

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱۱۵

M. Rustaei
M. Aghataby, Ph.D
M. Raghimi, Ph.D
M. Nemati, Ph.D
A. Rahimi Chakdel, Ph.D

معصومه روستائی، کارشناس ارشد، زمین شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان
مریم آق آتابای، استادیار زمین شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان
مصطفی رقیمی، استاد زمین شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان
مجید نعمتی، استادیار زمین شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
عزیز رحیمی چاکدل، استادیار زمین شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان

E-mail: rustaeimasomeh@yahoo.com

شماره مقاله: ۹۸۳
صص: ۴۳-۵۶
پدیرش: ۹۳/۸/۲۸
وصول: ۹۳/۱۲/۲۲

بررسی زمین ساخت فعال دامنه شمالی البرز خاوری با استفاده از نشانه‌های زمین‌ریختی در حوضه آبریز گرگان‌رود

چکیده

مطالعه حاضر به منظور شناخت فعالیت‌های نوزمین ساختی حوضه آبریز گرگان‌رود در دامنه شمالی البرز خاوری، واقع در استان گلستان و با استفاده از محاسبه شاخص‌های ریخت زمین ساختی و شواهد زمین ساختی موجود در منطقه، صورت گرفته است. در این راستا، چهار شاخص زمین‌ریختی (شاخص‌های شیب‌رود، نامتقارنی حوضه زهکشی، تقارن توپوگرافی معکوس و پیچ و خم پیشانی کوهستان) محاسبه و نتایج به دست آمده از آنها تحلیل شد. نتایج کلی بررسی این ویژگی‌ها، به عنوان شاخص زمین ساخت فعال نسبی محاسبه شد و به چهار رده شامل مناطق خیلی فعال، فعال، متوسط تا مناطقی با فعالیت کم، تقسیم‌بندی شد. رده‌های بالای فعالیت زمین ساختی اغلب در جنوب و جنوب باختری حوضه گرگان‌رود به دست آمد؛ در حالی که بقیه ناحیه دارای رده‌های متوسط تا کم است. از سوی دیگر، بالا بودن مقادیر بردارهای عدم تقارن توپوگرافی در شاخه اصلی رودخانه گرگان‌رود به‌طور واضح حاصل عملکرد گسل‌های کاسپین و در بخش‌های جنوبی این حوضه تحت تأثیر فعالیت انشعابات گسل شمال البرز و گسل خوش‌یلاق است. همسو بودن روند افزایشی شاخص کج‌شدگی در منطقه، با وضعیت گسل‌ها، تأکیدی بر وجود یک ناحیه ساختاری فعال در بخش باختری منطقه مورد مطالعه است. از دیگر نتایج این پژوهش، پایین بودن مقادیر محاسبه شده شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان و مقادیر بالای شاخص شیب رود است.

میزان فعالیت زمین ساختی در این ناحیه از شمال به جنوب افزایش می‌یابد. این افزایش می‌تواند به موقعیت نقاط اوج شاخص شیب رودخانه‌ها در راستای گسل‌ها و پاره‌های گسلی وابسته باشد. همچنین، مقدار نامتقارنی حوضه زهکشی در بیشتر زیرحوضه‌های این منطقه بیشتر یا کمتر از ۵۰ محاسبه شده است که نشان‌دهنده انحراف حوضه‌ها به سوی باختر یا خاور هر آبراهه است. مقایسه بلندی بردارهای عدم تقارن در منطقه، به گونه‌ای آشکار با میزان کج‌شدگی و نوع رده فعالیت زمین ساختی منطقه متناسب است.

از سوی دیگر، نتایج به دست آمده از بررسی شاخص زمین ساخت فعال نسبی در ناحیه مذکور، بیانگر تمرکز مناطقی با فعالیت خیلی بالای زمین ساختی در بخش مرکزی حوضه گرگان رود است. در حالی که سایر مناطق دارای رده های متوسط تا بالای فعالیت زمین ساختی هستند، این امر مؤید فعال بودن منطقه مذکور از نظر نوزمین ساختی است.

واژه های کلیدی: زمین ساخت، ریخت زمین ساخت، حوضه آبریز گرگان رود، شاخص های زمین ریختی، البرز خاوری.

مقدمه

بررسی های ریخت زمین ساختی در برگیرنده ابزارهای اساسی و مؤثر در تشخیص اشکال زمین ساختی فعال است. در سال های اخیر، مطالعات ریخت زمین ساختی یکی از ابزارهای مهم برای تشخیص و کمی نمودن فعالیت های زمین ساختی بوده است. ارزیابی کامل فعالیت های زمین ساختی؛ به خصوص حرکات زمین ساختی معاصر و خطرهای ناشی از آن، به شناخت کامل از سرعت و آرایش فرآیندهای زمین ریخت شناسی نیاز دارد. به همین روی، روش های مورفومتریک نقش مهمی را در تشخیص پدیده های زمین ریخت شناسی که نسبت به حرکات زمین ساختی فعال حساس هستند و همزمان با آنها تغییر می کنند، بازی می نماید (کلر و پینتر^۱، ۲۰۰۲: ۱۲۱).

از میان مناظر طبیعی، شبکه زهکشی می تواند نشانه های خوبی از زمین ساخت فعال را منعکس نماید. فعالیت زمین ساختی در تکامل ریخت شناسی حوضه های زهکشی نقش بسزایی را ایفا می کند که به خوبی توسط پارامترهای ریخت زمین ساختی، رودخانه ای و ساختمانی منعکس می شود. از جمله اشکال محیطی که نسبت به وقوع تغییرات زمین ساختی عکس العمل نسبتاً سریعی نشان می دهند، رودخانه ها هستند (آجار و دینسر^۲، ۲۰۰۵: ۲) و (آمرسون و همکاران^۳، ۲۰۰۷: ۲۲). در این تحقیق از شاخص های مورفومتریک برای بررسی فعالیت زمین ساختی حوضه آبریز گرگان رود، واقع در استان گلستان استفاده شده است. بررسی فعالیت های زمین ساختی با استناد به تغییرات مسیر جریان رودخانه ها و حتی بررسی اثرهای فعالیت های زمین ساختی بر تغییرات و جابه جایی ها با استفاده از انواع شاخص های ریخت زمین ساختی از سابقه نسبتاً طولانی برخوردار است؛ اما شاید از برجسته ترین پژوهشگرانی که بتوان به کارهای علمی آنها استناد نمود، بال باشد. پژوهش های دیگری نیز در غالب شاخص شیب رود و نیمرخ طولی رودخانه براساس مدل هافمن^۴ (۲۰۰۶)، استفانچیکووا^۵ و همکاران (۲۰۰۸)، بیاتی خطیبی (۱۳۸۸)، کرمی (۱۳۸۸) و روستایی (۱۳۸۸) و یا به صورت ترکیب و رده بندی شاخص های مربوط به پیشانی کوهستان، مانند: پژوهش های ارفع نیا (۱۳۸۹) و خادمی (۱۳۸۹) صورت گرفته است. همدونی^۶ و همکاران (۲۰۰۸) برای نخستین بار با استفاده از شش شاخص ریخت زمین ساختی به ارزیابی نسبی زمین ساخت فعال در حوضه نوادا در جنوب اسپانیا پرداخت. وی با محاسبه و رده بندی شاخص های مذکور و گرفتن

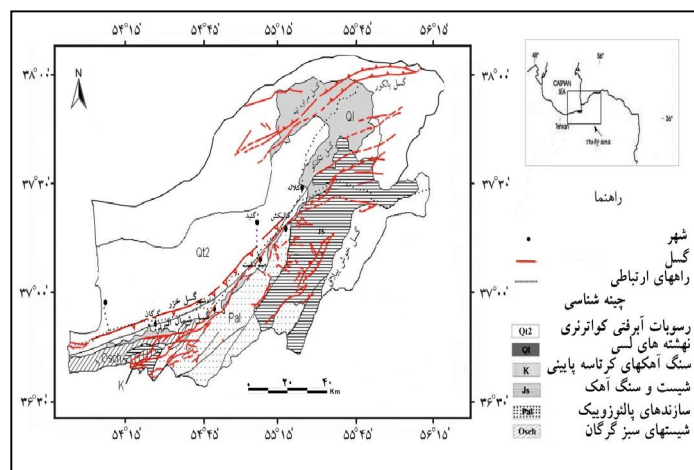
- 1-Keller and Pinter
- 2-Acar and Dincer
- 3- Amerson et al
- 4- Hafmann
- 5- Stepancikova
- 6- El Hamdouni et al

میانگین (شاخص S/N)، در نهایت در چارچوب مدل IAT به رده‌بندی زمین ساخت فعال به چهار رده بسیار فعال تا فعالیت نسبتاً کم پرداخت که بعدها این مدل در بسیاری از مناطق استفاده شد و نتایج قابل قبولی را به دست آورد (خاوری و همکاران، ۲۰۰۹؛ خسروی، ۱۳۸۸؛ مقصودی، ۱۳۹۰؛ ده‌بزرگی و همکاران، ۲۰۱۰). اما در این ناحیه هیچ‌گونه تحقیقی در رابطه با این روش صورت نگرفته است. در این پژوهش، از این روش کمی برای تعیین میزان فعالیت زمین-ساختی حوضه گرگانرود استفاده شده است. البته، با توجه به این که روند رودخانه گرگانرود در دشت به صورت مثاندی است و با توجه به عملکرد گسل‌های این منطقه می‌توان به ارتباط تنگاتنگ بین ساختارهای گسلی و فعالیت زمین‌ریختی مربوط به آنها بر روی گسترش حوضه آبریز رودخانه پی‌برد.

جایگاه زمین‌شناسی و زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه

گستره مورد مطالعه در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 36'$ و $51^{\circ} 37'$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $55^{\circ} 53'$ و $25^{\circ} 56'$ خاوری جای گرفته است. در این پژوهش حوضه آبریز گرگانرود معرفی و بررسی شده است. حوضه یاد شده یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبریز در بخش خاوری و میانی استان گلستان است که در خاور حوضه خزر جای گرفته، گرگان و قسمت اعظمی از دشت گرگان را در بر می‌گیرد. این حوضه از شمال و خاور به حوضه آبریز اترک، از جنوب به حوضه‌های آبریز شاهرود و دامغان و از جنوب باختری به حوضه‌های آبریز قره‌سو و نکارود محدود می‌شود (شمعانیان و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۹۰). رودخانه‌های تشکیل دهنده این حوضه از باختر به خاور عبارتند از: قرن‌آباد (امامزاده)، تقی-آباد (جعفرآباد)، محمدآباد، کبودوال، رامیان، قره‌چای (خرمالو)، نرماب (پس پشته)، قلی‌تپه، گالیکش، تنگراه، زاو، قره‌ناوه و ساری‌سو که از ارتفاعات جنوبی و شمال خاوری حوضه سرچشمه گرفته و پس از عبور از دشت گنبد و گرگان در مجاورت روستای ماهی به دریای مازندران می‌ریزند (شهرضا و همکاران، ۱۳۸۸: ۵ و ۴).

با توجه به نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (شکل ۱)، مجموعه سازندهای پالئوزوئیک، شیبست‌های سبز گرگان، سنگ آهک‌های ژوراسیک و سنگ آهک‌های کرتاسه پایانی، از مهمترین واحدهای سنگ‌چینه‌ای در این منطقه هستند (صالحی‌راد و همکاران، ۱۳۶۹). در این میان، سازندهای لار و مزدوران با سن ژوراسیک بالایی بیشترین برونزد را در منطقه مورد مطالعه دارند. واحدهای سنگ‌چینه‌ای سنوزوئیک دارای گسترش محدودی در این منطقه است. نهشته‌های لسی از گسترده‌ترین رسوبات دوران چهارم نیز در این ناحیه به صورت تپه‌ماهورهایی برونزد دارد (شمعانیان و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۹۳). مهمترین ساختارهای فعال منطقه مورد مطالعه را گسل‌های کاسپین (خزر) و شمال البرز تشکیل می‌دهند. این گسل‌ها با روند شمال خاور- جنوب باختر تا شمال باختر- جنوب خاور و سازوکاری رانندگی یا راستالغز چپ بر با مؤلفه معکوس در پهنه ساختاری البرز گزارش شده است (شاه‌پسندزاده، ۱۳۸۳: ۳).



شکل ۱) نقشه زمین شناسی ساده شده و گسل های کواترنری و جنبه از گستره مورد مطالعه و پیرامون آن (با تغییراتی از صالحی راد و همکاران، ۱۳۶۹)

داده‌ها و روش پژوهش

در این پژوهش، به منظور بالا بردن دقت در محاسبه شاخص های زمین ریختی حوضه آبریز گرگانرود، برای ارزیابی فعالیت های نوزمین ساختی در بخش های مختلف، از مدل ارتفاعی رقومی^۷ (DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متر و دقت ارتفاعی بیش از ۶ متر بر مبنای نقشه های ارتفاعی رقومی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شده است. برای استخراج شبکه آبراهه ها و رتبه بندی آنها برای استفاده در محاسبات شاخص های نوزمین ساختی، مدل رقومی ارتفاعی منطقه در نرم افزار Arc GIS9.2 و Global mapper و براساس روش استرال^۸ از ۱ تا ۵ رتبه بندی شد. با استفاده از این مدل، شاخص های زمین ریختی برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد که عبارتند از: شاخص شیب رود^۹ (SL)، نامتقارنی حوضه زهکش^{۱۰} (Af)، شاخص تقارن توپوگرافی معکوس^{۱۱} (T)، پیچ و خم پیشانی کوهستان^{۱۲} (Smf). در انتها، با محاسبه و رده بندی شاخص های مذکور و گرفتن میانگین (شاخص S/N)، در نهایت براساس روش ارائه شده توسط همدونی و همکاران (۲۰۰۸) در چارچوب مدل IAT به رده بندی زمین ساخت فعال به چهار رده بسیار فعال تا نسبتاً دارای فعالیت کم ارزیابی شد.

شاخص شیب رود

برای تعیین این که آیا رودخانه به تعادل رسیده است یا نه، می توان از شاخصی با عنوان شاخص شیب رود استفاده

7- Digital Elevation Model (DEM)

8- Strahler

9- Stream- gradient index

10- Drainage basin asymmetry

11- Transverse topographic symmetry factor

12- Mountain- front sinuosity

13- Chen et al

نمود. این شاخص که تأثیر تغییرات محیطی بر روی نیمرخ‌های طولی رودخانه را نشان می‌دهد، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$SL = (\Delta H / \Delta L)L \quad (1)$$

در این رابطه SL : شاخص شیب رودخانه، ΔH : اختلاف ارتفاع در یک مقطع خاص از رودخانه، ΔL : فاصله افقی همان محل و یا $(\Delta H / \Delta L)$ شیب بخشی از مجرا و L : طول رودخانه از نقطه مرکزی همان محل تا سرچشمه رودخانه است. این شاخص برای ارزیابی زمین ساخت فعال نسبی مفید است (کلر و پنتر، ۲۰۰۲: ۱۲۶ و ۱۲۷). شاخص شیب رود به تغییرات شیب رودخانه بسیار حساس است. این حساسیت برآورد میزان روابط موجود بین فعالیت‌های زمین ساختی، مقاومت سنگ و توپوگرافی را امکان‌پذیر می‌سازد. این شاخص در مناطقی که بستر رودخانه از سنگ‌های سخت عبور می‌کند، افزایش می‌یابد. میزان SL در مناطق فعال تکتونیکی زیاد است (کلر و پنتر، ۱۹۹۶: ۱۳۰؛ سلیمانی، ۱۳۷۸: ۵۸). شاخص SL به ساختمان سنگ‌شناسی بسیار حساس است. در مطالعه‌ای که چن و همکاران^{۱۳} (۲۰۰۳) در تایوان انجام دادند، دریافتند که هر اندازه طول رودخانه بیشتر باشد، رودخانه مورد نظر کمتر تحت تأثیر ساختمان سنگ‌شناسی بستر خود است و هر چه طول رودخانه کمتر باشد، بیشتر تحت تأثیر ساختمان سنگ‌شناسی بستر رودخانه است. برای محاسبه این شاخص، ابتدا نیمرخ طولی آبراهه اصلی ۱۳ حوضه از روی نقشه توپوگرافی تهیه و در فواصل ۱۰۰ متر شاخص شیب رود آن محاسبه شد. برای تمام مسیر رودخانه این کار از سرچشمه تا خروجی حوضه به ترتیب ۱۰۰ متر انجام گرفت و از تمام شاخص‌های به دست آمده، میانگین گرفته شد تا SL کل رودخانه به دست آید. که این مقادیر شاخص شیب رود توسط همدونی و همکاران (۲۰۰۸) به سه دسته طبقه‌بندی شده است: رده ۱ ($SL \geq 500$) با بی-هنجاری بالا، رده ۲ ($300 \leq SL < 500$) با بی‌هنجاری کم و رده ۳ ($SL < 300$) بدون بی‌هنجاری (جدول ۱).

نامتقارنی حوضه زهکشی

این شاخص برای اثبات زمین ساخت فعال و ارزیابی کج‌شدگی زمین ساختی در حوضه آبریز یک منطقه به کار برده می‌شود. در مناطقی که دارای فعالیت زمین ساختی بالایی هستند، اغلب در یک سوی این مناطق اثرهای توپوگرافی به صورت بالاآمدگی تظاهر پیدا می‌کند و به تبع آن در سوی دیگر، به فرونشست منجر می‌شود. طول آبراهه‌های فرعی در سمت مناطق بالاآمده بیش از طول آبراهه‌های نواحی فرونشسته خواهد بود. این شاخص براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$AF = 100 (Ar/At) \quad (2)$$

در این رابطه At مساحت کل حوضه و Ar مساحت سمت راست حوضه (دید به سمت پایین دست) است. این شاخص به تغییر میزان کج‌شدگی در راستای عمود بر روند مجرا حساس است. اگر حوضه‌ای در شرایط پایدار، بدون کج‌شدگی یا با مقدار کم باشد، شاخص AF برابر ۵۰ است. مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ بیانگر کج‌شدگی حوضه است که می‌تواند در نتیجه فعالیت زمین ساختی یا ساختارهای حاصل از خصوصیات سنگ‌شناسی باشد (کلر و پنتر، ۲۰۰۲: ۱۲۳ و ۱۲۵).

شاخص تقارن توپوگرافی معکوس

یکی دیگر از شاخص‌های کمی که برای ارزیابی عدم تقارن حوضه استفاده می‌شود، عامل تقارن توپوگرافی معکوس است. این شاخص که برای ارزیابی میزان عدم تقارن یک رودخانه درون حوضه و تغییرات میزان نامتقارنی در بخش‌های مختلف دره به کار می‌رود، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$T = Da/Dd \quad (۳)$$

در رابطه فوق Da فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا کمر بند فعال مئاندری حوضه (مسیر رود اصلی) و Dd فاصله خط میانی حوضه و خط تقسیم آب است. خط میانی حوضه جایی است که رودخانه به صورت متقارن نسبت به دره قرار گرفته است و با توجه به طول‌ترین محور حوضه رسم می‌شود.

برای حوضه‌های کاملاً متقارن، $T = 0$ است. با افزایش عدم تقارن، شاخص T افزایش پیدا می‌کند و در نهایت به ۱ نزدیک می‌شود. فرض بر این است که شیب طبقات بر مهاجرت کانال اصلی رودخانه تأثیر ناچیزی داشته است. در این صورت، مهاجرت عمومی و دلیلی بر کج‌شدگی زمین در جهت خاص است. بنابراین، مقدار T بین ۰ و ۱ متغیر است که این بیانگر حداقل و حداکثر نامتقارنی یک بخش است (کلر و پنتر، ۲۰۰۲: ۱۲۶).

در این مرحله از پژوهش، تمام رودخانه‌ها و آبراهه‌ها به قطعه‌هایی با طول ۴ کیلومتر تقسیم‌بندی شدند و آنهایی که طول کمتر از ۴ کیلومتر داشتند، از محاسبه حذف شدند. بردارهای میزان کج‌شدگی برای رودخانه گرگان‌رود و آبراهه‌های آن برای مقایسه با نتایج شاخص‌های زمین‌ریختی ناحیه رسم شدند.

پیچ و خم پیشانی کوه

این شاخص، تعادل بین نیروهای فرسایشی را که میل به ایجاد سینوسیته و نیروهای زمین‌ساختی که تمایل به ایجاد خط مستقیم دارد، بیان می‌کند که براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود (کلر و پنتر، ۲۰۰۲: ۱۳۴).

$$Smf = Lmf/Ls \quad (۴)$$

در این رابطه Lmf طول پیشانی کوه در طول معینی از دامنه کوه، جایی که شیب بین کوه و حوضه پیشانی تغییر می‌کند و Ls طول خط مستقیمی است که ابتدا و انتهای همان پیشانی کوه را به هم متصل می‌کند. بدیهی است هر چه پیشانی کوه مستقیم‌تر باشد، مقادیر Ls و Smf به هم نزدیک‌تر بوده و شاخص سینوسیته کوچک‌تر خواهد شد و به ۱ نزدیک‌تر می‌شود که این مقدار خاص نواحی فعال زمین‌ساختی است؛ در حالی که اگر نرخ بالاآمدگی کاهش یابد، فرایندهای فرسایشی شروع به تشکیل یک پیشانی نامنظم می‌کنند و در این صورت، مقدار Smf افزایش می‌یابد. مقادیر کمتر از ۱/۴ پیشانی‌های فعال زمین‌ساختی را نشان می‌دهد؛ در حالی که مقادیر بیشتر از ۳ به پیشانی‌های غیر فعال مربوط می‌شود (کلر و پنتر، ۲۰۰۲: ۱۳۶).

در این روش نتایج مربوط به هر شاخص، به سه رده فعالیت زمین‌ریختی تقسیم‌بندی شده است. میانگین رده‌های تمام شاخص‌های محاسبه شده برای هر زیرحوضه خود به سه رده فعالیت زمین‌ساختی تقسیم شد (جدول ۱).

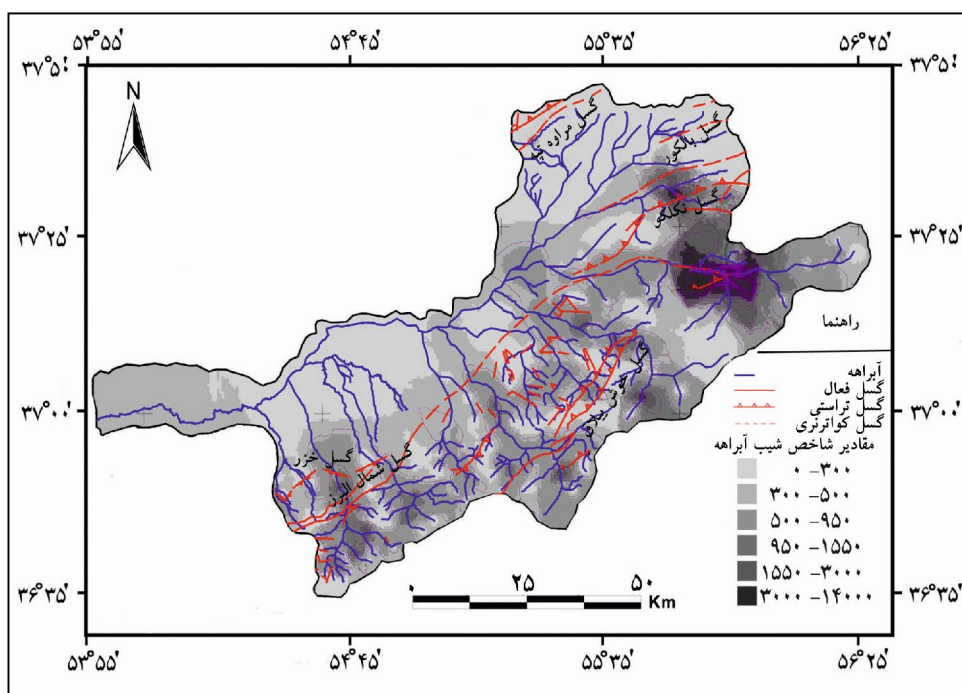
جدول ۱) طبقه‌بندی شاخص‌های زمین‌ریختی (همدوننی و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۶۸)

رده	پیچ و خم کوهستان (Smf)	طول شیب رودخانه (SL)	عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)
۱	$1/1 >$	میزان ناهنجاری بالا	$ Af - 50 > 15$
۲	$1/1 - 1/5$	میزان ناهنجاری پایین	$ Af - 50 = 7 - 15$
۳	$1/5 <$	بدون ناهنجاری	$ Af - 50 < 7$

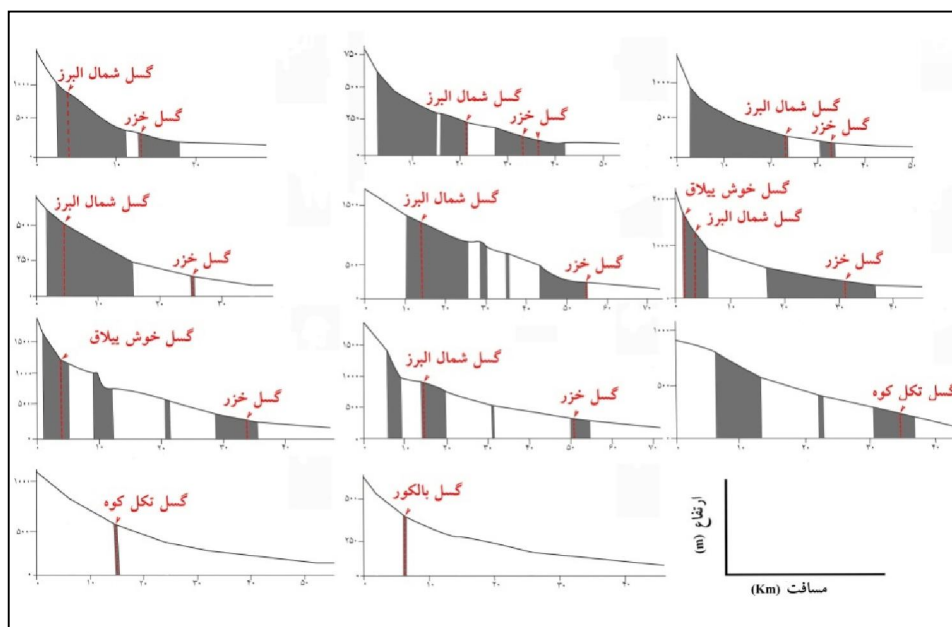
یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از بررسی مورفوتکتونیکی منطقه مورد مطالعه بر پایه اندازه‌گیری‌های توپوگرافی، بررسی الگوهای شبکه آبراهه-ای و نیمرخ طولی آبراهه‌ها، گویای این است که منطقه مورد نظر تا حدّ زیادی از فعالیت ساختارهای منطقه؛ بویژه گسل کاسپین (خزر) و شمال البرز تأثیر پذیرفته است. مهمترین نقش فعالیت این گسل‌ها در شکل‌گیری روند رودخانه گرگانرود در این منطقه بوده است؛ به گونه‌ای که جبهه کوهستان با مسیر گسل خزر منطبق است و به نظر می‌رسد انحراف و عدم تقارن رودخانه اصلی گرگانرود از فعالیت گسل خزر در دشت پیروی می‌کند.

در حوضه گرگانرود میزان متوسط شاخص شیب‌رود برای آبراهه‌های اصلی ۱۳ زیرحوضه از نواحی مرتفع تا مصب رودخانه محاسبه شد (جدول ۳). این میزان متوسط بین ۵۵/۹۶ در حوضه قلی تپه تا ۱۰۰۸/۸۴ در حوضه تنگراه متغیر است. در یک ارزیابی کلی، می‌توان بیان کرد که میزان بی‌هنجاری این شاخص در خاور این حوضه آبریز؛ به خصوص در زیر حوضه تنگراه بیشتر از بخش‌های شمالی و باختری به خوبی مشهود است. البته، این بی‌هنجاری در نواحی جنوبی نیز به نسبت بالاتر از نواحی شمالی این حوضه است. بالا بودن شاخص شیب‌رود در بخش خاوری و جنوب خاوری حوضه گرگانرود می‌تواند در ارتباط با فعالیت گسل‌های منطقه و یا تحت تأثیر سنگ‌شناسی آن منطقه باشد. برای نمایش تغییرات این شاخص در این ناحیه، نقشه این شاخص ترسیم شد که به طور آشکار افزایش میزان فعالیت زمین‌ساختی را از شمال به جنوب و جنوب خاوری حوضه نشان می‌دهد (شکل ۲). در این نقشه موقعیت نقاط اوج شاخص شیب رودخانه‌ها در امتداد گسل‌ها و پاره‌های گسلی منطبق است. در قسمت جنوب-خاوری حوضه آبریز گرگانرود وجود یک سری گسل‌های عرضی، علاوه بر گسل‌های راندگی، علت افزایش فعالیت زمین-ساختی این منطقه هستند. بی‌هنجاری بالای شاخص شیب‌رود بیشتر در بخش‌های کوهستانی و تا حدودی مربوط به بخش‌های کوهپایه‌ای است و میزان بی‌هنجاری در دشت گنبد و گرگان به کمترین حدّ خود می‌رسد. این وضعیت تا حدود زیادی متأثر از سنگ‌شناسی موجود در منطقه است؛ زیرا در بخش‌های کوهستانی سازندهای سخت، از جمله سازند خوش‌یلاق، سازند مبارک، سازند جیرود و واحدهای کربناته لار برونزد دارند و از آنجا که این سازندها از سنگ‌های نسبتاً مقاوم تشکیل شده‌اند، دارای مورفولوژی بلند و صخره‌ساز هستند؛ بنابراین، موجب افزایش نسبی شاخص شیب در این ناحیه شده‌اند و این در حالی است که در نواحی کوهپایه‌ای و دشت‌ها واحدهای فوق‌الذکر اصلاً حضور ندارند.



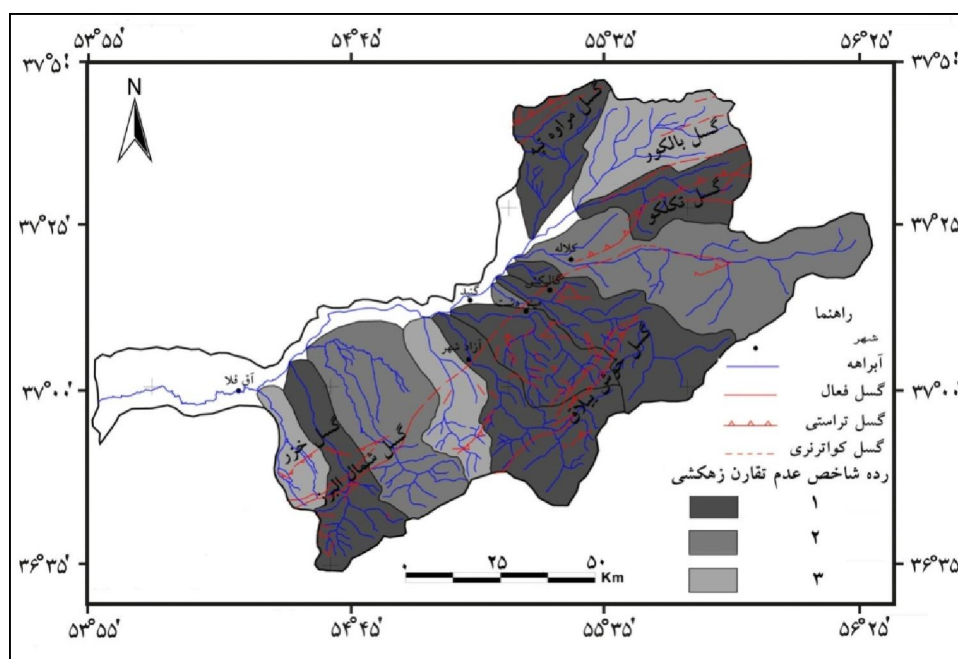
شکل ۲) نقشه تغییرات شاخص شیب آبراهه‌ها (SL)، در شبکه زهکشی رودخانه گرگان‌رود



شکل ۳) نیمرخ‌های طولی رودخانه‌های اصلی زیرحوضه‌های گرگان‌رود (از چپ به راست)

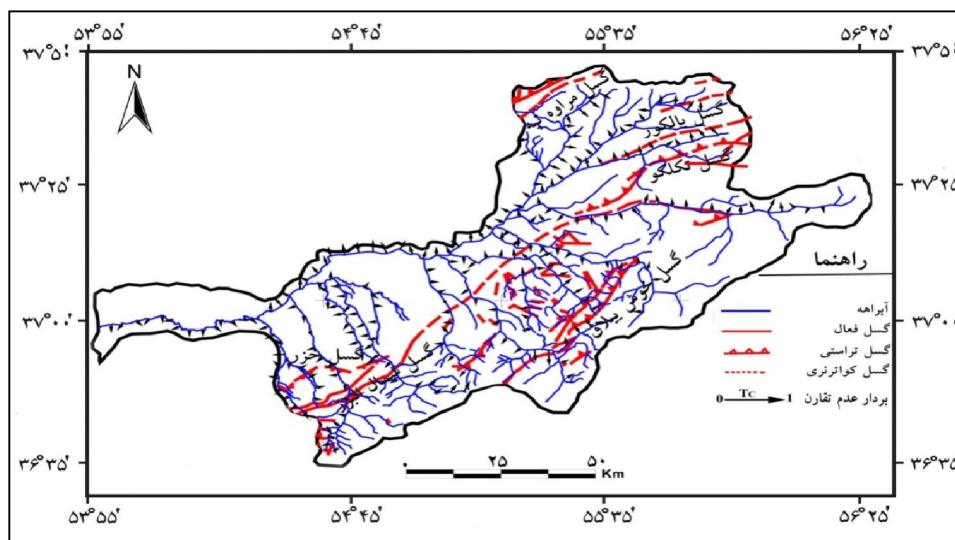
بخش‌های خاکستری بیان‌کننده تغییرات اصلی گرادیان قائم مرتبط با فعالیت بالای زمین‌ساختی و تغییرات سنگ‌شناسی است. برای درک روشن‌تر تغییرات شاخص شیب هر آبراهه (SL) نیمرخ‌هایی از شیب چند آبراهه که در آن تغییرات شاخص SL مشهود بود، تهیه شد (شکل ۳). همان‌طور که در شکل (۳) مشهود است، در برخی از بخش‌های خاکستری نیمرخ‌ها، اثر مقاومت سنگ‌ها در برابر فرسایش موجب افزایش و یا کاهش مقدار شاخص شیب آبراهه‌ها شده است. مقادیر شاخص نامتقارنی حوضه

زهکشی با توجه به جدول (۳) نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های محمدآباد، گالیکش، نرماب، قره‌چای، زاو و ساری سو بیشترین میزان انحراف را دارا هستند. همچنین، این مقادیر بیانگر شرایط ناپایدار زیرحوضه‌ها ست که این ناپایداری می‌تواند در نتیجه فعالیت زمین‌ساختی یا ساختارهای حاصل از ویژگی‌های سنگ‌شناسی منطقه باشد. نکته قابل توجه این است که اکثر زیرحوضه‌های خاوری و میانی این حوضه آبریز نسبت به زیرحوضه‌های باختری آن کج‌شدگی بالاتری نشان می‌دهند که به احتمال زیاد، به فعالیت گسل‌های منطقه، از جمله گسل خزر، خوش بیلاق و انشعابات گسل شمال البرز مربوط است. از سوی دیگر، می‌توان این میزان کج‌شدگی را احتمالاً به برخورد این رودها با مجموعه سنگ‌های دگرگون شده گرگان مربوط دانست که در زیر سنگ‌های مزوزوئیک واقع شده‌اند (شکل ۴).



شکل ۴) نقشه نامتقارنی در شبکه زهکشی گرگانرود

با توجه به مقادیر به‌دست آمده از بردارهای عدم تقارن توپوگرافی در جدول (۳)، بیشترین مقادیر حاصل از این شاخص در این حوضه مربوط به شاخه اصلی گرگان‌رود و تنگراه (مسیرهای ۱۲ و ۱۰) است و در بقیه زیرحوضه‌های این حوضه، میزان کج‌شدگی در بخش‌های جنوبی آنها به بیشترین حد خود رسیده است (شکل ۵ و جدول ۲). در بخش‌های جنوبی این حوضه کج‌شدگی بیشتر تحت تأثیر فعالیت انشعابات گسل شمال البرز و گسل خوش بیلاق است. جهت کج‌شدگی در این حوضه و زیر حوضه‌ها بیشتر به سمت شمال (به سمت دشت گرگان)، خاور و یا شمال خاور است، که می‌توان بیشتر انحراف این آبراهه‌ها را در ارتباط با فعالیت بالای زمین‌ساختی در این منطقه دانست. همچنین، مقایسه بردارهای عدم تقارن در این حوضه با میزان و رده شاخص شیب رود به طور آشکار همخوانی خوبی را نمایان می‌سازند و فعالیت بالای زمین‌ساختی با نواحی که رودخانه‌ها میزان بالای کج‌شدگی را نشان می‌دهند، مطابقت دارد (شکل ۵).



شکل ۵) بردارهای عدم تقارن در حوضه رودخانه گرگانرود و ارتباط طول آنها با گسل‌های ناحیه

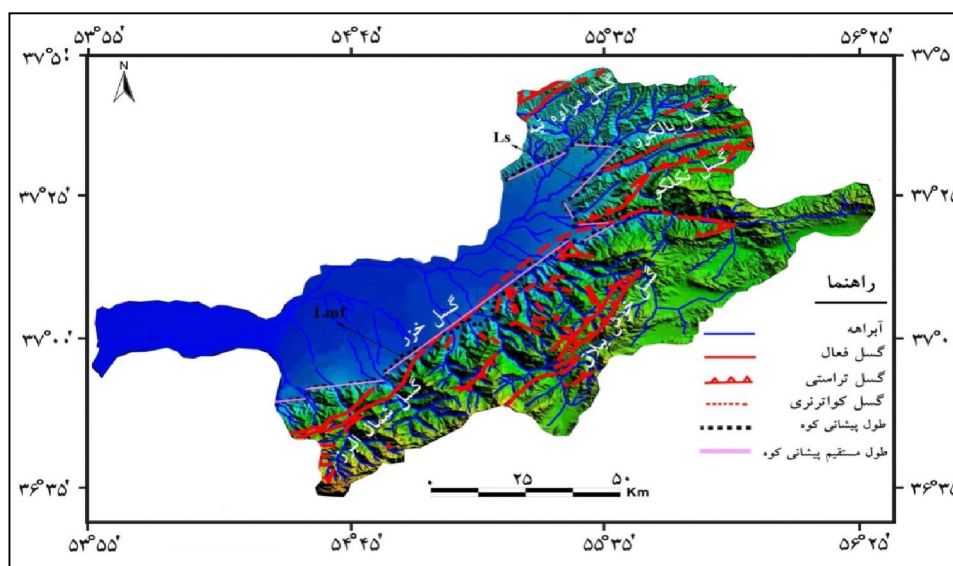
در این پژوهش برای محاسبه شاخص پیشانی کوهستان (Smf) در منطقه مورد مطالعه ۱۱ پیشانی گسلی بررسی شد. مقادیر این شاخص در این ناحیه بین ۱/۰۲ تا ۱/۷ متغیر است (جدول ۳). مقدار شاخص سینوسی بودن جبهه کوهستان هم در بخش باختری و هم در بخش جنوب خاوری افزایش پیدا کرده است، که این وضعیت، گویای افزایش فعالیت جبهه کوهستان در این نواحی از منطقه مورد مطالعه است. همچنین، براساس تقسیم‌بندی‌های ذکر شده در جدول (۱)، میانگین این شاخص برای کل حوضه گرگانرود برابر ۱/۲۴ است که این ناحیه در رده ۲ قرار می‌گیرد و می‌توان فعالیت بالای زمین‌ساختی را مرتبط با فعالیت گسل خزر در نظر گرفت (شکل ۶).

جدول ۲) شاخص تقارن توپوگرافی معکوس در حوضه گرگانرود

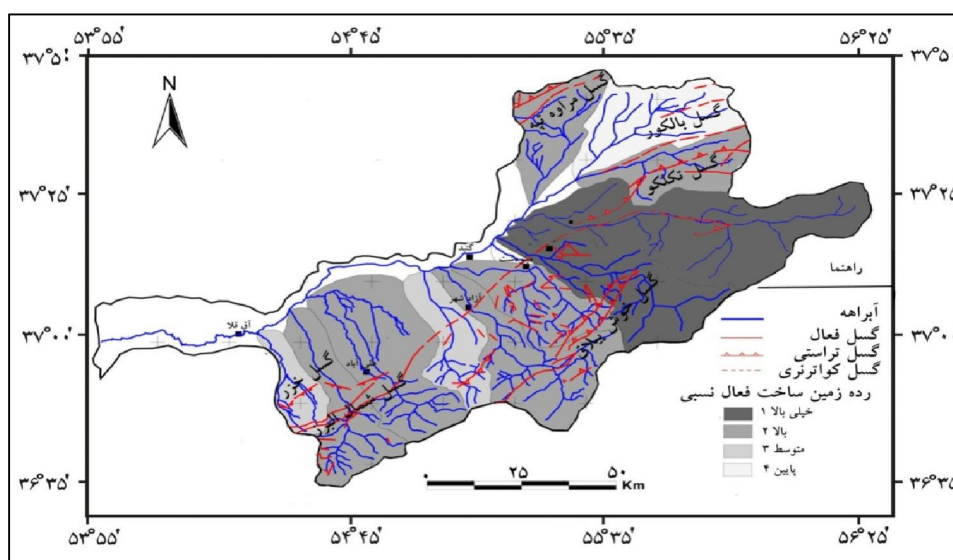
T	Dd	Da	تعداد مسیرهای مورد ارزیابی
۰/۴۹	۵/۱۷۳	۲/۶۶۲	۱
۰/۲۷	۶/۳۷	۲/۱۶۴	۲
۰/۳۴	۱۱/۶۹۰	۴/۱۸	۳
۰/۱۸۹	۶/۲۲۶	۱/۱۹۹	۴
۰/۳۶	۸/۵۷۴	۲/۸۶۸	۵
۰/۴۴	۵/۵۰۱	۲/۸۱۱	۶
۰/۱۹	۸/۸۷۳	۱/۶۵۰	۷
۰/۳۴	۳/۰۷۳	۱/۹۹	۸
۰/۳۴	۹/۱۲	۶/۳۹۳	۹
۰/۵۹۶	۱۴/۸۹	۴/۷۹۹	۱۰
۰/۴۶	۶/۵۶۲	۳/۴۷۵	۱۱
۰/۶۲	۲۶/۱۹	۱۷/۶۱	۱۲

در انتها، براساس روشی که همدونی و همکاران (۲۰۰۸) ارائه کرده‌اند، شاخص زمین ساخت فعال نسبی حوضه رودخانه گرگان رود ارزیابی شد. این شاخص با میانگین گیری از رده‌های شاخص‌های زمین ریختی (S/n) در هر زیرحوضه محاسبه می‌شود که خود شامل چهار رده است. رده اول، فعالیت زمین ساختی خیلی بالا با میزان S/n بین ۱ تا ۱/۵؛ رده دوم، فعالیت زمین ساختی بالا با S/n بین ۱/۵ تا ۲؛ رده سوم، فعالیت زمین ساختی متوسط با S/n بین ۲ تا ۲/۵ و رده چهارم، فعالیت زمین ساختی پایین با S/n بیشتر از ۲/۵ را نشان می‌دهد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸). شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) برای ۱۳ زیر حوضه در ناحیه مورد مطالعه محاسبه (جدول ۳) و نتایج آن در شکل (۷) ترسیم شده است.

در ناحیه مورد مطالعه، بیش از نیمی از مساحت کل حوضه گرگانرود در رده فعالیت زمین ساختی نسبی خیلی بالا و بالا قرار گرفته است و در مجموع، نتایج نشان می‌دهند که محدوده حوضه رودخانه گرگانرود از نظر زمین ساختی فعال است (شکل ۷).



شکل ۶) خطوط مستقیم به عنوان پیشانی‌های گسلی منطقه برای محاسبه مقادیر شاخص پیشانی کوه (Smf)



شکل ۷) پراکندگی شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) در حوضه گرگانرود و ارتباط آن با گسل‌های ناحیه

جدول ۳) تقسیم‌بندی شاخص‌های زمین‌ریختی و زمین‌ساخت فعال نسبی در زیر حوضه‌های گرگانرود

شماره	زیرحوضه	SL	رده (SL)	AF-۵۰	رده (AF)	smf	رده (smf)	(s/n)	رده (lat)
۱	قرن‌آباد	۳۵۹/۰۶	۲	-۳/۰۳	۳	۱/۲۶	۲	۲/۳	۳
۲	محمدآباد	۷۳۳/۷۰	۱	-۴۳/۴۹	۱	۱/۲۵	۲	۱/۳	۱
۳	کبودوال	۵۶۳/۱۰۵	۱	۸/۰۱	۲	۱/۲۹	۲	۱/۶	۲
۴	رامیان	۴۷۳/۴۳	۲	۱/۷۳	۳	۱/۷	۳	۲/۶	۴
۵	قره‌چای	۵۸۳/۲۷	۱	-۲۰/۸۵	۱	۱/۵۲	۳	۱/۶	۲
۶	نرماب	۴۱۸/۲۰	۲	-۲۱/۸۷	۱	۱/۰۸	۱	۱/۳	۱
۷	قلی‌تپه	۵۵/۹۶	۳	-۱۰/۱۳	۲	-	-	۱/۶	۲
۸	گالیکش	۶۱۰/۱۶	۱	-۲۵/۶۹	۱	۱/۰۳	۱	۱	۱
۹	قره‌شور	۲۸۹/۰۹	۱	-۲۰/۱۳	۱	-	-	۰/۶	-
۱۰	تنگراه	۱۰۰۸/۸۴۵	۱	-۱۰/۳۷	۲	۱/۰۲	۱	۱/۳	۱
۱۱	زاو	۲۶۰/۱۷	۳	-۳۲/۵۵	۱	۱/۲۵	۲	۲	۳
۱۲	قره‌ناوه	۱۳۳/۰۳	۳	۰/۳۶	۳	۱/۳۱	۲	۲/۶	۴
۱۳	ساری‌سو	۱۵۲/۷۱	۳	۱۸/۹۴	۱	۱/۰۲	۱	۱/۶	۲

نتیجه‌گیری

مطالعه و ارزیابی شاخص‌های مختلف مورفوتکتونیک در منطقه مورد مطالعه و بر روی سیزده زیر حوضه در ارتفاعات جنوبی دشت گرگان نشان می‌دهد که منطقه از دیدگاه نوزمین‌ساختی فعال است. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش در مورد شاخص‌های زمین‌ریختی، بیانگر این مطلب است که اکثر زیرحوضه‌های خاوری و میانی حوضه آبریز گرگانرود نسبت به بخش باختری از کج‌شدگی بالایی برخوردارند، که می‌توان آن را به احتمال زیاد به فعالیت گسل‌های منطقه از جمله گسل خزر، خوش‌یلاق و انشعابات شمال البرز وابسته دانست. عامل انحراف رودخانه اصلی گرگانرود را که مسبب حالت ماندگاری آن شده است، می‌توان با دو دیدگاه توجیه کرد: دیدگاه اول عبارت است از وجود گسل‌هایی حدسی و احتمالی در راستای روند رودخانه گرگانرود، و دیدگاه دوم وجود سیستم گسلی پنهان در شمال آق‌قلا که فعالیت جنبشی آن باعث انحراف در روند این رودخانه شده است. همچنین، روند تغییر شاخص‌های ژئومورفیک و میزان بالاآمدگی در بخش‌های باختری منطقه مورد مطالعه نسبت به مناطق شمال خاوری بیشتر است. این امر بیانگر این مسأله است که در بخش‌های شمال خاوری منطقه، فرایندهای آبرفتی بر فرایندهای زمین‌ساختی برتری دارند؛ اما در بخش‌های جنوب و باختر منطقه، فرایندهای زمین‌ساختی بر فرایندهای آبرفتی برتری دارند. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، بیانگر این مطلب است که بخش‌های جنوب-جنوب باختری منطقه در رده فعال زمین‌ساختی و قسمت‌های شمال خاوری منطقه در رده متوسط تا پایین زمین‌ساختی قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، همسو بودن روند افزایشی شاخص کج‌شدگی در منطقه، با وضعیت گسل‌ها، تأکیدی بر وجود یک ناحیه ساختاری فعال در بخش باختری منطقه مورد مطالعه است. همچنین، مقایسه بلندی بردارهای عدم تقارن در منطقه، به‌گونه‌ای آشکار با میزان کج‌شدگی و نوع رده فعالیت زمین‌ساختی منطقه متناسب است.

منابع

- ۱- ارفع نیا رامین. (۱۳۸۹). تکتونیک فعال در منطقه اقلید، کاربرد مدل رقومی سرزمین (DTM) در مورفوتکتونیک، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، ش ۴، صص ۲۴۵-۲۵۶.
- ۲- بیاتی خطیبی مریم. (۱۳۸۸). تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیک در حوضه آبریز قرنقوجای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک، مجله علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، سال نهم، ش ۲۵، صص ۲۳-۵۰.
- ۳- خادمی محسن. (۱۳۸۹). محاسبه و تفسیر برخی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی پیرامون گسل طرود، جنوب دامغان، علوم زمین، ش ۷۵، صص ۴۷-۵۶.
- ۴- خسروی قاسم و سیف عبدالله. (۱۳۸۹). بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ش ۷۴، صص ۱۴۶-۱۲۵.
- ۵- روستایی شهرام و نیری هادی. (۱۳۹۰). تحلیل کمی تأثیر لیتولوژی بر پروفیل طولی رودخانه در حوضه آبریز رودخانه مهاباد، جغرافیا و توسعه، ش ۲۴، صص ۱۵۳-۱۳۷.
- ۶- 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، ۱۲۵ص.
- ۷- شاه‌پسندزاده، مجید. (۱۳۸۳). زلزله‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساخت گستره استان گلستان، شمال خاور ایران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، پژوهشکده زلزله‌شناسی گروه لرزه‌زمین‌ساخت، ۸ص.
- ۸- شمعیان، غلامحسین؛ رقیمی، مصطفی؛ یخکشی، ابراهیم؛ احمدی، محمدحسین؛ یارمحمدی، محمد و دهقان، حسین. (۱۳۸۴). هیدروژئوشیمی منابع آب زیرزمینی در حوضه آبریز گرگان‌رود- قره‌سو، استان گلستان، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران، صص ۱۹۸-۱۹۰.
- ۹- شهرضا، علی صالح و اصغری، ابراهیم. (۱۳۸۸). گزارش تلفیق مطالعات منابع آب حوضه آبریز قره‌سو- گرگان‌رود، جلد سوم: تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات و بیان آب، بخش اول: هواشناسی، ۲۹۳ص.
- ۱۰- کرمی فریبا. (۱۳۸۸). ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک در حوضه زهکشی سعیدآبادچای، پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۶۹، صص ۶۷-۸۲.
- ۱۱- مقصودی، مهران؛ جعفری اقدم، مریم؛ باقری سید شکر، سجاد و مینایی مسعود. (۱۳۹۰). بررسی تکتونیک فعال حوضه آبریز کفرآور با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و شواهد ژئومورفولوژیکی، جغرافیا و توسعه، ش ۲۵، صص ۱۳۶-۱۱۱.

- 12- Acar, A. and Dincer, I., (2005). Left upstream slope design for the Catalan Dam, Adana Turkey and its behavior under actual earthquake loading. *Engineering Geolog*, 82, 1-11.
- 13- Amerson, B.E., Montgomery, D.R and Meyer, G., (2007). Relative size of fluvial and glaciated valleys in cenneral Idaho. *Geomorphology*, 50, 20-23.
- 14- Chen Y.C. et al., (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.
- 15- Dehbozorgi, M., Pourkermani M., Arian M., Matkan A. A., Motamedi H., and Hosseiniasl A., (2010). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. *Geomorphology*, 1- 13.

- 16- EL Hamdouni R., Irigaray C., Fernandez T., Chacon, J, and Keller, E. A., (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 969, 150-173.
- 17- Keller, E. A and Pinter, N., (2002). *Active tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape*. Prentice Hall: New. 362.
- 18- Keller, E .A. Pinter, N. (1996); *Active tectonics*; Prentice Hall publisher, New Jersey, P 338.
- 19- Khavari R., Arian, M. and Ghorashi, M., (2009). Neotectonics of the Soyth Central Alborz Drainage Basine, in NW Tehran, N Iran. *Journal of Applied Sciences* 9, 23,: 4115 – 4126.
- 20- Hofmann M.H., Hendrix M.S., Sperazza M., Moore J.N., (2006), Neotectonic Evolution and Fault Geometry Change Along a Major Extensional Fault System in the Mission and Flathead valleys, NW- Montana, *journal of Structural Geology*, Vol. 28, PP. 1244- 1260.
- 21- Stepancikova P. J., Stemberh J., Vilimeh V., and Kostak B., (2008), Neotectonic development of drainage networks in the East Sudeten Mountains and monitoring of recent fault displacements (Czech Republic). *Geomorphology*, 102. 68-80.