مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره دهم، زمستان ۱۳۹۵
تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۸/۰۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۰/۱۱
صفحات: ۱۴۴-۱۱۷

بررسی کمی فعالیت زمین ساختی در کوه آتشفشانی تفتان و پیرامون آن (جنوب شرق ایران)

محسن جامی[۱]، علی سلگی*[۲]، محسن پورکرمانی[۳]، علی اصغر مریدی فریمانی[۴]

چکیده

آتشفشان تفتان به سن پلیوسن- کواترنر دارای سیستم ولکانیکی جوان و نیمه فعال است که در ۵۰ کیلومتری شمال شهرستان خاش قرار دارد. با توجه به وجود مراکز جمعیتی در پیرامون این آتشفشان و همینطور وقوع زمین لرزه¬های با بزرگی زیاد در این منطقه، بررسی فعالیت زمین¬ساختی در این منطقه دارای اهمیت می¬باشد. هدف از پژوهش حاضر بررسی زمین¬ساخت فعال حوضه-های آبریز نشأت گرفته از تفتان و محیط پیرامون آن و همچنین سطح¬بندی فعالیت¬های زمین¬ساختی نسبی در منطقه می¬باشد. در این زمینه از شاخص‌های مورفومتری برای مطالعه فعالیت‌های زمین‌ساختی استفاده شده است. این شاخص¬ها عبارتند از: نسبت عدم تقارن حوضهٔ زهکشی (Af)، سینوسیتی جبههٔ کوهستان (Smf)، طول- گرادیان رود (Sl)، پهنای کف دره به ارتفاع آن(Vf) ، انتگرال هیپسومتری (Hi). این شاخص¬ها جهت ارزیابی زمین¬ساخت فعال نسبی (Iat) در منطقه، مورد مطالعه قرار گرفتهاند. بر اساس مدل ارائه شده، سه پهنه زمین¬ساختی در ناحیه مورد مطالعه قابل تشخیص است: پهنه با فعالیت زمین ساختی نسبی بالا، فقط در دو زیرحوضهٔ B-۴ و C-۹ مشاهده می¬شود. پهنه با فعالیت زمین ساختی نسبی متوسط ناحیه وسیعی از منطقه مورد مطالعه در این پهنه قرار گرفته که از ساختارهای مهم آن در شمال باختر می¬توان به گسل درگیابان و گسل سعد آباد اشاره کرد. پهنه با فعالیت زمین ساختی نسبی پایین، این پهنه فقط در دو زیر حوضه C-۵، 1-D، 9A و ۸ مشاهده گردید. با مقایسه و بررسی شاخص¬ها در محدودهٔ مخروط آتشفشان تفتان (فورانهای ماگمایی در ادوار گذشته) و محیط پیرامون آن که عمدتاً از رسوبات فلیشی تشکیل شده است، این نتیجه حاصل شده است که بالا بودن مقدار عددی شاخص¬ها در این قسمت (مخروط آتشفشانی) تحت تاثیر فرایندهای ماگمایی است تا زمین ساختی. اما در محدودهٔ پیرامون آتشفشان جوان، ساختارهایی همچون گسل¬های سراوان و میرجاوه، خان محمد چاه، سعد آباد و درگیابان و ... کنترل کنندهٔ فعالیتهای زمین ساختی هستند.

واژگان کلیدی: زمین ساخت فعال، آتشفشان تفتان، شاخص¬های مورفومتری، گسل سراوان

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه زمین شناسی، تهران، ایران Mohsenjami84@yahoo.com
۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه زمین شناسی، تهران، ایران asolgi66@yahoo.com
۳- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه زمین شناسی، تهران، ایران asolgi66@yahoo.com
۴- گروه زمین شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران aamoridi@yahoo.com

مقدمه

آتشفشان تفتان در جنوب شرق ایران و در پهنهٔ ساختاری نهبندان- خاش (کوه‌های خاور ایران) قرار گرفته است (آقانباتی، ۱۳۸۳). این آتشفشان از پدیده‌های زمین‌شناسی مورد توجه زمین‌شناسان دنیاست. تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی در نواحی مختلف آتشفشان متفاوت به نظر می‌رسد، با توجه به این موضوع که در نزدیک این ناحیه بخش شمالی گسل سراوان قرار گرفته است، تعیین سطح فعالیت‌های زمین‌ساختی نسبی منطقه دارای اهمیت است. بنظر می‌رسد در این منطقه دو پدیده آتشفشان و زمین ساخت فعال در ریخت‌سازی منطقه نقش اساسی را ایفا نموده‌اند. در این پژوهش از روش‌های کمی به منظور بررسی نرخ فعالیت نسبی زمین ساختی در محدودهٔ آتشفشان تفتان و پیرامون آن، با در نظرگرفتن تنوع ویژگی‌های ریخت زمین ساختی (کلر[۱] و پینتر[۲]، ۱۹۹۶؛ بوربنک[۳] و اندرسون[۴]، ۲۰۰۱) استفاده شده است. بدین جهت از شاخص‌های مورفومتریک برای مطالعه فعالیت‌های زمین‌ساختی استفاده شده است. شاخص‌ها عبارتند از: نسبت عدم تقارن حوضهٔ زهکشی (Af)، سینوسیتی جبههٔ کوهستان (Smf)، شیب طولی رودخانه (Sl)، پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، انتگرال هیپسومتری (Hi). این شاخص‌ها در مطالعه زمین-ساخت فعال نسبی بر اساس تهیه یک شاخص منفرد بسیار مفید شناخته شده‌اند (بول[۵] و مک فادن[۶]، ۱۹۷۷؛ آزور۷ و همکاران، ۲۰۰۲؛ کلر۸ و پینتر۹، ۲۰۰۲؛ سیلوا[۱۰] و همکاران، ۲۰۰۳؛ مولین[۱۱] و همکاران، ۲۰۰۴).

محدودهٔ مورد مطالعه با مختصات ″۶۰°۲۸′۳۴ و ″۶۱°۳۵′۲۲ طول شرقی و ″۲۸°۵′۱۵ و ″۲۹°۱۸′۵۵ عرض شمالی در جنوب شرقی ایران واقع شده است. علاوه بر نقش فعالیت تکتونیکی در محدودهٔ مورد مطالعه، می‌توان تاثیر فعالیت‌های کواترنری آتشفشان تفتان را نیز در تغییر پارامترهای مورفومتریک در نظر گرفت.

جهت ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) حوضه‌ها و زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه، این شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. روش مذکور جهت مشخص شدن نرخ فعالیت زمین ساختی در مناطق مختلف استفاده شده است، مانند: جنوب غرب ایالات متحده آمریکا (راک ول[۱۲] و همکاران، ۱۹۸۵)، سواحل اقیانوس آرام در کاستاریکا (ولز[۱۳] و همکاران، ۱۹۸۸)، سواحل مدیترانه در اسپانیا (سیلوا، ۲۰۰۳) و جنوب غربی سیرا نوادا در اسپانیا (ال همدونی[۱۴] و همکاران، ۲۰۰۸)، منطقه سروستان زاگرس مرکزی (ده بزرگی[۱۵] و همکاران، ۲۰۱۰)، منطقه تهران در

1. Keller
2. Pinter
3. Burbank
4. Anderson
5. Bull
6. McFadden
7. Azor
8. Keller
9. Pinter
10. Silva
11. Molin
12. Rockwell
13. Wells
14. El Hamdouni
15. Dehbozorgi

البرز مرکزی (بقا[1] و همکاران، ۲۰۱۵) منطقه مکران در جنوب شرقی ایران (پرتابیان[2] و همکاران ۲۰۱۶)، مریدی و دهقان (۱۳۹۳) نقش گسل سراوان در توسعه حوضه آبریز آن را مورد ارزیابی قرار دادند و کج شدگی حوضه را ناشی از فعالیت گسل سراوان ذکر نموده‌اند. طبقه‌بندی نسبی زمین ساخت فعال در حوضه آتشفشان تفتان و پیرامون آن را براساس مطالعات (ال همدونی و همکاران، ۲۰۰۸) انجام داده‌ایم. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شاخص‌ها با مشاهدات صحرایی تطبق داده شده است.

باتوجه به وجود ساختارهای فعالی همچون گسل‌های سراوان، میرجاوه، درگیابان و سعدآباد و... و همچنین مراکز جمعیتی همچون خاش، میرجاوه و سنگان و همچنین روستاهای متعددی که در پیرامون این آتشفشان قرار دارند، وقوع بلایای طبیعی همراه با خسارات جانی و مالی اجتناب ناپذیر است. در بررسی فعالیت های زمین ساختی استرین‌های بلند مدت و کوتاه مدت تأثیر بسیار زیادی در وقوع حوادث طبیعی دارند. استرین بلند مدت سبب بالا آمدگی، پیچش، کج شدگی، افزایش شیب‌ها می‌شود که این موارد باعث تغییر جهت رودخانه‌ها و سیستم آنها می-شود، بالا آمدگی باعث افزایش شیب و ناپایداری دامنه‌ای خواهد شد و در اثر این فرایند لغزش‌ها و ریزش‌ها در دامنه-ها و پرتگاهها رخ خواهد داد. استرین کوتاه مدت سبب وقوع زمین‌لرزه، روانگرایی و تخریب سازه‌ها خواهد شد. شاخص‌های تکتونیک فعال به عنوان عنصر کلیدی جهت ارزیابی خطر لرزه‌ای استفاده می‌شود (گالادینی[3] و گالی[4]، ۲۰۰۰). لازم بذکر است که یکی از عوامل ایجاد زمین لرزه فعالیتهای آتشفشانی است. آتشفشانها معمولاً در مجاورت لبه صفحات قاره‌ای قرار دارند، این فاصله تقریباً در حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتری و یا بیشتر، بین کمربند آتشفشانی فعال و حاشیه فعال صفحات قرار دارد. 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 بوقوع پیوسته در زیر سطح پوسته زمین می‌باشند، این واقعه احتمالاً بر اثر فوران ماگما، فعل و انفعالات گازی و حرکت آب و سایر مواد رخ خواهد داد. اگر این حرکات در قالب استرین‌های کوتاه مدت صورت بگیرد باعث ایجاد زمین لرزه خواهد شد. با توجه به موارد ذکر شده این پژوهش می‌تواند راه‌گشایی در جهت مشخص شدن وضعیت فعالیت‌های زمین‌ساختی در این منطقه باشد.

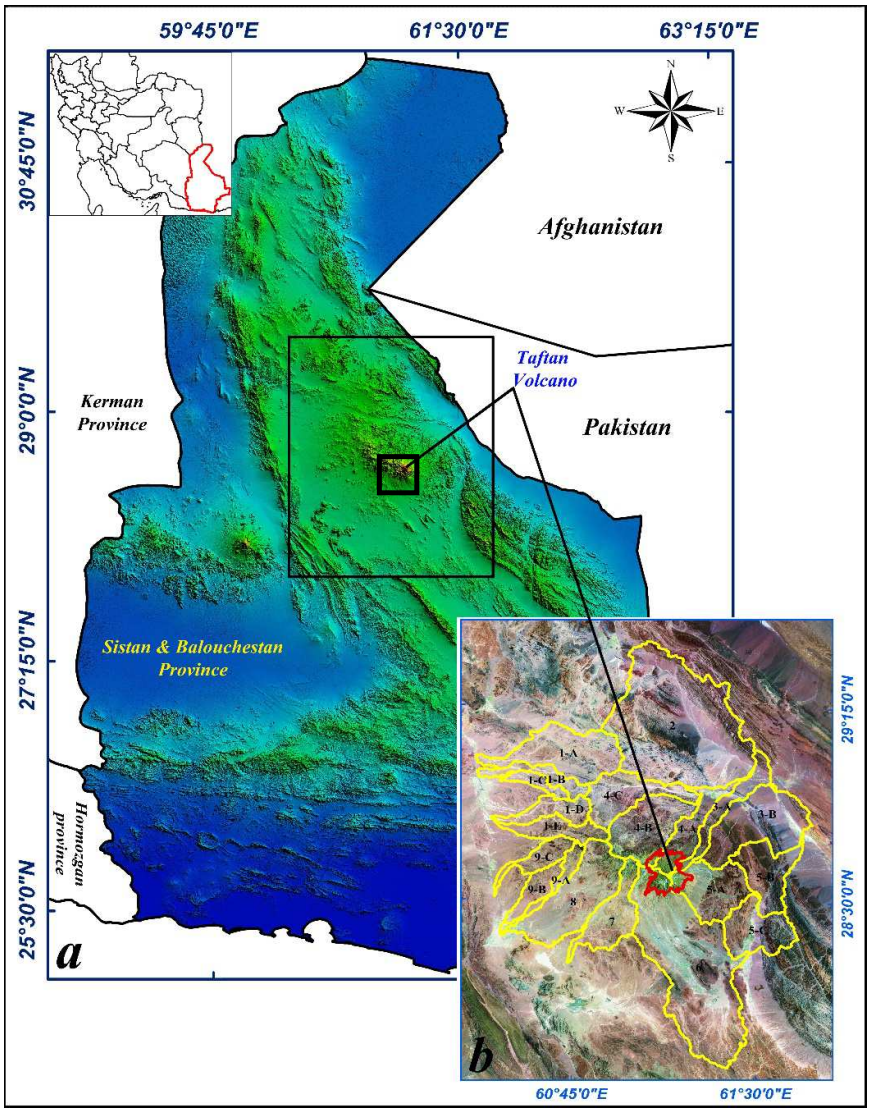
زمین‌شناسی منطقه‌ای

آتشفشان تفتان با سن میوسن پایانی تا کواترنر در جنوب‌شرق ایران (استان سیستان و بلوچستان) و در ۵۰ کیلومتری شمال‌شرق شهر خاش واقع شده است (بیابانگرد و مرادیان، ۱۳۸۶). مساحت این آتشفشان از ابتدای

1. Bagha
2. Partabian
3. Galadini
4. Galli

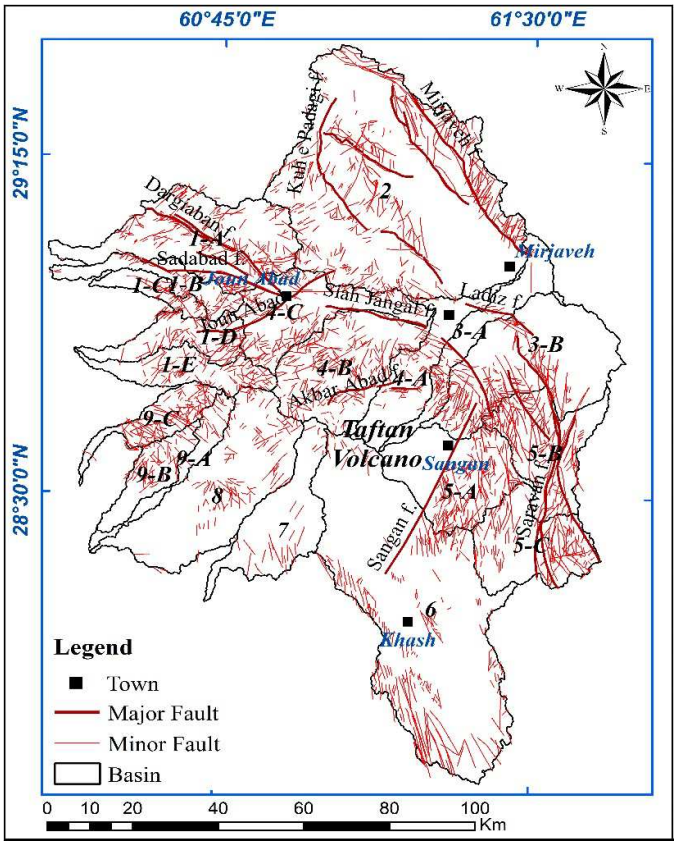
فعالیت آن تاکنون حدود ۱۳۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. بلندای این آتشفشان از سطح دریا ۴۰۵۰ متر و از دشت‌های پیرامون ۲۰۰۰ متر می‌باشد (گانسر ۱۹۷۱). (شکل ۱).

نخستین فوران تفتان، دربرگیرنده گدازه و سنگهای آذرآوری با ترکیب داسیت و ریوداسیت، از نقطه‌ای واقع در ۲۰ کیلومتری باختر- شمال باختر قله کنونی آغاز شده است (گانسر، ۱۹۷۱). مطالعات سنگ‌شناسی نشان می‌دهد که گدازه‌های موجود در تفتان دارای ترکیب کالک آلکالن اسیدی تا نیمه‌اسیدی است و وسعت سنگ‌هایی نظیر بازالت و آندزی بازالت در تفتان به مراتب کمتر از آندزیت و داسیت است (بیابانگرد، ۱۳۸۷). گفتنی است که تفتان یکی از مراکز آتشفشانی کمان ماگمایی است که منشأ آن به فرورانش پوستهٔ اقیانوسی عمان به زیر منشور برافزایندهٔ قاره‌ای مکران نسبت داده شده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). علاوه بر ماگماتیسم‌های اسیدی تا حدواسط الیگوسن میانی (گرانودیوریت و کوارتزدیوریت)، دایک‌ها و سیل‌های فراوانی که ترکیب آن‌ها دیوریت هورنبلنددار تا کوارتزدیوریت است (به ماگماتیسم بعد از الیگوسن میانی نسبت داده شده‌اند)، در بسیاری از نقاط رسوبات فلیشی ائوسن و سنگ-های آذرین نفوذی الیگوسن میانی را در جهات مختلف قطع کرده‌اند (آقانباتی، ۱۳۸۳). همچنین در این مجموعه سنگ‌های آذرین نفوذی جای گرفته‌اند که اکثراً در دو دسته اصلی و با روندهای شمال خاوری- جنوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری دیده می‌شوند. واحدهای کواترنر در محدوده‌های مطالعاتی شامل، رسوبات آبرفتی کهن (Qt^1) و جوان (Qt^2)، آبرفت‌های در حال تشکیل در بستر رودخانه‌های فعلی (Qal) در سطوح مختلف می‌باشد.



شکل۱: موقعیت محدودهٔ مورد مطالعه، به همراه موقعیت مخروط آتشفشانی و وضعیت قرار گیری حوضه‌ها و زیر حوضه‌ها. a) تصویر DEM استان سیستان و بلوچستان و موقعیت آن نسبت به کشورها و استان‌های همجوار، b) تصویر ماهواره‌ای محدودهٔ مورد مطالعه به همراه موقعیت مخروط آتشفشان. حدود تقریبی مخروط آتشفشان تفتان بر اساس نقشه زمین شناسی وتصویر ماهواره‌ای منطقه مشخص گردیده است.

واحد اصلی موجود در کواترنری، کوه آتشفشان تفتان است که عمده محصولات آن بصورت مواد آذرآواری، گدازه‌ها و معادل توفی آن‌ها، مواد اپی کلاستیک و ایگنیمبریت‌ها گسترش دارند. شکل (۲) وضعیت گسل‌ها و شکستگی‌هایی که بوسیلهٔ مطالعه تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین شناسی استخراج شده‌اند رانشان می دهد.



شکل۲: نقشهٔ شکستگی‌ها و گسل‌های مهم منطقه که بوسیله مطالعه تصاویر ماهواره‌ای و همچنین نقشه‌های زمین شناسی در محدودهٔ آتشفشان تفتان و پیرامون آن شناسایی شده‌اند و همینطور موقعیت شهرها نسبت به آتشفشان تفتان به همراه نام حوضه‌ها و زیر حوضه‌ها در نقشه مشخص شده است.

تکتونیک فعال در شرق ایران

فلات ایران در محل تلاقی صفحه‌های عربستان، هند و اوراسیا واقع شده است. تغییر شکل فعال در ایران بر اثر همگرایی بین پوسته عربی و اوراسیا می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده به کمک GPS در سال ۲۰۰۲ همگرایی و کوتاه‌شدگی در ایران برابر با ۲۶ mm/year (سلا[1] و همکاران، ۲۰۰۲) و در سال ۲۰۰۴ برابر با ۲۵ mm/year (ورنانت[2] و همکاران، ۲۰۰۴) تعیین شده است. بر اساس مطالعات (تاتار[3] و همکاران، ۲۰۰۲؛ حسامی[4] و همکاران، ۲۰۰۱) میزان کوتاه‌شدگی در زاگرس برابر با ۱۲-۱۰ mm/year تعیین شده است. لذا باقیمانده کوتاه‌شدگی یعنی حدود ۱۳ mm/year باعث ایجاد برش راستگرد در شرق ایران می‌شود. این حرکت و استرین ناشی از آن بیشترین

1. Sella
2. Vernant
3. Tatar
4. Hessami

تأثیر را بر شرق ایران وارد می‌کند. لذا تغییر شکل‌های فعال و اخیر شرق ایران توسط گسل‌های امتدادلغز راست‌گرد با روند شمال - شمال شرق و راندگی‌های شمال باختری – جنوب خاوری ایجاد می‌شوند که در ارتباط با ساخت مضرسی سپر ایران و عربی می‌باشد. از نگاه لرزه‌خیزی، بخش میانی حوضهٔ فلیشی خاور ایران، اطراف زاهدان، در سدهٔ گذشته به طور کامل آرام بوده، اما بخش‌های شمالی و جنوبی آن لرزه‌زا است. در ناحیهٔ نهبندان زمین‌لرزه‌ها از نوع کم ژرفا (۳۵ – ۰ کیلومتر) و بزرگی متوسط ۶ – ۳/۵ هستند. زمین‌لرزه‌های بخش جنوبی، به ویژه اطراف تفتان، از نوع نیمه عمیق تا نزدیک به عمیق و بزرگی ۷ – ۳/۵ هستند. پاره‌ای از کانون‌های زمین‌لرزه منطبق بر زون‌های تلاقی بلوک لوت در باختر است (بربریان، ۱۹۷۶). از زمین لرزه‌های بوقوع پیوسته در بخش جنوبی حوضه فلیشی خاور ایران، می‌توان به زمین‌لرزه گُشت در شهرستان سراوان به بزرگی ۷٫۸ در مقیاس بزرگای گشتاوری بنا به گزارش سازمان زمین‌شناسی آمریکا، و ۷٫۵ در مقیاس بزرگای گشتاوری بنا به گزارش مرکز لرزه نگاری کشوری اشاره نمود.

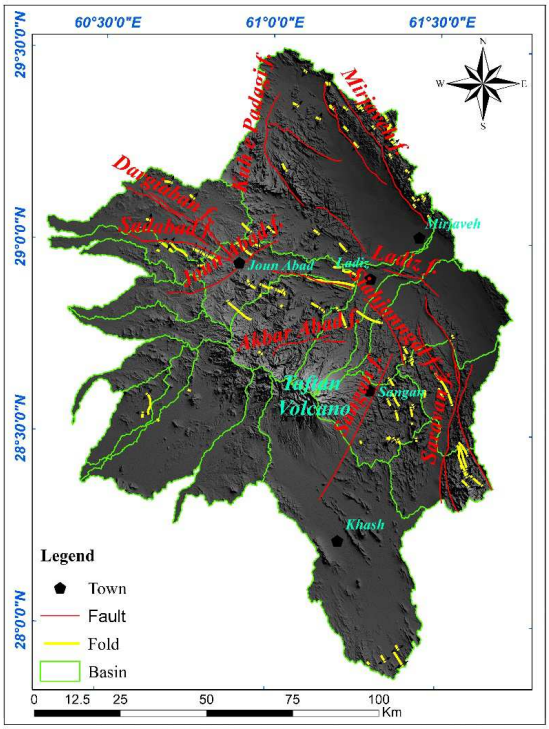
روش کار

به منظور تعیین زمین ساخت فعال در مقیاس حوضه زهکشی با استفاده از شاخص‌های مورفومتری بر روی آتشفشان تفتان و محیط پیرامون آن، در ابتدا حوضه‌های زهکشی با به کارگیری افزونه Arc Hydro در نرم افزار ArcGIS استخراج و سپس اقدام به ساخت شبکه رودخانه‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه شده و درنهایت، بر روی حوضه‌های تشکیل شده شاخص‌های مورفومتری اندازه گیری شده است.

۱- شاخص‌های مورفومتری و زمین‌ساخت فعال

در بررسی‌های مورفومتری یا ریخت‌سنجی، دو دسته شاخص‌های کیفی و کمی قابل بررسی هستند. بررسی این شاخص‌ها به ما کمک می‌کند، در خصوص وضعیت زمین ساختی منطقه از لحاظ فعالیت یا عدم فعالیت اطلاعات مفیدی را به دست آوریم. نتایج حاصل از چندین شاخص می‌تواند با یکدیگر ترکیب شده و با اضافه شدن به سایر اطلاعات نظیر نرخ بالاآمدگی، ردهٔ فعالیت زمین ساختی را مشخص نمایند، این رده‌ها نشانگر درجه نسبی فعالیت در یک ناحیه هستند (پور کرمانی و سلگی، ۱۳۸۸). در منطقه مورد مطالعه شاخص‌های: نسبت عدم تقارن حوضهٔ زهکشی (Af)، سینوسیتی جبههٔ کوهستان (Smf)، شیب طولی رودخانه (Sl)، پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، انتگرال هیپسومتری (Hi) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مرز محدودهٔ مطالعاتی، با در نظر گرفتن حوضه‌های نشأت گرفته از آتشفشان تفتان و همچنین ساختارهای بزرگ و مهم پیرامون آتشفشان تفتان همچون بخش شمالی گسل سراوان و گسل‌های میرجاوه، سعدآباد، درگیابان، سیاه جنگل، اکبر آباد، لادیز و همچنین مراکز جمعیتی پیرامون این

مخروط آتشفشانی در نظر گرفته شده است. بر اساس مطالعات انجام شده توسط (ال همدونی[1] و همکاران، ۲۰۰۸)، (ده بزرگی[2] و همکاران، ۲۰۱۰)، (بقا[3] و همکاران، ۲۰۱۵) و با استفاده از نرم افزار Arc Gis، منطقه مورد مطالعه به ۲۰ حوضه و زیر حوضه تقسیم گردید، که در این راستا از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ایی لندست ۳۰ و ۱۵ متر IRS (5.5 m) ، SRTM (30 m)، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰زاهدان، ۱:۲۵۰۰۰۰ خاش، ۱:۲۵۰۰۰۰ ایرانشهر،۱:۲۵۰۰۰۰ نره‌نو، بهره گرفته شده‌اند. با توجه به گستردگی منطقه مطالعاتی، در تقسیم بندی حوضه‌ها و زیر حوضه‌ها رودخانه‌های اصلی (درجه یک) و رودخانه‌های فرعی (درجه دو) در واقع کلاس ۲ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این بررسی سعی برآن شد تا حوضه‌ها و زیر حوضه‌ها تاحد ممکن بزرگ در نظر گرفته شوند تا بتوان تفسیری کلی از فعالیت زمین ساختی در منطقه بدست آورد. جهت انجام بررسی دقیق تر می‌توان حوضه‌های مذکور را به زیر حوضه‌های کوچکتر تقسیم‌بندی نمود و هر کدام از این زیر حوضه‌ها را بطور دقیق مورد بررسی قرار داد. شکل (۳) موقعیت آتشفشان تفتان و حوضه‌های مورد بررسی به تفکیک رودخانه‌های اصلی را نشان می‌دهد.



شکل۳: موقعیت منطقه مورد مطالعه و تفکیک حوضه‌ها و زیر حوضه‌های آن به همراه وضعیت قرار گیری ساختارهای اصلی نسبت به آتشفشان تفتان، به همراه موقعیت مراکز جمعیتی پیرامون آن.

1. El Hamdouni
2. Dehbozorgi
3. Bagha

الف- عدم تقارن حوضه زهکشی

هندسهٔ شبکه رود می‌تواند به چند صورت توصیف گردد، هم به صورت کمی و هم به صورت کیفی، جایی که زهکشی در حضور زمین ساخت فعال توسعه یابد، شبکه غالباً دارای الگو و هندسه واضحی است. این روش ممکن است برای نواحی به نسبت بزرگ استفاده شود (هر[1] و گاردنر[2]، ۱۹۸۵؛ کلر[3] و پینتر[4]، ۲۰۰۲). عامل عدم تقارن برای نمایان ساختن کج‌شدگی زمین ساختی در مقیاس زهکشی یا مساحت‌های بزرگ به صورت ذیل توسعه یافته‌اند:

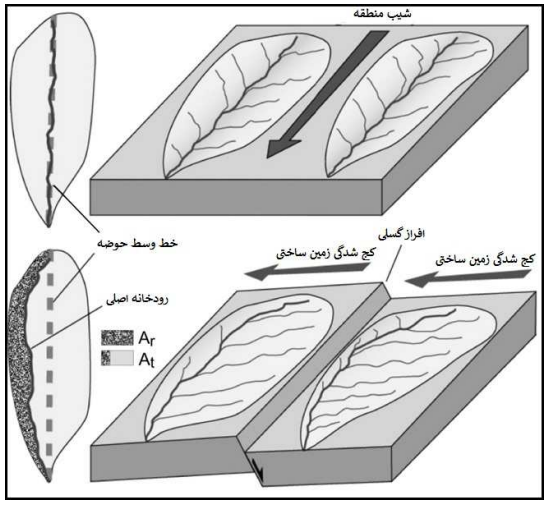
$$AF=100\ (Ar / At)$$ رابطه (۱)

Ar : مساحت حوضه سمت راست رود (دید به سمت پایین).

At : مساحت کل حوضه زهکشی.

AF: عدم تقارن حوضه.

شکل (۴) نحوه محاسبه فاکتور عدم تقارن (AF) را نشان می‌دهد.



شکل ۴: بلوک دیاگرام نشانگر نحوه محاسبه فاکتور عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) (*Mahmood and Gloaguen, 2012*).

برای اکثر شبکه‌های آبراهه که تشکیل شده و جریان در آن ادامه دارد و در حال تقارن است، AF باید حدود ۵۰ درصد باشد. مقادیر کمتر، یا بیشتر از ۵۰ درصد این شاخص ممکن است نشانگر کج‌شدگی باشند. AF نظیر بیشتر شاخص‌های ژئومورفیک در مناطقی بهترین کارکرد را دارد که نوع سنگ‌ها یکسان باشد، در تشریح نتایج، در یک رودخانه که بسمت شمال جریان دارد و چرخش زمین ساختی قسمت غربی منطقه را بسمت پایین حرکت داده

1. Hare
2. Gardner
3. Keller
4. Pinter

است، شاخه‌های رودخانه در سمت شرق طویل‌تر شده و در سمت غرب کوتاه‌تر می‌گردد و AF بزرگتر از ۵۰ درصد می‌شود، اگر کج‌شدگی در جهت عکس رخداده باشد، آنگاه بیشترین آبراهه در سمت چپ آبراهه اصلی خواهند بود و AF کوچکتر از ۵۰ خواهد بود.

ب- سینوسیته پیشانی کوهستان

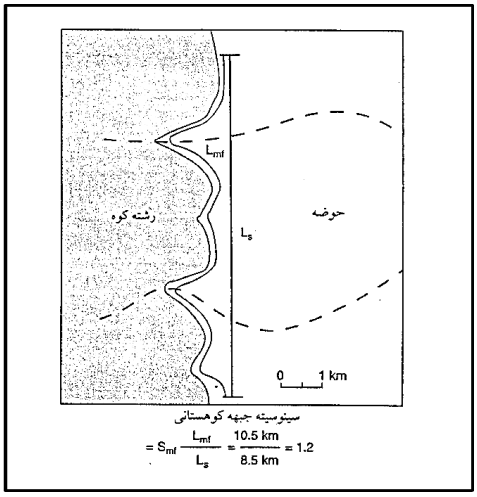
سینوسیته پیشانی کوهستان به صورت زیر تعریف شده است (بول[1] و مک فادن[2]، ۱۹۷۷؛ بول، ۱۹۷۸):

$$S_{mf} = \frac{L_{mf}}{L_s}$$

رابطه (۲)

Smf سینوسیته پیشانی کوهستان، Lmf طول پیشانی کوهستان و انحنای مشخص در دامنه آن و Ls طول خط مستقیم پیشانی کوهستانی می‌باشد (شکل ۵). سینوسیته پیشانی کوهستان شاخصی برای انعکاس توازن بین نیروهای فرسایشی که تمایل به ایجاد ساختمان سینوسیتی دارند و فعالیت گسل‌های حاشیهٔ که تمایل به ایجاد خط مستقیم در پیشانی کوهستان را دارند، می‌باشد. پیشانی‌های کوهستان مرتبط با گسل‌های فعال و بالاآمدگی نسبتاً مستقیم بوده و دارای مقادیر پایین Smf هستند. مقادیر برابر با ۱ این شاخص، خاص نواحی فعال زمین ساختی است، اگر نرخ بالا آمدگی کاهش یافته یا متوقف شود فرآیندهای فرسایش باعث تراشیده شدن هر چه بیشتر پیشانی کوهستان شده و Smf افزایش می‌یابد، مقادیر کمتر از ۱/۴ پیشانی های فعال زمین ساختی را نشان می‌دهند (راکول[3] و همکاران، ۱۹۸۵؛ کلر[4]، ۱۹۸۶).

1. Bull
2. Mc fadden
3. Rockwell
4. Keller



شکل ۵: دیاگرام ایده‌آل جهت نشان دادن شاخص Smf. (*پور کرمانی و سلگی ۱۳۸۸*).

ج- شاخص طول- گرادیان رود

شاخص طول گرادیان رود برای یک محدودهٔ مشخص توسط (هک[1]، ۱۹۵۷؛ ۱۹۷۳؛ ۱۹۸۲) به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$SL = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L}\right).L$$

رابطه (۳)

SL: شاخص طول- گرادیان رود

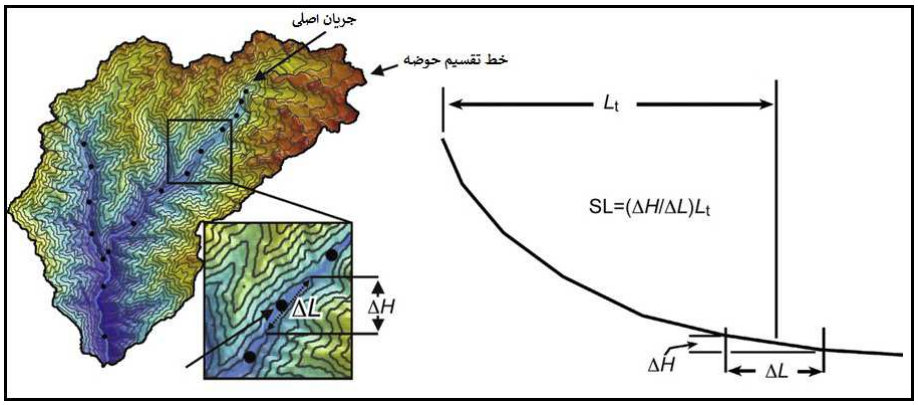
($\frac{\Delta H}{\Delta L}$): شیب کانال یا گرادیان محدوده‌ی مورد نظر (ΔL تغییرات طول کانال، ΔH تغییرات ارتفاع کانال)

L: طول کل کانال از محل تقسیم رود تا وسط منطقه‌ای است که در آن شاخص محاسبه می‌گردد. شکل (۶) نحوهٔ محاسبهٔ این شاخص را نشان می‌دهد.

شاخص شیب- طول (شاخص SL) یکی از پارامترهای کمی مورفومتریک مورد استفاده در بررسی‌های ریخت زمین ساختی است (هک، ۱۹۷۳). در مناطق فعال از لحاظ زمین ساختی و یا در بررسی مناطق با مقیاس بزرگ، شاخص SL می‌تواند یک ابزار مفید برای تعیین جابه‌جایی‌های زمین ساختی باشد (چن[2] و همکاران، ۲۰۰۳)؛ (زوویلی[3] و همکاران، ۲۰۰۴).

1. Hack
2. Chen
3. Zovoili

زمانی که رودخانه‌ها و آبراهه‌ها در نواحی با نرخ بالا آمدگی زیاد جریان دارند، مقدار SL افزایش می‌یابد، اما وقتی جریان رودخانه به موازات ساختارهایی مانند دره‌های حاصل از گسل راستالغز صورت گیرد، میزان SL کاهش می‌یابد (کلر[1] و پینتر[2]، ۲۰۰۲).



شکل ۶: دیاگرام ایده‌آل جهت نشان دادن شاخص SL (*Mahmood and Gloaguen, 2012*).

د- نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن Vf

VF عنوان نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (بول[3] و مک فادن[4]، ۱۹۷۷؛ بول، ۱۹۷۸) صورت ذیل بیان می‌شود: (شکل ۷)

$$V_f = \frac{2V_{fw}}{(E_{1d} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})}$$

رابطه (۴)

V_f: نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن.

V_{fw}: پهنای کف دره

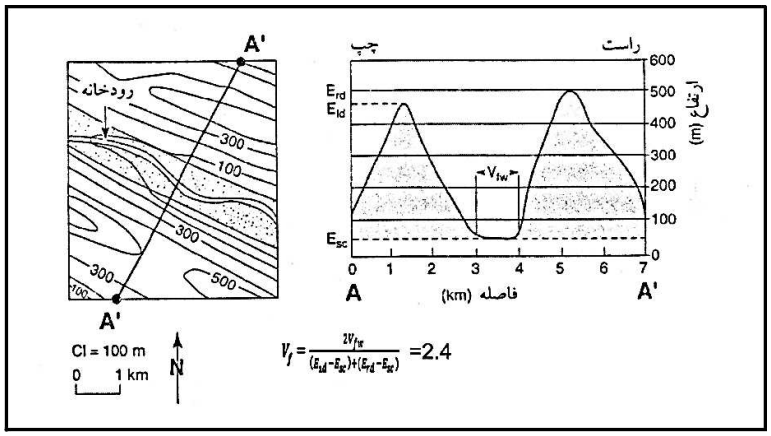
E_{ld} و E_{rd}: ارتفاع دیواره چپ و راست دره نسبت به هم.

E_{sc}: ارتفاع کف دره.

دره‌ها اغلب در بالاتر از پیشانی کوه، باریک هستند (رامیرزهرا[5]، ۱۹۹۸)، در نتیجه محاسبهٔ شاخص بایستی در یک فاصله معینی بالاتر از پیشانی کوه صورت گیرد. مقادیر Vf بسته به اندازهٔ حوضه، تخلیه آبراهه و نوع سنگ مورد نظر تغییر می‌کند. بنابراین مقادیر Vf بایستی برای شرایط زمین شناسی مشابه مقایسه شود.

1. Keller
2. Pinter
3. Bull
4. Mc Fadden
5. Ramirez-Herrera

سیلوا[1] و همکاران (۲۰۰۳) این شاخص را در بتیک کوردیلرای خاوری (جنوب باختر اسپانیا) محاسبه کردند و نشان دادند که دره‌های V شکل با مقدار Vf کمتر از ۱ در پاسخ به بالا آمدگی فعال تکامل می‌یابند، در حالیکه دره‌های U شکل با Vf بزرگتر از ۱ فرسایش جانبی مهمی را که ناشی از پایداری سطح مبنا یا عدم عملکرد زمین ساخت است، مشخص می‌کنند.



شکل ۷: دیاگرام ایده آل برای محاسبه‌ی شاخص Vf در مقطع 'AA (*پور کرمانی و سلگی ۱۳۸۸*).

ه- منحنی ارتفاع‌سنجی

منحنی ارتفاع سنجی نشانگر توزیع ارتفاع در یک ناحیه از زمین، از یک حوضه زهکشی تا یک سیاره کامل است (استراهلر[2]، ۱۹۵۲). این منحنی از پیاده کردن نسبت کل ارتفاع حوضه (ارتفاع نسبی) در مقابل نسبت کل مساحت حوضه (مساحت نسبی) به وجود می‌آید، و یک منحنی فرضی ارتفاع سنجی را برای یک حوضه زهکشی واقع بر روی یک شیب یکنواخت نشان می‌دهد. حوضه زهکشی مورد نظر ۸ خط تراز را شامل می‌شود، کل مساحت (A) مجموع مساحت بین هر جفت خط تراز مجاور می‌باشد. مساحت a، مساحت سطح حوضه در بالای یک خط ارتفاع خاص (h) است. مقدار مساحت نسبی a/A همیشه از یک در پایین‌ترین نقطه در حوضه h/H=0 تا صفر در بالاترین h/H=1 در تغییرات است (شکل ۸). یکی از ویژگیهای مفید ارتفاع‌سنجی این است که حوضه‌های زهکشی دارای اندازه‌های متفاوت، می‌توانند با یکدیگر مقایسه شوند، زیرا مساحت و ارتفاع به عنوان تابعی از کل مساحت و کل ارتفاع نمی-باشد، همانطور که نقشهٔ توپوگرافی باید برای تشخیص دقیق حوضه‌های اندازه‌گیری شده بزرگ مقیاس باشند، نباید نتایج دارای مقیاس متفاوت باشند. محاسبه این انتگرال ارتفاع‌سنجی روش ساده‌ای برای مشخص کردن شکل منحنی

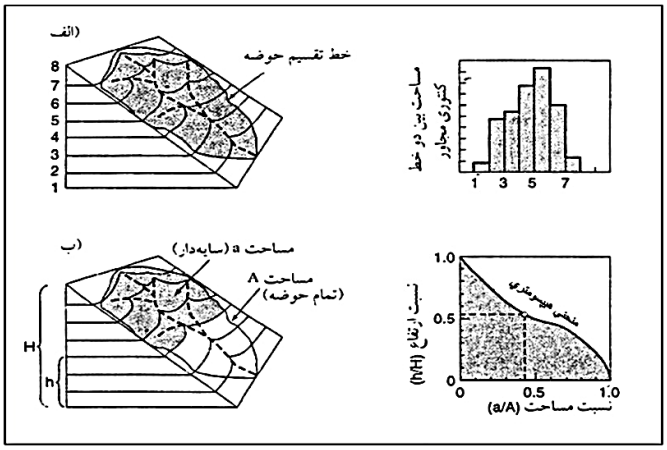
1. Silva
2. Strahler

ارتفاع‌سنجی در یک حوضه زهکشی خاص است. روش محاسبه آن به صورت ذیل است (کلر[1] و پینتر[2]، ۲۰۰۲؛ پایک[3] و ویلسون[4]، ۱۹۷۱؛ مایر[5]، ۱۹۹۰):

$$Hi = \frac{\text{ارتفاع حداقل} - \text{ارتفاع میانگین}}{\text{ارتفاع حداقل} - \text{ارتفاع حداکثر}}$$

رابطه (۵)

بنابراین تنها سه مقدار برای محاسبه این انتگرال لازم می‌باشد، دو عدد از آنها (ارتفاع حداقل و ارتفاع حداکثر) به سادگی از روی نقشه توپوگرافی قابل دستیابی می‌باشند. ارتفاع‌های حداقل و حداکثر بطور مستقیم از روی نقشه توپوگرافی قابل خواندن است، ارتفاع میانگین به وسیله‌ی نمونه‌برداری (روی یک شبکه) ارتفاع حداقل ۵۰ نقطه در حوضه و محاسبه میانگین آن‌ها با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) انجام‌پذیر و قابل محاسبه است. مقادیر بالای این انتگرال نشانگر نواحی فعال و جوان زمین‌ساختی است، اما مقادیر پائین این انتگرال با نواحی دارای فعالیت زمین ساختی کم و دچار فرسایش مرتبط است (ال همدونی[6] و همکاران، ۲۰۰۷). (حداکثر و حداقل انتگرال ارتفاع-سنجی بین ۱ تا ۰ در نوسان است). لازم به ذکر است که منحنی محدب نشانگر فعالیت بالای منطقه است. این منحن (محدب) نمایانگر فعالیت گسل‌ها و بالا آمدگی‌های در ارتباط با چین خوردگی، در عهد حاضر و یا به دلایل دیگر باشند و در مقابل منحنی کاو نشان‌دهنده فعالیت پایین زمین ساختی در گستره می‌باشد.



شکل ۸: حوضه زهکشی فراز سنجی. (الف) کل حوضه به همراه نمودار مساحت‌های بین خطوط تراز. (ب) روش محاسبه مساحت a و ارتفاع h به همراه نمودار نسبت ارتفاعی (h/H) به نسبت مساحت (a/A) (*پور کرمانی و سلگی ۱۳۸۸*).

1. Keller
2. Pinter
3. Pike
4. Wilson
5. Mayer
6. El Hamdouni

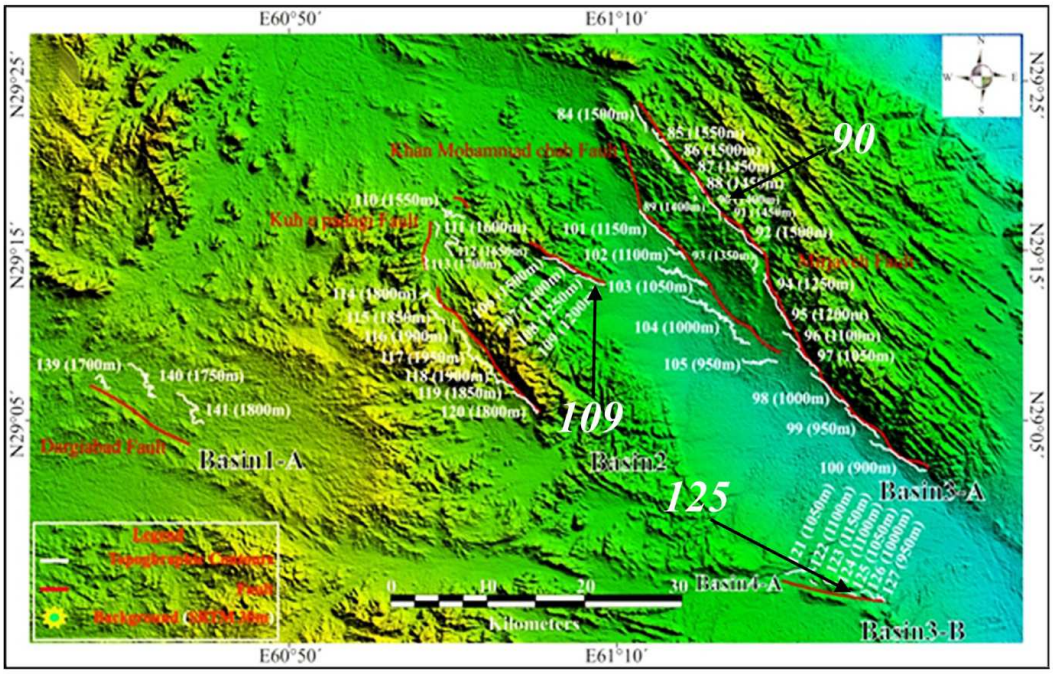
بحث و نتایج

در این بخش به بررسی هریک از شاخص‌ها در حوضه‌ها و زیر حوضه‌های منطقه پرداخته شده است و در پایان رده بندی نسبی فعالیت زمین ساختی براساس نتایج حاصل از این شاخص‌ها آورده شده است.

در منطقهٔ مورد مطالعه شاخص AF برای بیست حوضه و زیرحوضه، محاسبه گردید و نتایج آن در جدول شماره ۱ ارائه شده است. به غیر از زیر حوضه‌های C-۱، D-۱، E-۱و C-۴ حوضه‌ها و زیر حوضه‌های ناحیه از جنوب به سمت شمال و بالعکس جریان دارند و دارای روند شمالی جنوبی می‌باشند. مقادیر AF‹50 به سمت غرب و مقادیر AF›50 به سمت شرق کج شدگی دارند، ارزیابی تقارن حوضه‌های زهکشی با استفاده از فاکتور تقارن توپوگرافی عرضی نشان می‌دهد که در اکثر قطعات حوضه‌ها کج‌شدگی وجود دارد. زیرحوضه D-۱ با مقدار ۴۹/۰۶ دارای بیشترین تقارن می-باشد و زیرحوضه‌های A-۱، E-۱، A-۳، B-۳، A-۴ وB-۴ (به ترتیب تحت تاثیر گسل‌های درگیابان و سعدآباد، احتمالاً تحت تأثیر ساختارهای پنهان، گسل‌های لادیز و سیاه جنگل (نام این گسل‌ها توسط نویسندگان انتخاب شده است)، گسل سیاه جنگل و شاخه‌های فرعی مرتبط با بخش شمالی گسل سراوان، گسل اکبرآباد و احتمالاً بخشی از گسل سیاه جنگل و ادامه گسل اکبرآباد)، دارای بیشترین کج‌شدگی است. از این میان زیرحوضهA -۴ با مقدار ۹۲/۰۲ دارای بیشترین کج‌شدگی است، زیرحوضه B-۹ دارای کمترین کج‌شدگی می‌باشد و جهت جریان آن N-SW است.

در بررسی شاخص Smf نتایج حاصل مطالعه شاخص بدین صورت می باشد: با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه، هیچگونه گسل پیشانی کوهستانی در دو زیرحوضه A-۵ و C-۱ رخنمون نداشته، از اینرو شاخص مورد نظر را نمی‌توان برای آن‌ها محاسبه نمود. همهٔ جبهه‌های کوهستانی موجود در منطقه در ردهٔ جبهه‌های فعال قرار می‌گیرند، سه قطعهٔ ۹۰، ۱۰۹ و ۱۲۵ فعال‌ترین قطعات می‌باشند (شکل ۹)، این در حالی است که بترتیب قطعهٔ ۹۰ مربوط به گسل پیشانی کوهستانی میرجاوه و قطعه ۱۰۹ شاخه فرعی گسل خان محمد چاه و قطعه ۱۲۵ مربوط به گسل پیشانی کوهستانی فعال سراوان می‌باشد که فعالیت زمین‌ساختی نسبی بالایی را نشان می‌دهند و در ردهٔ یک زمین ساختی قرار دارند. بیشتر فعالیتهای زمین ساختی در امتداد گسلهای فعال موجود درحوضه‌ها و زیر حوضه‌های پیرامون مخروط آتشفشانی تفتان صورت گرفته و مخروط آتشفشانی تأثیر قابل ملاحظه ای در این شاخص نداشته است.

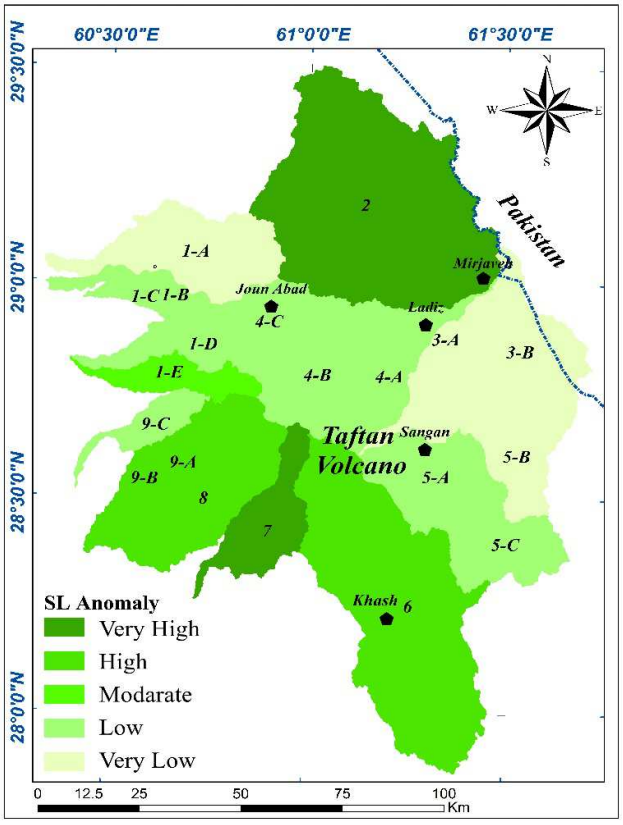
در بررسی‌های انجام شده بر روی شاخص SL، بیشترین پراکندگی آنومالی این شاخص در باختر و شمال باختری کوه آتشفشانی تفتان در حوضه‌ها و زیرحوضه‌هایی است که از لحاظ لیتولوژی در رده متوسط تا مقاوم می‌باشند. با توجه به نقاط آنومالی شاخص SL در کل ناحیه مورد مطالعه، فقط در زیرحوضه C-4 مقدار شاخصSL بالا می‌باشد، این زیر حوضه دارای لیتولوژی نرم از نوع رسوبات آبرفتی جوان است و بالا بودن شاخص SL آن بدلیل وجود ساختار زمین ساختی فعال و جوان (گسل فعال) در آن نقطه می‌باشد، بقیه آنومالی‌های حوضه‌ها و زیرحوضه‌های ناحیه مورد مطالعه دارای مقادیر شاخص SL پایین هستند، که علت آن را می‌توان به عدم وجود لیتولوژی مقاوم و یا ساختارهای فعال و جوان در آن محدوده اشاره کرد. شکل (۱۰)



شکل. ۹: برخی از قطعات محاسبه شده شاخص Smf در محدوده مطالعاتی.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود کمترین مقادیر شاخص‌ها مربوط به زیر حوضهٔ A-۳ است که عمدتاً شامل رسوبات آبرفتی عهد حاضر می‌باشد. کم بودن مقاومت این سنگ‌ها می‌توانند دلیلی بر پایین بودن شاخص SL در این زیرحوضه باشد. بالا بودن شاخص SL در زیر حوضه E-۱ و در حوضه ۷ نشان‌دهندهٔ فعال بودن عرض‌های جغرافیایی پایین ناحیهٔ مورد مطالعه می‌باشد، اما بیشترین مقادیر SL مربوط به حوضهٔ ۷ است و این مقادیر ناشی از بالا بودن مقاومت لیتولوژی در آن حوضه می‌باشد. در نواحی باختر و شمال باختر کوه تفتان مقادیر بالایی از شاخص SL مشاهده شد که علت آن می‌تواند وجود لیتولوژی سخت (متشکل از سنگ‌های قدیمی آندزیت و داسیت‌های آتشفشانی و آندزی - بازالت)، همچنین حضور ساختارهای زمین ساختی فعال منطقه باشد (چین‌خوردگی‌ها و گسل-های فعال) که در بخش‌های وسیعی از این حوضه‌ها گسترش دارند، این امر نشان‌دهندهٔ غلبه فرآیندهای زمین ساختی فعال بر فرآیندهای فرسایشی است.

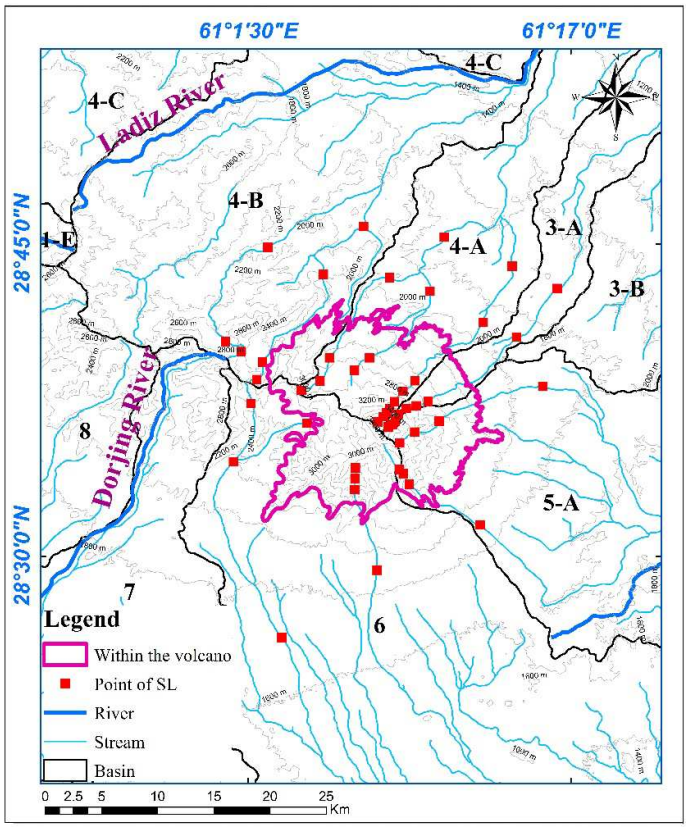
بیشترین و کمترین این مقادیر (نوسان شدید SL) در دو زیر حوضه و حوضهٔ E-۱و ۷ مشاهده می‌شود، که نشان-دهندهٔ افزایش فعالیت زمین ساختی می‌باشد، کم بودن نوسانات در زیرحوضه A-۳ نشان از غلبه فرآیندهای فرسایشی بر فعالیت‌های زمین ساختی در آن نقاط است، ولی به طور کلی بیش از نیمی از زیر حوضه‌ها و حوضه‌های منطقه مورد مطالعه در رده‌های پایین زمین ساختی قرار دارند، که نشان‌دهندهٔ فرسایش جانبی بزرگ در ناحیه مطالعاتی است. جدول ۱ رده‌بندی شاخص SL در ناحیه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: پراکندگی نقاط آنومالی شاخص SL به همراه رده‌بندی سطوح مقاومتی زمین‌شناسی حوضه‌های ناحیه مورد مطالعه.

جهت بررسی تاثیر بالا آمدگی مخروط اصلی آتشفشان تفتان به مطالعه شاخص SL پرداخته شده است، حدود مخروط بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه، توپوگرافی و ساختار حلقوی شکل آتشفشان تفتان تعیین گردیده است. اندازه‌گیری‌ها با توجه به نقشه‌های توپوگرافی انجام شده است، ارتفاع و فاصله اندازه‌گیری (در محدودهٔ مخروط و محدودهٔ دشت) برای شاخص مذکور ثابت در نظر گرفته شده است تا بتوان بصورت دقیق تاثیر بالاآمدگی مخروط (فعالیت نسبی زمین‌ساختی) نسبت به محدودهٔ پیرامون آن مشخص گردد. در این مرحله محدودهٔ مخروط و دشت (پیرامون) آن در هر حوضه بطور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت، (شکل ۱۱) نتایج حاصل از این محاسبات نشان داد که بالا آمدگی مخروط به لحاظ کمی (با توجه به اینکه این مخروط در اثر انباشت مواد آذرین تشکیل شده است) تاثیر در پارامترهای مورفومتری فعال این منطقه داشته است و همچنین با توجه به تفاوت در مقاومت سنگهای منطقه در مقابل فرسایش (مخروط از سنگهای مقاوم در برابر فرسایش و محیط پیرامون عموماً از رسوبات فلیشی تشکیل شده است) مقدار شاخص در ناحیه مخروط بالا می باشد، در واقع بالا بودن مقدار عددی شاخص‌ها در این قسمت تحت تاثیر فرایندهای ماگمایی است تا زمین ساختی، اما در محدودهٔ پیرامون آتشفشان وجود ساختارهایی

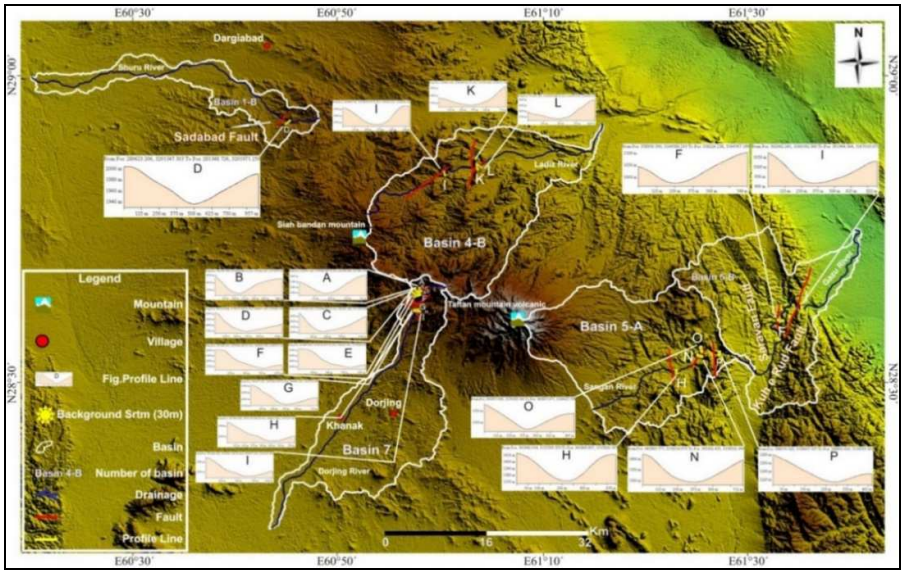
همچون گسلها، کنترل کنندهٔ پارامترهای مورفومتری هستند. مقادیر این شاخص (SL) در محدودهٔ مخروط بالا است. در این محدوده در فاصله کوتاهی مقدار شاخص بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد، اما در محدودهٔ دشت مقدار شاخص (SL) با اینکه فاصله (بین خطوط توپوگرافی) بسیار طولانی است، کاهش می‌یابد که احتمالاً بدلیل غلبه فرایندهای فرسایشی بر زمین ساختی است. بالاترین مقادیر این شاخص در محدودهٔ مخروط آتشفشانی به ترتیب در زیرحوضه‌ها و حوضه‌های 3A، 5A، 4A، 6، 4B است. اما در محدودهٔ دشت بالاترین مقادیر به ترتیب مربوط به 5A، 6، 4A، 4B، 3A است.



شکل ۱۱: تصویر برخی از نقاط اندازه گیری شده شاخص SL در محدوده آتشفشان تفتان و پیرامون آن.

در بررسی شاخص Vf، با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه، هیچگونه خطواره، آبراهه اصلی و شاخه‌های فرعی زیرحوضه‌های C-۵، B-۳ و A-۳ را قطع نکرده، از اینرو شاخص مورد نظر را نمی‌توان برای آن‌ها محاسبه نمود. باید توجه داشت که شاخص Vf علاوه بر عوامل تکتونیکی به وسعت حوضه‌های زهکشی و لیتولوژی سنگ بستر نیز بستگی دارد. دره‌های V شکل در پاسخ به فرازگیری تکتونیک فعال توسعه می‌یابند و دره‌های U شکل با مقادیر Vf>1 نشان از فرسایش جانبی بزرگ بوده و در نتیجه پایداری سطح اساس و یا پایین بودن سطح

فعالیت تکتونیکی می‌باشد. در نوزده پروفیل در منطقه مورد مطالعه مقادیر شاخص VF پایین و با دره‌های V شکل مشخص گردیده است. با توجه به تأثیر بالاآمدگی کوه آتشفشانی تفتان و همچنین وجود ساختارهای گسلی پیرامون این مخروط آتشفشانی مقادیر بدست آمده از شاخص VF، بخش شمال باختر (تحت تأثیر گسل اکبر آباد) و شمال (احتمالاً تحت تأثیر گسل سیاه جنگل و اکبر آباد) و جنوب خاوری (تحت تأثیر گسل سراوان و شاخه‌های فرعی این گسل) مخروط آتشفشانی تفتان را می‌توان جوان‌ترین و فعال‌ترین بخش‌ها در منطقه مورد مطالعه معرفی نمود، که از فعالیت زمین ساختی نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشند (شکل ۱۲).

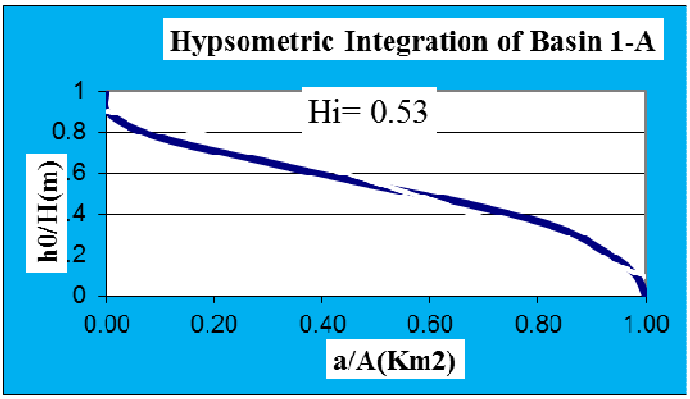


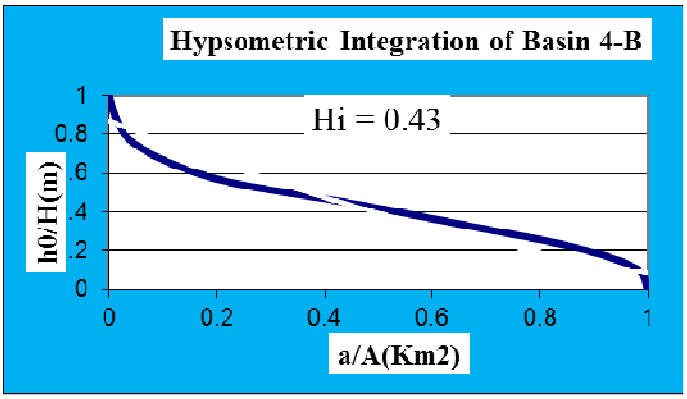
شکل ۱۲: برخی از پروفیل‌های شاخص VF در منطقهٔ مطالعاتی.

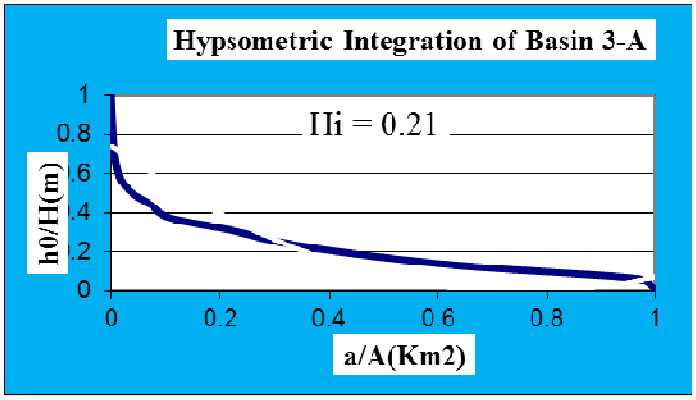
در جنوب خاور و زیر حوضه B-۵ مقادیر VF کاهش یافته که می‌تواند ناشی از ساختارهای تکتونیکی فعال نظیر گسل سراوان و شاخهای فرعی آن باشد، این امر ناشی از فعال بودن منطقه است، این در حالی است که هر چه از عرض‌های بالاتر (بالا دست حوضه‌ها) به سمت عرض‌های پایین (پایین دست حوضه‌ها) به صورت شمال خاور- جنوب باختر حرکت کنیم، مقدار Vf کاهش می‌یابد، که نشان از غلبه نیروهای زمین ساختی بر نیروهای فرسایشی دارد و افزایش فعالیت زمین ساختی و بالا آمدگی زیاد را نشان می‌دهد، در نتیجه مقادیر Vf، کم و دره‌های V شکل می-شوند. در حوضه‌هایی که تمرکز تنش‌ها در آنها به دلیل تعدد ساختارهای تکتونیکی فعال از قبیل چین‌ها و گسل‌ها زیاد است، فعالیت زمین ساختی بالا می‌باشد. جدول ۱ رده‌بندی شاخص Vf در ناحیه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از شاخص Hi نشان می‌دهد که، به غیر از سه زیر حوضه 1-A و 9-A و 9-C که مقدار Hi در آن‌ها بترتیب ۰/۵۳ و۰/۵۳ و ۰/۵۱ به دست آمده (حالت نیمه فعال زمین ساختی یا مرحله بلوغ الگوی دیویس در این سه زیر حوضه را نشان می‌دهد، مقدار حدواسط نشان از آن دارد که فرآیندهای مورفومتریک در سه زیر حوضه مذکور در

حالت تعادل قرار دارند)، بقیهٔ حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها حالت غیر فعال زمین ساختی یا بعبارتی مرحله پیری الگوی دیویس را نشان می‌دهند، زیرا مقادیر Hi در آن خیلی کمتر از ۰/۵۰ است و این امر گویای فرسایش در حد بالا در این زیر حوضه‌ها می‌باشند، اما زیر حوضه 4-C در مرحله جوانی الگوی دیویس قرار دارد و نشانگر توپوگرافی جوان در منطقه مورد مطالعه است، که بوسیله دره‌های عمیق و برجستگی‌های ناهموار مشخص می‌گردد، و نشان از فعالیت نسبی تکتونیکی بالا در این زیر حوضه دارد. بخشی از نتایج حاصل از مطالعات در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

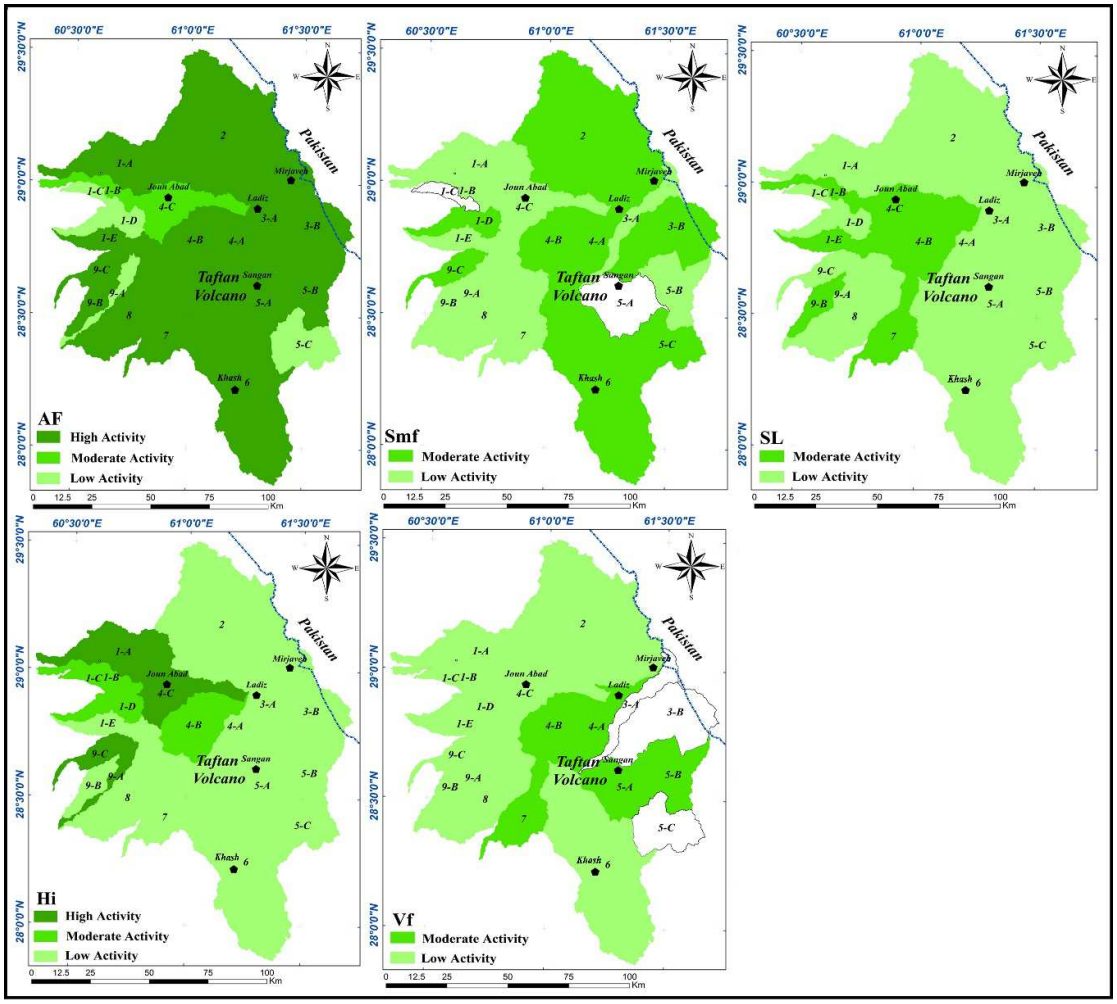






شکل ۱۳: منحنی هیپسومتری برای سه حوضه از بیست حوضه و زیر حوضه.

در نهایت پس از بررسی و محاسبه چند شاخص ذکر شده، نتایج حاصل آنالیزها در (شکل ۱۴) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۱۴: موقعیت حوضه‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها را به سه دسته برای تمامی شاخص ها.

رده‌بندی فعالیت زمین ساختی نسبی

در این مقاله از رده‌بندی زمین ساخت فعال نسبی که اولین بار توسط (ال همدونی[1]، ۲۰۰۸). ارائه شده، برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) حوضه‌ها و زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه استفاده شد. شاخص‌های مختلف زمین ریختی برای هر حوضه و زیر حوضه محاسبه و به سه رده تقسیم شده‌اند، رده ۱ فعالیت بالا و رده ۲ فعالیت متوسط و رده ۳ فعالیت پایین را نشان می‌دهد. میانگین شاخص‌های زمین‌ریختی (S/n) و مقادیر زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) برای حوضه‌ها و زیر حوضه‌های ناحیه مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. این جدول پراکندگی شاخص-

1. El Hamdouni

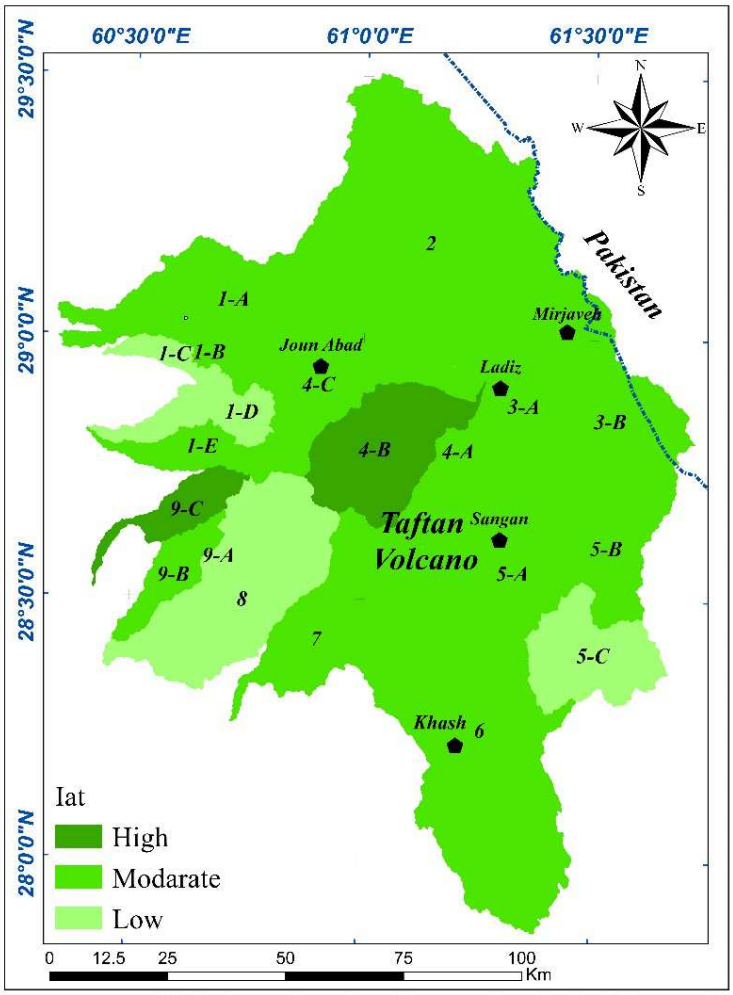
های نواحی مرتبط با پیشانی‌های گسلی مختلف و در نتیجه نرخ‌های مختلف فعالیت نسبی زمین ساختی را نشان می‌دهد. به غیر از زیرحوضه‌های 4-B و 9-C که پهنه با فعالیت بالا می‌باشند کل ناحیه مورد مطالعه، پهنه‌های با فعالیت پایین تا متوسط را تشکیل می‌دهند. بر اساس مدل ارائه شده، سه پهنه زمین‌ساختی در ناحیه مورد مطالعه قابل تشخیص است:

جدول .۱: جدول رده بندی تکتونیک فعال نسبی در منطقه مورد مطالعه.

Ref.No	*Basin*	*Class of:*					*S/n*	*Iat class*	*Assessment*
		SL	*AF*	*Hi*	*Vf*	*Smf*			
1	***1a***	*3*	*1*	*1*	*3*	*3*	*2.2*	*3*	*Moderate*
2	***B1***	*2*	*2*	*2*	*3*	*3*	*2.4*	*3*	*Moderate*
3	***1c***	*3*	*3*	*2*	*3*	-	*2.75*	*3*	*Low*
4	***1d***	*3*	*3*	*2*	*3*	*2*	*2.6*	*4*	*Low*
5	***1e***	*2*	*1*	*3*	*3*	*3*	*2.4*	*3*	*Moderate*
6	***2***	*3*	*1*	*3*	*3*	*2*	*2.4*	*3*	*Moderate*
7	***3a***	*3*	*1*	*3*	-	*3*	*2.5*	*3*	*Moderate*
8	***3b***	*3*	*1*	*3*	-	*2*	*2.25*	*2*	*Moderate*
9	***4a***	*3*	*1*	*3*	*3*	*2*	*2.4*	*3*	*Moderate*
10	***4b***	*2*	*1*	*2*	*2*	*2*	*1.8*	*2*	*High*
11	***4c***	*2*	*2*	*1*	*3*	*3*	*2.2*	*3*	*Moderate*
12	***5a***	*3*	*2*	*3*	*2*	-	*2.5*	*2*	*Moderate*
13	***5b***	*3*	*1*	*3*	*2*	*3*	*2.4*	*3*	*Moderate*
14	***5c***	*3*	*3*	*3*	-	*2*	*2.75*	*3*	*Low*
15	***6***	*3*	*1*	*3*	*3*	*2*	*2.4*	*3*	*Moderate*
16	***7***	*2*	*1*	*3*	*2*	*3*	*2.2*	*3*	*Moderate*
17	***8***	*3*	*1*	*3*	*3*	*3*	*2.6*	*4*	*Low*
18	***9a***	*3*	*3*	*1*	*3*	*3*	*2.6*	*4*	*Low*
19	***9b***	*2*	*1*	*3*	*3*	*3*	*2.4*	*3*	*Moderate*
20	***9c***	*3*	*1*	*1*	*3*	*2*	*2*	*3*	*High*

۱- پهنه با فعالیت زمین‌ساختی نسبی بالا: این پهنه فقط در دو زیرحوضه 4-B و 9-C مشاهده شده است. با توجه به کج شدگی شدید زیر حوضه 4-B، مقادیر دیگر شاخص‌ها کج شدگی شدید زیر حوضه 9-C، این دو زیر حوضه از لحاظ فعالیت نسبی تکتونیکی در پهنه با فعالیت بالا و جوان (به لحاظ زمین ساختی) ناحیه مورد بررسی قرار می-گیرند.

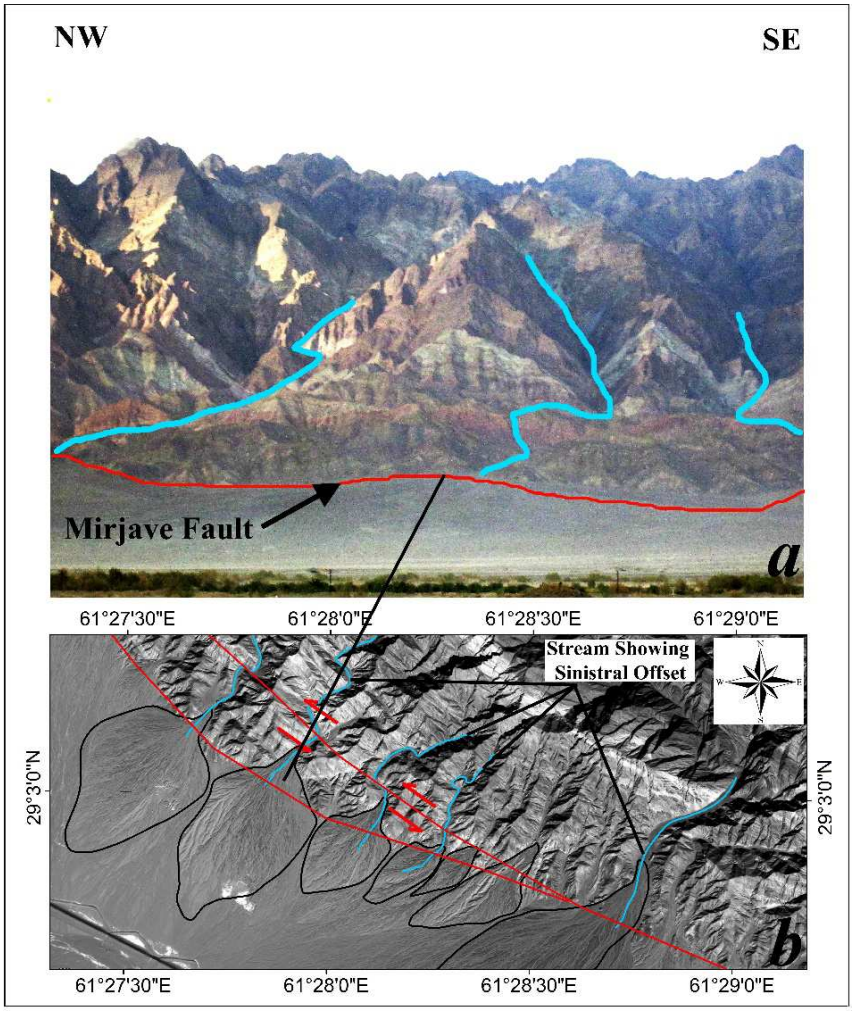
۲- پهنه با فعالیت زمین ساختی نسبی متوسط: ناحیه وسیعی از منطقه مورد مطالعه در این پهنه قرار گرفته است. از ساختارهای مهم آن در شمال باختر می‌توان به گسل درگیابان و گسل سعد آباد اشاره کرد. با توجه به وجود چین خوردگی‌های غالب با روند شمال باختر- جنوب خاور و گسل‌های (اصلی و فرعی) متعدد با روند شمال خاور- جنوب باختر، احتمال دارد در این پهنه در آینده حوضه‌ها را تحت دتاثیر قرار داده باشد. (شکل ۱۵).



شکل ۱۵: رده‌بندی تکتونیک فعال نسبی منطقه مورد مطالعه به تفکیک رنگ.

۳- پهنه با فعالیت زمین‌ساختی نسبی پایین: این پهنه فقط در چهار زیر حوضه 5-C، 1D، 9A، 1C و 8 مشاهده گردید، از لحاظ لیتولوژی بیشتر سیلت و رس و آبرفت‌های قدیم و جدید در این پهنه وجود دارند.

بررسی‌های صحرایی در منطقهٔ مورد مطالعه بر روی ساختارها و ویژگی‌های مورفولوژیکی که در مسیر رودخانه‌ها قرار دارند صورت گرفته است و برخی از پارامترهای زمین ساختی فعال در این بررسی‌ها به صورت زیر مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱۶).



شکل. ۱۶: a) تصویر ماهواره‌ای لندست. تغییر در مسیر آبراهه در اثر حرکت گسل بوضوح قابل مشاهده است، همچنین مخروط افکنه‌ها در مجاورت پیشانی کوهستان قرار گرفته‌اند که نشان دهندهٔ بالا آمدگی فعال است، b) تصویر صحرایی محدودهٔ مورد مطالعه که در آن موقعیت گسل میرجاوه برخی از عوارض مورفومتریک مشخص شده است. لازم بذکر است که گسل میرجاوه یک گسل معکوس با مولفه امتداد لغز چپ بر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی شاخص‌های کمی مورفومتری در منطقه مورد بررسی و مطالعات صحرایی که در منطقه انجام شده است، نتایج مقادیر به دست آمده از محاسبه شاخص‌ها بر اساس رده‌بندی زمین ساختی فعال نسبی که اولین بار توسط ال همدونی۱ و همکاران (۲۰۰۸) ارائه شده است با هم ادغام و نتیجه به دست آمده ارائه گردیده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که نو زمین‌ساخت نقش مهمی در تکامل زمین ریختی منطقه داشته است. بر اساس مدل ارائه شده، سه پهنه زمین‌ساختی در ناحیه مورد مطالعه قابل تشخیص است: (پهنه با فعالیت زمین‌ساختی نسبی بالا) این پهنه فقط در دو زیرحوضهٔ 4-B و 9-C مشاهده شده است. پهنه با فعالیت زمین‌ساختی نسبی متوسط) ناحیه وسیعی از منطقه مورد مطالعه در این پهنه قرار گرفته که از ساختارهای مهم آن در شمال باختر می‌توان به گسل درگیابان و گسل سعد آباد اشاره کرد. (پهنه با فعالیت زمین‌ساختی نسبی پایین) این پهنه فقط در محدودهٔ کوچکی مشاهده گردید. زیرحوضه‌های B-۴ و C-۹ دارای نرخ فعالیت نسبی زمین ساختی بالا هستند، که این مسئله عمدتاً متاثر از حرکت جوان گسل‌ها و ساختارهای تکتونیکی فعال موجود در این دو زیرحوضه می‌باشد. زیرحوضه‌های A-۱، B-۱، E-۱، ۲، A-۳، B-۳، A-۴، B-۴، A-۵، B-۵، ۶، ۷، B-۹ دارای نرخ فعالیت نسبی زمین ساختی متوسط و حوضه و زیر حوضه C-5، 1C، D-۱، 9A و ۸ دارای نرخ فعالیت نسبی زمین ساختی پایین می‌باشند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل شاخص‌ها گویای فعالیت زمین‌ساختی در محدودهٔ آتشفشان تفتان (به لحاظ کمی) و پیرامون آن می‌باشد. با مقایسه و بررسی شاخص‌ها در محدودهٔ مخروط آتشفشان تفتان و محیط پیرامون آن که عمدتا از رسوبات فلیشی تشکیل شده است، این نتیجه حاصل خواهد شد که آتشفشان تفتان در اثر فورانهای ماگمایی جوان ایجاد گردیده و در واقع ضمن تغییر در کمیت پارامترها می توان اظهار نمود که مستقیماً تأثیر زیادی در فعالیت زمین ساختی منطقه مورد مطالعه ندارد. بالا بودن مقدار عددی شاخص‌ها در این قسمت تحت تاثیر فرایندهای ماگمایی است تا زمین ساختی. اما در محدودهٔ پیرامون مخروط آتشفشان، کنترل کنندهٔ فعالیتهای زمین ساختی، ساختارهایی همچون چین خوردگی‌ها، گسل‌های سراوان و میرجاوه، خان محمد چاه، سعد آباد و درگیابان و ... هستند، و در اثر فعالیت این گسل‌ها پارامترهای مورفومتری در منطقه دچار تغییر می‌شوند. در نگاه کلی در مناطقی این چنینی باید به ارتباط بین مخروط آتشفشانی و محیط پیرامون آن (تفاوت در مقاومت در مقابل فرسایش و هوازدگی) جهت اندازه گیری این پارامترها دقت بیشتری شود. با توجه به مطالعات انجام گرفته در این پژوهش، مشخص گردید که منطقه به لحاظ زمین ساختی (بالا آمدگی، کج شدگی ها که در اثر گسلش و چین خوردگی‌ها در منطقه ایجاد شده‌اند) دارای فعالیت است. با توجه به قرارگیری ساختارهای فعالی همچون گسلهای سراوان و میرجاوه و وجود پیشینه فعالیت لرزه‌ای در منطقه، احتمال وقوع زمین‌لرزه و یا دیگر بلایای طبیعی (لغزش و ریزش) مرتبط با فرایندهای زمین ساختی، در آینده اجتناب ناپذیر خواهد بود.

1. El Hamdouni

منابع

آقانباتی، سید علی، (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

بیابانگرد، حبیب الله، مرادیان، عباس، (۱۳۸۶). چینه شناسی آتشفشانی و مرتحل مختلف فوران آتشفشان تفتان، فصل نامه علوم زمین، سال هجدهم، شماره ۸۸، ص ۷۳ – ۸۲.

بیابانگرد، حبیب الله، (۱۳۸۷). پتروگرافی، ژئوشیمی، ژئوکرونولوژی و نحوه فعالیت آتشفشانی (آتشفشان تفتان) واقع در کمربند مکران، رساله دکتری، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

پور کرمانی، محسن، سلگی، علی، (۱۳۸۸). مورفوتکتونیک، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی.

مریدی فریمانی، علی اصغر، دهقان، سعید، (۱۳۹۳). نقش گسل تراستی سراوان در تشکیل و توسعه حوضهٔ آبریز سراوان، فصلنامه جغرافیا و توسعه، سال دوازدهم، شماره ۳۵، ص ۱۹-۳۲.

نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ خاش، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح .

نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ تفتان، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح .

نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ خاش، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ایرانشهر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ زاهدان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ نره نو، 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, 114: 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, 213: 66–87.

Berberian, M., (1976). Quaternary faults in Iran in: contribution to the seismotectonics of Iran (part II). Gelogical survey, Iran, Rep No: 39.

Bull, W. B., and McFadden, L. D., (1977), Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D. O (Ed), Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton, 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: 66–87.

Burbank, D., Anderson, R., 2001. Tectonic Geomorphology. Blackwell Science, Oxford.

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, 56: 109 – 137.

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, 121: 329–341.

El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., Keller, E.A., (2007), Assessment of

Relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). Geomorphology 96, 150–173.

Gansser, A., (1971), The Taftan volcano (Southeast Iran). Eclogae Geologicae Helvetiae, 64, 319-334.

Galadini, F., and Galli, P., (2000), Active tectonics in the central Apennines (Italy) – input data for seismic hazard assessment. Natural Hazards, 22: 225–268.

- Hack, J.T., (1957), Studies of longitudinal stream-profiles in Virginia and Maryland: U.S. Geological Survey Professional Paper 294B, 45–97.

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

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

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, 76-104.

Hessami, K., Koyi, H. A. Talbot, C. J., (2001), The significance of strike-slip faulting in the basement of the Zagros fold and thrust belt. Journal of Petroleum Geology, 24: 5- 28.

Keller, E. A., (1986), Investigation of active tectonics: use of surficial earth processes. In Panel on Active Tectonics. National Academy press: Washington, D. C, 136-147.

Keller, E. A., and Pinter, N., (1996), Active Tectonics. Prentice Hall. 338.

Keller, E. A., and Pinter, N., (2002), Active tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice Hall: New Jersy.

Mayer, L. (1990), Introduction to Quantitative Geomorphology. Prentice Hall, Englewood, Cliffs, NJ.

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, 3: 407–428.

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.

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: 921-934.

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

Ramirez-Herrera, M. T., (1993), Geomorphicassessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. Earth Surface Processes and landforms, 23: 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.

Sella, G. F., Dixon, T. H., Mao, A., (2002), A model for Recent plate velocities from space geodesy. Journal of Geophysical Research, 107.

Silva, P. G., Goy, J. L., Zazo, C., Bardajm, T., (2003), Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity. Geomorphology, 250: 203-226.

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

Tatar, M., Hatzfeld, D., Martinod, J., Walpersdorf, A., Ghafori-Ashtiany, M., Chery, J., (2002), the present-day deformation of the central Zagros from GPS measurements. Geophysics Resarch Letter 29(19), doi: 10.1029/2002GL015427.

Vernant, P. h., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, j., Ashtiani., A, Bayer., R. Tavakoli., F, Chery., J., (2004), present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained dy GPS measuremeants in Iran and northern Oman. Geophysical Journal International, 157: 381-398.

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 63: 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, 1: 239–265..

Quantitative Analysis of tectonic activity in Taftan volcano and around (South East of Iran)

Mohsen Jami[1], Ali Salgi*[2], Mohsen Poorkermani[3], Ali Asghar Moridi Farimani[4]

1- Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
Email: A.solgi@srbiau.ac.ir

3- Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4- Department of Geology, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan, Iran

Received: 2016.10.24 Accepted: 2016.12.31

Abstract

Taftan volcano young to age Pliocene-Quaternary and a semi-active volcanic system is located 50 kilometers north of the city of Khash. According to population centers around the volcano and the earthquake of high magnitude in this area (earthquakes related to Saravan fault), study tectonic activity in this area is important. In the field of geomorphic indicators, it has been used for the study of tectonic activity. These indicators include the drainage basin asymmetry (Af), mountain front sinuosity (Smf), the slope of the valley (Sl), floor width to valley height (Vf), hypsometric integral (Hi). The index for evaluating relative active tectonic (Iat) basin and sub-basin of the study area were used. Based on the proposed model, recognized three tectonic zones in the study area: (zone with relatively high tectonic activity), this zone is observed only in two sub-basin, 4-B and 9-C, (zone of tectonic activity relative to average) the wide area of the region in this area, it is important that the structures can be noted in the northwest of Dargiaban, Iranshahr fault and fault Saadat-abad, (zone with relatively low tectonic activity) this zone has observations in two sub-basin only 5-C, 1-D, 9A and 8. By comparing and studying index in the range of Taftan volcano and its environment is composed mainly of flysch sediments. The result is that Taftan volcano eruptions of magma has been created in the past and the study area does not have a great impact on tectonic activity, the high indices in this section is affected by magmatic processes up to tectonic, but within the cone of the volcano, control structures such as faults and tectonic activity Saravan and Mirjaveh, Khan Mohammad wells, Saadat-abad and Dargiaban, Iranshahr and etc, and the presence of these faults in the area morphometric parameters are changed.

Keywords: Active Tectonics, Volcano Taftan, Morphometric Parameters, Saravan fault