

## بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس

عبدالله سیف - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان  
قاسم خسروی\* - دانشجوی دکتری گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۲/۴ تأیید مقاله: ۱۳۸۹/۸/۲۹

### چکیده

شناسایی مناطق دارای پتانسیل خطر زمین لرزه همواره از دغدغه‌های اصلی رشته‌های مرتبط با علوم زمین بوده است و محققان مختلف با نگرش‌های گوناگون آن را مورد مطالعه قرار داده‌اند. دانش تکتونیک ژئومورفولوژی نیز با روش‌شناسی خاص خود به مطالعه این پدیده محیطی پرداخته است. از این رهگذر تعبیر و تفسیر شواهد بر جای مانده از لرزه‌ها و حرکات تکتونیکی جدید بر چشم‌اندازها اصول موضوعه این دانش نوپاست. شاخص‌های تکتونیک فعال از ابزارهای کارآمد برای شناسایی وضعیت تکتونیکی و ارزیابی احتمالی مناطق لرزه‌خیز به‌شمار می‌آید. شاخص‌هایی چون سینوس جبهه کوهستان، شاخص‌های دره‌ای چون شاخص نسبت V شکل دره‌ها، شاخص پهنا به عمق دره‌ها، گرادیان طولی رودخانه، شاخص‌های حوضه‌ای چون شاخص تقارن حوضه زهکش، شاخص نسبت V شکل و شاخص انتگرال هیپسومتری، از این دست‌اند. از سویی هم ابرگسل زاگرس در زمره گسل‌های فعال و اصلی کشورمان است که همواره منشأ لرزه‌های بسیاری در حاشیه خود بوده است و مرز دو زون ساختاری سهندج - سیرجان و زاگرس مرتفع است. در این پژوهش حوضه فارس، که شامل دو زون سهندج - سیرجان و زاگرس مرتفع است، به‌وسیله شش شاخص متفاوت در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت ۱۰ متر مورد آزمایش قرار گرفته و نرخ تکتونیک فعال آن سنجیده شده است. سپس نتایج به دست آمده، با بررسی میدانی مقایسه گردیده‌اند. نتایج شاخص‌های متفاوت تبدیل به شاخص IAT شده‌اند و نقشه پهنه‌بندی تکتونیکی حوضه فارس در چهار کلاس بسیار فعال، فعال، نیمه‌فعال و غیرفعال ترسیم گردیده است. نتیجه به‌دست آمده این است که در این حوضه گسلی فرعی منشعب از گسل اصلی زاگرس در طول حدود ۸۳۵۰ متر دارای فعالیت تکتونیکی در حد بسیار فعال است. همچنین بخش‌های زیادی از حاشیه این گسل دارای تکتونیک متوسط است. دو شهر باباحیدر و فارسان در حاشیه گسل‌های فعال واقع شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: حوضه فارس، شاخص IAT، شاخص‌های تکتونیک فعال، گسل اصلی زاگرس، سهندج - سیرجان، زاگرس مرتفع.

### مقدمه

مطالعه فرم‌ها و چشم‌اندازهای اندازه‌گیری‌شدنی به‌وجود آمده به‌وسیله سیگنال‌های تکتونیکی موضوع علم تکتونیک ژئومورفولوژی است (آندرسن و بوربانک، ۲۰۰۱، ۷). از آنجا که قضاوت راجع به ویژگی‌های دیرینه لرزه‌ای<sup>۱</sup> در هر ناحیه

\* E- mail: khghasem@yahoo.com

نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۲۲۵۹۵۳۳

به تنهایی نمی‌تواند براساس پیشینه لرزه‌نگاری دستگاهی و یا شواهد تاریخی باشد. بنابراین مطالعه چشم‌اندازها و لندفرم‌های سطحی دارای اهمیت خاصی است، چرا که گاهی در نبود پیشینه لرزه‌ای دستگاهی و تاریخی، آن ناحیه می‌تواند دارای پتانسیل بروز زمین‌لرزه شود.

مورفومتری<sup>۱</sup> اندازه‌گیری اشکال و فرم‌های چشم‌اندازهای روی زمین است که می‌تواند در ساده‌ترین سطح هر لندفرم و در غالب پارامترهایی چون اندازه، ارتفاع (بیشترین، کمترین و متوسط) و شیب اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری‌های یاد شده این امکان را فراهم می‌آورند که ژئومورفولوژیست‌ها به مقایسه لندفرم‌های مناطق مختلف بپردازند و با کمترین میزان محاسبه، شاخصی در اختیار داشته باشند تا به توصیف و شناسایی وضعیت مناطقی که دارای تکتونیک فعال هستند بپردازند (کلروپیتز، ۱۹۹۶، ۱۲۱). کاربرد شاخص‌ها در سال‌های اخیر به دلیل سهولت در محاسبه و خطای کم در تشخیص مناطق فعال رواج بیشتری یافته است. در محاسبه این اندیس‌ها از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس متفاوت مثل نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰ و همین‌طور عکس‌های هوایی با مقیاس‌های مختلف استفاده می‌شود. برخی از این شاخص‌ها مانند شاخص سینوزیته جبهه کوهستانی، شاخص وسعت مخروط‌افکنه در حدفاصل مناطق هموار و نواحی کوهستانی کاربرد دارد. پاره‌ای دیگر چون شاخص گرادیان رودخانه، شاخص نسبت پهنا به عمق یا ارتفاع دره قابل استفاده است. گروهی دیگر چون شاخص عدم تقارن آبراه‌ها در حوضه آبریز، شاخص تقارن توپوگرافی عرضی، شاخص انتگرال هیپسومتری برای اندازه‌گیری کل حوضه و در بالادست به کار می‌روند. این شاخص‌های تکتونیک، به‌رغم اهمیت فوق‌العاده‌شان برای مناطق وسیع در کشورمان مورد آزمایش قرار نگرفته‌اند.

از سویی دیگر، داده‌های زمین‌شناختی ایران نشانگر آن است که فرایندهای درونی و بیرونی زمین در بردارنده پیامدهای متفاوتی در زمان و مکان بوده‌اند؛ و به همین رو، الگوی ساختاری، تحولات زمین‌ساختی، شرایط رسوبی و زیستی ایران در دوره‌های گوناگون زمین‌شناختی، پیچیدگی خاص دارد. ناهمسانی رسوبی و زمین‌ساختی تا بدین حد است که بیان ویژگی‌های یکسان را برای بسیاری از مناطق ایران ناممکن می‌سازد و به همین دلیل از گذشته‌های دور تقسیم ایران به پهنه‌های رسوبی - ساختاری گوناگون مورد توجه بوده است (آقائباتی، ۱۳۸۳، ۱۶).

حال، از آنجا که بیشتر زمین‌لرزه‌ها در طول مرز بین صفحات رخ می‌دهد (پورکرمانی و همکاران، ۱۳۷۷، ۱) یکی از خطواره‌های اصلی ایران زمین، یعنی گسل زاگرس که حد فاصل دو زون ساختاری یعنی زون دگرگونه سنندج - سیرجان و زاگرس مرتفع است، در اینجا انتخاب شده و در طول حدود سی کیلومتر به‌وسیله شاخص‌های تکتونیک فعال مورد آزمایش قرار گرفته است.

نکته درخور ذکر این است که گسل زاگرس در نقشه گسل‌های فعال ایران به عنوان گسل کوآترنر<sup>۲</sup> تشخیص داده شده است. تشخیص این گروه از گسل‌ها بر مشاهده جابه‌جایی عوارض سطحی کوآترنر استوار است. شاهدهی مبتنی بر لرزه‌خیزی این گسل‌ها در دست نیست و این موضوع می‌تواند ناشی از دوره بازگشت بسیار طولانی زمین‌لرزه بر روی گسل مورد بحث باشد (حسامی و همکاران، ۱۳۸۲، نقشه).

1. morphometry

2. quaternar

حوضه فارسان به گونه‌ای انتخاب شده است که در وهله نخست دو زون ساختاری را در برداشته باشد؛ و دوم، گسل اصلی زاگرس از میان آن گذشته است. بنابراین می‌توان دو سوی این گسل را به لحاظ ویژگی‌های مورفومتری با یکدیگر مقایسه کرد. گفتنی است که این حوضه در نقشه پهنه‌بندی ایالت‌های لرزه‌خیز ایران زمین در ایالت شماره ۱۳ یعنی ایالت لرزه زمین‌ساخت گسل راندگی زاگرس واقع شده است (پور کرمانی و آرین، ۱۳۷۶، ۱۷۸). در تقسیم‌بندی مذکور ویژگی این ناحیه بدین صورت شرح داده شده است: «این بخش قسمت عمده گسل‌راندگی را شامل می‌گردد که از نظر لرزه‌خیزی فعال است و وقوع زلزله‌های شدید در آن بسیار محتمل است. این منطقه در بخش جنوب غربی به منطقه چین‌خورده زاگرس مرتفع محدود می‌گردد» (پور کرمانی و آرین، ۱۳۷۶، ۱۷۴).

۱. وضعیت تکتونیک در حاشیه گسل زاگرس در محدوده مورد مطالعه (حوضه فارسان) براساس شاخص‌های تکتونیک فعال در چه وضعیتی است؛

۲. مقایسه نتایج حاصل از شاخص‌های تکتونیک فعال در دو سوی این گسل و در زون ساختاری یعنی زون سنندج - سیرجان و زاگرس مرتفع چه وضعیتی را نشان می‌دهد و چه تفاوتی از نظر شاخص با یکدیگر دارد؛ و

۳. ارائه شاخص جدید برای پهنه‌بندی تکتونیک فعال یک ناحیه، تحت نام شاخص IAT.<sup>۱</sup>

استفاده از شاخص‌های تکتونیک فعال، به دست بال و مک‌فارن ۱۹۷۷، آزور ۲۰۰۲، کلروپینتر ۲۰۰۲، سیلوا و همکاران ۲۰۰۳ و مولینا و همکاران ۲۰۰۴ برای مناطق مختلفی از جهان مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج متفاوتی را نشان داده است. همین‌طور همدونی و همکاران ۲۰۰۸ از این شاخص‌ها در بررسی وضعیت تکتونیک حوضه سرپانورا در جنوب اسپانیا استفاده کرده‌اند.

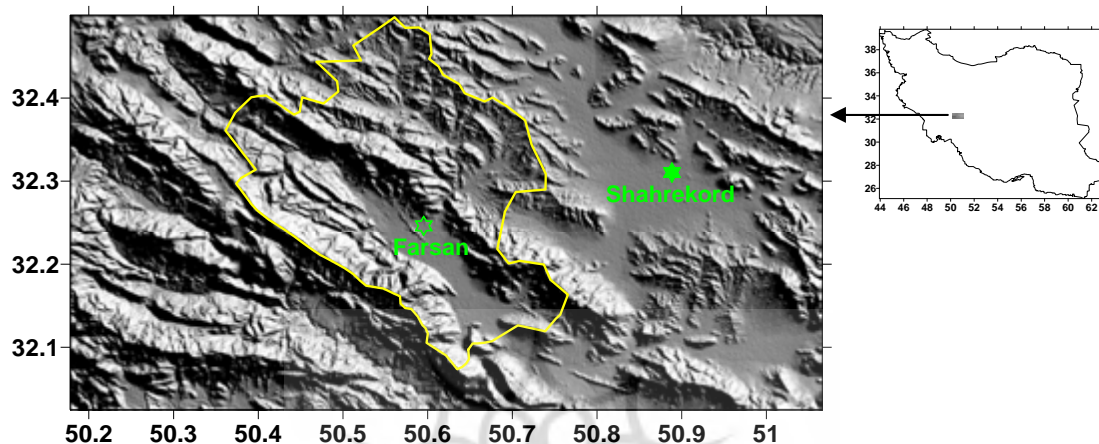
در ایران بررسی مرفوتکتونیک مناطق مختلف به‌وسیله نگارش ۱۳۸۲، یمانی و همکاران ۱۳۸۲، مختاری ۱۳۸۵، خطیب و همکاران ۱۳۸۷ و نیز بررسی شاخص‌های تکتونیک به دست مددی و همکاران ۱۳۸۲، گورابی ۱۳۸۴، حبیب‌الهی ۱۳۸۵، و خسروی ۱۳۸۶ مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص‌های تکتونیک فعال معمولاً در مناطق محدود و نقشه‌های توپوگرافی استفاده می‌شود که در این پژوهش سعی گردیده است در موارد محاسبه شده از مدل ارتفاعی رقومی<sup>۲</sup> (DEM) استفاده شود.

## مواد و روش‌ها

### محدوده مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه فارسان و هفشجان است که در ۰۹، ۳۲ تا ۵، ۳۲ (درجه، دقیقه) عرض شمالی و از ۳۳، ۵۰ تا ۷۸، ۵۰ (درجه، دقیقه) شرقی واقع شده است. وسعت حوضه مذکور حدود ۹۰۵ کیلومتر مربع و در تقسیمات سیاسی اداری در استان چهارمحال و بختیاری، محدوده شهرستان فارسان واقع است و قسمتی از آن هم جزء شهرستان شهرکرد است

(شکل ۱). متوسط ارتفاع این حوضه ۲۵۲۲ متر، حداکثر ارتفاع آن ۳۶۰۲ متر و حداقل آن در انتهای حوضه برابر ۱۹۲۷ متر است. منطقه مورد مطالعه به نحوی انتخاب شده است که نخست، در ایالت لرزه زمین‌ساخت زاگرس واقع می‌شود؛ دوم گسل اصلی زاگرس از میان آن عبور می‌کند؛ و سوم دو زون ساختاری را دربرمی‌گیرد. در حاشیه تراست اصلی زاگرس تعدادی گسل بی‌نام وجود دارد. بخش جنوبی این حوضه به‌وسیله گسل اردل جدا شده است.



شکل ۱. تصویر سایه روشن ناهمواری‌های منطقه و حوضه مورد مطالعه برگرفته از DEM+۹۰ متری

### زمین‌شناسی حوضه فارسان

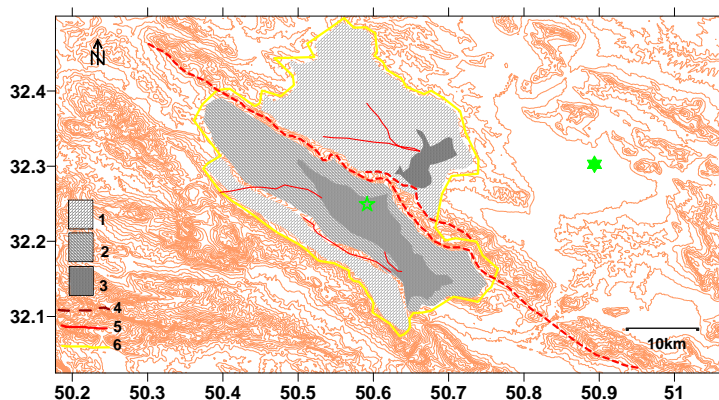
گسل تراستی زاگرس: گسل زاگرس با طولی در حدود ۱۳۵۰ کیلومتر از خطواره‌های اصلی ایران، و کانون بسیاری از لرزه‌های حاشیه آن است. در زمان حاضر نیز این گسل و یا گسل‌های منطبق بر این زون شکستگی دارای فعالیت جوان و دارای لرزه‌های تاریخی‌اند (آقانیاتی ۱۳۸۳، ۵۲۸). سازوکار گسل تراستی زاگرس راندگی - فشاری است و این گسل در منطقه مورد مطالعه به سمت شمال شرق شیب دارد (شکل ۲). در حاشیه گسل اصلی زاگرس تعدادی گسل بی‌نام وجود دارند که باعث جابه‌جایی طبقات رسوبی (عمدتاً) تشکیلات آهکی دوران دوم شده‌اند. ۳۰ کیلومتر از این گسل در حوضه فارسان واقع شده است.

گسل اردل: گسل اردل در حاشیه حوضه مذکور واقع شده است. این گسل طولی حدود ۱۵۰ کیلومتر دارد، راستای آن شمال غرب - جنوب شرق است و در امتداد گسل اصلی زاگرس قرار دارد. گرچه گسل مورد بحث کانون مه‌لرزه‌های متعدد چون زمین‌لرزه ۱۹۷۷ ناغان بوده اما هیچ‌گونه جنبشی در راستای آن مشخص نشده است (بربریان و همکاران، ۱۹۷۷، به نقل از پورکرمانی ۱۳۷۷، ۵۲۲).

### سازندهای دوران دوم (پالئورونیک)

این سازندها که در نقشه شهرکرد منتشر شده از سوی سازمان زمین‌شناسی به مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ با سری‌های K تا KV مشخص شده است، عمدتاً دارای جنس‌های آهک اوربیتولین، ماسه‌سنگ قرمز همراه با شیل، آهک ریفی و ماسه‌ای با لایه‌های شنی و ماسه‌ای شیل و مارن است. سن این سازند به دوران کرتاسه بازمی‌گردد.

سازندهای بخش سنندج - سیرجان بیشتر از لایه‌های یادشده‌ای است که به‌وسیله تراست زاگرس بر روی سازندهای دوران سوم رانده شده‌اند.



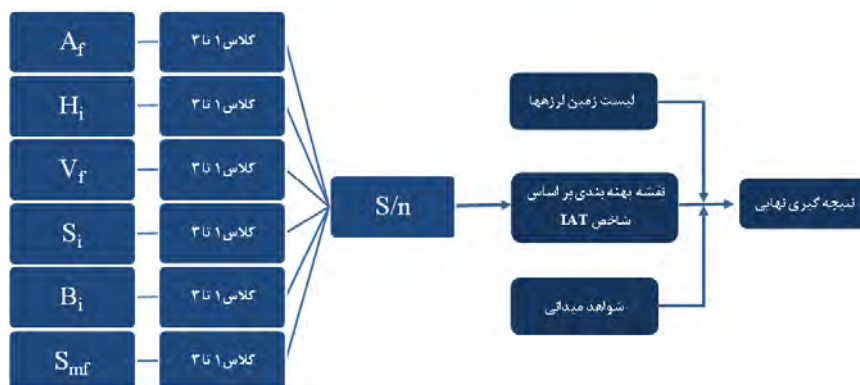
شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی حوضه فارسان. شماره ۱- تشکیلات دوران دوم، عمدتاً آهک؛  
 ۲- تشکیلات دوران سوم کنگلومرا و آهک؛ ۳- رسوبات کوارترنر، عمدتاً آبرفت؛  
 ۴- تراست اصلی زاگرس؛ ۵- گسل‌های فرعی ۶- مرز حوضه.

### سازندهای دوران سوم

شامل  $P_1$  که از جنس کنگلومرا، ماسه‌سنگ و گریستون، و معادل سازند بختیاری به سن پلیوسن است. سازند  $OM_2$  که آهک مارنی با میان‌لایه‌های رسی است و سن به آن به الیگوسن بازمی‌گردد و سازند E که کنگلومرای قرمز ماسه‌سنگ همراه با میان‌لایه‌های ولکانیکی تبخیری دارای سن ائوسن است. بخشی از زاگرس مرتفع بیشتر از سازندهای دوران سوم پوشیده شده است. در میان حوضه، رسوبات آبرفتی و یخچالی متعلق به دوران کواترنر وجود دارد که بخش‌های قدیمی‌تر را پوشانده‌اند.

شاخص‌های تکتونیک معمولاً در مناطق محدود به کار می‌روند و با نقشه‌های توپوگرافی محاسبه می‌شوند. یکی از اهداف این پژوهش، بررسی و اندازه‌گیری این شاخص‌ها در محیط رقومی و با استفاده از نقشه‌های ارتفاعی رقومی است. استفاده از DEM در محیط GIS این امکان را فراهم می‌آورد که مناطق وسیعی مورد بررسی قرار گیرد و افزون بر آن، امکان اندازه‌گیری دقیق‌تر شاخص‌ها را فراهم می‌کند.

بنابراین برای انجام این پژوهش از DEM با دقت ۱۰ متر برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز شاخص‌ها استفاده شده است. برای این کار از نرم‌افزارهای Arcmap9.2، Globalmaper9 و Surfer8، Excel استفاده شده است. پس از آن شاخص‌های تکتونیک محاسبه شده و در نهایت به‌منظور کنترل، بازدید میدانی صورت گرفته و مقایسه نتایج در منطقه مورد نظر انجام شده است. شکل ۳، الگوریتم مراحل تحقیق را نشان می‌دهد.

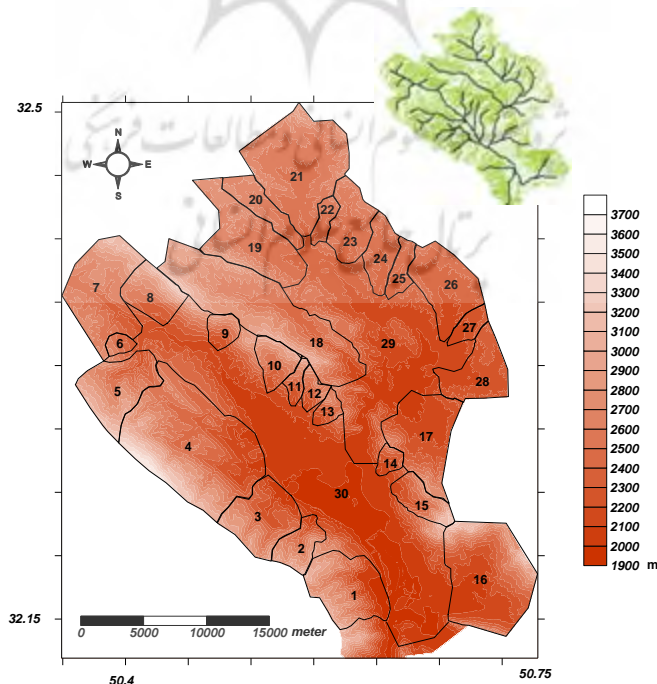


شکل ۳. الگوریتم طرح پژوهش

## یافته‌های تحقیق

### شاخص نسبت شکل حوضه

برای اندازه‌گیری این شاخص‌های حوضه‌ای، کل حوضه به ۳۰ حوضه کوچک‌تر تقسیم شد که ۱۷ حوضه در بخش زاگرس مرتفع (شماره ۱ الی ۱۶ و ۳۰) و ۱۳ حوضه در بخش سنندج - سیرجان (۱۷ الی ۲۹) قرار دارد (شکل ۴). این شاخص به صورت  $B_i = B/L$  محاسبه می‌شود که در آن  $B$  طول حوضه و  $L$  بزرگ‌ترین عرض حوضه است (بال و مک‌فادن، ۱۹۷۷). مقادیر بالای این شاخص بیانگر حوضه‌های کشیده است و معمولاً تکنونیک فعال‌تری را در قیاس با حوضه‌های گرد نشان می‌دهد. این شاخص براساس ۳۰ حوضه نشان داده شده اندازه‌گیری شده است (جدول ۱).



شکل ۴. موقعیت ۳۰ زیرحوضه بر روی نقشه ارتفاعی، ۱۷ حوضه در بخش زاگرس مرتفع (شماره ۱ الی ۱۶ و ۳۰) و ۱۳ حوضه در بخش سنندج - سیرجان (۱۷ الی ۲۹). همراه با شبکه زهکش حوضه فارسان.

نتایج به دست آمده از اندازه گیری ها در جدول ۱ آمده است. براساس این شاخص در بخش سندنجد - سیرجان حوضه ها بیشتر حالت کشیده دارند و مقادیر بیشتری را نشان می دهند.

جدول ۱. نتایج حاصل از شاخص نسبت شکل حوضه ها (واحد اعداد کیلومتر است)

حوضه	طول (B)	عرض (L)	نسبت شکل	کلاس	حوضه	طول (B)	عرض (L)	نسبت شکل	کلاس
1	4.97	6.15	0.80	3	16	6.65	9.65	0.68	3
2	4.49	2.52	1.78	3	17	4.87	5.54	0.88	3
3	5.38	4.8	1.12	3	18	18.5	4.34	4.26	1
4	6.94	11.5	0.60	3	19	8.21	4.11	1.99	3
5	6.49	4.47	1.45	3	20	7.89	1.51	5.22	1
6	2.41	1.62	1.48	3	21	9.81	7.93	1.24	3
7	7.34	7.36	0.99	3	22	4.19	9.68	0.43	3
8	14.61	3.44	4.24	1	23	6.21	3.16	1.96	3
9	2.89	2.65	1.09	3	24	6.44	2.48	2.59	3
10	4.11	3.08	1.33	3	25	4.9	1.54	3.18	2
11	3.93	1.36	2.89	3	26	6.92	5.53	1.25	3
12	3.68	1.96	1.87	3	27	4.1	1.7	2.41	3
13	3.11	1.68	1.85	3	28	6.23	3.88	1.60	3
14	2.4	1.89	1.26	3	29	16.39	5.7	1.09	3
15	5.76	1.91	3.01	2	30	33.40	5.20	6.42	1

### شاخص تقارن حوضه زهکشی

این شاخص کج شدگی ناشی از نیروهای تکتونیک را به نمایش می گذارد. از ویژگی های آن، استفاده برای نواحی وسیع است. شاخص مذکور چنین تعریف شده است:  $A_f = 100(A_r/A_t)$ . (هاروگارونر ۱۹۸۵ و کلرونپنیر، ۲۰۰۲، ۱۲۵). در رابطه مذکور،  $A_r$  مساحت حوضه در سمت راست کانال اصلی (در حالی که نگاه، رو به پایین دست باشد) و  $A_t$  مساحت کل حوضه است. هر چقدر مقدار به دست آمده از عدد ۵۰ فاصله بگیرد، بیانگر کج شدگی بیشتر حوضه است. اعداد منفی کج شدگی به سمت چپ را نشان می دهند. در اثنای محاسبه این شاخص، توجه به شیستوزیته رخساره ها و لایه بندی طبقات رسوبی اهمیت می یابد.

جدول ۲. نتایج حاصل از شاخص تقارن حوضه زهکش (واحد  $A_r$ ،  $A_t$  کیلومتر مربع است)

حوضه	$A_r$	$A_t$	$A_f$	$A_f - 50$	Class	حوضه	$A_r$	$A_t$	$A_f$	$A_f - 50$	Class
1	16.1	28.5	56.49	6.49	3	16	41.6	51.5	80.77	30.77	1
2	3.67	10.7	34.29	-15.70	1	17	10.9	31.4	34.71	-15.28	1
3	13	24.8	52.42	2.41	3	18	26.6	65.8	40.42	-9.57	2
4	55.6	80.1	69.41	19.4	1	19	16	34.1	46.92	-3.07	3
5	10.2	25.1	40.51	-9.48	2	20	6.91	12.4	55.68	5.68	3
6	1.47	2.79	52.68	2.68	3	21	33	52	63.46	13.46	2
7	16.1	36.7	43.87	-6.13	3	22	1.31	4.67	28.05	-21.94	1
8	2.27	16	14.18	-35.81	1	23	6.51	17.3	37.63	-12.37	2
9	3.86	5.92	65.20	15.20	1	24	5.46	11.9	45.88	-4.17	3
10	3.24	9.85	32.89	-17.10	1	25	2.3	6.42	35.82	-14.17	2
11	2.13	3.76	56.65	6.64	3	26	5.68	25.7	22.10	-27.89	1
12	1.64	4.68	35.04	-14.95	2	27	1.52	5.27	28.84	-21.15	1
13	2.68	4.2	63.81	13.81	2	28	8.33	19.8	42.00	-7.99	2
14	2.17	3.84	56.51	6.51	3	29	44.2	114	38.77	-11.23	1
15	7.38	10.9	67.70	17.70	1	30	64.9	195	33.28	-16.72	1

براساس مقادیر محاسبه شده برای ۳۰ حوضه (جدول ۲) در ناحیه سنندج - سیرجان، ۳۸/۵ درصد حوضه‌ها دارای تکتونیک فعال اند و کج‌شدگی را نشان می‌دهند. ۳۸/۵ درصد از حوضه‌ها تکتونیک نیمه‌فعال اند و ۲۳ درصد تکتونیک غیرفعال را از خود نشان می‌دهند. کج‌شدگی در این ناحیه عمدتاً به سمت چپ حوضه است، یعنی تکتونیک در سمت راست (گوشه شمالی حوضه) از بخش جنوبی فعال‌تر است. در ناحیه زاگرس مرتفع ۴۷ درصد از حوضه‌ها تکتونیک فعال، ۱۷/۶۵ درصد حالتی نیمه‌فعال و ۳۵/۵ درصد از آنها حالتی غیرفعال بدون کج‌شدگی را نشان می‌دهند.

### شاخص انتگرال هیپسومتری

این شاخص بیانگر توزیع مساحت ارتفاعات متفاوت است (استرالر ۱۹۵۲) و از رابطه 
$$H_i = \frac{\bar{H} - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}}$$
 به دست

می‌آید (بیک و ویلوسون، ۱۹۷۱؛ مایر، ۱۹۹۰؛ کلرونیتر، ۲۰۰۲، ۱۲۲).  $\bar{H}$  ارتفاع متوسط حوضه است که از میانگین ۵۰ نقطه ارتفاعاتی به صورت تصادفی و از DEM حوضه به دست آمده است. این رابطه گرچه ارتباط مستقیمی با حرکات تکتونیکی نداشته اما به گونه‌ای غیرمستقیم وضعیت توزیع سطوح مختلف حوضه را نشان می‌دهد. مقادیر بالای این شاخص بیانگر مناطق مرتفع با بریدگی‌های عمیق‌اند و مقادیر پایین آن بیانگر مناطق کم‌ارتفاع و فرسوده. مقادیر اندازه‌گیری شده (جدول ۳) برای حوضه‌های ناحیه سنندج - سیرجان بیانگر این است که ۱۵/۳۸ درصد از مناطق، مرتفع با تکتونیک فعال، ۷/۵ درصد دارای تکتونیک نیمه‌فعال بوده و ۷۶/۹۳ درصد از حوضه‌ها حالتی غیرفعال دارند. در بخشی از زاگرس مرتفع ۱۱/۷۶ درصد از حوضه تکتونیک فعال، ۱۷/۶۵ درصد از حوضه‌ها تکتونیک نیمه‌فعال و ۷۰/۵۹ درصد از آنها تکتونیک غیرفعال از خود نشان می‌دهند.

جدول ۳. نتایج حاصل از شاخص انتگرال هیپسومتری (واحد اندازه‌گیری: متر)

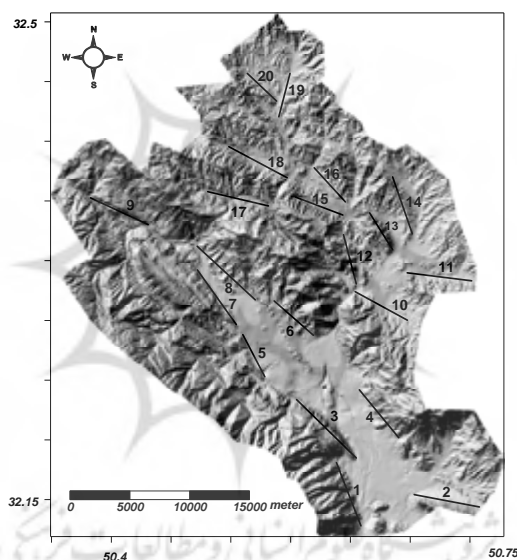
حوضه	ارتفاع max	ارتفاع min	ارتفاع متوسط	$H_i$	Class	حوضه	ارتفاع max	ارتفاع min	ارتفاع متوسط	$H_i$	Class
1	3225	1983	2441	0.368	3	16	3230	2025	2877	0.707	1
2	3120	2080	2577	0.4778	3	17	2970	2058	2312	0.278	3
3	3000	2040	2884	0.879	1	18	3300	2095	2726	0.523	2
4	3540	2047	2720	0.450	3	19	2900	2270	2543	0.433	3
5	3439	2240	2805	0.471	3	20	2660	2277	2506	0.597	1
6	2840	2358	2563	0.425	3	21	2840	2275	2490	0.380	3
7	3180	2229	2521	0.307	3	22	2602	2277	2385	0.332	3
8	3280	2217	2680	0.435	3	23	2680	2227	2414	0.412	3
9	3020	2147	2495	0.398	3	24	2560	2185	2354	0.450	3
10	3100	2160	2681	0.554	2	25	2580	2196	2370	0.453	3
11	3100	2150	2512	0.381	3	26	2510	2114	2286	0.434	3
12	2965	2135	2490	0.427	3	27	2438	2121	2248	0.400	3
13	2800	2119	2457	0.496	2	28	2444	2098	2296	0.572	1
14	2715	2060	2341	0.429	3	29	2738	2020	2236	0.300	3
15	3300	2100	2686	0.488	2	30	3100	1989	2247	.333	3

### شاخص سینوسیته جبهه کوهستان

این شاخص را بال و مک فادن (۱۹۷۷) و بال (۱۹۷۸) به صورت این رابطه معرفی کرده‌اند:  $S_{mf} = L_{mf} / L_G$  که در آن،  $L_{mf}$  طول جبهه کوهستان در جلو و پای کوهستان یا جایی است که شیب تغییر می‌کند و از کوهستان به پدیمت



تبدیل می‌شود، و  $L_s$  فاصله مستقیم همان دو نقطه است. این شاخص توازن میان فرایندهای فرسایشی را که بر روی جبهه کوهستان باعث ایجاد سینوسی (چین و شکن بیشتر) و بالآمدگی عمودی جبهه کوهستان می‌شود، نشان می‌دهد (کلر و همکاران، ۱۹۸۶، ۱۳۷). مقادیر پایین آن بیانگر تکتونیک فعال و مقادیر بالای آن بیانگر تکتونیک نیمه‌فعال تا غیرفعال است. این شاخص را همچنین می‌توان از روی عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی محاسبه کرد (بال و مک‌فارن، ۱۹۷۷). به‌طور کلی نقشه‌های بزرگ‌مقیاس برای اندازه‌گیری این شاخص دقیق‌ترند و عکس‌های هوایی با مقیاس بزرگ بهترین کیفیت را برای محاسبه آن دارند. مقادیر حدود ۱ تا ۱/۴ آن بیانگر تکتونیک فعال، بین ۱/۴ تا ۳ تکتونیک نیمه‌فعال، و بیشتر از آن حالتی غیرفعال دارند. این شاخص برای حدود ۲۰ جبهه در حوضه فارسان (۹ جبهه در زاگرس مرتفع و ۱۱ جبهه در سندج - سیرجان) اندازه‌گیری شده است. نتایج به‌دست آمده از روی منحنی ترازهای با فاصله ۱۰ متری محاسبه شده است (شکل ۵).



شکل ۵. تصویر سایه روشن ناهمواری‌ها از Dem با دقت ۱۰ متری حوضه، موقعیت جبهه‌های اندازه‌گیری شده بر روی آن پیداست.

از مجموع اندازه‌گیری‌ها (جدول ۴) در ناحیه سندج - سیرجان، ۶۳/۶ درصد از جبهه‌ها تکتونیک فعال داشته‌اند، و ۳۶/۳ درصدشان حالتی نیمه‌فعال. در این بخش، جبهه غیرفعال اندازه‌گیری نشده است.

جدول ۴. نتایج حاصل از شاخص سینوسیته کوهستان (واحد کیلومتر)

جبهه	$(L_{mf})$	$(L_s)$	$S_{mf}$	Class	جبهه	$(L_{mf})$	$(L_s)$	$S_{mf}$	Class
1	5.66	5.12	1.10	1	11	7.69	5.21	1.47	2
2	4.56	4.54	1.004	1	12	6.73	4.54	1.48	2
3	9.88	9.47	1.04	1	13	4.24	3.64	1.16	1
4	7.65	5.37	1.42	2	14	7.85	5.39	1.45	2
5	4.28	4.01	1.06	1	15	5.13	4.03	1.27	1
6	7.9	4.55	1.73	2	16	6.08	4.51	1.34	1
7	6.39	6.08	1.05	1	17	7.26	5.97	1.21	1
8	7.91	6.51	1.21	1	18	11.5	8.49	1.35	1
9	6.06	5.44	1.11	1	19	5.78	4.13	1.39	1
10	7.98	4.94	1.61	2	20	4.7	3.88	1.21	1

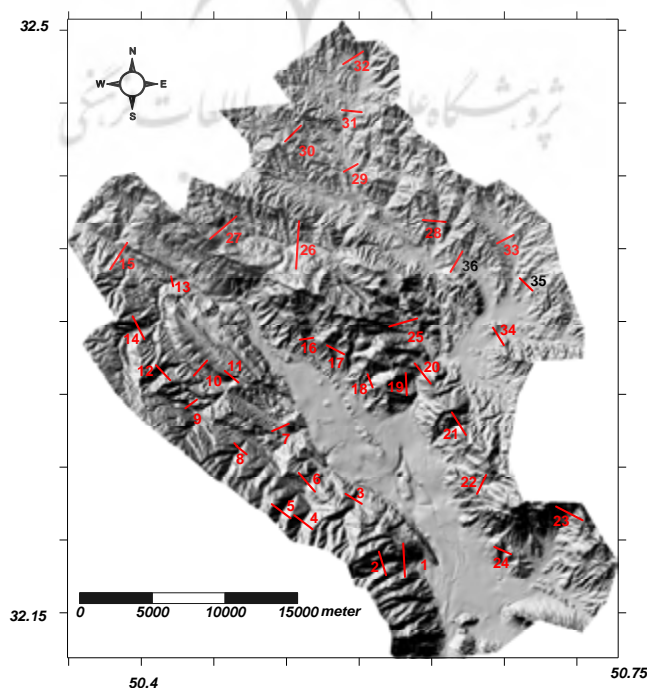
در بخشی از زاگرس مرتفع ۷۷/۷ درصد از اندازه‌گیری‌ها تکتونیک فعال و ۲۳/۳ درصد از آنها نیمه‌فعال بودند. در این بخش نیز هیچ جبهه‌ای در کلاس ۳ اندازه‌گیری نشده است. در مجموع ۷۰ درصد از جبهه‌ها فعال بودند و ۳۰ درصد از آنها نیمه‌فعال. این شاخص در مقایسه با دیگر شاخص‌ها تکتونیک فعال‌تری را برای کل حوضه به دست می‌دهد. نکته جالب توجه این است که جبهه‌های کلاس ۲، چه در بخش زاگرس مرتفع و چه در بخش سنندج - سیرجان، در حاشیه رودخانه اصلی سورسجان‌اند و در حاشیه جبهه‌ها تکتونیک فعال‌تری را از خود نشان می‌دهند.

### شاخص نسبت پهنا به عمق دره‌ها

این شاخص نسبت پهنا به عمق دره را به میانگین ارتفاعات حاشیه دره نشان می‌دهد (بال و مک فارن، ۱۹۷۷؛ و بال،

$$V_f = 2V_{FW} / [(E_{LD} - E_{SC}) + (E_{RD} - E_{SC})] \quad (1978)$$

که در آن،  $V_{FW}$  پهناهای کف دره،  $E_{SC}$  ارتفاع مطلق کف دره،  $E_{LD, RD}$  ارتفاع مطلق سمت راست و چپ دره است. دره‌های با کف پهن با مقادیر بالای  $V_f$  مشخص شده‌اند و حالتی U شکل دارند. مقادیر کم این اندیس منعکس‌کننده دره‌های عمیق با جریان‌هایی هستند که معمولاً قدرت برش آنها بسیار زیاد است و بالآمدگی در طول مدت کم را نشان می‌دهد. دره‌های V شکل (باریک و پرشیب) مقادیر پایین  $V_f$  را نشان می‌دهند. این شاخص برای دره‌های اصلی که جبهه کوهستان را قطع می‌کنند محاسبه می‌شود (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳). مقدار عددی آن نیز به اندازه حوضه و دبی جریان و نوع سنگ بستر بستگی می‌یابد. این شاخص برای ۳۶ دره در کل حوضه فارسان اندازه‌گیری شده، که ۲۴ دره در زاگرس مرتفع و ۱۲ دره در سنندج - سیرجان است (شکل ۶).



شکل ۶. تصویر سایه روشن ناهمواری‌ها از DEM با دقت ۱۰ متری حوضه (موقعیت ۳۶ دره در حوضه، ۲۴ دره در بخش زاگرس مرتفع و ۱۲ دره که در سنندج - سیرجان اندازه‌گیری شده بر روی آن پیداست).

در بخش سنج - سیرجان ۳۳/۳ درصد از دره‌ها تکتونیک نیمه‌فعال و ۶۶/۶ درصد از آنها تکتونیک غیرفعال را نشان می‌دهد (جدول ۵). در بخش زاگرس مرتفع، ۳۷ درصد از دره‌ها تکتونیک فعال، ۵۴ درصد از آنها نیمه‌فعال و ۸/۳ درصدشان غیرفعال را نشان می‌دهد. براساس این شاخص در بخشی از زاگرس مرتفع تکتونیک فعال تری حاکم است. در جمع کل حوضه، ۲۵ درصد از دره‌ها تکتونیکی فعال، ۴۷/۲ درصد تکتونیک نیمه‌فعال و ۲۷/۷ درصد تکتونیکی غیرفعال را از خود نشان می‌دهند.

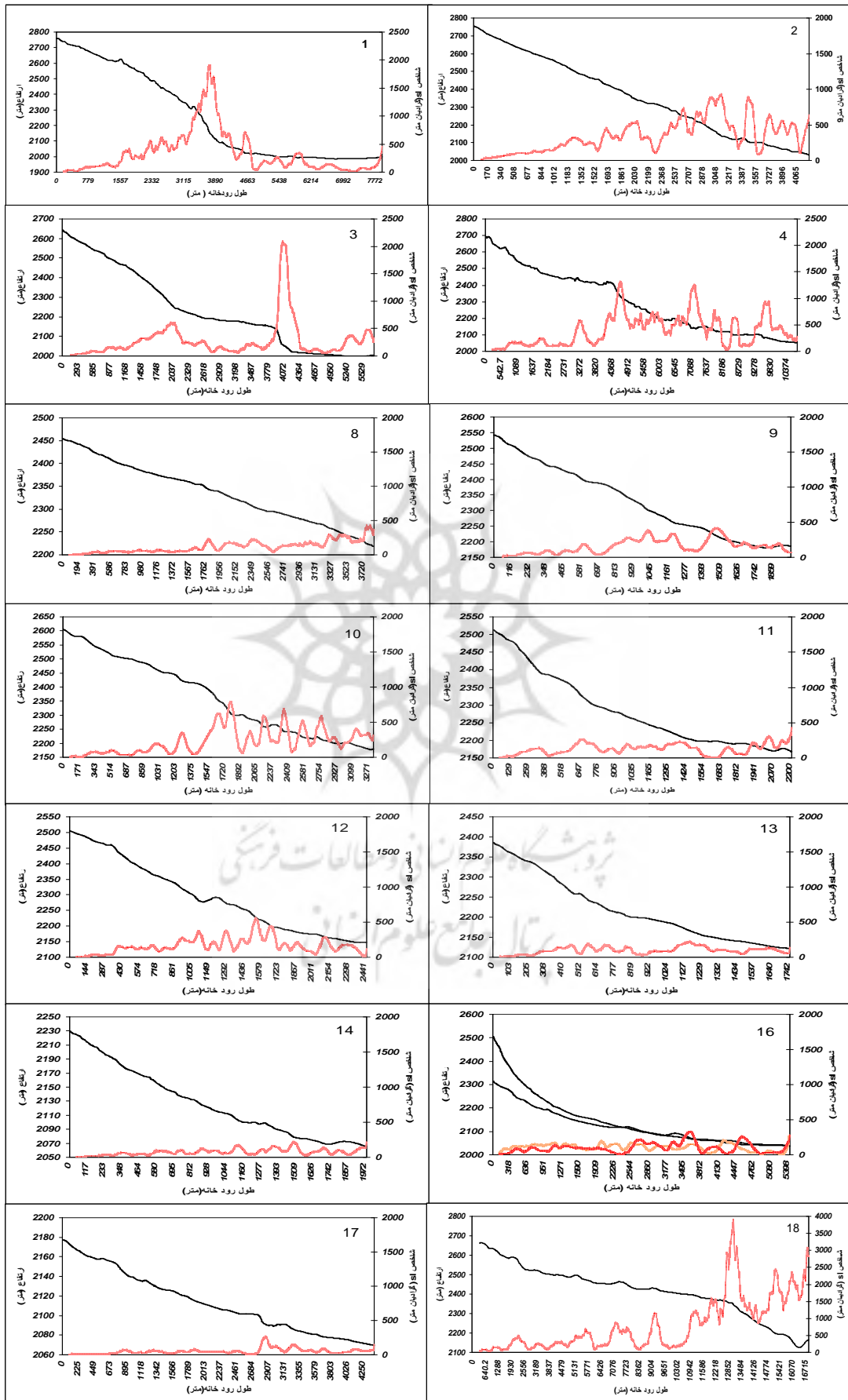
### شاخص SL گرادیان طولی رودخانه

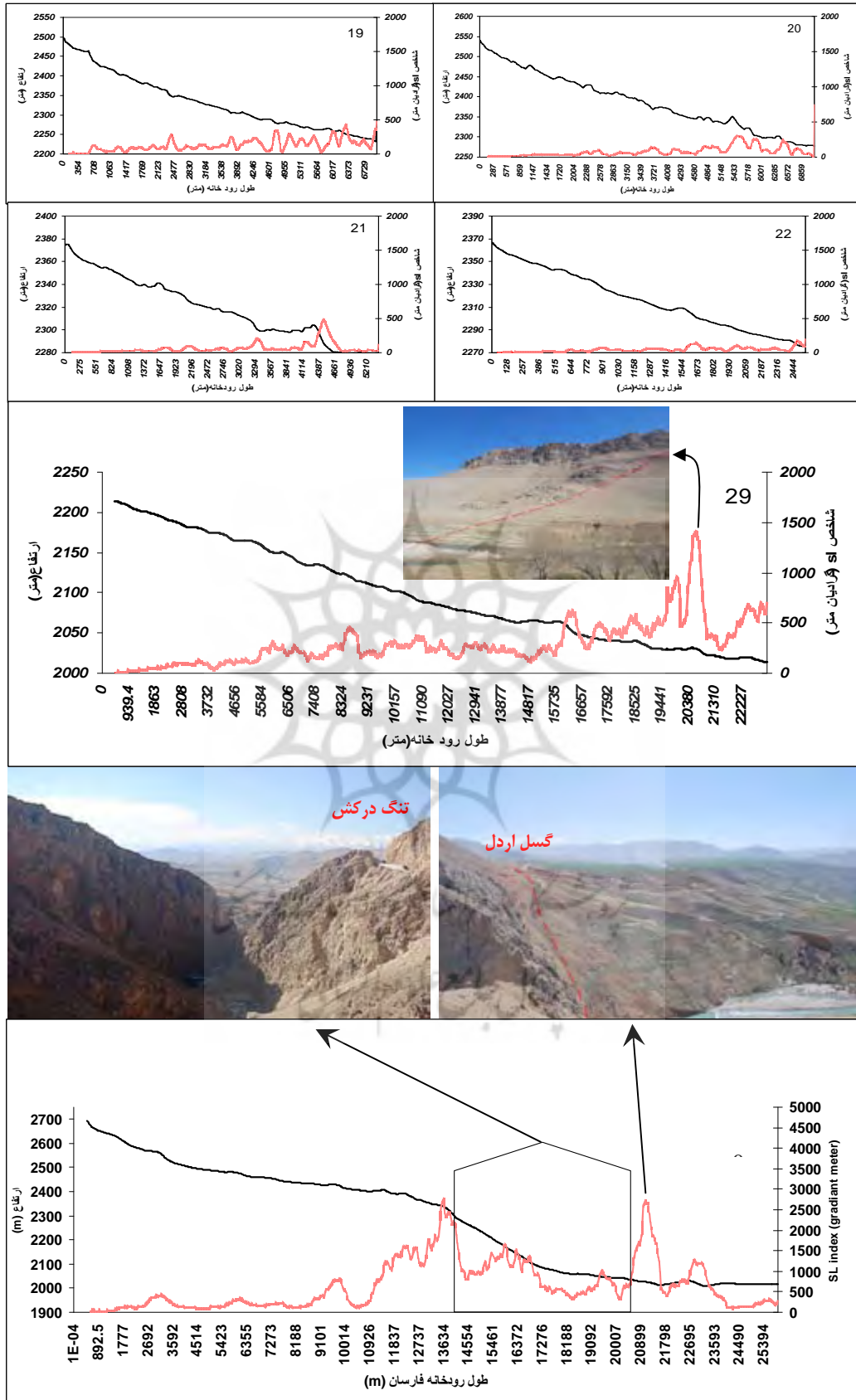
این شاخص از این نسبت حاصل می‌شود:  $S_L = (\Delta H / \Delta L)L$

در آن،  $\Delta H$  اختلاف ارتفاع دو نقطه از رودخانه،  $\Delta L$  فاصله آن دو نقطه، و  $L$  فاصله وسط آن قطعه تا خط تقسیم آب است. نتایج حاصل از این شاخص به صورت نمودار (شکل ۷) برای تعدادی از حوضه‌ها ترسیم شده است. نمودار و مقدار عددی این شاخص دارای حالت‌های مختلفی است که برای اکثر آنها نمودار ترسیم شده است. شاخص مذکور در چند نقطه دارای آنومالی است. یکی از آنها در مسیر رودخانه سروسشجان بوده که قبل از رسیدن به شهر فارسان در محل تراست زاگرس نمودار SL مقادیر بالایی را از خود نشان می‌دهد. این محل در ارتفاع ۲۰۸۰ متری واقع شده و مقدار عددی شاخص مؤید تأثیر تراست اصلی زاگرس بر پروفیل طولی این رودخانه است.

جدول ۵. نتایج حاصل از شاخص نسبت پهنا به عمق دره‌ها (واحد متر)

Number	V <sub>fw</sub>	E <sub>id</sub>	E <sub>rd</sub>	E <sub>sc</sub>	V <sub>f</sub>	Class	Number	V <sub>fw</sub>	E <sub>id</sub>	E <sub>rd</sub>	E <sub>sc</sub>	V <sub>f</sub>	Class
1	250	2470	2420	2075	0.675	2	19	50	2500	2350	2150	0.18	1
2	180	3020	2850	2600	0.53	2	20	200	2450	2250	2030	0.625	2
3	245	2210	2290	2070	1.36	3	21	150	2560	2465	2350	0.92	2
4	120	2690	2680	2435	0.48	2	22	180	2480	2550	2280	0.76	2
5	190	2780	2790	2535	0.76	2	23	50	2850	2900	2490	0.12	1
6	100	2445	2350	2180	0.45	2	24	20	2325	2300	2210	0.19	1
7	200	2300	2200	2100	1.33	3	25	100	2450	2210	2125	0.48	2
8	60	2660	2643	2515	0.43	2	26	200	2560	2630	2465	1.53	3
9	70	2629	2650	2520	0.58	2	27	100	2780	2890	2660	0.57	2
10	35	2700	2700	2420	0.12	1	28	120	2330	2360	2215	0.92	2
11	150	2560	2510	2365	0.88	2	29	200	2370	2370	2275	2.10	3
12	50	2905	2915	2650	0.19	1	30	120	2270	2280	2175	1.2	3
13	35	2220	2250	2190	0.77	2	31	200	2425	2450	2340	2.0	3
14	25	2710	2660	2300	0.06	1	32	200	2615	2560	2460	1.56	3
15	50	2560	2730	2340	0.16	1	33	100	2267	2272	2185	1.18	3
16	35	2340	2340	2225	0.30	1	34	120	2165	2185	2092	1.44	3
17	60	2340	2350	2200	0.41	2	35	200	2205	2205	2150	3.63	3
18	50	2380	2315	2210	0.36	1	36	80	2225	2325	2120	0.51	2





شکل ۷. پروفیل طولی تعدادی از کانالها (خطوط مشکی)، زیرحوضه‌ها (شماره حوضه‌ها کنار آن نوشته شده) و نمودار گرادبان طولی رودخانه‌ها (نقطه چین قرمز). برخی از آنها مقادیر پایین و برخی دیگر مقادیر بالا از خود نشان می‌دهند.

در شکل ۷، پروفیل شماره ۲۹ پروفیل طولی رودخانه سروشجان و نمودار S/n آن است. همان‌گونه که از شکل پیداست، مقدار عددی این شاخص در محل گسل زاگرس بسیار زیاد شده است. همراه آن تصویر محل تقاطع تراست زاگرس با رودخانه سروشجان، جایی است که شیب رودخانه به ناگهان زیاد می‌شود و نشان از تأثیر گسل بر مسیر رودخانه دارد (خطچین قرمز تراست زاگرس است). شماره ۳۰ پروفیل طولی رودخانه فارسان و نمودار S/n رودخانه فارسان پس از گذر از تنگه درکش از حوضه فارسان خارج می‌شود. همان‌گونه که از شکل پیداست، مقدار عددی این شاخص در محل تنگه درکش و گسل اردل بسیار زیاد شده است. در محل تقاطع گسل اردل و تنگه با رودخانه فارسان، شیب رودخانه به ناگهان زیاد می‌شود، که نشان از تأثیر گسل بر مسیر کانال دارد.

نقطه دیگر در خروجی رودخانه فارسان از خود حوضه و در محل تنگ درکش است، که رودخانه به‌وسیله گسل اردل بریده می‌شود. در این نقطه نیز مقدار عددی شاخص تا حد زیادی بالا می‌رود.

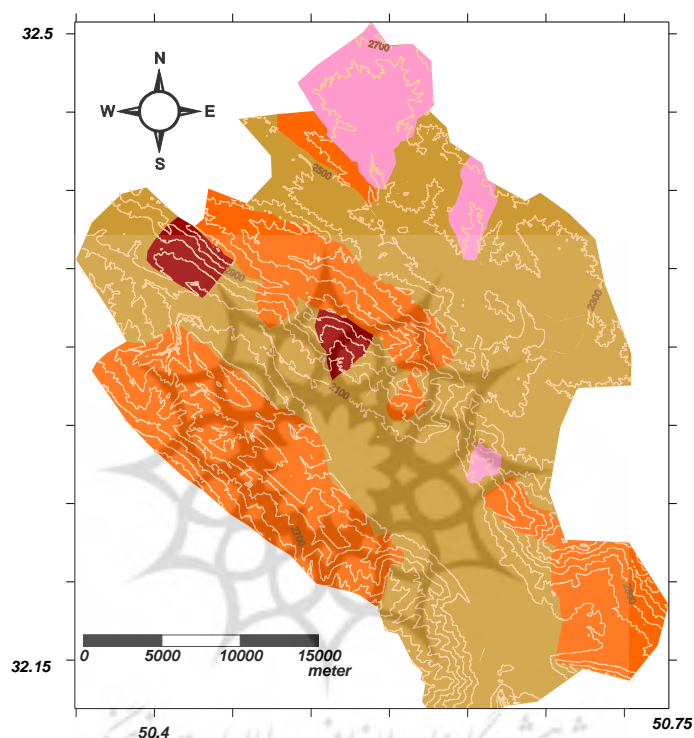
### وضعیت تکتونیک فعال حوضه فارسان براساس شاخص IAT

در جدول ۸ نتایج به‌دست آمده از شش شاخص برای کل حوضه جمع‌بندی گردیده و S/n از روی آن محاسبه شده، و سپس تمام مقادیر به‌دست آمده در چهار کلاس دسته‌بندی شده است. مقدار S/n بین ۰ تا ۱/۵ در کلاس یک، ۱/۵ تا ۲ در کلاس دو، ۲ تا ۲/۵ در کلاس سه و بیشتر از ۲/۵ در کلاس چهار دسته‌بندی شده و سپس بر این اساس نقشه پهنه‌بندی هم‌خطر حوضه فارسان ترسیم گردیده است (شکل ۸). براساس نقشه مذکور، در حاشیه تراست اصلی زاگرس و در بخش زاگرس مرتفع دو ناحیه با وسعت ۲۵/۸۵ کیلومترمربع - یعنی ۳/۱۸ درصد از سطح حوضه - دارای بالاترین میزان تکتونیک فعال (تکتونیک خیلی فعال) است که با رنگ قرمز تیره نمایش داده شده است. همچنین در مجموع ۲۷۳ کیلومترمربع معادل ۳۰/۳ درصد از وسعت حوضه در کلاس دو با تکتونیک فعال قرار می‌گیرد که عمدتاً در امتداد گسل زاگرس (عکس ۱ در شکل ۱۱). و یا در امتداد گسل‌های فرعی زاگرس است (عکس ۲ در شکل ۱۱).

جدول ۸. چگونگی محاسبه شاخص IAT براساس شش شاخص برای زیرحوضه‌ها

حوضه	A <sub>f</sub>	H <sub>i</sub>	V <sub>f</sub>	S <sub>L</sub>	B <sub>L</sub>	S <sub>mf</sub>	S/n	IAT	حوضه	A <sub>f</sub>	H <sub>i</sub>	V <sub>f</sub>	S <sub>L</sub>	B <sub>L</sub>	S <sub>mf</sub>	S/n	IAT
1	3	3	2	1	3	1	2.6	3	16	1	1	1	3	3	1	1.66	2
2	1	3	0	2	3	1	1.6	2	17	1	3	0	3	3	2	2.4	3
3	3	1	3	1	3	1	2	2	18	2	2	2	1	1	1	1.5	2
4	1	3	2	1	3	1	1.8	2	19	3	3	0	3	3	1	2.6	3
5	2	3	1	3	3	0	2	2	20	3	1	3	1	1	1	1.6	2
6	3	3	1	0	3	0	1.6	2	21	2	3	3	3	3	0	2.8	4
7	3	3	1	3	3	0	2.1	3	22	1	3	0	3	3	1	2.2	3
8	1	3	0	3	1	1	1.5	1	23	2	3	0	3	3	0	1.8	2
9	1	3	0	2	3	1	2	2	24	3	3	2	3	3	1	2.5	3
10	1	2	1	1	3	1	1.5	1	25	2	3	2	3	2	0	2.4	3
11	3	3	2	3	3	2	2.5	3	26	1	3	3	3	3	2	2.5	3
12	2	3	1	2	3	2	2.1	3	27	1	3	3	3	3	2	2.5	3
13	2	2	1	3	3	2	2	2	28	2	1	3	3	3	2	2.3	3
14	3	3	2	3	3	2	2.6	4	29	3	3	0	1	3	0	2.5	3
15	1	2	2	3	2	2	2	2	30	2	3	0	3	1	0	2.25	3

کلاس دو نیز مثل کلاس یک تکتونیک بالایی را نشان می‌دهد و در نقشه با رنگ نارنجی نمایش داده شده است. ۵۰۱/۰۸ کیلومترمربع از حوضه - یعنی حدود ۵۶ درصد از سطح آن - نیز در کلاس سه بوده و حالت نیمه‌فعال را از خود نشان می‌دهد. این کلاس بیشترین سطح را در برمی‌گیرد و همان‌طور که از نقشه پیداست (رنگ کرم) بخش میانی زاگرس مرتفع و قسمت‌های حاشیه‌ای زون سنندج - سیرجان در آن واقع شده است، در نهایت بخش آخر با وسعتی در حدود ۵۵/۸۴ کیلومترمربع یعنی ۶/۱۹ درصد از سطح حوضه تقریباً فاقد حرکات تکتونیک است (جدول ۹).



شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی حوضه فارسان براساس نتایج حاصل از شاخص IAT (چهار کلاس اینها هستند: قرمز - خیلی فعال؛ نارنجی - فعال؛ کرم - متوسط؛ و صورتی - غیرفعال)

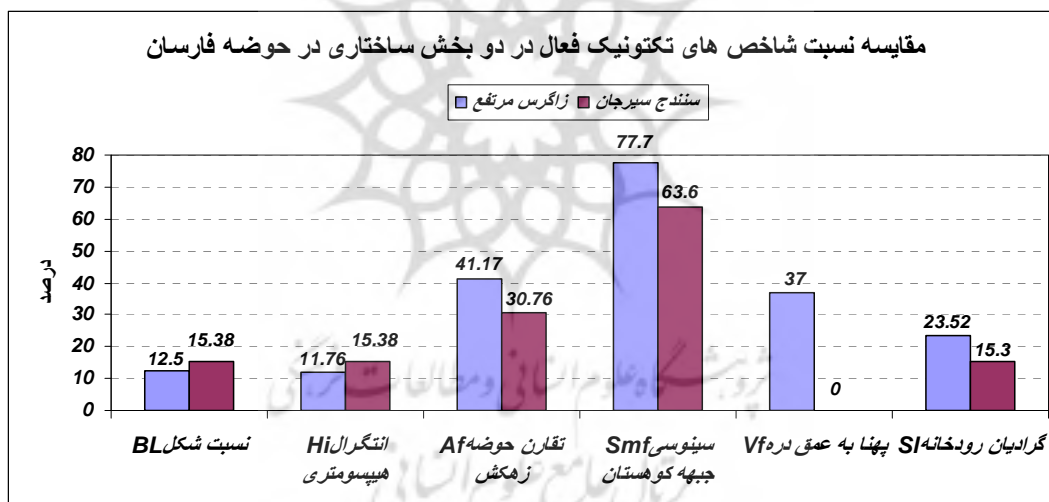
جدول ۹. راهنمای نقشه در شکل ۸

کلاس تکتونیک	وسعت (کیلومترمربع)	درصد حوضه	رنگ
خیلی فعال	۲۵/۸۵	۳/۱۸	قرمز
فعال	۲۷۳/۳۱	۳۰/۳	نارنجی
متوسط	۵۰۱/۰۸	۵۶	کرم
غیرفعال	۵۵/۸۴	۶/۱۹	صورتی

### مقایسه ویژگی‌های تکتونیک دابخشی ساختاری

قضاوت منتج از شاخص‌های کمی تکتونیک فعال راجع به حوضه‌ای وسیع معمولاً ساده نیست و محققان مختلف روش‌های متفاوتی را به کار بسته‌اند. شمار زیادی از مقالات صرفاً از دو شاخص سینوسی جبهه کوهستان و نسبت پهنا به عمق دره‌ها استفاده کرده‌اند (بال و مک فادن، ۱۹۷۷؛ سیلوا و همکاران، ۲۰۰۳).

این محققان معمولاً از جبهه فعال صحبت می‌کنند و کمتر نتایج به‌دست آمده را به یک پهنه تعمیم داده‌اند. راک ول (۱۹۸۵) علاوه بر دو شاخص قبلی، نرخ بال‌آمدگی  $0/4-0/5$  متر در هر ۱۰۰۰ سال را برای مناطق با تکتونیک فعال و کلاس یک در نظر می‌گیرد. اما در کل از میان تحقیقات به عمل آمده قضاوت راجع به سطح یک ناحیه کمتر به چشم می‌خورد. همدونی و همکاران (۲۰۰۸) برای قضاوت راجع به تکتونیک ناحیه سریانادا در جنوب اسپانیا از شش شاخص برای محاسبه شاخص جدیدی به نام IAT برای پهنه‌بندی حوضه استفاده کرده‌اند؛ که در این پژوهش نیز از روش آنان برای محاسبه شاخص مذکور استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده فقط در کلاس یک (فعال) در دو بخش ساختاری در شکل ۹ نشان داده شده است.

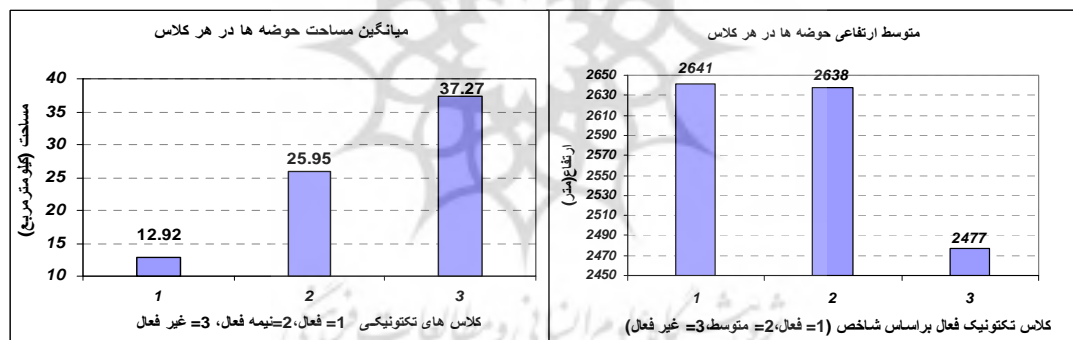


شکل ۹. مقایسه نسبت شاخص‌های تکتونیک فعال در دو بخش ساختاری

بیشترین مقدار عددی در این میان ناشی از سینوسی بودن جبهه کوهستان با میزان  $77/7$  درصد جبهه فعال است و کمترین مقدار عددی به انتگرال هیپسومتری مربوط می‌شود. در چهار شاخص، بخش زاگرس مرتفع فعال‌تر از سنندج - سیرجان است و در دو شاخص یعنی نسبت شکل و انتگرال هیپسومتری ( $H_i$  و  $B_i$ ) ناحیه سنندج سیرجان فعال‌تر نشان می‌دهد. گرچه در مورد شاخص انتگرال هیپسومتری جمع مقدار حوضه‌های نیمه‌فعال و فعال عدد ۲۹ درصد را نشان می‌دهد که از جمع دو بخش فعال و نیمه‌فعال سنندج سیرجان (یعنی ۲۳ درصد) بیشتر است و نشان از ناحیه‌ای فعال‌تر دارد.



تنها اختلاف به دست آمده ناشی از ضریب شکل حوضه (B<sub>1</sub>) است و این بدان معنی است که در بخش سنندج - سیرجان حوضه‌ها کشیده‌تر از بخش زاگرس مرتفع است. اما در مجموع زاگرس مرتفع تکتونیک فعال‌تری را نشان می‌دهد. در بخش شاخص دره‌ای شکل در ناحیه سنندج - سیرجان تقریباً هیچ دره‌ای فعال نشان نمی‌دهد، در حالی که در ناحیه زاگرس مرتفع ۳۷ درصد از دره‌ها U شکل‌اند و فعال نشان می‌دهند. از سویی در مورفومتری، زیرحوضه‌ها در دو شکل ۱-۱۰ و ۲-۱۰ خلاصه شده است. براساس شکل ۹-۱ متوسط ارتفاعی زیرحوضه‌های فعال حدود ۲۰۰ متر مرتفع‌تر از زیرحوضه‌های غیرفعال است و به نظر می‌رسد خط ارتفاعی ۲۴۸۰ متر تا حدود ۲۶۰۰ متر محدوده‌ای گسترده در حوضه مورد مطالعه است. این امر می‌تواند ناشی از ارتفاع گسل فعال در منطقه باشد که این نکته در بازدید میدانی نیز مورد تأیید قرار گرفت. از سویی دیگر در اندازه‌گیری‌های به عمل آمده، مشخص شد که حوضه‌های با تکتونیک فعال دارای متوسط مساحت ۱۳ کیلومترمربع‌اند، در حالی که حوضه‌های غیرفعال وسعت بالاتری دارند. این امر نیز ناشی از آن است که گسلش ناشی از تکتونیک فعال باعث انفصال در حوضه‌ها و کاهش وسعت آنها می‌شود و با گذر زمان و تأثیر بیشتر فرایندهای فرسایشی به تدریج حوضه‌ها به سمت تعادل بیشتر می‌روند و در نتیجه وسعت آنها افزایش می‌یابد.



شکل ۱۰-۲. میانگین مساحت حوضه‌ها

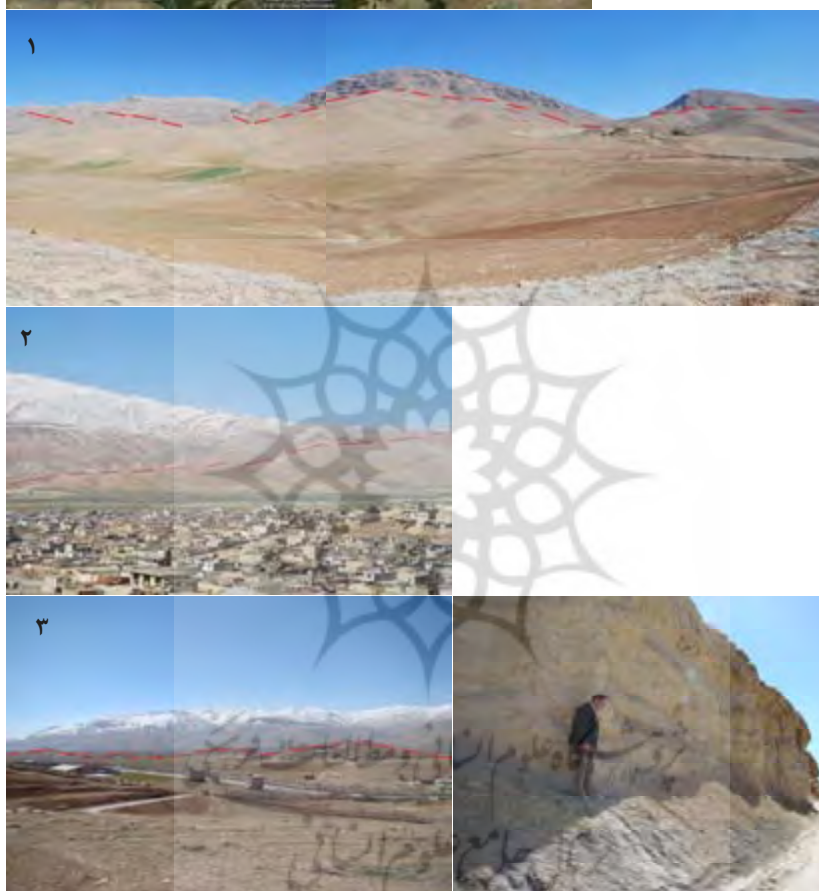
شکل ۱۰-۱. متوسط ارتفاعی حوضه‌ها

### بازدید و شواهد میدانی تکتونیک

در بازدیدهای میدانی که در اسفند ۱۳۸۷ در حوضه فارسان به عمل آمد، از گسل‌های مهم از جمله تراست اصلی زاگرس و نیز گسل‌های فرعی در بخش‌های دیگر عکس تهیه شد. در این میان، گسلی که از میان شهر فارسان می‌گذرد و اختلاف ارتفاعی در حدود ده متر (عکس ۴ در شکل ۱۱) ایجاد کرده است اهمیت خاصی دارد. بر روی این گسل بسیاری از تأسیسات شهری ساخته شده است (عکس ۳ در شکل ۱۱). امتداد این گسل دقیقاً به بخش خیلی فعال حوضه فارسان منتهی می‌شود و بیانگر آن است که گسل مورد بحث دارای فعالیت تکتونیک در عهد حاضر است و پتانسیل بالایی برای ایجاد لرزه دارد. براساس لیست زمین‌لرزه‌های مؤسسه لرزه‌نگاری، کانون سطحی دو زمین‌لرزه رخ داده در این ناحیه در امتداد دو گسل فعال است.



روبه‌رو عکس گوگل و موقعیت عکس‌ها

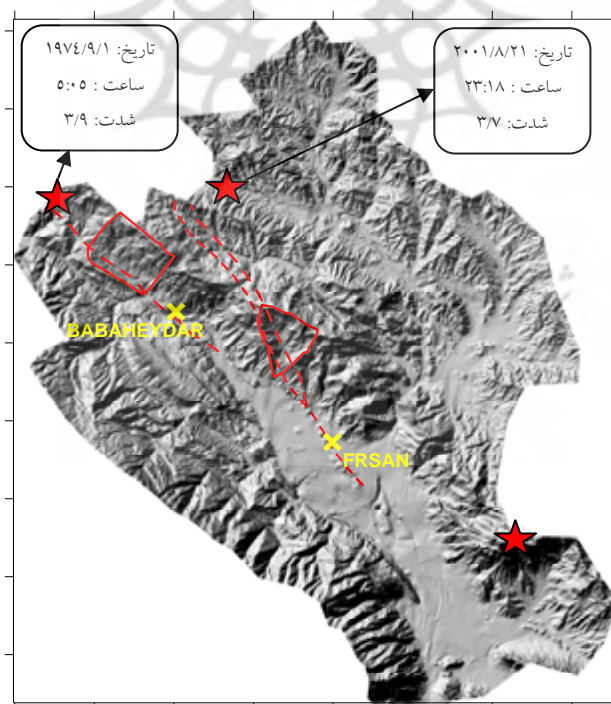


شکل ۱۱. عکس شماره ۱. تراست اصلی زاگرس که شهر فارسان در حاشیه غربی آن واقع شده است. بخش با فعالیت تکتونیکی‌های بالا در انتهای عکس واقع شده است (جهت نگاه به سمت شرق). عکس شماره ۲. نمایی از شهر فارسان و گسل‌های فرعی بی‌نام در حاشیه غربی شهر (جهت نگاه به سمت غرب). عکس شماره ۳. گسلی که از میان شهر فارسان می‌گذرد و تکتونیک فعالی از خود نشان می‌دهد روی گسل در حاشیه آن تأسیسات و ساختمان‌های بسیاری ساخته شده است. عکس شماره ۴. اختلاف ارتفاع در دو سمت گسل مذکور را نشان می‌دهد. منازل ساخته در کنار این گسل در انتهای عکس مشخص‌اند.

### نتیجه‌گیری

- میانگین مساحت حوضه‌ها در کلاس یک (فعال) حدود ۱۳ کیلومترمربع است، در حالی که میانگین مساحت حوضه‌های با فعالیت کمتر در حدود ۳۷/۲۷ کیلومترمربع است.

- در بین شاخص‌های تکتونیک فعال بیشترین مقدار عددی مربوط به شاخص سینوسی کوهستان و کمترین آن مربوط به شاخص شکل حوضه است.
- بخش زاگرس مرتفع در حوضه مذکور تکتونیک فعال تری در مقایسه با بخش سندانج - سیرجان دارد.
- براساس شاخص IAT حدود ۲۶ کیلومترمربع از حوضه فارسان دارای تکتونیک فعال است.
- شاخه‌هایی از گسل زاگرس دارای تکتونیک فعال‌اند. در این حوضه بخشی از گسل اصلی زاگرس به طول ۸۳۵۰ متر دارای فعالیت تکتونیکی بسیار فعال تا فعال است.
- دو زمین‌لرزه (۱۹۷۴ و ۲۰۰۱) از سه زمین‌لرزه موجود در کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها در امتداد و در نزدیکی گسل‌ها و مناطق فعال رخ داده است.
- دو شهر مهم یعنی فارسان و باباحیدر در کنار حوضه‌های با ویژگی‌های تکتونیکی و همین‌طور گسل‌های فعال واقع شده‌اند (شکل ۱۲).
- اگرچه این بخش در نقشه پهنه‌بندی ایالات ایران به عنوان ناحیه پرخطر قلمداد می‌شود اما در محدوده مورد مطالعه بخش عمده‌ای از حوضه (۷۵ درصد) به لحاظ تکتونیکی شرایط آرام از خود نشان می‌دهد.



شکل ۱۲. شهر فارسان و باباحیدر (ضربدر زردرنگ) بر روی گسل‌های فعال (خطچین قرمز رنگ) و در حاشیه مناطق با مورفولوژی فعال (خطوط قرمز رنگ) واقع شده‌اند. کانون سطحی (ستاره‌های قرمز رنگ) دو زمین‌لرزه در این حوضه در امتداد گسل‌های فعال بوده است.

## منابع

- Aghanabati S.A., 2004, **Geology of Iran**, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Azor, A., Keller, E.A., Yeats, R.S., 2002, **Geomorphic Indicators of Active Fold Growth: South Mountain-Oak Ridge Ventura basin, southern California**, Geological Society of America Bulletin, 114, 745-753.
- 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-G-394, Office of Earthquakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, CA.
- Bull, W.B., McFadden, L.D., 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.
- Goorabi A., 2007, **Evidences of Active Geomorphology of Darake Basin**, Geography Researches, No.60, PP.177-196.
- Habibollahi M., 2007, **Analysis of Active Aectonic in Zayandehrod Upstream**, M.Sc. Thesis, Isfahan University.
- Hare, P.W., Gardner, T.W., 1985, **Geomorphic Indicators of Vertical Neotectonism Along Converging Plate Margins**, Nicoya Peninsula,
- Keller, E.A. R. El Hamdouni, 2008, **Assessment of Relative Active Tectonic Southwest Border of the Sirra Nevada**, *Geomorphology* 96, 150- 173.
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002, **Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape**, Prentice Hall, New Jersey, Keller, E.A., Chacón.
- Khaled Hessami et al., 2003, **Active Faults Map in Iran**, International Seismology and Earthquake Engineering Institute, Tehran.
- Khatib M. et al., 2008, **Influence of Nehbandan Fault System on Nehbandan City Morphology**, *Geography & development*, No. 12, PP.5-24.
- Khosravi Gh., 2008, **Active Tectonic Analysis and Impact on Drainage Network on Khuzestan Plain**, M.Sc. thesis, Islamic Azad University, NajafAbad branch.
- Madada Aghil et al., 2004, **Neotectonic Interpretation with Geomorphology Approaches in North east Talesh**, *Geography Reserches*, No. 48, PP. 123-138.
- Mayer, L., 1990, **Introduction to Quantitative Geomorphology**, Prentice Hall.
- Mokhtari D., 2007, **Analysis of Morphotectonic of Marand**, *Geography Researches*, No.60, PP.129-146.
- Molin, P., Pazzaglia, F.J., Dramis, F., 2004, **Geomorphic Expression of Active Tectonics in a Rapidly-deforming Forearc, Sila Massif, Calabria southern Italy**, *American Journal of Science*.
- Negaresh H., 2003, **Earthquake, Cites, and Faults**, *Geography Researches*, No. PP. 1-18.
- Poorkermani M., Ariyan M., 1997, **Seismotectonics** , Alavi Pubs.

- Poorkermani M., Ariyan M., 1998, **Earthquake in Iran**, Shahid Beheshti Uni. Pub., Tehran.
- Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardajm, T., 2003, **Fault Generated Mountain Fronts in Southeast Spain: Geomorphologic Assessment of Tectonic and Earthquake Activity**, *Geomorphology*.
- Yamani M. et al., **Geomorphology Evidences of Takhab and Tabarteh Fault Action on Mighan Graben Morphology**, *Geography Researches*, No. 47, PP. 111-121.

