

## ارزیابی وضعیت نوزمین‌ساخت زیرحوضه‌های زاگرس فارس با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و روش سری زمانی SBAS

داود مختاری\* - استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.  
محمدحسین رضایی‌مقدم - استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.  
دیانا درتاج - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷      تأیید نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

### چکیده

فرایندهای تکتونیکی نقش مهمی در شکل‌گیری و تغییر لندفرم‌ها دارند، بنابراین توجه به این فرایندها در برنامه‌ریزی‌های مختلف حائز اهمیت است. بعضی از مناطق از جمله زون زاگرس دارای وضعیت تکتونیکی فعالی هستند به همین دلیل توجه به فعالیت‌های تکتونیکی در این منطقه ضروری است. با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به ارزیابی وضعیت تکتونیکی زاگرس استان فارس از محدوده اوز تا گرموستج پرداخته شده است. در این تحقیق از تصاویر راداری سنتینل ۱، مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر و تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در تحقیق، ArcGIS، GMT و SPSS بوده است. همچنین در این تحقیق از ۱۰ شاخص ژئومورفیک و روش سری زمانی SBAS استفاده شده است. این تحقیق با توجه به اهداف مورد نظر در دو مرحله انجام شده است که در مرحله اول به ارزیابی وضعیت تکتونیکی منطقه با استفاده از ۱۰ شاخص ژئومورفیک و در مرحله دوم نیز با استفاده از روش سری زمانی SBAS، وضعیت تکتونیکی منطقه ارزیابی شده است. نتایج بررسی وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌های منطقه از نظر شاخص IAT نشان داده است که زیرحوضه ۴ با میانگین ضریب ۱/۱ دارای کم‌ترین میانگین است و از نظر شاخص‌های مورد استفاده، دارای وضعیت تکتونیکی فعال‌تری نسبت به سایر زیرحوضه‌ها است و در مجموع نیز زیرحوضه‌های منطقه از نظر اکثر شاخص‌ها دارای وضعیت فعالی هستند. همچنین نتایج حاصله از روش تداخل‌سنجی راداری نشان داده است که محدوده مطالعاتی در طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲ دارای ۱۲۷ میلی‌متر بالآمدگی و ۱۰۹ میلی‌متر فرونشست بوده است که میزان بالآمدگی رخ داده را می‌توان به عوامل تکتونیکی نسبت داد و بنابراین می‌توان گفت که صحت شاخص‌های ژئومورفیک مورد تایید است چراکه بر اساس تصاویر راداری نیز منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی دارای وضعیت فعالی است.

واژگان کلیدی: تکتونیکی، شاخص‌های ژئومورفیک، تداخل‌سنجی راداری، محدوده اوز تا گرموستج.

## مقدمه

فرایندهای زمین‌ساختی (تکتونیکی) توسط نیروهایی که از درون زمین منشاء گرفته و موجب تغییر شکل پوسته زمین می‌شوند، شکل می‌گیرند. این فرایندها، اشکال و لندفرم‌های خارجی مانند قاره‌ها، کوه‌ها و اقیانوس‌ها را ایجاد می‌کنند که به مجموعه این فرایندها، چرخه تکتونیکی گفته می‌شود، بنابراین تکتونیک به فرایندها، ساختمان‌ها و لندفرم‌های مرتبط با تغییرات شکل زمین اطلاق می‌شود (کلر و پینتر<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲؛ گورابی، ۱۳۹۵). به منظور بررسی وضعیت تکتونیکی یک منطقه یا حوضه روش‌های مختلفی وجود دارد. در این میان، شاخص‌های ژئومورفیکی در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیکی ابزاری مفید و قابل اطمینان هستند زیرا از روی آن‌ها می‌توان نواحی‌ای را که در گذشته فعالیت‌های سریع و یا حتی کند تکتونیکی را پشت سر گذاشته‌اند، به راحتی شناسایی نمود (رامیرز-هررا<sup>۲</sup>، ۱۹۹۸). همچنین امروزه از تصاویر راداری به‌عنوان یکی از روش‌های نوین و با دقت بالا جهت ارزیابی وضعیت تکتونیکی مناطق استفاده می‌شود (اصلان و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۹). میزان فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در مناطق مختلف فلات ایران متفاوت است که در این میان، زاگرس از نظر فعالیت‌های نوزمین‌ساختی فعال بوده و با جنبش‌های زیادی همراه است (پاینده و همکاران، ۱۳۹۵). مطالعات فرایندهای زمین‌ساختی به‌منظور مدیریت بهتر مخاطرات ژئومورفولوژیکی که برای بسیاری از فعالیت‌های انسانی همچون طراحی و احداث شهرها، نیروگاه، فرودگاه، تاسیسات نظامی و امنیتی، سدها و مراکز صنعتی اهمیت دارد مفید خواهد بود. همچنین شناسایی ویژگی‌های محیطی، اشکال ژئومورفولوژیکی یک منطقه و آگاهی از آن‌ها به ما کمک کنند تا توان‌های محیطی را بهتر بشناسیم و با در اختیار گذاشتن این اطلاعات به مسئولین امر، آن‌ها را در اجرای برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای و محلی، برنامه‌ریزی‌های عمرانی، طرح‌های آمایش سرزمین و به‌طور کلی مدیریت پایدار محیطی متناسب با آن منطقه یاری کنیم (گورابی و امامی، ۱۳۹۶). با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به ارزیابی وضعیت تکتونیکی زاگرس استان فارس در محدوده آوز تا گرمسرخ پرداخته شده است.

به‌منظور بررسی وضعیت تکتونیکی مناطق از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود. تحقیقات پیشین صورت گرفته با استفاده از پارامترهای مورفومتریکی در پانزده حوضه آبریز زاگرس چین‌خورده بیانگر فعال بودن این منطقه از نظر تکتونیکی است (بهرامی<sup>۴</sup>، ۲۰۱۳). شواهد بدست آمده از وضعیت ژئومورفولوژی رودخانه فورلند آلپ شمالی در غربی‌ترین بخش سوئیس، بیانگر کاربرد استفاده از پارامترهای مورفومتریکی در ارزیابی وضعیت تکتونیکی مناطق است (رادایده و موسار<sup>۵</sup>، ۲۰۱۹). شواهد بدست آمده از بررسی وضعیت نفوتکتونیک و تکتونیک فعال در حوضه دهرا در شمال الجزایر، بیانگر ارتباط مستقیم این شواهد با وضعیت لرزه‌خیزی مناطق است (آبودا<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). بررسی وضعیت مورفومتری حوضه‌های زهکشی و شبکه‌های آبراهه‌ای در طاق‌دیس گورم استان فارس بیانگر فعال بودن این طاق‌دیس از نظر تکتونیکی است (بهرامی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). تجزیه و تحلیل داده‌های مورفومتریکی در رخنمون‌های کواترنری شمال غرب تونس در حوضه اوئد لاهمار، بیانگر فعالیت تکتونیکی بالای این منطقه بوده است (سدرت و ربائی<sup>۸</sup>، ۲۰۲۲). بررسی شاخص‌های ژئومورفیک و زهکشی در حوضه آبخیز دامنگانگا در هند، بیانگر فعالیت تکتونیکی بالای این منطقه بوده است (کومار<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). بررسی

۱. Keller &amp; Pinter

۲. Ramirez- Herrera

۳. Aslan

۴. Bahrami

۵. Radaideh &amp; Mosar

۶. Abbouda

۷. Bahrami

۸. Sedrette &amp; Rebai

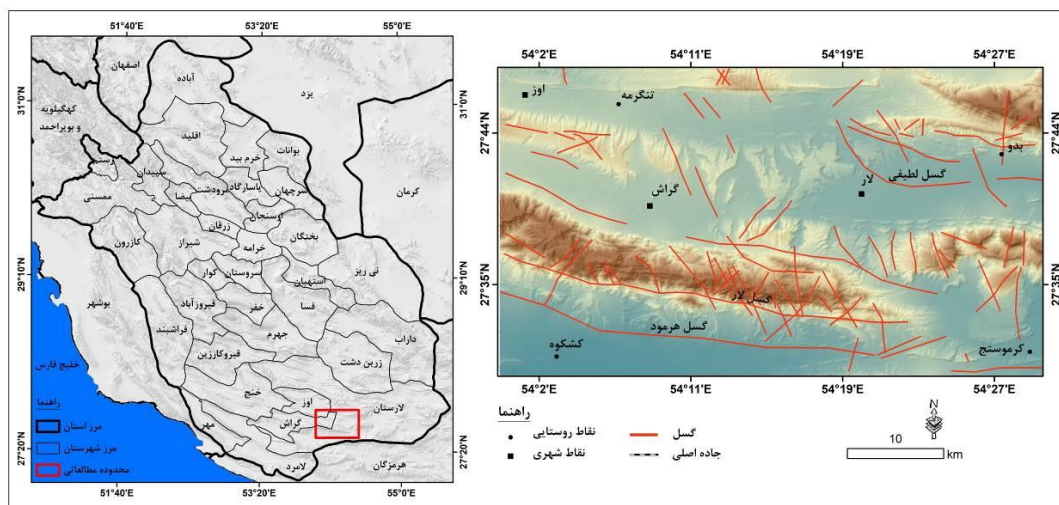
۹. Kumar

فعالیت‌های تکتونیکی در بخش شرقی دامنه شمالی میشو داغ، بیانگر نقش مهم این فعالیت‌ها بر شبکه زهکشی منطقه است (مختاری، ۱۳۸۳؛ مختاری، ۱۳۸۴). بررسی عوامل زمین‌ساختی در منطقه تخت سلیمان بیانگر تاثیر این عوامل بر شکل‌گیری و تحول دولین‌ها به‌ویژه دولین‌های گسلی و هلالی شکل بوده است (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۹). بررسی وضعیت تکتونیکی حوضه‌های آبریز شمال تهران بیانگر فعالیت تکتونیکی زیاد زیرحوضه‌های کن و دربند و همچنین فعالیت متوسط زیرحوضه‌های وسک، فرحزاد، درکه، ولنجک و دارآباد بوده است (نجفی و همکاران، ۱۳۹۳). بررسی خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های زاگرس، بیانگر فعال بودن این منطقه از نظر تکتونیکی و نقش فعالیت‌های تکتونیکی در توسعه منابع کارستیک بوده است (جعفری و ناصری، ۱۳۹۹). ارزیابی انطباق شاخص‌های ژئومورفیک با کانون‌های زمین‌لرزه در زاگرس شمال غرب، بیانگر عدم انطباق تعداد کانون‌های زمین‌لرزه و وضعیت فعالیت تکتونیکی این زیرحوضه‌هاست (گنجایان و همکاران، ۱۳۹۹). بررسی شواهد تکتونیک فعال و ویژگی‌های حريم گسل کوشک، بیانگر پتانسیل آسیب‌پذیری بالای روستاهای واقع در استان قزوین در رشته کوه البرز است (صوری و حاجی‌علی‌بیگی، ۱۴۰۱).

در راستای تحقیقات پیشین صورت گرفته، هدف از این پژوهش، ارزیابی وضعیت تکتونیکی زاگرس استان فارس در محدوده آوز تا گرموستج است. در واقع، با توجه به اینکه مناطق جنوبی استان فارس از نظر تکتونیکی در وضعیت فعالی قرار دارد، این منطقه را می‌توان به‌عنوان منطقه‌ای مناسب برای مطالعه فعالیت‌های تکتونیکی در نظر گرفت که در این پژوهش به این مهم پرداخته شده است.

#### منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی تحقیق حاضر از نظر تقسیمات سیاسی در جنوب استان فارس، غرب شهرستان لارستان و شرق شهرستان‌های آوز و گراش واقع شده است (شکل ۱). شهرهای لار، گراش و آوز، نقاط شهری واقع در این محدوده هستند که بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، به ترتیب حدود ۶۲ ۳۴ و ۲۰ هزار نفر جمعیت داشته‌اند. این محدوده در بین عرض جغرافیایی ۳۰' ۲۷° تا ۴۷' ۲۷° شمالی و طول جغرافیایی ۰۰' ۵۴° تا ۳۰' ۵۴° شرقی قرار دارد (انتخاب محدوده با توجه به موضوع و اهداف مورد نظر و همچنین وضعیت زمین‌شناسی منطقه بوده است). این محدوده از نظر تقسیمات مورفوتکتونیکی، جزء واحد زاگرس چین‌خورده است و همین مسئله سبب شده تا بخش زیادی از آن را واحد کوهستان، دامنه‌های پرشیب و دره‌های عرضی دربرگیرد. از نظر وضعیت ارتفاعی، محدوده مطالعاتی در بین ارتفاع ۶۲۳ تا ۲۰۹۵ متری از سطح دریا قرار دارد. همچنین از نظر تقسیمات حوضه‌ای نیز، محدوده مطالعاتی در بین دو حوضه کل، مهران و مند قرار گرفته است.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

## روش تحقیق

در این تحقیق از تصاویر راداری سنتینل ۱، مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر و تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان مهم‌ترین داده‌های تحقیق استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در تحقیق، ArcGIS (به‌منظور تهیه نقشه‌های مورد نظر)، GMT<sup>۱</sup> (به‌منظور اجرای مدل سری زمانی) و SBAS<sup>۲</sup> و SPSS (به‌منظور انجام محاسبات مربوط به شاخص‌ها) بوده است. همچنین از ۱۰ شاخص ژئومورفیک و مدل سری زمانی SBAS استفاده شده است. با توجه به اهداف مورد نظر، این تحقیق در دو مرحله انجام شده است که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

**مرحله اول (ارزیابی وضعیت تکتونیکی منطقه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک):** یکی از روش‌هایی که به‌منظور بررسی وضعیت تکتونیکی مناطق مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص‌های ژئومورفیک است. در این پژوهش از ۱۰ شاخص ژئومورفیک جهت ارزیابی وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌های منطقه استفاده شده است (جدول ۱). لازم به ذکر است که در این پژوهش به‌منظور حذف خطاهای محاسباتی، از شاخص‌هایی استفاده شده است که با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و به صورت نرم‌افزاری بدست می‌آیند.

جدول ۱: شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش (منبع: همدونی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ ده بزرگی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ گورابی، ۱۳۹۵)

توضیحات	معادله	نماد	شاخص
C طول رودخانه و V طول مستقیم دره است. هرچه مقادیر این شاخص به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، بیانگر شدت فعالیت‌های تکتونیکی است و افزایش در مقدار آن بیانگر کاهش در فعالیت تکتونیکی منطقه و حاکی از نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادلی است.	$S = C / V$	S	سینوسی رودخانه (بیچ و خم رودخانه اصلی)
Li طول آبراهه‌ها به کیلومتر و A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است. بالا بودن ضریب تراکم بیانگر تکتونیک فعال و حساسیت زیاد سازندهای زمین‌شناسی حوضه است.	$P = \sum Li/A$	P	تراکم سطحی آبراهه‌ها
$\Delta H$ به اختلاف ارتفاع بین دو نقطه اندازه‌گیری شده و $\Delta L$ فاصله افقی بین دو نقطه اندازه‌گیری شده و L طول رودخانه از نقطه اندازه‌گیری شده تا مرتفع‌ترین نقطه کانال است. بالا بودن مقدار این شاخص نشان دهنده مناطق با فعالیت تکتونیکی بالا و قدرت فرسایشی شدید آبراهه‌ها و مقدار پایین آن مناطق با فعالیت کم را نشان می‌دهد.	$SL = (\Delta H / \Delta L) \cdot L$	SL	گرادیان طولی رودخانه
i شماره رده رودخانه اصلی و $n_1, n_2, n_3, \dots$ به ترتیب تعداد رودخانه‌های رده ۱، ۲، ۳، ... حوضه می‌باشند. مناطقی که دارای نسبت انشعاب بالایی هستند، بیانگر فعالیت‌های تکتونیکی بیش‌تر و جوان بودن حوضه است.	$Br = \left( \frac{N_1}{N_2} + \frac{N_2}{N_3} + \dots + \frac{N_{i-1}}{N_i} \right) \frac{1}{i-1}$	Br	نسبت انشعاب حوضه
Da فاصله خط وسط حوضه تا رودخانه اصلی از خط میانی حوضه آبریز و Dd فاصله خط میانی حوضه تا مرز حوضه است. این شاخص بین	$T = Da/Dd$		

۱. Generic Mapping Tools

۲. Small Baseline Subset

۳. Hamdouni

۴. Deh Bozorgi

تقارن توپوگرافی عرضی حوضه	T	صفر تا یک متغیر است که مقدار صفر بیانگر تقارن و مقدار یک نشان دهنده عدم تقارن حوضه است.
شاخص انتگرال هیپسومتری	$H_i$	$H_i = (h - H_{min}) / (H_{max} - H_{min})$
ناهنجاری سلسله مراتبی	$\Delta a$	$\Delta a = H_a / N_1$
نسبت شکل حوضه	$B_s$	$B_s = BI / B_w$
درصد عدم تقارن حوضه زهکشی	AF	$AF = 100 (A_r / A_t)$
ضریب گراولوس	$G_i$	$G_i = 28 / 0 P / \sqrt{A}$

**مرحله دوم (ارزیابی وضعیت تکتونیکی منطقه با استفاده از روش سری زمانی SBAS):** در این مرحله با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ و روش تداخل‌سنجی راداری و سری زمانی SBAS، به ارزیابی میزان جابجایی عمودی در منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. به‌منظور اجرای مدل سری زمانی SBAS، ابتدا ۲۱ تصویر راداری سنتینل ۱ مربوط به دوره زمانی ۲ ساله (از تاریخ ۲۰۲۰/۰۱/۱۲ تا ۲۰۲۲/۰۱/۱۰) تهیه شده است (جدول ۲). ماهواره‌های سنتینل شامل دو ماهواره هستند که دارای مدار قطبی بوده و عملیات تصویربرداری را در روز و شب و بدون تأثیرپذیری از شرایط جوی در محدوده باند C با طول موج ۵/۶ سانتی‌متر انجام می‌دهند. پس از تهیه تصاویر مورد نظر، با استفاده از نرم‌افزار GMTSAR، پیش‌پردازش‌های لازم بر روی تصاویر شامل تصحیح‌های مداری، حذف خطای توپوگرافی و فیلتر تصاویر انجام شده است. پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، بر مبنای بیس‌لاین زمانی تصاویر، نقشه‌های اینترفروگرام منطقه تهیه شده است. پس از تهیه نقشه‌های اینترفروگرام، به‌منظور تهیه نقشه نهایی میزان جابجایی عمودی منطقه، از روش سری زمانی SBAS استفاده شده است.

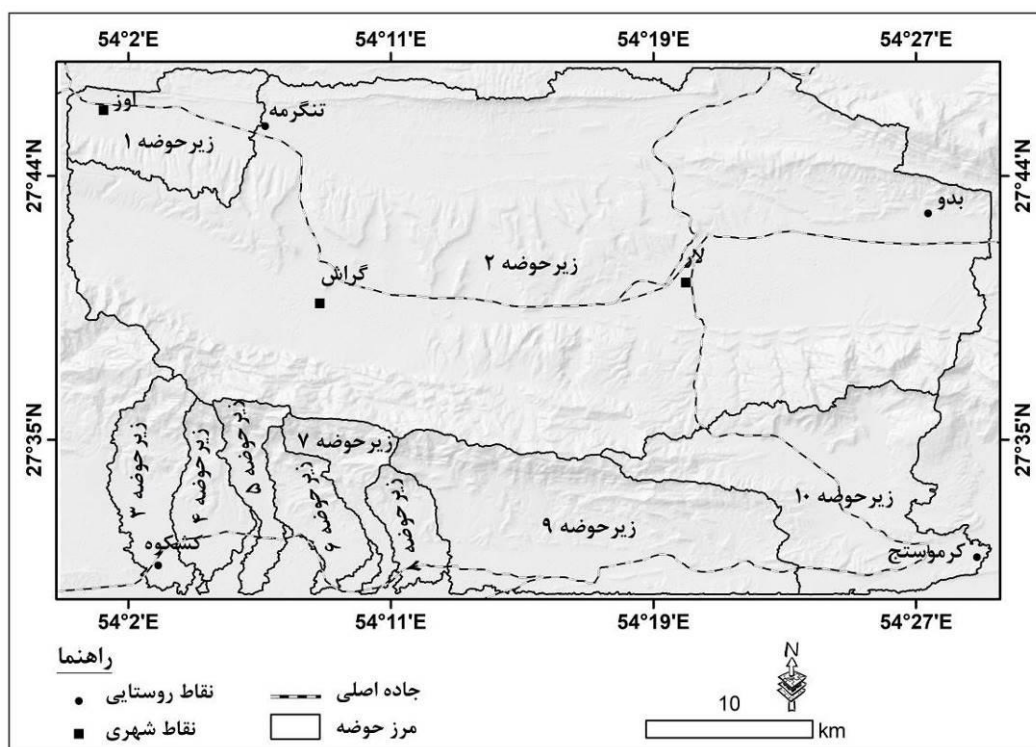
جدول ۲: مشخصات تصاویر مورد استفاده

ردیف	ماهواره	تاریخ	Beam	نوع تصویر	حالت مداری	Polarization
۱	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۱/۱۲	IW	SLC	نزولی	VV
۲	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۲/۱۷	IW	SLC	نزولی	VV
۳	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۳/۲۴	IW	SLC	نزولی	VV
۴	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۴/۲۹	IW	SLC	نزولی	VV
۵	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۶/۰۴	IW	SLC	نزولی	VV
۶	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۷/۱۰	IW	SLC	نزولی	VV
۷	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۸/۱۵	IW	SLC	نزولی	VV
۸	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۰۹/۲۰	IW	SLC	نزولی	VV
۹	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۱۰/۲۶	IW	SLC	نزولی	VV
۱۰	سنتینل ۱	۲۰۲۰/۱۲/۰۱	IW	SLC	نزولی	VV
۱۱	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۱/۰۶	IW	SLC	نزولی	VV
۱۲	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۲/۱۱	IW	SLC	نزولی	VV
۱۳	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۳/۱۹	IW	SLC	نزولی	VV
۱۴	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۴/۲۴	IW	SLC	نزولی	VV
۱۵	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۵/۳۰	IW	SLC	نزولی	VV
۱۶	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۷/۰۵	IW	SLC	نزولی	VV
۱۷	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۸/۱۰	IW	SLC	نزولی	VV
۱۸	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۰۹/۱۵	IW	SLC	نزولی	VV
۱۹	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۱۰/۲۱	IW	SLC	نزولی	VV
۲۰	سنتینل ۱	۲۰۲۱/۱۱/۲۶	IW	SLC	نزولی	VV
۲۱	سنتینل ۱	۲۰۲۲/۰۱/۰۱	IW	SLC	نزولی	VV

## یافته‌ها و بحث

## ارزیابی وضعیت تکتونیک منطقه با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک

با توجه به اهمیت و کاربردی بودن استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، در طی سال‌های اخیر این شاخص‌ها به‌عنوان یک ابزار کاربردی جهت ارزیابی وضعیت تکتونیک مناطق، تهیه نقشه‌های خطر زمین‌لرزه و همچنین درک تاریخچه چشم اندازه‌های کنونی سطح زمین مورد استفاده قرار گرفته شده‌اند (کلر و پینتر، ۲۰۰۲). در این پژوهش به‌منظور ارزیابی وضعیت تکتونیک منطقه، ابتدا زیرحوضه‌ها و شبکه زهکشی مورد نظر با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر استخراج شده است. با توجه به وضعیت هیدروژئومورفولوژی منطقه، ۱۰ زیرحوضه استخراج شده است (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه

#### الف) بررسی وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌ها با استفاده از شاخص‌های مورد نظر

پس از مشخص کردن زیر حوضه‌ها، به منظور ارزیابی و مقایسه وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌ها از ۱۰ شاخص استفاده شده است (جدول ۱). لازم به ذکر است که در این پژوهش به منظور حذف خطاهای محاسباتی، از شاخص‌هایی استفاده شده است که با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و به صورت نرم‌افزاری بدست می‌آیند. بر اساس نتایج حاصله، از نظر شاخص تراکم شبکه زهکشی (P)، همه زیرحوضه‌ها دارای وضعیت تکتونیکی فعالی هستند. از نظر شاخص‌های نسبت انشعاب (Br)، عدم تقارن حوضه زهکشی (AF)، گرادیان طولی رودخانه (SL) و شاخص سینوسی رودخانه (S)، اکثر زیرحوضه‌ها دارای وضعیت تکتونیکی فعالی هستند. از نظر شاخص‌ها تقارن توپوگرافی معکوس (T) و ضریب گراویلیوس (Gi) اکثر زیرحوضه‌ها دارای وضعیت تکتونیکی نیمه فعالی هستند. از نظر شاخص شکل حوضه (BS)، اکثر زیرحوضه‌ها دارای وضعیت غیرفعال هستند و همچنین از شاخص‌های انتگرال هیپسومتری (Hi) و ناهنجاری سلسله مراتبی ( $\Delta a$ )، همه زیرحوضه‌ها از نظر تکتونیکی دارای وضعیت غیر فعالی هستند (جدول ۳). نتایج همبستگی بدست آمده از نتایج شاخص‌ها نشان داده است که شاخص‌های تراکم شبکه زهکشی (P)، شاخص‌های انتگرال هیپسومتری (Hi) و ناهنجاری سلسله مراتبی ( $\Delta a$ ) به دلیل همبستگی کم‌تری که با سایر شاخص‌ها دارند و همچنین یکنواخت نشان دادن وضعیت زیرحوضه‌ها، اعتبار کم‌تری نسبت به سایر شاخص‌ها دارند.

جدول ۳: نتایج حاصله از ارزیابی زیرحوضه‌های منطقه با استفاده از شاخص‌های مورد نظر

شاخص										زیرحوضه
Gi	$\Delta a$	Br	p	S	SL	Bs	AF	Hi	T	
۱/۵۴	۰/۳۴	۴/۷	۵/۶	۱/۴۳	۴۴۶	۱/۱	۲۷/۳	۰/۳۳	۰/۴۵	۱
۱/۶۳	۰/۲۷	۶/۳	۵/۸	۱/۶۶	۱۴۲۲	۳/۶	۴۹	۰/۱۹	۰/۰۲	۲
۱/۱	۰/۴۱	۴/۳	۵/۹	۱/۷۴	۱۵۷۳	۵/۱	۴۴/۷	۰/۱۹	۰/۱۱	۳
۲/۱۷	۰/۳۹	۴/۶	۵/۹	۱/۳	۱۶۲۴	۳/۲	۱۶	۰/۱۵	۰/۶۸	۴
۱/۹۳	۰/۴۷	۵/۱	۵/۸	۱/۴۷	۱۵۸۳	۴	۵۳/۶	۰/۲۸	۰/۰۷	۵
۱/۹۹	۰/۴۳	۵/۷	۵/۸	۱/۲۸	۱۱۴۵	۳/۵	۱۲/۹	۰/۱۳	۰/۷۴	۶
۱/۸۴	۰/۴۷	۵/۶	۵/۵	۱/۳۲	۱۵۱۵	۲/۳	۳۲/۹	۰/۳۷	۰/۳۴	۷
۲/۳۶	۰/۴۸	۴/۷	۵/۸	۱/۲۲	۱۲۱۶	۲/۷	۲۱	۰/۱۷	۰/۵۸	۸
۱/۵۴	۰/۳۳	۳/۱	۵/۷	۱/۴۲	۹۰۴	۲/۴	۷۸/۹	۰/۲۲	۰/۵۸	۹
۱/۹۹	۰/۳۶	۵/۱	۵/۹	۱/۵۲	۱۱۰۶	۲/۸	۴۷/۴	۰/۲۳	۰/۵۲	۱۰

**ب) طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیکی با استفاده از شاخص IAT**

با توجه به اینکه در این تحقیق از شاخص‌های مختلفی استفاده شده است و همچنین ۱۰ زیرحوضه نیز مورد ارزیابی قرار گرفته شده است، پس از ارزیابی وضعیت تکتونیکی حوضه‌ها از نظر تمامی شاخص‌ها، به منظور ارزیابی کلی حوضه‌ها از نظر این شاخص‌ها و همچنین مقایسه وضعیت فعالیت تکتونیکی آن‌ها، از شاخص ارزیابی نسبی فعالیت‌های تکتونیکی (IAT) استفاده شده است. لازم به ذکر است که شاخص‌های تراکم شبکه زهکشی (P)، شاخص‌های انتگرال هیپسومتری (Hi) و ناهنجاری سلسله مراتبی ( $\Delta a$ ) به دلیل هبستگی کمتری که با سایر شاخص‌ها دارند و همچنین یکنواخت نشان دادن وضعیت زیرحوضه‌ها، در این بخش حذف شده‌اند. در شاخص IAT، زیرحوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیکی به ۳ طبقه تقسیم می‌شوند که نحوه طبقه‌بندی آن‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: نحوه طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر فعالیت تکتونیکی (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸)

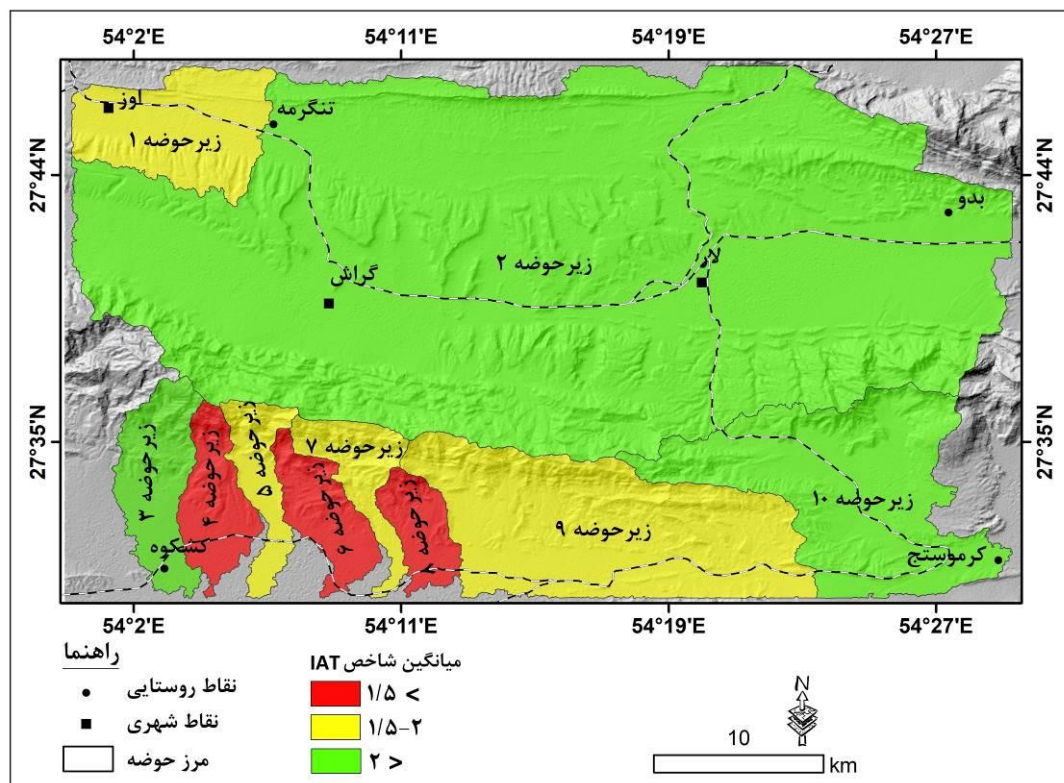
ردیف	شاخص	طبقه ۱ (تکتونیک فعال)	طبقه ۲ (تکتونیک نسبتاً فعال)	طبقه ۳ (تکتونیک غیرفعال)
۱	T	۰-۱/۶۶	۰/۳۳-۰/۶۶	۰-۰/۳۳
۲	AF	AF-50 > 15	AF-50 : 7-15	AF-50 < 7
۳	Bs	بیش از ۴	۳-۴	کمتر از ۳
۴	SI	بیش از ۵۰۰	۳۰۰-۵۰۰	کمتر از ۳۰۰
۵	S	۱-۱/۵	۱/۵-۲	بیش از ۲
۶	Br	بیش از ۴	۳-۴	کمتر از ۳
۷	Gi	بیش از ۲	۱/۵-۲	کمتر از ۱/۵

نتایج بررسی وضعیت تکتونیکی زیرحوضه‌ها (جدول ۵ و شکل ۳) از نظر شاخص‌های مورد نظر نشان داده است که زیرحوضه ۴ با میانگین ضریب ۱/۱ دارای کمترین میانگین است و در مجموع از نظر شاخص‌های مورد استفاده، دارای وضعیت تکتونیکی فعال‌تری نسبت به سایر زیرحوضه‌ها است. بعد از این زیرحوضه، زیرحوضه‌های ۶ و ۸ به ترتیب با

ضریب ۱/۳ و ۱/۴ دارای وضعیت تکتونیکی فعال تری هستند. همچنین زیرحوضه‌های ۱۰، ۲ و ۳ به ترتیب با ضریب ۲/۱، ۲ و ۲ دارای بالاترین میانگین هستند و از نظر شاخص‌های مورد استفاده، از نظر تکتونیکی فعالیت کم‌تری نسبت به سایر زیرحوضه‌ها دارند.

جدول ۵: نتایج محاسبه شاخص IAT در زیرحوضه‌های مورد مطالعه

میانگین	میانگین							شماره زیرحوضه
	Gi	Br	S	SL	Bs	AF	T	
۱/۷	۲	۱	۱	۲	۳	۱	۲	۱
۲	۲	۱	۲	۱	۲	۳	۳	۲
۲	۳	۱	۲	۱	۱	۳	۳	۳
۱/۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۴
۱/۷	۲	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۵
۱/۳	۲	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۶
۱/۶	۲	۱	۱	۱	۳	۱	۲	۷
۱/۴	۱	۱	۱	۱	۳	۱	۲	۸
۱/۷	۲	۲	۱	۱	۳	۱	۲	۹
۲/۱	۲	۱	۲	۱	۳	۳	۳	۱۰



نقشه ۳: نمودار میانگین شاخص IAT در زیرحوضه‌های مورد مطالعه

### ارزیابی وضعیت تکتونیکی منطقه با استفاده از تصاویر راداری

پس از ارزیابی وضعیت تکتونیکی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص‌های مختلف، در این بخش به بررسی وضعیت تکتونیکی منطقه با استفاده از تصاویر راداری پرداخته شده است. تصاویر راداری دارای دقت بالایی هستند و از روش‌های نوین جهت بررسی وضعیت تکتونیکی مناطق محسوب می‌شوند. بر این اساس، در این مرحله با استفاده از روش تداخل سنجی راداری میزان جابجایی عمودی منطقه ارزیابی شده است و سپس ارتباط میزان جابجایی رخ داده با وضعیت تکتونیکی منطقه تحلیل شده است. در ادامه به تشریح میزان جابجایی عمودی منطقه بر اساس روش تداخل سنجی راداری پرداخته شده است:

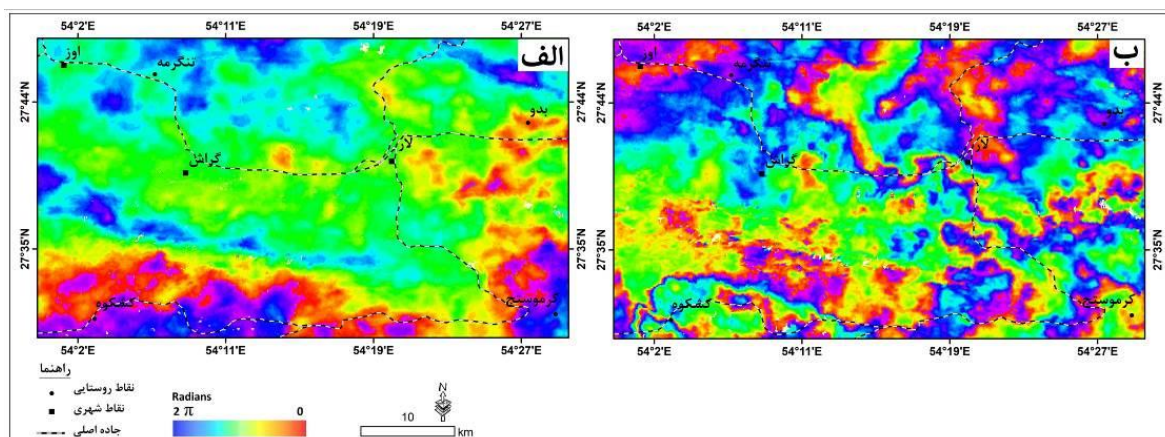
### الف) تهیه نقشه‌های اینترفروگرام

در این تحقیق پس از تهیه تصاویر مورد نظر، پیش‌پردازش‌های لازم از جمله تصحیح‌های هندسی و توپوگرافی بر روی تصاویر انجام شده است و سپس به منظور ارزیابی میزان جابجایی منطقه با استفاده از روش سری زمانی SBAS، ابتدا وضعیت بیس لاین زمانی و مکانی تصاویر بررسی شده است و بر اساس آن زوج تصاویر برای تشکیل اینترفروگرام انتخاب شده است (جدول ۶). لازم به ذکر است که در این پژوهش، زوج تصاویر بر اساس بیس لاین زمانی انتخاب شده‌اند.

جدول ۶: زوج تصاویر انتخابی برای تشکیل اینترفروگرام

ردیف	زوج تصاویر	ردیف	زوج تصاویر
۱	۲۰۲۰/۰۱/۲۰۲۰-۱۲/۰۲/۱۷	۱۱	۲۰۲۱/۰۱/۲۰۲۱-۰۶/۰۲/۱۱
۲	۲۰۲۰/۰۲/۲۰۲۰-۱۷/۰۳/۲۴	۱۲	۲۰۲۱/۰۲/۲۰۲۱-۱۱/۰۳/۱۹
۳	۲۰۲۰/۰۳/۲۰۲۰-۲۴/۰۴/۲۹	۱۳	۲۰۲۱/۰۳/۲۰۲۱-۱۹/۰۴/۲۵
۴	۲۰۲۰/۰۴/۲۰۲۰-۲۹/۰۶/۰۴	۱۴	۲۰۲۱/۰۴/۲۰۲۱-۲۵/۰۵/۳۰
۵	۲۰۲۰/۰۶/۲۰۲۰-۰۴/۰۷/۱۰	۱۵	۲۰۲۱/۰۵/۲۰۲۱-۳۰/۰۷/۰۵
۶	۲۰۲۰/۰۷/۲۰۲۰-۱۰/۰۸/۱۵	۱۶	۲۰۲۱/۰۷/۲۰۲۱-۰۵/۰۸/۱۰
۷	۲۰۲۰/۰۸/۲۰۲۰-۱۵/۰۹/۲۰	۱۷	۲۰۲۱/۰۸/۲۰۲۱-۱۰/۰۹/۱۵
۸	۲۰۲۰/۰۹/۲۰۲۰-۲۰/۱۰/۲۶	۱۸	۲۰۲۱/۰۹/۲۰۲۱-۱۵/۱۰/۲۱
۹	۲۰۲۰/۱۰/۲۰۲۰-۲۶/۱۲/۰۱	۱۹	۲۰۲۱/۱۰/۲۰۲۱-۲۱/۱۱/۲۶
۱۰	۲۰۲۰/۱۲/۲۰۲۱-۰۱/۰۱/۰۶	۲۰	۲۰۲۱/۱۱/۲۰۲۲-۲۶/۰۱/۰۱

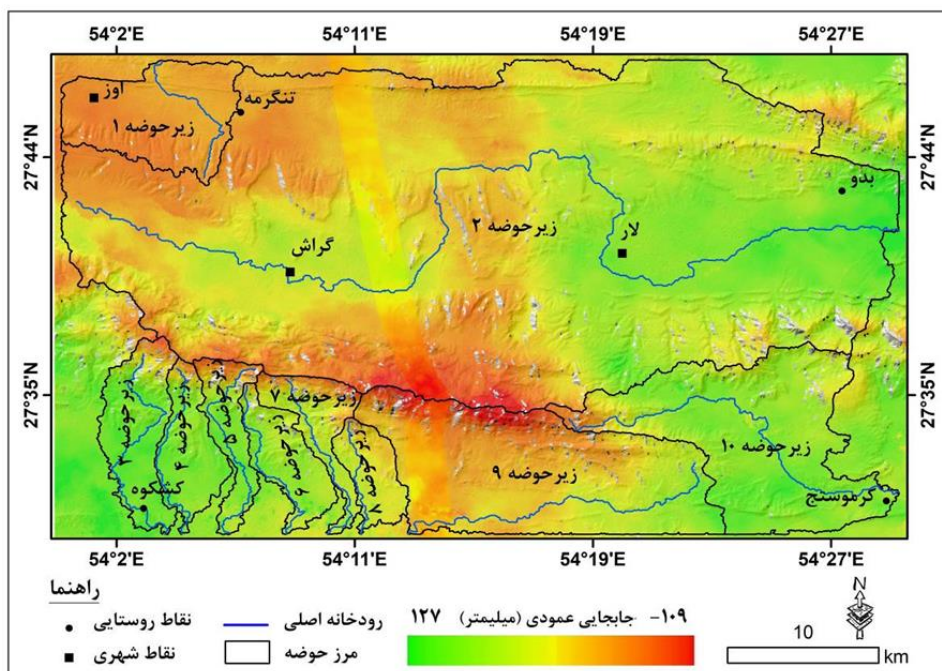
پس از انتخاب زوج تصاویر مورد نظر، از طریق نرم افزار GMT در سیستم عامل LINUX، نقشه‌های اینترفروگرام مورد نظر تهیه شده است که در شکل ۴ نمونه‌ای از آن‌ها نشان داده شده است. لازم به ذکر است که به منظور تهیه نقشه‌های اینترفروگرام، ضریب کوهرنسی ۰/۲ در نظر گرفته شده است.



شکل ۴: نقشه‌ها اینترفروگرام (الف) (۲۰۲۰/۰۲/۱۷-۲۰۲۰/۰۳/۲۴) (ب) (۲۰۲۰/۰۱/۱۲-۲۰۲۰/۰۲/۱۷)

**ب) تهیه نقشه نهایی میزان جابجایی عمودی منطقه**

پس از تهیه نقشه‌های اینترفروگرام، با استفاده از روش سری زمانی SBAS نقشه میزان جابجایی عمودی محدوده مطالعاتی تهیه شده است که بر اساس نتایج بدست آمده، محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی مورد مطالعه (از تاریخ ۲۰۲۰/۰۱/۱۲ تا ۲۰۲۲/۰۱/۰۱) دارای ۱۲۷ میلی‌متر بالآمدگی و ۱۰۹ میلی‌متر فرونشست بوده است (شکل ۵). بررسی وضعیت مکانی جابجایی عمودی رخ داده بیانگر این است که بخش زیادی از تاقدیس‌های جنوبی شهر لار و گراش با پایین‌رفتنی و بخش زیادی از دشت‌های این منطقه با بالآمدگی مواجه شده است. با توجه به این تغییرات می‌توان گفت که عامل تکتونیک، نقش اصلی را در جابجایی رخ داده در منطقه داشته است. بر این اساس می‌توان گفت که منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی دارای وضعیت فعالی است.



شکل ۵: نقشه میزان جابجایی عمودی منطقه از تاریخ (۲۰۲۰/۰۱/۱۲) تا (۲۰۲۲/۰۱/۰۱)

### بحث

بررسی وضعیت شاخص‌های ژئومورفیک در منطقه مورد مطالعه نشان داده است که محدوده مطالعاتی از نظر تکتونیکی دارای وضعیت فعالی است. همچنین نتایج بدست آمده از تصاویر راداری نیز بیانگر فعال بودن منطقه از نظر تکتونیکی است. بررسی وضعیت کلی میزان جابجایی عمودی منطقه، بیانگر اثرگذاری مستقیم آن در برخی از شاخص‌ها است. نتایج بدست آمده از شاخص انتگرال هیپسومتری (Hi) بیانگر این است که تمامی حوضه‌های مورد مطالعه دارای ضریب کم‌تر از ۰/۴ هستند که این مسئله بیانگر فعالیت کم تکتونیکی منطقه است. شاخص انتگرال هیپسومتری بر اختلاف ارتفاع حوضه تاکید دارد. نتایج بدست آمده از تصاویر راداری نشان داده است که مناطق پایین‌دست حوضه‌ها در حال بالآمدگی و مناطق بالادست حوضه‌ها در حال فرونشینی است. در واقع، نتایج تصاویر راداری نشان داده است که فعالیت‌های تکتونیکی سبب شده است تا اختلاف ارتفاع حوضه‌ها کم باشد. بنابراین می‌توان گفت که ضریب پایین شاخص انتگرال هیپسومتری علاوه بر عوامل فرسایشی، متأثر از عوامل تکتونیکی منطقه نیز می‌باشد. همچنین بالآمدگی مناطق پایین‌دست حوضه‌ها، سبب شده است تا ضریب فعالیت‌های تکتونیکی منطقه از نظر شاخص‌های S, SI, BS و Gi در بعضی از زیرحوضه‌ها پایین باشد و از نظر این شاخص‌ها دارای فعالیت تکتونیکی کمی باشند در حالی که بر اساس تصاویر راداری، این زیرحوضه‌ها دارای فعالیت تکتونیکی هستند. مجموع نتایج حاصله از این بخش نشان داده است که نوع جابجایی عمودی منطقه سبب شده است تا بعضی از شاخص‌ها از جمله S, SI, BS, Hi و Gi، میزان فعالیت تکتونیکی منطقه را کم‌تر از آنچه که هست نشان دهند.

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصله از این پژوهش نشان داده است که محدوده زاگرس فارس تحت تاثیر موقعیت زمین‌ساختی که دارد، دارای وضعیت تکتونیکی فعالی است که این مسئله را هم شاخص‌های مورد استفاده و هم نتایج حاصله از تصاویر راداری تایید کرده است. نتایج حاصله از شاخص‌های مورد استفاده نشان داده است که زیرحوضه‌های محدوده مطالعاتی همانند زیرحوضه‌های زاگرس چین‌خورده (بهرامی، ۲۰۱۳)، زیرحوضه‌های منطقه دامنگانگا در هند (کومار و همکاران، ۲۰۲۲) و زیرحوضه‌های سواحل مکران (گورابی و امامی، ۱۳۹۶)، دارای وضعیت تکتونیکی فعالی هستند. همچنین نتایج حاصله از روش تداخل‌سنجی راداری نشان داده است که محدوده مطالعاتی در طی دوره زمانی مورد مطالعه (از تاریخ ۲۰۲۰/۰۱/۱۲ تا ۲۰۲۲/۰۱/۰۱) دارای ۱۲۷ میلی‌متر بالآمدگی و ۱۰۹ میلی‌متر فرونشست بوده است. بررسی وضعیت مکانی جابجایی عمودی رخ داده بیانگر این است که بخش زیادی از تاقدیس‌های جنوبی شهر لار و گراش با پایین‌رفتنی و بخش زیادی از دشت‌های این منطقه همانند بخش‌های شمالی دشت اشتهارد (نایب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷) با بالآمدگی مواجه شده است. با توجه به این تغییرات می‌توان گفت که عامل تکتونیک، نقش اصلی را در جابجایی رخ داده در منطقه داشته است. بر این اساس می‌توان گفت که منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی دارای وضعیت فعالی است. همچنین در این پژوهش، به بررسی ارتباط بین میزان جابجایی عمودی منطقه و شاخص‌های ژئومورفیک پرداخته شده است. در ابتدا باید گفت که صحت شاخص‌های ژئومورفیک مورد تایید است چراکه بر اساس تصاویر راداری نیز منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی دارای وضعیت فعالی است. اما نکته قابل توجه از نتایج حاصله از تصاویر راداری، نوع جابجایی رخ داده و تاثیر بر شاخص‌های ژئومورفیک است. در واقع، همانطور که گفته شد، واحد دشت‌های منطقه دارای بالآمدگی هستند و همین مسئله سبب شده است تا اختلاف ارتفاع حوضه کم شود. بر این اساس، نوع جابجایی عمودی منطقه سبب شده است تا بعضی از شاخص‌ها از جمله S, SI, BS, Hi و Gi، میزان فعالیت تکتونیکی منطقه را کم‌تر از آنچه که هست نشان دهند. در مجموع نتایج حاصله تا این مرحله نشان داده است که بعضی از شاخص‌های ژئومورفیک، وضعیت تکتونیکی منطقه را کم‌تر از مقدار واقعی نشان می‌دهند.

## منابع

- پاینده، ز؛ ثروتی، م؛ شفینگی، ف؛ ۱۳۹۵. ارزیابی فعالیت‌های نوزمین ساختی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک (مطالعه موردی: شمال غرب طاق‌دیس کبیرکوه)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۴ شماره ۲، صص ۱۱۸-۱۰۴.
- جعفری، غ؛ ناصری، ف؛ ۱۳۹۹. بررسی خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های زاگرس در ارتباط با شرایط کارستی شدن. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۳۲، شماره ۱، صص ۴۴-۲۵.
- رضایی‌مقدم، م.ح؛ قدری، م؛ موید، م؛ ۱۳۸۹. بررسی دولین‌های منطقه تخت سلیمان به روش تحلیل خوشه‌ای. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۴، شماره ۴، صص ۲۱۴-۱۹۱.
- صبوری، م.س؛ حاجی‌علی‌بیگی، ح؛ ۱۴۰۱. بررسی شواهد تکتونیک فعال و ویژگی‌های حریم گسل کوشک و آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی، استان قزوین. مسکن و محیط روستا، دوره ۴۱، شماره ۱۷۷، صص ۴۴-۲۹.
- گنجائیان، ح؛ یمانی، م؛ گورابی، ا؛ مقصودی، م؛ ۱۳۹۹. انطباق شاخص‌های مورفوتکتونیک با کانون‌های زمین‌لرزه در زاگرس شمال غرب (حوضه‌های سیروان و قره‌سو). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۳۱، شماره ۴، صص ۱۱۳-۱۳۰.
- گورابی، ا. ۱۳۹۵. ترجمه کتاب تکتونیک فعال (زمین‌لرزه‌ها، بالآمدگی و چشم‌انداز). مولفان ادوارد کلر و نیکولاس پینتر، انتشارات انتخاب، ۳۷۵ صفحه.
- گورابی، ا؛ امامی، ک؛ ۱۳۹۶. تأثیرات نوزمین ساخت بر تغییرات مورفولوژیک حوضه‌های زهکشی سواحل مکران، جنوب شرق ایران، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۶، شماره ۱، صص ۸۹-۷۴.
- مختاری، د؛ ۱۳۸۳. شبکه‌های رودخانه‌ای ناموافق در بخش شرقی دامنه شمالی میشو داغ و نقش فعالیت‌های تکتونیک در شکل‌گیری آن. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۷، صص ۱۵۵-۱۷۵.
- مختاری، د؛ ۱۳۸۴. نقش نوزمین‌ساخت در تکامل سیستم‌های رودخانه‌ای در کواترنر مورد نمونه: رودخانه‌های دامنه شمالی میشوداغ. علوم زمین، دوره ۵۷، شماره ۱۵، صص ۷۷-۶۴.
- نایب‌زاده، ف؛ مددی، ع؛ عزیزی، ق؛ ۱۳۹۷. بررسی فعالیت تکتونیک در حوضه دشت اشتهارد با استفاده از تداخل‌نگار راداری. جغرافیا و پایداری محیط، دوره ۸، شماره ۱، صص ۲۷-۱۵.
- نجفی، ا؛ صفاری، ا؛ قنوتی، ع؛ کرم، ا؛ ۱۳۹۳. ارزیابی فعالیت‌های نوزمین‌ساختی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیک در حوضه‌های آبریز کلان‌شهر تهران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۱، شماره ۴، صص ۲۲-۱.
- *Abbouda, M., Maouche, S., Bouhadad, Y., Belhai, D., 2019. Neotectonics and active tectonics of the Dahra-Lower Chelif Basin (Tell Atlas, Algeria). Journal of African Earth Sciences, 153, 250-267.*
- *Aslan, G., Cakir, Z., Lasserre, C., Renard, F., 2019. Investigating Subsidence in the Bursa Plain, Turkey, Using Ascending and Descending Sentinel-1 Satellite Data, Remote Sens, 11 (1), 1-17*
- *Bahrani, S., 2013. Analyzing the drainage system anomaly of Zagros basins: Implications for active tectonics. Tectonophysics, 608, 914-928.*
- *Bahrani, S., Capolongo, D., Mofrad, M. R., 2020. Morphometry of drainage basins and stream networks as an indicator of active fold growth (Gorm anticline, Fars Province, Iran). Geomorphology, 355.*

- Deh Bozorgi, M. Pour kermani, M. Arian, M. Matkan, A. A. Motamedi, H. Hosseini Asl. 2010. *Quantitative Analysis of ReIATive Tectonic Activity in The Sarvestan Area*, *Geomorphology*. 12.
- Hamdouni, R.El. Iriggaray, C. Fernandez, T. Chacon, J. Keller, EA. 2008. *Assessment Of reIATive active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain)*. *Geomorphology*. 96.
- Keller, E. A., Pinter, N., 2002. *Active tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape (second edition): Englewood Cliffs. New Jersey, Prentice Hall*, 362.
- Kumar, N., Dumka, R. K., Mohan, K., Chopra, S., 2022. *Relative active tectonics evaluation using geomorphic and drainage indices, in Dadra and Nagar Haveli, western India*. *Geodesy and Geodynamics*, 13 (3), 219-229.
- Radaideh, O. M., Mosar, J., 2019. *Tectonics controls on fluvial landscapes and drainage development in the westernmost part of Switzerland: Insights from DEM-derived geomorphic indices*. *Tectonophysics*, 768.
- Ramirez- Herrera, M.T., 1998. *Geomorphic assessment of active tectonics in the Acambay graben, Mexican Volcanic belt*. *Earth surface processes and land forms*, 23, 317-322.
- Sedrette, S., Rebai, N. 2022. *A GIS Approach Using Morphometric Data Analysis for the Identification of Subsurface Recent Tectonic Activity. Case Study in Quaternary Outcrops—North West of Tunisia*. *Journal of Geographic Information System*, 14(1), 94-112.