

# نشانه‌های زمین‌ریختی زمین ساخت فعال حوضه رودخانه کرج در دامنه جنوبی البرز مرکزی، شمال ایران

رضوان خاوری<sup>۱\*</sup>، منوچهر قرشی<sup>۲</sup>، مهران آرین<sup>۱</sup> و خسرو خسروتهرانی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

<sup>۲</sup>دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

<sup>۳</sup>پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۹/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۶/۲۷

## چکیده

در این مقاله به بررسی زمین ساخت فعال نسبی حوضه کرج بر اساس شاخص‌های زمین‌ریختی پرداخته شده است. این شاخص‌ها عبارتند از: شاخص طول-شیب رودخانه (SL)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، انتگرال فرازونجی (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 زمین ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه شد و به چهار رده شامل مناطق خیلی فعال تا مناطق با فعالیت کم، تقسیم‌بندی شد. ناحیه مورد بررسی در دامنه جنوبی البرز مرکزی در شمال ایران، یک مکان مناسب برای بررسی زمین ساخت فعال نسبی است. بررسی‌های اخیر نشان می‌دهد که نو زمین ساخت، نقش مهمی در تکامل زمین‌ریختی این بخش از البرز دارد. شواهد زمین‌ریختی، بالاآمدگی مختلفی را در گذشته زمین‌شناسی ناحیه، نشان می‌دهند. رده‌های بالای Iat (فعالیت کم زمین ساختی) بیشتر در جنوب و بخش مرکزی حوضه زهکشی کرج به دست آمد، در حالی که بقیه ناحیه دارای رده‌های متوسط تا بالای فعالیت است. اطراف دریاچه امیرکبیر، بیشترین میزان زمین ساخت فعال نسبی را نشان می‌دهد. پراکندگی این شاخص نواحی مربوط به فعالیت گسل‌های مختلف و نرخ‌های نسبی زمین ساخت فعال را مشخص می‌سازد. بیش از نیمی از مساحت کل ناحیه مورد مطالعه در رده‌های یک و دو، یعنی با فعالیت خیلی بالا و بالا، قرار دارد. محیط‌های با نرخ‌های بالاتر فعالیت، شاخص Iat بزرگ‌تری دارند. شاخص تقارن توبوگرافیکی عرض حوضه (T)، همچنین در ناحیه مورد مطالعه محاسبه شد. نتیجه اندازه‌گیری این شاخص در حوضه کرج و زیرحوضه‌های آن به شکل نقشه‌ای از بردارهای T تهیه شد. پس از مقایسه مقادیر این شاخص با نقشه رده‌بندی زمین ساخت فعال نسبی، تطبیق نواحی رده بالا با پهنه‌های دارای مقادیر بالای عدم تقارن تأیید شد.

**کلیدواژه‌ها:** شاخص‌های زمین‌ریختی زمین ساخت فعال، حوضه زهکشی، عدم تقارن، البرز مرکزی.

\*نویسنده مسئول: رضوان خاوری

## ۱- مقدمه

مساحتی حدود  $1085 \text{ km}^2$ ، طول  $59 \text{ km}$  و عرض  $37 \text{ km}$  است (شکل ۱). رودخانه کرج با طول حدود  $67 \text{ km}$  در بخش جنوبی البرز مرکزی از ارتفاع  $2200 \text{ m}$  از سطح دریا شروع شده، به سمت جنوب تا دریاچه امیرکبیر ادامه دارد و در انتها در ارتفاع  $1360 \text{ m}$  از سطح دریا، در مخروط افکنه آبرفتی کرج، شاخه شاخه می‌شود (شکل ۱). بیشترین ارتفاع ناحیه حدود  $4400 \text{ m}$  روی مرز حوضه زهکشی کرج (واقع در آزادکوه، شمال خاور حوضه) دیده می‌شود و کمترین آن  $1300 \text{ m}$  در نقطه خروجی حوضه است. سنگ‌شناسی ناحیه، شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی پرکامبرین، پالئوزویک و مزوزویک در بخش شمالی حوضه کرج است، که در راستای گسل مشا، به سمت جنوب بر روی سنگ‌های ائوسن سازند کرج رانده شده‌اند (Ehteshami and Yassaghi, 2006). سازند کرج به شکل یک سری ناودیس‌هایی در جنوب حوضه مورد مطالعه، فرودریواره گسل مشا را تشکیل می‌دهد. گسل شمال تهران که سنگ‌های سازند کرج را به سمت جنوب بر روی نهشته‌های آبرفتی پهنه کوهپایه‌ای قرار می‌دهد، مرز جنوبی حوضه کرج است (شکل ۲). چین‌های موجود در سنگ‌های ائوسن در دو راستای NE و NW جهت یافتگی دارند. محور سری با روند NE به وسیله چین‌ها و رانندگی‌های جوان تر با روند NW دوباره کج شده است (شکل ۲). (Allen et al., 2003). سری چین‌های با روند NW را با کوتاه‌شدگی مایل با مؤلفه چپ‌گرد در گسل شمال تهران هماهنگ می‌داند و سری با روند NE را نتیجه عملکرد یک فاز حرکتی راست‌گرد در گسل شمال تهران یا یک ساختار مشابه می‌داند، که خود نیز مستلزم یک تغییر از لغزش راست‌گرد به چپ‌گرد در زمان پس از ائوسن در این بخش البرز است. چنین الگوی دوبار چین‌خورده‌ای ممکن است نتیجه کلی تغییر جهت کوتاه‌شدگی مایل باشد (Allen et al., 2001). نهشته‌های

رشته کوه البرز در حاشیه جنوبی حوضه کاسپین جنوبی، با عرض  $100 \text{ km}$  و طول  $2000 \text{ km}$  از قفقاز کوچک در شمال باختر تا رشته کوه‌های پاروپامیسوس در شمال افغانستان در خاور گسترده است و زمین ساخت فعالی را نشان می‌دهد (Berberian and Yeats, 2001). در مقیاس ناحیه‌ای، به دست آوردن نرخ زمین ساختی یا حتی دانستن این که در کدام ناحیه خاص مطالعات کمی برای تعیین نرخ فعالیت صورت گیرد، مشکل است. در این مقاله، از یک روش کمی بر اساس شاخص‌های زمین‌ریختی، برای تعیین میزان فعالیت زمین ساختی حوضه کرج استفاده شده است (Hamdouni et al., 2007). این شاخص‌ها در مطالعه زمین ساخت فعال نسبی بر اساس تهیه یک شاخص منفرد بسیار مفید شناخته شده‌اند (Bull and McFadden, 1977; Azor et al., 2002; Keller and 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 and McFadden (1977) و Rockwell et al. (1985) صورت گرفته است. بیشتر بررسی‌های شاخص‌های زمین‌ریختی به محاسبه شاخص‌های خاص در مقیاس منطقه‌ای، مانند حوضه زهکشی یا پیشانی کوه، پرداخته‌اند. بجز شاخص طول-شیب آبراهه (SL)، بیشتر شاخص‌ها در مقیاس ناحیه‌ای بررسی نشده‌اند. (Silva et al., 2003) زمین ساخت فعال نسبی پیشانی‌های مختلف کوه را در جنوب باختر اسپانیا، با محاسبه شاخص‌های Smf و Vf مورد بررسی قرار داده، اما در مطالعه خود از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، استفاده نکرده‌اند.

## ۲- ناحیه مورد مطالعه

حوضه زهکشی رودخانه کرج در دامنه جنوبی البرز مرکزی، در شمال ایران، دارای

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

در این رابطه  $Ar$  مساحت سمت راست حوضه (دید به سمت پایین دست) و  $At$  مساحت کل حوضه است. اگر حوضه‌ای در شرایط پایدار بدون کج شدگی یا با مقدار کم 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 نشان دهنده کج شدگی حوضه است، که می‌تواند در نتیجه فعالیت زمین‌ساختی یا ساختارهای حاصل از ویژگی‌های سنگ‌شناسی باشد. نتایج نشان داده شده در جدول ۲ شامل مقادیر ۵۰ -  $Af$  است، که مقدار انحراف از حالت پایدار را نشان می‌دهد. مقادیر  $Af$  از متوسط تا بالا برای ناحیه مورد بررسی تغییر می‌کند. بیشترین مقدار این شاخص در بخش جنوبی حوضه کرج به دست آمد.

#### ۳-۴. انتگرال فراسنجی (Hi)

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

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

داده‌های لازم برای محاسبه انتگرال فراسنجی از مدل ارتفاعی - رقمی ناحیه تهیه می‌شود. ارتفاع میانگین از انتخاب ۵۰ نقطه ارتفاعی به طور تصادفی در حوضه به دست می‌آید. مقدار این شاخص برابر مساحت زیر سطح منحنی فراسنجی است. انتگرال فراسنجی به طور مستقیم با زمین‌ساخت فعال رابطه ندارد. مقادیر بالای این شاخص مربوط به نواحی فعال و جوان زمین‌ساختی است، درحالی که مقادیر پایین آن با نواحی قدیمی که دچار فرسایش زیاد شده و کمتر تحت تأثیر زمین‌ساخت فعال قرار گرفته‌اند، مرتبط است (Hamdouni et al., 2007). مقادیر انتگرال فراسنجی برای ۶۲ زیرحوضه در ناحیه مورد بررسی، 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 and McFadden, 1977; Bull, 1978)، به شکل زیر توصیف شده است:

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

در این رابطه  $Vf_w$  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 این که مقدار بالا آمدگی با میزان فروکاوی دره مرتبط است، بنابراین مقدار پایین  $Vf$  مربوط به نواحی با نرخ بالا آمدگی زیاد است. در ناحیه مورد مطالعه، میزان این شاخص برای دره‌های اصلی که پیشانی‌های گسلی را قطع می‌کنند، محاسبه شد (شکل ۵). بر اساس نظر Silva et al. (2003)، محاسبه  $Vf$  در فاصله مشخصی از پیشانی گسلی صورت می‌گیرد. در حوضه کرج این فاصله بین ۱ تا ۱/۵ km، بسته به اندازه حوضه زهکشی تغییر کرد، به نحوی که در حوضه‌های کوچک اندازه‌گیری با فاصله ۱ km و در حوضه‌های بزرگ‌تر با فاصله ۱/۵ km از پای دره صورت گرفت (جدول ۲). کم و بیش تمام ناحیه، بجز بخش جنوبی پایین دست حوضه و بخش شمال باختر ناحیه، مقدار  $Vf$  بالایی را نشان می‌دهد.

#### ۴-۵. شاخص شکل حوضه (Bs)

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

آبرفتی در دره کرج کمیاب است، بنابراین رودخانه بیشترین بخش مسیر خود را بر روی بستر سنگی طی می‌کند. این مسئله نشان می‌دهد که رودخانه کرج از نوع سنگ‌بستری است، که در آن نیروهای فرسایشی بیشتر از نیروهای مقاوم عمل کرده و بیشتر نهشته‌های تولید شده به خارج از مسیر منتقل شده است.

### ۳- تعیین الگوی زهکشی حوضه رودخانه کرج با استفاده از مدل رقمی ارتفاعی ناحیه

با استفاده از توابع مدل‌سازی آب‌شناسی (Arc Hydro Tools) و مدل رقمی 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 رقمی ارتفاعی ناحیه مورد مطالعه، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، به شکل Raster تهیه شد، که پس از تجزیه توسط نرم افزار، ۱۲۰ زیرحوضه برای حوضه رودخانه کرج به دست آمد. پس از مقایسه نتایج به دست آمده با نقشه‌های توپوگرافی ناحیه، مشخص شد که ۵۸ زیرحوضه در مسیر رودخانه‌های اصلی قرار دارند، که بر اساس نظر Hamdouni et al. (2007)، در انجام محاسبات به عنوان بخشی از حوضه‌های بزرگ‌تر در نظر گرفته می‌شوند. شکل ۳ الگوی زهکشی حوضه کرج را با ۶۲ 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، نیرمخ طولی و ریخت‌شناسی دره رود، یا سیمای زمین‌ساختی مانند پرتگاه‌های گسلی به کار روند. شاخص‌های زمین‌ساختی قادر به تعیین پهنه‌های مختلفی که در نتیجه تغییر محلی فعالیت زمین‌ساختی ایجاد شده‌اند، هستند. در این پژوهش، چندین شاخص زمین‌ریختی در زیرحوضه‌های رودخانه کرج (شکل ۳) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مربوط به هر شاخص بر اساس مقادیر به دست آمده برای آن شاخص، به سه رده فعالیت زمین‌ریختی تقسیم شد. میانگین رده‌های تمام شاخص‌های مربوط به هر زیرحوضه محاسبه و خود به چهار رده فعالیت زمین‌ساختی تقسیم شد (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 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 and Pinter, 2002). مقادیر این شاخص در ناحیه مورد مطالعه با استفاده از مدل رقمی ارتفاعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی محاسبه شد و در شکل ۴ نشان داده شده است. رده‌بندی این شاخص بر اساس روش Hamdouni et al. (2007) صورت گرفته است (جدول ۱).

#### ۴-۲. 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 and Gardner, 1985; Keller and Pinter, 2002). شاخص  $Af$  بر اساس

رابطه زیر محاسبه می‌شود:

ارزیابی زمین ساخت فعال نسبی (Iat) حوضه رودخانه کرج استفاده شد. شاخص های مختلف زمین ریختی که برای هر زیرحوضه محاسبه شدند، به سه رده تقسیم شدند، که رده ۱ فعالیت بالا و رده ۳ فعالیت پایین را نشان می دهد (جدول ۲). شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) با میانگین گیری از رده های شاخص های زمین ریختی 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 بین ۱ تا ۱/۵؛ رده ۲ فعالیت زمین ساختی بالا با S/n بین ۱/۵ تا ۲؛ رده ۳ فعالیت زمین ساختی متوسط با S/n بین ۲ تا ۲/۵؛ و رده ۴ فعالیت زمین ساختی پایین با S/n بیشتر از ۲/۵ را نشان می دهد (Hamdouni et al., 2007). میانگین شاخص های زمین ریختی (S/n) و مقادیر زمین ساخت فعال نسبی (Iat) برای ۶۲ زیرحوضه در ناحیه مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است و این نتایج به صورت مدلی از فعالیت زمین ساختی نسبی در شکل ۷ نشان داده شده است. پراکندگی شاخص ها نواحی مرتبط با پیشانی های گسلی مختلف و در نتیجه نرخ های مختلف فعالیت زمین ساختی را نشان می دهد. در ناحیه مورد مطالعه حدود ۷/۸٪ معادل با  $84/7 \text{ km}^2$  از کل حوضه را رده ۱ (فعالیت زمین ساختی نسبی خیلی بالا)؛ ۴۶/۴٪ معادل با  $503/37 \text{ km}^2$  را رده ۲ (فعالیت زمین ساختی نسبی بالا)؛ ۴۲٪ معادل با  $454/036 \text{ km}^2$  را رده ۳ (فعالیت زمین ساختی نسبی متوسط) و ۳/۸٪ معادل با  $41/44 \text{ km}^2$  را رده ۴ (فعالیت زمین ساختی نسبی پایین) تشکیل می دهند. بنابراین بیش از نیمی از مساحت کل ناحیه مورد مطالعه را پهنه های با فعالیت زمین ساختی نسبی بالا و خیلی بالا تشکیل می دهند. بر اساس مدل ارائه شده، سه پهنه زمین ساختی در ناحیه مورد مطالعه قابل تشخیص است:

۱- پهنه با فعالیت زمین ساختی نسبی خیلی بالا تا بالا؛ در بخش فرودواره گسل مشا، در اطراف دریاچه امیرکبیر، Iat از مقادیر بالا تا خیلی بالا تغییر می کند. این بخش از جمله مناطقی است که اطلاعات کمی در رابطه با زمین ساخت فعال آن وجود دارد. از ساختارهای اصلی موجود در این پهنه، گسل پورکان-وردیج در مرز جنوبی این پهنه فعال است، که یک پیشانی گسلی با کمترین میزان پیچ و خم را تشکیل می دهد و نمایانگر زمین ساخت فعال آن است (شکل ۷). پیشانی های گسلی مستقیم و زهکش های فروکاو شده ژرف به خوبی پرتگاه های با ارتفاع زیاد را مشخص می نمایند. تراکم شکستگی ها و وجود گسل های کوچک معکوس در نزدیکی این گسل در نزدیکی روستای پورکان، می تواند شاهدی برای فعال بودن آن باشد. همچنین بر اساس نقشه مغناطیس هوایی تهران (GSI, 1977)، یک خطواره پی سنگی شمال خاوری- جنوب باختری (F3 در شکل ۷)، در زیر رودخانه کرج، در این بخش قرار دارد و رودخانه کرج نیز به همین دلیل دارای این جهت گیری شده است. بیشترین ارتفاع در بلوک شمال باختری این گسل، ۳۳۷۸ m در کوه سیاه سنگ است، در حالی که بلوک جنوب خاوری دارای بیشترین ارتفاع ۳۹۵۷ m در قله توچال است (شکل ۷). به بیان دیگر هر چند که سنگ شناسی چیره رخنمون یافته در طرفین گسل F3 سازند کرج است، لیکن بلوک جنوب خاوری دارای ارتفاع میانگین (۲۸۳۳ m) بیشتری نسبت به بخش شمال باختری (۲۳۳۴ m) آن است. شواهد موجود و بررسی نقشه زمین شناسی ناحیه نشان می دهند که افزون بر گسل مشا در شمال این پهنه، دو راندگی طولی امامزاده داوود و پورکان-وردیج در بلوک جنوب خاوری سبب کوتاه شدگی و بالا آمدگی بیشتر این بخش نسبت به بلوک شمال باختری شده اند. بدین ترتیب باید گسل پی سنگی F3 را به عنوان عامل کنترل کننده تغییر میزان کوتاه شدگی در بلوک های طرفین آن دانست.

۲- زون با فعالیت پایین تا متوسط بخش مرکزی حوضه کرج؛ با توجه به این که اغلب بالادست حوضه های زهکشی نسبت به پایین دست آنها تحت

$$B_s = B_l/B_w \quad (5)$$

در این رابطه  $B_l$  طول حوضه، فاصله پایین ترین ارتفاع حوضه تا دورترین نقطه از آن، و  $B_w$  عرض حوضه، که در عرض ترین بخش آن اندازه گیری می شود، است. مقادیر بزرگ این شاخص مربوط به حوضه های کشیده در نواحی فعال زمین ساختی است، در حالی که مقادیر کوچک آن حوضه های دایره ای شکل نواحی غیرفعال را نشان می دهند. پیشانی های کوهستانی که سریع بالا آمده اند، حوضه های کشیده و تندی را ایجاد می کنند و زمانی که فعالیت زمین ساختی کم یا متوقف می شود، عرض شدگی حوضه رخ می دهد (Ramirez-Herrera, 1998). مقدار شاخص  $B_s$  برای ناحیه مورد مطالعه بین ۱/۲۴ تا ۵/۲۱ تغییر می کند. بیشترین مقدار در طول مرز شمال خاوری حوضه کرج به دست آمد (جدول ۲).

#### ۴-۶. پیچ و خم پیشانی کوه (Smf)

شاخص پیچ و خم پیشانی کوه بر اساس رابطه زیر محاسبه می شود (Bull & McFadden, 1977; Bull, 1978):

$$S_{mf} = L_{mf}/L_s \quad (6)$$

در این رابطه  $L_{mf}$  طول پیشانی کوه در دامنه آن، یعنی جایی که شیب بین کوه و حوضه پیشانی تغییر می کند، است و  $L_s$  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  $S_{mf}$  افزایش می یابد. مقادیر کمتر از ۱/۴ پیشانی های فعال زمین ساختی را نشان می دهد (Rockwell et al., 1985; Keller, 1986)، در حالی که مقادیر بیشتر از ۳ به پیشانی های غیرفعال مربوط است، که در آنها پیشانی گسل بیش از ۱ km دچار فرسایش شده است (Bull and McFadden, 1977). در این مقاله ۲۹ پیشانی گسلی موازی با روند رشته کوه البرز، مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۶). نتایج به دست آمده بین ۱/۰۰۳۴ تا ۱/۷۸ تغییر می کند (جدول ۲). کمترین مقدار  $S_{mf}$  به گسل پورکان-وردیج در جنوب حوضه کرج مربوط است. کم و بیش همه پیشانی ها دارای مقدار متوسط تا بالای  $S_{mf}$  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 بخش های مختلف دره است. خط میانی حوضه جایی است که رودخانه به صورت متقارن نسبت به دره قرار گرفته است و با توجه به طول ترین محور حوضه رسم می شود. برای هر بخش رودخانه، T عبارت از نسبت فاصله بین خط میانی تا رودخانه فعال (Da)، به فاصله خط میانی تا مرز حوضه (Dd)، است:

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

مقدار این شاخص بین ۰ و ۱ متغیر است، که کمترین و بیشترین عدم تقارن حوضه را نشان می دهد. مقادیر T می تواند به شکل بردارهای دو بعدی نشان داده شود، به نحوی که طول بردار متناسب با اندازه T و سوی آن در راستای عمود بر رودخانه، نشانه سوی انحراف آن از رودخانه نسبت به خط میانی است. در این مقاله بر اساس نظر (Salvany 2004)، تمام رودخانه ها و آبراهه ها به قطعه های با طول ۲ km تقسیم شدند و آنهایی که طول کمتر از ۲ km داشته، از محاسبه حذف شدند. بردارهای میزان کج شدگی برای رودخانه کرج و شاخه های آن برای مقایسه با نتایج شاخص های زمین ریختی ناحیه رسم شدند.

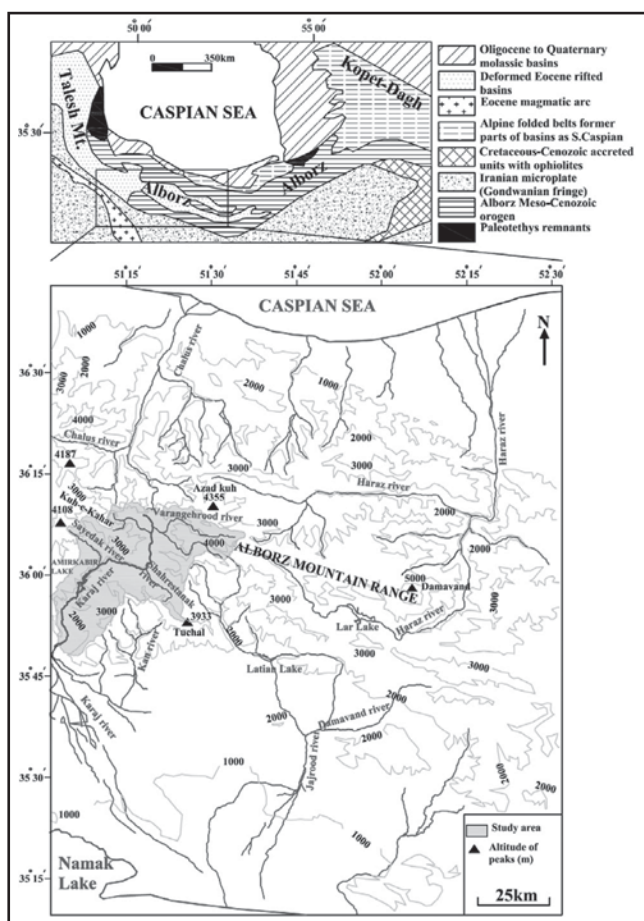
#### ۵- بحث

در این مطالعه از روشی که توسط Hamdouni et al. (2007) ارائه شده، برای

که بر اساس آن سه پهنه زمین‌ساختی در ناحیه مشخص شد. نواحی اطراف دریاچه امیرکبیر بیشترین میزان فعالیت زمین‌ساختی را داراست. در ناحیه مورد مطالعه بیش از نیمی از مساحت کل، دارای ۱ و ۲ رده‌های است، که نشان دهنده فعال بودن حوضه رودخانه کرج است. مقایسه بردارهای عدم تقارن در حوضه زهکشی کرج به طور آشکار با میزان و رده فعالیت زمین‌ساختی نسبی همخوانی دارد و فعالیت خیلی بالا و بالای زمین‌ساخت نسبی با نواحی که رودخانه‌ها با بالای کج‌شدگی را نشان می‌دهند، منطبق است.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای کمک در تهیه داده‌ها کمال تشکر را دارند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه.

جدول ۱- تقسیم‌بندی شاخص‌های زمین‌ریختی توسط (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	۱/۱ >	۰/۵ >	میزان ناهنجاری بالا	۱۵ >  Af-۵۰	۴ <
۲	۱/۱- ۱/۵	۰/۵- ۱	میزان ناهنجاری پائین	۷-۱۵ =  Af-۵۰	۳-۴
۳	۱/۵ <	۱ <	بدون ناهنجاری	۷ <  Af-۵۰	۳ >

تأثیر فرسایش فعال و بالاآمدگی سریع سنگ‌ها قرار دارند، (Hayakawa and Oguchi, 2006)، بنابراین انتظار می‌رود بخش مرکزی حوضه کرج، که در بردارنده فرادیواره گسل مشا در زون البرز مرتفع است، به طور کامل فعالیت بالایی را نشان دهد. (Yassaghi & Madanipour, 2008)، به عملکرد یک سری گسل‌ها و صفحه‌های راندگی در فرادیواره گسل مشا در دره والیان (باختر حوضه کرج) اشاره کرده‌اند و بر اساس بررسی‌های خود در این بخش، فعالیت بالایی را برای فرادیواره گسل مشا نشان داده‌اند، درحالی که نتایج به دست آمده از این پژوهش تنها برای بخش باختری گسل، فعالیت زمین‌ساختی بالایی را نشان می‌دهد و در بخش خاوری حوضه کرج، به طور محلی سطح فعالیت زمین‌ساختی نسبی، به رده متوسط می‌رسد (شکل ۷). جابه‌جایی پلیستوسن-کواترنری این گسل ۳۵ km برآورد شده است، که با نرخ ۷ mm/y در یک دوره ۵ my منطبق است (Allen et al., 2003). عملکرد گسل مشا در حوضه کرج به شکل راندگی کم شیب است، اما علائم توصیف‌کننده فعالیت اخیر گسل در این ناحیه وجود ندارد (Allen et al., 2003). بخش جنوبی حوضه کرج شاخص‌ترین ناحیه‌ای است که با توجه به موقعیت آن در حاشیه شمالی پهنه کوهپایه‌ای، فعالیت زمین‌ساختی پایین تا متوسطی را نشان می‌دهد. به دست آمدن چنین نتیجه‌ای در پایین دست حوضه دور از انتظار نیست (شکل ۷).

۳- پهنه با فعالیت بالا در شمال حوضه کرج؛ فعالیت بالای این بخش را می‌توان به وجود گسل‌های فعال کندوان و طالقان در محدوده شمالی و جنوبی آن نسبت داد (شکل ۷). گسل طالقان در همه مقیاس‌ها یک پرتگاه گسلی آشکار را نشان می‌دهد، که گسیختگی سطحی اخیر (پلیوسن- هولوسن) در طول آن دیده می‌شود (Ritz et al., 2006). پیشانی گسلی نشان‌دهنده سیمایهای مثلی خوب تکامل یافته است، که به وسیله قطع شدن آبراه‌ها در طول مرز شمالی حوضه کرج ایجاد شده است. این سیمایها نشان‌دهنده گسل‌خوردگی فعال در طی کواترنر هستند (Silva, 1994). وجود دره‌های تنگ با شیب زیاد، از جمله دره ولایت رود، از ویژگی‌های این پهنه فعال است.

توصیف بالا از سیمایهای زمین‌ساختی ناحیه به خوبی با نتایج به دست آمده از شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی منطبق است. شاهد دیگر برای مدل رده‌بندی زمین‌ساخت نسبی حوضه کرج، بردارهای عدم تقارن حوضه است (شکل ۸). میزان و جهت کج‌شدگی در بخش‌های مختلف حوضه متفاوت است. رودخانه کرج دارای بیشترین مقدار انحراف به سمت W-NW در اطراف دریاچه امیرکبیر (پهنه خیلی فعال) است. سایر شاخه‌ها با توجه به موقعیت خود نسبت به روند ساختارهای ناحیه جهت کج‌شدگی مختلفی را نشان می‌دهند، شاخه‌های موازی با روند ساختارها به سمت NW و شاخه‌های عمود بر روند ساختارها به سمت NE کج شده‌اند، اما میزان کج‌شدگی رودخانه‌ها در هر پهنه با مقدار فعالیت زمین‌ساختی نسبی و در نتیجه عملکرد گسل‌های آن بخش متناسب است (شکل ۸).

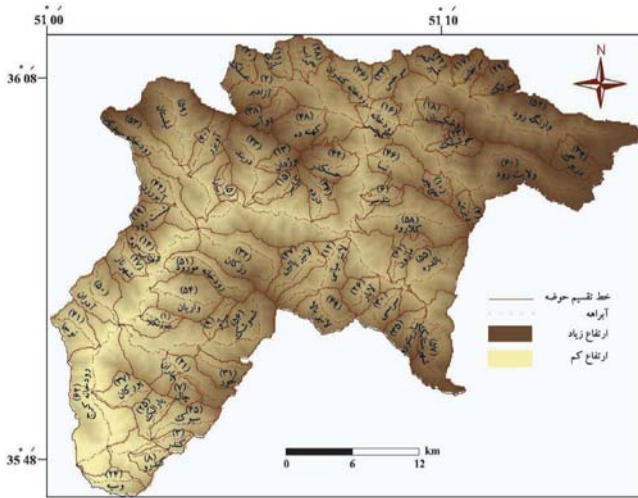
### ۶- نتیجه‌گیری

شاخص‌های زمین‌ریختی، روش مفیدی برای بررسی میزان فعالیت زمین‌ساختی فراهم می‌آورند. بر اساس مقدار شاخص‌های زمین‌ریختی طول- شیب رودخانه (SL)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، انتگرال فرازسنجی (Hi)، نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شکل حوضه زهکشی (Bs) و پیچ و خم پیشانی کوه (Smf)، شاخص کلی زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) برای حوضه رودخانه کرج محاسبه شد،

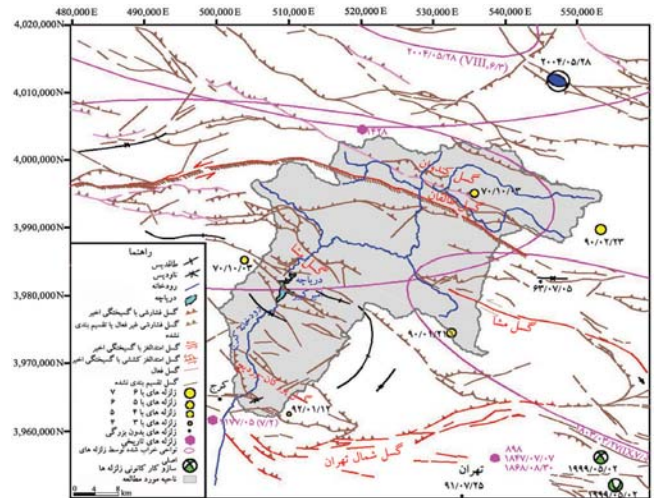
جدول ۲- تقسیم‌بندی شاخص‌های زمین‌ریختی و زمین‌ساخت فعال نسبی در زیرحوضه‌های حوضه کرج.

شماره زیرحوضه	زیرحوضه	(SL)	رده (SL)	(AF)	رده (AF)	(Bs)	رده (Bs)	Hi	رده (Hi)	(Smf)	رده (Smf)	(Vf)	رده (Vf)	(S/h)	رده (S/h)	(lat)
۱	خورتکلا	۳۷۰	۲	۸	۲	۳/۴۶	۲	۰/۴۷	۲	۱	۱	—	—	۱/۸	۲	۲
۲	آزادبهر	۴۴۴	۱	-۱/۱۹	۳	۲/۲	۳	۰/۴۵	۲	۱/۱	۲	۱/۸۸	۳	۲/۳	۳	۳
۳	کندور	۲۲۷	۳	-۱۷	۱	۳/۰۸	۲	۰/۳۳	۳	۱/۶۵	۳	-۱/۸۰۷	۲	۲/۳	۲	۳
۴	دیزین	۳۹۸	۲	-۱۳	۲	۲/۵۹	۳	۰/۴۶	۲	۱	۲	—	—	۲	۳	۳
۵	آسارا	۴۵۳	۲	-۵	۳	۲/۴۴	۳	۰/۴۱	۲	۱/۳۱	۲	-۱/۳۵	۱	۲/۱۶	۳	۳
۶	پندسر	۳۵۱	۲	-۲	۳	۲/۷۸	۳	۰/۴۸	۲	۱/۳	۲	-۱/۴۵	۱	۲/۱۶	۳	۳
۷	چال	۵۲۵	۱	-۳۱	۱	۲/۳۱	۳	۰/۵۶	۳	۱/۰۴	۱	-۱/۳۵۴	۱	۱/۳	۱	۱
۸	کندور	۱۷۷	۳	-۳۰	۳	۲/۶۴	۱	۰/۴۳	۳	—	—	-۱/۱۵۵	—	۲	۳	۳
۹	سیانو	۳۴۵	۲	۷	۲	۳/۵۳	۲	۰/۵۱	۲	۱	۱	-۰/۷	۱	۱/۷	۲	۲
۱۰	گاجر	۳۰۰	۳	-۳۶	۳	۱/۶۳	۱	۰/۵۴	۳	۱/۱۱	۱	-۱/۷۵۲	۲	۲	۳	۳
۱۱	باری	۱۶۸	۳	۱۵	۲	۲/۲۲	۲	۰/۴	۳	۱/۱	۲	۱/۴۳	۲	۲/۵	۴	۴
۱۲	لائیز میانی	۳۹۷	۲	۱/۴۴	۳	۱/۸	۳	۰/۴۲	۳	۱	۱	-۱/۲۹۳	۱	۲	۳	۳
۱۳	پوزدان	۶۱۵	۱	-۴	۳	۲/۹۱	۳	۰/۵۳	۳	۱/۳۱	۱	-۱/۴۲۷	۲	۱/۸۳	۲	۲
۱۴	آفتاب کوه	۵۲۸	۱	-۲	۳	۲/۶۶	۳	۰/۴۴	۳	۱/۰۵	۲	-۱/۲۷۷	۱	۱/۸۳	۲	۲
۱۵	کیسر	۴۴۸	۲	۱۳	۲	۳/۶۸	۲	۰/۴	۲	۱/۳۱	۲	-۱/۱۳	۲	۱/۸۳	۲	۲
۱۶	گچسر	۶۱	۳	۵	۳	۱/۴۶	۳	۰/۳۹	۳	—	—	-۱/۴۰۴	—	۲/۳	۳	۳
۱۷	سرخاب	۴۳۱	۲	-۱	۳	۱/۴۸	۳	۰/۵۷	۳	۱/۰۸	۱	-۱/۸۷۵	۱	۲	۳	۳
۱۸	وشکستان	۴۸۲	۱	۰	۳	۳/۶۸	۳	۰/۵۱	۲	۱/۰۵	۱	۱/۲۹۲	۱	۱/۸۳	۲	۲
۱۹	نست رود	۶۰۷	۲	۰	۳	۲/۶۸	۳	۰/۵۵	۳	—	—	۳/۱۳۵	—	۲	۳	۳
۲۰	علک	۱۹۱	۳	۱۵	۲	۱/۷۵	۳	۰/۳۷	۳	۱/۰۵	۳	-۱/۸۹۳	۱	۲/۳	۳	۳
۲۱	چاران	۷۰۷	۱	-۱۰/۶۷	۲	۲/۶	۲	۰/۵۱	۳	۱/۰۴	۱	-۱/۲۰۶	۱	۱/۵	۲	۲
۲۲	شیرکمر	۳۸۵	۲	-۱۹	۳	۱/۶۷	۱	۰/۴۳	۳	۱/۰۸	۲	۱/۶۸۷	۱	۲	۳	۳
۲۳	خوشیلک	۳۵۸	۲	۲۲	۲	۳/۲۸	۱	۰/۵۱	۲	—	—	-۱/۵۰	—	۱/۶	۲	۲
۲۴	وسیه	۳۶۷	۲	-۹	۲	۵/۲۱	۲	۰/۴۵	۱	۱/۴	۲	۴۰/۱۳	۲	۲	۳	۳
۲۵	پارالک	۲۸۹	۳	۳۳	۳	۲/۴۱	۱	۰/۳۸	۳	۱/۶۵	۳	-۱/۲۷۹	۳	۲/۳	۳	۳
۲۶	لاپار	۳۴۹	۲	-۶	۳	۱/۹۳	۳	۰/۴۸	۳	۱/۱۱	۲	-۱/۱۱۳	۲	۲/۱۶	۳	۳
۲۷	شهرتاز	۴۷۲	۲	۱۶	۲	۲/۴	۱	۰/۴۱	۳	۱/۰۵	۲	-۱/۲۲۴	۱	۱/۷	۲	۲
۲۸	گراب	۲۴۵	۳	۱۰	۳	۲/۱۸	۲	۰/۴	۳	۱/۱۱	۲	-۱/۸۱	۲	۲/۳	۳	۳
۲۹	سویک	۵۷۶	۱	۱۰	۲	۲/۳۲	۲	۰/۵۲	۲	۱/۰۷	۱	۱/۲۹۴	۱	۱/۸۳	۲	۲
۳۰	سرسی	۴۴۸	۲	-۲	۳	۲/۶۴	۳	۰/۶۷	۳	۱/۱۱	۲	۲/۳۹۳	۲	۲/۵	۴	۴
۳۱	خور	۴۷۰	۲	-۲۳	۲	۲/۵۶	۱	۰/۵۱	۳	۱/۰۴	۱	-۱/۳۵	۱	۱/۷	۲	۲
۳۲	رزکان	۵۴۵	۱	-۹	۲	۳/۹۱	۲	۰/۴۸	۲	—	—	-۱/۱۳۹	—	۱/۶	۲	۲
۳۳	سرخس	۳۸۸	۲	-۱۲	۲	۲/۵۱	۲	۰/۴۸	۳	۱/۰۵	۲	-۱/۲۹۱	۱	۱/۸۳	۲	۲
۳۴	درده	۵۸۱	۲	-۴	۳	۳/۳۶	۳	۰/۴۱	۲	۱/۳۱	۲	-۱/۴۸۲	۲	۲	۳	۳
۳۵	سارینتورو	۳۹۸	۲	-۲	۳	۲/۴	۳	۰/۵۱	۳	—	—	-۱/۷۸۶	—	۲/۲	۳	۳
۳۶	کندوان	۴۲۲	۳	-۹/۱۹	۲	۱/۸۱	۲	۰/۴۸	۳	۱/۱۱	۲	-۱/۱۲۴	۲	۲/۱۶	۳	۳
۳۷	پورکان	۳۳۷	۲	۲۵	۳	۲/۹	۱	۰/۴۷	۳	۱/۶۵	۲	۱/۷۷	۳	۲/۳	۳	۳
۳۸	دوآب	۵۲۷	۱	۱۶	۲	۲/۴۶	۱	۰/۵۱	۳	۱/۱	۲	-۱/۳۳	۲	۱/۵	۲	۲
۳۹	دربوگ	۴۲۷	۲	-۱۹	۲	۲/۱۱	۱	۰/۵۴	۳	۱/۰۷	۱	-۱/۰۴۳	۱	۱/۵	۲	۲
۴۰	آویز	۵۳۴	۱	-۱۳	۲	۳/۶۷	۲	۰/۴۱	۲	۱/۳۱	۲	-۱/۱۶۹	۲	۱/۷	۲	۲
۴۱	نوجان	۳۱۲	۲	۴	۳	۲/۲۷	۳	۰/۵۷	۳	—	—	-۱/۲۸۳	—	۲	۳	۳
۴۲	آب وزن	۴۲۱	۱	۲۷/۸۷	۱	۳/۴	۱	۰/۶۷	۲	۱/۳۱	۲	-۱/۲۷	۲	۱/۵	۲	۲
۴۳	دریند	۴۸۹	۲	-۳۵/۱۹	۲	۲/۳	۱	۰/۴۴	۳	۱/۳۱	۲	-۱/۲۸۷	۲	۱/۸۳	۲	۲
۴۴	حسنکدر	۵۱۵	۱	-۲	۳	۲/۲۲	۳	۰/۵۱	۲	۱/۳	۱	-۱/۵۸۹	۲	۲	۳	۳
۴۵	سویک	۴۸۰	۲	۱/۵۵	۳	۲/۷	۳	۰/۳۹	۳	۱/۶۵	۳	-۱/۲۳۷	۳	۲/۵	۴	۴
۴۶	نسا	۳۸۳	۲	۸	۳	۲/۵۷	۲	۰/۴۶	۳	۱/۱۱	۲	۱/۱۹۱	۲	۲/۳	۳	۳
۴۷	لائیز پائینی	۴۲۵	۲	-۲۳	۲	۲/۸	۱	۰/۳۹	۳	۱	۳	-۱/۳۲۷	۱	۱/۸۳	۲	۲
۴۸	کهنه ده	۴۱۰	۲	۱۵	۲	۲/۱۹	۲	۰/۴۸	۳	۱/۰۱	۲	-۱/۲۳۱	۱	۱/۸۳	۲	۲
۴۹	لائیز بالایی	۳۶۵	۲	-۸	۲	۱/۲۴	۲	۰/۵۴	۳	۱/۱۵	۱	-۱/۳۵۵	۲	۱/۸۳	۲	۲
۵۰	آدران	۴۹۴	۱	۰	۳	۲/۵۱	۳	۰/۵۱	۳	۱/۰۱	۱	-۱/۱۶۶	۱	۱/۷	۲	۲
۵۱	مورد	۶۲۱	۱	-۷	۲	۴/۵۷	۲	۰/۵۱	۱	۱/۰۵	۱	-۱/۴۶	۱	۱/۱۷	۱	۱
۵۲	وارنگه رود	۴۴۴	۱	۱/۸۲	۳	۳/۹	۳	۰/۵۱	۲	۱/۰۷	۱	-۱/۲۶۸	۱	۱/۵	۲	۲
۵۳	سیدک	۶۰۳	۱	-۲۷/۶۷	۱	۲/۴	۱	۰/۴۳	۲	۱/۳۱	۲	-۱/۱۲۳	۲	۱/۷	۲	۲
۵۴	واریان	۴۴۴	۲	-۲	۳	۲/۴۴	۳	۰/۵۲	۳	۱/۰۷	۱	-۱/۱۹۹	۱	۱/۸۳	۲	۲
۵۵	بالدره	۴۶۴	۱	۰	۳	۲/۶۷	۳	۰/۳۹	۳	۱/۲۴	۳	-۱/۷۰۴	۲	۲/۳	۳	۳
۵۶	شموشک	۵۷۱	۱	-۱۵/۵۹	۱	۲/۴	۱	۰/۵۱	۳	۱/۰۷	۱	-۱/۱۸۳	۱	۲	۳	۳
۵۷	شهرستانک	۸۳۹	۱	-۱۳/۱۶	۱	۲/۱	۲	۰/۳۸	۳	۱/۳۱	۳	-۱/۱۹۸	۲	۲	۳	۳
۵۸	کلارود	۴۵۶	۲	-۵	۳	۳/۴۶	۳	۰/۴۵	۲	۱/۳۱	۲	-۱/۴۳۱	۲	۲	۳	۳
۵۹	لیستان	۵۱۷	۲	-۷	۳	۲/۱۸	۳	۰/۴۵	۳	۱/۳۱	۲	-۱/۲۵۲	۲	۲/۱۶	۳	۳
۶۰	ولایت رود	۵۷۴	۱	-۴/۴۱	۳	۴/۳	۳	۰/۶۷	۱	۱	۲	-۱/۳۰۴	۲	۱/۵	۲	۲
۶۱	مازون	۴۲۰	۱	۱	۳	۳/۴۴	۳	۰/۵۱	۲	۱/۲۴	۱	۵/۱۴۲	۲	۲/۱۶	۳	۳
۶۲	کرج	۵۹۸	۱	-۱۵/۴۶	۱	۱/۵۹	۳	۰/۴۶	۳	۱/۷۸	۲	۱/۰۷۸	۳	۲	۳	۳

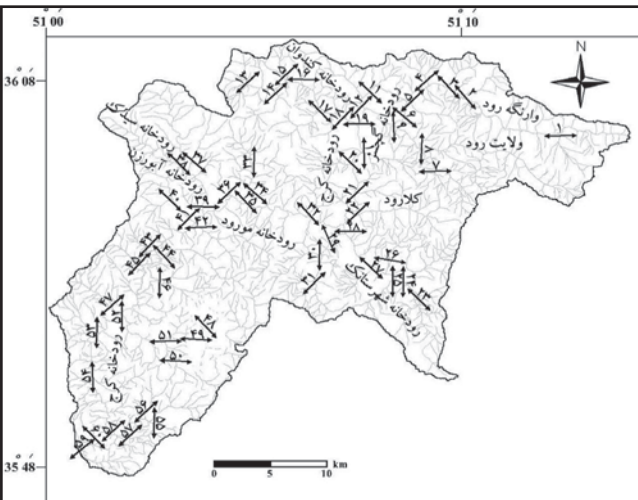




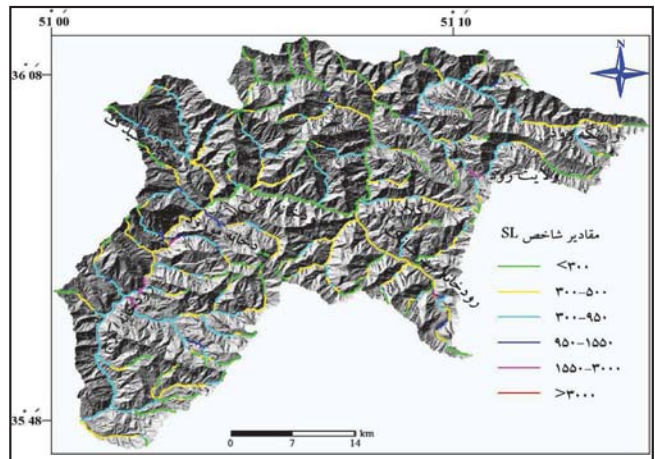
شکل ۳- زیر حوضه‌ها و آبراهه‌های به دست آمده از مدل ارتفاعی-رقومی حوضه زهکشی کرج.



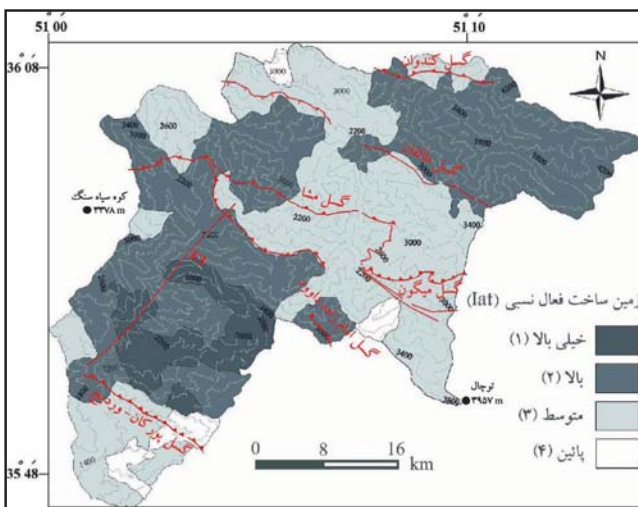
شکل ۲- نقشه لرزه‌زمین‌ساخت ناحیه مورد مطالعه. مختصات ناحیه بر اساس سیستم UTM است (Nazari, 2005).



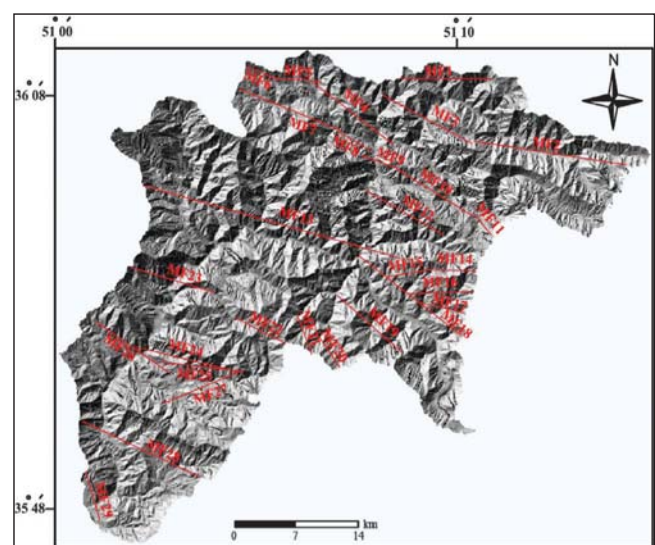
شکل ۵- محل مقاطع اندازه‌گیری شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)، در حوضه کرج.



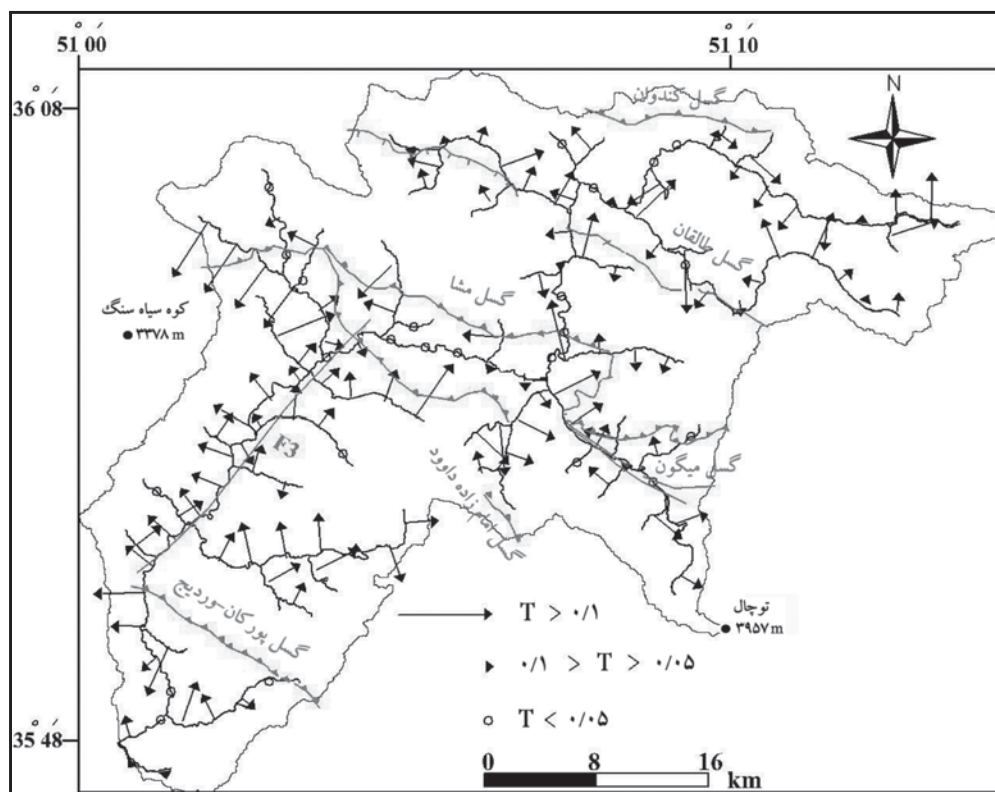
شکل ۴- توزیع میزان شاخص طول-شیب آبراهه‌ها (SL)، در شبکه زهکشی رودخانه کرج.



شکل ۷- پراگندگی شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) در حوضه رودخانه کرج و ارتباط آن با گسل‌های ناحیه.



شکل ۶- خطوط مستقیم به عنوان پیشانی‌های گسلی منطقه برای محاسبه مقادیر شاخص پیشانی کوه (Smf).



شکل ۸- بردارهای عدم تقارن در حوضه رودخانه کرج و ارتباط طول آنها با گسل های ناحیه. طول بردارها متناسب با بزرگی میزان کج شدگی است.

## References

- Allen, M. B., Alsop, G. I., Zhemchuzhnikov, V. G., 2001- Dome and basin refolding and transpressive inversion along the Karatau Fault System, Southern Kazakstan. *Journal of the Geological Society* 158, 83–95.
- Allen, M. B., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M., Qorashi, M., 2003- Accommodation of Late Cenozoic oblique shortening in the Alborz Range, Northern Iran. *Journal of Structural Geology* 25 (5), 659–672.
- Ashtari, M., Hatzfeld, D., Kamalian, N., 2005- Microseismicity in the region of Tehran. *Tectonophysics* 395, 193–208.
- 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.
- Berberian, M., Yeatz, R. S., 2001- Contribution of archeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau. *Journal of Structural Geology* 23, 563-584.
- 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.
- Cannon, P. J., 1976- Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. *Oklahoma Gology Notes* 36(1), 3-16.
- Ehteshami Moinabadi, M., Yassaghi, A., 2006- Geometry and kinematics of the Moshā Fault, south central Alborz Range, Iran, An example of base ment involved thrusting. *Journal of Asian Earth Sciences* 2, 928-938.
- 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.
- Geological Survey of Iran, 1977- Aeromagnetic map of Tehran, Geological Survey of Iran, Tehran, Scale 1:250000.
- 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.

- Hayakawa, Y., Takashi, O., 2006- DEM-based identification of fluvial knickzones and its application to Japanese mountain rivers. *Geomorphology*, 78, 90-106.
- 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.
- Nazari, H., 2005 - Seismotectonic map of the central Alborz. Geological Survey of Iran, Seismotectonic Department, Scale 1:250000.
- 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 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., 1994- Evolución geodinámica de la depresión del Guadalentín desde el Mioceno superior hasta la Actualidad: Neotectónica y geomorfología. Ph.D. Dissertation, Complutense University, Madrid.
- 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.
- Yassaghi, A., Madanipour, S., 2008- Influence of a transverse basement fault on along-strike variations in the geometry of an inverted normal fault: case study of the Mosha Fault, Central Alborz Range, Iran, *Journal of Structural Geology*, doi: 10.1016/j.jsg.2008.08.006.



index of mountain front sinuosity (Smf). Results from the analysis are accumulated and expressed as an index of relative active tectonics (Iat), which divided into four classes from relatively low to highest tectonic activity. The study area along the south flank of the central Alborz mountain range in north Iran is 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. The recent investigations show that neotectonism has played a key role in the geomorphic evolution of this part of the Alborz mountain range. Geomorphic indices indicate the presence of differential uplifting in the geological past. The high class values (low tectonic activity) for Iat mainly occur in the south and southeast of the Karaj drainage basin, while the rest of the study area has classes of Iat suggesting moderate to high tectonic activity. Around the Amirkabir Lake, Iat has the highest value. The distribution of the indices defines areas associated with different mountain fronts and estimates of relative rates of tectonic activity. More than half of the study area is classified into classes 2 or 1 of high to very high tectonic activity in terms of the apparent geomorphic response. In different tectonic environments with greater rates of active tectonics, the values of indices would differ as well as their range in value. The stream network asymmetry (T) was also studied using morphometric measures of Transverse Topographic Symmetry. Analysis of the drainage basin and a number of sub-basins in the study area results in a field of T-vectors that defines anomalous zones of the basin asymmetry. We test the hypothesis that areas with great stream migration are associated with indicative values of Iat.

**Keywords:** Geomorphic Indices of Active Tectonics, Drainage Basin, Asymmetry, Central Alborz.

For Persian Version see pages 67 to 74

\* Corresponding author: R. Khavari; E\_mail: Re\_khavari@yahoo.com

## Folding Style in Kermanshah Radiolarites and its Significance in Collision Tectonic of Northwest Iran

M. Mohajjel<sup>1\*</sup> & M. Biralvand<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tectonic Group, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Received: 2008 June 30

Accepted: 2008 December 24

### Abstract

Abundant chevron folds were produced in well-bedded red thin layers radiolarites in Kermanshah area. Various fold hinge area structures were produced due to competency contrast and change of thickness in radiolarian shale and thick-bedded limestone intercalation in radiolarite sequence. Different styles of folding exist in massive to thick-bedded limestone and shale where they are inter-bedded with radiolarites. Unique thin layers of the radiolarite layers were folded in parallel shape but change of folds shape and mechanism were produced where thick bedded limestone or thin layers of radiolarian shale intercalations exist. Fold accommodation faults were generated in cases during folding. Geometry and style of folding indicate that deformation in radiolarites was produced by parallel folding due to buckling mechanism with southwest vergence. Thrust faults were generated during later stages, displacing some parts of the folded radiolarites.

**Keywords:** Folding, Chevron folds, Radiolarite, Collision Tectonic, Thick-skinned tectonic, Kermanshah.

For Persian Version see pages 75 to 82

\*Corresponding author: M. Mohajjel; E-mail: Mohajjel@modares.ac.ir

## Application of SOM Neural Network for Numerical Tectonic Zoning: A New Approach for Tectonic Zoning of Iran

A. Zamani<sup>1\*</sup> & M. Nedaei<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Earth Sciences Department, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

Received: 2008 August 09

Accepted: 2008 December 24

### Abstract

One of the basic discussions in geosciences is construction of different tectonic zoning maps. In conventional tectonic zoning, not only the great amounts of subjective judgment are involved but also accurate interpretation of high-dimensional data is so difficult and out of human capability. To alleviate these deficiencies, quantitative scientific methods in data mining domain can be applied as an effective and useful tool to construct the new numerical maps in geosciences. In this paper self-organizing map (SOM) neural network that is one of the common methods in data mining has been applied for numerical tectonic zoning of Iran. SOM is an unsupervised artificial neural network particularly adept at pattern recognition and clustering of high-dimensional data. Visualization of high-dimensional data in two-dimensional topological-preserving feature map is another specific capability of SOM that represent both homogeneity within

that the region has activity specially at two parts: central part (near the mountain front) and northwestern part (near the main divide of the Torud mountains) and therefore the tectonic activity class of the region can be number 1. The activity of the central part can be due to the movements of the Torud fault. The activity of the northwestern part is the result of the uplift of the region which is related to the at least one fault parallel with the Torud fault that has formed the relic mountain fronts at recent past. The distribution of strain of this activity shows the progressive deformation from north northwest to south southeast and from west to east.

**Keywords:** The Torud Fault, Morphotectonics, Neotectonics, SL, Vf and Smf Indices.

For Persian Version see pages 47 to 56

\*Corresponding author: M. Khademi, E-mail: Khademi@dubs.ac.ir

## The 'Tectonic Geomorphology and Seismotectonics of the Ravar Fault Zone, South of Central Iran

A. Shafiei Bafti<sup>1\*</sup> & M. Shahpasandzadeh<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tectonic group, Islamic Azad University Zarand Branch, Kerman, Iran

<sup>2</sup> Geophysics group, graduate University and Technical of Kerman, Kerman, Iran.

Received: 2008 April 28

Accepted: 2008 December 10

### Abstract

According to potential of the intra-continental strike-slip faults for occurrence of large earthquakes, which are also considered as the main elements of active continental deformation, determination of their geometry and kinematics along with recognition of the active segments and temporal structural evolution is necessary. The oblique-slip fault of Ravar with about 137 km length is extending in vicinity of Ravar, north of Kerman. In the north of study area, the fault extends parallel to the Lakar-Kuh fault, but in the south converges toward to the Lakar-Kuh and the Kuh-Banan faults. Upthrusting of the eastern block of the Ravar fault and east-ward thrusting of the Lakar\_Kuh fault system constructed a positive flower structure. The motion of the Ravar fault have caused the dextral displacement and an accumulative horizontal displacement of the drainages about 940-970 in the north since Pleistocene. Regarding a minimum horizontal slip-rate of about 0.54 mm/yr, the recurrence time of earthquakes with  $M_w \sim 6.7$  would be about 1400 year. In the middle part of the fault, the Reidel fractures of R, R $\square$ , and P has been well developed and caused a dextral deflection of the Esmail-Abad River about 16m. With assumption of characteristic earthquake occurrence, the maximum slip per event could be about 0.75 m, which is consistent with the minimum displacement of the recent gorges. The amount of horizontal dextral displacement of the fault decreases toward to the south, whereas the vertical component of the fault motion increases, so that the Pleistocene deposits show about 10 m difference in elevation across the southern part of the fault. Concerning the trend of meizoseismal zone of 1911/04/18 Ravar earthquake ( $M \sim 5.8$ ,  $I_0 \sim VIII$ ) and parallelism of trend of the co-seismic surface rupture (N13W) with the southern part of the fault, the Ravar fault could be responsible of this earthquake. In addition, the active cross-faulting of the Dehu, the Dehzanan, the Chatrud, the Pasib, and the Darbid-Khun control the recurrence time and magnitude of the earthquakes in the study area.

**Keywords:** Strike-slip faults, Segmentation, Active fault, Tectonic geomorphology, The Ravar fault zone, Central Iran

For Persian Version see pages 57 to 66

\*Corresponding author: A. Shafiei Bafti; E-mail: Amir.Shafii@gmail.com

## Geomorphic Signatures of Active Tectonics in the Karaj Drainage Basin in South Central Alborz, N Iran

R. Khavari<sup>1\*</sup>, M. Ghorashi<sup>2,3</sup>, M. Arian<sup>1</sup>, & Kh. Khosrotehrani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Islamic Azad University (IAU), Science and Research Branch, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Islamic Azad University (IAU), North Tehran Branch, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2008 September 17

Accepted: 2008 November 22

### Abstract

The paper presents a method for evaluating relative active tectonics based on geomorphic indices useful in evaluating morphology and topography. 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