

# نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال حوضه طالقان‌رود، شاهرود و سفیدرود در البرز مرکزی، شمال ایران

زهرا مردانی<sup>۱\*</sup>، منوچهر قرشی<sup>۲</sup>، مهران آرین<sup>۱</sup>، 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 دریافت: ۱۳۸۸/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۹/۱۱

## چکیده

شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی زمین‌ساخت فعال، ابزار مفیدی برای بررسی تأثیر فعالیت زمین‌ساخت در یک ناحیه است، محاسبه این شاخص‌ها به وسیله نرم افزارهای ArcGIS، سنجش از دور (به عنوان ابزار شناسایی)، در یک منطقه بزرگ برای تشخیص ناهنجاری‌های احتمالی مرتبط با زمین‌ساخت فعال سودمند است. این روش بویژه در مناطقی که کار مطالعاتی کمی بر روی فعالیت زمین‌ساختی آن با استفاده از این روش صورت گرفته (باختر البرز مرکزی)، می‌تواند روش نو و مفیدی باشد. بر اساس مقادیر شاخص طول-شیب رودخانه (SL)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، انتگرال فراسنجی (Hi)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شکل حوضه زهکشی (Bs) و پیچ و خم پیشانی کوه (Smf) شاخصی به نام Index of relative active tectonics (Iat) حاصل شد که ترکیبی از شاخص‌های بالا بوده و خود به چهار رده تقسیم می‌شود. مقادیر به دست آمده برای شاخص Iat در منطقه مورد بررسی نشان دهنده، پهنه‌ای با فعالیت زمین‌ساختی متوسط (رده ۳) در جنوب سد منجیل و پهنه‌ای با فعالیت زمین‌ساختی بالا (رده ۲) در حوضه زهکشی شاهرود، سفیدرود و پهنه‌ای با فعالیت خیلی بالا (رده ۱) در حوضه زهکشی طالقان‌رود و الموت رود است. الگوی تقارن توپوگرافی عرضی (T) نیز برای ناحیه مورد بررسی محاسبه و نتیجه آن به شکل نقشه‌ای از بردارهای T تهیه شد. با مقایسه مقادیر این شاخص با نقشه رده‌بندی زمین‌ساخت فعال نسبی تطبیق نواحی رده بالا با پهنه‌های دارای مقادیر بالای عدم تقارن تأیید شد.

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

E-mail: mhmardani@yahoo.com

\* نویسنده مسئول: زهرا مردانی

## ۱- مقدمه

پوسته نازک واقع شده است. جهت حرکت (vergence) ساختارها در این بخش از باختر به خاور تغییر یافته، همچنین ستبرای به سمت خاور کاهش یافته به طوری که در محدوده طالقان و الموت پهنای منطقه ۴۰ کیلومتر بوده و دارای چین‌های باز و گسل‌های با شیب به سمت جنوب است به سمت خاور، پهنای منطقه به کمتر از ۱۰ کیلومتر تغییر کرده و چین‌های بسته و گسل‌های رانندگی با شیب به سمت شمال را شامل می‌شود. بر پایه تقسیم‌بندی (Stöcklin 1974) حوضه زهکشی رودخانه سفیدرود در منطقه نتوزن شمالی و منطقه شمالی-مرکزی واقع شده و تغییر شکل سنگ‌ها در این منطقه بیشتر به شکل گسل خوردگی و چین خوردگی است.

## ۳- تعیین الگوی زهکشی منطقه مورد بررسی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه

در ابتدا مدل رقومی ارتفاعی (Digital Elevation Model-DEM) ناحیه مورد بررسی، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، به شکل Raster تهیه شد سپس با استفاده از یکی از Extension‌های جانبی نرم‌افزار ArcGIS با عنوان (Arc Hydro Tools) که امکانات تعیین زیرحوضه‌های یک حوضه، مساحت آنها و همچنین شبکه آبراهه‌ها را با ترکیب مجموعه‌ای از فرایندهای محاسباتی فراهم می‌آورد، الگوی زهکشی منطقه تهیه شد. نتیجه تجزیه نرم‌افزار و کنترل آن با نقشه‌های توپوگرافی محدوده بررسی شده و با حذف زیرحوضه‌های قرار گرفته در مسیر رودخانه اصلی از دیدگاه (Hamdouni et al. 2007)، حدود ۲۸۵ زیر حوضه در کل منطقه شناسایی شد.

## ۴- شاخص‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال

زمین‌ریخت‌شناسی ابزاری ارزشمند در بررسی زمین‌ساخت پویا است. ریخت‌سنجی (morphometry) به صورت اندازه‌گیری‌های کمی شکل‌های زمین‌ریختی توصیف

برای بررسی میزان دگرریختی ایجاد شده در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌توان از شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی استفاده کرد (Bull and McFadden., 1977; Azor et al., 2002; Keller and Pinter, 2002; Silva et al., 2003; Molin et al., 2007; Hamdouni et al., 2004) در بیشتر بررسی‌های انجام شده پیشین شاخص‌های خاص در مقیاس منطقه‌ای (مانند حوضه زهکشی پیشانی کوه) مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال (Bull and McFadden 1977) و (Rockwell et al. 1985) با ترکیب شاخص‌های smf و vf به تقسیم‌بندی پیشانی کوه به رده ۱ تا ۳ پرداختند. (Silva et al. 2003) نیز زمین‌ساخت فعال نسبی پیشانی‌های مختلف کوه را در جنوب اسپانیا با برآورد شاخص‌های vf و smf مورد بررسی قرار داده و از شاخص‌های عدم تقارن Af و شکل حوضه زهکشی Bs برای تأیید کج‌شدگی زمین‌ساختی استفاده کرد. (Hamdouni et al. 2007) افزون‌بر شاخص‌های یادشده، انتگرال فراسنجی (Hi) و شاخص طول-شیب رودخانه (SL)، رانیز به کار برد که مبنای علمی در تعیین زمین‌ساخت فعال نسبی شد. تلفیق این روش می‌تواند ابزار به نسبت دقیقی در تعیین فعالیت نسبی زمین‌ساختی شود. لذا در این مقاله سعی شده است که با استفاده از تلفیق روش‌های یادشده به تعیین زمین‌ساخت فعال نسبی حوضه طالقان‌رود، شاهرود و سفیدرود پرداخته شود.

## ۲- ناحیه مورد بررسی

رودخانه طالقان‌رود- شاهرود با طولی برابر با ۱۸۶/۳ کیلومتر از ارتفاعات ۴۱۰۸ متری کوه کهار سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه در ابتدا دارای روند جنوب‌باختر-شمال‌خاور بوده و در ادامه با روند خاور-باختر پس از اتصال به قزل‌اوزن در منجیل، رودخانه سفیدرود را با روند شمال-جنوب تشکیل می‌دهند که دارای حوضه آبریزی با مساحتی حدود ۸۰۳۲ کیلومتر مربع است (شکل ۱). حوضه زهکشی طالقان‌رود-شاهرود در تقسیم‌بندی باختر البرز مرکزی توسط (Guest et al. 2006) در بخش

بررسی شده شاخص (SL) مقادیر به نسبت کمی را نشان می‌دهد و به طور موردی در بعضی از مناطق مقادیر بالای این شاخص دیده می‌شود که مرتبط با مقاومت بالای سنگ است. در مجموع با توجه به این که سنگ‌شناسی منطقه به نسبت یکنواخت و مقاومت بالاست، تغییرات شاخص (SL) در این پهنه دیده نمی‌شود که این وضعیت گویای فعالیت پایین پهنه است.

#### ۴-۲. شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

شاخص عدم تقارن (Af) به بررسی میزان کج‌شدگی زمین‌ساختی جهت جریان در حوضه زهکشی می‌پردازد (Keller and Pinter, 2002; Hare and Gardner, 1985). شاخص Af بر اساس رابطه زیر برآورد می‌شود:

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

که در این رابطه Af مساحت حوضه در سمت راست آبراهه (دید به سمت پایین دست) و Ar مساحت کل حوضه زهکشی است.

مقدار Af برابر با ۵۰ نشان‌دهنده عدم کج‌شدگی و شرایط به نسبت پایدار در حوضه است و اگر این مقدار از ۵۰ کمتر و یا بیشتر باشد نشان‌دهنده کج‌شدگی حوضه است که می‌تواند نتیجه فعالیت زمین‌ساختی و یا ساختارهای موجود در سنگ همچون تورق باشد. برای خنثی کردن نقش لایه‌بندی و تورق در شاخص Af چنین فرض می‌شود که نه سنگ‌شناسی (مانند لایه‌های رسوبی شیب‌دار) و نه اقلیم محلی (اختلاف گیاهی میان شیب‌های رو به شمال و جنوب) باعث عدم تقارن می‌شوند (Hamdouni et al., 2007). با این فرض Af برای کلیه زیرحوضه‌های رودخانه‌های اصلی موجود در منطقه برآورد شده و با توجه به این که مقادیر بالای Af به طور عمده در کنار گسل‌های فعال منطقه قرار گرفته، می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت‌های زمین‌ساختی نقش کنترل‌کننده بر روی این شاخص داشته است. لازم به یادآوری است که بیشترین میزان این شاخص را در خاور منطقه بررسی شده (حوضه زهکشی طالقان‌رود و الموت‌رود) و در شمال‌باختر (حوضه زهکش سفیدرود) و کمترین آن در جنوب سد منجیل به دست آمده است (شکل ۶).

#### ۴-۳. شاخص شکل حوضه (Bs)

با استفاده از این شاخص می‌توان شکل حوضه را به یک شاخص کمی تبدیل نمود (Cannon, 1976; Ramirez-Herrera, 1998):

$$Bs = BI / Bw \quad (3)$$

که در این رابطه BI طول حوضه، از محل مجرای خروجی تا بالاترین نقطه (دورترین) آن و Bw عرض حوضه، که در عرض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود. حوضه‌های با کشیدگی زیاد مشخص‌کننده مناطق فعال زمین‌ساختی است یعنی جایی که جریان به صورت ابتدایی بستر خود را حفر می‌کند. این روش برای تجزیه حوضه زهکشی نزدیک پیشانی کوهستان زمانی که زمین‌ساخت فعال باعث بالا آمدگی سریع شده (Bull and Macfaden, 1977) و یا در مناطقی که دچار فروافتادگی شده (Ramirez-Herrera, 1998) مورد استفاده قرار گرفته است. در حوضه زهکش طالقان‌رود- شاهرود و سفیدرود میزان این شاخص بین ۱/۱۱ تا ۵/۹ تغییر می‌کند و بیشترین مقدار آن در اطراف رودخانه الموت‌رود و شمال رودخانه طالقان‌رود (خاور محدوده مورد بررسی) و کرانه خاوری رودخانه سفیدرود به دست آمده است (شکل ۷).

#### ۴-۴. انگرال فرازسنجی (Hi)

انگرال فرازسنجی پراکندگی ارتفاع را در یک ناحیه خاص نشان می‌دهد. منحنی فرازسنجی که شامل رسم نسبت ارتفاعی در برابر نسبت مساحت و محاسبه مساحت زیر منحنی است، مستقل از اندازه حوضه و برآمدگی است (Strahler, 1952). استفاده مفید از منحنی فرازسنجی این است که حوضه‌های زهکشی با اندازه‌های مختلف را می‌توان با همدیگر مقایسه نمود (Pike & Wilson, 1971; Mayer, 1990).

می‌شود. به طور ساده، زمین‌ریخت‌ها با اندازه ارتفاع و شیب توصیف می‌شوند. اندازه‌گیری‌های کمی امکان مقایسه عینی زمین‌ریخت‌های مختلف و محاسبه پارامترهای کمتر قابل فهم را فراهم ساخته و شناسایی ویژگی‌های خاص شامل سطح فعالیت زمین‌ساختی یک منطقه را امکان‌پذیر می‌سازد (Keller, 1986).

در محدوده مورد بررسی مجموعه‌ای از چند شاخص برای تعیین زمین‌ساخت نسبی مورد ارزیابی قرار گرفت. این شاخص‌ها در تمام زیرحوضه‌های منطقه اندازه‌گیری شده و هر کدام به سه رده فعالیت زمین‌ریختی تقسیم شد. سپس میانگین رده‌های تمام شاخص‌ها محاسبه و چهار رده زمین‌ساخت فعال نسبی حاصل شد (Hamdouni et al. 2007).

#### ۴-۱. شاخص طول-شیب رودخانه (SL)

شاخص طول-شیب برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی ابزار مفیدی است. هنگامی که رودخانه‌ها و آبراهه‌ها در نواحی با نرخ بالاآمدگی 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). این شاخص توسط Hack (1973)، با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

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

در این فرمول  $\Delta h / \Delta l$  شیب بخشی از مجرا و L طول مجرا از بالا دست تا نقطه‌ای که برای آن شاخص برآورد می‌شود، است.

این شاخص تحت تأثیر میزان مقاومت جنس بستر نیز بوده و با جریان یافتن رودخانه بر روی سنگ‌های با مقاومت بالا، میزان بالای (SL) و در سنگ‌های با مقاومت پایین، میزان پایین (SL) را نشان می‌دهد. به منظور بررسی ارتباط بین مقاومت سنگ و شاخص یادشده، سنگ‌های موجود در منطقه مورد بررسی بر اساس میزان مقاومت به گروه‌های با مقاومت خیلی کم (نهشته‌های آبرفتی جوان)، مقاومت کم (نهشته‌های دامنه‌ای)، مقاومت متوسط (شیل و سیلت‌سنگ)، مقاومت بالا (سنگ‌آهک، توف، کنگلومرا، ماسه‌سنگ) و مقاومت خیلی بالا (مونزودیوریت-مونزوگابرو و کوارتزیت) تقسیم شدند (معماریان، ۱۳۸۰). سپس مناطق با میزان بالای (SL) بر روی نقشه مقاومت نسبی مشخص و با استفاده از نرم افزار ArcGIS ارتباط آن با مقاومت سنگ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر به دست آمد (شکل‌های ۳، ۴ و ۵): الف) پهنه‌ای با مقاومت متفاوت و بی‌هنجاری بالا؛ در بخش خاوری منطقه بررسی شده پراکندگی متفاوت و بالایی از شاخص (SL) دیده می‌شود به طوری که در ابتدای طالقان‌رود و همین‌طور الموت‌رود میزان بالای این شاخص در سنگ‌های با مقاومت نسبی پایین قابل مشاهده است. این مقدار بالا را می‌توان به وجود گسل‌های طالقان‌رود و الموت‌رود مرتبط دانست. در محل اتصال طالقان‌رود و الموت‌رود گسل الموت به صورت عرضی این رودخانه‌ها را قطع می‌کند و در همین بخش نیز میزان بالای (SL) دیده می‌شود. با توجه به پراکندگی یکنواخت نقاط بی‌هنجار بالا در سنگ‌شناسی‌های متفاوت می‌توان تغییرات مقدار شاخص (SL) را نتیجه فعالیت بالای زمین‌ساختی این پهنه دانست. ب) پهنه با مقاومت یکسان و بی‌هنجاری بالا؛ این پهنه در بخش‌های شمالی رودخانه شاهرود میان دو زون گسلی بزرگ جبرنده در شمال و شاهرود در جنوب قرار گرفته است. در این بخش نیز با وجود مقاومت کم و بیش یکنواخت و بالای سنگ‌های موجود مقدار شاخص (SL) بی‌هنجاری بالایی را نشان می‌دهد. مشابه همین وضعیت در شمال‌باختر ناحیه در حوضه آبریز سفیدرود نیز دیده می‌شود. با توجه به یکنواخت بودن سنگ‌شناسی، بی‌هنجاری (SL) نشان‌دهنده عملکرد زمین‌ساختی بالای گسل‌های طولی (جبرنده، شاهرود، سفیدخانی و کشاچال) و گسل‌های عرضی (رودبار- کلیشم- درفک) در حوضه سفیدرود است.

ج) پهنه با مقاومت یکسان و بدون بی‌هنجاری؛ در بخش جنوب باختری ناحیه

در بخش‌های مختلف یک ناحیه نشان از اختلاف در میزان بالآمدگی را آشکار می‌نماید. این شاخص با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$T = Da/Dd \quad (6)$$

در این رابطه Da عبارتند از فاصله بین خطوط میانی تا رودخانه و Dd فاصله خط میانی تا مرز حوضه. مقدار این شاخص بین صفر (بدون کج‌شدگی) و یک (بیشترین کج‌شدگی) متغیر است. افزون‌بر این شاخص یاد شده را می‌توان به صورت یک بردار دو بعدی نشان داد، به طوری که طول بردار نشان دهنده اندازه کج‌شدگی و جهت آن در راستای عمود بر رودخانه نشان‌دهنده جهت انحراف یا کج‌شدگی در آن بخش از رودخانه نسبت به خط میانی را نشان می‌دهد.

در منطقه مورد بررسی میزان الگوی کج‌شدگی در حوضه رودخانه‌های طالقان رود، شاهرود و سفیدرود مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا تمام رودخانه‌ها و آبراه‌ها به بخش‌های دو کیلومتری (Salvany, 2004) تقسیم و مقدار کج‌شدگی برای این قطعات برآورد شد. بر اساس الگوی بردارهای کج‌شدگی در مسیر رودخانه‌های طالقان رود، شاهرود و سفیدرود دیده می‌شود که رودخانه طالقان رود و الموت رود کج‌شدگی در جهت جنوب-جنوب‌باختر را نشان می‌دهد. میزان کج‌شدگی برای رودخانه طالقان رود بین کمینه ۰/۰۱ تا بیشینه ۰/۸۲ (میانگین ۰/۲۵) در جهت S-SW و برای الموت رود بین کمینه ۰/۰۸ تا بیشینه ۰/۸۵ (میانگین ۰/۲۹) در جهت S-SW متغیر است (شکل ۱۲-ا). این کج‌شدگی را به طور عمده می‌توان به بالآمدگی ارتفاعات شمالی مشرف به دره طالقان رود که منجر به جدایی حوضه زهکشی طالقان رود از الموت رود شده، نسبت داد. بررسی نقشه‌های مغناطیس‌هوائی قزوین نیز (Yousefi & Fridborg, 1978) وجود مجموعه چین‌خوردگی‌هایی با محور موازی رودخانه (جنوب‌خاور-شمال‌باختر) را در این بخش نشان می‌دهد. افزون‌بر این در لبه شمالی الموت رود نیز وجود چین‌خوردگی‌هایی کج‌شدگی الموت رود را توجیه می‌نماید. بررسی شکل زیرحوضه‌ها در حوضه زهکشی الموت رود نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های واقع در کرانه شمالی رودخانه نسبت به حوضه‌های کرانه جنوبی کشیده‌تر است. همین وضعیت برای زیرحوضه‌های رودخانه طالقان رود نیز حاکم است. الگوی کج‌شدگی رودخانه شاهرود مقادیری بین ۰/۰۰ تا ۰/۴۷ را نشان می‌دهد که میزان میانگین آن ۰/۱۳ در جهت جنوب‌باختر است (شکل ۱۲-ب). در این بخش نیز کشیدگی زیر حوضه‌ها در بخش شمالی رودخانه بیشتر از جنوب آن است.

رودخانه سفید رود با امتداد شمال‌خاور-جنوب‌باختر کج‌شدگی با میزان کمینه ۰/۰۷ تا بیشینه ۰/۹۴ و میزان میانگین ۰/۲ در جهت شمال‌باختر را نشان می‌دهد (شکل ۱۲-ج). با در نظر گرفتن این نکته که مهاجرت جانبی گسترده رودخانه‌های مآدیری در دلتا دور از انتظار نیست و با توجه به این که شواهدی از تأثیر عملکرد گسل‌های منطقه بر تغییر مسیر این رودخانه یافت نشده، تغییرات گسترده حوضه خزر جنوبی نقش بسیار مؤثری در انحراف این رودخانه داشته است (وحیدی دانشمند، ۱۳۸۵). ارتفاعات خاوری دره سفیدرود با بیشینه ارتفاعی ۲۲۱۰ متر و ارتفاعات باختری این دره با بیشینه ارتفاعی در حدود ۱۰۵۰ متر کج‌شدگی رودخانه به سمت شمال باختر را در اثر بالآمدگی بیشتر پهنه خاوری توجیه می‌نماید (با استفاده از DEM منطقه). شاخه‌های فرعی رودخانه‌های یادشده در بخش‌های مختلف حوضه جهات متفاوتی را نشان می‌دهد به طوری که شاخه‌های موازی با روند ساختارها در بالادست و پایین دست رودخانه‌ها جهت شمال‌خاور و شاخه‌های عمود بر ساختارها جهت شمال‌باختر را نشان می‌دهد.

## ۶- بحث

شاخص‌های مختلف زمین‌ریختی که در بخش پیش اشاره شد، به منظور ارزیابی

(Keller & Pinter, 2002) انتگرال فراز سنجی به طور مستقیم با زمین‌ساخت فعال ارتباط ندارد. مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده نواحی فعال و جوان بوده و مقادیر پایین آن با نواحی قدیمی که فرایند فرسایش بر آنها حاکم است و کمتر تحت تأثیر زمین‌ساخت فعال منطقه است، مرتبطند (Hamdouni et al., 2007).

در منطقه مورد بررسی منحنی‌های فرازسنجی برای زیرحوضه‌ها توسط نرم‌افزار excel رسم و مساحت سطح زیر این منحنی‌ها که نشان‌دهنده مقدار شاخص انتگرال فرازسنجی است با استفاده از نرم‌افزار matlab محاسبه شد. بیشتر زیرحوضه‌ها مقادیر بالای این شاخص را نشان می‌دهند تنها در بخش‌هایی از مجاری اصلی رودخانه‌ها که به طور عمده در نهشته‌های کواترنر جریان دارند مقادیر کم این شاخص به چشم می‌خورد (شکل ۸).

## ۴-۵. 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:

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

در این رابطه Vf نسبت عرض کف دره به ارتفاع، Vfw عرض کف دره، Eld و Erd به ترتیب ارتفاعات خطوط تقسیم سمت چپ و راست دره و Esc ارتفاع متوسط کف دره است. مقدار این شاخص برای دره‌های U شکل بالا و برای دره‌های V شکل پایین است. از آن جا که برآمدگی در ارتباط با فروکاوی است این شاخص می‌تواند نشان‌دهنده میزان فعالیت زمین‌ساختی باشد به نحوی که میزان پایین Vf به نرخ‌های بالآمدگی و بریدگی بیشتر مربوط است. این شاخص بیشتر منعکس‌کننده میزان فروکاوی است تا بالآمدگی، اما در حالت تعادل فروکاوی و بالآمدگی بر هم منطبق‌اند.

از دیدگاه (Silva et al., 2003) این شاخص باید در فاصله مشخصی از پیشانی (۱-۱/۵km) اندازه‌گیری و در منطقه مورد بررسی میزان این شاخص برای دره‌های اصلی که پیشانی گسلی را قطع می‌کنند برآورد شود. تغییرات عددی این شاخص بین ۰/۲۴ در دره‌های منتهی به حوضه زهکشی طالقان رود و الموت رود و ۶/۷۶ در کرانه باختری سفیدرود به دست آمد (شکل ۹).

## ۴-۶. پیچ و خم پیشانی کوه (Smf)

شاخص پیچ و خم پیشانی کوه بر اساس رابطه زیر برآورد می‌شود (Bull and McFadden, 1977; Bull, 1978;)

$$Smf = Lmf / Ls \quad (5)$$

در این رابطه Lmf طول پیشانی کوه در دامنه آن، یعنی جایی که دامنه کوه به دشت برخورد می‌کند و Ls معادل طول خط مستقیم در بخش پیشانی کوه است. این شاخص انعکاس دهنده توازن میان نیروهای فرسایشی است که تمایل به ایجاد ساخت سینوسی دارند، در حالی که نیروهای زمین‌ساختی متمایل به ایجاد یک پیشانی مستقیم همراه با یک گسل فعال احاطه‌کننده آن است (Bull and McFadden, 1977; Keller, 1986). در منطقه مورد بررسی بیش از ۳۱ پیشانی گسلی موازی با روند کوه‌های البرز در دره‌های طالقان رود، الموت رود، شاهرود و سفیدرود مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۰) که در نتایج به دست آمده مقادیر این شاخص بین ۰/۹۷ تا ۱/۵ متغیر است. به طوری که کمترین میزان این شاخص مربوط به پیشانی گسلی رودخانه شاهرود و بیشترین آن در پایین دست دره سفیدرود دیده شد (شکل ۱۱).

## ۵- الگوی تقارن توپوگرافیکی عرضی (Tilting) حوضه زهکشی طالقان رود، الموت رود، سفیدرود و شاهرود

این الگو را می‌توان یک روش سریع برای تشخیص میزان کج‌شدگی حاصل از زمین‌ساخت فعال شاخص دانست (Cox, 1994). بررسی تغییرات میزان کج‌شدگی

بخش از جمله مناطقی است که اطلاعات کافی در رابطه با زمین‌ساخت فعال آن وجود ندارد. در کرانه جنوبی رودخانه شاهرود راندگی شاهرود دیده می‌شود که یک پیشانی گسلی با کمترین میزان پیچ و خم را تشکیل داده که نمایانگر زمین‌ساخت فعال آن است. پیشانی‌های گسلی مستقیم و زهکشی‌های ژرف به خوبی پرتگاه‌های با ارتفاع زیاد را مشخص می‌نماید. وجود دره‌های تنگ با شیب زیاد از ویژگی‌های این پهنه است. در حوضه زهکشی سفیدرود نیز Iat بالای دیده می‌شود. این رودخانه بر پایه جهت‌یافتگی نسبت به ساختارهای ناحیه (Burbank, 2001) در دره رودخانه‌های عرضی (transverse river) بوده و بر پایه نقشه مغناطیس‌هوایی قزوین (Yousefi & Fridborg, 1978) رودخانه سفیدرود در یک دره گسلی جریان دارد. در واقع این دره یک دره گسلی بوده و به همین دلیل رودخانه دارای این جهت‌گیری شده است. ساختارهای اصلی این حوضه عبارتند از راندگی رودبار- منجیل در جنوب، گسل بره سر - کلیشم، دورفک و دیلمان در کرانه شمال‌خاوری سفیدرود. کشیدگی شکل زیرحوضه‌ها و بالا بودن میزان شاخص عدم تقارن در این منطقه را می‌توان نتیجه فعالیت این گسل‌ها دانست.

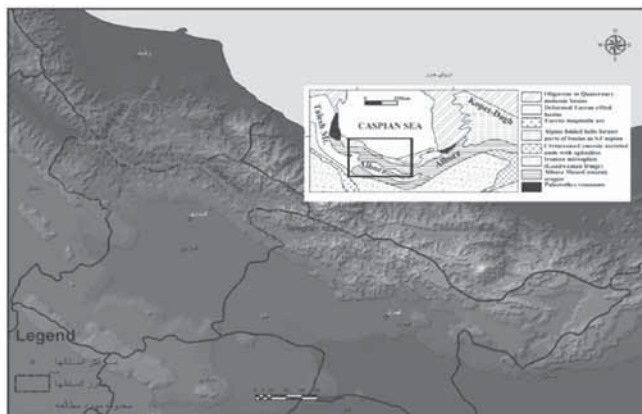
**پهنه با فعالیت پایین:** در بخش جنوبی سد منجیل منطقه‌ای دیده می‌شود که فعالیت زمین‌ساختی پایینی را نشان می‌دهد. اطلاعات زیاد در ارتباط با زمین‌ساخت این ناحیه وجود ندارد اما در بررسی نقشه‌های پراکندگی گسل‌ها، مغناطیس‌هوایی و لرزه‌زمین‌ساخت هیچ ساختار اصلی در این پهنه دیده نمی‌شود.

#### ۷- نتیجه‌گیری

پس از بررسی شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی و محاسبه شاخص (Iat) در منطقه بررسی شده، سه پهنه با ویژگی‌های متفاوت به لحاظ زمین‌ساخت فعال نسبی شناسایی شد. پهنه با فعالیت بالا و خیلی بالا (حوضه طالقان‌رود و الموت‌رود)، پهنه با فعالیت بالا (حوضه شاهرود و سفیدرود) و پهنه با فعالیت پایین (جنوب سد منجیل). الگوی تقارن توپوگرافی عرضی به طور آشکار با میزان و رده فعالیت زمین‌ساختی نسبی همخوانی دارد و فعالیت خیلی بالا و بالای زمین‌ساخت نسبی با نواحی که رودخانه‌ها میزان بالای کج‌شدگی را نشان می‌دهند، منطبق است.

#### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای کمک در تهیه داده‌ها، همچنین از راهنمایی‌های بی‌دریغ و صمیمانه آقای دکتر قاسمی و خانم دکتر خاوری کمال تشکر را دارند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه. (پایگاه ملی داده‌های علوم زمین)

زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) به سه رده: یک (فعالیت بالا)، دو (فعالیت متوسط) و سه (فعالیت پایین) تقسیم شد. سپس با محاسبه میانگین رده کلاسه شاخص‌ها (S/n) در هر حوضه و ارزیابی آن بنا بر روش (Hamdouni et al., 2007) شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) به چهار رده کلاسه رده‌بندی شد. در این رده‌بندی، رده یک بیانگر فعالیت زمین‌ساخت خیلی بالا (S/n بین ۱ تا ۱/۵)، رده دو فعالیت زمین‌ساخت بالا (S/n بین ۱/۵ تا ۲)، رده سه فعالیت زمین‌ساخت متوسط (S/n بین ۲ تا ۲/۵) و رده چهار فعالیت زمین‌ساخت پایین (S/n بیشتر از ۲/۵) است. با به کارگیری این رده‌بندی در منطقه مورد بررسی نتایج زیر حاصل شد (شکل ۱۳):

**پهنه با فعالیت زمین‌ساختی نسبی خیلی بالا تا بالا:** در بخش خاور منطقه مورد بررسی (حوضه آبریز طالقان‌رود و الموت‌رود) فعالیت زمین‌ساختی خیلی بالا تا بالای دیده می‌شود. این منطقه به طور مشخص شامل، برآمدگی‌های شاخص میان رودخانه‌های الموت‌رود و طالقان‌رود و پهنه‌های واقع در حوضه‌های زهکشی این دو رودخانه است. این بخش از منطقه بررسی شده که در باختر البرز مرکزی در منطقه نازک پوسته (Thin - Skinned) (Guest et al., 2006) قرار گرفته، بین گسل کندوان در شمال و طالقان در جنوب محصور است. افزون بر گسل‌های یادشده، ساختارهای اصلی دیگری نیز همچون گسل گراب، الموت‌رود، پراچان بالایی و پایینی در این پهنه فعال دیده می‌شوند. راندگی کندوان با درازای حدود ۲۰۰ کیلومتر یکی از گسل‌های فعال منطقه است که باعث تغییر شکل عمده در منطقه شده است. به طوری که صخره روراند (Klippe) شهرستانک در جنوب راندگی کندوان یکی از مهم‌ترین بخش‌هایی است که نازک‌شدگی پوسته البرز مرکزی را نشان می‌دهد. و به عنوان یک واحد زمین‌ساختی نابرجا و به احتمال زیاد مرتبط با راندگی کندوان است (Assereto, 1966; Alavi, 1996; Allen et al., 2003).

واحدهای پرکامبرین و پالئوزوئیک به سمت جنوب بین گسل‌های طالقان و شهرستانک- میگون بالا آمده‌اند و به سمت جنوب بر روی ردیف‌های تشریری انباشته شده‌اند (Guest et al., 2006). بازدیدهای صحرایی نشانگر وجود دره‌های تنگ و باریک، تراکم شکستگی و گسل‌های کوچک معکوس در نزدیکی این گسل است که می‌تواند شواهدی برای فعال بودن آن باشد. راندگی طالقان که زیرحوضه‌های واقع در جنوب رودخانه طالقان‌رود را قطع می‌کند، از گسل‌های فعال بوده و در همه مقیاس‌ها یک پرتگاه گسلی آشکار و جوان را نشان می‌دهد (Ritz et al., 2006).

از دیگر ساختارهای این پهنه می‌توان به راندگی الموت اشاره نمود که به موازات یال جنوبی دره الموت رود گسترش می‌یابد. این گسل در محل اتصال الموت‌رود به شاهرود این رودخانه را قطع و باعث انحراف مسیر رودخانه به سمت جنوب می‌شود. وجود پیشانی گسلی مستقیم و زهکشی‌های ژرف بریده شده در دره‌های واقع در شمال رودخانه الموت‌رود نمایانگر زمین‌ساخت فعال این بخش از پهنه بررسی شده است. راندگی‌های پراچان بالایی و پایینی که از دره الموت‌رود به سمت خاور تا منطقه گراب کشیده شده‌اند از دیگر گسل‌های این منطقه هستند. این دو گسل به موازات هم بوده و شیب آنها به سمت خاور است. گسل پراچان جنوبی یک پیشانی گسلی با کمترین پیچ و خم را تشکیل می‌دهد.

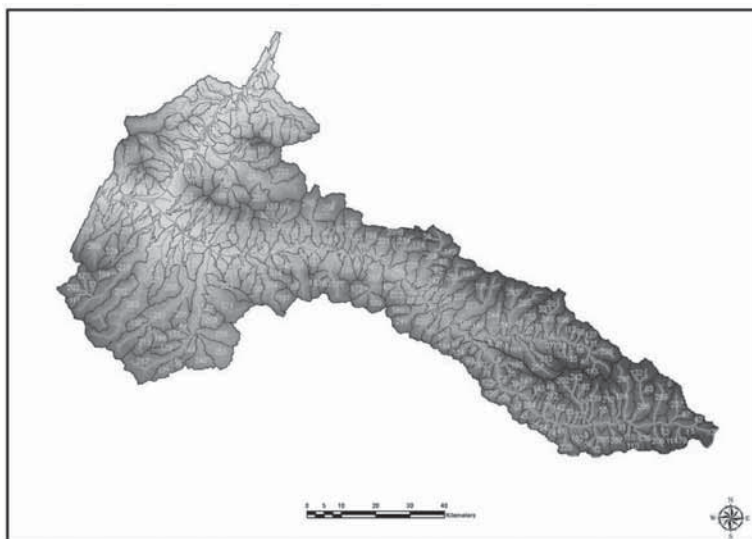
وجود راندگی طالقان در جنوب حوضه زهکشی طالقان‌رود با شیب به سمت جنوب و گسل کندوان در انتهای‌ترین بخش شمال این حوضه با شیب به سمت شمال باعث فروافتادگی حوضه زهکشی طالقان‌رود با امتدادی به سمت باختر شده است. راندگی الموت‌رود نیز با شیب به سمت جنوب و جنوب باختر کشیدگی زیر حوضه‌های موجود در فرودیواره و کج‌شدگی جریانات موازی با روند ساختارها را به سمت جنوب باختر به دنبال داشته است.

**پهنه با فعالیت بالا:** در فرا دیواره گسل کشاچال Iat مقادیر بالایی را نشان می‌دهد. این

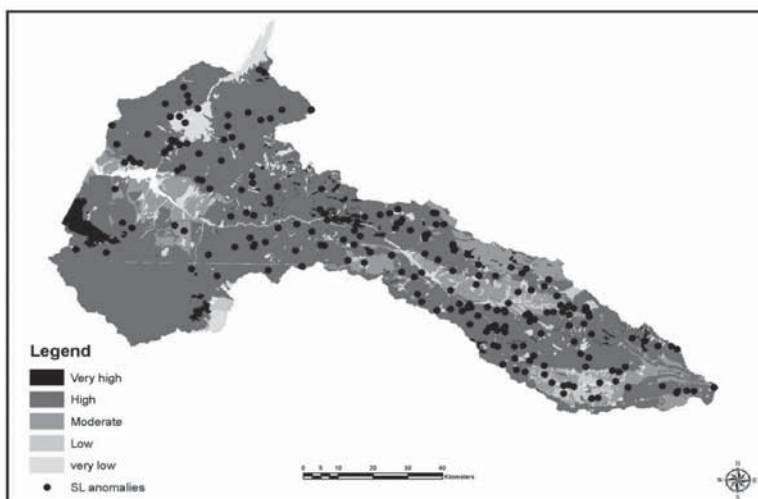


جدول ۱- تقسیم‌بندی شاخص‌های زمین‌ریختی توسط (Hamdouni et al. (2007)

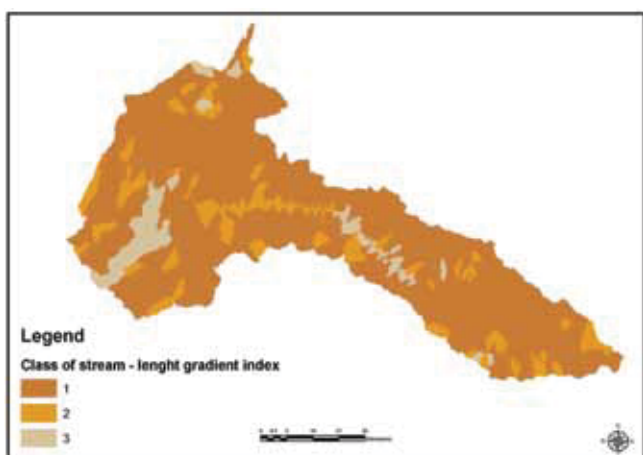
شکل حوضه زهکشی (Bs)	عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)	طول-شیب رودخانه (SL)	نسبت عرض کف دره به درازای آن (Vf)	پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf)	رده
$4 <$	$ Af-50  > 15$	میزان بی‌هنجاری بالا	$0.5 >$	$1/1 >$	۱
$3-4$	$ Af-50  = 7-15$	میزان بی‌هنجاری پایین	$0.5-1$	$1/1-1/5$	۲
$3 >$	$ Af-50  < 7$	بدون بی‌هنجاری	$1 <$	$1/5 <$	۳



شکل ۲- زیرحوضه‌ها و آبراه‌های به دست آمده از مدل ارتفاعی-رقومی حوضه زهکشی طالقان‌رود، شاهرود و سفیدرود



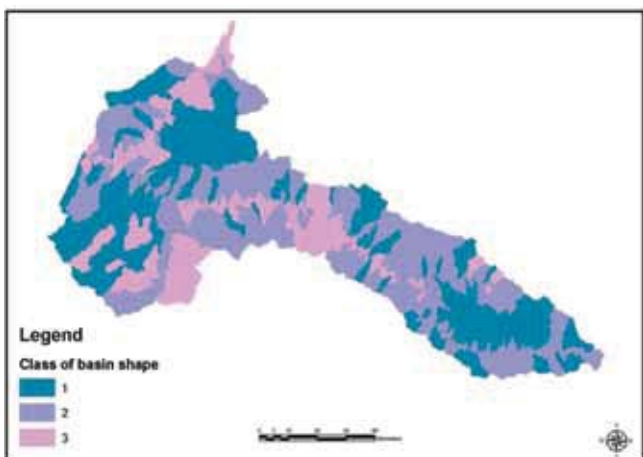
شکل ۳- پراکنندگی مقادیر بالای SL و مقاومت زمین‌شناسی در حوضه طالقان‌رود، شاهرود و سفیدرود



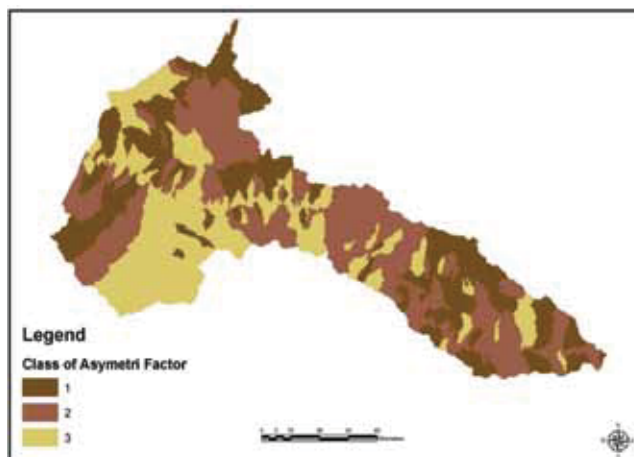
شکل ۵- پراکندگی شاخص طول- شیب رودخانه (SL)



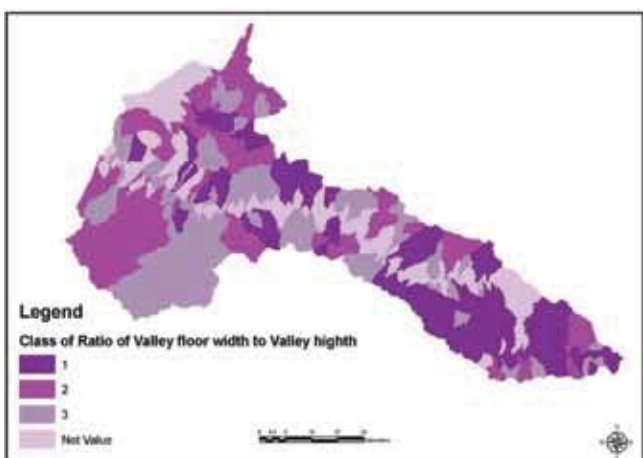
شکل ۴- پراکندگی میزان شاخص طول- شیب آبراهه‌ها (SL)، در شبکه زهکشی رودخانه‌های طالقان رود، شاهرود و سفیدرود



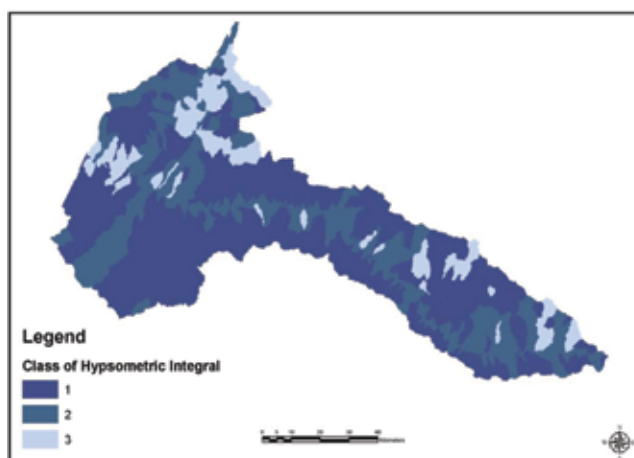
شکل ۷- پراکندگی شاخص شکل حوضه (Bs)



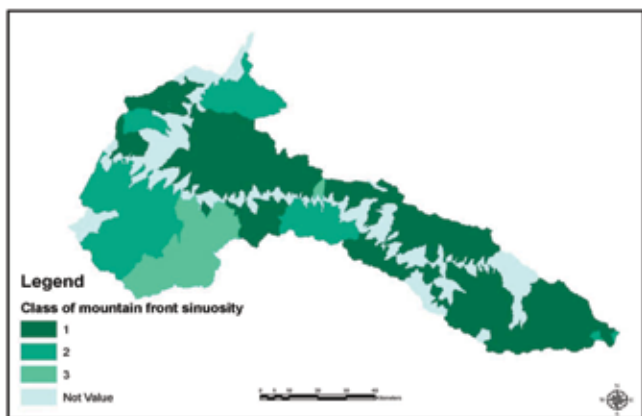
شکل ۶- پراکندگی شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)



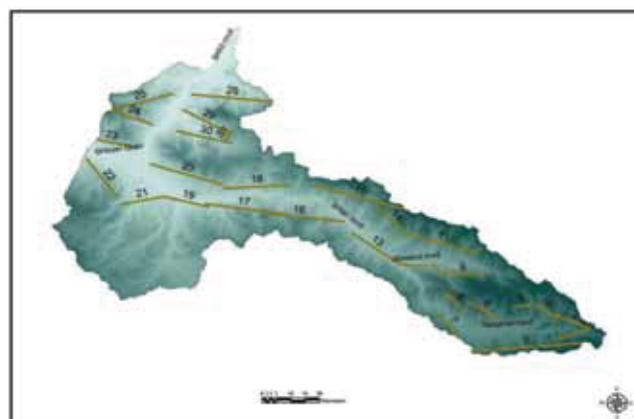
شکل ۹- پراکندگی شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)



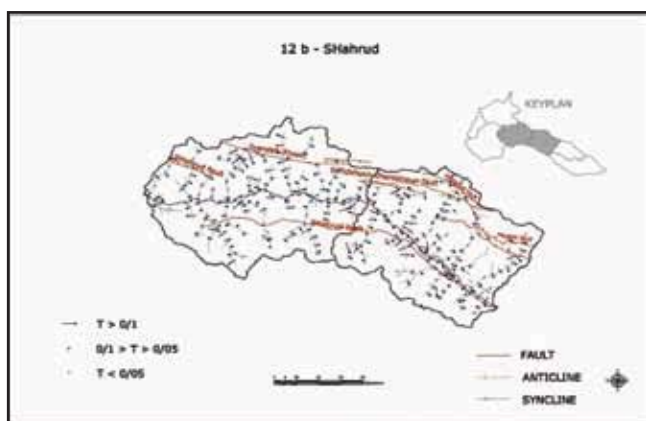
شکل ۸- پراکندگی شاخص انتگرال فراسنجی (Hi)



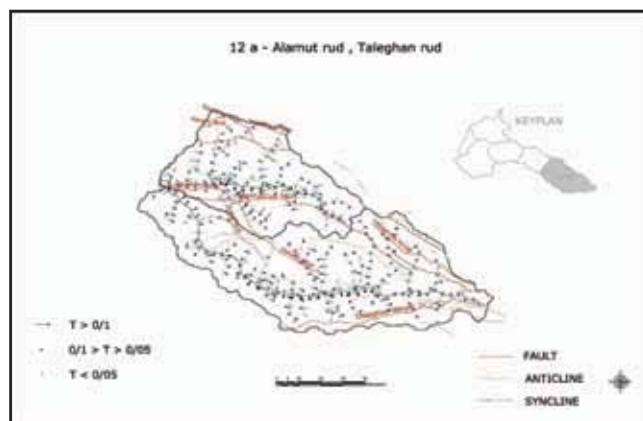
شکل ۱۱- پراکندگی شاخص بیج و خم پیشانی کوه (Smf)



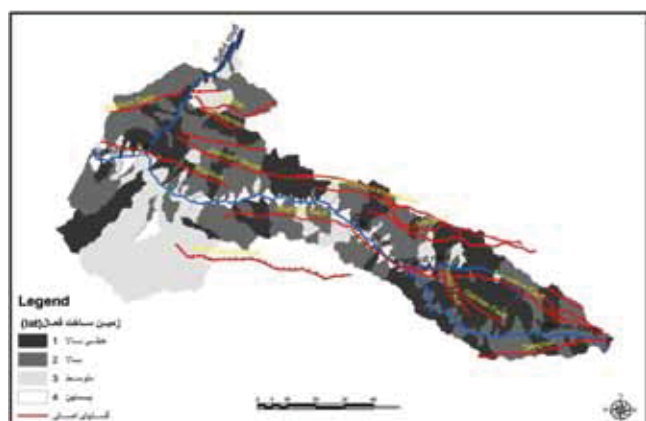
شکل ۱۰- خطوط مستقیم به عنوان پیشانی‌های گسلی منطقه برای محاسبه مقادیر شاخص پیشانی کوه (Smf)



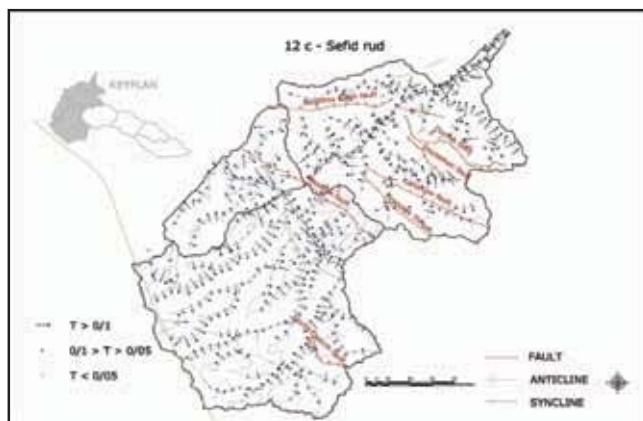
شکل ۱۲- (b) بردارهای عدم تقارن در حوضه رودخانه شاهرود و ارتباط طول آنها با گسل‌های ناحیه. طول بردارها متناسب با میزان کج‌شدگی است



شکل ۱۲- (a) بردارهای عدم تقارن در حوضه رودخانه‌های طالقان‌رود و الموت‌رود و ارتباط طول آنها با گسل‌های ناحیه. طول بردارها متناسب با میزان کج‌شدگی است



شکل ۱۳- پراکندگی شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی Iat در حوضه رودخانه‌های طالقان‌رود، شاهرود و سفیدرود و ارتباط آن با گسل‌های ناحیه



شکل ۱۲- (c) بردارهای عدم تقارن در حوضه رودخانه سفیدرود و ارتباط طول آنها با گسل‌های ناحیه. طول بردارها متناسب با میزان کج‌شدگی است

## کتابنگاری

معماریان، ح.، ۱۳۸۰- زمین‌شناسی برای مهندسين، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۴۹ تا ۱۲۶.  
 وحدتی دانشمند، ب.، ۱۳۸۵- نو زمین ساخت سفیدرود و دشت گیلان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

## References

- Asserto, R., 1966- Geological Map of upper Djadjerud and Lar Valleys (Central Elburz, Iran). Institute of Geology, University of Milan, scale 1:50,000.
- Burbank, D. W. and Anderson, R. S., 2001- Tectonic Geomorphology. Blackweel Science, Massachusetts.
- Cox, R. T., 1994- Analysis of drainage- basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi Embayment. Geological Society of America Bulletin ,106, 571-581.
- Ritz, J. F., Nazari, H., Ghassemi, A., Salamati, R., Shafei, A., Soleymani, S. & Vernant, P., 2006- Active transtension inside Central Alborz: A new insight into northern Iran-southern Caspian geodynamics. Geological Society of America ,34, 477-480.
- Stöcklin, J., 1974- Northern Iran: Alborz Mountains. In: Spencer, A. (Ed.). Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts: Data for Orogenic Studies. Geological Society Special Publication, London 4, pp. 213-234.
- Yousefi, E. & Fridborg, J. L., 1978- Aeromagnetic map of Qazvin, Geological Survey of Iran, Qazvin- Scale 1:250000
- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. Journal of Geodynamics ,21, 1-33.
- 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.
- Azor, A., Keller, E. A. and 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., 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. and 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 Geology Notes, 36(1), 3-16.
- EL Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J. and Keller, E. A., 2007- Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). Geomorphology. Article in press.
- Guest, B., Axen, G. J., Lam, P. S. & Hassanzadeh, J., 2006- Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation, Geosphere 2/1: 35-52. vin, 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.
- Keller, E. A., 1986- Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes. In: Wallace, R.E. (Ed), Active tectonics, Studies in Gephysics. 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 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. Geological Society of America Bulletin ,63, 1117-1142.



# Geomorphic Signatures of Active Tectonics in the Talaghan Rud, Shah Rud and SefidRud Drainage Basins in Central Alborz, N Iran

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

<sup>1</sup> Science and Research Branch, Islamic Azad University (IAU), 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: 2009 April 22

Accepted: 2009 December 02

## Abstract

Geomorphic indices of active tectonics are useful tools to analyze the influence of active tectonics. These indices have the advantage of being calculated from ArcGIS and remote sensing packages over large area as a reconnaissance tool to identify geomorphic anomalies possibly related to active tectonics. This is particularly valuable in west-central Alborz where relatively little work on active tectonics based on this method was done, so this method is new and useful. Based upon values of the 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 (S<sub>mf</sub>), we used an overall index (I<sub>at</sub>) that is a combination of the other indices that divides the landscape into four classes of relative tectonic activity. The moderate class of I<sub>at</sub> is mainly in the south of Manjil dam, while the rest of the study area has high active tectonics (Shahrud drainage basin and Sefidrud drainage basin), and high to very high (Taleghan and Alamut drainage basin). The stream network asymmetry (T) was also studied using morphometric measures of Transverse Topographic Symmetry. Analysis of the drainage basins and subbasins in the study area results in a field of T-vectors that defines anomalous zones of the basin asymmetry. A comparison of T index clearly coincides with the values and classes of active tectonics indices and the overall I<sub>at</sub> index.

**Keywords:** Tectonic Geomorphology, Geomorphic Indices of Active tectonics, Drainage Basin, Asymmetry, Central Alborz.

For Persian Version see pages 159 to 166

\* Corresponding author: Z. Mardani; E-mail: [mhmardani@yahoo.com](mailto:mhmardani@yahoo.com)