

نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال حوضه آبریز جراحی - هندیجان (رودخانه‌های مارون - زهره) در جنوب باختر ایران

جهانبخش احسانی^۱، مهران آرین^۲ و منوچهر قرشی^۳

^۱ دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

^۲ دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۳ دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۵/۰۴

چکیده

در این مقاله به بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی حوضه آبریز جراحی - هندیجان بر پایه شاخص‌های زمین‌ریختی پرداخته شده است. این شاخص‌ها عبارتند از: شاخص طول - شیب رودخانه (SL)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، انتگرال فراسنجی (Hi)، نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شکل حوضه زهکشی (Bs) و پیچ و خم پیشانی کوه (Smf). نتایج بررسی این ویژگی‌ها با هم به عنوان شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه و به چهار رده که شامل مناطق خیلی فعال تا مناطق با فعالیت کم است، تقسیم‌بندی شد. ناحیه مورد مطالعه در کمربند کوهزایی زاگرس (مرتفع، میانی و پست) در جنوب باختر ایران است که یک مکان مناسب برای بررسی زمین‌ساخت فعال نسبی است. بررسی‌های اخیر نشان می‌دهد که نوزمین‌ساخت نقش مهمی در تکامل زمین‌ریختی این بخش از زاگرس دارد. شواهد زمین‌ریختی، بالاآمدگی مختلفی را در گذشته زمین‌شناسی ناحیه نشان می‌دهند. رده‌های بالای Iat (فعالیت کم زمین‌ساختی) بیشتر در جنوب باختر حوضه آبریز جراحی - هندیجان به دست آمد، در حالی که بقیه ناحیه دارای رده‌های متوسط تا بالای فعالیت است. زیرحوضه‌های باغ ملک و تخت دراز، بیشترین میزان زمین‌ساخت فعال نسبی را نشان می‌دهد. توزیع این شاخص نواحی مربوط به فعالیت گسل‌های مختلف و نرخ‌های نسبی زمین‌ساخت فعال را مشخص می‌سازد. نزدیک به ۴۰ درصد از مساحت کل ناحیه مورد مطالعه در رده‌های یک و دو، یعنی با فعالیت خیلی بالا و بالا، قرار دارد و ۳۷ درصد در رده ۴، یعنی با فعالیت زمین‌ساختی پایین قرار دارد. محیط‌های با نرخ‌های بالاتر فعالیت، شاخص Iat کوچک‌تری دارند.

کلیدواژه‌ها: شاخص‌های زمین‌ریختی، زمین‌ساخت فعال، حوضه آبریز، عدم تقارن، زاگرس.

*نویسنده مسئول: جهانبخش احسانی

E-mail: j_ehsani911@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

رشته کوه زاگرس به طول حدود ۱۳۵۰ کیلومتر از تنگه هرمز در جنوب خاور ایران آغاز شده و تا شمال خاور عراق و جنوب ترکیه ادامه دارد و در بخشی از آن زمین‌ساخت فعالی را نشان می‌دهد و بخش جنوبی آن تقریباً غیر فعال است. در مقیاس ناحیه‌ای، به دست آوردن نرخ زمین‌ساختی یا حتی دانستن اینکه در کدام ناحیه خاص، مطالعات کمی برای تعیین نرخ فعالیت صورت گیرد، مشکل است. در این مقاله، از یک روش کمی بر پایه شاخص‌های زمین‌ریختی، برای تعیین میزان فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبریز جراحی - هندیجان 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; Bull & McFadden, 1977; Keller & Pinter, 2002; Silva et al., 2003; Molin et al., 2004). ترکیب شاخص‌های Smf و Vf برای تقسیم‌بندی پیشانی‌های کوه به رده‌های ۱ تا ۳ توسط Bull & McFadden (1977) و Rockwell et al. (1985) صورت گرفته است. بیشتر مطالعات شاخص‌های زمین‌ریختی به محاسبه شاخص‌های خاص در مقیاس منطقه‌ای، مانند حوضه زهکشی یا پیشانی کوه پرداخته‌اند. به جز شاخص طول - شیب آبراهه (SL)، بیشتر شاخص‌ها در مقیاس ناحیه‌ای بررسی نشده‌اند. Silva et al. (2003) زمین‌ساخت فعال نسبی پیشانی‌های مختلف کوه را در جنوب باختر اسپانیا، با محاسبه شاخص‌های Smf و Vf مورد بررسی قرار داده، ولی در مطالعه خود از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، استفاده نکرده‌اند.

جراحی با طول حدود ۴۳۸ کیلومتر در بخش زاگرس مرتفع (۸۰ کیلومتری باختر یاسوج) از ارتفاع ۲۲۰۰ متر از سطح دریا شروع می‌شود، به سوی جنوب تا تالاب شادگان ادامه دارد و شاخه هندیجان از کوه‌های جنوب یاسوج (سپیدار) و اردکان فارس شروع می‌شود و با نام هندیجان به خلیج فارس می‌ریزد. بیشترین ارتفاع ناحیه حدود ۳۴۰۰ متر مربوط به تاقدیس نیر و کمترین ارتفاع مربوط به مدخل رودخانه‌های جراحی و هندیجان به دریای خلیج فارس بوده که کمتر از یک متر است. سنگ‌شناسی ناحیه شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک در بخش شمالی ناحیه یعنی زاگرس مرتفع و سنوزوئیک در بخش میانی و جنوبی منطقه مورد مطالعه است. رودخانه‌ها در ارتفاعات زاگرس در راستای گسل زاگرس مرتفع در سوی NW-SE و بیشتر در امتداد تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها جریان دارند. در بخش زاگرس چین‌خورده (گسل پیشانی کوهستان) تقریباً عمود بر گسل اصلی و همسو با گسل‌های فرعی منشعب از گسل اصلی (NE-SW) هستند و علت دیگر سامانه درزه‌ها و سازندهای زمین‌شناسی کم‌مقاومت است که نقش مهمی در تغییر سوی جریان رودخانه دارند و در دشت خوزستان به علت عملکرد دو گسل رگ سفید و آغاچاری شاخه‌های زهره و مارون به شدت تغییر مسیر داده‌اند. چین‌ها در زاگرس مرتفع کشیده و دارای دامنه زیاد و طول موج کوچک هستند و برش عرضی آنها به شکل چین جناغی است ولی به سوی جنوب (دشت خوزستان) دامنه چین کوتاه‌تر ولی طول موج آن بیشتر می‌شود (شکل‌های ۶ و ۷).

رودخانه‌های مارون و زهره در بخش سرشاخه‌ها بیشتر مسیر خود را روی بستر سنگی طی می‌کنند و فرار آب در بخش‌هایی از رودخانه از کف و کناره‌ها مانند شاخه مارون در پایین‌دست منطقه لوداب صورت می‌گیرد و به صورت چشمه‌هایی در پایین‌دست ظاهر می‌شود و در بخش‌های زاگرس پست (دشت خوزستان) سنگ بستر بیشتر مارنی است.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه جراحی - هندیجان دارای مساحتی حدود ۴۰۸۰۵ کیلومتر مربع، طول متوسط ۳۶۵ کیلومتر و عرض متوسط ۱۳۷ کیلومتر است (شکل ۱). رودخانه

۳- تعیین الگوی زهکشی حوضه آبریز جراحی - هندیشان با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ناحیه

با استفاده از توابع مدل سازی آب شناسی (Arc Hydro Tools) و مدل رقومی ارتفاعی (Digital Elevation Model) در نرم افزار ArcGIS، امکان تعیین زیرحوضه‌های یک حوضه، مساحت آنها و همچنین شبکه آبراهه‌ها وجود دارد. برای این منظور، مدل رقومی ارتفاعی ناحیه مورد مطالعه، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و نقشه dem به شکل Raster تهیه شد که پس از تحلیل توسط نرم افزار، ۲۴ زیرحوضه برای حوضه آبریز جراحی- هندیشان به دست آمد. پس از مقایسه نتایج به دست آمده با نقشه‌های توپوگرافی ناحیه، مشخص شد که ۲۱ زیرحوضه در مسیر رودخانه‌های اصلی قرار دارند که بر پایه نظر EL Hamdouni et al. (2007) در انجام محاسبات به عنوان بخشی از حوضه‌های بزرگ‌تر در نظر گرفته می‌شوند. شکل ۳ الگوی زهکشی حوضه جراحی- هندیشان را با ۲۴ زیرحوضه نشان می‌دهد.

۴- شاخص‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال

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 دره، رود، یا سیماهای زمین‌ساختی مانند پرتگاه‌های گسلی به کار روند. شاخص‌های زمین‌ساختی می‌توانند پهنه‌های مختلفی که در نتیجه تغییر محلی فعالیت زمین‌ساختی ایجاد شده‌اند، تعیین کنند. در این پژوهش چندین شاخص زمین‌ریختی در حوضه آبریز جراحی- هندیشان (شکل ۳) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مربوط به هر شاخص بر پایه مقادیر به دست آمده برای آن شاخص، به سه رده فعالیت زمین‌ریختی تقسیم شد. میانگین رده‌های همه شاخص‌های مربوط به هر زیرحوضه محاسبه و خود به چهار رده فعالیت زمین‌ساختی تقسیم شد (EL Hamdouni et al., 2007).

۴-۱. شاخص طول- شیب رودخانه (SL)

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

$$SL = (\Delta h / \Delta l) \quad (1)$$

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 است. این شاخص برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی مفید است. زمانی که رودخانه‌ها و آبراهه‌ها در نواحی با نرخ بالآمدگی 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 سامانه اطلاعات جغرافیایی محاسبه و در شکل ۲ نشان داده شده است. رده‌بندی این شاخص بر پایه روش EL Hamdouni et al. (2007) صورت گرفته است (جدول ۱).

۴-۲. شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

محاسبه این شاخص یک روشی برای تعیین میزان کج‌شدگی 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 با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Af = 100(Ar / At) \quad (2)$$

در این رابطه Ar مساحت سمت راست حوضه (دید به سوی پایین دست) و At مساحت کل حوضه است. اگر حوضه‌ای در شرایط پایدار بدون کج‌شدگی یا با مقدار کم باشد، شاخص Af برابر ۵۰ است. این شاخص به تغییر میزان کج‌شدگی در راستای عمود بر روند مجرا حساس است. مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ نشان‌دهنده

کج‌شدگی حوضه است، که می‌تواند در نتیجه فعالیت زمین‌ساختی یا ساختارهای حاصل از ویژگی‌های سنگ‌شناسی باشد. نتایج نشان داده شده در جدول ۲ شامل مقادیر $Af = 50$ است که مقدار انحراف از حالت پایدار را نشان می‌دهد. مقادیر Af از متوسط تا بالا برای ناحیه مورد مطالعه تغییر می‌کند. بیشترین مقدار این شاخص در بخش جنوبی حوضه جراحی- مارون (محدوده لیشر) به دست آمد.

۴-۳. انتگرال فراسنجی (Hi)

انتگرال فراسنجی شاخصی است که توزیع ارتفاع را در یک ناحیه خاص نشان می‌دهد (Strahler, 1952). انتگرال معمولاً 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:

$$Hi = (average\ elevation - min.\ elevation) / (max.\ elevation - min.\ elevation) \quad (3)$$

داده‌های لازم برای محاسبه انتگرال فراسنجی از مدل ارتفاعی- رقومی ناحیه تهیه می‌شود. ارتفاع میانگین از انتخاب ۵۰ نقطه ارتفاعی به‌طور تصادفی در حوضه به دست می‌آید. مقدار این شاخص برابر مساحت زیر سطح منحنی فراسنجی است. انتگرال فراسنجی به‌طور مستقیم با زمین‌ساخت فعال رابطه ندارد. مقادیر بالای این شاخص مربوط به نواحی فعال و جوان زمین‌ساختی است، در حالی که مقادیر پایین آن با نواحی قدیمی که دچار فرسایش زیاد شده و کمتر تحت تأثیر زمین‌ساخت فعال قرار گرفته‌اند، مرتبط است (EL Hamdouni et al., 2007).

مقادیر انتگرال فراسنجی برای ۲۴ زیرحوضه در ناحیه مورد مطالعه، با محاسبه مساحت زیر سطح منحنی‌های فراسنجی به دست آمد (جدول ۲).

۴-۴. نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)

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

$$Vf = 2Vfw / [(Eld - Esc)] + (Erd - Esc) \quad (4)$$

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. با توجه به اینکه مقدار بالآمدگی با میزان فروکاو دره مرتبط است، بنابراین مقدار پایین Vf مربوط به نواحی با نرخ بالآمدگی زیاد است. در ناحیه مورد مطالعه، میزان این شاخص برای دره‌های اصلی به فواصل مختلف محاسبه شد (شکل ۴). به باور Silva et al. (2003) محاسبه Vf در فاصله مشخصی از پیشانی گسلی صورت می‌گیرد. در حوضه جراحی- هندیشان این فاصله بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر، بسته به اندازه حوضه زهکشی تغییر کرد، به گونه‌ای که در حوضه‌های کوچک اندازه‌گیری با فاصله ۱ کیلومتر و در حوضه‌های بزرگ‌تر با فاصله ۱۰ کیلومتر از پای دره صورت گرفت (جدول ۲). تقریباً بخش جنوبی منطقه یعنی دشت خوزستان شامل زیر حوضه‌های شادگان، رامهرمز و بهبهان مقدار Vf بالایی را نشان می‌دهد. ولی در ناحیه زاگرس مرتفع و چین‌خورده این شاخص مقدار پایین تا متوسط دارد (شکل ۸).

۴-۵. شاخص شکل حوضه (Bs)

تصویر افقی شکل حوضه به وسیله نسبت کشیدگی آن به شکل زیر توصیف می‌شود (Ramírez-Herrera, 1998):

$$Bs = Bl / Bw \quad (5)$$

در این رابطه Bl طول حوضه، فاصله پایین‌ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه از آن و Bw عرض حوضه که در عرض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود، است. مقادیر بزرگ این شاخص مربوط به حوضه‌های کشیده در نواحی فعال زمین‌ساختی است، در حالی که مقادیر کوچک آن حوضه‌های دایره‌ای شکل نواحی غیرفعال

(EL Hamdouni et al., 2007). میانگین شاخص‌های زمین‌ریختی (S/n) و مقادیر زمین ساخت فعال نسبی (Iat) برای ۲۴ زیرحوضه در ناحیه مورد مطالعه در جدول ۲ آمده و این نتایج به صورت مدلی از فعالیت زمین ساختی نسبی در شکل ۲ نشان داده شده است. توزیع شاخص‌ها نواحی مرتبط با پیشانی‌های گسلی مختلف و در نتیجه نرخ‌های مختلف فعالیت زمین ساختی را نشان می‌دهد. در ناحیه مورد مطالعه حدود ۱۱/۵ درصد معادل با ۴۴۲۶/۵ کیلومتر مربع از کل حوضه را رده ۱ (فعالیت زمین ساختی نسبی خیلی بالا)؛ ۲۷/۷ درصد معادل با ۱۰۶۶۹/۸ کیلومتر مربع را رده ۲ (فعالیت زمین ساختی نسبی بالا)؛ ۲۳/۴ درصد معادل ۹۰۲۳/۷ کیلومتر مربع را رده ۳ (فعالیت زمین ساختی نسبی متوسط) و ۳۷/۴ درصد معادل با ۱۴۴۴۳/۹ کیلومتر مربع را رده ۴ (فعالیت زمین ساختی نسبی پایین) تشکیل می‌دهند. بنابراین حدود ۴۰ درصد مساحت کل ناحیه مورد مطالعه را پهنه‌های با فعالیت زمین ساختی به نسبت بالا و خیلی بالا تشکیل می‌دهند. بر پایه مدل ارائه شده سه پهنه زمین ساختی در ناحیه مورد مطالعه قابل تشخیص است:

– **پهنه با فعالیت زمین ساختی نسبی خیلی بالا تا بالا:** در بخش فرودپواره گسل زاگرس مرتفع، در شمال خاور، شمال و شمال خاور منطقه مورد مطالعه، Iat از مقادیر بالا تا خیلی بالا تغییر می‌کند. از ساختارهای اصلی موجود در این پهنه، می‌توان به گسل زاگرس مرتفع با روند NW-SE و یک سری تاقدیس‌های طویل با چین‌های جناغی که یک پیشانی گسلی با کمترین میزان پیچ و خم را تشکیل می‌دهد و نمایانگر زمین ساخت فعال آن است اشاره کرد (شکل‌های ۵ و ۶). پیشانی‌های گسلی مستقیم و زهکش‌های به طور ژرف بریده شده به خوبی پرتگاه‌های با ارتفاع زیاد را مشخص می‌کند. تراکم شکستگی‌ها و وجود گسل‌های کوچک و ارون در کنار این گسل در نزدیکی روستای چین لوداب و نخجیر، می‌تواند شاهی برای فعال بودن آن باشد (شکل ۵).

– **پهنه با فعالیت بالا تا متوسط بخش مرکزی حوضه جراحی - هندیمان:** با توجه به اینکه در بیشتر موارد بالادست حوضه‌های زهکشی نسبت به پایین دست آنها تحت تأثیر فرسایش فعال و بالا آمدگی سریع سنگ‌ها قرار دارند، بنابراین انتظار می‌رود بخش مرکزی حوضه جراحی - هندیمان که در بردارنده فرادپواره گسل پیشانی کوهستان در زون زاگرس چین خورده است، فعالیت زمین ساختی به نسبت بالایی داشته باشد؛ البته گسل رگ سفید در شمال دیلم و هندیمان که در بخش جنوبی حوضه قرار دارد، فعالیت بالایی را نشان دهد. زیرا عملکرد آن سبب تغییر مسیر زیاد رودخانه زهره در محدوده مورد مطالعه و همچنین گسل آغاچاری در ادامه این گسل (رگ سفید) سبب تغییر مسیر رودخانه مارون شده است. وجود بخشی از گسل قطر - کازرون در ناحیه جنوب خاور حوضه آبریز جراحی - هندیمان سبب شده که فعالیت زمین ساختی این منطقه بالا باشد (شکل‌های ۱ و ۲).

– **پهنه با فعالیت متوسط تا پایین جنوب و جنوب باختر حوضه جراحی - هندیمان:** فعالیت متوسط و پایین این منطقه به علت دور بودن از شعاع تأثیر گسل‌های بزرگی مانند زاگرس مرتفع، پیشانی کوهستان، قطر - کازرون و رگ سفید و همچنین وجود سازندهای انعطاف‌پذیر گچساران و میشان است. زیرحوضه‌های شادگان، بهبهان، خیرآباد و رامهرمز در این پهنه قرار دارند.

۶- نتیجه‌گیری

شاخص‌های زمین‌ریختی، روش مفیدی برای بررسی میزان فعالیت زمین ساختی فراهم می‌آورند. بر پایه مقدار شاخص‌های زمین‌ریختی طول - شیب رودخانه (SL)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، انتگرال فراسنجی (Hi)، نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شکل حوضه زهکشی (Bs) و پیچ و خم پیشانی کوه (Smf)، شاخص کلی زمین ساخت فعال نسبی (Iat) برای حوضه آبریز جراحی - هندیمان محاسبه شد که بر پایه آن سه پهنه زمین ساختی در ناحیه مشخص شد. ناحیه زاگرس

را نشان می‌دهند. پیشانی‌های کوهستانی که سریع بالا آمده‌اند، حوضه‌های کشیده و تندی را ایجاد می‌کنند و زمانی که فعالیت زمین ساختی کم یا متوقف می‌شود، عریض‌شدگی حوضه رخ می‌دهد (Ramírez-Herrera, 1998). مقدار شاخص Bs برای ناحیه مورد مطالعه بین ۱/۱۵۷۵ تا ۳/۱۶۳۴ تغییر می‌کند. بیشترین مقدار در زیر حوضه ۱۹ (نورآباد ممسنی) در طول مرز جنوب خاور حوضه جراحی - هندیمان به دست آمد (جدول ۲).

۴-۶. پیچ و خم پیشانی کوه (Smf)

شاخص پیچ و خم پیشانی کوه با رابطه زیر محاسبه می‌شود (Bull & McFadden, 1977; Bull, 1978):

$$Smf = Lmf / Ls \quad (6)$$

در این رابطه Lmf طول پیشانی کوه در دامنه آن، یعنی جایی که شیب میان کوه و حوضه پیشانی تغییر می‌کند و Ls طول مستقیم پیشانی کوه است. مقادیر برابر ۱ این شاخص، خاص نواحی فعال زمین ساختی 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 زمین ساختی را نشان می‌دهد (Rockwell 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 کیلومتر دچار فرسایش شده است (Bull & McFadden, 1977).

در این مقاله ۴۱ پیشانی کوهستانی تقریباً موازی با روند رشته کوه زاگرس مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده میان ۱/۱۵ تا ۱/۷۴ تغییر می‌کند (جدول ۲). کمترین و بیشترین مقدار Smf به زیرحوضه تخت دراز در شمال حوضه آبریز مربوط است. کم و بیش همه پیشانی‌ها دارای مقدار متوسط تا بالای Smf هستند.

۴-۷. شاخص تقارن توپوگرافیکی عرضی حوضه (T)

محاسبه این شاخص روشی برای ارزیابی میزان عدم تقارن یک رودخانه درون حوضه و تغییرات میزان نامتقارنی در بخش‌های مختلف دره است. خط میانی حوضه جایی است که رودخانه به صورت متقارن نسبت به دره قرار گرفته است و با توجه به طویل‌ترین محور حوضه رسم می‌شود. برای هر بخش رودخانه، T عبارت است از نسبت فاصله میان خط میانی تا رودخانه فعال (Da) به فاصله خط میانی تا مرز حوضه (Dd):

$$T = Da / Dd \quad (7)$$

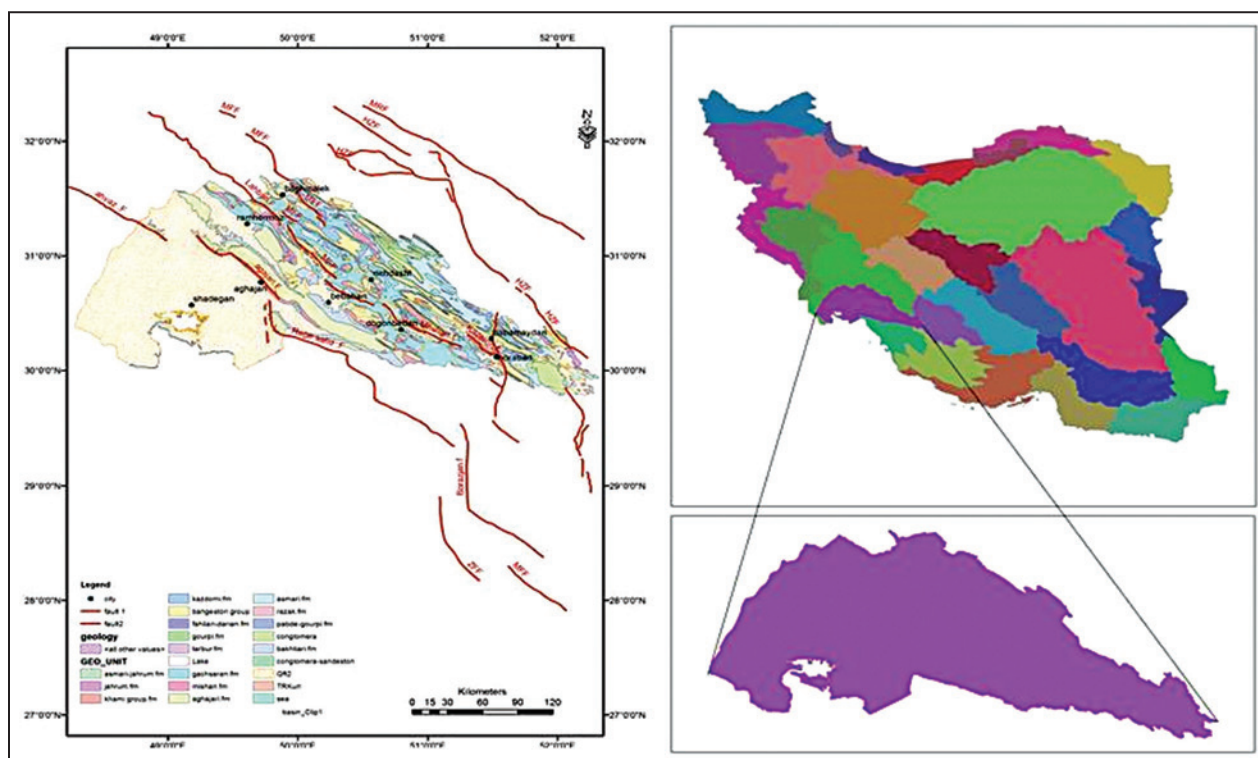
مقدار این شاخص میان ۰ و ۱ متغیر است، که کمترین و بیشترین عدم تقارن حوضه را نشان می‌دهد. مقادیر T می‌تواند به شکل بردارهای دو بعدی نشان داده شود، به گونه‌ای که طول بردار متناسب با اندازه T و سوی آن در راستای عمود بر رودخانه، نشانه سوی انحراف آن بخش از رودخانه نسبت به خط میانی است. در این پژوهش همه رودخانه‌ها و آبراهه‌ها به قطعات با طول ۲ کیلومتر تقسیم شدند و آنهایی که طول کمتر از ۲ کیلومتر داشتند، از محاسبه حذف شدند (Salvany, 2004).

۵- بحث

در این مطالعه از روشی که توسط EL Hamdouni et al. (2007) ارائه شده، برای ارزیابی زمین ساخت فعال نسبی (Iat) حوضه آبریز جراحی - هندیمان استفاده شد. شاخص‌های مختلف زمین‌ریختی که برای هر زیرحوضه محاسبه شدند، به سه رده تقسیم شدند که رده ۱ فعالیت بالا و رده ۳ فعالیت پایین را نشان می‌دهد (جدول ۲). شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) با میانگین گیری از رده‌های شاخص‌های زمین‌ریختی در هر زیرحوضه (S/n) محاسبه و خود به چهار رده تقسیم شد که رده ۱ فعالیت زمین ساختی خیلی بالا با میزان S/n میان ۱ تا ۱/۵؛ رده ۲ فعالیت زمین ساختی بالا با S/n میان ۱/۵ تا ۲؛ رده ۳ فعالیت زمین ساختی متوسط با S/n میان ۲ تا ۲/۵ و رده ۴ فعالیت زمین ساختی پایین با S/n بیشتر از ۲/۵ را نشان می‌دهد

گسل‌ها سبب تغییر مسیر رودخانه‌ها شده است. زاگرس پست یا دشت خوزستان نزدیک به ۴۰ درصد منطقه بالاترین مقدار I_{at} یا کمترین فعالیت زمین‌ساختی را دربر می‌گیرند.

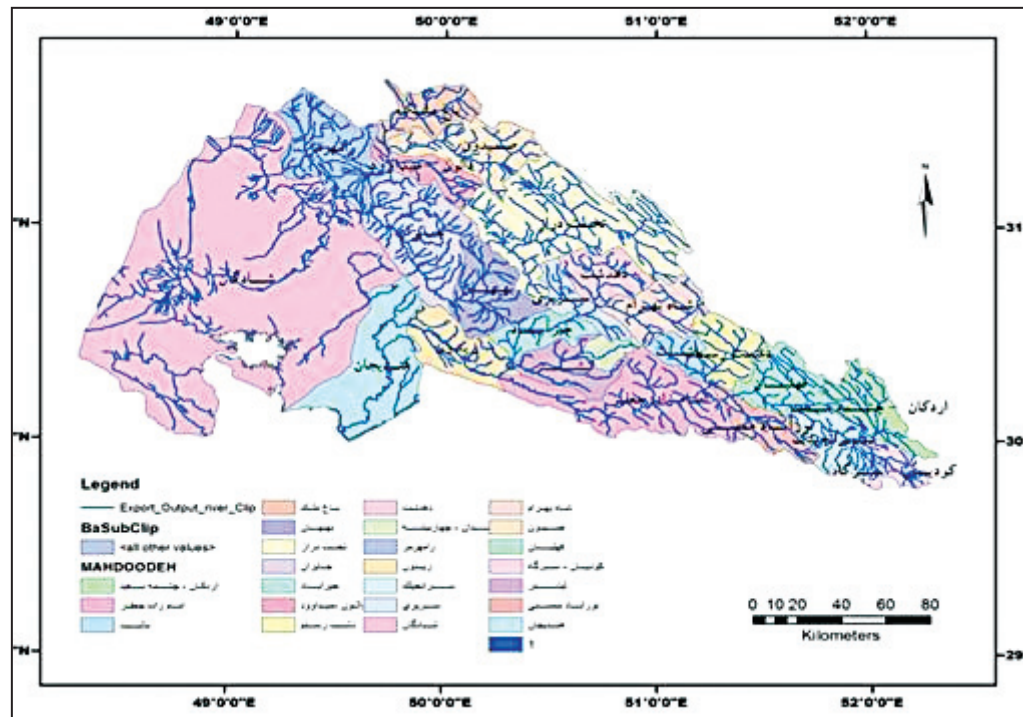
مرتفع‌ترین میزان فعالیت زمین‌ساختی را دارد. در ناحیه مورد مطالعه نزدیک به ۴۰ درصد از مساحت کل دارای I_{at} رده‌های ۱ و ۲ هستند که نشان‌دهنده فعال بودن حوضه رودخانه جراحی- هندیشان در بخش بالایی است؛ در این مناطق عملکرد



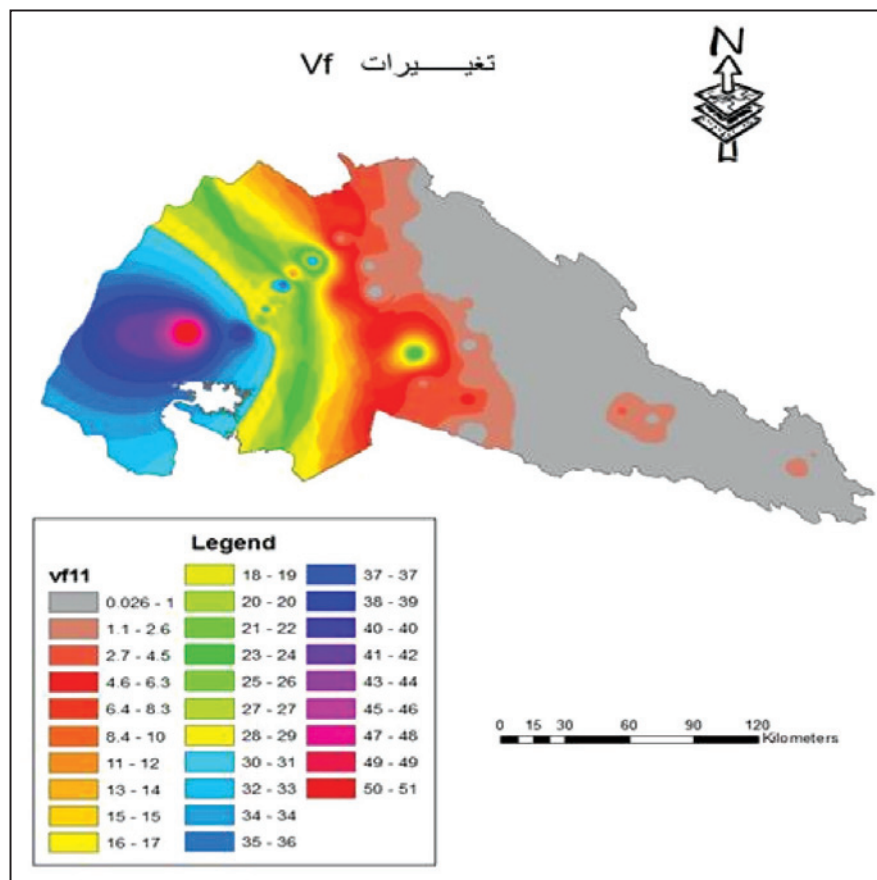
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه نسبت به کشور و وضعیت زمین‌شناسی آن.



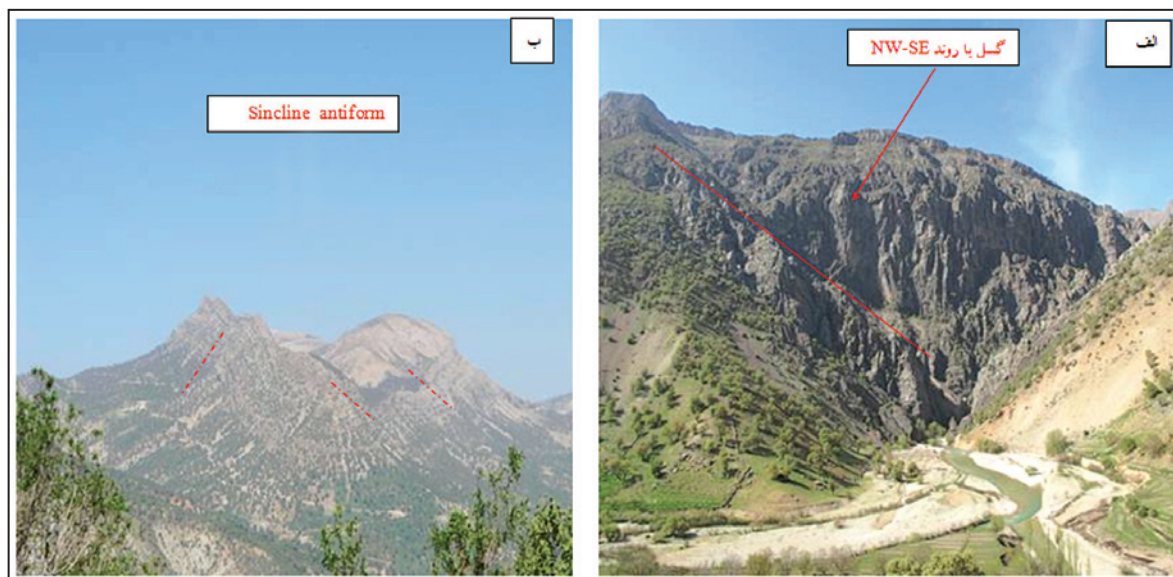
شکل ۲- توزیع شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (I_{at}) در حوضه آبریز رودخانه جراحی- هندیشان.



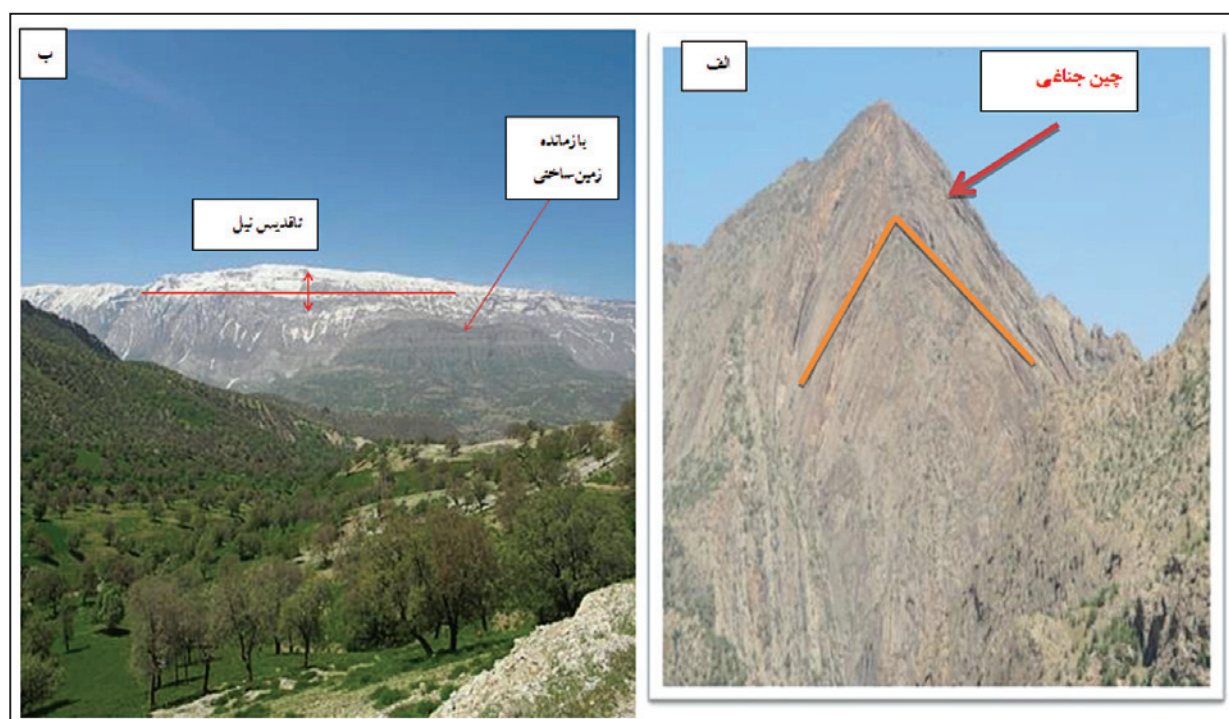
شکل ۳- زیرحوضه‌ها و آبراهه‌های به دست آمده از مدل ارتفاعی-رقومی حوضه زهکشی جراحی- هندیمان.



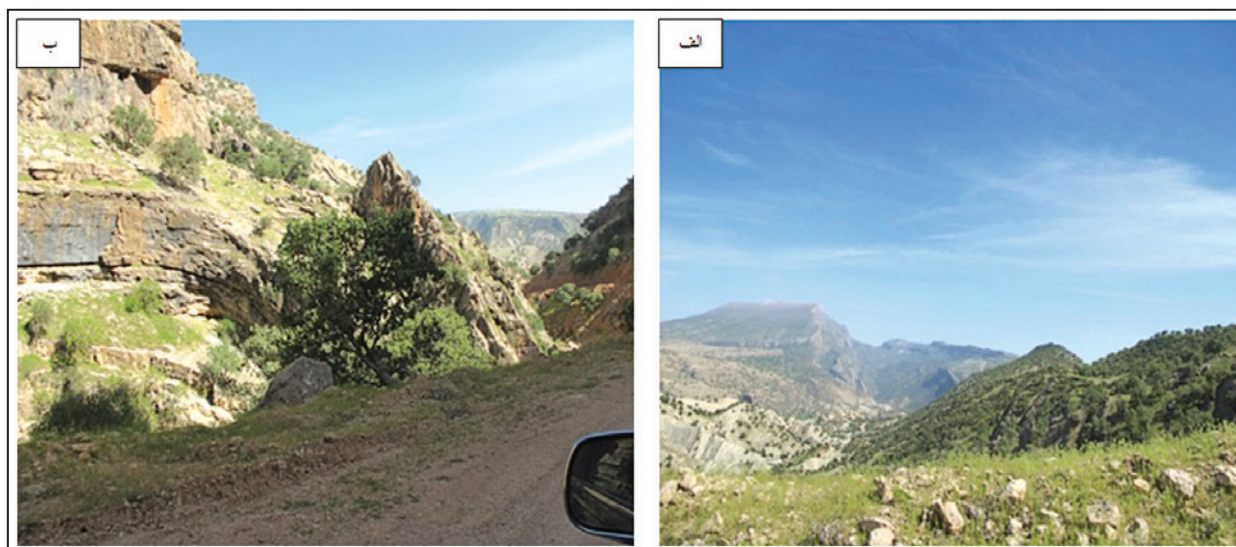
شکل ۴- طیف اندازه‌گیری شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)، در حوضه جراحی- هندیمان.



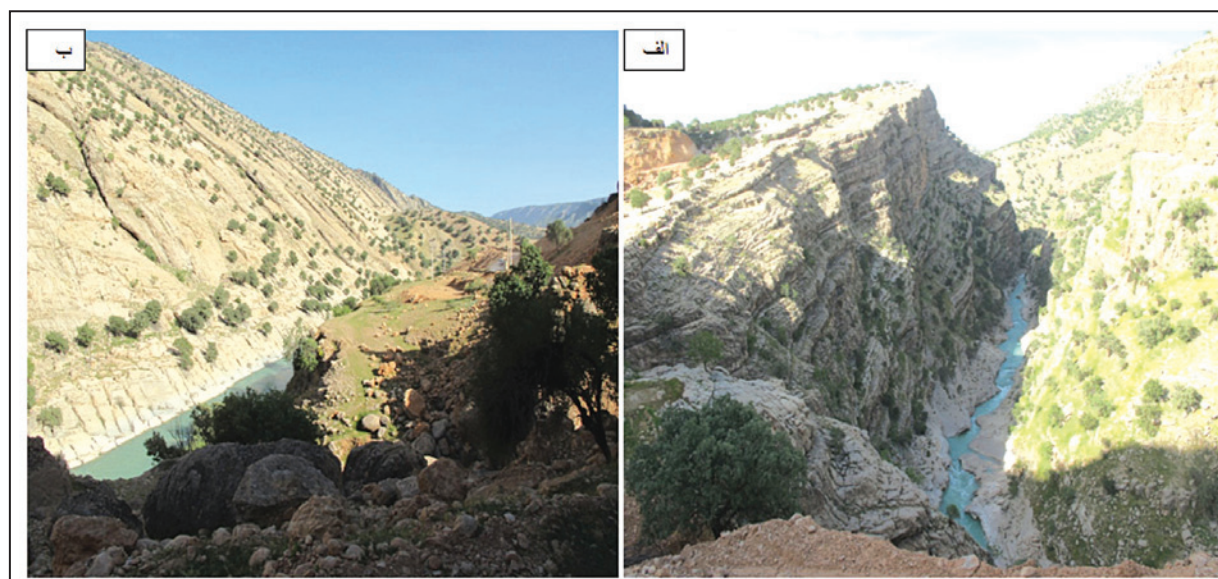
شکل ۵- الف) نمایی از یک گسل متقاطع با رودخانه که باعث تغییر مسیر رودخانه شده است؛ ب) نمایی از یک ناودیس تاقدیس گونه که در مسیر گسل زاگرس مرتفع در سرشاخه‌های جراحی (مارون) و شمال منطقه لوداب یاسوج واقع شده است.



شکل ۶- الف) تصویری از یک چین جناغی در رشته کوه زاگرس مرتفع شمال منطقه لوداب و سرچشمه رودخانه مارون؛ ب) تصویری از تاقدیس نیل با روند NW-SE در شمال شهرستان دهدشت و بازمانده زمین‌ساختی در مسیر گسل پیشانی کوهستان زاگرس.



شکل ۷- الف) نمایی از مسیر پهنه گسلی پیشانی کوهستان زاگرس (MFF) در ۳۵ کیلومتری شمال شهر دهادشت با روند NW-SE؛ ب) نمایی از گسلش و آشفته‌گی لایه‌ها در مسیر گسل.



شکل ۸- الف) نسبت پایین پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF) در رودخانه مارون منطقه زیرنا؛ ب) تشکیل رودخانه در اثر گسل عادی و آینه گسلی آن در مسیر رودخانه مارون (۲۵ کیلومتری شمال سد مارون).

جدول ۱- تقسیم‌بندی شاخص‌های زمین‌ریختی توسط EL Hamdouni et al. (2007).

رده	پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf)	نسبت عرض کف دره به درازای آن (Vf)	طول - شیب رودخانه (SL)	عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)	شکل حوضه زهکشی (Bs)
۱	$1/1 >$	$0/5 >$	میزان بی‌هنجاری بالا	$ Af-50 > 15$	$4 <$
۲	$1/1 - 1/5$	$0/5 - 1$	میزان بی‌هنجاری پایین	$ Af-50 = 7 - 15$	$3 - 4$
۳	$1/5 <$	$1 <$	بدون بی‌هنجاری	$ Af-50 < 7$	$3 >$

جدول ۲- تقسیم‌بندی شاخص‌های زمین‌ریختی و زمین‌ساخت فعال نسبی در زیرحوضه‌های حوضه آبریز جراحی- هندیشان.

Sub basin	name	Hi	Class (hi)	vf	Class (vf)	BS	Class (Bs)	Smf	Class (Smf)	Af	Class (Af)	Sl	Class (Sl)	S/n	Lat
0	شادگان	0.193	3	32.63	3	1.1575	3		1	44.02166	3	14.2389	3	2.66667	4
1	رامهرمز	0.4008	2	32.4	3	1.4129	3	1.0342	1	59.86388	2	37.2176	3	2.33333	3
2	دالون-میداوود	0.4482	2	2.59	3	3.0889	2	1.059	1	42.37553	2	412.456	2	2	3
3	باغملک	0.4529	2			1.8968	3	1.0656	1	67.13527	1	599.075	1	1.33333	1
4	صیدون	0.5763	1			1.9378	3	1.0407	1	62.84709	2	672.221	1	1.33333	2
5	جایزان	0.2576	3	2.53	3	1.8679	3	1.0417	1	80.48119	1	200	3	2.33333	3
6	بهبهان	0.2941	3	8.9	3	1.5961	3	1.0564	1	36.80915	2	186.218	3	2.5	4
7	تخت دراز	0.6006	1	0.3	1	1.4067	3	1.0938	1	81.41351	1	2995.16	1	1.33333	1
8	هندیشان	0.2593	3			2.3808	3			61.75084	2	60.0343	3	1.83333	2
9	زیدون	0.3125	3			2.2802	3	1.0417	1	66.52734	1	50	3	1.83333	2
10	لیشتر	0.3387	3			1.7284	3	1.0516	1	71.6758	1	344.08	2	1.66667	2
11	دوگنبدان-چهاربیشه	0.4501	2	0.28	1	1.2488	3	1.1212	2	57.71388	2	466.611	2	2	3
12	خیرآباد	0.3314	3	2.22	3	2.6376	3	1.0457	1	35.73054	2	125.425	3	2.5	4
13	سرپری	0.3251	3			3.0136	2	1.1276	2	70.598	1	35	3	1.83333	2
14	دهدشت	0.3413	3	0.426	1	1.3294	3	1.0472	1	68.32135	1	401.869	2	1.83333	2
15	شاه بهرام	0.5877	1	0.111	1	1.5093	3	1.0389	1	56.68584	3	637.787	1	1.66667	2
16	امامزاده جعفر	0.4638	2	0.591	2	2.3609	3	1.0305	1	51.87137	3	151.093	3	2.33333	3
17	دشت رستم	0.4783	2	0.564	2	1.2448	3	1.0604	1	55.32378	3	91.165	3	2.33333	3
18	باش	0.3628	3	1.518	3	1.7387	3	1.0521	1	28.27351	1	188.698	3	2.33333	3
19	نورآباد ممسنی	0.4294	2	0.36	1	3.1634	2	1.0317	1	45.47525	3	389.178	2	1.83333	2
20	فهلان	0.5353	1	0.23	1	1.4237	3	1.0996	2	67.4827	1	339.787	2	1.66667	2
21	سرانجیلک	0.5852	1	0.41	1	1.7707	3	1.0317	1	25.21474	1	204.927	3	1.66667	2
22	کودیان-سرگاه	0.5231	1	0.36	1	1.6468	3	1.0195	1	57.9575	2	497.945	2	1.66667	2
23	اردکان - چشمه سفید	0.4865	2	0.69	2	2.3823	3	1.0249	1	50.68093	3	601.911	1	2	3

References

- 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-G-394, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, CA.
- Bull, W. B. & McFadden, L. D., 1977- Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D. O (eds), Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton, pp. 115-138.
- EL Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J. & Keller, E. A., 2007- Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). Geomorphology. Article in press.
- 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. 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. T (eds). Allen and Unwin, Boston, 75-104.
- 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.
- Keller, E. A. & Pinter, N., 2002- Active tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice Hall: New Jersey.
- 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, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis. Geological Society of America Bulletin 82, 1079-1084.
- Ramírez-Herrera, M. A., 1998- Geomorphic assessment of active tectonics in the AcambayGraben, 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. Geological Society of America Bulletin 63, 1117-1142.

Geomorphic Signatures of Active Tectonics in the Jarahi-Hendijan Drainage Basin (Marun-Zohreh Rivers) in South-West Iran

J. Ehsani ^{1*}, M. Arian ² & M. Ghorashi ³

¹ Ph.D. Student, Islamic Azad University (IAU), Science and Research Branch, Tehran, Iran

² Associate Professor, Islamic Azad University (IAU), Science and Research Branch, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Islamic Azad University (IAU), North Tehran Branch; Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2014 April 21

Accepted: 2014 July 26

Abstract

This paper aims at evaluating relative active tectonics in the Jarahi-Hendijan drainage basin based on geomorphic indices. Indices used include: stream length-gradient index (SL), drainage basin asymmetry (Af), hypsometric integral (Hi), ratio of valley-floor width to valley height (Vf), index of drainage basin shape (Bs), and index of mountain front sinuosity (Smf). Results from the analyses were combined to achieve an index of relative active tectonics (Iat), which is divided into four classes implying relatively low to very high tectonic activity. The study area is located across the Zagros Mountains belt (high Zagros, folded belt, and frontal lowlands) in southwest Iran, and comprises an ideal location to test the concept of an index to predict relative tectonic activity on a basis of area rather than a single valley or mountain front. Recent investigations show that neotectonism has played a key role in the geomorphic evolution of this part of the Zagros ranges. Geomorphic indices indicate the presence of differential uplifting in the geological past. Higher values of Iat (low tectonic activity) mainly occur in the southwest of the Jarahi- Hendijan drainage basin, while the rest of the study area falls into classes of Iat that indicate moderate to high tectonic activity. Baghmalek and Takhtderaz sub-basins show the highest values of relative tectonic activity. The distribution of this index defines areas associated with different faults and relative rates of tectonic activity. Nearly 40% of the study area is classified into Classes 1 and 2 implying very high to high tectonic activity, and 37% is grouped as Class 4, which is taken to indicate low tectonic activity. Areas of higher relative tectonic activity represent lower Iat values.

Keywords: Geomorphology indexes, Active tectonics, Drainage basin, Asymmetry, Zagros.

For Persian Version see pages 211 to 218

*Corresponding author: J. Ehsani; E-mail: j_ehsani911@yahoo.com