

ارزیابی تکتونیک فعال در زیر حوضه‌های جراحی - زهره بر پایه تحلیل مورفوتکتونیک و اثرهای آن بر میدان‌های نفتی حوضه مورد مطالعه

عزت‌اله قنوتی - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، ایران
فریده صفاکیش - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، ایران
یاسر مقصدی - استادیار سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۱۲/۱۹

چکیده

در این مطالعه، بر اساس پیوند نئوتکتونیک و توپوگرافی کنونی، فعالیت نئوتکتونیک ۳۸ زیرحوضه دارای میدان‌های نفتی و غیرنفتی جراحی - زهره، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک S، SL، RA، HI، BS، AF و ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد فعالیت نئوتکتونیک نیمه شرقی بیشتر و ۱۲/۲، ۳۴/۵، و ۵۳/۲ درصد حوضه به ترتیب در کلاس‌های یک تا سه قرار دارند. سرانجام، با روی هم قرار دادن لایه نهایی نئوتکتونیک و لایه نفتی مشخص شد که هیچ میدان نفتی در مناطقی با نئوتکتونیک بالا وجود ندارد، اما ۶۱/۶ درصد در مناطقی با فعالیت کم قرار گرفته‌اند. بنابراین، چون میزان زیاد نئوتکتونیک باعث فرار و دگرریخت شدن تله‌های نفتی می‌شود و نیز مقداری فعالیت نئوتکتونیک برای تشکیل ساختارهای جدید و جای‌گیری تله‌ها لازم است، می‌توان استنباط کرد که بیشترین میدان‌ها در مناطقی است که هم نئوتکتونیک برای شکل‌گیری نفت‌گیرها وجود دارد هم میزان آن باعث فرار نکردن تله‌های نفتی شده است.

کلیدواژه‌ها: جراحی - زهره، زاگرس، شاخص‌های ژئومورفیک، میدان‌های نفتی، نئوتکتونیک.

مقدمه

زاگرس، با دارا بودن ۸/۶ درصد مخازن نفتی، از مهم‌ترین حوضه‌های نفتی خاورمیانه است (موریس، ۱۹۸۴). بخش بیشتر مخازن هیدروکربنی زاگرس در نفت‌گیرهای طاق‌دیسی - که زیرمجموعه نفت‌گیرهای ساختمانی‌اند - متمرکز شده‌اند. اما زاگرس، علاوه بر غنی بودن از لحاظ مخازن عظیم هیدروکربن، از نظر فعالیت‌های نئوتکتونیک نیز مورد توجه بوده است. رقابت همیشگی بین فرایندهای تکتونیک - که به شکل‌گیری توپوگرافی و فرایندهای سطحی منتهی به فرسودگی آن منجر می‌شود - بیان‌کننده هسته تکتونیک ژئومورفولوژی یا ژئومورفولوژی ساختاری است (باربنک و اندرسون، ۲۰۱۱). در واقع، ماهیت پویای فرایندهای تکتونیک لزوم اندازه‌گیری آن‌ها را در مقیاس زمانی متفاوت موجب می‌شود (ارفع‌نیا، ۱۳۸۹). از آنجا که مؤثرترین شاخص‌های مورفومتریک مربوط به فرسایش و فرایندهای رسوبی مرتبط با سیستم‌های

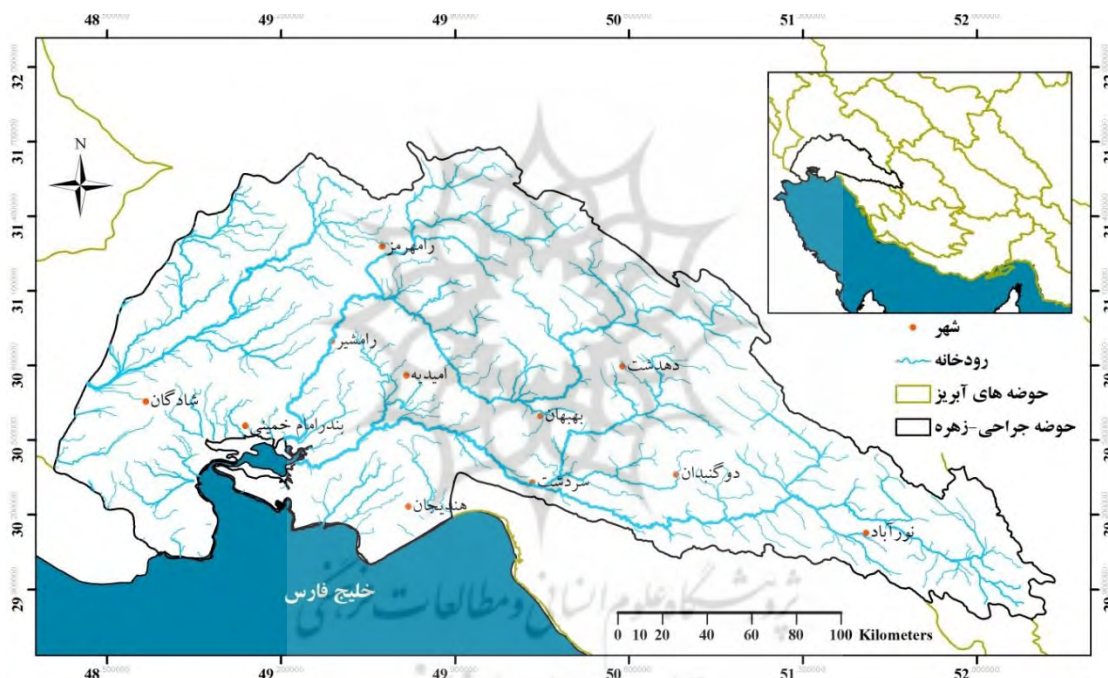
رودخانه‌ای است (سارپ و دیزگان، ۲۰۱۵) و رودخانه‌ها اولین اشکال محیطی‌اند که به وقوع تغییرات در بستر یا بروز تغییرات در حواشی بستر جریان واکنش نسبتاً سریعی نشان می‌دهند (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۸) می‌توانند در تمایز بخش‌های فعال ساختمان زمین‌شناسی و ارزیابی حوضه‌های زهکشی راهگشا باشند (اوجی، ۱۹۸۵؛ شوم، ۱۹۸۶؛ جین و سینه‌ها، ۲۰۰۵؛ مالیک و موهانتی، ۲۰۰۷؛ تروسکی و همکاران، ۲۰۰۹)، زیرا حوضه‌های زهکشی، به منزله سیستمی پویا، به حفظ تاریخچه شکل‌گیری و توالی خود از زمانی که بیشتر فرایندهای تکنو-ژئومورفولوژی در آن محدوده رخ داده است می‌پردازد (رومشو و همکاران، ۲۰۱۲؛ دار و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین، تجزیه و تحلیل مورفومتریک شبکه‌های رودخانه با استفاده از شاخص‌های زمین‌ریختی و همچنین تجزیه و تحلیل زمین‌آماری داده‌های توپوگرافی (ترویانی و همکاران، ۲۰۱۲) به ابزار مفیدی برای بررسی تکامل شکل زمین تبدیل شده‌اند. در واقع، مورفومتری با بررسی‌های مربوط به حوضه زهکشی، شبکه‌های جریان یا جبهه کوهستان به آنالیز توپوگرافی کمک می‌کند (متنو و همکاران، ۲۰۱۶).

در این زمینه، به سبب مؤثر و سریع بودن تجزیه و تحلیل مورفومتری، برای ارزیابی تکنونیک فعال، به‌ویژه در مقیاس بزرگ (علیپور و همکاران، ۲۰۱۱)، برخی شاخص‌های ژئومورفیک برای شناسایی مناطقی که دچار تغییر شکل سریع تکنونیک‌اند توسعه یافته‌اند (کلر و پینتر، ۲۰۰۲). در مطالعات اخیر مربوط به مورفوتکتونیک، ترکیبی از تجزیه و تحلیل مورفولوژیک و مورفومتریک لندفرم‌ها و تجزیه و تحلیل توپوگرافی برای به‌دست‌آوردن تکنونیک فعال مورد استفاده (دلستا و همکاران، ۲۰۰۸) و در مناطق مختلف تکنونیک فعال تست شده است و بینشی در مورد مناطق خاصی که در معرض تغییر شکل تکنونیک فعال‌اند فراهم آمده است (سارپ و دیزگان، ۲۰۱۵). از برجسته‌ترین پژوهشگرانی که به بررسی نتوتکتونیک با شاخص‌های زمین‌ریختی پرداخته‌اند می‌توان اشاره کرد به بول و مک فادن (۱۹۷۷) در شمال و جنوب گسل گارلوک؛ ولز و همکاران (۱۹۸۸) در سواحل کاستاریکا؛ پرزپنا و همکاران (۲۰۱۰) در سیرا نوادا؛ سارپ و دیزگان (۲۰۱۲) در آناتولی ترکیه؛ گائو و همکاران (۲۰۱۳) در شمال شرقی فلات تبت؛ دمولین (۲۰۱۵) در پلپونز یونان؛ لویرا و همکاران (۲۰۱۵) در کومان هیمالیا؛ توکاس و همکاران (۲۰۱۶) در جنوب یونان؛ توپال و همکاران (۲۰۱۶) در آق شهر ترکیه؛ چنگ و همکاران (۲۰۱۶) در پکن؛ متنو و همکاران (۲۰۱۶) در ساراواک جزیره بورتونو؛ و در ایران خیام و مختاری کشکی (۱۳۸۲) در مخروط‌افکنه‌های میشوداغ؛ سیف و خسروی (۱۳۸۹) در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس؛ بهرامی و همکاران (۱۳۹۰) در زاگرس؛ یمانی و همکاران (۱۳۹۲) در حوضه آبخیزنچی؛ و منصوری و صفاری (۱۳۹۴) در حوضه فرحزاد. بنابراین، از آنجا که بسیاری از عوارض ژئومورفولوژیکی در مقابل حرکات تکنونیک بسیار حساس‌اند و هم‌زمان با آن‌ها تغییر می‌کنند، باید به دنبال اشکالی بود که این تغییرات را در طی سال‌ها در خود حفظ کرده‌اند (چورلی و همکاران، ۱۹۸۴). با عطف بر این مورد، پژوهشگران پژوهش حاضر سعی کرده‌اند با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به بررسی فعالیت‌های نتوتکتونیک و تأثیر آن بر جای‌گیری میدان‌های نفتی در زیرحوضه‌های جراحی-زهره بپردازند.

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه جراحی-زهره از برجسته‌ترین حوضه‌های نفتی در زاگرس است. این حوضه با وسعت ۴۰۷۸۷ کیلومتر مربع بین عرض جغرافیایی "۳۹°۳۹'۲۹" تا "۳۸°۴۵'۳۱" شمالی و طول جغرافیایی "۴۸°۱۲'۲۶" تا "۵۲°۱۹'۵۲" شرقی

واقع شده است (شکل ۱) و به لحاظ ژئومورفولوژی بخش‌هایی از زاگرس مرتفع، چین‌خورده، و چین‌خورده را شامل می‌شود. بخش کوچکی از منطقه جزو زاگرس مرتفع است که در اثر فرورانش صفحه عربستان دچار گسلس شدیدی شده است؛ با توجه به اینکه تداوم فرورانش فعالیت زمین‌ساختی در این منطقه بسیار بالاست، بخش عمده منطقه دربرگیرنده زاگرس چین‌خورده است و بیشتر میدان‌های نفتی در همین منطقه گسترش بیشتری دارند. بخش سوم منطقه، که دربرگیرنده زاگرس چین‌خورده یا دشت خوزستان است، از فعالیت زمین‌ساختی کمتری برخوردار است. مورفولوژی منطقه حکایت از این وضعیت دارد که در این بخش نیز میدان‌های نفتی چشم‌گیری شکل نگرفته است. از گسل‌های منطقه می‌توان به گسل‌های آغاچاری، پیشانی کوهستان، میشان، و بخش‌هایی از گسل‌های کازرون، رگ سفید، اهواز و گسل فروافتادگی دزفول اشاره کرد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

برای بررسی تکتونیک فعال در محدوده مورد مطالعه از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ ° ۱:۵۰۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ° ۱:۱۰۰۰۰، مدل ارتفاعی رقومی، و تصاویر ماهواره‌ای لندست هشت استفاده شده است. نخست با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی موقعیت حوضه آبریز مورد نظر مشخص شد. سپس، با استفاده از DEM استر شبکه زهکشی حوضه استخراج و با روش استرالر رتبه‌بندی و با کمک ابزار Arc Hydro ۳۸ مرز زیرحوضه استخراج شد. سرانجام، برای محاسبه شاخص‌های مورفومتری نقشه‌های منطقه در محیط GIS رقومی و لایه‌های مورد نظر با دقت بالا استخراج شد و برای برآورد شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، انتگرال هیپسومتری، عدم تقارن حوضه زهکشی، گرادیان طولی رودخانه، پیچ و خم رودخانه، دامنه ناهمواری، و شکل حوضه از آن‌ها استفاده شد.

محاسبه شاخص‌های ژئومورفیک

شاخص گرادیان طولی رودخانه^۱

ارزیابی شبکه‌های زهکشی و پروفیل طولی رودخانه‌ها رویکردی مناسب برای بررسی نئوتکتونیک است (دومینگز-گونزالس و همکاران، ۲۰۱۵). در واقع، ناهنجاری پروفیل طولی را می‌توان برای ارزیابی اختلال تکتونیک در مقیاس‌های مختلف، اعم از مقیاس بزرگ تا ساختارهای محلی، بررسی کرد (سیبر و گورنتز، ۱۹۸۳؛ مولن و همکاران، ۲۰۰۴). هک (۱۹۷۳) شاخص SL را برای ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی مطرح کرد. مقادیر عددی شاخص SL به قدرت رودخانه (بر حسب دبی رود و شیب سطح آب) بستگی دارد. در واقع، حساسیت این شاخص به تغییرات شیب موجب ارزیابی روابط میان فعالیت‌های زمین‌ساختی، مقاومت سنگ، و توپوگرافی شده است (مددی و همکاران، ۱۳۸۳). هنگامی که رودخانه‌ها و آبراهه‌ها در نواحی‌ای با میزان بالآمدگی زیاد جریان دارند و مناطقی که بستر رودخانه از سنگ‌های سخت می‌گذرد، شیب نیمرخ‌های رود بیشتر می‌شود و در نتیجه مقدار SL افزایش می‌یابد. در حالی که مناطقی با میزان بالآمدگی پایین و مناطقی که جریان‌های موازی با عوارضی مانند دره‌های تولیدشده توسط گسلش امتداد لغز هستند (الهمدونی و همکاران، ۲۰۰۸) میزان SL کاهش می‌یابد. این شاخص از طریق رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$SL = \left(\frac{h}{DL} \right) \quad (1)$$

که در آن اختلاف فراز میان دو نقطه گزینش شده، L طول مسیر اندازه‌گیری شده بین دو نقطه، و L طول رودخانه از نقطه وسط نقاط برگزیده شده تا مرز حوضه در سرچشمه است. شاخص گرادیان رودخانه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی محاسبه شد. نخست نیمرخ طولی آبراهه اصلی ۳۸ زیرحوضه ترسیم شد و مقدار SL در فواصل معین، که برای هر زیرحوضه با توجه به خط تغییر شیب نیمرخ طولی آبراهه متغیر بود، به دست آمد. این کار برای همه مسیر رودخانه‌ها از سرچشمه تا خروجی حوضه به ترتیب در ده مقطع انجام گرفت و در انتها از آن‌ها میانگین گرفته شد تا SL کل رودخانه به دست آید و بر اساس تقسیم‌بندی هک (۱۹۷۳) در پنج کلاس طبقه‌بندی شد: کلاس اول با بیشترین مقدار دارای تکتونیک فعال تر است و کلاس پنج با کمترین مقدار فعالیت کمتری دارد.

(SL < 25), (25 ≤ SL < 75), (75 ≤ SL < 200), (200 ≤ SL < 400), (SL ≥ 400).

شاخص پیچ و خم^۲ رودخانه

رودخانه‌هایی که تقریباً به حالت تعادل رسیده‌اند برای حفظ تعادل بین شیب با دبی و رسوب‌گذاری پیچ می‌خورند (باربنک و اندرسون، ۲۰۱۱). در حالی که مستقیم‌بودن مسیر رودخانه بیشتر گویای جوان‌بودن منطقه و فعالیت نئوتکتونیک است. بنابراین، هر چه مقادیر عددی به دست آمده زیاد باشد، حاکی از نزدیک‌شدن رودخانه به حالت تعادل است و هر چه کمتر باشد، نشان‌دهنده فعال‌بودن تکتونیک در منطقه است (کلر و همکاران، ۲۰۰۲). این شاخص از طریق رابطه ۲ به دست می‌آید (آدامز، ۱۹۹۹) که در آن C طول رودخانه و V طول دره در خط مستقیم است:

1. Stream Length-gradient index

2. Sinuosity

$$S = C / V \quad (۲)$$

شاخص دامنه ناهمواری^۱

شاخص RA به نوسان بین حداکثر و حداقل ارتفاعات حوضه زهکشی اشاره دارد و از آن برای توصیف شدت فعالیت زمین‌ساختی استفاده می‌شود. رابطه^۳ روش محاسبه این شاخص است (ویپل و همکاران، ۱۹۹۹):

$$RA = h_{max} - h_{min} \quad (۳)$$

که در آن h_{max} و h_{min} حداقل و حداکثر ارتفاع است. طبق تقسیم‌بندی چنگ و همکارانش (۲۰۱۶)، این شاخص در پنج کلاس طبقه‌بندی می‌شود. در آن کلاس یک بالاترین فعالیت و کلاس پنج پایین‌ترین فعالیت تکتونیک را شامل می‌شود. (RA < 70 m), (70 < RA < 200), (200 m < RA < 500), (500 m < RA < 1000), (RA < 1000 m).

انتگرال هیپسومتری^۲

در یک حوضه آبخیز برای تفسیر شکل منحنی هیپسومتری باید انتگرال هیپسومتری آن را محاسبه کرد. انتگرال هیپسومتری پراکندگی ارتفاع را در یک ناحیه خاص نشان می‌دهد (استرالر، ۱۹۵۲) و ابزاری مفید برای جداسازی گستره‌های فعال از غیرفعال زمین‌ساختی است که از طریق رابطه^۴ محاسبه می‌شود (پایک و ویلسون، ۱۹۷۱):

$$HI = h_{mean} - h_{min} / h_{max} - h_{min} \quad (۴)$$

که در آن h_{mean} میانگین ارتفاع و h_x و h_{mi} به ترتیب حداکثر و حداقل ارتفاع است. برای محاسبه این شاخص بیشترین و کمترین ارتفاع هر زیرحوضه از نقشه توپوگرافی و مدل ارتفاعی-رقومی به دست آمد. برای میانگین ارتفاع ۳۸ زیرحوضه نیز، ۵۰ نقطه در درون هر زیرحوضه گزینش و از آن‌ها میانگین‌گیری شد تا میانگین ارتفاع آن‌ها به دست آید. مقادیر بالاتر از ۵۰ درصد مربوط به حوضه‌های فعال تکتونیک و بیانگر مناطق مرتفع با بریدگی‌های عمیق است و نشان‌دهنده آن است که بخش اعظم توپوگرافی مرتفع‌تر از مقدار میانگین است. به عبارتی دیگر، مقادیر عددی بزرگ بیانگر توپوگرافی جوان و مقادیر عددی متوسط و کم بیانگر توپوگرافی بالغ و پیر است. اما مقادیر نزدیک به صفر مربوط به حوضه‌های غیرفعال است و بیانگر مناطق کم‌ارتفاع و فرسوده. مقادیر انتگرال هیپسومتری برای ۳۸ زیرحوضه ناحیه مورد مطالعه بین ۰/۰۴ تا ۰/۵۶ به دست آمد (جدول ۵) و در پنج کلاس طبقه‌بندی شد (دیویس، ۱۸۹۹).

(HI < 0.3), (HI < 0.6), (0.6 < HI < 0.5), (0.5 < HI < 0.4), (0.4 < HI < 0.3)

شاخص شکل حوضه^۳

با استفاده از این شاخص می‌توان شکل حوضه را به شاخص کمی تبدیل کرد (کانن، ۱۹۷۶). مقادیر بالای آن بیانگر حوضه‌های کشیده و نشان‌دهنده فعال بودن تکتونیک است. اما، با دور شدن از زمان فعالیت منطقه یا غلبه فرایندهای

1. Relief Amplitude

2. Hypsometric Integral

3. Drainage Basin Shape Ratio

فرسایشی، شکل حوضه به تدریج در طی زمان به دایره نزدیک می‌شود و شاخص کاهش می‌یابد. در واقع، وقتی جبهه‌های کوهستانی سریع بالا می‌آیند حوضه‌ها کشیده می‌شوند و زمانی که فعالیت زمین‌ساختی کم یا متوقف می‌شود عریض‌شدگی حوضه رخ می‌دهد (رامیرز-هریرا، ۱۹۹۸). شاخص شکل حوضه، که روش محاسبه آن در زیرحوضه کودیان-سرگاه به عنوان نمونه در شکل ۱۰ نشان داده شده است، از رابطه ۵ به دست می‌آید:

$$B_s = L_b/W_b \quad (5)$$

L_b طول حوضه، از محل مجرای خروجی تا دورترین نقطه آن، و W_b عرض حوضه که در عریض‌ترین بخش آن اندازه‌گیری می‌شود و بر اساس طبقه‌بندی رامیرز-هریرا (۱۹۹۸) به کلاس‌های زیر تقسیم می‌شود.
($B_s < 0.2$), ($0.2 \leq B_s < 0.4$), ($0.4 \leq B_s < 0.8$), ($0.8 \leq B_s < 1.2$), ($B_s \geq 1.2$).

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی^۱

شاخص عدم تقارن حوضه از شاخص‌های دیگر مورفوتکتونیک است که از آن برای ارزیابی تکتونیک فعال استفاده می‌شود. در واقع، روشی برای تعیین میزان کج‌شدگی زمین‌ساخت در حوضه زهکشی است (کاکس، ۱۹۹۴؛ نات سارما و همکاران، ۲۰۱۳؛ صدیقی، ۲۰۱۴) که به خم‌شدگی عمود بر امتداد رود اصلی در حوضه زهکشی حساس و برای نواحی به نسبت بزرگ مفید است. این شاخص از طریق رابطه ۶ محاسبه می‌شود (هری و گاردنر، ۱۹۸۵):

$$AF = (A_r / A_t) \times 100 \quad (6)$$

A_r مساحت سمت راست حوضه زهکشی در جهت پایین رود و A_t مساحت کل حوضه است؛ شکل ۱۱ روش محاسبه آن را در زیرحوضه کودیان-سرگاه به عنوان نمونه نشان می‌دهد. در مناطق دارای تکتونیک فعال، به سبب ظاهرشدن اثر این حرکات بر توپوگرافی محل، در یک سوی منطقه بالاآمدگی و در سوی دیگر فرونشست ایجاد می‌شود. بنابراین، طول آبراهه‌های فرعی در سوی فرایش یافته بیش از طول آبراهه‌های منطقه فرونشست خواهد بود (مقصودی و کامرانی دلیر، ۱۳۸۷). در تجزیه و تحلیل ژئومورفیک این شاخص فرض بر این است که عواملی مانند جنس سازندها، شیب لایه‌های زمین‌شناسی، و شرایط اقلیمی و اکولوژیکی محل باعث عدم تقارن نمی‌شوند (الهمدونی و همکاران، ۲۰۰۸). رودخانه‌هایی که به تعادل رسیده‌اند میزان AF آن‌ها برابر ۵۰ است و حاکی از تقارن زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه اصلی و نهایتاً فقدان کج‌شدگی بر اثر بالاآمدگی است. هر چقدر مقدار به دست آمده از عدد ۵۰ فاصله بگیرد، بیانگر کج‌شدگی بیشتر حوضه است. مقادیر عددی بیشتر از ۵۰ نشان‌دهنده عملکرد فرایش در سمت راست است و مقدار کمتر از ۵۰ فرایش را در سمت چپ نمایش می‌دهد. شاخص AF در ۳۸ زیرحوضه محاسبه و طبق تقسیم‌بندی هری و گاردنر (۱۹۸۵) به پنج کلاس تقسیم شد.

$$(|AF^\circ - 50| < 1), (1 \leq |AF^\circ - 50| < 7.5), (7.5 \leq |AF^\circ - 50| < 15), (15 \leq |AF^\circ - 50| < 30), (|AF^\circ - 50| \geq 30).$$

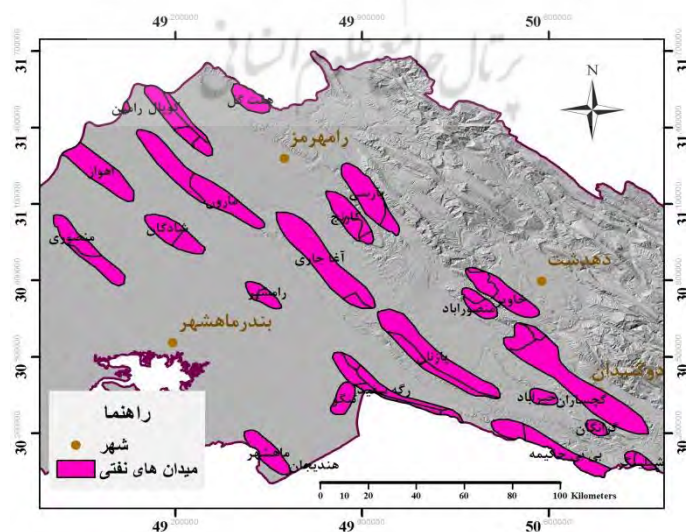
یافته‌های پژوهش

میدان‌های نفتی حوضه مورد مطالعه

بزرگ‌ترین میدان‌های نفتی ساختمانی جهان در زاگرس واقع شده است (آلا و همکاران، ۱۹۸۰)؛ برخی از این میدان‌ها در حال حاضر فعال‌اند و تعدادی نیز غیرفعال یا در حال توسعه. در حوضه جراحی- زهره ۲۳ میدان نفتی وجود دارد (جدول ۱ و شکل ۲).

جدول ۱. میدان‌های نفتی در حوضه مورد مطالعه

شماره	میدان نفتی	شماره	میدان نفتی
۱	رامین	۱۳	منصورآباد
۲	اهواز	۱۴	پازنان
۳	منصوری	۱۵	تنگو
۴	هفتکل	۱۶	رگ سفید
۵	کوپال	۱۷	خیرآباد
۶	مارون	۱۸	گچساران
۷	شادگان	۱۹	گرانگان
۸	رامشیر	۲۰	بی‌بی حکیمه
۹	آغاچاری	۲۱	چلینگر
۱۰	کرنج	۲۲	ماهشهر
۱۱	پارسی	۲۳	هندیجان
۱۲	خاویز		

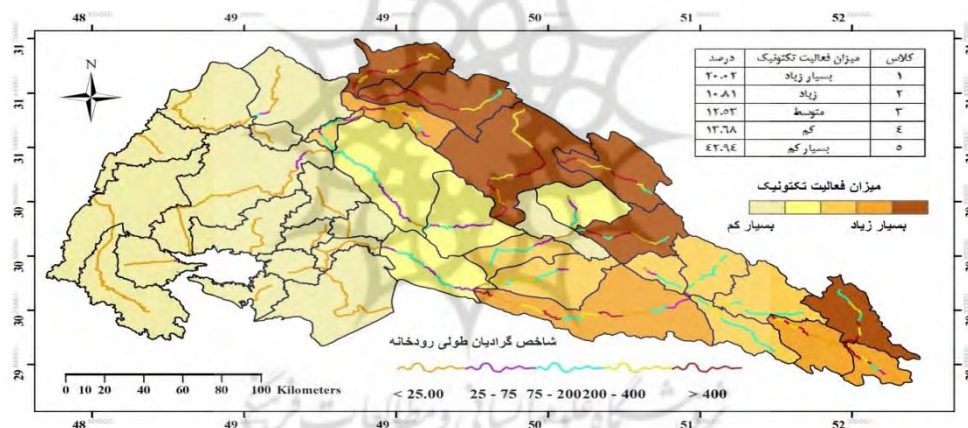


شکل ۲. موقعیت میدان‌های نفتی در حوضه مورد مطالعه

شاخص‌های ژئومورفیک

شاخص گرادیان طولی رودخانه^۱

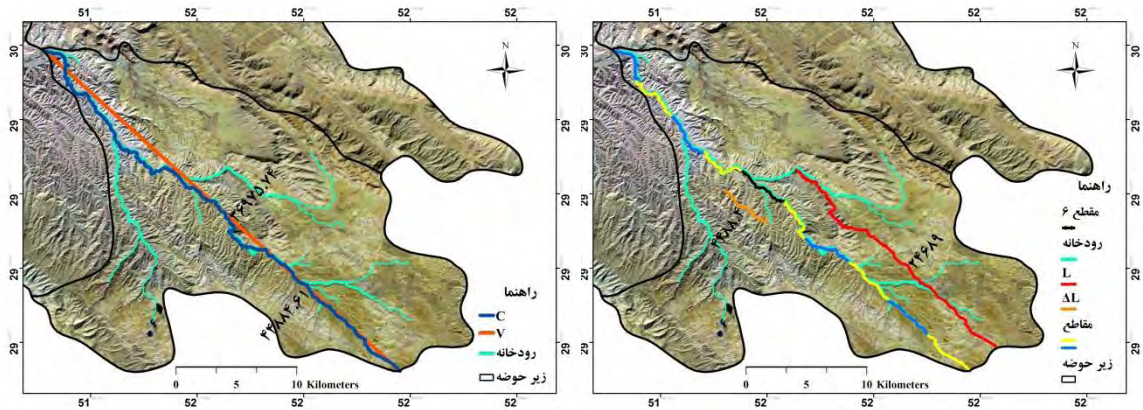
میزان شاخص گرادیان طولی رودخانه برای زیرحوضه‌ها از ۰ تا ۵۷۳ در نوسان است (جدول ۲). بخش شمال شرق و شرق منطقه، که عمدتاً در زاگرس مرتفع واقع شده است، از آهک‌های دوران دوم و کرتاسه تشکیل شده است. بخش میانی، که مربوط به زاگرس چین‌خورده است، منطقه‌ای عمدتاً شامل رسوبات دوران سوم همچون سازندهای گچ، نمک، و آهک است. و بخش غرب و جنوب غربی منطقه، که زاگرس چین‌خورده را در بر می‌گیرد، شامل رسوبات رودخانه‌ای کواترنری است، که بعد از دوران سوم تاکنون، با توجه به شیب کم منطقه، ته‌نشین شده‌اند. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، پایین‌ترین SL متعلق به غرب حوضه است؛ در صورتی که بخش‌های شرق و جنوب شرقی از SL بالاتری برخوردارند. ۵۶/۶۲ درصد منطقه دارای SL پایین‌تر و در نتیجه فعالیت نئوتکتونیک کم و بسیار کم و ۳۰/۸۳ درصد منطقه دارای SL بالاتر و در نتیجه فعالیت نئوتکتونیک بسیار و بسیار زیاد است. در شکل ۴ روش محاسبه این شاخص در زیرحوضه کودیان - سرگاه به عنوان نمونه نشان داده شده است.



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی بر اساس نتایج شاخص گرادیان طولی رودخانه زیرحوضه‌های جراحی - زهره

جدول ۲. نتایج حاصل از شاخص گرادیان طولی رودخانه زیرحوضه‌های جراحی - زهره

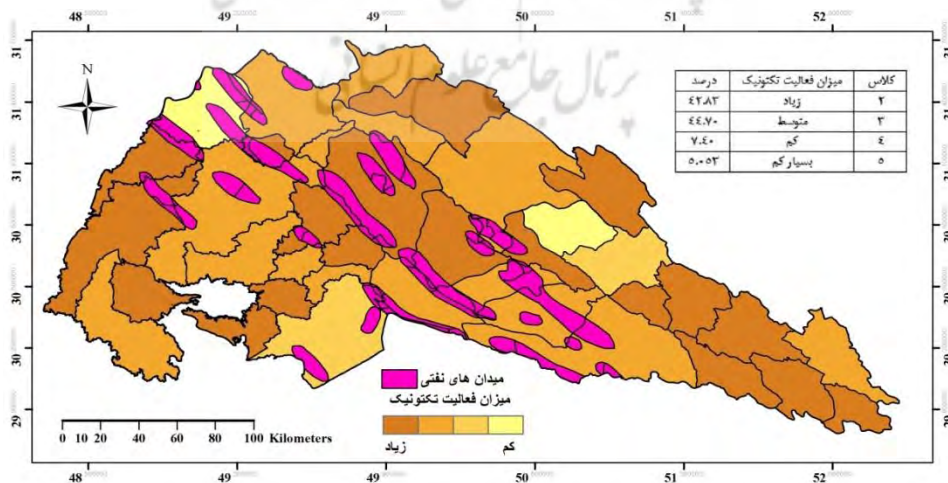
حوضه	SL	حوضه	SL	حوضه	SL	حوضه	SL	حوضه	SL	حوضه	SL
۰	۱۷۴,۵۵	۷	۱۵۲,۱	۱۴	۳۷۰,۶	۲۱	۷۰,۵۵	۲۸	۱۰,۸	۳۵	۰,۵
۱	۴۵۵,۱	۸	۰,۲۵	۱۵	۲,۰۵	۲۲	۴۳۹,۵	۲۹	۴,۵۵	۳۶	۰
۲	۵۶۱,۱۵	۹	۷۱,۶	۱۶	۱۶۵,۲	۲۳	۰,۷	۳۰	۱,۰۵	۳۷	۰,۳۸
۳	۵۷۳	۱۰	۱۱۵,۲۵	۱۷	۲۳۶,۱۵	۲۴	۰,۹۵	۳۱	۲,۸۴		
۴	۴۰۰,۵۵	۱۱	۱۸۹,۶	۱۸	۵۴,۲	۲۵	۰,۹	۳۲	۱,۹۹		
۵	۳۰۳,۹	۱۲	۱۷۳,۱۵	۱۹	۴۵۴,۶۵	۲۶	۱,۶۵	۳۳	۱۲,۰۵		
۶	۲۲,۹	۱۳	۳۰۰,۸	۲۰	۷۴	۲۷	۱,۹	۳۴	۸۸,۱۹		



شکل ۴. نمونه نحوه محاسبه SL در زیرحوضه کودیان- سرگاه. شکل ۵. نمونه نحوه محاسبه S در زیرحوضه کودیان- سرگاه

شاخص پیچ و خم رودخانه^۱

روش محاسبه این شاخص در زیرحوضه کودیان- سرگاه به عنوان نمونه نشان داده شده است (شکل ۵). با بررسی‌هایی که بر روی ۳۸ آبراهه اصلی زیرحوضه‌ها انجام گرفت، میزان پیچ و خم آن‌ها از ۱/۱ تا ۲/۴۶ به دست آمد (جدول ۳). در مناطقی که شاهد بالآمدگی تکتونیک هستیم مقدار این شاخص کمتر و به ۱ نزدیک‌تر است. و مقدار ۱/۱ گویای این است که منطقه از لحاظ زمین‌ساخت به حالت تعادل نرسیده و هنوز در تحول مورفولوژی منطقه نقش بسزایی دارند، اما در مناطق غیرفعال تکتونیک مقدار شاخص بیشتر از ۱ است و عدد ۲/۴۶ نشان‌دهنده آن است که رودخانه تقریباً به حالت تعادل رسیده است. با توجه به توضیحات بالا، مقادیر بین ۱/۱ تا ۱/۴ به عنوان فعالیت بالای تکتونیک، مقادیر بین ۱/۴ تا ۱/۸ فعالیت متوسط، ۱/۸ تا ۲/۱ فعالیت کم، و بیشتر از ۲/۱ فعالیت بسیار کم در نظر گرفته شده است (شکل ۶). مقادیر اندازه‌گیری شده بیانگر آن است که ۴۲/۸ درصد از حوضه تکتونیک زیاد، ۴۴/۷ درصد متوسط، ۷/۴ درصد کم، و ۵ درصد فعالیت بسیار کمی دارند.



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی بر اساس نتایج شاخص پیچ و خم رودخانه زیرحوضه‌های جراحی- زهره

جدول ۳. نتایج حاصل از شاخص بیج و خم رودخانه زیرحوضه‌های جراحی - زهره

حوضه	V	C	S	حوضه	V	C	S	حوضه	V	C	S
۰	۵۹۰۵۳,۵	۹۰۴۶۱	۱,۵۳	۱۳	۳۵۹۰۵,۱	۴۴۷۷۸,۱	۱,۲۴	۲۶	۳۶۶۵۶,۳	۵۱۰۶۵,۵	۱,۳۹
۱	۷۱۷۳۸	۱۱۷۹۴۷,۴	۱,۶۴	۱۴	۳۶۹۷۵,۷	۴۴۸۸۴,۶	۱,۲۱	۲۷	۱۸۵۹۲,۴	۲۱۷۳۱,۳	۱,۱۶
۲	۴۸۹۹۷,۱	۶۱۵۳۸,۴	۱,۲۵	۱۵	۳۶۷۱۲,۷	۷۴۲۹۸,۳	۲,۰۲	۲۸	۳۲۱۶۳,۵	۷۹۱۳۹,۸	۲,۴۶
۳	۶۶۳۵۷,۶	۹۲۷۱۲,۶	۱,۳۹	۱۶	۳۳۷۶۷,۸	۴۵۲۸۳,۴	۱,۳۴	۲۹	۲۱۵۸۹,۱	۲۹۶۶۰,۸	۱,۳۷
۴	۴۵۹۹۷,۴	۷۳۸۱۵,۷	۱,۶۰	۱۷	۹۶۰۱۰,۹	۱۴۷۳۱۷	۱,۵۳	۳۰	۲۷۴۲۵,۶	۳۰۱۸۷,۵	۱,۱۰
۵	۴۱۴۱۵,۵	۶۰۴۱۱,۷	۱,۴۵	۱۸	۳۱۵۳۲,۶	۴۳۱۹۴,۸	۱,۳۶	۳۱	۲۹۰۶۵,۱	۳۳۴۶۴,۴	۱,۱۵
۶	۴۲۴۹۷,۲	۶۱۸۱۹,۸	۱,۴۵	۱۹	۳۸۴۳۲	۸۰۷۵۲,۱	۲,۱۰	۳۲	۳۶۵۳۱,۷	۵۴۲۴۹,۵	۱,۴۸
۷	۳۹۶۰۳,۴	۵۷۳۲۹,۵	۱,۴۴	۲۰	۶۲۰۲۵,۴	۸۳۵۸۱	۱,۳۴	۳۳	۸۹۴۵۳,۷	۱۴۷۱۰۴,۶	۱,۶۴
۸	۱۰۰۵۸,۸	۱۱۹۴۷,۵	۱,۱۸	۲۱	۲۷۶۸۰,۸	۶۴۲۷۸,۳	۲,۳۲	۳۴	۲۷۷۸۴,۸	۴۶۱۷۴,۲	۱,۶۶
۹	۵۱۸۱۶,۲	۷۵۸۲۰	۱,۴۶	۲۲	۳۹۹۰۱,۳	۶۰۸۸۸,۴	۱,۵۲	۳۵	۷۱۳۵۷	۱۲۵۰۸۰	۱,۷۵
۱۰	۳۰۵۹۸	۳۶۱۶۱,۵	۱,۱۸	۲۳	۲۰۲۱۸,۳	۳۴۲۱۹,۶	۱,۶۹	۳۶	۱۱۲۶۶,۵	۱۲۸۳۲,۱	۱,۱۳
۱۱	۶۰۲۵۹,۸	۷۴۱۶۱,۸	۱,۲۳	۲۴	۲۰۸۳۹,۲	۲۶۰۵۳	۱,۲۵	۳۷	۲۸۹۷۷,۲	۴۹۶۰۰,۷	۱,۷۱
۱۲	۵۱۱۲۷,۱	۶۵۸۸۶,۳	۱,۲۸	۲۵	۲۲۷۷۴,۲	۲۶۳۷۵,۴	۱,۱۵				

شاخص دامنه ناهمواری^۱

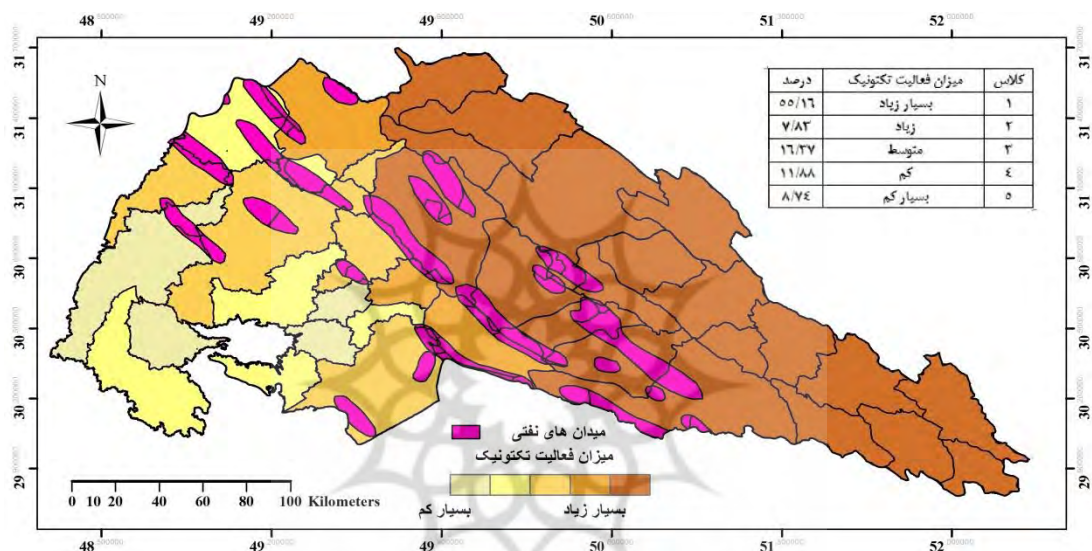
جدول ۴ و شکل ۷ نتایج حاصل از شاخص دامنه ناهمواری زیرحوضه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقادیر اندازه‌گیری شده بیانگر آن است که ۵۵/۱۶ درصد از حوضه تکتونیک بسیار زیاد، ۷/۸۳ درصد زیاد، ۱۶/۳۷ درصد متوسط، ۱۱/۸۸ درصد کم، و ۸/۷۴ درصد حالتی بسیار کم را دارا می‌باشند.

جدول ۴. نتایج حاصل از شاخص دامنه ناهمواری زیرحوضه‌های جراحی - زهره

حوضه	شاخص RI	کلاس	حوضه	شاخص RI	کلاس	حوضه	شاخص RI	کلاس	حوضه	شاخص RI	کلاس
۰	۲۹۶۷	۱	۱۰	۲۳۰۲	۱	۲۰	۲۳۰۵	۱	۳۰	۳۰۲	۳
۱	۲۸۵۰	۱	۱۱	۱۹۵۷	۱	۲۱	۲۸۷۱	۱	۳۱	۳۶	۵
۲	۲۵۷۸	۱	۱۲	۲۱۲۷	۱	۲۲	۲۱۵۵	۱	۳۲	۹۶	۴
۳	۳۲۵۴	۱	۱۳	۲۰۳۸	۱	۲۳	۳۱	۵	۳۳	۳۵۷	۳
۴	۲۹۶۷	۱	۱۴	۱۴۲۴	۱	۲۴	۳۶	۵	۳۴	۴۴۷	۳
۵	۲۵۲۸	۱	۱۵	۲۲۷	۳	۲۵	۳۲	۵	۳۵	۹۴	۴

ادامه جدول ۴. نتایج حاصل از شاخص دامنه ناهمواری زیرحوضه‌های جراحی- زهره

شاخص RI	حوضه	کلاس	شاخص RI	حوضه	کلاس	شاخص RI	حوضه	کلاس	شاخص RI	حوضه	کلاس
۶۳۷	۶	۲	۲۲۸۵	۱۶	۱	۴۳۷	۲۶	۳	۵۵۴	۳۶	۲
۱۸۲۹	۷	۱	۲۸۵۱	۱۷	۱	۹۳	۲۷	۴	۱۰۱	۳۷	۴
۲۳۸۵	۸	۱	۱۹۴۳	۱۸	۱	۱۵۲	۲۸	۴			
۶۳۷	۹	۲	۲۵۸۰	۱۹	۱	۱۴۷	۲۹	۴			



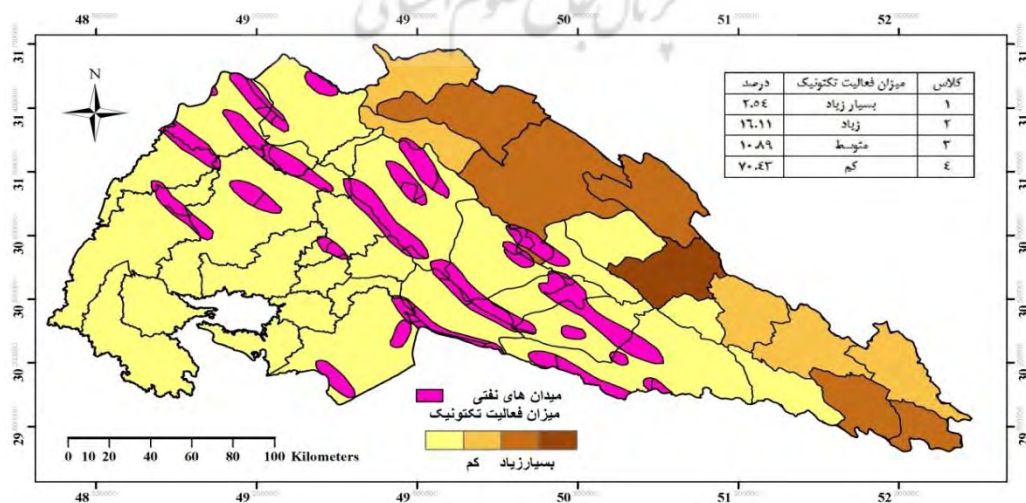
شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی بر اساس نتایج شاخص دامنه ناهمواری زیرحوضه‌های جراحی- زهره

انتگرال هیپسومتری^۱

مقادیر انتگرال هیپسومتری برای ۳۸ زیرحوضه ناحیه مورد مطالعه بین ۰/۰۴ تا ۰/۵۶ به دست آمد (جدول ۵). با توجه به محاسبات صورت گرفته، زیرحوضه‌های شرقی فعال‌ترین بخش از نظر فعالیت تکتونیک‌اند، اما در زیرحوضه‌های غربی و جنوبی شاهد توپوگرافی پیر و فرسوده‌ایم. از دلایل افزایش این شاخص در بخش شرقی حوضه می‌توان به ارتفاعات آن منطقه و بیشتر بودن میزان بال‌آمدگی از میزان فرسایش در این بخش از حوضه اشاره کرد. اما در زیرحوضه‌های جنوبی و غربی، به سبب تراکم رسوبات با مقاومت کمتر و فرسایش‌پذیری سریع آن‌ها در مقابل عوامل فرسایش، مقدار این شاخص کمتر می‌شود. تقسیم‌بندی موجود به این صورت است که Hiهای بزرگ‌تر از ۰/۵ مربوط به حوضه‌های فعال و Hiهای کمتر از ۰/۳ مربوط به حوضه‌های غیرفعال است (شکل ۸). با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده این شاخص ۲/۵ درصد از حوضه دارای فعالیت تکتونیک بسیار زیاد است، ۱۶/۱ درصد زیاد، ۱۰/۸ درصد متوسط، و ۷۰/۴ درصد دارای فعالیت کم است.

جدول ۵. نتایج حاصل از شاخص انتگرال هیپسومتری زیرحوضه‌های جراحی- زهره

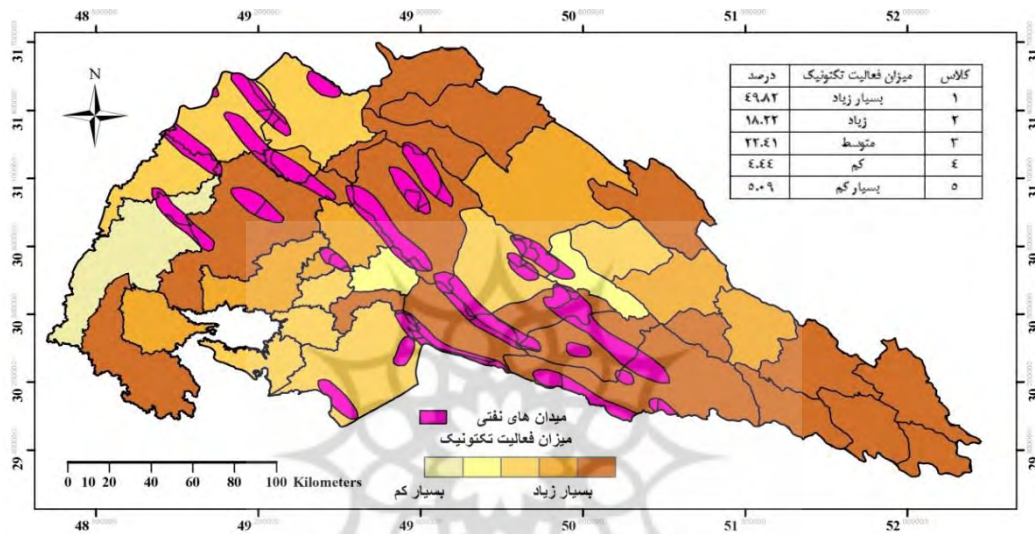
حوضه	H _{min}	H _{men}	H _{max}	شاخص HI	حوضه	H _{min}	H _{men}	H _{max}	شاخص HI
۰	۲۱۲	۹۰۴,۱۴	۳۱۷۹	۰,۲۳	۱۹	۶۱۳	۲۰۵۰,۱۲	۳۱۹۳	۰,۵۵
۱	۳۷۷	۱۵۷۲,۹۶	۳۲۲۷	۰,۴۱۲	۲۰	۵۹	۳۷۵,۱۴	۲۳۶۴	۰,۱۳
۲	۹۱۶	۲۱۲۲,۱۶	۳۴۹۴	۰,۴۶	۲۱	۶۲۳	۱۳۵۶,۲۲	۳۴۹۴	۰,۲۵
۳	۳۳۹	۱۶۹۸,۷۲	۳۵۹۳	۰,۴۱	۲۲	۱۴۹۵	۲۱۷۳,۵۴	۳۶۵۰	۰,۳۱
۴	۳۳۵	۱۳۸۶,۵۶	۳۳۰۲	۰,۳۵	۲۳	۹	۱۴,۲۶	۴۰	۰,۱۶
۵	۲۷۴	۱۰۵۹,۰۲	۲۸۰۲	۰,۳۱	۲۴	۵	۹,۷۸	۴۱	۰,۱۳
۶	۳۸	۱۷۱,۸۲	۶۷۵	۰,۲۱	۲۵	۴	۱۳,۲	۳۶	۰,۲۸
۷	۲۱۲	۶۵۷,۳۲	۲۰۴۱	۰,۲۴	۲۶	۱۳	۶۸,۳۴	۴۵۰	۰,۱۲
۸	۵۷۲	۱۰۴۰,۳	۲۹۵۷	۰,۱۹	۲۷	۰	۱۴,۶	۹۳	۰,۱۵
۹	۲۳	۲۰۲,۱	۶۶۰	۰,۲۸	۲۸	-۲	۳۱,۴۶	۱۵۰	۰,۲۲
۱۰	۷۰۸	۱۱۸۹,۷۲	۳۰۱۰	۰,۲۰	۲۹	۴۱	۸۲,۳۴	۱۸۸	۰,۲۸
۱۱	۷۰۰	۱۲۱۱,۵۸	۲۶۵۷	۰,۲۶	۳۰	۶	۱۷,۲۸	۳۰۸	۰,۰۳
۱۲	۷۷۰	۱۵۹۱,۸۶	۲۸۹۷	۰,۳۸	۳۱	۳	۹,۶	۳۹	۰,۱۸
۱۳	۹۸۱	۱۸۴۵,۳۲	۳۰۱۹	۰,۴۲	۳۲	۶	۱۵,۹۲	۱۰۲	۰,۱۰
۱۴	۱۴۹۵	۲۱۴۴,۰۴	۲۹۱۹	۰,۴۵	۳۳	۶	۲۸,۵۲	۳۶۳	۰,۰۶
۱۵	۵	۲۸,۲۸	۲۳۲	۰,۱۰	۳۴	۶۵	۱۶۲,۴۲	۵۱۲	۰,۲۱
۱۶	۶۹۵	۱۵۰۲,۳۴	۲۹۸۰	۰,۳۵	۳۵	۶	۱۲,۳۴	۱۰۰	۰,۰۶
۱۷	۱۶۱	۸۳۸,۹۸	۳۰۱۲	۰,۲۳	۳۶	۱۳	۶۹,۲۴	۵۶۷	۰,۱۰
۱۸	۳۳۵	۶۱۵,۴۶	۲۱۷۸	۰,۱۹	۳۷	۹	۱۷,۶۲	۱۱۰	۰,۰۸



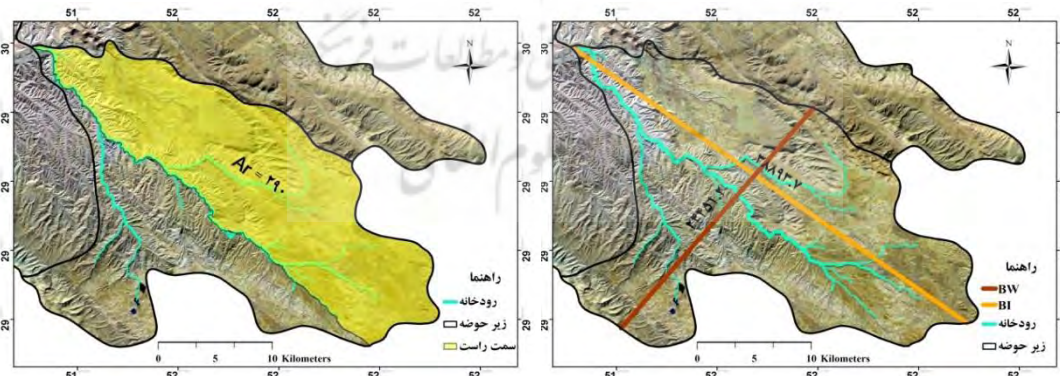
شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی بر اساس نتایج شاخص انتگرال هیپسومتری زیرحوضه‌های جراحی- زهره

شاخص شکل حوضه^۱

این شاخص برای منطقه مورد مطالعه بین ۰/۱۹ تا در ۲/۴۹ است (جدول ۶). زیرحوضه‌های شمال غربی و جنوب غربی دارای کمترین مقدار شاخص B_s و کمترین فعالیت‌اند، اما کشیده‌ترین زیرحوضه‌ها مربوط به زیرحوضه‌های جنوب شرقی و شمال شرقی است (شکل ۹). با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده، ۴۹/۸ درصد از حوضه دارای فعالیت تکتونیک بسیار زیاد، ۱۸/۲ درصد زیاد، ۲۲/۴ درصد متوسط، ۴/۴ درصد کم، و ۵ درصد دارای فعالیت بسیار کم‌اند.



شکل ۹. نقشه پهنه‌بندی بر اساس نتایج شاخص شکل زیرحوضه‌های جراحی- زهره



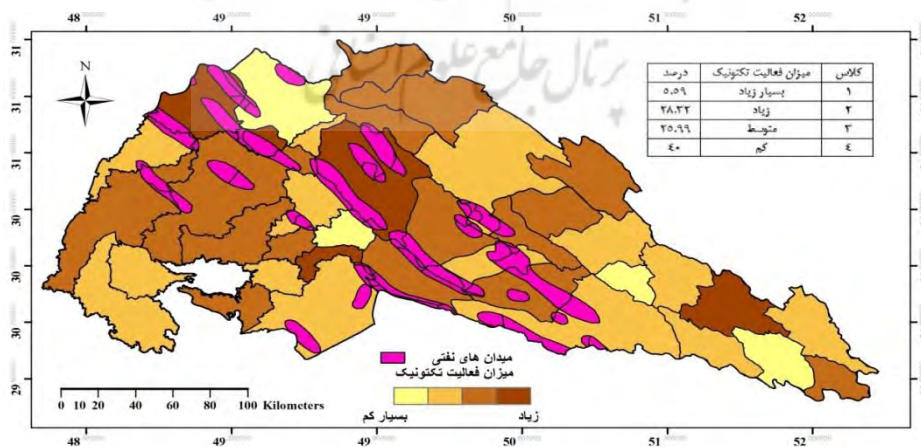
شکل ۱۰. نمونه نحوه محاسبه B_s در زیرحوضه کودیان - سرگاه شکل ۱۱. نمونه نحوه محاسبه AF در زیرحوضه کودیان - سرگاه

جدول ۶. نتایج حاصل از شاخص شکل زیرحوضه‌های جراحی- زهره

شاخص	W_b	L_b	حوضه	شاخص	W_b	L_b	حوضه	شاخص	W_b	L_b	حوضه	شاخص
B_s				B_s				B_s				B_s
۰,۸۷	۴۲۰۲۱,۱	۳۶۶۵۶,۳	۲۶	۱,۲۵	۲۸۵۱۳,۷	۳۵۹۰۵,۱	۱۳	۱,۶۹	۳۴۸۳۳,۲	۵۹۰۵۳,۵	۰	۱,۶۹
۰,۷۱	۲۶۰۴۵,۱	۱۸۵۹۲,۴	۲۷	۱,۵۹	۲۴۴۵۱,۲	۳۸۱۹۳,۷	۱۴	۰,۹۶	۷۴۴۷۵,۷	۷۱۷۳۸,۰	۱	۰,۹۶
۰,۷۴	۴۳۱۶۶,۶۹	۳۲۱۶۳,۵	۲۸	۰,۶۱	۵۹۲۲۲,۲	۳۶۷۱۲,۷	۱۵	۱,۶۴	۲۹۷۰۲,۴	۴۸۹۹۷,۱	۲	۱,۶۴
۱,۱۹	۱۸۱۰۲,۰۲	۲۱۵۸۹,۱	۲۹	۰,۸۵	۳۹۵۹۹,۵	۳۳۷۶۷,۸	۱۶	۱,۷۳	۳۸۱۳۷,۴	۶۶۳۵۷,۶	۳	۱,۷۳
۰,۵۶	۴۸۹۵۸,۵۵	۲۷۴۲۵,۶	۳۰	۲,۱۵	۴۴۶۴۲,۲	۹۶۰۱۰,۹	۱۷	۱,۲۴	۳۷۰۹۸,۵	۴۵۹۹۷,۴	۴	۱,۲۴
۰,۸۴	۳۴۲۱۵,۹۴	۲۹۰۶۵,۱	۳۱	۰,۶۰	۵۲۴۶۵,۳	۳۱۵۳۲,۶	۱۸	۲,۲۹	۱۸۰۳۹,۶	۴۱۴۱۵,۵	۵	۲,۲۹
۰,۸۷	۴۱۵۳۲,۲۴	۳۶۵۳۱,۷	۳۲	۱,۰۴	۳۶۸۵۳,۳	۳۸۴۳۲,۰	۱۹	۰,۷۵	۵۶۰۹۶,۱	۴۲۴۹۷,۲	۶	۰,۷۵
۱,۷۰	۵۲۳۷۴,۴۳	۸۹۴۵۳,۷	۳۳	۱,۴۴	۴۲۷۸۶,۶	۶۲۰۲۵,۴	۲۰	۱,۶۰	۲۴۷۳۵,۸	۳۹۶۰۳,۴	۷	۱,۶۰
۱,۸۴	۱۵۰۴۱,۰۵	۲۷۷۸۴,۸	۳۴	۰,۷۸	۳۵۰۸۷,۸	۲۷۶۸۰,۸	۲۱	۰,۱۹	۵۱۳۷۱,۱	۱۰۰۵۸,۸	۸	۰,۱۹
۲,۰۰	۳۵۵۶۷,۶۷	۷۱۳۵۷,۰	۳۵	۱,۳۳	۲۹۹۵۷,۸	۳۹۹۰۱,۳	۲۲	۱,۷۶	۲۹۲۹۲,۱	۵۱۸۱۶,۲	۹	۱,۷۶
۰,۳۸	۲۹۲۶۲,۷۱	۱۱۲۶۶,۵	۳۶	۰,۵۸	۳۴۵۹۸,۲	۲۰۲۱۸,۳	۲۳	۱,۴۵	۲۰۹۸۵,۲	۳۰۵۹۸,۲	۱۰	۱,۴۵
۲,۲۵	۱۲۸۷۴,۶۲	۲۸۹۷۷,۲	۳۷	۰,۱۹	۱۰۷۵۴۳,۴	۲۰۸۳۹,۲	۲۴	۲,۴۸	۲۴۲۲۴,۳	۶۰۲۵۹,۸	۱۱	۲,۴۸
۰,۷۶	۲۹۷۰۶,۶	۲۲۷۷۴,۲	۲۵	۰,۷۶	۲۹۷۰۶,۶	۲۲۷۷۴,۲	۲۵	۱,۳۲	۳۸۵۲۰,۱	۵۱۱۲۷,۱	۱۲	۱,۳۲

شاخص عدم تقارن حوضه زهکشی^۱

مقدار شاخص $|AF^{\circ} 50|$ در ۳۸ زیرحوضه بین $-۲۸,۸۳$ تا $۳۲,۵۹$ است (جدول ۷) که نشان‌دهنده برخواستگی سمت چپ نسبت به سمت راست است و در نتیجه باعث تمایل آبراهه اصلی به سمت راست حوضه شده است. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده، ۵/۵ درصد از وسعت دارای فعالیت تکتونیک بسیار زیاد، ۲۸/۳ درصد زیاد، ۲۵/۹ درصد متوسط، و ۴۰ درصد دارای فعالیت کم‌اند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. نقشه پهنه‌بندی بر اساس نتایج شاخص عدم تقارن زیرحوضه‌های جراحی- زهره

جدول ۷. نتایج حاصل از شاخص عدم تقارن زیرحوضه‌های جراحی- زهره

حوضه	Ar km ²	At km ²	AF- 50	حوضه	Ar km ²	At km ²	AF- 50	حوضه	Ar km ²	At km ²	AF- 50
۰	۶۹۸,۸	۱۱۴۳,۲	۱۱,۱۳	۱۳	۱۸۸	۸۰۳,۱	-۲۶,۵۸	۲۶	۳۰۹,۴	۸۶۷,۶	-۱۴,۳۳
۱	۱۳۸۹,۹	۲۶۰۷,۳	۳,۳۰	۱۴	۲۹۰	۴۷۸,۵	۱۰,۶۰	۲۷	۳۵۸,۲	۵۶۷,۶	۱۳,۱۱
۲	۷۵۵	۱۱۹۱,۲	۱۳,۳۷	۱۵	۱۰۴۴,۸	۱۹۴۴,۹	۳,۷۲	۲۸	۹۷۸,۱	۱۲۰۷	۳۱,۰۳
۳	۸۲۵,۵	۱۴۱۰,۴	۸,۵۲	۱۶	۴۵۷,۵	۸۵۰	۳,۸۲	۲۹	۲۰۹,۱	۲۷۷,۳	۲۵,۴۱
۴	۵۱۷	۸۵۶,۳	۱۰,۳۷	۱۷	۱۱۶۳,۸	۲۴۰۲,۶	-۱,۵۶	۳۰	۴۴۴,۶	۸۵۰	۲,۳۱
۵	۴۱۳,۹	۶۵۶,۱	۱۳,۰۹	۱۸	۷۲۴,۶	۱۳۰۱,۳	۵,۶۸	۳۱	۳۶۵,۷	۷۱۳,۴	۱,۲۷
۶	۳۸۹,۴	۱۵۴۰,۸	-۲۴,۷۲	۱۹	۵۴۱,۵	۱۰۲۳,۱۶	۲,۹۳	۳۲	۵۹۷,۷	۱۰۲۳,۴	۸,۴۰
۷	۲۹۴,۷	۶۴۹,۴	-۴,۶۱	۲۰	۱۷۵۶,۵	۲۲۱۷,۱	۲۹,۲۲	۳۳	۱۸۶۹,۷	۲۶۸۷,۴	۱۹,۵۷
۸	۳۹۵	۵۹۷,۳	۱۶,۱۳	۲۱	۴۹۶,۶	۸۲۳,۲	۱۰,۳۲	۳۴	۸۹,۷	۱۹۵,۵	-۴,۱۰
۹	۷۲۷,۲	۱۱۵۵,۸	۱۲,۹۲	۲۲	۴۶۱,۵	۹۵۹,۱	-۱,۸۷	۳۵	۷۶۴,۳	۱۴۰۴,۹	۴,۴۰
۱۰	۱۲۶,۵	۴۱۱,۴	-۱۹,۲۳	۲۳	۲۷۵,۷۸	۴۷۳,۷	۸,۲۱	۳۶	۹۲,۴	۴۳۶,۷	-۲۸,۸۲
۱۱	۳۶۱,۵	۷۴۳,۵	-۱,۳۶	۲۴	۱۳۵۶,۶	۲۰۳۷,۲	۱۶,۵۸	۳۷	۲۰۲,۹	۲۹۰,۶	۱۹,۸۰
۱۲	۸۵۷	۱۰۳۷,۷	۳۲,۵۸	۲۵	۲۴۳	۵۵۴,۳	-۶,۱۴				

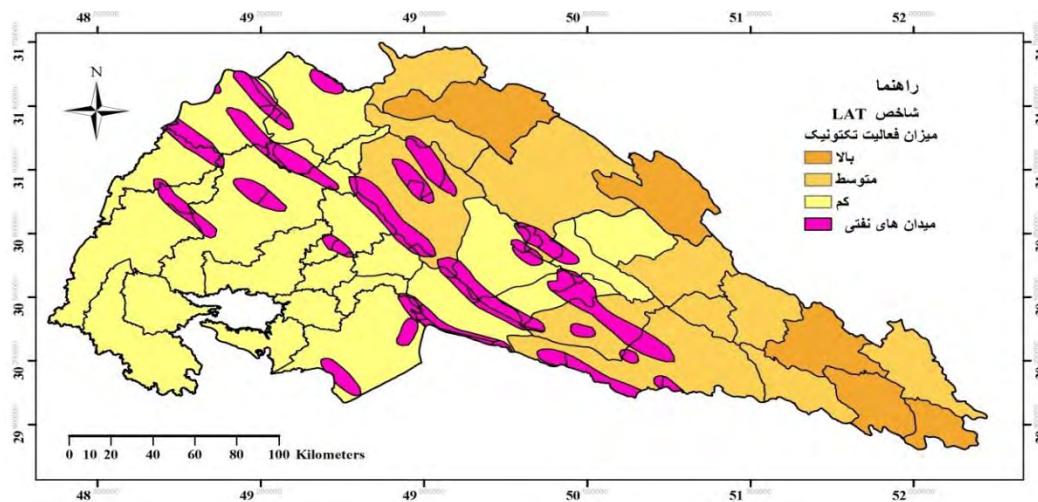
طبقه‌بندی شاخص‌ها بر اساس شاخص (LAT)

با استفاده از شاخص LAT، نتایج شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه‌شده با یکدیگر ترکیب شدند تا وضعیت نئوتکتونیک حوضه مورد مطالعه مشخص شود. این شاخص از رابطه ۷ به دست می‌آید (الهمدونی و همکاران، ۲۰۰۸).

$$LAT = S / N$$

(۷)

که در آن S مجموع کلاس‌های شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه‌شده و N تعداد شاخص‌های محاسبه‌شده است. مقدار S/N (جدول ۸) بین ۱/۶ تا ۲ در کلاس یک، ۲ تا ۲/۵ در کلاس دو، و بیشتر از ۲/۵ در کلاس سه دسته‌بندی شد و بر اساس آن نقشه پهنه‌بندی نئوتکتونیک حوضه جراحی- زهره ترسیم شد. بر اساس مقدار به دست آمده از شاخص LAT، حوضه مورد مطالعه به سه کلاس تقسیم شد. در این تقسیم‌بندی کلاس ۱ با ۱۲/۲ درصد دارای فعالیت بالای نئوتکتونیک، کلاس ۲ با ۳۴/۵ درصد دارای فعالیت متوسط نئوتکتونیک، و کلاس ۳ با ۵۳/۲ درصد دارای فعالیت کم نئوتکتونیک است. سرانجام، با روی هم قرار دادن لایه میدان‌های نفتی (شکل ۲) و لایه نهایی به دست آمده از شاخص‌های ژئومورفیک حوضه مورد مطالعه مشخص شد. هیچ میدان نفتی در مناطقی با کلاس یک با میزان فعالیت تکتونیک بالا وجود ندارد، اما ۳۸/۳ درصد در مناطقی با کلاس دو و میزان فعالیت تکتونیک متوسط و در آخر ۶۱/۶ درصد در مناطقی با کلاس سه و میزان فعالیت تکتونیک کم قرار دارند (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی بر اساس نتایج شاخص LAT زیر حوضه‌های جراحی - زهره

جدول ۸. محاسبه شاخص IAT بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک

حوضه	HI	BS	SL	RA	S	AF	S/N	LAT	حوضه	HI	BS	SL	RA	S	AF	S/N	LAT
۰	۴	۱	۳	۱	۳	۳	۲,۵	۲	۱۹	۱	۲	۱	۱	۴	۴	۲,۱	۲
۱	۲	۲	۱	۱	۳	۴	۲,۱	۲	۲۰	۴	۱	۴	۱	۲	۲	۲,۳	۲
۲	۲	۱	۱	۱	۲	۳	۱,۶	۱	۲۱	۴	۳	۴	۱	۵	۳	۳,۳	۳
۳	۲	۱	۱	۱	۲	۳	۱,۶	۱	۲۲	۳	۱	۱	۱	۳	۴	۲,۱	۲
۴	۳	۱	۲	۱	۳	۳	۲,۱	۲	۲۳	۴	۳	۵	۵	۳	۳	۳,۸	۳
۵	۳	۱	۲	۱	۳	۳	۲,۱	۲	۲۴	۴	۵	۵	۵	۲	۲	۳,۸	۳
۶	۴	۳	۵	۲	۳	۲	۳,۱	۳	۲۵	۴	۳	۵	۵	۲	۴	۳,۸	۳
۷	۴	۱	۳	۱	۳	۴	۲,۶	۳	۲۶	۴	۲	۵	۳	۲	۳	۳,۱	۳
۸	۴	۵	۵	۱	۲	۲	۳,۱	۳	۲۷	۴	۳	۵	۴	۲	۳	۳,۵	۳
۹	۴	۱	۴	۲	۳	۳	۲,۸	۳	۲۸	۴	۳	۵	۴	۵	۱	۳,۶	۳
۱۰	۴	۱	۳	۱	۲	۲	۲,۱	۲	۲۹	۴	۲	۵	۴	۲	۲	۳,۱	۳
۱۱	۴	۱	۳	۱	۲	۴	۲,۵	۲	۳۰	۴	۳	۵	۳	۲	۴	۳,۵	۳
۱۲	۳	۱	۳	۱	۲	۱	۱,۸	۱	۳۱	۴	۲	۵	۵	۲	۴	۳,۶	۳
۱۳	۲	۱	۲	۱	۲	۲	۱,۶	۱	۳۲	۴	۲	۵	۴	۳	۳	۳,۵	۳
۱۴	۲	۱	۲	۱	۲	۳	۱,۸	۱	۳۳	۴	۱	۵	۳	۳	۲	۳	۳
۱۵	۴	۳	۵	۳	۴	۴	۳,۸	۳	۳۴	۴	۱	۳	۳	۳	۴	۳	۳
۱۶	۳	۲	۳	۱	۲	۴	۲,۵	۲	۳۵	۴	۱	۵	۴	۳	۴	۳,۵	۳
۱۷	۴	۱	۲	۱	۳	۴	۲,۵	۲	۳۶	۴	۴	۵	۲	۲	۲	۳,۱	۳
۱۸	۴	۳	۴	۱	۲	۴	۳	۳	۳۷	۴	۱	۵	۴	۳	۲	۳,۱	۳

بحث و نتیجه‌گیری

مخازن متعددی که نیروهای زمین‌ساختی عامل اصلی تکوین آن‌ها هستند در طاق‌دیس‌های زاگرس به‌وجود آمده‌اند. اما، امروزه در همه این طاق‌دیس‌ها نفت وجود ندارد، زیرا بر اثر ترک و شکاف پوش سنگ یا فرسایش آن‌ها هیدروکربورها به سطح زمین راه یافته و از بین رفته‌اند. در این میان نمی‌توان به‌راحتی از نقش نتوتکتونیک در فرار و از بین رفتن تله‌های نفتی گذشت.

مقادیر کمی به‌دست‌آمده از نتایج بررسی شاخص‌های ژئومورفیک گرادیان طولی رودخانه، دامنه ناهمواری، عدم تقارن حوضه زهکشی، انتگرال هیپسومتری، شاخص پیچ و خم رودخانه، و شکل حوضه در ۳۸ زیرحوضه باعث تقسیم‌بندی حوضه مورد مطالعه به سه ناحیه تکتونیک با فعالیت بالا، متوسط، و کم شد و نشان داده شد که میزان فعالیت نتوتکتونیک در نقاط مختلف حوضه یکسان نیست و در نیمه شرقی نیروها با شدت بیشتری عمل می‌کنند؛ فعالیتی که باعث شده بیشتر میدان‌های نفتی حوضه جراحی - زهره با ۶۱/۶ درصد در مناطقی قرار گیرد که دارای کمترین میزان فعالیت نتوتکتونیک است. در واقع، قرار گرفتن در پایین‌ترین کلاس نتوتکتونیک عاملی برای ظهور تله‌های نفتی و حفظ هیدروکربورها بوده است. در دیگر سو، در مناطقی که دارای بالاترین کلاس نتوتکتونیک است عملاً هیچ میدان نفتی وجود ندارد، این موضوع نشان‌دهنده نقش نتوتکتونیک در زیرحوضه‌های دارای میدان‌های نفتی و غیرنفتی است.

تأمل در نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده دو موضوع است: نقش نتوتکتونیک در فرار تله‌های نفتی و ضروری بودن حدی از تکتونیک برای ایجاد شکستگی‌های ریز که به حرکت نفت و سرانجام تولید نفت منجر می‌شوند. در واقع، می‌توان نقشی مخرب و بازدارنده در کنار نقشی سازنده و انتقال‌دهنده هیدروکربورها را به نتوتکتونیک نسبت داد و بر این اساس به این نتیجه رسید که در مناطقی که انتظار وجود میدان‌های نفتی می‌رود و در بخش‌هایی که دارای فعالیت شدید نتوتکتونیک است، قاعدتاً نباید وجود میدان‌های نفتی را انتظار داشت و ظهور آن‌ها در مناطقی با فعالیت کمتر محتمل‌تر است. بنابراین، با بررسی نتوتکتونیک منطقه، می‌توان مناطق امیدبخش اکتشافی را پیش‌بینی و منطقه مورد بررسی را در مشاهدات صحرایی محدودتر کرد. اما به این معنی نیست که بتوان با قطعیت گفت که ذخایر هیدروکربوری در منطقه مورد نظر وجود دارد و نتایج قطعی منوط به بررسی زمینی و صحرایی منطقه پیشنهادی است.

منابع

- ارفع‌نیا، ر. (۱۳۸۹). تکتونیک فعال در منطقه اقلید، کاربرد مدل رقومی سرزمینی (DTM) در مورفوتکتونیک، فصل‌نامه زمین‌شناسی کاربردی، ۲۴۵-۲۴۶: (۴)۶.
- بهرامی، ش.؛ مقصودی، م. و بهرامی، ک. (۱۳۹۰). بررسی نقش تکتونیک در ناهنجاری مورفومتری شبکه زهکشی در چهار حوضه آبخیز در زاگرس، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۴۳(۷۶): ۵۱-۷۰.
- بیاتی خطیبی، م. (۱۳۸۸). تشخیص فعالیت‌های نتوتکتونیک در حوضه آبریز قرنق‌چای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و مورفوتکتونیک، فصلی جغرافیایی، ۲۳(۲۵): ۲۳-۵۰.
- خیام، م. و مختاری کشکی، د. (۱۳۸۲). ارزیابی عملکرد فعالیت‌های تکتونیک بر اساس مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها (مورد نمونه: مخروط‌افکنه‌های دامنه شمالی میشوداغ)، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۵(۴۴): ۱-۱۰.

- سیف، ع. و خسروی، ق. (۱۳۸۹). بررسی تکتونیک فعال در قلمرو تراست زاگرس منطقه فارس، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۲(۳۴): ۱۲۵-۱۴۶.
- مددی، ع.; رضایی مقدم، م.ح. و رجایی اصل، ع. (۱۳۸۳). تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیک با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی در دامنه‌های شمال غربی تالش (باغروداغ)، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۶(۴۸): ۱۲۳-۱۳۸.
- مقصودی، م. و کامرانی دلیر، ح. (۱۳۸۷). ارزیابی نقش تکتونیک فعال در تنظیم کانال رودخانه‌ها (مطالعه موردی رودخانه تجن)، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۰(۶۶): ۳۷-۵۵.
- منصوری، ر. و صفاری، ا. (۱۳۹۴). تحلیل فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبخیز فرحزاد از طریق شاخص‌های ژئومورفیک، فصل‌نامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۴(۹۵): ۹۳-۱۰۵.
- یمانی، م.; کامرانی دلیر، ح. و باقری، س.ی. (۱۳۹۲). مورفومتری و ارزیابی شاخص‌های ژئومورفیک برای تعیین میزان فعالیت نوزمین ساخت در حوضه آبریز چله (زاگرس شمال غربی)، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۹۷): ۱-۲۶.
- Adams, K.D.; Wesnousky, S.G. and Bills, B.G. (1999). Isostatic rebound, active faulting, and potential geomorphic effects in the Lake Lahontan basin, Nevada and California, *Geological Society of America Bulletin*, 111(12): 1739-1756.
- Ala, M.A.; Kinghorn, R.R.F. and Rahman, M.T. (1980). Organic geochemistry and source rock characteristics of the Zagros petroleum province, southwest Iran, *Journal of Petroleum Geology*, 3(1): 61-89.
- Alipoor, R.; Poorkermani, M.; Zare, M. and El Hamdouni, R. (2011). Active tectonic assessment around Rudbar Lorestan dam site, High Zagros Belt (SW of Iran), *Geomorphology*, 128(1): 1-14.
- Arfania, R. (2010). Active tectonics in Eghlid-Fars, Applied of DTM in Morphotectonics, *Applied Geology*, 6(4): 245-256 (Text in Persian).
- Bahrami, Sh.; Maghsoudi, M. and Bahrami, K. (2011). Evaluating the Effect of Tectonic in Anomaly of Drainage System Morphometry in Four Catchments in Zagros. *Physical Geography Research Quarterly*, 43(76): 51-70 (Text in Persian).
- Bayati Khatibi, M. (2009). Detection of Activities Neotectonic in the Catchment of Gharanghochay Using Indicators of Geomorphic and Morphotectonic, *Geographic Space, Islamic Azad University*, 9(25): 23-50 (Text in Persian).
- Bull, W.B. and McFadden, L.D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California, In *Geomorphology in arid regions*, Proceedings of the eighth annual geomorphology symposium, State University of New York, Binghamton (pp. 115-138).
- Burbank, D.W. and Anderson, R.S. (2011). *Tectonic geomorphology*, John Wiley & Sons.
- 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.
- Cheng, W.; Wang, N.; Zhao, M. and Zhao, S. (2016). Relative tectonics and debris flow hazards in the Beijing mountain area from DEM-derived geomorphic indices and drainage analysis, *Geomorphology*, 257: 134-142.
- Chorley, R.J.; Schumm, S.A. and Sugden, D.E. (1984). *Geomorphology*, Methuen, New York, p.605.
- Cox, R.T. (1994). Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi Embayment, *Geological Society of America Bulletin*, 106(5): 571-581.
- Dar, R.A.; Romshoo, S.A.; Chandra, R. and Ahmad, I. (2014). Tectono-geomorphic study of the Karewa Basin of Kashmir Valley, *Journal of Asian Earth Sciences*, 92: 143-156.
- Davis, W. M. (1899). The geographical cycle. *The Geographical Journal*, 14(5), 481-504.
- Della Seta, M.; Del Monte, M.; Fredi, P.; Miccadei, E.; Nesci, O.; Pambianchi, G.; Piacentini, T. and Troiani, F. (2008). Morphotectonic evolution of the Adriatic piedmont of the Apennines: an advancement in the knowledge of the Marche-Abruzzo border area, *Geomorphology*, 102(1): 119-129.
- Demoulin, A.; Beckers, A. and Hubert-Ferrari, A. (2015). Patterns of Quaternary uplift of the Corinth rift southern border (N Peloponnese, Greece) revealed by fluvial landscape morphometry, *Geomorphology*, 246: 188-204.

- Domínguez-González, L.; Andreani, L.; Stanek, K.P. and Gloaguen, R. (2015). Geomorpho-tectonic evolution of the Jamaican restraining bend, *Geomorphology*, 228: 320-334.
- El Hamdouni, R.; Irigaray, C.; Fernández, T.; Chacón, J. and Keller, E.A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain), *Geomorphology*, 96(1): 150-173.
- Gao, M.; Zeilinger, G.; Xu, X.; Wang, Q. and Hao, M. (2013). DEM and GIS analysis of geomorphic indices for evaluating recent uplift of the northeastern margin of the Tibetan Plateau, China, *Geomorphology*, 190: 61-72.
- Hack, J.T. (1973). Stream-profile analysis and stream-gradient index, *Journal of Research of the US Geological Survey*, 1(4): 421-429.
- Hare, P.W. and Gardner, T.W. (1985). *Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins*, Nicoya Peninsula, Costa Rica, Allen and Unwin, Boston, pp.75-104.
- Jain, V. and Sinha, R. (2005). Response of active tectonics on the alluvial Baghmata River, Himalayan foreland basin, eastern India, *Geomorphology*, 70(3): 339-356.
- Keller, E.A. and Pinter, N. (1996). Active tectonics (Vol. 1338), Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.
- Keller, E.A. and Pinter, N.D.J. (2002). Active Tectonics, Earthquakes, Uplift, and Landscape, *Environmental and Engineering Geoscience*, 3(3): 463-463.
- Khayam, M. and Mokhtari, D. (2003). Evaluation of tectonic activities based on alluvial fans morphology, Case: Northern Slope of Mish Dag, *Geographic Researches*, 35(44): 1-10(Text in Persian).
- Luirei, K.; Bhakuni, S.S. and Kothiyari, G.C. (2015). Drainage response to active tectonics and evolution of tectonic geomorphology across the Himalayan Frontal Thrust, Kumaun Himalaya, *Geomorphology*, 239: 58-72.
- Madadi, A.; Rezaei-Moghadam, M. and Rajaei, A. (2004). Neotectonic activity analysis using geomorphology at the foothills northwest of Talesh (Baghrodagh), *Physical Geography Research Quarterly*, 36(48): 123-138 (Text in Persian).
- Maghsoodi, M. and Kamrani-Dalir, H. (2008). Evaluation of active tectonics in the regulation of river channels Case Study: Tajan River, *Physical Geography Research Quarterly*, 40(66): 37-55 (Text in Persian).
- Malik, J.N. and Mohanty, C. (2007). Active tectonic influence on the evolution of drainage and landscape: geomorphic signatures from frontal and hinterland areas along the Northwestern Himalaya, India, *Journal of Asian Earth Sciences*, 29(5): 604-618.
- Mansouri, R. and Safari, A. (2015). Analysing of tectonic activity, Farahzad basin using geomorphic indicators, *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 24(95): 93-105(Text in Persian).
- Mathew, M.J.; Menier, D.; Siddiqui, N.; Ramkumar, M.; Santosh, M.; Kumar, S. and Hassaan, M. (2016). Drainage basin and topographic analysis of a tropical landscape: Insights into surface and tectonic processes in northern Borneo, *Journal of Asian Earth Sciences*, 124: 14-27.
- Molin, P.; Pazzaglia, F.J. and Dramis, F. (2004). Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly-deforming forearc, Sila massif, Calabria, southern Italy, *American journal of science*, 304(7): 559-589.
- Morris, R.J. (1984). *Middle East: stratigraphic evolution and oil habitat*, pp. 353-372.
- Nath Sarma, J. and Acharjee, S. (2013). Morphotectonic study of the Brahmaputra basin using geoinformatics, In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, Vol. 15, p. 14001.
- Ntokos, D.; Lykoudi, E. and Rondoyanni, T. (2016). Geomorphic analysis in areas of low-rate neotectonic deformation: South Epirus (Greece) as a case study, *Geomorphology*, 263: 156-169.
- Ouchi, S. (1985). Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement, *Geological Society of America Bulletin*, 96(4): 504-515.
- Pérez-Peña, J. V., Azor, A., Azañón, J. M., & Keller, E. A. (2010). Active tectonics in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, SE Spain): insights from geomorphic indexes and drainage pattern analysis. *Geomorphology*, 119(1), 74-87.
- Pike, R.J. and Wilson, S.E. (1971). Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis, *Geological Society of America Bulletin*, 82(4): 1079-1084.
- Ramirez-Herrera, M.T. (1998). Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay Graben, Mexican volcanic belt, *Earth surface processes and landforms*, 23(4): 317-332.

- Romshoo, S.A.; Bhat, S.A. and Rashid, I. (2012). Geoinformatics for assessing the morphometric control on hydrological response at watershed scale in the Upper Indus Basin, *Journal of earth system science*, 121(3): 659-686.
- Sarp, G. and Düzgün, (2012). Spatial analysis of morphometric indices: the case of Bolu pull-apart basin, western section of North Anatolian Fault System, Turkey, *Geodinamica Acta*, 25(1-2): 86-95.
- Sarp, G. and Duzgun, S. (2015). Morphometric evaluation of the Af in-Elbistan lignite basin using kernel density estimation and Getis-Ord statistics of DEM derived indices, SE Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, 111: 819-826.
- Schumm, S.A. (1986). *Alluvial river response to active tectonics*, Active tectonics, pp.80-94.
- Seeber, L. and Gornitz, V. (1983). River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics, *Tectonophysics*, 92(4): 335341-337367.
- Seif, A and Khosravi, Gh. (2011). Investigation of Active Tectonics in Zagros Thrust Belt Farsan Region, *Physical Geography Research Quarterly*, 42(74): 125-146 (Text in Persian).
- Siddiqui, S. (2014). Appraisal of active deformation using DEM-based morphometric indices analysis in Emilia-Romagna Apennines, Northern Italy, *Geodynamics Res Int Bull*, 1(3): 34-42.
- Strahler, A.N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, *Geological Society of America Bulletin*, 63(11): 1117-1142.
- Topal, S.; Keller, E.; Bufer, A. and Köşer, A. (2016). Tectonic geomorphology of a large normal fault: Ak ehir fault, SW Turkey, *Geomorphology*, 259: 55-69.
- Troiani, F.; Galve, J.P.; Della Seta, M.; Piacentini, D. and Savelli, D. (2012). Correlation between SL index anomalies and slope failures in active mountain belts, *In Proceedings of the 16 Joint Geomorphological Meeting*, Rome, Italy.
- Turowski, J.M.; Lague, D. and Hovius, N. (2009). Response of bedrock channel width to tectonic forcing: Insights from a numerical model, theoretical considerations, and comparison with field data, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 114(F3).
- Wells, S.G.; Bullard, T.F.; Menges, C.M.; Drake, P.G.; Karas, P.A.; Kelson, K.I.; Ritter, J.B. and Wesling, J.R. (1988). Regional variations in tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary pacific coast of Costa Rica, *Geomorphology*, 1(3): 239-265.
- Whipple, K.X.; Kirby, E. and Brocklehurst, S.H. (1999). Geomorphic limits to climate-induced increases in topographic relief, *Nature*, 401(6748): 39-43.
- Yamani, M.; Kamrani-Dalir, H. and Bagheri, S. (2013). Morphometric and geomorphic assessment criteria for determining the amount of neotectonic activity in Cheleh Basin (northwestern Zagros), *Journal of Geographical Research*, 29(97): 1-26 (Text in Persian).