

نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال در حوضه آجی چای، شمال غرب ایران

ربابه قلیپور^{۱*}، علی سلگی^۲، یوسف ستارزاده قدیم^۳ و علی سربی^۴

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

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

^۳استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران

^۴استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۲۶

چکیده

شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی زمین‌ساخت فعال، ابزار مفیدی برای بررسی تأثیر فعالیت زمین‌ساخت در یک ناحیه است. محاسبه این شاخص‌ها به وسیله نرم‌افزارها، بررسی‌های سنجش از دور (به عنوان ابزار شناسایی) و به منظور بررسی اجمالی یک منطقه بزرگ از دیدگاه ناهنجاری‌های احتمالی مرتبط با زمین‌ساخت فعال سودمند است. این روش به ویژه در مناطقی که کار مطالعاتی کمی روی فعالیت‌های زمین‌ساختی آن با استفاده از این روش صورت گرفته است (حوضه آجی چای)؛ می‌تواند روش نو و مفید باشد. بر اساس مقادیر شاخص طول-شیب رودخانه (SL)، عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، انتگرال هیسومتری (Hi)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شکل حوضه زهکشی (Bs) و پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf)، شاخصی به نام زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat; Index of relative tectonics) حاصل شد که ترکیبی از شاخص‌های بالاست و خود به چهار رده تقسیم می‌شود. مقادیر به دست آمده برای Iat در منطقه مورد بررسی نشان داد که، رده ۲ (بالا) با مساحت ۱۰۴۵/۴۶ کیلومتر مربع ۱۱/۲۶ درصد، رده ۳ (متوسط) با مساحت ۲۹۴۰/۶۷ کیلومتر مربع ۳۱/۶۷ درصد، رده ۴ (پایین) با مساحت ۵۲۹۷/۳۰ کیلومتر مربع ۵۷/۰۶ درصد از کل منطقه را اشغال می‌کند. الگوی تقارن توپوگرافی عرضی (T) نیز برای ناحیه مورد بررسی محاسبه و نتیجه آن به شکل نقشه‌ای از بردارهای T تهیه شد با مقایسه این شاخص با نقشه رده‌بندی زمین‌ساخت فعال نسبی تطبیق نواحی رده بالا با پهنه‌های دارای مقادیر بالای عدم تقارن تأیید شد.

کلیدواژه‌ها: شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی، زمین‌ساخت فعال، حوضه زهکشی، عدم تقارن، آجی چای.

*نویسنده مسئول: ربابه قلیپور

E-mail: r.gholipour86@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

برای بررسی میزان دگرریختی ایجاد شده در اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی می‌توان از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی استفاده کرد (Bull and McFadden, 1977; Azor et al., 2002; Keller and Pinter, 2002; Silva et al., 2003; EL Hamdouni et al., 2007; Molin 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، Smf 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. (2007) افزون بر شاخص‌های یاد شده، انتگرال فراز سنجی (Hi) و شاخص طول-شیب رودخانه (SL) را نیز 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 یاد شده به تعیین زمین‌ساخت فعال نسبی حوضه آجی چای پرداخته شود. گفتنی است که گسل شمال تبریز مهم‌ترین سرچشمه لرزه‌زای در منطقه مورد مطالعه است که بررسی‌های گسترده‌ای توسط پژوهشگران مختلف همچون Hessami et al. (2003), Berberian and Arshadi (1976), (Moradi et al. (2011), Solaymani Azad et al. (2011) بر روی آن صورت پذیرفته است.

۲- ویژگی‌های ناحیه مورد بررسی

رودخانه آجی چای با طولی برابر ۲۷۶ کیلومتر از ارتفاعات شمال شرقی حوضه واقع در واحد هیدرولوژیک بیوک چای سرچشمه گرفته و در مسیر شرق به غرب ادامه می‌یابد و دارای حوضه آبریزی با مساحت حدود ۹۲۸۳ کیلومتر مربع است (شکل ۱).

این حوضه، تقریباً مستطیل شکل است که چهار رأس آن را ارتفاعات کوه‌های کسبه و سلان در شمال و بزقوش و سهند در جنوب تشکیل می‌دهند و از شمال به شهرستان‌های اهر و مشکین، از شرق به اردبیل، از جنوب به میانه و هشترود و از غرب به شهر تبریز محدود می‌شود. از نظر تقسیمات حوضه‌های آبریز کشور نیز این حوضه از شرق به حوضه آبریز قره‌سو و از جنوب به حوضه آبریز شهر چای (از سرشاخه‌های قزل اوزن) و از شمال به حوضه آبریز اهر چای و از غرب به دریاچه ارومیه محدود شده است. از نظر زمین‌شناسی انواع سنگ‌های آذرین (نفلین سینیت و داسیت)، آذرین بیرونی (تراکی آندزیت و مواد پیروکلاستیک)، سنگ‌های ولکانوسدیماتر (کنگولمرهای ولکانوسدیماتر، جریانات گدازه، ایگنیمبریت و جریانات خاکستر)، آبرفت‌های جدید و نهشته‌های دریایی در سطح این حوضه پروند دارد. لازم به ذکر است که در ارتفاعات این حوضه غالباً سنگ‌ها از نوع آذرین هستند؛ ولی در مناطق دشتی و پست، بیشتر سنگ‌های رسوبی مشاهده می‌شود.

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

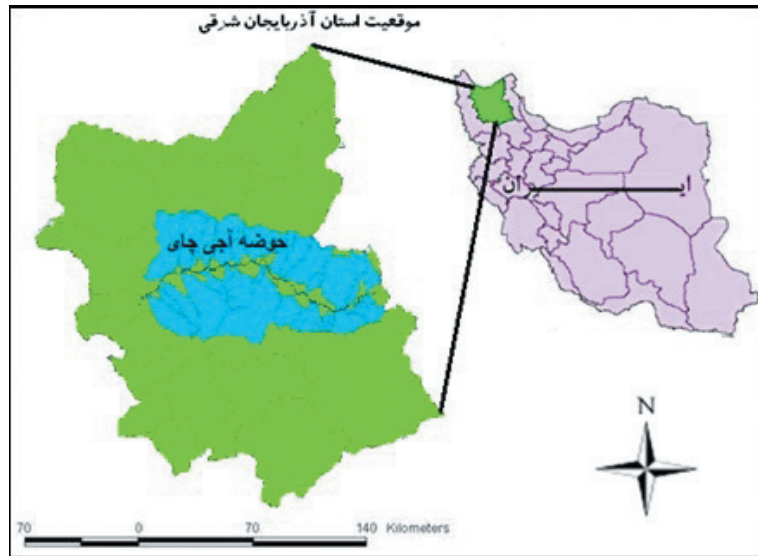
در ابتدا مدل رقومی ارتفاعی (Digital Elevation Model - DEM) ناحیه مورد بررسی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، به شکل Raster تهیه شد؛ سپس با استفاده از یکی از Extension‌های جانبی نرم‌افزار ArcGIS با عنوان (Arc Hydro Tools) که امکان تعیین زیرحوضه‌های یک حوضه، مساحت آنها و همچنین شبکه آبراهه‌ها را با ترکیب مجموعه‌ای از فرایندهای محاسباتی فراهم می‌آورد؛ الگوی زهکشی منطقه تهیه شد. از تجزیه نرم‌افزار و کنترل آن با نقشه توپوگرافی محدوده بررسی شده، حدود ۳۳ زیر حوضه در کل منطقه شناسایی شد (شکل ۲).

۴- شاخص‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال

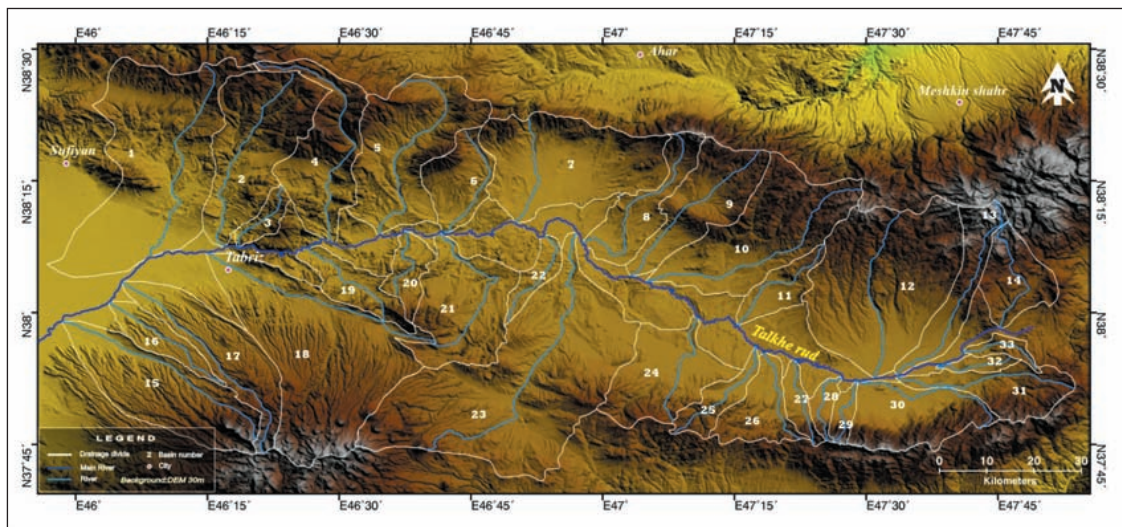
زمین‌ریخت‌شناسی ابزاری ارزشمند در بررسی زمین‌ساخت پویاست. ریخت‌سنجی

در محدوده مورد بررسی 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 شد. سپس میانگین رده‌های تمام شاخص‌ها محاسبه و چهار رده زمین‌ساخت فعال نسبی حاصل شد (EL Hamdouni et al., 2007).

(morphometry) به صورت اندازه‌گیری‌های کمی شکل‌های زمین‌ریختی توصیف 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).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲- آبراه‌ها و ۳۳ زیرحوضه به دست آمده برای حوضه زهکشی آبی چای (DEM 30m).

که در این فرمول، $\Delta H/\Delta L$ شیب کانال یا گرا دیان مجرا، ΔH تغییرات در ارتفاع محدوده، ΔL طول محدوده و L طول کل کانال از نقطه وسط جایی است که شاخص محاسبه شده تا بالاترین نقطه کانال است. این شاخص تحت تأثیر میزان مقاومت جنس بستر نیز است و با جریان یافتن رودخانه 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 یاد شده، سنگ‌های موجود در منطقه مورد مطالعه بر اساس میزان مقاومت به گروه‌های با مقاومت خیلی کم (نهشته‌های آبرفتی جوان)، مقاومت کم (نهشته‌های

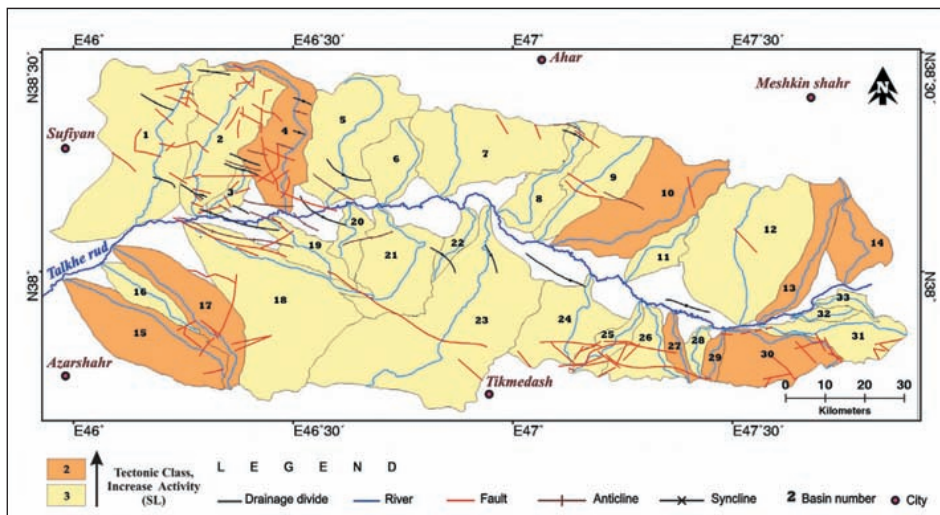
۴-۱. شاخص طول- شیب رودخانه (SL)

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 SL افزایش می‌یابد. در حالی که وقتی جریان رودخانه‌ها به موزات ساختارهای 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:

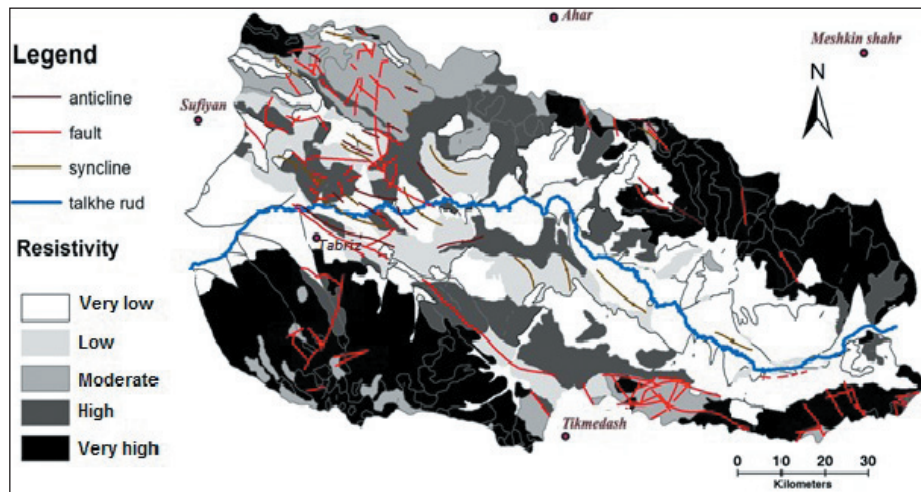
$$SL = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L}\right) \times L \quad (1)$$

تکتونیکی نسبی آنها سازگار است؛ لیکن قرارگیری بخش‌های دارای سنگ‌های مقاوم و خیلی مقاوم در زیرحوضه‌های ۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۲۳، ۳۰ و ۳۱ در رده‌های ۲ و ۳ شاخص SL با وجود شکستگی‌ها و گسلش و رخداد زمین‌لرزه‌ها در این بخش‌ها قابل توجیه است. وضعیت سایر زیرحوضه‌ها نیز با مقادیر شاخص SL و مقاومت سنگ‌ها سازگار است؛ به این معنی که مقادیر کمتر شاخص SL مقاومت کمتر سنگ‌ها همراه است و این موضوع به سطح پایین فعالیت تکتونیکی نسبی اشاره دارد.

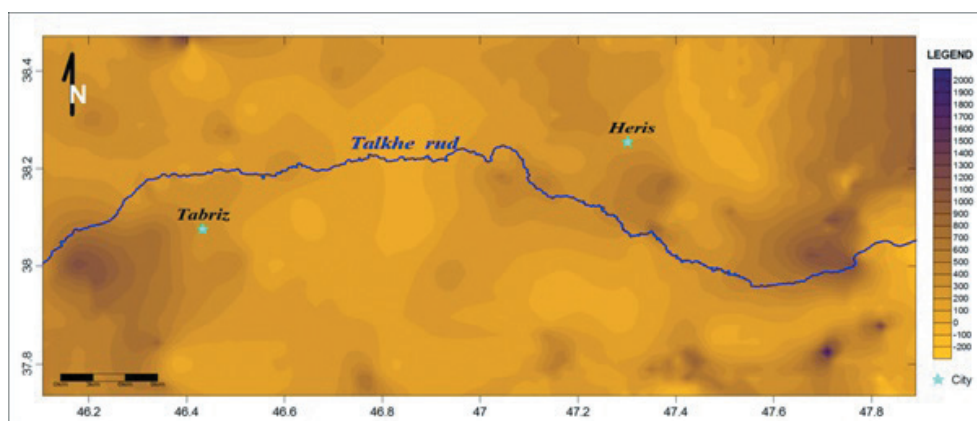
دامنه‌ای، مقاومت متوسط (شیل و سیلت‌سنگ)، مقاومت بالا (سنگ‌آهک، توف، کنگلومرا، ماسه‌سنگ) و مقاومت خیلی بالا (مونزودیوریت، مونزوکابرو و کوارتزیت) تقسیم شدند (معماریان، ۱۳۸۰). سپس مناطق با میزان بالای SL روی نقشه مقاومت نسبی مشخص و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ارتباط آن با مقاومت سنگ بررسی شد و نتایج زیر به دست آمد (شکل‌های ۳، ۴ و ۵):
 زیرحوضه‌های شماره ۱۰، ۱۳، ۱۷، ۲۷ و ۲۹ که واجد رده ۲ شاخص SL هستند؛ سنگ‌های با مقاومت بالا تا خیلی بالا دارند و این موضوع با سطح فعالیت‌های



شکل ۳- نقشه پراکندگی شاخص طول-شیب آبراهه (SL) و ساختارهای زمین‌ساختی موجود در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۴- نقشه توزیع مقاومت سنگ‌ها و رسوبات در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۵- نقشه شاخص طول شیب آبراهه (SL) در محدوده مورد مطالعه.

۴-۲. شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)

عدم تقارن (Af) به بررسی میزان کج‌شدگی زمین‌ساختی جهت جریان در حوضه زهکشی می‌پردازد (Hare and Gardner, 1985; Keller and Pinter, 2002).

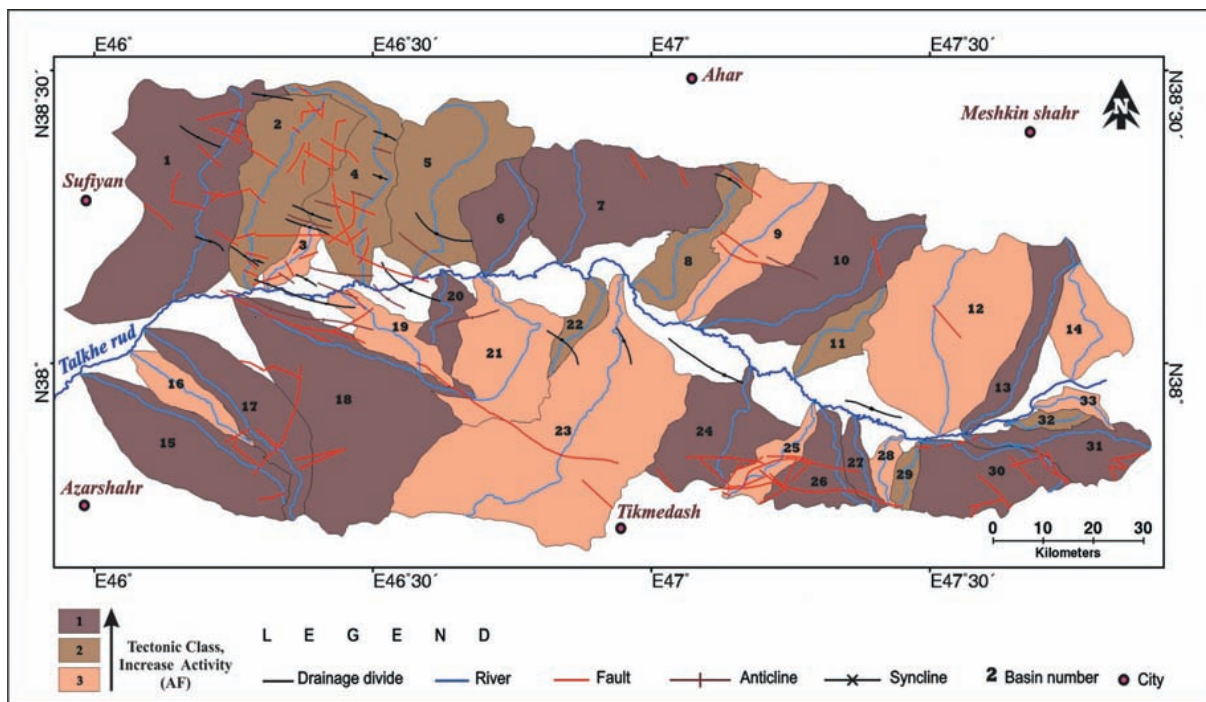
شاخص Af بر اساس رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$Af = \frac{Ar}{At} \times 100 \quad (2)$$

که در این رابطه Ar مساحت در سمت راست آبراهه (دید به سمت پایین دست) و At 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 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 (EL Hamdouni et al., 2007). با این فرض Af برای کلیه زیرحوضه‌های موجود در منطقه برآورد شده و با توجه به اینکه مقادیر بالای Af به‌طور عمده در کنار گسل‌های فعال منطقه قرار گرفته؛ می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت‌های زمین‌ساختی نقش کنترل‌کننده روی این شاخص داشته است. در پژوهش حاضر، در میان مقادیر به دست آمده کمترین مقدار متعلق به حوضه ۳۰ با ۸/۹ درصد و بیشترین مقدار مربوط به حوضه ۶ با ۸۱/۷ درصد بوده است. در مورد این شاخص اغلب همه رده‌ها به‌طور پراکنده در منطقه دیده می‌شود. ولی رده ۳ اغلب در دره‌ها و شیب‌های کم و رده ۱ اغلب در حاشیه جنوب‌خاوری و جنوب‌باختری منطقه به چشم می‌خورد (شکل ۶).



شکل ۶- نقشه پراکندگی شاخص عدم تقارن (Af) و ساختارهای زمین‌ساختی موجود در محدوده مورد مطالعه.

۴-۴. انتگرال فرازسنجی (Hi)

انتگرال 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 بوده؛ مستقل از اندازه حوضه و برآمدگی است (Strahler, 1952). استفاده مفید از منحنی فرازسنجی این است که می‌توان حوضه‌های زهکشی با اندازه‌های مختلف را با همدیگر مقایسه کرد (Pike and Wilson, 1971; Mayer, 1990; Keller and Pinter, 2002). انتگرال فرازسنجی به‌طور مستقیم با زمین‌ساخت فعال ارتباط ندارد. مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده نواحی فعال و جوان و مقادیر پایین آن با نواحی قدیمی مرتبط است که فرایند فرسایش بر آنها حاکم است و کمتر تحت تأثیر زمین‌ساخت فعال منطقه هستند (EL Hamdouni et al., 2007). در منطقه مورد بررسی منحنی‌های فرازسنجی برای زیرحوضه‌ها توسط نرم‌افزار Excel رسم و مساحت زیر این منحنی‌ها محاسبه شد که نشان‌دهنده مقدار شاخص انتگرال فرازسنجی است. بیشتر زیرحوضه‌ها مقادیر پایین این شاخص را نشان می‌دهند و مقادیر بالا و متوسط در زیرحوضه‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۹، ۱۰، ۱۳، ۱۶، ۱۸، ۲۱، ۲۵، ۲۶،

۴-۳. شاخص شکل حوضه زهکشی (Bs)

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

$$Bs = \frac{BI}{Bw} \quad (3)$$

در این رابطه BI طول حوضه از نقطه خروجی تا دورترین فاصله از آن و Bw عرض حوضه است که در عرض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود. حوضه‌های با کشیدگی زیاد مشخص‌کننده مناطق فعال زمین‌ساختی هستند؛ یعنی جای که جریان به‌صورت ابتدایی بستر خود را حفر می‌کند. این روش برای تجزیه حوضه زهکشی نزدیک پیشانی کوهستان زمانی که زمین‌ساخت فعال باعث بالاآمدگی سریع شده (Bull and Mc Fadden, 1977) و یا در مناطقی که دچار فرو افتادگی شده (Ramirez-Herrera, 1998) مورد استفاده قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، کمترین مقدار این شاخص مربوط به حوضه ۷ با ۰/۷۹ و بیشترین مقدار مربوط به حوضه ۲۷ با ۴/۵۳ است. مابقی حوضه‌ها عددی مابین این دو مقدار دارند. مقادیر Bs در اغلب بخش‌های منطقه فعالیت کمی نشان می‌دهد (شکل ۷).

شکل ۷ پایین است. از آنجا که برآمدگی در ارتباط با فروکاو است؛ این شاخص می‌تواند نشان‌دهنده میزان فعالیت زمین‌ساختی باشد؛ به نحوی که میزان پایین V_f به نرخ‌های بالاآمدگی و بریدگی بیشتر مربوط است. این شاخص بیشتر منعکس‌کننده میزان فروکاو است تا بالاآمدگی؛ اما در حالت تعادل فروکاو و بالاآمدگی بر هم منطبق هستند.

از دیدگاه Silva et al. (2003) این شاخص باید در فاصله مشخصی از پیشانی (۱ تا ۱/۵ کیلومتر) اندازه‌گیری شود و در منطقه مورد بررسی میزان این شاخص برای دره‌های اصلی که پیشانی گسلی را قطع می‌کنند؛ برآورد شود. در پژوهش حاضر، تغییرات عددی این شاخص بین ۰/۱۵ در حوضه ۱ و ۴/۸ در حوضه ۳۰ به دست آمد (شکل ۹).

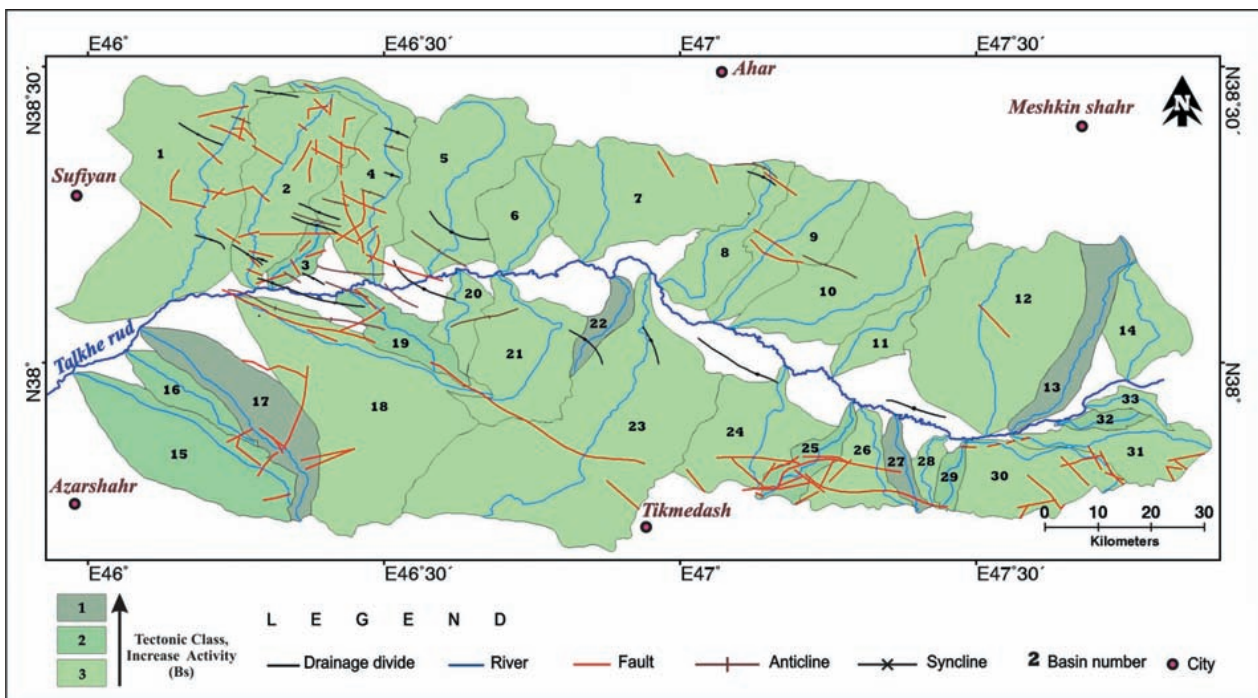
۳۱، ۳۲ و ۳۳ قابل مشاهده است که اغلب این زیرحوضه‌ها در نقشه از یک مسیر خطی تبعیت می‌کند که منطبق با جهت شمال‌باختری- جنوب‌خاوری گسل‌های منطقه است (شکل ۸).

۴-۵. نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (V_f)

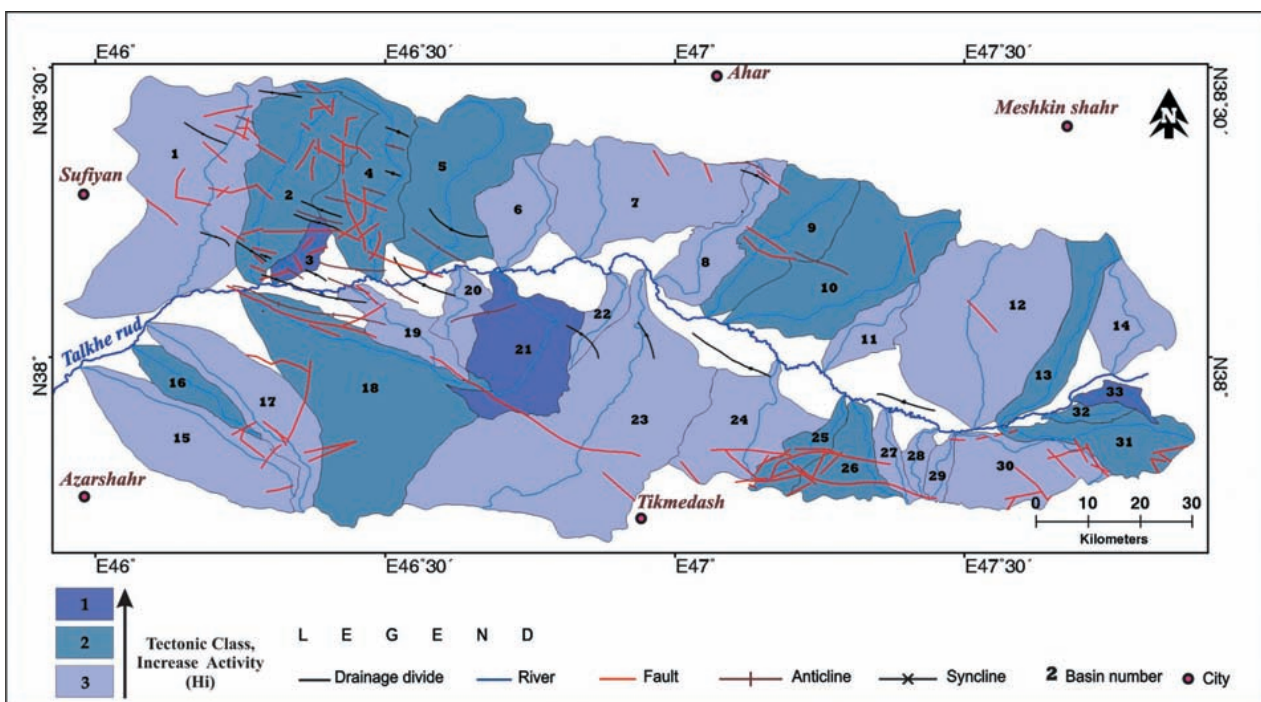
V_f به عنوان نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Bull and Mc Fadden, 1977; Bull, 1978) به شکل زیر توصیف شده است:

$$V_f = \frac{2V_{fw}}{[(E_{td} - E_{sc}) + (E_{nt} - E_{sc})]} \quad (4)$$

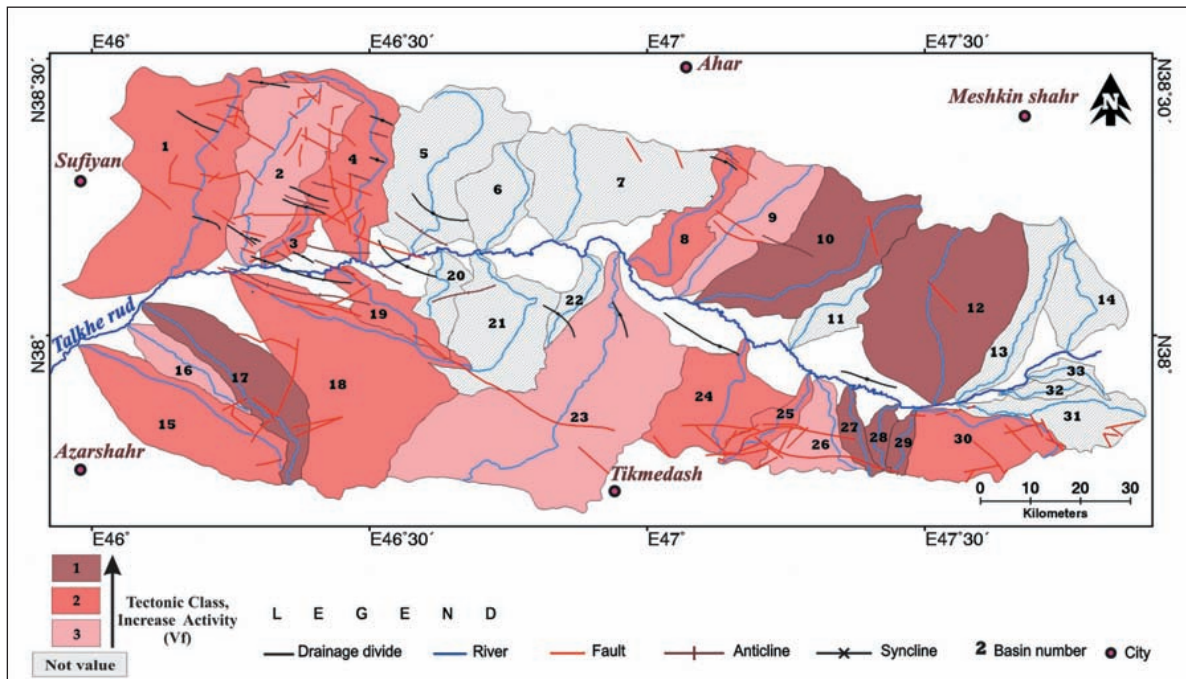
در این رابطه V_{fw} پهنای کف دره و E_{td} ، E_{nt} و E_{sc} به ترتیب ارتفاع سمت راست، چپ و کف دره هستند. مقدار این شاخص برای دره‌های U شکل بالا و برای دره‌های



شکل ۷- نقشه پراکنندگی شاخص شکل حوضه (Bs) و ساختارهای زمین‌ساختی موجود در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۸- نقشه پراکنندگی شاخص انتگرال هیسومتری (Hi) و ساختارهای زمین‌ساختی موجود در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۹- نقشه پراکندگی مکان مقاطع عرضی (Vf) و ساختارهای زمین‌ساختی موجود در محدوده مورد مطالعه.

تمایل به ایجاد ساخت سینوسی دارند؛ در حالی که نیروهای زمین‌ساختی متمایل به ایجاد یک پیشانی مستقیم همراه با یک گسل فعال احاطه کننده آن هستند (Bull and McFadden, 1997; Keller, 1986).

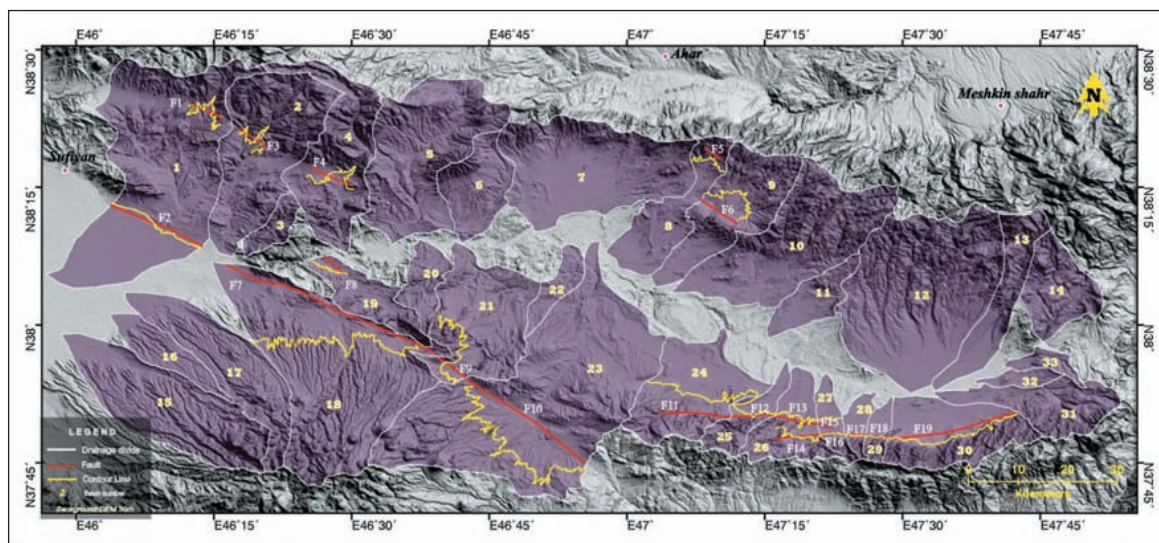
در منطقه مورد بررسی ۱۶ پیشانی گسلی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۰) که در نتایج به دست آمده مقادیر این شاخص بین ۰/۹۷ تا ۴/۶۰ متغیر است. بخش‌های در رده ۱ (با فعالیت نسبی بالا)، اغلب در نیمه جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه دیده شد (شکل ۱۱).

۴-۶. پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf)

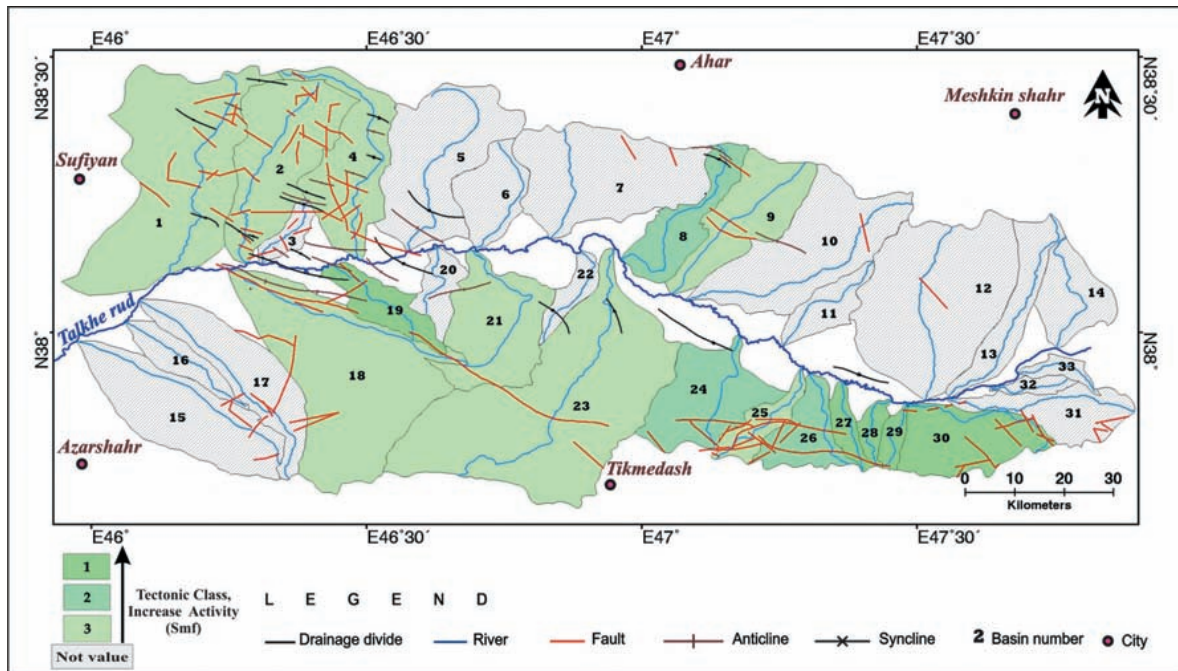
شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان Smf بر اساس رابطه زیر برآورد می‌شود (Bull and Mc Fadden, 1977; Bull, 1978):

$$S_{mf} = \frac{L_{mf}}{L_s} \quad (5)$$

در این رابطه S_{mf} پیچ‌وخم پیشانی کوه، L_{mf} طول پیشانی کوه در راستای دامنه آن در محلی که اختلاف شیب بسیار مشخص است و L_s طول خط مستقیم پیشانی کوه است. این شاخص انعکاس‌دهنده توازن میان نیروهای فرسایشی است که



شکل ۱۰- نقشه پیشانی گسل‌ها جهت محاسبه شاخص S_{mf} در ۱۶ ریزحوضه آبی چای.



شکل ۱۱- نقشه پراکنندگی شاخص سینوسیته پیشانی کوهستان (S_{mi}) و ساختارهای زمین‌ساختی موجود در محدوده مورد مطالعه.

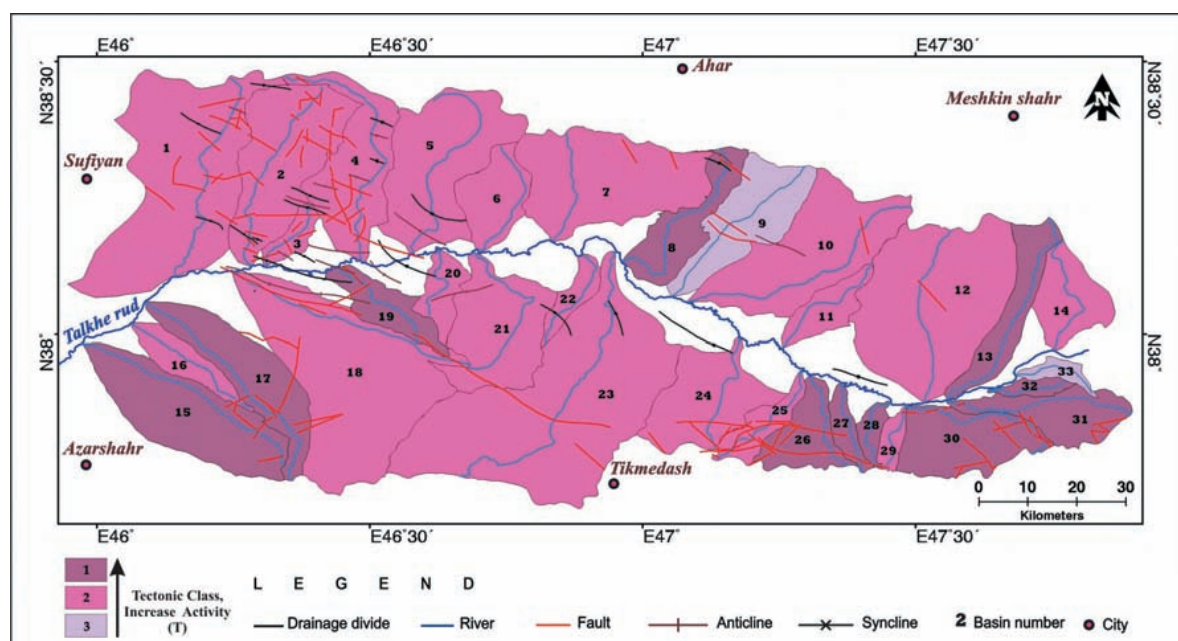
۵- الگوی تقارن توپوگرافی عرضی (Tilting) حوضه زهکشی آجی‌چای

شده را می‌توان به صورت یک بردار دو بعدی نشان داد؛ به طوری که طول بردار نشان‌دهنده اندازه کج‌شدگی و جهت آن در راستای عمود بر رودخانه نشان‌دهنده جهت انحراف یا کج‌شدگی در آن بخش از رودخانه نسبت به خط میانی است. در منطقه مورد مطالعه، الگوی کج‌شدگی برای ۳۳ زیرحوضه مورد بررسی قرار گرفت که میزان آن بین ۰/۱۸ تا ۰/۷۱ متغیر است (شکل ۱۲). بر اساس الگوی بردارهای کج‌شدگی در رودخانه آجی‌چای، مقادیر مختلفی از کج‌شدگی به دست آمد که برای ۳۳ زیرحوضه رسم شده است (شکل ۱۳). هر چه طول فلش افزایش می‌یابد؛ مقدار T نیز افزایش می‌یابد.

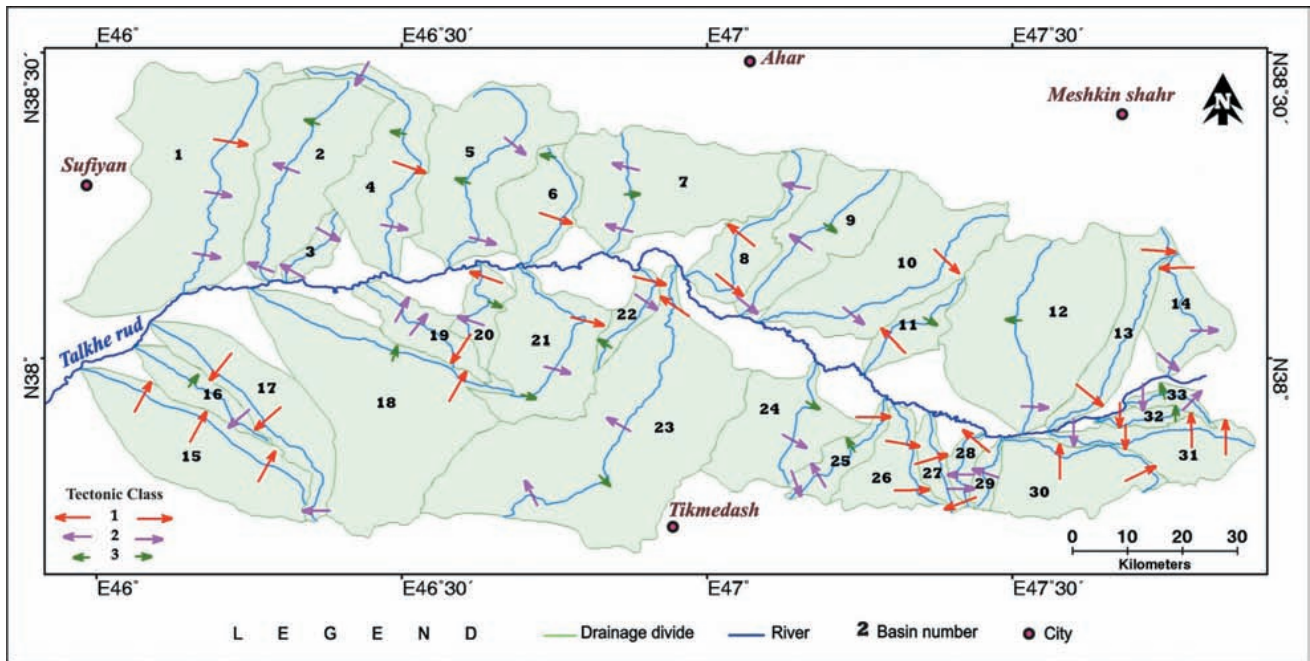
این الگو را می‌توان یک روش سریع برای تشخیص میزان کج‌شدگی حاصل از زمین‌ساخت فعال دانست (Cox, 1994). بررسی تغییرات میزان کج‌شدگی در بخش‌های مختلف یک ناحیه نشان از اختلاف در میزان بالاآمدگی دارد. این شاخص با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$T = \frac{Da}{Dd} \times 100 \quad (6)$$

در این رابطه Da فاصله خط میانی حوضه زهکشی تا خط میانی کمربند مانداری فعال و Dd فاصله خط میانی تا خط تقسیم حوضه است. این شاخص بین صفر (بدون کج‌شدگی) و یک (بیشترین کج‌شدگی) متغیر است. افزون بر این شاخص یاد



شکل ۱۲- نقشه پراکنندگی شاخص کج‌شدگی و ساختارهای زمین‌ساختی موجود در محدوده مورد مطالعه.

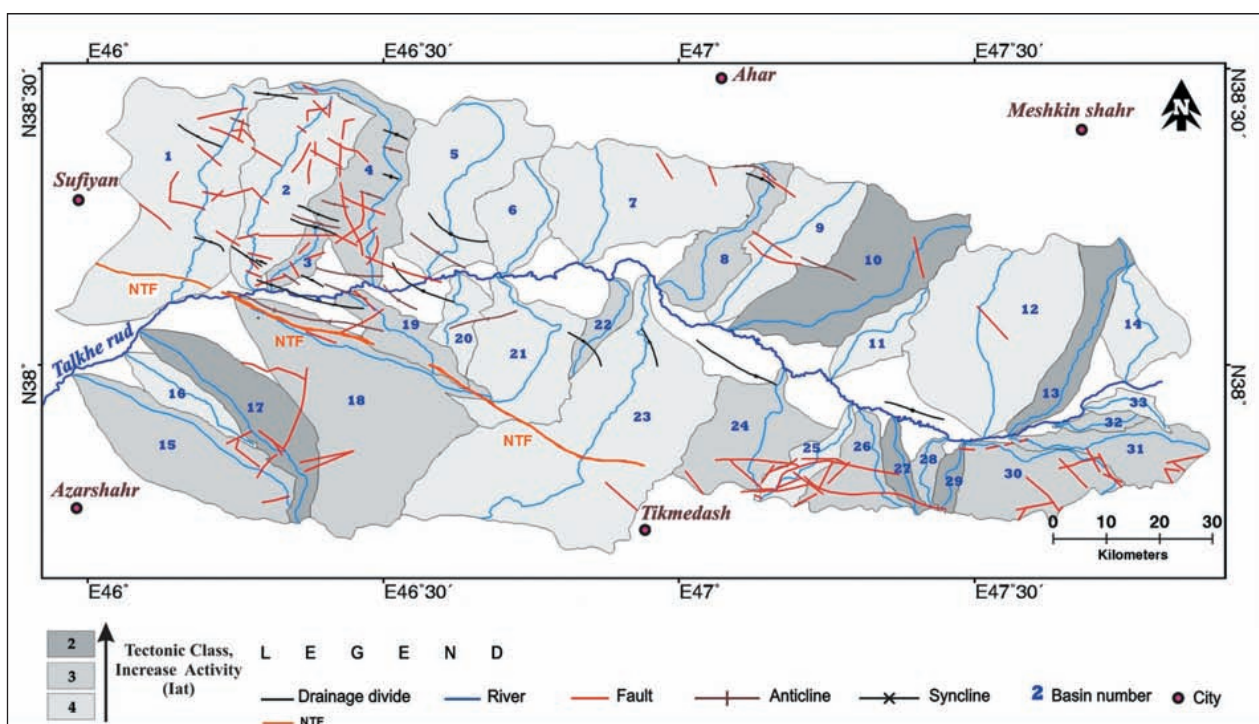


شکل ۱۳- بردارهای نمایش‌دهنده میزان کج‌شدگی (T) در حوضه آبی چای.

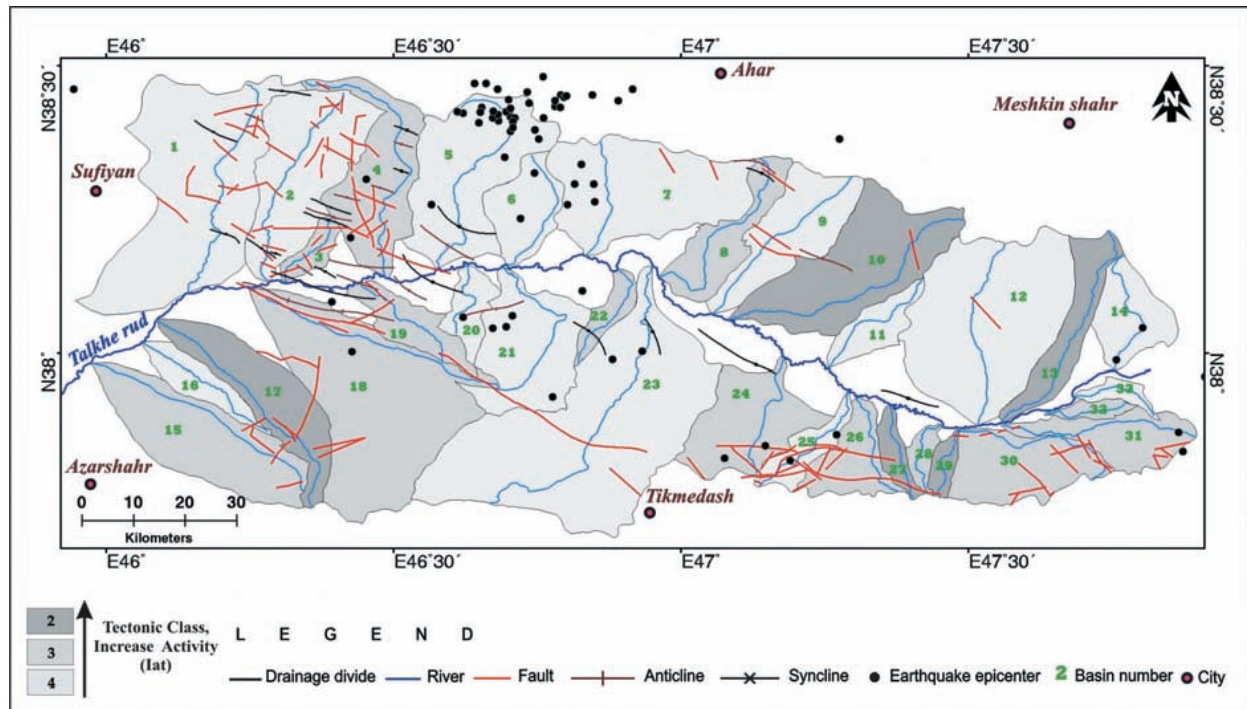
۶- بحث

بین ۱ تا ۱/۵)، رده دو بیانگر فعالیت زمین‌ساختی بالا (S/n بین ۱/۵ تا ۲)، رده ۳ بیانگر فعالیت زمین‌ساختی متوسط (S/n بین ۲ تا ۲/۵) و رده چهار بیانگر فعالیت زمین‌ساختی پایین (S/n بیشتر از ۲/۵) هستند. با به کارگیری این رده‌بندی و بررسی نحوه انطباق داده‌های لرزه‌ای منطقه، روی نقشه گسل‌های اصلی و موقعیت زیرحوضه‌ها و همچنین از دیدگاه ساختاری در منطقه مورد بررسی نتایج زیر حاصل شد (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).

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 می‌شوند (EL Hamdouni et al., 2007). سپس با محاسبه میانگین رده کلاسه شاخص‌ها (S/n) در هر زیرحوضه و ارزیابی آن بنا بر روش (EL Hamdouni et al. (2007) شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) به چهار رده کلاسه تقسیم شد. در این رده‌بندی، رده یک بیانگر فعالیت زمین‌ساختی خیلی بالا



شکل ۱۴- نقشه پراکندگی شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) و ساختارهای زمین‌ساختی موجود در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۱۵- نقشه توزیع سطحی رومرکز زلزله های رخ داده (بر گرفته از USGS) در حوضه آجی چای.

سطحی، با دور شدن از گسل شمال تبریز افزایش می یابد که این موضوع، با تفوق رخداد دگرشکلی شکل پذیر نسبت به شکننده در آن بخش سازگار است. همچنین قرار داشتن درازای کلی این حوضه به موازات راستای پهنه گسلی شمال تبریز، نشانگر کارکرد شیب لغز گسل یاد شده در طی فرگشت حوضه آجی چای در شمال پهنه گسلی شمال تبریز است.

۷- نتیجه گیری

پس از بررسی شاخص های زمین ریخت شناسی و محاسبه شاخص Iat در منطقه مورد بررسی، می توان چنین نتیجه گرفت که به طور کلی فعالیت های تکنونیک نسبی بالا (رده ۲) در زیر حوضه ۱۰ با جنبش های نوزمین ساختی بخش خاوری رشته کوه هریس- شمال مرند؛ در زیر حوضه های ۲۷ و ۲۹ با جنبش های نوزمین ساختی بخشی از رشته کوه بزقوش و در زیر حوضه ۱۷ با جنبش های نوزمین ساختی گسل شمال تبریز در ارتباط هستند. در گستره مورد پژوهش، الگوی تقارن توپوگرافی عرضی به طور آشکار با میزان و رده فعالیت زمین ساختی نسبی همخوانی دارد و فعالیت بالای زمین ساخت نسبی با نواحی منطبق است که رودخانه ها میزان بالای کج شدگی نشان می دهند.

رده ۱ وجود ندارد؛ رده ۲ با مساحت ۱۰۴۵/۴۶ کیلومتر مربع ۱۱/۲۶ درصد، رده ۳ با مساحت ۲۹۴۰/۶۷ کیلومتر مربع ۳۱/۶۷ درصد و رده ۴ با مساحت ۵۲۹۷/۳۰ کیلومتر مربع ۵۷/۰۶ درصد از کل منطقه را اشغال می کنند. بررسی نحوه انطباق داده های لرزه ای منطقه روی نقشه گسل های اصلی و موقعیت زیرحوضه ها نشان می دهد که رومرکز بیشتر زمین لرزه های رخ داده در این منطقه، در زیرحوضه های رده ۴ قرار دارند و فراوانی آنها به تدریج به سوی شمال باختری و جنوب خاوری افزایش می یابد. این موضوع نشانگر این واقعیت است که بیشتر این منطقه، در واقع یک حوضه بین کوهستانی دچار دگرشکلی شکل پذیر است؛ هر چند که توسط کوه های با دگرشکلی شکننده احاطه شده است. از سوی دیگر، تراکم بیشتر گسل ها در واحد سطح، که در محدوده دربردارنده زیرحوضه های ۲، ۳، ۴، ۲۵ و ۲۶ بیشتر است؛ با فراوانی بیشتر رومرکز زمین لرزه ها نیز سازگار نیست.

از دیدگاه لرزه خیزی می توان زمین لرزه های زیرحوضه های ۲۳ تا ۳۰ را به زمین ساخت فعال کوه های بزقوش و زمین لرزه های زیرحوضه های ۵ تا ۹ را به زمین ساخت فعال کوه های هریس- شمال مرند نسبت داد. همچنین از دیدگاه ساختاری نیز می توان چنین ادعان داشت که نسبت چین خوردگی ها به گسلش

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.
- Berberian, M. and Arshadi, S., 1976- On the evidence of the youngest activity of the North Tabriz Fault and the seismicity of Tabriz city. *Geol. Surv. Iran Rep*, 39, 397-418.
- Bull, W. B. and Mc Fadden, L. D., 1977- Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D. O. (Ed). *Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium*. State University of New York, Binghamton. pp. 115-138.
- 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.
- 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- basins symmetry as rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from Mississippi Embayment, *Geological society of America Bulletin* 106, pp 571-581.
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J. and Keller, E. A., 2007- Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96, pp, 150-173.
- Hack, J. T., 1973- Stream-profiles analysis and stream-gradient index, *Journal of Research of the U.S. Geological Survey* 1. pp, 421-429.
- Hare, P. W. and Gardner, T. W., 1985- Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M., Hach, J.T (eds). *Allen and Unwin, Boston*, 75-104.
- Hessami, K., Pantosti, D., Tabassi, H., Shabaniyan, E., Abbassi, M. R., Fegghi, K. and Solaymani, S., 2003- Paleoequakes and slip rates of the North Tabriz Fault, NW Iran: preliminary results. *Annals of Geophysics*.
- Keller, E. A., 1986- Investigations of Active tectonics: use of surficial earth processes. In: R. E. Wallace. Editor, *Active tectonics: impact on society*, National Academy press, Washington, Dc (1986), PP, 136-147.
- Keller, E. A. and Pinter, N., 2002- *Active tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape* (2nd Ed.). 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, pp, 559-589.
- Moradi, A. S., Hatzfeld, D. and Tatar, M., 2011- Microseismicity and seismotectonics of the North Tabriz fault (Iran). *Tectonophysics*, 506(1), 22-30.
- Pike, R. J. and Wilson, S. E., 1971- Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin* 82, pp, 1079-1084.
- Ramirez-Herrera, M. T., 1998- Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surface Processes and Landforms* 23, pp, 317-332.
- Rockwell, T. K., Keller, E. A. and Jonson, 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, 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, pp, 203-226.
- Solaymani Azad, S., Dominguez, S., Philip, H., Hessami, K., Forutan, M. R., Zadeh, M. S. and Ritz, J. F., 2011- The Zandjan fault system: Morphological and tectonic evidences of a new active fault network in the NW of Iran. *Tectonophysics*, 506(1), 73-85.
- Strahler, A. N., 1952- Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography *Geological Society of America Bulletin* 63, pp, 1117-1142.

Geomorphic Signatures of Active Tectonics in the Ajichai Drainage Basin NW Iran

R. Gholipour^{1*}, A. Solgi², Y. Sattarzadeh-Ghadim³ and A. Sorbi⁴

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

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

³Assistant Professor, Islamic Azad University (IAU), Tabriz Branch, Tabriz, Iran

⁴Assistant Professor, Islamic Azad University (IAU), Karaj Branch, Karaj, Iran

Received: 2014 September 02

Accepted: 2018 March 17

Abstract

Geomorphic indices of active tectonics are useful tools to analyze of the active tectonics in a large area. These indices have the advantage of being calculate from the software 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 Ajichai basins where relatively little work on active tectonics based on this method was done, so this method is new and useful. Based upon valuable of the stream length-gradient index (SL), drainage basins asymmetry (Af), hypsometric integral (Hi), ratio of valley-floor width to valley height (Vf), drainage basins index shape (Bs), and index of mountain front sinuosity (Smf), we used an overall index (Iat), that is a combination of the other indices that divides the landscape into four classes of relative tectonic activity. The moderate class of Iat is mainly in the class 2 (high), with 1045.46 Km², 11.26 percent, class 3 (moderate), with 2940.67 Km², 31.67 percent and with 5297.30 Km², 57.06 percent occupying of all zone. The stream network asymmetry (T) was also studied using morphometric measures of Transverse Topographic Symmetry. Analysis of the drainage basins and sub-basins in the study area results in a field of T-vectors that defines anomalous zone of the basins asymmetry. A comparison of T index clearly consist with the values and classes of active tectonics indices and the overall Iat index.

Keywords: Geomorphic Indices, Active tectonics, Drainage Basin, Asymmetry, Ajichai

For Persian Version see pages 201 to 210

*Corresponding author: R. Gholipour; E-mail: r.gholipour86@yahoo.com