

# بررسی شاخص‌های کمی زمین‌ساخت فعال و تعیین سطح فعالیت نسبی زمین‌ساختی حوضه مردق‌چای ملکان در جنوب آتشفشان سهند، شمال باختر ایران

مهرداد سرهنگی<sup>۱\*</sup>، علی سلکی<sup>۲</sup>، علی سربسی<sup>۳</sup>، بهزاد فیاضی سرقین<sup>۱</sup> و شکور سلطانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، البرز، ایران

<sup>۴</sup> استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۱۳

## چکیده

در این پژوهش به بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی حوضه مردق‌چای بر پایه شاخص‌های زمین‌ریختی به وسیله نرم‌افزار Global Mapper پرداخته شده است. شاخص‌های محاسبه شده عبارتند از شاخص طول-شیب رودخانه (SL)، انگرال فراسنجی (Hi)، نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شکل حوضه زهکشی (Bs) و پیچ‌وخم پیشانی کوه (Smf)، نبود تقارن حوضه زهکشی (Af) و شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه (T) و در پایان بررسی این ویژگی‌ها با هم به عنوان شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه شد که ترکیبی از شاخص‌های بالا است، حوضه مردق‌چای از دید سطح فعالیت نسبی زمین‌ساختی به دو رده تقسیم می‌شود. منطقه دهانه آتشفشانی سهند (بخش بالایی زیرحوضه ۱)، دره گشایش (بخش بالایی زیرحوضه ۳) سطح فعالیت نسبی بالا، منطقه بالادست گسل مراغه تا روستای کرده ده (زیرحوضه ۱ و ۲) و منطقه ورودی رودخانه مردق‌چای به دشت ملکان (از روستای اکیس تا روستای شیخ‌اسلام) (بخش مرکزی و زیرین زیرحوضه ۳) و بخش جنوبی قله‌های آتشفشانی سهند (بخش پایین‌دستی زیرحوضه ۱) سطح فعالیت نسبی متوسط را دارا هستند.

**کلیدواژه‌ها:** شاخص‌های زمین‌ساخت فعال نسبی، زمین‌ساخت فعال، مردق‌چای ملکان، سهند- آذربایجان.

\*نویسنده مسئول: مهرداد سرهنگی

E-mail: MehrdadSarhangi@gmail.com

## ۱- پیش‌گفتار

آتشفشان سهند در ۴۰ کیلومتری جنوب تبریز و خاور دریاچه ارومیه در شمال باختر ایران در ادامه سلسله جبال البرز قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۳۷۰۷ متر است. سهند مخروط بسیار پهن و گسترده‌ای از تناوب منظم گدازه و خاکستر است (عکس ۱) که چینه‌بندی منظم دارد و گستره‌ای حدود ۴۵۰۰ کیلومتر مربع را زیر پوشش دارد (آقانباتی، ۱۳۸۸). در مقیاس ناحیه‌ای، به‌دست آوردن نرخ زمین‌ساختی نسبی مشکل است. در این پژوهش، از یک روش کمی بر پایه شاخص‌های زمین‌ریختی، برای تعیین میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی حوضه مردق‌چای استفاده شده است (El Hamdouni et al., 2007). این شاخص‌ها در مطالعه زمین‌ساخت فعال نسبی بر پایه تهیه یک شاخص منفرد بسیار مفید شناخته شده‌اند (Bull & McFadden, 1977; Azor et al., 2002; Keller & Pinter, 2002; Silva et al., 2003; Molin et al., 2004).

ترکیب شاخص‌های پیچ‌وخم پیشانی کوه توسط (Bull & McFadden 1977) و نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن توسط (Rockwell et al. 1985) برای تقسیم‌بندی پیشانی‌های کوه به رده‌های ۱ تا ۳، صورت گرفته است. بیشتر بررسی‌های شاخص‌های زمین‌ریختی به محاسبه شاخص‌های ویژه در مقیاس منطقه‌ای، مانند حوضه زهکشی یا پیشانی کوه، پرداخته‌اند. به‌جز شاخص طول-شیب آبراهه (SL)، بیشتر شاخص‌ها در مقیاس ناحیه‌ای بررسی نشده‌اند. Silva et al. (2003) زمین‌ساخت فعال نسبی پیشانی‌های مختلف کوه‌ها را در جنوب باختر اسپانیا، با محاسبه شاخص‌های Smf و Vf مورد بررسی قرار داده است ولی از مطالعات جغرافیایی (GIS)، استفاده نکرده‌اند.

در بررسی‌های انجام شده با استفاده از مدل ارتفاع رقومی، پدیده‌ها و عوارض ریخت‌زمین‌ساختی را در یونان شناسایی و استخراج کرده و روشی سیستماتیک برای تجزیه ریخت‌سنجی عوارض زمینی ایجاد کردند. آنها زمین‌ساخت، زمین‌ریخت‌شناسی رقومی (Digital tectonic geomorphology) را به عنوان ترکیبی

از سه مؤلفه زمین‌شناسی ساختمانی، زمین‌ریخت‌شناسی و تجزیه رقومی عوارض (Digital terrain analysis) معرفی کرده و برای منطقه مورد مطالعه، بررسی کردند (Jordan et al., 2005).

## ۲- زمین‌شناسی منطقه

حوضه آبریز مردق‌چای در شمال باختر ایران با مساحت تقریبی ۸۰۰ کیلومتر مربع در دامنه جنوبی آتشفشان سهند که یک آتشفشان استراتوولکانو است که در زمان انوسن تشکیل شده و توده آذرین بیرونی آن به صورت کلاهکی بر روی پایه رسوبی قرار گرفته است سرچشمه گرفته و به دریاچه ارومیه که بازمانده یک دریاچه کهن در زمان الیگوسن است و در اثر حرکات پاسادین و فعال شدن گسل‌های منطقه مانند گسل تبریز و تشکیل آتشفشان سهند و سیلان دریاچه به سوی باختر پسروری کرده و در محل کنونی جمع شده می‌ریزد (آقانباتی، ۱۳۸۸). رودخانه مردق با طول ۱۱۵ کیلومتر از ارتفاع ۳۷۰۰ متر از سطح دریا از میان دهانه‌های آتشفشانی شروع شده و به سوی جنوب و جنوب باختر تا دشت ملکان ادامه پیدا می‌کند و در انتها در ارتفاع ۱۲۷۰ متری یک مرداب (دلنا) تشکیل می‌دهد (شکل ۱). بیشتر ارتفاع ناحیه ۳۷۰۷ در اول حوضه زهکشی گیروداغی و کمترین آن سطح ایستابی دریاچه ارومیه ۱۲۷۰ در نقطه بیرونی حوضه است. سنگ‌شناسی ناحیه، شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی پرکامبرین، پالئوزویک و مزوزویک در بخش جنوبی حوضه مردق دیده می‌شود. سازند شمشک و دلیچای به صورت تاقدیس و ناودیس‌های در راستای NW-SE و NE-SW به صورت متفاوت رخنمون دارند. مجموعه سنگ‌های سنوزویک در بخش شمال حوضه با رسوبات پلیوکواترنری، سنگ‌های آتشفشانی سهند و لایه توفی، مارن و ماسه‌سنگی فسیل‌دار مراغه در دره گرگ با رخنمون خوبی دیده می‌شود. بیشتر مسیر مردق‌چای بستر آبرفتی است و بستر سنگی در آن بسیار کمتر دیده می‌شود.

### ۳-۲- روش مطالعه

مجموعه چند شاخص زمین‌ریختی می‌تواند برای بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی مورد استفاده قرار گیرد. این شاخص‌ها می‌توانند به عنوان روش کمی برای مطالعه زمین‌ریختی مرتبط با فرایندهای فرسایشی و رسوب‌گذاری در مجرای رودخانه، نیم‌رخ طولی و ریخت‌شناسی دره‌رود یا سیماهای زمین‌ساختی مانند پرتگاه‌های گسلی به کار روند. شاخص‌های زمین‌ساختی قادر به تعیین پهنه‌های مختلفی که در نتیجه تغییرات محلی فعالیت زمین‌ساختی ایجاد شده‌اند، هستند. در این پژوهش، چندین شاخص زمین‌ریختی در زیرحوضه‌های مردق‌چای مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲) و نتایج مربوط به هر شاخص بر پایه مقادیر به دست آمده برای آن شاخص، تحلیل شد (پورکرمانی و سلگی، ۱۳۸۸).

### ۳-۱- شاخص طول - شیب رودخانه (SL)

شاخص طول - شیب رودخانه توسط Hack (1973) به شکل زیر توصیف شد:

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

در این رابطه  $\Delta h / \Delta L$  شیب بخشی از مجرا و  $L$  طول مجرا از بالادست تا نقطه‌ای که برای آن شاخص محاسبه می‌شود. این شاخص برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی مفید است. زمانی که رودخانه‌ها و آبراه‌ها در نواحی با نرخ بالا آمدگی زیاد جریان دارند، مقدار SL افزایش می‌یابد، در حالی که وقتی جریان رودخانه به موازات ساختارهایی مانند دره‌های حاصل از گسل راست‌الغز صورت گیرد، میزان SL کاهش می‌یابد (Keller & Pinter, 2002).

مقادیر این شاخص در ناحیه مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی محاسبه شد و در شکل ۲ نشان داده شده است. زیرحوضه شماره ۱ در ۳۸ مقطع محاسبه شد که می‌توان آنها را به سه بخش تقسیم کرد، از مرتفع‌ترین نقطه زیرحوضه قله گیروادگی تا ارتفاع ۲۲۰۰ مقدار SL بالا که متأثر از دهانه‌های آتشفشانی، گسل‌ها و جنس سنگ‌های مانند آندزیت و تراکیت است، از ۲۲۰۰ تا ۱۶۰۰ مقدار SL متوسط که متأثر از رسوبات خاکستر آتشفشانی سازند فسیل‌دار مراغه و گسل مراغه است و میان ۱۶۰۰ تا ۱۵۶۰ مقدار SL پایین و متأثر از آبرفت‌های کواترنری است. زیرحوضه شماره ۲ در ۱۶ مقطع که به دو بخش تقسیم می‌شود، از دامنه کوه سهند تا ارتفاع ۲۳۲۰ مقدار SL بالا متأثر از سنگ‌های آندزیت و تراکیت در مخروط‌افکنه کوه سهند است و از ارتفاع ۲۳۲۰ تا ارتفاع ۱۷۶۰ مقدار متوسطی را نشان می‌دهد که متأثر از خاکسترهای آتشفشانی سازند مراغه و گسل مراغه است. زیرحوضه شماره ۳ در ۷ مقطع که به دو بخش تقسیم شد که در دره گشایش SL متوسط متأثر از سنگ‌های آهکی کرتاسه، گسل‌ها، تاقدیس و ناودیس‌ها است ولی در دشت ملکان SL پایین است که به دلیل نبود ساختارهای بزرگ زمین‌شناسی و دشت بودن منطقه است (شکل ۳).

### ۳-۲- انتگرال فرازسنجی (Hi)

انتگرال فرازسنجی شاخصی است که پراکندگی ارتفاع را در یک ناحیه خاص نشان می‌دهد (Strahler, 1952). به‌طور معمول انتگرال برای یک حوضه زهکشی خاص محاسبه می‌شود و مستقل از مساحت آن حوضه است. رابطه ساده‌ای که برای محاسبه این شاخص استفاده می‌شود (Pike & Wilson, 1971; Mayer, 1990; Keller & Pinter, 2002) به شکل زیر است:

$$Hi = (\text{average elevation} - \text{min. elevation}) / (\text{max. elevation} - \text{min. elevation})$$

داده‌های لازم برای محاسبه انتگرال فرازسنجی از مدل ارتفاعی - رقومی ناحیه تهیه می‌شود. مقادیر انتگرال فرازسنجی برای ۱۴ زیرحوضه در ناحیه مورد بررسی و بالاترین و پایین‌ترین مقدار آن به دست آمد که در زیرحوضه ۱ (۰/۰۴ - ۰/۶۵۵)، در زیرحوضه ۲ (۰/۰۴۷ - ۰/۶۱۴)، در زیرحوضه ۳ (۰/۰۱۸ - ۰/۹۵)، که نشان از فعالیت نسبی زمین‌ساختی در منطقه است (شکل‌های ۴ و ۵).

### ۳-۳- نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)

Vf به‌عنوان نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Bull, 1978; Bull & McFadden, 1977) به شکل زیر توصیف شده است:

$$Vf = 2Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$$

در این رابطه  $Vfw$  عرض کف دره، Eld ارتفاع دیواره سمت چپ دره، Erd ارتفاع دیواره سمت راست دره و Esc ارتفاع میانگین کف دره است. مقدار این شاخص برای دره‌های U شکل بالا و برای دره‌های باریک و تند V شکل، پایین است. در حوضه مردق، در مجموع زیرحوضه ۱ دارای  $Vf = ۰/۵۲$  که نشانگر سطح فعالیت زمین‌ساختی نسبی بالا، زیرحوضه ۲ دارای  $Vf = ۱/۲۸$  که نشانگر سطح فعالیت زمین‌ساختی نسبی متوسط و زیرحوضه ۳ دارای  $Vf = ۰/۴۲$  که نشانگر سطح فعالیت زمین‌ساختی نسبی بالا است (شکل ۶).

### ۳-۴- شاخص شکل حوضه (Bs)

تصویر افقی شکل حوضه به وسیله نسبت کشیدگی آن به شکل زیر توصیف می‌شود (Cannon, 1976; Ramirez-Herrea, 1998).

$$Bs = BI / Bw$$

در این رابطه BI طول حوضه، فاصله پایین‌ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه از آن و Bw عرض حوضه، که در عرض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود. مقادیر بزرگ این شاخص مربوط به حوضه‌های کشیده در نواحی فعال زمین‌ساختی است، در حالی که مقادیر کوچک آن حوضه‌های دایره‌ای شکل نواحی غیرفعال را نشان می‌دهند. پیشانی‌های کوهستانی که سریع بالا آمده‌اند، حوضه کشیده و تندی را ایجاد می‌کنند و زمانی که فعالیت زمین‌ساختی کم یا متوقف می‌شود، عرض‌شدگی حوضه رخ می‌دهد (Ramirez-Herrea, 1998). مقدار شاخص Bs برای ناحیه مورد مطالعه به ترتیب برای زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳ (۰/۷۹، ۰/۷۶، ۰/۳۷) است، که نشان از Bs بالا در زیرحوضه ۱ و ۲ و Bs متوسط در حوضه ۳ است (شکل ۷).

### ۳-۵- پیچ‌وخم پیشانی کوه (Smf)

شاخص پیچ‌وخم پیشانی کوه بر پایه رابطه زیر محاسبه می‌شود (Bull & McFadden, 1977; Bull, 1978).

$$Smf = Lmf / Ls$$

در این رابطه  $Lmf$  طول پیشانی کوه در دامنه آن، یعنی جایی که شیب میان کوه و حوضه پیشانی تغییر می‌کند، است و  $Ls$  طول مستقیم پیشانی کوه است. مقادیر برابر ۱ این شاخص، خاص نواحی فعال زمین‌ساختی است، در حالی که اگر نرخ بالا آمدگی کاهش یابد و فرایندهای فرسایشی شروع به تشکیل یک پیشانی نامنظم کنند، مقدار Smf افزایش می‌یابد. مقادیر کمتر از ۱/۴ پیشانی‌های فعال زمین‌ساختی را نشان می‌دهد (Roelwell et al., 1985; Keller, 1986)، در حالی که مقادیر بیشتر از ۳ به پیشانی‌های غیرفعال مربوط است که در آنها پیشانی گسل بیش از ۱ km دچار فرسایش شده است (Bull & McFadden, 1977). در منطقه مورد بررسی ۳ تا پیشانی کوهستانی مورد بررسی قرار گرفت که در پیشانی گسل مراغه زیرحوضه ۱ و ۲ مقدار متوسط (۲/۱۶)، در پیشانی شمالی کوه‌های دره گشایش با دشت مراغه زیرحوضه ۳ مقدار بالا (۱/۴) و در مسیر ورودی روخانه مردق به دشت ملکان زیرحوضه ۳ مقدار متوسط (۲/۳۳) به دست آمد (شکل ۸).

### ۳-۶- شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه (T)

محاسبه این شاخص روشی برای ارزیابی یک رودخانه درون حوضه و تغییرات میزان نامتقارنی در بخش‌های مختلف دره است.

$$T = Da / Dd$$

مقدار این شاخص میان ۰ و ۱ متغیر است که کمترین و بیشترین عدم تقارن حوضه را نشان می‌دهد. مقادیر، به گونه‌ای که طول بردار متناسب با اندازه T و سوی آن در

عامل کج شدگی آبراهه‌ها است با راستای شمال باختری، جنوب خاوری و فرسایش بسیار زیاد در حوالی آن باشد. در بخش ورودی رودخانه مردق‌چای به دشت ملکان (از روستای اکیس تا روستای شیخ‌اسلام) نیز فعالیت متوسطی حاکم است (بخش مرکزی و زیرین زیرحوضه ۳).

بر پایه کلاس‌بندی (El Hamdouni et al. (2007) زیرحوضه ۱ در کلاس ۲ با زمین‌ساخت نسبی بالا و زیرحوضه‌های ۲ و ۳ در کلاس ۳ با زمین‌ساخت نسبی متوسط قرار دارد (شکل ۱۱ و جدول ۱).

پس از بررسی شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی و محاسبه آنها رودخانه مردق‌چای از دید زمین‌ساخت فعال نسبی تحت تأثیر سه پدیده زمین‌ساختی بزرگ آتشفشان سهند (بالا آمدگی و ایجاد توپوگرافی خشن)، گسل مراغه (جابه‌جایی رودخانه‌ها و آبراهه‌ها) و دریاچه ارومیه (فرونشست و ایجاد دشت‌های ساحلی) قرار گرفته و به دو پهنه از دید فعالیت زمین‌ساخت نسبی تقسیم می‌شود که شامل ۱- منطقه دهانه آتشفشانی سهند (بخش بالایی زیرحوضه ۱) با سنگ‌شناسی آذرین و دره گشایش (بخش بالایی زیرحوضه ۳) با سنگ‌شناسی رسوبات آهکی و شیلی، سطح فعالیت نسبی بالا، ۲- منطقه بالادست گسل مراغه تا روستای کرده ده (زیرحوضه ۱ و ۲) با سنگ‌شناسی کنگلومرا و توف و منطقه ورودی رودخانه مردق‌چای به دشت ملکان (از روستای اکیس تا روستای شیخ‌اسلام) (بخش مرکزی و زیرین زیرحوضه ۳) با رسوبات آهکی و کوآترنری سطح فعالیت نسبی متوسطی را دارا هستند.



شکل ۱- موقعیت منطقه بر روی بخشی از عکس توپوگرافی خاورمیانه.

راستای عمود بر رودخانه، نشانه سوی انحراف آن از رودخانه نسبت به خط میانی است. در این پژوهش بر پایه نظر (Salvany (2004) رودخانه به ۳ قطعه تقسیم شد و بر پایه الگوی بردارهای کج شدگی در مسیر شاخه مردق (زیرحوضه ۱) کج شدگی به باختر با میانگین ۰/۲۵۸، در شاخه مغانجیق (زیرحوضه ۲) به سوی خاور با میانگین ۰/۳۴۲ و در پایین دست رودخانه مردق (زیرحوضه ۳) کج شدگی به سوی جنوب خاور با میانگین ۰/۴۴ را نشان می‌دهد. کج شدگی‌های یادشده نشان می‌دهد در زیرحوضه ۱ به دلیل وجود دهانه‌های آتشفشانی سهند کج شدگی تحت تأثیر منحنی سینوسی این دهانه‌ها قرار گرفته و در زیرحوضه ۲ کج شدگی‌ها نشان از کشیدگی در خاور آن است ولی در زیرحوضه ۳ به دلیل وجود چین خوردگی‌ها در جنوب خاور و گسل‌های بسیاری آن رودخانه به سوی شمال باختر کج شده است (شکل ۹ و عکس ۲).

### ۳-۷. شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

محاسبه این شاخص روشی برای تعیین میزان کج شدگی زمین‌ساختی در مقیاس حوضه زهکشی است. این روش ممکن است برای نواحی به نسبت بزرگ استفاده شود (Hare & Gardner, 1985; Keller & Pinter, 2002). شاخص Af بر پایه رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

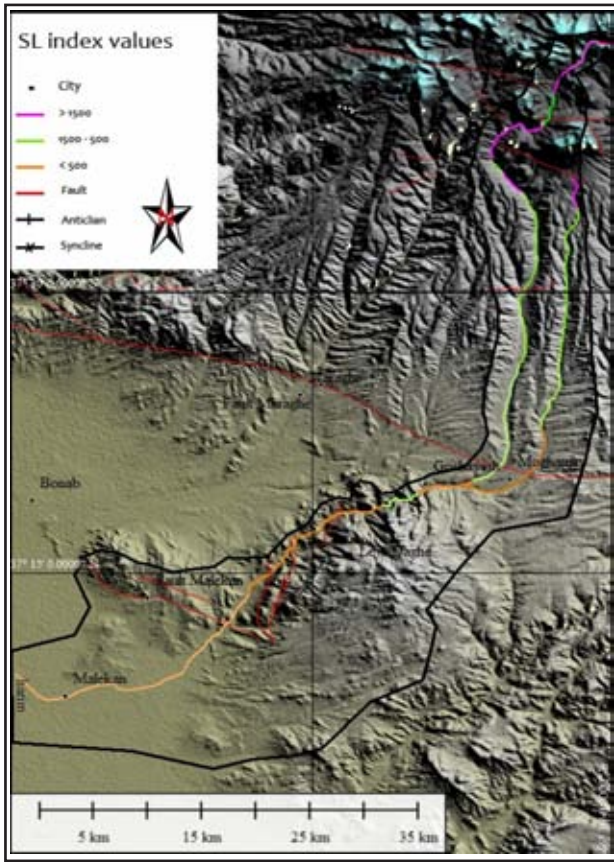
حوضه‌ای با شرایط پایدار بدون کج شدگی یا با مقدار کم کج شدگی باشد، شاخص Af برابر ۵۰ است. این شاخص به تغییر میزان کج شدگی در راستای عمود بر روند مجرا حساس است. مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ نشان‌دهنده کج شدگی حوضه است که می‌تواند در نتیجه فعالیت زمین‌ساختی یا ساختارهای حاصل از ویژگی‌های سنگ‌شناسی است. مقادیر به دست آمده در مردق‌چای برای زیرحوضه ۱ نسبت بالایی (۵۴) را نشان می‌دهد که نشانگر کج شدگی در سوی راست زیرحوضه است و برای زیرحوضه ۲ و ۳ نسبت پایین (۳۹، ۳۱) را نشان می‌دهد که نشان از کج شدگی در سمت چپ در زیرحوضه ۲ و ۳ است (شکل ۱۰).

### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

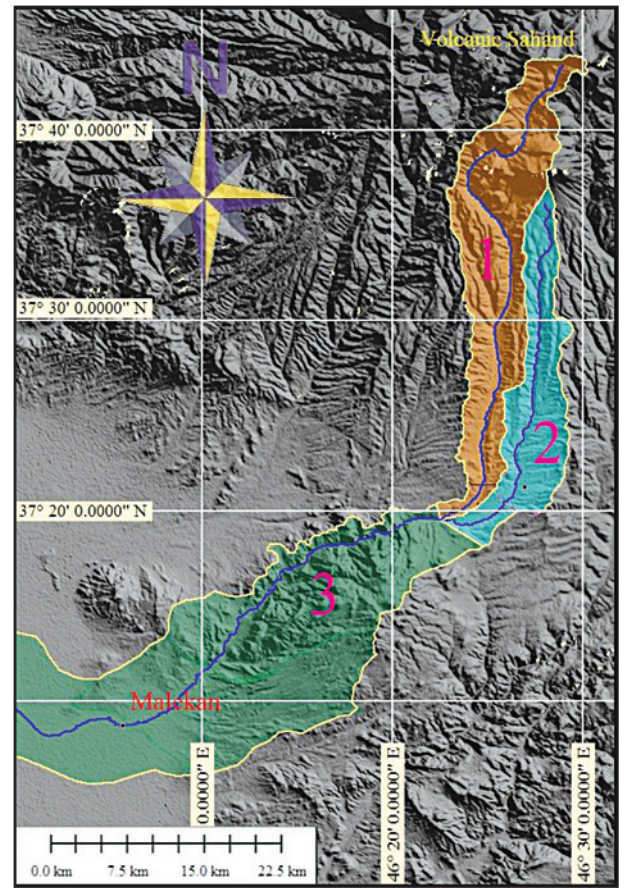
شاخص‌های مختلف زمین‌ریختی که در بخش بالا اشاره شد، به منظور زمین‌ساخت نسبی (Iat) به سه رده فعالیت بالا، فعالیت متوسط، فعالیت پایین تقسیم شد و با محاسبه میانگین رده کلاسه شاخص‌ها (S/n) در هر حوضه و ارزیابی آن با روش (El Hamdouni et al. (2007) شاخص زمین‌ساختی نسبی (Iat) به چهار رده کلاسه شد. در این کلاسه‌بندی، رده یک فعالیت زمین‌ساختی خیلی بالا (S/n میان ۱/۵ تا ۱)، رده دو فعالیت زمین‌ساختی بالا (S/n میان ۲ تا ۱/۵) و در رده سه فعالیت زمین‌ساختی متوسط (S/n میان ۲/۵ تا ۲) و در رده چهار فعالیت زمین‌ساختی پایین (S/n بیشتر از ۲/۵) است. با توجه به این رده‌بندی در منطقه مردق‌چای نتایج زیر حاصل شد.

منطقه با فعالیت زمین‌ساختی نسبی بالا: در حوضه آبریز رودخانه مردق‌چای مناطقی با فعالیت بالا در بخش بالادست (بخش بالایی زیرحوضه ۱) به طور ویژه‌ای در سرچشمه خود رودخانه که میان دهانه‌های آتشفشانی سهند و به دلیل وجود سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و تراکیتی و وجود گسل‌های زیاد با راستاهای متفاوت می‌توان اشاره کرد، بخش دیگری از فعالیت بالا در دره گشایش (بخش بالایی زیرحوضه ۳) قرار دارد که به دلیل وجود تراس‌ها، چین‌ها، درزه‌ها و گسل‌های فراوان در سنگ‌های آهکی در این منطقه احتمالاً جوان‌ترین بخش فعالیت در منطقه است (عکس‌های ۳ و ۴).

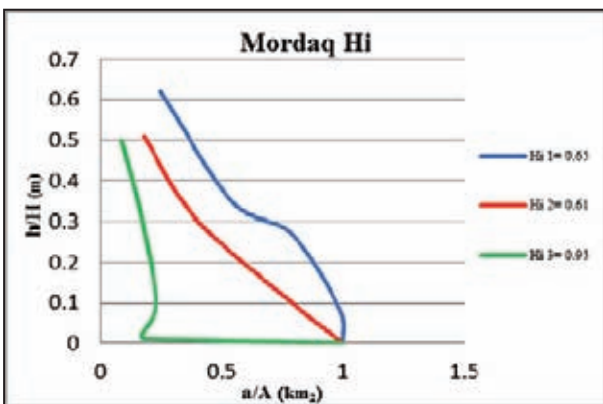
منطقه با فعالیت زمین‌ساخت نسبی متوسط: در بخش جنوبی قله‌های آتشفشانی سهند (بخش پایین دستی زیرحوضه ۱) تقریباً پس از روستای کرده ده تا روستای مردق، بالادست گسل مراغه در بخش مرکزی (زیرحوضه ۱ و ۲) فعالیت متوسطی در منطقه حاکم بوده که احتمالاً می‌تواند به دلیل وجود گسل کهن مراغه (عکس ۵) که



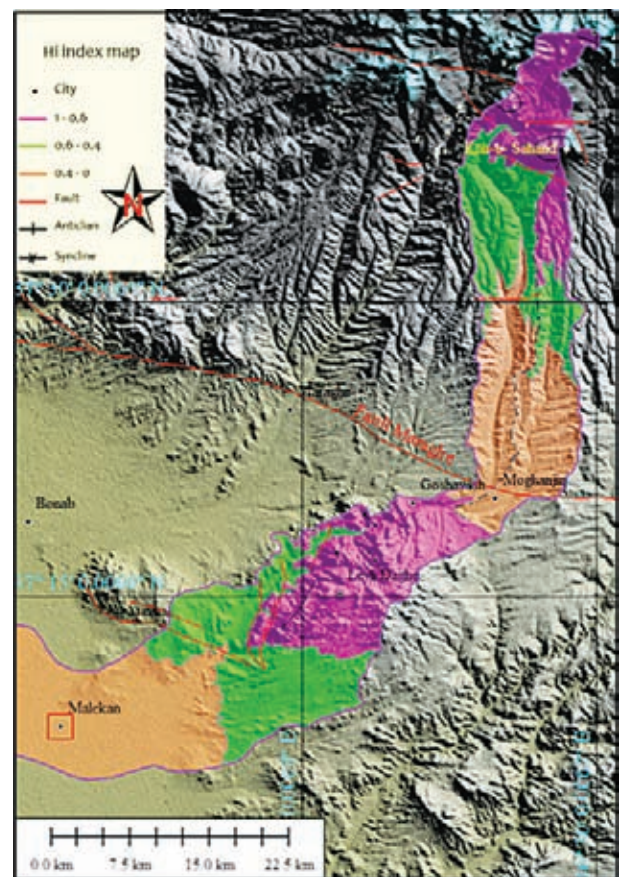
شکل ۳- پراکندگی میزان شاخص طول - شیب رودخانه (SL).



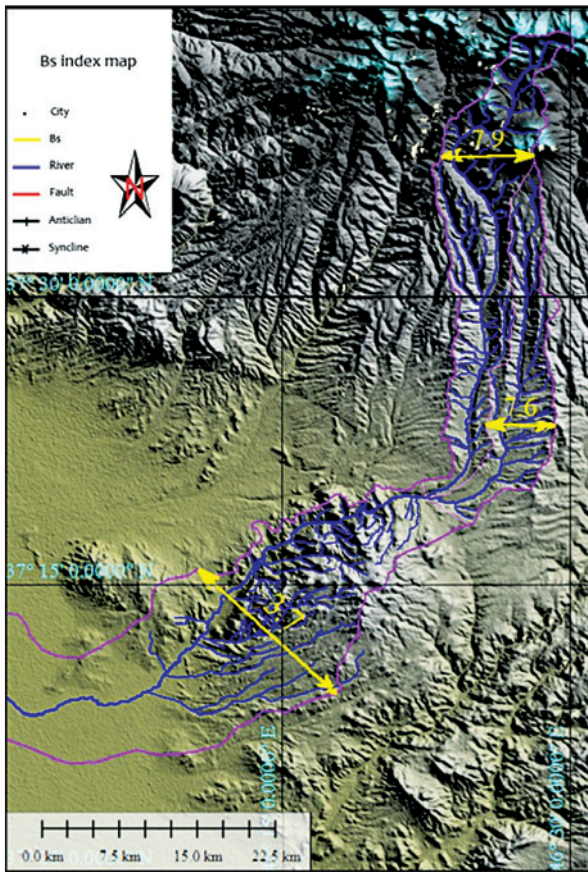
شکل ۲- موقعیت زیرحوضه‌های رودخانه مردق‌چای.



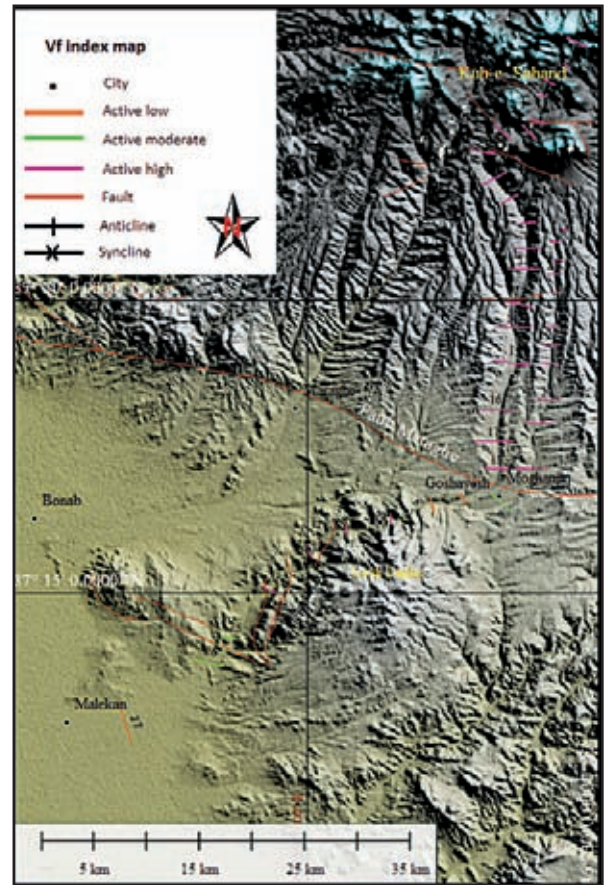
شکل ۵- نمودار انتگرال هیسومتری (Hi) برای زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳.



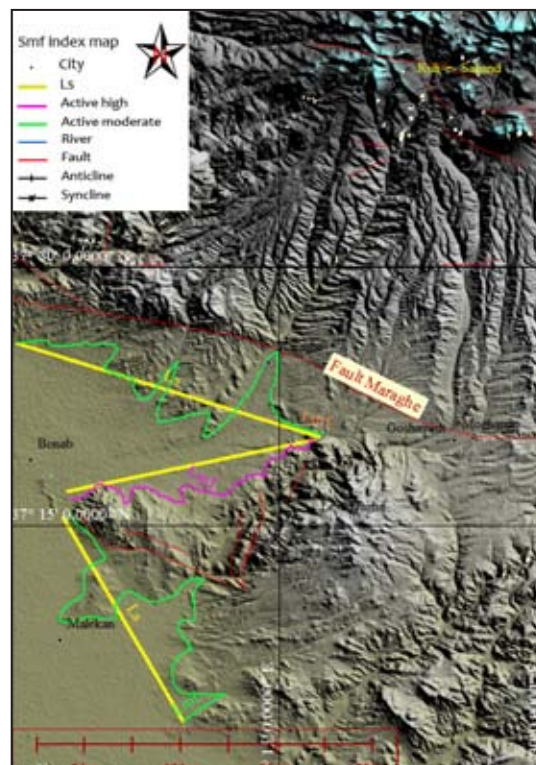
شکل ۴- پراکندگی انتگرال هیسومتری (Hi).



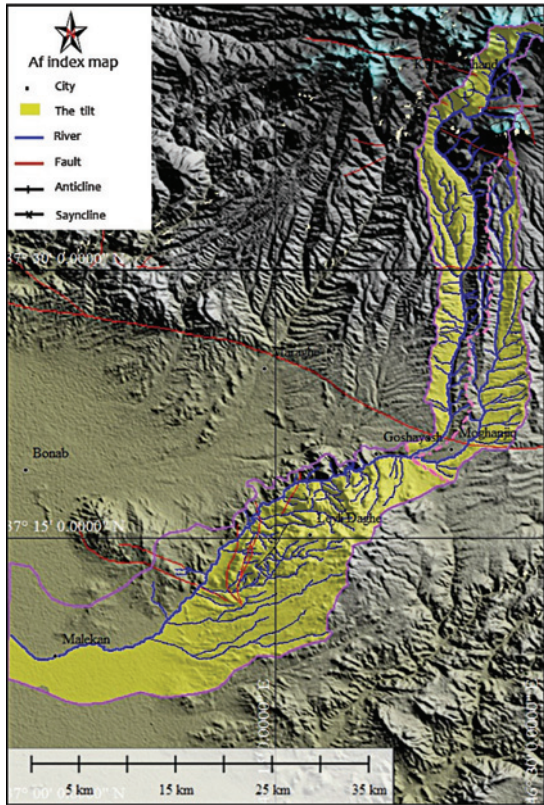
شکل ۷- پراکندگی شاخص شکل حوضه زهکشی (Bs).



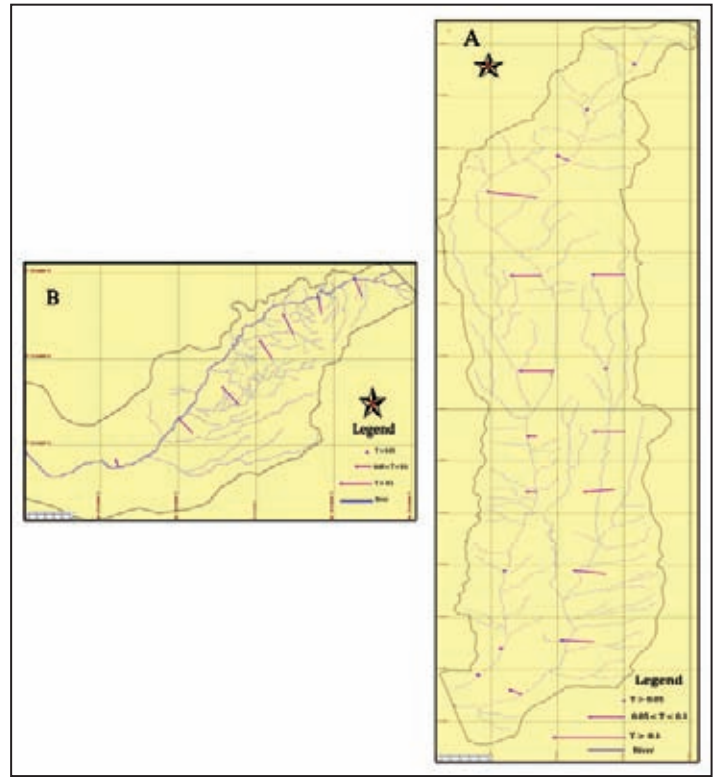
شکل ۶- پراکندگی شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (Vf).



شکل ۸- پراکندگی شاخص سینوسی بودن چهره کوهستان (Smf).



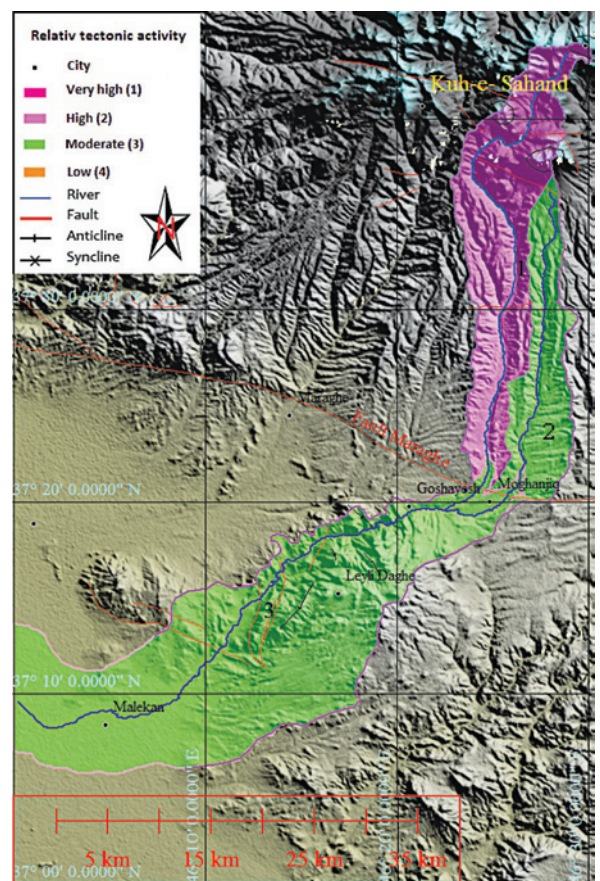
شکل ۱۰ - شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af).



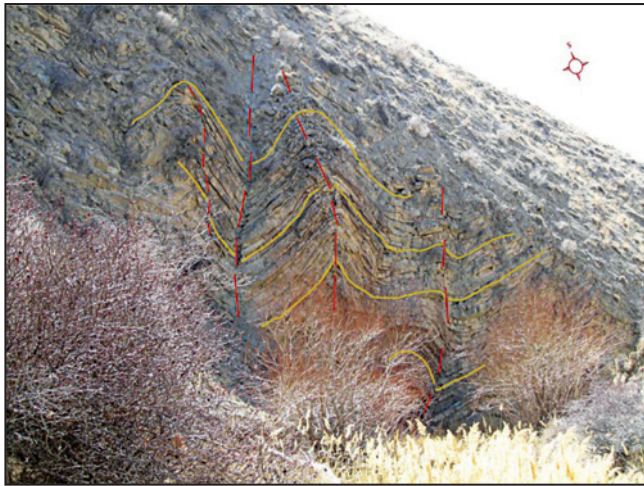
شکل ۹ - پراکندگی شاخص تقارن توپوگرافی عرضی حوضه (T)، زیرحوضه ۱ و ۲ بخش A و زیرحوضه ۳ بخش B.



عکس ۱- نمایی از توپوگرافی آتشفشانی سهند و رودخانه مردق‌چای، دید به سمت شمال از روی کوه سهند.



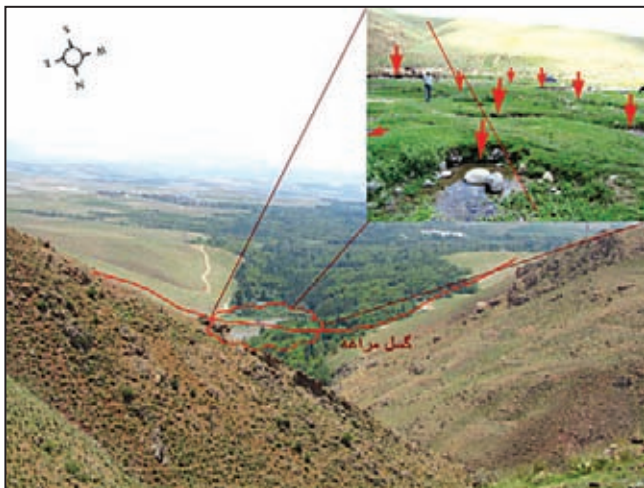
شکل ۱۱ - پراکندگی شاخص زمین‌ساختی نسبی در حوضه مردق‌چای.



عکس ۳- چین خوردگی جناغی که به وسیله گسل بریده شده‌اند.



عکس ۲- گسلش که سبب تغییر در مسیر رودخانه شده است.



عکس ۵- چشمه‌های ایجادشده در امتداد گسل مراغه در بالادست روستای آهق (گسل از عرض رودخانه گذشته و سبب جابه‌جایی آن شده است).



عکس ۴- پادگانه (تراس) زمین‌ساختی.

جدول ۱- تقسیم‌بندی شاخص‌های زمین‌ریخت و زمین‌ساخت نسبی در زیرحوضه‌های مردق‌چای.

حوضه	رده (SL)	رده (Hi)	رده (VT)	رده (Bs)	رده (Smf)	رده (Af)	S/n	رده (lat)
۱	۲	۳	۲	۱	۳	۳	۲	۲
۲	۳	۴	۲	۱	-	۲	۲/۲	۳
۳	۴	۳	۳	۲	۳	۱	۲/۱۶	۳

## کتابنگاری

پور کرمانی، م. و سلگی، ع.، ۱۳۸۸- مورفوتکتونیک، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات.  
آفانیاتی، س.ع.، ۱۳۸۸- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

## References

- 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.
- 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, pp. 115–138.
- Bull, W. B., 1978- Geomorphic Tectonic Classes of the South Front of the San Gabriel Mountains, California. U.S. Geological Survey Contract Report, 14-08-001-G394, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, CA.
- Cannon, P. J., 1976- Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. *Oklahoma, Geology Notes* 36 (1), 3–16.
- 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.
- Hack, J. T., 1973- Stream-profiles analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey* 1 (4), 421–429.
- Hare, P. W. & Gardner, T. W., 1985- Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M., Hack, J.T. (Eds.), *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium*. Allen and Unwin, Boston, MA, pp. 123–134.
- Jordan, G., Meijninger, B. M. L., Van Hinsbergen, D. J. J., Meulenkamp, J. E. & Van Dijk, P. M., 2005- Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas In Hungary and NW Greece”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (65), p.301–319.
- Keller, E. A. & Pinter, N., 2002- *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Prentice Hall, New Jersey.
- Keller, E. A., 1986- Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes. In: Wallace, R.E. (Ed.), *Active Tectonics, Studies in Geophysics*. National Academy Press, Washington, DC, pp. 136–147.
- Mayer, L., 1990- *Introduction to Quantitative Geomorphology*. Prentice Hall, Englewood, Cliffs, NJ.
- 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.
- Pike, R. J. & Wilson, S. E., 1971- Elevation-relief ratio, hypsometri integral and geomorphic area-altitude analysis, *Geological Society of America Bulletin*, 82(4):1079–1084.
- Ramirez-Herrera, M. T., 1998- Geomorphic assessment 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, MA, pp. 183–207.
- Salvany, J. M., 2004- Tilting neotectonics of the Guadiamar drainage basin, SW Spain. *Earth Surface Processes and Landforms* 29, 145–160.
- 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. *Bulletin Geological Society of America*. 63: 1117–1142.



# Assessment of Quantitative Indices of Active Tectonics and Quantification of Relative Tectonic Activity at Mordaq-Chai Basin in South of Sahand Volcano; Northwest of Iran

M. Sarhangi <sup>1\*</sup>, A. Solgi <sup>2</sup>, A. Sorbi <sup>3</sup>, B. Fayyazi <sup>1</sup> & Sh. Soltani <sup>4</sup>

<sup>1</sup> M. Sc. Student, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Karaj Branch, Alburz, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor, Department of Geography, Tehran University, Tehran, Iran

Received: 2012 February 14

Accepted: 2012 September 03

## Abstract

In this paper, the relative active tectonics of the Mordaq-Chai basin has been discussed according to the geomorphic indices using Global Mapper software. The calculated indices are as follows: stream length–gradient index (SL), hypsometric integral (Hi), ratio of valley floor width to valley height (Vf), index of drainage basin shape (Bs), index of mountain front sinuosity (Smf), asymmetry factor (AF), and transverse index of basin topographic symmetry (T). Using above indices results, led to calculation of relative tectonic activity index (Iat). The results show that the Mordaq-Chai basin's relative tectonic activity index falls into two groups: the first one includes the areas around the Sahand volcano crater (upper part of sub-basin one) and the Goshayesh Valley (upper part of sub-basin three), both of which have high levels of relative tectonic activity. The second one includes high lands located at northern part of the Maragheh fault towards the Kordeh-Deh village (sub-basins one and two), the opening of the Mordaq-Chai river into the Malekan plain (from the Ekiz village to the Sheikh-o-islam village in central of sub-basin 3) and the southern portion of the Sahand Volcano's crest (central part of sub-basin one), which all have moderate levels of relative tectonic activity.

**Keywords:** Relative Active Tectonics, Active Tectonics, Mordaq Chai Malekan, Sahand- Azerbaijan.

For Persian Version see pages 21 to 28

\*Corresponding author: M. Sarhangi; E-mail: Mehردادsarhangi@gmail.com