



فصلنامه زمین ساخت

پائیز ۱۴۰۰، سال پنجم، شماره ۱۹

doi 10.22077/JT.2022.5079.1133

بررسی زمین ساخت فعال مرتبط با گسل کوهرنگ در ارتفاعات زردکوه با استفاده از شاخص‌هایی مورفومتری در منطقه چمال (کوهرنگ، جنوب باختر ایران).

غلامرضا خدادادی^۱، مریم آهنکوب^{۲*}

۱. دانش آموخته گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران.

۲. استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

چکیده:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۲

منطقه مورد مطالعه در شمال شهر چلگرد بخش مرکزی شهرستان کوهرنگ در غرب استان چهارمحال و بختیاری می باشد. هدف از این پژوهش بررسی زمین ساخت فعال مرتبط با فعالیت گسل کوهرنگ در ارتفاعات زردکوه می باشد. در این پژوهش با استفاده از شاخص‌هایی مورفومتری انتگرال هیسومتری (Hi)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، گرادیان رودخانه (SL)، شکل حوضه (BS) محاسبه شده است. به منظور تعیین میزان فعالیت ریخت زمین ساختی نسبی در منطقه مورد مطالعه، شاخص زمین ساخت فعال نسبی (IAT) محاسبه شده است. نقشه پهنه بندی حاصل از شاخص (IAT) نشان می دهد که فعالیت های نو زمین ساختی در همه ی جای این منطقه یکسان نبوده است حوضه‌هایی با فعالیت متفاوت ریخت زمین ساختی در منطقه پراکنده هستند. گسل کوهرنگ و گسل‌هایی فرعی آن در برخی مقاطع و حوضه‌ها فعال می باشند. به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده منطقه دارای فعالیت ریخت زمین ساختی متوسط تا کم می باشد.

واژه‌های کلیدی: زمین ساخت، شاخص‌هایی زمین ریختی، گسل کوهرنگ، ارتفاعات زردکوه، چمال.

* ایمیل: Ahankoub_m@yahoo.com

تلفن تماس: ۰۹۱۳۳۸۴۵۱۱۷

Investigation of active tectonics related to Koohrang fault in Zardkooh heights using morphometric indexes in Chamal region. (Koohrang, southwestern Iran).

Gholamreza Khodadadi¹, Maryam Ahankoub^{*2}

1-Msc, Department of geology, Faculty of Science, Bu – Ali Sina University, Hamadan, Iran.

2- Assistant Professor, Department of geology, Faculty of Science, Payam Noor university, Tehran, Iran.

Abstract:

The study area is in the north of Chelgard city, the central part of Koohrang city in the west of Chaharmahal and Bakhtiari province. The purpose of this study is to evaluate the tectonic evidence related to the activity of Koohrang fault in Zardkooh heights. In this study using indicators Hypsometric integral morphometry (Hi), Drainage basin asymmetry (Af), River gradient (SL), The shape of the basin (BS) is calculated. In order to determine the relative tectonic morphological activity in the study area, The relative active tectonics index (IAT) has been calculated. The map shows the resulting zoning index (IAT) New tectonic activities have not been the same everywhere in the region Basins with different New construction activity are scattered in the area In general Koohrang fault and its sub-faults are active in some sections and basins, according to the obtained results, the area has moderate to low tectonic morphological activity.

Keywords: Tectonics, geomorphic indexes, Koohrang fault, Zardkooh heights, Chamal.

*Email: Ahankoub_m@yahoo.com

Tel: +989133845117

۱. مقدمه

گنبد نمکی کوه‌رنگ بیان نمودند که شکلگیری سنگ‌های منطقه در محیط درون صفحه و ریفت قاره‌ای با منشأ مانتوی آستوسفیری بوده و آرایش پوسته‌هایی چندانی را متحمل نشده است. همچنین غلامی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی عملکرد گسل‌های عرضی در انتقال آب بین حوضه‌ای با استفاده از مطالعات ایزوتوپی و ردیابی رنگی ۶ مطالعه موردی: چشمه دیمه ۶ کوه‌رنگ پرداخته‌اند. بررسی شواهد زمین‌ساخت فعال مرتبط با گنبد نمکی چلگرد توسط خدادادی (۱۳۹۹) مطالعه شده است.

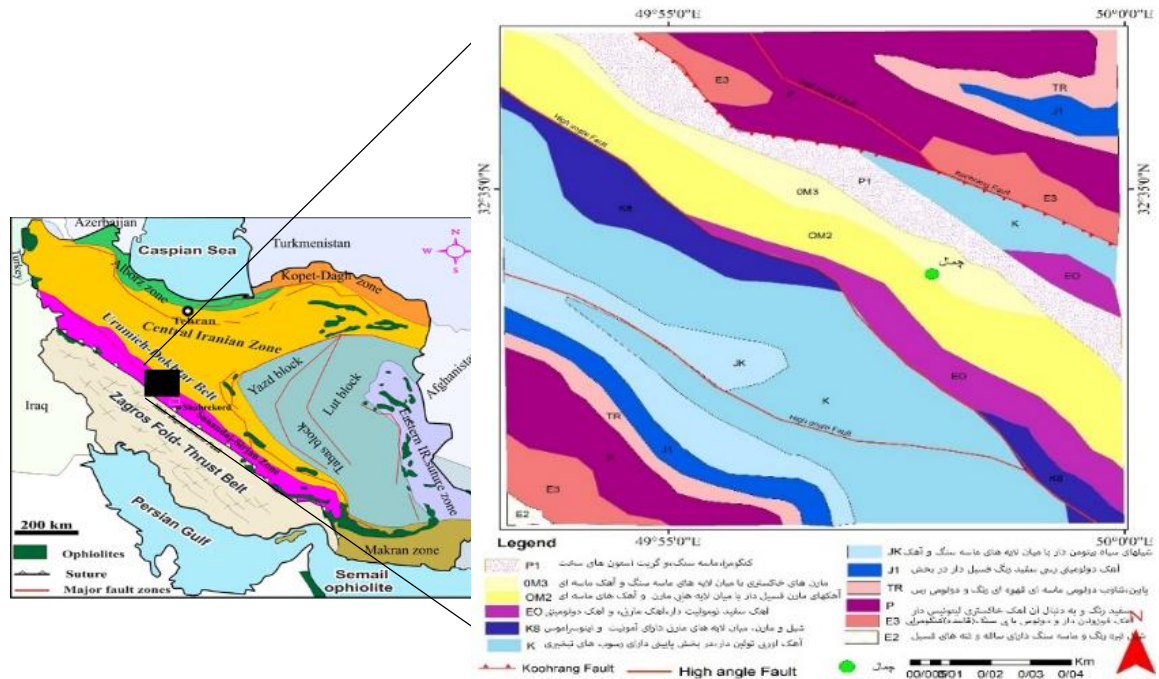
منطقه مورد مطالعه جز یکی کانون‌های آبرگیر ایران می‌باشد. تغییرات حوضه‌ها و فرسایش سنگی منطقه و لغزش سالانه در جاده خاکی چلگرد به سرآقاسید ریزش دارد. با توجه خشک شدن برخی چشمه‌هایی خطی منطقه آیا گسل در آن حوضه فعال است یا خشکسالی باعث آن شده است. ریزش برخی از واحدهایی سنگی در راه‌های صعب‌العبور عشایری کوهستان که باعث مسدود شدن راه آنان شد. تغییرات حوضه‌ها بیشتر شمالی - جنوبی، شرقی - غربی است یا نسبت به عمق بیشتر می‌باشند. هدف از این تحقیق بررسی زمین‌ساخت فعال مرتبط با گسل کوه‌رنگ در ارتفاعات زردکوه با استفاده از شاخص‌هایی مورفومتری در منطقه چمال می‌باشد. و تغییرات زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه می‌باشند.

۲. زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از لحاظ جغرافیایی در جنوب غربی کشور، استان چهارمحال و بختیاری، شهرستان کوه‌رنگ قرار دارد و از لحاظ ساختاری در کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس و در زیر زون زاگرس مرتفع قرار دارد (شکل ۱). روند ارتفاعات زردکوه همانند روند زاگرس شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد. ارتفاعات بزرگ از جمله هفت تنان در این منطقه دیده می‌شوند. همچنین قله‌هایی که از عملکرد گسل‌های کوه‌رنگ و زردکوه در منطقه برافراشته شده‌اند و آبراهه‌هایی بزرگی مانند چمال که از این منطقه جاری شده و به رودخانه کوه‌رنگ منتهی می‌شوند. چشمه‌هایی بزرگی همچون چشمه هفت تنان در این منطقه خروشان است. غار یخی چمال هم در این منطقه قرار دارد. بهترین راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه جاده خاکی شهر چلگرد به روستای سرآقاسید است که از منطقه عبور می‌کند.

مورفوتکتونیک یا ریخت‌شناسی زمین‌شناختی (Tecton-ic Geomorphology) به معنای دانش مطالعه‌ی اشکال یا سیمای ایجاد شده در سطح زمین بر اثر فرآیندهای تکتونیک می‌باشد. از آن نیز می‌توان به عنوان کاربرد علم ژئومورفولوژی در مطالعه و بررسی‌های تکتونیک یاد کرد. اشکال یا فرآیندهایی که به وسیله فعالیت درونی زمین یا تکتونیک در سطح زمین ایجاد می‌شوند تحت عنوان ژئومورفولوژی تکتونیک یا مورفوتکتونیک نامیده می‌شوند (Keller and Pinter, 2002). مورفوتکتونیک علمی است که روابط قائم و افقی زمین با فرآیندهای فرسایشی و رسوب‌گذاری و عوارض سطحی بررسی می‌نماید. مورفوتکتونیک را می‌توان به معنای دانش مطالعه اشکال و سیمای ایجاد شده در زمین بر اثر فرآیندهای تکتونیک دانست و یا از آن به معنای کاربرد اصول ژئومورفیک در تحلیل مسائل تکتونیک تعبیر کرد (Keller and Pinter, 1996). شاخص‌های که در مطالعات ریخت‌سنجی ارزیابی و محاسبه می‌شوند، به عنوان شاخص‌های ریخت‌سنجی شناخته شده‌اند. شاخص‌های ریخت‌سنجی ابزارهای مفیدی برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال هستند، زیرا با استفاده از آنها می‌توان به سرعت بینشی درباره محل یا بخشی از یک ناحیه بزرگ که تحت تاثیر دگرشکلی سریع زمین‌ساختی قرار دارد، بدست آورد. (Keller and Pinter, 2002)

ملک‌زاده و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی الگوی دگرشکلی در زاگرس مرتفع باختری پرداخته است. ایشان معتقدند شواهد زمین‌ریختی و سینماتیک گسل نشان دهنده آن است که بخش اعظم گسل زاگرس مرتفع دارای مولفه امتداد لغز است. بر اساس این سینماتیک، گسل زاگرس مرتفع نیز در انتقال دگرشکلی مولفه موازی کوهزاد زاگرس مشارکت می‌کند. در نتیجه ساز و کار جدید تشخیص داده شده، تسهیم کرنش از نوع بخشی (Partial strain partitioning) را برای زاگرس مرتفع باختری پیشنهاد می‌کند. بررسی تحلیل ریزرخسارهای و محیط رسوبی سازند آسماری در برش غار آقاسید، ناحیه فارسان (استان چهارمحال بختیاری)، زاگرس مرتفع دال بر حضور سه کمربند رخساره‌ای رمپ داخلی، رمپ میانی و رمپ خارجی در منطقه می‌باشد (حمیدزاده و همکاران، ۱۳۹۶). جعفری و همکاران (۱۳۹۹) با بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌شناسی دلریتهای



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ شهر کرد (زاهدی و ایلخچی، ۱۳۷۲)

کوه‌رنگ و جاری بودن تقریباً همیشگی آب رودخانه‌های کوه‌رنگ، منجر به تشکیل دره‌های جوان بزرگی شده است که از زمین‌های مسطح به سمت کوه‌ها، جوان‌تر و پرشیب‌تر می‌شوند. در ارتفاعات پایین منطقه کوه‌رنگ به علت فرایندهای تکتونیکی، فرسایش و مقدار آب زیاد، دره‌ها به صورت دره‌های منادری می‌باشند. در بین دره‌ها، دره‌های گسلی، دره‌های که در اثر عملکرد گسل و پهنه‌های گسلی منحرف یا جابه‌جا شده‌اند نیز وجود دارند. علاوه بر بارش فراوان برف و باران در منطقه کوه‌رنگ، فروچاله‌هایی بزرگی در ارتفاعات کوه‌های زرد کوه دیده می‌شود. در اثر عملکرد گسل کوه‌رنگ و گسل زرد کوه چشمه‌های بزرگ (چشمه دیمه و چشمه کوه‌رنگ و ...) به صورت خطی دیده می‌شوند. مخروط افکنه‌هایی در کوهپایه زرد کوه دیده می‌شوند و در دره رودخانه کوه‌رنگ تعدادی مخروط افکنه قدیمی با وسعت زیاد دیده می‌شوند، منشأ این مخروط افکنه‌ها رسوبات یخچالی هستند که از سمت بالا از طریق آبراهه‌ها به سمت پایین آورده می‌شوند (شکل ۳). بیشترین سازندهایی که مورد گسل خوردگی و چین خوردگی قرار گرفتند سازندهایی بختیاری و ایلام - سروک می‌باشند (خدادادی، ۱۳۹۹). گسل کوه‌رنگ، گسلی است رانده به درازای حدود ۵۰ کیلومتری و راستای شمال غرب - جنوب شرق، این گسل از دو سو

ارتفاعات زرد کوه بختیاری در بالاترین بخش واحد زمین‌ساختی تراست یا زاگرس مرتفع قرار دارد (درویش زاده ۱۳۸۳). استان چهارمحال و بختیاری در منطقه‌ای واقع شده است که در آن سلسله کوه‌های زاگرس از شمال غرب - جنوب شرق امتداد داشته و بلندترین نقطه آن قله زرد کوه با ارتفاع ۴۲۲۱ متر و پست‌ترین مناطق آن در قسمت جنوب غربی محل خروج کارون با ارتفاع ۸۰۰ متر می‌باشد. رشته کوه‌های زرد کوه (زرده) در حد فاصل دو رودخانه بزرگ کوه‌رنگ و بازفت قرار دارند که روند آنها همانند زاگرس شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد. این ارتفاعات، در بیشتر ایام سال، به علت بارندگی‌های زیاد پوشیده از برف می‌باشند، و جز کانون‌های آبگیر دائمی کشور محسوب می‌شوند. در منطقه کوه‌رنگ انحراف آبراهه‌ها و دره‌های جوان و V شکل حاصل از فعالیت تکتونیک جنبه، بواسطه عملکرد فعالیت گسل‌های اصلی (کوه‌رنگ، زرد کوه) و فرعی (گسل‌های شاخه‌ای) به وجود آمده‌اند. در اطراف گنبد نمکی کوه‌رنگ دره‌هایی جوان و پیری دیده می‌شوند که برخی از آنها دایمی و برخی دیگر فصلی می‌باشند. اغلب در منطقه کوه‌رنگ به واسطه یخچالهای بزرگ دره‌های یخچالی نیز دیده می‌شوند که در بیشتر روزهای سال با برف پوشیده شده‌اند. بارش زیاد و برف گیر بودن بیشتر منطقه

امتداد دارد، و یک سیستم راندگی فلسی و بر سطح انفصال قاعده‌ای نمک هرمز به وجود آمده‌اند. وجود دره‌های ناشی از پایین افتادگی و برجستگی‌های ناشی از بالا آمدگی سنگها در بین چند گسل نیز نشان از فرآیندهای تشخیص خارجی گسل‌ها می‌باشد. در شرق گنبد نمکی چلگرد ارتفاعات بالا آمده زراب و پایین افتادن قسمت‌هایی از زمین‌های بیرگان نشان از فعالیت گسل‌های کوه‌رنگ، دهنو در منطقه مورد مطالعه دارد. قله‌های بزرگ زردکوه از جمله کلونچین، زردکوه، خدنگ، هفت تنان از عملکرد گسل‌های کوه‌رنگ و زردکوه به وجود آمده‌اند. در منطقه مورد مطالعه دره‌های خطی بسیاری وجود دارد که تحت تاثیر عملکرد گسل‌های کوه‌رنگ و دهنو در شرق گنبد نمکی چلگرد به صورت خطی و موازی در آمده‌اند. دره چشمه کوه‌رنگ که به دلیل عملکرد گسل عرضی منحرف شده است (خدادادی، ۱۳۹۹).

به گسل‌های اردل و اشترانکوه که دنباله گسل درود است، منتهی می‌شود. این گسل، جزئی از گسل جوان زاگرس می‌باشد که در صورت فعالیت زمین لرزه به بزرگای Mw ۶/۵ ایجاد خواهد کرد. (Berberian and Yeats, 1999) براساس خمش لایه‌های رسوبی به وجود حرکات راستبر در امتداد گسل کوه‌رنگ اشاره کردند و گسل کوه‌رنگ را بخشی از گسل جوان زاگرس معرفی کرده‌اند. سازند تبخیری سری هرمز در بسیاری از منطقه‌ها در امتداد راندگی به سطح رسیده که نشان از عملکرد پی سنگی این گسل می‌باشد. این امر ممکن است به گسلش راستالغز کوه‌رنگ مرتبط باشد (Nemati and Yassaghi, 2010). در منطقه کوه‌رنگ یک گسل امتدادلغز با مولفه راست بر معکوس می‌باشد، که از طریق تحلیل آبراهه‌های اصلی کلونچین، زردکوه، خدنگ، ماربره، چنار و آبراهه‌های اصلی در جنوب غربی شهر چلگرد مشخص می‌باشند. در طول کوهزاد زاگرس

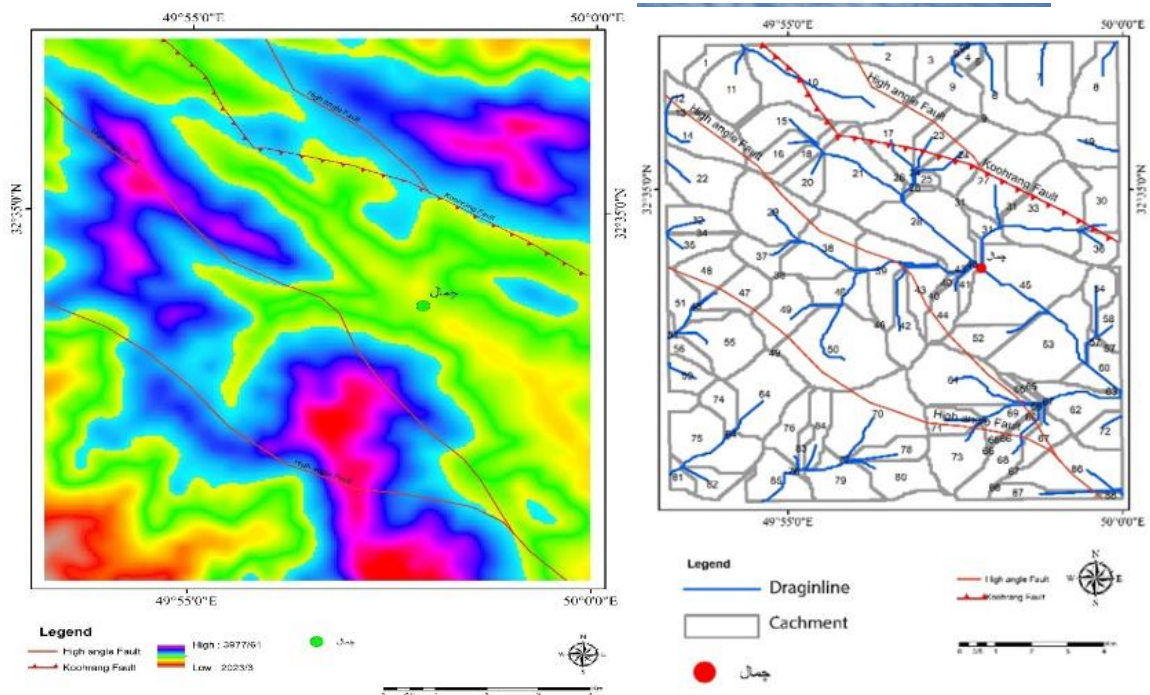


شکل ۲. ارتفاعات برف گیر زردکوه، مخروط افکنه‌هایی منطقه، رودخانه کوه‌رنگ ب. دره‌های جوان و V شکل منطقه کوه‌رنگ.

۳. مواد و روش‌ها

با توجه به ویژگی‌هایی منطقه، شاخص انتگرال هیستومتری (Hi)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، شاخص طول جریان- شیب رود (گرادیان رودخانه) (SL)، شاخص شکل حوضه (BS)، شاخص فعالیت نسبی (Iat)، برای منطقه مورد مطالعه محاسبه و از نتایج هر کدام از شاخص‌ها به طور جداگانه نقشه‌ای تهیه گردید. و در آخر فعالیت نسبی منطقه بررسی شد.

در این پژوهش با استفاده از داده‌هایی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد، به عنوان داده‌هایی پایه در محیط نرم افزار Arc GIS نقشه‌هایی ساختاری، شبکه زهکشی و مدل رقمی ارتفاعی (DEM) منطقه مورد مطالعه به عنوان داده ارتفاعی پایه تهیه گردید. سپس در مراحل بعدی با به کارگیری تکنیک‌های نرم افزاری و نوار ابزار ArcHydro، ۸۸ حوضه برای منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. سپس



شکل ۳. نقشه آبراهه‌ها و گسل‌های منطقه مورد مطالعه

متوسط و ۲۹ حوضه دارای فعالیت نوزمین‌ساختی کم می‌باشد (شکل الف ۴). برای حوضه شماره ۷۷ به علت کوچک بودن و قرارگیری در پایین دره داده‌ای به دست نیامد. بیشترین مقدار شاخص Hi (۰/۶۷) برای حوضه شماره ۹ و کمترین مقدار شاخص Hi برای حوضه ۷۷ داده‌ای به دست نیامد (شکل ۲). با توجه به نتایج به دست آمده قسمت‌هایی شمال غربی، غرب و جنوب شرقی که ارتفاعات بلندتری قرار دارند، تحت تاثیر عملکرد گسل‌ها دارای فعالیت بالایی شاخص Hi می‌باشند. قسمت‌هایی کم ارتفاع منطقه چمال که تحت تاثیر جاری شدن رودخانه‌های بزرگ و ذوب شدن برف‌ها و یخچال‌های منطقه قرار گرفته‌اند، دچار فرسایش شدید و در مقطعی ریزش و رانش قرار گرفته‌اند. غار یخی چمال در دره‌ها و اطراف رودخانه‌ها منتهی به رودخانه کوهرنگ قرار دارد که آب حاصل از ذوب شدن برف آن بر فرسایش و سایش رسوبات منطقه تاثیر بسزایی دارد.

۴-۲. شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

شکل هندسی یک شبکه زهکشی و حوضه‌های آبریز آن، می‌تواند متأثر از فعالیت تکنیکی منطقه باشد. حوضه‌هایی تشکیل شده در مناطق با فعالیت تکنیکی بالا، غالباً از الگوی متقارن خارجی پیروی می‌کند. به طوری که این حوضه‌ها

۴. بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیک

۴-۱. شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi)

انتگرال هیپسومتری، توزیع سطوح ارتفاعی در یک منطقه یا یک حوضه آبریز را نشان می‌دهد (Strahler, 1952). منحنی ارتفاع هیپسومتری یک از نسبت کل ارتفاع حوضه به کل مساحت حوضه به دست می‌آید. یک روش ساده برای مشخص کردن شکل منحنی ارتفاع سنجی برای یک حوضه زهکشی خاص محاسبه انتگرال ارتفاع سنجی است که از رابطه زیر به دست می‌آیند (Pick and Wilson, 1971).

$$Hi = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}$$

کلاس ۱: $Hi > 0/5$ بیانگر توپوگرافی جوان، کلاس ۲ $Hi > 0/4 < 0/5$ بیانگر توپوگرافی بالغ، کلاس ۳: $Hi \leq 0/4$ بیانگر توپوگرافی پیر می‌باشد. در این فرمول Hmean ارتفاع میانگین حوضه، Hmax بیشترین ارتفاع حوضه، Hmin کمترین ارتفاع حوضه می‌باشد. سطوح بالایی Hi نشان دهنده بیشترین توپوگرافی در حوضه و مقدار متوسط تا پایین نیز با حوضه‌های زهکشی یکنواخت در ارتباط است (Keller, 2002 and Pinter). در این منطقه ۳۱ حوضه کلاس با فعالیت نوزمین‌ساختی فعال (بالا)، ۲۷ حوضه با فعالیت نوزمین‌ساختی



سازگاری یک تعادل دینامیکی را ایجاد می‌نماید (فرسایش = بالا آمدگی) و سیستم رودخانه‌ای تقعر کمی در پروفیل طولی خود نشان می‌دهد، این شاخص ابتدا به وسیله (Hack, 1973) در مطالعه نقش مقاومت سنگ‌ها بر جریان آب‌ها در کوه‌های آپالاش در جنوب شرقی امریکا به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

SL: شاخص گرادیان رودخانه، $\Delta H / \Delta L$: شاخص گرادیان - طولی رودخانه، L: طول رودخانه از خط تقسیم آبراهه تا بخش مرکزی که گرادیان آن محاسبه شده است. با استفاده از طبقه‌بندی (El Hamdouni et al, 2008) شاخص SL به سه دسته تقسیم می‌شوند. کلاس ۱: $SL > 500$ دارای حرکات نوزمین‌ساختی (تکتونیک) فعال، کلاس ۲: $300 < SL < 500$ دارای حرکات نوزمین‌ساختی متوسط، کلاس ۳: $SL < 300$ دارای حرکات نوزمین‌ساختی کم می‌باشد. شاخص SL نسبت به تغییرات گرادیان رودخانه حساس بوده پس یک روش مفید برای پی‌بردن به نحوه عملکرد و جابه‌جایی ناشی از نیروهایی زمین‌ساخت است (Chen et al, 2003). مقدار پایین ناهنجاری SL در دره‌های خطی گسل‌های امتدادلغز ممکن است نشان‌دهنده فعالیت تکتونیک باشد زیرا سنگ‌های کف دره به خاطر حرکات گسلی خرد می‌شوند (Keller and Pinter, 2002). در این پژوهش ۱ حوضه دارای فعالیت نوزمین‌ساختی فعال، ۴ حوضه دارای فعالیت نوزمین‌ساختی متوسط و ۸۳ حوضه با فعالیت نوزمین‌ساختی کم می‌باشند. بیشترین مقدار شاخص SL $672/4$ مربوط به حوضه شماره ۹ و کمترین مقدار شاخص SL مربوط به حوضه‌هایی که داده‌ای برای آنها به دست نیامده، تعلق دارد. در این منطقه جریان رودخانه کوه‌رننگ در راستایی گسل شمال غرب - جنوب شرق، همانند گسل کوه‌رننگ، و در ادامه گسل‌های عرضی گسل کوه‌رننگ و زردکوه و گسل زاگرس را قطع می‌کنند، هم‌راستایی شمال شرق - جنوب غرب، باعث شده تا شاخص SL فعالیت کمتری را نشان دهد. عامل لیتولوژی نیز یکی از عوامل موثر بر فعالیت شاخص گرادیان رودخانه می‌باشد. حوضه‌هایی شامل گنبد نمکی و رسوبات عصر حاضر در منطقه مورد مطالعه بر کاهش فعالیت شاخص گرادیان رودخانه تاثیر گذار می‌باشند (شکل ۴ پ).

۴-۴. شاخص شکل حوضه (BS)

حوضه‌های زهکشی جوان در مناطق دارای تکتونیک

دارای کج‌شدگی جانبی نسبت به امتداد طبیعی رود هستند. میزان عدم تقارن به خوبی توسط این شاخص محاسبه می‌شود. باید توجه داشت که کارایی این شاخص در مواردی است که جهت کج‌شدگی بر مسیر جریان رود اصلی عمود باشد. این شاخص براساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Keller and Pinter, 2002).

$$Af = (Ar/At) * 100$$

Af: شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، Ar: مساحت دربرگیرنده زهکشی‌های فرعی در سمت راست آبراهه اصلی (دید به سمت پایین دست آبراهه)، At: مساحت کل حوضه در برگیرنده زهکشی‌های فرعی چپ و راست آبراهه‌ها می‌باشد. طبق تقسیم‌بندی؛ (El Hamedouni et al, 2008) مقادیر مشخص عدم تقارن آبراهه‌ها در سه دسته بندی می‌شوند. حوضه‌های $Af < 35$ و $Af \geq 65$ در کلاس یک قرار می‌گیرند که نشان از فعالیت شدید تکتونیک و حوضه نا متقارن می‌باشد. کلاس ۲ شامل حوضه‌هایی با مقادیر $35 > Af \geq 43$ یا $57 > Af \geq 65$ می‌باشد که نشان از فعالیت تکتونیک متوسط است و حوضه نیمه متقارن می‌باشد. کلاس ۳ مقدار $43 \geq Af \geq 57$ می‌باشد و نشان از مقاومت کم تکتونیک و حوضه متقارن می‌باشد. در این پژوهش تعداد ۳۷ حوضه از نظر فعالیت نوزمین‌ساختی فعال، ۲۶ حوضه دارای فعالیت نوزمین‌ساختی متوسط و ۲۵ حوضه دارای فعالیت نوزمین‌ساختی کم می‌باشند. همچنین بیشترین مقدار شاخص Af ($97/8$) مربوط به حوضه ۴۳ و کمترین مقدار شاخص Af $43/4$ مربوط به حوضه ۶۰ می‌باشند. در منطقه مورد مطالعه حوضه‌ها با فعالیت‌های متفاوت نوزمین‌ساختی (فعال، متوسط، کم) دیده می‌شوند. در این منطقه گسل کوه‌رننگ در تمام حوضه‌ها فعال نمی‌باشد. گسل‌هایی فرعی نیز در بعضی از حوضه‌ها فعال هستند که سبب شده‌اند در مقاطعی شاخص بیشترین کج‌شدگی حوضه‌ها را نشان می‌دهند. در ارتفاعات برخی حوضه‌ها تحت تاثیر فعالیت گسل، ذوب شدن برف و رانش زمین سبب فعال بودن شاخص و کج شدن و نامتقارن شدن حوضه‌ها شده‌اند. غار یخی چمال نیز باعث کج شدن حوضه ۴۱ شده است (شکل ۴ ب).

۴-۳. شاخص گرادیان - طولی رودخانه (SL)

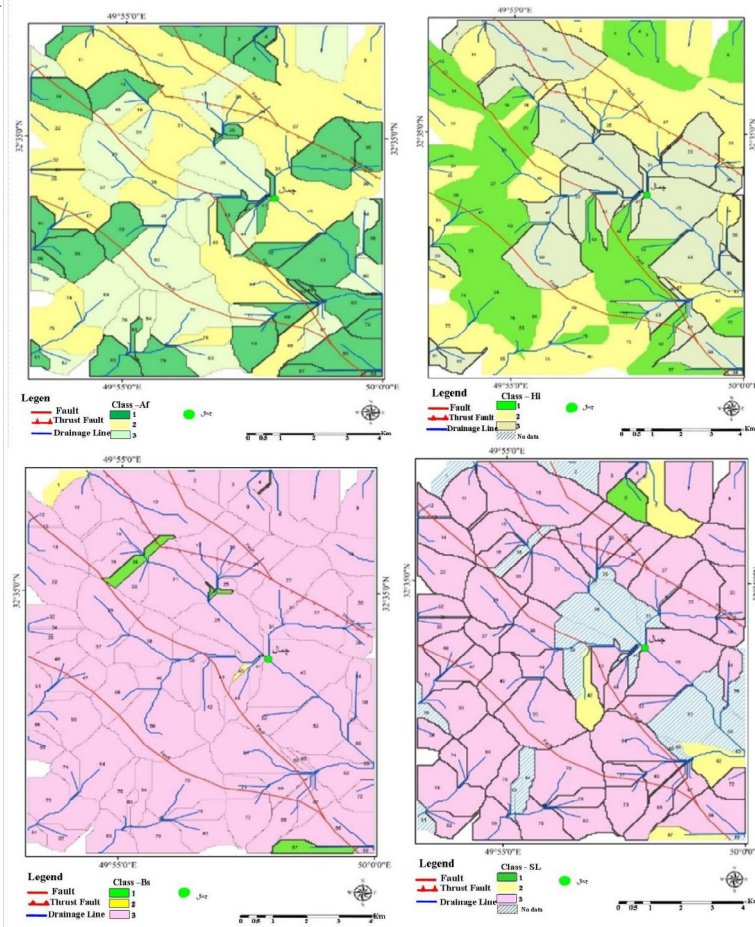
تکامل تدریجی توپوگرافی از سازگاری بین فرآیندهایی فرسایشی مانند آبراهه‌ها و جریان رودخانه‌ها در همه سنگ‌ها و خاک‌های با مقاومت متفاوت به دست می‌آید. سرانجام این

پژوهش تعداد ۴ حوضه دارای فعالیت نوزمین ساختی بالا، ۱ حوضه دارای حوضه نوزمین ساختی متوسط و ۸۲ حوضه دارای فعالیت نوزمین ساختی کم می باشند. بیشترین مقدار شاخص BS (۹) برای حوضه شماره ۵ و کمترین مقدار شاخص برای حوضه ۸۳ (۰/۰۸) می باشند. فعالیت گسل کوهرننگ باعث ریزش قسمتی از ارتفاع به سمت دره شده است که شامل حوضه شماره ۱۸ می باشد و بقیه گسل فعالیت کمتری دارد. در حوضه شماره ۸۸، فعالیت گسل فرعی باعث تغییرات شکل حوضه شده است. در بیشتر حوضه ها و ارتفاعات زردکوه، پر بارش بودن برف باعث تغییرات بیشتر و نفوذ آب خروجی برف به سمت عمق حوضه ها شده است، که این امر موجب تغییرات کمتر حوضه ها در سطح زمین شده است. در برخی حوضه ها که سیرک های یخچالی قرار دارند تغییرات حوضه ها بیشتر به صورت ریزش و لغزش و حفر رودخانه ها اتفاق می افتد و در مواقعی ارتفاعات مانند دیوار اطراف یخچال ها را گرفته اند. به طوری که بیشتر روز آفتاب به عمق حوضه نم تابد (شکل ۴ ج).

فعال، تمایل به کشیدگی شکل حوضه در جهت موازی با شیب توپوگرافی کوه دارند. زمانی که فعالیت تکنونیک با گذشت زمان و تداوم سیر تکاملی توپوگرافی، کاهش می یابد. حوضه های کشیده به حوضه هایی دایره ای شکل تبدیل می شوند (Bull and Mcfaden, 1977). مقدار زیاد شاخص BS مربوط به حوضه هایی کشیده در نواحی فعال زمین ساختی است. در صورتی که مقادیر کم آن حوضه هایی دایره ای شکل نواحی غیرفعال را نشان می دهد (Bull and Mcfaden, 1977). این شاخص براساس رابطه زیر محاسبه می شود (Cannon, 1976).

$$BS = BL/BW$$

BS: شکل حوضه BL: طول حوضه BW: عرض حوضه در عریض ترین بخش آن است. براساس تقسیم بندی (El Ham-douni et al, 2008) این شاخص را به سه کلاس تقسیم بندی کرده اند. کلاس ۱: $BS > 4$ حوضه فعال، کلاس ۲: $3 < BS < 4$ نیمه فعال کلاس ۳: $BS < 3$ حوضه غیرفعال است. در این



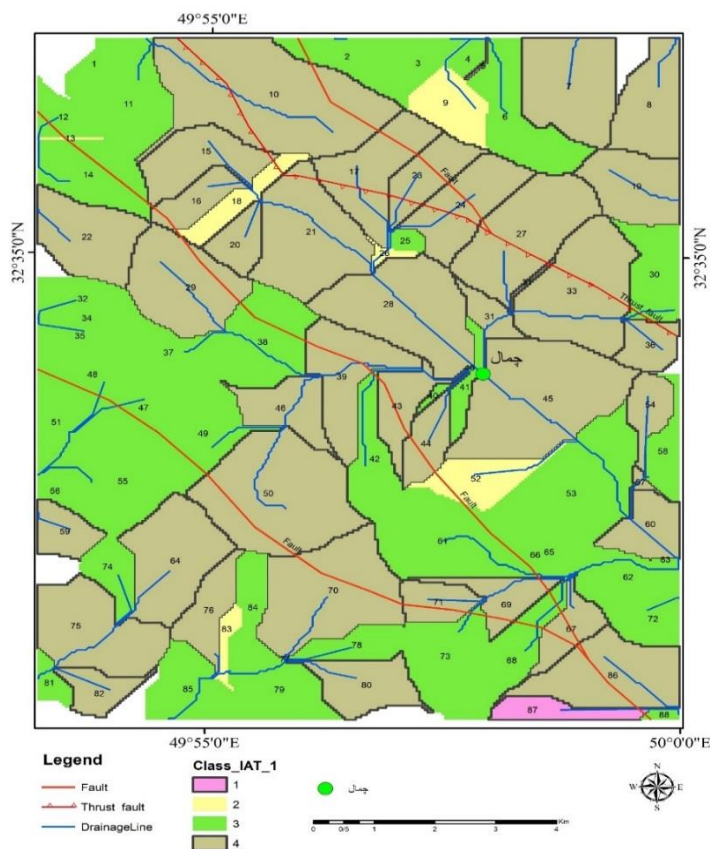
شکل ۴: الف: نقشه محاسبات شاخص انتگرال هیسومتری (Hi)، ب: نقشه محاسبات شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، پ: نقشه محاسبات شاخص گرادبان رودخانه (SL)، ج: نقشه محاسبات شاخص شکل حوضه (BS) در منطقه مورد مطالعه.

۴-۵. شاخص فعالیت نسبی (Iat)

($Iat \geq 2,5$) در رده‌بندی جداگانه هر یک از شاخص‌ها، سه رده فعالیت زمین‌ساختی در نظر گرفته شده‌است. اما در رده‌بندی نهایی رده چهارم نیز افزوده شده‌است. این کار به این دلیل است که بخش‌هایی با فعالیت بسیار بالا و بسیار پایین بهتر مشخص شوند (El Hamdouni et al, 2008). در این پژوهش تعداد ۲ حوضه دارای فعالیت نوزمین‌ساختی بسیار فعال، ۵ حوضه دارای فعالیت نوزمین‌ساختی فعال، ۴۳ حوضه دارای فعالیت نوزمین‌ساختی متوسط و ۳۸ حوضه آن دارای فعالیت نوزمین‌ساختی کم می‌باشند. بیشترین مقدار شاخص Iat مربوط به حوضه ۸۷ و کمترین مقدار به حوضه‌های که داده‌ای برای آنها به دست نیامد، تعلق دارد. گسل کوه‌رننگ و گسل‌های فرعی منطقه مورد مطالعه در بخش‌هایی از منطقه دارای فعالیت بالایی نوزمین‌ساختی هستند. ارتفاعاتی که تحت تاثیر فعالیت گسل‌های اصلی و فرعی، سیرک‌های یخچالی و ذوب شدن برف قرار می‌گیرند دارای فعالیت‌های متفاوت نوزمین‌ساختی هستند (شکل ۵) ..

فعالیت زمین‌ساختی نسبی هر چشم انداز را می‌توان بر اساس مقادیر حاصل از محاسبه شاخص ریخت‌سنجی بیان کرد. برای دست‌یابی به این شاخص ابتدا میزان شاخص‌های زمین‌ساختی برای هر قسمت مشخص می‌شود، سپس آن بخش بر اساس مقادیر هر شاخص زمین‌ساختی رده‌بندی می‌شود، آنگاه میانگینی از تمام رده‌بندی‌های S/n بیان می‌شود که این مقدار گویای رده‌بندی نهایی فعالیت زمین‌ساختی آن منطقه می‌باشد.

طبق تقسیم‌بندی (El Hamedouni et al, 2008) کلاس ۱ شامل بخش‌هایی با S/n بین ۱ تا $1/5$ می‌باشد که فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالایی دارد ($Iat > 1$). کلاس ۲ بخش‌هایی با S/n بین $1/5$ تا ۲ را شامل می‌شود که فعالیت زمین‌ساختی بالایی دارند ($Iat \geq 1,5$). کلاس ۳ شامل بخش‌هایی با S/n بین ۲ تا $2/5$ می‌باشد که فعالیت زمین‌ساختی متوسط دارند ($Iat \geq 2,5$). کلاس ۴ بخش‌های S/n بزرگتر از $2/5$ که فعالیت کمتری از خود نشان می‌دهند را دربرمی‌گیرد



شکل ۵. نقشه محاسبات شاخص فعالیت نسبی (IAT) در منطقه مورد مطالعه.



جدول ۱: محاسبات شاخص‌هایی منطقه مورد مطالعه.

Class_IAT	N/S	Class_SL	Class_Bs	Class_Af	Class_Hi	GridID
3	2	no data	2	1	3	1
3	2	no data	3	1	2	2
3	2	3	3	1	1	3
3	2	3	3	1	1	4
1	1	no data	1	1	1	5
3	2	2	3	2	1	6
4	2.75	3	3	3	2	7
4	2.5	3	3	2	1	8
2	1.5	1	3	1	1	9
4	2.75	3	3	2	3	10
3	2.5	3	3	2	2	11
3	2.5	3	3	3	1	12
2	1.66	no data	3	1	1	13
3	2	3	3	1	1	14
4	2.5	3	3	1	3	15
4	2.5	3	3	3	1	16
4	2.75	3	3	3	2	17
2	1.66	no data	1	2	2	18
4	2.5	3	3	2	2	19
4	2.5	3	3	3	1	20
4	2.75	3	3	2	3	21
4	2.5	3	3	2	2	22
4	2.5	3	3	2	2	23
4	2.5	3	3	2	2	24
3	2	no data	3	1	2	25
2	1.66	no data	1	1	3	26
4	2.5	3	3	2	2	27
4	3	no data	3	3	3	28
4	2.5	3	3	3	1	29
3	2.25	3	3	1	2	30
4	2.66	no data	3	2	3	31
3	2.25	3	3	2	1	32
4	2.5	3	3	1	3	33
3	2	no data	3	1	2	34
3	2.5	3	3	2	2	35
4	2.75	3	3	2	3	36
3	2.5	3	3	3	1	37
3	2.5	3	3	2	2	38
4	3	no data	3	3	3	39
3	2	no data	2	1	3	40
3	2.33	no data	3	1	3	41
3	2	2	3	2	1	42
4	2.5	3	3	1	3	43
4	2.5	3	3	3	1	44

4	2.75	3	3	2	3	45
4	3	3	3	3	3	46
3	2.25	3	3	2	1	47
3	2.25	3	3	2	1	48
3	2	3	3	1	1	49
4	3	3	3	3	3	50
3	2.25	3	3	1	2	51
2	1.5	3	3	1	1	52
3	2.33	no data	3	1	3	53
4	3	3	3	3	2	54
3	2	3	3	1	1	55
3	2.33	no data	3	1	3	56
4	3	no data	3	3	3	57
3	2.33	no data	3	1	3	58
4	2.75	3	3	3	2	59
4	3	no data	3	3	3	60
3	2.25	3	3	2	1	61
3	2	2	3	1	2	62
3	2	no data	3	1	2	63
4	2.5	3	3	3	1	64
3	2	no data	3	1	2	65
3	2.33	no data	3	1	3	66
4	3	3	3	3	3	67
3	2.25	3	3	2	1	68
4	2.5	3	3	1	3	69
4	2.75	3	3	3	2	70
4	2.5	3	3	3	1	71
3	2	3	3	1	1	72
3	2.25	3	3	1	2	73
3	2.25	3	3	2	1	74
4	2.5	3	3	2	2	75
4	2.5	3	3	3	1	76
4	3	no data	3	3	no data	77
3	2.25	3	3	2	1	78
3	2.25	3	3	1	2	79
4	2.75	3	3	3	2	80
3	2.33	no data	3	1	3	81
4	3	3	3	3	3	82
2	1.66	no data	3	1	1	83
3	2.33	no data	3	3	1	84
3	2.25	3	3	1	2	85
4	2.5	3	3	1	3	86
1	1.25	2	1	1	1	87
3	2.33	no data	3	1	3	88



۵. نتیجه گیری

با استفاده از نتایج به دست آمده از بررسی شاخص‌هایی مورفومتری فعالیت گسل کوهرننگ در ارتفاعات زردکوه منطقه چمال واقع در شهرستان کوهرننگ استان چهارمحال و بختیاری، به مطالعه و شناسایی منطقه پرداخته شده است. در منطقه ۸۸ حوضه زهکشی برای ارزیابی شاخص‌هایی مورفومتری از جمله انتگرال هیپسومتری (Hi)، انتگرال عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، شاخص گرادیان رودخانه (SL)، شاخص شکل حوضه (BS)، مورد ارزیابی قرار گرفتند. با توجه به نتایج حاصل از شاخص انتگرال هیپسومتری منطقه مورد مطالعه دارای فعالیت نوزمین ساختی متفاوت در منطقه بوده، بیشترین فعالیت این شاخص مربوط به ارتفاعات بلند زردکوه و هفت تنان می باشد. کمترین مقدار به حوضه‌هایی کم ارتفاع و پایین دست منطقه که رودخانه کوهرننگ از بین آنها جاری و عبور می کند و دچار لغزش و ریزش کوه نیز شده اند. غار یخی چمال در دره‌ها و اطراف رودخانه‌ها منتهی به رودخانه کوهرننگ قرار دارد که آب حاصل از ذوب شدن برف آن بر فرسایش و سایش رسوبات منطقه تاثیر بسزایی دارد. شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af). در ارتفاعات برخی حوضه‌ها تحت تاثیر فعالیت گسل، ذوب شدن برف و رانش زمین سبب فعال بودن شاخص و کج شدن و نامتقارن شدن حوضه‌ها شده‌اند. فعالیت گسل کوهرننگ و رودخانه کوهرننگ نقش مهمی در فعالیت شاخص Af در شمال و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه دارند. مقدار شاخص SI نیز در منطقه به خاطر فعالیت رودخانه کوهرننگ رسوبات یخچالی، آبرفتی، فعالیت نوزمین ساختی کمتر دارد. شاخص شکل حوضه (BS) دارای فعالیت نوزمین ساختی کمتر است در برخی از حوضه‌ها که در بیشتر روزهایی سال پوشیده از برف هستند آب خروجی به سمت عمق زمین تغییرات بیشتری را نسبت به بیرون حوضه نشان می دهد که برخی حوضه‌ها تغییرات خیلی کمی را نشان می دهند. جمع‌بندی نتایج تمامی شاخص‌های ذکر شده به وسیله شاخص (LAT) ارزیابی فعالیت نسبی جهت تعیین فعالیت نوزمین ساختی منطقه مورد مطالعه به دست آمده است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی، فعالیت شاخص‌هایی نوزمین ساختی در همه منطقه متفاوت می‌باشند. گسل کوهرننگ و گسل‌های عرضی در بخش‌هایی از منطقه دارای فعالیت نوزمین ساختی متوسط می‌باشند. ارتفاعات دارای فعالیت متفاوت نوزمین ساختی هستند، غار یخی چمال دارای فعالیت نوزمین ساختی متوسط می‌باشند. در

کل برای منطقه مورد مطالعه، فعالیت نوزمین ساختی متوسط تا کم می‌باشند.

منابع

زاهدی، م.، و ایلخچی، م.، ۱۳۷۲. نقشه زمین‌شناسی شهرکرد. مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور. درویش‌زاده، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. انتشارات امیرکبیر، تهران.

جعفری، پ.، شبانیان بروجنی، ن.، داودیان دهکردی، ع. ر.، عزیززی، ح.، ۱۳۹۹. منشاء و ژئودینامیک دلریت‌های گنبد نمکی کوهرننگ. مجله پژوهش‌های دانش زمین، دوره ۱۱، شماره ۱ - شماره پیاپی ۴۱. صفحه ۳۲-۴۶.

حمیدزاده، س. ح.، بابازاده، س. ا.، عسگری پیر بلوطی، ب.، سلگی، ع.، ۱۳۹۶. تحلیل ریزرخساره ای و محیط رسوبی سازند آسماری در برش غار آقاسید، ناحیه فارسان (استان چهارمحال بختیاری)، زاگرس مرتفع. فصلنامه علوم زمین شماره ۱۰۵.

خدادادی، غ. م.، ۱۳۹۹. شواهد زمین ساخت فعال مرتبط با گنبد نمکی چلگرد، باختر ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بوعلی سینا همدان.

غلامی، ا.، صبا، ع.، یساقی، ع.، خطیب، م.، کریمی، ح. (۱۳۹۹). بررسی بررسی عملکرد گسل‌های عرضی در انتقال آب بین حوضه‌ای با استفاده از مطالعات ایزوتوپی و ردیابی رنگی، مطالعه موردی: چشمه دیمه، کوهرننگ. زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ش ۳، ص ۳۱۲-۳۹۹.

ملک زاده، ز.، عباسی، م.، بلیه، ا.، اوتنه مه یو، ک.، شبانیان، ا.، ۱۳۸۷. الگوی دگرشکلی در زاگرس مرتفع باختری. نشریه علوم زمین « پاییز ۱۳۸۷ شماره ۶۹.

Berberian, M., and Yeats, R. S, 1999. Patterns of Historical Earthquake Rupture in the Iranian Plateau. Bulletin of the Seismological Society of America, 89: 120-139

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 Eighth Annual Geomorphology symposium, State University of New York, and Binghamton., 115- 138.

Cannon, P. J., 1976, Generation of explicit param-



eters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. *Oklahoma Geology Notes*, 36(1), 3-16.

Chen, Y.C., Sung, Q., Cheng, K.Y., 2003. Along-strike variation of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis. *Geomorphology*, 56: 109-137.

El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacana, J., Keller, E.A. 2008. Assessment of relative tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain) *Geomorphology*, 96, 150-173.

Hack, J.T., 1973. Stream-profile analysis and stream-gradient index, U.S. Geological Survey Journal of Research, 1: 421-429.

Keller, E.A. and Pinter, N., 1996. Active tectonics (Vol. 338). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Keller E.A, and Pinter, N., 2002. Active Tectonics Earthquake Uplift, and Landscape, Prentice Hall New Jersey.362p.

Nemati, M., and Yassaghi, A., 2010. Structural characteristics of the transitional zone from internal to external parts of the Zagros orogen, Iran. *Asian Earth Sciences* 39: 161 – 172.

Pick, R.J., and Wilson, S. E., 1971. Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis, *Geological Society of America Bulletin*, 82, 1079-1084.

Strahler, A.N., 1952. Hypsometric(area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* 63, 1117-1142.

