



# فصلنامه زمین ساخت

پاییز ۱۴۰۱، سال ششم، شماره ۲۳

doi 10.22077/JT.2023.6557.1158

## بررسی فعالیت زمین ساختی گستره ابهر - لوشان بر اساس تحلیل شاخص های ریخت زمین ساختی، جنوب البرز

فاطمه محمدپور<sup>۱</sup>، زینب داودی<sup>۲\*</sup>، شهریار صادقی<sup>۳</sup>، رعنا رضوی پش<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین ساخت، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲- استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۳- دانش آموخته دکتری زمین ساخت، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

### چکیده:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۸  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰

منطقه مورد مطالعه در طارم سفلی که از نظر زمین ساختی در پهنه البرز مرکزی واقع شده است، قرار دارد. شاخص های ریخت زمین ساخت منطقه تغییرات مفید و با ارزشی را به ویژه در تعیین فعالیت زمین ساختی ارائه می دهد. زمین ساخت منطقه که سبب ایجاد خمش کوهزاد در منطقه مورد مطالعه شده است، از جمله عوامل اصلی و کنترل کننده شاخص های ریخت زمین ساختی در منطقه می باشد. کوهزاد البرز پیرامون خمش تاکستان حاوی گسل های فعال مهمی است که ممکن است در میزان پتانسیل فعالیت منطقه تاثیر گذار بوده باشد. در این پژوهش فعالیت تکتونیکی منطقه با بهره گیری شاخص های ریخت زمین ساختی نظیر: گرادیان طولی رودخانه (SI)، نسبت پهنای کف دره به عمق دره (Vf)، انتگرال و منحنی هیپسومتری (Hi)، نسبت شکل حوضه (Bs)، پیچ و خم رودخانه (S)، عدم تقارن حوضه آبراهه در حوضه آبریز (Af)، تقارن توپوگرافی عرضی (T) و تراکم سطحی آبراهه (P) مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه با بهره گیری از نقشه های زمین شناسی و توپوگرافی، مطالعات سنجش از دور بر روی تصاویر ماهواره ای Landsat با استفاده از نرم افزارهای ArcGIS و Global mapper به انجام رسیده است. در نهایت یافته های این پژوهش با استفاده از شاخص فعالیت نسبی زمین ساختی (Iat) برآورد شده است. مقادیر این شاخص نشانگر فعالیت زمین ساختی بالا در قسمت میانی منطقه و فعالیت زمین ساختی متوسط و کم به ترتیب در قسمت شمال غرب و جنوب شرقی منطقه است.

**کلمات کلیدی:** فعالیت زمین ساختی، شاخص های ریخت زمین ساختی، نوزمین ساخت، ابهر-لوشان، جنوب البرز.

\* ایمیل: z.davoodi@SCI.ikiu.ac.ir

تلفن تماس: ۰۹۱۲۵۳۹۳۵۶۵

## **Assessment of tectonic activity using morphotectonic indices in Abhar-Lushan area, south of Alborz**

**Fatemeh Mohamadpour<sup>1</sup>, Zeinab Davoodi<sup>2\*</sup>, Shahryar Sadeghi<sup>2</sup>, Raana Razavi Pash<sup>3</sup>**

1- Ms Student, Department of Geology, Faculty of Science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2- Assistant prof., Department of Geology, Faculty of Science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

3- Ph.D in Tectonics, Department of Earth Sciences, College of Sciences, Shiraz University, Shiraz , Iran

### **Abstract:**

The study area is located in the Tarom Sofla region, which is located in the central Alborz tectonic zone. Morphotectonic indices of the region provide useful and valuable variations, especially in determining tectonic activity. The tectonics of the region, which caused the bending of the Alborz belt in the study area, is one of the main factors controlling the morphotectonic indicators in the region. Alborz orogenic belt has important active faults around the Takestan bend which may affect the activity potential of the area. In this research, the tectonic activity of the region has been investigated by calculation of morphotectonic indices including stream length-gradient index (Sl), ratio of valley-floor width to valley height index (Vf), hypsometric integral index (Hi), drainage basin shape (Bs), stream sinuosity index (S), drainage basin asymmetry index (Af), transverse topographic symmetry index (T), and the planar surface density index (P). This study has been carried out using geological and topographical maps together with remote sensing of Landsat images, by using Arc GIS and Global mapper softwares. Finally, the results have been estimated using the evaluation of relative tectonic activity (Iat). The indicative values of Iat indicate high tectonic activity in the middle part, and moderate and low tectonic activity in the northwest and southeast part of the area, respectively.

**Keywords:** Tectonic activity, Morphotectonic indices, Neotectonics, Abhar-Lushan, South of Alborz.

---

\*Email: z.davoodi@SCI.ikiu.ac.ir

Tel: +989125393565

## مقدمه

ریخت‌زمین‌ساختی رودخانه سفیدرود، استان گیلان، با ارتباط بین گرادیان طولی رودخانه و نیمرخ طولی رودخانه، وضعیت زمین‌ساخت فعال منطقه رودبار واقع در شمال منطقه مورد مطالعه را بررسی کرده است. بر این اساس، علت کاهش انحنای رودخانه سفیدرود و افزایش گرادیان طولی رودخانه می‌تواند بیانگر این باشد که محدوده از نظر زمین‌ساختی فعال است.

قافله باشی (۱۴۰۰) نیز به تحلیل هندسی و جنبشی گسل شمال قزوین در جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه پرداخته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که پهنه گسلی شمال قزوین یک پهنه گسلی فعال است، که فعالیت‌های جوان آن به صورت معکوس چپ‌بر و بر روی شاخه جنوبی گسل واقع در درون رسوبات جوان کواترنری شکل می‌گیرد.

داغینه و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای که در بخش‌های شمالی منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است به تحلیل ساختاری منطقه طارم در جنوب سد منجیل پرداخته‌اند. در نتایج این پژوهش در منطقه میان کوهستانی البرز غربی فاز کششی منجر به شکل‌گیری گسل‌های نرمال با روند شمال‌غربی در واحدهای نئوژن شده است. همچنین از اواسط نئوژن بعد از فاز کششی فاز ترفشارشی در منطقه حاکم شده است که منجر به شکل‌گیری چین‌های شمال‌غربی و گسل‌های نرمال غربی-شرقی در لایه‌های نئوژن منطقه شده است. باید توجه داشت که در بسیاری مواقع، تفکیک اثرات ناشی از حرکات زمین‌ساخت فعال از اثرات فرسایش بر روی ریخت‌شناسی بسیار دشوار می‌باشد و نباید تنها با استفاده از یک شاخص در مورد فعال بودن منطقه قضاوت نمود. بنابراین به منظور ارزیابی درجه نسبی فعالیت زمین‌ساختی یک ناحیه معمولاً نتایج حاصل از چند شاخص با یکدیگر ترکیب می‌شوند. شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی به طور گسترده‌ای به عنوان ابزاری برای شناسایی و مشخص کردن بخش‌های تغییرشکل یافته به وسیله گسل‌های فعال مورد استفاده قرار گرفته‌اند که شاخص‌های خاصی مبتنی بر تحلیل شبکه زهکشی یا جبهه‌های کوهستان می‌باشند (El Hamdouni et al., 2008). از آنجا که تاکنون در محدوده خمش تاکستان مطالعات دقیق و کاربردی نوزمین‌ساختی انجام نگرفته است، به منظور برآورد

شواهد زمین‌ریخت‌شناسی در ارزیابی زمین‌ساخت فعال و فعالیت گسل‌ها ابزاری مفید و مطمئن به شمار می‌رود، زیرا از طریق مطالعه این شواهد می‌توان مناطقی را شناسایی کرد که در گذشته فعالیت‌های سریع یا حتی کند زمین‌ساختی را پشت‌سر گذاشته‌اند. اندازه‌گیری کمی چشم‌اندازها بر اساس محاسبه شاخص‌های زمین‌شناسی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و کارهای صحرایی صورت می‌گیرد. بنابراین امتیاز مهم به کارگیری این شاخص‌ها در ارزیابی سریع میزان فعالیت زمین‌ساخت وسیع می‌باشد (کرمی، ۱۳۹۱). امروزه در ارزیابی زمین‌ساخت فعال یا نوزمین‌ساخت، شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی در کنار سایر روش‌ها استفاده می‌شود. تحقیقات زیادی در سال‌های اخیر در رابطه با زمین‌ساخت فعال بر روی مناطق مختلف دنیا به عمل آمده است. برای مثال می‌توان به (Keller and Pinter, 2002)، حسامی و همکاران (۱۳۸۲)، El Hamdouni et al. (2008)، طاهرخانی (۱۳۸۹)، قافله باشی (۱۴۰۰)، داغینه و همکاران (۱۴۰۰) اشاره کرد.

الحمودنی و همکاران (El-Hamdouni et al., 2008) با بهره‌گیری از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساخت به ارزیابی زمین‌ساخت نسبی فعال جنوب اسپانیا پرداخته است که بر اساس این شاخص‌ها فعالیت زمین‌ساختی منطقه را از متوسط تا بالا توصیف کرده است. به علاوه آنوپ و همکاران (Anoop et al., 2011) با استفاده از تجزیه و تحلیل ریخت‌شناختی و محاسبه‌ی شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی نشان دادند که زمین‌ساخت فعال از عوامل مهم حاکم بر چشم‌انداز دره اسپیتی در شمال غرب هیمالیا است و تغییرات توپوگرافی آن در ارتباط با زمین‌ساخت فعال و نقش سایر عوامل مؤثر است. جیاکینیا و همکاران (Giaconia et al., 2012) به بررسی وضعیت ریخت‌زمین‌ساخت دامنه‌های سیرا در جنوب شرقی اسپانیا پرداختند. در تحقیق ایشان از یک شاخص زمین‌ریخت‌شناسی استفاده و استنباط شده است که فعالیت‌های زمین‌ساختی مؤثر بر تغییرشکل آبراه‌ها در محدوده مطالعاتی مربوط به دو منطقه گسلی است.

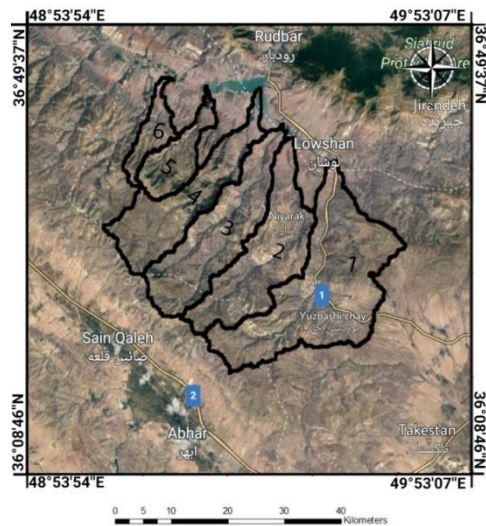
انصاری (۱۳۹۶) مبتنی بر شاخص‌های

توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی بیشترین رخنمون سنگی منطقه را واحدهای ائوسن تشکیل می‌دهد (شکل ۲). در نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه، اطلاعاتی درباره‌ی ساختارها از جمله گسلش‌های راندگی و چین‌خوردگی در منطقه مورد نظر آمده است. از گسل‌های اصلی محدوده مورد مطالعه می‌توان به گسل رورانه آقابابا، گسل هرزیویل منجیل، گسل رودبار، گسل شمال قزوین و خطواره سلطانیه اشاره کرد. محدوده مورد مطالعه دارای ۶ زیرحوضه است (شکل ۲).

### روش تحقیق

ابتدا با استفاده از مدل ارتفاعی رقمی (DEM) که از طریق سایت [www.usgs.gov](http://www.usgs.gov) دریافت شد و توسط نرم‌افزار Arc map زیرحوضه‌های آبریز منطقه استخراج شد و در ادامه، منطقه مورد مطالعه به ۶ زیرحوضه تقسیم‌بندی شد. این زیرحوضه‌ها بخشی از حوضه بزرگ شاهرود و قزل اوزن بوده و به آن می‌ریزند. زیرحوضه، محدوده‌ای است که شامل یک آبراهه اصلی و تعدادی آبراهه‌های فرعی است که به آن می‌پیوندند و آن را تغذیه می‌کنند. اساس جدا کردن مرز یک زیرحوضه با زیرحوضه مجاور، خط الراس کوهها می‌باشد. برای این تقسیم‌بندی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (تاکستان، جیرنده، رودبار و ابهر)، نرم‌افزارهای Arc و Google Earth map بهره‌گیری شد. به منظور ارزیابی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی و همچنین تهیه نقشه خروجی نهایی از نرم‌افزارهای ArcGIS و Global mapper استفاده شد و سپس برای بررسی تاثیر زمین‌ساخت در زیرحوضه‌های مورد مطالعه نتایج حاصل از آن برای شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی مورد مطالعه شامل: شاخص گرادیان طولی رودخانه (SI)، شاخص نسبت پهنای کف دره به عمق دره (Vf)، انتگرال و منحنی هیسومتری (Hi)، شاخص نسبت شکل حوضه (Bs)، شاخص پیچ و خم رودخانه (S)، شاخص عدم تقارن حوضه آبراهه در حوضه آبریز (Af)، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی (T) و شاخص تراکم سطحی آبراهه (P) و شاخص نسبت فعالیت زمین‌ساختی (Iat) است (جدول ۱).

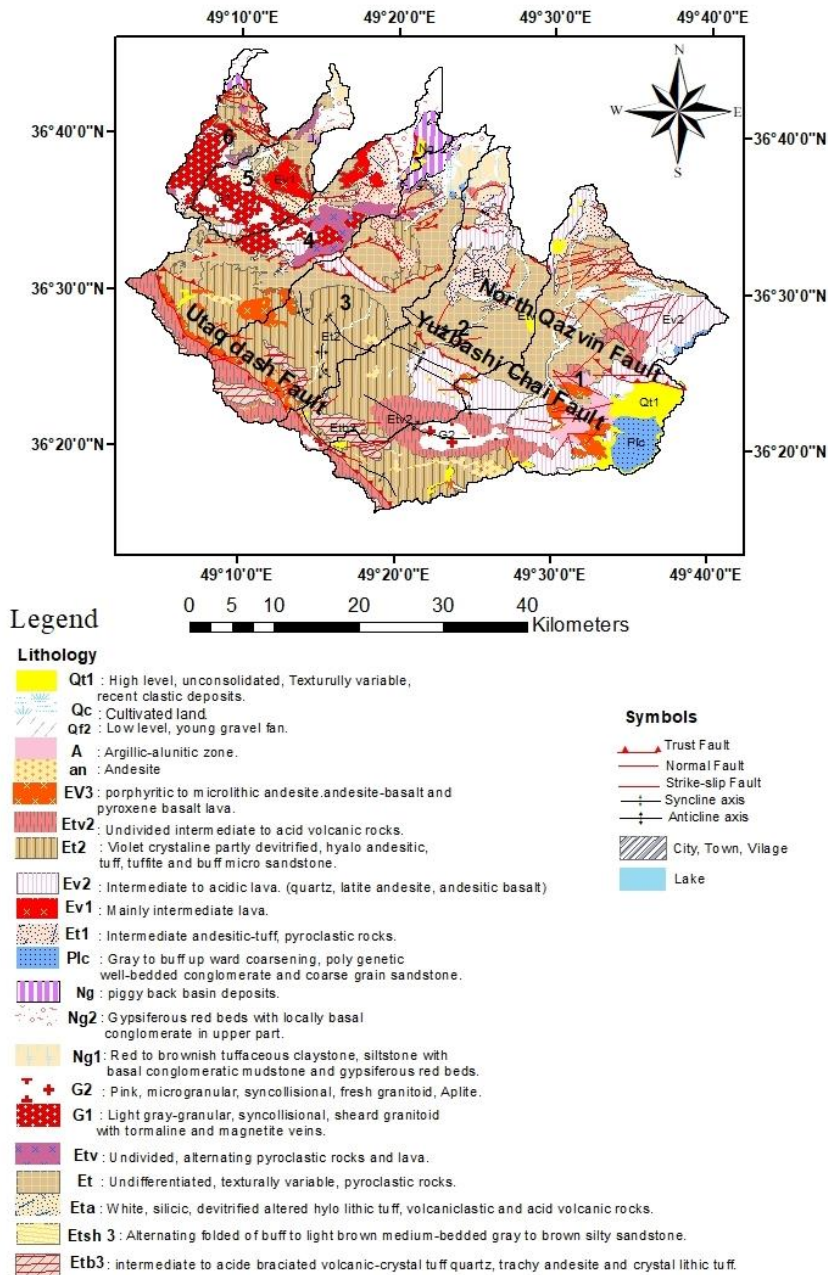
پتانسیل فعالیت بخش غربی خمش تاکستان (شکل ۱) به مطالعه شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی در منطقه پرداخته شد. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در پی‌جویی علت خمیدگی کوهزاد البرز راهگشا باشد.



شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای از موقعیت زیرحوضه‌های آبریز منطقه مورد مطالعه بر روی گوگل ارث.

### موقعیت و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

گستره‌ی مورد مطالعه در شمال‌غربی استان قزوین در منطقه طارم‌سفلی با مساحت ۱۷۰۰ کیلومتر مربع و در بین عرض‌های جغرافیایی «۳۶°۰۸'۴۶» و «۳۶°۴۹'۳۷» شمالی و طول جغرافیایی «۴۹°۵۳'۰۷» و «۴۸°۵۳'۵۴» قرار گرفته است و از سمت شمال به رودبار، از قسمت شمال‌شرق به منطقه‌ی جیرنده، از سمت شرق به شهرستان تاکستان و از سمت جنوب‌غرب به شهرستان ابهر ختم می‌شود (شکل ۱). کمترین نقطه از سطح دریا با ارتفاع ۲۴۰ متر در شمال منطقه و در کناره‌ی دریاچه سد سفیدرود واقع شده است و مرتفع‌ترین نقطه با ارتفاع ۲۹۳۳ متر در بخش میانی این منطقه می‌باشد. این بخش، در تقسیم‌بندی نبوی (۱۳۵۵) در پهنه البرز قرار دارد و از نظر تقسیم‌بندی اشتوکلین (Stöcklin, 1968) در پهنه البرز مرکزی قرار گرفته است. بخش طارم‌سفلی به مرکزیت شهر سیردان یکی از بخش‌های شهرستان قزوین در استان قزوین می‌باشد. محدوده مورد مطالعه در برگیرنده بخش‌هایی از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ تاکستان، ابهر، جیرنده و رودبار می‌باشد (میرتوحیدی و محمدی، ۱۳۷۹؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۵؛ قائمی، ۱۳۸۱ و نظری و همکاران، ۱۳۷۷). واحدهای چینه‌شناسی منطقه شامل پالئوژن (ائوسن)، نئوژن و کواترنر می‌باشد که با



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، برگرفته از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ تاکستان (میرتوحیدی و محمدی، ۱۳۷۹)، ابهر (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵)، جیرنده (قائمی، ۱۳۸۱) و رودبار (نظری و همکاران، ۱۳۷۷).

### یافته‌های تحقیق

#### شاخص گرادیان طولی رود (SL)

این شاخص اولین بار توسط هک (Hack, 1973) ارائه شده است. شاخص SL زمانی که رودخانه‌ها و نهرها بر فراز بالا آمدگی‌های فعال جریان می‌یابند، ارزشمندتر می‌باشد (Keller & Pinter, 2002). برای محاسبه این شاخص، ابتدا نیمرخ طولی آبراهه اصلی را از روی نقشه توپوگرافی تهیه و در فواصل ۲۵ متر شاخص شیب رودخانه، برای تمام مسیر رودخانه محاسبه گردید (توضیحات و نحوه محاسبه آن در جدول ۱ و شکل

۳ آمده است). مقادیر این شاخص توسط الحمدونی و همکاران (El Hamdouni et al., 2008) به سه دسته طبقه بندی شده است: رده ۱،  $SL > 500$  با بی‌هنجاری بالا؛ رده ۲،  $300 < SL < 500$  با بی‌هنجاری متوسط و رده ۳،  $SL < 300$  با بی‌هنجاری کم. طبق این رده‌بندی تمامی زیرحوضه‌های منطقه در رده ۱ قرار دارند. در ادامه نیمرخ طولی رودخانه جهت مقایسه ارتباط بین شاخص SL و رخنمون سنگ‌شناسی و ساختارهای منطقه در هر زیرحوضه به صورت جداگانه ترسیم شد (شکل ۴). مقادیر عددی این شاخص زمانی که سنگهای بستر



تشابه جنس سنگها در طول بستر آبراهه در زیرحوضه‌ها مشهود است اما نمودار شاخص SI در طول نیمرخ‌ها آنومالی نشان می‌دهند. به همین دلیل عامل اصلی تغییرات شاخص در زیرحوضه‌های آبریز می‌تواند ناشی از فعالیت زمین‌ساختی باشد. در نیمرخ زیرحوضه ۳ انطباق پیکهای آنومالی با برخی از گسلهای منطقه مشهود است.

رود مقاوم باشند و یا در مناطقی که حرکات تکتونیکی فعال در تغییرشکل قائم پوسته زمین مؤثر باشند زیاد است و مقادیر زیاد SL در سنگهای دارای مقاومت کم و یا در سنگهای با مقاومتی یکسان در ارتباط با حرکات تکتونیکی فعال و جوان است. با توجه به نیمرخ‌های شکل ۴، عدم تنوع مقاومت سنگ‌های منطقه به علت

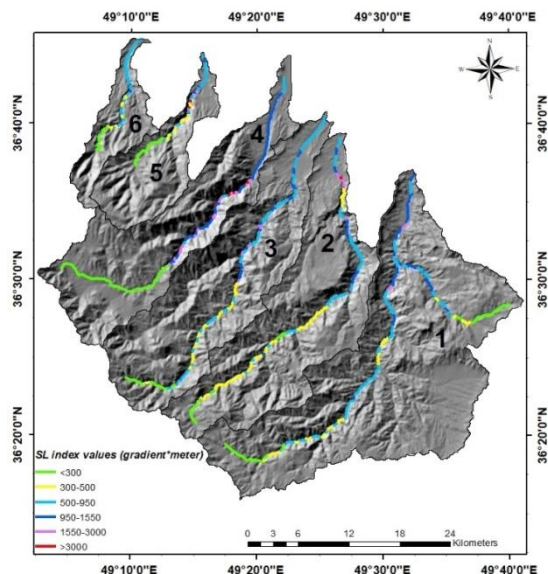
جدول ۱. خلاصه‌ای از شاخص‌های مورد استفاده برای سنجش زمین‌ساخت فعال در منطقه مورد مطالعه.

منبع	توضیحات	روش اندازه‌گیری	رابطه کمی	عنوان شاخص
Keller & Pinter, 2002	SL = شاخص گرادیان طولی رودخانه، $\Delta H$ = اختلاف ارتفاع دو نقطه انتخاب شده، $\Delta L$ = طول رودخانه بین دو نقطه انتخاب شده، $L$ = طول رودخانه از وسط منطقه اندازه‌گیری شده تا مرتفعترین نقطه رودخانه		$SI = (\Delta H / \Delta L) L$	شاخص شیب طولی رودخانه
El Hamdo uni et al., 2008	$Vf = V_f$ = نسبت پهنای دره به ارتفاع آن، $V_{fw} = V_{fwh}$ = پهنای کف دره بر حسب متر، $E_{ld}$ = ارتفاع خط تقسیم آب بین دو دره در سمت چپ دره از سطح دریا بر حسب متر، $E_{rd}$ = ارتفاع خط تقسیم آب بین دو دره در سمت راست دره از سطح دریا بر حسب متر، $E_{sc}$ = ارتفاع کف دره از دریای آزاد		$Vf = 2V_{fw} / [(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})]$	شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن
Keller & Pinter, 2002	$H_i$ = شاخص انتگرال هیپسومتری، $H_{mean}$ = میانگین ارتفاع حوضه، $H_{min}$ = حداقل ارتفاع حوضه، $H_{max}$ = حداکثر ارتفاع حوضه		$H_i = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}}$	انتگرال و منحنی هیپسومتری
Keller & Pinter, 2002	$B_s$ = شاخص شکل حوضه، $BI$ = طول حوضه از خط الرأس تا نقطه خروجی، $B_w$ = عرض حوضه در عریض‌ترین قسمت آن		$B_s = BI / B_w$	شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی
Keller & Pinter, 2002	$S$ = میزان سینوزیته یا پیچ و خم رودخانه اصلی، $C$ = طول رودخانه یا جریان، $V$ = طول دره به خط مستقیم		$S = C / V$	شاخص درجه سینوسی
Keller & Pinter, 2002	$A_f$ = شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، $A_r$ = مساحت حوضه سمت راست رود اصلی در جهت پایین رود، $A_t$ = مساحت کل حوضه زهکشی		$A_f = 100(A_r / A_t)$	شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی
Keller & Pinter, 2002	$T$ = شاخص تقارن توپوگرافی، $D_a$ = فاصله خط میانی حوضه تا کمربند فعال مئاندری حوضه (مسیر رود اصلی)، $D_d$ = فاصله بین خط میانی حوضه و خط تقسیم آب		$T = D_a / D_d$	شاخص تقارن توپوگرافی معکوس
Horton, 1945	$P$ = شاخص تراکم سطحی آبراهه، $L_i$ = طول آبراهه، $A$ = مساحت حوضه مورد نظر		$P = \sum L_i / A$	شاخص تراکم سطحی آبراهه
El Hamdo uni et al., 2008	$I_{at}$ = نسبت فعالیت‌های زمین‌ساختی، $S$ = مجموع شاخص‌ها، $N$ = تعداد شاخص‌ها	از میانگین شاخص‌های SL، $V_f$ ، $H_i$ ، $B_s$ ، $S$ ، $T$ ، $P$ می‌آید.	$I_{at} = S / N$	شاخص نسبت فعالیت‌های زمین‌ساختی

مساحت کل (مساحت نسبی) حوضه ترسیم می‌شود (جدول ۱). در این منحنی ۱ بیشترین مقدار و ۰ کمترین مقدار را نشان می‌دهد (Keller & Pinter, 2002). برای به دست آوردن این شاخص از داده‌های رقومی ارتفاعی استفاده می‌شود. در نرم افزار ArcGIS با استفاده از ابزار Reclassify داده‌های رقومی ارتفاعی گستره تقسیم‌بندی شد و با کمک نرم افزار Ex-cel داده‌های به دست آمده پردازش و نمودارها تهیه گردید. بر اساس روش کلر و پینتر (Keller & Pinter, 2002) مقادیر منحنی فراسنجی به سه دسته تقسیم می‌شود که عبارتند از رده ۱، مقادیر بالای منحنی  $Hi > 0.5$  حاکی از چشم‌اندازهای جوان و دارای فعالیت بالا؛ رده ۲، مقادیر متوسط منحنی بین  $0.4 - 0.5$  که حاکی از مناطق بالغ و نیمه فعال است و رده ۳، مقادیر پایین  $Hi < 0.4$  شامل مناطق قدیمی و زمین‌ساخت غیر فعال می‌باشد. طبق این شاخص تمامی زیرحوضه‌های منطقه با مقدار شاخص  $0.49$  و  $0.48$  در رده ۲ قرار دارند و مناطق بالغ و نیمه‌فعال محسوب می‌شوند (جدول ۳ و شکل ۷). رده‌بندی زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس این شاخص در شکل ۸ آمده است.

### شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی (BS)

مدل ارتفاعی رقومی از گستره مورد مطالعه برای محاسبه مقادیر فعالیت زمین‌ساخت تاثیر زیادی بر شکل حوضه دارد. حوضه‌های فعال، شکل کشیده‌ای دارند اما در طول زمان با توقف میزان بالا آمدگی، به تدریج دایره‌ای می‌شوند (Burbank & Anderson, 2001). برای محاسبه شاخص ابتدا طول طول‌ترین جریان آب حوضه یعنی آبراهه اصلی اندازه‌گیری می‌شود و سپس در عرض‌ترین ناحیه حوضه، عرض آن عمود بر طول‌ترین جریان آب محاسبه می‌شود. بر اساس الحمدونی و همکاران (El Hamdouni et al., 2008) شاخص Bs به ۳ رده تقسیم می‌شود: رده ۱، در صورتی که  $Bs > 4$  باشد؛ رده ۲، مقدار شاخص بین ۳-۴ باشد و رده ۳، مقدار  $Bs > 3$  باشد. در زیرحوضه‌های ۲، ۳ و ۴، مقدار این شاخص به ترتیب  $3.9$ ،  $3.6$  و  $3.3$  بوده و در رده ۲ با نرخ فعالیت متوسط قرار دارند در حالی که زیرحوضه‌های ۱، ۵ و ۶ به ترتیب با مقدار  $2.3$ ،  $2.6$  و  $2.8$  در رده ۳ با فعالیت کم قرار می‌گیرند (جدول ۴ و شکل ۹). رده‌بندی زیرحوضه‌های منطقه بر اساس این شاخص در شکل ۱۰ آمده است.



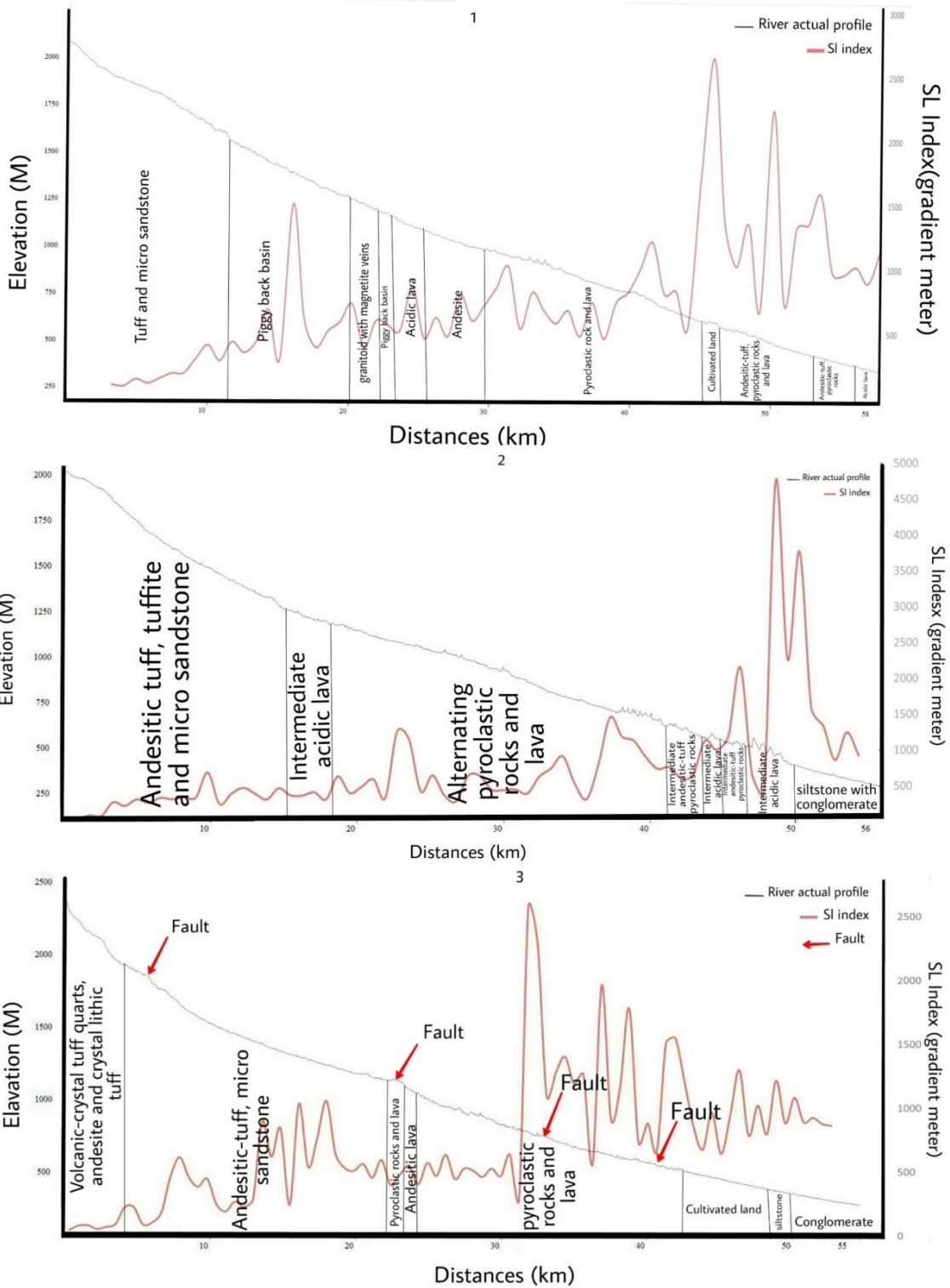
شکل ۳. مدل ارتفاعی رقومی از گستره مورد مطالعه برای محاسبه مقادیر شاخص SL.

### شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (VF)

از نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن برای بررسی میزان فعالیت نیروهای زمین‌ساختی در منطقه استفاده شده است. نسبت پهنای کف دره به ارتفاع (Vf) به شرح جدول ۱ است. برای محاسبه این شاخص در هر دره، باید پارامترهای آن در فاصله یکسانی از پیشانی کوهستان اندازه‌گیری شود. در زیرحوضه‌های ۱ تا ۳ با فاصله ۵۰۰ متر، در زیرحوضه ۴ با فاصله ۶۵۰ متر و در زیرحوضه‌های ۵ و ۶ با فاصله ۲۰۰ متر اندازه‌گیری شد. این شاخص در دره‌های U شکل دارای مقادیر بالای Vf و در دره‌های V شکل دارای مقادیر پایین Vf می‌باشند. الحمدونی و همکاران (El Hamdouni et al., 2008) شاخص VF را به سه رده تقسیم کرد: رده ۱، با  $VF < 0.5$ ؛ رده ۲، با مقدار شاخص  $0.5 < VF < 1$  و رده ۳، با مقدار  $VF > 1$ . در زیرحوضه‌های ۲، ۴ و ۵، مقدار این شاخص به ترتیب  $0.4$ ،  $0.3$  و  $0.4$  بوده و در رده ۱ با نرخ بالای برخاستگی و فعال قرار دارند در حالی که زیرحوضه‌های ۱ و ۳ با مقدار  $0.5$  و زیرحوضه ۶ با مقدار  $0.6$  در رده ۲ با فعالیت متوسط قرار می‌گیرند (جدول ۲ و شکل ۵). شکل ۶ رده‌بندی این شاخص در زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

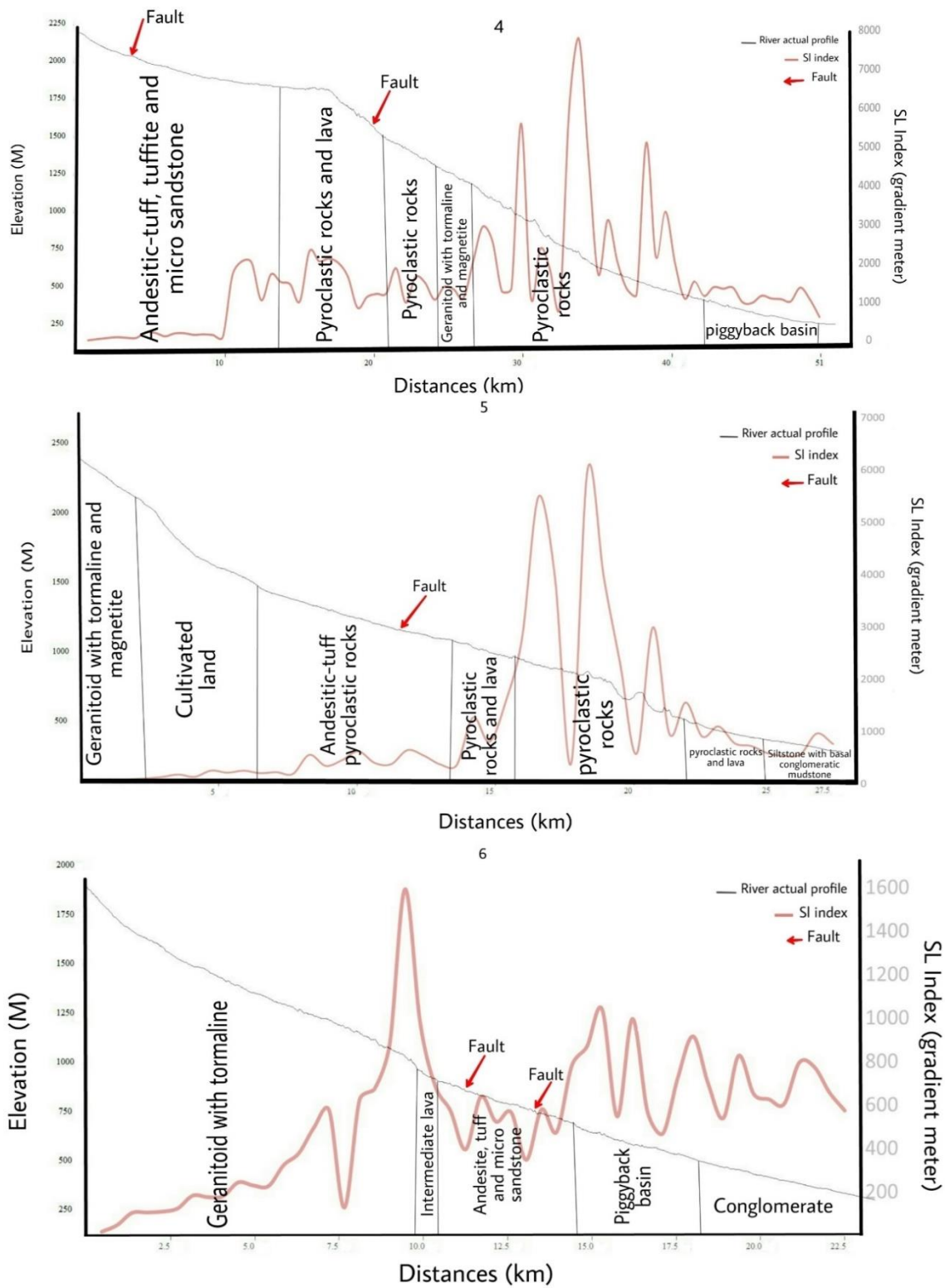
### انتگرال و منحنی هیپسومتری (Hi)

این شاخص توزیع ارتفاع را در محدوده‌ای مشخص از یک چشم‌انداز نشان می‌دهد. منحنی هیپسومتری حوضه با ترسیم ارتفاع کل (ارتفاع نسبی) در مقابل



شکل ۴. پروفیل طولی رودخانه دریا زیر حوضه مورد مطالعه و شاخص SI اندازه‌گیری شده.

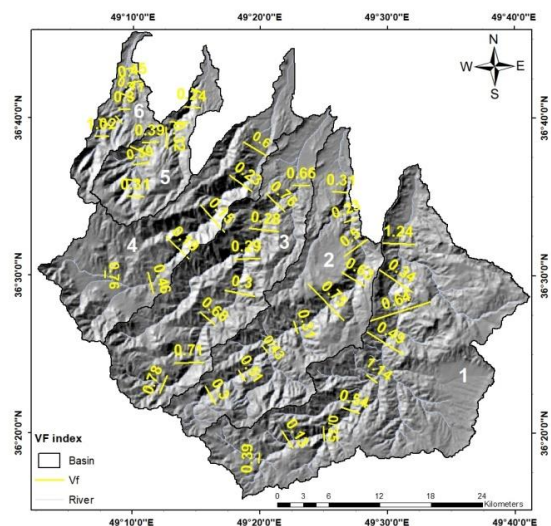
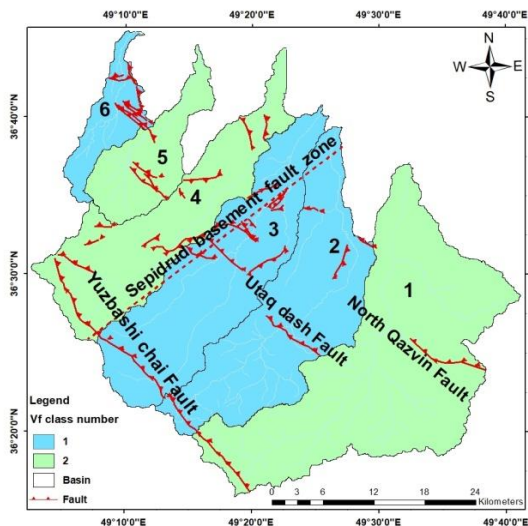




ادامه شکل ۴.

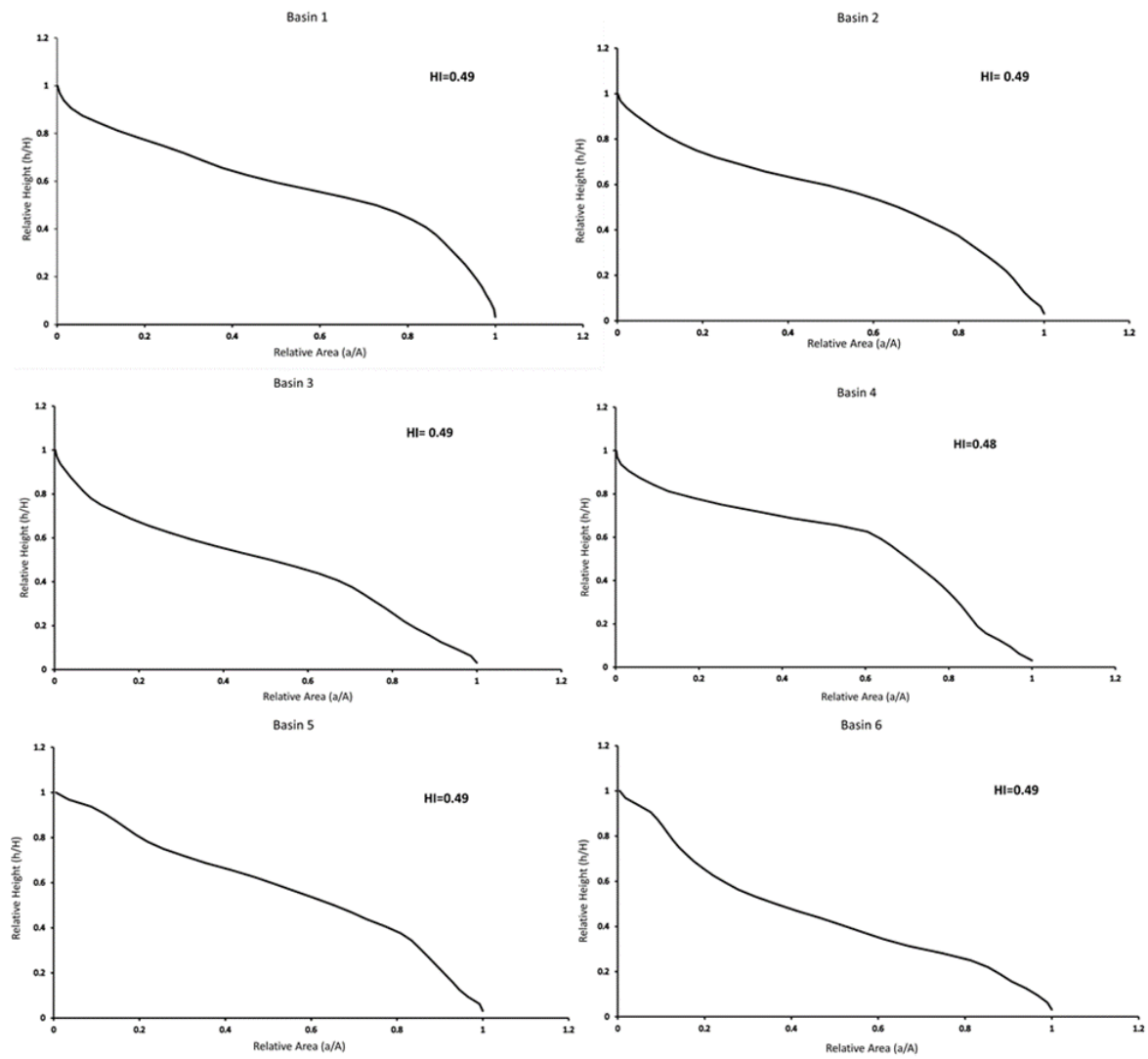
جدول ۲. شاخص VF زیرحوضه‌های ۱ تا ۶.

Category	Average	Vf	Erd_Esc	2Vfw	Esc	Erd	Eld	Sub-Basin	Basin
2	0.5	0.39	170	102	1807	1914	1957	A1	1
		0.13	309	100.4	1572	1881	1995	A2	
		0.35	183	161.4	1373	1556	1644	A3	
		0.54	355	430	1201	1556	1642	A4	
		1.14	101	290	1058	1159	1211	A5	
		0.49	239	266	952	1191	1250	A6	
		0.64	445	648	944	1389	1510	A7	
		0.34	671	464	688	1359	1355	A8	
		1.24	293	1125	557	850	1166	A9	
1	0.4	0.30	500	250	1742	2242	2058	B1	2
		0.51	411	310	1483	1894	1676	B2	
		0.43	58	114.8	1275	1333	1482	B3	
		0.31	178	114.6	1135	1313	1323	B4	
		0.75	587	862	1018	1605	1569	B5	
		0.63	450	663	862	1312	1454	B6	
		0.50	307	412	710	1017	1213	B7	
		0.23	251	118.8	595	846	852	B8	
		0.31	213	151.6	498	711	770	B9	
2	0.5	0.78	266	384	1879	2145	2104	C1	3
		0.71	183	468	1507	1690	1981	C2	
		0.68	194	330	1288	1482	1627	C3	
		0.30	487	236	1142	1629	1439	C4	
		0.29	577	264	941	1518	1248	C5	
		0.28	512	256	737	249	1131	C6	
		0.76	282	490	606	888	964	C7	
		0.66	203	195	495	698	587	C8	
1	0.3	0.76	46	79	1934	1980	1991	D1	4
		0.46	126	139.2	1827	1953	1999	D2	
		0.19	511	206	1595	2106	2167	D3	
		0.15	891	256	1186	2077	1929	D4	
		0.23	433	250	738	1171	1377	D5	
		0.60	650	392	514	635	1043	D6	
1	0.4	0.31	107	148.4	1296	1403	1655	E1	5
		0.59	149	181.2	1182	1331	1340	E2	
		0.59	397	338	1064	1461	1234	E3	
		0.50	350	328	922	1272	1224	E4	
		0.39	289	278	779	1068	1192	E5	
		0.32	201	141.8	514	715	749	E6	
		1.36	259	534	1411	1670	1543	E7	
		0.24	298	161.4	1629	1927	1997	E8	
		0.11	297	50.8	2031	2328	2188	E9	
2	0.6	0.40	224	177.4	1343	1567	1562	F1	6
		0.45	133	208	1215	1348	1537	F2	
		0.41	178	144.8	1055	1233	1222	F3	
		0.30	155	98	856	1011	1021	F4	
		0.91	223	344	756	979	909	F5	
		0.91	343	448	631	974	779	F6	
		1.02	105	139.2	531	636	562	F7	

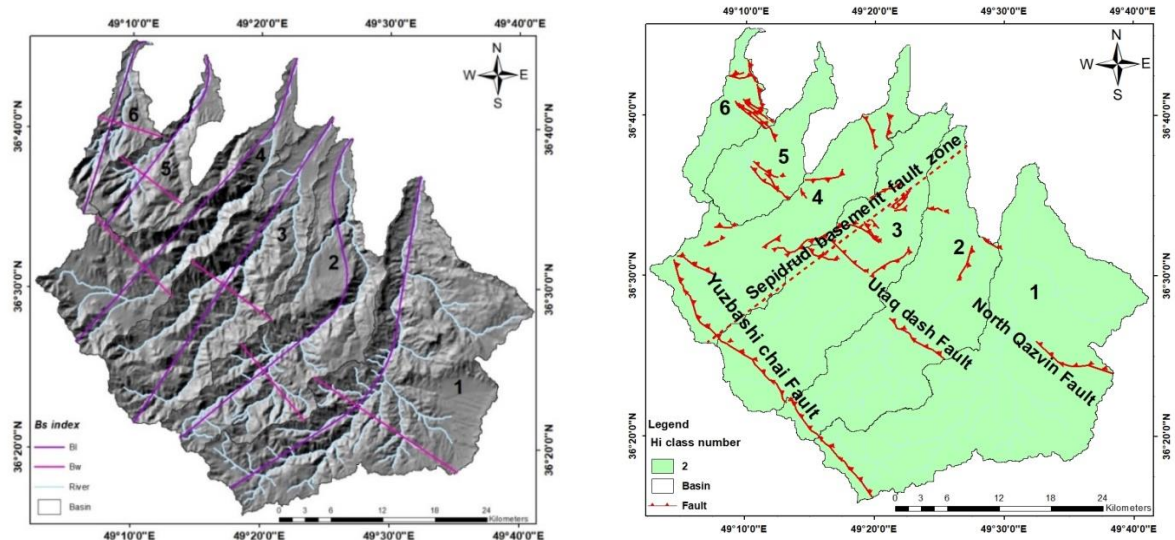


شکل ۶. نقشه رده‌بندی شاخص Vf در زیرحوضه‌های منطقه

شکل ۵. نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf) در منطقه.



شکل ۷. منحنی پیشینه فرازسنجی در زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه.



شکل ۹. موقعیت زیر حوضه‌های منطقه بر اساس شاخص Bs.

شکل ۸. نقشه رده‌بندی شاخص Hi در گستره مورد مطالعه.

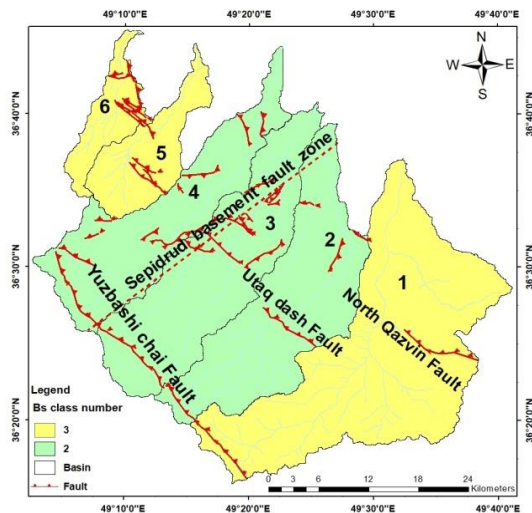
جدول ۳. شاخص Hi در زیرحوضه‌های ۱ تا ۶.

Category	Hi	Hmean_Hmin	Hmax_Hmin	Hmean	Hmin	Hmax	Basin
2	0/497	978/3	1966	42954/88	41976/96	43942/72	1
2	0/499	1054	2111	43373/25	42319	44430	2
2	0/496	1305/037	2630	51142	49837	52467	3
2	0/488	1300/44	2662	50737/4	49437	52099	4
2	0/495	1228/17	2479	48277/2	47049	49528	5
2	0/498	1223/03	2452	48557	47334	49786	6

جدول ۴. شاخص Bs در زیرحوضه‌های ۱ تا ۶.

Category	Bs	Bw(m)	Bl(m)	Basin
3	2/288	19/849	45/423	1
2	3/87	11/588	44/85	2
2	3/643	11/555	42/101	3
2	3/308	12/709	42/042	4
3	2/612	8/991	23/491	5
3	2/826	7/639	21/591	6

آبراهه در حوضه را نشان می‌دهد (El Hamdouni et al., 2008). ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS مساحت کل حوضه به طور دقیق اندازه‌گیری شد. سپس مساحت سمت راست حوضه اندازه‌گیری و با استفاده از فرمول (جدول ۱) شاخص محاسبه شد. نتایج حاصل از تغییرات سینوسی در رودخانه‌ها، به طور معمول ناشی از بالاآمدگی و فرونشست‌هایی است که در بستر روی می‌دهد (Keller & Pinter, 2002). مقادیر عددی Af در حدود ۵۰، بیانگر وجود تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و در نتیجه عدم وجود کج‌شدگی بر اثر فرایش خواهد بود. مقادیر عددی بیش از ۵۰ و کمتر از ۵۰ به ترتیب بیانگر عملکرد فرایش در سمت راست و چپ آبراهه اصلی است (حافظی مقدس، ۱۳۸۸). بر اساس روش کلر و پینتر (Keller & Pinter, 2002)، رده بندی شاخص Af بدین شرح می‌باشد: رده ۱،  $Af-50 > 15$  زمین‌ساخت فعال؛ رده ۲،  $7 < Af-50 < 15$  زمین‌ساخت نیمه فعال و رده ۳،  $Af-50 < 7$  زمین‌ساخت غیرفعال. زیرحوضه‌های ۱، ۲ و ۳، در رده ۱ با نرخ فعالیت بالا، زیرحوضه ۲ در رده ۲ با فعالیت متوسط و زیرحوضه‌های ۱، ۵ و ۶ در رده ۳ با فعالیت کم قرار می‌گیرند (جدول ۶ و شکل ۱۳). شکل ۱۴ رده بندی زیرحوضه‌های منطقه بر اساس این شاخص را نشان می‌دهد.



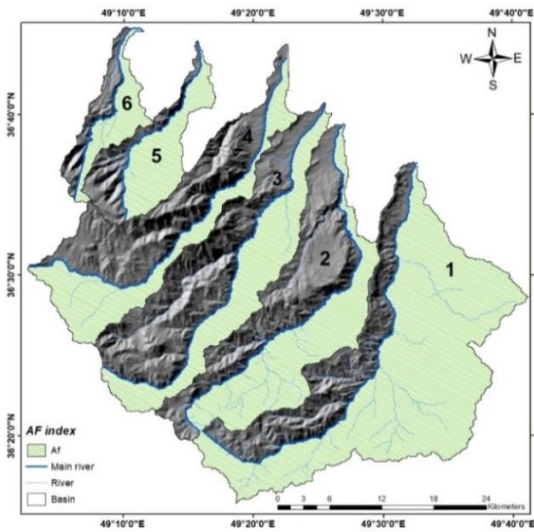
شکل ۱۰. نقشه رده بندی شاخص Bs در منطقه.

### شاخص درجه سینوسی (S)

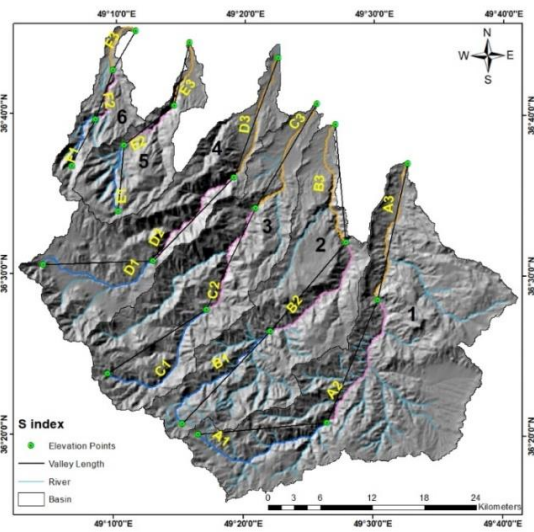
تغییرات سینوسی در رودخانه‌ها، به طور معمول ناشی از بالاآمدگی و فرونشست‌هایی است که در بستر روی می‌دهد (Keller & Pinter, 2002) (جدول ۱). در مناطق فعال، رودخانه به شکل خط مستقیم است. به منظور جلوگیری از خطا، طول رودخانه به سه قسمت تقسیم شده و سپس میانگین شاخص در هر زیرحوضه محاسبه شده است. بر اساس روش کلر و پینتر (Keller & Pinter, 2002)، رده بندی شاخص درجه سینوسی عبارت است از: رده ۱،  $S$  بین ۱-۱/۵ حاکی از مناطق فعال؛ رده ۲،  $S$  بین ۱/۵-۲ مناطق نیمه فعال و رده ۳،  $S > 2$  دارای فعالیت ضعیف می‌باشد. طبق این شاخص تمامی زیرحوضه‌های منطقه با مقدار شاخص ۱/۲ تا ۱/۴ در رده ۲ قرار دارند و مناطق بالغ و نیمه فعال محسوب می‌شوند (جدول ۵ و شکل ۱۱). رده بندی زیرحوضه‌های منطقه بر اساس این شاخص در شکل ۱۲ آمده است.

### شاخص عدم تقارن حوضه آبریز (AF)

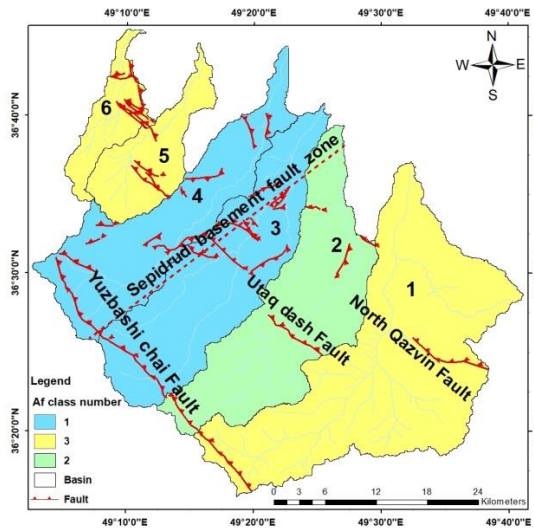
این شاخص میزان تغییرات انحراف عمودی مسیر



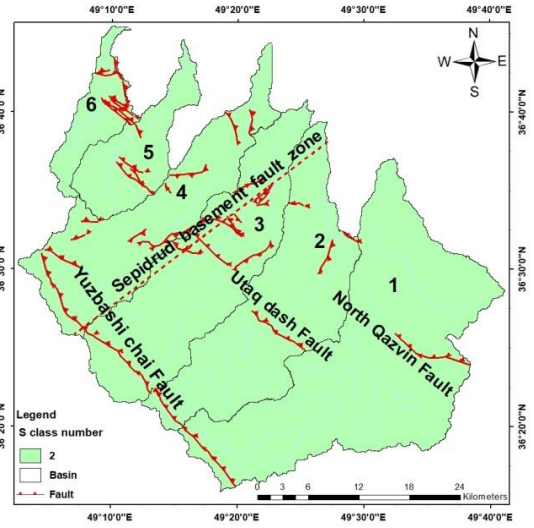
شکل ۱۳. موقعیت زیر حوضه‌های گستره بر اساس شاخص Af.



شکل ۱۱. شاخص S در زیر حوضه‌های گستره مورد مطالعه.



شکل ۱۴. نقشه رده‌بندی شاخص Af در گستره.



شکل ۱۲. نقشه رده‌بندی شاخص S در منطقه مورد مطالعه.

جدول ۶. شاخص Af در زیر حوضه‌های ۱ تا ۶.

Category	Af	At (Km2)	Ar (Km2)	Basin
3	26/55	567/3	150/63	1
2	53/07	335/11	177/86	2
1	59/94	337/47	202/31	3
1	59/93	278/2	166/74	4
3	39/01	118/32	46/159	5
3	42/76	72/971	31/206	6

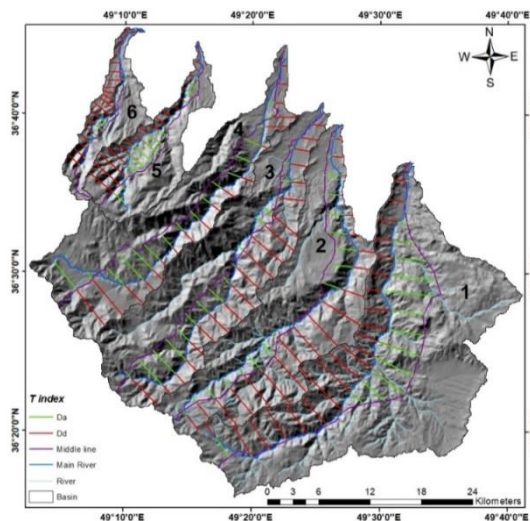
جدول ۵. شاخص S در زیر حوضه‌های ۱ تا ۶.

Category	Average	S	C(m)	V(m)	Basin
2	1/26	1/21	19/54	16/125	1
		1/27	19/54	15/301	
		1/3	19/54	14/994	
2	1/33	1/26	18/61	14/71	2
		1/38	18/61	13/46	
		1/36	18/61	13/65	
		1/34	18/19	13/54	
2	1/34	1/39	18/19	13/02	3
		1/3	18/19	13/92	
		1/25	17	12/66	
		1/26	17	13/41	
2	1/25	1/15	17	14/69	4
		1/19	9/17	7/66	
		1/24	9/17	7/34	
		1/22	9/17	7/51	
2	1/21	1/31	8/12	6/17	5
		1/37	8/12	5/91	
		1/54	8/12	5/24	
		1/4	8/12	5/24	

### شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T)

شاخص تقارن توپوگرافی معکوس برای ارزیابی عدم تقارن رودخانه درون حوضه و تغییرات میزان نامتقارنی در بخش‌های مختلف دره به کار می‌رود. برای محاسبه این شاخص ابتدا خط میانی حوضه آبریز ترسیم گردید. در ادامه پارامترهای Da و Dd در فواصل مساوی در ۲۰ مقطع در هر زیرحوضه تعیین و با استفاده از رابطه مربوط (جدول ۱) محاسبه و میانگین آنها به عنوان نتایج در هر زیرحوضه در جدول ۷ و شکل ۱۵ آورده شده است.

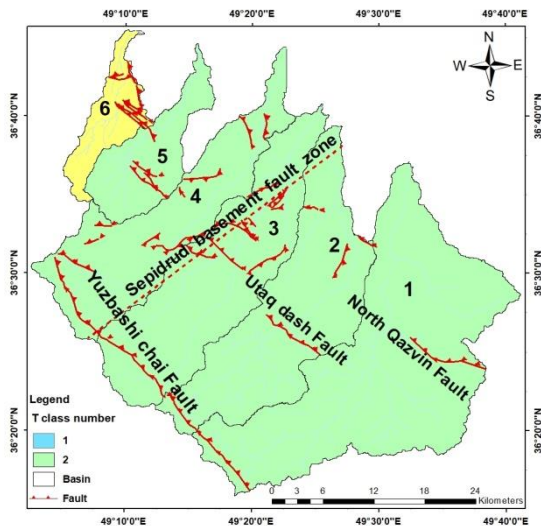
هر چه مقدار این شاخص به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده عدم تقارن بیشتر است و در حوضه‌های کاملاً نامتقارن  $T=0$  می‌باشد. بر اساس روش کلر و پینتر (Keller & Pinter, 2002)، این شاخص به ۳ رده تقسیم‌بندی می‌شود: در رده ۱، اگر مقادیر این شاخص  $T \geq 0.4$  باشد منطقه از لحاظ زمین‌ساخت فعال می‌باشد؛ در رده ۲، اگر مقادیر این شاخص بین  $0.2 - 0.4$  باشد دارای زمین‌ساخت نیمه فعال می‌باشد و در رده ۳، اگر مقادیر این شاخص  $0.2 \leq$  باشد دارای زمین‌ساخت غیرفعال می‌باشد. در زیرحوضه‌های ۱ تا ۵، مقدار این شاخص به در حدود  $0.3$  بوده و در رده ۲ با نرخ فعالیت متوسط قرار دارند در حالی که زیرحوضه ۶ با مقدار  $0.19$  در رده ۳ با فعالیت کم قرار می‌گیرند (جدول ۷ و شکل ۱۵). رده‌بندی زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس این شاخص در شکل ۱۶ آمده است.



شکل ۱۵. محاسبه شاخص T در گستره مورد مطالعه.

### جدول ۷. شاخص T در زیرحوضه‌های ۱ تا ۶.

Category	T	Dd (Km <sup>2</sup> )	Da (Km <sup>2</sup> )	Basin
2	0.4	9.517	3.911	1
2	0.3	5.8	2.11	2
2	0.3	5.259	1.958	3
2	0.5	2.973	1.5	4
2	0.4	838.91	359.79	5
3	0.2	1.771	398	6



شکل ۱۶. نقشه رده‌بندی شاخص T در منطقه مورد مطالعه.

### شاخص تراکم سطحی آبراهه (P)

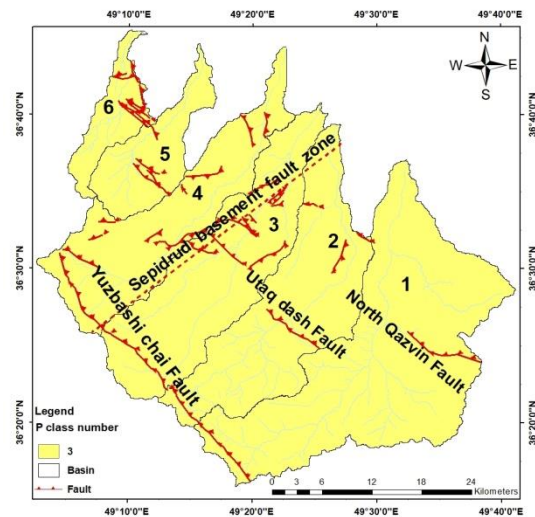
شاخص تراکم سطحی آبراهه، از نسبت طول آبراهه بر مساحت حاصل می‌شود (جدول ۱). در مناطقی با فعالیت زمین‌ساختی بالا، این شاخص مقادیر کمتری را نشان می‌دهد. بر اثر فعالیت زمین‌ساختی در منطقه، رودخانه از حالت منحنی خارج شده و به حالت صاف نزدیک می‌شود. به این ترتیب طول رودخانه کمتر شده و در نتیجه نسبت طول رودخانه به مساحت حوضه کم می‌شود (Horton, 1945). برای اندازه‌گیری این شاخص با استفاده از نرم‌افزار Global Mapper طول آبراهه اصلی و مساحت هر زیرحوضه را به صورت جداگانه اندازه‌گیری کرده و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار Excel و فرمول، محاسبات شاخص انجام شد (جدول ۸). براساس هورتن (Horton, 1945) شاخص تراکم سطحی آبراهه به ۳ دسته تقسیم می‌شود: رده ۱،  $P > 0.6$ ؛ رده ۲، شاخص بین  $0.5 - 0.6$  و رده ۳،  $P < 0.5$ . طبق این شاخص تمامی زیرحوضه‌های منطقه با مقدار شاخص  $0.1$  تا  $0.3$  در رده ۳ قرار دارند و مناطق با فعالیت کم محسوب می‌شوند (جدول ۸). رده‌بندی زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس این شاخص در شکل ۱۷ آمده است.

### شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساختی

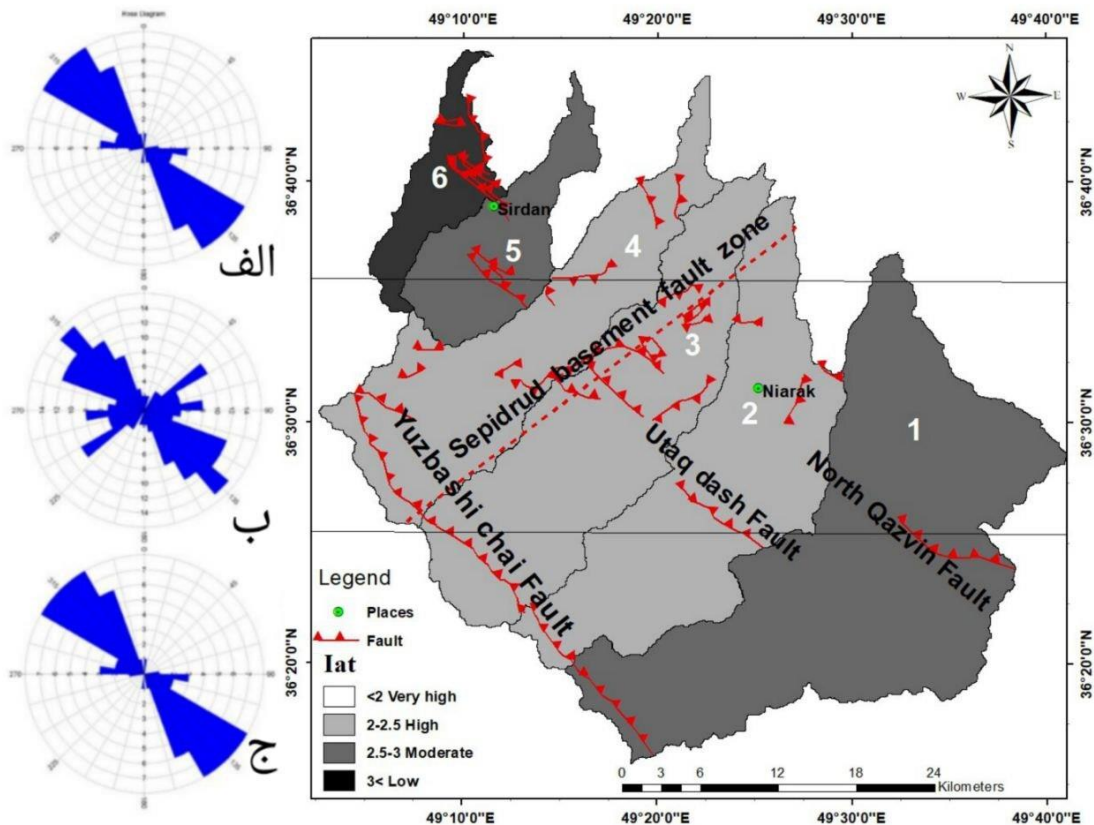
در این مطالعه برای بررسی فعالیت زمین‌ساختی گستره از ۸ شاخص ریخت‌زمین‌ساختی در ۶ زیرحوضه مورد مطالعه استفاده شد. این شاخص‌ها عبارتند از: شاخص‌های Af، S، Bs، Hi، Vf، Sl، T و P. در هر شاخص زیرحوضه‌ها در سه رده فعال، با فعالیت متوسط و غیرفعال به ترتیب در رده‌های ۱ تا ۳ طبقه‌بندی شدند. در نهایت برای تعیین شاخص ارزیابی فعالیت نسبی زمین‌ساختی از ۸ شاخص طبق جدول ۱ میانگین گرفته شده است (جدول ۹). توضیحات رابطه مورد استفاده در این شاخص در جدول ۱ آمده است. بر اساس روش الحمدونی و همکاران (El Hamdouni et al., 2008)، شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساختی (Iat) در ۴ رده تقسیم‌بندی می‌شود: رده ۱، با فعالیت خیلی بالا و  $s/n < 1/5$ ؛ رده ۲، فعالیت بالا و  $1/5 < s/n < 2/5$ ؛ رده ۳، فعالیت متوسط  $2/5 < s/n < 3/5$  و رده ۴، فعالیت کم  $3/5 < s/n$ . رده‌بندی زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس این شاخص در شکل ۱۸ آمده است.

### جدول ۸. شاخص P در زیرحوضه‌های ۱ تا ۶.

Category	P	A(Km <sup>2</sup> )	ΣLi (Km)	Basin
3	0/103	567/3	58/651	1
3	0/166	335/11	55/916	2
3	0/16	337/47	54/111	3
3	0/181	278/2	50/525	4
3	0/23	118/32	27/42	5
3	0/338	72/971	24/678	6



شکل ۱۷. نقشه رده‌بندی شاخص P در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۱۸. نقشه رده‌بندی شاخص فعالیت نسبی زمین‌ساختی Iat در منطقه مورد مطالعه و نمودار گل سرخی فرآوانی خطواره‌ها، (الف) نمودار گل سرخی فرآوانی خطواره‌های استخراج شده به روش اتوماتیک در قسمت شمال غربی، (ب) نمودار گل سرخی فرآوانی خطواره‌های استخراج شده به روش اتوماتیک در قسمت میانی (ج) نمودار گل سرخی فرآوانی خطواره‌های استخراج شده به روش اتوماتیک در قسمت جنوب شرقی.



جدول ۹. شاخص Iat در زیرحوضه‌های ۱ تا ۶ در منطقه مورد مطالعه.

Iat class	S/n	P	T	S	Hi	Bs	Vf	Af	SL	Basin
3	2.25	3	2	2	2	3	2	3	1	1
2	1.87	3	2	2	2	2	1	2	1	2
2	1.87	3	2	2	2	2	2	1	1	3
2	1.75	3	2	2	2	2	1	1	1	4
3	2.12	3	2	2	2	3	1	3	1	5
4	2.37	3	3	2	2	3	2	3	1	6

## بحث

نتایج حاصل از فعالیت نسبی زمین‌ساخت (جدول ۱۰) نشان داد که بخش‌های میانی محدوده مورد مطالعه از نظر فعالیت زمین‌ساختی بسیار فعال‌تر از بخش‌های شمال‌غربی و جنوب‌شرقی آن می‌باشد. به طوری که شاخص مربوطه در زیرحوضه‌های ۲، ۳ و ۴ حاکی از فعالیت بالا، در زیرحوضه ۱، ۵ و ۶ نشان‌دهنده‌ی فعالیت متوسط می‌باشد. لذا، می‌توان زیرحوضه‌های مطالعه شده را از نظر فعالیت زمین‌ساختی به ۳ رده تقسیم‌بندی کرد که شامل فعال (زیرحوضه‌های ۲، ۳ و ۴)، نسبتاً فعال (زیرحوضه‌های ۱ و ۵) و فعالیت کم (زیرحوضه ۶) می‌باشد. گسل‌های موجود در نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ (شکل ۲) با یافته‌های حاصل از محاسبات شاخص (Iat) منطبق است. به طوری که قسمت میانی این نقشه بیشترین فراوانی گسل‌ها را دارد (شکل ۱۸-ب) و میزان بالای (Iat) را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد احتمالاً عملکرد گسل‌های مهم از جمله گسل‌های یوزباشی‌چای و اتاق‌داش در این محدوده باعث بالا رفتن مقدار این شاخص شده است (شکل ۱۸). در قسمت میانی زیرحوضه میزان بالای تراکم خطواره‌ها سبب بالا رفتن فعالیت زمین‌ساختی شده است در حالی که در قسمت‌های جنوب‌شرقی و شمال‌غربی تراکم گسل‌ها پایین است و این امر موجب فعالیت زمین‌ساختی کمتر آن شده است (شکل ۱۸-الف و ج). با رسم نمودار مقایسه شاخص SL و سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه (شکل ۴) در شش نیم‌رخ توپوگرافی طولی استخراج شده، می‌توان دریافت که به طور کلی آنومالی‌های ایجادشده به ما اجازه می‌دهد تا فعالیت زمین‌ساختی منطقه را استنباط کنیم. آنومالی‌های ایجاد شده می‌تواند به دلایل مختلفی رخ دهد. برای نمونه، تغییر جنس بستر که با افزایش مقاومت سنگ در برابر فرسایش، مقدار SL افزایش می‌یابد و یا تغییر شیب توپوگرافی کانال، که در اثر فرآیندهای ساختاری مثل گسل یا بالا آمدگی زمین‌ساختی به وجود می‌آید

می‌تواند موجب به وجود آمدن بی‌نظمی در نمودارها شود. اگر چه ممکن است با وجود گسل مقدار SL تغییری نکند که در واقع به علت قدیمی بودن گسل، آبراهه بی‌نظمی‌های ایجاد شده آن را از بین برده باشد. با توجه به عدم تنوع مقاومت سنگ‌های منطقه به علت تشابه جنس سنگها در طول بستر آبراهه‌ها، عامل اصلی تغییرات شاخص در زیرحوضه‌های آبریز می‌تواند ناشی از فعالیت زمین‌ساختی باشد. در زیرحوضه ۴ و ۵ منطقه مورد مطالعه مقدار SI بالا می‌باشد. مقادیر بالای شاخص Vf در زیرحوضه‌های ۲، ۴ و ۵ نشانگر نرخ بالای برخاستگی این بخش است به گونه‌ای که شاخص منحنی انتگرال هیپسومتر (Hi) در این زیرحوضه‌ها به شکل محدب (عمدتاً به صورت یکسان و با مقدار ۰/۹۴) بوده و نشان‌دهنده زمین‌ساخت جنبی در منطقه می‌باشد. نتایج شاخص شکل حوضه (Bs)، حاکی از وجود زیرحوضه‌های طولی با زمین‌ساخت فعال است. بیشترین مقدار این شاخص در زیرحوضه ۲ با مقدار ۳/۸۷ و کمترین مقدار آن در زیرحوضه ۱ با مقدار ۲/۲۸ می‌باشد (جدول ۴). مقدار شاخص سینوسی رودخانه (S) که میزان مماندری بودن رودها را مشخص می‌نماید، حدوداً ۱/۲ تا ۱/۴ است. این امر نشان‌دهنده به تعادل نرسیدن و نقش نیروهای درونی در تغییرات زمین‌ریختی در زیرحوضه‌های مورد مطالعه است (جدول ۵). مقدار شاخص Af نسبت به تاب‌برداشتگی عمود بر روند کانال اصلی رودخانه، حساس است. بالاترین مقدار این شاخص نیز در زیرحوضه‌های ۲، ۳ و ۴ می‌باشد (جدول ۶) که خود تأییدکننده نتایج حاصل از شاخص Iat است. شاخص تقارن توپوگرافی معکوس (T) با کمترین مقدار در زیرحوضه ۶ (با مقدار ۰/۲) و بیشترین مقدار در زیرحوضه ۴ (با مقدار ۰/۵)، نشانگر فعال بودن زیرحوضه شماره ۴ نسبت به زیرحوضه ۶ است (جدول ۷). شاخص تراکم سطحی آبراهه (P) با میزان کمتر از ۰/۵ در هر ۶ زیرحوضه نشانگر میزان فعالیت پایین در زیرحوضه‌ها می‌باشد، بالاترین مقدار





زیرحوضه‌های ۲، ۳ و ۴ نیز ادامه دارد.

### منابع

انصاری، ش.، ۱۳۹۶. تعیین فعالیت منطقه نبود گسیختگی گسل رودبار، مبتنی بر شاخص‌های ریخت زمین - ساختی رودخانه سفیدرود، استان گیلان، مجله زمین‌شناسی ایران، ۱۱(۴۴)، ۷۹-۸۸.

حافظی مقدس، ن.، ۱۳۸۸. زمین‌ریخت‌شناسی کاربردی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۲۵۶ ص.

حسامی، خ.، جمالی، ف.، طبسی، ه.، ۱۳۸۲. نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰۰ گسل‌های فعال ایران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

حسینی، م.، موسوی، ع.، رسولی جمادی، ف.، ۱۳۹۵. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ ابهر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

داغینه، ک.، داودی، ز.، صادقی، ش.، افلاکی، م.، ۱۴۰۰. تکامل ساختاری واحدهای رسوبی نئوژن در بخش شرقی حوضه طارم، مجله زمین‌ساخت، شماره ۱۹، ۱۷-۳۳.

طاهرخانی، ب.، ۱۳۸۹. مورفوتکتونیک و جنبش‌های جوان گسل شمال قزوین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۰۵ ص.

قافله‌باشی، م.، ۱۴۰۰. تحلیل هندسی و جنبشی گسل شمال قزوین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ۷۷ ص.

قائمی، ج.، ۱۳۸۱. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ اجیرنده، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

کرمی، ف.، ۱۳۹۱. ارزیابی نسبی تکنیک فعال با استفاده از روش‌های مورفومتری در حوضه‌های شمالی و شرقی کوه سهند، مجله فضای جغرافیایی، ۱۲(۳۷)، ۱-۱۸.

میرتوحیدی، الف.، محمدی، الف.، ۱۳۷۹. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ آتاکستان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نظری، ح.، سلامتی، ر.، ۱۳۷۷. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ رودبار، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Anoop, A. Prasad, S., Basavaiah, N., Brauer, A., Shahzad, F., Deenadayalan, Km., 2011. Tectonic versus climate influence on landscape evolution: A case study from the upper Spiti valley, NW Himalaya, *Geomorphology* 145-146.

این شاخص در زیرحوضه‌ی ۶ و برابر با ۰/۳۳ می‌باشد و کمترین مقدار آن در زیرحوضه‌ی ۱ برابر ۰/۱ می‌باشد. نتایج مطالعات داغینه و همکاران (۱۴۰۰) در بخش‌های شمالی زیرحوضه‌های ۲، ۳ و ۴ نشان داد که در این مناطق کشش تشکیل‌دهنده حوضه طارم که از اواخر الیگوسن شروع شده، تا اوایل نئوژن ادامه داشته است و همچنین از اواسط نئوژن تا عهد حاضر فاز فشارش حاصل از برخورد صفحه عربی و در ادامه، چرخش ساعتگرد بلوک کاسپین، دو فاز ترافشارشی را در البرز غربی ایجاد کرده است. همچنین ایشان ساختارهای گسلی نرمال با روند شمال‌شرق و چین‌خوردگی‌ها با روند محوری شرقی-غربی مشاهده شده در منطقه را مرتبط با تاثیر پهنه گسله پی‌سنگی سپیدرود با روند شمال‌شرق و حرکت چپ‌بر می‌دانند که در جنوب سد منجیل در زیرحوضه‌های ۲، ۳ و ۴ تحقیق حاضر نیز ادامه دارد (شکل ۱۸). بدین ترتیب نتایج حاصل از مطالعات ایشان نیز فعال بودن سه زیرحوضه ۲، ۳ و ۴ را تایید می‌کند.

### نتیجه‌گیری

۱- جنس سنگ بستر، شیب توپوگرافی کانال آبراهه و وجود ساختارهای گسلی از جمله عوامل مهم کنترل‌کننده مقدار شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی در زیرحوضه‌های آبریز است. با توجه به عدم تنوع مقاومت سنگ‌های منطقه به علت تشابه تقریبی جنس سنگها در طول بستر آبراهه‌ها، عامل اصلی تغییرات شاخص در زیرحوضه‌های آبریز را می‌توان بیشتر ناشی از فعالیت زمین‌ساختی منطقه دانست.

۲- با توجه به شاخص فعالیت‌نسبی زمین‌ساختی که برآورد هشت شاخص اندازه‌گیری شده در منطقه است، در قسمت میانی زیرحوضه میزان بالای تراکم خطواره‌ها و همچنین وجود گسل پی‌سنگی سپیدرود سبب بالا رفتن فعالیت زمین‌ساختی شده است در حالی که در قسمت‌های جنوب‌شرقی و شمال‌غربی فعالیت زمین‌ساختی کمتر است و نشان می‌دهد گسل‌های موجود در آن مناطق به نسبت از فعالیت کمتری برخوردار هستند.

۳- فعال بودن سه زیرحوضه ۲، ۳ و ۴ نشان‌دهنده فعال بودن پهنه گسله پی‌سنگی سپیدرود با روند شمال‌شرق و حرکت چپ‌بر است که در جنوب سد منجیل در

- Burbank, D.W. and Anderson, R.S., 2001. Tectonic Geomorphology. Blackwell Science Ltd., Australia, 160.
- Giaconia, F., Booth-Rea, G., Martínez-Martínez, J.M., Azanón, J.M., Pérez-Pena, J.V., Pérez-Romero, J. and Villegas, 2012. Geomorphic Evidence of Active Tectonics in the Sierra Alhamilla (Eastern Betics, SE Spain). *Geomorphology*, 145, 90-106.
- Hack, J.T., 1973. Stream-Profile Analysis and Stream-Gradient Index. *Journal Research of United States Geological Survey*, 1, 421-429.
- Hl Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J. and Keller, E. (2008) Assessment of Relative Active Tectonics, Southwest Border of Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*, 96, 150-173.
- Horton, RE (1945) Erosional development of streams and their drainage basins. Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of American Bulletin*, 56, 275-370.
- Keller, E. A. and Pinter, N., 2002. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape (2ndEd.), Prentice Hall, Upper Saddle River, 362 p.
- Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG bulletin*, 52(7), 1229-1258.