

## فعالیت زمین ساخت نسبی بر پایه شاخص های ریخت سنجی در جنوب باختری لنجان - اصفهان

انیس السادات خلیفه سلطانی<sup>۱\*</sup>، سید احمد علوی<sup>۲</sup>، محمد رضا قاسمی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشگاه شهید بهشتی

۲- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی

۳- دانشیار پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۱۳

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۴/۱۲

### چکیده

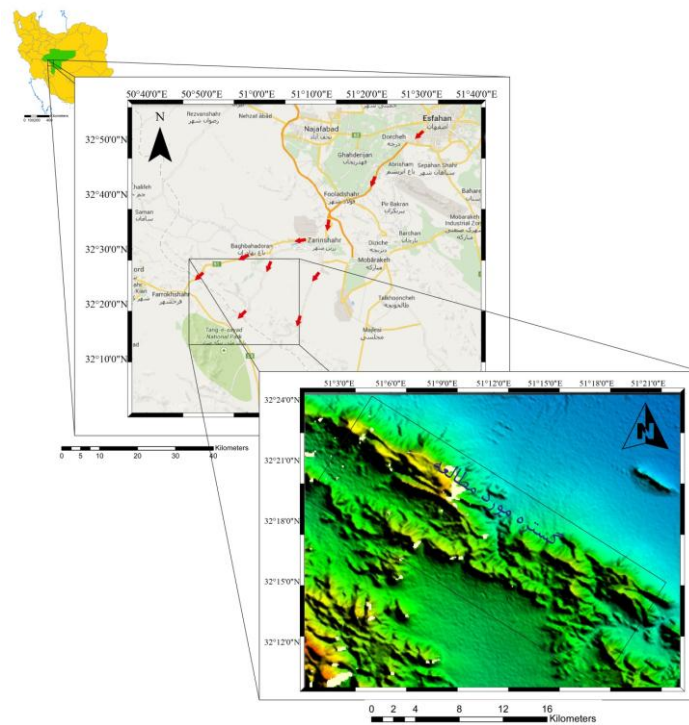
با توجه به لرزه خیزی ایران و اهمیت زمین ساخت فعال، در ارزیابی مخاطرات طبیعی، و مدیریت مناطق پر جمعیت شهری، مطالعات ریخت سنجی جهت تعیین فعالیت زمین ساختی نسبی ضرورت دارد. گستره مورد مطالعه در جنوب باختری شهرستان لنجان قرار دارد، و از نظر زمین ساختی در پهنه سنندج- سیرجان واقع گردیده است. در این پژوهش حوضه آبریز گستره مورد مطالعه، به سه بخش A، B و C تقسیم شده، و هر بخش نیز، در جایگاه خود به چندین زیر حوضه تفکیک شده، تا شاخص های ریخت سنجی همچون شاخص شیب- طول رودخانه (SL)، شاخص عدم تقارن حوضه رودخانه (Af)، انتگرال فراز سنجی (Hi)، نسبت پهنای بستر دره به ارتفاع آن (Vf) و شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf) در هر یک از زیرحوضه ها، اندازه گیری شود. سپس هر بخش بر اساس شاخص های ریخت سنجی محاسبه شده، از نظر فعالیت زمین ساختی نسبی، رده بندی می گردد، تا در نهایت رده بندی فعالیت زمین ساختی نسبی نهایی انجام گیرد. که این رده بندی تحت عنوان S/n بیان می شود، و میانگین تمامی رده بندی های انجام شده، برای هر بخش است. بر این اساس، حوضه B، که در بخش میانی گستره مورد مطالعه قرار دارد، فعالیت زمین ساختی بیشتری نسبت به حوضه های A و C دارد. و این در حالی است که، مطالعات ساختاری انجام شده، در گستره مورد مطالعه نیز تراکم بالای ساختارها را در بخش B نشان می دهد. به عبارت دیگر، حوضه B بیش از دو حوضه مجاور خود، تحت تاثیر فعالیت های زمین ساختی می باشد، که این فعالیت های زمین ساختی، ناشی از سامانه ترافشارشی راستبر حاکم بر گستره مورد مطالعه است.

**واژه های کلیدی:** پهنه ترافشارشی راستبر، شاخص های ریخت سنجی، فعالیت زمین ساختی نسبی، لنجان- اصفهان

**مقدمه**

منطقه مورد مطالعه در حاشیه جنوب باختری استان اصفهان، و در مرز این استان با استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. این منطقه بین عرض‌های جغرافیایی ۱۱' ۳۲° تا ۲۱' ۳۲° شمالی و طول‌های جغرافیایی ۰۳' ۵۱° تا ۱۹' ۵۱° خاوری واقع گردیده است. روند ارتفاعات این گستره شمال باختری- جنوب خاوری می‌باشد. کمینه ارتفاع گستره در دشت‌ها ۲۰۰۰ متر و بیشینه ارتفاع آن در بلندترین نقاط ۲۸۵۰ متر می‌باشد. درازای تقریبی این گستره ۲۸ کیلومتر و پهنای آن در حدود ۹ کیلومتر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به گستره مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

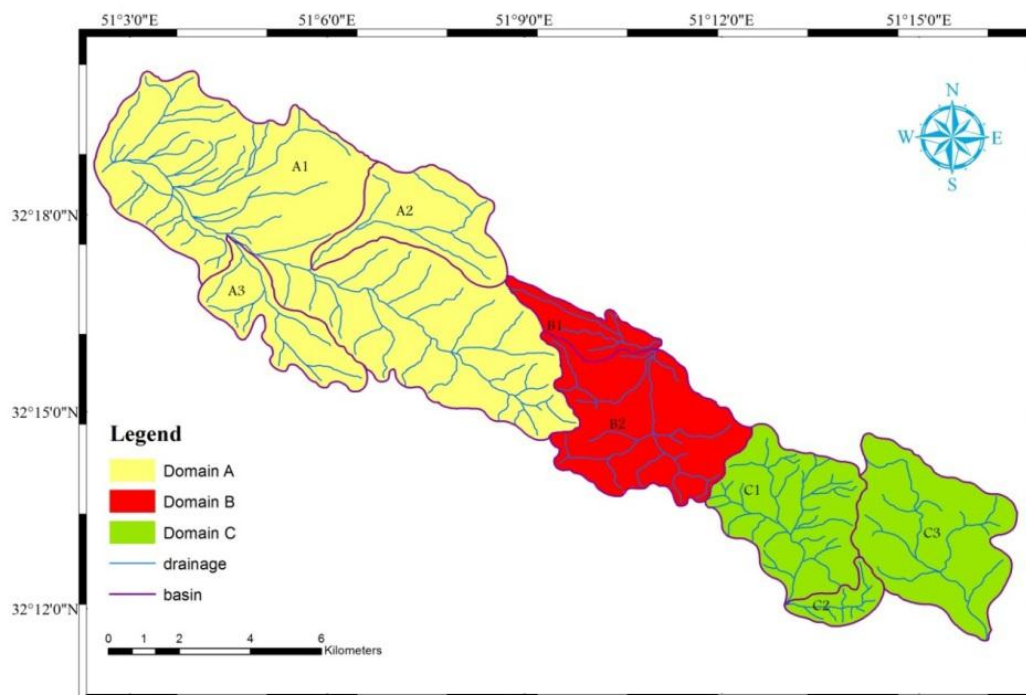
از پژوهش‌های پیشین انجام شده در این گستره می‌توان، طرح انتقال آب بهشت آباد به فلات مرکزی ایران را نام برد، که این طرح در آبان ماه ۱۳۸۱ آغاز شد، و انجام آن به شرکت مهندسی مشاور زاینده آب واگذار گردید. تنها بخش شمال باختری گستره مورد مطالعه، در مسیر این طرح واقع شده است. از دیگر پژوهش‌های صورت گرفته در این گستره می‌توان پایان نامه کارشناسی ارشد محمدی (۱۳۸۵) در خصوص بررسی ویژگی‌های زمین شناسی مهندسی تونل انتقال آب بهشت آباد بخش خروجی را نام برد. بنابراین تمامی پژوهش‌های صورت گرفته در حاشیه شمال باختری گستره مورد مطالعه، در راستای طرح انتقال آب بوده است، بنابراین پژوهش زمین ساختی و زمین ریختی تاکنون در این گستره صورت نگرفته است (شکل ۱).



شکل ۱: الف) موقعیت جغرافیایی گستره مورد مطالعه در نقشه ایران. ب) راه‌های ارتباطی گستره، بر گرفته از Google map. پیکان‌ها مسیرها را نمایش می‌دهند. ج). موقعیت گستره مورد مطالعه در تصویر DEM.

اساس چهار نقشه توپوگرافی، با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ فرادنبه (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۸)، مجتمع فولاد مبارکه (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۷)، چرمهین (سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۹)، زرین شهر (سازمان جغرافیایی کشور، ۱۳۵۳) تهیه شده است. سپس برای سهولت در اندازه‌گیری شاخص‌ها، حوضه آبریز بر اساس سوگیری مجرای خروجی رود اصلی، به سه بخش A، B و C تقسیم شده، و هر بخش نیز در جایگاه خود به چندین زیرحوضه تفکیک شده است (شکل ۲).

پژوهش دیگری به بررسی گسلش راستالغز در بخش مرکزی پهنه سندرچ- سیرجان، کوهزاد زاگرس پرداخته است. در این پژوهش بخش مرکزی سندرچ- سیرجان که گستره مورد مطالعه بخشی از آن می‌باشد، به عنوان یک پهنه برشی معرفی شده است (ندیمی و کنون، ۲۰۱۲). این پژوهش تلاش دارد، که با اندازه‌گیری شاخص‌های ریخت سنجی، فعالیت زمین ساختی نسبی، بخش‌های مختلف گستره مورد مطالعه را تعیین نماید. و پویاترین بخش زمین ساختی گستره را شناسایی کند. سپس نقش ساختارهای زمین شناسی، را در میزان فعالیت زمین ساختی گستره، مورد بررسی قرار دهد. برای دستیابی به این اهداف، ابتدا نقشه حوضه آبریز گستره، بر



شکل ۲: نقشه حوضه آبریز گستره مورد مطالعه و تقسیم بندی بخش‌ها و زیرحوضه‌های آن.

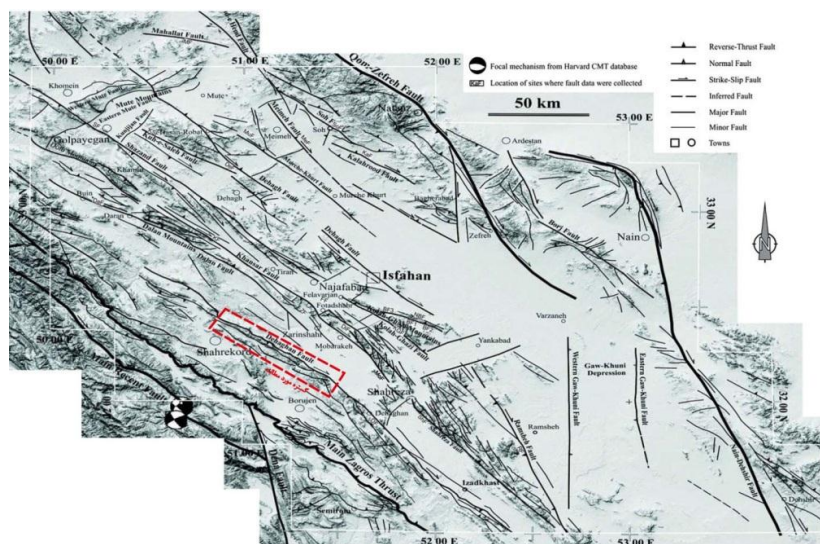
شناسایی شود، و با مطالعات زمین ساختی، نقش ساختارها در میزان این فعالیت مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این پژوهش می‌تواند در تعیین توان لرزه‌ای گستره مورد مطالعه مفید باشد. زیرا نتایج پژوهش‌های زمین ساخت فعال منطقه‌ای را

سپس هر بخش بر اساس مقدار شاخص بدست آمده از نظر فعالیت زمین ساختی نسبی رده‌بندی می‌شود. و در پایان نیز فعالیت زمین ساختی نسبی نهایی، برای بخش‌های مختلف گستره محاسبه می‌گردد. تا پویاترین بخش گستره

عوامل فعال از قبیل چین خوردگی و گسلش حساس می باشد. این عوامل می تواند تسریع کننده برش عمقی رودخانه، عدم تقارن حوضه آبریز و انحراف رودخانه باشد (کاکس، ۱۹۹۴)؛ (جکسون و همکاران، ۱۹۸۴). برش عمقی رودخانه در یک ناحیه وابسته به بالآمدگی زمین ساختی است. هر چند عواملی از قبیل آبدزدی رودخانه، پایین بودن سطح اساس و عوامل آب و هوایی نیز می تواند مسئول تفاوت و تسریع در برش عمقی رودخانه باشد (پرز- پنا و همکاران، ۲۰۱۰).

زمین شناسی و زمین ساخت گستره مورد مطالعه: گستره مورد مطالعه در بخش مرکزی پهنه سندنج- سیرجان واقع شده است. روند عمومی حاکم بر گسل های این گستره شمال باختری- جنوب خاوری است. که این گسل ها اغلب راندگی های مورب راستبر و یا گسل های راستالغز راستبر می باشند. از گسل های معکوس و راستبر این گستره می توان گسل دهقان و گسل دهق را نام برد (شکل ۳).

می توان در جهت ارزیابی خطرات طبیعی به کار گرفت. و اهمیت این نتایج در برنامه ریزی و مدیریت مناطق پرجمعیت شهری غیرقابل انکار است (کلوئین و کورنو، ۲۰۰۵). زمین ساخت فعال به علت پیشرفت سریع تجهیزات زمان سنجی و ژئودزی به گرایش های در حال رشد علوم زمین تبدیل شده است. که اندازه گیری دقیق نرخ بالآمدگی، نرخ برش عمقی رود، نرخ فرسایش و نرخ لغزش گسل ها را در مقیاس زمانی  $10^6$  -  $10^3$  سال میسر ساخته است (شام و همکاران، ۲۰۰۰؛ برینک و اندرسون، ۲۰۰۱). در نواحی کوهستانی زمین ساخت فعال می تواند، عامل اصلی در بالآمدگی سنگ ها باشد. توپوگرافی کنونی، حاصل رقابت بین زمین ساخت و عوامل فرسایشی است (انگلد و ملنار، ۱۹۹۰؛ بیشاپ، ۲۰۰۷). از سوی دیگر توپوگرافی، تجزیه تحلیل الگوی آبراهه ها و هندسه شکستگی ها می تواند، برای ارزیابی فعالیت زمین ساختی کنونی استفاده گردد (کلر و پینتر، ۲۰۰۲؛ آزر و همکاران، ۲۰۰۲). الگوی آبراهه ها در فعالیت زمین ساخت ناحیه ای بسیار به



شکل ۳: گسل های بخش مرکزی پهنه سندنج- سیرجان و کوهزاد زاگرس را نشان می دهد، موقعیت گستره مورد مطالعه در آن مشخص شده است، بر گرفته از (ندیمی و کنون، ۲۰۱۲).

Mapper ترسیم و اندازه‌گیری شده‌اند. همچنین نقشه رده‌بندی فعالیت زمین ساختی نسبی گستره، توسط نرم افزار Surfer ترسیم شده است.

### نتایج

به منظور محاسبه شاخص‌های زمین ریختی، ابتدا نقشه حوضه آبریز گستره مورد مطالعه تهیه می‌شود. و همان‌گونه که بیان گردید، حوضه آبریز به سه بخش A، B و C تقسیم می‌شود، و هر بخش نیز در جایگاه خود به زیرحوضه‌هایی تفکیک می‌گردد. سپس شاخص‌های ریخت سنجی، برای هر یک از زیر حوضه‌ها، بنابر تعاریف ارائه شده، در کتاب زمین ساخت فعال (کلر و پینتر، ۲۰۰۲) محاسبه می‌گردد. آنگاه هر بخش بر اساس میانگین بدست آمده، و بنابر تقسیم بندی ارائه شده توسط همدونی و همکاران (۲۰۰۸)، از لحاظ فعالیت زمین ساختی نسبی رده بندی می‌شود. آنگاه مقدار S/n، تحت عنوان رده بندی نسبی نهایی، بخش‌های گستره محاسبه و ارائه می‌گردد. و بر این اساس پویاترین بخش زمین ساختی گستره شناسایی می‌شود، سپس نقش ساختارهای زمین شناسی در میزان این فعالیت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱- شاخص شیب- طول رودخانه: شاخص شیب- طول رودخانه به تغییرات شیب آبراهه حساس می‌باشد، از این رو بی‌نظمی‌های حاصل از فعالیت زمین ساختی یا مقاومت سنگ شناسی تغییرات محسوسی، در میزان این شاخص ایجاد می‌کنند (رامیرز-هررا، ۱۹۹۸) این شاخص به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود.

$$SL = (\Delta h / \Delta l) \cdot L \quad \text{رابطه (۱)}$$

SL: شاخص شیب- طول رودخانه،  $(\Delta h / \Delta l)$ : شیب آبراهه، L: مجموع طول آبراهه از نقطه‌ای که شاخص محاسبه می‌شود تا مرتفع‌ترین نقطه

سایر ساختارهای بخش مرکزی پهنه سنندج- سیرجان، پهنه‌های فراگام گرفتاری راستبر نجف- آباد و حسن رباط می‌باشد، که برای اولین بار شناسایی شده‌اند. علاوه بر این چرخش زمین ساختی کنده‌ها با آرایش قفسه کتابی در نزدیکی کوه‌های فولاد شهر و کلاه قاضی گزارش شده است. در نهایت این بخش از پهنه سنندج- سیرجان به عنوان یک پهنه برشی ساده معرفی شده است (ندیمی و کنون، ۲۰۱۲).

بنابر پژوهش‌های صورت گرفته یک پهنه ترافشارشی راستبر در گستره سنندج- سیرجان و غرب زاگرس حاکم است (ندیمی و کنون، ۲۰۱۲؛ مورلی و همکاران، ۲۰۰۹؛ بابا احمدی و همکاران، ۲۰۱۲؛ صفایی و همکاران، ۲۰۰۸).

چینه نگاری گستره مورد مطالعه، شامل واحدهای توده‌ای و ستبر لایه کربناته کرتاسه، واحدهای کنگلومرایی ائوسن و آبرفت‌های پیلوسن- کواترنری می‌باشد (زاهدی، ۱۳۵۵). از آنجا که بیشترین مساحت گستره مورد مطالعه شامل واحدهای رسوبی کربناته و کنگلومرایی است و مقاومت سنگ شناسی این دو واحد رسوبی مشابه می‌باشد، بنابراین شاخص‌های ریخت سنجی متاثر از تغییرات مقاومت سنگ شناسی نبوده، و شاخص‌های ریخت سنجی در این گستره بیشتر تحت تاثیر عوامل زمین ساختی می‌باشند.

### مواد و روش ها

در این پژوهش نقشه حوضه آبریز گستره مورد مطالعه، در نرم افزار Arc GIS، از چهار نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده است.

بیشتر شاخص‌های ریخت سنجی، در محیط نرم افزار Arc GIS اندازه‌گیری شده‌اند. ولی برخی شاخص‌ها همچون شاخص شیب- طول رودخانه و شاخص عامل بی تقارنی توسط نرم افزار Golbal

آبراهه در بالادست (گارسیا- تورتوسا و همکاران، ۲۰۰۸)

شاخص شیب- طول رودخانه تحت تاثیر شیب کانال رودخانه است، و عوامل سنگ شناسی و ساختارهای زمین شناسی که در میزان شیب رودخانه موثرند، نقش بسزایی در این شاخص دارند. مناطقی که از مقاومت سنگ شناسی بالای برخوردارند، به دلیل مقاومت در برابر فرسایش شیب بیشتری دارند، و شاخص شیب- طول رودخانه بیشتری از خود نشان می دهند. بالا بودن این شاخص همچنین می تواند معرف زمین ساخت فعال باشد، که باعث افزایش شیب حوضه آبریز شده است. بنابراین شاخص SL را می توان جهت ارزیابی فعالیت زمین ساختی نسبی بکار برد، به گونه ای که در مناطقی که دچار بالآمدگی زمین ساختی شده اند، شاخص شیب- طول رودخانه بالایی را نشان می دهند. ولی گاهی در مناطقی با زمین ساخت فعال این شاخص کاهش چشم گیری نشان می دهد و آن زمانی است که جریان رود به موازات شکستگی هایی همچون دره های حاصل از گسلش راستالغز باشد (کلر و پینتر، ۲۰۰۲). به طور کلی مقادیر بالای این شاخص را می توان به زمین ساخت فعال یا بالا بودن مقاومت سنگ

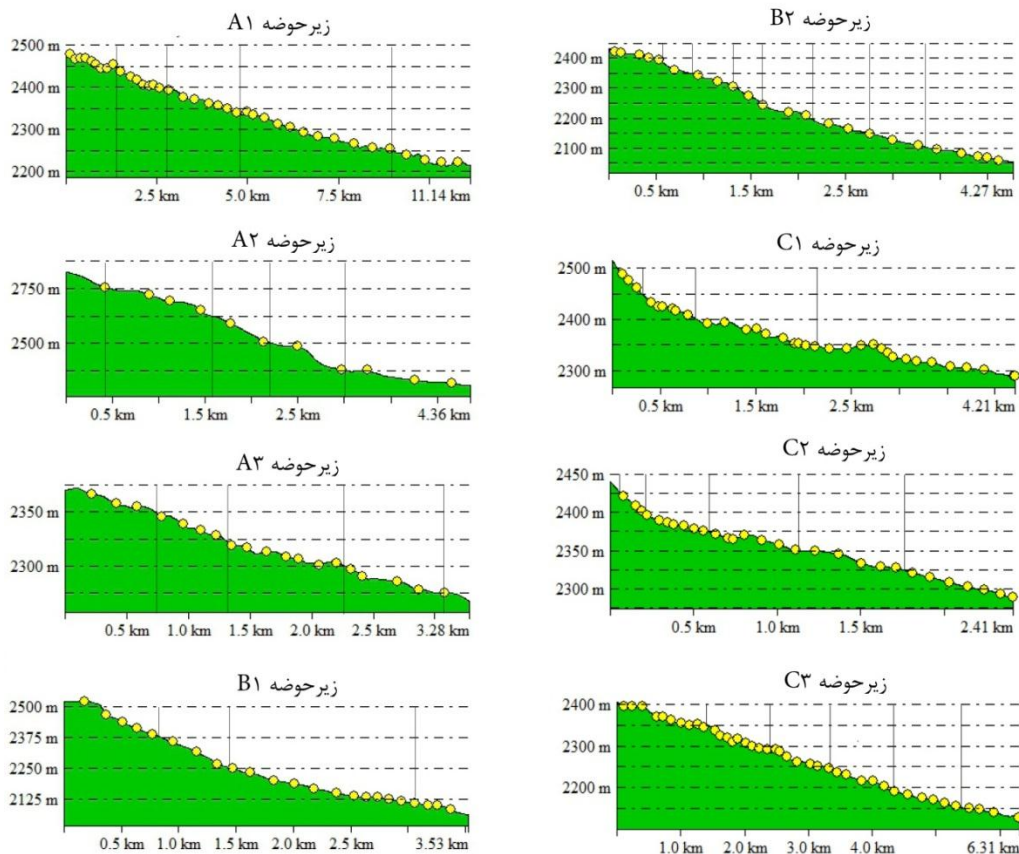
شناسی منطقه نسبت داد و مقادیر پایین این شاخص گویای سکون زمین ساختی یا مقاومت کم سنگ بستر حوضه است. همان گونه که بیان گردید، به علت یکسان بودن مقاومت سنگ شناسی، در واحدهای رسوبی گستره مورد مطالعه، میزان این شاخص در گستره، متاثر از تغییرات سنگ شناسی نبوده، و این شاخص بیشتر تحت تاثیر عوامل زمین ساختی است. حوضه ها را می توان بر اساس شاخص SL رده بندی کرد. رده یک شامل حوضه های فعال می باشد، که بی هنجاری زیادی را در شاخص SL نشان می دهند. رده دوم شامل حوضه های غیر فعال است که بی هنجاری کمی در شاخص SL دارند. رده سوم شامل حوضه های غیر فعال است، که شاخص SL آنها بدون بی هنجاری است (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸). به منظور اندازه گیری این شاخص، نیمرخ رودخانه اصلی برای هر یک از زیر حوضه های بخش های A، B و C تهیه شده است. و تغییرات این شاخص در طول رودخانه برای هر یک از زیر حوضه ها محاسبه گردیده، و در نهایت میانگین آن برای هر بخش ارائه شده است (جدول ۱).

جدول ۱: شاخص شیب- طول رودخانه در هر یک از زیر حوضه ها و بخش ها، و رده بندی فعالیت زمین ساختی نسبی بخش ها.

زیرحوضه آبراهه	میانگین SI برای هر زیر حوضه	میانگین SI برای هر بخش	رده بندی فعالیت زمین ساختی نسبی
A <sub>1</sub>	۲۸۰	۳۶۶	۱
A <sub>2</sub>	۴۵۵		
A <sub>3</sub>	۳۶۵		
B <sub>1</sub>	۴۵۸	۴۱۳	۱
B <sub>2</sub>	۳۶۹		
C <sub>1</sub>	۳۹۸	۳۰۶	۲
C <sub>2</sub>	۱۴۸		
C <sub>3</sub>	۳۷۲		

در رده یک قرار می‌گیرند و بخش C در رده دوم قرار می‌گیرد (شکل ۴).

بر اساس محاسبات انجام شده بالاترین میزان این شاخص مربوط به بخش B می‌باشد، بنابراین بخش B و بخش A از نظر فعالیت زمین ساختی



شکل ۴: نیمرخ رود اصلی در هر یک از زیرحوضه‌ها، و قطعاتی که شاخص در آن اندازه‌گیری شده است.

۵۰ باشد، این حوضه متقارن است، و اگر کمتر یا بیشتر از ۵۰ باشد حوضه نامتقارن می‌باشد. این شاخص به کج شدگی عمود بر روند رودخانه حساس است.

حوضه‌ها از لحاظ فعالیت زمین ساختی بر اساس میزان  $|Af-50|$  به سه رده تقسیم می‌شوند. رده یک شامل حوضه‌هایی با مقادیر  $|Af-50|$  بیشتر از ۱۵ می‌باشد، این رده از نظر زمین ساختی فعال می‌باشد. رده دوم شامل حوضه‌هایی با مقادیر  $|Af-50|$  بین ۷ تا ۱۵ می‌باشند، که این حوضه‌ها جز مناطقی با زمین ساخت نیمه فعال محسوب می‌شوند. و رده سوم شامل حوضه‌هایی

۲- عدم تقارن حوضه رودخانه، عامل بی تقارنی (Af): هندسه شبکه آبراهه‌ها را می‌توان به صورت کمی و کیفی توصیف کرد، شبکه آبراهه‌ها در مناطقی با زمین ساخت فعال الگو و هندسه مشخصی دارد. عامل عدم تقارن را می‌توان جهت ارزیابی میزان کج شدگی زمین ساختی بکار برد. این شاخص به صورت رابطه ۲ بیان می‌گردد (کلر و پینتر، ۱۹۹۶).

$$\text{رابطه ۲} \quad Af = 100 \times (Ar/At)$$

Af: عامل بی‌تقارنی، Ar: مساحت حوضه سمت راست رود اصلی و At: مساحت کل حوضه آبریز می‌باشند. اگر در حوضه‌ای این مقدار نزدیک به

گذار نبوده و این شاخص تحت تاثیر این عوامل نیست و بیشتر توسط فعالیت زمین ساختی کنترل می شود.

عامل بی تقارنی برای تمامی زیرحوضه ها و بخش های گستره مورد مطالعه محاسبه شده است، و بخش ها بر اساس عامل بی تقارنی رده بندی شده اند (جدول ۲).

جدول ۲: عامل بی تقارنی حوضه های آبراهه، و رده بندی این حوضه ها بر اساس عامل بی تقارنی.

زیرحوضه	$Af=100 \times (Ar/At)$	$Af= 50 - Ar \times 100/At $	میانگین   Af-50	رده بندی فعالیت زمین ساختی
A <sub>1</sub>	۳۱/۳	۱۸/۷	۱۳/۶	۲
A <sub>2</sub>	۳۱/۹	۱۸/۱		
A <sub>3</sub>	۵۴	۴		
B <sub>1</sub>	۳۱	۱۹	۱۵/۱	۱
B <sub>2</sub>	۶۱/۲	۱۱/۲		
C <sub>1</sub>	۵۹/۸	۹/۸	۶/۹	۳
C <sub>2</sub>	۳۹/۶	۱۰/۴		
C <sub>3</sub>	۴۹/۵	۰/۵		

فراز سنجی بیان می شود، بنابراین گویای حجم فرسایش نیافته یک حوضه می باشد (پایک و ویلسون، ۱۹۷۱؛ مایر، ۱۹۹۰؛ کلر و پینتر، ۲۰۰۲).

بر اساس انتگرال فراز سنجی هر گستره را می توان از لحاظ فعالیت زمین ساختی نسبی رده بندی کرد، رده یک شامل حوضه هایی با زمین ساخت فعال است، که میزان این شاخص در آنها بیش از ۰/۵۷ است. رده دوم شامل مناطقی با زمین ساخت نیمه فعال، با Hi بین ۰/۵۷ - ۰/۴۷ است. رده سوم مناطقی با زمین ساخت غیر فعال می باشد، که میزان این شاخص در آنها کمتر از ۰/۴۷ است (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

به منظور محاسبه این شاخص ابتدا نمودار فراز سنجی بر اساس نسبت (h/H) در هر زیرحوضه به نسبت (a/A) در همان زیر حوضه ترسیم شده است (شکل ۵).

است که | Af-50 | آنها کمتر از ۷ می باشد و این حوضه ها معرف مناطقی با زمین ساخت غیر فعال می باشند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

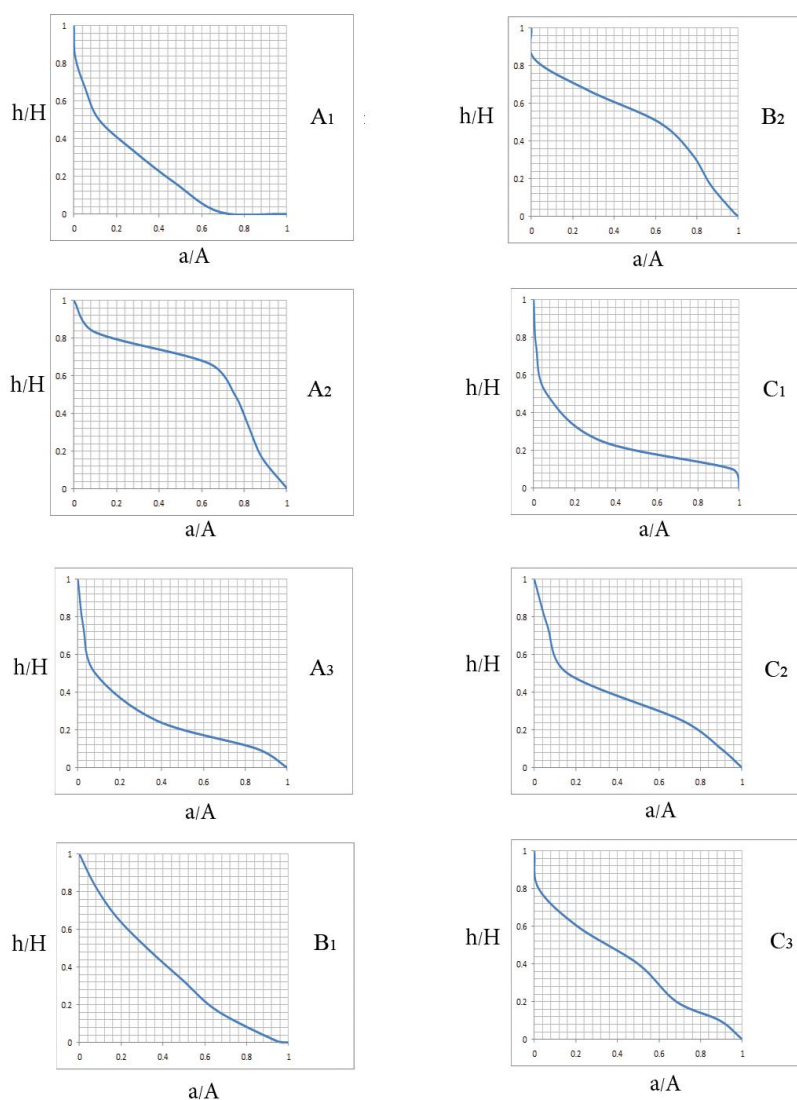
همان گونه که بحث شد، عامل بی تقارنی میزان کج شدگی زمین ساختی حوضه آبریز را در جهت عمود بر کانال رود اصلی نمایش می دهد، عوامل سنگ شناسی و آب و هوایی در این شاخص تاثیر

بر اساس مطالب ذکر شده بخش B با میزان عامل بی تقارنی ۱۵/۱ از نظر فعالیت زمین ساختی در رده یک قرار می گیرد. و دو بخش A و C به ترتیب در رده های دوم و سوم قرار می گیرند. بنابراین بخش B میزان کج شدگی زمین ساختی بیشتری نسبت به دو حوضه مجاور خود دارد، به عبارت دیگر فعالیت زمین ساختی آن نسبت به دو بخش مجاورش بیشتر است.

۳- انتگرال فراز سنجی (Hi): منحنی فراز سنجی، توزیع ارتفاعات را در یک حوضه آبریز نمایش می دهد، و با ترسیم نمودار نسبت ارتفاع کل حوضه به نسبت مساحت کل حوضه تعریف می شود (کلر و پینتر، ۲۰۰۲).

به عبارت دیگر انتگرال فراز سنجی شاخصی برای بیان توزیع ارتفاع در یک چشم انداز معین است (استرالر، ۱۹۵۲). این شاخص وابسته به مساحت حوضه می باشد، و به صورت مساحت زیر منحنی





شکل ۵: منحنی فراز سنجی زیر حوضه‌های گستره مورد مطالعه.

بالای این شاخص معرف برش عمقی یک سطح زمین ریختی جوان است. بنابراین مقادیر بالای این شاخص مربوط به سرزمین‌هایی با زمین ساخت جوان و فعال می‌باشد. همانند بالآمدگی‌هایی که در ارتباط با چین خوردگی و گسلش ایجاد شده‌اند. و مقادیر پایین آن مربوط به چشم اندازه‌های قدیمی‌تر است، که بیشتر فرسایش یافته و کمتر تحت تاثیر زمین ساخت فعال بوده‌اند.

سپس مساحت زیر هر نمودار به عنوان مقدار انتگرال فراز سنجی آن زیر حوضه اندازه‌گیری شده است. و نتایج این محاسبات در جدول ۳ ارائه شده است. از آنجایی که این شاخص تحت تاثیر مقاومت سنگ شناسی می‌باشد، به تنهایی گویای فعالیت زمین ساختی نمی‌باشد. هر چند که مقادیر بالای این شاخص حاکی از آن است که زمین‌های مرتفع فرسایش چندانی نداشته است و گویای یک چشم‌انداز جوان می‌باشد، که تحت تاثیر زمین ساخت فعال ایجاد شده است. نرخ

جدول ۳: انتگرال فراز سنجی در زیر حوضه‌ها و بخش‌های گستره مورد مطالعه و رده‌بندی زمین ساختی.

زیر حوضه	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Hi زیر حوضه	۰/۲۱	۰/۶۴	۰/۲۳	۰/۴۳	۰/۵۲	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۳۶
Hi بخش	۰/۳۶			۰/۴۷		۰/۳۱		
رده بندی فعالیت زمین ساختی	۳			۲		۳		

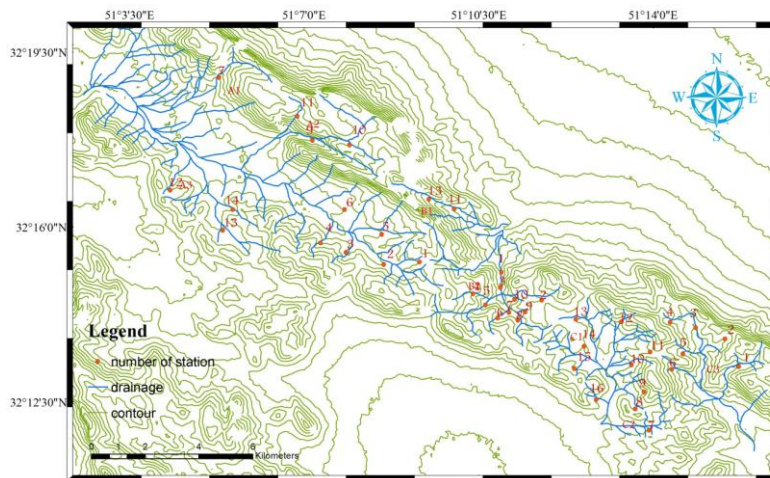
چپ،  $E_{rd}$ : ارتفاع خطوط آبریز سمت راست و  $E_{sc}$ : ارتفاع بستر دره می‌باشند. مقادیر بالای این شاخص مربوط به دره‌های U شکل با بستر نسبتاً پهن می‌باشد، و مقادیر پایین این شاخص مربوط به مناطقی با دره‌های V شکل و باریک می‌باشد. مقادیر پایین این شاخص گویای مناطقی با زمین ساخت فعال است. همچنین بالآمدگی زمین ساختی و برش عمقی دره‌ها را نمایش می‌دهد. و مقادیر بالای این شاخص سکون زمین ساختی منطقه را بیان می‌دارد (کلر و پینتر، ۲۰۰۲). این شاخص به اندازه حوضه، میزان تخلیه حوضه و سنگ شناسی حوضه بستگی دارد، از این رو این شاخص باید در مناطقی با زمین شناسی مشابه مقایسه شود (شکل ۶).

بر اساس محاسبات انجام شده بخش B، با میزان انتگرال فراز سنجی ۰/۴۷ از نظر فعالیت زمین ساختی در رده دوم قرار می‌گیرد. و این در حالی است که بخش‌های A و C از لحاظ فعالیت زمین ساختی در رده سوم قرار می‌گیرند. پس فعالیت زمین ساختی در بخش B بیشتر از دو بخش مجاورش است.

۴- نسبت پهنای بستر دره به ارتفاع دره  $V_f:V_f$  نسبت پهنای بستر دره به میانگین ارتفاع دره است (بول و مک فادن، ۱۹۷۷)؛ (بول، ۱۹۷۸). و به صورت رابطه ۳ تعریف می‌گردد.

$$V_f = 2V_{fw} / [(E_{rd} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]$$

$V_f$ : نسبت پهنای بستر دره به ارتفاع دره،  $V_{fw}$ : پهنای بستر دره،  $E_{rd}$ : ارتفاع خطوط آبریز سمت



شکل ۶: نقشه حوضه آبراهه‌ها، به همراه خطوط تراز توپوگرافی گستره مورد مطالعه، موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری شاخص  $V_f$  شماره گذاری شده است.

در منطقه مورد مطالعه، تنوع سنگ شناسی چندانی در بین حوضه‌ها وجود ندارد. پس این شاخص برای حوضه‌های مختلف بخش‌های سه گانه A، B و C در چندین ایستگاه محاسبه شده است و نتایج هر ایستگاه در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: اندازه گیری شاخص  $V_f$  در ایستگاه‌های مختلف بخش‌های سه گانه A، B و C و محاسبه میانگین آن برای هر بخش.

شماره ایستگاه‌های بخش A	$V_f$	شماره ایستگاه‌های بخش B	$V_f$	شماره ایستگاه‌های بخش C	$V_f$
۱	۲/۰۳	۱	۰/۵۲	۱	۰/۶۱
۲	۰/۹۲	۲	۱/۶	۲	۰/۸۷
۳	۲/۴	۳	۰/۴۴	۳	۰/۹۰
۴	۰/۸	۴	۱/۴۳	۴	۱/۱۸
۵	۱/۰۱	۵	۰/۷	۵	۱/۲۵
۶	۰/۹۳	۶	۰/۹۵	۶	۱/۸۶
۷	۰/۹۷	۷	۰/۴۲	۷	۱/۳۶
۸	۱/۱۰	۸	۰/۴۷	۸	۱/۲۴
۹	۰/۴۲	۹	۱/۲۱	۹	۱/۹۰
۱۰	۱/۶۷	۱۰	۱/۲۱	۱۰	۳/۰۲
۱۱	۲/۵	۱۱	۰/۷۶	۱۱	۱/۱۷
۱۲	۳/۰۸	۱۲	۰/۷۷	۱۲	۲/۳
۱۳	۱/۳۷	میانگین $V_f$ برای بخش B	۰/۸۷	۱۳	۲/۳
۱۴	۱/۰۴			۱۴	۱/۱۲
میانگین $V_f$ برای بخش A	۱/۴۴			۱۵	۱/۴۶
				۱۶	۲
				میانگین $V_f$ برای بخش C	۱/۵۳

رده سوم شامل دره‌های غیر فعال با شاخص  $V_f$  بیشتر از ۱.

بنابر محاسبات انجام شده بخش B با میزان  $V_f$  ۰/۸۷ از لحاظ فعالیت زمین ساختی نسبت به دو بخش دیگر A و C فعال تر می‌باشد، و در رده دوم قرار می‌گیرد. در حالی که بخش‌های A و C در رده سوم قرار می‌گیرند. بنابراین دره‌ها در بخش

دره‌ها بر اساس این شاخص، از لحاظ فعالیت زمین ساختی در سه رده قرار می‌گیرند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

رده اول شامل دره‌های فعال با شاخص  $V_f$  کمتر از ۰/۵.

رده دوم شامل دره‌های نیمه فعال با شاخص  $V_f$  بین ۰/۵-۱.

فرآیندهای فرسایشی پیشانی کوهستان بسیار نامنظمی را ایجاد خواهند کرد، و مقدار  $Smf$  افزایش خواهد یافت.

این شاخص می تواند گویای فعالیت زمین ساختی یک گستره باشد، به گونه ای که می توان کوهستان را از لحاظ فعالیت زمین ساختی، بر اساس مقدار این شاخص به سه رده تقسیم کرد. رده یک شامل پیشانی هایی با مقادیر  $Smf$  کمتر از ۱/۱ می باشد، که این مناطق زمین ساخت فعال را منعکس می کنند. رده دوم شامل پیشانی هایی، با مقدار  $Smf$  بین ۱/۱-۱/۵ است، که گویای مناطقی با زمین ساخت نیمه فعال می باشد. و رده سوم شامل کوهستان هایی با مقادیر  $Smf$  بیشتر از ۱/۵ است، که مربوط به پیشانی های غیرفعال می باشد (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

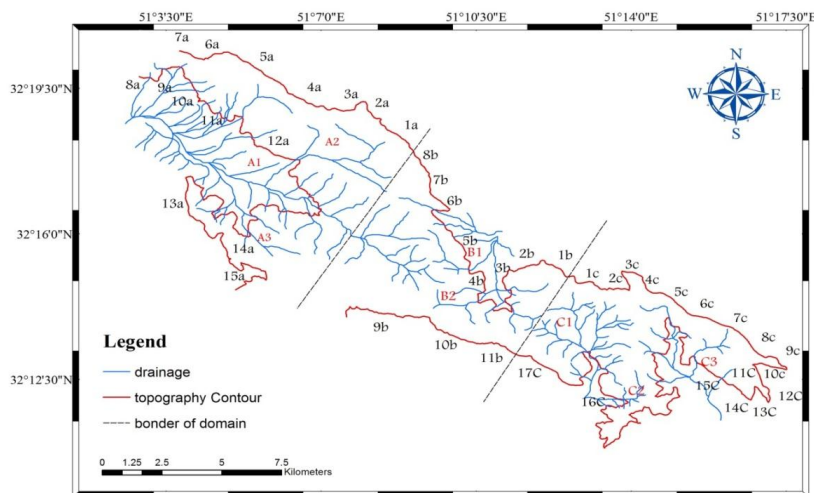
در راستای محاسبه این شاخص، خط تراز توپوگرافی ۲۳۵۰ متری، مرز بین کوهستان و دشت در نظر گرفته شده است. سپس برای محاسبه دقیق این شاخص، اندازه گیری در تکه های متعددی از هر بخش انجام گرفته است (شکل ۷).

B نسبت به دو بخش دیگر عمیق تر و فعال تر می باشند.

۵- شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان ( $Smf$ )  
شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان (بول و مک فادن، ۱۹۷۷)؛ (بول، ۱۹۷۸) توسط رابطه ۴ تعریف می شود. رابطه ۴)  
 $Smf = Lmf/Ls$

$Smf$ : شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان  $Lmf$ : طول پیشانی کوهستان در پای کوهستان، جایی که یک تغییر در شیب، از کوهستان به کوهپایه روی می دهد،  $Ls$ : طول خط مستقیم پیشانی کوهستان است.

این شاخص گویای تعامل بین عوامل زمین ساختی قائم که تمایل به ایجاد یک خط مستقیم در کوهستان دارند. و عوامل فرسایشی است، که تمایل به فرسودن و افزایش پیچ و خم در کوهستان را دارند (بول و مک فادن، ۱۹۷۷).  
پیشانی کوهستان هایی که در ارتباط با زمین ساخت فعال (چین خوردگی، گسلش و بالآمدگی) می باشد، نسبتا مستقیم و مقدار  $Smf$  آنها نسبتا پایین می باشد. اگر نرخ بالآمدگی کاهش یابد،



شکل ۷: نحوه اندازه گیری شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان در گستره مورد مطالعه، نمایش قطعاتی که شاخص  $Smf$  در آن اندازه گیری شده است.

میزان این شاخص برای هر بخش محاسبه شده، و نتایج آن در جدول های ۵ و ۶ ارائه شده است. بر این اساس بخش B و A با مقادیر Smf کمتر از ۱/۱ فعالیت زمین ساختی بالایی را نشان می-دهند، و در رده یک قرار می-گیرند، در حالی که بخش C با اختلاف اندکی در رده دوم قرار می-گیرد.

جدول ۵: شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان، در بخش‌های سه گانه گستره مورد مطالعه.

تکه های اندازه گیری شده در بخش A	Smf در بخش A	تکه های اندازه گیری شده در بخش B	Smf در بخش B	تکه های اندازه گیری شده در بخش C	Smf در بخش C
1a	۱/۱۳۸	1b	۱/۰۹۴	1c	۱/۰۷۶
2a	۱/۱۵۶	2b	۱/۱۴۹	2c	۱/۱۱۰
3a	۱/۲۱۲	3b	۱/۰۱۶	3c	۱/۰۳۰
4a	۱/۰۷۶	4b	۱/۰۷۵	4c	۱/۰۱۰
5a	۱/۰۰۴	5b	۱/۰۲۴	5c	۱/۰۳۸
6a	۱/۰۹۸	6b	۱/۰۱۲	6c	۱/۱۷۲
7a	۱/۰۱۰	7b	۱/۰۰۳	7c	۱/۰۶۷
8a	۱/۰۶۳	8b	۱/۰۱۴	8c	۱/۰۶۰
9a	۱/۱۱۵	9b	۱/۰۳۵	9c	۱/۱۷۴
10a	۱/۰۰۷	10b	۱/۰۷۹	10c	۱/۰۶۹
11a	۱/۱۲۶	11b	۱/۱۰۳	11c	۱/۳۰۷
12a	۱/۱۲۲	Smf میانگین بخش B	۱/۰۵۴	12c	۱/۰۸۴
13a	۱/۰۸۱			13c	۱/۲۴۱
14a	۱/۰۶۲			14c	۱/۰۸۰
15a	۱/۰۷۵			15c	۱/۲۰۰
Smf میانگین بخش A	۱/۰۸۹			16c	۱/۰۲۳
				17c	۱/۰۳۲
				Smf میانگین بخش C	۱/۱۰۵

جدول ۶: رده بندی زمین ساختی بخش‌ها بر اساس شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان.

بخش‌های منطقه	A	B	C
شاخص پیچ و خم پیشانی کوهستان	۱/۰۸۹	۱/۰۵۴	۱/۱۰۵
رده فعالیت زمین ساختی	۱	۱	۲

**رده بندی فعالیت زمین ساختی نسبی نهایی**

فعالیت زمین ساختی نسبی هر چشم انداز را می توان بر اساس مقادیر حاصل از محاسبه شاخص های ریخت سنجی بیان کرد. برای دستیابی به این هدف ابتدا میزان شاخص های ریخت سنجی برای هر بخش از گستره تعیین می گردد، سپس آن بخش بر اساس مقادیر هر شاخص ریخت سنجی رده بندی می شود. آنگاه میانگینی از تمامی رده بندی ها تحت عنوان S/n بیان می گردد، که این مقدار گویای رده بندی نهایی فعالیت زمین ساختی هر بخش از آن گستره می باشد. حال هر بخش بر اساس مقدار S/n بدست آمده در یکی از سه رده زیر قرار می گیرد. رده اول شامل بخش هایی است، که میزان

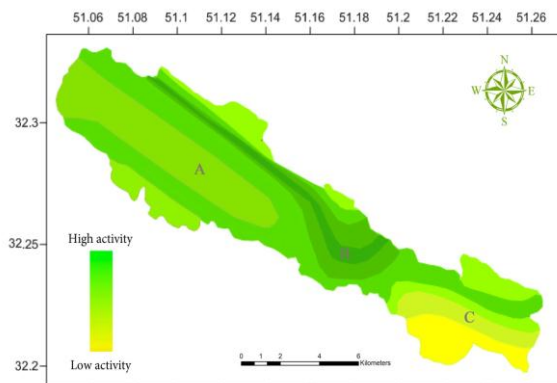
S/n آنها بین ۱-۱/۵ می باشد، که این بخش ها فعالیت زمین ساختی بسیار بالایی را از خود نشان می دهند. رده دوم شامل بخش هایی است که میزان S/n آنها بین ۱/۵-۲/۵ است، و این بخش ها فعالیت زمین ساختی بالایی دارند. و بخش های رده سوم میزان S/n آنها بیش از ۲/۵ است، که این بخش ها فعالیت زمین ساختی کمتری را از خود نشان می دهند (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸). بر اساس مطالب ذکر شده بخش های سه گانه A، B و C در گستره مورد مطالعه بر حسب شاخص های ریخت سنجی رده بندی شده اند، و در نهایت نیز مقدار S/n برای هر بخش محاسبه گردید (جدول ۷).

جدول ۷: رده بندی فعالیت زمین ساختی نسبی هر بخش و تعیین مقدار S/n

بخش	رده بندی بر اساس شاخص های ریخت سنجی					S/n	رده بندی نهایی
	SL	Af	Hi	V <sub>f</sub>	Smf		
A	۱	۲	۳	۳	۱	۲	۲
B	۱	۱	۲	۲	۱	۱/۴	۱
C	۲	۳	۳	۳	۲	۲/۶	۳

بخش C نیز با میزان S/n برابر با ۲/۶ در رده سوم از نظر فعالیت زمین ساختی نسبی قرار می گیرند.

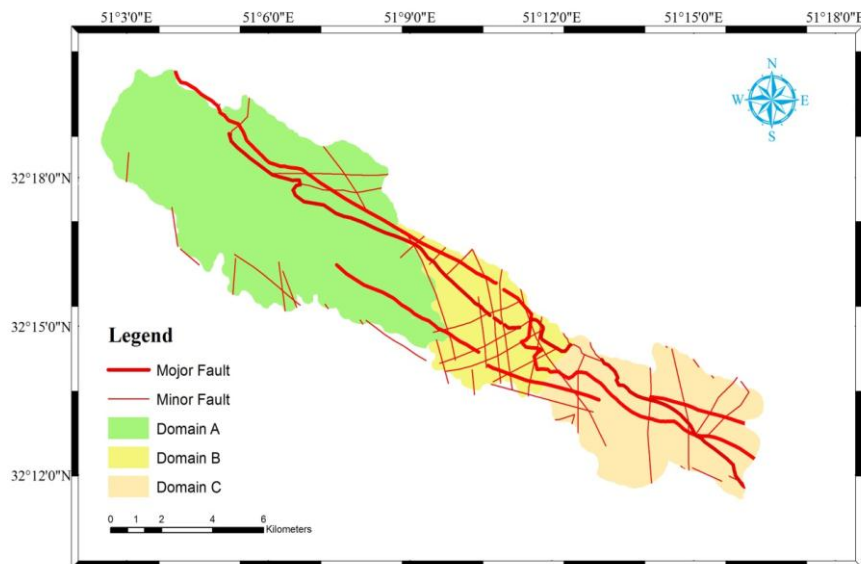
بنابراین بخش B با میزان S/n برابر با ۱/۴ در رده یک، بخش A با میزان S/n برابر با ۲ در رده دوم و بر اساس نتایج حاصل از تحلیل خطوط هم پایه، گستره مورد مطالعه، از نظر فعالیت زمین ساختی نسبی، پهنه بندی شده است (شکل ۸).



شکل ۸: نقشه فعالیت زمین ساختی نسبی گستره مورد مطالعه، رنگ سبز فعالیت زمین ساختی بالا و رنگ زرد فعالیت زمین ساختی پایین را نشان می دهد.

ترافشارشی راستبر، در گستره مورد مطالعه می‌باشد. و همچنین تراکم بالای ساختارها را در بخش B نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، بخش B در گستره مورد مطالعه بیش از دو بخش مجاورش تحت تاثیر این سامانه ترافشارشی بوده، و فعالیت زمین ساختی بیشتری را نشان می‌دهد (شکل ۹).

این پهنه بندی علاوه بر آن که، با رده بندی فعالیت زمین ساختی نسبی گستره هم خوانی دارد، با ساختارهای گستره نیز مطابقت دارد به عبارت دیگر، مطالعات ساختاری، که بر اساس برداشت های میدانی و بررسی تصاویر ماهواره ای در گستره انجام گرفته، گویای یک سامانه



شکل ۹: نمایش ساختارهای اصلی و فرعی گستره مورد مطالعه.

مورد مطالعه نیز هم‌خوانی دارد. به عبارت دیگر، بررسی‌های ساختاری نیز گویای تراکم بالای ساختارها در بخش B می‌باشد. و از آن جا که در گستره مورد مطالعه یک سامانه ترافشارشی حاکم است. بنابراین، بخش B بیش از دو بخش مجاور خود، تحت تاثیر ساختارهای حاصل از سامانه ترافشارشی قرار داشته، و فعالیت زمین ساختی آن نسبت به دو بخش مجاورش بیشتر است. بنابراین، نتایج حاصل از محاسبه و اندازه‌گیری شاخص‌های زمین ریختی، توسط شواهد ساختاری تائید می‌شود.

### بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با اندازه‌گیری پنج شاخص ریخت سنجی (SL)، (Af)، (Hi)، (Vf) و (Smf) در زیرحوضه‌های گستره مورد مطالعه، بخش‌های سه گانه گستره مورد مطالعه، از لحاظ فعالیت زمین ساختی نسبی رده بندی شده‌اند. و بر این اساس بخش B به عنوان پویاترین بخش زمین ساختی گستره معرفی شده است. این پویایی علاوه بر آن که، با نقشه پهنه بندی فعالیت زمین ساختی گستره، که بر اساس تحلیل خطوط هم پایه تهیه شده، مطابقت دارد. با الگوی ساختاری گستره

## منابع

- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۹. نقشه توپوگرافی چرمهین، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- سازمان جغرافیایی کشور، ۱۳۵۳. نقشه توپوگرافی زرین شهر، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- زاهدی، م.، ۱۳۵۵. نقشه زمین شناسی ریزه- لنجان مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- محمدی، ح.، ۱۳۸۵. بررسی ویژگی های زمین شناسی مهندسی تونل انتقال آب بهشت آباد بخش خروجی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۸. نقشه توپوگرافی فرادنبه، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۷. نقشه توپوگرافی مجتمع فولاد مبارکه، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- Azor, A., Keller, E.A. and Yeats, R.S., 2002. Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain-Oak Ridge anticline, Ventura basin, southern California, Geological Society of America Bulletin, v. 114, P. 745-753.
- Babaahmadi, A., Safaei, H., Yassaghi, A., Vafa, H., Naeimi, A., Madanipour, S. and Ahmadi, M., 2010, A study of quaternary structures in the Qom region, West Central Iran, Journal of Geodynamics, v. 50, p. 355-367.
- Bishop, P., 2007. Long-term landscape evolution: linking tectonics and surface processes, Earth Surface Process and Land Forms, v. 32, p. 329-365.
- Bull, W.B., 1978. Geomorphic tectonic activity classes of the south front of the San Gabriel Mountains, California, and United States Geological Survey, Contract Rep, 14-08-001-G-394, Office of Earthquakes, Volcanoes, and Engineering, Menlo Park, Calif, 59 p.
- Bull, W.B. and Mc fadden, L.D., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Proceedings Vol. of 8th Annual Geomorph. Symp, Edited by Doering, D.O. State University of New York at Binghamton, Binghamton, NY, v. 1977, p. 116-138.
- Burbank, D.W. and Anderson, R.S., 2001. Tectonic Geomorphology, Blackwell Science, Oxford, 247 p.
- Cloetingh, S. and Cornu, T., 2005. Surveys on environmental tectonics, Quaternary Science, v. 24, p. 235-240.
- Cox, R.T., 1994. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi embayment, Geological Society of America Bulletin, v. 106, p. 571-581.
- England, P. and Molnar, P., 1990. Surface uplift, uplift of rock, and exhumation of rocks, Geology, v. 18, p. 1173-1177.
- Garcia-Tortosa, F. J., Alfaro, P., Galindo-Zaldivar, J., Gibert, L., Lopez Garrido, A. C., Sanz de Galdeano, C. and Urena, M., 2008, Geomorphologic Evidence of the Active Baza Fault (Betic Cordillera, South Spain), Geomorphology, v.97, p. 374-391.
- Jackson, H. R., Forsyth, D. A., Mudie, P. and Amos, C., 1984. Constraints on the Tectonic Origin of the Alpha Ridge, Proc, Joint CMOS/CGU Meet, Dalhousie Univ., Dalhousie, N.B., 87p.
- Keller, E.A. and Pinter, N., 1996. Active Tectonics. Earthquakes, Uplift,



- and Landscape. Prentice Hall, New Jersey, 338 p.
- Keller, E.A. and Pinter, N., 2002. Active Tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape, Prentice Hall, New Jersey, 362 p.
- Mayer, L., 1990. Introduction to Quantitative Geomorphology, An Exercise Manual, in Prentice Hall, Englewood, Cliffs, N.J. 384p.
- Morley, K., Kongwung, B., Julapour, A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., Warren, J., Otterdoom, H., Srisuriyon, K. and Kazemi, H., 2009. Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran the Central Basin in the Qom-Saveh area, *Geosphere*, v. 5, p. 325-362.
- Nadimi, A. and Konon, K., 2012. Strike-slip faulting in the central part of the Sanandaj-Sirjan Zone, Zagros Orogen Iran, *Journal of Structural Geology*, v. 40, p. 2-16.
- Perez- Pena, J.V., Azor, A., Azanon, J.M. and Keller, E.A., 2010. Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): Insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis, *Geomorphology*, v. 119, p. 47- 87.
- Pike, R.J. and Wilson, S.E., 1971. Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis, *Geological Society of America Bulletin*, v. 82, p. 1079-1084.
- Ramirez-Herrera, M.T., 1998. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graban, Mexican Volcanin belt, *Earth Surface Process and Land Forms*, v. 23, p. 317-322.
- Safaei, H., Taheri, A. and Vaziri-Moghadam, H., 2008. Structural analysis and evolution of the Kashan fault (Qom-Zefreh Fault), *Central Iran, Journal of Applied Science*, v. 8, p. 1426-1434.
- Schumm, S.A., Dumont, J.F. and Holbrook, J.M., 2000. Active Tectonics and Alluvial Rivers, Cambridge University Press, Cambridge, 276 p.
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, *Geological Society of America Bulletin*, v. 63, p. 1117-1142.
- Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J. and Keller, E.A., 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain), *Geomorphology*, v. 96, p. 150-173.
- D., Warren, J., Otterdoom, H., Srisuriyon, K. and Kazemi, H., 2009. Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran the Central Basin in the Qom-Saveh area, *Geosphere*, v. 5, p. 325-362.