

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره دهم، شماره بیست و هشتم، تابستان ۱۴۰۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۰۴

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸

صفحات: ۱۳۰ - ۱۰۷

مقاله علمی پژوهشی

## بررسی نسبی زمین ساخت فعال با استفاده از شاخص های ریخت زمین ساختی در حوضه های جنوب شرق منطقه آتشفشانی بزمان

شهرام حبیبی مود<sup>۱</sup>، محسن جامی<sup>۲\*</sup>، مسعود سعیدی<sup>۳</sup>، غلامحسین کاخا<sup>۴</sup>، حسنعلی جامی<sup>۵</sup>

۱. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، دانشکده علوم پایه، گروه زمین شناسی، زاهدان

۲. استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده صنعت و معدن خاش

۳. کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی

۴. استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده صنعت و معدن خاش

۵. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، دانشکده علوم پایه، گروه ریاضی، زاهدان

### چکیده

آتشفشان بزمان، در جنوب شرق ایران، شمال غربی شهرستان ایرانشهر و در شمال شهر بزمان واقع گردیده است. هدف از پژوهش حاضر بررسی زمین ساخت فعال حوضه های آبریز نشأت گرفته از آتشفشان بزمان (با نگرشی بر شهر بزمان) و محیط پیرامون آن و همچنین سطح بندی فعالیت های زمین ساختی نسبی می باشد. در این راستا به مطالعه شاخص های مورفومتریک پرداخته شده است که عبارتند از: نسبت عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)، شیب طولی رودخانه (SL)، پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، انتگرال هیپسومتری (Hi)، شاخص میانگین شیب محوری کانال (MASC)، شاخص شکل حوضه آبریز (Bs). نتایج حاصل از تحلیل های زمین ریختی، به صورت شاخص نسبی فعالیت های زمین ساختی (Iat) بیان شده است. این شاخص فعالیت های زمین ساختی یک منطقه را در چهار طبقه فعالیت کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد نشان می دهد. براساس مطالعات انجام شده، رده بندی فعالیت زمین ساختی به صورت ذیل است: گستره با فعالیت زمین ساختی نسبی خیلی بالا در بخش های شمال غربی و شمال شرقی و گستره مطالعاتی قرار گرفته اند، این حوضه ها در بخش های شمال - شمال شرق و شرقی منطقه واقع شده اند، که این مسئله عمدتاً متأثر از سنگ شناسی (خصوصاً پیرامون آتشفشان)، حرکت ساختارهای زمین ساختی فعال موجود در این حوضه ها می باشد. پهنه با فعالیت زمین ساختی نسبی متوسط در بخش های میانی و جنوبی منطقه واقع شده و پهنه با فعالیت زمین ساختی نسبی پایین که حوضه های بخش های مرکزی و غرب و جنوب غرب در این پهنه قرار خواهند گرفت. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شاخص ها گویای فعالیت زمین ساختی در محدوده آتشفشان بزمان و پیرامون آن می باشد. به دلیل واقع شدن شهر بزمان و مراکز جمعیتی در محیط اطراف آتشفشان خصوصاً بخش جنوب شرقی آن، احتمال وقوع خطرات زمین شناسی در آینده اجتناب ناپذیر است.

واژگان کلیدی: زمین ساخت فعال، آتشفشان بزمان، شاخص های مورفومتری، جازموربان.

## مقدمه

منطقه مورد مطالعه در جنوب شرق ایران و در پیوستگاه سه زون مختلف زمین‌شناسی (منطقه فلیش شرق ایران، منطقه مکران و بلوک لوت) قرار گرفته است. آتشفشان بزمان حاصل فرورانش پوسته اقیانوسی عمان به زیر پوسته ایران می‌باشد. وجود چشمه‌های حرارتی در منطقه و همینطور مواردی همچون خروج بخارات، گازها از دهانه آتشفشان، باعث ایجاد تغییر دما و لایه‌های زمین‌شناسی منطقه می‌شود که این امر بر روی ساختارهای پیرامون مخروط آتشفشانی همچون گسل‌های اطراف خود مخروط تأثیر خواهد داشت. تغییرات سطح زمین در نواحی آتشفشانی می‌تواند به صورت برآمدگی، فرورفتگی و ترک برداشتن زمین ظاهر شوند. این تغییرات عموماً مرتبط با حرکت لایه‌های زیرین شامل گسل‌ها و فعالیت آتشفشانی به وقوع پیوسته در زیر سطح پوسته زمین می‌باشند، اگر این حرکات در قالب استرین‌های کوتاه مدت صورت بگیرد باعث ایجاد زمین‌لرزه خواهد شد. با توجه به وقوع بلایای طبیعی که مسبب آن آتشفشان‌ها و فعالیت زمین‌ساختی مرتبط با آن‌ها است، لذا انجام مطالعات زمین‌ساختی و زمین‌ریخت‌شناسی در منطقه امری اجتناب ناپذیر است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی وضعیت زمین‌ساختی منطقه است تا در اجرای طرح‌های توسعه‌ای منطقه، نتایج این مطالعات لحاظ گردد و در آینده از وقوع خسارات جانی و اقتصادی در منطقه جلوگیری به عمل آید. در علم زمین‌شناسی، زمین‌ساخت به بررسی عوامل به وجود آورنده ساختمان‌ها و روابط و نیروهای حاکم بر آن‌ها می‌پردازد. (Rockwell et al., 1985) و Bull and McFadden (1977) با ترکیب شاخص سینوسیستی جبهه کوهستان (Smf) و پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf) به تقسیم‌بندی پیشانی کوه به رده ۱ تا ۳ پرداختند. (Wells et al., 1988) به مطالعه تعدادی از پارامترهای زمین‌ریخت‌شناسی جهت تحلیل زمین‌ساخت ناحیه‌ای پرداختند و نتایج حاصل از مطالعه این پارامترها، تغییرات قابل‌توجهی را در میزان فعالیت زمین‌ساختی نشان دادند که توسط داده‌های میدانی و زلزله‌شناسی موجود نیز اثبات شدند. (Silva et al., 2003) به بررسی فعالیت زمین‌ساخت نسبی پیشانی کوهستان با محاسبه شاخص‌های Smf و Vf پرداختند اما از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده ننموده‌اند. (El Hamduni et al., 2003) با استفاده از شاخص ریخت‌زمین-ساختی به ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال پرداخته‌اند و با محاسبه و رده‌بندی شاخص‌های مذکور و بدست آوردن میانگین شاخص S/N در قالب مدل Iat، چهار رده زمین‌ساختی بسیار فعال تا فعالیت نسبتاً کم را معرفی نموده‌اند. (Dehbozorgi et al., 2010) شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی را در ناحیه سروستان البرز مرکزی مورد بررسی قرار دادند و این ناحیه را به لحاظ فعالیت‌های زمین‌ساختی طبقه‌بندی نمودند و همچنین نتایج حاصل از مطالعه شاخص-ها را با بررسی‌های صحرائی سازگار دانسته‌اند. (Bagha et al., 2014) در منطقه تهران (البرز مرکزی) با استفاده از ماتریس‌های مقایسه زوجی به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به این نتیجه رسیدند که بیشتر حوضه‌های زهکشی که رده بالای فعالیت زمین‌ساختی را نشان می‌دهند، با گسل‌های اصلی لبه جنوبی البرز مرکزی منطبق هستند. (Partabian et al., 2016) با استفاده از تحلیل مکانی شاخص‌های زمین‌ریختی به بررسی تأثیر زمین‌ساخت فعال بر فرآیندهای زمین‌ریختی در رشته کوه مکران در جنوب شرق ایران پرداخته‌اند که نتایج حاصل نشان‌دهنده کاهش فعالیت‌های زمین‌ساختی از شمال به جنوب در این منطقه بوده است. (Jami et al., 2016) در بررسی کمی فعالیت زمین‌ساختی در ناحیه آتشفشان تفتان و پیرامون با استفاده از شاخص‌های مورفومتری، بالا بودن مقدار عددی

شاخص ها در مخروط آتشفشانی را بیشتر تحت تأثیر فرایندهای ماگمایی دانسته اند و نقش فعالیت های زمین ساختی در بخش مخروط آتشفشان را بسیار کم مشخص نموده اند.

### داده ها

نتایج حاصل از مطالعه چندین شاخص می تواند با یکدیگر ترکیب شده و با اضافه شدن به سایر اطلاعات نظیر نرخ بالآمدگی، رده فعالیت زمین ساختی را مشخص نمایند، این رده ها نشانگر درجه نسبی فعالیت در یک ناحیه هستند (Pourkermani and Solgi, 2009). در این پژوهش با به کارگیری شاخص های زمین ریختی، فعالیت های زمین-ساختی حوضه آبریز در بخش جنوب شرقی آتشفشان بزمان با تأکید بر شهر بزمان مورد بررسی قرار می گیرد. بدین جهت از شاخص های زمین ریختی برای مطالعه فعالیت های زمین ساختی استفاده شده است. شاخص ها عبارتند از: نسبت عدم تقارن حوضه زهکشی<sup>۱</sup> (Af)، سینوسیتهی جبهه کوهستان<sup>۲</sup> (Smf)، شیب طولی رودخانه<sup>۳</sup> (SL)، پهنای کف دره به ارتفاع آن<sup>۴</sup> (Vf)، انتگرال هیپسومتری<sup>۵</sup> (Hi)، شاخص میانگین شیب محوری کانال<sup>۶</sup> (MASC)، شاخص شکل حوضه آبریز<sup>۷</sup> (Bs) مورد بررسی قرار گرفته اند (جدول ۱). این شاخص ها در مطالعه زمین ساخت فعال نسبی بر اساس تهیه یک شاخص منفرد بسیار مفید شناخته شده اند (Bull and McFadden, 1977; Azor et al., 2002; Keller and Pinter, 2002; Silva et al., 2003).



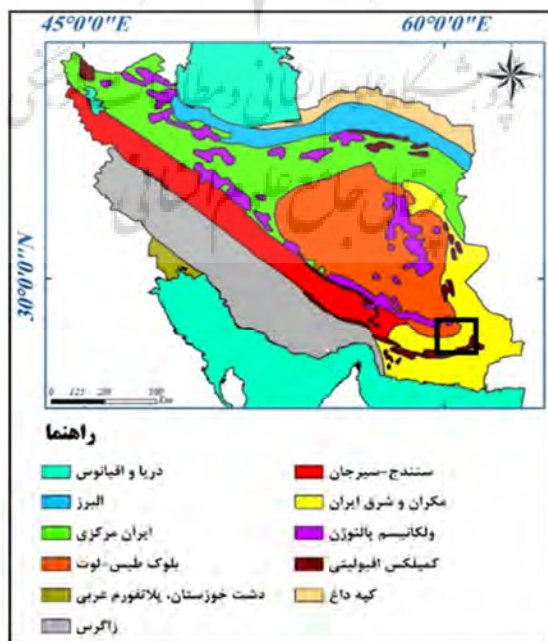
شکل ۱: نحوه محاسبه زمین ساخت نسبی فعال بر مبنای روش (El Hamdouni et al., 2008)

- 1- Asymmetry factor
- 2- Mountain front sinuosity
- 3 - Stream Length-gradient index
- 4 - Ratio of valley floor width to valley high
- 5 - Hypsometric integral
- 6 - Mean axial slope of the channel
- 7 - Drainage basin shape

طبقه‌بندی نسبی زمین‌ساخت فعال در این حوضه آبریز بر اساس مطالعات ال همدونی و همکاران (۲۰۰۸) صورت گرفته است. مرز محدوده مطالعاتی، با در نظر گرفتن وضعیت زهکشی، توپوگرافی، ساختارهای زمین‌شناسی منطقه و حوضه‌های نشأت گرفته از آتشفشان بزمان و توپوگرافی اطراف آن و همچنین مراکز جمعیتی پیرامون این مخروط آتشفشانی (با نگرشی ویژه به شهر بزمان) در نظر گرفته شده است. بر اساس روش ارائه شده توسط El Hamdouni et al., (2008) با محاسبه شاخص‌های زمین‌ریختی در منطقه که هر کدام نشان دهنده ویژگی زمین‌ساختی خاص از منطقه مورد بررسی هستند، وضعیت نسبی زمین‌ساخت تعیین می‌گردد. برای این منظور از شاخص زمین‌ساخت نسبی فعال (Iat) که از مجموعه عددی (کلاسه بندی) به دست آمده از چند شاخص بوده است، استفاده شده است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه به ۱۱۱ حوضه تقسیم گردید، جهت انجام تقسیم‌بندی از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ ایران‌شهر و جازموریان ۱:۱۰۰۰۰۰ بزمان بهره گرفته شده‌اند. در این بررسی سعی بر آن شد تا حوضه‌ها تا حد ممکن کوچک در نظر گرفته شوند تا بتوان تفسیری دقیق از فعالیت زمین‌ساختی در منطقه بدست آورد. شکل (۵) موقعیت حوضه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

#### معرفی منطقه مورد مطالعه

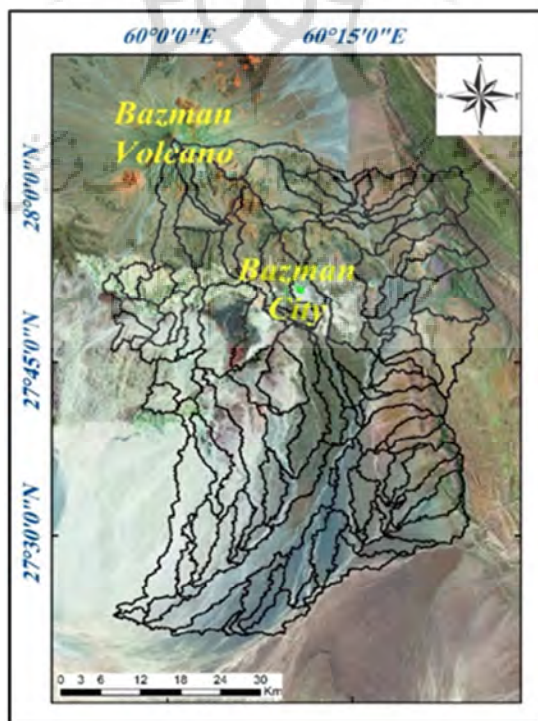
آتشفشان بزمان، در جنوب‌شرق ایران، شمال غربی شهرستان ایران‌شهر و در شمال شهر بزمان واقع گردیده است. (شکل ۲). محدوده مورد مطالعه با مختصات "۶۰°۰۰'۰۰" و "۶۰°۲۰'۲۰" طول شرقی و بین محدوده "۲۷°۰۰'۱۰" و "۲۸°۰۰'۱۰" عرض شمالی در جنوب‌شرقی ایران واقع شده است. علاوه بر نقش ساختارهای موجود در محدوده مورد مطالعه، می‌توان تأثیر فعالیت‌های کواترنری آتشفشان بزمان را نیز در تغییر پارامترهای زمین‌ریختی مورد بررسی قرار داد.



شکل ۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه (چهارگوشه مشکی) در نقشه تقسیمات رسوبی - ساختاری ایران (Stocklin, 1968).

### الف- زمین شناسی منطقه‌ای

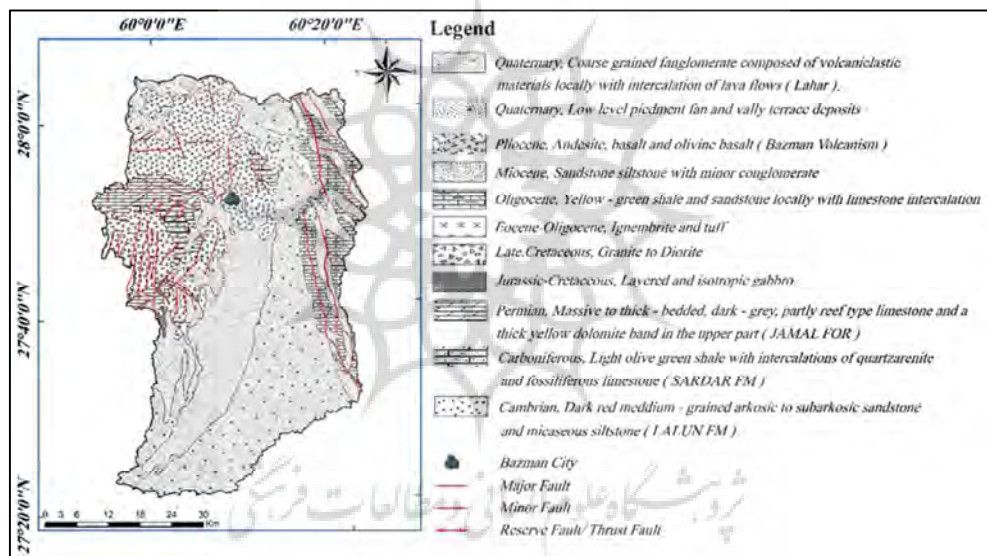
مخروط آتشفشانی بزمان (شکل ۳)، از مدل چینه‌ای می‌باشد و گدازه‌های حاصل فوران‌های متعدد از دهانه‌های مختلف خارج شده است. این مخروط آتشفشانی دارای ساختار پیچیده‌ای است سنگ‌های خارج شده از آن از نوع داسیت، آندزیت و ریوداسیت است، این سنگ‌ها در دامنه شرقی این مخروط دارای رخنمون‌های گسترده‌تری هستند. در بخش جنوبی آتشفشان، سنگ‌های آتشفشانی نئوژن و کواترنری گسترش دارند. سنگ‌های آتشفشانی جوان به حالت افقی یا شیب کم روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند. آتشفشان بزمان به گونه یک آتشفشان استراتوولکانو است که در زمان کواترنری فوران‌های انفجاری و غیرانفجاری داشته است. مواد و سنگ‌های آتشفشانی بزمان روی واحدهای آتشفشانی نئوژن تشکیل شده‌اند (Shiaian et al., 2014). این مخروط آتشفشانی شامل تناوبی از: سنگ-های برشی پامیسی، ایگنیمبریتی و گدازه است. به همین دلیل شباهت زیادی به جزایر کمانی دارد. در واقع این آتشفشان قسمت شرقی کمان ماگمایی حاصل فرورانش پوسته اقیانوسی عمان به زیر پوسته ایران است و فاصله آن نسبت به دراز گودال اقیانوسی در مقایسه با آتشفشان دیگر این کمان که در ایران واقع است کمتر می‌باشد، به همین دلیل تصور می‌شود که این بخش از بلوک فرو رونده دارای شیب بیشتری است و متفاوت از بلوکی که آتشفشان تفتان را ایجاد نموده است می‌باشد. (Aqanabati, 2004). قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه بزمان واحدهای رسوبی-تخریبی کربنیفر و سازند کربنایی جمال با سن پرمین هستند که توسط توده گرانیتهی بزمان با سن کرتاسه قطع شده است. واحدهای رسوبی-تخریبی آئوسن و میوسن به گونه کمربند چین خورده گسلیده با روند شمال شمال غربی- جنوب جنوب شرقی در بخش شرقی آتشفشان بزمان رخنمون دارند (شکل ۴ و ۵).



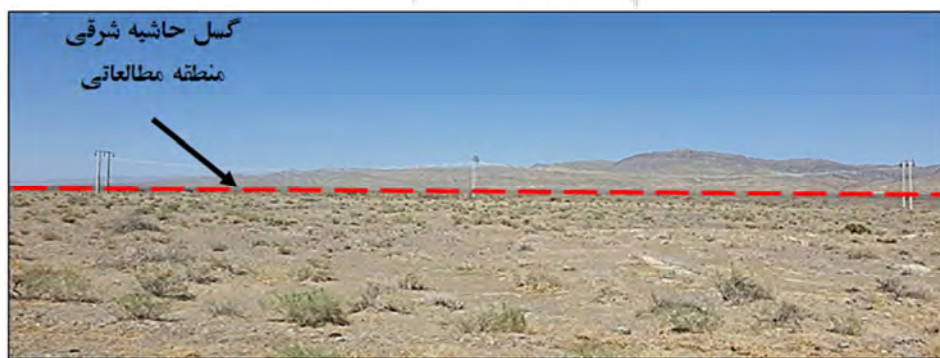
شکل ۳: تصویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه به همراه موقعیت مخروط آتشفشان (نگارندگان: ۱۳۹۸).

ب- آشکارسازی خطواره‌های محدوده مطالعاتی

آشکارسازی خطواره‌ها و تهیه نقشه از آنها با استفاده از داده‌ها و روش‌های دورسنجی یک موفقیت مهم در مطالعات زمین‌شناسی به ویژه مطالعات زمین ساخت است (Shupe and Akhavi, 1989; Tibaldi and Ferrari, 1991; Kar, 1994; Kresic, 1995; Rolet et al., 1995; Rowen and Bowars, 1995; Philip, 1996; Solomon and Ghebreab, 2006; Masoud and Koike, 2006; Marghany and Hashim, 2010; Hashim et al., 2013). از آنجایی که ساختارهای زمین‌شناسی همچون شکستگی‌ها (گسل‌ها و درزها)، پهنه‌های برشی و برگوارگی در سطح زمین به صورت خطواره در تصاویر ماهواره‌ای (Solomon and Ghebreab, 2006) و هوایی آشکار و نشان داده شده است، برخی از پژوهشگران از روش‌های سنجش از دور به همراه مطالعات صحرایی در راستای استخراج عوارض ساختاری به ویژه خطواره‌ها به منظور شناخت منشأ (Drury et al., 1994)، زمین‌ساختی آن‌ها استفاده کرده‌اند (Gholamzadeh, 2014). در مطالعات دورسنجی انجام شده سعی بر این بوده است تا خطاها حذف شود.

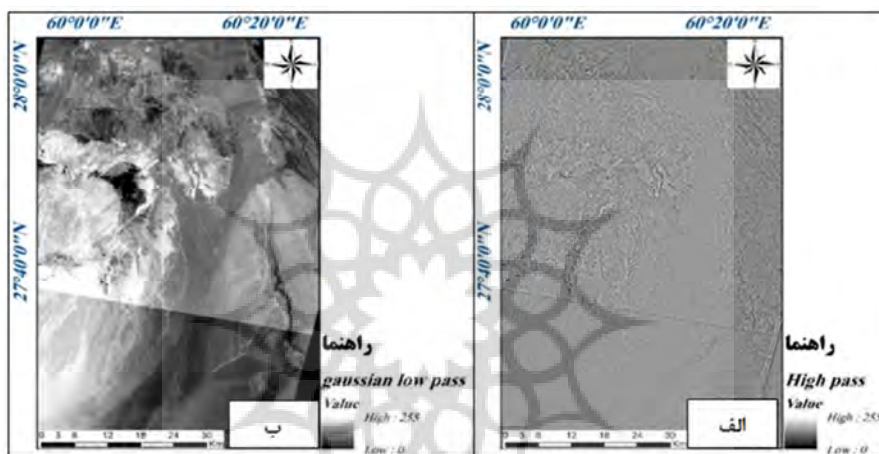


شکل ۴: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (نگارندگان: ۱۳۹۸).

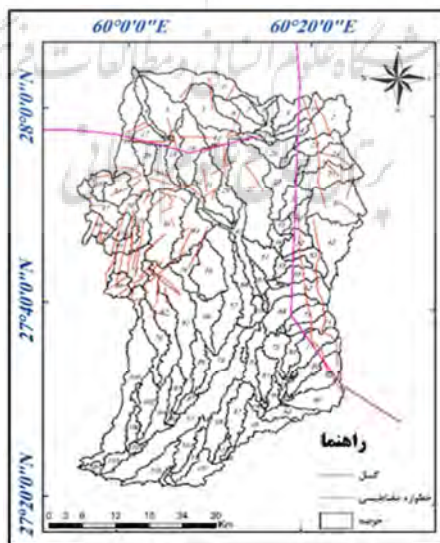


شکل ۵: نمایی از ساختار گسلی حاشیه شرقی منطقه مطالعاتی (دید به سمت شمال شرق) (نگارندگان: ۱۳۹۸).

آشکارسازی خطواره‌ها در منطقه بزمان به دلیل آب و هوای خشک و پوشش گیاهی ضعیف به خوبی انجام پذیر بوده است (شکل ۶ و ۷). جهت بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی در گستره محدوده مطالعاتی، داده‌های مغناطیسی هوایی پردازش شده است، بدلیل در دسترس نبودن داده‌های مغناطیس‌سنجی حاصل از برداشت‌های جدید در منطقه از نقشه خطواره‌های مغناطیسی ایران استفاده شده است. این داده‌ها دارای اطلاعات با ارزشی جهت تفسیر عوارض زیر-سطحی هستند (Newsuparpet al., 2005). پس از بررسی نقشه خطواره‌های مغناطیسی ایران (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور) و انطباق نقشه‌ها (خطواره‌های مغناطیسی و نقشه زمین‌شناسی) مشخص گردید که این خطواره‌های مغناطیسی نشانگر گسل‌هایی هستند که در سطح زمین قابل مشاهده می‌باشند.



شکل ۶: (الف) اعمال فیلترهای High pass. (ب) Low pass در منطقه مطالعاتی. با توجه تعداد زیاد تصاویر خروجی از نرم افزار، فقط دو تصویر به عنوان نمونه در مقاله آورده شده است (نگارندگان: ۱۳۹۸).



شکل ۷: نقشه خطواره‌های مغناطیسی و گسل‌های حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای (ساده‌سازی شده پس از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۴).

شرح مختصری از شاخص‌های ریخت زمین ساختی و نحوه محاسبه آنها در جدول (۱) آورده شده است. در بخش بحث و نتایج مقادیر حاصل از محاسبه شاخص‌ها، مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱: معرفی شاخص‌های ریخت زمین ساختی و نحوه محاسبه آنها

ردیف	شاخص	نحوه محاسبه	اجزاء معادله	توضیحات
۱	عدم تقارن حوزه زهکشی	$AF = 100 \left( \frac{Ar}{At} \right)$	Ar = مساحت حوزه سمت راست رود (دید به سمت پایین) At = مساحت کل حوزه زهکشی AF = عدم تقارن حوزه	مقادیر کمتر، یا بیشتر از ۵۰ درصد این شاخص ممکن است نشانگر کج-شستگی باشند
۲	سینوسیته پیشانی کوهستان	$S_{mf} = \left( \frac{L_{mf}}{L_s} \right)$	$S_{mf}$ = سینوسیته پیشانی کوهستان $L_{mf}$ = طول پیشانی کوهستان و انحنای مشخص در دامنه $L_s$ = طول خط مستقیم پیشانی کوهستانی	مقادیر برابر با ۱ این شاخص، خاص نواحی فعال زمین ساختی است -مقادیر کمتر از ۱/۴ پیشانی‌های فعال زمین ساختی را نشان می‌دهند (راکول و همکاران، ۱۹۸۵؛ کلر ۱۹۸۶).
۳	شاخص طول-گرادیان رود	$SL = \left( \frac{\Delta H}{\Delta L} \right) \cdot L$	SL - شاخص طول-گرادیان رود $\Delta H$ = تغییرات ارتفاع کانال $\Delta L$ = تغییرات طول کانال L = طول کل کانال از محل تقسیم رود	می‌تواند یک ابزار مفید برای تعیین جابه‌جایی‌های زمین ساختی باشد (چن و همکاران <sup>۳</sup> ، ۲۰۰۳؛ زوویلی و همکاران <sup>۴</sup> ، ۲۰۰۴)
۴	نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن	$V_f = \frac{2V_{fw}}{(E_{1d} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})}$	$V_f$ = نسبت پهنای کف دره به ارتفاع $V_{fw}$ = پهنای کف دره $E_{rd}$ و $E_{1d}$ = ارتفاع دیواره چپ و راست دره نسبت به هم $E_{sc}$ = ارتفاع کف دره	دره‌های (V) شکل با مقدار ( $V_f$ ) کمتر از ۱ در پاسخ به بالا آمدگی فعال تکامل می‌یابند - دره‌های (U) شکل با ( $V_f$ ) بزرگتر از ۱ فرسایش جانبی مهمی را که ناشی از پایداری سطح مینا یا عدم عملکرد زمین ساخت است
۵	منحنی ارتفاع-سنجی	$Hi = \frac{\text{ارتفاع حداقل} - \text{میانگین ارتفاع}}{\text{ارتفاع حداقل} - \text{ارتفاع حداکثر}}$	-----	- منحنی محدب نشانگر فعالیت بالای منطقه است

1- Rockwell et al  
2 - Keller  
3- Chen et al  
4- Zovoili et al

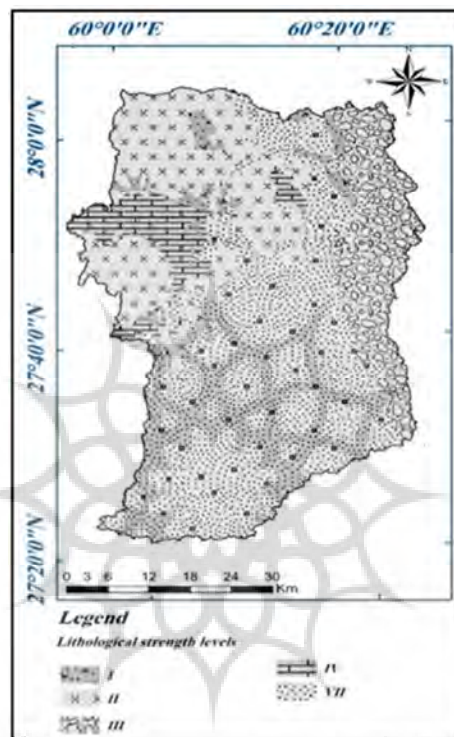


۶	شاخص میانگین شیب محوری کانال	$MASC = \frac{H_{max} - H_{min}}{LS} \times 100$	MASC - شیب محوری کانال Hmax - بالاترین نقطه حوزه Hmin - پایین ترین نقطه حوزه Ls - طول کانال موازی با خط اصلی زهکشی.	در مناطقی با حداکثر ناهمواری که دره های بریده شده قرار دارند و طول دره ها کوتاه می باشد این نسبت افزایش می یابد در حالیکه در مناطق با ناهمواری کم و در سطوح جلگه ای و هموار که دره ها طولتر می باشند مقدار این شاخص کاهش می یابد
۷	شاخص شکل حوزه آبریز	$Bs = \frac{BL}{BW}$	Bs = شاخص شکل حوزه آبریز BW = عرض حوزه در پهن ترین قسمت آن BL = طول حوزه از نقطه خروجی تا دورترین فاصله از آن	میزان پایین Bs اغلب در نواحی غیر فعال زمین ساختی به دست می آید - پیشانی کوههایی که به سرعت بالا آمده اند، اغلب حوزه های کشیده و با شیب تند ایجاد می کنند

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از مطالعات سنجش از دور و بررسی نقشه خطواره های مغناطیسی ایران، انطباق ساختارهای سطحی با خطواره های مشاهده شده در عمق را نشان می دهد. خطواره هایی که در عمق مشاهده شده اند، در سطح زمین به صورت ساختارهای خطی (گسل ها) قابل مشاهده هستند و تأثیر حرکات این ساختارها در تغییرات شاخص های مورد بررسی به طور واضح قابل مشاهده است. در واقع می توان این خطواره ها را به همراه گسل هایی که در سطح زمین قابل مشاهده هستند به عنوان خطری بالقوه جهت ایجاد زمین لرزه ای محتمل در منطقه نظر گرفت. شاخص های زمین ریختی در منطقه، تحت تأثیر دو عامل فعالیت های زمین ساختی و عوامل سطحی، دچار تغییر می شوند. با توجه به فرسایش پذیر بودن بخش های شرقی، شمال شرقی منطقه، مقاومت سنگ های بوجود آمده بر اثر فعالیت های آتشفشان بزمان در بخش شمال غربی و غرب منطقه، پوشش گیاهی بسیار ضعیف و اختلاف توپوگرافی بالا در منطقه، علاوه بر فعالیت ساختارهای موجود در منطقه به جهت توان ایجاد مخاطرات زمین شناختی، نقش عوامل سطحی و فرسایشی در بررسی و محاسبه مقادیر شاخص های ریخت زمین ساختی بسیار با اهمیت می باشد. ناهمواری هایی در بخش های شرقی - شمال شرقی و غرب - شمال غرب منطقه وجود دارد. منحنی تراز در منطقه نشان دهنده کاهش ارتفاع به سمت جنوب می باشد. تغییرات سنگ شناسی در قسمت های مختلف منطقه مطالعاتی قابل مشاهده است و این امر تأثیر بسزایی در تغییر مقادیر حاصل از محاسبه شاخص های ریخت زمین ساختی داشته است. در این پژوهش از روش رزوسکی و نوپک (۱۹۷۱) جهت طبقه بندی فرسایش پذیری استفاده شده است (شکل ۸). سنگ شناسی عمومی منطقه دارای سه طبقه سست، مقاوم و خیلی مقاوم می باشند، البته عوامل محیطی باعث فرسایش سنگ های منطقه گردیده است. حوضه های منطقه به دو بخش تقسیم می شوند، الف) حوضه هایی که از سنگ های آذرین (آندزیت، گرانیت و...) تشکیل شده اند، ب) حوضه هایی که از سنگ های رسوبی (شیل، ماسه سنگ و...) تشکیل شده اند. تغییرات سنگ شناسی در مقادیر شاخص های ریخت زمین ساختی در حوضه های پیرامون آتشفشان بزمان موثر

است، هر چقدر سنگ‌شناسی نرم‌تر باشد مقدار فرسایش بیشتر و نشان‌دهندهٔ مقادیر پائین شاخص‌های ریخت‌زمین-ساختی است، اگر سنگ‌شناسی سخت‌تر باشد مقادیر به دست آمده از محاسبه شاخص‌ها بیشتر خواهند بود. البته باید این مورد را هم در نظر داشت که در مناطقی که شکستگی‌های زمین‌ساختی فراوان است (درزهای موجود در سنگ‌ها) احتمال وجود فرسایش به دلیل نفوذ سیالات به درون سنگ‌ها بالا می‌باشد.



شکل ۸: طبقه‌بندی سنگ‌شناسی منطقه بر مبنای روژسکی و نوپک نسبت به فرسایش (نگارندگان: ۱۳۹۸).

در منطقه مورد مطالعه شاخص AF برای ۱۱۱ حوضه، محاسبه گردید. مقاطع مورد بررسی در منطقه دارای سنگ-شناسی یکنواخت در دو سمت آبراهه هستند و تغییرات مقدار اندازه‌گیری شده این شاخص در این حوضه‌ها ناشی از حرکت‌های قائم گسل‌ها و ساختارهای فعال موجود در منطقه هستند. حوضه‌های منطقه شمال‌شرق و شرق محدوده مطالعاتی به سمت جنوب و جنوب‌غرب جریان دارند و حوضه‌های شمال‌غرب، جنوب و مرکز منطقه به سمت جنوب جریان دارند. ارزیابی تقارن حوضه‌های زهکشی با استفاده از فاکتور تقارن توپوگرافی عرضی در اکثر قطعات حوضه‌ها کج‌شدگی نشان می‌دهد. حوضه‌های بخش شرق و شمال-شمال‌غرب منطقه به ترتیب دارای کج‌شدگی به سمت غرب، شرق و جنوب‌شرق هستند. این کج‌شدگی در قسمت شرقی محدوده بر اثر فعالیت گسل‌های منطقه که خود باعث وقوع مخاطرات زمین‌ساختی است و در قسمت شمال منطقه بر اثر بالا آمدگی ناشی از انباشت ماگما (مخروط آتشفشانی بزمان) در ادوار گذشته می‌باشد. بررسی‌ها نشان داد که ۲۵/۲۲ درصد (۲۸ حوضه) از این حوضه‌ها دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا، ۴۷/۷۴ درصد (۵۳ حوضه) دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و ۲۷/۰۲ درصد (۳۰ حوضه) دارای فعالیت زمین‌ساختی پائین هستند. نتایج حاصل از بررسی شاخص Smf تغییراتی از فعالیت‌های زمین‌ساختی را در جبهه‌های مختلف کوهستان نشان می‌دهد. مقاطعی که این شاخص در آن‌ها بررسی شده است به لحاظ سنگ

شناسی دارای مقاومت تقریباً یکنواختی هستند، با در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی ثابت در منطقه مطالعاتی، می توان تغییرات شاخص Smf را حاصل فعالیت های زمین ساختی در منطقه دانست.

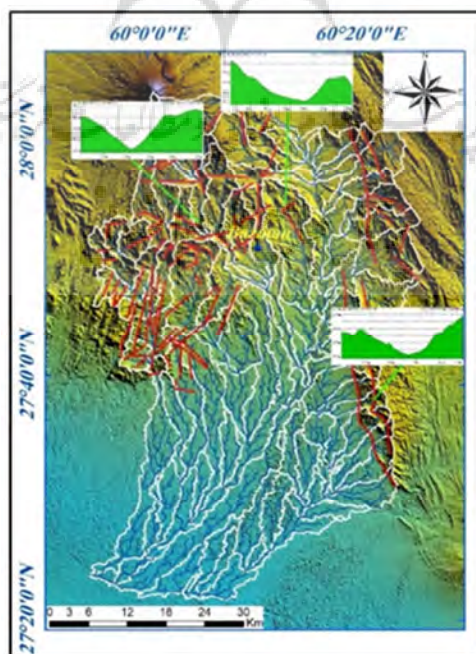
در بررسی شاخص Smf با توجه به نقشه های زمین شناسی گستره مورد مطالعه، هیچگونه گسل پیشانی کوهستانی در بخش هایی از شمال - شمال غرب منطقه و جنوب - جنوب شرق منطقه در روی زمین قابل مشاهده نمی باشد، از این رو شاخص مورد نظر را نمی توان برای آن ها محاسبه نمود. همه جبهه های کوهستانی موجود در منطقه در رده جبهه های فعال قرار می گیرند، حوضه های ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۴۴، ۶۸ و ۷۱ بالاترین فعالیت زمین ساختی نسبی را دارند و در رده یک زمین ساختی قرار دارند. حوضه های واقع در بخش های مرکزی (شهر بزمان)، شرقی، غرب و شمال محدوده در رده های بعدی قرار می گیرند. بیشتر فعالیت های زمین ساختی در امتداد گسل های فعال موجود در حوضه های پیرامون شهر بزمان صورت گرفته و مخروط آتشفشانی تأثیر قابل ملاحظه ای در تغییرات این شاخص نداشته است. با توجه به نتایج حاصل از مطالعه این شاخص در پیرامون شهر بزمان به نظر می رسد اگر فعالیت زمین ساختی در بازه زمانی کوتاه انجام شود، سبب ایجاد زمین لرزه محتمل در منطقه خواهد شد. نتایج حاصل از بررسی ها نشان داد که ۷/۲ درصد (۸ حوضه) از این حوضه ها دارای فعالیت زمین ساختی بالا، ۱۹/۸۱ درصد (۲۲ حوضه) دارای فعالیت زمین ساختی متوسط و ۱۸/۱۸ درصد (۲۰ حوضه) دارای فعالیت زمین ساختی پائین هستند.

با توجه به محاسبه شاخص SL در کل ناحیه مورد مطالعه، در حوضه های ۳، ۴، ۲۸، ۳۴، ۳۵، ۳۷، ۴۶، ۲، ۲۴، ۵۳ و ۵۹ مقدار شاخص SL بالا می باشد، بالا بودن شاخص SL در بخش های شمال غرب و غرب منطقه به دلیل وجود سنگ شناسی سخت و در بخش شرقی آن به دلیل وجود ساختار زمین ساختی فعال و جوان در آن نقطه می باشد، بقیه حوضه های ناحیه مورد مطالعه دارای مقادیر شاخص SL رده دوم و سوم هستند، در بخش هایی که رده شاخص پائین (رده سوم) است، علت آن را می توان به عدم وجود سنگ شناسی مقاوم و یا ساختارهای فعال و جوان در آن محدوده اشاره کرد. کمترین مقادیر شاخص ها مربوط حوضه های بخش جنوب منطقه است که عمدتاً شامل رسوبات آبرفتی عهد حاضر می باشد. کم بودن مقاومت این سنگ ها می توانند دلیلی بر پائین بودن شاخص SL در این زیر حوضه باشد. بالا بودن شاخص SL در زیر حوضه ۳، ۴ و غیره (در بالا شماره ها ذکر شده است) و در حوضه ۷ نشان دهنده فعال بودن عرض های جغرافیایی بالای ناحیه مورد مطالعه می باشد. در بخش های نزدیک به مخروط آتشفشانی بزمان مقادیر بالایی از شاخص SL مشاهده می شود که به علت وجود سنگ شناسی سخت (متشکل از سنگ های قدیمی آندزیت و آندزی بازالت های آتشفشانی)، همچنین حضور ساختارهای زمین ساختی فعال منطقه باشد (چین خوردگی ها و گسل های فعال) که در بخش های وسیعی از این حوضه ها گسترش دارند، این امر نشان دهنده غلبه فرآیندهای زمین ساختی فعال بر فرآیندهای فرسایشی است. بیشترین و کمترین SL در حوضه های این منطقه نشان دهنده افزایش و کاهش فعالیت زمین ساختی می باشد، کم بودن نوسانات در حوضه ها نشان از غلبه فرآیندهای فرسایشی بر فعالیت های زمین ساختی در آن نقاط است، ولی به طور کلی بیش از نیمی از حوضه های منطقه مورد مطالعه در رده های پائین زمین ساختی قرار دارند، که نشان دهنده فرسایش بزرگ در ناحیه مطالعاتی است.

نتایج حاصل از این محاسبات نشان داد که بالا آمدگی مخروط به لحاظ عددی تأثیر در پارامترهای ریخت سنجی فعال این منطقه داشته است و همچنین با توجه به تفاوت در مقاومت سنگ های منطقه در مقابل فرسایش مقادیر

شاخص در بخش‌های پیرامون مخروط بالا می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص SL در منطقه مطالعاتی نشان-دهنده این است که ۹/۹ درصد (۱۱ حوضه) از این حوضه‌ها دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا، ۲۴/۳۲ درصد (۲۷ حوضه) دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و ۶۵/۷۶ درصد (۷۳ حوضه) دارای فعالیت زمین‌ساختی پائین هستند (جدول ۲).

بررسی شاخص Vf نشان می‌دهد که هیچ‌گونه خطواره، آبراهه اصلی و شاخه‌های فرعی حوضه‌های بخش‌های شمال-شرقی، مرکزی و جنوبی منطقه را قطع نکرده است، از اینرو شاخص مورد نظر را نمی‌توان برای آن‌ها محاسبه نمود. با توجه به یکنواختی سنگ‌شناسی غالب در مقاطع اندازه‌گیری شاخص نسبت پهنای دره به عمق آن و همینطور شرایط آب و هوایی با تغییرات کم و فرسایش پذیری کم در لایه‌های مقاطع انتخابی می‌توان تغییرات شاخص را حاصل فعالیت زمین‌ساختی دانست. در ۴۴ پروفیل در منطقه مورد مطالعه مقادیر شاخص Vf مشخص گردیده است. در بخش‌های شرقی به دلیل فعالیت گسل بزرگ حاشیه حوضه و در قسمت‌های شمال‌غرب و غرب محدوده با توجه به تأثیر بالآمدگی کوه آتشفشانی بزمان و گرانیب بزمان همچنین وجود ساختارهای گسلی پیرامون این مخروط آتشفشانی، می‌توان این حوضه‌ها را جوان‌ترین و فعال‌ترین بخش‌ها از لحاظ فعالیت زمین‌ساختی در منطقه معرفی نمود (شکل ۹). داده‌های حاصل از محاسبه شاخص Vf با داده‌های حاصل از محاسبه شاخص Smf انطباق دارند. بررسی شاخص Vf نشان داد که ۹ درصد (۷ حوضه) از این حوضه‌ها دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا، ۲۴/۳۲ درصد (۲۷ حوضه) دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و ۱۷ درصد (۱۷ حوضه) دارای فعالیت زمین‌ساختی پائین هستند. در بخش‌های مرکزی، شمال‌شرق و شرق و در حوضه ۳۱ و حوضه‌های پیرامون آن مقادیر Vf کاهش یافته که می‌تواند ناشی از ساختارهای زمین‌ساختی فعال (گسل‌ها) آن باشد، این امر ناشی از فعال بودن منطقه است (جدول ۲).



شکل ۹: برخی از پروفیل‌های شاخص (Vf) در منطقه مطالعاتی (نکارندگان: ۱۳۹۸).

نتایج شاخص Hi نشان می‌دهد که حوضه‌های بخش‌های غربی، شمالی و شمال شرق منطقه که مقدار Hi در آن‌ها بالای ۰/۵۰ می‌باشد (حالت فعال زمین‌ساختی یا مرحله بلوغ الگوی دیویس حوضه‌ها را نشان می‌دهد، مقدار حدواسط نشان از آن دارد که فرآیندهای زمین‌ریختی در حوضه‌های بخش‌های مذکور در حالت تعادل قرار دارند)، در بخش‌های جنوبی حالت غیر فعال زمین‌ساختی یا به عبارتی مرحله پیری الگوی دیویس را نشان می‌دهند، زیرا مقادیر Hi در آن خیلی کمتر از ۰/۵۰ است و این امر گویای کاهش ظرفیت فرسایش رودخانه در این زیر حوضه‌ها می‌باشند، بخش‌های فعال منطقه (شرق، شمال شرق، شمال و غرب منطقه) در مرحله جوانی الگوی دیویس قرار دارد و نشان از فعالیت نسبی زمین‌ساختی بالا در این زیر حوضه دارد. در منطقه مطالعاتی سنگ‌شناسی فرسایش‌پذیر مشاهده می‌شود و تراکم درز و شکاف از شمال به جنوب و از شرق به سمت مرکز و جنوب محدوده کاهش می‌یابد.

اختلافات ناهمواری در قسمت‌های یاد شده باعث فرسایش‌پذیری آن بخش‌ها شده و بر اثر فرآیندهای دینامیکی با حجم زیادی از تخریب در چرخه فرسایش روبرو هستند (Prasad, 1986). در نهایت پس از بررسی و محاسبه چند شاخص ذکر شده، نتایج حاصل آنالیزها در شکل ۸ قابل مشاهده می‌باشد. بر اساس مقادیر محاسبه شده از شاخص Hi ۳۵/۱۳ درصد (حوضه) دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا، ۲۸/۸۲ درصد (حوضه) دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و ۳۶/۰۳ درصد (حوضه) از حوضه‌های دارای فعالیت زمین‌ساختی پائین هستند.

شاخص میانگین شیب محوری کانال MASC نشان‌دهنده تغییر در فعالیت زمین‌ساختی منطقه است، این مقادیر بر اساس طول دره، سنگ‌شناسی و یا تحت تأثیر فرایندهای زمین‌ساختی دچار تغییر می‌شوند (Prasad, 1986). در بخش‌های شمالی، شمال غرب و غرب منطقه سنگ‌شناسی خیلی مقاوم (آندزیت، گرانیت) و در بخش‌های شمال شرق و شرقی منطقه سنگ‌شناسی مقاوم (ماسه‌سنگ) و تا حدی فرسایش‌پذیر مشاهده می‌شود، این بخش‌ها دارای بیشترین مقادیر به دست آمده از محاسبه شاخص MASC هستند، اما در بخش‌های جنوبی که پوشیده از رسوبات کواترنری هستند باعث کمترین مقادیر شاخص میانگین شیب محوری کانال MASC می‌شود. نتایج حاصل از بررسی شاخص MASC مشخص گردید که ۱۵/۱۳ درصد (حوضه) از حوضه‌های شمال غرب و شمال شرق منطقه دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا، ۳۹/۶۳ درصد (حوضه) دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و ۲۵/۲۲ درصد (حوضه) از حوضه‌های دارای فعالیت زمین‌ساختی پائین هستند. مقادیر شاخص میانگین شیب محوری کانال MASC در منطقه به طور عمده از شمال به جنوب کاهش یافته است.

محاسبه شاخص Bs در منطقه، افزایش این شاخص از شمال به جنوب را نشان می‌دهد، در مناطق شمال، شمال غرب و شرق منطقه، از لحاظ سنگ‌شناسی دارای مقاومت بیشتری می‌باشد، بدلیل وجود شکستگی‌ها درزها و شکاف‌ها تحت تأثیر فرسایش بیشتری قرار می‌گیرند. در بخش‌های هموار جنوبی منطقه قدرت فرسایش‌پذیری کاهش می‌یابد و شکل حوضه‌ها کشیده‌تر خواهد بود. بر اساس مقادیر به دست آمده از شاخص Bs ۲۷/۰۲ درصد (حوضه) دارای فعالیت زمین‌ساختی بالا، ۵۱/۳۵ درصد (حوضه) دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط و ۲۰/۷۲ درصد (حوضه) از حوضه‌های دارای فعالیت زمین‌ساختی پائین هستند. بررسی شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی در پیرامون شهر بزمان و جنوب شرقی آتشفشان بزمان نشان‌دهنده فعال بودن منطقه در بخش‌هایی که قابلیت ارزیابی را داشتند می‌-

باشد، در واقع این فعالیت‌ها مرتبط با حرکات زمین‌ساختی فعال در منطقه هستند که خود به صورت ذاتی مسبب ایجاد مخاطرات زمین‌ساختی احتمالی (زمین‌لرزه، فعالیت آتشفشانی) در آینده خواهند گردید. در این منطقه گسل‌های حاشیه مخروط آتشفشانی و همینطور حاشیه دشت کنترل کننده فعالیت‌های زمین‌ساختی هستند.

### رده‌بندی فعالیت زمین‌ساختی نسبی

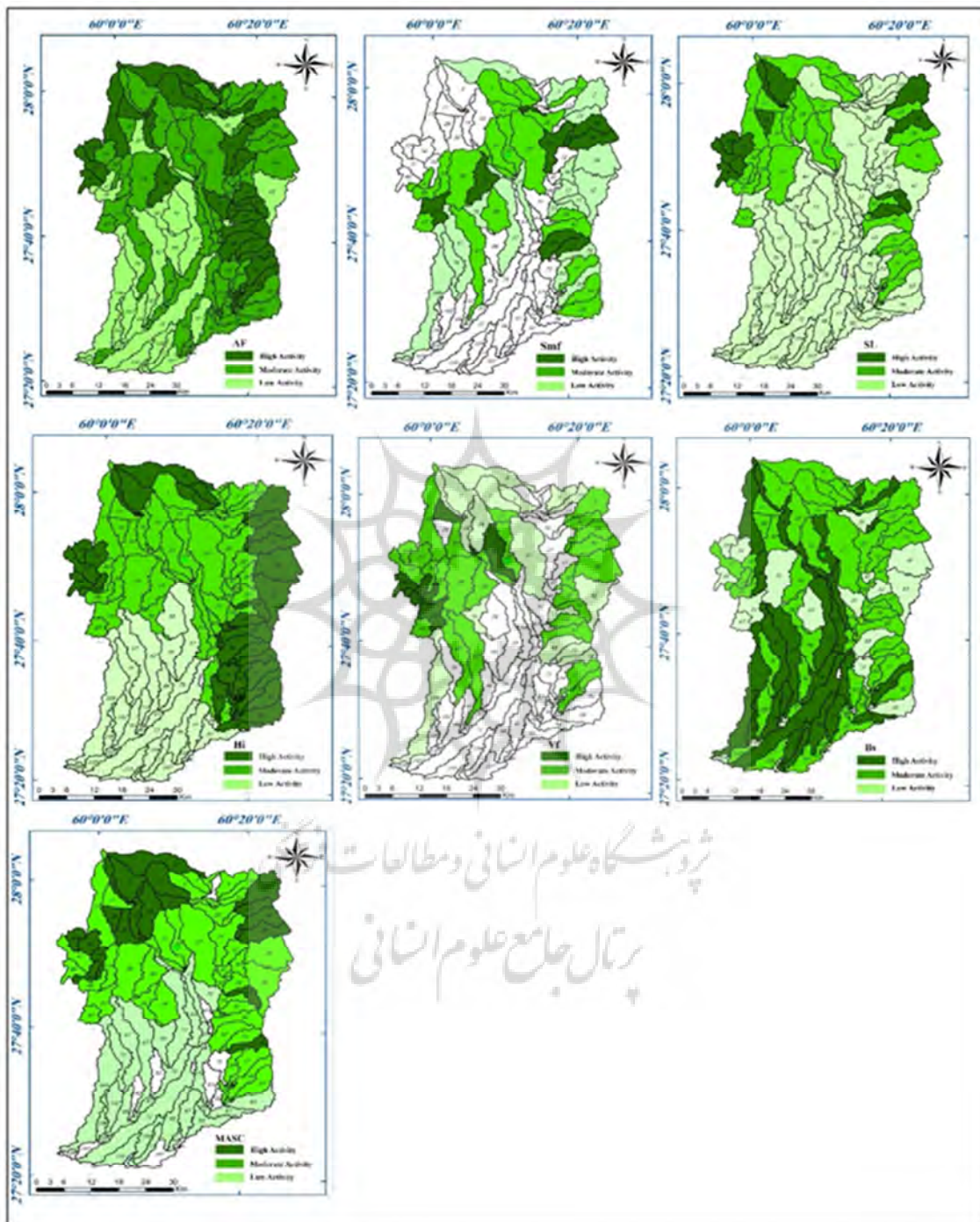
در این مقاله از رده‌بندی زمین‌ساخت فعال نسبی که اولین بار توسط (El Hamdouni et al, 2008) ارائه شده، برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) حوضه‌های منطقه مورد مطالعه استفاده شد (شکل ۹). براساس مطالعات انجام شده، رده‌بندی فعالیت زمین‌ساختی به صورت زیر خواهد بود: رده (۱) مبین فعالیت زمین‌ساختی خیلی بالا است. رده (۲) نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بالا. رده (۳) فعالیت زمین‌ساختی متوسط و در نهایت رده (۴) نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی پائین. میانگین مقادیر به دست آمده از محاسبه شاخص‌های ریخت‌شناسی از رابطه (S/n) به دست می‌آید (شکل ۱۰). طبقه‌بندی بر مبنای زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) پس از انجام محاسبات در ناحیه مورد مطالعه در جدول (۲) قابل مشاهده است. این جدول پراکنندگی شاخص‌های نواحی مرتبط با پیشانی‌های گسلی مختلف و در نتیجه نرخ‌های مختلف فعالیت نسبی زمین‌ساختی را نشان می‌دهد.

جدول ۲: رده‌بندی تکتونیک فعال نسبی در منطقه مورد مطالعه. به دلیل حجم بالای داده‌ها فقط بخشی از آن در متن مقاله آورده شده است.

Basin	Class of:							S/N	Iat Class	Assessment
	AF	Hi	Smf	SL	Vf	MASC	Bs			
۱	۱	۱	۳	۲	۳	۱	۲	۱/۸۶	۲	High
۲	۱	۲	۲	۳	۳	۱	۲	۲	۳	Moderate
۳	۲	۱	۳	۱	۲	۱	۲	۱/۷۱	۲	High
۴	۲	۱	۱	۱	۳	۲	۲	۱/۴۳	۱	Very High
۵	۲	۱		۱	۳	۱	۱	۱/۲۹	۱	Very High
۶	۲	۲	۳	۳	۳	۲	۲	۲/۴۳	۳	Moderate
۷	۱	۱	۲	۲	۳	۲	۲	۱/۸۶	۲	High
۸	۲	۱	۲	۲		۲	۲	۱/۵۷	۲	High
۹	۱	۲		۳		۲	۲	۱/۴۳	۱	Very High
۱۰	۲	۲		۳			۱	۱/۱۴	۱	Very High
۱۱	۲	۲	۲	۳	۳	۲	۱	۲/۱۴	۳	Moderate
۱۲	۱	۲		۲	۲	۲	۱	۱/۴۳	۱	Very High
۱۳	۲	۲	۱	۳		۲	۱	۱/۵۷	۲	High
۱۴	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۲	۱/۸۶	۲	High
۱۵	۱	۲		۳		۲	۲	۱/۴۳	۱	Very High
۱۶	۲	۱		۱		۱	۲	۱	۱	Very High
۱۷	۲	۲		۲	۳	۱	۲	۱/۷۱	۲	High
۱۸	۱	۲		۲	۱	۲	۲	۱/۴۳	۱	Very High

۱۹	۱	۲		۲	۳	۱	۱	۱/۴۳	۱	Very High
۲۰	۲	۲		۳	۱	۱	۱	۱/۴۳	۱	Very High
۲۱	۳	۲	۲	۳		۲	۳	۲/۱۴	۳	Moderate
۲۲	۱	۲		۳		۲	۲	۱/۴۳	۱	Very High
۲۳	۱	۱	۳	۲	۲	۱	۲	۱/۷۱	۲	High
۲۴	۲	۲		۳		۲	۱	۱/۴۳	۱	Very High
۲۵	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۲	۱/۴۳	۱	Very High
۲۶	۱	۲	۱	۳		۲	۲	۱/۵۷	۲	High



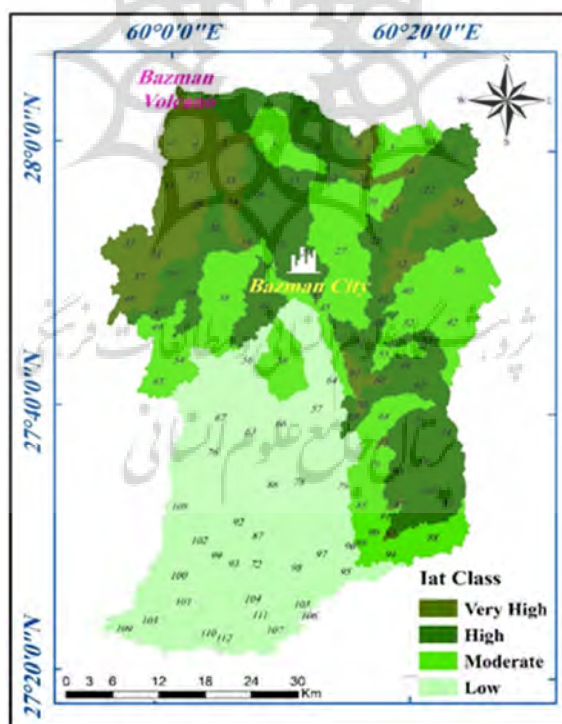


شکل ۱۰: نتایج حاصل بررسی ۷ شاخص در منطقه (نگارندگان: ۱۳۹۸).



بر اساس محاسبات شاخص های ریخت زمین ساختی، چهار پهنه زمین ساختی در ناحیه مورد مطالعه قابل مشاهده است:

- ۱- گستره دارای فعالیت زمین ساختی خیلی بالا: در بخش های شمال غربی و شمال شرقی منطقه واقع شده اند.
  - ۲- گستره دارای فعالیت زمین ساختی بالا: این گستره صرفاً در بخش های شمال - شمال شرق و شرقی منطقه واقع گردیده است. با توجه به مقادیر عددی به دست آمده از محاسبه شاخص ها، حوضه های قرار گرفته در این منطقه به جهت فعالیت نسبی زمین ساختی دارای فعالیت بالا می باشند.
  - ۳- گستره دارای فعالیت زمین ساختی متوسط: بخش گسترده ای از ناحیه مورد بررسی در این گستره قرار گرفته است. قسمت های جنوبی و میانی منطقه در این گستره قرار می گیرند.
  - ۴- گستره دارای فعالیت زمین ساختی پائین: این گستره بیشتر در حوضه هایی که در مرکز و غرب و جنوب غرب قابل مشاهده هستند، از نظر سنگ شناسی بیشتر از آبرفت شامل سیلت و رس تشکیل شده است.
- مطالعه میدانی بر ویژگی های ساختارهای زمین شناسی که در مسیر رودخانه ها قرار گرفته اند (شکل ۱۱).



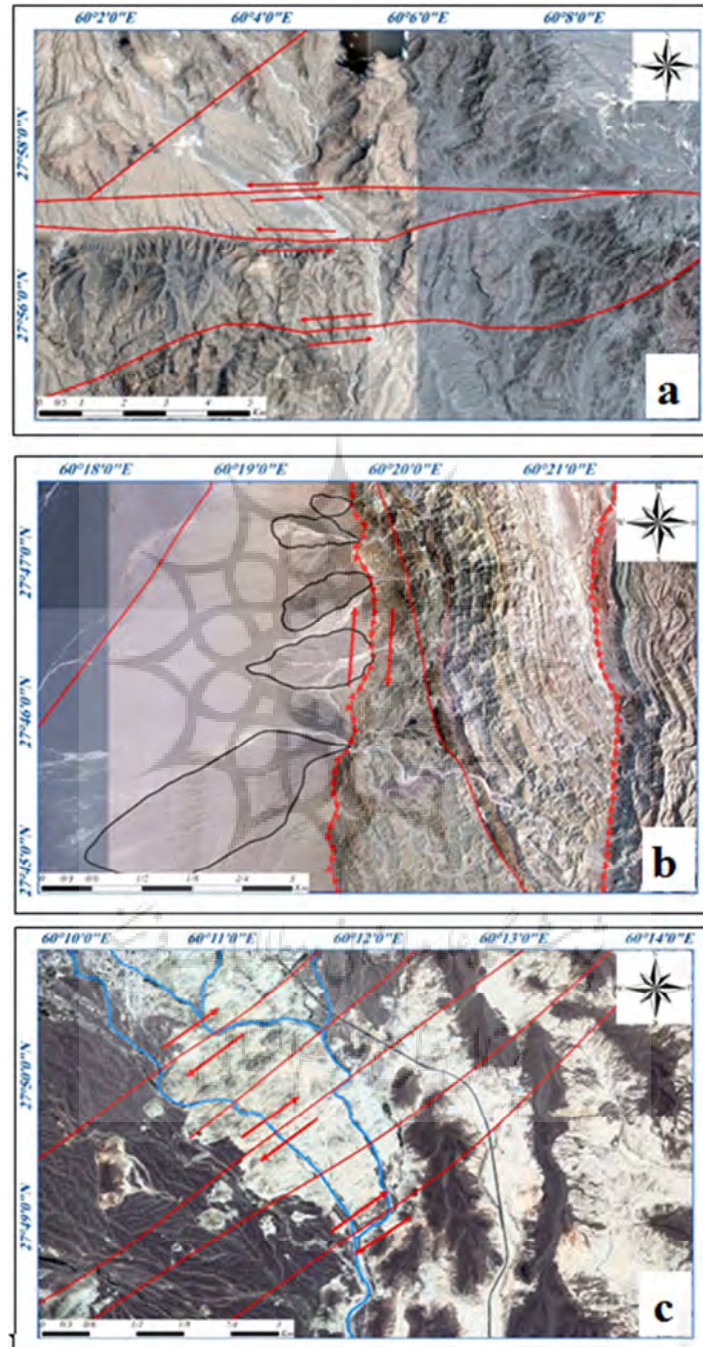
شکل ۱۱: رده بندی تکتونیک فعال نسبی منطقه مورد مطالعه به تفکیک رنگ (نگارندگان: ۱۳۹۸).

اگر میزان بالا آمدگی پیشانی کوه ها بیشتر از میزان حفرشدگی به سمت پایین رود در کوهستان باشد، رأس مخروط و بخش های جوانتر در نزدیکی پیشانی کوه دیده می شوند. در این موارد پیشانی کوهستان به صورت خطی در آمده و

عرض کف دره‌ها کمتر می‌گردد، در نتیجه مقادیر اندیس‌های Smf و V مقادیر پائینی را از خود نشان می‌دهد این حالت تداعی کننده نرخ بالای فعالیت پیشانی کوهستان است به این ترتیب بلوک کوهستانی در طول زمان فرازگیری بیشتری داشته و جبهه کوهستانی کمتر دچار فرسایش می‌شود. در شکل (۱۲) قسمت (b) مخروط افکنه‌های تشکیل شده در نزدیکی پیشانی کوهستان قرار گرفته‌اند و این امر نشان‌دهنده فعالیت بالای زمین‌ساختی در منطقه است. در شکل‌های (۱۲، ۱۳ و ۱۴) برخی از شواهد زمین ساخت فعال نمایش داده شده است.



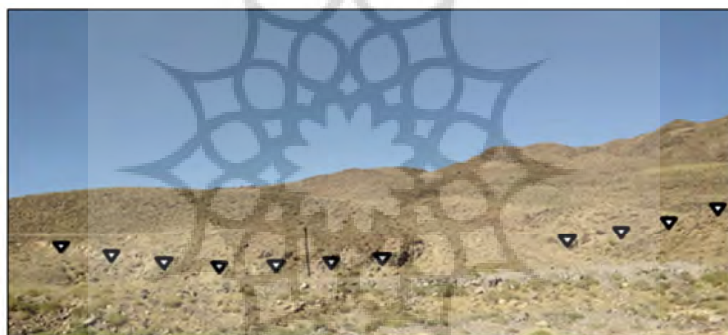
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۱۲: (a) تصویر ماهواره‌ای Bing. تغییر در مسیر آبراهه در اثر حرکت گسل بوضوح قابل مشاهده است، (b) همچنین مخروط افکنه‌ها در مجاورت پیشانی کوهستان قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده بالا آمدگی فعال است، (c) تصویر نحوه جابه‌جایی در مسیر آبراهه که در آن موقعیت گسل مشخص شده است (نگارندگان: ۱۳۹۸).



شکل ۱۳: تراس‌های رودخانه‌ای ایجاد شده که نشان دهنده فعالیت زمین ساختی همراه با بالا آمدگی در منطقه است. (دید به سمت شمال شرق) (نگارندگان: ۱۳۹۸).



شکل ۱۴: موقعیت گسل‌های فرعی در منطقه مطالعاتی، فعالیت گسل مذکور باعث بالا آمدگی در منطقه شده است. (دید به سمت غرب) (نگارندگان: ۱۳۹۸).



شکل ۱۵: موقعیت گسل‌های فرعی در منطقه مطالعاتی، حرکات راستالغز پیچیده در منطقه مطالعاتی با مکانیزم راستگرد در تصویر قابل مشاهده است که خود نشان دهنده فعالیت زمین ساختی بالا در منطقه است. (دید به سمت شرق) (نگارندگان: ۱۳۹۸).

## نتیجه گیری

با توجه به بررسی شاخص های کمی ریخت سنجی در منطقه مورد بررسی و مطالعات صحرایی که در منطقه انجام شده است، نتایج مقادیر به دست آمده از محاسبه شاخص ها بر اساس رده بندی زمین ساختی فعال نسبی که اولین بار توسط (El Hamdouni et al, 2008)، ارائه شده است با هم ادغام و نتیجه به دست آمده ارائه گردیده است. بر اساس مدل ارائه شده، چهار پهنه زمین ساختی در ناحیه مورد مطالعه قابل تشخیص است: (گستره با فعالیت زمین ساختی نسبی خیلی بالا) این پهنه در بخش های شمال غربی و شمال شرقی منطقه واقع شده اند. (گستره با فعالیت زمین-ساختی نسبی بالا) این پهنه فقط در حوضه ها در بخش های شمال-شمال شرق و شرقی منطقه مشاهده می شوند. (گستره با فعالیت زمین ساختی نسبی متوسط) ناحیه وسیعی از منطقه مورد مطالعه در این پهنه قرار گرفته است. (گستره با فعالیت زمین ساختی نسبی پایین) این پهنه در حوضه های واقع شده در مرکز و غرب و جنوب غرب مشاهده گردید. حوضه های واقع شده در بخش های شمالی و شرقی دارای نرخ فعالیت نسبی زمین ساختی بالا هستند، که این مسئله عمدتاً متأثر از سنگ شناسی (خصوصاً پیرامون آتشفشان)، حرکت جوان گسل ها و ساختارهای زمین ساختی فعال موجود در این حوضه ها می باشد. حوضه های دارای نرخ فعالیت نسبی زمین ساختی متوسط در بخش های میانی و جنوبی منطقه واقع شده و حوضه های بخش های مرکزی و غرب و جنوب غرب دارای نرخ فعالیت نسبی زمین ساختی پایین می باشند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شاخص ها گویای فعالیت زمین ساختی در محدوده آتشفشان بزمان و پیرامون آن می باشد، همینطور این نتایج نشان دهنده کاهش پاسخ زمین ریخت ها به حرکات زمین ساختی فعال در منطقه است. بر این اساس می توان بیان نمود که روند تغییر شکل از شمال و شرق منطقه به سمت جنوب- جنوب غرب است و در مناطق جنوبی پاسخ زمین ریخت ها به زمین ساخت فعال قابل مشاهده نمی باشد. بیشترین تغییرات در مقادیر شاخص ها در امتداد ساختارهای سطحی می باشد و این تغییرات به دلیل تغییر فعالیت در بخش های مختلف این ساختارها است. در منطقه پیرامون مخروط آتشفشان بزمان، کنترل کننده فعالیت های زمین ساختی، ساختارهای زمین ساختی نظیر گسل ها و چین خوردگی ها هستند و در اثر فعالیت این ساختارها پارامترهای ریخت سنجی در منطقه دچار تغییر می شوند. با توجه به مطالعات انجام شده در این پژوهش، مشخص گردید که بخش هایی از منطقه مطالعاتی به لحاظ زمین ساختی (بالا آمدگی، کج شدگی ها که در اثر گسلش و چین خوردگی ها در منطقه ایجاد شده- اند) دارای فعالیت است. به دلیل واقع شدن شهر بزمان و مراکز جمعیتی در محیط اطراف آتشفشان خصوصاً بخش جنوب شرقی آن، احتمال وقوع خطر احتمالی در آینده اجتناب ناپذیر است. به همین منظور باید تمامی طرح های توسعه ای (ساخت ابنیه، راه و...) در منطقه با توجه به فعالیت های زمین ساختی اجرا شود تا از خسارات جانی و مالی جلوگیری نماید.

## منابع

آقاباتی، سید علی (۱۳۸۳). زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ اول، تهران.

- احمدی روحانی، ریحانه، کریم پور، محمدحسن، رحیمی، بهنام، ملک زاده شفارودی، آزاده، افشار نجفی، صادق (۱۳۹۶). کاربرد دورسنجی در آشکارسازی، شناخت و تحلیل ویژگی های زمین ساختی خطواره های مرتبط با دگرسانی در منطقه بجستان، خاور ایران. فصلنامه علوم زمین. سال بیست و ششم، شماره ۱۰۳، صفحات ۱ تا ۱۶۹.
- پرتابیان، عبدالرضا، فتاحی مقدم، مهدیه، مریدی فریمانی، علی اصغر، بیابانگرد، حبیب (۱۳۹۹). نقش تکتونیک در تکامل آتشفشان تفتان، جنوب شرق ایران. مخاطرات محیط طبیعی. دوره ۹، شماره ۲۳، شماره پیاپی ۱، صفحه ۱۷۳-۱۸۶.
- پور کرمانی، محسن و سلگی، علی (۱۳۸۸). مورفوتکتونیک. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات. چاپ اول، تهران.
- جامی، محسن، سلگی، علی، پورکرمانی، محسن و مریدی فریمانی، علی اصغر (۱۳۹۵). بررسی کمی فعالیت زمین ساختی در کوه آتشفشانی تفتان و پیرامون آن (جنوب شرق ایران)، فصلنامه مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره ۱۰، صفحات ۱۱۷-۱۴۴.
- شیعیان، کیوان، قلمقاش، جلیل، وثوقی عابدینی، منصور و مسعودی، فریبرز (۱۳۹۴). زمین شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز آتشفشان بزمان: جنوب خاوری ایران، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۵، صفحات ۹۹ تا ۱۱۰.
- عامری صفی آبادی، سهیلا (۱۳۹۴). مطالعه زمین ساخت فعال در گوه افزایشی مکران - جنوب شرق ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- قدسی، محمدرضا، بومری، محمد (۱۳۹۴). استفاده از شیمی کانی آمفیبول جهت دما فشار سنجی گرانیتوئید بزمان، جنوب شرق ایران، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، دوره ۲۳، شماره ۳.
- قدسی، محمدرضا، بومری، محمد، ساسان باقری، دایزو ایشی یاما (۱۳۹۴). سنگ نگاری و ژئوشیمی گرانیتوئید مکسان، جنوب آتشفشان بزمان، مجله یافته های نوین زمین شناسی کاربردی، دوره ۹، شماره ۱۸.
- قدسی، محمدرضا (۱۳۹۵). ژئوشیمی و متالورژی گرانیتوئید بزمان و سنگ های دگرگونی مرتبط با آن، جنوب شرق ایران، رساله دکتری، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- گورابی، ابوالقاسم و نوحه گر، احمد (۱۳۸۶). شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال حوضه آبریز درکه، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۶۰، صفحات ۱۹۶-۱۹۷.
- مریدی فریمانی، علی اصغر و دهقان، سعید (۱۳۹۳). نقش گسل تراستی سراوان در تشکیل و توسعه حوضه آبریز سراوان، فصلنامه جغرافیا و توسعه، سال دوازدهم، شماره ۳۵، صفحات ۱۹-۳۲.
- شیعیان، کیوان، قلمقاش، وثوقی عابدینی، منصور و مسعودی، فریبرز (۱۳۹۳). زمین شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز آتشفشان بزمان: جنوب خاوری ایران، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۵، صفحات ۹۹ تا ۱۱۰.
- نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ایران شهر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ جازموریان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Azor, A., Keller, E. A., Yeats, R. S., (2002). Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain-Oak Ridge Ventura basin, southern California. Geological Society of America Bulletin. Vol, 114., PP: 745-753.
- Bagha, N., Arian, M., Ghorashi, M., Pourkermani, M., El Hamdouni, R., Solgi, A., (2014). Evaluation of relative tectonic activity in the Tehran basin, central Alborz, northern Iran. Geomorphology. Vol, 213., PP: 66-87.
- 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, Binghamton. Vol, 22., PP: 115-138.
- Bull, W. B., (1978). Geomorphic Tectonic Classes of the South Front of the San Gabriel Mountains. California. U.S. Geological Survey. Evaluation of relative tectonic activity in the Tehran basin, central Alborz, northern Iran. Geomorphology. Vol, 213., PP: 66-87.
- Chen, Y. C., Sung, Q., Cheng, K.Y., (2003). Along-Strike variations of morphotectonic Feature in the Western Foothill of Taiwan: tectonic implications based on Stream-Gardient and Hypso metric analysis. Geomorphology. Vol, 56., PP: 109 - 137.
- Charusiri, P., and Meyers, J., (2005). New Processing of airborne magnetic and electromagnetic data and for subsurface structures in the Loei area, Northern Thailand. Science Asia, Vol. 31.
- Dehbozorgi, M., Porkermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, H., Hosseiniasl, A., (2010). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. Geomorphology. Vol, 121., PP: 329-341.
- Drury, S. A., Kelley, S. P., Berhe, S. M., Collier, R. E. and Abraham, M., (1994). Structures related to Red Sea evolution in northern Eritrea: Tectonics. Vol, 13., PP: 1371-1380.

- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., Keller, E. A., (2008). Assessment of Relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*. Vol, 96., PP: 150–173.
- Faghih, A., Nourbakhsh, A., Kusky, T., (2015). GIS-based analysis of relative tectonic activity along the Kazerun Fault Zone, Zagros Mountains, Iran: insights from data mining of geomorphic data. *Journal of Earth Science*:1-36.
- Galadini, F., and Galli, P., (2000). Active tectonics in the central Apennines (Italy) input data for seismic hazard assessment. *Natural Hazards*. Vol, 22., PP: 225–268.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C., (2008). The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*. Vol., 95., PP: 260-273.
- Hack, J.T., (1957). Studies of longitudinal stream-profiles in Virginia and Maryland: U.S. Geological Survey Professional Paper 294B. PP: 45–97.
- Hack, J. T., (1973). Stream-profile analysis and stream-gradient index: U.S. Geological Survey Journal of Research. Vol, 1., PP: 421–429.
- Hack, J.T., (1982). Physiographic division and differential uplift in the piedmont and Blue Ridge. U.S. Geological Survey Professional Paper. Vol, 1265., PP: 1-49.
- Hashim, M., Ahmad, S., Md Johari, M. A. and Beiravand Pour, A., (2013). Automatic lineament extraction in a heavily vegetated region using Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) imagery: *Advances in Space Research*. Vol, 51., PP: 874–890.
- Hare, P. H., Gardner, T. W. M., (1985). Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica, In *Tectonic Geomorphology*. Morisawa, M, Hach, J. *Tectonic geomorphology: Proceedings of the 15th Geomorphology Symposia Series*, Binghamton, New York, PP: 76-104.
- Kar, A., (1994). Lineament control on channel behavior during the 1990 flood in the south- eastern Thar Desert: *International Journal of Remote Sensing*. Vol, 15., PP: 2521–2530.
- Keller, E. A., (1986). Investigation of active tectonics: use of surficial earth processes. In *Panel on Active Tectonics*. National Academy press: Washington, D. C. PP: 136-147.
- Keller, E. A., Pinter, N., (2002). "Active tectonic, Earthquakes, Uplift and Landscape." Prentice Hall, New Jersey. PP: 362.
- Kresic, N., (1995). Remote sensing of tectonic fabric controlling groundwater flow in Dinaric Karst: *Remote Sensing of Environment* 53: 85-90. La Pointe, P. R., 1988- A method to characterize fracture density and connectivity through fractal geometry: *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts* Vol, 25., PP: 421-429.
- Marghany, M. and Hashim, M., (2010) Lineament mapping using multispectral remote sensing satellite data: *International Journal of the Physical Sciences* Vol, 10., PP:1501-1507.
- Masoud, A. and Koike, K., (2006). Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydrogeologic setting in Siwa region, NW Egypt: *Journal Afric. Earth Sci* 45: 467–477.
- Mahmood, S.A., and Gloaguen, R., (2012). Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis. *Geoscience Frontiers*. Vol, 3., PP: 407–428.
- Neawsuparp, K., Charusiri, P. & Meyers, J., (2005). New processing of airborne magnetic and electromagnetic data and interpretation for subsurface structures in the Loei area, Northeastern Thailand, *Science Asia*. Vol, 31., PP: 283-298.
- Partabian, A., Nourbakhsh, A., Ameri, S., (2016). GIS-based evaluation of geomorphic response to tectonic activity in Makran Mountain Range, SE of Iran. *Geosciences Journal*. Vol, 20., PP: 921-934.
- Philip, G., (1996). Landsat Thematic Mapper data analysis for Quaternary tectonics in parts of the Doon Valley, NW Himalaya, India: *International Journal of Remote Sensing* Vol, 17., PP: 143-153.
- 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.
- Prasad, G., (1986). Modelling, simulation and environmental controls in the morphometric determination of drainage texture (Dt) between the Kaimur highland and Trans-Yamuna Plain. Vol, 7., PP: 14-32.
- Ramirez-Herrera, M. T., (1993). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol, 23., PP: 317-332.
- Rockwell, T. K., Keller, E. A., Johnson, D. L., (1985). Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: Morisawa, M. (Ed), *Tectonic Geomorphology*. Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium. Allen and Unwin Publishers, Boston. PP: 183–207.
- Rolet, J., Ye'sou, H. and Besnus, Y., (1995). Satellite image analysis of circular anomalies and fracturing networks in the Armorican Massif, France: *Mapping Science and Remote Sensing* Vol, 32., PP: 21-43.
- Rowen, L. C. and Bowers, T. L., (1995). Analysis of linear features mapped in Landsat Thematic Mapper and Side-Looking Airborne Radar images of the Reno 10 by 20 Quadrangle, Nevada and California, Implications for mineral resource studies: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol, 61., PP:749-759.
- Schumm, S. A., (1997). Drainage density: problems of prediction. In *Process and Form in Geomorphology*, London: 432.
- Selby, M. J., (1980). A rock-mass strength classification for geomorphic purposes, with tests from Antarctica and New Zealand. *Zeit. Vol, 24., PP:31-51.*

- 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*. Vol, 250., PP: 203-226.
- Solomon, S. and Ghebreab, G., (2006) Lineament characterization and their tectonic significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea: *Journal of African Earth Sciences*. Vol, 46., PP:371-378.
- Strahler, A. N., (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*. Vol, 63., PP: 1117-1142.
- Shupe, S. M. and Akhavi, M. S., (1989). Integration of remotely sensed and GIS data for mineral exploration: Halifax Pluton area, Nova Scotia, Canada: *Geocarto International*, 4-3, PP: 49-54.
- Tibaldi, A. and Ferrari, L., (1991). Multisource remotely sensed data, field checks and seismicity for the definition of active tectonics in Ecuadorian Andes: *International Journal of Remote Sensing* Vol, 12., PP: 2343-2358.
- Zovoili, E., konstantinidi, W., koukouvelas, I. K., (2004). Tectonic geomorphology of escarment The Cases of kompotades and Nea Anchialos Faults. *Bulletin of the Geological Society of Greece*. Vol, 63., PP: 1716 – 1725.
- 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*. Vol, 1., PP: 239-265.





**Research Article**

## **Analysis of Relative study of active tectonics using tectonic morphotectonic indices in the southeastern basins of Bazman volcanic zone**

**Shahram Habibi Mood<sup>1</sup>, Mohsen Jami<sup>2\*</sup>, Masoud Saeedi<sup>3</sup>, Gholanhassan Kakha<sup>4</sup>, Hassanali Jami<sup>5</sup>**

1. Assistant professor, Department of Geology, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.

2\*. Assistant professor, Faculty of Industry & Mining (Khash), University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

3. Master of Geomorphology, Sistan and Baluchestan University, Faculty of Geography and Environmental Planning, Iran.

4. Assistant professor, Faculty of Industry & Mining (Khash), University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

5. Assistant professor, Department of Mathematics, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran.

Received: 23-03-2020

Final Revised: 29-10-2020

Accepted: 28-11-2020

### **Abstract**

Bazman volcano, in the South East of Iran, northwest of the city of Iranshahr and is located in the north of the city Bazman. The aim of this study was active tectonic basinemanating from the Bazman volcano (with a focus over the city Bazman) and its environment as well as the level of tectonic activity in the region is the relative. In this regard has been paid to the study of morphometric indices The morphometric indices which include over Drainage Basin Asymmetry (Af), Sinuosity Front Mountain (Smf), Longitudinal slope gradient of River (SL), Floor width to valley Height (Vf), Hypsometric Integral (Hi), Mean axial tilt channel (MASC), the shape of the basin (Bs) for the study of tectonic activity in the area has been used. These indicators have been studied to evaluate the relative tectonic activity (IAT) of the basins and sub-basins of the region. The results of geomorphic analyzes are expressed as a relative index of tectonic activities (IAT). This index shows the tectonic activities of a region in four categories of low, medium, high and very high activity. on the Base of studies, the classification of tectonic activity is as follows: Area with very high relative tectonic activity in the northwestern and northeastern parts of the study area, These basins are located in the north-northeastern and eastern parts of the region, which is mainly affected by lithology (especially around the volcano), the young vertical movement of faults and active tectonic structures in these basins. The zone with moderate relative tectonic activity is located in the middle and southern parts of the region and the zone with low relative tectonic activity is located in the basins of the central, western and southwestern parts of this zone. The results of the analysis of indicators indicate tectonic activity in the area of Bazman volcano and its surroundings. Due to the located of Bazman city and population centers in the vicinity of the volcano, especially its southeastern part, the possibility of geological hazards in the future is inevitable.

**Keywords:** Active tectonics, Bazman volcano, morphometric indices, Jazmourian.

\* Corresponding Author Email: M.jami@eng.usb.ac.ir

## References

### References (in Persian)

- Aqanabati, S.A. (2004). Iran geology, country geological survey publications, 640p. <https://www.gisoom.com>. [In Persian].
- Jami, M., Solgi, A., Moridi, A. A. (2017). Quantitative Analysis of tectonic activity in Taftan volcano and around (South East of Iran), 5 (10), pp. 117-144. doi: [10.22111/JNEH.2017.2954](https://doi.org/10.22111/JNEH.2017.2954). [In Persian]
- Shiaian, K., Ghalamghash, J., Vosoughi Abediny, M., Masoudi, F. (2015). Geology, Geochemistry and Petrogenesis of Bazman Volcano, SE of Iran. Journal of Geosciences, 24 (95), pp. 99-110. doi: [10.22071/GSJ.2015.42387](https://doi.org/10.22071/GSJ.2015.42387). [In Persian].
- Partabian, A.R., Fattahi Moghadam, M., Moridi Farimani, A.A., Biabangard, H. (2020). Role of tectonics in the evolution of Taftan Volcano, SE Iran. Journal of Natural Environment Hazards, 9 (23), pp. 173-186. doi: [10.22111/JNEH.2019.30360.1531](https://doi.org/10.22111/JNEH.2019.30360.1531). [In Persian].
- Pourkermani, M., Solgi, A. (2009). Morphotectonics. Science and Research Islamic Azad University, Tehran, 186 p. [In Persian]

### References (in English)

- Azor, A., Keller, E. A., Yeats, R. S. (2002). Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain-Oak Ridge Ventura basin, southern California. Geological Society of America Bulletin, 114(6), pp 745–753. doi: [org/10.1130/0016-7606\(2002\)114<0745:GIOAFG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(2002)114<0745:GIOAFG>2.0.CO;2).
- Bagha, N., Arian, M., Ghorashi, M., Pourkermani, M., El Hamdouni, R., Solgi, A. (2014). Evaluation of relative tectonic activity in the Tehran basin, central Alborz, northern Iran. Geomorphology, 213, pp 66–87. doi: [org/10.1016/j.geomorph.2013.12.041](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.12.041).
- 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, Binghamton, 22, pp 115–138.
- Bull, W. B. (1978). Geomorphic Tectonic Classes of the South Front of the San Gabriel Mountains. California. U.S. Geological Survey. Evaluation of relative tectonic activity in the Tehran basin, central Alborz, northern Iran, Geomorphology, 213, pp 66–87.
- Chen, Y. C., Sung, Q., Cheng, K.Y. (2003). Along-Strike variations of morphotectonic Feature in the Western Foothill of Taiwan: tectonic implications based on Stream-Gradient and Hypsometric analysis. Geomorphology, 56, pp 109–137. doi: [10.1016/S0169-555X\(03\)00059-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(03)00059-X).
- Neawsuparp, Kachentra., Charusiri, P., Meyers, J. (2005). New Processing of airborne magnetic and electromagnetic data and for subsurface structures in the Loei area, Northern Thailand. Science Asia, 31(283), pp 1513-1874. doi: 10.2306/scienceasia.
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, H., Hosseiniasl, A. (2010). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. Geomorphology, 121(3-4), 329-341. doi: [org/10.1016/j.geomorph.2010.05.002](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.05.002).
- Drury, S. A., Kelley, S. P., Berhe, S. M., Collier, R. E., Abraham, M. (1994). Structures related to Red Sea evolution in northern Eritrea: Tectonics, 13(6), pp 1371–1380. doi: [org/10.1029/94TC01990](https://doi.org/10.1029/94TC01990).
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., Keller, E. A. (2008). Assessment of Relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). Geomorphology, 96(1-2), pp 150–173. doi: [org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.004).
- Faghih, A., Nourbakhsh, A., Kusky, T. (2015). GIS-based analysis of relative tectonic activity along the Kazerun Fault Zone, Zagros Mountains, Iran: insights from data mining of geomorphic data. Journal of Earth Science, 26(5), pp 712–723.
- Galadini, F., Galli, P. (2000). Active tectonics in the central Apennines (Italy) - Input data for Seismic Hazard Assessment. Natural Hazards, 22(3), pp 225–268.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C. (2008). The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily). Geomorphology, 95(3-4), pp 260-273. doi: [org/10.1016/j.geomorph.2007.06.013](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.013).
- Hack, J.T. (1957). Studies of longitudinal stream-profiles in Virginia and Maryland: U.S. Geological Survey Professional Paper 294, pp 45–97.
- Hack, J. T. (1973). Stream-profile analysis and stream-gradient index. Journal of Research of the us Geological Survey, 1(4), pp 421–429.
- Hack, J.T. (1982). Physiographic division and differential uplift in the piedmont and Blue Ridge. U.S. Geological Survey Professional Paper, 1265, pp 1–49.
- Hashim, M., Ahmad, S., Md Johari, M. A., Beiravand Pour, A. (2013). Automatic lineament extraction in a heavily vegetated region using Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) imagery: Advances in Space Research, 51(5), pp 874–890. doi: [org/10.1016/j.asr.2012.10.004](https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.10.004).
- Hare, P. H., Gardner, T. W. M. (1985). Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. Tectonic Geomorphology, 4, 75–104.
- Kar, A. (1994). Lineament control on channel behavior during the 1990 flood in the south- eastern Thar Desert. International Journal of Remote Sensing, 15(13), pp 2521-2530. doi: [org/10.1080/01431169408954263](https://doi.org/10.1080/01431169408954263).
- Keller, E. A. (1986). Investigation of active tectonics: use of surficial earth processes. Active Tectonics, 1, pp 136-147.

- Keller, E. A., Pinter, N. (2002). Active tectonic, Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice Hall, New Jersey. pp 362.
- Kresic, N. (1995). Remote sensing of tectonic fabric controlling groundwater flow in Dinaric Karst. *Remote Sensing of Environment*, 53(2), pp 85-90. doi: [org/10.1016/0034-4257\(95\)00042-Y](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00042-Y).
- Marghany, M., Hashim, M. (2010) Lineament mapping using multispectral remote sensing satellite data. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(10), pp 1501–1507. doi: [org/10.5897/IJPS.9000350](https://doi.org/10.5897/IJPS.9000350).
- Masoud, A., Koike, K. (2006). Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydrogeologic setting in Siwa region, NW Egypt: *Journal African Earth Sciences*, 45(4-5), pp 467–477. doi: [org/10.1016/j.jafrearsci.2006.04.005](https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2006.04.005).
- Mahmood, S.A., Gloaguen, R. (2012). Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis. *Geoscience Frontiers*. 3(4), pp 407–428. doi: [org/10.1016/j.gsf.2011.12.002](https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.12.002).
- Neawsuparp, K., Charusiri, P. & Meyers, J. (2005). New processing of airborne magnetic and electromagnetic data and interpretation for subsurface structures in the Loei area, Northeastern Thailand, *Science Asia*. 31, pp 283-298. doi: 10.2306/scienceasia1513-1874.2005.31.283.
- Partabian, A., Nourbakhsh, A., Ameri, S. (2016). GIS-based evaluation of geomorphic response to tectonic activity in Makran Mountain Range, SE of Iran. *Geosciences Journal*. 20(6), pp 921–934.
- Philip, G., (1996). Landsat Thematic Mapper data analysis for Quaternary tectonics in parts of the Doon Valley, NW Himalaya, India. *International Journal of Remote Sensing*, 17(1), pp143–153. doi: [org/10.1080/01431169608948991](https://doi.org/10.1080/01431169608948991).
- Pike, R. J., Wilson, S. E. (1971), Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82(4), pp 1079-1084. doi: [org/10.1130/0016-7606\(1971\)82\[1079:ERHIAG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1971)82[1079:ERHIAG]2.0.CO;2)
- Prasad, G., (1986). Modelling, simulation and environmental controls in the morphometric determination of drainage texture (Dt) between the Kaimur highland and Trans-Yamuna Plain. Vol. 7., pp: 14-32.
- Ramirez-Herrera, M. T. (1993). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surface Processes and Landforms: The journal of the British Geomorphological Group*, 23(4), pp 317–332. doi: [org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199804\)23:4<317::AID-ESP845>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199804)23:4<317::AID-ESP845>3.0.CO;2-V).
- Rockwell, T. K., Keller, E. A., Johnson, D. L. (1985). Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California. In: Morisawa, M. (Ed), *Tectonic Geomorphology*. Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium. Allen and Unwin Publishers, Boston, pp 183–207.
- Rolet, J., Yesou, H., Besnus, Y. (1995). Satellite image analysis of circular anomalies and fracturing networks in the Armorican Massif, France. *Mapping Science and Remote Sensing*, 32(1), pp 21–43. doi: [org/10.1080/07493878.1995.10641984](https://doi.org/10.1080/07493878.1995.10641984).
- Rowen, L. C. and Bowers, T. L. (1995). Analysis of linear features mapped in Landsat Thematic Mapper and Side-Looking Airborne Radar images of the Reno 1o by 2o Quadrangle, Nevada and California, Implications for mineral resource studies. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61(6), pp 749–759.
- Schumm, S. A. (1997). Drainage density: problems of prediction. In *Process and Form in Geomorphology*, London, pp 432.
- Selby, M. J., (1980). A rock-mass strength classification for geomorphic purposes, with tests from Antarctica and New Zealand. *Zeitschrift für Geomorphologie Stuttgart*, 24(1), pp 31–51.
- 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*, 50(1-3), pp 203–226. doi: [org/10.1016/S0169-555X\(02\)00215-5](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00215-5).
- Solomon, S., Ghebream, G. (2006). Lineament characterization and their tectonic significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea. *Journal of African Earth Sciences*, 46(4), pp 371–378. doi: [org/10.1016/j.jafrearsci.2006.06.007](https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2006.06.007).
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), pp 1117–1142. doi: [org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- Shupe, S. M., Akhavi, M. S. (1989). Integration of remotely sensed and GIS data for mineral exploration: Halifax Pluton area, Nova Scotia, Canada. *Geocarto International*, 4(3), pp 49–54. doi: [org/10.1080/10106048909354220](https://doi.org/10.1080/10106048909354220)
- Tibaldi, A. and Ferrari, L., (1991). Multisource remotely sensed data, field checks and seismicity for the definition of active tectonics in Ecuadorian Andes. *Remote Sensing*, 12(11), pp 2343-2358. doi: [org/10.1080/01431169108955262](https://doi.org/10.1080/01431169108955262).
- Zovoili, E., konstantinidi, W., koukouvelas, I. K. (2004). Tectonic geomorphology of escarpment The Cases of kompotades and Nea Anchialos Faults. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 36(4), pp 1716–1725. doi: [org/10.12681/bgsg.16579](https://doi.org/10.12681/bgsg.16579).
- 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(3), pp 239–265. doi: [org/10.1016/0169-555X\(88\)90016-5](https://doi.org/10.1016/0169-555X(88)90016-5).