

مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال سیزدهم، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۲۵

## بررسی و تحلیل شاخص های ژئومورفیک و ارتباط آن با مورفوتکتونیک فعال در مناطق خشک (پلایای اردستان)

مصطفی خبازی (استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، نویسنده مسئول)

mostafakhabazi@uk.ac.ir

میثم شهبازی (دانشجوی دکتری شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران)

maysam.shahbazi@yahoo.com

صص ۶۵-۴۵

### چکیده

**اهداف:** هدف پژوهش حاضر، بررسی فعالیت‌های تکتونیکی حوضه آبخیز اردستان با رویکرد کمی است. نویسندگان سعی کردند از شاخص‌هایی استفاده شود که کمتر محاسبه شده باشد؛ بنابراین با توجه به اعتبار شاخص‌های ژئومورفیک در مطالعات ژئومورفولوژی، برای ارزیابی فعالیت‌های کواترنری پلایای اردستان، به محاسبه شاخص‌های شکل حوضه (BS)، حجم به سطح حوضه (VA)، تراکم سطحی آبراهه (P)، انشعاب‌پذیری (BR)، انتگرال هیپسومتری حوضه (HI) و سینوزیته جبهه کوهستان (smf) مبادرت شد.

**روش:** در این پژوهش ابتدا با روش کتاب‌خانه‌ای و تحلیل منابع، ۱۱ روش کمی استخراج شد سپس متناسب با موقعیت منطقه که در ناحیه خشک و بیابانی ایران مرکزی قرار گرفته، ۶ شاخص سازگار و منطبق با مناطق خشک و اندیس‌هایی که با مورفولوژی حوضه و شبکه زه‌کشی ارتباط بیشتری داشتند، محاسبه شدند. سپس برای ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی از شاخص‌های شکل حوضه (BS)، حجم به سطح حوضه (VA)، تراکم سطحی آبراهه (P)، انشعاب‌پذیری (BR)، انتگرال هیپسومتری حوضه (HI) و سینوزیته جبهه کوهستان (smf) استفاده شد.

**یافته‌ها/نتایج:** نتایج این پژوهش که با شاخص Lat برآورد شده، نشان می‌دهد که بخش‌های شمال غرب و جنوب غرب محدوده مورد مطالعه از نظر تکتونیک بسیار فعال‌تر از قسمت‌های مرکزی و شرقی حوضه است. به طوری که حوضه‌های باد- خال‌آباد با  $Lat=2$  و طرق- ایازن با

### 1. Hipsometry integral

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۱۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵

Lat=۱/۸۳ دارای فعالیت تکتونیکی زیاد و حوضه‌های اردستان Lat=۲/۳۳ و دق سرخ با Lat=۲/۵ دارای فعالیت زمین‌ساختی متوسط هستند.

**نتیجه‌گیری:** به نظر می‌رسد فعالیت بخش‌های شمال غرب و جنوب غرب محدوده به عبور گسل‌های مهم قم - زفره و نطنز مربوط می‌شود؛ این در حالی است که به رغم نبود پیشینه لرزه‌خیزی قابل توجه، مناطق فوق می‌تواند بیشترین توان حرکتی را در آینده داشته باشد. **کلیدواژه‌ها:** مورفوتکتونیک، توتکتونیک، پلایای اردستان، شاخص‌های ژئومورفیک.

#### ۱. مقدمه

ناحیه مورد مطالعه در نیمه میانی ایران و در زون تکتونیکی ایران مرکزی قرار دارد. بلوک‌های ساختمانی در این بخش از ایران نتیجه فرآیند تکتونیکی آلپین جوان هستند. به طور کلی قدیمی‌ترین فاز کوه‌زایی حوضه مربوط به اواخر پرکامبرین<sup>۱</sup> است که منجر به دگرگونی و تشکیل سنگ‌های کم‌دگرگون شده است. پس از آن در تمام طول پرکامبرین پسین (اینفرکامبرین) و پالئوزوئیک و نیز اوایل مزوزوئیک<sup>۲</sup> ناحیه تحت کنش‌های قاره‌زایی قرار می‌گیرد و این عامل باعث خروج مکرر از دریا و فرسایش آن می‌شود که نتیجه آن نبوده‌های چینه‌شناسی در این فاصله زمانی است. در اواخر تریاس، ناحیه تحت نیروهای کوه‌زایی قرار می‌گیرد و طبقات آن چین می‌خورند و بار دیگر با خروج قسمت‌هایی از ناحیه از آب فرسایش شدیدتر برقرار می‌شود. سپس نهشته‌های آواری مربوط به پیشروی دریای ژوراسیک روی سنگ‌های مختلفی قرار می‌گیرد که سن آنها از پرکامبرین تا تریاس پیشین است. در ژوراسیک<sup>۳</sup> و کرتاسه<sup>۴</sup> به جز حرکات قاره‌زایی که نبوده‌های چینه‌شناسی را به همراه دارد، حادثه مهمی رخ نمی‌دهد. در پایان کرتاسه و اوایل ترشیر با حرکات مجدد کوه‌زایی چین‌خوردگی طبقات تشدید می‌شود. این حرکات در طول ترشیر<sup>۵</sup> همراه با فعالیت‌های ماگمایی ادامه می‌یابد

1. Precambrian
2. Paleozoic-Mesozoic
3. Jurassic
4. Cretaceous
5. Tertiary

و نتیجه آن ترادف سنگ‌های ولکانیکی ضخیم و نهشته‌های توفی ائوسن است (گاهی آندزیتی) که بر روی سنگ‌های چین خورده کر تاسه به طور دگرشیب قرار می‌گیرند.

روند کلی ساختمان‌های اصلی زمین‌شناسی در ناحیه منطبق با روند عمومی زون‌های تکتونیکی سنندج - سیرجان و زاگرس است. این ناحیه به دلیل برخورداری از شرایط پیچیده تکتونیکی دارای گسل‌های متعدّد است. از جمله گسل درونه در شمال، گسل نائین - بافت و مهم‌ترین آن گسل راستگرد قم - زفره با امتداد عمومی شمال غربی - جنوب شرقی بوده که از دره تکتونیکی شهر نطنز - بزمان عبور و احتمالاً در به وجود آمدن فعالیت‌های ماگمایی و آتشفشانی ائوسن<sup>۱</sup> نقش دارد. از دیگر ویژگی‌های تکتونیکی ناحیه، فرورفتگی قم - اردکان است که ناحیه مورد مطالعه در بخش جنوبی آن قرار دارد. از دیدگاه تکتونیکی این فرورفتگی در دو مرحله ساختمانی در طی دوره‌های آلیگومیوسن و پلیوسن - کواترنری شکل گرفته است. با شروع دوره آلیگوسن، همزمان با فعالیت‌های کوهزایی، حوضچه‌های کوچک شکل می‌گیرد که محل انباشت مواد ناشی از فرسایش متعلق به بخش پایینی سازند قم<sup>۲</sup> شده است. در این مرحله بخش اعظم ناحیه غیر از نقاطی که نهشته‌های قاره‌ای سازند قم گسترش دارند، در زیر دریا قرار می‌گیرد. در مرحله پلیوسن در نتیجه فرونشست‌ها حوضه‌ها به هم پیوسته و فرورفتگی قم - اردکان و همچنین کویر بزرگ شکل می‌گیرد. در پایان آلیگوسن و ابتدای میوسن با پیشروی دریا، ناحیه در زیر آب قرار می‌گیرد. سپس با عقب‌نشینی دریا در پایان میوسن محیط دریایی تبدیل به محیط کولابی می‌شود و نهشته‌های بخش بالائی زون تکتونیکی قم<sup>۳</sup> را بر جای می‌گذارد.

نئوتکتونیک مطالعه حرکات افقی و قائم پوسته زمین از اواخر نئوژن و کواترنر است. برای نئوتکتونیک تعاریف زیادی وجود دارد. محققان بسیاری نئوتکتونیک را آغاز حرکات پوسته ایی زمین بعد از جوانترین فاز کوهزایی تعریف کرده اند (استپانکیکوا، استمبرک، ۲۰۰۸، ص. ۶۸). با توجه به این که امکان دسترسی به داده‌های دیرین لرزه‌ای در بسیاری از نقاط وجود ندارد و از طرفی دیگر

1. Eocene
2. L.R.Fm
3. U. R.Fm
4. Stepancikova
5. stembrek

بعضی از روش‌های تعیین تکتونیک فعال (روش‌های لرزه‌نگاری) بسیار هزینه‌بر هستند، استفاده از شاخص‌های مورفومتری برای تعیین و تشخیص تکتونیک‌های فعال دارای اهمیت زیاد است؛ بنابراین شاخص‌های ژئومورفیک ابزار سودمندی برای تحلیل اشکال زمینی و ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در نواحی مختلف به شمار می‌آیند.

هدف پژوهش حاضر، بررسی فعالیت‌های تکتونیکی حوضه آبخیز اردستان با رویکرد کمی است. در این رابطه با تحقیق و جست‌وجو در مقالات، منابع داخلی، خارجی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر دریافتیم اکثر محققان به بررسی پارامترهایی نظیر شاخص‌های سینوسی جبهه کوهستان (smf)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن (Vf)، درصد جبهه‌های کوهستانی ممتد (Eu) و شاخص‌های تحلیل شبکه‌های زه‌کشی از قبیل گرادیان طولی رودخانه (SL)، عامل عدم تقارن حوضه (AF)، عامل تقارن توپوگرافی (T) پرداخته‌اند؛ بنابراین نویسندگان سعی کردند از شاخص‌هایی استفاده شود که کمتر محاسبه شده باشد؛ بنابراین با توجه به اعتبار شاخص‌های ژئومورفیک در مطالعات ژئومورفولوژی، برای ارزیابی فعالیت‌های کواترنری پلایای اردستان، به محاسبه شاخص‌های شکل حوضه (BS)، حجم به سطح حوضه (VA)، تراکم سطحی آبراهه (P)، انشعاب‌پذیری (BR)، انتگرال هیپسومتری<sup>۱</sup> حوضه (HI) و سینوزیته جبهه کوهستان (smf) اقدام شد.

## ۲. پیشینه پژوهش

دانشمندان علوم زمین و به‌ویژه ژئومورفولوژیست‌ها برای تحلیل اشکال زمینی و ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی در نواحی مختلف دنیا از شاخص‌هایی تحت عنوان شاخص‌های ژئومورفیک استفاده می‌کنند. شاخص‌های ژئومورفیک در سراسر دنیا به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک توسط افراد زیادی مانند بول و مک فادن<sup>۲</sup> (۱۹۷۷)، ولز<sup>۳</sup> (۱۹۸۸)، رمیرز حرا<sup>۴</sup> (۱۹۹۸)، کونگ و زوجویز<sup>۵</sup> (۲۰۰۱)،

- 
1. Hipsometry integral
  2. Bull, Macfadden
  3. Wells
  4. Ramirez-Herrea
  5. Couong, Zuchiewicz

سیلوا<sup>۱</sup> (۲۰۰۳)، چن<sup>۲</sup> (۲۰۰۳)، زویلی و کونستانتینیدی و کوکولز<sup>۳</sup> (۲۰۰۴)، وریوس، زیگوری و کوکالاس<sup>۴</sup> (۲۰۰۴)، هارکینز، آناستاسیو و پازالیا<sup>۵</sup> (۲۰۰۵)، فرانکل و پازاگلیا<sup>۶</sup> (۲۰۰۶)، گارنیر و پیروتا<sup>۷</sup> (۲۰۰۸)، الحمدونی، ایری گاری، فرناندز، کاکونی و کلر<sup>۸</sup> (۲۰۰۸)، کالی و شجوالکار<sup>۹</sup> (۲۰۰۸)، گوربوز و گارور<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۸)، ریولند و فورس<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۰)، محاسبه شده است. در ایران نیز سلیمانی (۱۳۷۸)، خیام و مختاری (۱۳۸۲)، مددی، رضایی مقدم و رجایی (۱۳۸۳)، رادفر و پورکرمانی (۱۳۸۴)، رجبی، روستایی و مقامی (۱۳۸۵)، حقی پور (۱۳۸۶)، مقصودی (۱۳۸۷)، کرمی (۱۳۸۷)، خطیبی (۱۳۸۸)، زرگرزاده، رنگزن، چرچی و آبشیرینی (۱۳۸۸)، یمانی (۱۳۸۹)، امیریان چافجیری و قرشی (۱۳۸۹)، شریفی نجف آبادی (۱۳۸۹)، شاخص های ژئومورفیک را در سال های اخیر محاسبه کرده اند.

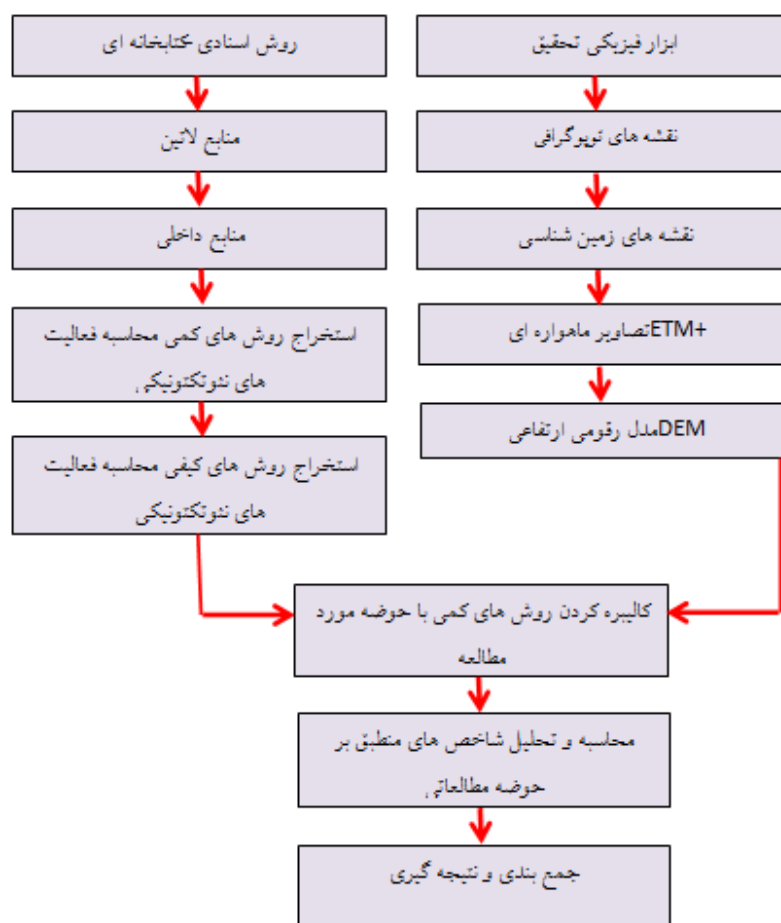
### ۳. روش شناسی

#### ۳.۱. روش تحقیق

در این پژوهش ابتدا با روش کتابخانه ای به جمع آوری مقالات، کتب و منابع داخلی و خارجی پرداخته و از نقشه های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره ای ETM+ 2008 جهت تعیین و مرزبندی منطقه، نقشه های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ به منظور استخراج لایه گسل ها و DEM محدوده برای برخی محاسبات استفاده شد. سپس در فرایند تحلیل، ۱۱ روش کمی برای محاسبه میزان فعالیت نئوتکتونیک (با توجه به شرایط زمین شناسی، لیتولوژیکی و هیدرولوژیکی) و ۱۵ روش کیفی جهت تحلیل های توصیفی تکتونیک مطرح شد (جدول ۱ و ۲).

1. Silva
2. Chen
3. Zovili, Konstantinidi, Koukouvelas
4. Verrious, Zygouri, kokkalas
5. Harkins, Anastasio, Pazzalia
6. Frankel, pazzaglia.
7. Guarnieri , Pirrotta
8. EL Hamdouni, Irigary, Fernande, Chacon.y, keller
9. Kali, Shejwalkar
10. Gurbus, Gurer
11. Rioulound, Foures

در مرحله بعد با توجه به اطلاعات پایه‌ای به کالیبره کردن روش‌های کمی با حوضه‌های مورد مطالعه مبادرت شد. در این راستا سعی شد هریک از روش‌ها با محدوده مورد بررسی همخوانی و تطابق داشته و از پارامترهایی استفاده شود که سایر محققین ژئومورفولوژی کمتر به کار برده‌اند. در نهایت با روش تجربی و با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS 9.3 به محاسبه شاخص‌های شکل حوضه (BS)، حجم به سطح حوضه (VA)، تراکم سطحی آبراهه (P)، انشعاب‌پذیری (BR)، انتگرال هیپسومتری حوضه (HI) و سینوزیته جبهه کوهستان (smf) اقدام شد.



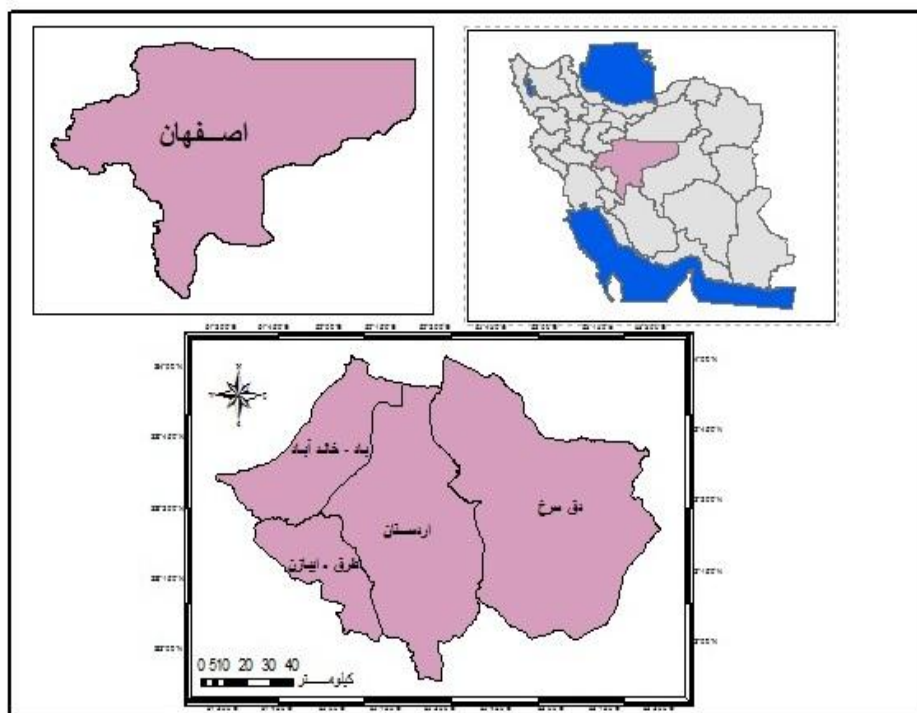
شکل ۱- مراحل انجام پژوهش

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

## ۲.۳. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده عرض‌های ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه و ۵۶ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۱ دقیقه و ۱۸ ثانیه شمالی و محدوده طول‌های ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۵۳ درجه و ۳۱ دقیقه و ۱۹ ثانیه شرقی قرار دارد.

این منطقه در دامنه شمالی زون سندج- سیرجان و در بخش جنوبی و قسمت میانی زون تکتونیکی ایران مرکزی قرار گرفته است. از نظر ریخت‌شناسی ارتفاع دربرگیرنده دشت به دلیل ماهیت لیتولوژیکی (اکثراً آذرین) و پایداری نسبی در مقابل عوامل فرسایشی، کمتر دستخوش تغییرات شده و عموماً ستیغ‌های بلندی را می‌سازند.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

## ۴. مبانی نظری تحقیق

## جدول ۱- روش‌های کمی محاسبه تکتونیک فعال

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

| عنوان                 | شاخص                                   | نحوه محاسبه  |
|-----------------------|--|--|
| پستی و بلندی های زمین | شاخص انگرال درازنما (منحنی هیسودتری)   | $HI = \frac{\Delta H - MinH}{MaxH - MinH}$   |
|                       | شاخص حجم به سطح حوضه                   | $\frac{V}{A} = \frac{vi}{Ai}$  |
| شکل حوضه              | شاخص شکل حوضه                          | $BS = \frac{BI}{BW}$   |
|                       | نسبت کشیدگی حوضه                       | $Re = \left(2 + \frac{A}{\pi}\right) BL$   |
| تقارن عرضی حوضه       | شاخص عدم تقارن آبراهه                  | $Af = \frac{Ar}{\frac{dA}{dA}}$  |
|                       | شاخص تقارن توپوگرافی عرضی              | $T = \frac{Dd}{Dd}$  |
| وضعیت تیرخ رودخانه    | شاخص گرادین شیب رود                    | $SL = \frac{\Delta H}{\Delta L} \times L$  |
| پیچ و خم              | پیچ و خم رودخانه                       | $S = \frac{c}{V}$  |
| وضعیت آبراهه ها       | شاخص تراکم سطحی آبراهه ها              | $P = \frac{\sum Li}{A}$  |
|                       | شاخص انشعاب پذیری                      | $\left[\frac{1}{N-1}\right] BR = \left[\frac{N1}{N2} + \frac{N2}{N3} + \dots + \frac{Nn-1}{Nn}\right]$ |
| وضعیت پیشانی کوهستان  | شاخص پیچ و خم جبهه کوهستان             | $Smf = \frac{Lmf}{Ls}$   |
| وضعیت جبهه کوهستان    | شاخص های سطوح امتداد جبهه کوهستان      | $Facet\% = \frac{Lf}{Ls}$  |
|                       |  | $Fd = \frac{Lmf}{Ls}$  |
|                       |  | $Eu = \frac{Lce}{Ls}$  |
| شکل دره               | شاخص نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره   | $Vf = \frac{2Vfw}{[(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]}$  |
| شکل دره               | شاخص نسبت مساحت دره به مساحت نیم دایره | $V = \frac{Av}{Ac}$  |
| وزگی های مخروطه افکنه | شاخص وسعت مخروطه افکنه                 | $Af = CA \cdot dn$   |



## جدول ۲- پارامترهای کیفی جهت شناخت تکتونیک فعال

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

|  |                             |                  |               |                       |
|--|-----------------------------|------------------|---------------|-----------------------|
| چشمه های آب گرم و سرد                  | پشته فشارشی و حوضه های کشتی | خزش لغزه های گسل | دره های خطی   | آبراهه های منحرف شده  |
| دگر شکلی و خمیدگی ترانس های آبرقی      | پشته های مسلود کتده         | سکوها            | حرکات دلمه ای | آبراه های جلبه جا شده |
| عدم وجود کوهپایه و یا وسعت بسیار کم آن | استخر های فرونشینی          | شیب دلمه ها      | آبشارها       | پرتگاه های گسلی       |

۴.۱. شاخص انتگرال هیپسومتری (منحنی واحد) یا منحنی بی بعد<sup>۱</sup>

منحنی ارتفاع سنجی از پیاده کردن نسبت کل ارتفاع حوضه (ارتفاع نسبی) در مقابل نسبت کل مساحت حوضه (مساحت نسبی) به وجود می آید. یک روش ساده برای مشخص کردن شکل منحنی ارتفاع سنجی برای یک حوضه زهکشی خاص محاسبه انتگرال ارتفاع سنجی است. انتگرال به صورت مساحت زیر منحنی یاد شده است و روش محاسبه آن به صورت زیر است.

ارتفاع حداقل - ارتفاع

$$Hi = \frac{\text{ارتفاع حداقل} - \text{ارتفاع}}{\text{ارتفاع حداقل} - \text{ارتفاع}} \quad (1)$$

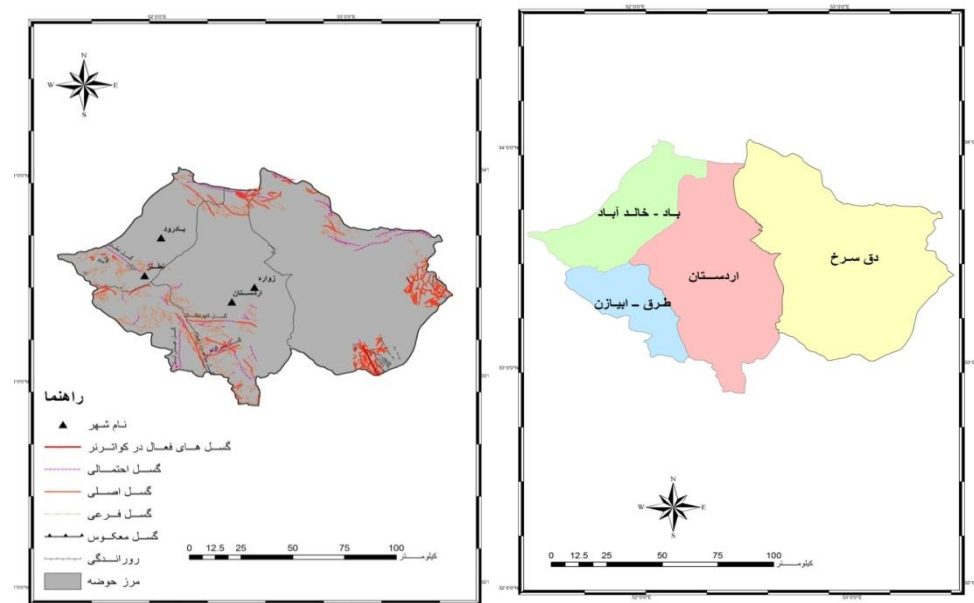
ارتفاع حداقل - ارتفاع

مقادیر بزرگ این انتگرال نشانه بزرگ بودن بیشتر توپوگرافی نسبت به میانگین است. رابطه بین انتگرال ارتفاع سنجی و درجه توسعه و تجزیه<sup>۲</sup> اجازه می دهد تا به عنوان یک معرف از مراحل یک چشم انداز تکتونیک در چرخه فرسایش به کار گرفته شود.

برای محاسبه شاخص انتگرال هیپسومتری ابتدا، حوضه مورد مطالعه به ۴ زیرحوضه تقسیم شد (شکل ۱). سپس در محیط GIS انتگرال ارتفاع سنجی (هیپسومتری) محاسبه شد (جدول ۳). انتگرال ارتفاع سنجی در قسمت شمال غرب - جنوب غربی و غرب بیشترین مقدار (۰/۳۰ و ۰/۲۳) و در نتیجه از نظر تکتونیک فعال تر بوده ولی در مرکز و شرق کمترین (۰/۱۹۸۰ و ۰/۱۵۴۰) مقدار را داشته و کمترین فعالیت

1. Hypsometric integral
2. Dissection

تکتونیک را از خود نشان می‌دهد. این مسأله با سایر شواهد زمین‌شناختی و ژئومورفولوژیکی تطابق دارد؛ زیرا از نظر زمین‌شناسی کمترین میزان گسل در شرق حوضه مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل ۴) و از منظر ژئومورفولوژیکی، شرق حوضه دقیقاً منطبق بر پلایای دق سرخ است که به‌عنوان حوضه انتهایی شبکه آب‌های منطقه قلمداد می‌شود و از فعالیت تکتونیک کمتری برخوردار است.



شکل ۳- زیر حوضه‌های حوضه آبخیز دق سرخ

شکل ۴- نقشه گسل‌های منطقه

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

جدول ۳- انتگرال ارتفاع سنجی به دست آمده برای حوضه‌های مورد مطالعه

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

| نام حوضه      | حداقل ارتفاع (M) | حداکثر ارتفاع (M) | متوسط ارتفاع (M) | انحراف معیار ارتفاع (M) | انحراف معیار شیب (%) | حد اکثر شیب (%) | متوسط شیب (%) | انحراف معیار شیب (%) | انتگرال ارتفاع سنجی | کلاس فعالیت |
|---------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|---------------|----------------------|---------------------|-------------|
| باد خالد آباد | ۹۵۴/۳۲           | ۳۸۲۷/۴۱           | ۱۵۲۳/۴۶          | ۶۰۰/۵۴                  | ۶۱/۰۳                | ۶۱/۰۳           | ۶/۴۹          | ۸/۶۹                 | ۰/۱۹                | ۳           |
| طرق ابیزان    | ۱۳۵۷/۱۷          | ۹۴۳۸/۴۰           | ۲۱۱۳/۷۱          | ۳۱۳/۸۵                  | ۴۷/۲۳                | ۴۷/۲۳           | ۷/۹۸          | ۷/۰۲                 | ۰/۳۰                | ۱           |
| اردستان       | ۹۲۲/۲۹           | ۳۲۳۱/۰۸           | ۱۴۷۰/۵۳          | ۵۰۸/۸۷                  | ۵۲/۸۴                | ۵۲/۸۴           | ۴/۵۵          | ۵/۸۹                 | ۰/۲۳                | ۲           |
| دق سرخ        | ۹۳۰/۰۹           | ۲۸۹۷/۵۹           | ۱۲۳۳/۲۶          | ۳۰۸/۴۱                  | ۵۶/۹۳                | ۵۶/۹۳           | ۲/۴۲          | ۳/۴۵                 | ۰/۱۵                | ۳           |

#### ۲.۴. شاخص سینوزیته جبهه کوهستان یا پیچ و خم پیشانی کوهستان (Smf)

پیچ و خم جبهه کوهستان (Smf) شاخصی است که تعادل و توازن بین شرایط آب و هوایی و نیروهای فرسایشی لیتولوژی و نیروهای تکتونیکی که موجب ایجاد جبهه کوهستان مستقیم که منطبق با کوهستان‌های جهش یافته با گسل فعال می‌باشند را نشان می‌دهد. پیچ و خم جبهه کوهستان با صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls} \quad (2)$$

Smf: پیچ و خم جبهه کوهستان، Lmf: طول جبهه کوهستان و دشت، LS: طول خط مماس بر جبهه کوهستان.

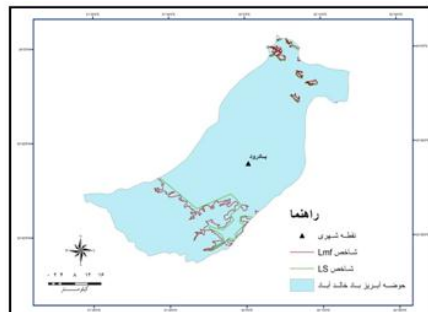
شاخص سینوزیته، جدال بین نیروهای فرسایش دهنده که سعی در فرسایش دادن جبهه کوهستان را دارند از یک طرف و نیروی تکتونیکی که باعث ایجاد نیروی صاف و مستقیم می‌شود را از طرف دیگر بیان می‌کند، حال اگر نیروهای فرسایش دهنده غلبه داشته باشند، نرخ بالای Smf نشان داده می‌شود و اگر نیروهای تکتونیکی فعال باشند، عدد Smf کمتر خواهد بود. به عبارت دیگر از نظر کمی شاخص Smf برای مناطق بسیار فعال تکتونیکی بین (۱ تا ۱/۶)، برای مناطق با فعالیت متوسط بین (۱/۴ تا ۳) و برای جبهه کوهستانی غیرفعال از حدود ۱/۸ تا بیشتر از ۵ است (مددی، رضایی مقدم، رجایی، ۱۳۸۴، ص. ۱۲۴).

#### جدول ۴- محاسبه شاخص سینوزیته جبهه کوهستان

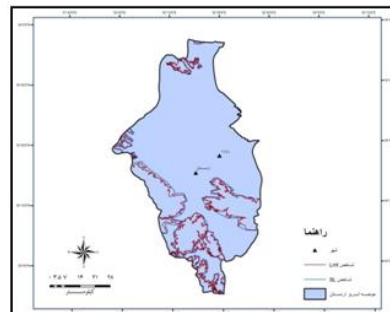
مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

| نام حوزه        | Lmf(M)     | LS(M)     | Smf  | کلاس فعالیت |
|-----------------|------------|-----------|------|-------------|
| باد- عمالد آباد | ۲۹۹۱۱۸/۲۲  | ۱۱۱۹۱۰/۱۶ | ۲/۶۷ | ۲           |
| طرق- ایازن      | ۷۱۶۰۵۰/۰۲  | ۶۶۶۱۹۱/۹۱ | ۱/۰۷ | ۱           |
| اردستان         | ۱۲۶۷۳۲۲/۴۱ | ۶۵۶۹۷۳/۹۴ | ۱/۹۲ | ۲           |
| دق سرخ          | ۹۷۲۷۵۰/۸۱  | ۴۸۶۹۴۴/۲۶ | ۲    | ۲           |

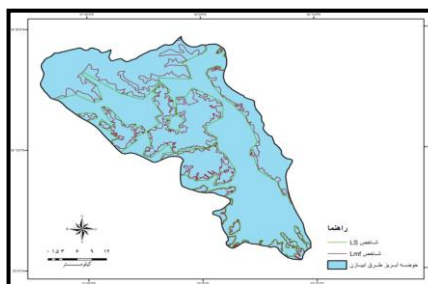
#### 1. mountain front sinuosity



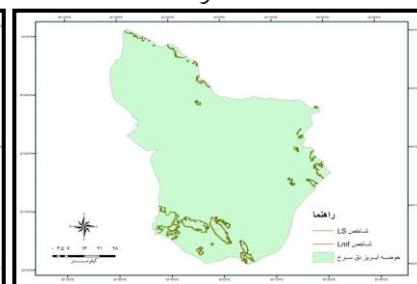
شکل ۶- نقشه شاخص سینوزیته جهت  
کوهستان برای حوزه باد خلدآباد  
مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲



شکل ۵- نقشه شاخص سینوزیته جهت  
کوهستان برای حوزه اردستان  
مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲



شکل ۸- نقشه شاخص سینوزیته جهت  
کوهستان برای حوزه طرق ایبازان  
مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲



شکل ۷- نقشه شاخص سینوزیته جهت  
کوهستان برای حوزه دق سرخ  
مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

#### ۴.۳. شاخص شکل حوضه (BS)

حوضه‌های فعال تکتونیکی، شکل کشیده‌ای دارند. شکل حوضه در طول زمان با توقف میزان بالا آمدگی، به تدریج دایره می‌شود (برینک و اندرسون<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳، ص. ۲۰۳) مطالعات سایر محققان نیز این موضوع را ثابت کرده است رامیز<sup>۲</sup> (۱۹۹۸)، گوربوز و پیروتا (۲۰۰۸) و مختاری (۱۳۸۴). به عبارت دیگر در مناطق کوهستانی هرچه شکل حوضه کشیده‌تر باشد، از فعالیت زمین‌ساختی بیشتری برخوردار است و با گذشت زمان و پیرشدن حوضه شکل آن به دایره نزدیک می‌شود. در مناطق فعال زمین‌ساختی عرض

1. Burbank and Anderson  
2. Ramiz

حوضه‌های آبریز باریک‌تر است؛ زیرا در چنین مناطقی نیروی رودخانه صرف ژرف کردن بستر خود می‌شود، در حالی که پایداری زمین‌ساختی باعث می‌شود رودخانه فرصت تعریض بستر خود را داشته باشد.

نسبت شکل حوضه با رابطه  $BS = \frac{BI}{BW}$  بیان می‌شود.

BS: نسبت شکل حوضه، BI، اندازه طول حوضه از انتهای ترین مقسم آب تا خروجی حوضه،

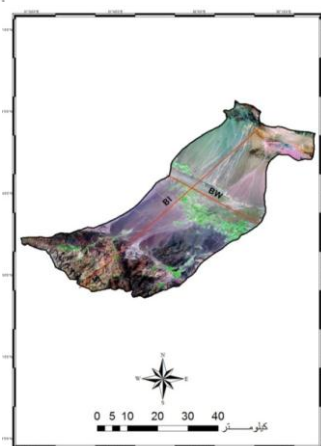
BW: پهنای حوضه در پهن‌ترین قسمت.

حوضه‌هایی که با مقادیر زیاد BS یعنی بیشتر از ۴ مشخص می‌شوند، از نظر تکتونیک فعال هستند. زمانی که BS بین ۳ تا ۴ باشد، حوضه‌ها از نظر فعالیت زمین‌ساختی در کلاس ۲ قرار دارند و مقادیر کمتر از ۳، حوضه‌های دایره‌ای شکل را نشان می‌دهند که از نظر فعالیت، غیرفعال هستند (حمدونی، ایرگاری، فرناندز، چاکون و کلر، ۲۰۰۸، ص. ۱۶۹).

#### جدول ۵- محاسبه شاخص شکل حوضه

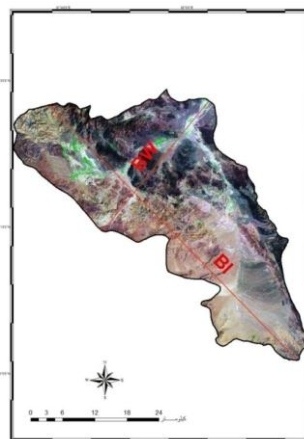
مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

| نام حوضه       | BI (M)    | BW(M)    | BS   | کلاس فعالیت |
|----------------|-----------|----------|------|-------------|
| باد- خالد آباد | ۱۰۰۳۶۶/۴۵ | ۳۰۱۶۶/۷۳ | ۳/۳۲ | ۲           |
| طرق- ایبازن    | ۶۷۱۰۲/۵۳  | ۳۱۳۸۷/۳۴ | ۲/۱۳ | ۳           |
| اردستان        | ۱۱۵۵۱۵/۷۳ | ۶۶۶۴۸/۳۹ | ۱/۷۳ | ۳           |
| دف سرخ         | ۱۲۴۳۱۳/۰۹ | ۸۵۳۹۱/۷۹ | ۱/۴۵ | ۳           |



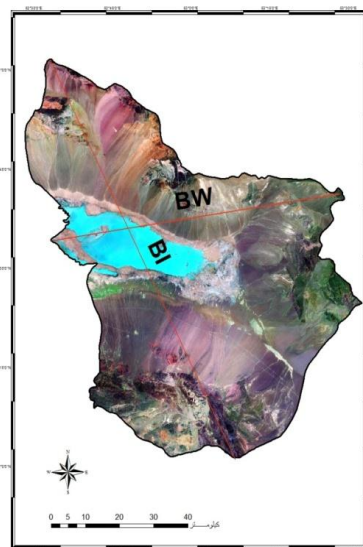
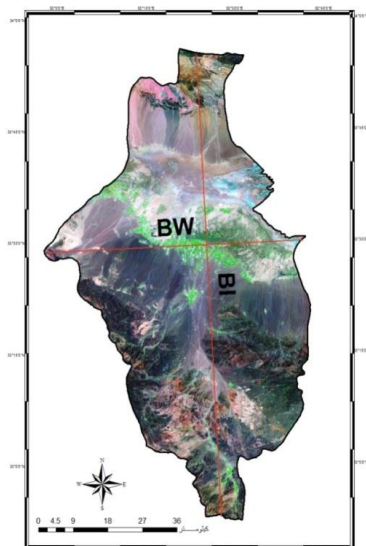
شکل ۱۰- شاخص BS، حوضه باد- خالدآباد

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲



شکل ۹- شاخص BS، حوضه طرق- ایبازن

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲



شکل ۱۱- شاخص BS، حوضه اردستان      شکل ۱۲- شاخص BS، حوضه دق سرخ  
 مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

۴. شاخص حجم به سطح حوضه

شاخص حجم به سطح حوضه از (رابطه ۱) محاسبه می‌شود.

$$VA = \frac{Vi}{Ai} \quad (3)$$

VA: مقدار عددی شاخص حجم به سطح حوضه

Vi: حجم حوضه

Ai: مساحت حوضه

مقدار عددی زیاد برای این شاخص نشان‌دهنده پستی و بلندی زیاد و فعالیت شدید زمین ساختی

در منطقه است (هارکینز، ۲۰۰۵، ص. ۴۳).

## جدول ۶- مقادیر شاخص (VA) در حوضه آبریز دق سرخ

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

| نام حوضه      | حداقل ارتفاع (M) | حداکثر ارتفاع (M) | حجم حوضه (M <sup>3</sup> ) | مساحت حوضه (M <sup>2</sup> ) | شاخص VA | کلاس فعالیت |
|---------------|------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|---------|-------------|
| باد خالد آباد | ۹۵۱              | ۳۸۱۹              | ۱۱۷۶۷۹۹۳۳۵۴۱۴              | ۲۸/۲۰۹۳۴۱۶۲۸۹                | ۱۴/۵۶۲  | ۲           |
| طرق ایازن     | ۱۳۵۳             | ۳۸۴۵              | ۹۵۸۸۸۲۹۸۰۴۷۰               | ۱۵/۱۲۷۵۸۷۰۰۸                 | ۵۴/۷۵۱  | ۱           |
| اردستان       | ۹۲۶              | ۳۲۳۲              | ۲۳۶۳۲۵۳۱۶۴۰۱۹              | ۶۴/۴۳۷۳۹۳۲۴۲۴                | ۳۰/۵۴۰  | ۲           |
| دق سرخ        | ۹۲۶              | ۲۹۰۹              | ۱۸۹۵۹۰۰۳۶۶۰۲۰              | ۵۶/۶۲۲۰۱۲۶۰۴۷                | ۸۰/۳۰۴  | ۳           |

با دقت در این شاخص درمی یابیم که قسمت های شمال، شمال غرب و جنوب غرب محدوده مورد مطالعه از نظر تکتونیکی فعال هستند. این قسمت ها دقیقاً منطبق بر حوضه های باد خالدآباد و طرق ایازن است که به ترتیب دارای کلاس فعالیت ۲ و ۱ هستند. از سوی دیگر بررسی نقشه گسل-های منطقه فعال بودن این بخش از حوضه را تأیید می کند. گسل های مهمی نظیر میلاجرد- زفره و کچومتقال در حوضه طرق ایازن، گسل معروف نطنز در حوضه باد خالدآباد، گسل های ماریین رنگان، بر گوهر و کچومتقال در نیمه جنوبی حوضه اردستان این محدوده ها را از نظر تکتونیکی ناآرام کرده اند. تنها پلایای دق سرخ با کمترین مقدار VA (۳۰۴/۸۰) منطقه ای غیرفعال از نظر تکتونیکی محسوب می شود.

## ۴.۵. شاخص تراکم سطحی آبراهه ها (P)

این عامل از تقسیم طول شبکه هیدروگرافی حوضه (شامل شبکه های اصلی و فرعی) به مساحت حوضه به دست می آید و شاخص مفیدی جهت ارزیابی و شناسایی نئوتکتونیک در حوضه های زهکشی محسوب می شود. در این شاخص هرچه ضریب تراکم بیشتر باشد، بیانگر تکتونیک فعال و حساسیت زیاد سازندها و تشکیلات زمین شناسی موجود در حوضه است. همچنین نشان از جوان بودن و نرسیدن به مرحله تعادل حوضه زهکشی دارد. این شاخص از (رابطه ۲) محاسبه می شود.

## 1. Drainage Density

$$P = \frac{\sum li}{A} \quad (۴)$$

در رابطه بالا P تراکم زهکشی،  $\sum li$ : طول آبراهه به کیلومتر، A: مساحت حوضه به کیلومتر مربع است.

جدول ۷- محاسبه شاخص P برای حوضه‌های مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

| نام حوضه     | $\sum li$ | A       | P    | کلاس فعالیت |
|--------------|-----------|---------|------|-------------|
| بادخالد آباد | ۱۲۹۰/۰۸   | ۲۰۹۳/۴۱ | ۰/۶۱ | ۱           |
| طرق لیازن    | ۷۴۱/۳۷    | ۱۲۷۵/۸۷ | ۰/۵۸ | ۲           |
| اردستان      | ۲۳۷۷/۴۸   | ۴۳۷۳/۹۳ | ۰/۵۴ | ۳           |
| دق سرخ       | ۳۵۰۷/۹۸   | ۶۲۲۰/۱۲ | ۰/۵۶ | ۳           |

#### ۶.۴. شاخص انشعاب پذیری<sup>۱</sup> (Br)

انشعاب‌پذیری به نسبت تعداد قطعات یک رده به تعداد قطعات مرتبه بالاتر گفته می‌شود. این شاخص به علت تغییرات تصادفی در هندسه حوضه آبریز از مرتبه‌ای به مرتبه دیگر یکسان نخواهد بود، اما تمایل دارد که در تمام سری‌ها ثابت باشد. هر قدر نسبت انشعاب بزرگتر باشد، بیانگر فعالیت تکتونیکی بیشتر و جوان بودن حوضه است. این شرایط باعث افزایش آبراهه‌های رتبه پایین‌تر می‌شود. نسبت انشعاب پایین از خصوصیات حوضه‌هایی است که آشفته‌گی‌های ساختاری کمتری دارند و الگوی زهکشی در آنها غیرطبیعی نیست. شاخص مورد بحث از (رابطه ۳) به دست می‌آید.

$$\left[ \frac{1}{N-1} \right] BR = \left[ \frac{N1}{N2} + \frac{N2}{N3} + \dots + \frac{Nn-1}{Nn} \right] \quad (۵)$$

که در آن N1: تعداد شاخه‌های رده یکم، N2: تعداد شاخه‌های رده دوم، N3: تعداد شاخه‌های رده سوم و n تعداد شاخه‌های رده n ام است.

#### 1. Bifurcation ratio



با توجه به محاسبات صورت گرفته زیرحوضه طرق ایبازن با بیشترین نسبت انشعاب ۵/۴۹ به عنوان فعال ترین زیرحوضه و زیرحوضه دق سرخ با کمترین نسبت انشعاب (۱/۹۰) کمترین فعالیت تکتونیکی را نشان می دهد.

با دقت در نقشه های زمین شناسی و نقشه گسل های منطقه صحت مطالب فوق تایید می شود؛ چرا که از زیرحوضه طرق ایبازن که به عنوان فعال ترین زیرحوضه شناخته می شود، گسل های مهمی نظیر میلاجرد- زفره و کچومتقال عبور می کنند. زیرحوضه دق سرخ به عنوان پلایا، بدون داشتن گسل مهمی شرایطی کاملاً آرام و غیرفعال دارد.

#### جدول ۸- محاسبه شاخص انشعاب پذیری (BR)

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

| رتبه آبراه<br>نام حوضه | N1   | N2  | N3  | N4  | N5 | BR   | کلاس فعالیت |
|------------------------|------|-----|-----|-----|----|------|-------------|
|                        |      |     |     |     |    |      |             |
| باد خالد آباد          | ۳۹۸  | ۱۸۸ | ۸۱  | ۲۳  | ۳  | ۳/۹۰ | ۲           |
| طرق ایبازن             | ۲۹۲  | ۱۰۸ | ۵۶  | ۶۶  | ۴  | ۵/۴۹ | ۳           |
| اردستان                | ۱۰۴۲ | ۴۷۸ | ۱۸۵ | ۱۷۶ | ۸۹ | ۱/۹۰ | ۱           |



شکل ۱۴- نقشه شاخص BR

حوضه باد- خالدآباد

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲



شکل ۱۳- نقشه شاخص BR

حوضه اردستان

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲



شکل ۱۶- نقشه شاخص BR

حوضه طرق ایبازن

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲



شکل ۱۵- نقشه شاخص BR

حوضه دق سرخ

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش به علت ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی متفاوت حوضه آبخیز اردستان و وجود سه واحد ژئومورفولوژیک کاملاً واضح (کوهستان، دشت سر، پلایا)، محدوده مطالعاتی به ۴ زیرحوضه تقسیم شد. پس از آن فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه با استفاده از ۶ شاخص ژئومورفیک، مبتنی بر مورفولوژی حوضه و شبکه زهکشی ارزیابی شد. برای نیل به این مقصود از شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی<sup>۱</sup> (Lat) استفاده شد که از (رابطه ۴) به دست می‌آید.

$$\text{Lat} = \frac{S}{N} \quad (6)$$

Lat = شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی، S = مجموع کلاس‌های شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه‌شده و N = تعداد شاخص‌های محاسبه‌شده طبقات مختلف شاخص Lat به صورت زیر است (الحمدونی، ایرگاری، فرناندز، چاکون و کلر، ۲۰۰۸، ص. ۱۷۱).

1. Index of Relative Active Tectonic

$1 < Lat < 1/5$  فعالیت زمین ساختی شدید،  $2 < Lat < 1/5$  فعالیت تکتونیکی زیاد،  $2/5 < Lat < 2$  فعالیت زمین ساختی متوسط،  $Lat > 2/5$  فعالیت های کم و ناچیز.

#### جدول ۹- محاسبه شاخص Lat برای محدوده مطالعاتی

مأخذ: نگارنده، ۱۳۹۲.

| نام حوضه     | HI | SMF | BS | VA | P | BR | LAT  | کلاس فعالیت             |
|--------------|----|-----|----|----|---|----|------|-------------------------|
| باد خالدآباد | ۳  | ۲   | ۲  | ۲  | ۱ | ۲  | ۲    | فعالیت تکتونیکی زیاد    |
| طرق لیبازن   | ۱  | ۱   | ۳  | ۱  | ۲ | ۳  | ۱/۸۳ | فعالیت تکتونیکی زیاد    |
| اردستان      | ۲  | ۲   | ۳  | ۲  | ۳ | ۱  | ۲/۱۶ | فعالیت زمین ساختی متوسط |
| دق سرخ       | ۳  | ۲   | ۳  | ۳  | ۳ | ۱  | ۲/۵  | فعالیت زمین ساختی متوسط |

نتایج (جدول ۹) نشان می دهد که بخش های شمال غرب و جنوب غرب محدوده مورد مطالعه از نظر تکتونیک بسیار فعال تر از قسمت های مرکزی و شرقی حوضه است. به گونه ای که شاخص (Lat) بیانگر فعالیت زیاد در حوضه طرق-لیبازن و باد خالدآباد و میزان فعالیت زمین ساختی متوسط در حوضه های اردستان و دق سرخ است.

(شکل ۴) موقعیت تکتونیکی منطقه و نقشه گسل های موجود در حوضه اردستان و حوضه های مجاور را بر مبنای نقشه های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ نشان می دهد. گسل های موجود در نقشه با یافته ها و محاسبات شاخص Lat منطبق است، به گونه ای که بخش های شمال غرب و غرب محدوده مطالعاتی بیشترین فراوانی گسل ها را داشته و دقیقاً در همین محدوده بالاترین شاخص Lat به دست آمده است. به نظر می رسد فعالیت بخش های شمال غرب و جنوب غرب، به عبور گسل های مهم قم - زفره و نظنز مربوط می شود. این در حالی است که در قسمت های مرکزی و شرقی حوضه که کمترین تراکم گسل ها را دارند، پایین ترین میزان Lat به دست آمده است.

#### کتاب نامه

۱. امریان چافجیری، م. ر.، قرشی، م. (۱۳۸۹). برآورد جنبایی حاشیه شمالی البرز میان چالوس تا رود سر بر پایه شاخص های مورفوتکتونیکی (شاخص های سه بعدی). فصل نامه زمین، ۵(۱)، ۷۸-۹۴.
۲. حقی پور، ن. (۱۳۸۶). بررسی ریخت زمین ساختی گستره کپه داغ- بینالود بر پایه شاخص های گرادیان شیب رود و هیپسومتری. فصل نامه علوم زمین، ۱۶(۲۹)، ۶۴-۱۹.

- ۶۴ مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای شماره بیست و پنجم
۳. خطیبی بیاتی، م (۱۳۸۸). تشخیص فعالیت‌های نئوتکتونیک در حوضه آبریز قرقچای با استفاده از شاخص های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک. *فضای جغرافیایی*، ۹(۲۵)، ۲۳-۵۰.
۴. خبازی، م. (۱۳۹۱). بررسی پائوژئومورفولوژی کویر دق سرخ. (رساله منتشر نشده دکتری ژئومورفولوژی)، دانشگاه اصفهان، ایران.
۵. خیام، م، مختاری کشکی، د. (۱۳۸۲). ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیک بر اساس مورفولوژی مخروطه افکنه‌ها. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۴۴، ۱-۱۰.
۶. رادفر، ش.، پورکرمانی، م. (۱۳۸۴). ریخت زمین ساخت گسل کوهبنان. *مجله علوم زمین*، ۱۵(۵۸)، ۹۹-۷۰.
۷. رجبی، م، روستایی، ش.، مقامی مقیم، غ. (۱۳۸۵). تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ در شمال شرقی ایران. *جغرافیا و توسعه*، ۱، ۱۹۱-۱۷۷.
۸. زرگرزاده، م، رنگزن، ک، چرچی، ع، آبشیرینی، ا. (۱۳۸۸). کاربرد GIS و شاخص‌های ژئومورفیک در پهنه‌بندی تکتونیک فعال زون زاگرس. *مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک*. ۲۰ اردیبهشت ۱۳۸۸. (صص. ۱-۱۰). تهران.
۹. سلیمانی، ش. (۱۳۷۸). *رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه شناسی*. چاپ اول. تهران: انتشارات موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
۱۰. کرمی، ف. (۱۳۸۸). ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیک در حوضه زهکشی سعیدآباد چای. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۶۹، ۸۲-۶۷.
۱۱. مختاری کشکی، د. (۱۳۷۶). *تحلیل برخی از مسائل مورفودینامیک دامنه شمالی میشو و دشت سیلابی کشکسرای*. (پایان‌نامه منتشر نشده کارشناسی ارشد جغرافیا). دانشگاه تبریز، ایران.
۱۲. مختاری کشکی، د. (۱۳۷۹). آسیب پذیری سکونتگاه‌های واقع در مسیر خطوط گسل و عمران روستایی *مجله مسکن و انقلاب*. ۹۱ و ۹۲، ۷۴-۷۰.
۱۳. مددی، ع، رضایی مقدم، م. ح، رجایی، ع. (۱۳۸۳). تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از روش های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال غربی تالش (باغروداغ). *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۶(۵۰)، ۱۳۸-۱۲۳.
۱۴. یمانی، م، باقری، س، جعفری اقدم، م. (۱۳۸۹). تاثیر نوزمین ساخت در مورفولوژی آبراهه‌های حوضه چله (زاگرس غربی). *محیط جغرافیایی*، ۱(۱)، ۸۲-۶۷.

15. Amerson, B. E., Montgomery, D. R., & Meyer, G. (2007). Relative size of fluvial and glaciated valleys in central Idaho. *Geomorphology*, 93(3), 537-547.
16. Anderson, J. G., Brune, J. N., Anoushehpour, R., & Ni, S. D. (2000). New ground motion data and concepts in seismic hazard analysis. *Current Science Bangalore*, 79(9), 1278-1290.
17. Bull, W. B., & McFadden, L. D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In D. O. Doehring, D.O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium (pp. 115-138)*. Binghamton: State University of New York.
18. Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2000). *Tectonic Geomorphology*. UK: Blackwell Publisher
19. El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1), 150-173.
20. Guarnieri P., & Pirrotta, C. (2008). The response of drainage basins to the late Quaternary tectonic in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily). *Geomorphology*, 95(3), 260-273.
21. Hesami, K., Pantosti, D., Tabassi, H., Shabanian, E., Abbassi, M. R., Fegghi, K., & Solaymani, S. (2003). Paleo earthquakes and slip rates of the North Tabriz Fault, NW Iran. *Annals of Geophysics*, 46(5), 903-915.
22. Keller E. A., & Pinter, N. (1996). *Active tectonics*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
23. Ramirez, H. (1998). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(4), 317-332.
24. Silva P. G., Goy, J. L., Zazo, C., & Baradaji, T. (2003). Fault-generated mountain front in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology*, 50(1), 203-225.