

نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال کشف‌رود، شمال خاوری ایران

محمد رضا سجادیان^۱، منوچهر قرشی^۲، الهه جوادی موسوی^۳، محسن پورگرمانی^۴ و مهران آربین^۵

^۱ دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

^۲ دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران تهران، ایران

^۳ دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

^۴ استاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران

^۵ استاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۰۸

چکیده

شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی زمین‌ساخت فعال ابزار مفیدی برای بررسی تأثیر فعالیت زمین‌ساخت در یک ناحیه است. محاسبه این شاخص‌ها به وسیله نرم‌افزارهای ArcGIS، سنجش از دور (به عنوان ابزار شناسایی)، در یک منطقه بزرگ برای تشخیص ناهنجاری‌های احتمالی مرتبط با زمین‌ساخت فعال سودمند است. این روش به ویژه در مناطقی که کار مطالعاتی اندکی بر روی فعالیت زمین‌ساختی آن با استفاده از این روش صورت گرفته است، می‌تواند روش مفیدی باشد. بر اساس میانگین 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)، پیچ و خم بیشانی کوه (Smf) و عامل تقارن توپوگرافی عرضی (T)، شاخص زمین‌ساخت فعال یا (Index of active tectonics) Iat برای حوضه زهکشی کشف‌رود حاصل گردید. مقادیر به دست آمده برای شاخص Iat در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده پهنای با فعالیت زمین‌ساختی پایین (رده ۳) در زیر حوضه‌های 6, 10, 13, 14, 21, 22, 23, 24, 28 و پهنه‌های با فعالیت زمین‌ساختی متوسط (رده ۲) در سایر زیرحوضه‌هاست که بر روی گسل‌های اصلی منطبق می‌باشند.

کلیدواژه‌ها: شاخص‌های زمین‌ریختی، زمین‌ساخت فعال، حوضه زهکشی، کپه داغ، کشف‌رود

E-mail: sajadian1351@yahoo.com

*نویسنده مسئول: محمد رضا سجادیان

۱- پیش‌نوشتار

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., 2004; El Hamdouni et al., 2008). در بیشتر مطالعات انجام شده قبلی شاخص‌های خاص در مقیاس منطقه‌ای (مانند حوضه زهکشی بیشانی کوه) مورد بررسی قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال Bull and McFadden (1977) و Rockwell et al. (1985) با ترکیب شاخص‌های smf و vf به تقسیم‌بندی بیشانی کوه به رده ۱ تا ۳ پرداختند. Silva et al. (2003) نیز زمین‌ساخت فعال نسبی بیشانی‌های مختلف کوه را در جنوب اسپانیا با محاسبه شاخص‌های smf, vf و T مورد بررسی قرار داده و از شاخص‌های عدم تقارن Af و شکل حوضه زهکشی Bs برای تأیید کج‌شدگی زمین‌ساختی استفاده کرد. (El Hamdouni et al. 2008) علاوه بر شاخص‌های فوق، انتگرال فراسنجی (Hi) و شاخص طول-شیب رودخانه (SL)، را نیز به کار برد که مبنای علمی در تعیین زمین‌ساخت فعال نسبی گردید. تلفیق این روش می‌تواند ابزار به نسبت دقیقی در تعیین فعالیت نسبی زمین‌ساختی گردد. از این رو، در این مقاله سعی شده است که با استفاده از تلفیق روش‌های یاد شده به تعیین زمین‌ساخت فعال نسبی حوضه کشف‌رود پرداخته شود.

۲- ناحیه مورد مطالعه

رودخانه کشف‌رود با طولی برابر با ۳۰۰ کیلومتر از جنوب ارتفاعات ۲۲۲۰ متری هزارمسجد سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه دارای روند شمال باختری- جنوب خاوری است (شکل ۱). حوضه زهکشی کشف‌رود در حد فاصل رشته کوه‌های کپه‌داغ و البرز خاوری قرار دارد.

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

در ابتدا مدل رقومی ارتفاعی (Digital Elevation Model-DEM) ناحیه مورد مطالعه،

با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، به شکل Raster تهیه گردید سپس با استفاده از یکی از Extension های جانبی نرم‌افزار ArcGIS تحت عنوان (Arc Hydro Tools) که امکانات تعیین زیرحوضه‌های یک حوضه، مساحت آنها و همچنین شبکه آبراه‌ها را با ترکیب مجموعه‌ای از فرایندهای محاسباتی فراهم می‌آورد، الگوی زهکشی منطقه تهیه گردید. نتیجه آنالیز نرم‌افزار و کنترل آن با نقشه‌های توپوگرافی محدوده مطالعاتی و حذف زیر حوضه‌های قرار گرفته در مسیر رودخانه اصلی (از دیدگاه El Hamdouni et al., 2008)، ۲۸ زیر حوضه در کل منطقه شناسایی گردید (شکل ۲).

۴- شاخص‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال

زمین‌ریخت‌شناسی ابزاری ارزشمند در بررسی زمین‌ساخت پویا است. ریخت‌سنجی (morphometry) به صورت اندازه‌گیری‌های کمی شکل‌های زمین‌ریختی توصیف می‌شود. به طور ساده، عوارض زمین‌ریختی با اندازه ارتفاع و شیب توصیف می‌شوند. اندازه‌گیری‌های کمی امکان مقایسه عینی عوارض زمین‌ریختی 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 مطالعه، مجموعه‌ای از چند شاخص برای تعیین زمین‌ساخت نسبی مورد ارزیابی قرار گرفت. این شاخص‌ها در تمام زیر حوضه‌های منطقه اندازه‌گیری شده و هر کدام به سه رده فعالیت زمین‌ریختی تقسیم گردید. سپس میانگین رده‌های تمام شاخص‌ها محاسبه و چهار رده زمین‌ساخت فعال نسبی حاصل می‌گردد (El Hamdouni et al. 2008).

۴-۱. شاخص طول-شیب رودخانه (SL)

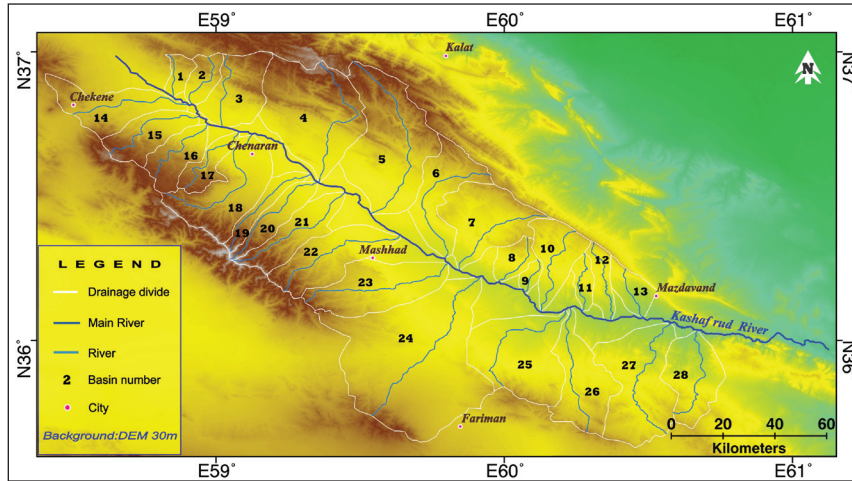
شاخص طول-شیب برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی ابزار مفیدی است. هنگامی که رودخانه‌ها و آبراه‌ها در نواحی با نرخ بالا آمدگی زیاد جریان دارند، مقدار افزایش می‌یابد، در حالی که وقتی جریان رودخانه به موازات ساختارهایی مانند دره‌های حاصل از گسل راست‌الغز صورت گیرد، میزان SL کاهش می‌یابد

(Keller and Pinter, 2002). این شاخص توسط Hack (1973)، با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

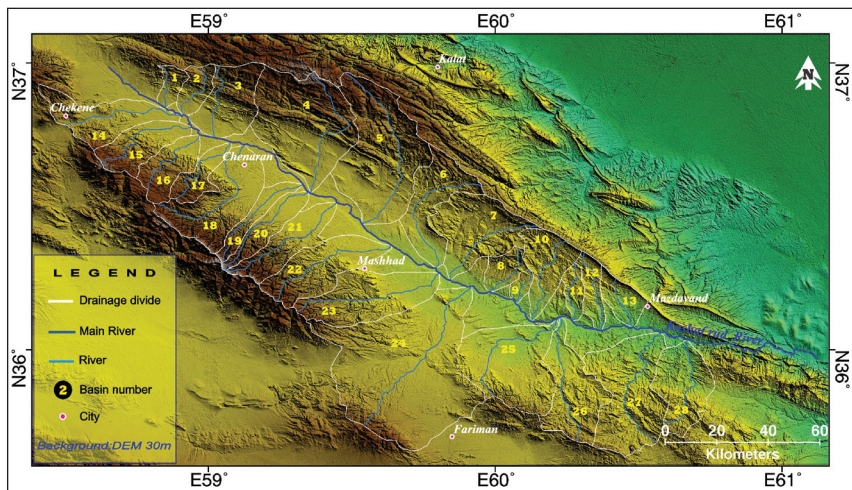
$$SL = (\Delta h / \Delta l) \quad (1)$$

در این فرمول $\Delta h / \Delta l$ شیب بخشی از مجرا و l طول مجرا از بالادست تا نقطه‌ای که

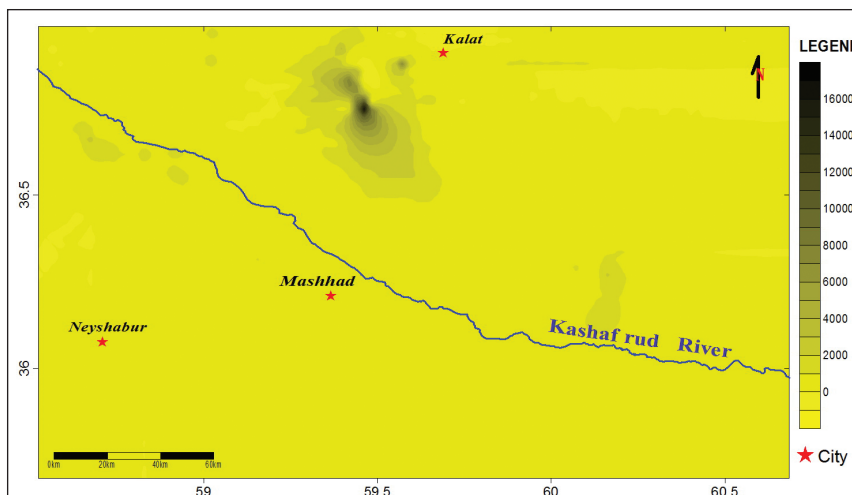
برای آن شاخص محاسبه می‌شود، است. با بررسی این شاخص و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS مناطق با میزان بالای (SL) بر روی نقشه مشخص شد و دو رده فعالیت‌های زمین‌ساختی نسبی پایین و متوسط در گستره مورد مطالعه شناسایی گردید (شکل‌های ۳ و ۴).



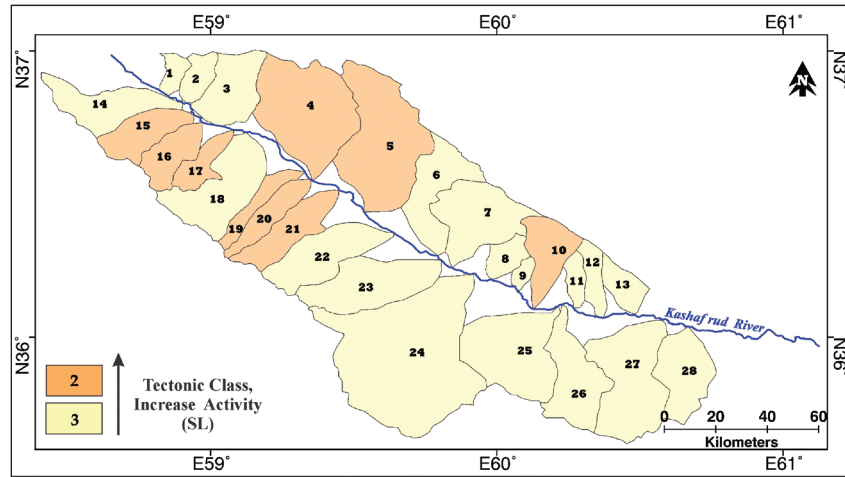
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد مطالعه.



شکل ۲- زیرحوضه‌ها و آبراهه‌های به‌دست آمده از مدل ارتفاعی-رقومی حوضه زهکشی کشف‌رود.



شکل ۳- نقشه ترازبندی شاخص طول-شیب آبراهه‌ها (SL)، در شبکه زهکشی کشف‌رود.



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی شاخص طول- شیب رودخانه (SL).

۲-۴. شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

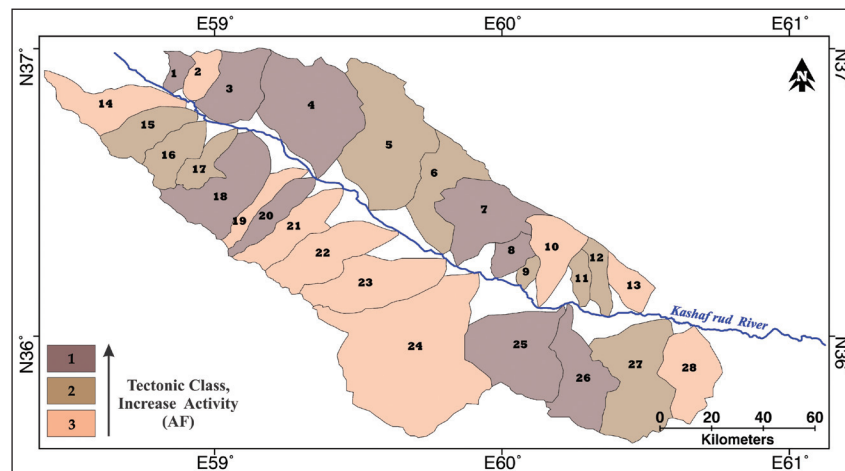
شاخص عدم تقارن (Af) به بررسی میزان کج‌شدگی زمین‌ساختی جهت جریان در حوضه زهکشی می‌پردازد (Hare and Gardner, 1985; Keller and Pinter, 2002). شاخص Af طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

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

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 لیتولوژی (مانند لایه‌های رسوبی شیب دار) و نه اقلیم محلی (اختلاف گیاهی بین شیب‌های رو به شمال و جنوب) باعث عدم تقارن نمی‌گردند (Hamdouni et al., 2008). با این فرض، Af برای کلیه زیر حوضه‌های رودخانه‌های اصلی موجود در منطقه محاسبه 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 ذکر است که بیشترین میزان این شاخص در حاشیه شمالی منطقه مطالعاتی به دست آمده است (شکل ۵).



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af).

۳-۴. شاخص شکل حوضه (Bs)

با استفاده از این شاخص می‌توان شکل حوضه را به یک شاخص کمی تبدیل نمود (Cannon, 1976; Ramírez-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 آنالیز حوضه

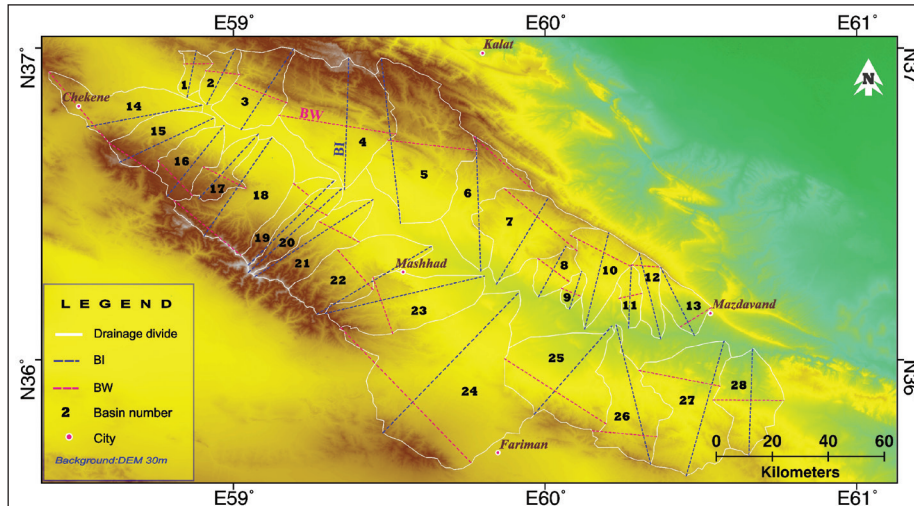
زهکشی نزدیک پیشانی کوهستان زمانی که زمین‌ساخت فعال باعث بالا آمدگی سریع شده (Bull and Macfaden, 1977) و یا در مناطقی که دچار فروافتادگی شده (Ramírez-Herrera, 1998) مورد استفاده قرار گرفته است. در حوضه زهکشی کشف‌رود میزان این شاخص بین ۱/۱۱ تا ۶/۱۹ تغییر می‌کند و بیشترین مقدار آن در زیر حوضه‌های ۱۹ و ۲۰ به دست آمده است (شکل ۶ و ۷).

۴-۴. انتگرال فرازسنجی (Hi)

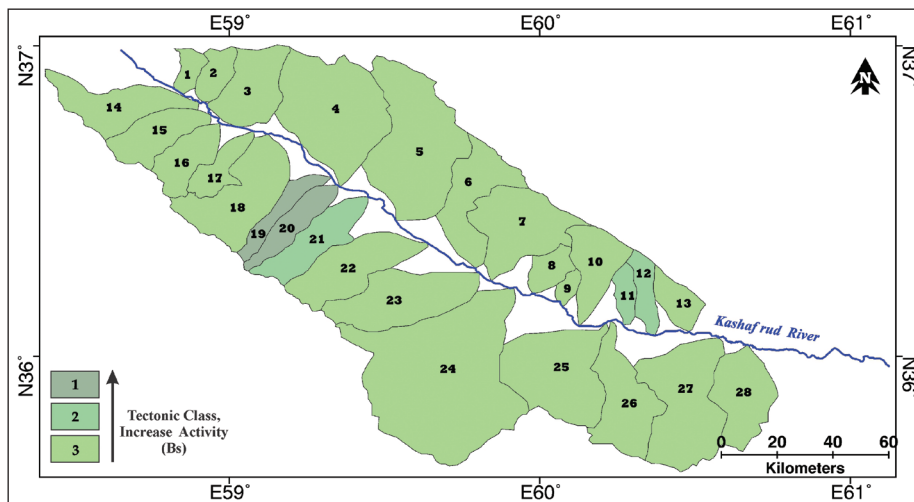
انتگرال فرازسنجی پراکنندگی ارتفاع را در یک ناحیه خاص نشان می‌دهد. منحنی فرازسنجی که شامل رسم نسبت ارتفاعی در مقابل نسبت مساحت و

فرازسنجی 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 می‌باشند، مرتبط هستند (El Hamdouni et al., 2008).

محاسبه مساحت زیر منحنی است، مستقل از اندازه حوضه و برآمدگی است (Strahler, 1952). استفاده مفید از منحنی فراسنجی این است که حوضه‌های زهکشی با اندازه‌های مختلف را می‌توان با یکدیگر مقایسه نمود (Pike and Wilson, 1971; Mayer, 1990; Keller and Pinter, 2002). انتگرال



شکل ۶- پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه شاخص شکل حوضه (Bs).



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی شاخص شاخص شکل حوضه (Bs).

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 آنجایی که برآمدگی در ارتباط با فروکاو است این شاخص می‌تواند نشان‌دهنده میزان فعالیت زمین‌ساختی باشد. به نحوی که میزان پایین Vf به نرخ‌های بالا آمدگی و بریدگی بیشتر مربوط است. این شاخص بیشتر منعکس‌کننده میزان فروکاو است تا بالا آمدگی، ولی در حالت تعادل فروکاو و بالا آمدگی بر هم منطبق‌اند.

از دیدگاه Silva et al. (2003) این شاخص باید در فاصله مشخصی از پیشانی (1-1/5 km) اندازه‌گیری شود. در منطقه مورد مطالعه میزان این شاخص برای دره‌های اصلی که پیشانی گسلی را قطع می‌کنند محاسبه و نتایج در شکل ۹ ارائه شدند.

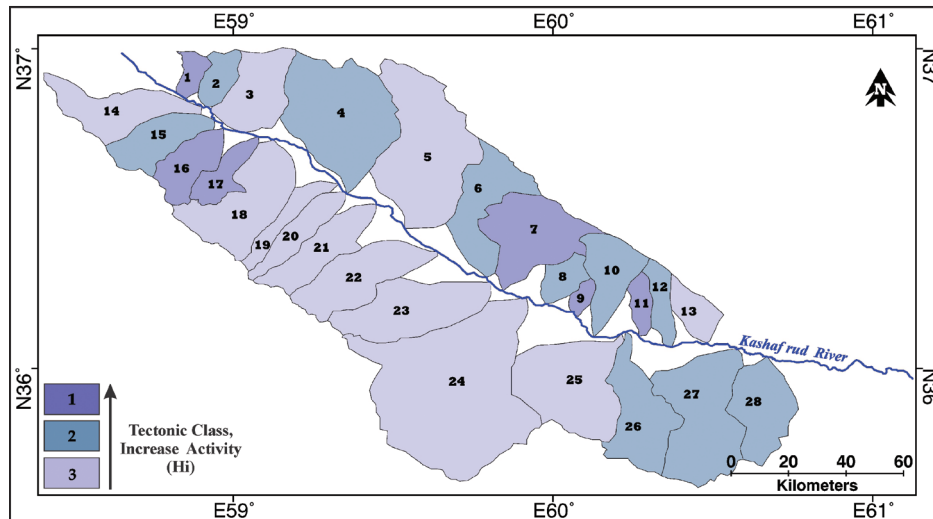
در منطقه مورد مطالعه، منحنی‌های فراسنجی برای زیرحوضه‌ها توسط نرم‌افزار excel رسم و مساحت سطح زیر این منحنی‌ها که نشان‌دهنده مقدار شاخص انتگرال فراسنجی است با استفاده از نرم‌افزار matlab محاسبه شد. بیشتر زیر حوضه‌ها مقادیر بالای این شاخص را نشان می‌دهند تنها در بخش‌هایی از مجاری اصلی رودخانه‌ها که به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

۴-۵. نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf)

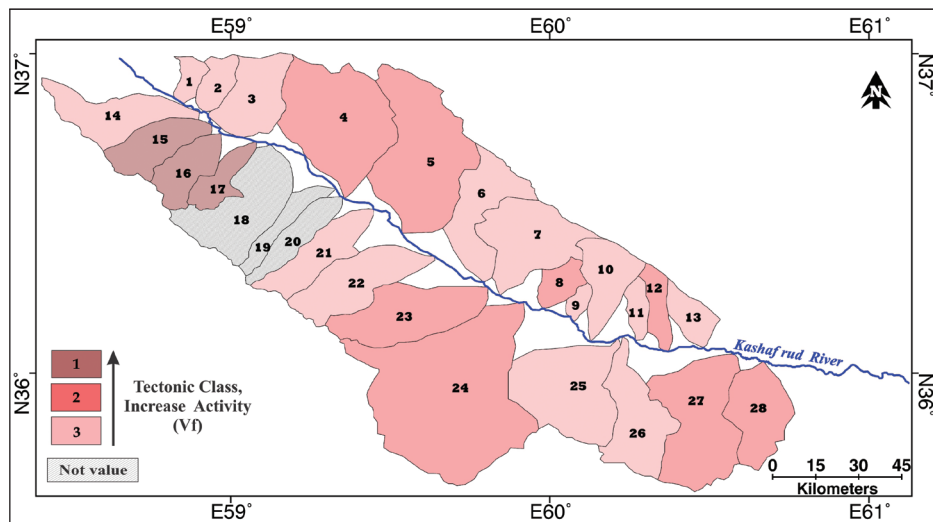
Vf به‌عنوان نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Bull and McFadden, 1977; Bull, 1978)، به شکل زیر توصیف شده است:

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

در این رابطه Vf نسبت عرض کف دره به ارتفاع، Vfw عرض کف دره، Eld،



شکل ۸ - نقشه پهنه‌بندی شاخص انتگرال فراسنجی (Hi).



شکل ۹ - نقشه پهنه‌بندی شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن (Vf).

۴-۶. پیچ و خم پیشانی کوه (Smf)

شاخص پیچ و خم پیشانی کوه طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد (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 قسمت پیشانی کوه است. این شاخص انعکاس‌دهنده توازن بین نیروهای فرسایشی است که تمایل به ایجاد ساخت سینوسی دارند، در حالی که نیروهای زمین ساختی متمایل به ایجاد یک پیشانی مستقیم همراه با یک گسل فعال احاطه کننده آن است (Bull and McFadden, 1977; Keller, 1986). در منطقه مورد مطالعه هر سه رده فعالیت‌های زمین ساختی نسبی در حوضه زهکشی کشف‌رود ملاحظه گردید (شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

۴-۷. عامل تقارن توپوگرافی عرضی (T)

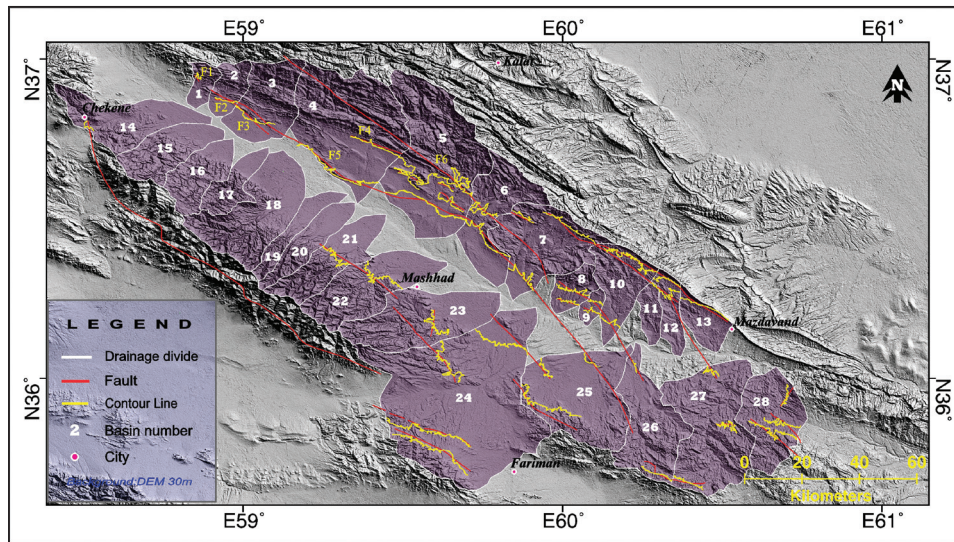
این عامل را می‌توان یک روش سریع برای تشخیص میزان کج شدگی حاصل از زمین ساخت فعال شاخص دانست (Cox, 1994). بررسی تغییرات میزان کج شدگی در بخش‌های مختلف یک ناحیه نشان از اختلاف در میزان بالا آمدگی را آشکار می‌نماید. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

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

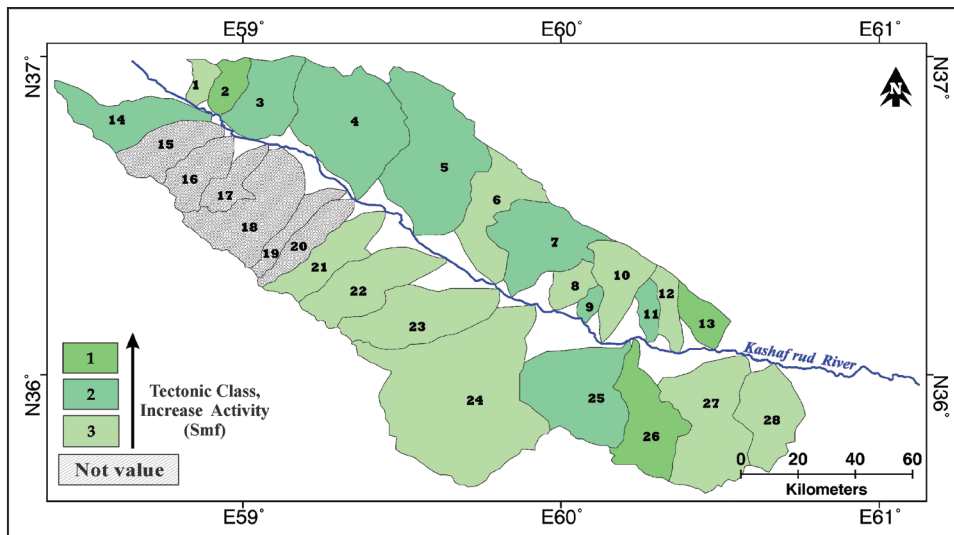
در این رابطه Da عبارتست از فاصله بین خطوط میانی تا رودخانه و Dd فاصله خط میانی تا مرز حوضه. مقدار این شاخص بین صفر (بدون کج شدگی) و یک (حداکثر کج شدگی) متغیر است. در منطقه مورد مطالعه میزان الگوی کج شدگی در حوضه رودخانه کشف‌رود مورد بررسی قرار گرفت و هر سه رده فعالیت‌های زمین ساختی نسبی در حوضه زهکشی کشف‌رود ملاحظه گردید (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

۶- نتایج و بحث

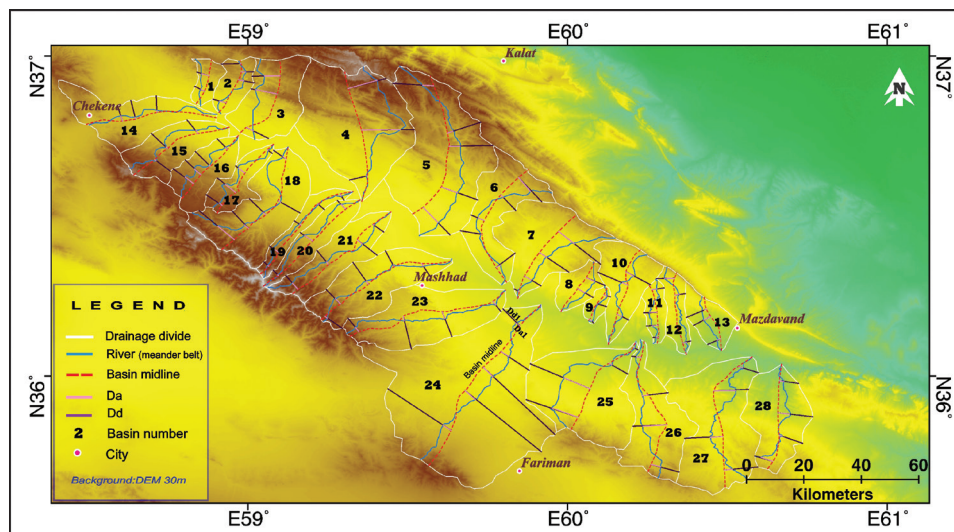
شاخص‌های مختلف زمین ریختی که در قسمت قبل اشاره شد، جهت ارزیابی زمین ساخت فعال نسبی (Iat) به سه رده: یک (فعالیت بالا)، دو (فعالیت متوسط) و سه (فعالیت پایین) تقسیم گردید. سپس با محاسبه میانگین رده کلاس شاخص‌ها (S/n) در هر حوضه، شاخص زمین ساخت فعال نسبی (Iat) به سه رده طبقه‌بندی گردید. در این طبقه‌بندی رده ۱ بیانگر فعالیت زمین ساخت نسبی بالا (S/n بین ۱ تا ۱/۵)، رده ۲ فعالیت زمین ساخت نسبی متوسط (S/n بین ۱/۵ تا ۲/۵) و رده ۳ فعالیت زمین ساخت نسبی پایین (S/n بیشتر از ۲/۵) می‌باشد. با به کارگیری این طبقه‌بندی در منطقه مورد مطالعه، نتایج (جدول ۱) حاصل گردید (شکل ۱۴).



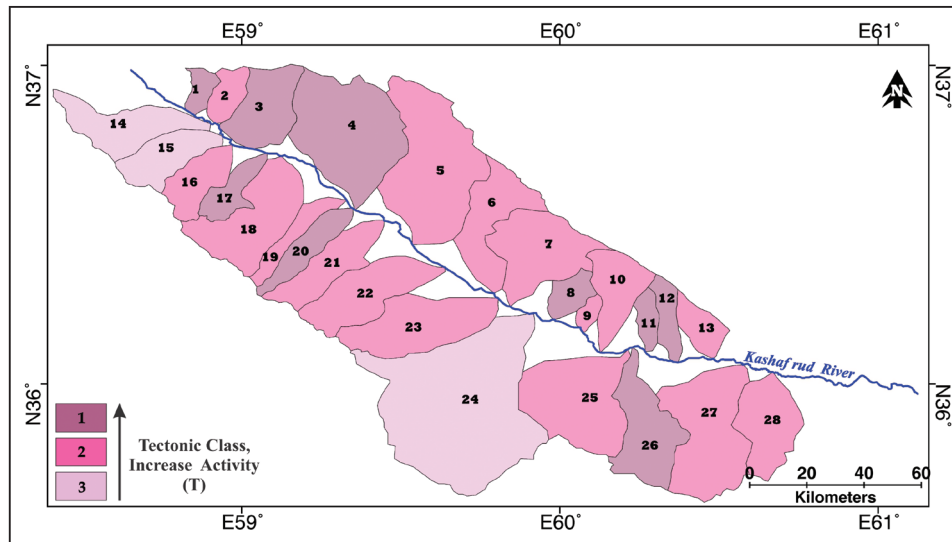
شکل ۱۰- خطوط مستقیم به عنوان پیشانی‌های گسلی منطقه جهت محاسبه مقادیر شاخص پیشانی کوه (Smf).



شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی شاخص پیچ و خم پیشانی کوه (Smf).



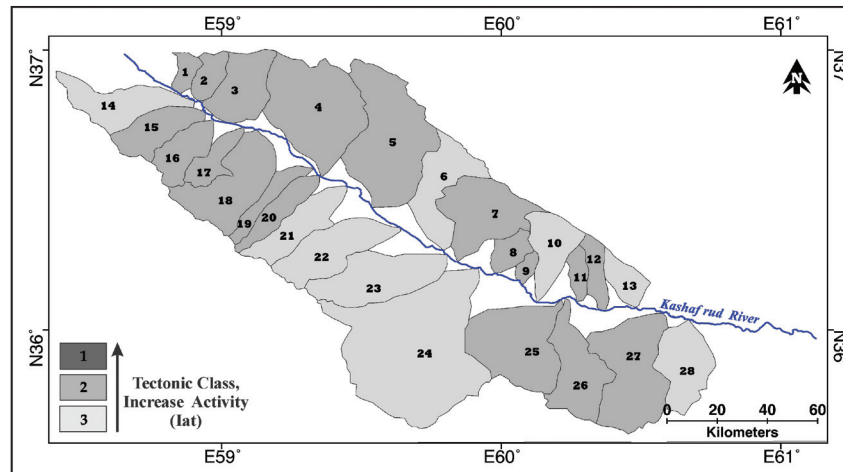
شکل ۱۲- پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه عامل عدم تقارن در حوضه رودخانه کشف‌رود.



شکل ۱۳- نقشه پهنه‌بندی عامل عدم تقارن در حوضه رودخانه کشف‌رود.

جدول ۱- رده‌بندی زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه بر پایه فعالیت‌های زمین‌ساختی نسبی.

Sub-basins	Class of V_f	Class of S_{mf}	Class of H_1	Class of B_s	Class of AF	Class of SL	Class of T	S/n	Iat index
1	3	3	1	3	1	3	1	2.14	2
2	3	1	2	3	3	3	2	2.43	2
3	3	2	3	3	1	3	1	2.29	2
4	2	2	2	3	1	2	1	1.86	2
5	2	2	3	3	2	2	2	2.29	2
6	3	3	2	3	2	3	2	2.57	3
7	3	2	1	3	1	3	2	2.14	2
8	2	3	2	3	1	3	1	2.14	2
9	3	2	1	3	2	3	2	2.29	2
10	3	3	2	3	3	2	2	2.57	3
11	3	2	1	2	2	3	1	2.00	2
12	2	3	2	2	2	3	1	2.14	2
13	3	1	3	3	3	3	2	2.57	3
14	3	2	3	3	3	3	3	2.86	3
15	1	-	2	3	2	2	3	2.17	2
16	1	-	1	3	2	2	2	1.83	2
17	1	-	1	3	2	2	1	1.67	2
18	-	-	3	3	1	3	2	2.40	2
19	-	-	3	1	3	2	2	2.20	2
20	-	-	3	1	1	2	1	1.60	2
21	3	3	3	2	3	2	2	2.57	3
22	3	3	3	3	3	3	2	2.86	3
23	2	3	3	3	3	3	2	2.71	3
24	2	3	3	3	3	3	3	2.86	3
25	3	2	3	3	1	3	2	2.43	2
26	3	1	2	3	1	3	1	2.00	2
27	2	3	2	3	2	3	2	2.43	2
28	2	3	2	3	3	3	2	2.57	3



شکل ۱۴- نقشه پهنه‌بندی شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی Iat در حوضه رودخانه کشف‌رود.

۷- نتیجه‌گیری

پس از بررسی شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی و محاسبه شاخص (Iat) در منطقه مطالعاتی دو پهنه با ویژگی‌های متفاوت به لحاظ زمین‌ساخت فعال نسبی شناسایی گردید. پهنه با فعالیت پایین در زیر حوضه‌های 6, 10, 13, 14, 21, 22, 23, 24, 28 و پهنه با فعالیت متوسط در سایر زیر حوضه‌ها که بر گسل‌های اصلی نیز منطبق هستند.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از سازمان زمین‌شناسی کشور جهت کمک در تهیه داده‌ها، کمال تشکر را دارند.

References

- 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.
- 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.
- EL Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., and Keller, E.A., 2008- 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., and 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., and 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., and 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., and 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., and 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.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., and 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 Kashafrood drainage basin, NE Iran

M. R. Sajadian^{1*}, M. Ghorashi², E. Javadi Mosavi³, M. Pourkemani⁴, and M. Arian⁵

¹ Ph.D. Student, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Associate Professor, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran ; Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

³ Ph.D. Student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

⁴ Professor, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

⁵ Professor, Science and Research Branch, Islamic Azad University Tehran, Iran

Received: 2015 December 06

Accepted: 2018 April 28

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), index of mountain front sinuosity (Smf) and transverse topographic symmetry factor (T), we used an overall index (Iat) that is a combination of the other indices. The low class of Iat are mainly in the sub-basins no; 6, 10,13,14,21,22,23,24,28 and the rest of the study area has moderate tectonic activities in the other sub-basins. Our results show that the moderate value has located along faulted area, which shows 2 class of relative tectonic activity.

Keywords: Geomorphic indices, Active tectonics, Drainage basin, Kopet Dagh, Kashflood

For Persian Version see pages 299 to 306

*Corresponding author: M. R. Sajadian; E-mail: sajadian1351@yahoo.com