/۶۶	/۳۱	/۴۴	/۰۹	/۵۰

جدول شماره ۳ مقادیر کمی شاخص‌های مورفومتریکی شبکه زهکشی را برای حوضه های مطالعاتی به صورت استاندارد شده نشان می‌دهد. پس از استاندارد کردن داده‌ها، با هدف عملیاتی کردن پژوهش، مقادیر حاصل از شاخص‌های شبکه زهکشی حوضه‌های مطالعاتی، وارد نرم‌افزار SPSS گردید و بر مبنای روش تحلیل خوشه‌ای پردازش و ترسیم شد (شکل ۲).

Dendrogram using Ward Method



شکل ۲- نمودار شاخه درختی (دندروگرام) حوضه‌ها حاصل از روش HCA

روش^۱ HCA یک روش طبقه بندی الگوریتمی با هدف اتصال متغیرها در داخل خوشه بزرگتر به منظور تسهیل در فرایند تفسیر است (حبیب‌پور و صفری، ۱۳۸۸: ۷۷۴). نتایج برآوردهای آماری شاخص‌های مورد بررسی به صورت استاندارد شده و بر مبنای ترسیم نمودار شاخه درختی به روش HCA برای حوضه‌های مطالعاتی بیانگر موارد زیر است: به طور کلی حوضه‌های مطالعاتی از منظر فعالیت‌های تکتونیکی در دو خوشه قرار می‌گیرند. خوشه اول شامل حوضه‌های انگوران، تکاب، تپه اسماعیل، شاهین‌دژ، سردشت و بانه می‌باشد و خوشه دوم نیز در برگیرنده حوضه‌های دیواندره، گل تپه، قروه، سقز، کامیاران، رزآب، بوکان، روانسر، مریوان، قزلچه، پاوه و سنندج است.

تحلیل مکانی نتایج نشان دهنده آن است که خوشه ۱ غالباً شامل حوضه‌های واقع در نواحی پیرامونی محدوده مطالعاتی هستند. به این صورت که حوضه‌های بانه و سردشت در ناحیه شمال غرب محدوده و انگوران، تکاب و شاهین‌دژ در شمال و شمال شرق و تپه اسماعیل در جنوب منطقه مورد مطالعه قرار دارند. این حوضه‌ها از فعالیت تکتونیکی بالاتری برخوردارند (جدول ۳، شکل ۲). فعالیت بالاتر آن‌ها در ارتباط با تأثیرپذیری آن‌ها از سرچشمه‌های تکتونیکی دیگر است. حوضه‌های بانه و سردشت از گسل فعال پیرانشهر و حوضه‌های انگوران، تکاب و شاهین‌دژ از جریان‌های تکتونیکی مرکزی و شمالی ایران و تپه اسماعیل از گسل زاگرس متأثر می‌شوند.

اما حوضه‌های واقع در خوشه ۲ در کنار هم و غالباً در مرکز محدوده مورد مطالعه و منطبق بر استان کردستان می‌باشند. این حوضه‌ها از فعالیت تکتونیکی کمتری در مقایسه با گروه ۱ برخوردارند که چنین استنباط می‌شود ناشی از موقعیت قرار گیری آن‌ها در زون سنندج - سیرجان باشد.

نتیجه گیری

^۱ - Hierarchical cluster analysis

این پژوهش با هدف به‌کارگیری برخی متغیرهای شبکه زهکشی با نگرش سیستمی در سطح حوضه های واقع در استان کردستان و مشترک با استان های هم‌جوار، جهت ارزیابی نسبی پتانسیل فعالیت‌های تکتونیکی در مقیاس حوضه‌ی بوده است.

در این راستا پس از مطالعات اولیه بر مبنای نقشه های توپوگرافی محدوده مورد مطالعه ۱۸ حوضه شناسایی و انتخاب گردیدند. این حوضه‌ها با استفاده از ۵ شاخص موثر شبکه زهکشی که از فعالیت‌های تکتونیکی متأثرند، ارزیابی شدند و مقادیر کمی پارامترها برای تمامی حوضه‌های مطالعاتی به دست آمد.

سپس با توجه به وجود متغیرهای گوناگون با مقادیر متفاوت و با هدف امکان طبقه بندی حوضه‌ها در ارتباط با فعالیت‌های تکتونیکی و در قالب مدل قرار دادن این داده‌ها و امکان مقایسه آن‌ها، اقدام به استاندارد سازی داده‌ها شد.

روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی در این راستا به کار رفت و دندروگرام برای حوضه‌ها مطالعاتی ترسیم شد و با هدف افزایش دقت و تفکیک بهتر حوضه‌ها در ارتباط با مسئله پژوهش، بر مبنای حداکثر فاصله، خوشه‌ها از هم تفکیک شدند. نتایج بیانگر وجود دو خوشه متفاوت از لحاظ فعالیت‌های تکتونیکی بر اساس شاخص‌های بکار رفته و دندروگرام موجود است. موقعیت مکانی خوشه اول غالباً شامل حوضه های واقع در نواحی پیرامونی محدوده مطالعاتی و حوضه های واقع در خوشه دوم منطبق بر مناطق مرکزی محدوده مورد مطالعه هستند. یافته نهایی تحقیق نشان داد که حوضه های واقع در خوشه اول دارای فعالیت تکتونیکی نسبی بالاتر، پراکنش بیشتری و نیز سطح همگونی کمتر در سطح محدوده مطالعاتی هستند که می‌تواند ناشی از تأثیر این حوضه‌ها از کانون‌های تکتونیکی متفاوت و به ویژه گسل‌های موجود به صورت موردی باشد. حوضه‌های بانه و سردشت در خوشه ۱ با میزان بالای فعالیت تکتونیکی در ارتباط با قرار گیری در مجاورت گسل فعال پیرانشهر تفسیر می‌شود. ضمناً مقادیر بالای حوضه‌های انگوران، تکاب و شاهین‌دژ به نظر می‌رسد ناشی از جریان‌های تکتونیکی شمالی ایران باشد. حوضه های واقع در خوشه ۲ دارای همگونی بیشتر و فعالیت تکتونیکی نسبی کمتر هستند که چنین استنباط می‌شود

متأثر از فعالیت زون سنندج - سیرجان می‌باشند. این پژوهش با توجه به نگرش جامع و در یک مقیاس نسبتاً گسترده و با رویکرد موجود می‌تواند در آمایش سرزمین مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- اصغرپور، محمدجواد. (۱۳۹۲)، «تصمیم‌گیری‌های چند معیاره»، چاپ یازدهم، انتشارات دانشگاه تهران.
- بهرامی، شهرام. اکبری، الهه. معتمدی راد، محمد. (۱۳۹۳)، تحلیل ژئومتری حوضه‌های زهکشی با استفاده از شواهد ژئومورفولوژی تکتونیک (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی صدخرو، کلاته سادات، فاروب رومان و گلیان)، *فصلنامه فضای جغرافیایی*، دوره ۱۴، شماره ۴۸، ۲۲۲-۱۹۹.
- بهرامی، شهرام. معتمدی راد، محمد. اکبری، الهه. (۱۳۹۲)، بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های کمی شبکه زهکشی (مطالعه موردی: چهار حوضه زهکشی در شمال شرق کشور). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، سال سوم، شماره ۱۲، ۱۰۲-۸۵.
- بیاتی خطیبی، مریم. (۱۳۸۸)، تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیک حوضه آبخیز قرقچای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک. *فصلنامه فضای جغرافیایی*. سال نهم. شماره ۲۵، ۵۰-۲۵.
- حبیب‌پورگتایی، کرم. صفری شالی، رضا. (۱۳۸۸)، راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی (تحلیل داده‌های کمی)، تهران نشر لویه.
- درویش زاده، علی. (۱۳۸۵). *زمین‌شناسی ایران (چاپ دوم)*، تهران: انتشارات امیرکبیر.
- رجبی، معصومه. سلیمانی، ابوالفضل. (۱۳۹۲)، شبکه‌های رودخانه‌ای ناموافق در بخش شرقی دامنه شمالی میشوداغ و نقش فعالیت‌های تکتونیک در شکل‌گیری آن، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دوره ۱۷، شماره ۴۵، ۱۲۰-۹۷.
- رضائی‌مقدم، محمد حسین. خیری زاده آروق، منصور. (۱۳۹۳)، ارزیابی فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از شاخص‌های کمی ژئومورفیک (منطقه مورد مطالعه: بخشی از البرز شرقی در شمال استان سمنان)، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، سال پنجم، شماره ۱۸، ۳۶-۱۹.

- روستایی، شهرام. نیری، هادی. (۱۳۹۰). ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک با استفاده از نیم‌رخ طولی در حوضه‌ی آبخیز رودخانه مهاباد. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دوره ۱۶، شماره ۳۶، ۱۶۴-۱۴۵.
- روستایی، معصومه. آق آتابای، مریم. رقیمی، مصطفی. رحیمی چاکدل، عزیز. نعمتی، مجید. (۱۳۹۱). تحلیل فعالیت‌های نوزمین‌ساختی با استفاده از شواهد ریخت زمین‌ساختی در حوضه آبخیز قره‌سو، جنوب باختر استان گلستان. *فصلنامه زمین‌شناسی ایران*. سال ششم، شماره ۲۴، صفحات ۶۵-۵۵.
- زمردیان، محمد جعفر. (۱۳۸۱). *ژئومورفولوژی ایران: فرایندهای ساختمانی و دینامیک‌های درونی (جلد ۱)*، مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- سلیمانی، شهریار. (۱۳۷۸). *رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه‌شناسی*، تهران: انتشارات مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- شهبابی، هیمن. قلی زاده، محمد حسین. نیری، هادی. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه با روش تحلیل چند معیاره فضایی، *جغرافیا و توسعه*. دوره ۹، شماره ۲۱، ۸۰-۶۵.
- عابدینی، موسی. شبرنگ، شنو. (۱۳۹۳). ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساخت در حوضه آبخیز مشکین‌چای از طریق شاخص‌های ژئومورفولوژی، *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، سال ۱۲، شماره ۳۵، ۶۶-۴۹.
- قبادی، محمد حسین. اصغری، ژیللا. گودرزی، ذبیح‌الله. (۱۳۹۰). بررسی پتانسیل لرزه‌خیزی شهرستان سنندج، پنجمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور، دانشگاه پیام‌نور استان زنجان، ایران.
- کرمی، فریبا. (۱۳۸۸). ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیک در حوضه‌ی زهکشی سعیدآباد چای. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، دوره ۴۱، شماره ۶۹، ۸۲-۶۷.
- گورابی، ابوالقاسم. نوحه‌گر، احمد. (۱۳۸۶). شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز درکه، *پژوهش‌های جغرافیایی*، دوره ۳۹، شماره ۶۰، ۱۹۶-۱۷۷.

- محمد نژاد آروق، وحید. (۱۳۹۵)، گسل‌های فعال و تأثیر آن‌ها بر تغییر شکل لندفرم‌های کواترنر شمال شرق دریاچه ارومیه، ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، دوره ۴۸، شماره ۱، ۱۰۶-۸۳.
- مختاری کشکی، داود. (۱۳۸۳)، شبکه‌های رودخانه‌ای ناموافق در بخش شرقی دامنه شمالی میشوداغ و نقش فعالیت‌های تکتونیکی در شکل‌گیری آن، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، شماره ۱۷، ۱۰۲-۸۳.
- مقصودی، مهران. جعفری اقدم، مریم. باقری، سجاد. مینایی، مسعود. (۱۳۹۰)، بررسی تکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی. *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۶، ۱۲۳-۱۰۷.
- منصوری، رضا. صفاری، امیر. (۱۳۹۴). تحلیل فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبخیز فرحزاد از طریق شاخص‌های ژئومورفیک. *فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*. دوره ۲۴، شماره ۹۵، ۱۰۶-۹۳.
- یمانی، مجتبی. علمی زاده، هیوا. (۱۳۹۲)، تأثیر نوزمین ساخت در مورفولوژی شبکه زهکشی حوضه آبخیزنچی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفومتریک. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، سال ۲۹، شماره اول ۲۲-۹.
- Bali, B.S. , wani, A.A., Khan, R.A., Ahmad, S (2016) . Morphotectonic analysis of the Madhumati watershed, northeast Kashmir Valley, *Arabian Journal of Geosciences*, Volume 9, Issue 5, pp 2395-2399 .
- Benvenuti, M.ab , Bonini, M.b, Moroni, A.c (2016) . Tectonic control on the Late Quaternary hydrography of the Upper Tiber Basin (Northern Apennines, Italy), *Geomorphology*, Volume 269, pp 85-103 .
- Bull. B. and McFadden, L. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Dohring, D. O (ed), *Geomorphology in arid regions*. Publ. In geomorphology, State University of New York, Binghamton. State University of New York. Binghamton, pp 115-138 .
- Chang, Z.ab , Sun, W.c, Wang, J.b (2015) . Assessment of the relative tectonic activity in the Bailongjiang Basin: insights from DEM-

- derived geomorphic indices, *Environmental Earth Sciences*, Volume 74, Issue 6, pp 5143-5153 .
- Chen, Y. C., Q. C. Sung, and K. Y. Cheng, (2003). Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis, *Geomorphology*, Volume 56, pp 109-137.
- Dai, Y.a , Wang, X.a , Wang, S.b, Li, Y.a, Lu, H.a (2016). The neotectonic activity of Wanchuan catchment reflected by geomorphic indices, *Acta Geographica Sinica*, Volume 71, Issue 3, pp 412-421 .
- 29-Font, M. Amorese, D. and Lagarde, J. L (2010). Dem and GIS Analysis of the Stream Gradient Index to Evaluate Effects of Tectonics. *Geomorphology*, pp 172-180 .
- Gasparini, N.M. , Fischer, G.C., Adams, J.M., Dawers, N.H., Janoff, A.M (2016). Morphological signatures of normal faulting in low-gradient alluvial rivers in south-eastern Louisiana, USA, *Earth Surface Processes and Landforms*, Volume 41, Issue 5, pp 642-657 .
- Giaconia, F. Rea, G. B. Martinez, J. M. M. Azañón, J. M. Peña, J. V. P. Romero, J. P(2012). Geomorphic evidence of active tectonics in the Sierra Alhamilla (eastern Betics, SE Spain), *Geomorphology*, pp 145-146 .
- Guarneri, P. and Pirrotta, C. (2008). The response of drainage basins to the late Quaternary tectonic in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 95, pp 260-273 .
- Kale, V. S. and Shejwalkar, N. (2008). Uplift along the Western Margin of the Deccan Basalt Province, pp. 959-971 .
- Keller, E. A. and Pinter, N. (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*, Prentice-Hall London .
- Luirei, K.a , Bhakuni, S.S.a, Kothyari, G.C.b (2015). Drainage response to active tectonics and evolution of tectonic geomorphology across

the Himalayan Frontal Thrust, Kumaun Himalaya, *Geomorphology*, Volume 239, pp 58-72 .

- Pirrota, C. , Barbano, M.S., Monaco, C (2016). Evidence of active tectonics in southern Calabria (Italy) by geomorphic analysis: The examples of the Catona and Petrace rivers, *Italian Journal of Geosciences*, Volume 135, Issue 1, pp 142-156 .
- Seeber, L., and V. Gornitz, (1983). River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. *Tectonophysics*, 92, pp 335-467 .
- Topal, S.a, Keller, E.b , Bufe, A.b, Koçyiğit, A.c (2016) . Tectonic geomorphology of a large normal fault: Akşehir fault, SW Turkey, *Geomorphology*, Volume 259, pp 55-69 .
- WDI(2004). Natural Disaster Hotspot: A Global Risk Analysis (the world Bank) WDI for some contrise.
- Yan, Z.a, Zhang, H.b , Fan, X.a, Du, X.a,(2015). Geomorphic indices of rivers and drainage in China's Longmen Shan Fault zone and their implications for regional tectonic activity, *Geodinamica Acta*, Volume 27, Issue 1, pp 48-59.