

نشانه های زمین ریختی زمین ساخت فعال حوضه زهکشی چالوس در البرز، شمال ایران

معصومه حاج منوچهری^۱، مهران آرین^۲، منوچهر قرشی^۳، علی سلگی^۴ و علی سربی^۵

^۱ دانشجوی دکترا، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

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

^۳ دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران؛ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۴ استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۵ استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، البرز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۱۷

چکیده

شاخص زمین ریخت شناسی زمین ساخت فعال، ابزار مفیدی برای بررسی تأثیر فعالیت زمین ساخت در یک ناحیه است. محاسبه این شاخص به وسیله نرم افزارهای Arc GIS و سنجش از دور (به عنوان ابزار شناسایی) در یک منطقه بزرگ برای تشخیص ناهنجاری های احتمالی مرتبط با زمین ساخت فعال سودمند است. این روش به ویژه در مناطقی که کار مطالعات کمی روی فعالیت زمین ساختی آن با استفاده از این روش صورت گرفته است، می تواند روش نو و مفیدی باشد. بر پایه 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 Iat (Index of relative active tectonics) زمین ساخت فعال نسبی) حاصل شد که ترکیبی از شاخص های بالاست و خود به چهار رده تقسیم می شود. مقادیر به دست آمده برای شاخص Iat در منطقه مورد بررسی نشان دهنده پهنای با فعالیت زمین ساختی پایین (رده ۴) در زیر حوضه های ۴ و ۶ و پهنای با فعالیت زمین ساختی متوسط (رده ۳) در زیر حوضه های ۱، ۲، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۹ و پهنای با فعالیت زمین ساختی بالا (رده ۲) در زیر حوضه های ۳، ۵، ۸، ۱۳، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ است. الگوی تقارن توپوگرافی عرضی (T) نیز برای ناحیه مورد بررسی محاسبه و نتیجه آن به شکل نقشه ای از برادرهای T تهیه شد. با مقایسه مقادیر این شاخص با نقشه رده بندی زمین ساخت فعال نسبی، تطبیق نواحی رده بالا با پهنه های دارای مقادیر بالای عدم تقارن تأیید شد.

کلیدواژه ها: شاخص های زمین ریختی زمین ساخت فعال، حوضه زهکشی، عدم تقارن، البرز، چالوس.

Email: Mhmanuchehri@yahoo.com

*نویسنده مسئول: معصومه حاج منوچهری

۱- پیش نوشتار

برای بررسی میزان دگر ریختی ایجاد شده در اثر فعالیت های زمین ساختی می توان از شاخص های زمین ریخت شناسی استفاده کرد (Bull & McFadden, 1977; Azor et al., 2002; Keller & Pinter, 2002; Silva et al., 2003; Molin et al., 2004; EL Hamdouni et al., 2007). در بیشتر بررسی های انجام شده پیشین شاخص های خاص در مقیاس منطقه ای (مانند حوضه زهکشی پیشانی کوه) مورد بررسی قرار گرفته است. برای نمونه (Bull & McFadden (1977) و (Rockwel et al. (1985) با ترکیب شاخص های Smf و Vf به تقسیم بندی پیشانی کوه به رده ۱ تا ۳ پرداختند. (Silva et al. (2003) نیز زمین ساخت فعال نسبی پیشانی های مختلف کوه را در جنوب اسپانیا با برآورد شاخص های Smf، Vf و T بررسی و از شاخص های عدم تقارن (Af) و شکل حوضه زهکشی (Bs) برای تأیید کج شدگی زمین ساختی استفاده کردند. (EL Hamdouni et al. (2007) افزون بر شاخص های یاد شده، انتگرال فراسنجی (Hi) و شاخص طول- شیب رودخانه (SL) را نیز به کار بردند که مبنای علمی در تعیین زمین ساخت فعال نسبی شد. تلفیق این روش می تواند ابزار به نسبت دقیقی در تعیین فعالیت نسبی زمین ساختی شود. بنابراین در این مقاله سعی شده است که با استفاده از تلفیق روش های یاد شده به تعیین زمین ساخت فعال نسبی حوضه زهکشی چالوس پرداخته شود.

۲- ناحیه مورد بررسی

حوضه زهکشی چالوس در محدوده طول جغرافیایی ۳۰° ۴۹' تا ۳۰° ۵۲' خاوری و عرض جغرافیایی ۳۶° ۰۰' تا ۳۷° ۳۰' شمالی قرار دارد. این منطقه روی نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رشت، لنگرود، جیرنده، جواهرده، رامسر، چالوس، نوشهر، نور، شکران، مرزن آباد، بلده و آمل قرار دارد و گسترش آن ۱۱۶۱۶ کیلومتر مربع است (شکل ۱). بر پایه تقسیم بندی (Stocklin (1974) حوضه زهکشی چالوس در

منطقه نوژن شمالی و منطقه شمالی- مرکزی واقع شده و تغییر شکل سنگ ها 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 نقشه های توپوگرافی به شکل Raster تهیه شد، سپس با استفاده از نرم افزار PCI Geomatica که امکانات تعیین زیر حوضه های یک حوضه، مساحت آنها و همچنین شبکه آبراه ها را با ترکیب مجموعه ای از فرایندها محاسباتی فراهم می آورد، الگوی زهکشی منطقه تهیه شد. نتیجه تجزیه نرم افزار و کنترل آن با نقشه های توپوگرافی محدوده بررسی و با حذف زیر حوضه های قرار گرفته در مسیر رودخانه اصلی از دیدگاه (Hamdouni et al. (2007) ۱۹ زیر حوضه در کل منطقه شناسایی شد (شکل ۲).

۴- شاخص های زمین ریختی زمین ساخت فعال

زمین ریخت شناسی ابزاری ارزشمند در بررسی زمین ساخت پویاست. ریخت سنجی (Morphometry) به صورت اندازه گیری های کمی شکل های زمین ریختی توصیف می شود. به طور ساده، زمین ریخت ها با اندازه ارتفاع و شیب توصیف می شوند. اندازه گیری های کمی امکان مقایسه عینی زمین ریخت های مختلف و محاسبه متغیرهای کمتر قابل فهم را فراهم و شناسایی ویژگی های خاص شامل سطح فعالیت زمین ساختی یک منطقه را امکان پذیر می سازد (Keller, 1986).

در محدوده مورد بررسی مجموعه ای از چند شاخص برای تعیین زمین ساخت نسبی مورد ارزیابی قرار گرفت. این شاخص ها در همه زیر حوضه های منطقه

زهکشی چالوس برآورد شده و با توجه به این که مقادیر بالای Af به‌طور چیره در کنار گسل‌های فعال منطقه قرار گرفته، می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت‌های زمین‌ساختی نقش کنترل‌کننده روی این شاخص داشته است. لازم به یادآوری است که بیشترین میزان این شاخص در زیرحوضه شماره ۹ (تیروم‌رود) و کمترین آن در زیر حوضه شماره ۱۷ (کجورود) 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 کرد (Cannon, 1976; Ramirez-Herrera, 1998):

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

که در این رابطه Bl طول حوضه، از محل مجرای خروجی تا بالاترین نقطه (دورترین) آن و Bw عرض حوضه - که در عرض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود - است. حوضه‌های با کشیدگی زیاد مشخص‌کننده مناطق فعال زمین‌ساختی است، یعنی جایی که جریان به‌صورت ابتدایی بستر خود را حفر می‌کند. این روش برای تجزیه حوضه زهکشی نزدیک پیشانی کوهستانی زمانی که زمین‌ساخت فعال باعث بالاآمدگی سریع شده (Bull & McFadden, 1977) و یا در مناطقی که دچار فروافتادگی شده (Ramirez-Herrera, 1998) مورد استفاده قرار گرفته است. در حوضه زهکشی چالوس این شاخص بین ۰/۸۴ تا ۳/۹۲ تغییر می‌کند و کمترین آن مربوط به زیرحوضه شماره ۱۴ (رودخانه چالوس) و بیشترین آن مربوط به زیرحوضه شماره ۱۳ (سرداب‌رود) است (شکل ۷).

۴-۴. انتگرال فرازنسجی (Hi)

انتگرال فرازنسجی پراکندگی ارتفاع را در یک ناحیه خاص نشان می‌دهد. منحنی فرازنسجی 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 فرازنسجی این است که حوضه زهکشی با اندازه‌های مختلف را می‌توان با یکدیگر مقایسه کرد (Pike & Wilson, 1971; Mayer, 1990; Keller & Pinter, 2002).

انتگرال فرازنسجی به‌طور مستقیم با زمین‌ساخت فعال ارتباط ندارد. مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده نواحی فعال و جوان و مقادیر پایین آن با نواحی قدیمی که فرایند فرسایش بر آنها حاکم است و کمتر تحت تأثیر زمین‌ساخت فعال منطقه است، مرتبط هستند (EL Hamdouni et al., 2007). در منطقه مورد بررسی منحنی‌های فرازنسجی برای زیرحوضه‌ها توسط نرم‌افزار Excel رسم و مساحت سطح زیر این منحنی‌ها که نشان‌دهنده مقدار شاخص انتگرال فرازنسجی است با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد. تغییرات عددی این شاخص میان ۰/۲۴ تا ۰/۵۶ است که کمترین آن مربوط به زیرحوضه ۱ و بیشترین آن مربوط به زیرحوضه ۱۷ است (شکل ۸).

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

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

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

در این رابطه 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 آنجا که برآمدگی در ارتباط با فروکاو است، این شاخص می‌تواند نشان‌دهنده میزان فعالیت زمین‌ساختی باشد. به‌گونه‌ای که میزان پایین Vf به نرخ‌های بالاآمدگی و بریدگی بیشتر مربوط است. این شاخص به‌طور چیره بازتاب‌دهنده میزان فروکاو است تا بالاآمدگی، ولی در حالت تعادل، فروکاو و بالاآمدگی بر هم منطبق‌اند.

اندازه‌گیری و هر کدام به سه رده فعالیت زمین‌ریختی تقسیم شد. سپس میانگین رده‌های همه شاخص‌ها محاسبه و چهار رده زمین‌ساخت فعال نسبی حاصل شد (EL Hamdouni et al., 2007).

۴-۱. شاخص طول-شیب رودخانه (SL)

شاخص طول-شیب برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی ابزار مفیدی است. هنگامی که رودخانه 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 & 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 بالادست تا نقطه‌ای که برای آن شاخص برآورد می‌شود است. این شاخص تحت تأثیر میزان مقاومت جنس بستر نیز بوده و با جریان یافتن رودخانه روی سنگ‌ها با مقاومت بالا، میزان بالای (SL) و در سنگ‌های با مقاومت پایین، میزان پایین (SL) را نشان می‌دهد. به منظور بررسی ارتباط میان مقاومت سنگ و شاخص یادشده، سنگ‌های موجود در منطقه مورد بررسی بر پایه میزان مقاومت به گروه‌های با مقاومت خیلی کم (نهشته‌های آبرفتی جوان)، مقاومت کم (نهشته‌های دامنه‌ای)، مقاومت متوسط (شیل و سیلت‌سنگ)، مقاومت بالا (سنگ آهک، توف، کنگلومرا، ماسه سنگ) و مقاومت خیلی بالا (مونوزودیوریت، مونزوگابرو و کوارتزیت) تقسیم شدند (معماریان، ۱۳۸۰). سپس مناطق با میزان بالای SL روی نقشه مقاومت نسبی مشخص و با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS ارتباط آن با مقاومت سنگ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر به دست آمد (شکل‌های ۳، ۴ و ۵):

تفسیر نقشه شاخص SL با توجه به نقشه مقاومت سنگ‌ها نشان از این است که زیرحوضه‌های شماره ۵، ۸، ۱۰، ۱۳ و ۱۷ که دارای بیشترین مقدار شاخص مورد نظر هستند، دارای سنگ‌های با مقاومت متوسط تا خیلی بالا هستند و این موضوع با سطح فعالیت‌های زمین‌ساختی نسبی آنها سازگار است، ولی قرارگیری بخش‌های دارای سنگ‌های مقاوم و خیلی مقاوم زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۱۱، ۱۲ و ۱۴ در رده ۲ و ۳ شاخص SL با وجود شکستگی‌ها و گسلش رانده و رخداد زمین‌لرزه‌ها در این بخش‌ها قابل توجه است. وضعیت دیگر زیرحوضه‌ها نیز با مقادیر شاخص SL و مقاومت سنگ‌ها سازگار است؛ به این معنی که مقادیر کمتر شاخص با مقاومت کمتر سنگ‌ها همراه است و این موضوع به سطح پایین فعالیت‌های زمین‌ساختی نسبی اشاره دارد.

۴-۲. شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

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

$$AF = 100(A_p/A_t) \quad (2)$$

که در این رابطه Ar مساحت حوضه در سوی راست آبراهه (دید به سوی پایین‌دست) و At مساحت کل حوضه زهکشی است.

مقدار Af برابر 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 سنگ‌شناسی (مانند لایه‌های رسوبی شیب‌دار) و اقلیم محلی (مانند اختلاف گیاهی میان شیب‌های رو به شمال و جنوب) سبب عدم تقارن نمی‌شوند (EL Hamdouni et al., 2007). با این فرض Af برای همه زیرحوضه‌های حوضه

- در زیر حوضه ۶ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۸ تا بیشینه ۰/۵۷ (میانگین ۰/۳۱) در سوی جنوب خاوری.
- در زیر حوضه ۷ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۱۴ تا بیشینه ۰/۶۳ (میانگین ۰/۲۱) در سوی شمال.
- در زیر حوضه ۸ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۴ تا بیشینه ۰/۹۱ (میانگین ۰/۴۹) در سوی شمال.
- در زیر حوضه ۹ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۱۸ تا بیشینه ۰/۸۲ (میانگین ۰/۸۲) در سوی شمال.
- در زیر حوضه ۱۰ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۱ تا بیشینه ۰/۷۵ (میانگین ۰/۴۰) در سوی خاور.
- در زیر حوضه ۱۱ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۳ تا بیشینه ۰/۹۹ (میانگین ۰/۴۰) در سوی خاور.
- در زیر حوضه ۱۲ کج‌شدگی بین کمینه ۰/۰۱ تا بیشینه ۰/۴۲ (میانگین ۰/۳۱) در سوی شمال خاوری.
- در زیر حوضه ۱۳ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۶ تا بیشینه ۰/۸۶ (میانگین ۰/۲۱) در سوی شمال باختری.
- در زیر حوضه ۱۴ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۷ تا بیشینه ۰/۹۹ (میانگین ۰/۳۱) در سوی خاور.
- در زیر حوضه ۱۵ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۲ تا بیشینه ۰/۹۶ (میانگین ۰/۶۶) در سوی شمال باختری.
- در زیر حوضه ۱۶ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۱ تا بیشینه ۰/۷۷ (میانگین ۰/۵۷) در سوی شمال.
- در زیر حوضه ۱۷ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۱ تا بیشینه ۰/۵۹ (میانگین ۰/۲۱) در سوی جنوب خاوری.
- در زیر حوضه ۱۸ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۴ تا بیشینه ۰/۸۴ (میانگین ۰/۴۹) در سوی خاور.
- در زیر حوضه ۱۹ کج‌شدگی بین کمینه ۰/۲۸ تا بیشینه ۰/۸۱ (میانگین ۰/۷۴) در سوی خاور.

۶- بحث

شاخص‌های مختلف زمین‌ریختی که در بخش پیش اشاره شد، به منظور ارزیابی 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 زیرحوضه و ارزیابی آن با روش (EL Hamdouni et al., 2007)، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) به چهار رده کلاسه رده‌بندی شد. در این رده‌بندی، رده یک بیانگر فعالیت زمین‌ساختی خیلی بالا (s/n بین ۱ تا ۱/۵)، رده دو بیانگر فعالیت زمین‌ساختی بالا (s/n بین ۱/۵ تا ۲)، رده سه بیانگر فعالیت زمین‌ساختی متوسط (s/n بین ۲ تا ۲/۵) و رده چهار فعالیت زمین‌ساختی پایین (s/n بیشتر از ۲/۵) است. با به‌کارگیری این رده‌بندی در منطقه مورد بررسی نتایج زیر حاصل شد (شکل ۱۳).

بررسی چگونگی انطباق داده‌های لرزه‌ای منطقه، روی نقشه گسل‌های اصلی و موقعیت زیر حوضه‌ها نشان می‌دهد که رومرکز بیشتر زمین‌لرزه‌های رخ داده در این منطقه، در زیر حوضه‌های رده ۲ قرار دارند و فراوانی آنها به تدریج در زیر حوضه‌های رده ۳ و ۴ کاهش می‌یابد. این موضوع نشانگر این واقعیت است که بالاآمدگی فعال این منطقه، با دگرشکلی‌شکننده همراه بوده است. از سوی دیگر، تراکم بیشتر گسل‌ها در واحد سطح - که در محدوده دربردارنده زیر حوضه‌های ۱۶، ۱۷ و ۱۸ بیشتر است - با فراوانی بیشتر رومرکز زمین‌لرزه‌ها نیز سازگار است.

از دیدگاه Silva et al. (2003) این شاخص باید در فاصله مشخصی از پیشانی (۱ تا ۱/۵ کیلومتر) اندازه‌گیری و در منطقه مورد بررسی میزان این شاخص برای دره‌های اصلی که پیشانی گسلی را قطع می‌کنند برآورد شود. تغییرات عددی این شاخص میان ۰/۰۱ تا ۰/۱۳ به دست آمد که بیشترین آن مربوط به زیر حوضه ۱۹ (وازورود) است (شکل ۹).

۴-۶. پیچ و خم پیشانی کوه (Smf)

شاخص پیچ و خم پیشانی کوه بر پایه رابطه زیر برآورد می‌شود (Bull & McFadden, 1977; Bull, 1978):

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

در این رابطه Lmf طول پیشانی 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 بازتاب‌کننده توازن میان نیروهای فرسایشی که تمایل به ایجاد ساخت سینوسی دارند و نیروهای زمین‌ساختی که متمایل به ایجاد یک پیشانی مستقیم همراه با یک گسل دربرگیرنده آن هستند، است (Bull & McFadden, 1977; Keller, 1986).

در منطقه مورد بررسی بیش از ۴۱ پیشانی گسلی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۰) که نتایج به دست آمده مقادیر این شاخص میان ۱/۰۱ تا ۲/۳۸ متغیر است. به‌گونه‌ای که کمترین میزان این شاخص مربوط به پیشانی گسلی خزر در نزدیکی زیر حوضه ۱۱ (نشتارود) و زیر حوضه ۱۷ (کجورود) و بیشترین آن در پیشانی گسلی عباسک و گسل‌های شمال و جنوب خش‌چال در نزدیکی زیر حوضه ۵ (پل‌رود) و زیر حوضه ۱۰ (سه‌هزار) دیده شد (شکل ۱۱).

۵- الگوی تقارن توپوگرافیکی عرضی (Tilting) حوضه زهکشی چالوس

این الگو را می‌توان یک روش سریع برای تشخیص میزان کج‌شدگی حاصل از زمین‌ساخت فعال دانست (Cox, 1994). بررسی تغییرات میزان کج‌شدگی در بخش‌های مختلف یک ناحیه نشان از اختلاف در میزان بالاآمدگی را آشکار می‌کند. این شاخص با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌شود:

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

در این رابطه Da فاصله میان خطوط میانی تا رودخانه و Dd فاصله خط میانی تا مرز حوضه است. مقدار این شاخص میان صفر (بدون کج‌شدگی) و یک (بیشترین کج‌شدگی) متغیر است. افزون بر این شاخص یادشده را می‌توان به‌صورت یک بردار نشان داد، به‌گونه‌ای که سوی بردار در راستای عمود بر رودخانه نشان‌دهنده سوی انحراف یا کج‌شدگی در آن بخش از رودخانه نسبت به خط میانی است.

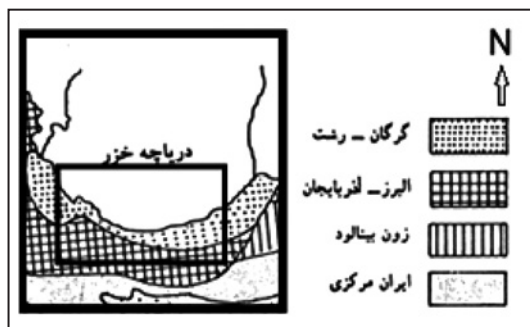
در منطقه مورد بررسی میزان الگوی کج‌شدگی در حوضه زهکشی چالوس مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا همه رودخانه‌ها و آبراهه‌ها به بخش‌های دو کیلومتری (Salvany, 2004) تقسیم و سپس مقدار کج‌شدگی برای این قطعات برآورد شد (شکل‌های ۱۲-آ، ب و ج) و نتایج زیر به دست آمد:

- در زیر حوضه ۱ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۲ تا بیشینه ۰/۴۶ (میانگین ۰/۲۱) در سوی شمال.
- در زیر حوضه ۲ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۹ تا بیشینه ۰/۶۸ (میانگین ۰/۵۷) در سوی شمال باختر.
- در زیر حوضه ۳ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۱ تا بیشینه ۰/۹۰ (میانگین ۰/۲۱) در سوی شمال.
- در زیر حوضه ۴ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۷ تا بیشینه ۰/۹۳ (میانگین ۰/۹۰) در سوی شمال.
- در زیر حوضه ۵ کج‌شدگی میان کمینه ۰/۰۸ تا بیشینه ۰/۴۴ (میانگین ۰/۲۱) در سوی جنوب باختری

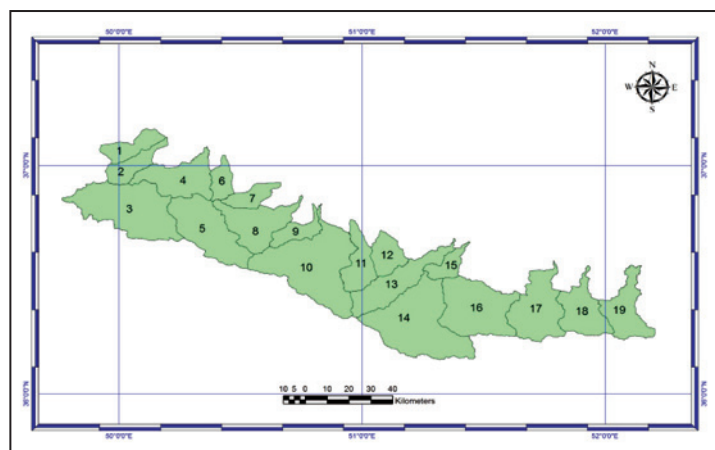
۷- نتیجه‌گیری

پس از بررسی شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی و محاسبه شاخص (Iat) در منطقه بررسی شده، سه پهنه با ویژگی‌های متفاوت از دید زمین‌ساختی فعال نسبی شناسایی شد. پهنه با فعالیت بالا (زیرحوضه‌های ۳، ۵، ۸، ۱۳، ۱۶، ۱۷ و ۱۸)، پهنه با فعالیت متوسط (زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۹) و پهنه با فعالیت پایین (زیرحوضه‌های ۴ و ۶). الگوی تقارن توپوگرافی عرضی با میزان و رده فعالیت زمین‌ساختی نسبی همخوانی نسبی خوبی دارد و فعالیت بالای زمین‌ساختی نسبی با نواحی که رودخانه‌ها میزان بالای کج‌شدگی را نشان می‌دهد، تطابق قابل قبولی دارد.

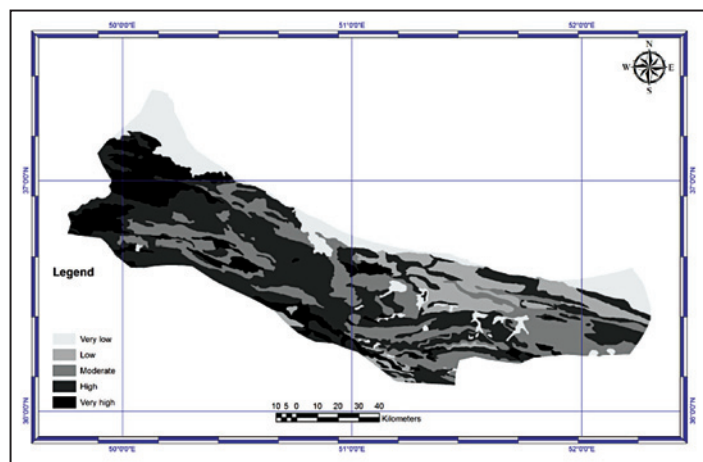
از دیدگاه ساختاری نیز می‌توان چنین گفت که نسبت چین‌خوردگی‌ها به گسلش سطحی، از سوی خاور به سوی بخش باختری منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد که این موضوع، به‌خوبی با توافق رخداد دگرشکلی شکل‌پذیر نسبت به شکننده در آن بخش سازگار است. ولی بر پایه نقشه رده‌بندی زیرحوضه‌ها، می‌توان چنین نتیجه گرفت که به‌طور کلی فعالیت‌های زمین‌ساختی نسبی از شمال به سوی جنوب منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد و این مطلب نیز با نزدیک شدن به هسته کمربند کوهستانی البرز مرکزی از سوی دامنه شمالی آن قابل توجیه است.



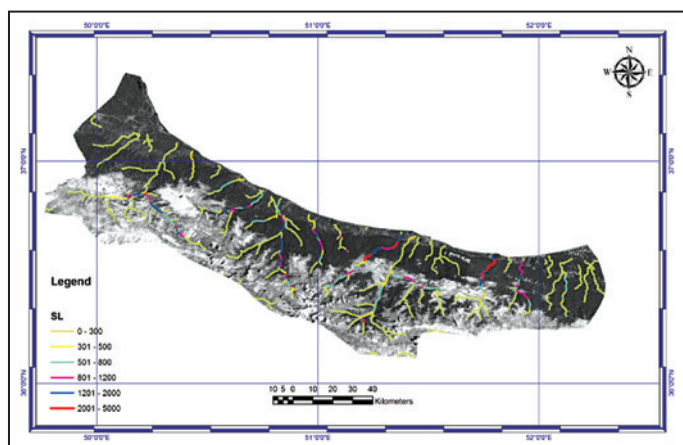
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه بر پایه واحدهای زمین‌ساختی - رسوبی ایران (نبوی، ۱۳۵۵).



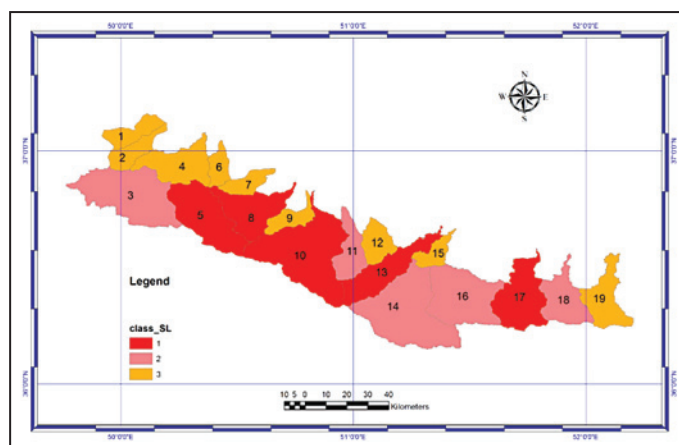
شکل ۲- زیرحوضه‌های به دست آمده از مدل ارتفاعی رقومی حوضه زهکشی چالوس.



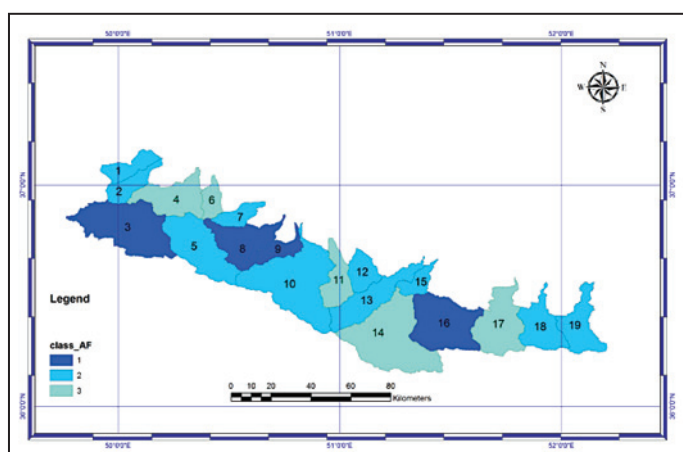
شکل ۳- نقشه مقاومت زمین‌شناسی حوضه زهکشی چالوس.



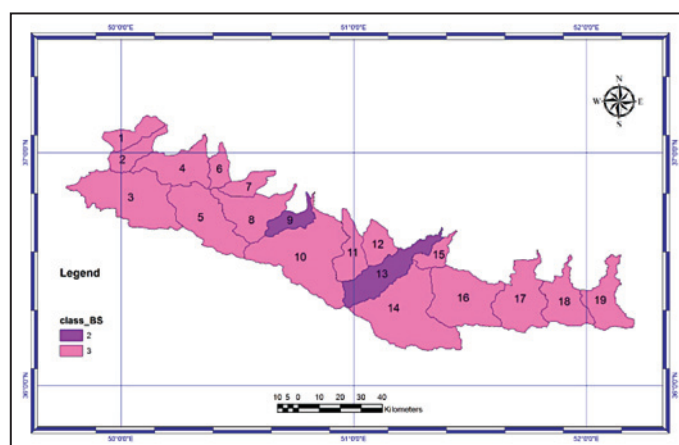
شکل ۴- پراکندگی میزان شاخص طول- شیب
آبراهه‌ها (SL) در شبکه زهکشی چالوس.



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

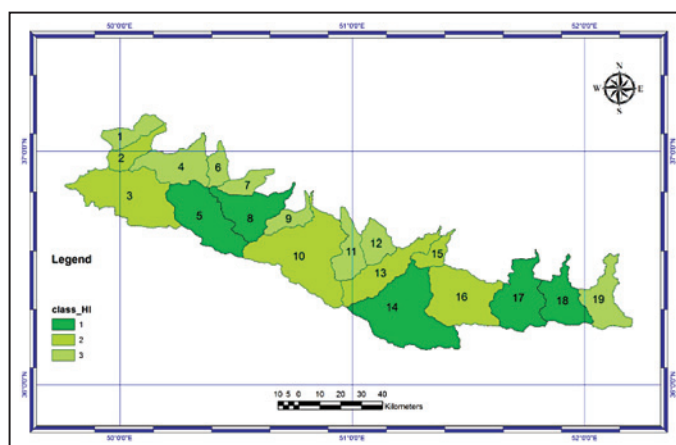


شکل ۶- پراکندگی شاخص عدم تقارن حوضه
زهکشی (Af).

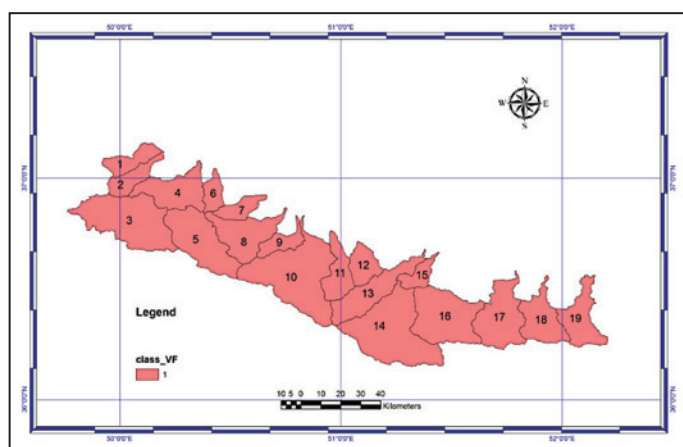


شکل ۷- پراکندگی شاخص شکل حوضه (Bs).

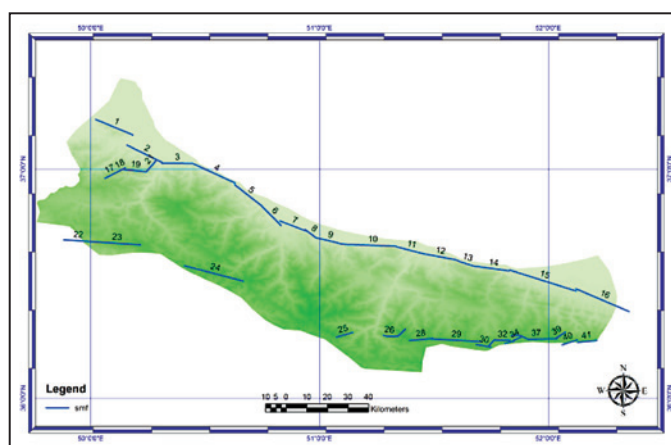
شکل ۸- پراکندگی شاخص انتگرال فراز سنجی
(Hi).



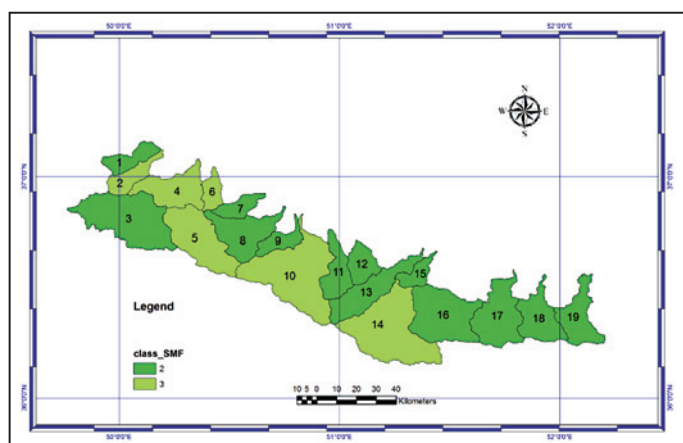
شکل ۹- پراکندگی شاخص نسبت عرض کف
دره به ارتفاع آن (Vf).

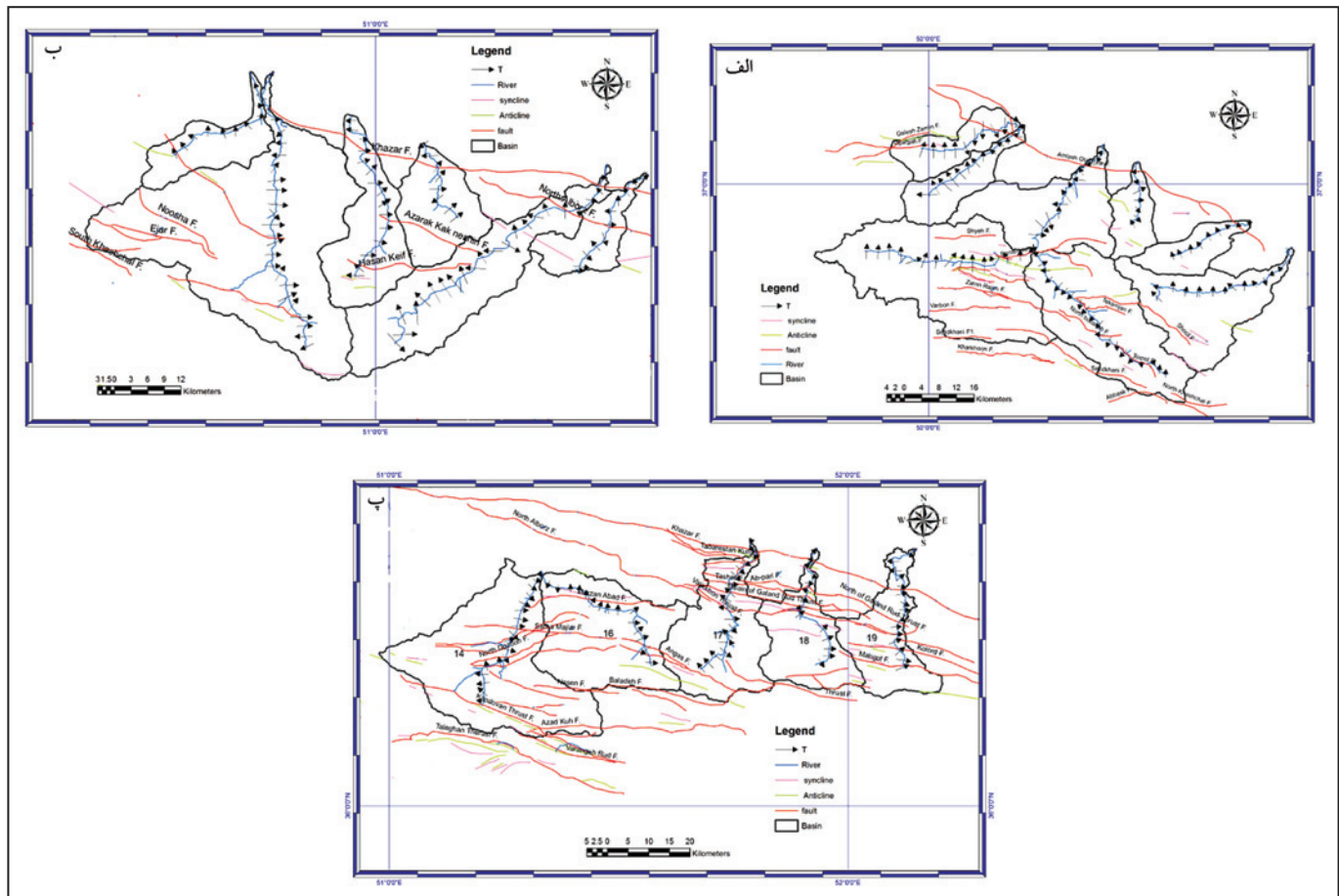


شکل ۱۰- خطوط مستقیم به عنوان پیشانی‌های
گسلی منطقه برای محاسبه مقادیر شاخص پیشانی
کوه (Smf).

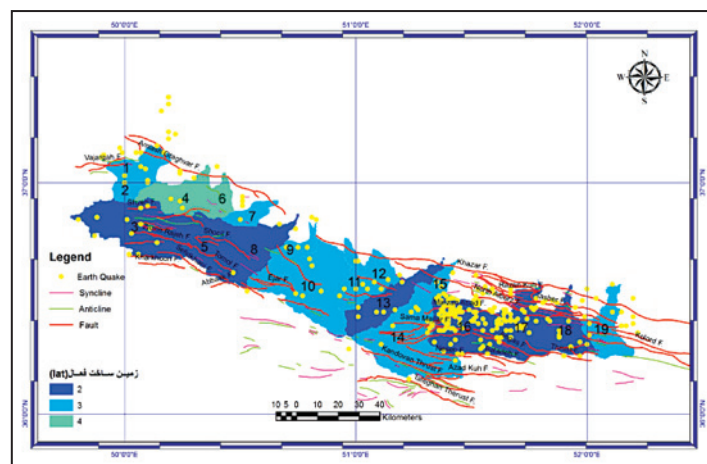


شکل ۱۱- پراکندگی شاخص پیچ و خم پیشانی
(Smf).





شکل ۱۲- الف) بردارهای عدم تقارن در زیرحوضه‌های ۱ تا ۸ حوضه زهکشی چالوس؛ ب) بردارهای عدم تقارن در زیرحوضه‌های ۹ تا ۱۳ و ۱۵ حوضه زهکشی چالوس؛ پ) بردارهای عدم تقارن در زیرحوضه‌های ۱۴ و ۱۶ تا ۱۹ حوضه زهکشی چالوس.



شکل ۱۳- پراکندگی شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی در حوضه و ارتباط آن با ساختارها و رومرکزهای زمین‌لرزه‌ها.

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

Bs	Af	SL	Vf	Smf	رده
۴<	$ 50 \cdot Af - > 15$	میزان بی‌هنجاری بالا	$0/5 >$	$1/1 >$	۱
۳-۴	$ Af - 50 = 7-15$	میزان بی‌هنجاری پایین	$0/5-1$	$1/1-1/5$	۲
۳>	$ Af - 50 < 7$	بدون بی‌هنجاری	$1 <$	$1/5 <$	۳

کتابنگاری

معماریان، ح.، ۱۳۸۰- زمین‌شناسی برای مهندسين، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۴۹ تا ۱۲۶.

نبوی، م. ج.، ۱۳۵۵- دیپاچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، ۱۰۹ ص.

References

- Azor, A., Keller, E. A. & Yeats, R. S., 2002- Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain-Oak Ridge Ventura basin, southern California. *Geological Society of America Bulletin* 114:754-753
- 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. & McFadden, L. D., 1977- Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doebling, 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 quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin. *Oklahoma Geology Notes* 36 (1), 3-
- 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. & Keller, E. A., 2007- Assessment of relative active tectonics. southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*. Article in press.
- Hack, J. T., 1973- Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey* 1(4):421-429.
- Hare, P. W. & Gardner, T. W., 1985- Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M., Hack, J. T. (Eds), *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium*. Allen and Unwin, Boston, MA, pp. 123-134.
- 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* 304:556-589.
- 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.
- Ramirez-Herrera, M. A., 1998- Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surface Processes and Landforms* 23: 317-332.
- Rokwell, 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 Guadamar 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.
- Stocklin, 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.
- 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 Chalus Drainage Basin in Alborz, Iran

M. Haj Manuchehri ^{1*}, M. Arian ², M. Ghorashi ³, A. Solgi ⁴ & A. Sorbi ⁵

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

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

³ Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University (IAU), North Tehran Branch; Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University (IAU), Science and Research Branch, Tehran, Iran

⁵ Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University (IAU), Karaj Branch, Alborz, Iran

Received: 2014 June 01

Accepted: 2014 September 08

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 software packages over large areas as a reconnaissance tool to identify possible geomorphic anomalies related to active tectonics. This method is particularly new and useful in areas where relatively little work has been carried out on active tectonics based on this method. Based upon the values of stream length-gradient index (SL), drainage basin asymmetry (Af), hypsometric integral (Hi), ratio of valley-floor width to valley height (Vf), index of drainage basin shape (Bs), and index of mountain front sinuosity (Smf), we used an integrated index (Iat) that is a combination of the other indices. This index divides the landscape into four classes of relative tectonic activity. According to the Iat results, sub-basins 4 and 6 show zones of low tectonics activity (Class 4), sub-basins 1, 2, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 15 and 19 fit to areas of moderate tectonic activity (Class 3), and high tectonic activity is represented by sub-basins 3, 5, 8, 13, 16, 17 and 18 (Class 2). The Tranverse Topographic Symmetry (T) was also studied using morphometric measurements, which finally gave a plot of T-vectors defining anomalous zones of basin asymmetry. A comparison between T index and map of relative tectonic activity showed a consistent coincidence between areas of higher Iat classes with zones of greater asymmetry.

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

For Persian Version see pages 273 to 280

*Corresponding author: M. Haj Manuchehri; E-mail: mhmanuchehri@yahoo.com