

## بررسی و تطبیق شواهد ژئومورفولوژی و لرزه‌شناسی زمین ساخت فعال در محدوده زاگرس مرکزی

رسول شریفی: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه فرهنگیان، اصفهان، ایران \*  
مسعود معیری: دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
حسنعلی غیور: استاد هیئت‌دولتی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
همایون صفایی: دانشیار زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
عبدالله سیف: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

وصول: ۱۳۹۰/۵/۱۹ پذیرش: ۱۳۹۱/۱/۲۰، صص ۱۹۲-۱۷۵

### چکیده

هدف از این مقاله بررسی انواع ویژگی‌های ژئومورفولوژی مناطق فعال و شاخص‌های مربوط به آن‌ها، جهت انتخاب و معرفی شاخص‌های مناسب برای منطقه زاگرس و تطابق نتایج به دست آمده با مطالعات لرزه‌شناسی دستگاهی و تاریخی می‌باشد. به این منظور یک مدل رقمی ارتفاع از داده‌های توپوگرافی SRTM با دقت ۹۰ متر برای بخشی از زاگرس مرکزی تهیه شد. سپس در محیط‌های نرم افزاری آرک‌مپ، آرک‌ویو و گلوبال‌مپر ترسیم آبراهه‌ها، تقسیم‌بندی زیر حوضه‌ها و اندازه‌گیری شاخص‌ها انجام گرفت. آنگاه در محیط Spss بین شاخص‌های مختلف همبستگی برقرار شده و مشخص شد که در این محدوده شاخص‌های تقارن حوضه (Af و T) مفید نبوده و ممکن است باعث ایجاد ابهام شوند. همچنین، شاخص‌های Vf, Smf, Re, Hi در مقایسه با شاخص‌های V, Facet%, Bs, V/A همبستگی بهتری با هم‌دیگر دارند. در نتیجه، شاخص‌های Vf, Smf, S, SL, Re, Hi مناسب‌ترین شاخص‌هایی می‌باشند که با ترکیب آن‌ها شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat) تعریف شده و پهنه‌بندی منطقه بر اساس آن صورت گرفت. نتایج به دست آمده افزایش فعالیت زمین ساختی از زون سنندج - سیرجان به سمت زون زاگرس بلند را نشان می‌دهد که این موضوع با نتایج به دست آمده از زمین لرزه‌های دستگاهی و تاریخی همخوانی دارد. اما در محدوده زاگرس بلند، این شاخص حکایت از افزایش فعالیت‌های زمین ساختی از سمت جنوب شرقی به سمت شمال غربی را دارد؛ در حالی که در این مسیر، شدت زمین لرزه‌ها کاهش می‌یابد. این موضوع به دو صورت قابل توجه است: یا این که جابجایی گسل‌ها در بخش شمال غربی، بیشتر به صورت خزشی و آرام بوده و یا این که در آینده احتمال وقوع زمین لرزه‌های بزرگی در این محدوده وجود خواهد داشت. در هر دو صورت این موضوع می‌تواند برای سد در حال احداث رودبار خطرناک باشد.

واژه‌های کلیدی: زمین ساخت فعال، شاخص‌های ژئومورفولوژی، زاگرس مرکزی، حوضه دز، سد رودبار.

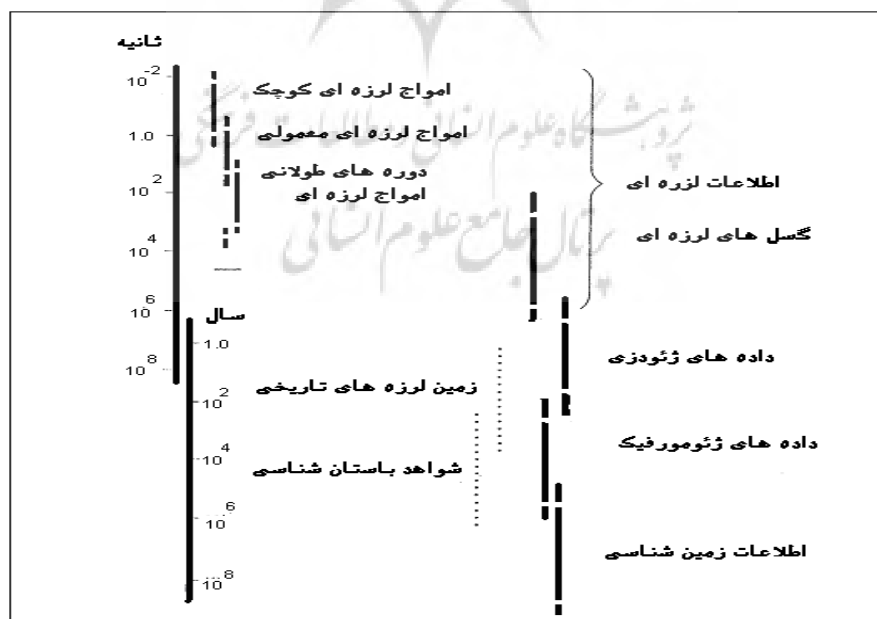
### ۱-مقدمه

ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی استفاده می‌شود که هر کدام شامل دوره زمانی خاصی بوده و روش‌های مخصوص به خود دارند (شکل ۱)، (فنزی، ۱۹۸۶). از

برای شناسایی مناطق فعال از روش‌های مختلف لرزه‌شناسی، تاریخی، باستان‌شناسی، ژئودزی،

ساختمانی و تکتونیک نیز درباره شکل هندسی و مشخصات ظاهری ساختمان‌های مختلف زمین (لایه‌ها، چین‌ها و گسل‌ها) و عوامل به وجود آورنده ی آن‌ها بحث می‌کند (کلر و پینتر، ۱۹۹۶). در این بین، علم ژئومورفولوژی که اصول موضوعه آن به شناخت فرم اراضی و علل ایجاد آن‌ها معطوف می‌شود، نیز می‌کوشد تا با استفاده از وضعیت شبکه آبراهه‌ها، شیب رودخانه‌ها، شکل حوضه‌ها، وضعیت جبهه ی کوهستان‌ها و ... در حدفاصل بین مطالعات لرزه شناسی و ژئودزی با مطالعات زمین شناسی قرار گرفته و به تکمیل این مطالعات کمک کند (فنزلی، ۱۹۸۶). این اشکال را می‌توان به وسیله "شاخص‌های ریخت سنجی" (Morphometric Index) توصیف کرد. امروزه به یمن بهره برداری از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، که گستره ای وسیع را با سرعت بالا و هزینه کم مورد مطالعه قرار می‌دهد، این نوع مطالعات اهمیت ویژه ای یافته‌اند.

سال ۱۹۰۰ میلادی که دستگاه‌های حساس لرزه نگار ساخته شد، امکان مطالعه و ثبت مستقیم حرکات ناگهانی پوسته زمین فراهم گردید. با استفاده از لرزه نگاشت و بررسی اختلاف سرعت امواج، می‌توان مرکز سطحی زمین لرزه را مشخص کرده و کانون لرزه را تشخیص داد (معظمی گودرزی، ۱۳۵۱). در طول تاریخ زندگی انسان‌ها و تا قبل از اختراع دستگاه لرزه نگار، لرزه‌های فراوانی رخ داد ه‌اند که در گزارش‌های مکتوب تاریخی مانند سفرنامه‌ها، گزارش‌ها و کتب مختلف ثبت و ضبط شده‌اند. حرکات آرام پوسته، در حد چند میلیمتر در سال، نیز توسط سنجش‌های دقیق ارتفاع در یک دوره زمانی مشخص توسط مطالعات ژئودزی قابل دریافت است (پارک (Park.R.G)، ۱۳۷۳). آثار باستانی و ابنیه قدیمی مانند کانال‌های انتقال آب، قنات‌ها و دیواره قلعه‌ها نیز ممکن است شواهدی از حرکات زمین را در خود ثبت کرده باشند (فنزلی، ۱۹۸۶). زمین شناسی



شکل ۱- دامنه زمانی مطالعات زمین ساخت فعال در رشته‌های مختلف (فنزلی، ۱۹۸۶).

از چندین شاخص استفاده شود. در همین راستا الهمدونی و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۰۷) شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat)<sup>۷</sup> را پیشنهاد کرده‌اند که خود ترکیبی از شاخص‌های مختلف می باشد. فرانکل<sup>۸</sup> (۲۰۰۲) پس از بررسی حرکات زمین ساختی در منطقه نیومکزیکو<sup>۹</sup> و مقایسه دو جبهه کوهستانی تاوس<sup>۱۰</sup> و سیرا<sup>۱۱</sup>؛ در صدد برآمد که بین شاخص‌های مختلف مورد استفاده در تحقیقات خود ارتباط و همبستگی برقرار کند. او به این نتیجه رسید که در منطقه تاوس که فعالیت‌های زمین ساختی همواره فعال بوده، بین شاخص‌های  $Vf$  و  $Re$  و  $V/A$  و  $Re$  و  $Vf$  و  $V/A$  همبستگی قوی وجود دارد؛ در حالی که، در منطقه سیرا که فعالیت زمین ساختی پس از مدتی متوقف شده است، همبستگی ضعیفی بین شاخص‌ها وجود دارد.

#### ۱-۱- بیان مساله

هر چند تاکنون پژوهشگران مختلف از شاخص‌های متنوع زمین ساختی برای بررسی میزان فعالیت مناطق مختلف ایران استفاده کرده و به نتایج خوبی نیز رسیدند (احمدی، ۱۳۸۴؛ افلاکی، ۱۳۸۱؛ حبیب الهیان، ۱۳۸۵؛ حسامی، ۱۳۸۵؛ حقی پور، ۱۳۸۶؛ غفرالهی، ۱۳۷۹؛ مختاری، ۱۳۸۵؛ یمانی، ۱۳۸۹)، اما سوالاتی نیز در این رابطه وجود دارد:

۱- آیا همه ویژگی‌های مختلف فرم شناسی مناطق فعال که در منابع مختلف مطرح شده‌اند، در محدوده

مطالعات پیشین که در سایر نقاط جهان با استفاده از شاخص‌های ریخت سنجی بر روی حوضه‌ها و شبکه آبراهه‌ها صورت گرفته، حکایت از کارایی آن‌ها در شناسایی مناطق فعال است. از جمله کونگ و زوچویز<sup>۱</sup> (۲۰۰۱) با استناد به شاخص‌های ژئومورفولوژی  $Vf, Re, Af, T, Smf$  اثبات کرد ه‌اند که گسل لوریور<sup>۲</sup> در شمال ویتنام فعال بوده و احتمال وقوع زلزله‌های شدیدی را در آینده خواهد داشت. کالی و شجوالکار<sup>۳</sup> (۲۰۰۸) موضوع احتمال فرایش در حاشیه غربی فلات دکن<sup>۴</sup> را به استناد پنج شاخص  $Hi, Vf, Af, SL, Re$  مورد مطالعه قرار داده و ثابت کرده‌اند که در این منطقه فعالیت‌های مهم و عمده‌ای صورت نگرفته است. در ایران نیز مقیمی (۲۰۰۹) به مطالعه تأثیرات فعالیت‌های زمین ساختی فعال بر حوضه آبریز لوت پرداخته و با استناد به شاخص‌های مختلف ژئومورفیک به این نتیجه رسیده است که فعالیت‌های زمین ساختی رخ داده در این منطقه، جوان هستند. رامشت و همکاران (۱۳۸۸) هم تأثیرات زمین ساخت فعال بر مخروط افکنه درختگان در منطقه شهداد کرمان را مورد بررسی قرار داده‌اند. در مورد چگونگی انتخاب و استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک زمین ساخت فعال و همچنین روابطی که بین این شاخص‌ها وجود دارد، بحث‌های متنوعی شده است. بول و مک فادن<sup>۵</sup> (۱۹۷۷) بر این عقیده‌اند که نباید برای بررسی زمین ساخت فعال به بررسی یک و یا چند شاخص محدود بسنده کرد و بهتر است

6 El Hamdouni.R.,Irigary.C.,Fernandez.T.,Chacon.J and Keller.E.A

7 (relative tectonic activity index

8 Frankel.Kurt.L and Pazzaglia.Frank.G.

9 New Mexico

10 Taos

11 Sierra

1 Cuong.N.Q and Zuchiewicz.W.A

2 Lo River Faulf

3 Kale.Vishwas and Shejwalkar.Nikhil

4 Deccan

5 Bull,W.B.and Mcfadden.

زاگرس کاربرد داشته و یا این که ممکن است برخی از آن‌ها برای این محدوده مناسب نباشند؟

۱- با توجه به این که برای سنجش هر یک از ویژگی‌های فرم زمین (مانند میزان پستی و بلندی زمین، شکل، تقارن عرضی و...) دو و یا چند شاخص مختلف وجود دارد، آیا می‌توان برخی از این شاخص‌ها را بر دیگری ترجیح داد؟

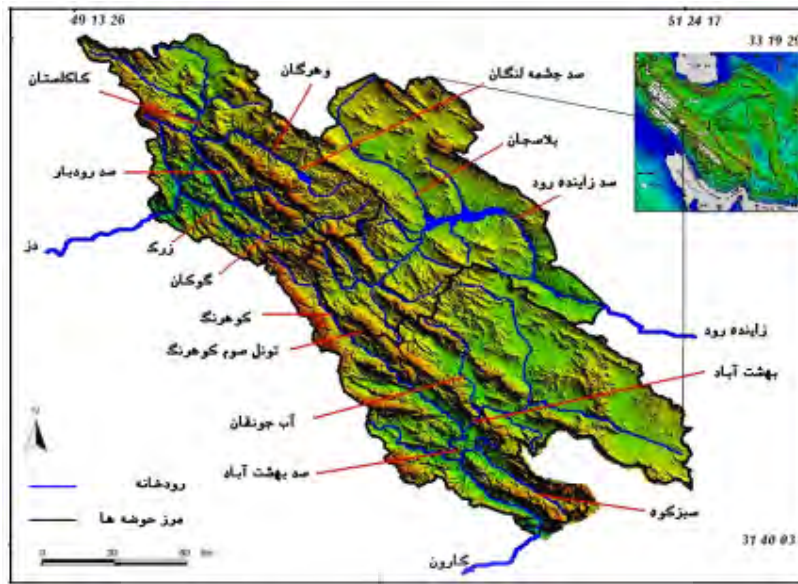
۳- آیا شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat) تعریف شده توسط الهمدونی و همکاران (۲۰۰۸) برای زاگرس مناسب بوده و با سایر شواهد زمین ساخت فعال در این منطقه (مانند شواهد لرزه شناسی) همخوانی دارد؟

پاسخ به سوالات مطرح شده می‌تواند در شناخت بهتر وضعیت ژئومورفولوژی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه موثر بوده و به کاربردی شدن هر چه بیشتر این شاخص‌ها برای شناخت سایر بخش‌های زاگرس کمک نماید.

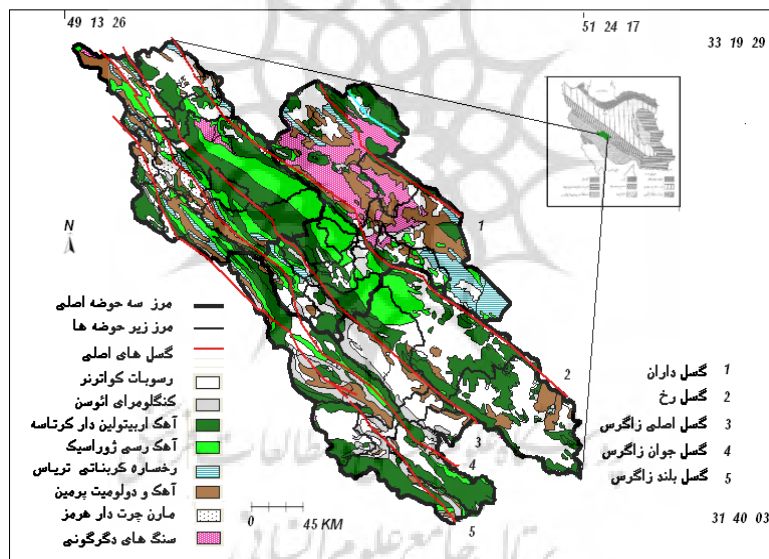
#### ۱-۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه

برای بررسی موضوع ذکر شده، محدوده ای به وسعت ۱۸۹۱۹ کیلومتر مربع در محدوده زاگرس مرکزی که شامل سرشاخه‌های رودخانه‌های دز، زاینده رود و کارون بوده (شکل ۲) و در دو سوی گسل اصلی زاگرس و در محدوده دو زون سنندج - سیرجان و زاگرس بلند واقع شده است (شکل ۳)،

انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفته است. در محدوده زون سنندج - سیرجان، به جز بخش کوچکی که از سنگ‌های پرکامبرین دگرگون شده و آهک و دولومیت خاکستری خرد شده مربوط به پرمین، عمده واحدهای زمین شناسی مربوط به دوران مزوزوئیک بوده و از جنس ماسه سنگ، کنگلومرا و آهک تخریبی ژوراسیک و آهک اربیتولین دار مقاوم و ارتفاع ساز کرتاسه است. در محدوده زاگرس بلند نیز علاوه بر آهک دولومیتی رسی و آهک کنگلومرای برشی ژوراسیک و آهک‌های اربیتولین دار مقاوم کرتاسه، واحدهای پالئوزوئیک شامل شیل و ماسه سنگ سازند میلا، گندهای نمکی هرمز، آهک‌های دولومیتی سازند دالان و همچنین آهک‌های مارنی فسیل دار آسماری رخنمون دارند. رسوبات کواترنهم در فضاها پست و فرو افتاده منطقه و حاشیه رودخانه‌ها گسترش قابل توجهی دارند. روند ساختمانی منطقه از شمال باختری به جنوب خاوری بوده و بخش زیادی از قسمت‌های مرکزی و شمال شرقی دارای ساختمان‌های فلسی می باشد، در حالی که در قسمت‌های جنوب غربی ساختمان‌های چین خورده و گسله در ارتباط تنگاتنگ با همدیگر قرار دارند (بهار فیروزی و همکار، ۱۳۸۵ و زاهدی و همکاران، ۱۳۷۱).



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.



شکل ۳- موقعیت زمین شناسی منطقه

### ۳-۱- روش تحقیق

در موضوع زمین ساخت فعال، هر حوضه را می توان از لحاظ ویژگی های گوناگون مانند وضعیت پستی و بلندی، شکل، تقارن عرضی، شکل دره ها، وضعیت جبهه ی کوهستان و ... مورد بررسی قرار داد که هر کدام از این ویژگی ها نیز، در بسیاری از موارد،

توسط دو یا چند شاخص قابل بررسی هستند (جدول ۱). برای بررسی این شاخص ها، یک مدل رقومی ارتفاع<sup>۱</sup> از داده های توپوگرافی SRTM با دقت ۹۰ متر برای کل منطقه تهیه شد. سپس در محیط های

<sup>۱</sup>) DEM: Digital Elevation Model.

چند وجهی در امتداد جبهه ی کوهستان در مناطق به شدت ناهموار) و یا این که شرایط ورود به تحلیل‌های آماری را نداشت‌ه‌اند (مانند شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها و تقارن توپوگرافی عرضی که تنها در حوضه‌هایی که جهت کج شدگی بر مسیر رود اصلی عمود بوده باشد، قابل بحث هستند).

در برخی از مناطق، زیر حوضه‌ها منطبق بر تشکیلات زمین شناسی فرسایش پذیر و نا مقاوم بود‌ه‌اند. بنابراین، اعداد و ارقام به دست آمده از شاخص‌های مختلف نا مطمئن بوده و از تحلیل‌های آماری حذف گردید‌ه‌اند.

## ۲-۲- بحث

### ۲-۱- بررسی ویژگی‌ها و محاسبه شاخص‌ها

معمولاً" برای بررسی وضعیت پستی و بلندی‌های سطح زمین از دو شاخص انتگرال هیپسومتر (Hi) و نسبت حجم به سطح حوضه (V/A) استفاده می‌شود. در این منطقه، مقادیر شاخص انتگرال هیپسومتر (Hi) از حداقل ۰/۳۱ در زیر حوضه k4 تا حداکثر ۰/۵۶ در زیر حوضه D2 و مقادیر شاخص حجم به سطح حوضه (V/A) نیز از حداقل ۳۶۸ در زیر حوضه k4 تا حداکثر ۱۶۷۶ در زیر حوضه D9 متغیر بوده است (جدول ۲). جهت سنجش تاثیر زمین ساخت فعال بر شکل حوضه‌ها، معمولاً" از دو شاخص شکل حوضه (Bs) و نسبت کشیدگی حوضه (Re) استفاده می‌شود. مقادیر شاخص شکل حوضه (Bs) از حداقل ۱/۱ در زیر حوضه Z2 تا حداکثر ۴/۲ در زیر حوضه Z3 و مقادیر شاخص نسبت کشیدگی حوضه (Re) نیز از حداقل ۰/۴۳ در زیر حوضه K6 تا حداکثر ۰/۹۲ در زیر حوضه Z5 متغیر بوده است (جدول ۲). برای مشخص کردن حرکات

نرم افزاری آرک مپ<sup>۱</sup>، آرک ویو<sup>۲</sup> و گلوبال مپ<sup>۳</sup> ترسیم آبراهه‌ها، تقسیم بندی زیر حوضه‌ها، اندازه گیری شاخص‌ها انجام گرفت و نتایج به دست آمده نمایش داده شد. در تعیین شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat) باید یک شاخص به نمایندگی از هر کدام از ویژگی‌های ذکر شده انتخاب می‌گردید؛ بنابر این، بین شاخص‌های مختلف همبستگی برقرار شد و از بین انواع شاخص‌های بکار رفته برای سنجش یک ویژگی‌های خاص، شاخصی که بالاترین همبستگی را با شاخص‌های دیگر داشت، انتخاب شده و در تعیین شاخص نسبی زمین ساخت فعال با سایر شاخص‌ها مشارکت داده شد. به این ترتیب شاخص مورد نظر (Iat) محاسبه گردیده و پهنه بندی منطقه بر اساس آن صورت گرفت. علاوه بر آن، چون این زیر حوضه‌ها بر اساس تقسیم بندی هیدرولوژیکی در سه حوضه دز، زاینده رود و کارون (شکل ۲) و بر اساس تقسیم بندی زمین شناسی در دو زون سنندج-سیرجان و زاگرس بلند قرار می‌گرفتند (شکل ۳)؛ از میانگین اعداد به دست آمده در این نواحی، برای مقایسه آن‌ها با یکدیگر استفاده شد. در این رابطه چند نکته قابل ذکر است:

- تعدادی از این شاخص‌ها عمومیت داشته و در تمامی زیر حوضه‌ها قابل اندازه گیری و تحلیل آماری بود‌ه‌اند (مانند شاخص انتگرال هیپسومتر و حجم به سطح حوضه)؛ اما برخی از شاخص‌ها نیز یا در برخی از زیر حوضه‌ها قابل اندازه گیری نبوده (مانند شاخص پیچ و خم جبهه ی کوهستان و درصد سطوح

<sup>۱</sup>) ARCMAP.

<sup>۲</sup>) ARC INFO.

<sup>۳</sup>) GOLOBAL MAPER.

دره‌ها از دو شاخص نسبت پهنای دره به عمق آن ( $Vf$ ) و شاخص مساحت دره ( $V$ ) استفاده فراوانی شده است. شاخص نسبت پهنای دره به عمق ( $Vf$ ) حداقل مقدار را برای زیر حوضه D2،  $0/32$  و حداکثر مقدار را برای زیر حوضه K4،  $4/3$  نشان داده و شاخص مساحت دره ( $V$ ) نیز، زیر حوضه D7 را با مقدار  $0/32$  فعال‌ترین و زیر حوضه K4 با مقدار  $3/2$  کم فعالیت‌ترین زیر حوضه موجود در منطقه نشان داده است (جدول ۲).

#### ۲-۲- تعیین شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat)

برای رسیدن به یک جمع بندی از وضعیت زمین ساخت فعال در منطقه از روش بکار گرفته شده توسط الهمدونی و همکاران [۲۰۰۸] استفاده شد. در این روش، با ترکیب چند شاخص که هر کدام نماینده ویژگی خاصی از منطقه هستند، وضعیت نسبی زمین ساخت تعیین می‌گردد. جهت انتخاب این شاخص‌ها، از روش همبستگی استفاده شد (جدول ۳). تامل در نتایج به دست آمده نشان دهنده دو موضوع هستند:

۱- شاخص‌های تقارن عرضی حوضه [T و Iaf-50I] با سایر شاخص‌ها همخوانی قابل قبولی نداشته و درجه همبستگی آن‌ها با سایر شاخص‌ها ضعیف است (جدول ۳)؛ بنابراین، مشخص شد که وجود آن نه تنها کمکی به تشخیص مناطق فعال نمی‌کند، بلکه در مواردی باعث ابهام خواهد شد. علت این موضوع را اینگونه می‌توان توجیه کرد که در مناطق فعال و به شدت ناهموار مانند زاگرس بلند، رودخانه‌ها در اعماق دره‌ها محبوس بوده و درجه آزادی بسیار کمی دارند و این امکان برای آن‌ها فراهم نیست که با فعالیت گسل‌ها و فرایش ارتفاعات به سمت مخالف متمایل بشوند (شکل ۴-الف)؛ در حالی که در مناطق

عمودی در امتداد گسل‌ها، توجه به تقارن عرضی حوضه‌ها مورد توجه بوده که برای این کار از دو شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها (|Af-50|) و تقارن توپوگرافی عرضی (T) استفاده شده است. شاخص عدم تقارن آبراهه‌ها (|Af-50|) از حداقل ۱ در زیر حوضه D7 تا حداکثر ۲۶ در زیر حوضه Z12 و مقادیر شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) نیز از حداقل  $0/05$  در زیر حوضه D7 تا حداکثر  $0/55$  در زیر حوضه Z1 نوسان داشته است (جدول ۲). تغییرات شیب رودخانه‌ها نیز با شاخص گرادیان شیب رودخانه (SL) مطالعه می‌شود که میانگین این شاخص از حداقل ۲۳۱ برای زیر حوضه k4 تا حداکثر آن ۸۱۴ برای زیر حوضه D9 متفاوت بوده است (جدول ۲). برای بررسی وضعیت پیچ و خم رودخانه از شاخص (S) استفاده می‌شود که حداقل و حداکثر عدد به دست آمده برای این شاخص به ترتیب  $1/03$  برای زیر حوضه D3 و  $1/28$  برای زیر حوضه Z13 بوده است (جدول ۲). وضعیت جبهه ی کوهستان هم به واسطه دو شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان (Smf) و درصد سطوح چند وجهی در امتداد جبهه ی کوهستان (Facet%) مطالعه می‌شوند که شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان (Smf) زیر حوضه‌های K1 و K6 را با مقدار  $1/04$  فعال‌ترین و زیر حوضه K4 را با مقدار  $1/17$  کم فعالیت‌ترین زیر حوضه و شاخص درصد سطوح چند وجهی در امتداد جبهه کوهستان (Facet%) نیز زیر حوضه Z1 را با مقدار  $92\%$  و زیر حوضه K4 را با مقدار  $76\%$  به ترتیب به عنوان فعال‌ترین و کم فعالیت‌ترین زیر حوضه (در بین زیر حوضه‌هایی که این شاخص در آن قابل اندازه گیری بود) معرفی کرده است (جدول ۲). برای بررسی شکل

نسبتاً "ناهموار و فعال چنین امکانی وجود دارد (شکل ۴-ب).

جدول ۱- خلاصه‌ای از شاخص‌های استفاده شده برای سنجش زمین ساخت فعال در منطقه مورد مطالعه.

ردیف	نام شاخص و منبع	رابطه ریاضی	روش اندازه گیری	رابطه با زمین ساخت فعال
۱	(Hi) تحسب منحنی هیپسومتری و انتگرال آن (کلرو پیتر، ۱۹۹۶)	این منحنی با در نظر گرفتن ارتفاع نسبی در مقابل مساحت نسبی ترسیم می گردد. $Hi = (H_{mean} - H_{min}) / (H_{max} - H_{min})$ ارتفاع متوسط حوضه، Hmi ارتفاع کمینه حوضه، Hmax ارتفاع بیشینه حوضه می باشد.		منحنی هیپسومتری توزیع ارتفاعات را در راستای عمود بر یک ناحیه از زمین توصیف می کند (ال همدونی و همکاران، ۲۰۰۸). فعال $Hi > 0.5$ غیر فعال $0.4 > Hi$
۲	(V/A) حجم به سطح حوضه (هارکینز، ۲۰۰۵)	در این رابطه «V/A» مقدار عددی شاخص حجم به سطح حوضه، «Vi» حجم حوضه و «Ai» مساحت حوضه می باشد. حجم کل حوضه، حاصل جمع حجم‌های بین منحنی‌های میزان می باشد.		مقدار عددی زیاد برای این شاخص نشان دهنده پستی و بلندی زیاد و فعالیت‌های شدید زمین ساختی در منطقه می باشد (هارکینز و همکاران، ۲۰۰۵).
۳	شاخص (Bs) حوضه آبریز کانن (۱۹۷۶)	$Bs = BI / Bw$ «BI» طول حوضه از دهانه حوضه آبریز تا بالاترین قسمت حوضه و «Bw» بیشترین عرض حوضه می باشد.		$Bs > 4$ فعال $3 < Bs < 4$ نیمه فعال $Bs > 3$ غیر فعال (ال همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).
۴	نسبت (Re) کشیدگی حوضه (بول و مک فادن، ۱۹۷۷)	$Re = (2\sqrt{A} : \sqrt{x}) BI$ در این شاخص «Re» شاخص شکل حوضه، «A» مساحت حوضه و «BI» طول حوضه می باشد.		مقدار این شاخص بین صفر تا ۱ است و مقدار کم آن نشان دهنده کشیدگی حوضه و فعالیت‌های زمین ساختی زیاد است (کنگ و همکاران، ۲۰۰۸).
۵	(Af) عدم تقارن آبراه‌ها (مسیولین و همکاران، ۲۰۰۲)	$Af = (Ar / At) 100$ «Ar» معادل مساحت حوضه در برگرفته زهکشهای فرعی در ساحل سمت راست آبراه اصلی (بر حسب کیلومتر مربع) و «At» مساحت کل حوضه می باشد.		$ Af - 50  > 15$ فعال $ Af - 50  > 7$ نیمه فعال $ Af - 50  > 7$ غیر فعال (ال همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).
۶	(T) شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (کلرو و پیتر، ۱۹۹۶)	$T = Da / Dd$ در این رابطه «T» شاخص تقارن توپوگرافی عرضی، «Da» فاصله شاخه اصلی (آبراه اصلی) از خط میانی حوضه آبریز و «Dd» معادل فاصله خط میانی حوضه آبریز از مرز حوضه می باشد.		در حوضه‌های کاملاً "تقارن، مقدار عددی شاخص «T» صفر می باشد. با کاهش تقارن حوضه، مقادیر عددی این شاخص افزایش یافته و به یک نزدیک می شود [کلرو و پیتر، ۱۹۹۶].
۷	(SL) شاخص گرادیان شیب رود (هک، ۱۹۷۳)	$SL = AH / AL * L$ در رابطه بالا «SL» شاخص شیب رودخانه با طول - گرادیان رودخانه «AH/AL» گرادیان محلی رودخانه و «L» طول رودخانه از خط تقسیم آب تا مرکز بخشی که گرادیان آن محاسبه شده است، می باشد.		مقادیر زیاد SL در سنگ‌های دارای مقاومت کم و یا در سنگ‌های از لحاظ مقاومت یکسان، می تواند بیسانگر حرکات تکنوتیکی فعال و جوان باشد (کلرو همکاران، ۱۹۹۶).

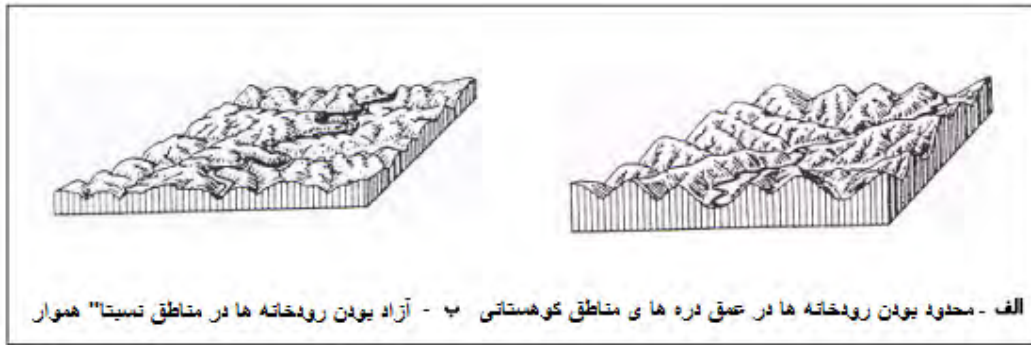
ادامه جدول ۱- خلاصه ای از شاخص‌های استفاده شده برای سنجش زمین ساخت فعال در منطقه مورد مطالعه



نام شاخص و منبع	رابطه ریاضی	روش اندازه گیری	رابطه با زمین ساخت فعال
پیچ و خم رودخانه (کلر و پیتر، ۱۹۹۶)	$S=C/V$ در این رابطه «S» شاخص درجه پیچش، «C» طول کانال رودخانه و «V» طول دره می باشد.		هرگاه مقدار این شاخص از ۱ دور شود بیانگر کاهش در فعالیت تکتونیکی منطقه است.
پیچ و خم جبهه کوهستان (بول و مک فادن، ۱۹۷۷)	$Smf=Lmf/Ls$ در رابطه فوق «Smf» سینوسیته جبهه کوهستان «Lmf» طول سرایشی تند کوهستان در مرز بین کوهستان و کوهپایه «Ls» طول خط مماس در امتداد سرایشی تند کوهستان است.		میزان سینوسیته سرایشی کوهستان با نزدیک شدن به عدد ۱، بالا آمدگی اخیر کوهستان و فعالیت تکتونیکی را نشان می دهد؛ در حالی که، افزایش مقدار سینوسیته بیانگر کاهش حرکات زمین ساخت و بالا بودن عمل فرسایش مخصوصاً در مرز دشت و کوهستان می باشد. (دورنکاپ، ۱۹۸۶).
درجه کوهستان (همکاران، ۱۹۸۸)	$Facet\% = Lf/Ls$ در این رابطه (Facet%) تسطیح شدگی جبهه ی کوهستان، (Lf) مجموع طول اشکال چند وجهی و (Ls) طول خط مستقیم جبهه کوهستان می باشد.		در جبهه های کوهستانی فعال، درصد بریده شدن آبراهه ها به ۱۰۰ درصد نزدیک می شود و با کاهش فعالیت مقدار این شاخص کاهش می یابد و به عبارتی درصد های بالا برای این شاخص بیانگر فعالیت فرایشی زیاد در جبهه کوهستانی خواهد بود.
(Vf) نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (بول و مک فادن، ۱۹۷۷)	$Vf = 2Vfw / \{ (Eld - Esc) + (Erd - Esc) \}$ Vfw عرض کف دره، Eld ارتفاع کناره دره در سمت چپ و Erd ارتفاع کناره دره در سمت راست و Esc ارتفاع کف دره می باشد.		دره های V شکل فعال و دره های U شکل غیر فعال هستند. $0.5 > Vf$ فعال $1 > Vf > 0.5$ نیمه فعال $Vf > 1$ غیر فعال
شاخص مساحت دره (بول و مک فادن، ۱۹۷۷)	$V = Av / Ac$ در رابطه «V» مساحت دره در مقطع عرضی بر حسب متر مربع «Av» مساحت دره در مقطع عرضی بر حسب متر مربع و «Ac» مساحت نیمه دایره ای است بر حسب متر مربع که شعاع آن برابر با ژرفای دره می باشد و «H» ارتفاع دره (بر حسب متر) می باشد.		هر چه مقادیر عددی این شاخص از عدد ۱ بزرگتر باشد، نشان دهنده دره ای با پهنای زیاد و عمق کمتر بوده و هر چه مقدار عددی شاخص از عدد ۱ کوچکتر باشد؛ بیانگر دره هایی به شکل V بوده و میزان فعالیت زمین ساختی در چنین دره هایی بیشتر خواهد بود. (هانکوک، ۱۹۹۴).
شاخص (Iat) فعالیت زمین ساختی ال همسدونی و همکاران (۲۰۰۸)	$Iat = S/n$ که S جمع اعداد منظور شده برای شاخص های مختلف در یک زیر حوضه و n تعداد شاخص های استفاده شده در هر زیر حوضه است.	-----	$Iat > 1$ بسیار فعال $Iat > 1.5$ فعال $Iat > 2$ نیمه فعال $Iat > 2.5$ فعالیت کم

جدول ۲-مقادیر شاخص‌های ژئومورفیک زمین ساخت منطقه مورد مطالعه.

V	vf	Facet%	Smf	S	SI	T	Af-50	Re	Bs	V/A	Hi	زیر حوضه
۰/۳۶	۰/۳۶	-	-	۱/۰۴	۷۸۳	۰/۳۷	۲۲	۰/۵۵	۲/۸۵	۱۵۵۰	۰/۵۴	D1
۰/۳۷	۰/۳۲	-	-	۱/۰۵	۶۷۵	-	۲	۰/۵۶	۲/۲۶	۱۴۷۸	۰/۵۶	D2
۰/۵۷	۰/۳۹	-	-	۱/۰۳	۵۵۲	۰/۳۱	۱۲	۰/۷۴	۱/۲۰	۱۵۷۴	۰/۵۱	D3
۰/۴۵	۰/۴۹	-	-	۱/۱۸	۴۳۹	۰/۳۱	۱۰	۰/۵۸	۲/۷۳	۱۲۹۰	۰/۴۶	D4
۰/۳۶	۰/۴۹	%۸۹	۱/۰۶	۱/۰۹	۴۸۹	-	۱۱	۰/۶۵	۲/۲۶	۸۸۶	۰/۴۲	D5
۱/۱	۰/۷۸	-	-	۱/۲۵	۲۹۹	۰/۱۲	۵	۰/۶۵	۱/۵۲	۵۹۴	۰/۳۴	D6
۰/۳۲	۰/۴۸	-	-	۱/۰۷	۷۲۸	۰/۰۵	۱	۰/۵۱	۳/۰۶	۱۲۷۸	۰/۴۴	D7
۰/۶۲	۰/۷۲	-	-	۱/۱۱	۳۸۰	۰/۳۱	۱۷	۰/۶۶	۱/۸۶	۹۹۶	۰/۳۴	D8
۰/۳۴	۰/۳۵	-	-	۱/۰۳	۸۱۴	۰/۰۸	۳	۰/۵۵	۳/۱۶	۱۶۶۷	۰/۵۵	D9
۰/۳۷	۰/۴۲	-	-	۱/۰۷	۶۰۷	۰/۲۱	۷	۰/۶۸	۳/۰۴	۱۳۳۷	۰/۵۱	D10
۰/۳۷	۰/۴۹	-	-	۱/۱۷	۳۷۱	-	۵	۰/۲۹	۱/۷۵	۱۲۶۳	۰/۴۶	D11
۱/۸	۲/۹	%۹۲	۱/۰۵	۱/۱۸	۲۴۳	۰/۵۵	۲۶	۰/۸۲	۱/۶۴	۴۵۵	۰/۳۵	Z1
۲/۴	۳/۳	%۸۷	۱/۰۶	۱/۲۴	۳۵۰	۰/۵۲	۲۲	۰/۷۹	۱/۰۷	۵۸۴	۰/۳۴	Z2
۰/۴۳	۰/۴۷	%۸۳	۱/۰۹	۱/۱۴	۳۲۰	۰/۵۲	۱۷	۰/۵۶	۴/۲۰	۵۴۷	۰/۳۹	Z3
۰/۵۷	۰/۷۹	-	-	۱/۱۴	۳۵۶	۰/۴۹	۲۳	۰/۷۲	۲/۰۷	۵۰۲	۰/۳۸	Z4
۰/۵۲	۰/۷۸	-	-	۱/۰۹	۳۳۸	۰/۲۱	۱۰	۰/۹۲	۱/۱۹	۷۲۴	۰/۳۴	Z5
۰/۳۷	۰/۶۸	-	-	۱/۰۹	۴۰۸	۰/۳۲	۱۷	۰/۶۵	۲/۵۰	۶۱۰	۰/۴۲	Z6
۰/۵۴	۰/۷۷	-	-	۱/۰۹	۵۷۰	۰/۳۲	۱۴	۰/۴۶	۲/۴۹	۶۹۰	۰/۴۱	Z7
۰/۵۳	۰/۷۹	-	-	۱/۰۸	۶۳۰	۰/۳۱	۷	۰/۶۸	۱/۷۷	۸۱۶	۰/۴۱	Z8
۰/۵۷	۰/۵۹	-	-	۱/۰۹	۳۸۹	۰/۱۳	۱۳	۰/۷۷	۱/۷۰	۸۲۳	۰/۴۴	Z9
۰/۵۴	۰/۶۴	%۸۸	۱/۰۵	۱/۱۴	۲۴۱	۰/۱۶	۸	۰/۷۳	۱/۳۸	۵۳۸	۰/۴۴	Z10
۰/۹۸	۰/۷۱	%۸۹	۱/۰۵	۱/۱۷	۲۶۹	۰/۱۸	۹	۰/۸۰	۱/۷۵	۵۰۳	۰/۳۹	Z11
۰/۹۳	۰/۷۸	%۸۶	۱/۰۷	۱/۱۴	۲۶۷	۰/۴۳	۲۶	۰/۸۰	۱/۹۷	۵۳۷	۰/۳۵	Z12
۰/۵۷	۰/۷۹	-	-	۱/۲۸	۲۴۵	-	۲	۰/۴۱	۴/۲۳	۷۵۲	۰/۳۶	Z13
۰/۳۶	۰/۴۵	%۸۶	۱/۰۴	۱/۰۶	۶۲۴	۰/۳۱	۱۲	۰/۵۷	۳/۰۳	۱۳۳۴	۰/۵۱	K1
۲/۳	¼	%۸۸	۱/۰۷	۱/۲۵	۲۶۰	۰/۱۰	۵	۰/۶۹	۱/۴۷	۶۷۷	۰/۳۴	K2
۱/۶	۱/۲	%۸۱	۱/۱۷	۱/۱۸	۲۷۳	-	۱۸	۰/۶۶	۲/۱۶	۶۷۱	۰/۳۸	K3
۳/۲	¾	%۷۶	۱/۲۳	۱/۱۹	۲۳۱	-	۱۶	۰/۶۹	۱/۷۶	۳۶۸	۰/۳۱	K4
۲/۳	۴/۲	%۸۹	۱/۰۷	۱/۱۸	۳۷۵	۰/۱۲	۲	۰/۷۳	۱/۳۴	۷۵۷	۰/۳۲	K5
۰/۳۸	۰/۴۷	%۸۶	۱/۰۴	۱/۰۸	۶۲۷	۰/۳۰	۱۶	۰/۴۳	۳/۷۸	۱۲۹۱	۰/۵۱	K6
۰/۵۸	۰/۴۸	-	-	۱/۰۸	۶۰۴	۰/۱۲	۷	۰/۷۴	۱/۷۰	۱۲۱۷	۰/۴۲	K7
۰/۵۷	۰/۴۹	-	-	۱/۱۲	۵۶۸	-	۱۵	۰/۴۲	۳/۶۶	۱۳۳۶	۰/۴۱	K8



شکل ۴- مقایسه دو منطقه از نظر درجه آزادی رودخانه‌ها

فعالیت کم تقسیم شده و به ترتیب اعداد ۲، ۱ و ۳ برای آن‌ها منظور گردید (جدول ۴) در پایان در مورد هر زیر حوضه، اعداد مربوط به شاخص‌های مختلف با همدیگر تجمیع و بر تعداد شاخص‌های مورد استفاده تقسیم گردید و بر این اساس منطقه به چهار بخش بسیار فعال، فعال، متوسط و یا با فعالیت کم تقسیم گردید (جدول ۵ و شکل ۶).

۲- از بین شاخص‌های مربوط به هر یک از ویژگی‌های زمین ساخت فعال، شاخص‌های  $V_f, S_{mf}, Re, H_i$  که در مقایسه با شاخص‌های  $V, Facet\%, B_s, V/A$  همبستگی بهتری با همدیگر داشتند، انتخاب شده و در تعیین شاخص نسبی زمین ساخت فعال ( $I_{at}$ ) مشارکت داده شدند (جدول ۵). سپس مطابق طبقه بندی صورت گرفته برای هر یک از شاخص‌ها، زیر حوضه‌های مختلف به سه دسته فعال، نیمه فعال و با

جدول ۳- میزان و درجه همبستگی بین شاخص‌های ژئومورفیک زمین ساخت فعال.

	V/A	Bs	Re	T	IAf-50I	SL	S	S <sub>mf</sub>	Face%	V	V <sub>f</sub>	
میزان همبستگی $r$	+۰/۸۲	+۰/۵۱	-۰/۵۳	-۰/۱۶	-۰/۱۵	+۰/۸۶	-۰/۷۱	-۰/۴۹	+۰/۲۷	-۰/۵۳	-۰/۶۴	
درجه همبستگی	بسیار زیاد	زیاد	زیاد	کم	کم	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	
میزان همبستگی $r$		+۰/۴۰	-۰/۴۷	-۰/۲۴	-۰/۲۳	+۰/۷۹	-۰/۳۳	-۰/۳۷	+۰/۲۵	-۰/۴۹	-۰/۵۳	
درجه همبستگی		متوسط	متوسط	کم	کم	بسیار زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	
میزان همبستگی $r$			-۰/۷۸	+۰/۱۳	+۰/۰۴	+۰/۴۹	-۰/۴۰	-۰/۱۹	+۰/۱۷	-۰/۴۳	-۰/۴۰	
درجه همبستگی			بسیار زیاد	کم	کم	متوسط	متوسط	کم	کم	متوسط	متوسط	
میزان همبستگی $r$				-۰/۰۳	+۰/۰۹	-۰/۵۹	+۰/۴۳	+۰/۲۰	-۰/۱۱	+۰/۴۵	+۰/۵۰	
درجه همبستگی				کم	کم	زیاد	متوسط	کم	کم	متوسط	زیاد	
میزان همبستگی $r$					+۰/۸۸	+۰/۲۰	+۰/۰۹	-۰/۰۱	-۰/۲۱	+۰/۰۷	-۰/۰۱	
درجه همبستگی					بسیار زیاد	کم	کم	کم	کم	کم	کم	
میزان همبستگی $r$						-۰/۲۴	+۰/۰۶	-۰/۰۶	-۰/۰۸	+۰/۰۶	-۰/۰۱	
درجه همبستگی						کم	کم	کم	کم	کم	کم	
میزان همبستگی $r$							-۰/۸۰	-۰/۴۴	+۰/۱۸	-۰/۴۷	-۰/۵۶	
درجه همبستگی							بسیار زیاد	متوسط	کم	متوسط	زیاد	
میزان همبستگی $r$								+۰/۳۵	-۰/۱۲	+۰/۵۳	+۰/۶۲	
درجه همبستگی								متوسط	کم	زیاد	زیاد	
میزان همبستگی $r$									-۰/۸۵	+۰/۵۲	+۰/۵۴	
درجه همبستگی									بسیار زیاد	زیاد	زیاد	

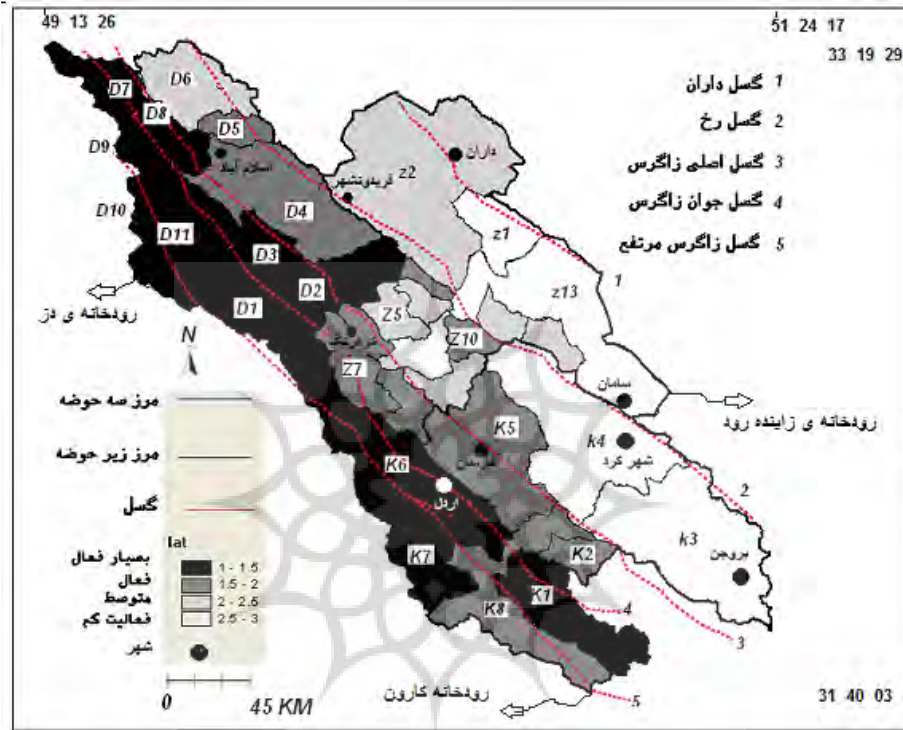
Face %										-۰/۲۹	-۰/۱۱	میزان همبستگی $r$
										متوسط	کم	درجه همبستگی
V											+۰/۸۷	میزان همبستگی $r$
											بسیار زیاد	درجه همبستگی

جدول ۴- چگونگی محاسبه شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat) در منطقه

کد	شاخص Hi	شاخص Re	شاخص SL	شاخص S	شاخص Smf	شاخص Vf	S/n	Iat شاخص	
D	D1	۱	۲	۱	۱	-	۱	۱/۳۳	۱
	D2	۱	۲	۱	۱	-	۱	۱/۲	۱
	D3	۱	۲	۲	۱	-	۱	۱/۵	۱
	D4	۲	۲	۲	۲	-	۱	۱/۸	۲
	D5	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱/۵	۲
	D6	۳	۲	۳	۲	-	۲	۲/۵	۳
	D7	۲	۲	۱	۱	-	۱	۱/۷	۱
	D8	۲	۲	۱	۱	-	۱	۱/۷	۱
	D9	۱	۲	۱	۱	-	۱	۱/۵	۱
	D10	۱	۲	۱	۱	-	۱	۱/۵	۱
	D11	۲	-	۱	۱	-	۱	۱/۲	۱
Z	Z1	۳	۳	۳	۲	۱	۳	۲/۳	۴
	Z2	۳	۳	۲	۲	۱	۳	۲/۱	۳
	Z3	۳	۲	۳	۱	۱	۱	۱/۷	۲
	Z4	۳	۲	۳	۱	-	۲	۲/۲	۳
	Z5	۳	۳	۳	۱	-	۲	۲/۵	۳
	Z6	۲	۲	۲	۱	-	۱	۱/۷	۲
	Z7	۲	۱	۲	۱	-	۲	۱/۷	۲
	Z8	۲	۲	۱	۱	-	۲	۱/۷	۲
	Z9	۲	۳	۳	۱	-	۲	۲/۳	۳
	Z10	۲	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۲
	Z11	۳	۳	۳	۲	۱	۲	۲/۴	۳
	Z12	۳	۲	۳	۱	۱	۲	۲	۳
	Z13	۳	-	۳	۲	-	۲	۲/۵	۴
K	K1	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۱/۳	۱
	K2	۳	۲	۳	۲	۱	۳	۲/۴	۲
	K3	۳	۲	۳	۲	۲	۳	۲/۵	۴
	K4	۳	۲	۳	۲	۲	۳	۲/۵	۴
	K5	۳	۲	۲	۲	۱	۳	۲/۳	۲
	K6	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱/۱	۱
	K7	۲	۲	۱	۱	-	۱	۱/۷	۱
	K8	۲	-	۲	۱	-	۱	۱/۵	۲

جدول ۵- شاخص های انتخاب شده برای تعیین شاخص نسبی زمین ساخت فعال و چگونگی طبقه بندی آنها.

طبقه	شاخص Hi	شاخص Re	شاخص SL	شاخص S	شاخص Vf	شاخص Smf
۱ (فعال)	$> 0.5 HI$	$> Re 0.5$	$> 600 SL$	$> 1 S$	$> Vf 0.5$	$> Smf 1$
۲ (نیمه فعال)	$> 0.5 HI$	$> 0.5 Re$	$> 400 SL$	$> 1.3 S$	$> 0.8 Vf$	$> Smf 1.5$
۳ (یا فعالیت کم)	$> HI 0.4$	$> 0.7 Re$	$> SL 400$	$> 1.3 S$	$> 0.8 Vf$	$> Smf 1.5$

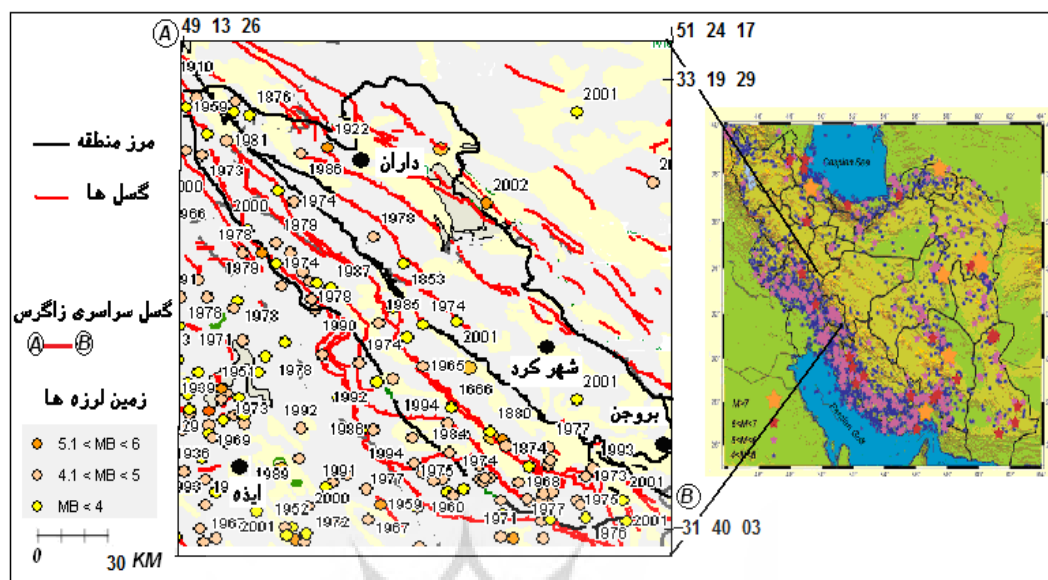


شکل ۵- پهنه بندی منطقه بر اساس شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat).

است که گسل های اصلی، جوان و مرتفع زاگرس نسبت به گسل های رخ و داران فعالیت زمین ساختی بیشتری داشته و با فعالیت خود موجب افزایش ناهمواری ها، کشیدگی زیر حوضه ها، محدب شدن نیم رخ رودخانه ها، صاف و مستقیم شدن جبهه کوهستان و ایجاد دره های عمیق و باریک در زیر حوضه های واقع در مسیر خود در طی کوتاه تر شده و

۳-۲- مقایسه شاخص نسبی زمین ساخت فعال با داده های لرزه شناسی  
پهنه بندی منطقه بر اساس شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat) (شکل ۵) افزایش فعالیت زمین ساختی از زون سنندج - سیرجان به سمت زون زاگرس بلند را نشان می دهد که این موضوع با نتایج به دست آمده از زمین لرزه های دستگاهی و تاریخی همخوانی داشته (شکل ۶) و نشان دهنده ی آن

چشم اندازهای سطح زمین را ناهموار و خشن ساخته‌اند.



شکل ۶- پراکندگی مرکز سطحی زمین لرزه‌های منطقه (پایگاه داده‌های علوم زمین، ۲۰۱۰).

#### ۴-۲- نکته قابل تامل

(حوضه دز با وضعیت بسیار فعال) به سمت جنوب شرق (حوضه کارون با وضعیت متوسط) کاهش مشخصی را در وضعیت فعالیت‌های زمین ساختی نشان می‌دهد (جدول ۴ و شکل ۵). این موضوع به دو صورت قابل توجیه است: یا این که جابجایی این گسل‌ها در بخش شمال غربی، بیشتر به صورت خزشی و آرام بوده و به همین دلیل، زمین لرزه‌های بزرگی رخ نداده است و یا این که در آینده احتمال وقوع زمین لرزه‌های بزرگی در این محدوده وجود خواهد داشت. با توجه به این که سد در حال احداث رودبار در این منطقه قرار گرفته است، باید وضعیت زمین ساختی آن به دقت بیشتری مورد مطالعه قرار بگیرد (شکل ۲). این سد در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شهر لیگودرز، در طول جغرافیایی "۳۷° ۴۱' ۴۹" عرض

در این بین نکته ی قابل تاملی نیز وجود دارد. در سمت جنوب غربی گسل زاگرس سراسری و محدوده زاگرس بلند، تعداد و بزرگی زمین لرزه‌های رخ داده از سمت شمال غربی به سمت جنوب شرق افزایش قابل ملاحظه ای پیدا می‌کند (شکل ۶) به طوری که منتهی الیه جنوب شرقی منطقه در ۱۷ فروردین ۱۳۵۶ (۶ آوریل ۱۹۷۷) زمین لرزه ۵/۴ ریشتری ناغان و در ۲۹ مهرماه ۱۳۸۴ (۲۰ اکتبر ۲۰۰۵) زمین لرزه ۵ ریشتری سرخون را تجربه کرده که در هر دو مورد با تلفات جانی و مالی زیادی همراه بود هاند (نصیری، ۱۳۸۴). این در حالی است که پهنه بندی منطقه بر اساس شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat) روندی معکوس داشته و از شمال غرب

جغرافیایی " ۲۳ ° ۵۴' ۳۲ و در مسیر رودخانه رودبار از سرشاخه‌های دز قرار گرفته و بزرگترین سد بتنی غلطکی در حال احداث ایران می باشد که با ارتفاع از پی ۱۵۸ متر، طول تاج ۲۱۱ متر و با حجم کل مخزن ۲۲۸ میلیون متر مکعب توانایی تولید انرژی برق آبی به میزان ۹۸۶ گیگاوات ساعت در سال را دارا است (شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، ۲۰۰۹).

### ۳- نتیجه گیری

مناطق فعال قسمت‌هایی از پوسته زمین هستند که در کوتاه‌ترین پسین و به خصوص عهد حاضر دارای حرکات زمین ساختی بوده و در آینده نیز مستعد بروز خطر هستند (سلیمانی، ۱۳۷۸). این مناطق توسط شواهد و شاخص‌های ژئومورفولوژی قابل تشخیص می باشند. برای این منظور از شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat) که ترکیبی از چند شاخص بوده و توسط ال همدونی و همکاران (۲۰۰۸) معرفی شده است، استفاده شد. در مورد تعیین این شاخص نیز این موضوع مطرح بود که از بین شاخص‌های مختلفی که می توانست در تعیین آن مشارکت داده شوند، کدام موارد ارجحیت داشته و کدام موارد احتمالاً " غیر قابل اعتمادند. برای پاسخ دادن به این سوال بین داده‌های حاصل از شاخص‌های مختلف همبستگی برقرار شد و شاخص‌های مطلوب تر (Vf Hi, Re, SL, S, Smf) که با سایر شاخص‌های معادل خود همبستگی بهتری داشتند، انتخاب شده و در تعیین شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat)

مشارکت داده شدند. نتایج به دست آمده افزایش فعالیت زمین ساختی از زون زمین شناسی سنندج- سیرجان به سمت زون زاگرس بلند را نشان می دهد که این موضوع با نتایج به دست آمده از تحلیل زمین لرزه‌ها همخوانی داشته و به فعالیت گسل‌های اصلی، جوان و بلند زاگرس مرتبط می باشد. اما از سوی دیگر، در سمت جنوب غربی گسل زاگرس سراسری و محدوده زاگرس بلند، تعداد و بزرگی زمین لرزه‌های رخ داده از سمت شمال غربی به سمت جنوب شرق افزایش قابل ملاحظه ای را نشان می دهد، که با نتایج به دست آمده از شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat) هماهنگی نداشته و روندی معکوس را نشان می دهد. این موضوع یا نشان دهنده جابجایی آرام این گسل‌ها در بخش شمال غربی بوده و یا این که در آینده باید احتمال وقوع زمین لرزه‌های بزرگی را در این محدوده داد که می تواند برای سد رودبار خطرناک باشد.

پیشنهاد می شود که در مطالعات آتی در سایر مناطق زاگرس، از شاخص نسبی زمین ساخت فعال (Iat) که ترکیبی از شاخص‌های Vf, Smf, S, SL, Re, Hi است، استفاده شود. این کار از یک سو باعث افزایش سرعت و دقت مطالعات ژئومورفولوژی در شناسایی مناطق فعال شده و از سوی دیگر به تکمیل مطالعات لرزه شناسی کمک می کند.

## منابع

- احمدی، اکبر، ۱۳۸۴، بررسی مورفوتکتونیک ناحیه کوهرنگ و حوضه آبریز بهشت آباد در استان چهارمحال و بختیاری، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی تکتونیک، استاد راهنما دکتر قدرت اله فرهودی، دانشگاه شیراز، ۱۴۶ صفحه.
- افلاکی، مهتاب، ۱۳۸۱، زمین ریخت شناسی زمین ساختی دامنه شمالی البرز خاوری (حوضه نکا، زارم رود)، کارشناسی ارشد تکتونیک، پژوهشکده علوم زمین، استاد راهنما دکتر قرشی، ۱۸۳ صفحه.
- بهار فیروزی، خلیل و نوا واجاری، ۱۳۸۵، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فریدون شهر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- پارک، ار، جی - ترجمه محسن پورکرمانی و همکاران، ۱۳۷۳، مبانی زمین شناسی ساختمانی، تهران، انتشارات علوی، ۳۰۸ صفحه.
- حبیب الهیان، محمود، ۱۳۸۵، ارزیابی نئوتکتونیک در بخش علیای رودخانه زاینده رود با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، گروه جغرافیا، ۱۶۴ صفحه.
- حسامی، خالد - طبسی، هادی، ۱۳۸۵، گسل رازک و عوارض ریخت زمین ساختی مرتبط با آن، پژوهشنامه پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، صفحات ۲۳ تا ۳۱.
- حقی پور، نگار، ۱۳۸۶، بررسی ریخت زمین ساختی گستره کپه داغ - بینالود بر پایه شاخص‌های
- گرادیان شیب رود و هیپسومتری، مجله علوم زمین، سال شانزدهم، شماره ۶۴، صفحات ۷۴ تا ۸۷.
- رامشت، محمد حسین - سیف، عبد... - شاه زیدی، سمیه سادات و انتظاری، مژگان (۱۳۸۸) تاثیر تکتونیک جنباب بر مخروط افکنه ی درختگان در منطقه ششهداد کرمان، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، صص ۲۹-۴۶.
- زاهدی، مصطفی - رحمتی ایلخچی، ۱۳۷۱، نقشه زمین شناسی شهر کرد (مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰) سازمان زمین شناسی کشور.
- سلیمانی، شهریار، ۱۳۷۸، رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه شناسی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۲۵ صفحه.
- سهیلی م، جعفریان م، عبداللهی م، ر، ۱۳۷۱، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ الیگودرز، تهران، سازمان زمین شناسی.
- غفر الهی، حسن، ۱۳۷۹، بررسی تاریخچه تکامل ساختاری و زمین ساخت فعال ناحیه دشتک - پهنه زاگرس مرتفع، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی - گرایش تکتونیک، پژوهشکده علوم زمین وابسته به سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدن کشور، ۲۱۹ صفحه.
- معظمی گودرزی، خسرو، ۱۳۵۱، لرزه شناسی، تهران، شرکت سهامی کتاب‌های جیبی، چاپ اول، ۲۴۹ صفحه.



- Frankel, Kurt., 2002. Quantitative topographic differences between erosionally exhumed and tectonically active mountain fronts: Implications for late-Cenozoic evolution of the southern finzi. Vita, (1986), Recent earth movements an introduction to neotectonics, university college London ,academic press, 175P.
- Gurbuz, Alper & Feyzi Gurer. Omer., (2008), Tectonic Geomorphology of the North Anatolian Fault Zone in the Lake Sapanca Basin (Eastern Marmara Region, Turkey). Geosciences Journal, VOL. 12, NO. 3, PP. 215-225.
- Hack, J. T., 1973. Stream-profiles analysis and stream-gradient indeces. U.S. Geological Survey , No. 1, pp. 421-429.
- ran water and poeder developing company, 2009. Rudbar Dam, Tehran, Iran.
- Kale. V. S and Shejwalkar. Nikhil., 2008. Uplift along the western margin of the Deccan Basalt Province: Is there any geomorphometric evidence? J. Earth Syst. Sci. 117, No. 6, PP. 959-971.
- Harkins, Nathan. W., Anastasio, David. J., Paz zaglia. Frank. J., (2005). Tectonic geomorphology of the Red Rock Fault, insights into segmentation and landscape evolution of a developing range front normal fault. Journal of Structural Geology , No. 27, pp. 1925-1939.
- keller , E. A., Pinter, N. 1996. Activ Tectonics: Earthquake, Uplift and Landscape . Prentice Hall Publication. London.
- نصیری، شهرام، ۱۳۸۴، زندگی با زمین لرزه‌ها در زاگرس مرتفع، گزارش مقدماتی زمینلرزه ی ۲۹ مهر ۱۳۸۴ سرخون- بخش میانکوه شهرستان اردل، استان چهار محال و بختیاری، گروه بلایای طبیعی و مدیریت بحران- پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور.
- یمانی، مجتبی - قاسمی، محمد رضا - علوی پناه، سید کاظم - گورابی، ابوالقاسم، ۱۳۸۹، مورفوتکتونیک ناحیه دهشیر با استفاده از تکنیک‌های ژئومورفومتری، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، صفحات ۱ تا ۲۰.
- Bull, W. B., McFadden, L. D., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. 8<sup>th</sup> Annual Geomorphology Symposium. State University of New York , Binghamton, pp. 115-138.
- Cannon, P. J., 1976. Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. Oklahoma Geology Notes 36(1), 3-16.
- Cuong, N. Q & Zuchiewicz., (2001), Morphotectonic properties of the Lo River Fault near Tam Dao in North Vietnam, Natural Hazard and Earth System Sciences, Vol. 1, PP. 15-22.
- El Hamdouni. R., Irigaray. c., Fernandez. T., Chacon. J., Keller. E. A., 2008. Assessment of relative active tectonics, Southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain) , Geomorphology , No. 96, pp. 150-173.

Italy.American Journal of Science  
304,559-589.  
www.ngdir.com  
[www.iwpcو.ir](http://www.iwpcو.ir)

Moghimi.Ebrahim.,2009.Comparative  
Study of changing Drainage Basins  
System With Tectonic Forms, Case  
Study: Lut Block, Iran.American  
Journal of Applied Science 6(6):1270-  
1276.

Molin,P.,Pazzaglia,F.J.,Dramis,F.,2004.Ge  
omorphic Expression of active tectonics  
in a rapidly-deforming forearc,sila  
massif,Calabria,southern



## Assessment and conformance of geomorphologic and seismologic evidence of active tectonic in Central Zagros area

**R. Sharifi, M. Moayeri, H.A. Ghayoor, H. Safaei, A. Sayf**

Received: August 10, 2011 / Accepted: April 8, 2012, 43-46 P

### Extended Abstract

#### 1- Introduction

Active faults are located in those parts of earth crust with tectonic movements in the post-Quaternary period and especially in Holocene epoch and are expected to have hazardous occurrences in future. The previous studies performed using geomorphologic indices on the other global parts, revealed the efficacy of them in identification of active faults. There are a variety of discussions regarding selecting and using active tectonic geomorphologic indices, their relationships and analysis procedures of the obtained results. In the present work, Central Zagros area was selected

and assessed that included head branches of Dez River, Zayandehroud River, and Karoon River and is located in both sides of Main Zagros Fault, Sanandaj-Sirjan zone and high Zagros zone.

#### 2- Methodology

For assessing the mentioned-above indices, a digital elevation model (DEM) related to SRTM topographic data at the accuracy of 90 m was provided for the whole studied area. Then, the measurements of drainage map drawing, sub-basin divisions, and indices were obtained by using ARCMAP, ARC VIEW, and GLOBALMAPER Softwares and the obtained results were displayed. To determine the relative tectonic activity index (Iat), an integrated index should be selected as a representative for each of the mentioned features. Therefore, a correlation was assessed among different indices and an index with the highest correlation with other indices involved in assessing a special feature was selected to be applied integrating with other indices for measuring Iat.

---

#### Author(s)

**R. Sharifi** (✉)

Assistant Professor of Geomorphology, university educators, Isfahan, Iran  
email: sharifi1010@gmail.com

**M. Moayeri**

Associate Professor of Geomorphology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

**H.A. Ghayoor**

Professor of Hydrology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

**H. Safaei**

Associate Professor of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

**A. Sayf**

Associate Professor of Geomorphology, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Thus, the considered index (Iat) was calculated and zone-flattening was done accordingly. Then, the obtained map was compared to the historical seismic maps and instrumental recorded seismograms in related to the zone. Finally, the obtained results were analyzed.

### 3-Discussion

In this study, seven geomorphologic features were assessed as their indices including index of earth uplift and relief, index of Drainage Basin Shape, Basin Transverse Symmetric Index, index of River Gradient, index of River Sinuosity, index of mountain front sinuosity, index of valley shape. The analyses showed that indices for basin transverse symmetric feature were not efficient in the studied zone because of the intensity of morpho tectonic and low degree of freedom in rivers. Also, among the other indices, there are better correlations among Index of Hypsometric Integral (Hi), Index of Basin elongation ratio (Re), Index of River Gradient (SL), Index of River Sinuosity (S), Index of Mountain Front Sinuosity (Smf), and Index of valley floor width to valley height (Vf). Through integrating these indices, relative tectonic activity index (Iat) was calculated. This index shows an increase of tectonic activity from Sanandaj-Sirjan Zone toward High Zagros Zone. And this finding is concurrent with the obtained results from the historical seismic maps and instrumental recorded seismograms showing that Main Zagros Recent Fault (MZRT), Main Zagros Fault (MZRF), and High Zagros Fault (HZF) had more tectonic activity in compared to Rokh and Daran Faults.

In the southern west side of whole Zagros Fault and high Zagros fault zone, there is a remarkable increase in

the number and intensity of the occurred seism from northern west side to southern east side. In the furthestmost of southern east zone, the seism occurred as 5.4 and 5 Richter on 6 April 1977 and 20 Oct 2005 in Naghan and Sarkhun, respectively. Both events caused huge life and financial losses. But, on the other hand, there is as reverse trend for zone-flattening based on Iat, and Iat decreases remarkably from northern west (Dez Basin) towards southern east (Karoon Basin). Two interpretations can be provided for this finding: First, fault movements in southern west occur as still creep; therefore, there is no chance for great earthquake. Second, in future there will be a probability for occurrence of great earthquake in this zone. This can be hazardous for Rudbar Dam.

### 4-Conclusion

Through the performed studies, indices for Hi, Re, SL, S, Smf, and Vf showed better correlations in compared to other indices. Through integrating these found indices, relative tectonic activity index (Iat) was defined and tectonic zone-flattening was performed accordingly. The obtained results showed an increase of tectonic activity from Sanandaj-Sirjan Zone toward high Zagros zone that this finding is in concurrent with the obtained seismic results. But in high Zagros zone, there is a remarkable increase in number and intensity of the occurred earthquakes from northern west toward southern east that this finding is not in concurrent with the obtained results from Iat and shows a reverse trend. It is a sign for movements of faults as still creep in northern west zone or it is

a warning for a probable great earthquake in this zone.

**Key words:** tectonic activity, geomorphologic indices, Central Zagros area, Dez Basin, Rudbar Dam.

### References

- Ahmadi, A., 2006. Morpho tectonic assessing Kouhrang Zone & Beheshtabad Basin in Chahar-Mahal-o-Bakhtiari Province. Unpublished dissertation for an MSc degree in Geology (Tectonic branch), University of Shiraz, Shiraz, Iran (Persian).
- Aflaki, M., 2002. Geomorphologic tectonic of northern mountainside of East Alborz (Neka Basin, Zarem River). Unpublished dissertation for an MSc degree in Geology (Tectonic branch), Research Institute for Earth Sciences, Tehran, Iran (Persian).
- Baharfiruzi, Kh., Vajari, N., 2006. 1:100,000 Geological Map Sheets for Fereidun-Shahr. Geological Survey of Iran, Tehran (Persian).
- Bull, W.B., McFadden, L.D., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. 8<sup>th</sup> Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton, pp. 115-138.
- Cannon, P.J., 1976. Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. Oklahoma Geology Notes 36(1), 3-16.
- Cuong, N.Q. & Zuchiewicz, 2001. Morphotectonic properties of the Lo River Fault near Tam Dao in North Vietnam. Natural Hazard and Earth System Sciences, Vol. 1, pp. 15-22.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., Keller, E.A., 2008. Assessment of relative active tectonics, Southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain), Geomorphology, No. 96, pp. 150-173.
- Frankel, Kurt., 2002. Quantitative topographic differences between erosionally exhumed and tectonically active mountain fronts: Implications for late-Cenozoic evolution of the southern finzi. Vita, 1986, Recent earth movements an introduction to neotectonics, university college London, academic press, 175P.
- Ghafrolahi, H., 2000. Studying history of structural evolution and tectonic activity of Dashtak zone in High Zagros field. Unpublished dissertation for an MSc degree in Geology (Tectonic branch), Research Institute for Earth Sciences, Tehran, Iran (Persian).
- Gurabi, A. et al., 2007. Geomorphology signs of active tectonic in Darake basin, Geography Research Quarterly, Tehran, Iran, No. 60, pp. 177-196.
- Gurbuz, Alper & Feyzi Gurer. Omer, 2008. Tectonic Geomorphology of the North Anatolian Fault Zone in the Lake Sapanca Basin (Eastern Marmara Region, Turkey). Geosciences Journal, VOL. 12, NO. 3, PP. 215-225.
- Habibolahian, N., 2006. Tectonic assessing in higher part of Zayandehroud using morphometric indices. Unpublished dissertation for an MSc degree in Geography, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
- Hack, J.T., 1973. Stream-profiles analysis and stream-gradient indices. U.S. Geological Survey, No. 1, pp. 421-429.

- Harkins, Nathan. W., Anastasio, David. J., Pazzaglia, Frank. J., 2005. Tectonic geomorphology of the Red Rock Fault, insights into segmentation and landscape evolution of a developing range front normal fault. *Journal of Structural Geology*, No. 27, pp. 1925-1939.
- Hesami, Kh., Tabasi, H., 2006. Razak fault and the related morphotectonic problems. Unpublished Research Report, International Institute of Earthquake Engineering & Seismology, Tehran.
- Iran water and poeder developing company, 2009. Rudbar Dam, Tehran, Iran.
- Kale, V.S and Shejwalkar, Nikhil., 2008. Uplift along the western margin of the Deccan Basalt Province: Is there any geomorphometric evidence? *J. Earth Syst. Sci.* 117, No. 6, PP. 959-971.
- Keller, E.A., Pinter, N. 1996. *Active Tectonics: Earthquake, Uplift and Landscape* Prentice Hall Publication. London.
- Park, R.G., 1994. *Foundations of Structural Geology*. (M. Pourkermani, et al.). Alavi Press, Tehran. (Original work published 1986).
- Soleimani, Sh., 1999. Guidelines for recent and active tectonic paleontological introductory, Unpublished Research Report, International Institute of Earthquake Engineering & Seismology, Tehran.
- Soheili, et al., 1992. 1:100,000 Geological Map Sheets for Aligudarz. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Moghimi, Ebrahim., 2009. Comparative Study of changing Drainage Basins System With Tectonic Forms, Case Study: Lut Block, Iran. *American Journal of Applied Science* 6(6):1270-1276.
- Molin, P., Pazzaglia, F.J., Dramis, F., 2004. Geomorphic Expression of active tectonics in a rapidly-deforming forearc, sila massif, Calabria, southern Italy. *American Journal of Science* 304, 559-589.
- Moazami Gudarzi, Kh., 1972. *Seismology*. Ketabchayeh-Jibi Stock Company, Tehran.
- Nasiri, Sh. et al., 2006. Residence in high Zagros with earthquakes, an introductory report of earthquake in Sarkhun-Miankuh Part, Ardal City, Chahar Mahal-o-Bakhtiari occurred on 20 Oct 2005. Department of Geographical Natural Hazards & Crisis Management, National Geoscience Database of Iran, Tehran, Iran.
- Winter, Th., Niviere, B., Giamboni, M., 2000. Active tectonics and seismic hazard in Sundgau area. EUCOR-URGENT Annual Report.
- Zahedi, M., Samadian, M., Mehdi Tavoosi, Sh., 1999. 1:250,000 Geological Map Sheets for Isfahan. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Zovoili, E., Konstantinidi, E. and Koukouvelas, I.K., 2004. Tectonic Geomorphology of escarpments: The cases of Kompotades and neanchilos faults, *Bulletin of the Geological Society of Greece* Vol. xxxv.
- (Iran water and poeder developing company, 2009). [www.iwpc.ir](http://www.iwpc.ir)