

ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبریز قروه- دهگلان با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک

دکتر محمد خلیج^۱

چکیده

ریخت‌زمین‌ساخت، اشکال ایجاد شده بر روی زمین که بر اثر مکانیسم‌های زمین‌ساختی ایجاد شده‌است را مورد مطالعه قرار می‌دهد. به منظور بررسی زمین‌ساخت فعال، از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی حوضه آبریز استفاده می‌شود. منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز سفیدرود است. با توجه به این که تاکنون در گستره مورد بررسی ارتباط بین زمین‌ساخت فعال و ژئومورفولوژی مورد مطالعه قرار نگرفته‌است؛ بنابراین بررسی ریخت‌سنجی به منظور شناسایی تأثیر زمین‌ساخت فعال بر منطقه ضروری به نظر می‌رسد. با تعیین فرایندهای فعال در حوضه قروه- دهگلان، می‌توان تا حدودی از خسارت‌های ناشی از بلایای طبیعی مانند سیل و زلزله جلوگیری کرد. در این تحقیق حوضه آبریز قروه- دهگلان با استفاده از پنج شاخص ریخت‌سنجی برجستگی نسبی (Bh)، شاخص تراکم زهکشی (Dd)، شاخص ضریب شکل (Ff)، انتگرال و منحنی هیپسومتر (Hi) و شاخص گرادیان طولی رود (SL) مورد بررسی قرار گرفته‌است. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و افزونه Archydro زیرحوضه‌ها و آبراهه‌های گستره مورد مطالعه استخراج شد. برای محاسبه شاخص‌ها در هر زیرحوضه از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متر استفاده شد و برای هر شاخص نقشه پهنه‌بندی در گستره مورد بررسی در پنج رده تهیه شد. در نهایت با توجه به مقادیر محاسبه‌شده برای هر شاخص، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) برای هر زیرحوضه محاسبه شد. با توجه به شاخص (Iat)، نقشه پهنه‌بندی سطح فعالیت زمین‌ساختی کل رسم شد و گستره مورد بررسی به چهار رده فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، بالا، متوسط و کم تقسیم شد. نتایج حاصل از این پژوهش فعالیت زمین‌ساختی بالا را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که به دلیل فعالیت گسل‌های موجود در منطقه است. از مهم‌ترین گسل‌های واقع در منطقه می‌توان گسل‌های بنه‌آباد، سورمه علی، پریشان، گسل محمودآباد، گسل سیاه و گسل خلخال را نام برد.

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۲، بهار ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۲

صفحات: ۱۵۶-۱۳۳



واژه‌های کلیدی:

فعالیت زمین‌ساختی، شاخص ژئومورفیک، حوضه زهکشی، تکنونیک ژئومورفولوژی، گسلش.

مقدمه

فلات ایران یک منطقه چین‌خورده آلیپی است. در حال حاضر نیز از هر طرف تحت فشار بوده و حرکات زمین‌ساختی هنوز در آن ادامه دارد. وقوع زمین‌لرزه‌های مکرر در ایران یکی از پیامدهای فعال بودن جنبش‌های زمین‌ساختی در حال حاضر است. واقع شدن کانون اکثر زمین‌لرزه‌های ثبت‌شده در امتداد دو کمربند چین‌خورده و جوان حاشیه شمالی و جنوبی

(البرز و زاگرس) ایران به خوبی این ارتباط را نشان می‌دهد (Berberian & King, 1981: 210-265). تکنونیک ژئومورفولوژی مطالعه لندفرم‌های ناشی از تکنونیسیم و تعامل بین تکنونیک و فرایندهای ژئومورفیک است (Geophysics study committee, 1986:25-76). تکنونیک ژئومورفولوژی در مواجهه با هر مسئله دارای دو حالت است: مسئله «مستقیم یا پیشرو»^۲، این حالت مطالعه اثرات اختلالات زمین‌ساختی مشخص بر روی

تغییرات محلی به واسطه فعالیت‌های زمین‌ساختی ناشی از بالآمدگی یا فرونشست حاصل شود (El Hamdouni et al, 2008: 150-173).

تحلیل شبکه‌های زهکشی ابزار قدرتمندی برای شناسایی فعالیت‌های زمین‌ساختی جدید و بالآمدگی‌ها است. کانال‌های رودخانه‌ای نسبت به تغییرات در عواملی که شکل و شیب آن‌ها را کنترل می‌کنند، بسیار حساس هستند. تغییرات اقلیم، زمین‌ساخت و لیتولوژی شرایط تعادل رودخانه و در نتیجه ژئومتری رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Perez_Pena, 2009: 29).

پژوهش‌های زیادی در ارتباط با بررسی‌های ژئومورفیک در مناطق مختلف با استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتریک انجام شده که در منابع لاتین و منابع داخلی می‌توان به کارهای زیر اشاره کرد:

نگاپنا و همکاران (۲۰۲۰) به ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی در منطقه ایدبا اسکا در جنوب غرب کامرون، آفریقای مرکزی پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که فعالیت مجدد گسل‌هایی که در این منطقه واقع شده‌اند موجب زلزله می‌شوند و فعالیت آتش‌فشان‌های خطی کامرون موجب شده این منطقه از نظر زمین‌ساختی فعال باشد (Ngapna et al, 2020: 31).

گارسیا و والندیا^۲ (۲۰۲۰)، تکنیک ژئومورفولوژی را منطقه در سن لوکاس در کوردیلرای مرکزی با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی مورد بررسی قرار دادند و پیامدهای زمین‌ساخت فعال را به صورت ناحیه‌ای در کوه‌های آند شمالی مشخص کردند. با این پژوهش به این نتیجه دست یافتند که بیشترین فعالیت زمین‌ساختی و بالآمدگی مربوط به دامنه کوه سیمیتی، شمال گسل‌های سیمیتی- سان بلاس، در راستای گسل‌های با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق و در شمال حوضه فلسطین است (Garcia & Valendia, 2020: 24-43).

چشم‌انداز است و مسئله «معکوس»^۱ یا استنتاج ماهیت و فعالیت نسبی عناصر زمین‌ساختی از طریق تغییرات مشاهده شده در ویژگی‌های چشم‌انداز است. در مناطقی که سایر کنترل‌کننده‌های خصوصیات چشم‌انداز (ساختار زمین‌شناسی، لیتولوژی، آب و هوا، میکروکلیم، پوشش گیاهی و کاربری زمین) نسبتاً ثابت باشد، تغییرات در میزان (آهنگ) و حالت زمین‌ساخت مسئول اصلی تغییرات در ویژگی‌های چشم‌انداز به‌شمار می‌رود. در این مورد استفاده از مسئله معکوس مناسب است (Willemin & Knuepfer, 1994: 1-56). تقریباً هیچ ناحیه‌ای را در جهان نمی‌توان یافت که در طول چند هزار سال اخیر تحت تأثیر تغییرات زمین‌ساختی قرار نگرفته باشد (Keller & Pinter, 2002: 362). شاخص‌های ژئومورفیک به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان ابزاری برای شناسایی و مشخص کردن بخش‌های تغییر شکل یافته به وسیله گسل‌های فعال مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Giaconia et al., 2012: 90-106).

هدف ژئومورفومتری، استخراج ویژگی‌های شکلی سطح زمین و عوارض موجود در آن با استفاده از مدل‌های رقومی سطح‌زمین و نرم‌افزارهای پارامترسازی است (جلالی و همکاران، ۱۳۹۵: ۷۴-۶۷)؛ به عبارتی دیگر می‌توان گفت، «ژئومورفومتری» علم کمی‌سازی عوارض توپوگرافی، با تمرکز بر استخراج پارامترهای عوارض سطح زمین براساس مدل رقومی ارتفاعی (DEM) است. اندازه‌گیری‌های کمی امکان مقایسه عینی زمین‌ریخت‌های مختلف و محاسبه متغیرهای کمتر قابل فهم را فراهم و شناسایی ویژگی‌های خاص شامل سطح فعالیت زمین‌ساختی یک منطقه را امکان‌پذیر می‌سازد (Keller, 1986: 136-147). شاخص‌های زمین‌ساخت فعال می‌تواند ناهنجاری‌های موجود در سیستم رودخانه‌ای یا در طول جبهه‌های کوهستان را آشکار سازند. این ناهنجاری‌ها ممکن است در نتیجه

از سایر کارهای انجام شده در زمینه ریخت زمین ساخت می توان به بیاتی خطی (۱۳۸۸) و مقصودی و کامرانی (۱۳۸۷) اشاره کرد. هدف از این پژوهش، نشان دادن فعالیت های نوزمین ساختی با استفاده از شاخص های کمی ژئومورفیک است (بیاتی خطی، ۱۳۸۸: ۵۰-۲۳؛ مقصودی و کامرانی، ۱۳۸۷: ۵۵-۳۷).

موقعیت جغرافیایی

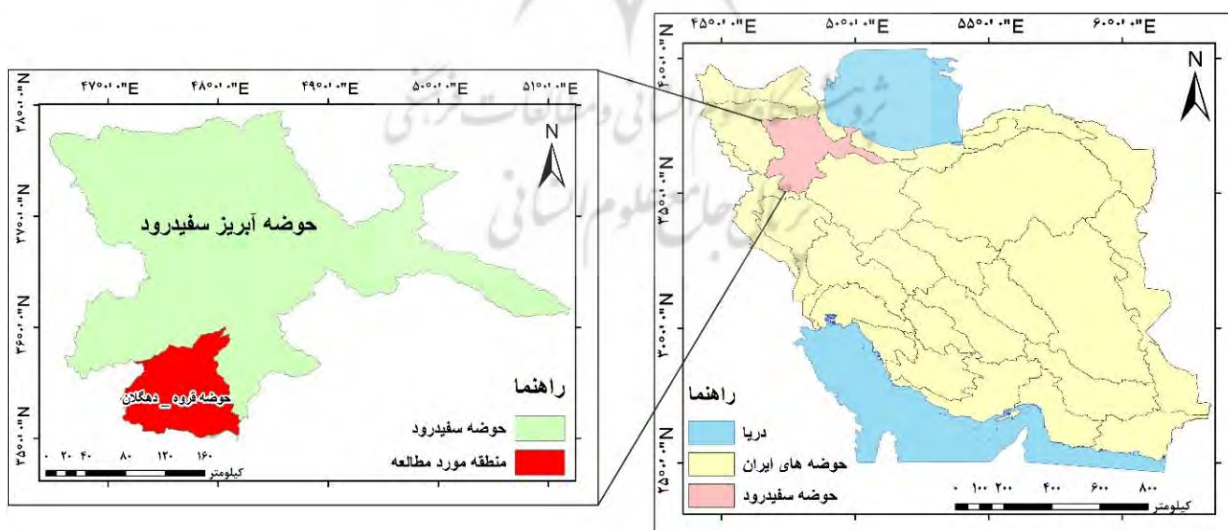
منطقه مورد مطالعه با مساحت ۶۷۹۲٫۹ کیلومتر مربع در استان کردستان و در طول جغرافیایی $36^{\circ} 6' 47^{\circ}$ تا $33^{\circ} 23' 12^{\circ}$ شرقی و عرض جغرافیایی 35° تا $36^{\circ} 00' 42^{\circ}$ شمالی قرار گرفته و شهرستان های قروه، دهگلان و همچنین بخش ها و روستاهای زیادی در این محدوده واقع شده اند. به گستره مورد مطالعه حوضه آبریز قروه- دهگلان گفته می شود. این محدوده از نظر تقسیمات درجه ۲ حوضه های آبریز در حوضه آبریز سفیدرود قرار دارد (شکل ۱).

محمدی و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی زمین ساخت فعال نسبی در حوضه آبخیز آبشینه همدان با استفاده از شاخص های زمین ریختی و لرزه خیزی منطقه پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که در اغلب شاخص ها نشانه های فعالیت حوضه آبخیز آبشینه بارز است. بررسی پیشینه لرزه خیزی منطقه نیز بر فعالیت زمین ساختی منطقه مورد مطالعه تأکید دارد.

(محمدی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۰۷-۱۹۰)

یمانی و همکاران (۱۳۹۸)، تأثیر زمین ساخت فعال بر مخروطه افکنه های شمال دامغان را با استفاده از شاخص های کمی ریخت سنجی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که گسل های منطقه در دوره کواترنر فعال بوده اند (یمانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۶-۱).

آبدیده و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی ارزیابی نسبی زمین ساخت فعال با استفاده از تحلیل ریخت سنجی در حوضه آبریز رودخانه دز پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که برخورد قاره ای بین صفحه عربی و بلوک ایران علت گستردگی نرخ زمین ساخت در این منطقه است (آبدیده و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۶-۳۳).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

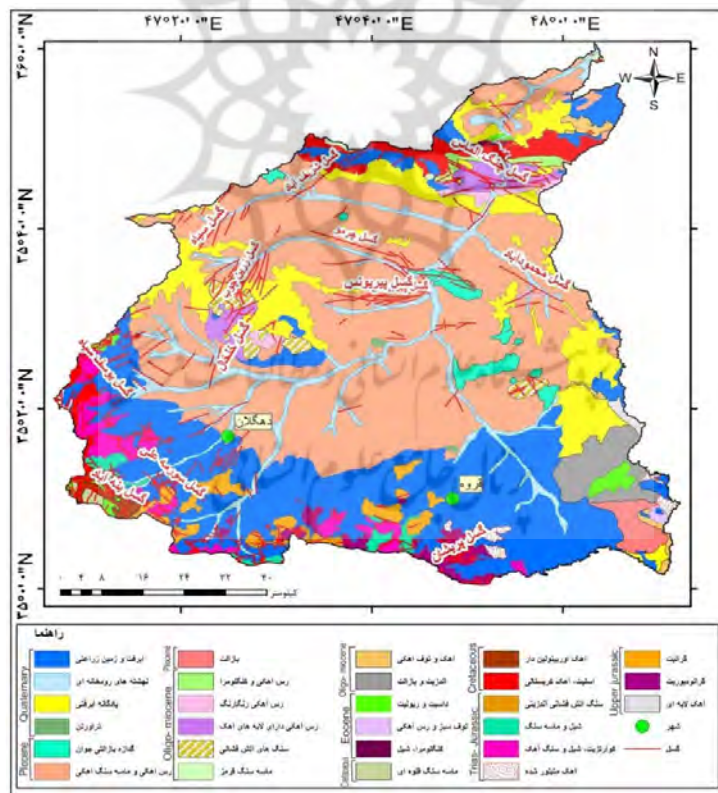
تهیه و ترسیم: سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۱

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز قروه- دهگلان در تقسیم‌بندی ساختاری- رسوبی ایران (Stocklin, 1968: 1229-1258)، در محدوده زون سنندج- سیرجان و بخش کوچکی از شمال منطقه در زون ایران مرکزی واقع شده است. سنندج- سیرجان بر اثر برخورد دو صفحه قاره‌ای ایران و عربستان به صورت یک منطقه به طور کامل تکتونیزه، پرتکاپو، چین‌خورده و گسلیده درآمده و از کمر بند زاگرس تا پهنه آتشفشانی ارومیه دختر ادامه دارد. این زون باریکه‌ای از جنوب باختری ایران مرکزی است که در بلافاصل شمال خاوری راندگی اصلی زاگرس قرار دارد (Ghasemi & Talbot, 2006:34-36). در این

زون، پدیده‌های دگرگونی، ماگماتیسم و زمین‌ساخت در بیشترین مقدار است؛ به همین دلیل این زون را پویاترین زون زمین‌ساختی ایران می‌دانند و نوعی حاشیه فعال قاره‌ای است (Agard et al, 2005: 401-419).

منطقه مورد مطالعه در محدوده نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سنندج و کبودرآهنگ واقع شده و رخنمون‌هایی از سنگ‌های کواترنر تا ژوراسیک در این محدوده گسترش دارند. گسل‌های مهم واقع در حوضه آبریز قروه- دهگلان عبارت‌اند از: گسل چنگ الماس، گسل شریف‌آباد، سیاه، زرین چوب، خلخال، گسل محمودآباد، پریشان و... که در شکل زیر (شکل ۲) مشاهده می‌شود.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی گستره مورد بررسی

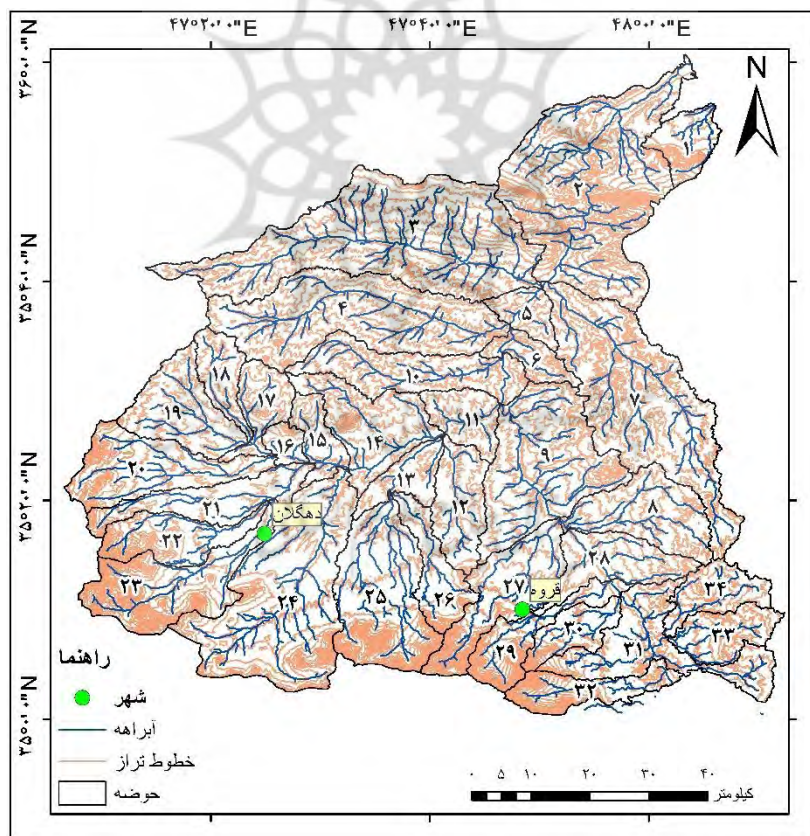
تهیه و ترسیم: (برگرفته از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰)

سنندج و کبودرآهنگ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، (۱۳۹۱)

مواد و روش تحقیق

زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در گستره مورد بررسی، ساختارهای اصلی منطقه مانند گسل‌ها تعیین شد. به‌منظور استخراج دقیق تمامی گسل‌های اصلی و گسل‌های فرعی واقع در منطقه از نقشه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شده است. در مرحله آخر، نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص‌های ژئومورفولوژی و ساختارهای اصلی منطقه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. شاخص‌های مورد بررسی در منطقه عبارت‌اند از: شاخص برجستگی نسبی (Bh)، تراکم زهکشی (Dd)، ضریب شکل (Ff)، انتگرال و منحنی هیپسومتری (Hi) و شاخص گرادیان طولی رود (SL).

این پژوهش به‌منظور بررسی میزان نسبی فعالیت زمین‌ساختی در بخشی از حوضه سفیدرود (حوضه آبریز قروه- دهگلان) انجام شده است. در ابتدا برای انجام محاسبات مربوط به هر شاخص و امکان مقایسه نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌ها، گستره مورد بررسی به زیرحوضه‌هایی تقسیم شد. با استفاده از افزونه ArcHydro در نرم‌افزار Arc GIS و مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متر، زیرحوضه‌ها، شبکه‌های آبراهه‌ای و آبراهه‌های اصلی استخراج شد و منطقه مورد مطالعه به ۳۴ زیرحوضه تقسیم شد (شکل ۳)؛ سپس به محاسبه شاخص پرداختیم. در مرحله بعد، با استفاده از نقشه‌های



شکل ۳: حوضه‌ها و آبراهه‌های استخراج‌شده در منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

شاخص برجستگی نسبی^۱

شاخص برجستگی نسبی از اختلاف بین مرتفع‌ترین و پست‌ترین ارتفاعات حوضه به دست می‌آید و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Keller & Pinter, 2002: 362):

$$Bh = H_{\max} - H_{\min}$$

در این رابطه H_{\max} مقدار ارتفاع بیشینه و H_{\min} مقدار ارتفاع کمینه حوضه است. مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقطه در هر حوضه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) به دست می‌آید. برجستگی نسبی نقش مهمی در توسعه شبکه زهکشی، حرکت آب‌های سطحی و زیرزمینی، توسعه اشکال سطحی زمین و ویژگی‌های فرسایشی عوارض زمینی دارد و مقدار بالای آن نشان‌دهنده شدت جریان آب، نفوذ پایین و مقدار بالای رواناب است. این شاخص، نشان‌دهنده ارتفاع نسبی یک حوضه است و مقدار بالای برجستگی نسبی، بیانگر نرخ بالآمدگی بیشتر است که به دلیل

فعالیت زمین‌ساختی بیشتر است

(Keller & Pinter, 2002: 56-62).

شاخص تراکم زهکشی^۲

تراکم زهکشی یک شاخص ژئومورفولوژی مهم برای حوضه‌هایی است که آبراهه‌های آن، بازتاب‌کننده فرایندهای حاکم بر حفر چشم‌اندازها است (Stoddart, 2013: 31-61). این شاخص ممکن است نشان‌دهنده تأثیر زمین‌ساخت فعال در منطقه باشد (Devi et al., 2011: 14-31). تراکم زهکشی از نسبت مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه به مساحت آن محاسبه می‌شود (Horton, 1945: 275-370):

$$Dd = Lu / A$$

در رابطه بالا Lu مجموع طول تمام آبراهه‌های یک حوضه و A مساحت حوضه است. میزان تراکم آبراهه

در یک حوضه، می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت شدت و ضعف آبراهه‌ها و فرسایش در قسمت‌های مختلف آن باشد (Katz et al., 2002: 1287-1304). مقدار این شاخص به فرسایش و میزان برش چشم‌اندازها بستگی دارد. شبکه زهکشی در چشم‌اندازهای قدیمی که در زمان طولانی در سطح زمین قرار دارند، گسترش بیشتری یافته و در نتیجه دارای مقدار تراکم زهکشی بیشتری است. مقدار تراکم زهکشی در حوضه‌هایی که دارای فعالیت زمین‌ساختی عهد حاضر هستند، کمتر است. مقادیر بالای این شاخص بیانگر این است که منطقه شامل مواد زیرسطحی ضعیف یا نفوذناپذیر، با پوشش گیاهی اندک و پستی و بلندی زیاد است (Keller et al., 1998: 298-310). برای محاسبه این شاخص با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS، مساحت و مجموع طول آبراهه‌ها برای هر حوضه محاسبه شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی برای شاخص تراکم زهکشی ترسیم شد.

شاخص ضریب شکل^۳

حوضه‌های آبریز از نظر ظاهری دارای شکل‌های گوناگون هستند؛ به طوری که با مساوی بودن سایر شرایط فیزیکی دبی اوج حوضه‌های گرد بیشتر از حوضه‌های کشیده خواهد بود. به دلیل این که شکل حوضه تابعی از پستی و بلندی و محیط آن است، گوناگونی زیادی در شکل حوضه‌ها دیده می‌شود و مقایسه آن‌ها را با یکدیگر مشکل می‌سازد. برای حل این مشکل از روابطی که در آن‌ها فاکتورهای ثابتی از حوضه گنجانده شده‌است، استفاده می‌شود. شاخص ضریب شکل از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(Horton, 1945: 275-370)

$$Ff = A / L^2$$

در این رابطه، A مساحت حوضه و L^2 مجذور طول حوضه است. طول حوضه از محل خروج آبراهه اصلی

منحنی هیپسومتری یک حوضه با ترسیم ارتفاع کل (ارتفاع نسبی) در مقابل مساحت کل (مساحت نسبی) حوضه ترسیم می‌شود. براساس ترسیم مساحت تجمعی در محور X و ارتفاع نسبی در محور Y، منحنی هیپسومتری حوضه ترسیم و مساحت زیر منحنی به دست آمد (Keller & Pinter, 2002: 362).

شاخص گرادیان طولی رود^۲

شاخص گرادیان طولی رود از شاخص‌های مهم برای تفکیک مناطق فعال و غیرفعال زمین‌ساختی به‌شمار می‌رود. این شاخص ابزار مفیدی برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی است (Keller & Pinter, 2002: 362). هنگامی که رودخانه و آبراهه‌ها در نواحی با نرخ بالآآمدگی زیاد جریان دارند، مقدار SL افزایش می‌یابد. این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

در رابطه بالا SL گرادیان طولی رود، (GH) اختلاف ارتفاع در یک مقطع خاص از رودخانه، (GL) فاصله افقی همان محل، $(\Delta H / \Delta L)$ گرادیان مسیر کانال رود و L طول رودخانه از نقطه مرکزی همان محل تا سرچشمه رودخانه است. شاخص گرادیان طولی رود نشان‌دهنده تغییرات توپوگرافیکی در امتداد یک رود است. به‌طور معمول این تغییرات تحت تأثیر سه عامل که شامل: فعالیت زمین‌ساختی که می‌تواند باعث ایجاد بالآآمدگی شود، تفاوت سنگ‌شناسی و فراوانی زیاد تغییرات سطح اساس دریا طی دوره‌ی کواترنر هستند (Font et al., 2010: 172-180). در مناطقی که گسل آبراهه را قطع می‌کند، بیشترین مقدار شاخص گرادیان طولی مشاهده می‌شود و این مناطق فعال هستند. ال همدونی و همکاران (۲۰۰۸) برای شاخص گرادیان طولی رود رده‌بندی خاصی را

تا مرتفع‌ترین نقطه در حوضه محاسبه می‌شود. هرچه مقدار ضریب فرم به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، حوضه مذکور به مربع نزدیک‌تر است و هرچه ضریب فرم کوچک‌تر از یک باشد، حوزه کشیده‌تر است. حوضه‌های زهکشی در مناطق فعال از نظر زمین‌ساختی، دارای شکل کشیده‌تری هستند (Bull & Mcfadden, 1977: 115-138). برای حوضه‌های واقع در منطقه، مقادیر شاخص مذکور محاسبه و نقشه پهنه‌بندی رسم شد.

شاخص انتگرال و منحنی هیپسومتری^۱

انتگرال هیپسومتری توصیف‌کننده توزیع نسبی ارتفاع در یک منطقه به‌ویژه حوضه آبریز است (Strahler, 1952: 1117-1142). تشخیص وضعیت فرسایش برای تمام حوضه‌های زهکشی اصلی مهم و ضروری است. تحلیل فرازسنجی به‌عنوان یک شاخص برای مراحل فرسایش حوضه‌های زهکشی به‌کار برده می‌شود (Singh, 2009: 53-59). این شاخص به‌عنوان مساحت نسبی زیر منحنی فرازسنجی تعریف شده که بیانگر حجم فرسایش‌نیافته حوضه است (Keller & Pinter, 2002: 362). مقادیر بالای این شاخص مربوط به نواحی فعال و جوان زمین‌ساختی است، در صورتی که مقادیر پایین آن مربوط به نواحی قدیمی است که دچار فرسایش شده و کمتر تحت تأثیر زمین‌ساخت فعال قرار گرفته‌اند (El Hamdouni et al, 2008: 150-173). این شاخص از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Hi = (\text{average elevation} - \text{min elevation}) / (\text{max elevation} - \text{min elevation})$$

با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متر؛ ارتفاع کمینه، بیشینه و میانگین برای هر زیرحوضه به دست آمد و با توجه به رابطه بالا شاخص هیپسومتری برای ۳۴ زیرحوضه در گستره مورد بررسی محاسبه شد.

یافته‌های پژوهش

با توجه به شاخص‌هایی که در بخش روش تحقیق توضیح داده شد، در این بخش به بررسی یافته‌های حاصل از هر کدام از این شاخص‌ها می‌پردازیم.

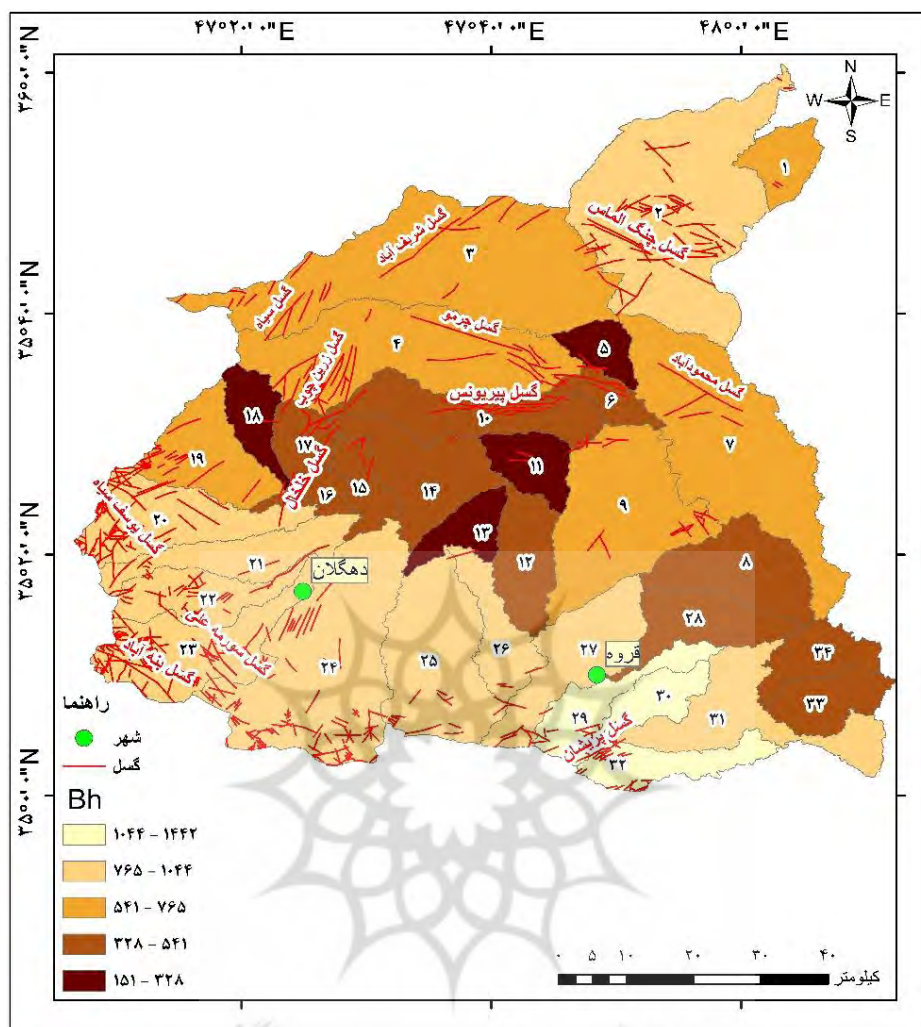
تحلیل شاخص برجستگی نسبی

این شاخص به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده طبقه‌بندی شد: رده ۱، فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا ($1044 < Bh < 1442$)؛ رده ۲، فعالیت زمین‌ساختی بالا ($1044 < Bh < 765$)؛ رده ۳، فعالیت زمین‌ساختی متوسط ($765 < Bh < 541$)؛ رده ۴، فعالیت زمین‌ساختی کم ($541 < Bh < 328$)؛ رده ۵، فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم ($328 < Bh < 151$) و برای آن نقشه پراکندگی مقدار شاخص در گستره مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۴). براساس شاخص برجستگی نسبی، هرچه ارتفاع بیشتر باشد، فرسایش کمتر خواهد بود و در نتیجه فعالیت زمین‌ساختی بیشتر است. بیشترین مقدار این شاخص، ۱۴۴۲ متر در زیرحوضه ۳۲ است که بیشترین نرخ فعالیت زمین‌ساختی را دارد که به دلیل فعالیت گسل پریشان است و کمترین مقدار این شاخص مربوط به حوضه ۱۳ با مقدار ۱۵۱ است. در زیرحوضه ۱۳ هیچ گسلی قرار نگرفته است.

ارائه کرده‌اند که براساس این رده‌بندی و با توجه به میزان شاخص (SL)، به هر قطعه آبراهه که شامل فاصله بین نقطه میانی دو خط تراز مجاور با ارتفاع معین (جایی که شاخص شروع به ارزیابی شده) تا مرتفع‌ترین نقطه کانال است، یک رنگ مشخص اختصاص یافته است. در نهایت، لایه آبراهه‌ها با مقادیر معین شاخص (SL) بر روی مدل ارتفاع رقومی قرار داده شده و نقشه شاخص (SL) در کل گستره به کمک نرم‌افزار Arc GIS تهیه شده است (El Hamdouni et al., 2008: 150-173).

شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی^۱

در این تحقیق از شاخص‌های مورفومتری به منظور بررسی گستره مورد مطالعه از لحاظ فعالیت زمین‌ساختی استفاده شده است که شامل شاخص برجستگی نسبی (Bh)، شاخص تراکم زهکشی (Dd)، شاخص ضریب شکل (Ff)، انتگرال و منحنی هیپسومتری (Hi) و شاخص گرادیان طولی رود (SL) هستند. هر شاخص به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی به پنج رده تقسیم شد و در نهایت با میانگین‌گیری از رده کل شاخص‌ها (S/n)، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) برای ۳۴ حوضه در گستره مورد مطالعه محاسبه شد (El Hamdouni et al., 2008: 150-173).



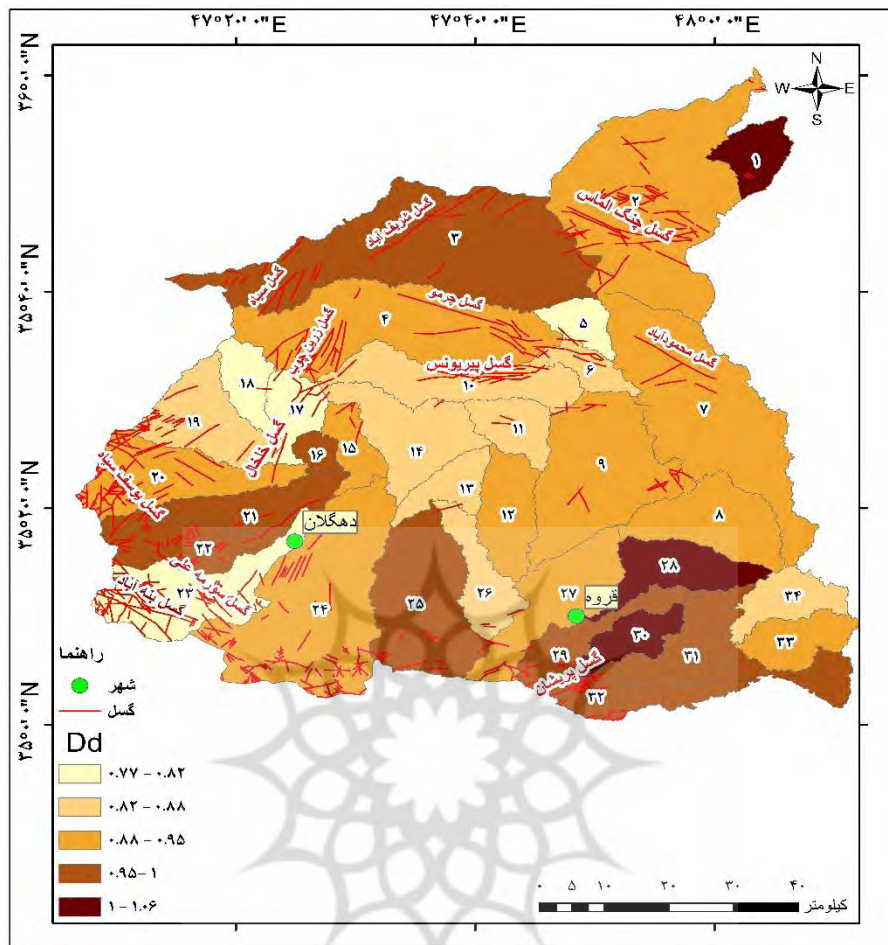
شکل ۴: نقشه پراکنندگی شاخص برجستگی نسبی در منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

تحلیل شاخص تراکم زهکشی

با توجه به نقشه پهنه‌بندی که برای این شاخص رسم شده (شکل ۵) می‌توان مشاهده کرد که این شاخص به پنج رده فعالیت زمین‌ساختی تقسیم شده‌است: رده ۱، فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا $(0,82 < Dd \leq 0,77)$ ؛ رده ۲، فعالیت زمین‌ساختی بالا $(0,88 < Dd \leq 0,82)$ ؛ رده ۳، فعالیت زمین‌ساختی متوسط $(0,95 < Dd \leq 0,88)$ ؛ رده ۴،

فعالیت زمین‌ساختی کم $(1 < Dd \leq 0,95)$ ؛ رده ۵، فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم $(1,06 < Dd \leq 1)$. بیشترین فعالیت زمین‌ساختی مربوط به حوضه‌های ۵، ۱۷، ۱۸ و ۲۳ است که ناشی از فعالیت گسل‌های واقع در این حوضه‌ها می‌باشد که شامل گسل‌های بنه‌آباد، سورمه علی و گسل خلخال است. کمترین فعالیت زمین‌ساختی در حوضه‌های ۱، ۲۸ و ۳۰ است.



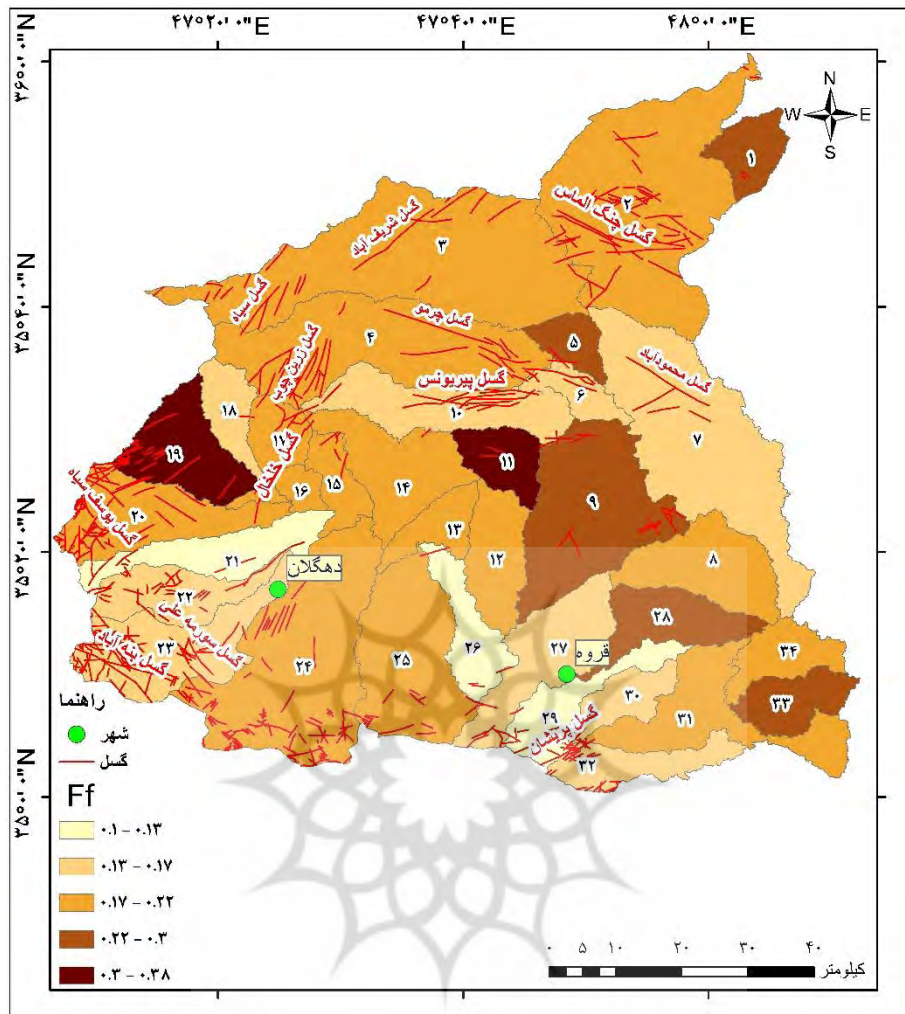
شکل ۵: نقشه پراکندگی شاخص تراکم زهکشی در منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

تحلیل شاخص ضریب شکل

مقدار شاخص ضریب شکل مربوط به حوضه ۲۱ با مقدار ۰٫۱ است که دارای بیشترین کشیدگی و بیشترین فعالیت زمین‌ساختی است و بیشترین مقدار این شاخص نیز مربوط به حوضه ۱۹ با مقدار ۰٫۳۸ است که کمترین فعالیت زمین‌ساختی را دارد (شکل ۶). همچنین زیرحوضه‌های منطبق با گسل‌های محمودآباد، پیرونس، سورمه علی، پریشان و بنه‌آباد فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا و بالا دارند که ناشی از فعالیت گسل‌های واقع در این زیرحوضه‌ها است.

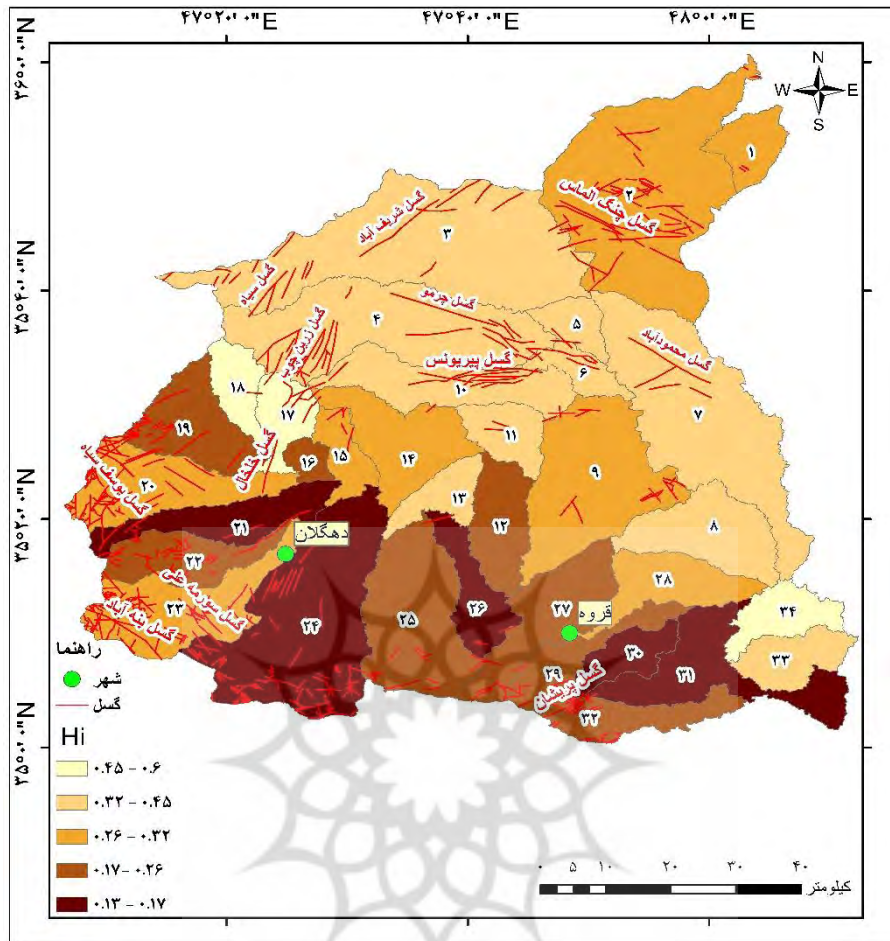
برای این شاخص نیز نقشه پهنه‌بندی فعالیت زمین‌ساختی تهیه شده است و به پنج رده فعالیت زمین‌ساختی تقسیم شد: رده ۱، فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا ($0 < Ff \leq 0.13$)؛ رده ۲، فعالیت زمین‌ساختی بالا ($0.13 < Ff \leq 0.17$)؛ رده ۳، فعالیت زمین‌ساختی متوسط ($0.17 < Ff \leq 0.22$)؛ رده ۴، فعالیت زمین‌ساختی کم ($0.22 < Ff \leq 0.3$)؛ رده ۵، فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم ($0.3 < Ff \leq 0.38$). کمترین



شکل ۶: نقشه پراکندگی شاخص ضریب شکل در منطقه مورد مطالعه تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

زیر حوضه‌هایی که گسل‌های محمودآباد، چرمو، پیریونس، شریف‌آباد، گسل سیاه، زرین چوب و خلخال قرار دارند؛ فعالیت زمین‌ساختی بالا را مشاهده می‌کنیم که به دلیل فعالیت گسل‌های مذکور است. با توجه به مقادیر محاسبه برای این شاخص مشخص شد که بیشترین مقدار عددی این شاخص مربوط به حوضه ۱۸ با مقدار ۰٫۶ و حوضه‌های ۱۷ و ۳۴ هر دو با مقدار ۰٫۴۹ و حوضه ۸ با مقدار ۰٫۴۵ است.

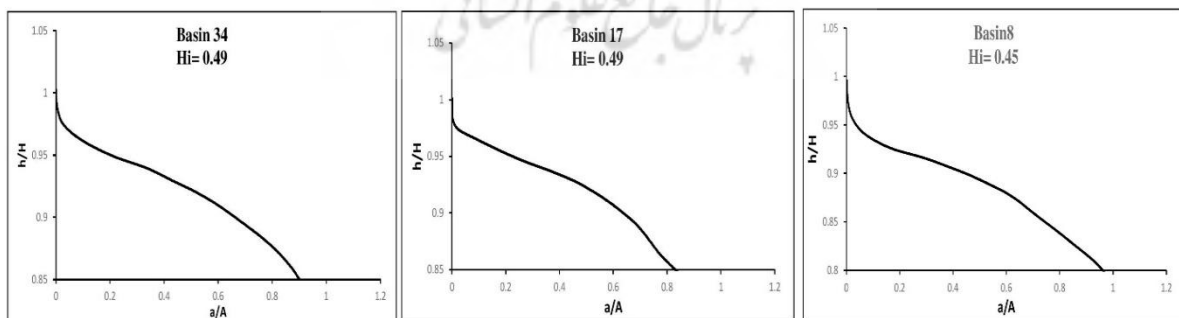
تحلیل شاخص انتگرال و منحنی هیپسومتری
شاخص فرازسنجی در پنج رده به لحاظ فعالیت زمین‌ساختی طبقه‌بندی شد که شامل: رده ۱، فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا ($0.45 \leq Hi < 0.6$)؛ رده ۲، فعالیت زمین‌ساختی بالا ($0.32 \leq Hi < 0.45$)؛ رده ۳، فعالیت زمین‌ساختی متوسط ($0.26 \leq Hi < 0.32$)؛ رده ۴، فعالیت زمین‌ساختی کم ($0.17 \leq Hi < 0.26$)؛ رده ۵، فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم ($Hi < 0.17$) است (شکل ۷). با توجه به این شاخص در



شکل ۷: نقشه پراکندگی شاخص انتگرال فرازسنجی در منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

منحنی فرازسنجی حوضه‌های ۸، ۱۷ و ۳۴ که مقادیر بالایی از این شاخص را دارند، به صورت زیر است (شکل ۸):



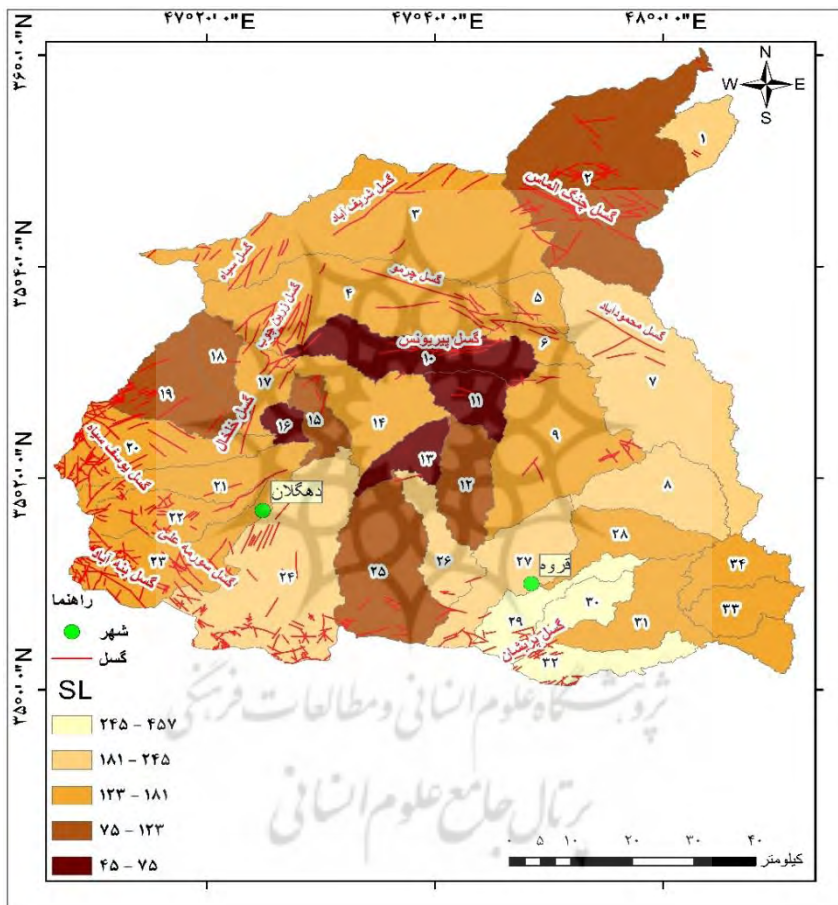
شکل ۸: منحنی بیشینه فرازسنجی در حوضه‌های ۸، ۱۷ و ۳۴

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

تحلیل شاخص گرادیان طولی رود

این شاخص از نظر فعالیت زمین‌ساختی به ۵ رده تقسیم شده است (شکل ۹): رده ۱، فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا ($457 \leq SL < 245$)؛ رده ۲، فعالیت زمین‌ساختی بالا ($245 \leq SL < 181$)؛ رده ۳، فعالیت زمین‌ساختی متوسط ($181 \leq SL < 123$)؛ رده ۴،

فعالیت زمین‌ساختی کم ($123 < SL \leq 75$)؛ رده ۵، فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم ($45 \leq SL < 75$). در گستره مورد مطالعه حوضه ۲۹، ۳۰ و ۳۲ بیشترین مقدار شاخص و بیشترین فعالیت زمین‌ساختی را نشان می‌دهند که به دلیل فعالیت گسل پریشان است.



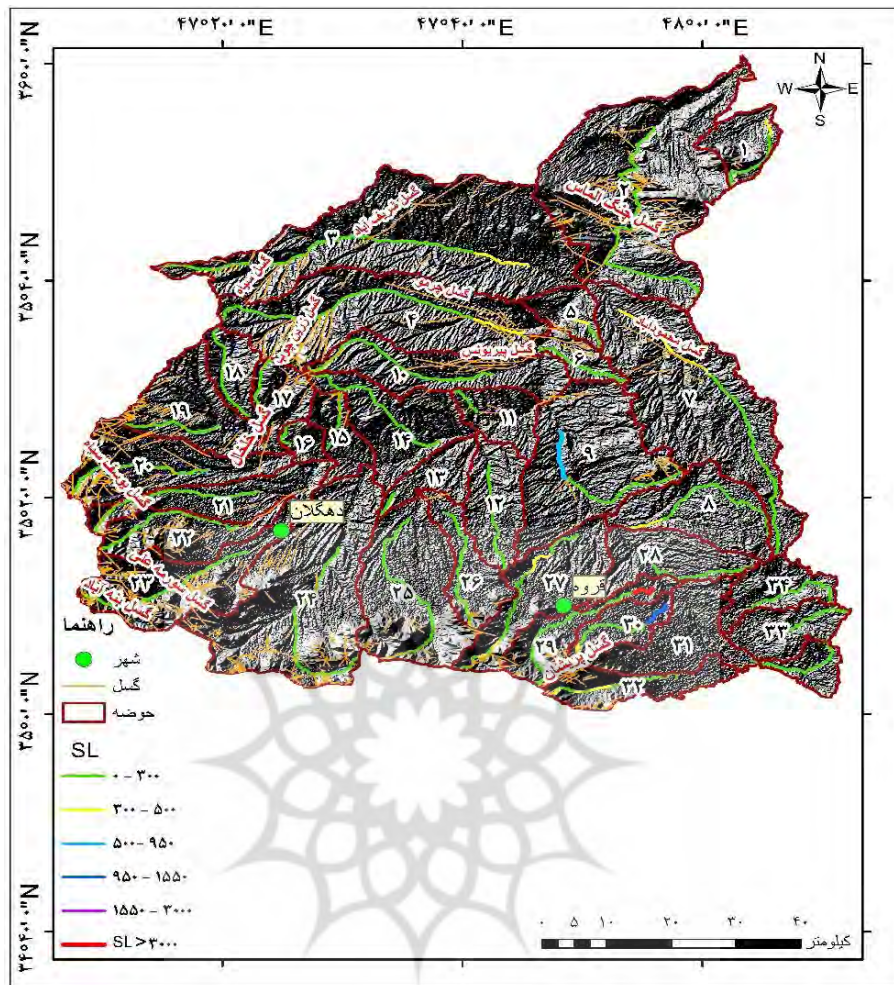
شکل ۹: نقشه پراکنده‌گی مقادیر شاخص گرادیان طولی رود در منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

۱۵۵۰-۹۵۰ رنگ آبی تیره و ۳۰۰۰-۱۵۵۰ رنگ بنفش (فعالیت زمین‌ساختی بالا)، مقادیر بزرگ‌تر از ۳۰۰۰ رنگ قرمز (فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا) را دارند (شکل ۱۰).

(El Hamdouni et al., 2008: 150-173)

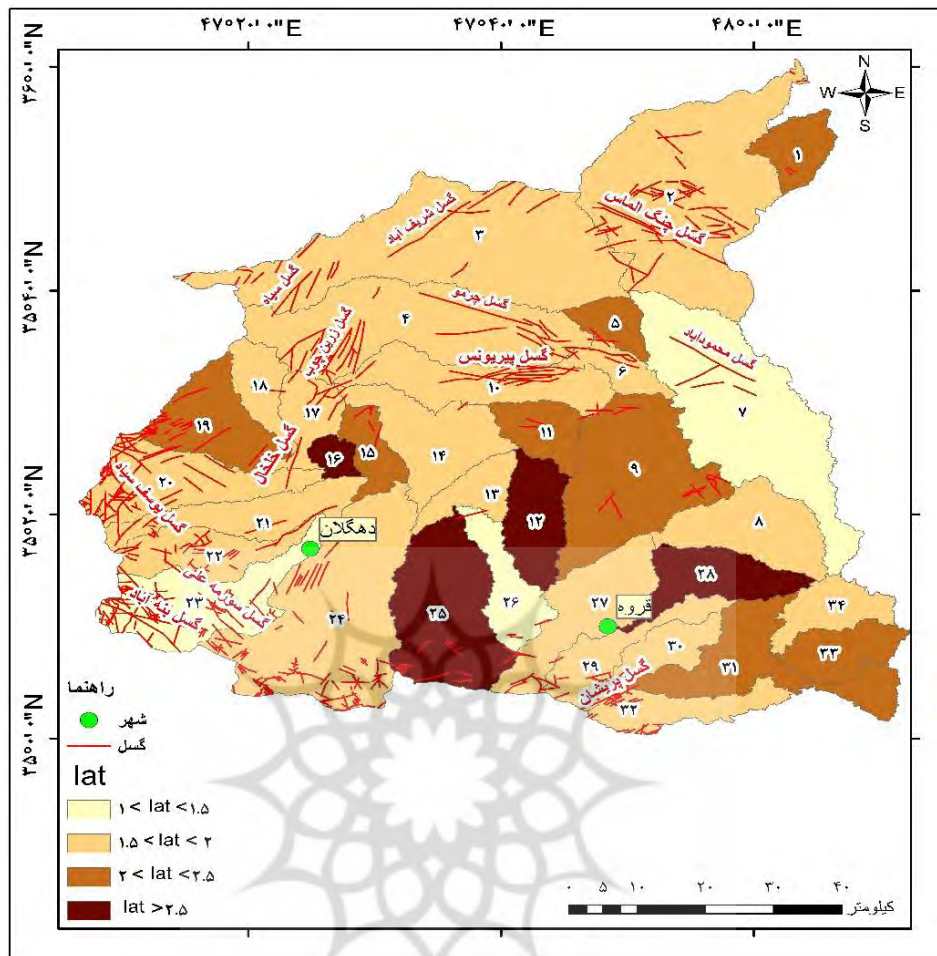
با توجه به رده‌بندی که همدونی و همکاران (۲۰۰۸) برای شاخص گرادیان طولی ارائه کرده‌اند، مقادیر کوچک‌تر از ۳۰۰ رنگ سبز (فعالیت زمین‌ساختی بسیار کم)، ۳۰۰-۵۰۰ رنگ زرد (فعالیت زمین‌ساختی کم)، ۵۰۰-۹۵۰ رنگ آبی روشن (فعالیت زمین‌ساختی متوسط)،



شکل ۱۰: نقشه طبقه‌بندی شاخص گرادبان طولی رود در منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

تحلیل شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی این شاخص با توجه به رده‌بندی همدونی و همکاران (۲۰۰۸) به چهار رده تقسیم شده است: رده ۱، فعالیت زمین‌ساختی خیلی بالا ($1 \leq Iat < 1,5$)؛ رده ۲، فعالیت زمین‌ساختی بالا ($1,5 \leq Iat < 2$)؛ رده ۳، فعالیت زمین‌ساختی متوسط ($2 \leq Iat < 2,5$) و رده ۴، فعالیت زمین‌ساختی پایین ($2,5 \leq Iat$). با توجه به این رده‌بندی نقشه پهنه‌بندی سطح فعالیت زمین‌ساختی نیز برای شاخص (Iat) ترسیم شد (شکل ۱۱) (El Hamdouni, 2008: 150-173).



شکل ۱۱: نقشه توزیع سطح فعالیت زمین ساخت نسبی در منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۳۹۹

گسل‌های بنه‌آباد، سورمه‌علی، پریشان، گسل خلخال، یوسف سیاه، پیرونس، چرمو، گسل محمودآباد، گسل سیاه و گسل‌های واقع در منطقه است. اعداد مربوط به هر شاخص در جدول زیر (جدول ۱) آمده‌است.

با توجه به نتایج حاصل از بررسی زمین ساخت فعال نسبی در منطقه مورد مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر مساحت کل حوضه‌های آبریز در رده فعالیت زمین ساختی بسیار بالا و بالا قرار گرفته‌است که به دلیل عملکرد گسل‌های واقع در منطقه به خصوص

جدول ۱: مقادیر پنج شاخص اندازه‌گیری شده و سطح فعالیت زمین‌ساختی در گستره مورد مطالعه

Basin no.	Bh	Dd	Ff	Hi	SL	Iat	Class Iat
۱	۶۸۳	۱/۰۶	۰/۲۴	۰/۲۹	۱۸۹	۲/۲	۳
۲	۱۰۳۸	۰/۹۵	۰/۱۹	۰/۲۸	۹۱	۲	۳
۳	۷۵۸	۰/۹۸	۰/۱۸	۰/۳۷	۱۶۲	۲	۳
۴	۶۰۶	۰/۹۱	۰/۱۹	۰/۴۳	۱۶۴	۱/۸	۲
۵	۳۱۰	۰/۸۲	۰/۲۵	۰/۳۲	۱۳۴	۲/۲	۳
۶	۳۹۲	۰/۸۴	۰/۱۶	۰/۴۵	۱۴۱	۱/۶	۲
۷	۷۱۹	۰/۸۹	۰/۱۶	۰/۴۳	۲۴۵	۱/۴	۱
۸	۵۱۸	۰/۹۴	۰/۲۰	۰/۴۵	۱۹۵	۱/۸	۲
۹	۶۲۷	۰/۹۴	۰/۳۰	۰/۲۶	۱۷۴	۲/۲	۳
۱۰	۵۴۱	۰/۸۷	۰/۱۵	۰/۳۸	۴۵	۱/۸	۲
۱۱	۱۹۹	۰/۸۵	۰/۳۸	۰/۴۳	۵۰	۲/۲	۳
۱۲	۴۵۰	۰/۹۱	۰/۲۰	۰/۲۵	۸۹	۲/۶	۴
۱۳	۱۵۱	۰/۸۵	۰/۱۶	۰/۴۱	۴۶	۲	۳
۱۴	۵۲۰	۰/۸۵	۰/۲۱	۰/۲۸	۱۶۲	۲	۳
۱۵	۴۶۰	۰/۹۴	۰/۲۰	۰/۳۰	۱۰۹	۲/۴	۳
۱۶	۴۴۵	۰/۹۷	۰/۱۸	۰/۲۱	۷۵	۲/۸	۴
۱۷	۴۲۵	۰/۷۹	۰/۲۰	۰/۴۹	۱۴۲	1.8	۲
۱۸	۳۲۸	۰/۷۷	۰/۱۶	۰/۶۰	۱۱۰	۱/۸	۲
۱۹	۶۰۷	۰/۸۵	۰/۳۸	۰/۲۵	۹۳	۲/۴	۳
۲۰	۷۶۵	۰/۸۸	۰/۲۰	۰/۲۹	۱۲۳	۱/۸	۲
۲۱	۹۱۷	۰/۹۷	۰/۱۰	۰/۱۵	۱۴۶	۲	۳
۲۲	۸۸۱	۰/۹۷	۰/۱۵	۰/۲۳	۱۷۴	۲	۳
۲۳	۹۲۶	۰/۸۲	۰/۱۶	۰/۲۹	۱۶۲	۱/۴	۱
۲۴	۹۹۸	۰/۹۰	۰/۲۱	۰/۱۷	۱۸۱	۱/۸	۲
۲۵	۱۰۴۴	۰/۹۷	۰/۲۲	۰/۲۰	۱۲۲	۲/۶	۴
۲۶	۹۵۱	۰/۸۷	۰/۱۳	۰/۱۶	۲۲۵	۱/۴	۱
۲۷	۱۰۴۳	۰/۹۴	۰/۱۵	۰/۲۲	۲۲۹	۱/۶	۲
۲۸	۴۷۶	۱/۰۲	۰/۲۶	۰/۲۸	۱۲۳	۲/۶	۴
۲۹	۱۳۳۳	۰/۹۷	۰/۱۳	۰/۲۵	۴۵۷	۱/۸	۲
۳۰	۱۲۶۶	۱/۰۵	۰/۱۶	۰/۱۳	۳۱۱	۱/۸	۲
۳۱	۹۸۱	۰/۹۷	۰/۲۱	۰/۱۳	۱۴۲	۲/۲	۳
۳۲	۱۴۴۲	۱	۰/۱۴	۰/۲۱	۳۲۱	۱/۸	۲
۳۳	۴۳۳	۰/۹۲	۰/۲۶	۰/۳۹	۱۵۳	۲/۲	۳
۳۴	۴۱۲	۰/۸۵	۰/۲۰	۰/۴۹	۱۵۶	۱/۸	۲

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۹

نتیجه

شاخص‌های ژئومورفیک معرف رابطه بین زمین‌ساخت و عوارض سطحی می‌باشد و دانستن ارتباط حوادث زمین‌ساختی از طریق بررسی اشکال و ناهمواری‌های سطح زمین تعبیر می‌شود. برخی از شاخص‌های ژئومورفیک ابزارهای مقدماتی و پایه برای تشخیص نواحی دچار دگرشکلی زمین‌ساختی می‌باشند. شاخص‌های ژئومورفیک در بررسی‌های زمین‌ساختی مفید هستند، زیرا می‌توانند برای ارزیابی سریع مناطق وسیع به کار گرفته شوند و داده‌های ضروری آن اغلب به سرعت از نقشه‌های رقومی و تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آیند. ژئومورفیک با روابط موجود بین اشکال زمین‌ساختی یعنی جنبش‌های زمین‌شناختی کنونی و جاری یا جنبش‌های زمین‌شناختی نئوژن سروکار دارد. با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام شده، منطقه مورد مطالعه تا به حال براساس شاخص‌های ریخت‌سنجی مورد مطالعه قرار نگرفته است. برای پیش‌بینی شرایط و تغییرات در آینده این تحقیق الزامی است.

با توجه به تحقیق انجام شده در حوضه آبریز قروه-دهگلان نتایج زیر حاصل شده است: مقادیر بالای شاخص برجستگی نسبی در زیرحوضه‌های منطبق با گسل‌های پریشان، سورمه علی، بنه‌آباد و گسل یوسف سیاه، نشان‌دهنده نرخ بالآمدگی بیشتر به دلیل فعالیت زمین‌سختی بیشتر در این زیرحوضه‌ها است. مقادیر کم شاخص تراکم زهکشی در زیرحوضه‌های ۵، ۱۷، ۱۸ و ۲۳ به دلیل فعالیت زمین‌ساختی اخیر گسل‌های بنه‌آباد، سورمه علی و سایر گسل‌های منطبق بر زیرحوضه‌های ذکر شده است. مقادیر کم شاخص ضریب شکل که نشان‌دهنده کشیدگی بیشتر حوضه

است، در زیرحوضه‌هایی که واقع در گسل‌های پریشان، بنه‌آباد، سورمه علی، پیرونس و گسل محمودآباد مشاهده می‌شود که تأییدی بر فعالیت زمین‌ساختی اخیر این حوضه‌ها است. انتگرال و منحنی فراسنجی که توزیع ارتفاع در گستره مورد بررسی رابطه مستقیمی دارد، در حوضه‌های ۱۷، ۱۸ و ۳۸ فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا (رده ۱) و زیرحوضه‌هایی که گسل‌های محمودآباد، چرمو، پیرونس، زرین چوب، شریف‌آباد و گسل سیاه قرار گرفته‌اند، فعالیت زمین‌ساختی بالا (رده ۲) را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار شاخص گرادیان طولی رود در زیرحوضه‌های ۲۹، ۳۰ و ۳۲ و در مجاورت گسل پریشان که در جنوب منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است، مشاهده می‌شود که به دلیل فعالیت زمین‌ساختی اخیر این گسل است. نتایج حاصل از شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) نیز فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا و بالایی را در امتداد گسل‌های چنگ الماس، محمودآباد، چرمو، پیرونس، زرین چوب، شریف‌آباد، گسل سیاه، خلخال، گسل پریشان، بنه‌آباد، سورمه علی و گسل یوسف سیاه تأیید می‌کند.

با توجه به نتایج حاصل از بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی در منطقه مورد مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر مساحت کل حوضه‌های آبریز منطقه مورد مطالعه در رده فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا و بالا قرار گرفته است که به دلیل عملکرد گسل‌های واقع در منطقه به خصوص گسل‌های بنه‌آباد، سورمه علی، پریشان، گسل خلخال، یوسف سیاه، پیرونس، چرمو، گسل محمودآباد، گسل سیاه و سایر گسل‌های واقع در منطقه است.

منابع

- یمانی، مجتبی؛ حمید کامرانی دلیر؛ سجاد باقری (۱۳۸۹). مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نو زمین‌ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس شمال‌غربی)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۹۷. صفحات ۲۶-۱.
- <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=238147>
- Agard, P. Omrani, J. Jolivet, L. Mouthereau, F. (2005). Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International journal of earth sciences*, 94, PP.401- 419.
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s00531-005-0481-4>
- Berberian, M. King, G.C.P (1981). Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, PP.210- 265.
- <https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/e81-019#.XmS9s6hKjIU>
- Bull, W.B. and Mcfadden, L.D (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California; In: Doehring, D.O. (Ed.), *Geomorphology in arid regions*. Proceedings of the 8th annual geomorphology symposium. State University of New York, Binghamton. PP.115-138.
- https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Bull%2CW.B.+and+Mcfadden%2C+L.D+%281977%29,+Tectonic+geomorphology+north+and+south+of+the+Garlock+fault%2C+California%3B+In%3A+Doehring%2C+D.O.+%28Ed.%29%2C+Geomorphology+in+arid+regions.+Proceedings+of+the+8th+annual+geomorphology+symposium.+State+University+of+New+York%2C+Binghamton.+pp.+115-138.&btnG=
- El Hamdouni, R. Irigaray, C. Fernandez, T. Chacón, J. Keller, E.A (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain), *Geomorphology*. 96, PP.150-73.
- آبدیده، محمد؛ منوچهر قرشی؛ کاظم رنگزن؛ مهران آراین (۱۳۹۰). ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال با استفاده از تحلیل ریخت‌سنجی، بررسی موردی حوضه آبریز رودخانه دز، جنوب باختری ایران. *علوم زمین*، سال ۲۰، شماره ۸۰، صفحات ۴۶-۳۳.
- http://www.gsjournal.ir/article_55134.html
- بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۸). تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیک در حوضه آبریز قرقوچای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک، *مجله فضای جغرافیایی*، سال نهم. شماره ۲۵. صفحات ۵۰-۲۳.
- <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=114591>
- جلالی، سعیده؛ میثم صمدی؛ محمود صمدی قشلاق چائی؛ آیدینگ کرنژادی (۱۳۹۵). بررسی شاخص‌های مورفومتری در حوضه آبخیز چهل چای استان گلستان با استفاده از GIS، *مجله علمی ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی*، دوره هفتم. شماره ۴. صفحات ۷۴-۶۷.
- http://gej.issge.ir/browse.php?a_code=A-10-225-1&slc_lang=fa&sid=1
- محمدی، سید داود؛ سید حسین جلالی؛ بهمن ساعدی (۱۳۹۶). ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی در حوضه آبخیز آبشینه همدان با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی و لرزه‌خیزی منطقه، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم. شماره ۴. صفحات ۲۰۷-۱۹۰.
- http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78071.html
- مقصودی، مهران؛ حمید کامرانی دلیر (۱۳۸۷). ارزیابی نقش تکتونیک فعال تنظیم کانال رودخانه‌ها، مطالعه موردی: رودخانه تجن، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶، صفحات ۵۵-۳۷.
- <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=91041>

- Katz, R.W. Parlange, M.B. Naveau, P (2002). Statistics of extremes in hydrology. *Advances in water resources*, 25, PP. 1287-1304.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309170802000568>
- Keller, E. A. (1986) .Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes, *Active Tectonics, Studies in Geophysics*. National Academy Press, Washington, DC. 136-147.
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Keller%2C+E.A.+%281986%29.+Investigation+of+active+tectonics%3A+use+of+surficial+Earth+processes%2C+Active+Tectonics%2C+Studies+in+Geophysics.+National+Academy+Press%2C+Washington%2C+DC.+136-147.&btnG=
- Keller, E.A. Zepeda, R.L. Rockwell, T.K. Ku, T.L. Dinklage, W.S (1998) .Active tectonics at Wheeler Ridge, southern San Joaquin Valley, California, *Geological Society of America Bulletin*. 110, PP. 298–310.
<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/110/3/298/183354>
- Keller, E.A. and Pinter, N (2002). Earthquakes, Uplift, and Landscape. 362.
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Keller+EA%2C+Pinter+N+%282002%29.+Active+Tectonics%3A+Earthquakes%2C+Uplift%2C+and+Landscape+%282ndEd.%29.+Pinter+Hall.+New+Jersey.&btnG=
- Mrinalinee Devi, R.K. Bhakuni, S.S. Bora, P.K (2011). Tectonic implication of drainage set-up in the Sub- Himalaya: a case study of Papumpare district, Arunachal Himalaya, India, *Geomorphology*. 127, PP. 14–31.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X10005210>
- Ngapna, M.N. Owona, S. Owono, F.M. Ateba, C.B. Tsimi, V.M. Ondo, J.M. Ekodeck, G.E (2020). Assessment of relative active tectonics in Edea–Eseka region (SW Cameroon, Central Africa). *Journal of African Earth Sciences*, 164, PP. 103798.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464343X20300492>
- Font, M. Amorese, D. Lagarde, J.L (2010). DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: The Normandy intraplate area (NW France). *Geomorphology*, 119, PP.172-180.
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=DEM+and+GIS+analysis+of+the+stream+gradient+index+to+evaluate+effects+of+tectonics&btnG=
- García Delgado, H. Velandia, F (2020). Tectonic geomorphology of the Serranía de San Lucas (Central Cordillera): Regional implications for active tectonics and drainage rearrangement in the Northern Andes. *Geomorphology*, 349, PP.106914.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X19304052>
- Geophysics Study Committee (1986). *Studies in geophysics, active tectonics*. National Academy Press. Washington, D.C.
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Geophysics+Study+Committee+%281986%29.+Studies+in+geophysics%2C+active+tectonics.+National+Academy+Press.+Washington%2C+D.C.&btnG=
- Ghasemi, A. Talbot, C.J (2006). A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 26, PP. 683-693.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1367912005000325>
- Giaconia, F. Booth-Rea, G. Martínez-Martínez, J.M. Azañón, J.M. PérezPeña, J.V. Pérez-Romero, J. Villegas, I (2012). Geomorphic evidence of active tectonics in the Serra Alhamila (eastern Betics, SE Spain). *Geomorphology*. 145-146, PP.90-106.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X11006581>
- Horton, R.E (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, *Geological Society of America Bulletin* .56, PP. 275- 370.
<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/56/3/275/4075>

- Stoddart, D. (2013). Drainage density: problems of prediction and application. In Process and form in geomorphology, PP. 31-61.
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Schumm%2C+S.A+%281997%29.+Drainage+density%3A+problems+of+prediction.+In%3A+Stoddart%2C+D.R.+%28Ed.%29%2C+Process+and+Form+in+Geomorphology%2C+Routledge%2C+London.+pp.+15-+45.&btnG=
- Strahler, A.N (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin. 63, PP.1117- 1142.
<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/63/11/1117/4477>
- Willemin, J.H. Knuepfer, L.K (1994). Kinematics of arc- continent collision in the Eastern Central Range of Taiwan inferred from geomorphic analysis. Journal of Geographical Research. PP.1-56.
- Perez Pena, J.V. (2009). GIS-Based tools and methods for landscape analysis and active tectonic evaluation. Doctoral thesis. University of Granada.
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Perez+Pena%2C+J.V.+%282009%29.+GIS-Based+tools+and+methods+for+landscape+analysis+and+active+tectonic+evaluation.+Doctoral+thesis.+University+of+Granada.&btnG=
- Singh, O.M (2009). Hypsometry and erosion proneness: a case study in the lesser Himalayan Watersheds. Journal of Soil and Water conservation. 8, PP. 53- 59.
https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=%E2%80%A2%09Singh%2C+O.M.+%282009%29.+Hypsometry+and+erosion+proneness%3A+a+case+study+in+the+lesser+Himalayan+Watersheds.+Journal+of+Soil+and+Water+conservation.+8%2C+pp.+53-+59.&btnG=
- Stocklin, J. (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 52, PP. 1229-1258.
<https://pubs.geoscienceworld.org/aapg/bull/article-abstract/52/7/1229/35439/Structural-History-and-Tectonics-of-Iran1-A-Review?redirectedFrom=PDF>