

## ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی حوزه آبخیز گاوکشک با استفاده از شاخص‌های مورفومتریک

زهرا نیک<sup>۱</sup>، کورس یزدجردی\*<sup>۲</sup> و هادی عبدالعظیمی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، ایران، <sup>۲</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، ایران و <sup>۳</sup> استادیار، گروه علوم خاک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۸

### چکیده

تحلیل‌های ریخت‌سنجی به‌عنوان ارزیابی کمی ویژگی‌های هندسی اشکال زمینی و چشم‌اندازها قابل بررسی می‌باشند. در بررسی ویژگی‌های تکتونیک‌های حوزه آبخیز، استفاده از بعضی پارامترهای ریخت‌سنجی، می‌تواند اطلاعات بسیار مهمی را ارائه دهند. حوضه گاوکشک با مساحت ۴۶/۷۳ کیلومترمربع، در ناحیه کوهستانی و تکتونیک‌های زاگرس چین‌خورده، قرار دارد. هدف از این پژوهش، استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی، نظیر: شاخص انتگرال هیپسومتری، شاخص شکل حوضه زهکشی، شاخص شیب جریان (گرادیان طول رود)، شاخص شیب طولی رودخانه، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی و شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن می‌باشد. در نتیجه، این شاخص‌ها تبدیل به شاخص نسبی فعالیت تکتونیک می‌شود. با استفاده از این شاخص می‌توان عملکرد کلی فعالیت تکتونیک منطقه را بررسی کرد. مقادیر شاخص‌های ریخت‌سنجی منطقه مورد مطالعه، با تقسیم شدن منطقه به ۴۳ زیرحوضه آن و با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد بررسی قرار گرفته است. روش شاخص‌های ریخت‌سنجی همراه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، رویه و ابزار توانمندی، برای برآورد فعالیت تکتونیک منطقه می‌باشد. البته باید در نظر داشت که نتایج حاصل از این شاخص‌ها، می‌تواند در بخش‌های مختلف، مقادیر مختلفی را نشان دهد. با بررسی شاخص نسبی فعالیت تکتونیک، حوضه مورد مطالعه به دو بخش فعال (۲۵/۶ درصد از کل حوزه آبخیز) و نیمه فعال (۷۴/۴ درصد از کل حوزه آبخیز) تقسیم می‌شود. با انجام بررسی‌های آماری، حوضه مورد مطالعه به چهار خوشه شامل: خوشه یک، با ۹۱/۸۳ درصد شباهت، خوشه دو، با ۹۵/۱۹ درصد شباهت، خوشه سه، با ۹۶/۱۸ درصد شباهت و خوشه چهار، با ۹۱/۰۹ درصد شباهت تقسیم‌بندی می‌شود. در این روش، مناطق همگن، بر اساس الگوریتم خوشه‌بندی Ward تعیین شدند. بررسی تکتونیک فعال حوضه مورد پژوهش، با استفاده از دیگر شاخص‌های ریخت‌سنجی، می‌تواند در یک طرح پژوهشی دیگر مورد بررسی قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** حوضه گاوکشک، خوشه‌بندی، زاگرس چین‌خورده، سامانه اطلاعات جغرافیایی، مدل رقومی ارتفاعی

### مقدمه

اطلاعات بسیار مهمی را ارائه دهند. در بیشتر موارد ممکن است اطلاعات ناشی از به‌کارگیری بعضی از شاخص‌هایی که از پارامترهای فیزیوگرافیک حاصل

در بررسی ویژگی‌های حوزه آبخیز، استفاده از بعضی پارامترهای فیزیوگرافیک حوضه‌ها می‌تواند

فعالیت زمین‌ساختی پایین قرار دارد. محیط‌های با نرخ های فعالیت بالاتر، شاخص نسبی فعالیت تکتونیکی کوچک‌تری دارند.

برخی از محققان زمین‌ساخت فعال حوضه رودخانه کارون بزرگ را با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی مورد بررسی قرار دادند (Pourkermani و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج نشان داده است که پس از بررسی شاخص‌های زمین‌ریخت‌شناسی و محاسبه شاخص نسبی فعالیت تکتونیکی در منطقه مطالعاتی، سه پهنه با ویژگی‌های متفاوت از دید زمین‌ساخت فعال نظیر: پهنه با فعالیت نسبی خیلی بالا (۲۴ درصد از کل حوزه آبخیز)، پهنه با فعالیت نسبی بالا (۶۳ درصد از کل حوزه آبخیز) و پهنه با فعالیت نسبی متوسط (۱۰ درصد از کل حوزه آبخیز) شناسایی شد. همچنین، یک درصد از پهنه حوزه آبخیز به علت نبود امکان اندازه‌گیری شاخص‌ها، در این رده‌بندی قرار نمی‌گیرند.

#### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** حوزه آبخیز گاوکشک با مساحت  $46/73$  کیلومترمربع در محدوده طول جغرافیایی  $41^{\circ} 43' 51''$  تا  $51^{\circ} 50' 10''$  شرقی و عرض جغرافیایی  $29^{\circ} 37' 44''$  تا  $29^{\circ} 41' 53''$  شمالی در غرب شهرستان شیراز و به فاصله حدود ۱۳ کیلومتری شرق شهرستان کازرون واقع شده است. بیشینه ارتفاع حوضه  $2144$  متر و کمینه آن  $1068$  متر می‌باشد (شکل ۱). این منطقه از نظر تقسیم‌بندی ساختمان‌های زمین‌شناسی کشور، در زون تکتونیکی زاگرس و در بخش زاگرس چین‌خورده قرار می‌گیرد. حوضه گاوکشک بخشی فرسایشی از تاقدیسی بزرگ با محور شمال غربی-جنوب شرقی بوده که در امتداد تقریباً شمال-جنوب، از جنوب به سمت شمال حوضه، سازندهای زمین‌شناسی جوان‌تر و سپس مجدداً قدیمی‌تر می‌شوند. سازندهای آهکی آسماری-جهرم، قدیمی‌ترین سازند رخنمون یافته در این چین‌خوردگی بوده که در نوار جنوبی و شمالی حوضه (نقاط مرتفع)، دیده می‌شود. سازند گچ‌دار گچساران، جوان‌ترین سازند زمین‌شناسی است که در بخش کم ارتفاع و تپه‌ماهوری حوضه (نوار میانی) رخنمون دارد. معمولاً

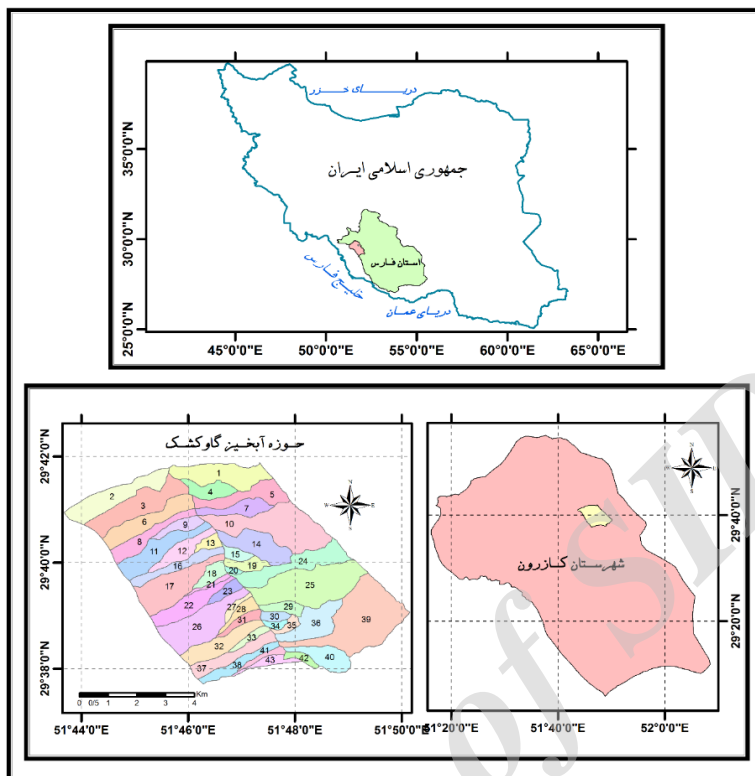
شده‌اند، نشانگر فعالیت‌های تکتونیکی قدیمی و جوان در یک محدوده ویژه باشند. از این نظر در بررسی‌های تکتونیک منطقه‌ای، به‌کارگیری و توجه به نتایج حاصل از آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اما باید در نظر داشت که نتایج حاصل از این پارامترها می‌تواند در بخش‌های مختلف مقادیر مختلفی را نشان دهد (Zuchiewicz, ۱۹۸۸). بنابراین، باید در چنین مواردی نتایج حاصل از شاخص‌های ریخت‌سنجی را مدنظر قرارداد، به‌خصوص در مواردی که تحلیل‌ها بر روی مسیر جریان رودخانه‌ها متمرکز شده، شاخص‌های ریخت‌سنجی از ابزارهای مهم برای ارزیابی درجه فعالیت‌های تکتونیکی در یک ناحیه ویژه هستند.

مطالعات زیادی در مورد ارزیابی فعالیت تکتونیکی به‌وسیله دانشمندان صورت گرفته است (Bull و Mcfadden, ۱۹۷۷؛ Azor و همکاران، ۲۰۰۲؛ Keller و Pinter, ۲۰۰۲؛ Silva و همکاران، ۲۰۰۳؛ Molin و همکاران، ۲۰۰۴) که از آن جمله می‌توان به بررسی میزان دگرریختی ایجاد شده حاصل از فعالیت‌های زمین‌ساختی، با استفاده از شاخص‌های ریخت‌سنجی اشاره نمود (El Hamdouni و همکاران، ۲۰۰۸). از این شاخص‌ها در بررسی وضعیت تکتونیکی حوضه سریانورا در جنوب اسپانیا استفاده نموده‌اند. در ایران بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیک مناطق مختلف به‌وسیله افراد زیادی مورد استفاده قرار گرفته است.

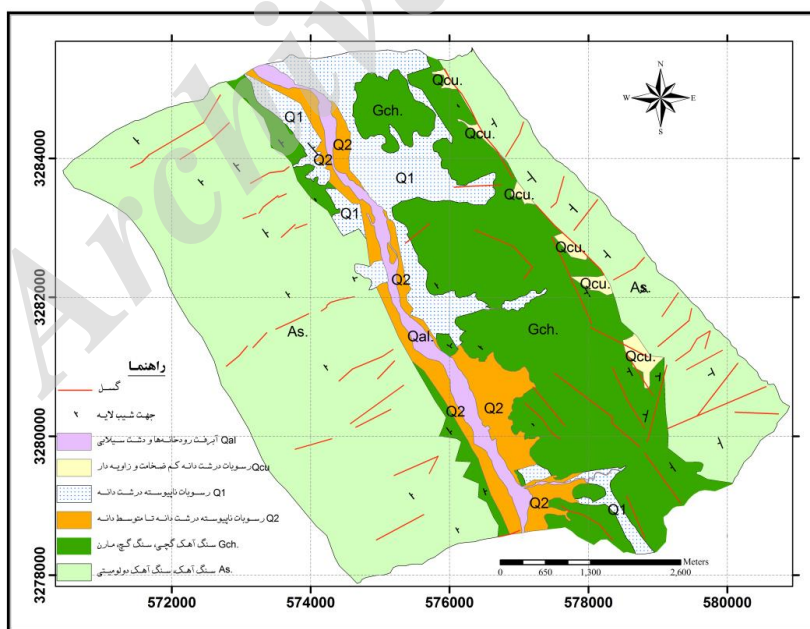
زمین‌لغزش‌های استان خوزستان با استفاده از شاخص‌های مورفوتکتونیک مورد بررسی قرار گرفته است (Habibi, ۲۰۱۵). نتایج نشان داده است که ۸۸/۸ درصد از موارد لغزش در طبقه مناطق شدید و بسیار شدید تکتونیکی واقع شده و فقط ۱۱/۲ درصد از زمین‌لغزش‌ها در طبقه متوسط قرار گرفته‌اند.

نشانه‌های زمین‌ریختی زمین‌ساخت فعال حوضه آبخیز جراحی-هندیجان (رودخانه‌های مارون-زهره) در جنوب باختر ایران بر پایه شاخص‌های زمین‌ریختی به‌وسیله Ehsani و همکاران (۲۰۱۵)، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشان داد که نزدیک به ۴۰ درصد از مساحت کل ناحیه مورد مطالعه در رده‌های یک و دو، یعنی با فعالیت خیلی بالا و بالا، قرار دارد و ۳۷ درصد در رده چهار، یعنی با

سطح بین سازند آسماری-چهرم و گچساران به‌وسیله نهشته‌های کوتا‌ترنی (واریزه‌های کوه‌رفتی) و رسوبات آبرفتی کوتا‌ترنی پوشیده شده است (شکل ۲).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه گاوکشک در منطقه فارس و ایران



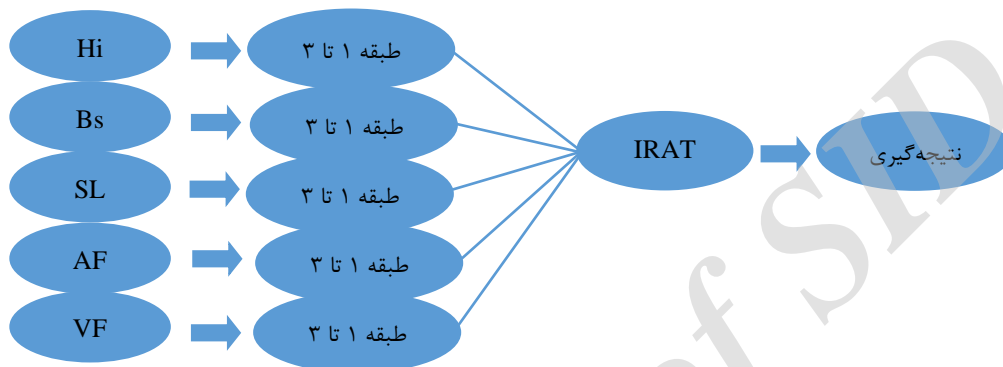
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی حوزه گاوکشک

فیزیوگرافی آبراهه‌هاست، از مقادیر کمی به‌دست آمده از شاخص‌های مورفومتریک نظیر: شاخص انتگرال

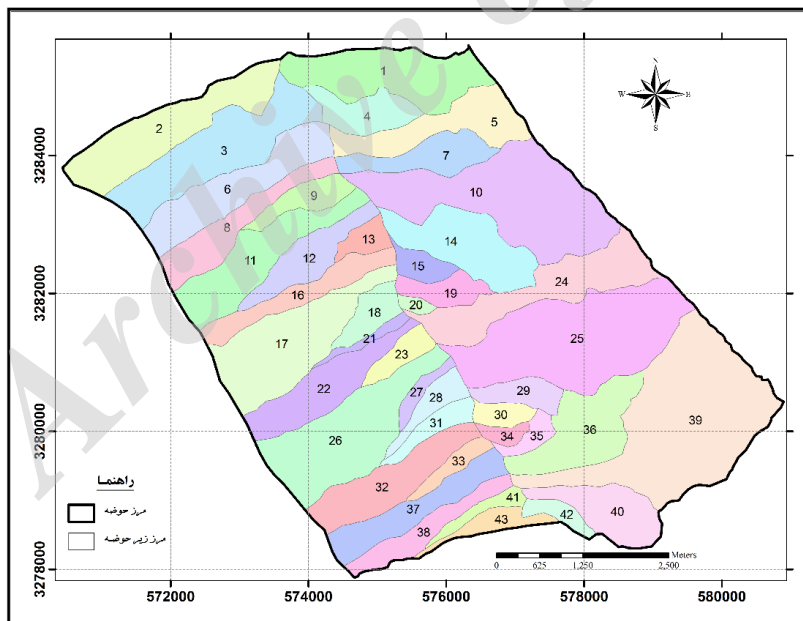
روش پژوهش: از آن‌جایی که مطالعات در زمینه ریخت‌سنجی حوزه‌های آبخیز و ویژگی‌های

هیپسومتری، شاخص شکل حوضه زهکشی، شاخص شیب جریان (گرادیان طول رود)، شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی، شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن و در نهایت شاخص نسبی فعالیت تکتونیکی استفاده می‌شود (شکل ۳). در ابتدا مدل رقومی- ارتفاعی ناحیه مورد مطالعه، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، تهیه شد. سپس با استفاده از یکی از Extension‌های جانبی نرم‌افزار GIS که امکانات تعیین زیرحوضه‌های یک حوضه، مساحت

آن‌ها و همچنین شبکه آبراهه‌ها فراهم می‌آورد، الگوی زهکشی منطقه تهیه شد. پس از تحلیل به‌وسیله نرم‌افزار، ۴۳ زیرحوضه، برای حوزه آبخیز گاوکشک به‌دست آمد (شکل ۴). در هر زیرحوضه، شاخص‌های ریخت‌سنجی با استفاده از فرمول‌های هر شاخص تعیین، محاسبه و طبقه‌بندی شد. در نهایت زیرحوضه‌ها، بر اساس روش El-Hamdouni و همکاران، (۲۰۰۸) و بررسی‌های آماری مورد ارزیابی و طبقه‌بندی قرار گرفت.



شکل ۳- الگوریتم طرح پژوهش



شکل ۴- نقشه حوزه آبخیز گاوکشک

### شاخص‌های ریخت‌سنجی

شاخص انتگرال هیپسومتری (ارتفاع‌سنجی)<sup>۱</sup>: این شاخص، توزیع سطوح ارتفاعی یک منطقه از زمین

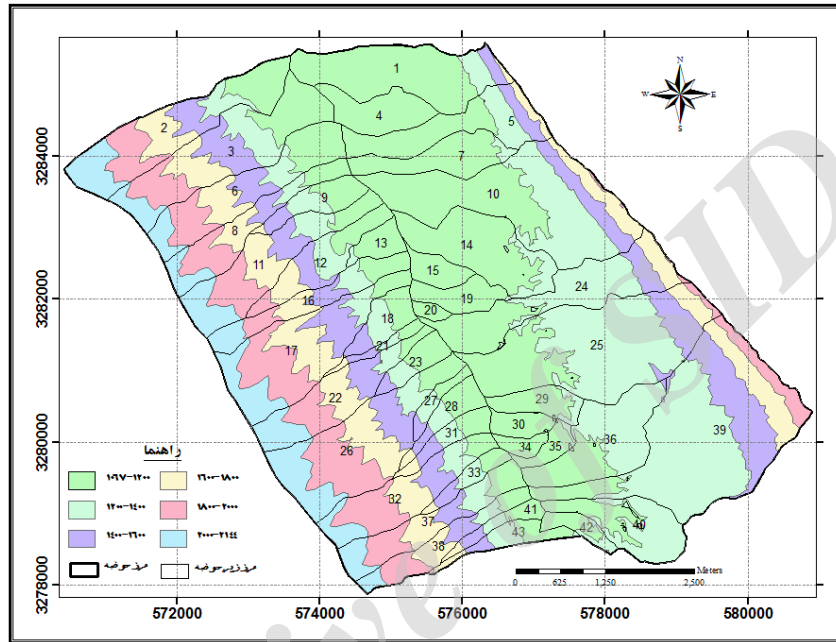
یا یک حوزه آبخیز را نشان می‌دهد (شکل ۵). رابطه (۱) برای محاسبه این شاخص استفاده می‌شود که به شکل زیر است (Mayer، ۱۹۹۰؛ Pike و Wilson، ۱۹۷۱؛ Keller و Pinter، ۲۰۰۲).

$$HI = \frac{(H_{mean} - H_{min})}{(H_{max} - H_{min})} \quad (1)$$

<sup>۱</sup> Hypsometric integral Index (HI)

مقادیر پایین آن با نواحی قدیمی که فرایند فرسایش بر آن‌ها حاکم است و کمتر تحت تاثیر زمین ساخت فعال منطقه است. با توجه به رابطه (۱) و نظریه El-Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸)، مقادیر انتگرال ارتفاع سنجی برای هر زیرحوضه محاسبه شد. تغییرات این شاخص از ۰/۰۸ درصد در زیرحوضه ۳۰ تا ۰/۸۶ درصد در زیرحوضه ۴ دیده می‌شود (جدول ۱).

که در آن،  $H_{mean}$  ارتفاع متوسط حوضه،  $H_{max}$  بیشترین ارتفاع حوضه،  $H_{min}$  کمترین ارتفاع حوضه است. مقادیر انتگرال ارتفاع سنجی بر مبنای نظریه El-Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸)، برای حوضه‌ها، به سه گروه فعال ( $HI \geq 0.5$ )، نیمه فعال ( $0.4 < HI \leq 0.5$ ) و غیر فعال ( $HI \leq 0.4$ ) طبقه‌بندی شده‌اند. مقادیر بالای این شاخص نشان دهنده نواحی فعال و جوان بوده و



شکل ۵- نقشه هیپسومتریک حوزه آبخیز گاوکشک

در مناطق فعال زمین‌ساختی، عرض حوزه‌های آبخیز باریک‌تر است؛ زیرا در چنین مناطقی، نیروی رودخانه صرف عمیق کردن بستر رودخانه می‌شود.

شکل کشیده حوزه‌های آبخیز از خصوصیات حوضه‌هایی است که در مناطق کوهستانی با فعالیت‌های زمین‌ساختی واقع شده‌اند و با دور شدن از زمان بالآمدگی منطقه شکل آن به دایره نزدیک‌تر می‌شود (Ramirez-Herrea, ۱۹۹۸). با توجه به رابطه (۲) و نظریه El-Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸)، مقادیر شکل حوضه زهکشی برای هر زیرحوضه محاسبه شد. تغییرات این شاخص از ۱/۵۶ درصد در زیرحوضه ۱۰ تا ۷/۸۷ درصد در زیرحوضه ۳۸ دیده می‌شود (جدول ۱).

شاخص شیب جریان (گرادیان طول رود)<sup>۲</sup>: این

شاخص شکل حوضه زهکشی<sup>۱</sup>: تصویر افقی شکل حوضه به وسیله نسبت طولیل شدگی یا شاخص شکل حوضه توصیف می‌شود. این شاخص به وسیله رابطه (۲) بیان می‌شود (Ramirez-Herrera, ۱۹۹۸; Cannon, ۱۹۷۶).

$$Bs = BI / Bw \quad (2)$$

که در آن،  $BI$  اندازه طول یک حوضه از بالاترین نقطه تا خروجی حوضه و  $Bw$  اندازه عرض یک حوضه در پهن‌ترین نقطه می‌باشد.

مقدار شاخص شکل حوضه زهکشی بر مبنای نظریه El-Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸)، برای حوضه‌ها به سه گروه فعال ( $BS \geq 4$ )، نیمه فعال ( $3 \leq BS < 4$ ) و غیر فعال ( $BS \leq 3$ ) طبقه‌بندی می‌شود.

<sup>۱</sup> Basin shape index (Bs)

<sup>۲</sup> Stream Length–gradient index (SL)

استفاده شود (Keller و Pinter، ۲۰۰۲؛ Hare و Gardner، ۱۹۸۵). این شاخص با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$Af = (Ar/At) \times 100 - 50 \quad (4)$$

که در آن،  $Ar$  مساحت سمت راست حوضه (دید به سوی پایین‌دست) و  $At$  مساحت کل حوضه می‌باشد. مقدار شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی بر مبنای نظریه El-Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸)، از نظر تکتونیک به سه گروه، فعال  $[AF-50] > 15$ ، نیمه فعال  $[AF-50] = 7-15$  و غیر فعال  $[AF-50] < 7$  طبقه‌بندی می‌شود. اگر حوضه‌ای در شرایط پایدار بدون کج‌شدگی یا با مقدار کم باشد، شاخص  $AF$  برابر ۵۰ است. این شاخص به تغییر میزان کج‌شدگی در راستای عمود بر روند کانال حساس است. مقادیر بیشتر یا کمتر از ۵۰ نشان‌دهنده کج‌شدگی حوضه است، که می‌تواند در نتیجه فعالیت زمین‌ساختی یا ساختارهای حاصل از ویژگی‌های سنگ‌شناسی باشد. با توجه به رابطه (۴) و نظریه و همکاران (۲۰۰۸)، مقادیر عدم تقارن حوضه زهکشی برای هر زیرحوضه محاسبه شد. تغییرات این شاخص از ۰/۸۱- درصد در زیرحوضه ۱۳ تا ۳۰/۵۹ درصد در زیرحوضه ۹ دیده می‌شود (جدول ۱).

**شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن<sup>۲</sup>:** این نسبت نشان‌دهنده رابطه‌ای میان میزان فعالیت زمین‌ساختی در منطقه و تشکیل دره‌هاست، که به صورت رابطه (۵) تعریف شده است (Bull و McFadden، ۱۹۷۷؛ Bull، ۱۹۷۸).

$$Vf = 2f_w / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)] \quad (5)$$

که در آن،  $Vf$  نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره،  $Vfw$  پهنای کف دره،  $Eld$  ارتفاع آب پخشان در سمت چپ دره،  $Erd$  ارتفاع آب پخشان در طرف راست دره و  $Esc$  میانگین ارتفاع بستر دره می‌باشد. دره‌های  $V$  شکل و باریک مرتبط با پیشانی‌های کوهستانی فعال دیده می‌شوند و نشان‌دهنده بالآمدگی سریع و برش بستر در امتداد مسیر آن هستند. با کاهش فعالیت زمین‌ساختی عوامل فرسایشی موجب افزایش پهنای

شاخص تأثیر تغییرات محیطی بر روی نیمرخ‌های طولی رودخانه را نشان می‌دهد و برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی ابزار مفیدی است. هنگامی که رودخانه‌ها و آبراهه‌ها در نواحی با نرخ بالآمدگی زیاد جریان دارند، مقدار  $SL$  افزایش می‌یابد، در حالی که وقتی جریان رودخانه‌ها به موازات ساختارهایی مانند دره‌های حاصل از گسل صورت گیرد، میزان  $SL$  کاهش می‌یابد (Keller و Pinter، ۲۰۰۲). این شاخص به وسیله Hack (۱۹۷۳) با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$SL = (\Delta H / \Delta Lr \times Lsc) \quad (3)$$

که در آن،  $\Delta H$  اختلاف ارتفاع،  $\Delta Lr$  طول رودخانه،  $Lsc$  کل طول کانال از نقطه میانی از بخش مستقیم یک رود تا بالاترین نقطه در بالادست جریان کانال می‌باشد. مقدار شاخص شیب طولی رودخانه بر مبنای نظریه El-Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸) برای حوضه‌ها در سه گروه، فعال ( $SL \geq 500$ )، نیمه فعال ( $300 \leq SL < 500$ ) و غیرفعال ( $SL < 300$ ) طبقه‌بندی شده‌اند. این شاخص تحت تأثیر میزان مقاومت جنس بستر نیز بوده و با جریان یافتن رودخانه بر روی سنگ‌های با مقاومت بالا، میزان بالای  $SL$  و در سنگ‌های با مقاومت پایین، میزان پایین  $SL$  را نشان می‌دهد. با توجه به رابطه (۳) و نظریه El-Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸) مقادیر شیب طولی رودخانه برای هر زیرحوضه محاسبه شد. تغییرات این شاخص از ۱/۶۷ در زیرحوضه ۲۰ تا ۴۱۷/۷۷ در زیرحوضه شش دیده می‌شود (جدول ۱).

**شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی<sup>۱</sup>:** تغییر شکل‌های مربوط به فرایندهای زمین‌ساختی، عامل ایجاد تغییراتی در الگو و هندسه شبکه زهکشی یک حوزه آبخیز می‌شود، به گونه‌ای که در مناطق آرام زمین‌ساختی با در نظر گرفتن عامل‌های تأثیرگذار، ترکیب سنگ‌شناسی بیشتر دارای هندسه و الگوی متقارن است، ولی حضور دگرشکلی‌های مرتبط با فرایندهای زمین‌ساختی این الگوی متقارن اولیه را تغییر می‌دهد و سبب کج‌شدگی در حوضه می‌شود. این روش ممکن است برای نواحی به نسبت بزرگ

<sup>2</sup> The valley width/height ratio index (Vf)

<sup>1</sup> Asymmetric Factor index (AF)

$$IRAT = S/N \quad (۶)$$

که در آن،  $S$  مجموع طبقات شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه شده در یک زیرحوضه و  $N$  تعداد شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه شده در یک زیرحوضه می‌باشد. مقدار شاخص فعالیت نسبی زمین ساخت بر مبنای نظریه El-Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸) در چهار طبقه: خیلی زیاد (بسیار فعال) ( $1/5 \leq Iat < 2$ )، زیاد (فعال) ( $1 \leq Iat < 1/5$ )، متعادل (نیمه فعال) ( $2 \leq Iat < 5/2$ ) و پایین (فعالیت کم) ( $Iat \leq 5/2$ ) طبقه‌بندی می‌شود.

### نتایج و بحث

تکتونیک اشاره به ساختمان‌های تغییر شکل یافته و معماری خارجی‌ترین بخش زمین یعنی پوسته زمین و ارزیابی این عوارض و ساخت‌ها در طول زمان زمین‌شناسی دارد. تکتونیک به مطالعه لندفرم‌های که تحت تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی شکل گرفته و تحول یافته‌اند، می‌پردازد. لندفرم‌ها در نواحی با زمین‌ساخت فعال، حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تأثیر حرکات عمودی و افقی مربوط به بلوک‌های پوسته و فرسایش یا رسوب‌گذاری به وسیله فرایندهای سطحی می‌باشند. زمین‌ساخت یک عامل مهم در کنترل و توسعه لندفرم‌ها در نواحی فعال تکتونیک است. برای برآورد فعالیت‌های زمین‌ساختی یک منطقه روش‌های مختلفی وجود دارد که در این میان شاخص‌های ژئومورفیک به دلیل سادگی نسبی روش محاسبه، سرعت عمل بالا در به‌کارگیری آن‌ها و نتایج مطلوب از اهمیت زیادی برخوردار هستند.

در این مطالعه شاخص‌های ریخت‌سنجی مورد استفاده  $SL$ ،  $B_s$ ،  $A_f$  و  $V_f$  یک طبقه‌بندی نسب یاز فعالیت‌های زمین‌ساختی را در ۴۳ زیرحوضه آبخیز ارائه می‌دهند. برای ارائه یک طبقه‌بندی کلی و یک دید جامع از فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه بر اساس نتایج تمام شاخص‌ها از شاخص طبقه‌بندی (IRAT) استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که حوضه مورد مطالعه بر اساس شاخص  $H_i$ ، در سه وضعیت فعال (۲۷/۹ درصد)، نیمه‌فعال (۹/۳ درصد) و غیرفعال (۶۲/۸ درصد)؛ شاخص  $B_s$ ، در سه وضعیت فعال (۴۱/۹ درصد)، نیمه‌فعال (۱۶/۳ درصد) و غیرفعال

کف دره و تشکیل دره‌هایی U شکل می‌شوند (Keller و Pinter، ۲۰۰۲).

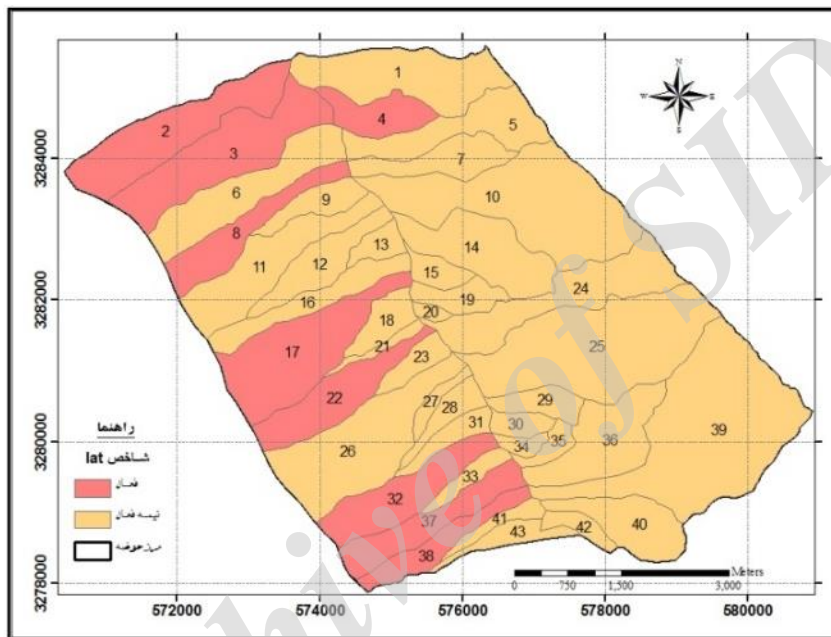
مقدار شاخص نسبت عرض کف دره به ارتفاع آن بر مبنای نظریه El-Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸) به سه گروه فعال ( $VF < 0/5$  km)، نیمه فعال ( $0/5 \leq VF < 1$  km) و غیرفعال ( $VF \geq 1$  km) طبقه‌بندی می‌شود. از آنجایی که بالآمدگی با حفر بستر آبراهه مقادیر زیادتر  $VF$  ارتباط دارد، میزان کم شاخص بالآمدگی، حفر دره و وجود فعالیت تکتونیک را نشان می‌دهد. مقادیر زیاد  $VF$  مرتبط با نرخ‌های کم بالآمدگی می‌باشند. بنابراین رود پهنای بستر خود را فرسایش داده، به طوری که به‌طور گسترده پهنای بستر دره افزایش می‌یابد. مقادیر کم  $VF$  بیانگر دره‌های عمیق همراه با رودهایی که به‌طور فعال کف بستر خود را حفر می‌کنند و همچنین به‌طور معمول همراه با بالآمدگی است. از دیدگاه Silva و همکاران (۲۰۰۳) این شاخص باید در فاصله مشخصی از پیشانی بسته به اندازه حوضه و موقعیت آن از روی مدل رقمی-ارتفاعی در نظر گرفته شود. این شاخص عملکرد رودخانه‌ها نسبت به فرسایش بستر یا دیواره‌های حاشیه رود را مشخص می‌نماید و معمولاً در فاصله یک کیلومتری از جبهه کوهستان به طرف بالادست رود اندازه‌گیری می‌شود و سنجشی از شکاف خوردگی و بالا آمدگی است که در یک حالت سکون، این دو با هم برابر و منطبق می‌شوند. این شاخص معمولاً در بالارود و با فاصله نسبتاً معین تعیین شده است. با توجه به رابطه (۵) و نظریه El-Hamdouni و همکاران (۲۰۰۸)، مقادیر عدم تقارن حوضه زهکشی برای هر زیرحوضه محاسبه شد. تغییرات این شاخص از ۰/۱۵ درصد در زیرحوضه ۳۰ تا ۳/۴۱ درصد در زیرحوضه ۴۳ دیده می‌شود (جدول ۱).

**شاخص نسبی فعالیت زمین‌ساختی<sup>۱</sup>:** این شاخص برای تجزیه و تحلیل شاخص‌های ژئومورفولوژیک و جمع‌بندی نتایج آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد تا وضعیت نسبی فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه مشخص شود. این شاخص با توجه به رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

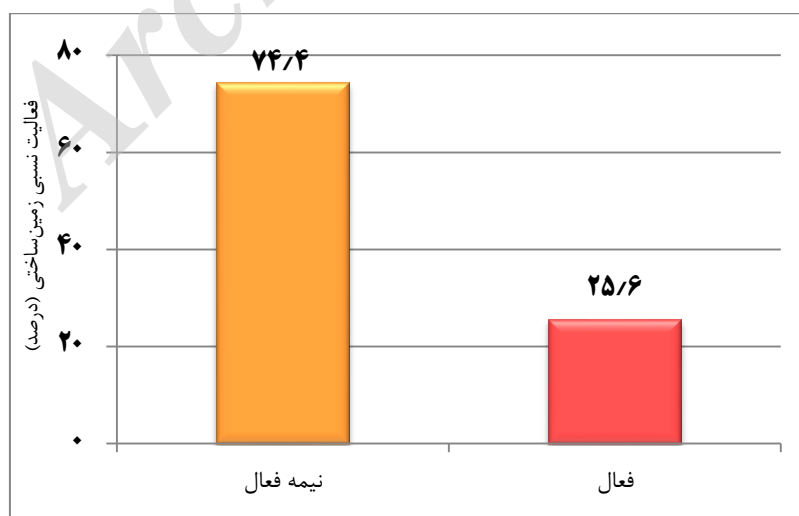
<sup>1</sup> Relative tectonic activity index (IRAT)

درصد) فعال قرار دارد (شکل‌های ۶ و ۷). نتایج حاصل از تحلیل‌های آماری بر روی شاخص‌های ریخت‌سنجی نشان می‌دهد که حوضه مورد مطالعه به چهار خوشه شامل خوشه یک با ۹۱/۸۳ درصد شباهت؛ خوشه سه با ۹۵/۱۹ درصد شباهت؛ خوشه سه با ۹۶/۱۸ درصد شباهت و خوشه چهار با ۹۱/۰۹ درصد شباهت تقسیم می‌شود. در این روش، مناطق همگن، بر اساس الگوریتم خوشه‌بندی Ward تعیین شدند (شکل ۸).

(۴۱/۹ درصد)؛ شاخص SL در دو وضعیت نیمه‌فعال (۲۷/۹ درصد) و غیرفعال (۲۷/۹ درصد)؛ شاخص Af، در سه وضعیت فعال (۱۸/۶ درصد)، نیمه‌فعال (۱۱/۶ درصد) و غیرفعال (۶۹/۸ درصد) و شاخص Vf، در سه وضعیت فعال (۲۵/۶ درصد)، نیمه‌فعال (۳۹/۵ درصد) و غیرفعال (۳۴/۹ درصد) قرار می‌گیرد. در نهایت با توجه به شاخص نسبی فعالیت تکتونیکی، نتیجه حاصل نشان می‌دهد که، حوضه مورد مطالعه در دو وضعیت نیمه‌فعال (۷۴/۴ درصد) و فعال (۲۵/۶



شکل ۶- نقشه پراکندگی شاخص نسبی فعالیت زمین ساختی



شکل ۷- شاخص نسبی فعالیت زمین ساختی



دارد. به طوری که پژوهش‌های نام برده، فعال و نیمه فعال بودن کل حوضه را تأیید می‌کند.

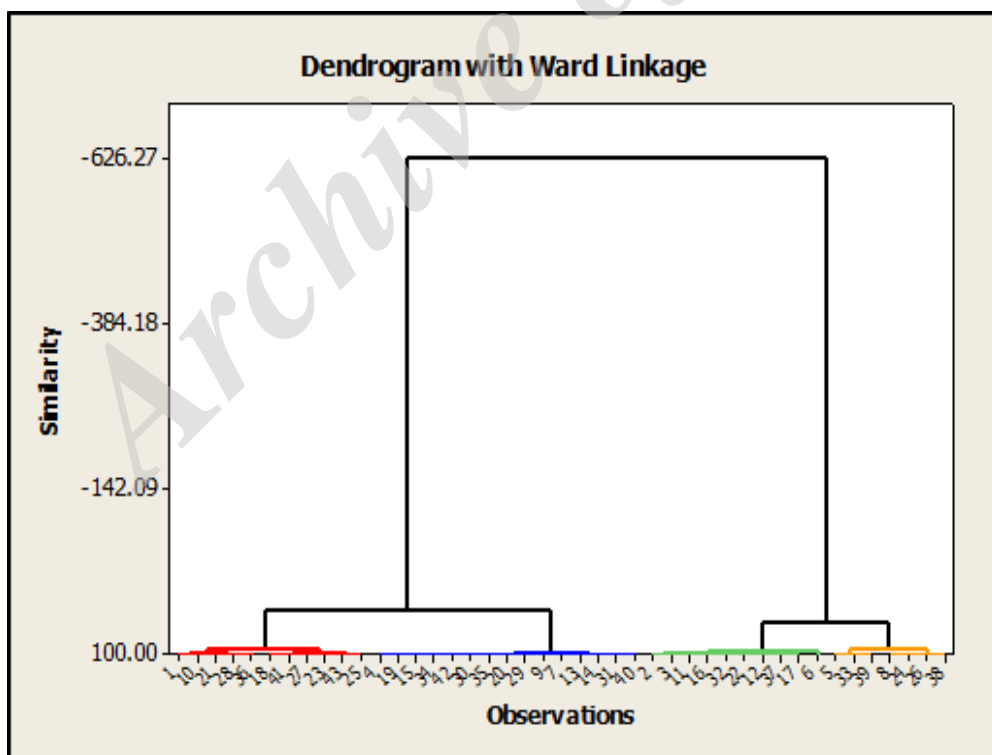
نتایج بررسی‌های Soltani و همکاران (۲۰۱۴)، Amir Ahmadi و همکاران، (۲۰۱۵)، در خصوص بررسی تکتونیک فعال با نتیجه مطالعه حاضر مطابقت ندارد. به طوری که نتایج پژوهش‌های نام برده بر اساس شاخص نسبی فعالیت تکتونیکی، نشانگر متوسط بودن سطح فعالیت نسبی حوضه می‌باشد، در صورتی که نتیجه این پژوهش فعال و نیمه فعال بودن کل حوضه را تأیید می‌کند.

بررسی تکتونیک فعال حوضه مورد پژوهش، با استفاده از دیگر شاخص‌های ریخت‌سنجی، می‌تواند در یک طرح پژوهشی دیگر مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با توجه به بررسی تکتونیک فعال منطقه، بر استفاده از نتایج این تحقیق به وسیله بخش‌های اجرایی نظیر سازمان جهاد کشاورزی، اداره کل منابع طبیعی، اداره کل راه و شهرسازی و سازمان زمین‌شناسی تأکید می‌شود.

**چگونگی تطبیق با نتایج پیشین:** اهمیت مطالعات مورفوتکتونیکی دست‌یابی به نتایج مهم و اساسی است که غالباً از طریق سایر روش‌ها دستیابی به آن‌ها امکان نداشته یا مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی می‌باشد.

بدین منظور در طی مطالعات مورفوتکتونیکی شاخص‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که می‌تواند در رسیدن تحقیق به نتیجه نهایی کمک شایان توجهی نماید. در این مطالعه شاخص‌های ژئومورفیک مورد استفاده  $V_f$ ,  $A_f$ ,  $SL$ ,  $B_s$ ,  $H_i$  یک طبقه‌بندی نسبی از فعالیت‌های زمین‌ساختی را در ۴۳ زیرحوزه آبخیز ارائه می‌دهند. برای ارائه یک طبقه‌بندی کلی و یک دید جامع از فعالیت‌های نوزمین‌ساختی منطقه بر اساس نتایج تمام شاخص‌ها از شاخص طبقه‌بندی IRAT استفاده شد.

نتایج مطالعات Karami (۲۰۰۹)، در خصوص بررسی تکتونیک فعال، دقیقاً با این پژوهش هم‌خوانی



شکل ۸- دندروگرام به دست آمده از الگوریتم خوشه‌بندی

جدول ۱- محاسبات شاخص های ریخت سنجی

طبقه	IRAT	شاخص	طبقه	IRAT	شاخص	طبقه	AF	SL	طبقه	SL	شاخص	طبقه	BS	BS	طبقه	BS	شاخص	طبقه	HI	HI	طبقه	HI	شاخص	مساحت	زیرحوضه
IRAT	IRAT	VF	VF	VF	AF	SL	SL	SL	SL	SL	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	BS	HI	HI	HI	HI	(Km <sup>2</sup> )		
۳	۲/۴	۰/۷۹	۲	۳	۱/۰۴	۲	۲	۱۲/۱۳	۲	۳/۴۸	۲	۳	۳/۴۸	۲	۳	۳	۳/۴۸	۲	۰/۱۵	۰/۱۵	۳	۰/۱۵	۱/۸۸	۱	
۲	۱/۶	۰/۳۰	۱	۳	-۱/۸۲۷	۲	۲	۳۸۵/۴۷	۲	۴/۶۹	۱	۱	۴/۶۹	۱	۱	۱	۴/۶۹	۱	۰/۵۲	۰/۵۲	۱	۰/۵۲	۱/۹۳	۲	
۲	۱/۶	۰/۳۰	۱	۳	-۱/۸۶۵	۲	۲	۳۶۹/۵۷	۲	۳/۱۹	۲	۲	۳/۱۹	۲	۲	۲	۳/۱۹	۲	۰/۴۲	۰/۴۲	۲	۰/۴۲	۲/۱۷	۳	
۲	۱/۸	۰/۵۹	۲	۳	-۱/۸۷	۳	۳	۳۵۹۵	۳	۲/۳۸	۳	۳	۲/۳۸	۳	۱	۱	۲/۳۸	۱	۰/۸۵	۰/۸۵	۱	۰/۸۵	۰/۷۲	۴	
۳	۲/۴	۰/۷۴	۲	۳	-۱/۰۸	۲	۲	۲۲۲/۱۸	۲	۲/۷۶	۳	۳	۲/۷۶	۳	۳	۳	۲/۷۶	۳	۰/۲۶	۰/۲۶	۳	۰/۲۶	۱/۲۹	۵	
۳	۲	۰/۱۹	۱	۳	-۲/۱۵	۲	۲	۴۱۷/۷۷	۲	۵/۰۹	۱	۱	۵/۰۹	۱	۲	۲	۵/۰۹	۲	۰/۴۶	۰/۴۶	۲	۰/۴۶	۱/۵۹	۶	
۳	۲/۸	۲/۵۲	۳	۳	۶/۶۳	۲	۲	۴۷	۲	۳/۴۸	۲	۲	۳/۴۸	۲	۳	۳	۳/۴۸	۳	۰/۲۷	۰/۲۷	۳	۰/۲۷	۰/۸۲	۷	
۲	۱/۸	۰/۳۳	۱	۳	۲۳/۸۳	۳	۳	۲۸۷/۹۵	۳	۵/۰۵	۱	۱	۵/۰۵	۱	۱	۱	۵/۰۵	۱	۰/۵۹	۰/۵۹	۱	۰/۵۹	۱/۰۴	۸	
۳	۲/۴	۰/۷۴	۲	۳	-۵/۴۲	۲	۲	۳۱/۹۰	۲	۳/۶۶	۲	۲	۳/۶۶	۲	۳	۳	۳/۶۶	۳	۰/۲۷	۰/۲۷	۳	۰/۲۷	۰/۵۰	۹	
۳	۲/۲	۰/۳۱	۱	۲	۱۰/۹۶	۳	۳	۱۰۰/۷۰	۳	۱/۵۶	۳	۳	۱/۵۶	۳	۳	۳	۱/۵۶	۳	۰/۲۷	۰/۲۷	۳	۰/۲۷	۳/۳۷	۱۰	
۲	۲	۰/۳	۳	۲	-۲/۱۶	۲	۲	۳۵۲/۲۵	۲	۴/۳۸	۱	۱	۴/۳۸	۱	۱	۱	۴/۳۸	۱	۰/۶۱	۰/۶۱	۱	۰/۶۱	۱/۵۷	۱۱	
۳	۲/۸	۱/۰۷	۳	۳	-۱۳/۶۱	۳	۳	۳۵۳/۸۳	۲	۴/۰۳	۱	۱	۴/۰۳	۱	۳	۳	۴/۰۳	۳	۰/۳۷	۰/۳۷	۳	۰/۳۷	۰/۸۶	۱۲	
۲	۲/۸	۲/۲۴	۳	۲	-۷/۳۴	۲	۲	۴۶/۹۵	۲	۱/۶۲	۲	۲	۱/۶۲	۲	۳	۳	۱/۶۲	۳	۰/۲۱	۰/۲۱	۳	۰/۲۱	۰/۲۹	۱۳	
۳	۲/۶	۲/۴۹	۱	۳	-۱/۳۵	۳	۳	۶۲/۵۷	۳	۲/۵۰	۳	۳	۲/۵۰	۳	۳	۳	۲/۵۰	۳	۰/۳۱	۰/۳۱	۳	۰/۳۱	۰/۵۱	۱۴	
۲	۲/۶	۲/۸۲	۱	۲	-۴/۶۰	۲	۲	۲۲/۱۰	۲	۲/۰۸	۲	۲	۲/۰۸	۲	۲	۲	۲/۰۸	۲	۰/۴۵	۰/۴۵	۲	۰/۴۵	۰/۳۲	۱۵	
۳	۲/۲	۰/۶۴	۲	۳	۱۰/۰۴	۲	۲	۳۵۲/۹۲	۲	۷/۵۴	۱	۱	۷/۵۴	۱	۲	۲	۷/۵۴	۲	۰/۴۷	۰/۴۷	۲	۰/۴۷	۰/۸۷	۱۶	
۲	۱/۸	۰/۹۱	۲	۲	-۱/۸۲۷	۲	۲	۳۳۱/۹۲	۲	۲/۷۸	۳	۳	۲/۷۸	۳	۱	۱	۲/۷۸	۱	۰/۶۲	۰/۶۲	۱	۰/۶۲	۲/۱۵	۱۷	
۳	۳	۱/۳۱	۳	۳	-۱/۸۶۵	۳	۳	۱۴۱/۶۹	۳	۱/۸۳	۳	۳	۱/۸۳	۳	۳	۳	۱/۸۳	۳	۰/۳۲	۰/۳۲	۳	۰/۳۲	۰/۴۶	۱۸	
۲	۲/۸	۰/۹۵	۲	۲	-۱/۸۷	۲	۲	۲۹/۹۰	۲	۲/۶۰	۲	۲	۲/۶۰	۲	۳	۳	۲/۶۰	۳	۰/۲۱	۰/۲۱	۳	۰/۲۱	۰/۴۵	۱۹	
۳	۲/۲	۳	۳	۳	-۱/۰۸	۳	۳	۱/۶۷	۳	۲/۲۷	۳	۳	۲/۲۷	۳	۱	۱	۲/۲۷	۱	۰/۸۵	۰/۸۵	۱	۰/۸۵	۰/۱۰	۲۰	
۲	۲/۸	۰/۹۵	۲	۲	-۲/۱۵	۲	۲	۷۴/۷۳	۲	۵/۶۲	۱	۱	۵/۶۲	۱	۳	۳	۵/۶۲	۳	۰/۲۱	۰/۲۱	۳	۰/۲۱	۰/۱۶	۲۱	
۲	۱/۸	۰/۶۲	۲	۲	۶/۶۳	۲	۲	۳۳۸/۹۵	۲	۴/۳۴	۱	۱	۴/۳۴	۱	۱	۱	۴/۳۴	۱	۰/۶۱	۰/۶۱	۱	۰/۶۱	۱/۲۷	۲۲	
۲	۲/۴	۰/۷۳	۱	۲	۲۳/۸۳	۲	۲	۱۵۱/۲۹	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۳	۳	۲	۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۳	۰/۲۳	۰/۳۶	۲۳	

ادامه جدول ۱ - محاسبات شاخص‌های ریخت‌سنجی

طبقه	شاخص	طبقه	شاخص	طبقه	شاخص	طبقه	شاخص	طبقه	شاخص	طبقه	شاخص	طبقه	شاخص	طبقه	شاخص	مسطح	زیر حوضه
IRAT	IRAT	VF	VF	AF	AF	SL	SL	BS	BS	SL	SL	BS	BS	HI	HI	(Km <sup>2</sup> )	
۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۱/۸۱	۲۴
		۱/۵۰	۱/۱۳	-۵/۴۲	۱۰/۹۶	۲۹۹/۶۶	۱۸۰/۶۷	۷/۵۴	۲/۷۸	۲۱/۳۲	۲۱/۳۲	۲/۷۸	۲/۷۸	۰/۲۶	۰/۲۱	۳/۵۸	۲۵
		۰/۸۰	۰/۸۰	-۲۰/۱۶	-۲۰/۱۶	۲۹۳/۷۷	۲۹۳/۷۷	۱/۸۳	۱/۸۳	۲۰/۱۶	۲۰/۱۶	۱/۸۳	۱/۸۳	۰/۶۲	۰/۶۲	۲/۳۳	۲۶
		۰/۹۴	۰/۹۴	-۱۳/۶۱	-۱۳/۶۱	۱۲۷/۴۰	۱۲۷/۴۰	۲/۶۰	۲/۶۰	۲/۶۰	۲/۶۰	۲/۶۰	۲/۶۰	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۲۰	۲۷
		۰/۸۳	۰/۸۳	-۷/۳۴	-۷/۳۴	۸۹/۹۶	۸۹/۹۶	۱	۱	۲/۳۷	۲/۳۷	۲/۳۷	۲/۳۷	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۳۹	۲۸
		۱/۸۱	۱/۸۱	-۱/۳۵	-۱/۳۵	۷/۸۰	۷/۸۰	۲	۲	۵/۶۳	۵/۶۳	۵/۶۳	۵/۶۳	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۴۴	۲۹
		۰/۷۵	۰/۷۵	-۴/۶۰	-۴/۶۰	۲۱/۱۹	۲۱/۱۹	۳	۳	۴/۳۴	۴/۳۴	۴/۳۴	۴/۳۴	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۲۷	۳۰
		۰/۸۱	۰/۸۱	۵/۹۶	۵/۹۶	۵۶/۰۹	۵۶/۰۹	۱	۱	۴/۸۴	۴/۸۴	۴/۸۴	۴/۸۴	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳۷	۳۱
		۰/۵۹	۰/۵۹	۱۴/۰۷	۱۴/۰۷	۳۵۱/۸۵	۳۵۱/۸۵	۱	۱	۴/۴۰	۴/۴۰	۴/۴۰	۴/۴۰	۰/۵۸	۰/۵۸	۱/۳۲	۳۲
		۰/۵۲	۰/۵۲	-۱۳/۴۲	-۱۳/۴۲	۲۰۴/۹۲	۲۰۴/۹۲	۱	۱	۵/۳۳	۵/۳۳	۵/۳۳	۵/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۱	۰/۲۹	۳۳
		۳/۴۱	۳/۴۱	۴/۷۸	۴/۷۸	۲۰/۹۴	۲۰/۹۴	۳	۳	۲/۶۴	۲/۶۴	۲/۶۴	۲/۶۴	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۱۶	۳۴
		۳/۳۴	۳/۳۴	-۹/۱۰	-۹/۱۰	۲۱/۳۲	۲۱/۳۲	۳	۳	۲/۱۷	۲/۱۷	۲/۱۷	۲/۱۷	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۲۴	۳۵
		۰/۴۵	۰/۴۵	-۴/۵۵	-۴/۵۵	۱۰۲/۰۵	۱۰۲/۰۵	۳	۳	۱/۹۴	۱/۹۴	۱/۹۴	۱/۹۴	۰/۲۹	۰/۲۹	۱/۴۶	۳۶
		۰/۴۰	۰/۴۰	-۹/۹۲	-۹/۹۲	۳۵۰/۰۸	۳۵۰/۰۸	۱	۱	۵/۳۲	۵/۳۲	۵/۳۲	۵/۳۲	۰/۵۱	۰/۵۱	۱/۰۷	۳۷
		۰/۴۸	۰/۴۸	۳	۳	۲۷۱/۶۵	۲۷۱/۶۵	۱	۱	۷/۸۷	۷/۸۷	۷/۸۷	۷/۸۷	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۷۲	۳۸
		۰/۸۸	۰/۸۸	-۴/۵۱	-۴/۵۱	۲۲۷/۲۸	۲۲۷/۲۸	۳	۳	۱/۷۸	۱/۷۸	۱/۷۸	۱/۷۸	۰/۳۲	۰/۳۲	۴/۴۰	۳۹
		۲/۰۶	۲/۰۶	۱۸/۱۳	۱۸/۱۳	۵۰/۰۳	۵۰/۰۳	۳	۳	۲/۶۰	۲/۶۰	۲/۶۰	۲/۶۰	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۰۱	۴۰
		۰/۸۱	۰/۸۱	-۱۰/۸۶	-۱۰/۸۶	۱۴/۰۵	۱۴/۰۵	۱	۱	۴/۷۷	۴/۷۷	۴/۷۷	۴/۷۷	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۵	۴۱
		۱/۱۰	۱/۱۰	۸/۶۶	۸/۶۶	۱۹/۳۷	۱۹/۳۷	۱	۱	۴/۱۱	۴/۱۱	۴/۱۱	۴/۱۱	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۲۵	۴۲
		۱/۱۳	۱/۱۳	۲۲/۰۳	۲۲/۰۳	۱۴۹/۹۵	۱۴۹/۹۵	۱	۱	۴/۷۶	۴/۷۶	۴/۷۶	۴/۷۶	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۳۸	۴۳

**تشکر و قدردانی**

از جناب آقای دکتر غلامرضا قهاری معاونت محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس و جناب آقای مهندس کاظم اعرابی

معاونت محترم اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس که با در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز طرح، با اینجانب همکاری داشته‌اند، سپاسگزار می‌شود.

**منابع مورد استفاده**

1. Azor, A., E.A. Keller and R.S. Yeats. 2002. Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain–Oak Ridge Ventura basin, Southern California. *Geological Society of America Bulletin*, 114: 745–753.
2. Bull, W.B. and L.D. McFadden. 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: Doehring, D.O. (Ed.), *Geomorphology in Arid Regions. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium*. State University of New York, Binghamton, pp. 115–138.
3. Bull, W.B. 1978. Geomorphic tectonic classes of the south front of the San Gabriel Mountains, California. U.S. Geological Survey Contract Report, 14-08-001-G394, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, CA.
4. Bull, W.B. 2007. *Tectonic geomorphology of mountains: a new approach to paleo seismology*, California. Blackwell, Malden, 316 pages.
5. Cannon, P.J. 1976. Generation of explicit parameters for a quantitative geomorphic study of Mill Creek drainage basin, Oklahoma. *Geology Notes*, 36(1): 3–16.
6. El-Hamdouni, R., C. Irigaray, T. Fernandez, J. Chacón and E.A. Keller. 2008. Assessment of relative active tectonics, southwest border of Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96: 150-173.
7. Ehsani, J., M. Arian and M. Ghorashi. 2015. Geomorphic signature of active tectonic in the Jarahi-Hendijan Drainage Basin (Maron-zohreh Rivers) in south-west Iran. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 24(95): 66-79 (in Persian).
8. Hack, J.T. 1973. Stream-profiles analysis and stream-gradient index. *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*, 1(4): 421-429.
9. Hare, P.W. and T.W. Gardner. 1985. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins, Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: Morisawa, M. and J.T. Hack (Eds.) *Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Binghamton Geomorphology Symposium*. Allen and Unwin, Boston, MA, pp. 123–134.
10. Habibi, A. 2015. Land slide survey by using indicators of morphotectonic. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 7(1): 98-108 (in Persian).
11. Keller, E.A. and N. Pinter. 2002. *Active tectonics: earthquakes, uplift, and landscape*. Prentice Hall, New Jersey, 362 pages.
12. Mayer, L. 1990. *Introduction to quantitative geomorphology*. Prentice Hall, Englewood, Cliffs, NJ, 362 pages.
13. Molin, P., F.J. Pazzaglia and F. Dramis. 2004. Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly-deforming forearc, Sila Massif, Calabria, southern Italy. *American Journal of Science*, 304: 559-589.
14. Pike, R.J. and S.E. Wilson. 1971. Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82(4): 1079–1084.
15. Pourkermani, M., M. Arian, A. Matkan and A. Gharchi. 2015. Active tectonics of great Karoun River Basin. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 24(95): 12-26 (in Persian).
16. Ramirez-Herrera, M.T. 1998. Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 317–332.
17. Silva, P.G., J.L. Goy, C. Zazo and T. Bardajm. 2003. Fault generated mountain fronts in Southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and earthquake activity. *Geomorphology*, 250: 203–226.
18. Zuchiewicz, W. 1998. Quaternary tectonics of the outer west Carpathians, Poland. *Tectonophysics*, 297: 121-132.

## Quantitative analysis of tectonic activity in the Gavkoshak of Kazeroun Watershed by morphometric indices

Zahra Nik<sup>1</sup>, Kouros Yazdjerdi<sup>\*2</sup> and Hadi Abdolazimi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MSc Student, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Iran, <sup>2</sup> Assistant Professor, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Iran and <sup>3</sup> Assistant Professor, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Iran

Received: 16 April 2016

Accepted: 13 September 2016

### Abstract

Morphometric analysis is considered as quantitative evaluation of geometric features landforms and landscape. In the study of basin tectonic features, the use of some morphometric parameters can provide very substantial information. Gavkoshak Basin with an area of 46.73 km<sup>2</sup> is located in Zagros simply folded belt. The objective of this research is to use the morphometric indices such as hypsometric integral, basin shape, stream length-gradient, asymmetric factor, and the valley width/height ratio. As a result, these indices are converted to the tectonic activity index. This index can be used to assess the overall performance of the region's tectonic activity. Morphometric indices of area are studied by dividing this area into 43 sub-basins, using the Digital-Elevation Model (DEM) and Geographic Information System (GIS). Morphotectonics index method with the use of geographic information systems provide procedures and a powerful tool for estimating tectonic activity in the region. It should be borne in mind that the results of these indices can show different values in different sectors. By examining the relative index of tectonic activity, the basin in this research is divided into two parts namely active (25.6% of the watershed) and semi-active (74.4 % of the watershed). Through statistical analysis, the area under investigation includes four clusters: cluster one with 91.83% similarity, cluster two with 95.19% similarity, cluster three with 96.18% similarity, and cluster four with 91.09% similarity. In this way, homogeneous regions were determined based on clustering algorithm ward. The active tectonic basin in this research can be studied in another research project, using other morphometric parameters.

**Key words:** Clustering, Digital-Elevation Model, Gavkoshak basin, Geographic Information System, Zagros folded

---

\* Corresponding author: kyazd@yahoo.com