

## بررسی زمین ساخت فعال منطقه کوه‌رنگ با نگاهی ویژه بر رفتار گنبد نمکی کوه‌رنگ

لیلی ایزدی کیان\*؛ استادیار، زمین شناسی گرایش تکتونیک، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

غلامرضا خدادادی؛ کارشناس ارشد تکتونیک، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۳

### چکیده

گنبد نمکی کوه‌رنگ در شمال غرب استان چهارمحال و بختیاری و در زیر پهنه ساختاری زاگرس مرتفع قرار دارد. این گنبد نمکی در کوهپایه ارتفاعات زردکوه (زرده) و تحت تاثیر فعالیت گسل‌های کوه‌رنگ، دهنو، زردکوه و گسل‌های عرضی (فرعی) بین گسل‌های کوه‌رنگ و زردکوه قرار دارد. توالی‌های رسوبی ستبر زاگرس سنگ‌هایی با سن اینفراکامبرین تا عهد حاضر را در بر می‌گیرد. هدف از این پژوهش ارزیابی فعالیت نوزمین ساختی منطقه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک شامل انتگرال هیپستومتری (Hi)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، شاخص گرادیان رودخانه (SL)، شاخص سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)، شاخص نسبت پهنای دره به عمق دره (Vf) و شاخص زمین ساخت نسبی (Iat) می‌باشد. براساس نتایج بدست آمده بیشترین فعالیت نو زمین ساختی مربوط به قله‌های زردکوه، کلونچین و دره خدنگ بوده و در قسمت‌های گنبد نمکی کوه‌رنگ و شهر کوه‌رنگ و زمین‌های کشاورزی اطراف گنبد نمکی، فعالیت کم تا متوسط می‌باشند. با توجه به مقاومت پایین واحدهای گنبد نمکی، اغلب شاخص‌های ژئومورفیک برای حوضه‌های مجاور آن مقدار پایین را نشان می‌دهند ولی شاخص عدم تقارن حوضه بخاطر برخاستگی گنبد نمکی فعالیت آن را بهتر از شاخص‌های دیگر نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های ژئومورفیک، زمین ساخت جنب، گنبد نمکی کوه‌رنگ، زاگرس مرتفع.

### مقدمه

اشکال زمین پدیده‌های سطحی و مجموعه‌ای از چشم اندازهای تشکیل دهنده سطح زمین هستند. اشکال بزرگ زمین همچون کوه‌ها و فلات‌ها و پدیده‌های کوچک‌تر چون مخروط‌های آبرفتی، تپه‌ها، دره‌ها و غیره می‌باشند. ژئومورفولوژی، مطالعه منشأ و تکامل چشم اندازها روی زمین با تمرکز بر فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی است که اشکال زمین را ایجاد یا تغییر می‌دهند (کلر و پینتر، ۱۹۹۶). در نواحی فعال زمین ساختی، ویژگی‌های شبکه آبراهه‌ای و اشکال توپوگرافی امکان برآورد کمی از فعالیت‌های زمین ساختی و ریخت‌شناسی مناطق مختلف را فراهم می‌آورند (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۹). در صورتی که اندازه‌گیری شاخص‌های زمین ریختی تنها به داده‌های تصاویر ماهواره‌ای و توپوگرافی محدود شود

ممکن است تغییرات ناگهانی در سنگ شناسی به عبارتی تغییرات ناگهانی در سختی سنگ ها بر تحلیل داده ها تأثیر منفی گذارد (دولتی، ۱۳۹۵). شاخص های ژئومورفیک از ابزار های مهم برای ارزیابی فعالیت های تکتونیکی در یک ناحیه ویژه هستند، تمام شاخص های ژئومورفیک تحت تاثیر ویژگی های فیزیکی و مکانیکی سنگ ها قرار دارند، بنابراین مقادیر حاصل از این به کارگیری شاخص ها به طور مستقیم یا غیر مستقیم نشان دهنده ویژگی های مذکور هستند (بیاتی و خطیبی، ۱۳۸۸: ۲۳-۵۰). رشته کوه زاگرس از سه کمر بند تشکیل شده است: ۱. کمر بند چین و راندگی زاگرس که شامل کمر بند زاگرس چین خورده ساده خارجی و کمر بند زاگرس مرتفع داخلی است ۲. کمر بند زمین درز زاگرس که شامل ورقه های رانده رادیولاریت، اهک بیستون و افیولیت می باشد ۳. پهنه سنندج - سیرجان که شامل سنگ های دگرگون شده است (محجل و فرگوسن، ۲۰۱۴). فرورانش تئیس جوان به زیر پلاتفرم ایرانی به سمت شمال شرق و رانده شدن صفحه عربی بر روی صفحه ایرانی سبب تشکیل تحول و ناهمواری های زاگرس در راستای شمال غرب - جنوب شرق شده است. به علت وجود روراندگی ها، گسل ها و حرکات زمین ساختی فعال در پهنه برخوردی در منطقه زاگرس، بخش داخلی زاگرس را کمر بند رانده یا زاگرس مرتفع گویند (محجل و فرگوسن، ۲۰۱۴). توالی های رسوبی ستبر زاگرس سنگ هایی را در بر می گیرد که سنی از اینفراکامبرین تا حال حاضر دارند، سری هرمز و معادل آن در یک حوضه تبخیری در طول زمان نئوپروتروزوئیک (پراکامبرین پسین - پراکامبرین پیشین) ته نشین شده اند (مطیعی، ۱۳۷۴). واحدهای سنگ چینه ای رخنمون یافته در حوضه به ترتیب سنی از قدیم به جدید عبارت اند از سازندهای سری هرمز، سازند میلا، سازند ایلبیک، سازند زردکوه، سازند فراقان، سازند دالان، سازند خانه کت، سازند نیریز سرمه، سازند گرو، سازند ایلام سروک، سازند گورپی امیران، سازند آسماری چهارم، سازند آغاچاری، سازند بختیاری و رسوبات عهد حاضر (غلامی و همکاران، ۱۳۹۹) (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در کمر بند زاگرس و در زیرزون زاگرس مرتفع قرار دارد. کمر بند زاگرس مرتفع که بیشترین مقدار دگرریختی را متحمل شده، بین گسل اصلی معکوس زاگرس و گسل زاگرس بلند قرار دارد و کمر بند زاگرس چین خورده - گسلیده در جنوب غرب گسل زاگرس مرتفع قرار گرفته است (سپهر و کاسگرو، ۲۰۰۴). کمر بند زاگرس مرتفع که شهرستان کوه‌رنگ در درون آن قرار گرفته است، یک کمر بند رو رانده باریک با روند شمال غرب - جنوب شرق بین گسل اصلی زاگرس در شمال شرق و زون گسل خورده زاگرس مرتفع در جنوب غرب است (محجل و همکاران). این ناحیه بالا ترین ارتفاع را در زاگرس داشته و به شدت توسط گسل های معکوس متعدد بریده شده و به سوی جنوب غرب سفره ی راندگی را به وجود آورده است. وجود راندگی های متعدد سنگ های دگرگونی، افیولیت ها و رادیولاریت ها از مشخصات بارز این بخش از زاگرس است (میلیاریسیس، ۲۰۱۱). گنبد های نمکی ساختمان های زمین شناسی گنبدی شکلی هستند که هسته مرکزی آن ها از نمک تشکیل شده است. اهمیت اقتصادی آن ها به واسطه قرار گیری مخازن نفتی در ساختهای همراه با گنبد های نمکی و همچنین وجود منابع سولفیدی پتاس، آهن و نمک در آن ها است. منطقه زاگرس که شهرستان کوه‌رنگ در درون آن قرار دارد یک منطقه فشارشی است که گسل کوه‌رنگ در سمت جنوب غرب گنبد نمک، گسل دهنو در سمت شرق گنبد نمک، گسل محمد آباد در شمال گنبد نمک و گسل زردکوه در سمت جنوب گنبد نمک قرار دارد (شکل ۱).

## زمین شناسی و زمین ساخت منطقه

گنبد نمکی کوه‌رنگ در استان چهارمحال و بختیاری شهرستان کوه‌رنگ حدوداً در طول جغرافیایی  $50^{\circ} 10'$  و عرض جغرافیایی  $32^{\circ} 26'$  قرار دارد. این گنبد نمکی در سطح زمین رخنمون دارد. گسل اصلی معکوس زاگرس در قسمت شمال شرقی گنبد نمکی کوه‌رنگ قرار دارند که فعال است. در این بین، گنبد نمکی به علت حرکات گسل‌ها و وارد آمدن تنش از سمت صفحه عربی به صفحه ایران با داشتن چگالی کمتر به سطح آمده است. این منطقه به شدت گسل خورده و خرد شده است و ارتفاعات منطقه را بیشتر سازند ایلام-سروک به سن کرتاسه تشکیل می‌دهند. در این منطقه تعداد بسیار زیادی چشمه خطی وجود دارد که گسلی بوده و نشان از فعالیت گسل‌های منطقه است. رسوبات آبرفتی و پادگانه‌ها، مخروط افکنه‌هایی در دشت و دامنه منطقه از جنس سازند‌های ارتفاعات هستند که از بالا تحت فرسایش قرار گرفته‌اند و سپس توسط آبراهه‌های اصلی به سمت پایین آمده‌اند. سنگ‌های گنبد نمکی کوه‌رنگ را براساس نوع مادر می‌توان به دو دسته با منشاء رسوبی و منشاء آذرین تقسیم بندی کرد، که دلریت‌ها با منشاء آذرین و آهک استروماتولیتی، سنگ‌های تبخیری (گچ و نمک) و متاپسامیت‌ها با منشاء رسوبی هستند (جعفری، ۱۳۹۶).

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور ارزیابی فعالیت نوزمین ساختی منطقه مورد نظر با استفاده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ (باباجیدر، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد موقعیت گنبد نمکی کوه‌رنگ مشخص گردید. با استفاده از داده‌های این نقشه‌ها به صورت داده‌های پایه در نرم افزار ArcGIS (10.3)، شبکه زهکشی و مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه مورد مطالعه به عنوان داده ارتفاعی پایه مورد استفاده قرار گرفت. در مراحل بعدی با استفاده از تکنیک‌های نرم افزاری و نوار ابزار ArchHydro، ۹۸ حوضه برای منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. سپس با توجه به ویژگی‌های منطقه، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، شاخص انتگرال هیپستومتری (Hi)، شاخص گرادیان رودخانه (SL)، شاخص سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)، شاخص نسبت پهنای دره به عمق (Vf)، شاخص فعالیت نسبی (AIT) برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد و نتایج حاصل از هر شاخص بصورت نقشه ترسیم شده است. با استفاده از نتایج شاخص‌های ژئومورفیک میزان فعالیت نو زمین ساختی منطقه تعیین گردید. همچنین میزان فعالیت گنبد نمکی کوه‌رنگ در تحلیل منطقه مورد مطالعه مد نظر قرار گرفت.

## بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیک

- محاسبه شاخص عدم تقارن حوضه

حوضه زهکشی و هندسه شبکه آبراهه‌ها می‌تواند به چند صورت کمی و کیفی مورد بررسی قرار بگیرد. هنگامی که زهکشی در حضور تغییر شکل زمین ساخت فعال توسعه می‌یابد، اغلب دارای هندسه و الگویی مجزایی می‌باشد. عامل عدم تقارن یا فاکتور عدم تقارن می‌تواند میزان کج شدگی زمین ساختی حوضه زهکشی را در مقیاس‌های بزرگ نشان دهد، فعالیت‌های تکنونیک‌ی ضربانی بر روی گسل‌های محدود کننده رشته کوه‌ها توپوگرافی را افزایش می‌دهد، نرخ فرایندهای زمین را تغییر

می دهد و سبب تغییر شکل در پستی و بلندی های و جریان های رود خانه ای می گردد (بل<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). باید توجه داشت که کارایی این شاخص زمانی است که جهت کج شدگی بر مسیر جریان رود اصلی عمود باشد، این شاخص بر اساس رابطه زیر مورد محاسبه قرار می گیرد (کلر و پینتر، ۲۰۰۲ و هار و گاردنر<sup>۲</sup>، ۱۹۸۵). معادله (۱)

$$Af = Ar/AT * 100$$

Af: شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی     At: مساحت کل حوضه در برگزیده زهکشی های فرعی سمت چپ و راست  
 آبراهه     Ar: مساحت حوضه زهکشی های فرعی در سمت راست آبراهه اصلی، (دید به سمت پایین دست آبراهه اصلی).

بر اساس تقسیم بندی (الهمدونی و همکاران، ۲۰۰۸) مقادیر شاخص عدم تقارن حوضه آبراهه ها در سه گروه دسته بندی می شوند.

کلاس ۱:  $Af < 35$  یا  $Af \geq 65$ : که شامل حوضه هایی دارای فعالیت نوزمین ساختی بالا هستند.

کلاس ۲:  $35 < Af < 43$  یا  $57 \geq Af > 65$ : که شامل حوضه های دارای فعالیت نو زمین ساختی متوسط هستند.

کلاس ۳:  $43 > Af \geq 57$ : که شامل حوضه هایی که دارای فعالیت نوزمین ساختی کم هستند.

در این پژوهش ۳۶ حوضه در کلاس ۱ بوده و از نظر فعالیت زمین ساختی فعال هستند، ۳۸ حوضه فعالیت متوسط دارند، ۲۴ حوضه در کلاس ۳ قرار گرفتند و دارای فعالیت زمین ساختی کم هستند. در این منطقه با توجه به انحراف مسیر آبراهه های اصلی و فرعی توسط گسل های امتداد لغز باعث می شود که حوضه ها غیر متقارن شوند. بیشترین مقدار شاخص Af (۸۴)، برای حوضه ۴۹ و کمترین مقدار شاخص (۴۴) برای حوضه ۴۰ می باشد. گنبد نمکی کوه‌رنگ برای آبراهه های شرق و غرب به علت تأثیر گسل های امتداد لغز (تغییر مسیر آبراهه) فعال می باشد. در این منطقه عامل لیتولوژی نیز در حوضه ها تأثیر گذار است (شکل ۲).

- محاسبه شاخص انتگرال ارتفاع سنجی

این شاخص بیانگر توزیع مساحت ارتفاعات متفاوت است (استرالر<sup>۳</sup>، ۱۹۵۲). این انتگرال با استفاده از رابطه زیر مورد استفاده قرار می گیرد (مییر<sup>۴</sup>، ۱۹۹۰ و پیک و ویلسون، ۱۹۷۱).

$$Hi = Hi \text{ mean} - Hi \text{ min} / Hi \text{ max} - Hi \text{ min} \quad \text{(معادله ۲)}$$

Hi mean: ارتفاع میانگین حوضه

Hi max: بیشترین ارتفاع حوضه

Hi min: کمترین ارتفاع حوضه

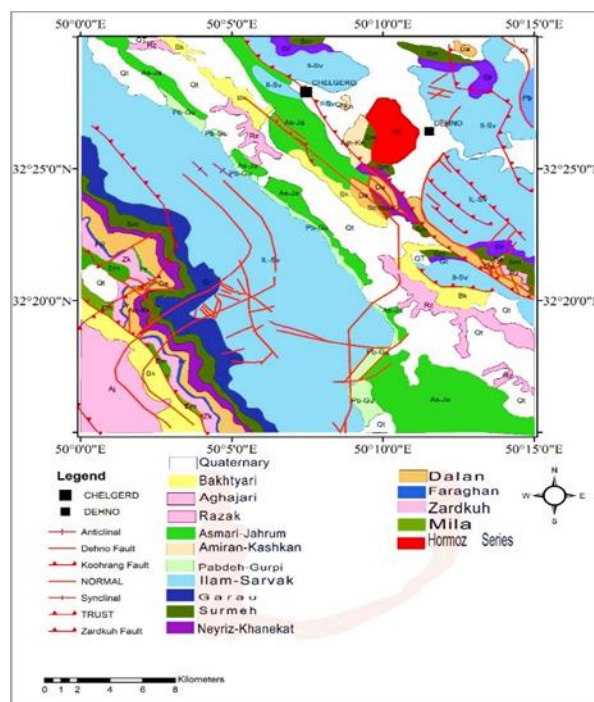
1 Bull

2 Hare and Gardner

3 Strahler

4 Mayer

افزایش مقدار شاخص  $H_i$  نشان می دهد که حجم کمتری از حوضه فرسایش یافته و چشم اندازها جوان هستند و در اثر فعالیت نو زمین ساختی به وجود آمده اند. کاهش مقدار  $H_i$  نشان دهنده فرگشت فرسایش یافته شده حوضه است (الهمدونی و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۱. نقشه زمین شناسی منطقه کوهرنگ (اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ باحیدر، شرکت ملی نفت ایران مدیریت اکتشاف نفت)

در این پژوهش تعداد ۱۵ حوضه دارای فعالیت نو زمین ساختی فعال هستند (ارتفاع آنها از ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه بیشتر است، مناطق مرتفع با بریدگی های عمیق)، ۱۷ حوضه آن در کلاس ۲ و دارای فعالیت متوسط و ۶۶ حوضه دارای فعالیت نوزمین ساختی کم می باشند. بیشترین مقدار شاخص  $H_i$  (۰/۶۸) برای حوضه ۶۲ و کمترین مقدار شاخص ۰/۱۸ برای حوضه ۴ می باشد (شکل ۳). در این منطقه به علت جاری بودن آب های رودخانه کوهرنگ، بازفت، رودخانه های حوضه زاینده رود و چشمه نمکی شورابه، گنبد نمکی با توجه به فرسایش و شکافته شدن مسیر آب های جاری شده در منطقه دارای مقدار انتگرال ارتفاع سنجی کم و متوسط برخوردار است و حوضه های فعال از جمله قله های بزرگ منطقه می باشند. بنابراین گنبد نمکی کوهرنگ به علت موقعیت آن در ارتفاع کمتر و فرسایش زمین های اطراف آن توسط رودخانه ها دارای فعالیت کم تا متوسط در بخش جنوب شرق گنبد دارد.

- محاسبه شاخص گرادیان طول رودخانه

این شاخص ابتدا به وسیله (هاک، ۱۹۷۳) برای مطالعه نقش مقاومت سنگ ها بر جریان آب ها در کوه های آپالاش در جنوب شرقی امریکا به صورت رابطه زیر تعریف شده است:

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

(معادله ۳)

SL: شاخص گرادیان رودخانه  $\Delta H/\Delta L$ : شیب محلی رودخانه بین دو خط کنتوری خاص

$\Delta H$ : اختلاف ارتفاع بین دو نقطه  $\Delta L$ : طول بین دو نقطه اندازه گیری شده

L: طول کل رودخانه از خط تقسیم آبراهه تا مرکز بخشی که گرادیان آن محاسبه شده است.

مقادیر عددی شاخص گرادیان رودخانه زمانی که سنگ های بستر رودخانه مقاوم باشند و یا در مناطقی که حرکات تکتونیکی فعال در تغییر شکل قائم پوسته زمین موثر باشند زیاد است. بر این اساس مقادیر بالای شاخص SL در سنگ های دارای مقاومت کم و یا در سنگ هایی که از لحاظ مقاومتی یکسان هستند، می تواند بیانگر حرکات تکتونیکی فعال و جوان باشد، از شاخص SL می توان برای ارزیابی فعالیت نسبی تکتونیکی استفاده کرد. با استفاده از تقسیم بندی (الهمدونی و همکاران، ۲۰۰۸) شاخص SL به سه کلاس تقسیم بندی شده اند: کلاس ۱:  $SL > 500$  دارای فعالیت نوزمین ساختی زیاد، کلاس ۲:  $300 < SL < 500$  دارای فعالیت نوزمین ساختی متوسط، کلاس ۳:  $SL > 300$  دارای فعالیت نوزمین ساختی کم. در این پژوهش تعداد ۱۹ حوضه آن در کلاس ۱ دارای فعالیت نوزمین ساختی بالا، ۸ حوضه آن در کلاس ۲ دارای فعالیت نوزمین ساختی متوسط، تعداد ۳۴ حوضه آن در کلاس ۳ و دارای فعالیت نوزمین ساختی کم هستند. تعداد ۳۷ حوضه آن دارای فعالیت نوزمین ساختی بسیار کم می باشند که در مجاورت رودخانه اصلی قرار دارند (شکل ۴). بررسی ها نشان داد بیشترین مقدار شاخص SL در منطقه قله های زردکوه، کلونچین، دره خدنگ و در زون های گسلی فرعی منشعب شده از گسل دهنو که بیشتر از سازند ایلام-سروک تشکیل شده اند مشاهده می شود (شکل ۵). در قسمت شمال غربی گنبد نمکی و قسمت شرقی گنبد نمکی کوهرنگ از نظر فعالیت نوزمین ساختی متوسط می باشند. گنبد نمکی کوهرنگ و قسمت شمالی آن از نظر فعالیت نوزمین ساختی کم و بسیار کم هستند. در این منطقه مقدار بالای شاخص را می توان به سازند بختیاری و گسل های کوهرنگ و زردکوه، دهنو و زون های گسل خورده و گسل هایی امتدادلغز که باعث منحرف شدن آبراهه ها شده اند مرتبط دانست. در این منطقه رودخانه های چون دارای رسوبات عهد حاضر، رسوبات پادگانه ای و گنبد نمکی به دلیل داشتن نمک از لحاظ فعالیت نوزمین ساختی شاخص SL در رده کم و بسیار کم قرار می گیرند.

#### - شاخص سینوسیته جبهه کوهستان

شاخص سینوسیته جبهه کوهستان تعادل میان فرایندهای فرساینده را نشان می دهند که از طریق جریان های سطحی به بردن و نامنظم کردن جبهه کوهستان گرایش دارند و نوزمین ساخت فعال و قائم اغلب مطابق با گسل ها و چین خوردگی هایی که گرایش به ایجاد جبهه کوهستانی مستقیم دارند (بل و مکفادن<sup>۵</sup>، ۱۹۷۷؛ کلر و همکاران، ۱۹۸۲). جبهه های کوهستانی که بسیار فعال هستند تقریباً شکل مستقیم را بر روی نقشه توپوگرافی و عکس های هوایی نمایش می دهند و در صورتی که حرکات تکتونیکی کم باشند فرایندهای فرسایشی باعث ایجاد جبهه کوهستانی نامنظم و سینوسی شکل می شوند (راک و همکاران، ۱۹۸۵ و کلر و همکاران، ۱۹۸۲).

این شاخص به صورت زیر تعریف می شود:

$$S_{mf} = L_{mf} / L_s \quad \text{(معادله ۴)}$$

Smf: سینوسیته جبهه کوهستان Lmf: طول جبهه کوهستان در محل حد بین کوهستان و کوهپایه

LS: طول مستقیم جبهه کوهستان

شاخص سینوسیته جبهه کوهستان طبق تقسیم بندی (الهمدونی و همکاران، ۲۰۰۸) در سه کلاس رده بندی شده است: کلاس ۱: جبهه کوهستان بسیار فعال،  $Smf < 1.1$ ، کلاس ۲: جبهه کوهستان نیمه فعال،  $1.1 \leq Smf < 1.5$ ، کلاس ۳: جبهه کوهستان با فعالیت کم یا ارام،  $Smf \geq 1.5$ . در این پژوهش ۲۸ حوضه از نظر شاخص Smf دارای فعالیت نو زمین ساختی بالا، ۱۲ حوضه آن دارای فعالیت نو زمین ساختی متوسط، ۷ حوضه دارای فعالیت نوزمین ساختی کم و ۵۱ حوضه آن دارای فعالیت بسیار کم می باشد (داده ای به دست نیامد). بیشترین مقدار شاخص Smf  $1/0.4$  برای حوضه های ۱۳، ۲، ۲۳ و کمترین مقدار آن ۱.۶۹ برای حوضه های که در کلاس ۳ و در نقشه به رنگ زرد هستند (شکل ۶). هرچه مقدار شاخص کمتر باشد نشان از فعال بودن تکتونیک منطقه و جبهه های کوهستانی مستقیم دارد. رشته کوه های زردکوه، و زراب به صورت های مستقیم هستند که با استفاده از نقشه های توپوگرافی و هوایی نیز مشخص می باشد. گنبد نمکی کوه رنگ در فاصله زیاد از پیچش کوهستان قرار گیری در مناطق هموار و صاف) از نظر شاخص Smf بسیار کم است.

- شاخص نسبت پهنای دره به عمق

این شاخص به صورت زیر تعریف شده است (بل، ۱۹۷۸):

$$Vf = 2 * Vf_w / [(Eld - Esc)] + [(Erd - Esc)] \quad \text{(معادله ۵)}$$

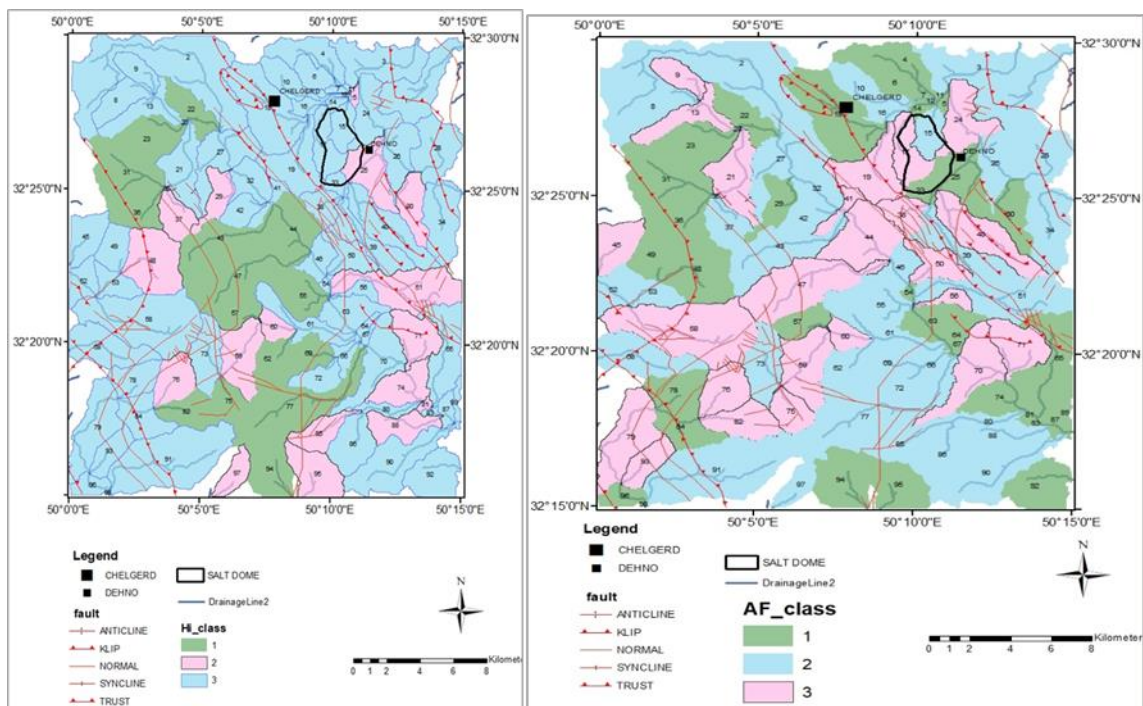
Eld: ارتفاع دیواره سمت چپ دره

Vf\_w: عرض بستر دره

Esc: ارتفاع بستر دره

Erd: ارتفاع دیواره سمت راست دره

در واقع میزان این شاخص، با چشم پوشی از تاثیر سایر عوامل، نشان دهنده بالا آمدگی و یا فرونشینی بستر یک رودخانه در یک دوره زمانی است. در مسیر رودخانه هایی که گسل وجود دارد میزان شاخص Vf می تواند معرف فعالیت شدید تکتونیکی باشد (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸). این شاخص برای تشخیص دادن مناطق فعال و غیر فعال کاربرد دارد (جابری و همکاران، ۲۰۱۷). شاخص Af معمولا در یک فاصله معین از جبهه کوهستان محاسبه می شود که معمولا بین ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متر و با لحاظ کردن وسعت و اندازه حوضه محاسبه می گردد. طبق تقسیم بندی (الهمدونی و همکاران، ۲۰۰۸) مقادیر Vf به سه کلاس رده بندی می شوند: کلاس ۱:  $Vf < 0.5$ ، کلاس ۲:  $0.5 \leq Vf < 1$ ، کلاس ۳:  $1 < Vf$ . مقادیر بالای این شاخص شامل دره های پهن و U شکل می باشد و مقادیر کم این شاخص منعکس کننده دره های عمیق با جریان هایی هستند که معمولا برش آن ها بسیار زیاد است و بالا آمدگی در طول مدت کم را نشان می دهد. دره های V شکل (باریک و پرشیب) مقادیر کم Vf را نشان می دهد. این شاخص برای دره های اصلی که پیچش کوهستان را قطع می کنند محاسبه می شوند (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳). در این پژوهش تعدادی از حوضه های که پیچش کوهستان را قطع کردند همگی شامل دره های V شکل و جوان هستند. گنبد نمکی کوه رنگ به دلیل اینکه پیچش کوهستان را قطع نکرده است برای آن داده ای به دست نیامد.



شکل ۲: سمت راست) کلاسبندی شاخص عدم تقارن حوضه آبریز. کلاس ۱) فعالیت زیاد، کلاس ۲) فعالیت متوسط و کلاس ۳) فعالیت کم را نشان میدهد.

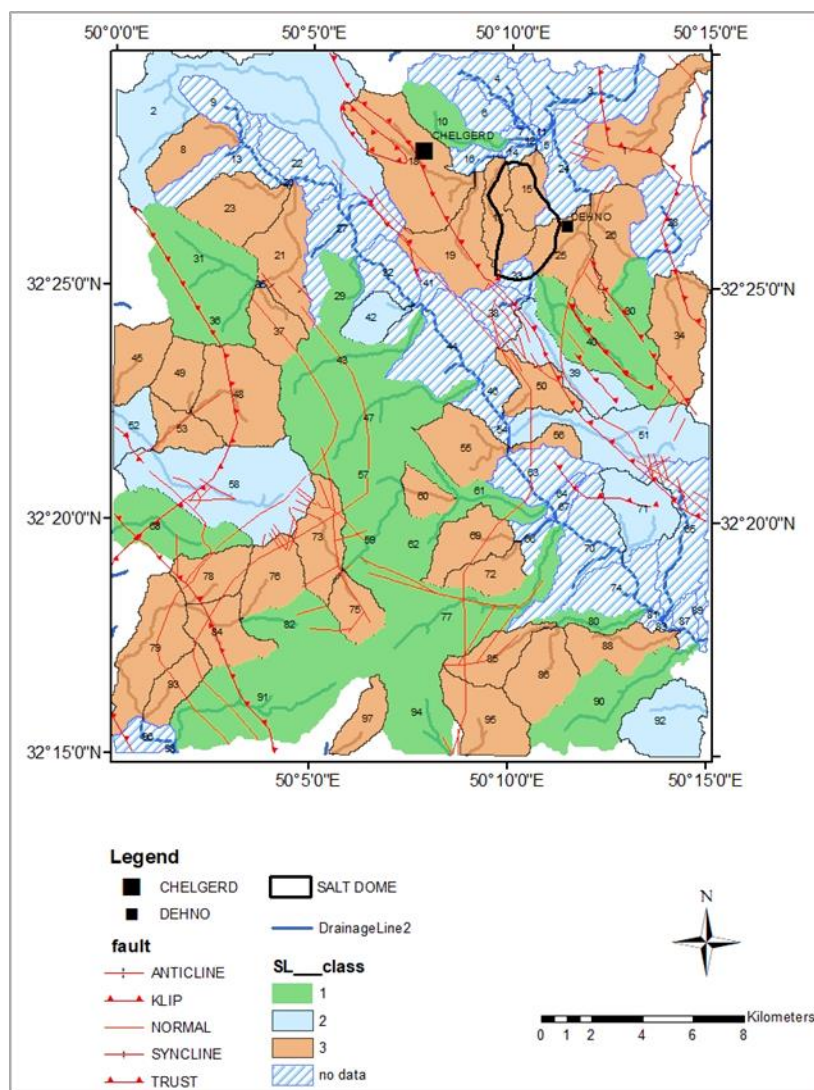
شکل ۳: سمت چپ) کلاسبندی شاخص انتگرال هیپسومتریک. کلاس ۱) فعالیت نوزمین ساختی فعال، کلاس ۲) فعالیت نوزمین ساختی متوسط و کلاس ۳) فعالیت نوزمین ساختی کم را نشان میدهد.

با استفاده از شواهد ژئومورفولوژیکی منطقه حاصل از فعالیت نوزمین ساختی با مطالعه ساختارها و سیستم های زهکشی نیز می توان عملکرد منطقه را مورد بررسی قرار داد، دره های V شکل منعکس کننده فعالیت و جوان بودن دره ها دارد که در این منطقه دره خدنگ، تنگه کلونچین و دره زردکوه جوان و فعال می باشند.

### رده بندی فعالیت های زمین ساختی نسبی

فعالیت زمین ساختی نسبی هر چشم انداز را می توان براساس مقادیر حاصل از محاسبه شاخص های زمین ریخت شناسی بیان کرد. برای دستیابی به این شاخص ابتدا میزان هر شاخص برای هر حوضه محاسبه و مشخص می شود. آن گاه میانگینی از تمام رده های S/n بیان می شود که این مقدار گویای رده بندی نهایی فعالیت زمین ساختی آن منطقه است. طبق تقسیم بندی (الهمدونی و همکاران، ۲۰۰۸) این شاخص به چهار کلاس رده بندی شده است:

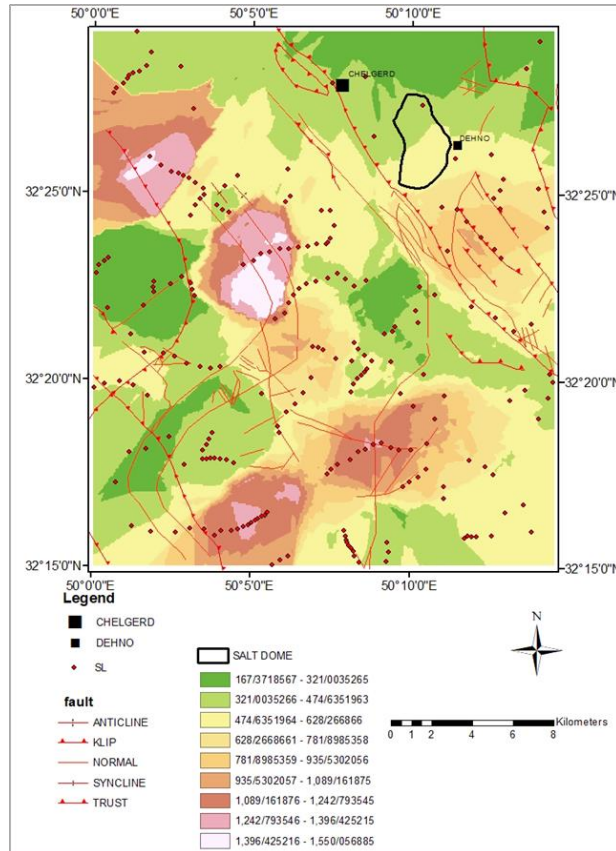
- کلاس ۱: شامل بخش هایی با S/n بین ۱ تا ۱.۵ می باشد که نشان از فعالیت نوزمین ساختی بسیار بالا دارد، ( $Iat \geq 1 > 1.5$ ).
- کلاس ۲: شامل بخش هایی با S/n بین ۱.۵ تا ۲ می باشد که نشان از فعالیت نوزمین ساختی بالا دارد، ( $Iat \geq 1.5 > 2$ ).
- کلاس ۳: شامل بخش هایی با S/n بین ۲ تا ۲.۵ می باشد که نشان از فعالیت نوزمین ساختی متوسط دارد، ( $Iat \geq 2 > 2.5$ ).
- کلاس ۴: شامل بخش هایی با S/n بزرگتر از ۲.۵ می باشد که نشان از فعالیت نوزمین ساختی کم دارد. ( $Iat \geq 2.5$ ).



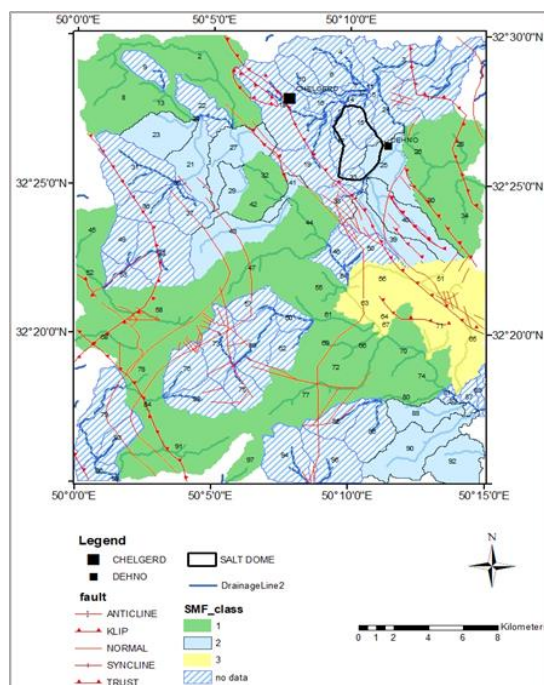
شکل ۴. کلاس بندی شاخص گرادیان رودخانه (SL). کلاس ۱ دارای فعالیت نوزمین بالا، کلاس ۲ فعالیت نوزمین ساختی متوسط، کلاس ۳ فعالیت کم است.

در این پژوهش ۸ حوضه به صورت بسیار فعال، ۱۶ حوضه آن به صورت فعال، ۵۴ حوضه آن دارای فعالیت نوزمین ساختی کم و ۲۰ حوضه دارای فعالیت نوزمین ساختی بسیار کم هستند (جدول ۱). در این منطقه گنبد نمکی کوه رنگ دارای فعالیت نوزمین ساختی کم تا بسیار کم می باشد. همچنین بیشترین فعالیت نوزمین ساختی در حوضه هایی است که دارای گسل هستند و مناطق ارتفاعات قله های زردکوه و کلونچین و تراکم گسل های فرعی و عرضی امتدادلغز بسیار فعال می باشد، جانپاه کلونچین و دره خدنگ نیز دارای فعالیت زمین ساختی نسبی زیاد هستند که به خاطر فعالیت گسل های امتدادلغز و منحرف شدن مسیر آبراهه اصلی، دره ها V شکل شده اند. در قسمت شرقی گنبد نمکی کوه رنگ انحراف آبراهه (عملکرد گسل امتدادلغز) و در کوهپایه زردکوه قسمت بازفت نیز دارای فعالیت بالاست. در مجموع نتایج به دست آمده از شاخص های ژئومورفیک و همچنین پهنه بندی نهایی فعالیت نسبی زمین ساختی حوضه ها در منطقه مورد مطالعه، حاکی از وجود فعالیت

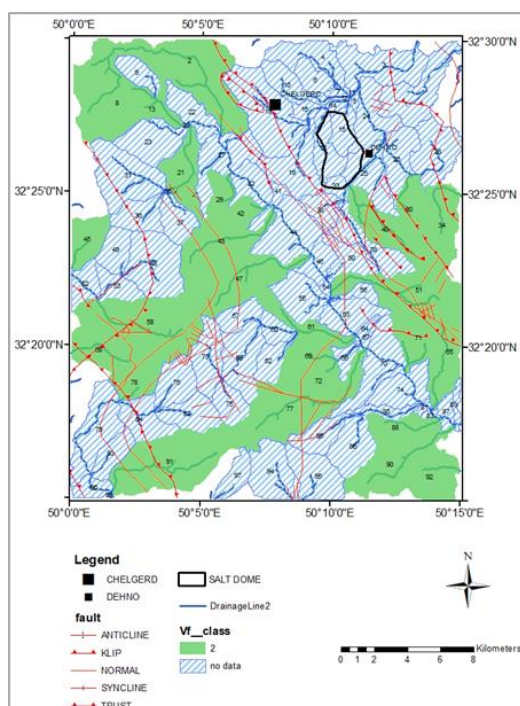
های زمین ساختی بالا تا بسیار بالا را برای ارتفاعات زردکوه، دره خدنگ، تنگه کلونچین و فعالیت کم تا بسیار کم را برای گنبد نمکی کوه‌رنگ، زمین‌های کشاورزی و شهر کوه‌رنگ دیده می‌شود (خدادادی، ۱۳۹۹).



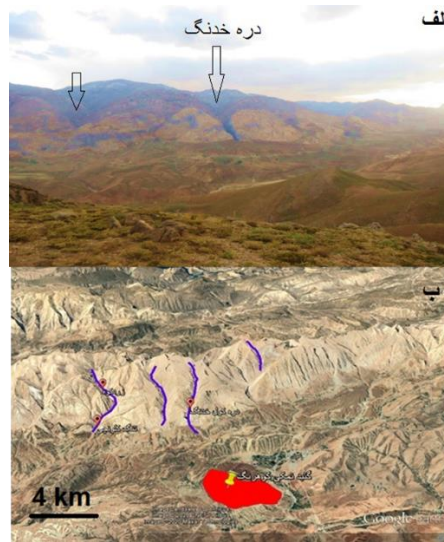
شکل ۵: نقشه کریجینگ شاخص گرادیان رودخانه (SL).



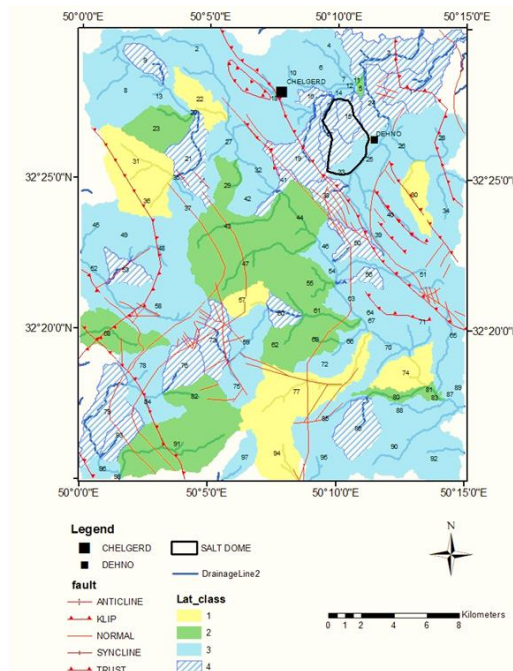
شکل ۶: کلاس بندی شاخص پیچش کوهستان (Smf). کلاس ۱ دارای فعالیت نوزمین ساختی فعال، کلاس ۲ دارای فعالیت نوزمین ساختی متوسط، کلاس ۳ دارای فعالیت نوزمین ساختی کم و برای برخی حوضه ها داده بدست نیامد.



شکل ۷: کلاس بندی شاخص نسبت پهنای دره به عمق (Vf). حوضه های دارای فعالیت نوزمین ساختی متوسط، برای بعضی حوضه داده ای به دست نیامده (فعالیت نوزمین ساختی بسیار کم) است.



شکل ۸: (الف) عکس دره ۷ شکل خدنگ و دره مجاور آن؛ (ب) تصویر گوگل ارث از دره های دره کول ، خدنگ و زردکوه و تنگه کلونچی .



شکل ۹: رده بندی فعالیت های زمین ساختی نسبی (Lat) در منطقه مورد مطالعه. کلاس ۱ بسیار فعال، کلاس ۲ فعال، کلاس ۳ فعالیت متوسط ، کلاس ۴ فعالیت کم تا بسیار کم.

جدول ۱: مقادیر و رده فعالیت شاخص زمین ساختی نسبی (Iat) شاخص های مورفوتکتونیک در منطقه مورد مطالعه.

شماره حوضه	شاخص Af	شاخص Hi	شاخص SL	شاخص SMF	شاخص Vf	S/N	کلاس بندی Iat
۱	۲	۳	۳	-	-	۲.۶۶	۴
۲	۲	۳	۲	۱	۲	۲	۳
۳	۲	۳	-	-	-	۲.۵	۴
۴	۱	۳	-	-	-	۲	۳
۵	۱	۲	-	-	-	۱.۵	۲
۶	۱	۳	-	-	-	۲	۳
۷	۱	۳	-	-	-	۲	۳
۸	۲	۳	۳	۱	۲	۲.۲	۳
۹	۳	۳	-	-	-	۳	۴
۱۰	۲	۳	۱	-	-	۲	۳
۱۱	۲	۲	-	-	-	۲	۳
۱۲	۱	۳	-	-	-	۲	۳
۱۳	۳	۳	-	۱	۲	۲.۲۵	۳
۱۴	۱	۳	-	-	-	۲	۳
۱۵	۲	۳	۳	-	-	۲.۶	۴
۱۶	۲	۳	-	-	-	۲.۵	۴
۱۷	۳	۳	۳	-	-	۳	۴
۱۸	۱	۳	۳	-	-	۲.۳	۳
۱۹	۳	۳	۳	-	-	۳	۴
۲۰	۲	۳	-	-	-	۲.۵	۴
۲۱	۳	۳	۳	۲	۲	۲.۶	۴
۲۲	۱	۱	-	-	-	۱	۱
۲۳	۱	۱	۳	۲	-	۱.۷۵	۲
۲۴	۳	۳	-	-	-	۳	۴
۲۵	۱	۲	۳	۲	-	۲	۳
۲۶	۲	۳	۳	۱	-	۲.۲۵	۳
۲۷	۲	۳	-	۲	-	۲.۳۳	۳
۲۸	۲	۳	-	۱	-	۲	۳
۲۹	۱	۲	۱	۲	۲	۱.۶	۲
۳۰	۱	۲	۱	۱	۲	۱.۴	۱
۳۱	۱	۱	۱	-	-	۱	۱
۳۲	۲	۳	-	۱	-	۲	۳
۳۳	۱	۳	-	-	-	۲	۳
۳۴	۲	۳	۳	۱	۲	۲.۲	۳
۳۵	۱	۳	-	-	-	۲	۳
۳۶	۱	۱	۱	-	-	۱	۱
۳۷	۲	۲	۳	-	-	۲.۳	۳
۳۸	۳	۳	-	-	-	۳	۴
۳۹	۲	۳	۲	۲	-	۲.۲۵	۳
۴۰	۳	۳	۱	۲	۲	۲.۲	۳
۴۱	۳	۳	-	۲	-	۲.۶	۴
۴۲	۲	۳	۲	۱	۲	۲	۳
۴۳	۲	۱	۱	۲	۲	۱.۶	۲
۴۴	۳	۱	-	۱	-	۱.۶۶	۲
۴۵	۳	۳	۳	۱	۲	۲.۴	۳
۴۶	۲	۳	-	-	-	۲.۵	۳
۴۷	۳	۱	۱	۱	۲	۱.۶۶	۲
۴۸	۱	۲	۳	-	-	۲	۳

۴۹	۱	۳	۳	-	-	۲.۳۳	۳
۵۰	۳	۳	۳	-	-	۳	۴
۵۱	۲	۲	۲	۳	۲	۲.۲	۳
۵۲	۲	۳	۲	۱	-	۲	۳
۵۳	۲	۳	۳	-	-	۲.۶۶	۴
۵۴	۱	۳	-	-	-	۲	۳
۵۵	۲	۱	۳	۱	-	۱.۷۵	۲
۵۶	۳	۳	۳	۳	-	۳	۴
۵۷	۱	۱	۱	-	-	۱	۱
۵۸	۳	۳	۲	۱	۲	۲.۲	۳
۵۹	۳	۲	۱	-	-	۲	۳
۶۰	۳	۲	۳	-	-	۲.۶۶	۴
۶۱	۲	۳	۱	۱	۲	۱.۸	۲
۶۲	۲	۱	۱	-	-	۲	۲
۶۳	۱	۳	-	۳	-	۲.۳۳	۳
۶۴	۱	۳	-	۳	-	۲.۳۳	۳
۶۵	۱	۳	-	۳	۲	۲.۲۵	۳
۶۶	۲	۳	-	۱	-	۲	۳
۶۷	۱	۳	-	۳	-	۲.۳۳	۳
۶۸	۲	۳	۱	۱	۲	۱.۸	۲
۶۹	۲	۱	۳	۱	۲	۱.۸	۲
۷۰	۳	۳	-	۱	-	۲.۳۳	۳
۷۱	۳	۲	۲	۳	۲	۲.۴	۳
۷۲	۲	۳	۳	۱	۲	۲.۲	۳
۷۳	۲	۳	۳	-	-	۲.۶۶	۴
۷۴	۱	۲	-	۱	-	۱.۳۳	۱
۷۵	۳	۱	۳	-	-	۲.۳۳	۳
۷۶	۳	۲	۳	-	-	۲.۶۶	۴
۷۷	۲	۱	۱	۱	۲	۱.۴	۱
۷۸	۱	۳	۳	۱	۲	۲	۳
۷۹	۳	۳	۳	-	-	۳	۴
۸۰	۲	۳	۱	۱	-	۱.۷۵	۲
۸۱	۱	۲	-	-	-	۱.۵	۲
۸۲	۳	۱	۱	-	-	۱.۶۶	۲
۸۳	۱	۳	-	-	-	۲	۲
۸۴	۱	۳	۳	۱	-	۲	۳
۸۵	۲	۲	۳	-	-	۲.۳۳	۳
۸۶	۲	۳	۳	-	-	۲.۶۶	۴
۸۷	۱	۳	-	-	-	۲	۳
۸۸	۲	۲	۳	۲	۲	۲.۲	۳
۸۹	۱	۳	-	-	-	۲	۳
۹۰	۲	۳	۱	۲	۲	۲	۳
۹۱	۲	۳	۱	۱	۲	۱.۸	۲
۹۲	۱	۳	۲	۲	۲	۲	۳
۹۳	۳	۳	۳	-	-	۳	۴
۹۴	۱	۱	۱	-	-	۱	۱
۹۵	۱	۲	۳	-	-	۲	۳
۹۶	۱	۳	-	-	-	۲	۳
۹۷	۳	۲	۳	۱	-	۲.۲۵	۳
۹۸	۱	۳	-	-	-	۲	۳

## نتیجه گیری

در این پژوهش با توجه به اندازه گیری شاخص های گرادیان طول رودخانه (SL)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، شاخص سینوسیته کوهستان (Smf)، شاخص انتگرال هیپستومتریک (Hi)، شاخص نسبت پهنای دره به عمق (Vf)، شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) برای بررسی فعالیت زمین ساخت فعال نسبی منطقه مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به نقشه پهنه بندی به دست آمده از شاخص های بالا بیشترین فعالیت در منطقه مورد مطالعه مربوط به حوضه هایی است که دارای گسل های فعال هستند و فعالیت بالای نوزمین ساختی در ارتفاعات کلونچین، دره خدنگ و زردکوه دیده می شود. در این منطقه گنبد نمکی کوهرنگ و زمین های کشاورزی، شهر کوهرنگ و روستای دهنو دارای فعالیت نوزمین ساختی کم تا متوسط هستند. هرچه از سمت گنبد نمکی کوهرنگ به سمت ارتفاعات زردکوه حرکت می کنیم، فعالیت نوزمین ساختی منطقه بیشتر و فعال تر می باشد. شواهد ناشی از انحراف آبره ها، حفر بستر مخروط افکنه ها، دره های V شکل و اشکال مثلثی شکل در منطقه مورد مطالعه نشان از فعالیت نوزمین ساختی بالای این قسمت (ارتفاعات زردکوه) از منطقه مورد مطالعه دارند. با توجه به مقاومت پایین واحدهای گنبد نمکی، اغلب شاخص های ژئومورفیک برای حوضه های مجاور آن مقدار پایین را نشان می دهند ولی شاخص عدم تقارن حوضه بخاطر برخاستگی گنبد نمکی فعالیت آن را بهتر از شاخص های دیگر نشان می دهد.

## منابع

- بیاتی خطیبی، م. (۱۳۸۸). «تشخیص فعالیت های نئوتکتونیک در حوضه ابریز قرقوچای با استفاده از شاخص های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک»، فضای جغرافیایی، ش ۲، صص ۲۳-۵۰.
- جعفری، پ. (۱۳۹۶). «زمین شناسی و پترولوژی توده های آذرین گنبد نمکی کوه‌رنگ»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهر کرد، ۱۳۰ص.
- خدادادی، غ. (۱۳۹۹). «شواهد زمین ساخت فعال مرتبط با گنبد نمکی چلگرد، باختر ایران». پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، ۲۰۷ص.
- دولتی، ا. (۱۳۹۵). «ارزیابی زمین ساخت فعال بخش مرکزی پانه فزاینده مکران، جنوب خاوری ایران: بررسی داده های صحرایی و مطالعات ریخت زمین ساختی»، کوآترنری ایران، ش ۲، صص ۱۲۱-۱۳۳.
- غلامی، ا.، صبا، ع.، بساقي، ع.، خطیب، م.، کریمی، ح. (۱۳۹۹). «بررسی عملکرد گسل های عرضی در انتقال آب بین حوضه ای با استفاده از مطالعات ایزوتوپی و ردیابی رنگی، مطالعه موردی: چشمه دیمه، کوه‌رنگ». زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ش ۲، صص ۲۹۳-۲۸۴.
- مطیعی، ه. (۱۳۷۴). «زمین شناسی نفت زاگرس»، سازمان زمین شناسی طرح تدوین، ۵۸۹ص.
- هاشمی، س.ن.، حقیقت لاری، ز.و، محمدی، ح. (۱۳۹۹). «ارزیابی کمی فعالیت‌های نوزمین ساختی و ریخت زمین ساختی در شمال و شمال غرب دامغان (البرز شرقی)»، فصلنامه کوآترنری ایران، ش ۱، صص ۱۳۱-۱۵۲.
- Burbank, D.W. & Anderson, R.S., 2012. Tectonic Geomorphology, 2nd edition, John Wiley and Sons, Ltd., West Sussex, 454 p.
- Bull, W.B., 2007. Tectonic geomorphology of mountains, Black well Publishing Ltd, 316 pages.
- Bull, W.B. & 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, pp.115-138.
- Bull, W.B., 1978. Geomorphic tectonic classes of the south front of the San Gabriel Mountains, California, U.S. Geol. Survey, Contract Rep. 59p.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacan, J., & Keller, E.A., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain) Geomorphology, Vol. 96, pp. 150-173.
- Jaberi, M., Ghassemi, M. R., Shayan, S., Yamani, M., & Zamanzadeh, A. M., 2017. Interaction between active tectonics, erosion and diapirism, a case study from Hubble-Rud in southern central Alborz (Northern Iran). Geomorphology, Vol. 300, pp. 77-94.
- Hack, J.T., 1973. Stream-profile analysis and stream-gradient index, U.S. Geological Survey Journal of Research, 1, pp. 421-429.
- Hare, P.W. & Gardner, T.W., 1985. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M., Hack, J.T. (Eds.), Tectonic Geomorphology. Proceeding of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium. Allen and Unwin, Boston, MA, pp. 123-134.
- Keller E.A., & Pinter, N., 2002. Active Tectonics : Earthquake Uplift, And Landscape (2<sup>nd</sup> ED) ", Prentic Hall , New Jersey, 350 PP.
- Keller, E.A., Bonkowski, M.S., Korsch, R.J., & Shlemon, R.J., 1982. Tectonic geomorphology of the San Andreas fault zone in the southern Indio hills, Coachella valley, California. Geol Soc Am Bull 93(1):46-56
- Miliaresis, G., 2001. Geomorphometric mapping of zagros Ranges at regional scale, computers and Geo Sciences, Vol. 27: pp. 775-785.
- Mohajel, M., Fergusson, C. L., & Sahandi M. R., 2003. Cretaceous- Tertiary Convergence & Continental collision, Sanandaj- Sirgan, Western Iran, Journal of Earth Sciences, Vol. 21: 397-412.
- Mohajel, M & Fergusson, C.L., 2014. Jurassic to senozoic tectonic of the zagros orogeny in the northwestern iran. International Geology Review, 56(3), pp. 263-287.
- Mayer, L., 1990. Introduction to Quantitative Geomorphology, Prentice Hall.

- Pike, R.J. & Wilson, S. E., 1971. Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis, Geological Society of America Bulletin, Vol. 82, pp. 1079-1084.
- Rockwell, T.K., Keller, E.A., & Johnson, D.L., 1985. Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: Proceedings of 15th annual geomorphology symposium. Tectonic Geomorphology, Boston, pp 183-207.
- Sepehr, M., & Cosgrove, J.W., 2004. Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. Marine and Petroleum Geology, 26, 829-843.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., & Bardajm, T., 2003. Fault Generated Mountain Fronts in Southeast Spain: Geomorphologic Assessment of Tectonic and Earthquake Activity, Geomorphology, 250, 203-226.
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, Geological Society of America Bulletin 63, 1117-1142.
- Wells, S.G., Bullard, T.F., Menges, T.M., Drake, P.G., Karas, P.A., Kelson, K.I., Ritter, J.B., & Wesling, J.R., 1988. Regional variations in tectonic geomorphology along segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica, Geomorphology, 1, pp. 239-2