

## ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه زهکشی سعیدآبادچای<sup>۱</sup>

فریبا کرمی\* - استادیار گروه پژوهشی جغرافیا، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۸۷/۳/۲۹ تأیید نهایی: ۱۳۸۸/۵/۲۰

### چکیده

در مقاله حاضر، تحول کوتاه‌تری فعالیت‌های تکتونیکی حوضه آبریز سعیدآبادچای با رویکرد تحلیل شاخص‌های ژئومورفیک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. حوضه آبریز سعیدآبادچای در دامنه شمالی کوه سهند قرار دارد. عبور گسل شمال تبریز از این حوضه و ایجاد تغییراتی در مورفولوژی جبهه کوهستانی دامنه شمالی سهند و دامنه جنوب‌غربی کوه تک‌آلتی، زمینه مناسبی برای ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی این حوضه فراهم ساخته است. بنابراین، برای دستیابی به این هدف از شاخص‌های ژئومورفیک شامل نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن ( $Vf$ )، نسبت شکل حوضه ( $Bs$ )، عامل تقارن توپوگرافی ( $T$ )، شاخص سینوسی جبهه کوهستان ( $Smf$ )، گرادیان طولی رودخانه ( $SL$ )، عامل عدم تقارن حوضه ( $AF$ )، و شاخص درصد جبهه‌های کوهستانی ممتد ( $Eu$ )، نقشه‌های توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع ( $DEM$ )، تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزارهای  $Autocad\ map$ ،  $Arc/view$  استفاده شد. نتایج این پژوهش که با شاخص  $Iat$  برآورد شده‌اند نشان می‌دهند که در این منطقه، زیرحوضه سعیدآبادچای دارای فعالیت تکتونیکی متوسط ( $Iat=2$ ) است و در زیرحوضه کندولچای با  $Iat=1/43$  فعالیت‌های تکتونیکی زیاد است. ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی به وسیله شاخص  $Iat$  برای کل حوضه، نشان از آن دارد که در زمان حاضر این منطقه فعالیت‌های تکتونیکی فراوانی را در خود جای داده است.

کلیدواژه‌ها: شاخص‌های ژئومورفیک، فعالیت‌های تکتونیکی، کوه سهند، حوضه سعیدآبادچای.

### مقدمه

شاخص‌های ژئومورفیک، ابزارهای سودمندی برای تحلیل اشکال زمینی و ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در نواحی مختلف به‌شمار می‌آیند (Guarnieri and Pirrotta, 2008, 265). کاربرد این شاخص‌ها مبتنی بر تحلیل شبکه‌های زهکشی و جبهه‌های کوهستانی است (Malik and Mohanty, 2007, 605). براساس این شاخص‌ها با رویکرد کمی در تحلیل ژئومورفیک، می‌توان آنومالی‌های موجود در سامانه‌های آبرفتی یا بی‌نظمی‌های امتداد جبهه‌های کوهستانی را تشریح کرد. ممکن است این آنومالی‌ها در اثر تغییرات محلی ناشی از فعالیت‌های تکتونیکی (بالاآمدگی یا فرونشست) ایجاد شده باشند (Hamdouni et al., 2008, 153). شاخص‌های ژئومورفیک در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان

\* E- mail: fkarami@tabrizu.ac.ir

نویسنده مسئول: ۰۴۱۱-۳۳۹۲۳۰۵

۱. این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی «ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه در شهرستان بستان‌آباد» است، که با تأمین مالی مدیریت امور پژوهشی دانشگاه تبریز اجرا و خاتمه یافته است.

مانند جنوب غرب آمریکا (Bull and mcfadden, 1977)، کاستاریکا (Welles et al., 1988, 239-266)، سواحل جنوب شرقی اسپانیا (Silva et al., 2003, 203-225)، گرابن آکامبی مکزیک (Ramirez-Herrea, 1998, 317-332)، غرب تایوان (Chen et al., 2003, 263-290)، شمال شرقی سیسیلی ایتالیا (Guarnieri and Pirrotta, 2008, 260-273) و نواحی دیگر مورد استفاده قرار گرفته و به نتایج مورد انتظار دست یافته است.

حوضه آبریز سعیدآبادچای که در دامنه شمالی توده آتشفشانی سهند واقع شده است و بخشی از گسل شمال تبریز از آن می‌گذرد، مکانی است که فرصت مطالعه‌ای سیستماتیک را در مورد پیدایش و تحول کوآترنری اشکال به‌وسیله فرایندهای تکتونیکی فراهم می‌سازد. در این زمینه قدم نخست، می‌تواند تحلیل شبکه‌های زهکشی و جبهه‌های کوهستانی منطقه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک باشد.

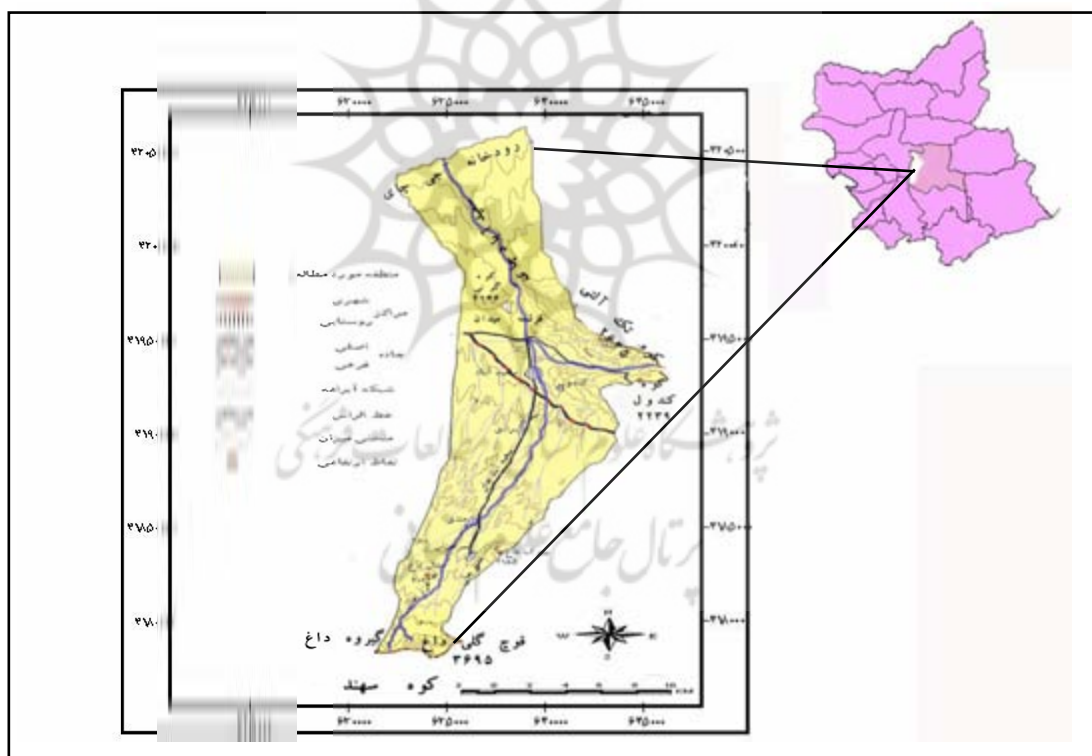
گسل شمال تبریز با روند شمال غربی - جنوب شرقی از شمال حوضه سعیدآبادچای عبور می‌کند. گسل تبریز به خاطر اهمیت تأثیری که بر روند زمین‌شناسی و مورفولوژی دارد، از سوی پژوهشگرانی مورد مطالعه قرار گرفته است. افتخارنژاد (به نقل از درویش‌زاده، ۱۳۸۲، ۱۶۳) که در مورد سن گسل تبریز تحقیقاتی انجام داده است، بیان می‌دارد که این گسل پدیده تکتونیکی مهمی است که در دونین آذربایجان را به دو بلوک متفاوت تقسیم کرده است و احتمالاً تا میوسن میانی، فعالیت آن تحت فشار نیروهای جانبی دچار اختلال شده بود. بعد از کاهش این نیروها - که فشردگی فلات آذربایجان را در بین صفحات سیبری و عربستان به دنبال داشته است - در مرکز این فشردگی دوباره توده‌های همجوار بر اثر تعادل‌های منطقه‌ای شروع به فعالیت در امتداد گسل‌هایی کرده‌اند که در واقع مرز توده‌های مجاور محسوب می‌گردند (وقار موسوی، ۱۳۶۹، ۵۰). بربریان و ارشدی (۱۹۷۷)، این موضوع را در منطقه سعیدآباد تحت عنوان ریفت شبلی مورد بررسی قرار داده‌اند (نقل از رضایی مقدم، ۱۳۷۰، ۶۴). علوی (۱۹۹۶)، محل فعلی گسل تبریز را بر فرورانشی منطبق دانسته است که در میوسن خاتمه یافته است. به عقیده وی ولکانیک‌های مافیک و اولترامافیک موجود در روستای قزله‌میدان حوضه سعیدآبادچای، باقی‌مانده‌ای از این برخورددهاست. در زمان حاضر، نتایج مورفوتکتونیکی فعالیت گسل تبریز در حوضه سعیدآباد را می‌توان در انحراف مسیر آبراه‌ها، ایجاد پرتگاه‌های گسلی، دره‌های خطی، پشته‌های فشاری و نظایر اینها مشاهده کرد (کرمی، ۱۳۸۷، ۸۵).

هدف پژوهش حاضر، بررسی فعالیت‌های تکتونیکی حوضه سعیدآبادچای با رویکرد کمی است. با توجه به اعتبار شاخص‌های ژئومورفیک در مطالعات، برای ارزیابی فعالیت‌های کوآترنری حوضه سعیدآبادچای از شاخص‌های ژئومورفیک مربوط به جبهه کوهستان، مانند شاخص سینوسی جبهه کوهستان (Smf)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، شاخص درصد جبهه‌های کوهستانی ممتد (Eu) و شاخص‌های تحلیل شبکه‌های زهکشی از قبیل گرادیان طولی رودخانه (SL)، عامل عدم تقارن حوضه (AF)، نسبت شکل حوضه (Bs) و عامل تقارن توپوگرافی (T) استفاده شده است.

### مشخصات منطقه مورد مطالعه

حوضه سعیدآبادچای دارای مختصات جغرافیایی "۵۸' ۲۸" ۴۶° تا "۴۷' ۴۰" ۴۶° طول شرقی و "۳۷' ۳" ۳۸° تا "۲۹' ۱" ۳۸° عرض شمالی است (شکل ۱). این حوضه در دامنه شمالی کوهستان سهند واقع شده و از نظر توپوگرافی (جنوب و شمال شرقی حوضه) از ارتفاعات واحد فلات و دشت تشکیل شده است. حداقل ارتفاع حوضه در جنوب در کوه قوچ‌گلی داغ

۳۶۹۵ متر است. از قله‌های منفرد این واحد مرتفع می‌توان بیوک‌داغ (۲۹۴۰ متر) و متال‌داغ (۳۰۲۴ متر) را نام برد. این ارتفاعات از گدازه‌های داسیتی، ریوداسیتی و برش‌های آندزیتی به سن میوپلیوسن تشکیل شده است. سنگ‌های داسیتی در مخروط‌های منفرد مانند متال‌داغی برونزد دارند و گدازه‌های بیوک‌داغ نیز از نوع آندزیتی هستند (معین وزیری و امین سبحانی، ۱۳۶۵، ۲۵). واحد مرتفع شمال‌شرقی با ارتفاع ۲۶۴۵ متر به نام تک‌آلتی‌داغ، به صورت ستیغی از شمال‌غرب به جنوب‌شرقی کشیده شده است. ناهمواری تک‌آلتی‌داغ و کوه کندول از سنگ‌های رسوبی شامل شیل‌های آهکی متعلق به کرتاسه فوقانی تشکیل شده‌اند که در بین لایه‌های ضخیم شیل‌های آهکی و لایه‌های نازک ماسه‌سنگی قرار دارند. همچنین سنگ‌های دیوریتی و مونزونیتی اولیگوسن در وسعتی اندک در ارتفاعات شمال‌شرقی دیده می‌شوند. واحد فلات میان‌توده سه‌پند در جنوب و دشت سعیدآباد، زمین‌های هموار و وسیعی را شامل می‌شود که به شعاع ده‌ها کیلومتر از تشکیلات آذرآواری و ولکانوسدیمانترها تشکیل شده است. دشت سعیدآباد نیز با ارتفاع متوسط ۱۸۰۰ متر، به صورت سطح همواری در پایکوه‌های تک‌آلتی‌داغ گسترش دارد.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه سعیدآبادچای

سعیدآبادچای با شاخه‌های متنق‌چای و هزارچای از ارتفاعات سه‌پند سرچشمه می‌گیرد و بعد از طی مسیر جنوب‌غربی - شمال‌شرقی در تنگه اسکندر آبراهه فرعی کندول به آن می‌ریزد و در نهایت به آجی‌چای می‌پیوندد (شکل ۱). گسل شمال‌تبریز با روند عمومی شمال‌غربی - جنوب‌شرقی از پایکوه‌های تک‌آلتی‌داغ در شمال حوضه مورد مطالعه می‌گذرد. طول تقریبی گسل تبریز ۱۸۰ کیلومتر و نرخ متوسط لغزش آن ۳ میلی‌متر در سال برآورد شده است (حسامی و همکاران، ۱۳۷۶). این قطعه از سامانه گسل تبریز در گردنه شبلی باعث رانده شدن سازندهای کرتاسه بر روی

میوسن شده است. جابه‌جایی امتداد لغز راستگرد با مؤلفه فشار معکوس در طول گسل را بربریان و ارشدی (۱۹۷۶) گزارش کرده‌اند (به نقل از Hesami et al., 2003). این گسل به دلیل استقرار در کمربند زلزله‌خیز آلپ هیمالیا، دارای سابقه لرزه‌خیزی فراوانی در طول تاریخ است. زمین‌لرزه‌های ناشی از حرکات این گسل، شهرها و روستاهای زیادی را ویران ساخته و قربانیان زیادی گرفته است. زلزله‌های سال‌های ۱۶۴۲ میلادی ( $M=6/8$ )، ۱۷۲۱ میلادی ( $M=7/3$ )، ۱۷۸۰ میلادی ( $M=7/4$ )، ۱۹۷۶ میلادی ( $M=7/1$ ) نمونه‌هایی از حرکات گسل تبریز در شمال غرب ایران هستند (Karakhanian, 2004, 197).

## مواد و روش‌ها

داده‌های مورد نیاز برای بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی به‌دست آمده است. نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Arc/View و Autocad map ترسیم شدند. برای بررسی شاخص‌های ژئومورفیک مبتنی بر تحلیل جبهه‌های کوهستان، از شاخص‌های Smf، Vf و Eu استفاده شد. شاخص‌هایی مانند SL، AF، BS و T نیز براساس ویژگی‌های حوضه‌های زهکشی به ارزیابی حرکات زمین‌ساختی پرداختند. برای دستیابی به نتایج دقیق و ساده کردن تحلیل شاخص‌ها، حوضه سعیدآبادچای به دو زیرحوضه سعیدآبادچای و کندول‌چای تقسیم شد. پس از محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک موردنظر، با استفاده از شاخص Iat فعالیت نسبی تکتونیک در حوضه سعیدآبادچای ارزیابی شد.

## یافته‌های تحقیق

### شاخص شیب طولی رودخانه<sup>۱</sup> (SL)

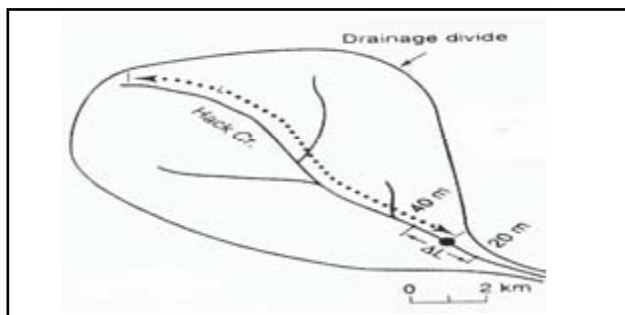
شاخص شیب طولی رودخانه به تغییرات شیب آبراهه حساس است و می‌تواند هرگونه بی‌نظمی را که در اثر فعالیت‌های تکتونیک یا مقاومت سنگ در شیب طولی آبراهه ایجاد شده است، نشان دهد (Ramirez-Herrera, 1998, 323). این شاخص به‌وسیله رابطه (۱) بیان می‌شود.

$$SL = (\Delta H / \Delta L)L$$

رابطه (۱)

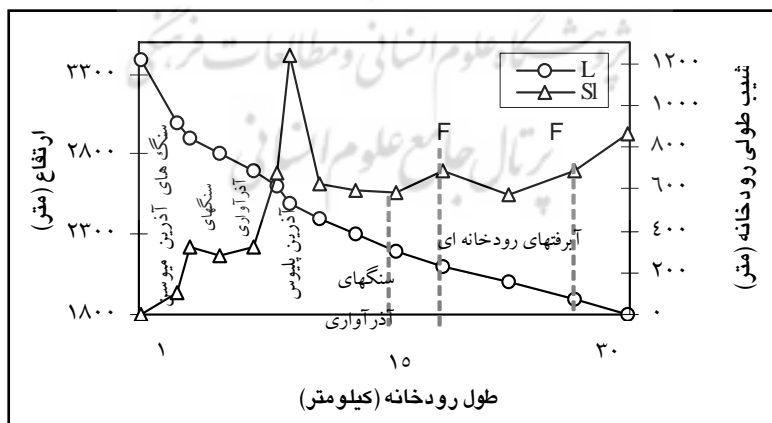
$SL$  = شاخص شیب طولی رودخانه؛  $\Delta H / \Delta L$  = شیب آبراهه یا گرادیان یک قطعه؛  $\Delta H$  = اختلاف ارتفاع قطعه موردنظر؛  $\Delta L$  = طول شاخه موردنظر؛  $L$  = مجموع طول آبراهه از نقطه‌ای که شاخص محاسبه می‌شود تا مرتفع‌ترین نقطه آبراهه در بالادست (Garcia-Tortosa et al., 2008, 380). این پارامترها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی یا مدل رقومی ارتفاع (DEM) اندازه‌گیری می‌شوند. مقادیر بالای بی‌نظمی در نیمرخ، گویای کلاس ۱ فعالیت‌های

تکتونیکی است و میزان کم آنومالی در نیمرخ طولی رودخانه، کلاس ۲ حرکات نیروهای درونی را نشان می‌دهد. این درحالی است که نیمرخ‌های منظم و بدون تغییرات، به رودخانه‌های با آرامش تکتونیکی دلالت می‌کنند (Hamdouni et al. 2008, 169).



شکل ۲. محاسبه شاخص SL در حوضه زهکشی

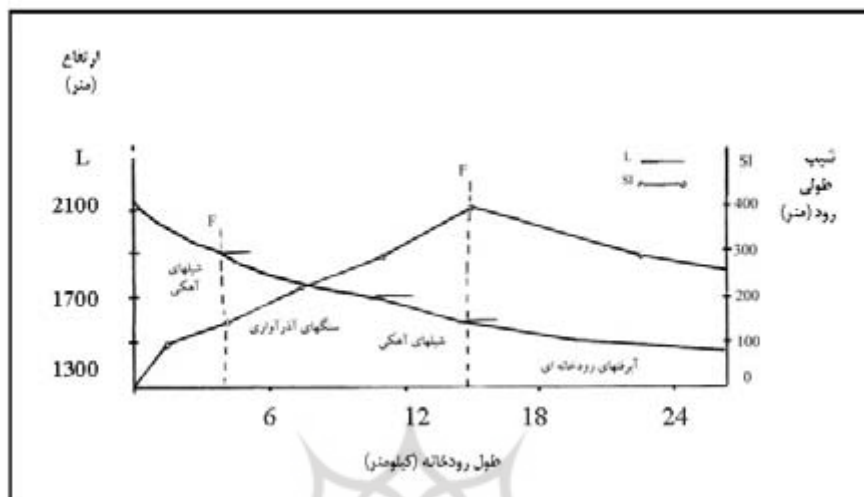
در نمودار شیب طولی رودخانه سعیدآبادچای (شکل ۳) بی‌نظمی‌های زیادی دیده می‌شود، که با فعالیت‌های تکتونیکی و مقاومت متفاوت واحدهای لیتولوژی بستر رودخانه مرتبط است. در بالادست نیمرخ طولی رودخانه، تغییر سنگ‌های آذرین میوسن به آذرآواری، نوسان محسوسی در نمودار شیب رودخانه ایجاد می‌کند. در ارتفاع ۲۶۰۰ متری مجدداً بستر رودخانه شیب تند پیدا می‌کند. علت این شیب زیاد، تفاوت مقاومت سنگ‌های آذرآواری در مقابل سنگ‌های آذرین پلیوسن است. در پایین‌دست رودخانه، یعنی در آبرفت‌های رودخانه‌ای با حضور چند گسل، نوساناتی در نمودار شیب رودخانه مشاهده می‌شود. معمولاً تغییر شیب در آبرفت‌ها و نهشته‌های جوان، فعالیت‌های نئوتکتونیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نیمرخ طولی و نمودار تغییرات شیب رودخانه زیر سعیدآبادچای  
L: نیمرخ طولی رودخانه SL: مقادیر شاخص F: گسل

بی‌نظمی‌های نیمرخ طولی رودخانه کندول به شدت بی‌نظمی‌های سعیدآبادچای نیست. مطابق نمودار، تغییر در شیب طولی رودخانه با ساختار زمین‌شناسی و ویژگی‌های لیتولوژی ارتباط دارد (شکل ۴)، به طوری که با تغییر واحد سنگ‌های کنگلومرا و شیل‌های آهکی به آذرآواری و در اثر قطع رودخانه به وسیله گسلی در بالادست، میزان شیب طولی

رودخانه (SL) افزایش می‌یابد. در ارتفاع ۱۶۰۰ متری با گذر از واحدهای سنگی کرتاسه به آبرفت‌های رودخانه‌ای و قطع رودخانه با گسل اصلی، شیب طولی رودخانه افزایش می‌یابد و به اوج خود می‌رسد.



شکل ۴. نیمرخ طولی و نمودار تغییرات شیب رودخانه در زیرحوضه کندولچای  
L: نیمرخ طولی رودخانه SL: مقادیر شاخص F: گسل

جدول ۱. مقادیر شاخص SL در حوضه سعیدآبادچای

نام زیرحوضه	مقدار شاخص SL	کلاس فعالیت
سعیدآبادچای	زیاد	۱
کندولچای	کم	۲

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF) شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، کج‌شدگی جانبی حوضه را نسبت به مسیر اصلی رودخانه‌اش در اثر نیروهای تکتونیکی، نشان می‌دهد (Guarnieri and Pirrotta, 2008, 265) و با رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$AF = 100 \cdot (Ar / At)$$

رابطه (۲)

AF = عامل عدم تقارن حوضه؛ Ar = مساحت حوضه در سمت راست آبراهه اصلی (به طرف پایین دست حوضه)؛ و At = مساحت کل حوضه. چنانچه حوضه‌ای تحت شرایط ثابت، بدون کج‌شدگی و یا انحراف اندک تحول یابد، مقدار AF مساوی یا نزدیک ۵۰ است و مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ کج‌شدگی یا انحراف را مشخص می‌سازد. از نظر فعالیت‌های

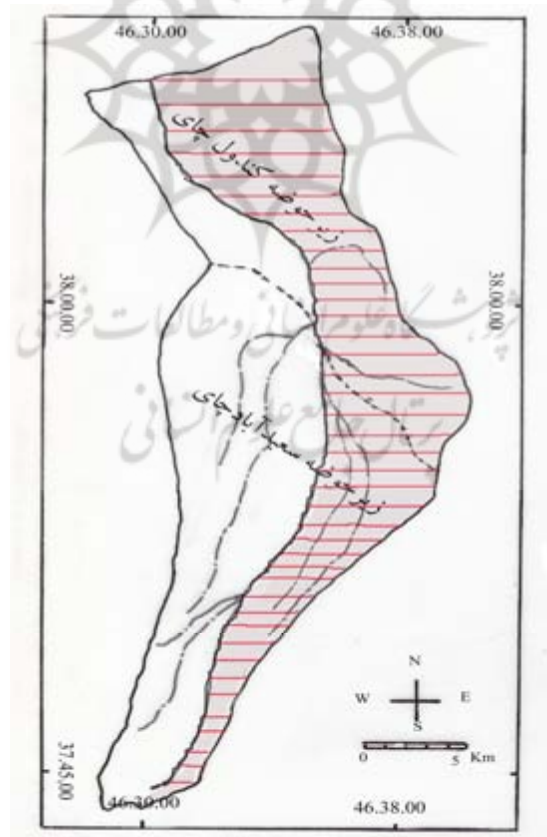


تکتونیکی،  $AF > 50$  کلاس یک و فعال را نشان می‌دهد. درحالی‌که،  $15 < AF - 50 < 7$  باشد کلاس دو و فعالیت متوسط آن حوضه را بیان می‌کند. توقف فعالیت و آرامش تکتونیکی، زمانی مشخص می‌شود که  $AF - 50 < 7$  است (Hamdouni et al., 2008, 169).

سعیدآبادچای رودخانه‌ای است که از کوهستان سه‌پند سرچشمه گرفته است و به سمت شمال جریان دارد. در زیرحوضه کندولچای که میزان شاخص AF بزرگ‌تر از ۵۰ است (جدول ۲)، کج‌شدگی آبراهه اصلی به سمت غرب حوضه است و شاخه‌های طرف شرق رودخانه اصلی در مقایسه با سمت چپ طولانی‌تر هستند (شکل ۵). درحالی‌که در زیرحوضه سعیدآبادچای که مقدار شاخص کمتر از ۵۰ است و رودخانه اصلی به سمت شرق کج شده است، انشعابات کناره غربی رودخانه برای رسیدن به آبراهه اصلی مسیر طولانی‌تری را طی می‌کنند.

جدول ۲. مقادیر شاخص AF در حوضه سعیدآبادچای

نام زیرحوضه	مقدار شاخص AF	AF = ۵۰	کلاس
سعیدآبادچای	۴۱/۷۶	-۸/۲۴	۳
کندولچای	۶۶/۰۶	+۱۶/۰۶	۱



شکل ۵. نمایش عدم تقارن در حوضه زهکشی سعیدآبادچای

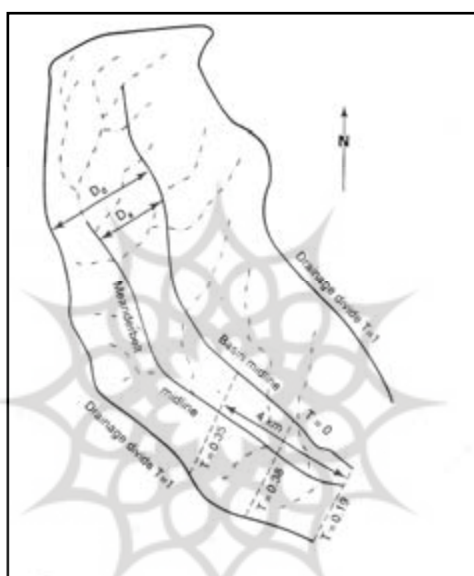
## عامل تقارن توپوگرافی (T)

وجود عدم تقارن توپوگرافی در شبکه زهکشی حوضه‌هایی با لیتولوژی تقریباً همسان، عملکرد تکتونیک فعال را نشان می‌دهد (Keller and Pinter, 2002, 128). شاخص تقارن توپوگرافی از رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$T = D_a / D_d \quad \text{رابطه (۳)}$$

$T$  = عامل تقارن توپوگرافی،  $D_a$  = فاصله نوار مابین خط میانی حوضه تا خط میانی رودپیچ فعال،  $D_d$  = فاصله خط

میانی حوضه تا مرز حوضه.



شکل ۶. محاسبه شاخص عامل تقارن توپوگرافی

برای حوضه‌ای که کاملاً متقارن است، شاخص  $T$  مساوی عدد صفر خواهد بود. هرچقدر که عدم تقارن توپوگرافی حوضه‌ای افزایش یابد، مقدار شاخص نیز بالا می‌رود و به عدد یک نزدیک‌تر می‌شود. بنابراین، شاخص  $T$  برداری است با یک جهت که بزرگی آن بین ۰-۱ متغیر است.

مقدار شاخص  $T$  در زیرحوضه سعیدآبادچای، با مقدار ۰/۶۲ گویای حوضه‌ای نیمه‌متقارن از نظر توپوگرافی است (جدول ۳)، که از نظر فعالیت تکتونیک در کلاس ۲ قرار می‌گیرد. میزان عامل تقارن توپوگرافی در زیرحوضه کندول به سمت یک حوضه نامتقارن متمایل است و بنابراین با دارا بودن ویژگی‌های یاد شده می‌تواند از نظر حرکات زمین‌ساختی فعال باشد. کج‌شدگی آبراهه اصلی به سمت غرب در زیرحوضه کندول و فاصله آن تا نقطه تقارن در شکل ۷ دیده می‌شود. در زیرحوضه سعیدآبادچای نیز رود اصلی به طرف شرق متمایل دارد. در نقاطی که  $D_a = D_d$  باشد، حوضه زهکشی در حالت تقارن قرار دارد.

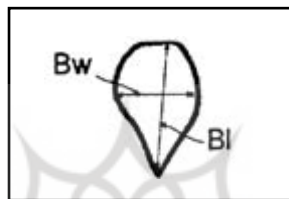


نسبت شکل حوضه<sup>۱</sup> (BS)

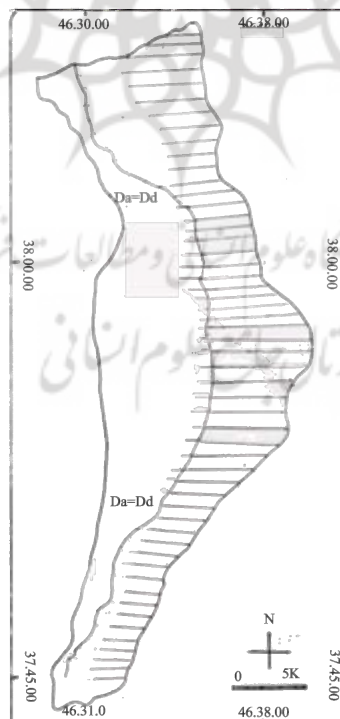
حوضه‌های فعال تکتونیکی، شکل کشیده‌ای دارند. شکل حوضه در طول زمان با توقف میزان بالآمدگی، به تدریج دایره می‌شود (Burbank and Anderson, 2001, 2003). نسبت شکل حوضه با رابطه (۴) بیان می‌گردد.

$$BS = BI / Bw \quad \text{رابطه (۴)}$$

BS = شاخص شکل حوضه؛ BI = اندازه طول حوضه از انتهای‌ترین مقسم آب تا خروجی حوضه؛ Bw = پهناي حوضه در پهن‌ترین قسمت.



شکل ۷. رابطه نسبت شکل حوضه زهکشی



شکل ۸. نقشه شاخص تقارن توپوگرافی در حوضه زهکشی سعیدآبادچای

جدول ۳. مقادیر شاخص T در حوضه سعیدآبادچای

نام زیرحوضه	مقدار متوسط شاخص T	کلاس فعالیت
سعیدآبادچای	۰/۶۲	۲
کندول چای	۰/۷	۱

حوضه‌هایی که با مقادیر زیاد BS یعنی بیشتر از ۴ مشخص می‌شوند، از نظر تکتونیکی فعال هستند. زمانی که BS بین ۳ تا ۴ باشد، حوضه‌ها از نظر فعالیت زمین‌ساختی در کلاس ۲ قرار دارند و مقادیر کمتر از ۳، حوضه‌های دایره‌ای شکل را نشان می‌دهند که از نظر فعالیت، غیرفعال اند (Hamdouni et al., 2008, 169).

مقادیر شاخص نسبت شکل حوضه سعیدآباد در جدول ۴ آمده است. بر این اساس، شکل زیرحوضه کندول با  $BS=۳/۰۹$  کشیده‌تر از زیرحوضه سعیدآبادچای ( $BS=۲/۹۷$ ) است و هر دو از نظر فعالیت تکتونیکی در کلاس ۲ فعالیت (نیمه‌فعال) قرار می‌گیرند.

جدول ۴. مقادیر شاخص BS در حوضه سعیدآبادچای

نام زیرحوضه	مقدار شاخص BS	کلاس فعالیت
سعیدآبادچای	۲/۹۷	۲
کندول چای	۳/۰۹	۲

### سینوسی جبهه کوهستان<sup>۱</sup> (Smf)

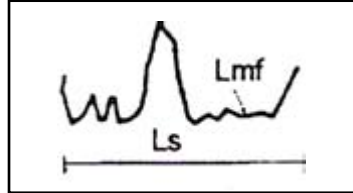
سینوسی جبهه کوهستان، شاخصی است که تعادل بین نیروهای فرسایشی و نیروهای تکتونیکی را نشان می‌دهد (Silva et al., 2003, 207). فرایندهای فرسایشی معمولاً به حفر جبهه کوهستانی تمایل دارند، درحالی‌که نیروهای تکتونیکی برای رسیدن به جبهه کوهستانی ممتد و مستقیم فعالیت می‌کنند (Malik and Mohanty, 2007, 608). شاخص سینوسی جبهه کوهستان از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$Smf = Lmf / Ls$$

رابطه (۵)

$Smf =$  سینوسی یا پیچ‌وخم جبهه کوهستان؛  $Lmf =$  طول جبهه کوهستان در مرز بین کوهستان و دشت؛  $Ls =$  طول خطی مماس در امتداد جبهه کوهستان (Bull and Mcfadden, 1977).  
در جبهه‌های کوهستانی فعال (کلاس ۱)، مقدار Smf کوچک‌تر از ۱/۱ است. اگر Smf برابر ۱/۱-۱/۵ باشد، جبهه‌های نیمه‌فعال را نشان می‌دهد که از نظر فعالیت‌های تکتونیکی در کلاس ۲ قرار دارند. در صورتی که این شاخص

بیشتر از ۱/۵ باشد، احتمال دارد با جبهه‌های غیرفعال منطبق گردد و به این ترتیب در کلاس ۳ قرار می‌گیرد (Hamdouni et al., 2008, 169).



شکل ۹. شاخص سینوسی جبهه کوهستان

مقدار شاخص Smf فقط برای زیرحوضه کندول چای محاسبه شد (جدول ۵). در زیرحوضه کندول چای مقدار نزدیک به عدد یک شاخص و امتداد نسبتاً مستقیم جبهه کوهستانی، می‌تواند دلیلی بر فعالیت‌های تکتونیکی باشد. مسیر نامنظم و پریپیچ‌وخم جبهه کوهستانی در زیرحوضه سعیدآبادچای، برتری فرایندهای فرسایشی را آشکار می‌سازد (شکل ۱۰).

جدول ۵. مقادیر شاخص Smf در حوضه سعیدآبادچای

نام زیرحوضه	مقدار شاخص Smf	کلاس فعالیت
کندول چای	۰/۹۳	۱



شکل ۱۰. جبهه کوهستانی در حوضه سعیدآبادچای

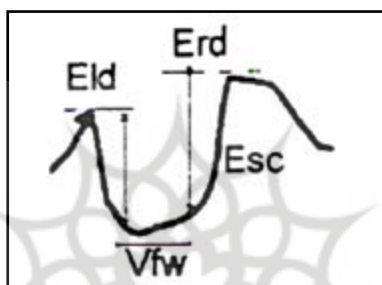
نسبت پهناي کف دره به ارتفاع آن ( $V_f$ )

شاخص نسبت پهناي کف دره به ارتفاع آن، دره‌های V شکلي را که در پاسخ به بالاآمدگی، پایین‌دست خود را حفر می‌کنند، از دره‌های U شکلي که در اثر ثبات سطح اساس و آرامش تکتونیکي، فرسایش کناري در آنها برتری دارد، متمایز می‌سازد (Garcia-tortosa et al., 2008, 378). این شاخص به صورت رابطه (۶) بیان می‌شود.

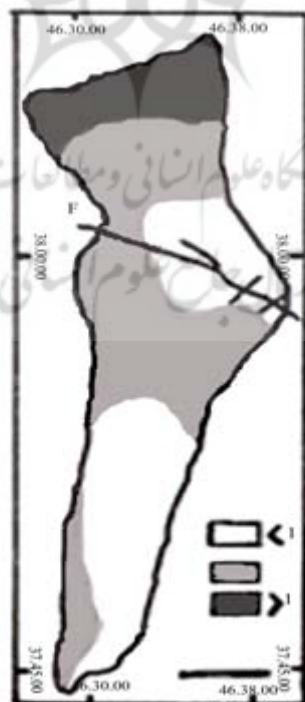
$$V_f = 2V_{fm} / [(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})] \quad \text{رابطه (۶)}$$

$V_f$  = شاخص پهناي دره با ارتفاع آن؛  $V_{fm}$  = پهناي کف دره؛  $E_{ld}$ ,  $E_{rd}$  = ارتفاع متوسط خط تقسیم آب در سمت

چپ و راست دره؛  $E_s$  = ارتفاع متوسط کف دره از سطح آب‌های آزاد.



شکل ۱۱. شاخص  $V_f$  در جبهه‌های کوهستانی



شکل ۱۲. سطوح هم‌ارزش شاخص  $V_f$  در حوضه سعیدآبادچای

مقادیر کوچک‌تر از ۰/۵ شاخص Vf بر جبهه کوهستان فعال (کلاس ۱) دلالت دارد. مقادیر بین ۰/۵-۱ کلاس ۲ و فعالیت‌های تکتونیکی متوسط را بیان می‌کند و میزان بزرگ‌تر از ۱ آن، بیانگر جبهه‌های کوهستانی غیرفعال (کلاس ۳) تکتونیکی است.

مقادیر شاخص Vf حوضه سعیدآبادچای در جدول ۶ آمده است. با محاسبه Vf در شش نقطه از نیمرخ طولی رودخانه، شکل ۱۲ ترسیم شده است. این شکل مقادیر کوچک‌تر از یک شاخص Vf را در ارتفاعات جنوب غربی حوضه و در امتداد گسل شمال تبریز نشان می‌دهد. دلیل وجود دره‌های V شکل در کوهستان سه‌پند، به وجود واحدهای لیتولوژی سخت در این کوهستان مربوط می‌شود.

جدول ۶. مقادیر شاخص Vf در حوضه سعیدآبادچای

نام زیرحوضه	مقدار شاخص Vf	کلاس فعالیت
سعیدآبادچای	۱/۰۳	۲
کندول چای	۰/۷۵	۲

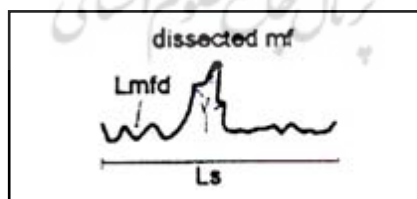
### شاخص درصد جبهه‌های کوهستان ممتد<sup>۱</sup> (Eu)

شاخص درصد جبهه‌های کوهستان ممتد، درصد جبهه‌های کوهستانی ممتد و بدون بریدگی را نشان می‌دهد. شاخص مذکور به صورت رابطه (۷) بیان می‌شود.

$$Eu = Lmfd / Ls$$

رابطه (۷)

$Eu$  = درصد پرتگاه‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان؛  $Lmfd$  = طول بخش‌های بریده‌نشده جبهه کوهستان؛  
 $Ls$  = طول جبهه کوهستان.



شکل ۱۳. شاخص درصد جبهه‌های کوهستانی ممتد

معمولاً در مناطق فعال تکتونیکی، در امتداد جبهه کوهستان، پرتگاه‌های ممتد و بدون بریدگی دیده می‌شوند، و  $Eu$  در این مناطق بالاست. اگر در امتداد جبهه کوهستان پرتگاه‌های بریده‌شده بیشتر رؤیت شوند، شاخص  $Eu$  مقادیر پایینی خواهد داشت (Ramirez-Herrera, 1998, 323).

میزان شاخص Eu در حوضه سعیدآبادچای در جدول ۷ آمده است. این مقدار در زیرحوضه سعیدآبادچای بر وجود جبهه کوهستانی بریده‌شده‌ای دلالت می‌کند که به‌وسیله فرایندهای فرسایش بریده شده است، در صورتی‌که زیرحوضه کندولچای، جبهه کوهستانی ممتد و بریده‌نشده‌ای را نمایش می‌دهد.

جدول ۷. مقادیر شاخص Eu در حوضه سعیدآبادچای

نام زیرحوضه	مقدار شاخص Vf	کلاس فعالیت
سعیدآبادچای	۴۶/۳	۲
کندولچای	۹۰/۴۸	۱

### ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی<sup>۱</sup> (Iat)

شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Iat) از رابطه (۸) به دست می‌آید:

$$Iat = S/N$$

رابطه (۸)

Iat = شاخص فعالیت نسبی تکتونیکی؛ S = مجموع کلاس‌های شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه‌شده و N = تعداد

شاخص‌های محاسبه شده. طبقات مختلف شاخص Iat به‌صورت زیر است (Hamdouni et al., 2008, 171):

$1/5 < Iat < 2$  فعالیت‌های زمین‌ساختی شدید؛  $2 < Iat < 1/5$  فعالیت‌های تکتونیکی زیاد؛  $2 > Iat < 2/5$

فعالیت‌های زمین‌ساختی متوسط؛  $2/5 > Iat > 1/5$  فعالیت‌های کم و ناچیز. برای ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه سعیدآبادچای، از هشت شاخص ژئومورفیک به‌دست آمده، استفاده شده و نتایج آن در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸. ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (Iat) حوضه سعیدآبادچای

زیرحوضه	Smf	Vf	Eu	SL	AF	Bs	T	Iat	کلاس
سعیدآبادچای	-	۲	۲	۱	۳	۲	۲	۲	متوسط
کندولچای	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۱/۴۳	زیاد

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، به‌علت ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی متفاوت دوسوی حوضه سعیدآبادچای و برای ساده کردن و بالا بردن دقت تحلیل شاخص‌های ژئومورفیک، حوضه مورد مطالعه به دو زیرحوضه (سعیدآبادچای و کندولچای) تقسیم گردید و پس از آن فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک مبتنی بر



سامانه‌های آبرفتی و جبهه‌های کوهستانی ارزیابی شد. از به‌کارگیری برخی شاخص‌ها در جبهه کوهستانی توده آتشفشانی سه‌پند، به دلیل عدم کارایی آنها صرف‌نظر شد.

نتایج تحلیل شاخص‌های ژئومورفیک و داده‌های ژئومورفولوژی حاصل از بازدیدهای میدانی، میزان نسبی حرکات تکتونیکی را در شمال و جنوب حوضه سعیدآبادچای به صورت متفاوت نشان می‌دهند. در زیرحوضه کندول‌چای، اسکارپمان تند گسلی، حفر شدید پایین دست رودخانه، سینوسی کم جبهه کوهستان، جبهه کوهستانی بریده‌نشده، شکل نسبتاً کشیده حوضه و کج‌شدگی آبراهه اصلی به سمت غرب حوضه، میزان زیاد فعالیت‌های تکتونیکی را در این منطقه بیان می‌کنند. در این منطقه عرض حوضه آبریز باریک‌تر است، زیرا نیروی رودخانه بیشتر صرف به عمق بردن بستر آن می‌شود. شکل حوضه و حفر شدید پایین دست رودخانه کندول‌چای دلیل این مدعاست. از نظر توپوگرافی، این حوضه از حالت نیمه‌متقارن به نامتقارن نزدیک می‌شود. بنابراین، تمامی داده‌ها و شواهد زمینی در زیرحوضه کندول‌چای بر پویایی و تجدید جوانی آن دلالت می‌کنند.

در زیرحوضه سعیدآبادچای، بریدگی نسبتاً زیاد جبهه کوهستانی، موجب سینوسی زیاد آن شده است. شکل حوضه نیمه‌کشیده و از نظر تقارن توپوگرافی، نیمه‌متقارن است، ولی بی‌نظمی‌های موجود در نیمرخ طولی رودخانه به دلیل واحدهای لیتولوژی مختلف و ساختارهای گسلی متعدد، زیاد است. به این ترتیب، مجموع داده‌ها و شواهد زمینی در زیرحوضه سعیدآبادچای نیمه‌فعال بودن آن را از نظر دینامیک نیروهای درونی زمین نشان می‌دهد. به‌طور کلی با وجود تفاوت‌هایی در ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی حوضه سعیدآبادچای می‌توان بیان داشت که براساس تحلیل‌های ژئومورفیک و داده‌های زمینی، آثار فعالیت‌های زمین‌ساختی در طول کوتاه‌تر فوقانی بر روی ویژگی‌های سامانه‌های رودخانه‌ای منطقه و جبهه‌های کوهستانی این حوضه دیده می‌شود.

## منابع

- Alavi, H., 1996, **Tectonic Stratigraphic Synthesis and Style of the Alborz Mountain System in Northern**, Journal of Geodynamic, 21, 1-33.
- Alavi, H., 1996, **Tectonic Stratigraphic Synthesis and Style of the Alborz Mountain System in Northern**, Journal of Geodynamic, 21, 1-33.
- Bull W.B., Mcfadden, 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 8th Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton, 115-138.
- Bull, W.B., 1984, **Tectonic Geomorphology**, Journal of Geological Education 32, 310-325.
- Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2001, **Tectonic Geomorphology**, Blackwell Science.
- Chen, Y.C., Sung, Q., Chen, K.Y., 2003, **Along – strike Variations of Morphotectonic Features in the Western Foothills of Taiwan**, Geomorphology, 56, 109-137.
- Darvishzadeh, A., 1382, **Geology of Iran**, Naser Danesh Emroz (NEDA) publication, P. 901.
- Demoulin, A., 1998, **Testing the Tectonic Significance of Some Parameters of Longitudinal**

- River Profiles: Belgium NW Europe**, *Geomorphology*, 24, 263-290.
- Garcia-tortosa, F.J., Alfaro, P., Galindo- Zaldivar, J., Gibert., Lopez-Garrido A.C., Sanz de Galdeano, C., Ureña, M., 2008, **Geomorphologic Evidemce of the Active Baza Fault (Betic Cordillera, South Spain)**, *Geomorphology*, 97, 374-391.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C., 2008, **The Response of Drainage Basins to the Late Quaternary Tectonics in the Sicilian Side of the Messina Strait (NE Sicily)**, *Geomorphology*, 95, 260-273.
- Hamdouni, R.E., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacon, J. , Keller E.A., 2008, **Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada (Southern Spain)**, *Geomorphology*, 96, 150-173.
- Hesami, K., Pantosti, D., Tabassi, H., Shabanian, E., Abbassi, M.R., Fegghi, K., and Solaymani, S., 2003, **Paleoearthquakes and Slip Rates of the North Tabriz Fault, Nw Iran**, *Annals of Geophysics*, 46(5).
- Hesami, Kh., Karakhanian, A., Jamali, F., 1376, **Idenitification of Some Active Faults in Azarbaijan**.
- Karakhanian, A., Trifonov, V., Philip, H., Hessami, Kh., Jamali, F., Bayraktutan, M.S., Bagdassarian, H., Arakelian, S., Adilkhanyan, A., 2004, **Tectonphysics**, 380, 189-219.
- Karami, F., 1387, **Assessment and Zonation of Earthquake Hazard in Boostanabad Township**, Report of Research Project, University of Tabriz.
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002, **Active Tectonics : Eathquake Uplift, and Landscape**, Prentic Hall, Newjersey.
- Malik, J.N., Mohanty, C., 2007, **Active Tectonic Enfluence on the Evolution of Drainage and Landscape Geomorphic Signatures From Frontal and Hinter Land Areas along the North Western Himalya, India**, *Journal of Asian Earth Sciences*, 29, 604-618.
- Moeinvaziri, H., 1375, **Introduction of Magmatism in Iran**, Tehran Tarbiat moalem publication, P. 440.
- Ramirez- Herrera, M.T., 1998, **Geomorphic Assessment of Active Tectonic in the Acambay Graben, Mexican Volcamic Belt Earth Surface and Landforms**, 23, 317-322.
- Rezaiemoghadam, M.H., 1370, **The Study of Geomorphological Evolution in the North Slope of Sahand Mountain, ...**, Magsood Khaiam, Faculty of Humanities and Social Sciences, University of Tabriz.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardji, T., 2003, **Fault Generated Mountain Fronts in Southeast Spain: Geomorphologic Assessment of Tectonic and Seismic Activity**, *Geomorphology*, 50, 203-225.
- Vagharmousavi, A., 1369, **The Geomorphological Evolution of Tabriz Plain**.
- Wells, S.G., Bullard, T.F., Menges, C.M., Drake, G., Karas, P.A., Kelson, K.I., Rittre, J.B., Weling, J.R., 1988, **Regional Variations in Tectonic Geomorphology along a Segmented Convergent Plate Boundary, Pacific Costa of Costa Rica**, *Geomorphology*, 1, 239-266.