

## تحلیل و ارزیابی ویژگی‌های مورفوتکتونیک و نئوتکتونیک دامنه جنوبی کوهستان سبلان

معصومه رجبی<sup>۱</sup>

ابوالفضل سلیمانی<sup>۲</sup>

### چکیده

کوهستان سبلان یکی از واحدهای مورفوتکتونیک شمال غرب کشور است که به دلیل وسعت قابل ملاحظه آن در پژوهش حاضر تنها به بررسی ویژگی‌های مورفوتکتونیک و نئوتکتونیک دامنه جنوبی آن پرداخته شده است. منطقه انتخابی دارای مختصات جغرافیایی  $36^{\circ} 47'$  تا  $48^{\circ} 00'$  طول شرقی و  $37^{\circ} 56'$  تا  $38^{\circ} 14'$  عرض شمالی است. این منطقه از نظر هیدروگرافی متشکل از حوضه‌های پیسلرچای، آغمیون چای، بیوک‌چای (از زیرحوضه‌های رودخانه آجی‌چای) و آغلاغان‌چای (از زیرحوضه‌های بالخلوچای اردبیل) است. گسل‌های اصلی و فرعی متعددی در دامنه جنوبی سبلان وجود دارد که آثار ژئومورفولوژی قابل توجهی به جا گذاشته‌اند. از پدیده‌های مورفوتکتونیک عمده شناسایی شده می‌توان به دره‌های خطی، انحراف آبراهه‌ها، پشته‌های مسدودکننده، جابجایی مخروط افکنه‌ها و چشمه‌های معدنی اشاره کرد.

اگرچه کوهستان سبلان از دوره میوسن فعال بوده اما مخروط اصلی آن در طی کواترنر تشکیل شده است (زمردیان ۱۳۸۱)، لذا این منطقه می‌تواند جزو مناطق فعال تکتونیک باشد. جهت بررسی ویژگی‌های تکتونیک جوان و ارزیابی میزان فعالیت آن در منطقه، سعی شده است از شاخص‌های متعدد ژئومورفیک استفاده شود تا نتایج صحیحی در این مورد گرفته شود. شاخص‌های استفاده شده شامل تضاریس جبهه کوهستان (Smf)، نسبت بین پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf) نسبت شکل حوضه زهکشی (Bs)، شاخص عدم تقارن توپوگرافی (Af)، عامل تقارن توپوگرافی (T) و شاخص

Email: mrajabi@tabrizu.ac.ir.

۱- دانشیار گروه آموزشی ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز.

۲- کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی).

ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (IAT) می‌باشد. این شاخص‌ها به تفکیک در ۴ حوضه زهکشی منطقه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج شاخص‌های (Smf) و (Vf) برای دو حوضه حالت فعال و برای دو حوضه دیگر شرایط نیمه‌فعال نشان می‌دهد. شاخص نسبت شکل برای تمامی حوضه‌ها شرایط فعال تکتونیکی را مشخص می‌سازد. نتایج شاخص‌های تقارن و عدم تقارن توپوگرافی هم تأییدکننده نتایج شاخص‌های فوق است. در نهایت سعی شده است از شاخص IAT نیز استفاده شود. گفتنی است شاخص IAT از متوسط کلاس‌های مختلف شاخص‌های ژئومورفیک به‌دست می‌آید و وضعیت کلی فعالیت‌های نئوتکتونیکی مناطق را مشخص می‌سازد. مطابق نتایج این شاخص، سه حوضه از چهار حوضه منطقه دارای نوع فعالیت زیاد و حوضه چهارم (بیوک‌چای) دارای فعالیت متوسط است. بنابراین دامنه جنوبی کوهستان سبلان به عنوان بخشی از کل واحد مورفولوژی و کوهستان، از نظر تکتونیکی هنوز هم فعال است.

**واژگان کلیدی:** مورفوتکتونیک، آثار ژئومورفیک گسل‌ها، نئوتکتونیک، شاخص‌های ژئومورفیک، دامنه جنوبی سبلان.

## مقدمه

اشکال و فرآیندهایی که بوسیله فعالیت درونی زمین یا تکتونیک در سطح زمین ایجاد می‌شوند تحت عنوان ژئومورفولوژی تکتونیکی یا مورفوتکتونیک نامیده می‌شود. کِلر و پینتر (۱۹۹۶) ژئومورفولوژی تکتونیکی را شامل مطالعه اشکال زمینی که بوسیله نیروهای تکتونیکی بوجود آمده‌اند و کاربرد اصول ژئومورفیک برای حل مسائل ناشی از فعالیت تکتونیکی می‌دانند. مورفوتکتونیک اثرات فرآیندهای فعال تکتونیکی (مانند گسلش، چین‌خوردگی، بالآآمدگی، فرونشینی و...) را روی اشکال زمین بررسی می‌کند. وجود شواهد مورفولوژیک مانند تغییر شکل‌های غیرعادی در شکل مسیر رودخانه‌ای، تغییرات غیرعادی در مخروط افکنه، تغییرات غیرعادی در تراس رودخانه‌ای، وجود تنگه‌های گسلی، وجود دیابیرها و آثار لغزش در رسوبات جوان و... شواهدی بر عملکرد نیروهای تکتونیکی و فعال بودن این نیروها در زمان حاضر است. بنابراین مطالعات مورفوتکتونیکی (ژئومورفولوژی تکتونیکی) شامل بررسی لندفرم‌ها و پدیده‌های سطحی به عنوان کلیدی جهت مشخص

کردن وجود فعالیت تکتونیک است. همچنین با این نوع مطالعه، می‌توان نواحی نسبتاً با ثبات و غیرفعال تکتونیک را نیز مشخص ساخت.

علم نئوتکتونیک، فعالیت‌های تکتونیک جوان را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهد. لیکن محدوده زمانی آن نسبت به هر منطقه متفاوت است (مونر، ۱۹۹۰ به نقل از نجف‌زاده نوبر، ۷۶). با بررسی شاخص‌های ژئومورفیک (شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی Bs و نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن VF و...) می‌توان مقدار و نوع حرکات و فعالیت‌های نئوتکتونیک مناطق را شناسایی کرد. گفتنی است شاخص‌های ژئومورفیک یکی از ابزارهای کارآمد در عرصه مطالعات ژئومورفولوژی تکتونیک به شمار می‌آید (راکول و همکاران، ۱۹۸۵). مطالعات مورفوتکتونیک و نئوتکتونیک به عنوان یکی از شاخه‌های مرتبط با علوم زمین، با محیط زندگی انسان کاملاً مرتبط بوده و می‌تواند اطلاعات مفیدی از چگونگی فعالیت‌های آن در گذشته و زمان حال و آثار ناشی از این فعالیت‌ها در سطح زمین و لندفرم‌های حاصل از آنها، همچنین فرآیندهای موثر در تشکیل چشم‌اندازهای طبیعی و بالاخره تعیین میزان خطر در رابطه با این فعالیت‌ها در اختیار برنامه‌ریزان ناحیه قرار دهد.

کوه سیلان مظهر عمده فعالیت‌های تکتونیک و نئوتکتونیک در شمال غرب کشور است که تاکنون ویژگی‌های مورفو-تکتونیک آن بر اساس شاخص‌های ژئومورفولوژی مورد بررسی قرار نگرفته است. بدلیل وسعت زیاد کوهستان سیلان، که بیش از ۱۲۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد، در این بررسی دامنه جنوبی آن انتخاب شده است. بخش انتخابی در شمال شرقی شهرستان سراب و شمالغربی شهرستان نیر و در محدوده جغرافیایی  $36^{\circ} 47'$  تا  $00^{\circ} 48'$  طول شرقی و  $56' 37^{\circ}$  تا  $14' 38^{\circ}$  عرض شمالی واقع شده و در مجموع  $560$  کیلومتر مربع وسعت دارد. محدوده مورد مطالعه شامل حوضه‌های آبریز پیسلرچای، بیوک چای و آغمیون چای از زیرحوضه‌های آجی‌چای و آغلاغان چای از زیرحوضه‌های بالخلوچای می‌باشد. به دلیل فقدان پژوهشی منسجم در مورد ژئومورفولوژی تکتونیک و آثار ناشی از تکتونیک جوان در کوهستان سیلان، پژوهش حاضر می‌تواند بررسی مقدماتی در خصوص ویژگی‌های مورفوتکتونیک و نئوتکتونیک دامنه جنوبی سیلان باشد.

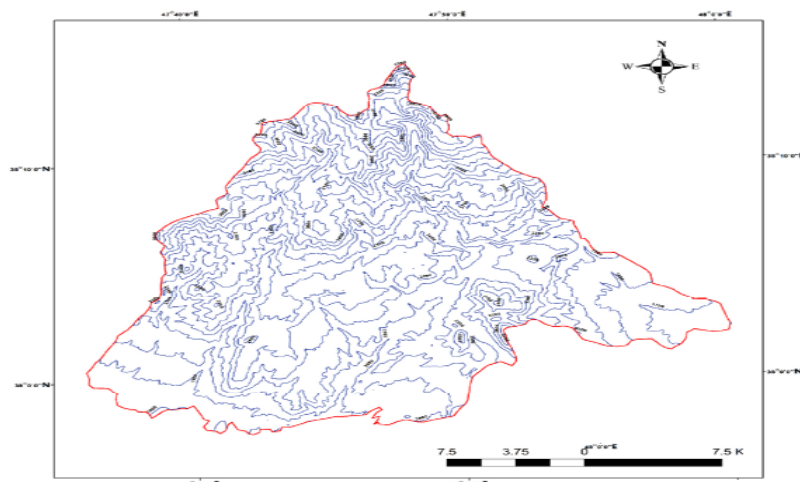
### پیشینه تحقیق

اگر چه بخش‌هایی از کوهستان سیلان خصوصا دامنه‌های شمالی و شرقی از نظر ویژگی‌ها و فرایندهای ژئومورفیک مورد مطالعه قرار گرفته است اما دامنه جنوبی این کوهستان تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته و این بخش از سیلان از نظر ویژگی‌های ژئومورفولوژی و مورفوتکتونیک فاقد اطلاعات می‌باشد.

از مطالعات و پژوهش‌های انجام گرفته در ارتباط با موضوع و بخش‌های مجاور منطقه می‌توان به مواردی اشاره کرد. از اواخر نیمه دوم قرن نوزدهم سیلان مورد توجه پژوهشگران خارجی قرار گرفته است در سال ۱۸۸۱ زمین‌شناسی به نام سوگرن، در سال ۱۹۳۷ بوبک و در سال ۱۹۷۶ دیدون و ژمن در رساله دکتری خود شرح مفصلی درباره سنگ‌شناسی و ژئوشیمی و مکانیسم فوران آتش فشان سیلان نوشته‌اند (نقل از دلال‌اوغلی، ۱۳۸۱). موحد دانش (۱۳۶۷) در طرح مطالعات سیلان ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی و لیتولوژی دامنه جنوبی سیلان را بررسی کرده است. اسداللهی‌نژاد (۱۳۷۱) تحول ژئومورفولوژی نیر چای (آغ‌لاغان چای) را مطالعه کرده است. خیام (۱۳۷۲) در مقاله‌ای تحت عنوان کوششی بر طرح وضع ساختمانی و مورفولوژی آتش‌فشانی فلات ایران با تأکید بر توده و لکانیکی سیلان، ساختمان زمین‌شناسی منطقه، روانه‌های لاهار و مکانیسم‌های بجاگذاری آنها را مورد بررسی قرار داده است. سحابی (۱۳۷۸)، در مقاله‌ای با عنوان بررسی آتش‌فشان سیلان با توجه خاص بر روند تشکیل منابع زمین گرمایی مشگین - اردبیل ضمن بررسی گسل‌ها، زمین لرزه‌ها و چشمه‌های معدنی منطقه، چگونگی استفاده از انرژی گرمایی موجود در منطقه را جهت تولید انرژی برق بررسی نموده است. دلال‌اوغلی (۱۳۸۱) سیستم‌های موفورنز دامنه شمالی سیلان و شکل‌گیری دشت مشگین شهر را بررسی کرده است. رجائی‌ریزی (۱۳۸۱) هیدروژئوشیمی چشمه‌های انتخابی دامنه جنوب شرقی سیلان را بررسی نموده است. اسفندیاری (۱۳۸۵) سیستم‌های موفورنز در دامنه شرقی توده آتش‌فشانی سیلان را بررسی نموده است.

### موقعیت جغرافیایی منطقه

دامنه جنوبی سیلان به عنوان بخشی از توده کوهستانی سیلان در شمال شرقی شهرستان سراب در آذربایجان شرقی و شمال غرب شهرستان نیر در استان اردبیل واقع شده و در مجموع ۵۶۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. این منطقه در محدوده جغرافیایی ۳۶° ۴۷' تا ۴۸° ۰۰' طول شرقی و ۳۷° ۵۶' تا ۳۸° ۱۴' عرض شمالی گسترش دارد. پست‌ترین نقطه در جنوب شرقی در شهر نیر، انتهای حوضه آغلاغان چای حدود ۱۶۰۰ متر ارتفاع دارد و بلندترین نقطه آن قله ۴۴۰۰ متری در جنوب قله سیلان می باشد. با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی محدوده مورد مطالعه به دو واحد کوهستان و پایکوه تقسیم شد که واحد کوهستان بیشترین وسعت محدوده مورد مطالعه را به خود اختصاص داده و از ارتفاع ۲۱۰۰ متری تا ۴۴۰۰ متری در این واحد قرار می‌گیرد و واحد پایکوه محدوده ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۲۱۰۰ متری را شامل می‌شود. از نظر شبکه هیدروگرافی منطقه شامل دو حوضه آبی‌چای با زیرحوضه‌های پیسلرچای، آغمیون و بیوک‌چای و حوضه بالخلوچای با زیرحوضه آغلاغان‌چای می‌باشد که از میان حوضه‌های مورد مطالعه آغلاغان چای با مساحت ۱۶۹/۹ کیلومتر مربع، بزرگ‌ترین حوضه مورد مطالعه می‌باشد و حوضه پیسلرچای با ۳۶/۱۴۵ کیلومتر مربع مساحت کوچک‌ترین حوضه منطقه محسوب می‌شود.



شکل (۱) نقشه توپوگرافی دامنه جنوبی سیلان

## مواد و روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ اهر و میانه و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ لای، رازلیق، امام چای و سراب و نقشه‌های زمین‌شناسی سراب و مشکین با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. جهت ترسیم نقشه‌ها و تفسیر عکس‌ها از نرم‌افزارهای Spss, ArcGIS, Excel و غیره استفاده شده است.

به منظور بررسی نقش نیروهای تکتونیکی، بویژه نو زمین ساخت از شاخص‌های متعدد ارزیابی عملکرد تکتونیک استفاده شده است.

### شاخص تضاريس يا سينوسى جبهه کوهستان<sup>۱</sup> (Smf)

$Smf = Lmf / L$  طول جبهه کوهستان (سراسیبي تند کوهستان) در حد بین کوهستان و کوهپایه

$L$  - طول خط مماس در امتداد جبهه کوهستان

### شاخص نسبت بین پهنای کف دره به ارتفاع آن<sup>۲</sup> (Vf)

$Vf = 2Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$   $Vfw$  پهنای کف دره بر حسب m

$Esc$  - ارتفاع متوسط بستر دره از سطح آبهای آزاد

$Erd$  - ارتفاع متوسط خط تقسیم آب در سمت راست دره بر حسب m

$Eld$  - ارتفاع متوسط خط تقسیم آب در سمت چپ دره بر حسب m

### شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی<sup>۳</sup> (Bs)

$Bs = Bl / Bw$

1- Mountain Front Sinuosity

2- Ratio of Valley Floor to Valley Height (VF)

3- Drainage Basin Shape Ratio (BS)

BI- اندازه طول حوضه (دورترین نقطه تا خروجی حوضه)

BW- اندازه عرض حوضه (اندازه پهن‌ترین بخش در حوضه)

شاخص عدم تقارن توپوگرافی<sup>۱</sup> (Af)

$$Af = 100 (Ar/At)$$

Ar= مساحت حوضه در سمت راست آبراهه اصلی به طرف پایین دست حوضه

At= مساحت کل حوضه

عامل تقارن توپوگرافی<sup>۲</sup> (T)

$$T = \frac{Da}{Dd}$$

Da= فاصله نوار ما بین خط میانی حوضه تا خط میانی رود پیچ فعال

Dd= فاصله خط میانی حوضه تا مرز حوضه

ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیک (Iat)

$$Iat = S/N$$

S= مجموع کلاس‌های شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه شده

N= تعداد شاخص‌های محاسبه شده (حمدونی و سایرین، ۲۰۰۸؛ کلر و پینتر، ۱۹۹۶)

## یافته‌های و نتایج

گسل‌ها یکی از نیروهای بسیار موثر در تشکیل چشم‌اندازهای سطح زمین هستند (دی‌بلیچ و مولر<sup>۳</sup>، ۱۹۹۶: ۳۶۹). در محدود مورد مطالعه بر اساس مطالعات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای ۲۵ گسل تشخیص داده شد که از نظر تراکم بیشتر گسل‌ها در حوالی قصرداغ و در

1- Asymmetry factor (AF)

2- Topographic Symmetry Factor (T)

3- D. Belich and Moller

حوضه‌های آغمیون و بیوک چای قرار گرفته‌اند (شکل ۲). تراکم گسل‌ها در منطقه حدود ۰/۱۳۶ کیلومتر در هر کیلومترمربع می‌باشد. البته به دلیل فعالیت‌های آتش فشان‌ی سیلان در پلیو - پلیوستسن و جریان گدازه‌ها در دامنه‌های مختلف بسیاری از گسل‌ها در نقشه‌های زمین‌شناسی قابل تشخیص نمی‌باشد.



شکل (۲) نقشه گسل‌های دامنه جنوبی سیلان

با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی سراب و مشکین‌شهر به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای، گسل‌های موجود در منطقه بیشتر از نوع گسل‌های متوسط می‌باشند و تعدادی از آن‌ها نیز گسل فرعی به حساب می‌آیند زیرا کمتر از ۲ کیلومتر طول دارند.



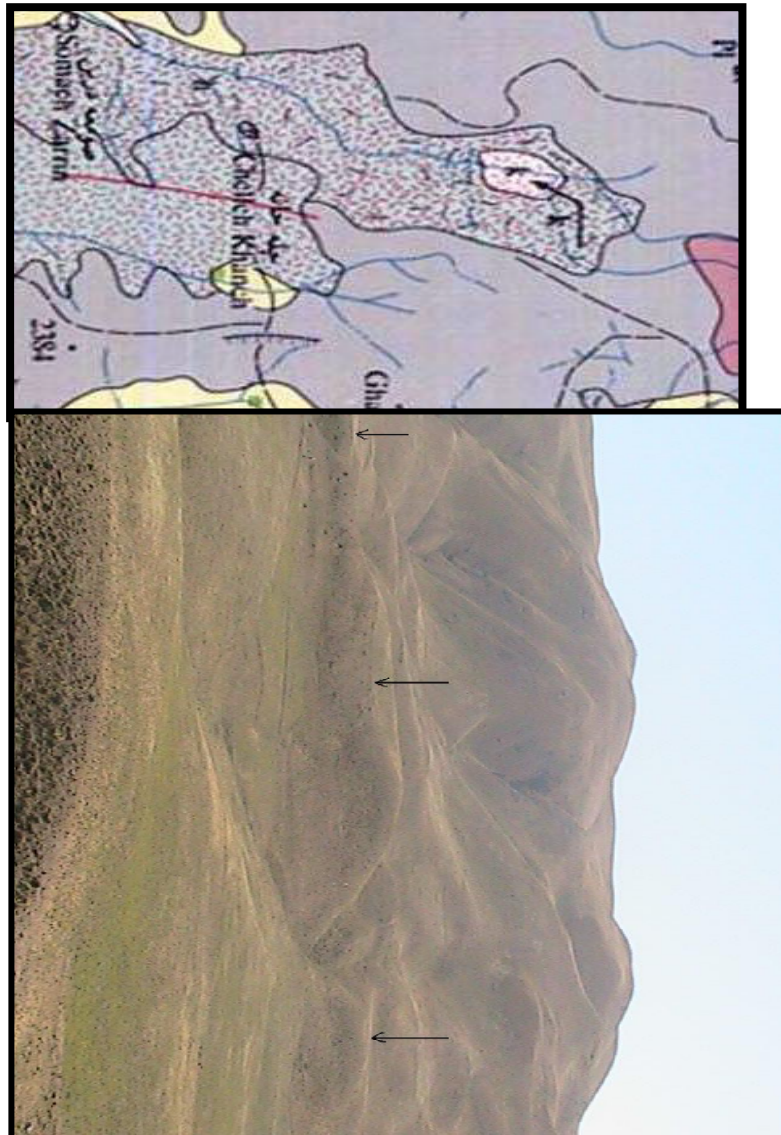
جدول (۱) مشخصات گسل‌های مهم منطقه

| ردیف | نام گسل            | موقعیت گسل                           | طول گسل به (km) |
|------|--------------------|--------------------------------------|-----------------|
| ۱    | گسل قصر داغ- برجلو | مجاورت قصر داغ                       | ۹/۵             |
| ۲    | گسل میدان جیق      | جنوب غربی روستای میدان جیق           | ۵/۵             |
| ۳    | گسل چله خانه       | یک کیلومتری شرق چله‌خانه             | ۲/۳             |
| ۴    | گسل کلانتر         | در شمال روستای کلانتر                | ۲/۴             |
| ۵    | گسل شرق دکالانو    | در شرق روستای دکالانو                | ۴/۵             |
| ۶    | گسل فرعی قرخ بلاغ  | یک کیلومتر شمال شرقی روستای قرخ بلاغ | ۱               |
| ۷    | گسل آغمیون         | در ۲ کیلومتری شرق روستای آغمیون      | ۲               |

اشکال و عوارض ناشی از فعالیت انواع گسل‌ها در محدوده مورد مطالعه قابل ملاحظه بوده و عمده‌ترین آنها عبارتند از:

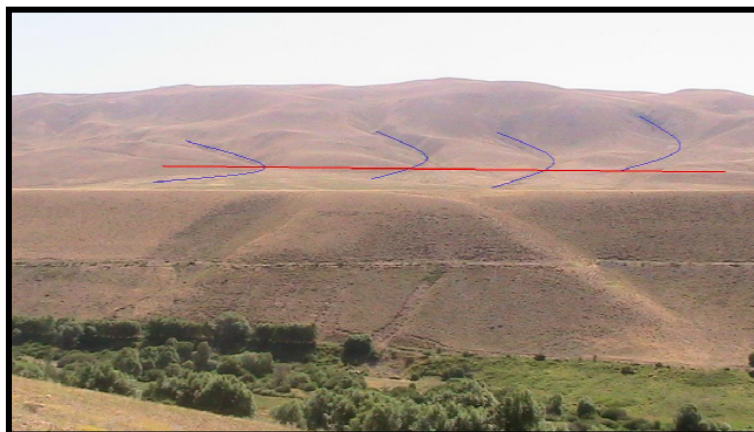
**دره‌های خطی:** این دره‌ها در امتداد مسیر گسل اصلی قرار دارند و به علت حرکت مداوم در امتداد مسیر جدید گسل توسعه می‌یابند (کلر و پینتر، ۲۰۰۲: ۶۰). در دامنه جنوبی سبلان در محدوده مورد مطالعه بهترین مورد دره گسلی خطی در حوضه آغمیون چای وجود دارد که فعالیت گسل‌های منطقه موجب ایجاد این دره‌ها و جریان آبراهه‌ها در مسیر آنها شده و دره‌های تنگ و عمیقی را در بستر رودخانه بوجود آورده‌اند. در حوضه بیوک چای نیز قسمتی از آبراهه‌ها در امتداد گسل میدان جیق جریان دارند و دره‌های خطی در این منطقه قابل مشاهده می‌باشد.

**پرتگاه‌ها:** عادی‌ترین شکل حاصل از گسلش، پرتگاه گسلی است. پرتگاه‌های گسلی در امتداد گسل‌های دامنه جنوبی در بخش‌هایی که از لیتولوژی نسبتاً مقاومی برخوردار است، وضوح بیشتری دارند. برای مثال در شکل (۳) پرتگاه‌های گسلی را در دامنه‌های جنوبی سبلان نشان می‌دهد.



شکل (۳) پرتگاه‌های گسلی در حوضه آغمیون چای (تصویر سمت راست) و گسل مربوطه که در نقشه زمین‌شناسی برگ‌مشگین به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در محل چله‌خانه دیده می‌شود (تصویر سمت چپ)

**انحراف آبراهه‌ها:** یکی از اشکال بارز گسل‌های دامنه‌ای جنوبی سبلان آبراهه‌های انحراف یافته است. این پدیده در اغلب آبراهه‌هایی که در امتداد گسل‌های منطقه قرار دارند دیده می‌شود. در شمال روستای کلانتر عبور گسل عمود بر بستر رودخانه موجب انحراف آبراهه اصلی شده، این پدیده همچنین در شمال غربی روستای میدان جیق در شاخه‌ای از بیوک چای قابل مشاهده است. در ۲/۵ کیلومتری شرق روستای آغمیون در حوضه آغمیون چای عبور گسل از دامنه شرقی حوضه موجب انحراف آبراهه‌ها شده است (شکل ۴).

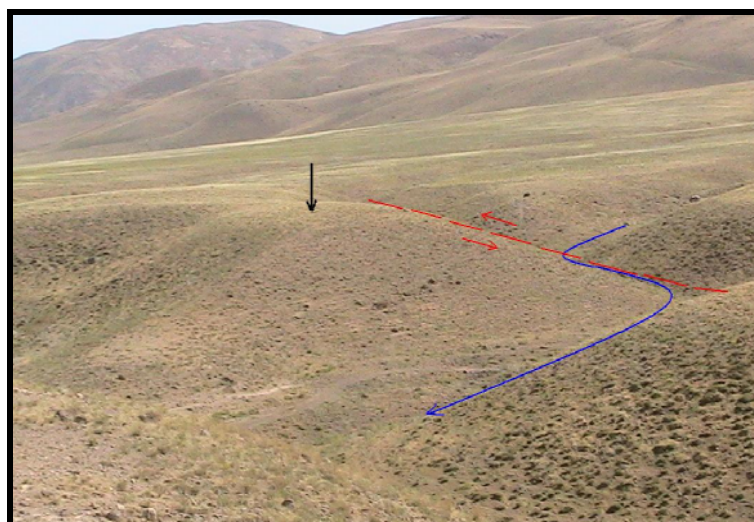


شکل (۴) انحراف آبراهه‌ها در مسیر گسل کلانتر (سمت راست) و در مسیر گسل آغمیون (سمت چپ)

**پشته‌های مسدودکننده:** اگر حرکتی در زمینی ناهموار و در امتداد یک گسل امتداد لغز اتفاق بیافتد ناهمواری‌های دو طرف خط گسل جابجا می‌شوند. در صورتی که برآمدگی در اثر حرکت گسل امتداد لغز در مقابل آبراهه‌های طرف مقابل گسل قرار گیرند و سبب انسداد آبراهه‌ها شوند به این نوع اشکال زمینی، پشته‌های مسدودکننده اطلاق می‌شود.

در دامنه شرقی حوضه آغمیون چای در شرق روستاهای سهزاب و آغمیون حرکت گسل امتداد لغز آغمیون موجب تشکیل پشته‌های مسدودکننده در مسیر جریان آبراهه‌ها شده است که بیان‌کننده وجود حرکات زمین ساختی در این منطقه می‌باشد (شکل ۵). به‌طوری که در شکل مشاهده می‌شود، استقرار این ناهمواری‌ها در مقابل آبراهه‌ها، باعث انحراف مسیر آبراهه‌ها شده است. با ایجاد پشته‌ها در مقابل آبراهه‌ها برخی از آنها سعی می‌کنند از روی پشته‌ها عبور کرده و به سمت دشت جاری شوند، ولی اغلب آبراهه‌ها از مسیر خود منحرف شده از کنار پشته‌های مسدودکننده مسیر خود را ادامه می‌دهند که در شکل (۵) به خوبی قابل تشخیص می‌باشد.

**مخروط افکنه‌ها و جابجایی آنها:** مخروط افکنه‌ها، اشکال ژئومورفولوژیکی هستند که فعالیت تکتونیکی در کنار تغییرات آب و هوایی مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده آنها می‌باشد (لی و همکاران<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹، نقل از مختاری، ۱۳۸۴). باتوجه به تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی در انتهای حوضه‌های آغمیون چای و پیسلرچای مخروط-افکنه‌هایی تشکیل یافته است و تجدید فعالیت گسل‌های پایکوهی و تغییرات تکتونیکی سطح اساس موجب حفر مجدد بستر رود در سطح مخروط افکنه‌ها و در نتیجه پیدایش پادگانه‌های آبرفتی شده است. همچنین در دامنه‌های شرقی آغمیون چای فعالیت گسل امتداد لغز آغمیون موجب جابجایی مخروط افکنه در این محدوده شده است (شکل ۵).



شکل (۵) پشته‌های مسدودکننده در دامنه‌های شرقی آغمیون چای (سمت چپ) جابجایی مخروط افکنده‌ها در اثر فعالیت گسل آغمیون (سمت راست)

از سایر آثار ژئومورفولوژی گسل‌ها در منطقه می‌توان به چشمه‌های معدنی و درزه‌های متعدد در سطوح سنگ‌ها اشاره کرد.

کاربرد شاخص‌های ژئومورفیک امکان تحلیل اشکال زمینی و ارزیابی میزان فعالیت‌های تکتونیکی یک منطقه مشخص را فراهم می‌کند (گارنری و پروتا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸، نقل از کرمی، ۱۳۸۷، ۹۷). از طریق این شاخص‌ها می‌توان اطلاعاتی در مورد نواحی خاصی از یک منطقه که در معرض فعالیت تکتونیکی نسبتاً سریع یا حتی کند قرار دارند، به‌دست آورد (رامیرز-هررا<sup>۲</sup>، ۱۹۹۸). اساس این شاخص‌ها، تحلیل شبکه‌های زهکشی و جبهه‌های کوهستان است و بوسیله آنها بی‌نظمی‌های موجود در سیستم‌های آبرفتی و یا در طول جبهه‌های کوهستان آشکار می‌شود. این بی‌نظمی‌ها امکان دارد بوسیله تغییرات محلی فعالیت‌های تکتونیکی و در اثر بالا آمدگی یا فرونشست بوجود آمده باشند (حمدونی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). برای ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه، ۵ شاخص ژئومورفیک در دامنه‌های جنوبی سبلان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

نیروهای درونی زمین در قالب فرایندهای تکتونیکی موجبات تشکیل ناهمواری‌های زمین و لندفرم‌های اصلی را فراهم می‌آورند. اما تأثیر آنها در تغییر چشم‌اندازهای ساختمانی و ژئومورفولوژیکی زمین در همه جا یکنواخت و یکسان نیست. جبهه‌های کوهستانی یکی از بارزترین نواحی برای نمایش اختلاف عملکرد این عوامل می‌باشند، با بررسی شاخص‌های ژئومورفولوژیکی جبهه کوهستان می‌توان فعالیت‌های تکتونیکی آن ناحیه را ارزیابی نمود. در دامنه جنوبی سبلان برای بررسی شاخص سینوزیته جبهه کوهستان (Smf)، منحنی میزان ۱۹۰۰ متر از روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ به عنوان جبهه کوهستان و مرز بین کوهستان و دشت انتخاب شد. جهت بررسی دقیق، جبهه‌های کوهستان منطقه مطالعاتی به حوضه‌های آبریز پیسلر چای، آغمیون چای، حوضه بیوک چای و آغلاغان چای تقسیم شد و شاخص (Smf) برای هر ۴ حوضه اندازه‌گیری و محاسبه شد. کمترین مقادیر شاخص در حوضه آغمیون چای ۱/۲۵ می‌باشد که با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و عکس‌های ماهواره‌ای منطقه منطبق با گسل‌های موجود در محدوده‌های مورد مطالعه می‌باشد و نشانگر پرتحرک بودن منطقه از لحاظ تکتونیکی می‌باشد.

1- Guarnieri and Pirrotta

3- Hamdouni et.al.

جدول (۲) مقادیر شاخص (Smf) در منطقه مورد مطالعه و کلاس هر منطقه از نظر فعالیت‌های تکتونیک

| شماره<br>قطعه | جبهه کوهستان     | شاخص<br>Smf | طبقات هر قطعه<br>براساس<br>Bull and<br>Mcfadden, 1977 | طبقات هر<br>قطعه براساس<br>Rockwell.<br>et.al., 1985 | Silva.et.al.,<br>2003 |
|---------------|------------------|-------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------|
| ۱             | حوضه پیسلر چای   | ۱/۷۳        | نیمه فعال ۲                                           | غیر فعال ۳                                           | نیمه فعال ۲           |
| ۲             | حوضه آغمیون چای  | ۱/۲۵        | فعال ۱                                                | فعال ۱                                               | فعال ۱                |
| ۳             | حوضه بیوک چای    | ۱/۷۴        | نیمه فعال ۲                                           | غیر فعال ۳                                           | نیمه فعال ۲           |
| ۴             | حوضه آغلاغان چای | ۱/۵۲        | فعال ۱                                                | غیر فعال ۳                                           | فعال ۱                |

دومین معیار مورد استفاده برای تخمین حرکات زمین ساخت در جبهه‌های کوهستان نسبت بین پهنای کف دره به ارتفاع دره است. این شاخص در امتداد سرایشی تند کوهستان و در دره‌های مختلف آن محاسبه می‌شود. بنابراین برای رسیدن به نتیجه مطلوب از مقایسه بین شاخص‌های مزبور در دره‌های متعدد لازم است فاصله معینی از جبهه‌های کوهستان مدنظر باشد. در این مطالعه محاسبات در فاصله یک کیلومتر از سرایشی تند کوهستان به طرف بالادست در بخش میانی و بالایی تمام حوضه‌ها در سه منطقه در نظر گرفته شده است.

مقادیر بسیار پایین شاخص VF (جدول ۳) در حوضه‌های مورد مطالعه بیانگر شدن فعالیت‌های نوزمین ساخت و عوامل مورفودینامیکی است که آبراهه‌ها با انرژی زیاد در واکنش به فرازش در بستر خود فرو می‌روند و در نتیجه باعث افزایش عمق دره نسبت به عرض آن می‌شوند.

جدول (۳) مقادیر شاخص (VF) دره‌های اصلی در حوضه‌های مورد مطالعه

| نام حوضه    | Es (cm) | Vfm (m) | Eld  | Erd (cm) | VF   | طبقه هر قطعه<br>براساس<br>Rockwell.et.al<br>1985 | طبقه هر قطعه<br>براساس<br>Bull and<br>mcfadden, 1977 | Silva. et.<br>al., 2003 |
|-------------|---------|---------|------|----------|------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------|
| پیسلر چای   | ۲۳۳۵    | ۹۰      | ۲۳۹۵ | ۲۴۸۵     | ۰/۸۶ | فعال ۱                                           | نیمه فعال ۲                                          | نیمه فعال ۲             |
| آغمیون چای  | ۲۵۹۵    | ۱۱۸     | ۲۸۳۵ | ۳۰۶۵     | ۰/۳۴ | فعال ۱                                           | فعال ۱                                               | فعال ۱                  |
| بیوک چای    | ۲۶۰۰    | ۱۰۰     | ۲۷۶۵ | ۲۷۳۵     | ۰/۶۸ | فعال ۱                                           | نیمه فعال ۲                                          | نیمه فعال ۲             |
| آغلاغان چای | ۲۷۹۵    | ۸۰      | ۲۹۶۰ | ۳۰۰۰     | ۰/۴۴ | فعال ۱                                           | فعال ۱                                               | فعال ۱                  |

برای ارزیابی میزان نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی جبهه کوهستان در نواحی مختلف همواره شاخص‌های سینوزیته و نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن مورد استفاده قرار می‌گیرند (جدول ۴).

جدول (۴) تخمین کلاس فعالیت‌های زمین‌ساختی و میزان بالا آمدگی (حمدونی و سایرین، ۲۰۰۸) در جبهه کوهستان منطقه

| نام حوضه    | Smf  | Vf   | کلاس قطعات از نظر فعالیت‌های تکتونیکی | میزان بالا آمدگی متر در هزار سال |
|-------------|------|------|---------------------------------------|----------------------------------|
| پیسرچای     | ۱/۷۳ | ۰/۸۶ | نیمه فعال ۲                           | ۰/۵ - ۰/۵                        |
| آغمیون چای  | ۱/۲۵ | ۰/۳۴ | فعال ۱                                | > ۰/۵                            |
| بیوک چای    | ۱/۷۴ | ۰/۶۸ | نیمه فعال ۲                           | ۰/۰۵ - ۰/۵                       |
| آغلاغان چای | ۱/۵۲ | ۰/۴۴ | فعال ۱                                | > ۰/۵                            |

بر اساس جدول فوق در حوضه‌های پیسرچای و بیوک چای میزان بالا آمدگی در هزار سال ۰/۰۵ - ۰/۵ متر و در بقیه حوضه‌ها بیش از ۰/۵ متر در هزار سال می‌باشد و نشان دهنده فعال بودن منطقه از نظر حرکات تکتونیکی می‌باشد.

در حوضه‌های دامنه جنوبی سبلان، شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی مطابق جدول (۵) به دست آمد. همان‌طوری که قبلاً اشاره شد BS بزرگ‌تر از عدد دو نشان‌دهنده حوضه‌های طولی است که از نظر تکتونیکی فعال هستند. مقادیر پائین‌تر از آن نشانگر فعالیت‌های زمین‌ساختی ضعیف یا آرامش تکتونیکی می‌باشد. مقادیر شاخص BS در تمامی حوضه از عدد مبنای ۲ بیشتر است و عملکرد فعال تکتونیک را نشان می‌دهد. حداکثر مقدار این شاخص در حوضه آغمیون چای ۵/۴۵ می‌باشد و نشانگر فعالیت شدید گسل‌های موجود در محدوده حوضه فوق می‌باشد.



جدول (۵) مقادیر مربوط به شاخص BS برای حوضه‌های منطقه

| ردیف | نام حوضه‌ها | مقدار شاخص BS | طبقه‌بندی وضعیت حوضه‌ها بر اساس فعالیت تکتونیک |
|------|-------------|---------------|------------------------------------------------|
| ۱    | پیسر چای    | ۳/۶۷          | ۱ فعال                                         |
| ۲    | آغمیون چای  | ۵/۴۵          | ۱ فعال                                         |
| ۳    | بیوک چای    | ۲/۶۰          | ۱ فعال                                         |
| ۴    | آغلاغان چای | ۳/۹۹          | ۱ فعال                                         |

از طرفی مقدار عددی زیاد شاخص فرم حوضه BS در تمام حوضه‌های منطقه تحت عملکرد نو زمین ساخت موجب شده که رودخانه‌ها با انرژی زیاد برای رسیدن به نیمرخ تعادل (سطح اساس) همواره عمل حفر و کاوش انجام دهند. بنابراین جریان‌ات آبی با به عمق بردن بستر خود ناپایداری دامنه را تشدید و مقدار رسوبات زیادی به انتهای حوضه‌ها در دشت سراب وارد می‌کنند.

این شاخص عدم تقارن حوضه آبریز و تمایل و خمیدگی آبراهه اصلی را نشان می‌دهد. در هیچ‌یک از حوضه‌های مورد مطالعه حالت تقارن ( $AF = 50$ ) وجود ندارد. مقادیر شاخص در محدوده مورد مطالعه یا بیش از عدد مبنای ۵۰ می‌باشد که تمایل آبراهه اصلی را به طرف کناره چپ حوضه مشخص می‌سازد و یا کمتر از عدد مبنای ۵۰ است که تمایل آبراهه‌های اصلی را به سمت راست حوضه زهکشی نشان می‌دهد جدول (۶).

جدول (۶) مقادیر شاخص AF در حوضه‌های منطقه

| نام حوضه‌ها | مساحت سمت راست حوضه | مساحت سمت چپ حوضه | مساحت کل حوضه $km^2$ | مقدار شاخص AF | کلاس | وضعیت تمایل         |
|-------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------|------|---------------------|
| پیسر چای    | ۱۳/۶۲۵              | ۲۲/۵۲۰            | ۳۶/۱۴۵               | ۳۷/۷۰         | ۳    | تمایل به کناره راست |
| آغمیون چای  | ۵۱/۶۵۰              | ۴۵/۶۲۵            | ۹۷/۲۷۵               | ۵۳/۰۹         | ۳    | تمایل به کناره چپ   |
| بیوک چای    | ۷۵/۱۵۰              | ۷۷/۷۵۰            | ۱۵۲/۹                | ۴۹/۱۵         | ۳    | نزدیک به حالت تقارن |
| آغلاغان چای | ۹۱/۵                | ۷۸/۴              | ۱۶۹/۹                | ۵۳/۸۵         | ۳    | تمایل به کناره چپ   |

بر اساس جدول (۶) به نظر می‌رسد تمایل در حوضه‌هایی که آبراهه اصلی در امتداد گسل‌ها قرار گرفته است با عملکرد گسل‌ها ارتباط دارند. تمایل به چپ در حوضه‌های آغمیون چای و آغلاغان چای، انحراف به راست در حوضه پیسلر چای، حالت نزدیک به تقارن در حوضه بیوک چای می‌تواند به عوامل تکتونیکی محلی یا ویژگی‌های لیتولوژی بستگی داشته باشد. با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای و انطباق آنها با آبراهه‌های اصلی در نقشه‌های توپوگرافی می‌توان گفت عملکرد گسل‌ها و عوامل تکتونیکی نقش بیشتری در انحراف آبراهه‌های اصلی و عدم تقارن حوضه‌های مورد مطالعه دارند.

شاخص تقارن توپوگرافی نیز جهت بررسی و ارزیابی عملکرد تکتونیک و پدیده‌های مورفودینامیک، پایداری و ناپایداری مناطق کوهستانی ارائه شده است (ایلدرمی، ۱۳۸۱، ۱۴۸). برای حوضه‌هایی که کاملاً متقارن است، شاخص  $T$  مساوی عدد صفر می‌باشد. هر چقدر که عدم تقارن توپوگرافی حوضه‌ای افزایش یابد، مقدار شاخص نیز زیاد شده و به عدد یک نزدیک‌تر می‌شود. بنابراین شاخص  $T$  برداری است با یک جهت و بزرگی بین ۰-۱ متغیر است. وجود عدم تقارن توپوگرافی در حوضه‌هایی با لیتولوژی تقریباً همسان، عملکرد تکتونیک فعال را نشان می‌دهد.

با توجه به جدول (۷) داده‌های  $Tp$  در هر ۴ حوضه مورد مطالعه، اختلاف زیادی با عدد یک دارند و در نتیجه دارای عدم قرینگی و تقارن عرضی در سمت راست و چپ دامنه‌های آبراهه اصلی هستند. در این زیرحوضه‌ها عملکرد نو زمین ساخت به صورت فرازش یک دامنه نسبت به دامنه مقابل موجب تشدید فعالیت عوامل مورفو دینامیک و عدم تقارن در توپوگرافی عرض آبراهه‌ها شده است.

جدول (۷) مقادیر شاخص تقارن توپوگرافی ( $TP$ ) برای حوضه‌های مورد مطالعه

| ردیف | نام حوضه    | Da   | Dd   | Tp   | کلاس | وضعیت تقارن |
|------|-------------|------|------|------|------|-------------|
| ۱    | پیسلر چای   | ۱    | ۲/۷۵ | ۰/۳۶ | ۲    | عدم تقارن   |
| ۲    | غمیون چای   | ۱/۲۵ | ۳/۵  | ۰/۳۶ | ۲    | عدم تقارن   |
| ۳    | بیوک چای    | ۲/۳۵ | ۶/۸۵ | ۰/۳۴ | ۲    | عدم تقارن   |
| ۴    | آغلاغان چای | ۲/۵  | ۶/۵  | ۰/۳۸ | ۲    | عدم تقارن   |

## بحث

ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک محدودده مورد مطالعه با استفاده از شاخص IAT<sup>۱</sup> پس از محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک و مشخص شدن کلاس‌های هر کدام از حوضه‌ها از نظر فعالیت‌های تکتونیک انجام می‌گیرد. شاخص IAT از متوسط کلاس‌های مختلف شاخص‌های ژئومورفیک و طبق رابطه ذیل به دست می‌آید.

$$IAT = S/N$$

اگر  $IAT = 1/5$  باشد حاکی از فعالیت‌های زمین‌ساختی شدید است. در صورتی که  $2 < IAT < 1/5$  باشد فعالیت‌های تکتونیک زیاد را نشان می‌دهد. اگر  $2/5 < IAT < 2$  باشد بیانگر فعالیت‌های زمین‌ساختی متوسط است و  $IAT < 2/5$  فعالیت‌های کم و ناچیز را آشکار می‌سازد (حمدونی و سایرین، ۲۰۰۸، ۱۷۱).

برای ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیک منطقه مورد مطالعه از ۵ شاخص ژئومورفیک استفاده شده و نتایج آنها در جدول (۸) ارائه شده است.

جدول (۸) محاسبه شاخص IAT در محدوده مورد مطالعه

| ردیف | نام حوضه    | Smf | Vf | Af | Tp | Bs | IAT | کلاس | نوع فعالیت |
|------|-------------|-----|----|----|----|----|-----|------|------------|
| ۱    | پیسرچای     | ۲   | ۲  | ۳  | ۲  | ۱  | ۱/۸ | ۲    | زیاد       |
| ۲    | آغمیون چای  | ۱   | ۱  | ۳  | ۲  | ۱  | ۱/۶ | ۲    | زیاد       |
| ۳    | بیوک چای    | ۲   | ۲  | ۳  | ۲  | ۱  | ۲/۳ | ۳    | متوسط      |
| ۴    | آغلاغان چای | ۱   | ۱  | ۳  | ۲  | ۱  | ۱/۷ | ۲    | زیاد       |

مطابق جدول فوق شاخص IAT در سه حوضه از چهار حوضه مورد مطالعه در کلاس و طبقه ۲ قرار گرفته، فقط حوضه بیوک چای از نظر فعالیت تکتونیک در کلاس ۳ واقع شده است در چهار حوضه فعالیت نسبی تکتونیک زیاد بوده و تنها حوضه بیوک چای فعالیت نسبی تکتونیک متوسط را نشان می‌دهد. بنابراین نتیجه کلی بررسی شاخص‌های

1- Index of relative active tectonic (IAT)

ژئومورفیک، فعالیت‌های نئوتکتونیک را در محدوده مورد مطالعه مشخص می‌سازد که شواهد این فعالیت‌ها در بخش نخست مقاله حاضر مورد بررسی قرار گرفته است.

### نتیجه

فرایندهای تکتونیک از عوامل اصلی تشکیل اشکال و لندفرم‌های مناطق می‌باشد که می‌تواند در حال حاضر نیز فعال باشد. در این رابطه مورفوتکتونیک شامل آن بخش از ژئومورفولوژی است که به بررسی پدیده‌های ناشی از نیروهای تکتونیک می‌پردازد و نئوتکتونیک در برگیرنده ارزیابی فعالیت‌های جدید و جوان است. مناطقی که به صورت واحدهای ژئومورفیک هستند لازم است از نظر ویژگی‌های فوق‌الذکر مورد بررسی قرار گیرد. یکی از این واحدهای مهم ژئومورفیک، کوه استراتوولکانو سبلان است. کوهستان سبلان در حالت کلی یک واحد مورفوتکتونیک منفرد جلوه می‌نماید که از نظر پالئوژئومورفولوژی مدت زمان زیادی از تشکیل و تحول آن نمی‌گذرد. بررسی شرایط زمین‌شناسی، تکتونیک و چینه‌شناسی این واحد نشانگر وجود و حضور تشکیلات و سازندهای جدید و گسل‌های جوان است. به دلیل وسعت زیاد کوهستان سبلان در تحقیق حاضر تنها دامنه جنوبی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان می‌دهد تعداد قابل ملاحظه گسل اعم از اصلی و فرعی در دامنه جنوبی سبلان وجود دارد که آثار قابل توجه مورفوتکتونیک به جا گذاشته است. از پدیده‌های ژئومورفیکی عمده گسل‌های دامنه جنوبی سبلان می‌توان به دره‌های خطی، انحراف آبراهه‌ها، جابجایی مخروط افکنه‌ها و غیره اشاره کرد.

ویژگی‌های نئوتکتونیک دامنه جنوبی سبلان بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های استفاده شده شامل تضاریس یا سینوسی جبهه کوهستان ( $S_{mf}$ )، نسبت بین پهنای کف دره به ارتفاع آن ( $V_f$ )، نسبت شکل حوضه زهکشی ( $B_s$ )، عدم تقارن توپوگرافی ( $A_f$ )، عامل تقارن توپوگرافی ( $T$ ) و شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیک ( $IAT$ ) می‌باشد. این شاخص‌ها به تفکیک در ۴ حوضه زهکشی منطقه (پیسلرچای، بیوک چای و آغمیون چای از زیر حوضه‌های آجی‌چای و آغلاغان چای از زیر حوضه‌های بالخلوچای اردبیل) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصله نشان می‌دهد

شاخص‌های Smf و Vf برای دو حوضه حالت فعال و برای دو حوضه دیگر شرایط نیمه فعال نشان می‌دهد. شاخص نسبت شکل برای تمامی حوضه‌ها شرایط فعال تکتونیک را مشخص می‌سازد. نتایج شاخص‌های تقارن و عدم تقارن توپوگرافی هم تأییدکننده نتایج شاخص‌های فوق است. در نهایت جهت اخذ نتیجه کلی سعی شد از شاخص IAT نیز استفاده شود. مطابق نتایج این شاخص، سه حوضه از چهار حوضه منطقه دارای نوع فعالیت زیاد و حوضه چهارم (بیوک چای) دارای فعالیت متوسط است. بنابراین دامنه جنوبی کوهستان سبلان به عنوان بخشی از کل واحد مورفولوژی و کوهستان، از نظر تکتونیک هنوز هم فعال است.

## منابع

- ۱- آقاباتی، علی (۱۳۸۷)، «گسل‌ها و نقش آنها بر زمین‌شناسی ایران»، *مجله رشد آموزش زمین‌شناسی*، شماره ۵۲.
- ۲- اسداللهی‌نژاد، اسد (۱۳۷۱)، «تحول ژئومورفولوژی نیرچای (آغلاغان چای)»، پایان‌نامه کارشناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- ۳- اسفندیاری، فریا (۱۳۸۵)، «پژوهشی در سیستم‌های مورفونژ در دامنه شرقی توده آتش‌فشانی سبلان»، پایان‌نامه دکتری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- ۴- خیام، مقصود (۱۳۷۲)، «کوششی بر طرح وضع ساختمانی و مورفولوژی آتش‌فشانی فلات آذربایجان با تاکید بر توده ولکانیکی سبلان»، *نشریه دانشکده علوم انسانی دانشگاه تبریز*، شماره‌های ۱۴۶ و ۱۴۷.
- ۵- خیام، مقصود و مختاری، داوود (۱۳۸۲)، «ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی براساس مورفولوژی مخروط افکنه‌ها»، *مجله پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۴۴.
- ۶- دلال‌اوغلی، علی (۱۳۸۱)، «پژوهشی در سیستم‌های مورفونژ در دامنه شمالی سبلان و شکل‌گیری دشت انباشتی مشگین‌شهر»، پایان‌نامه دکتری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.
- ۷- رجائی ریزی، محمدرضا (۱۳۸۱)، «هیدروژئوشیمی چشمه‌های انتخابی دامنه جنوب شرقی سبلان»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.
- ۸- زمردیان، محمدجعفر (۱۳۸۱)، «ژئومورفولوژی ایران، فرایندهای ساختمانی و دینامیک‌های درونی»، جلد ۱، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۹- سازمان زمین‌شناسی (۱۳۷۶)، «نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰»، برگه‌های مشگین شهر و سراب.
- ۱۰- سازمان زمین‌شناسی (۱۳۷۶)، «شرح نقشه‌های زمین‌شناسی چهار گوش اهر و اردبیل»، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰.

- ۱۱- سحابی، فریدون (۱۳۷۸)، «بررسی آتش‌فشان سبلان با توجه خاص بر روند تشکیل منابع زمین گرمایی مشگین-اردبیل»، *فصلنامه علوم زمین*، شماره‌های ۳۱ و ۳۲.
- ۱۲- شفیعی بافقی، امیر و همکاران (۱۳۸۷)، «ریخت زمین‌ساخت و ارزیابی فعالیت گسل کوهبنان از طریق محاسبه شاخص‌های زمین‌ریختی»، *فصلنامه علمی تخصصی زمین‌شناسی و محیط زیست*، سال دوم، شماره ۱، صص ۱۶-۱.
- ۱۳- کرمی، فریبا و همکاران (۱۳۸۷)، «بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین لرزه در شهرستان بستان‌آباد»، طرح تحقیقاتی، دانشگاه تبریز.
- ۱۴- مختاری، داود (۱۳۸۴)، «نقش نوزمین ساخت در تکامل سامانه های رودخانه ای در کواترنر مطالعه موردی»، رودخانه‌های دامنه شمالی میشو داغ، *فصلنامه علوم زمین*، شماره ۵۷.
- ۱۵- موحد دانش، علی‌اصغر (۱۳۶۷)، «طرح مطالعاتی سبلان مطالعه هیدرولوژی و مورفولوژی»، دانشگاه تبریز.
- ۱۶- نجف‌زاده نوبر، سیما (۱۳۸۲)، «بررسی مورفوتکتونیک بخشی از گسل شمال تبریز با نگرش ویژه بر شاخص‌های مورفومتریک»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.
- 17- Bull, B.W., (1984), "Tectonic Geomorphology", *Journal of Geological Education*, No. 39, pp.310-325.
- 18- Burbank, D.W., and Anderson, R.S. (2001), "*Tectonic Geomorphology*", Malden, Blackwell.
- 19- De Blj, Peter O. Muller (1998), "Physical Geography of Global Environment: Second ed, John Wiley & sons INC.
- 20- Goudie, A.S., (2004), "*Encyclppedia of Geomorphology*", Routledge, Volume 2.
- 21- Hamdouni, R.E., Irigaray, C., Fernandez, T., Chancon, J., Keller E, A., (2008), Assessment of Relative Active Tectonic, South West Border of the Sierra Nevada (Southern Spain)", *Geomorphology*, No. 96, pp150-173.

- 22- Keller, E.A., Pinter, N, (1996), “**Active Tectonic, Earthquake, Uplift and Landscape**”, Prentic Hall.
- 23- Ramirez- Herrera, M.T. (1998), “Geomorphic Assessment of Active Tectonics in the Acambay Graben, Mexican Volcanic Belt”, **Earth Surface Processes and Land Forms**, Vol.23, 317-322.
- 24- 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.
- 25- Schumm, S.A., Dumont, I.F., and Hol Brook, (2000), “Active Tectonics and Alluvia Rivers”, Comberichge University Press.
- 26- Silva, P.G., Goy. J.L., Zazo, C., Bardji, T. (2003), “Fault Generated Mountain Fronts in Southwest Spain: Geomorphologic Assessment of Tectonic and Seismic Activity”, **Geomorphology**, 50:203-225.