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

معصومه روستائی، کارشناس ارشد، زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان
مریم آق‌آتابای، استادیار زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان
مصطفی رقیمی، استاد زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان
مجید نعمتی، استادیار زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنرکرمان
عزیز رحیمی چاکدل، استادیار زمین‌شناسی، دانشگاه گلستان، گرگان

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

شماره مقاله: ۹۸۳ **صص: ۵۶-۴۳**
وصول: ۹۲/۱۲/۲۲ **پذیرش: ۹۳/۸/۲۸**

E-mail: rustaeimasomeh@yahoo.com

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

چکیده

مطالعه حاضر به منظور شناخت فعالیت‌های نوزمین‌ساختی حوضه آبریز گرگان‌رود در دامنه شمالی البرز خاوری، واقع در استان گلستان و با استفاده از محاسبه شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی 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 زمین‌ساختی اغلب در جنوب و جنوب باختری حوضه گرگانرود به‌دست 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 خوش‌ییلاق 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 زمین‌ساختی 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، به‌گونه‌ای آشکار با میزان کج‌شدگی و نوع رده فعالیت زمین ساختی منطقه متناسب است.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]

از سوی دیگر، نتایج به دست آمده از بررسی شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی در ناحیه مذکور، بیانگر تمرکز مناطقی با فعالیت خیلی بالای زمین‌ساختی در بخش مرکزی حوضه گرگان‌رود است. در حالی که سایر مناطق دارای رده‌های متوسط تا بالای فعالیت زمین‌ساختی هستند، این امر مؤید فعال بودن منطقه مذکور از نظر نوزمین‌ساختی است.

واژه‌های کلیدی: زمین‌ساخت، ریخت‌زمین‌ساخت، حوضه آبریز گرگان‌رود، شاخص‌های زمین‌ریختی، البرز خاوری.

مقدمه

بررسی‌های ریخت‌زمین‌ساختی در برگیرنده ابزارهای اساسی و مؤثر در تشخیص اشکال زمین‌ساختی فعال است. در سال‌های اخیر، مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی یکی از ابزارهای مهم برای تشخیص و کمّی نمودن فعالیت‌های زمین‌ساختی بوده است. ارزیابی کامل فعالیت‌های زمین‌ساختی؛ به خصوص حرکات زمین‌ساختی معاصر و خطرهای ناشی از آن، به شناخت کامل از سرعت و آرایش فرآیندهای زمین‌ریخت‌شناسی نیاز دارد. به همین روی، روش‌های مورفومتریک نقش مهمی را در تشخیص پدیده‌های زمین‌ریخت‌شناسی که نسبت به حرکات زمین‌ساختی فعال حساس هستند و همزمان با آنها تغییر می‌کنند، بازی می‌نماید (کلر و پنتر[1]، ۲۰۰۲: ۱۲۱).

از میان مناظر طبیعی، شبکهٔ زهکشی می‌تواند نشانه‌های خوبی از زمین‌ساخت فعال را منعکس نماید. فعالیت زمین‌ساختی در تکامل ریخت‌شناسی حوضه‌های زهکشی نقش بسزایی را ایفا می‌کند که به خوبی توسط پارامترهای ریخت‌زمین-ساختی، رودخانه‌ای و ساختمانی منعکس می‌شود. از جمله اشکال محیطی که نسبت به وقوع تغییرات زمین‌ساختی عکس‌العمل نسبتاً سریعی نشان می‌دهند، رودخانه‌ها هستند (آجار و دینسر[2]، ۲۰۰۵: ۲) و (آمرسون و همکاران[3]، ۲۰۰۷: ۲۲). در این تحقیق از شاخص‌های مورفومتریک برای بررسی فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبریز گرگان‌رود، واقع در استان گلستان استفاده شده است. بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی با استناد به تغییرات مسیر جریان رودخانه‌ها و حتی بررسی اثرهای فعالیت‌های زمین‌ساختی بر تغییرات و جابه‌جایی‌ها با استفاده از انواع شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی از سابقه نسبتاً طولانی برخوردار است؛ اما شاید از برجسته‌ترین پژوهشگرانی که بتوان به کارهای علمی آنها استناد نمود، بال باشد. پژوهش‌های دیگری نیز در غالب شاخص شیب رود و نیمرخ طولی رودخانه براساس مدل هافمن[4] (۲۰۰۶)، استفانچیکوا[5] و همکاران (۲۰۰۸)، بیاتی خطیبی (۱۳۸۸)، کرمی (۱۳۸۸) و روستایی (۱۳۸۸) و یا به صورت ترکیب و رده‌بندی شاخص‌های مربوط به پیشانی کوهستان، مانند: پژوهش‌های ارفع‌نیا (۱۳۸۹) و خادمی (۱۳۸۹) صورت گرفته است. همدونی[6] و همکاران (۲۰۰۸) برای نخستین بار با استفاده از شش شاخص ریخت‌زمین‌ساختی به ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال در حوضهٔ نوادا در جنوب اسپانیا پرداخت. وی با محاسبه و رده‌بندی شاخص‌های مذکور و گرفتن

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

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]

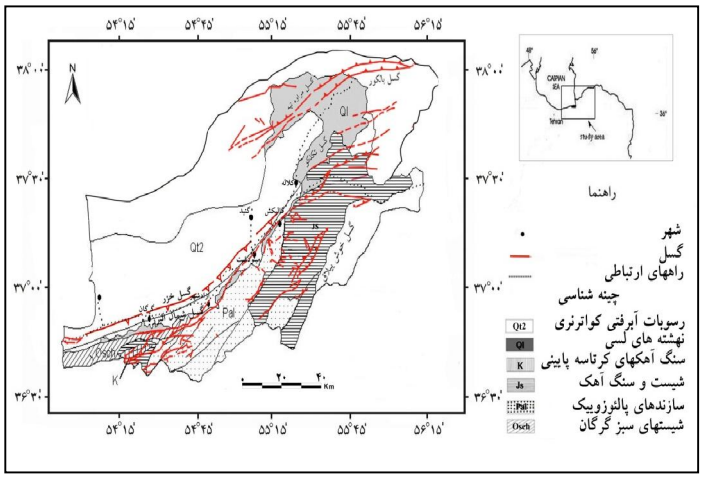
میانگین (شاخص S/N)، در نهایت در چارچوب مدل IAT به رده‌بندی زمین‌ساخت فعال به چهار رده بسیار فعال تا فعالیت نسبتاً کم پرداخت که بعدها این مدل در بسیاری از مناطق استفاده شد و نتایج قابل قبولی را به دست آورد (خاوری و همکاران، ۲۰۰۹؛ خسروی، ۱۳۸۸؛ مقصودی، ۱۳۹۰؛ ده‌بزرگی و همکاران، ۲۰۱۰). اما در این ناحیه هیچ‌گونه تحقیقی در رابطه با این روش صورت نگرفته است. در این پژوهش، از این روش کمّی برای تعیین میزان فعالیت زمین-ساختی حوضه گرگانرود استفاده شده است. البته، با توجه به این که روند رودخانه گرگان‌رود در دشت به صورت مئاندری 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 حوضه‌آبریز رودخانه پی‌برد.

جایگاه زمین‌شناسی و زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه

گستره مورد مطالعه در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی '۳۵ °۳۶ و '۵۰ °۳۷ شمالی و طول‌های جغرافیایی '۵۵ °۵۳ و '۲۵ °۵۶ 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: ۴و۵).

با توجه به نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (شکل ۱)، مجموعه سازندهای پالئوزوئیک، شیست‌های 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 سنوزوییک 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 راندگی یا راستالغز چپ بر با مؤلفه معکوس در پهنه ساختاری البرز گزارش شده است (شاه‌پسندزاده، ۱۳۸۳: ۳).

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]



شکل ۱) نقشه زمین‌شناسی ساده شده و گسل‌های کواترنری و جنبا از گستره مورد مطالعه و پیرامون آن
(با تغییراتی از صالحی‌راد و همکاران، ۱۳۶۹)

داده‌ها و روش پژوهش

در این پژوهش، به منظور بالا بردن دقت در محاسبه شاخص‌های زمین‌ریختی حوضه آبریز گرگانرود، برای ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در بخش‌های مختلف، از مدل ارتفاعی رقومی[۷] (DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متر و دقت ارتفاعی بیش از ۶ متر بر مبنای نقشه‌های ارتفاعی رقومی در مقیاس ۱: ۲۵۰۰۰ استفاده شده است. برای استخراج شبکه آبراهه‌ها و رتبه‌بندی آنها برای استفاده در محاسبات شاخص‌های نوزمین‌ساختی، مدل رقومی ارتفاعی منطقه در نرم‌افزار Arc GIS9.2 و Global mapper و براساس روش استرالر[۸] از ۱ تا ۵ رتبه‌بندی شد. با استفاده از این مدل، شاخص‌های زمین‌ریختی برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد که عبارتند از: شاخص شیب‌رود[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 رده‌بندی شاخص‌های مذکور و گرفتن میانگین (شاخص S/N)، در نهایت براساس روش ارائه شده توسط همدونی و همکاران (۲۰۰۸) در چارچوب مدل IAT به رده‌بندی زمین‌ساخت فعال به چهار رده بسیار فعال تا نسبتاً دارای فعالیت کم ارزیابی شد.

شاخص شیب رود

برای تعیین این‌که آیا رودخانه به تعادل رسیده است یا نه، می‌توان 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

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]

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

$$SL = (\Delta H/\Delta L)L \qquad (۱$$

در این رابطه SL: شاخص‌شیب‌رودخانه، 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 زمین‌ساخت‌فعال‌نسبی 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 زمین‌ساختی، 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 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 زمین‌ساخت فعال و ارزیابی کج‌شدگی زمین‌ساختی در حوضه آبریز یک منطقه به‌کار برده می‌شود. در مناطقی که دارای فعالیت زمین‌ساختی بالایی هستند، اغلب در یک سوی این مناطق اثرهای توپوگرافی به‌صورت 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:

$$AF = 100\ (Ar/At) \qquad (۲$$

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 زمین‌ساختی یا ساختارهای حاصل از خصوصیات سنگ‌شناسی باشد (کلر و پنتر، ۲۰۰۲: ۱۲۳ و ۱۲۵).

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]

شاخص تقارن توپوگرافی معکوس

یکی دیگر از شاخص‌های کمّی 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 به‌دست می‌آید:

$$T = Da/Dd \quad (۳$$

در رابطه فوق Da فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا کمربند 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 طویل‌ترین 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 آبراهه-های 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 پیشانی‌کوه در طول معینی از دامنه‌کوه، جایی که شیب بین کوه و حوضه پیشانی تغییر می-کند و Ls طول خط مستقیمی است که ابتدا و انتهای همان پیشانی‌کوه را به هم متصل می‌کند. بدیهی است هر چه پیشانی‌کوه 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).

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]

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

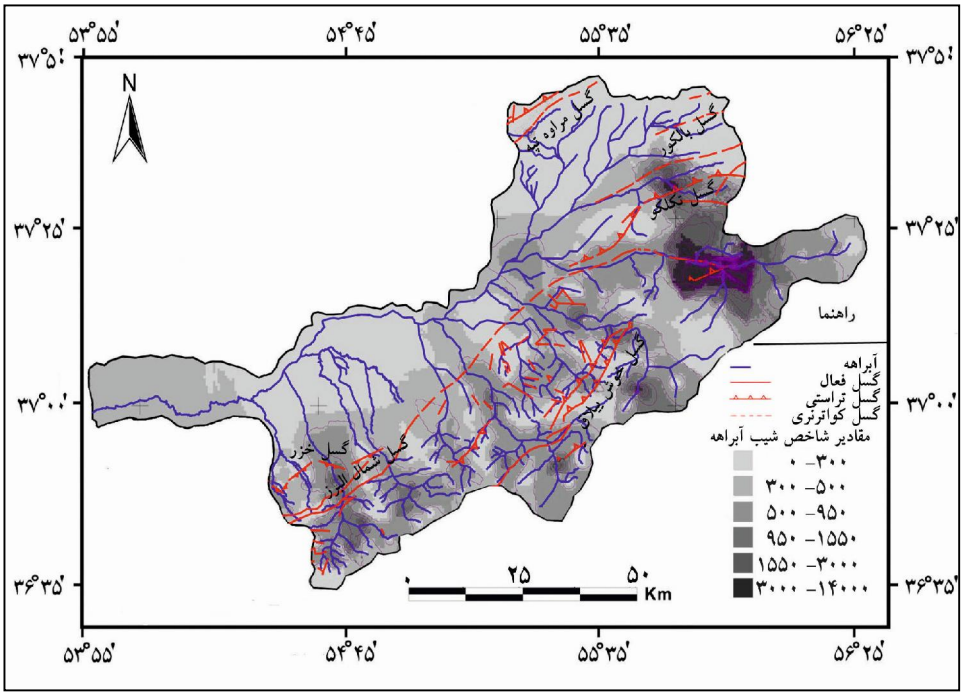
رده	پیچ‌وخم کوهستان (Smf)	طول‌شیب رودخانه (SL)	عدم‌تقارن‌حوضه‌زهکشی (Af)
۱	۱/۱ >	میزان ناهنجاری بالا	| Af – ۵۰|>۱۵
۲	۱/۱ – ۱/۵	میزان ناهنجاری پایین	|Af -۵۰|=۷– ۱۵
۳	۱/۵ <	بدون ناهنجاری	|Af – ۵۰| <۷

یافته‌های پژوهش

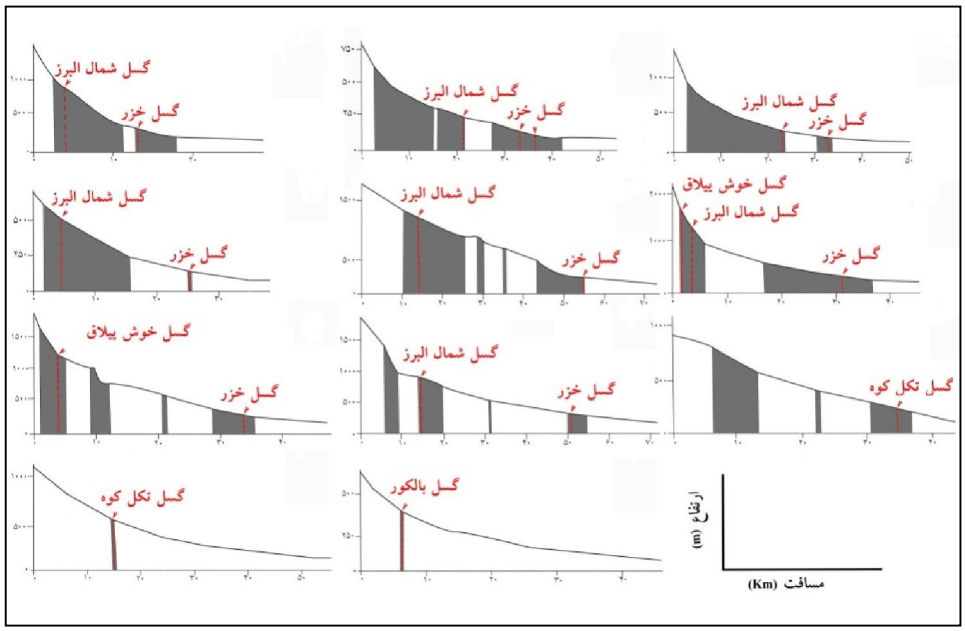
نتایج حاصل از بررسی مورفوتکتونیکی منطقه مورد مطالعه بر پایه اندازه‌گیری‌های توپوگرافی، بررسی الگوهای شبکه آبراهه-ای و نیمرخ طولی آبراهه‌ها، گویای این است که منطقه مورد نظر تا حدّ زیادی از فعالیت ساختارهای منطقه؛ بویژه گسل کاسپین (خزر) و شمال البرز تأثیر پذیرفته است. مهمترین نقش فعالیت این گسل‌ها در شکل‌گیری 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 مصبّ 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 حوضه‌آبریز؛ 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 دربخش‌های کوهستانی سازندهای سخت، از جمله سازند خوش‌ییلاق، 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.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]



شکل۲) نقشه تغییرات شاخص شیب آبراهه‌ها(SL)، در شبکه زهکشی رودخانه گرگان‌رود

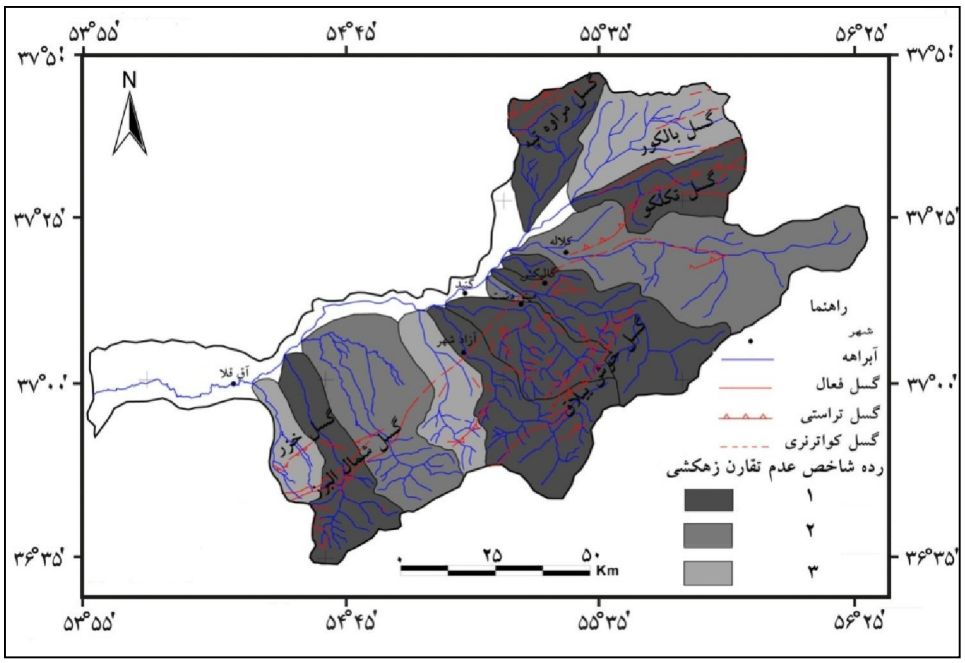


شکل ۳) نیمرخ‌های طولی رودخانه‌های اصلی زیرحوضه‌های گرگان‌رود (از چپ به راست)

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

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]

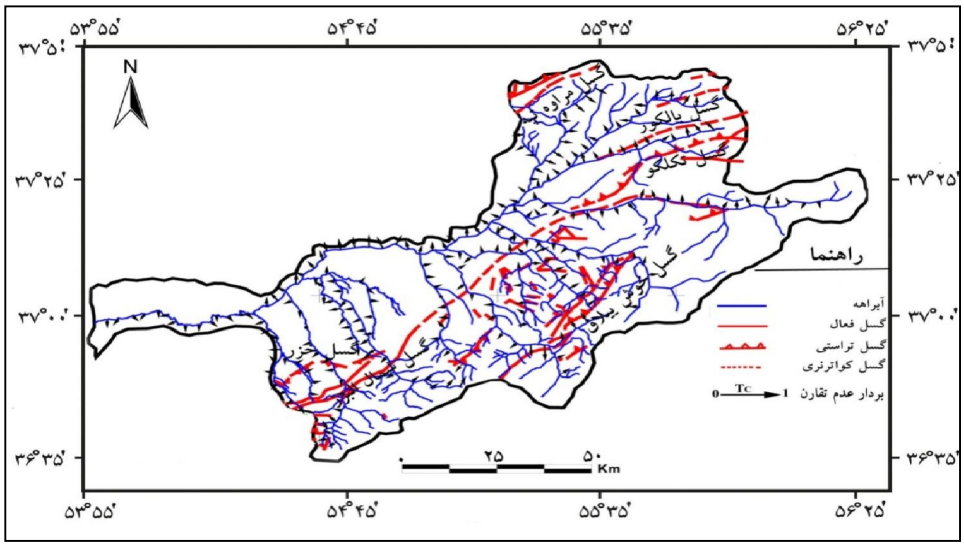
زهکشی با توجه به جدول (۳) نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های محمدآباد، گالیکش، نرماب، قره‌چای، زاو و ساری‌سو بیشترین میزان انحراف را دارا هستند. همچنین، این مقادیر بیانگر شرایط ناپایدار زیرحوضه‌ها ست که این ناپایداری می‌تواند در نتیجه فعالیت زمین‌ساختی یا ساختارهای حاصل از ویژگی‌های سنگ‌شناسی منطقه باشد. نکته قابل توجه این است که اکثر زیرحوضه-های 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 ییلاق 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 مقادیرحاصل 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 خوش‌ییلاق 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 زمین ساختی 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 نواحیی که رودخانه‌ها میزان بالای کج-شدگی را نشان می‌دهند، مطابقت دارد (شکل ۵).

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]



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).

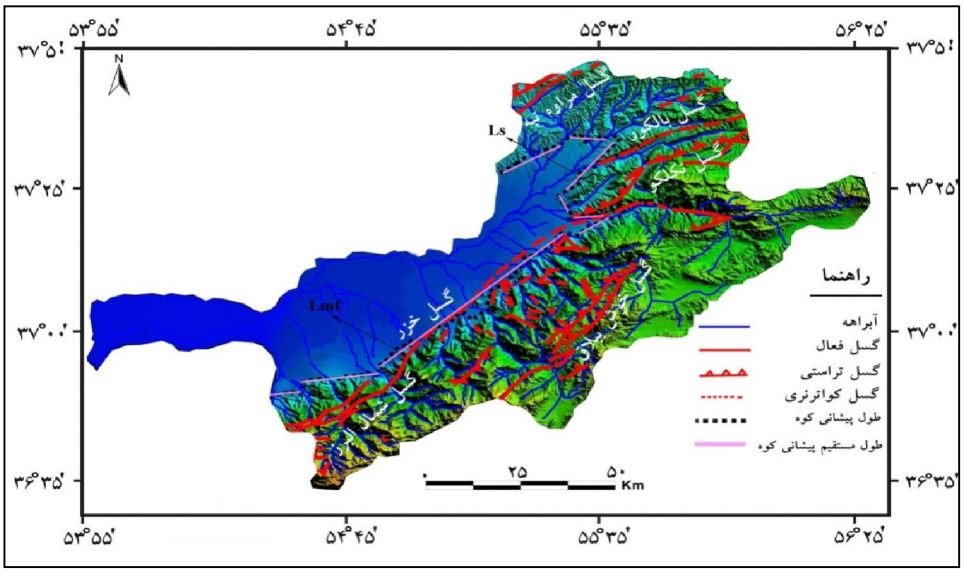
جدول ۲) شاخص تقارن توپوگرافی معکوس در حوضه گرگان‌رود

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

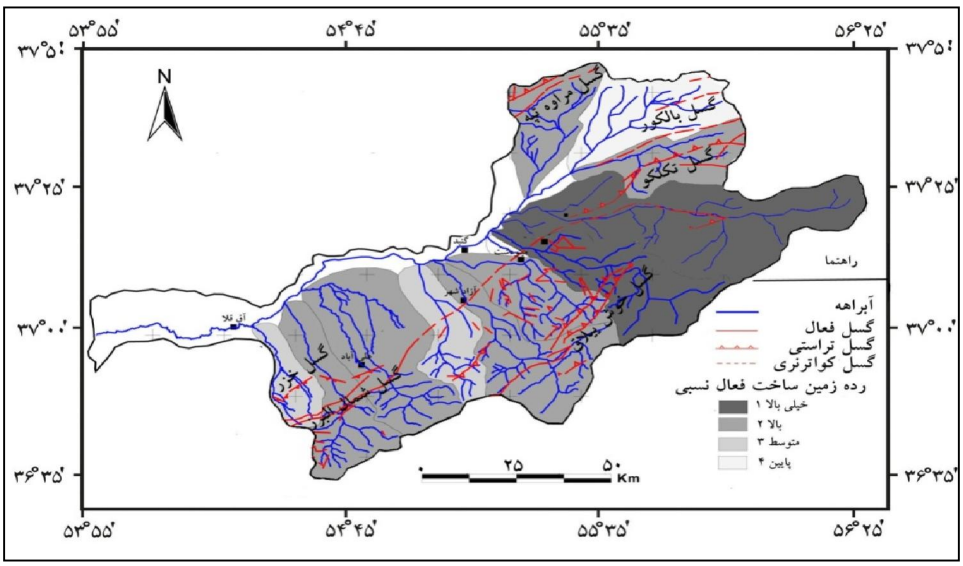
[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]

در انتها، براساس روشی که همدونی و همکاران (۲۰۰۸) ارائه کرده‌اند، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی حوضه رودخانه گرگان‌رود ارزیابی شد. این شاخص با میانگین‌گیری از رده‌های شاخص‌های زمین‌ریختی (s/n) در هر زیرحوضه محاسبه می‌شود که خود شامل چهار رده است. رده اول، فعالیت زمین‌ساختی خیلی بالا با میزان s/n بین ۱ تا ۱/۵؛ رده دوم، فعالیت زمین‌ساختی بالا با s/n بین ۱/۵ تا ۲؛ رده سوم، فعالیت زمین‌ساختی متوسط با s/n بین ۲ تا ۲/۵ و رده چهارم، فعالیت زمین‌ساختی پایین با s/n بیشتر از ۲/۵ را نشان می‌دهد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸). شاخص زمین‌ساخت 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 زمین‌ساختی فعال است (شکل ۷).



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



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

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]

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 (Iat)
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 مورفوتکتونیکی 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، خوش‌ییلاق و انشعابات شمال البرز وابسته دانست. عامل انحراف رودخانه اصلی گرگانرود را که مسبب حالت مئاندری 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 زمین-ساختی 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 قسمت های 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.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]

منابع

۱- ارفع نیا رامین.(۱۳۸۹). تکتونیک فعال در منطقه اقلید، کاربد مدل رقومی سرزمین (DTM) در مورفوتکتونیک، *فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی*، ش ۴، صص ۲۵۶- ۲۴۵.

۲- بیاتی خطیبی مریم.(۱۳۸۸). تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیکی در حوضه آبریز قرنقوچای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک، *مجله علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، سال نهم، ش ۲۵، صص ۵۰- ۲۳.

۳- خادمی محسن. (۱۳۸۹). محاسبه و تفسیر برخی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی پیرامون گسل طرود، جنوب دامغان، *علوم زمین*، ش ۷۵، صص ۵۶- ۴۷.

۴- خسروی قاسم و سیف عبدالله.(۱۳۸۹). بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارسان، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ش ۷۴، صص ۱۴۶- ۱۲۵.

۵- روستایی شهرام و نیری هادی. (۱۳۹۰). تحلیل کمّی 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 تکتونیکی 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 زلزله شناسی و مهندسی زلزله، پژوهشکده زلزله شناسی گروه لرزه‌زمین ساخت، ۸ص.

۸- شمعانیان، غلامحسین؛ رقیمی، مصطفی؛ یخکشی، ابراهیم؛ احمدی، محمدحسن؛ یارمحمدی، محمد و دهقان، حسین. (۱۳۸۴). هیدروژئوشیمی منابع آب زیرزمینی در حوضه‌آبریز 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، ۲۹۳ ص.

۱۰- کرمی فریبا.(۱۳۸۸). ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه زهکشی سعیدآبادچای، *پژوهش‌های جغرافیایی*، ش ۶۹، صص ۸۲-۶۷.

۱۱- مقصودی، مهران؛ جعفری اقدم، مریم؛ باقری سید شکری، سجاد و مینایی مسعود. (۱۳۹۰). بررسی تکتونیک فعال حوضه‌ی آبخیز 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 cenreral ldaho. 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.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]

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.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-11-02]