



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی

سال دوازدهم، شماره ۳۷  
بهار ۱۳۹۱، صفحات ۱۸-۱

فریبا کرمی<sup>۱</sup>

## ارزیابی نسبی تکتونیک فعال با استفاده از روش‌های مورفومتری در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۴/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۲۳

### چکیده

مطالعه تکتونیک فعال از نظر ارزیابی خطر زمین‌لرزه در نقاط مختلف اهمیت دارد، مخصوصاً در نواحی‌ای که میزان فعالیت تکتونیک در هولوسن و پلیستوسن نسبتاً زیاد بوده است. هدف پژوهش حاضر، مقایسه فعالیت‌های تکتونیک حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند از طریق تحلیل‌های مورفومتری می‌باشد. شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، سینوسی جبهه کوهستان (Smf)، شیب طولی رودخانه (SI)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، انتگرال هیپسومتری (Hi)، شکل حوضه زهکشی (Bs) می‌باشند. نتایج حاصل از تحلیل‌های مورفومتری، به صورت شاخص نسبی فعالیت‌های تکتونیک (Iat) بیان شده است. این شاخص فعالیت‌های زمین‌ساختی یک منطقه را در چهار طبقه فعالیت کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد نشان می‌دهد. برای برآورد تکتونیک فعال از نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰) و نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰) و (۱:۲۵۰۰۰۰) منطقه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در حوضه‌های مورد مطالعه کوه سهند، حوضه‌های آبریز سعیدآبادچای، کلکانچای و آلمالوچای به طور نسبی دارای فعالیت‌های تکتونیک زیاد هستند و حوضه‌های اوجانچای، اسب‌آبادچای و قرنقوچای، حرکات تکتونیک متوسط دارند. فعالیت تکتونیک حوضه‌های شمالی متأثر از گسل تبریز می‌باشد و حوضه‌های شرقی از گسل‌های فرعی منطقه تأثیر می‌پذیرند.

کلید واژه‌ها: تکتونیک فعال، روش‌های مورفومتری، شاخص‌های ژئومورفیک، حوضه‌های زهکشی، کوه سهند.

#### مقدمه

تکتونیک فعال به فرایندهای تکتونیکی اطلاق می‌شود که در یک مقیاس زمانی در پوسته زمین تغییر شکل‌هایی ایجاد کنند که این تغییرشکل‌ها برای جوامع انسانی مهم هستند. مطالعه تکتونیک فعال در ارزیابی خطر بسیار مهم است. مخصوصاً در نواحی که میزان فعالیت‌های تکتونیکی در هولوسن و پلیستوسن بالایی نسبتاً زیاد بوده، دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. اگرچه تکتونیک فعال گسستگی آرام پوسته زمین است که امکان دارد به سازه‌های انسانی صدمه بزند ولی بیشتر فرایندهای تکتونیکی فعالی که قادر هستند رویدادهای ناگهانی<sup>۲</sup> به وجود آورند اهمیت دارند بنابراین با شناخت تکتونیک فعال در یک منطقه می‌توان خطرات ناشی از وقوع رویدادهای ناگهانی مانند زمین‌لرزه را کاهش داد (Keller and Pinter, 2002).

تحلیل‌های مورفومتری<sup>۳</sup> که ارزیابی کمی ویژگی‌های ژئومتری اشکال زمینی و چشم‌اندازها می‌باشند، از طریق شاخص‌های ژئومورفیک و پارامترهای رتبه‌ای شبکه‌های زهکشی، تکتونیک فعال یک منطقه را بررسی می‌کنند (Guarnieri and Pirrotta, 2008). در این زمینه شاخص‌های ژئومورفیک<sup>۴</sup> ابزار سودمندی برای مطالعه فعالیت‌های تکتونیکی در نواحی مختلف محسوب می‌شوند و به وسیله آنها می‌توان اطلاعاتی در مورد نواحی خاصی از یک منطقه که در معرض فعالیت تکتونیکی نسبتاً سریع یا حتی کند قرار دارند، به دست آورد (Keller and Pinter, 2002). گسل شمال تبریز یکی از عارضه‌های تکتونیکی عمده در شمال غرب کشور است. براساس اطلاعات زمین‌لرزه‌های تاریخی، این گسل دارای پیشینه لرزه‌خیزی می‌باشد. از آنجا که قطعه جنوب شرقی گسل تبریز از حوضه‌های شمالی و شمال شرقی کوه سهند عبور می‌کند، از این‌رو در این مقاله با بکارگیری شاخص‌های ژئومورفیک، فعالیت‌های تکتونیکی این حوضه‌ها که متأثر از گسل شمال تبریز هستند و همچنین حوضه‌های شرقی کوه سهند بررسی می‌شوند. علت انتخاب حوضه‌های شرقی که گسل‌های فرعی و محلی دارند مقایسه با حوضه‌های شمالی سهند می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی نسبی تکتونیک فعال در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند است. این ارزیابی از نتایج تحلیل‌های مورفومتری به دست می‌آید.

در مورد تکتونیک فعال در دنیا مطالعات زیادی صورت گرفته است که از بین آنها می‌توان به مباحث ژئومورفولوژی تکتونیکی گسل Garlock کالیفرنیا به وسیله Bull and Mcfadden (115-138, 1977)، ژئومورفولوژی تکتونیکی

2. Catastrophic
3. Morphometric analysis
4. Geomorphic Indexes

مخروط افکنه‌ها و جبهه‌های کوهستانی نزدیک Ventura کالیفرنیا توسط (Rockwell et al (183-207, 1985) و تکتونیک فعال Keller and Pinter (136-147, 1986) اشاره کرد. کاربرد شاخص‌های مورفومتری در ارزیابی تکتونیک فعال در دنیا توسط Bull (۱۹۷۸) در جنوب غرب آمریکا، Hare and Grardner (1985) در سواحل کاستاریکا، Ramirez-Herrera (1998) در گرین آکامبی مکزیک و Troian and Dell Seta (2009) در ایتالیا و غیره مورد استفاده قرار گرفته و به نتایج خوبی دست یافته است. با وجود این مطالعات، ارزیابی نسبی تکتونیک فعال در حوضه‌های شرقی کوه سهند که از گسل شمال تبریز متأثر شده‌اند به منظور مقایسه تأثیر پذیری از تکتونیک ضروری به نظر می‌رسد.

در ایران نیز شاخص‌های مزبور در بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیک کاربرد زیادی داشته است. برای مثال مختاری (۱۳۸۴، صص ۶۴-۷۷) در دامنه شمالی میشوداغ، گورابی و نوحه گر (۱۳۸۶ صص ۱۷۷-۱۹۶) در حوضه آبخیز درکه در شمال تهران و یمانی و همکاران (۱۳۸۹، صص ۸۲-۶۷) در حوضه چله زاگرس غربی با استفاده از تحلیل‌های مورفومتری به ارزیابی تکتونیک فعال در مناطق مختلف کشور پرداختند. در مورد گسل تبریز، در سال‌های اخیر برخی مطالعات مانند تقی‌پور (۱۳۸۳) و پورکرمانی و صدیق (۱۳۸۲) وضعیت سائزمو تکتونیک، شواهد تکتونیک فعال و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی گسل تبریز را بررسی کردند. در همین راستا، کرمی (۱۳۸۸، صص ۸۲-۶۷) و (۱۳۸۸، ۱۵۴-۱۳۵) به بررسی تأثیر فعالیت گسل تبریز در برخی حوضه‌های کوه سهند اقدام کرده است.

### مشخصات منطقه مورد مطالعه

از قله کوه سهند رودخانه‌های بزرگ و کوچک زیادی جاری می‌شوند که در دامنه‌های شمالی و شرقی آن برخی از آنها مانند سعیدآبادچای، اوجانچای و اسب‌آبادچای با شاخه‌های فرعی متعدد به حوضه آبریز آجی‌چای ملحق می‌شوند و تعدادی دیگر مانند قرنقوچای (با شاخه‌های فرعی کلکانچای، آمالوچای) از رودخانه‌های حوضه آبریز قزل اوزن می‌باشند (شکل ۱).

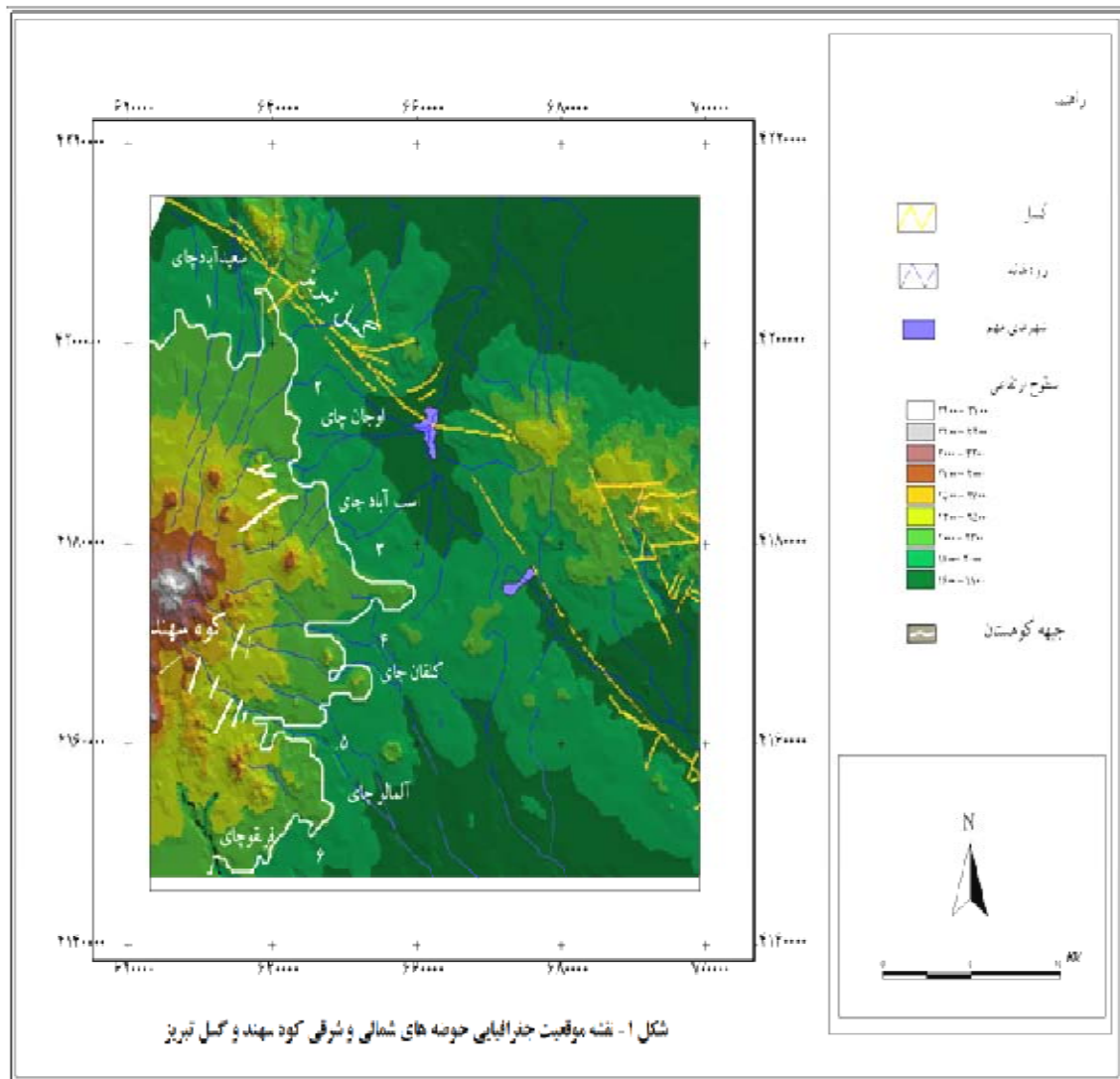
گسل شمال تبریز یکی از بنیادی‌ترین ساخت‌های زمین‌شناسی موجود در شمال شرقی دریاچه ارومیه می‌باشد (پورکرمانی و آرین، ۱۳۷۷، ۶۹) که ضمن تشکیل دیواره بخش شمالی دشت تبریز و بستان‌آباد، موجب فرونشست چاله ارومیه و سایر چاله‌های موجود در مسیر خود (سعیدآباد، بستان‌آباد و غیره) شده است (شکل ۲). این گسل تأثیر زیادی بر روند زمین‌شناسی، مورفولوژی و زلزله‌خیزی منطقه دارد. ساز و کار حاکم بر این گسل امتداد لغز راستگرد با مؤلفه شیب لغز معکوس تعیین شده است (درویش‌زاده، ۱۳۸۰، ۳۱۵). به نظر می‌رسد که حرکات و جابه‌جایی این گسل در فوران‌های آتشفشانی پلیوکواترنری سهند دخالت داشته و پیامد آن ایجاد چشمه‌های آبگرم بستان

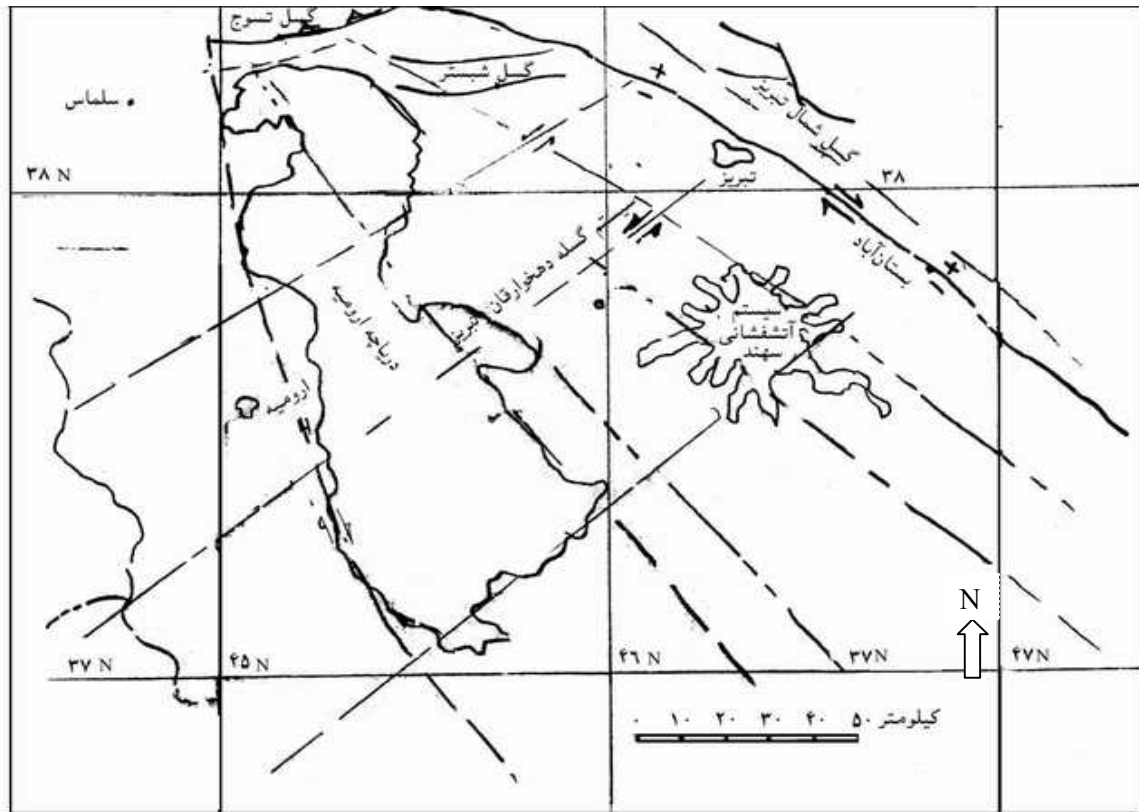
آباد و فعال شدن شکستگی‌های اطراف است (درویش زاده، ۱۳۸۲، ۱۶۳). در حوضه‌های کلکان‌چای و آلمالوچای نیز گسل‌های فراوانی وجود دارد که از بین آنها می‌توان به گسل‌های مجیدآباد و ملاقیاسی در اشاره کرد (شکل ۱).

### مواد و روش‌ها

الف - داده‌های مورد نیاز برای انجام پژوهش عبارتند از:

- نقشه‌های توپوگرافی (۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰) و زمین‌شناسی (۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰) به منظور شناسایی منطقه مطالعاتی، بررسی عوارض سطح زمین، ساختار زمین‌شناسی و لیتولوژی و غیره.





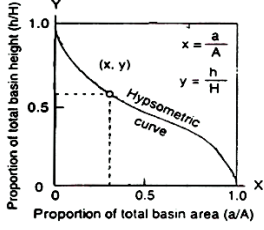
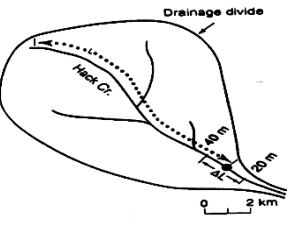
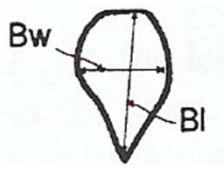
شکل ۲- گسل‌های بنیادی در ناحیه تبریز- ارومیه (زارع، ۱۳۸۰، ۴۷)

جدول ۱- شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی تکتونیک فعال در حوضه‌های شرقی کوه سهند (Hamdoini et al, 2008, 165)

شاخص‌ها	معادله	اجزا معادله	روش اندازه‌گیری	آستانه‌ها
شاخص سینوسی جبهه کوهستان ۵ (Smf)	$Smf = Lmf / Ls$	<p><math>Lmf</math> = طول جبهه کوهستان در مرز بین کوه و دشت</p> <p><math>Ls</math> = طول خطی مماس در امتداد جبهه کوهستان</p>		<p>(۱) <math>Smf &lt; 1.1</math></p> <p>(۲) <math>Smf: 1.1-1.5</math></p> <p>(۳) <math>Smf &gt; 1.5</math></p>
نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن ۶ (Vf)	$Vf = 2 Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$	<p><math>Vfw</math> = پهنای کف دره</p> <p><math>Erd, Eld</math> = ارتفاع متوسط خط تقسیم آب در سمت چپ و راست دره</p> <p><math>Esc</math> = ارتفاع متوسط کف دره از سطح آب‌های آزاد</p>		<p>(۱) <math>Vf &lt; 0.5</math></p> <p>(۲) <math>Vf : 0.5-1</math></p> <p>(۳) <math>Vf &gt; 1</math></p>

5- Mountain Front Sinuosity

6- Ratio of valley – floor width to valley height (vf)

<p> <math>H_i &gt; 0.5</math> (۱)  <math>H_i: 0.4-0.5</math> (۲)  <math>H_i &lt; 0.4</math> (۳)                 </p>		<p> <math>\bar{A}</math> = ارتفاع متوسط                      min = حداقل ارتفاع                      max = حداکثر ارتفاع                 </p>	<p> <math>H_i = (\bar{A} - \min) / (\max - \min)</math> </p>	<p>انتگرال هیپسومتری <math>H_i</math></p>
<p> <math>SL &gt; 500</math> (۱)  <math>SL: 500-300</math> (۲)  <math>SL &lt; 300</math> (۳)                 </p>		<p> <math>\Delta H</math> = اختلاف ارتفاع قطعه مورد نظر  <math>\Delta L</math> = طول شاخه مورد نظر  <math>L</math> = مجموع طول آبراهه از نقطه‌ای که شاخص محاسبه می‌شود                 </p>	<p> <math>SI = (\Delta H / \Delta L) L</math> </p>	<p>شاخص شیب طولی رودخانه <math>SI</math></p>
<p> <math>B_s &gt; 4</math> (۱)  <math>B_s: 3-4</math> (۲)  <math>B_s &lt; 3</math> (۳)                 </p>		<p> <math>BI</math> = اندازه طول حوضه از انتهای ترین مقسم آب تا خروجی حوضه  <math>Bw</math> = پهنای حوضه در پهن ترین قسمت                 </p>	<p> <math>B_s = BI / Bw</math> </p>	<p>نسبت شکل حوضه زهکشی <math>B_s</math></p>
<p> <math>[AF-50] &gt; 15</math> (۱)  <math>[AF-50]: 7-15</math> (۲)  <math>[AF-50] &lt; 7</math> (۳)                 </p>	<p>-----</p>	<p> <math>Ar</math> = مساحت حوضه در سمت راست آبراهه اصلی (به طرف پایین دست حوضه)  <math>At</math> = مساحت کل حوضه                 </p>	<p> <math>AF = 100(Ar / At)</math> </p>	<p>شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی <math>AF</math></p>

کلاس ۱) = فعال - کلاس ۲) = نیمه فعال و کلاس ۳) غیر فعال

ب- روش‌ها: پس از تعیین محدوده حوضه‌ها و جبهه کوهستان، شاخص‌های ژئومورفیک مطابق جدول (۱) محاسبه شدند.

فعالیت تکتونیکی در کوهستان می‌تواند به وسیله شاخص سینوسی جبهه کوهستان بیان شود. در اغلب جبهه‌های فعال تکتونیکی مقادیر  $S_{mf}$  نزدیک به عدد یک است. با افزایش میزان  $S_{mf}$  بالا آمدگی کاهش یافته یا متوقف می‌شود و فرایندهای فرسایشی فرصت پیدا می‌کنند تا جبهه کوهستانی پر پیچ و خمی را شکل دهند. در طی زمان این پیشانی بسیار بی‌نظم خواهد شد (Ramirez-Herrera, 1998, 324). برای این منظور جبهه کوهستانی هر حوضه مطابق جدول (۱) و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ اندازه‌گیری و محاسبه شد.

- 7- Hypsometric integral( $H_i$ )
- 8- Stream Length Gradient Index( $SL$ )
- 9- Drainage Basin Shape Ratio( $B_s$ )
- 10- Asymmetry Factor( $AF$ )

نیمرخ عرضی دره‌ها با استفاده از نسبت کف به ارتفاع تعریف می‌شوند. مقایسه پهنای کف دره به متوسط ارتفاع آن، شاخصی را فراهم می‌کند که حفر پایین دست رودخانه را نشان می‌دهد (Ramirez-Herrera, 1998, 325). این پارامترها به فواصل متفاوتی از جبهه‌های کوهستان در دره‌های مختلف با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی اندازه‌گیری می‌شوند و مقادیر آن در دره‌های U شکل با کف نسبتاً پهن و دره‌های V شکل با دیواره‌های شیبدار فرق می‌کند (Hamdouni et al., 2008, 159).

شاخص شیب طولی رودخانه هرگونه بی‌نظمی را در نیمرخ طولی رودخانه نشان می‌دهد. این پارامتر با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی یا مدل رقومی ارتفاع (DEM) اندازه‌گیری می‌شوند. در روی نمودار مقادیر SI در محور X ها و L در محور Yها بر روی نیمرخ طولی رودخانه اصلی ترسیم می‌شود. مقادیر SI نیز به صورت متوسط SI های هر رودخانه محاسبه شده و برای حوضه تعمیم یافته است.

شکل پلانیمتری حوضه‌ها به وسیله نسبت شکل حوضه توصیف می‌شود. حوضه‌های کشیده‌ای که با مقادیر بالای BS (بیشتر از ۴) مشخص می‌شوند، از لحاظ تکتونیکی فعال هستند. مقادیر ۳-۴ شاخص بر حوضه‌های نیمه فعال دلالت می‌کنند و مقادیر پایین آن (کمتر از ۲) حوضه‌های دایره‌ای شکل را نشان می‌دهد که از نظر زمین‌ساختی غیرفعال هستند.

عامل عدم تقارن برای نمایش کج‌شدگی تکتونیکی حوضه‌ها به کار می‌رود. برای رودخانه‌ای که جریان آن ثابت است، مقدار AF مساوی ۵۰ می‌باشد و مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ ممکن کج‌شدگی یا انحراف را مشخص سازد. پس از محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک در منطقه مطالعاتی، با استفاده از شاخص نسبی تکتونیک فعال (Iat) <sup>۱۱</sup>، فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه برآورد می‌شود. شاخص Iat از متوسط کلاس‌های مختلف شاخص‌های ژئومورفیک و طبق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Iat = S / n$$

در این رابطه  $Iat$  = شاخص فعالیت نسبی تکتونیک،  $S$  = مجموع کلاس‌های شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه شده،  $n$  = تعداد شاخص‌های محاسبه شده می‌باشد. اگر  $Iat = 1 - 1/5$  باشد حاکی از فعالیت‌های تکتونیکی شدید است. در صورتی که  $2 < Iat < 1/5$  باشد فعالیت‌های تکتونیکی زیاد را نشان می‌دهد.  $Iat < 2/5$  بیانگر فعالیت‌های تکتونیکی متوسط است و  $Iat > 2/5$  فعالیت‌های کم و ناچیز را آشکار می‌سازد (Hamdouni et al, 2008, 167).

## نتایج و بحث

یک جبهه کوهستانی مستقیم وجود گسل فعال را نشان می‌دهد. در حالی که پیشانی پریچ و خم کوهستان، فعالیت تکتونیکی ضعیف و برتری فرسایش را در ارتفاعات بیان می‌کند (Silva et al, 2003, 207). جدول (۲) مقادیر شاخص  $S_{mf}$  و فعالیت تکتونیکی قطعات مختلف جبهه کوهستان را در حوضه‌های شمالی و شرقی سه‌سند بیان می‌کند. مقادیر نزدیک به عدد یک، گویای جبهه‌های کوهستانی منظم می‌باشد. کمترین میزان شاخص به حوضه‌های سعیدآبادچای و کلکانچای مربوط می‌شود. به این ترتیب جبهه کوهستانی سعیدآبادچای و کلکانچای از نظر حرکات تکتونیکی، فعال می‌باشند. حوضه‌های آلمالوچای و قرنقوچای که در کلاس ۳ شاخص قرار دارند، از لحاظ فعالیت‌های زمین‌ساختی غیرفعال بوده یا فعالیت کم دارند و اوجانچای و اسب آبادچای از لحاظ تکتونیکی نیمه فعال هستند.

جدول ۲- مقادیر شاخص  $S_{mf}$  و کلاس هر حوضه از نظر فعالیت‌های تکتونیکی

ردیف	حوضه‌ها	$L_{mf}$ (کیلومتر)	LS (کیلومتر)	مقدار شاخص $S_{mf}$	کلاس از نظر فعالیت تکتونیکی
۱	سعیدآبادچای	۹/۹	۹	۱/۱	۱
۲	اوجانچای علیا	۷/۱	۴/۶	۱/۵۴	۲
۳	اسب آبادچای	۹/۱	۶/۸	۱/۳۴	۲
۴	کلکانچای	۱۱/۷۵	۱۱	۱/۰۶	۱
۵	آلمالوچای	۲۵	۱۵	۱/۶	۳
۶	قرنقوچای	۲۲/۵	۱۳	۱/۷	۳

مأخذ: نگارنده

## نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سه‌سند

این شاخص دره‌ها را بر اساس نسبت پهنای بستر به ارتفاع آن به صورت دره‌های U شکل با کف نسبتاً پهن و دره‌های V شکل از همدیگر متمایز می‌سازد (Hamdoini et al, 2008, 160). نتایج محاسبه این شاخص در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سه‌سند در جدول (۳) آمده است. مقادیر شاخص در حوضه‌های مورد مطالعه به عدد یک نزدیک است و فاصله زیادی از عدد یک را نشان نمی‌دهند. بنابراین براساس طبقه‌بندی‌های موجود، در تمامی حوضه‌ها (به استثنای حوضه قرنقوچای) جبهه کوهستان از نظر حرکات تکتونیکی، نیمه فعال است.



جدول ۳- مقادیر شاخص  $V_f$  و کلاس فعالیت‌های هر حوضه از نظر تکتونیکی

ردیف	حوضه‌ها	$V_{fw}$ (متر)	$E_{sc}$ (متر)	$E_{id}$ (متر)	$E_{fd}$ (متر)	شاخص $V_f$	کلاس از نظر فعالیت تکتونیکی
۱	سعیدآبادچای	۲۷۰	۳۳۰۰	۳۷۰۰	۳۵۰۰	۰/۹	۲
۲	اوجان چای علیا	۴۶۰	۲۵۰۰	۲۹۸۱	۲۹۰۰	۱/۰۴	۲
۳	اسب آبادچای	۴۰۰	۲۳۰۰	۲۹۳۰	۲۴۰۰	۱/۰۹	۲
۴	کلقان چای	۵۰۰	۲۳۰۰	۲۹۳۳	۲۶۱۰	۱/۰۶	۲
۵	آمالوچای	۳۲۵	۱۸۰۰	۲۳۰۳	۲۰۳۰	۱/۰۷	۲
۶	قرنقوچای	۲۵۰	۱۸۰۰	۲۰۲۰	۲۰۰۰	۱/۲	۳

مأخذ: نگارنده

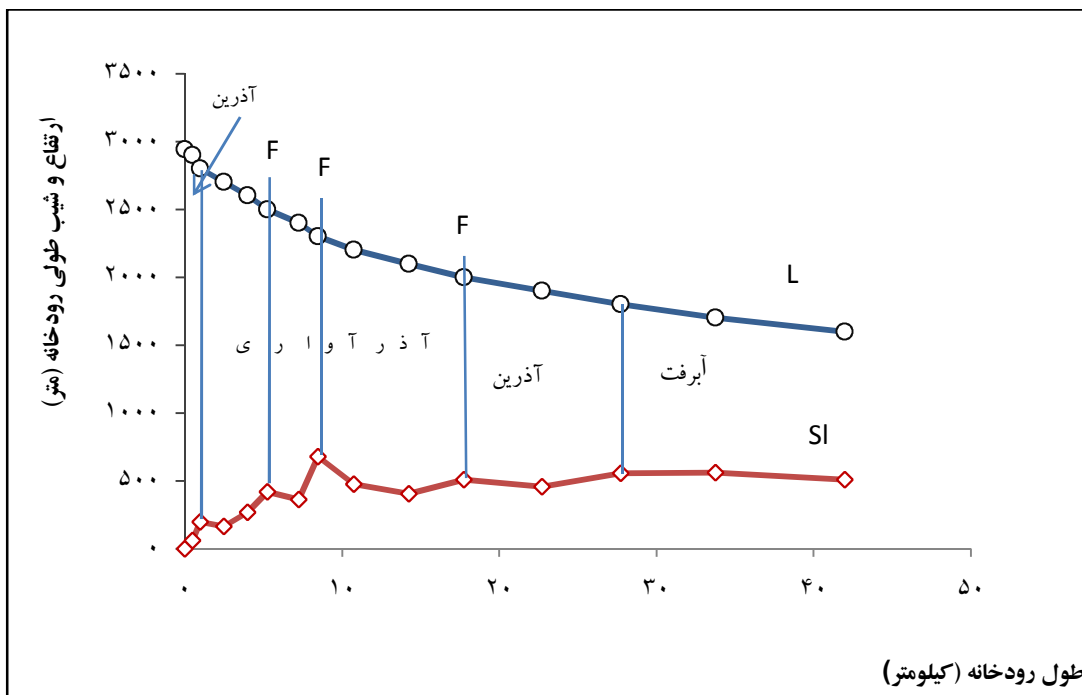
### شاخص شیب طولی رودخانه در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند

شاخص SI تغییرات شیب بستر رودخانه را بیان می‌کند و نمودار شیب طولی اثر عوامل لیتولوژی و تکتونیکی را در تغییر شیب طولی رودخانه نشان می‌دهد. جدول (۴) مقادیر شاخص SI را براساس بی‌نظمی‌های موجود در نیمرخ و شیب طولی رودخانه‌ها در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند نشان می‌دهد. بیشترین میزان بی‌نظمی‌های شاخص در طول رودخانه‌های سعیدآبادچای، آمالوچای و قرنقوچای دیده می‌شود. در آمالوچای با وجود اینکه در بالادست رودخانه با تغییر نوع لیتولوژی از سنگ‌های آذرین به آذرآواری، تغییرات در نیمرخ رودخانه به وجود آمده است، ولی بیشترین میزان SI در سنگ‌های آذرآواری به دلیل وجود گسل بوده است (شکل ۳). در قرنقوچای نیز در بالادست آبراهه در اثر تغییر لیتولوژی از سنگ‌های آذرین به سنگ‌های رسوبی و برونزد سنگ‌های رسوبی، مقدار SI افزایش یافته است، ولی در سنگ‌های آذرآواری وجود گسل سبب شده میزان SI زیادتر شود (شکل ۴). در اوجان‌چای با وجودی که در اثر تغییر مقاومت سنگ‌های بستر رودخانه مقدار SI تغییراتی داشته، ولی بیشترین میزان SI به منطقه‌ای مربوط می‌شود که رودخانه به وسیله گسل قطع شده است (شکل ۵).

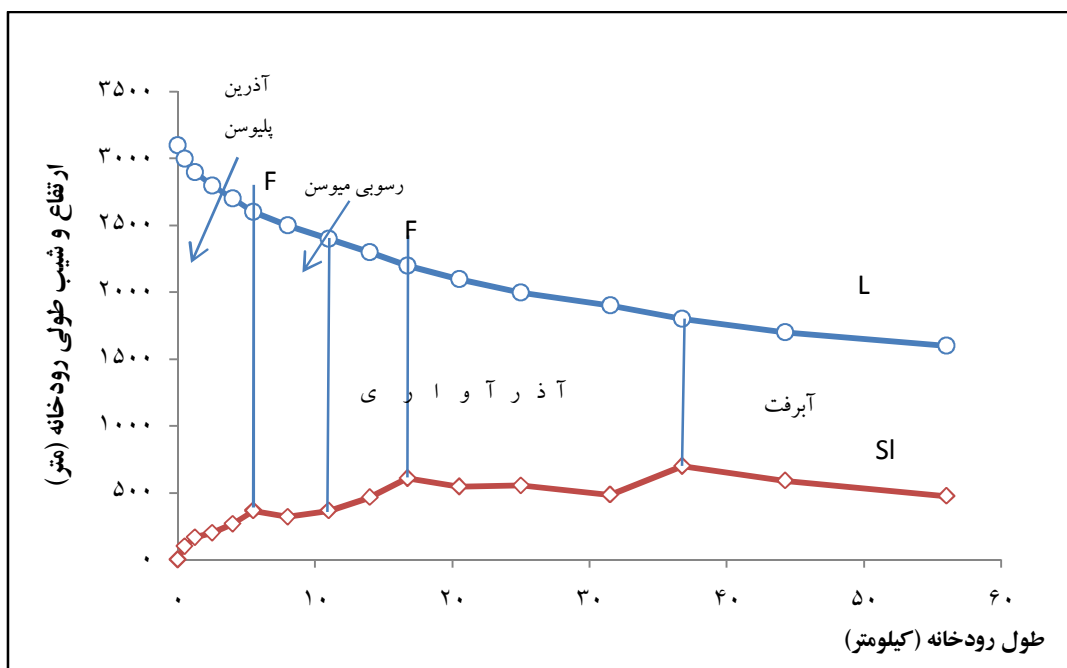
### شاخص انتگرال هیپسومتری در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند

انتگرال هیپسومتری به صورت غیر مستقیم فعالیت‌های تکتونیکی را منعکس می‌کند. شکل (۷) منحنی‌های هیپسومتری و مقادیر شاخص  $H_i$  را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. مقادیر زیاد شاخص  $H_i$  چشم اندازه‌های جوانی را نشان می‌دهد که ممکن است در اثر حرکات زمین‌ساخت به وجود آمده باشند. همچنین می‌تواند بیانگر حفر اخیر یک سطح ژئومورفیک جوان نهشته‌گذاری شده باشد (Hamdoini et al, 2008, 170). مقادیر این شاخص

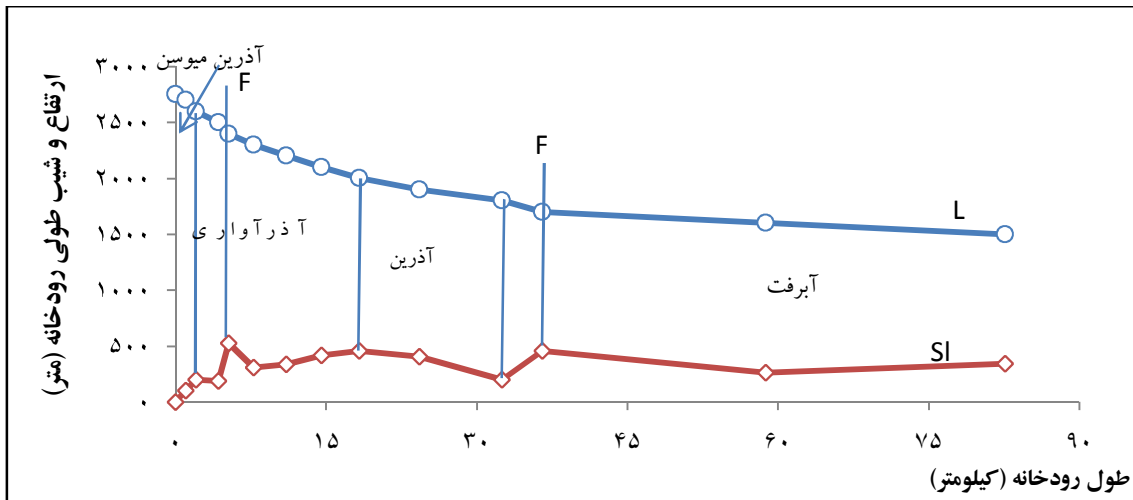
در سعیدآبادچای، اسب آبادچای، کلکانچای و آلمالوچای تکتونیک نیمه فعال را نشان می‌دهد (جدول ۵). اما در حوضه‌های اوجان چای و قرنقوچای به غیرفعال بودن حرکات تکتونیک دلالت می‌کند (شکل ۷).



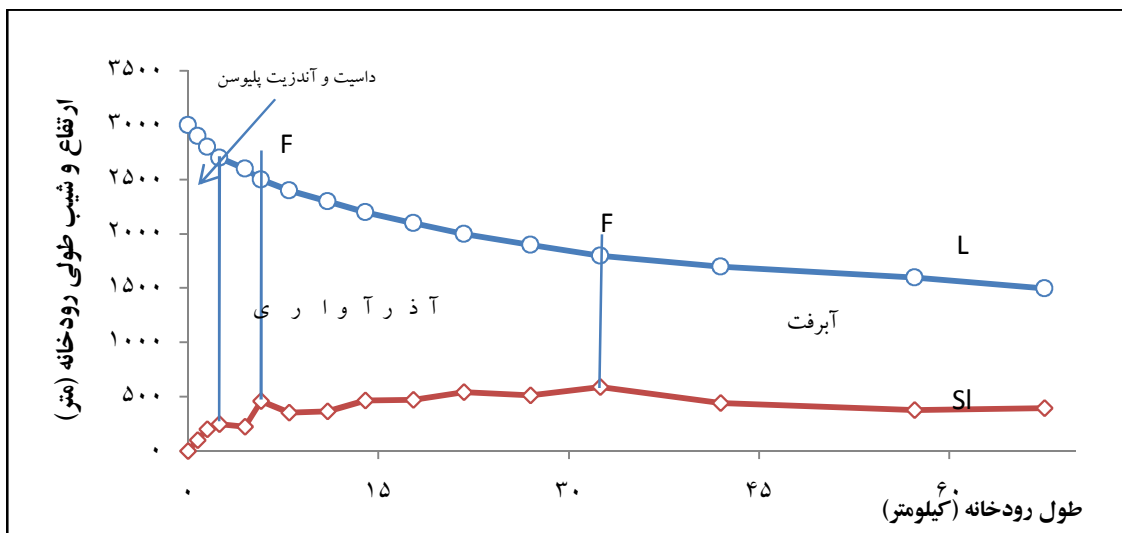
شکل ۳- نمودار نیمرخ (L) و شیب طولی رودخانه (SI) در حوضه آلمالوچای



شکل ۴- نمودار نیمرخ (L) و شیب طولی رودخانه (SI) قرنقوچای



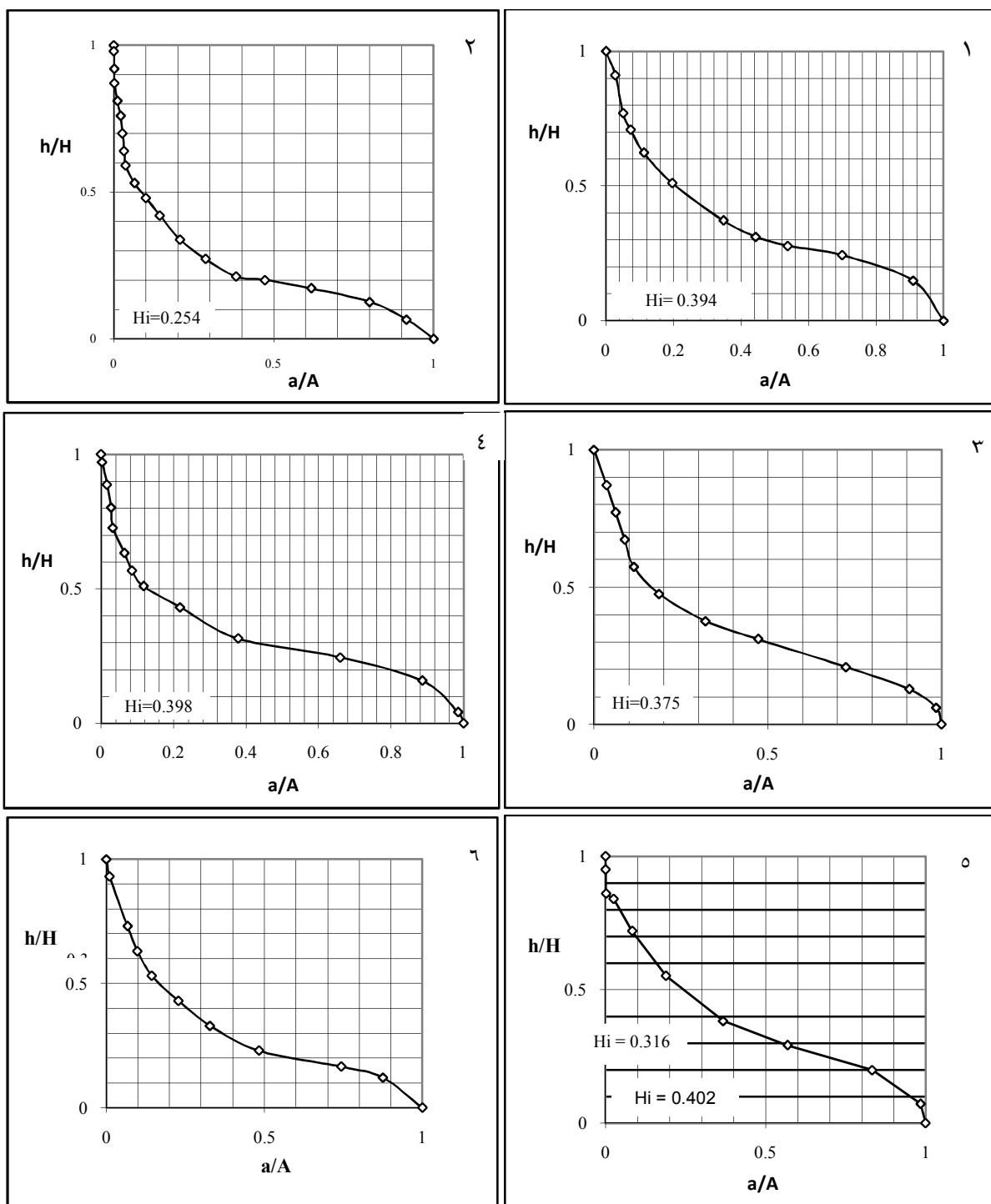
شکل ۵- نمودار نیمرخ (L) و شیب طولی رودخانه (SI) اوجان چای



شکل ۶- نمودار نیمرخ (L) و شیب طولی رودخانه (SI) کلفان چای

جدول ۴- مقادیر شاخص SI و کلاس فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند

ردیف	نام حوضه ها	مقادیر شاخص SI (متر)	کلاس فعالیت تکتونیکی
۱	سعیدآبادچای	۵۶۶/۲	۱
۲	اوجان چای علیا	۳۰۱/۹	۲
۳	اسب آبادچای	۱۸۲/۶	۳
۴	کلفان چای	۳۷۶/۴	۲
۵	آلمالوچای	۴۰۵/۸	۲
۶	قرنقوچای	۳۸۸/۵	۲



شکل ۷- منحنی انتگرال هیسومتری در حوضه‌های شرقی کوه سهند

۱: سعیدآبادچای ۲: اوجان چای علیا ۳: اسب‌آبادچای ۴: کلکان چای ۵: قرنقوچای ۶: آلمالو چای

جدول ۵- مقادیر شاخص Hi و کلاس فعالیت تکتونیک در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند

ردیف	نام حوضه	ارتفاع متوسط حوضه (متر)	ارتفاع حداکثر (متر)	ارتفاع حداقل (متر)	شاخص Hi	کلاس فعالیت
۱	سعیدآبادچای	۲۳۶۵	۳۶۹۵	۱۵۰۰	۰/۳۹۴	۲
۲	اوجان چای علیا	۲۱۹۸	۳۵۴۰	۱۷۴۰	۰/۲۵۴	۳
۳	اسب آباد چای	۲۱۹۳	۲۹۳۳	۱۷۵۰	۰/۳۷۴	۲
۴	کلقان چای	۲۳۲۰	۳۵۶۰	۱۵۰۰	۰/۳۹۸	۲
۵	آمالوچای	۲۳۵۲	۳۵۰۰	۱۵۸۰	۰/۴۰۲	۲
۶	قرنقوچای	۲۱۸۷	۳۵۰۰	۱۵۸۰	۰/۳۱۶	۳

## نسبت شکل حوضه زهکشی در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند

مطابق جدول (۶) در دامنه شمالی و شرقی کوهستان سهند، به دلیل طویل بودن حوضه آبریز قرنقوچای، بیشترین مقدار شاخص نسبت شکل حوضه به این حوضه تعلق دارد. اسب‌آبادچای از لحاظ ویژگی شکل حوضه که شبیه شکل دایره است، مقدار پایینی از شاخص BS را دارد. حوضه‌های آمالوچای، اوجان‌چای و سعیدآبادچای هم از نظر فعالیت‌های تکتونیک در کلاس ۲ قرار دارند، کلقان‌چای و قرنقوچای نیز با شکل کشیده حوضه، از نظر تکتونیک فعال هستند.

جدول ۶- مقادیر شاخص Bs و کلاس فعالیت‌های تکتونیک در حوضه‌های شرقی کوه سهند

ردیف	نام حوضه	BI (کیلومتر)	BW (کیلومتر)	شاخص Bs	کلاس فعالیت
۱	سعیدآبادچای	۳۱/۲۵	۱۰/۳	۳/۰۳	۲
۲	اوجان چای علیا	۲۹/۵	۹/۵	۳/۱	۲
۳	کلقان چای	۵۶/۱	۱۳/۵	۴/۱۵	۱
۴	آمالوچای	۴۳/۷۹	۱۴/۵	۳/۰۲	۲
۵	قرنقوچای	۵۰	۸	۶/۲۵	۱
۶	اسب آبادچای	۲۹	۱۷/۵	۱/۶۵	۳

## شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند

این شاخص برای نمایش کج شدگی تکتونیک حوضه‌ها به کار می‌رود. شاخص AF از عواملی مانند لیتولوژی و غیره متأثر می‌شود، بنابراین محاسبه آن در حوضه‌هایی که از واحدهای لیتولوژی همسان تشکیل شده‌اند، نتایج مطلوبی را ارائه می‌دهند (Hamdoini et al, 2008, 168).

مقادیر شاخص AF در شمال و شرق کوهستان در جدول (۷) ارائه شده است. مقادیر این جدول بیشتر یا کمتر از ۵۰ می‌باشند. در برخی حوضه‌ها مانند اوجان‌چای، اسب‌آبادچای و آلمالوچای که مقدار شاخص بزرگ‌تر از ۵۰ است، چرخش تکتونیکی به سمت شرق بوده و شاخه‌های کناره غربی رودخانه نسبت به شاخه‌های کناره شرقی آن طولانی‌تر هستند. در سایر حوضه‌ها، مقدار شاخص کوچکتر از ۵۰ است. در این حوضه‌ها شاخه‌های کناره شرقی رودخانه نسبت به شاخه‌های کناره غربی طولانی‌تر می‌باشند. براساس این شاخص، اوجان‌چای، قرنقوچای و سعیدآبادچای از نظر فعالیت‌های تکتونیکی نیمه فعال هستند و سایر حوضه‌ها از نظر زمین‌ساخت، فعال می‌باشند.

جدول ۷- مقادیر شاخص AF و کلاس فعالیت تکتونیکی آن در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند

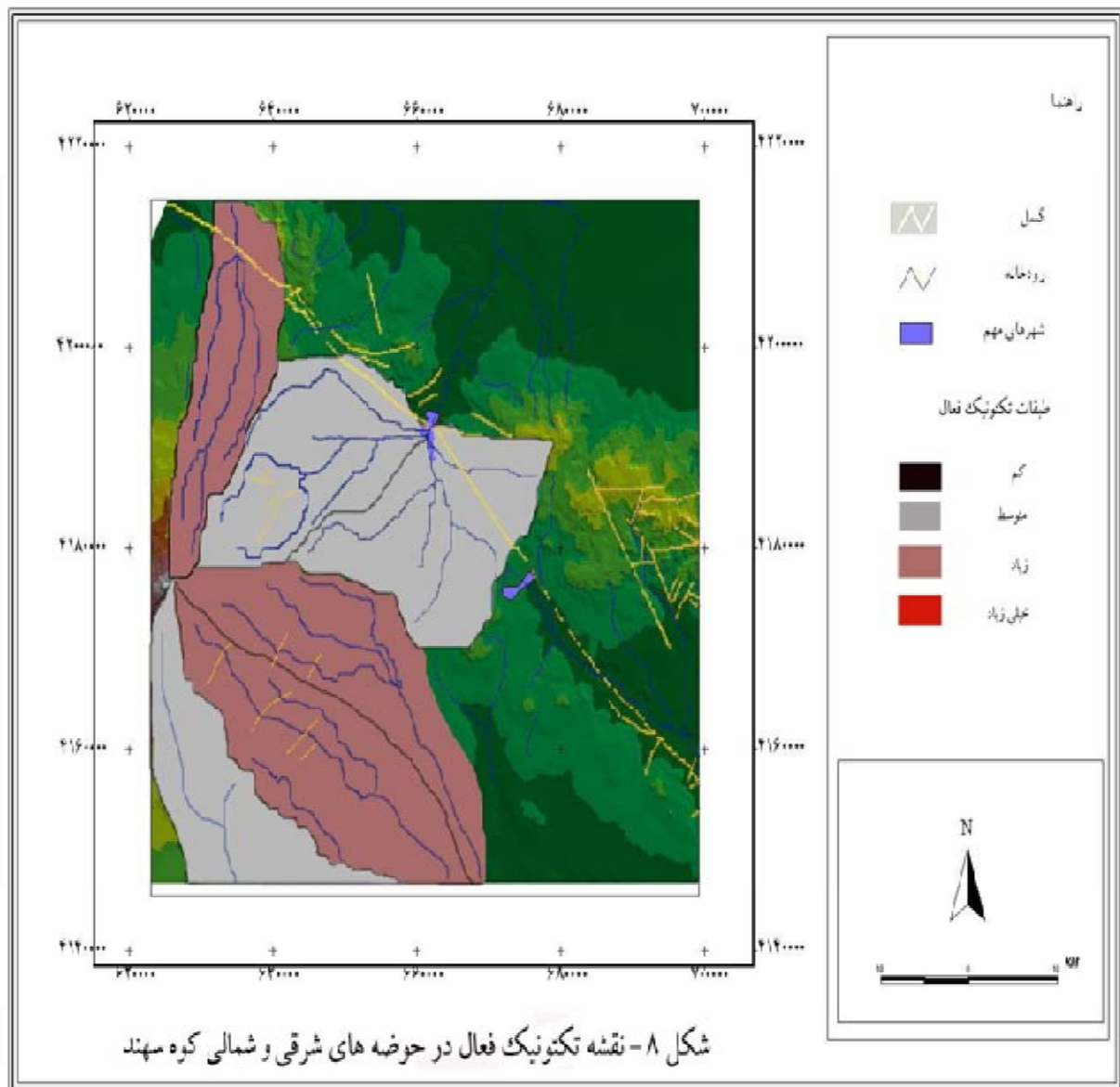
ردیف	نام حوضه	شاخص AF	Ar (کیلومتر مربع)	At (کیلومتر مربع)	[AF-50]	کلاس
۱	سعیدآبادچای	۴۱/۷۶	۹۱/۸۷	۲۲۰	۸/۲۴	۲
۲	اوجان چای علیا	۵۸/۱۲	۱۱۱	۱۹۱	۸/۱۲	۲
۳	کلکان چای	۳۳/۵۴	۱۷۷/۷۵	۵۳۰	۱۶/۴۶	۱
۴	آلمالوچای	۶۶/۹۴	۲۷۷/۱۳	۴۱۴	۱۶/۹۴	۱
۵	قرنقوچای	۴۱/۷۴	۱۵۰/۲۵	۳۶۰	۸/۲۶	۲
۶	اسب آبادچای	۸۸/۳۲	۲۳۶/۲۵	۲۶۷/۵	۳۸/۳۲	۱

#### ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌های شمالی و شرقی کوهستان سهند

با محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک در منطقه و برآورد شاخص Iat میزان نسبی تکتونیک فعال در حوضه‌های مورد مطالعه کوه سهند مشخص شد (جدول ۸). این ارزیابی نشان می‌دهد که حوضه‌ها از نظر فعالیت‌های تکتونیکی دارای فعالیت‌های زیاد و متوسط هستند (شکل ۸). سعیدآباد، کلکان‌چای و آلمالوچای، حوضه‌های با فعالیت تکتونیک زیاد هستند و سایر حوضه‌ها دارای حرکات تکتونیکی متوسط می‌باشند.

جدول ۸- مقادیر شاخص Iat و کلاس تکتونیک فعال در حوضه‌های شرقی کوه سهند

نام حوضه	S <sub>mf</sub>	V <sub>f</sub>	Sl	Hi	Bs	AF	Iat	فعالیت
سعیدآبادچای	۱	۲	۱	۲	۲	۲	۱/۶۶	زیاد
اوجان چای علیا	۲	۲	۲	۳	۲	۲	۲/۱۶	متوسط
کلکان چای	۲	۲	۳	۲	۱	۱	۱/۸۳	زیاد
آلمالوچای	۱	۲	۲	۲	۲	۱	۱/۶۶	زیاد
قرنقوچای	۳	۲	۲	۲	۱	۲	۲	متوسط
اسب آبادچای	۳	۳	۲	۳	۳	۱	۲/۵	متوسط



### نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از شاخص  $I_{at}$ ، ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند انجام شد. برای برآورد شاخص  $I_{at}$ ، شش شاخص ژئومورفیک شامل، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن، سینوسی جبهه کوهستان، شیب طولی رودخانه، عدم تقارن حوضه زهکشی، انتگرال هیپسومتری و شکل حوضه زهکشی محاسبه شدند. شاخص  $I_{at}$  فعالیت‌های تکتونیکی منطقه را در دو کلاس، فعالیت‌های زیاد و متوسط طبقه‌بندی کرد. بر اساس این شاخص در منطقه حوضه‌ای که دارای فعالیت‌های بسیار زیاد و کم باشد، وجود ندارد. از نظر مساحت حوضه‌های زهکشی شمالی و شرقی کوه سهند، در حدود ۵۴ درصد مساحت حوضه‌ها در پهنه‌هایی

با فعالیت تکتونیکی زیاد قرار دارند. این حوضه‌ها شامل حوضه‌های سعیدآبادچای (شمال)، کلکانچای و آلمالوچای (شرق) هستند و در حدود ۴۶ درصد حوضه‌ها مانند اوجانچای علیا و اسب‌آبادچای (شمال شرق)، قرنقوچای (جنوب شرق) در محدوده با حرکات تکتونیکی متوسط واقع شده‌اند.

در مقایسه حوضه‌های مورد مطالعه از نظر فعالیت‌های تکتونیکی، سعیدآباد چای به دلیل تأثیر گسل تبریز از فعال‌ترین مناطق محسوب می‌شود. از آنجا که انتهای حوضه‌های اوجانچای علیا و اسب‌آبادچای از این گسل تأثیر می‌پذیرند، دارای حرکات تکتونیکی متوسط هستند. علت فعال بودن تکتونیکی حوضه‌های کلکانچای و آلمالوچای که از گسل تبریز دور می‌باشند گسل‌های فرعی فعال (مانند گسل مجیدآباد و ملاقیاسی و غیره) در منطقه هستند. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت‌های تکتونیکی حوضه‌های شمالی و شمال شرق کوه سهند از گسل شمال تبریز متأثر می‌شوند.



## منابع

- ۱- تقی پور، کریم (۱۳۸۳)، «بررسی گسل شمال تبریز در فاصله بین تبریز و بستان آباد»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز.
- ۲- پورکرمانی، محسن و مهران آراین (۱۳۷۷)، «لرزه‌خیزی ایران»، تهران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۲۱۲ ص.
- ۳- پور کرمانی، محسن و حمید صدیق (۱۳۸۲)، «پدیده‌های ژئومورفولوژیکی گسل تبریز»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۳، صص ۴۷-۳۳.
- ۴- درویش زاده، علی (۱۳۸۲)، «زمین شناسی ایران»، تهران، نشر دانش امروز، ۹۰۱ ص.
- ۵- زارع، مهدی (۱۳۸۰)، «خطر زمین لرزه و ساخت و ساز در حریم گسل شمال تبریز و حریم گسلش گسل‌های زمین لرزه‌ای»، *پژوهش‌نامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله*، شماره ۲ و ۳، صص ۵۷-۴۶.
- ۶- کرمی، فریبا (۱۳۸۸)، «ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیک در حوضه زهکشی سعیدآبادچای»، *مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، شماره ۶۹، صص ۸۲-۶۷.
- ۷- کرمی، فریبا (۱۳۸۸) «ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک با استفاده از تحلیل‌های شکل سنجی (مطالعه موردی: اوجان چای)»، *مجله برنامه‌ریزی محیطی*، شماره ۳۵، صص ۱۵۴-۱۳۵.
- ۷- گورابی، ابوالقاسم، نوحه گر، احمد (۱۳۸۶) «شواهد ژئومورفولوژیکی تکتونیک فعال در حوضه آبخیز درکه»، *مجله پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۶۰، صص ۱۹۶-۱۷۷.
- ۸- مختاری، داود (۱۳۸۴)، «کاربرد شاخص‌های ریخت‌سنجی در تعیین میزان فعالیت گسل‌ها (نمونه موردی: گسل شمالی میشو)»، *مجله علوم زمین*، شماره ۵۹، صص ۷۰-۸۳.
- ۹- یمانی، مجتبی. باقری، سجاد. جعفری اقدم، مریم (۱۳۸۹) «تأثیر نوزمین‌ساخت در مورفولوژی آبراه‌های حوضه چله (زاگرس غربی)»، *مجله محیط جغرافیایی*، شماره ۱، صص ۸۲-۶۸.
- 10- 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.
- 11-Bull, W.B. (1978), "Geomorphic Tectonic Classes of the South Front of the San Gabriel Mountain", California U.S. Geological Survey Contract Report, 14-08-001-G-394, Office of Earthquakes, Volcanoes and engineering, Menlo Park, CA.

- 12-El Handouni, R., 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.
- 13- 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
- 14-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 15<sup>th</sup> Annual Binghamton Geomorphology Symposium*, Allen and Unwin, Boston, MA, pp. 123-134.
- 15- 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.
- 16-Keller, E.A., Pinter, N. (2002), "*Active tectonics: Eathquake Uplift, and Landscape*", Prentice Hall, Newjersey.
- 17- Ramirez- Herrera, M.T., (1998), "Geomorphic assessment of active tectonic in the Acambay Graben", Mexican Volcamic belt, *Earth Surface and landforms*, 23:317-322.
- 18-Rockwell, T.K., Keller, E.A., Johnson, D.L. (1985), "Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California", In: Morisawa, M. (Ed.), *Tectonic Geomorphology, Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium*, Allen and Unwin Publishers, Boston, MA.
- 19- Silva, P.G., Goy. J.L., Zazo, C., Bardji, T. (2003), "Fault-generated mountain fronts in southest Spain: Geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity", *Geomorphology*, 50:203-225.
- 20-Troiani, F., Della Seta, M. (2008), "The use of the stream length-Gradient index in morphotectonic analysis of small catchments: A case study from Central Italy", *Geomorphology*, 102: 159-168.