

ارزیابی فعالیت نسبی زمین ساختی و تحلیل جنبش‌شناختی شمال پلدختر، غرب ایران

سمیه دریگوند* - استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد، لرستان، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۱۸ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۱/۱۶

چکیده

شاخص‌های زمین ریختی به دلیل هزینه کم و سهولت نسبی استفاده به طور گسترده در تحقیقات زمین ریخت‌شناسی زمین ساختی مورد استفاده قرار می‌گیرند. منطقه مورد مطالعه در شمال شهرستان پلدختر واقع در استان لرستان می‌باشد و بخشی از کمربند چین خورده-رانده زاگرس است. کمربند چین خورده-رانده زاگرس به‌عنوان یکی از فعال‌ترین مناطق زمین‌ساختی جهان، از تأقیس‌هایی با روند شمال غرب-جنوب شرق تشکیل شده که به صورت عمودی و جانبی در حال رشد هستند. هدف اصلی این مقاله بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. با استفاده از ۶ شاخص زمین‌ریخت‌شناسی (شاخص‌های گرادیان طول رودخانه (SL)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، نسبت شکل حوضه زهکشی (Bs)، انتگرال هیپسومتری (Hi)، نسبت پهنای کف بستر به ارتفاع دره (Vf)، و پیچ و خم رودخانه (S)) ۱۹ حوضه زهکشی در منطقه مورد مطالعه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. برای محاسبه شاخص‌ها، نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای و مدل ارتفاعی رقومی با قدرت تفکیک ۳۰ متر با استفاده از نرم افزار ARC GIS 10.2 و در محیط ARC Hydro مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور بدست آوردن شاخص فعالیت نسبی زمین ساختی (Iat)، پارامترهای محاسبه شده ترکیب شدند. میانگین این ۶ شاخص زمین‌ریختی محاسبه شده و برای ارزیابی توزیع فعالیت نسبی زمین ساختی در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. مقادیر Iat نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا در حوضه‌های ۸، ۱۲، ۱۷ و ۱۹ می‌باشد که ۲۲ کیلومترمربع از مساحت منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. نتایج تحلیلی بیانگر انطباق قابل قبولی بین نقشه پهنه بندی بدست آمده با شواهد ساختاری، زمین‌ریختی و داده‌های لرزه‌ای در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

واژگان کلیدی: زاگرس، کمربند چین خورده-رانده، ریخت زمین ساخت، شاخص‌های زمین‌ریختی، شمال پلدختر، فعالیت نسبی زمین ساختی.

مقدمه

زمین‌ساخت نقش بسیار مهمی در تکامل حوضه‌های زهکشی منطقه ایفا می‌کند. با استفاده از ویژگی‌های مورفوتکتونیک، ساختاری و رودخانه‌ای می‌توان به تحلیل و بررسی زمین‌ساخت-زمین‌ریخت‌شناسی منطقه پرداخت. در مناطق لرزه‌ای فعال، نتایج این مطالعات در ارزیابی مخاطرات طبیعی مانند زلزله، زمین‌لغزش و سیل و در توسعه و مدیریت اراضی پایدار کاربرد دارد. زمین‌ساخت-زمین‌ریخت‌شناسی به عنوان یک زیرشاخه تحقیقاتی جدید زمین‌شناسی، به مطالعه برهمکنش‌های بین فرآیندهای زمین‌ساختی و سطحی می‌پردازد و روشی محبوب برای کاوش دگرشکلی‌های فعال سطح زمین است (اوون^۱، ۲۰۱۳). افزایش دسترسی به مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs) و نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مطالعه لندفرم‌های زمین‌ساختی را به مرحله نیمه کمی و کمی ارتقا داده است.

توپوگرافی امروزی رشته کوه‌ها نتیجه تعامل بین فرآیندهای زمین‌ساختی و فرسایشی است. تحلیل زمین‌ریخت‌شناسی جبهه‌های کوهستانی سرنخ‌های قابل توجهی برای بازسازی فعالیت زمین‌ساختی گسل‌های محصور کننده رشته کوه در مقیاس‌های زمانی متغیر (۱۰^۳-۱۰^۶ سال) ارائه می‌دهد (کلر و پینتر^۲ ۲۰۰۲). مطالعات متعددی کاربرد بالای تحلیل‌های ریخت‌سنجی در مقیاس حوضه زهکشی را برای ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی نشان داده‌اند (بول و مک فادن^۳ ۱۹۷۷؛ کلر و پینتر^۴ ۲۰۰۲؛ ده بزرگی^۴ و همکاران ۲۰۱۰). برای به دست آوردن یک شاخص کلی از فعالیت زمین‌ساختی نسبی می‌توان شاخص‌های زمین‌ریختی مختلف را با استفاده از GIS با هم ترکیب کرد (الحمودنی و همکاران^۵ ۲۰۰۸؛ ده بزرگی و همکاران ۲۰۱۰). یکی از روش‌های کاربردی ارزیابی کمی فعالیت‌های زمین‌ساختی توسط الحمودنی و همکاران (۲۰۰۸) ارائه شد. شاخص فعالیت زمین‌ساختی نسبی (I_{at}) در مناطق مختلف از نظر زمین‌ساختی فعال استفاده شد، برای مثال: کوه‌های سیرا نوادا (الحمودنی و همکاران ۲۰۰۸)، شمال ایران (علائی^۶ و همکاران ۲۰۱۷، علیزاده و خادمی ۱۴۰۱)، شمال شرقی ایران (رجبی و همکاران ۱۳۸۵) البرز مرکزی (بقا^۷ و همکاران ۲۰۱۴؛ بشکنی و صالحی‌پور میلانی ۱۳۹۸، صفاری و همکاران ۱۳۹۷)، زاگرس مرکزی (ده بزرگی و همکاران ۲۰۱۰)، زاگرس مرتفع (آرین و آرام^۸ ۲۰۱۴، گنجیان و همکاران ۱۳۹۹) و فلات تبت (چانگ^۹ و همکاران ۲۰۱۵).

مطالعات زمین‌ساخت-زمین‌ریخت‌شناسی در کمربندهای چین خورده-رانده منجر به شناسایی گسل‌های فعال، مراحل تکاملی کوه‌ها و ارزیابی خطر زلزله می‌شود (کلر و پینتر ۲۰۰۲). این مطالعات بر اساس رقابت مداوم بین فرآیندهای زمین‌ساختی که توپوگرافی را ایجاد می‌کنند و فرآیندهای سطحی که تمایل به فرسایش ویژگی‌های توپوگرافی به مناظر مسطح دارند (باربانک و اندرسون^{۱۰} ۲۰۰۱) انجام می‌شود. تغییرشکل نوزمین‌ساختی همراه با آب و هوا و سنگ‌شناسی سنگ بستر، عامل اصلی کنترل توسعه زمین‌ریختی و تکامل کمربند زاگرس است. تاریخچه این کمربند از بسیاری جهات منعکس کننده تأثیر حرکت‌های افقی و عمودی پوسته است که در گذشته رخ داده و امروزه نیز ادامه دارد.

به طور کلی شناسایی گسل‌ها و چین‌خوردگی‌های فعال، ارزیابی خطر لرزه‌ای، تکامل لندفرم، نواحی برشی و مناطق رسوب‌گذاری، انحراف رودخانه و فرسایش رو به جلو ارتباط نزدیکی با مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی دارند و می‌توانند در

1. Owen

2. Keller and Pinter

3. Bull and McFadden

4. Dehbozorgi

5. El Hamdouni

6. Alaei

7. Bagha

8. Arian and Aram

9. Chang

10. Burbank and Anderson

مدیریت جوامع انسانی مهم باشند. زمین‌ساخت فعال در تاقدیس‌های بالاآمده زون ساختاری زاگرس، به ویژه در کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس، لندفرم‌های مختلفی را ایجاد کرده است. شواهد زمین‌ریختی به شناخت بهتر چگونگی انتشار چین‌های جانبی (بهرامی^۱ و همکاران ۲۰۲۰)، درک مکانیک چین‌خوردگی و گسلش معکوس و به تله افتادن و مهارجرت هیدروکربور در مخازن تاقدیسی شکل کمک می‌کند (زباری و باربری^۲، ۲۰۱۵). زمین‌ریخت‌شناسی زمین‌ساختی، به دلیل تکنیک‌های سریع، کم‌هزینه و آسان برای اجرا، می‌تواند ابزاری عالی برای بهبود درک توسعه کمربندهای چین‌خورده مانند زاگرس باشد.

منطقه شمالی پلدختر به عنوان بخشی از کمربند چین‌خورده - رانده زاگرس، دارای تاقدیس‌های بزرگ و کوچک حاصل از نیروهای زمین‌ساختی می‌باشد. با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام شده، منطقه مورد مطالعه تا به حال براساس شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی مورد مطالعه قرار نگرفته است. برای پیش‌بینی شرایط و تغییرات در آینده این تحقیق الزامی است. با توجه به وجود اشکال ریخت زمین‌ساختی متنوع در این منطقه، بررسی چگونگی پیدایش و ارتباط این اشکال با زمین‌ساخت عمومی منطقه می‌تواند رهگشای بسیاری از ابهامات موجود در تکامل زمین‌ساختی و زمین‌ریخت‌شناسی مربوط به این منطقه از کمربند زاگرس باشد. به طور کلی هدف از این مطالعه، بررسی میزان فعالیت زمین‌ساختی نسبی با ارزیابی شاخص‌های ریخت‌سنجی و تحلیل ساختاری در منطقه شمال پلدختر می‌باشد که در نهایت می‌توان از یافته‌های آن در امر برنامه‌ریزی محیطی استفاده نمود.

روش تحقیق

شاخص‌های زمین‌ریختی در مطالعات تکنونیک‌ی فعال مفید هستند و ارزیابی قابل اعتمادی را ارائه می‌دهند (بول و مک فادن ۱۹۷۷؛ کلر و پینتر ۲۰۰۲). با استفاده از چند شاخص ریخت زمین‌ساختی، می‌توان فعالیت تکنونیک‌ی نسبی را برای منطقه مورد مطالعه ارزیابی کرد. در این پژوهش ارزیابی اثر تکنونیک‌ی فعال بر حوضه‌ها و شبکه‌های زهکشی، با تلفیقی از پیمایش‌های صحرایی و تحلیل ساختاری و ریخت زمین‌ساختی منطقه، استخراج خطواره‌های گسلی و بررسی آبراهه‌ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و روش‌های سنجش از دور و محاسبه شاخص‌های ریخت‌سنجی صورت پذیرفته است. با استفاده از نرم افزار Arc GIS و لایه DEM با دقت ۳۰ متر شبکه آبراهه‌ها و ۱۹ حوضه تعریف شد. سپس برای هر حوضه به محاسبه شاخص‌ها پرداخته شد و برای هر شاخص نقشه پهنه بندی رسم شد. شاخص‌های ریخت‌سنجی استفاده شده در این مطالعه عبارتند از: گرادیان طول رودخانه (SL)، نسبت پهنای کف بستر به ارتفاع دره (Vf)، شاخص پیچ و خم رودخانه (S)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، انتگرال هیپسومتری (Hi) و نسبت شکل حوضه زهکشی (BS). به منظور بررسی کلی سطح فعالیت زمین‌ساختی، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه شده و نقشه پهنه بندی این شاخص رسم شد. بر اساس نتایج حاصل از محاسبه و رده بندی شاخص‌های ریخت‌سنجی به ارزیابی زمین‌ساخت فعال نسبی می‌پردازیم. بدین صورت که هر کدام از شاخص‌های مذکور با توجه به مقادیری که دارا هستند به سه رده تقسیم می‌شوند. سپس برای به دست آوردن نتایج دقیق تر، شش شاخص به چهار رده تقسیم شدند (الحمودنی و همکاران ۲۰۰۸). با میانگین‌گیری از رده کل شاخص‌ها (S/n)، شاخص نهایی زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) برای ۱۹ حوضه محاسبه شده و به ۴ رده زمین‌ساختی تقسیم‌بندی می‌شود: رده ۱ فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا ($S/n < 1/5$)، رده ۲ فعالیت بالا ($1/5 < S/n < 2$)، رده ۳ فعالیت متوسط ($2 < S/n < 5/2$) و رده ۴ فعالیت زمین‌ساختی کم ($S/n > 5/2$). در نهایت، نتایج حاصل از شاخص‌ها، شواهد ساختاری و زمین‌ریختی مشاهده شده در مطالعات میدانی و داده‌های لرزه نگاری مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفت.

1. Bahrami

2. Zebari and Burberry

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال شهرستان پلدختر، بین طول‌های جغرافیایی ۴۸.۳۸ تا ۴۷.۵۸ درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۳.۱۷ تا ۳۳.۶۴ شمالی، در زیر پهنه لرستان و در غرب زاگرس چین خورده-رانده واقع شده است (شکل ۱). در این منطقه تاقدیس‌های پشت جنگل، امیران و بخشی از تاقدیس چهارقلعه رخنمون یافته اند. رخنمون‌های سنگی آنها از نهشته‌های کرتاسه بالایی و سنوزویک هستند. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه سازندهای سروک، گورپی، امیران، تله زنگ، کشکان، آسماری-شهبازان، گچساران، آغاچاری و رسوبات آبرفتی کواترنری رخنمون دارند.

کوهزایی زاگرس با امتداد شمال غرب- جنوب شرق، حاصل فرایند برخورد مورب بین صفحات آفرو- عربی و ایران در اواخر الیگوسن-میوسن اولیه می باشد (آگارد^۱ و همکاران ۲۰۰۵). این کوهزایی به‌عنوان یکی از جوان‌ترین کمربندهای برخورد قاره‌ای در دنیا محسوب می‌شود و امروزه با نرخ همگرایی 22 ± 2 میلیمتر برسال در امتداد $8^{\circ} \pm 5^{\circ} E$ پویا می باشد (ورنانت^۲ و همکاران ۲۰۰۴). میزان کوتاه‌شدگی در طول زاگرس ثابت نیست و از ۴.۵ میلیمتر بر سال در شمال غرب، به ۹ میلیمتر بر سال در جنوب غرب تغییر می‌کند. تغییرات روند کمربند چین خورده-رانده زاگرس تحت تاثیر جهت همگرایی، باعث تنوع مکانیسم تغییرشکل می‌شود.

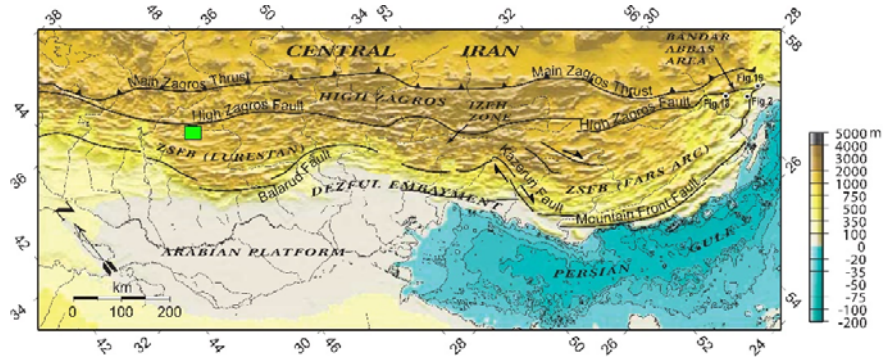
در اثر این همگرایی مورب چین خوردگی‌ها، گسل‌های راندگی و گسل‌های امتدادلغز بزرگ مقیاس در کمربند زاگرس شکل گرفته‌اند که امروز نیز در حال رشد و فعالیت هستند. دینامیک این همگرایی توپوگرافی، ساختارها، توزیع زمین لرزه‌ها و گسل‌های فعال در کمربند زاگرس را کنترل می‌کند. کمربند چین خورده-رانده زاگرس به دلیل موقعیت خاص زمین‌ساختی، سبک چین‌خوردگی و تنوع رخساره‌های رسوبی و ضخامت لایه‌ها، الگوی خاصی از دگرشکلی ساختاری و فعالیت‌های لرزه زمین‌ساختی و نوزمین‌ساختی را نشان می‌دهد. بر اساس الگوهای ساختاری، تکاملی و تغییرات رخساره‌های جانبی زمین‌شناسی سنگ بستر، کمربند زاگرس به سه زیر پهنه زمین ساخت-چینه‌شناسی لرستان، فروبار دزفول و ناحیه فارس تقسیم شده است (آگارد و همکاران ۲۰۰۵). زیر پهنه لرستان در شمال غرب زاگرس چین خورده-رانده واقع شده که از جنوب شرق با گسل بالارود، از جنوب غرب با گسل پیشانی کوهستان، از غرب با گسل خانقین و از شمال شرق با گسل زاگرس بلند محدود می‌شود. در طول مراحل مختلف دگرشکلی پیشرونده، وجود سطوح جدایش متعدد و گسل‌های راندگی مرتبط با آنها، هندسه چین خوردگی‌های مرتبط با راندگی را پیچیده نموده است (مک کوری^۳ ۲۰۰۴).

در هسته تاقدیس‌های مرتبط با گسل پشت جنگل، امیران و چهارقلعه به ترتیب سازندهای سروک، گورپی و امیران رخنمون یافته اند (شکل ۲). الگوهای مطرح شده در مورد چین‌های مرتبط با گسل نشان می‌دهند که این تاقدیس‌ها از نوع چین جدایشی نامتقارن هستند و سطوح جدایش میانی (سازندهای گرو، گورپی و امیران) نقش مهمی در شکل‌گیری هندسه این ساختارها دارند (دریکوند و یساقی ۱۳۸۹، قاسمی و همکاران ۱۳۹۸).

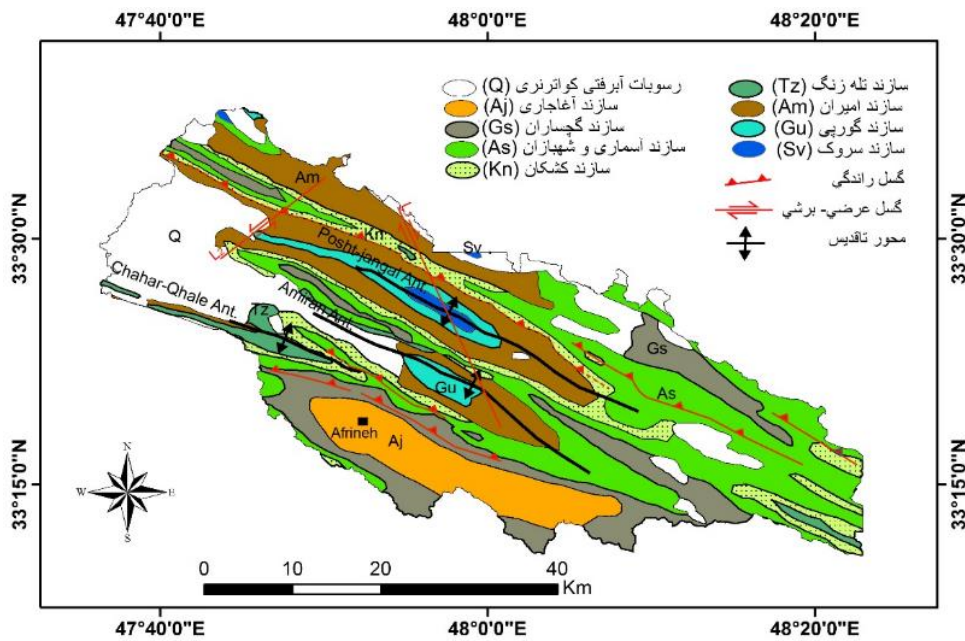
1. Agard

2. Vernant

3. McQuarrie



شکل ۱: نقشه ساختاری زیر پهنه‌های کمربند چین خورده- رانده زاگرس (شرکتی^۱ و همکاران ۲۰۰۵) و موقعیت زیرپهنه لرستان. محدوده منطقه مورد مطالعه با مستطیل سبز رنگ، نشان داده شده است.



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

بحث و یافته‌ها

شاخص‌های ریخت‌سنجی

شاخص‌های زمین ریختی در مطالعات تکتونیکی فعال مفید هستند و ارزیابی قابل اعتمادی را ارائه می‌دهند (بول و مک فادن ۱۹۷۷؛ کلر و پینتر ۲۰۰۲). با استفاده از چند شاخص ریخت زمین‌ساختی، می‌توان فعالیت تکتونیکی نسبی را برای منطقه مورد مطالعه ارزیابی کرد. در این پژوهش، برای هر حوضه به محاسبه شاخص‌ها پرداخته شد و برای هر شاخص نقشه پهنه بندی رسم شد. شاخص‌های ریخت‌سنجی استفاده شده در این مطالعه عبارتند از: گرادیان طول رودخانه (SL)، نسبت پهنای کف بستر به ارتفاع دره (Vf)، شاخص پیچ و خم رودخانه (S)، عدم تقارن حوضه زهکشی (Af)، انتگرال

^۱. Sherkati

هیپسومتری (Hi) و نسبت شکل حوضه زهکشی (Bs). به منظور بررسی کلی سطح فعالیت زمین‌ساختی، شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی (Iat) محاسبه شده و نقشه پهنه بندی این شاخص رسم شد.

شاخص گرادبان طول رودخانه

بسیاری از فرآیندها سطح سیاره زمین را شکل می‌دهند، اما عمل آب جاری مسئول بیشتر مناظر زیر هوایی است. به طور کلی تغییرات این شاخص تحت تأثیر سه عامل بالآآمدگی ناشی از فعالیت زمین‌ساختی، اختلاف سنگ شناسی و تغییرات سطح اساس دریا در دوره کوتاه‌تر هستند (فونت^۱ و همکاران ۲۰۱۰). بالآآمدگی شیب رودخانه‌ها را افزایش می‌دهد، که با تندتر کردن دامنه‌های تپه، فرسایش حوضه زهکشی را تسریع می‌کند (بول ۲۰۰۷). شاخص گرادبان طول رودخانه (SL) برای ارزیابی ارتباط بین فعالیت زمین‌ساختی احتمالی، مقاومت سنگ و توپوگرافی در طول حوضه زهکشی استفاده می‌شود. شاخص SL یکی از شاخص‌های زمین‌ریختی است که ارتباط بین فرسایش و فرآیند جریان رودخانه را نشان می‌دهد و این شاخص با قدرت رودخانه ارتباط دارد. از آنجا که شاخص SL به تغییر در شیب کانال حساس است، ابزار موثری برای ارزیابی کانال‌های رودخانه است. شاخص SL طبق معادله زیر محاسبه می‌شود (هک ۱۹۷۳):

$$SL = (\Delta H / \Delta Lr) Lsc$$

در این معادله ΔH تغییر در ارتفاع، ΔLr طول فاصله بین دو خط تراز مجاور را نشان می‌دهد و Lsc طول کلی کانال از تقسیم تا نقطه میانی دسترسی است. بر اساس مقادیر بدست آمده از این شاخص، حوضه ۱۸ (SL=۷۱۳) بیشترین فعالیت را نشان می‌دهد. به طور کلی فعالیت‌های زمین‌ساختی در حوضه‌های ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۸ و ۱۹ زیاد است (شکل ۳ الف). این حوضه‌ها تطابق خوبی با گسل‌های راندگی در منطقه نشان می‌دهد که دلالت بر فعالیت زمین‌ساختی این گسل‌ها دارد. محدوده مقادیر SL برای نوزده حوضه بین ۸۶.۵۶ (حوضه ۴) تا ۷۱۳.۲۱ (حوضه ۱۸) قرار دارد.

انتگرال هیپسومتری

منحنی هیپسومتریک توزیع ارتفاع/مساحت نواحی زهکشی در مقیاس‌های مختلف از منطقه ای تا قاره ای را تعریف می‌کند و انتگرال هیپسومتری (Hi) به عنوان ناحیه زیر منحنی هیپسومتریک تعریف می‌شود (کلر و پینتر ۲۰۰۲). معادله زیر برای محاسبه این شاخص مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$Hi = (\text{average elevation} - \text{minimum elevation}) / (\text{maximum elevation} - \text{minimum elevation})$$

مقادیر بالای Hi نشان دهنده نواحی فعال زمین‌ساختی می‌باشد و مقادیر پایین آن به نواحی قدیمی با فعالیت زمین‌ساختی پایین اشاره دارد.

ارتفاع هموار با دره‌های عمیق یک مقدار انتگرال هیپسومتری بالا می‌دهد که با منحنی محدب نشان داده می‌شود. مقادیر بالا، به ویژه بالاتر از مقدار ۰.۶، پهنه‌های فعال زمین‌ساختی با نرخ بالآآمدگی بالا را نشان می‌دهد (چن^۲ و همکاران، ۲۰۰۳). مقدار انتگرال هیپسومتری متوسط یا کم، حوضه‌های زهکشی بالغ را مشخص می‌کند (کلر و پینتر، ۲۰۰۲). مقدار انتگرال هیپسومتری ۱ نشان دهنده حوضه زهکشی جوان، ۰.۵ نشان دهنده حوضه تعادلی و ۰ نشان دهنده بلوغ در حوضه زهکشی است (پانک^۳ ۲۰۰۴). علاوه بر این، مقادیر هیپسومتریک فرسایش بالقوه سنگ را نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر

1. Font

2. Chen

3. Panek

بدست آمده از این شاخص، حوضه‌های ۵، ۶، ۷، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ جزو مناطق جوان قرار گرفته‌اند (شکل ۳ ب). محدوده مقادیر H_i برای نوزده حوضه بین ۰.۳۱ (حوضه ۴) تا ۰.۶ (حوضه ۱۶) قرار دارد.

عدم تقارن حوضه زهکشی

شاخص عدم تقارن (AF) معمولاً برای تشخیص کج شدن زمین‌ساختی حوضه زهکشی استفاده می‌شود (کلر و پینتر ۲۰۰۲، الحمدونی و همکاران ۲۰۰۸). این شاخص با معادله زیر تعریف می‌شود:

$$AF = |50 - (Ar \cdot 100 / At)|$$

Ar مساحت سمت راست آبراهه اصلی و At مساحت کل حوضه زهکشی را نشان می‌دهد. اگر مقدار AF به عدد ۱۰۰ نزدیک شود، کج شدگی حوضه به سمت چپ و اگر به صفر نزدیک شود کج شدگی حوضه به سمت راست را نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر بدست آمده از این شاخص، حوضه‌های ۲، ۷، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۶ فعالیت زمین‌ساختی بالایی نشان می‌دهند (شکل ۳ ج). بیشتر حوضه‌های واقع در مسیر گسل‌ها دارای کج شدگی بوده و فعالیت زمین‌ساختی متوسط به بالا را نشان دهند. محدوده مقادیر AF برای نوزده حوضه بین ۰.۱۸ (حوضه ۵) تا ۲۴.۳۹ (حوضه ۷) قرار دارد.

نسبت پهنای کف بستر به ارتفاع دره

نسبت پهنای کف بستر به ارتفاع دره (Vf) یک شاخص مهم برای نشان دادن تکامل زمین‌ساختی رودخانه است (کلر و پینتر ۲۰۰۲). جریان‌های رودخانه‌ای با حفر فعال به سمت پایین، دره‌های V شکل ایجاد می‌کنند، در حالی که، جریان‌هایی که به صورت جانبی در شیب‌های دیواره‌های مجاور فرسایش می‌دهند، دره‌های U شکل با کف مسطح را ایجاد می‌کنند. این شاخص به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Vf = 2 \cdot Vfw / [(Eld - Esc) + (Erd - Esc)]$$

Vfw پهنای کف دره، Eld و Erd ارتفاع متوسط خط تقسیم در سمت چپ و راست دره و Esc ارتفاع کف دره از سطح آب‌های آزاد است. با توجه به تقسیم بندی الحمدونی و همکاران (۲۰۰۸)، مقادیر Vf کمتر از ۰.۵ در رده فعال زمین‌ساختی، Vf بین ۰.۵ و ۱ در رده متوسط و مقادیر Vf بیشتر از ۱، در رده سه با فعالیت زمین‌ساختی پایین قرار می‌گیرند. مقادیر Vf بالا نشان دهنده نرخ‌های بالآمدگی پایین و در نتیجه فرآیندهای فرسایشی غالب است، در حالی که مقادیر پایین Vf نشان دهنده مناطق با بالآمدگی زمین‌ساختی است که به شدت به دلیل فعالیت زمین‌ساختی فرسایش یافته‌اند (بول و مک فادن ۱۹۷۷؛ کلر و پینتر ۲۰۰۲). بر اساس مقادیر بدست آمده از این شاخص، حوضه‌های ۷، ۸، ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۷، ۱۸ و ۱۹ با Vf بین ۰.۰۹۹ تا ۰.۴۵، از فعالیت زمین‌ساختی بالایی برخوردار هستند (شکل ۳ د). دره‌ها در این مناطق اکثراً از نوع V شکل هستند که در پاسخ به حرکات جوان و قائم ایجاد شده‌اند. محدوده مقادیر Vf برای نوزده حوضه بین ۰.۱۳ (حوضه ۱۷) تا ۷.۱۵ (حوضه ۲) قرار دارد.

شاخص پیچ و خم رودخانه

فعالیت‌های زمین‌ساختی سبب تغییرات در شیب بستر رودخانه می‌شوند که با میزان پیچ و خم رودخانه ارتباط مستقیم دارد. به طور کلی طرح‌های مماندیری رودخانه می‌توانند یکی از علائم فرایش فعال باشند (سلیمانی ۱۳۷۷). جهت ایجاد تعادل بین دبی و رسوبگذاری با شیب، رودخانه پیچ می‌خورد (باربانک و اندرسون ۲۰۰۱). رودخانه‌های با مسیر مستقیم می‌توانند گویای فعال و جوان بودن فعالیت زمین‌ساختی باشند. شاخص پیچ و خم رودخانه (S) با معادله زیر تعریف می‌شود:

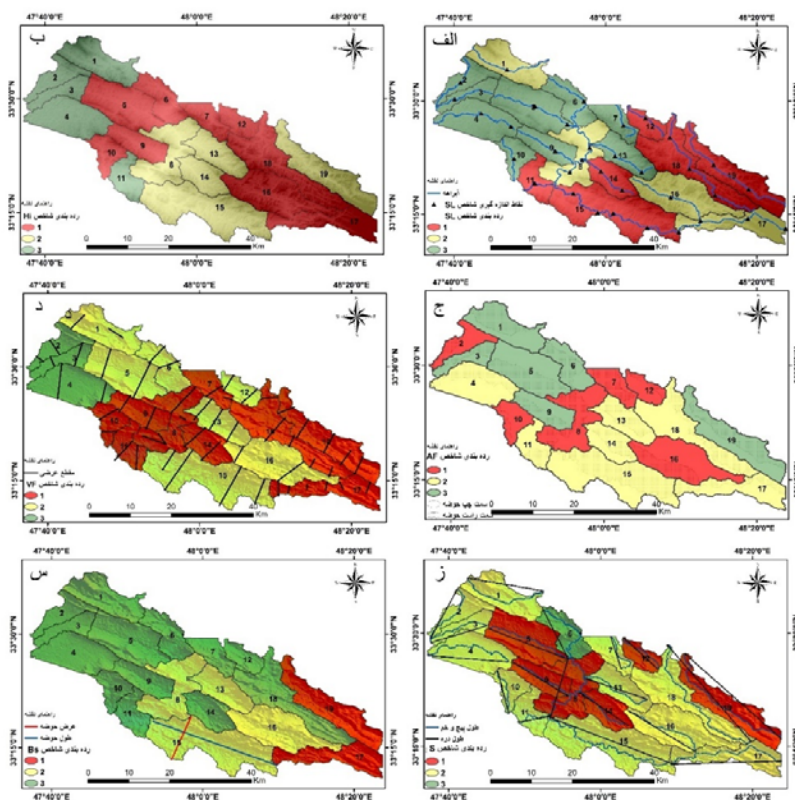
$$S = C/V$$

C طول رودخانه و V دره را نشان می‌دهد. مقادیر بالای S بیانگر نزدیک شدن رودخانه به حالت تعادل می‌باشد و مقادیر پایین آن نشان دهنده فعالیت زمین‌ساختی در منطقه می‌باشد. بر این اساس حوضه‌های ۵، ۹، ۱۲، ۱۴ و ۱۹ با مقادیر شاخص S کمتر از ۱ فعالیت بالای زمین‌ساختی را نشان می‌دهند (شکل ۳ ز). محدوده مقادیر S برای نوزده حوضه بین ۱ (حوضه ۵) تا ۱.۵۴ (حوضه ۶) قرار دارد.

نسبت شکل حوضه زهکشی

در نواحی زمین‌ساختی فعال، حوضه‌های زهکشی به شکل کشیده و تقریباً عمود بر شیب کلی منطقه هستند. با تداوم تکامل یا در نتیجه کاهش فعالیت زمین‌ساختی، شکل آنها دایره‌ای تر می‌شود. هندسه حوضه‌های زهکشی را می‌توان با شاخص نسبت شکل حوضه زهکشی (BS) تعریف کرد (بول و مک فادن ۱۹۷۷؛ الحمدونی و همکاران ۲۰۰۸).

این شاخص با معادله $BS = BI / BW$ تعریف می‌شود که در آن BI فاصله بین کمترین ارتفاع حوضه زهکشی و دورترین نقطه آن است و BW عرض اندازه‌گیری شده در وسیع‌ترین قسمت شبکه زهکشی است. مقادیر بالای شاخص‌های BS نشان دهنده حوضه‌های زهکشی طولیل و با فعالیت زمین‌ساختی بالا است، در حالی که مقادیر پایین BS معمولاً حوضه دایره‌ای و فعالیت زمین‌ساختی نسبتاً کم را نشان می‌دهد. محاسبات شاخص S در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که حوضه‌های ۱۷ و ۱۹ با مقادیر BS بالاتر از ۴ فعالیت زمین‌ساختی بالایی نشان می‌دهند (شکل ۳ س). محدوده مقادیر BS برای نوزده حوضه بین ۰.۶۵ (حوضه ۱۱) تا ۴.۰۹ (حوضه ۱۷) قرار دارد.



شکل ۳: الف) نقشه پهنه بندی منطقه بر اساس شاخص SI. ب) نقشه پهنه بندی منطقه بر اساس شاخص HI. ج) نقشه پهنه بندی منطقه بر اساس شاخص Vf. د) نقشه پهنه بندی منطقه بر اساس شاخص Af. ر) نقشه پهنه بندی منطقه بر اساس شاخص S. ص) نقشه پهنه بندی منطقه بر اساس شاخص BS.

شواهد ساختاری

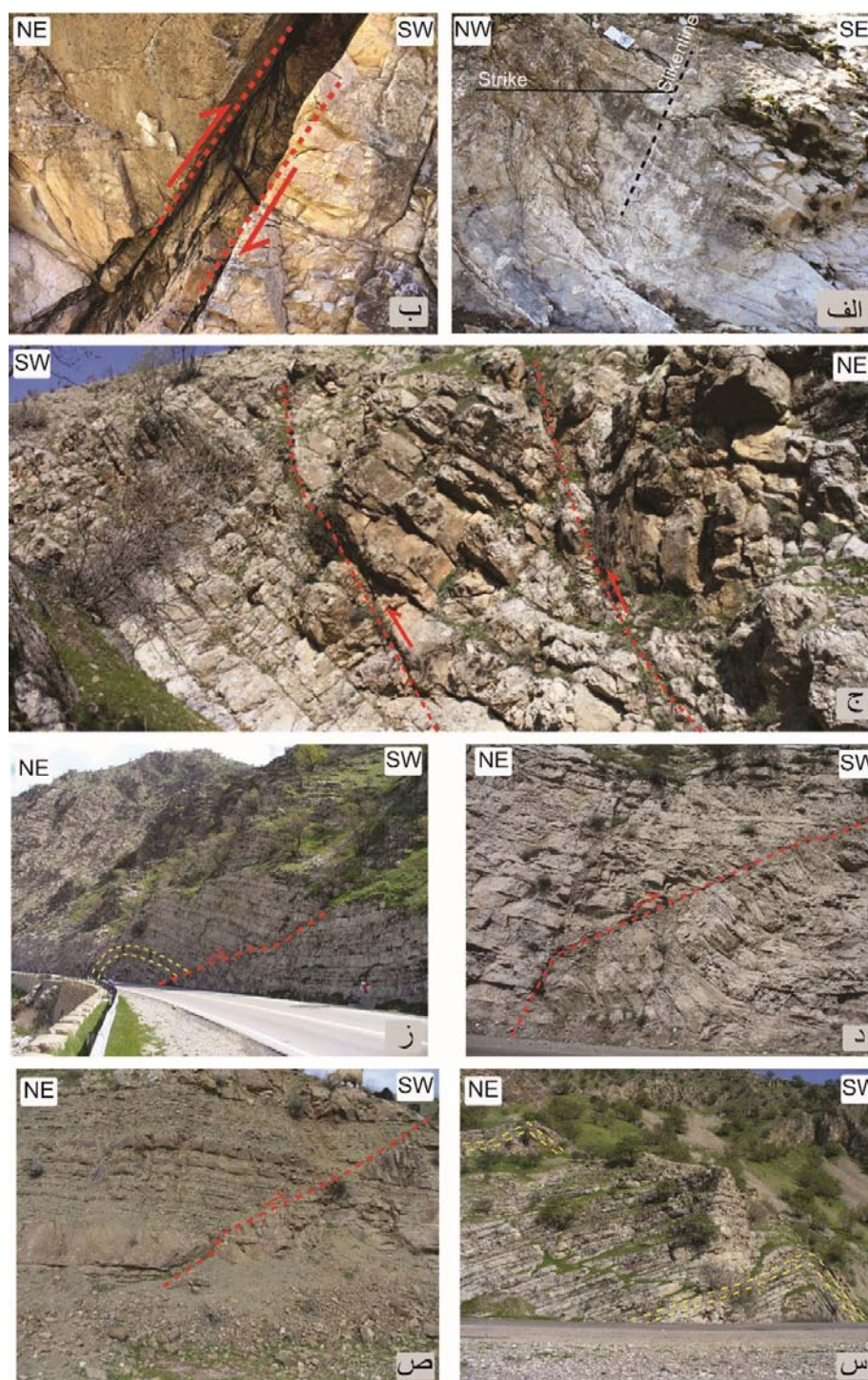
کمربند زاگرس دارای تنوعی از ساختارهای چین خوردگی و گسلس با هندسه و ابعاد مختلف است که شدت دگرشکلی و میزان فعالیت زمین ساختی را نشان می‌دهند. در مقیاس رخنمون، گسل‌های راندگی مورب لغز (شکل ۴الف)، پهنه‌های برشی شکننده (شکل ۴ب)، چین‌های مرتبط با راندگی (شکل ۴ز) و چین خوردگی‌های جناغی در لایه‌های مقاوم سازند ایلام (شکل ۴س) از جمله ساختارهای مشاهده شده در پیمایش ساختاری می‌باشند. غالب گسل‌های راندگی در مقیاس نقشه (شکل ۲) و مقیاس رخنمون (شکل‌های ۴ج، د، ز، ص) دارای امتداد NW-SE و جهت شیب NE می‌باشند. موقعیت خش‌لغز بر سطح این گسل‌ها نشانگر حرکت مورب لغز می‌باشد (شکل ۴ الف). گسل‌ها از مهم‌ترین ساختارهای تاثیرگذار در زمین ساخت فعال هستند که سبب ایجاد دره‌های تنگ و عمیقی در منطقه مورد مطالعه شده‌اند (شکل‌های ۷ ز، س). در ساختارهای تاقدیس‌های منطقه مورد مطالعه گسل‌ها به عنوان سطوح جدایشی عمل کرده و سبب ایجاد چین‌خوردگی‌های مرتبط با گسل شده‌اند.

خطواره‌های گسلی عرضی - برشی

تغییرات در حرکت نسبی صفحات عربی و اوراسیا سبب شده تا از اواخر پلیوسن راستای همگرایی از شمال شرق به سمت شمال متمایل شود (مک کواری^۱ و همکاران ۲۰۰۴). دگرشکلی‌های مرتبط با این همگرایی شمالی - جنوبی در زیر پهنه ساختاری لرستان به دو مولفه به موازات راستای ساختارهای زاگرس و عمود بر آن تفکیک شده است. مولفه موازی با امتداد زاگرس موجب حرکات امتدادلغز راستگرد در راستای گسل‌های بنیادین زاگرس جوان می‌شود و مولفه عمود بر آن توسعه گسل‌های راندگی و چین خوردگی‌های مرتبط با آن را سبب می‌شود. خطواره گسلی L1 با حرکت راستالغز راستگرد و روند شمال غرب - جنوب شرق سبب ایجاد خمش در محور چین تاقدیس‌های پشت جنگل و امیران شده و در این تاقدیس‌ها سیمای زیگموئیدال باز ایجاد نموده است. این خطواره توسط نقشه خطواره‌های مغناطیسی یوسفی و فریدبرگ^۲ (۱۹۷۸) نیز تأیید شده است. خطواره گسلی L2 با روند شمال شرق - جنوب غرب و حرکت امتداد لغز چپگرد سبب خمش در اثر محوری ناودیس آسمان دول شده است. همچنین عملکرد این خطواره سبب ایجاد ساختارهای لنزوئیدی شکل در سازند گورپی واقع در شمال غرب تاقدیس پشت جنگل شده است (شکل ۵ الف و ب). بنابر زمین لرزه‌های ثبت شده در پایگاه داده‌های دانشگاه هاروارد (<https://eps.harvard.edu>)، در سال ۱۹۸۷ زمین لرزه‌ای به بزرگی ۵.۳ ریشتر، در نزدیکی این خطواره رخ داده است. حل سازوکار کانونی این زمین لرزه تأییدی بر عملکرد امتدادلغز چپگرد این خطواره گسلی با مشخصات N218E/88NW می‌باشد.

1. McQuarrie

2. Yousefi and Fridberg



شکل ۴: تصاویری از ساختارهای مشاهده شده در مطالعات میدانی منطقه مورد مطالعه. الف) آینه گسل راندگی که خوش لغز روی آن جایجایی مورب لغز را نشان می دهد. ب) گسل راندگی و پهنه برشی خرد شده حاصل از آن. ج) و د) گسل‌های راندگی در سازند سروک. ز) و س) چین‌های مرتبط با راندگی که در هسته تاقدیس پشت جنگل شکل گرفته‌اند. ص) گسل راندگی در سازند امیران

شواهد زمین‌ریختی

لندفرم‌های ریخت زمین ساختی شامل سطوح مثلثی و دوزنقه‌ای، دره‌های جام شرابی شکل، گورج‌ها، دره‌های عمیق و تنگ، پرتگاه‌ها، نیک پوینت‌ها و جبهه‌های کوهستان منعکس‌کننده زمین‌ساخت فعال در چین خوردگی‌های کوه‌های زاگرس می‌باشند (بابائی و همکاران، ۱۳۹۶؛ بهرامی، ۱۳۹۵، ۲۰۲۲). گسل‌های مورب‌لغز با ترکیبی از مولفه‌های معکوس (حرکات قائم) و امتدادلغز (حرکات افقی)، خطواره‌های گسلی، چین خوردگی‌های مرتبط با گسل و برش‌های رودخانه‌ای سبب شکل‌گیری این لندفرم‌ها شده است.

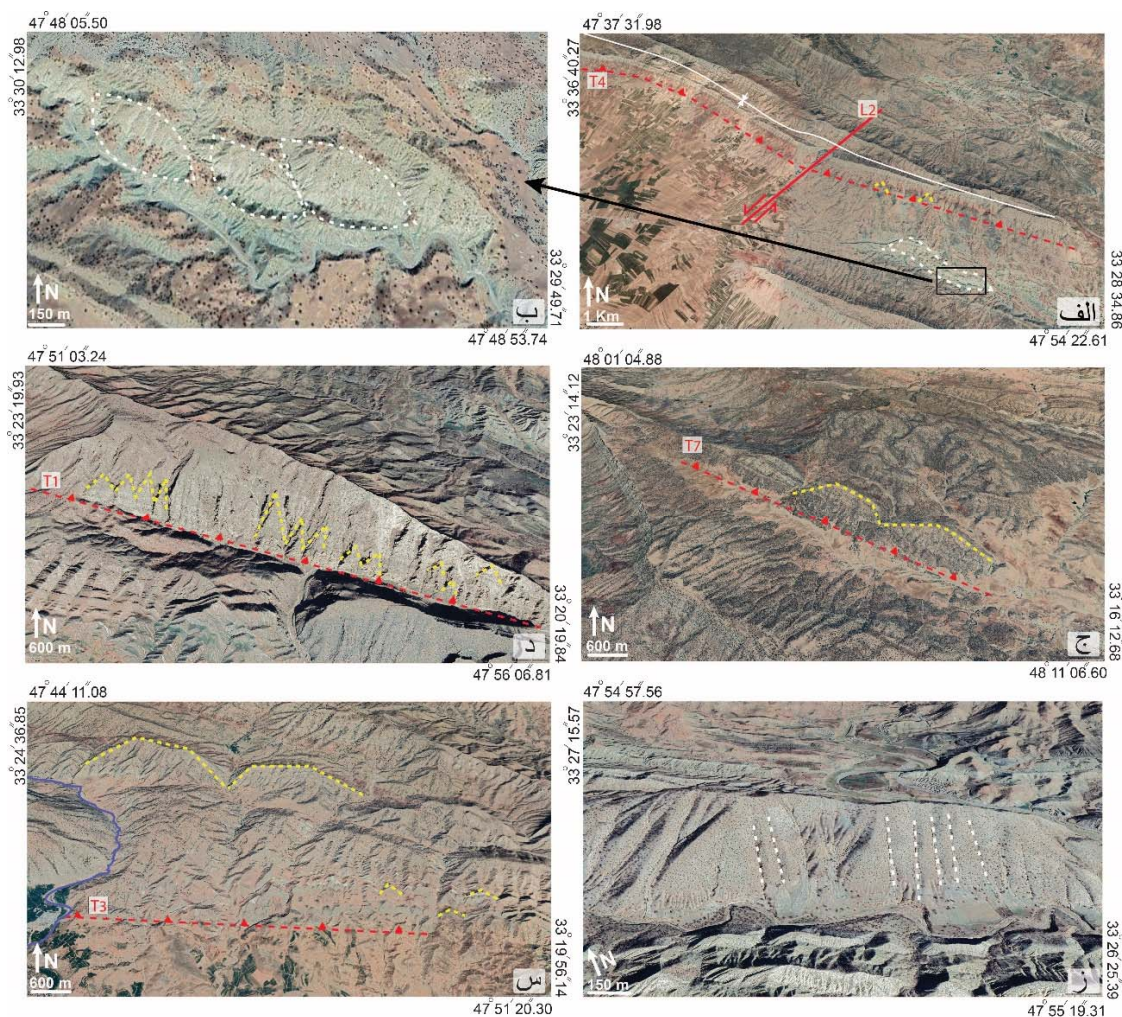
سطوح مثلثی شکل، سطوحی تقریباً مسطح با بخش پی وسیع و راس‌های رو به بالا هستند که بین دره‌ها ایجاد می‌شوند. این شکل‌ها در بسیاری از مناطق گسترش فعال وجود دارد (پالیاگا^۱ ۲۰۱۵). سطوح مثلثی شکل زمین‌ساختی در پرتگاه‌های گسلی حاصل از برش برجستگی^۲ توسط یک سیستم گسل مستقیم ایجاد می‌شوند (سلبی^۳ ۱۹۸۵) و فرآیند فرسایش باعث تکامل این لندفرم‌ها می‌شود (پتیت و همکاران ۲۰۰۹). ساختارهای گسلی فلسی نیز می‌توانند عامل تکامل شبکه زهکشی، مرتبه‌های مختلف سطوح مثلثی شکل و تعداد چرخه‌های فعالیت سیستم گسلی موثر باشند (پتیت و همکاران ۲۰۰۹). در کمربند زاگرس سطوح مثلثی (شکل ۵ د، شکل ۷ الف، ب و ج) و دوزنقه‌ای (شکل ۵ د) شکل در مجاورت جبهه کوهستان مشاهده می‌شوند. عموماً سطوح دوزنقه‌ای شکل اندکی پس از فعالیت گسل ایجاد شده‌اند که با گذر زمان و عملکرد فرسایش به اشکال مثلثی شکل تبدیل می‌شوند (تپه و سوزبیلیر^۴ ۲۰۱۷). در یال جنوبی تاق‌دیس چهارقلعه و در سازند آسماری، فعالیت سیستم گسل‌های راندگی فلسی با راستای شمال غرب- جنوب شرق سبب ایجاد سطوح مثلثی شکل و دوزنقه‌ای شکل شده است (شکل ۵ س). فرسایش سطوح مثلثی شکل سبب ایجاد دره‌هایی با قسمت‌های بالایی گسترده و خروجی‌های باریک می‌شوند که دره‌های جام شرابی شکل نامیده می‌شوند (شکل ۷ د، باربانک و اندرسون ۲۰۱۲).

1. Paliaga

2. Relief

3. Selby

4. Tepe and Sözbilir

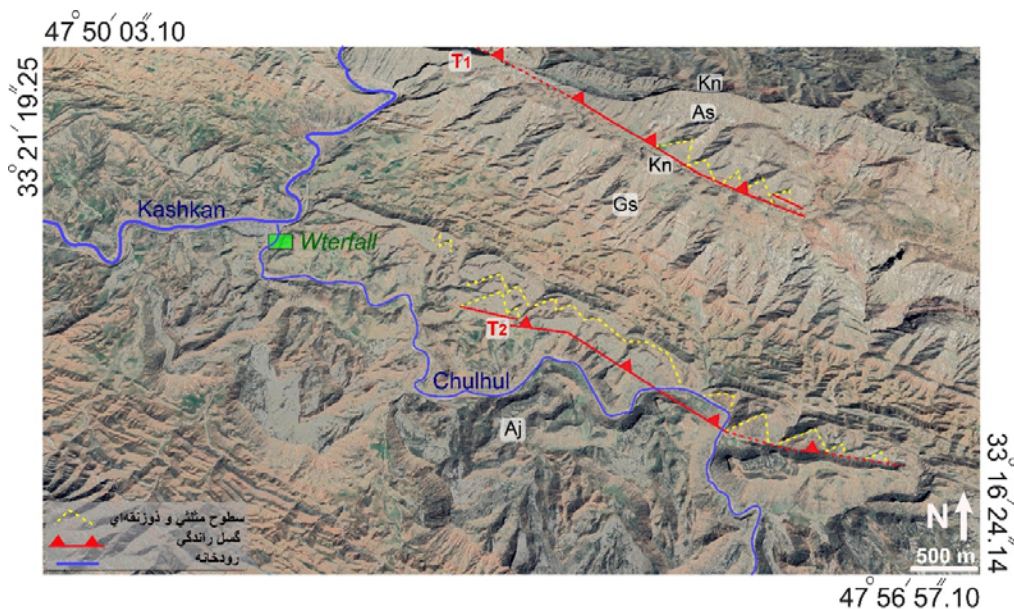


شکل ۵: الف) گسل راندگی T4 و سطوح مثلثی شکل حاصل از آن. خطواره عرضی- برشی چپگرد (L1) و انحنای ایجاد شده در اثر محوری ناودیس و لایه‌ها دیده می‌شود. ب) لنزوئیدهای ناشی از عملکرد خطواره L1 در سازند گوری که توسط خط چین‌های سفید رنگ مشخص شده‌اند. ج) سطوح دوزنقه‌ای شکل حاصل از فعالیت گسل راندگی T7. د) سطوح مثلثی شکل که بر اثر فعالیت گسل راندگی T1 در سازند آسماری ایجاد شده‌اند. ز) دره‌های پیامدی که در یال جنوبی تاق‌دیس پشت جنگل و در حوضه ۵ ایجاد شده‌اند. این دره‌ها با خط چین سفید رنگ مشخص شده‌اند. س) سطوح دوزنقه‌ای و مثلثی شکل که در فرادیواره گسل راندگی T3 ایجاد شده‌اند. خط چین‌های قرمز رنگ گسل‌های راندگی و خط چین‌های زرد رنگ سطوح مثلثی و دوزنقه‌ای را نشان می‌دهند.

مقاطع طولی رودخانه و شبکه‌های زهکشی (بهرامی ۲۰۲۲) به تغییرات سطح اساس حساس هستند و تحت تاثیر فعالیت گسل، سبب ایجاد نشانگرهای زمین‌ریختی می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه نیک پوینت‌ها و آبشارهای حاصل از فعالیت‌های زمین‌ساختی مشاهده می‌شوند. آبشار افرینه به ارتفاع حدوداً ۲۰ متر، واقع در سازند آغاچاری، یکی از نیک پوینت‌های رودخانه‌ای حاصل از فعالیت گسل می‌باشد که در مسیر اتصال رودخانه چول هول به کشکان و در حوضه ۳ قرار گرفته است (شکل ۷ ص). در شمال غرب این آبشار، سطوح مثلثی در سازند آسماری شکل گرفته‌اند که تاییدی بر فعالیت زمین‌ساختی و عملکرد گسل راندگی در این منطقه می‌باشد. فعالیت این راندگی سبب تکرار سازند کشکان در سطح زمین

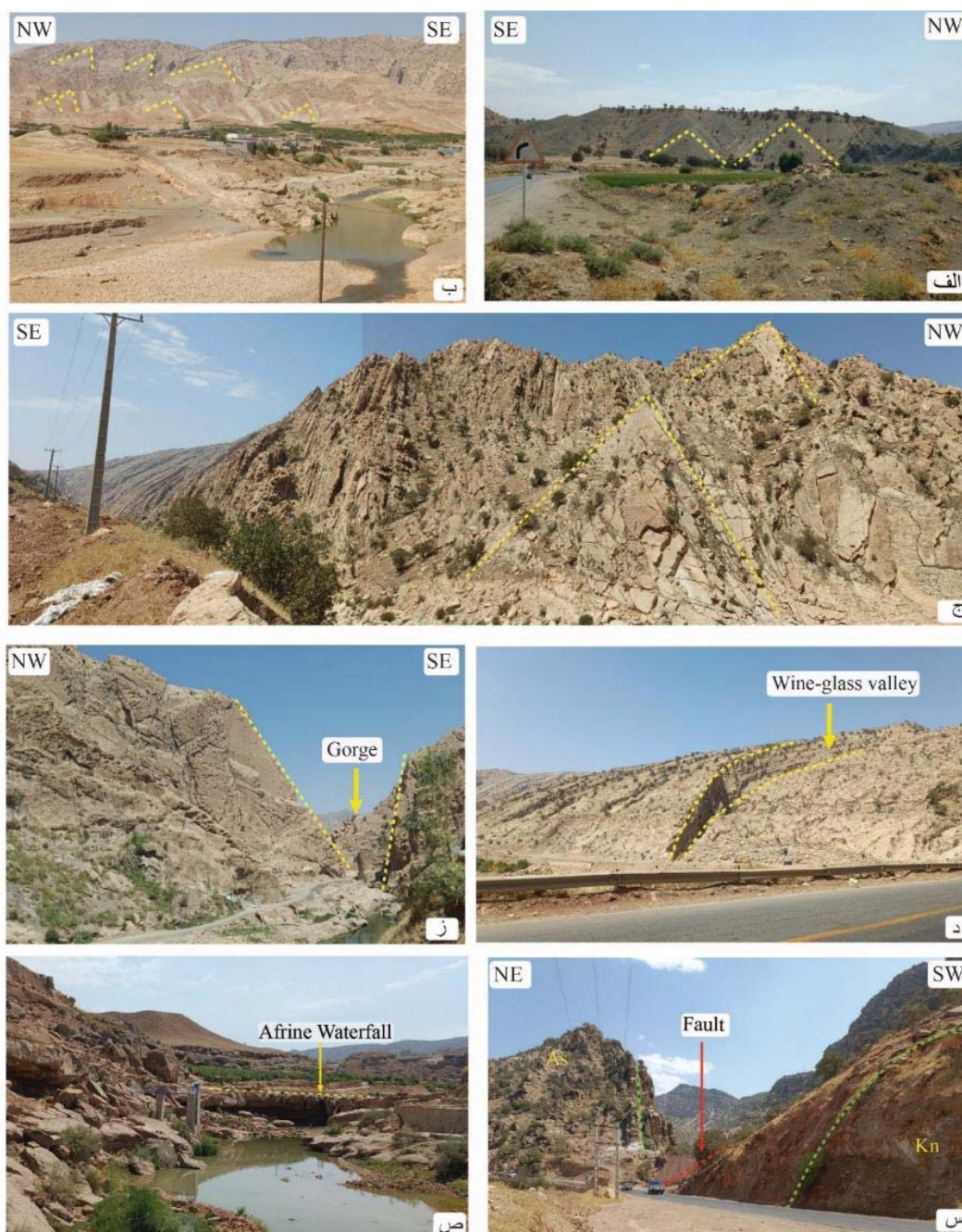
شده است (شکل ۶). از دیگر شواهد زمین‌ساختی فعال در منطقه دره های V شکل هستند که در ضخیم لایه‌های آهکی آسماری به فراوانی مشاهده می‌شوند که غالباً سبب ایجاد گورج‌ها (شکل ۴ ز) شده‌اند. عملکرد گسل‌ها سبب ایجاد دره های نامتقارن شده است (شکل ۴ س).

فعالیت گسل‌های خطی سبب خردشدگی سنگ‌ها در مسیر اثر گسل می‌شود و دره های نسبتاً مستقیم و طولی را ایجاد می‌کنند. این دره‌های پیامدی^۱ یکی از لندفرم‌های توسعه یافته در یال تاقدیس‌های زاگرس هستند (بهرامی ۲۰۲۲). اکثر این دره‌ها عمود بر لولای چین بزرگ مقیاس منطقه قرار می‌گیرند و نشان از فعالیت زمین ساختی منطقه دارند (شکل ۵ ز). کج شدگی جانبی و الگوی مئاندری رودخانه‌ها در پاسخ به فعالیت زمین ساختی و فراخاست پیشانی کوهستان شکل گرفته است (شکل ۶).



شکل ۶: در تصویر موقعیت رودخانه‌های چول‌هول و کشکان نشان داده شده است. آبشار افرینه در نتیجه فعالیت گسل راندگی T2 ایجاد شده است. موقعیت آبشار با مستطیل سبز رنگ مشخص شده است. گسل راندگی T1 سبب تکرار سازند کشکان (Kn) شده است. سطوح مثلثی حاصل از فعالیت این گسل‌ها با خط‌چین‌های زرد رنگ نشان داده شده‌اند.

¹. Consequent valley



شکل ۷: شواهد زمین‌ریختی مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه. الف) سطوح مثلثی شکل در سازند گورپی. ب) سطوح مثلثی شکل در سازند گچساران. ج) سطوح مثلثی شکل در سازند آسماری. د) دره جام شرابی شکل. ز) گورج (دره تنگ) واقع در سازند آسماری که رودخانه کشکان از آن عبور می‌کند. س) گسل راندگی که سبب ایجاد دره نامتقارن شده است. ص) آبشار افرینه که در اثر عملکرد گسل راندگی ایجاد شده است.

بحث

در مناطقی که اطلاعات کمی در ارتباط با فعالیت نوزمین‌ساختی در دسترس است، تحلیل‌های زمین‌ریختی و ساختاری می‌توانند سرنخ‌های ارزشمندی از فعالیت زمین‌ساختی ارائه دهند. با توجه به عدم مطالعات در زمینه زمین‌ساخت فعال، این روش را برای شناسایی ناهنجاری‌های زمین‌ریختی و ارزیابی فعالیت‌های زمین‌ساختی نسبی در شمال شهرستان پلدختر به کار بردیم و سپس نتایج کمی به‌دست‌آمده را توسط مشاهدات میدانی و زمین لرزه‌های ثبت شده در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار دادیم.

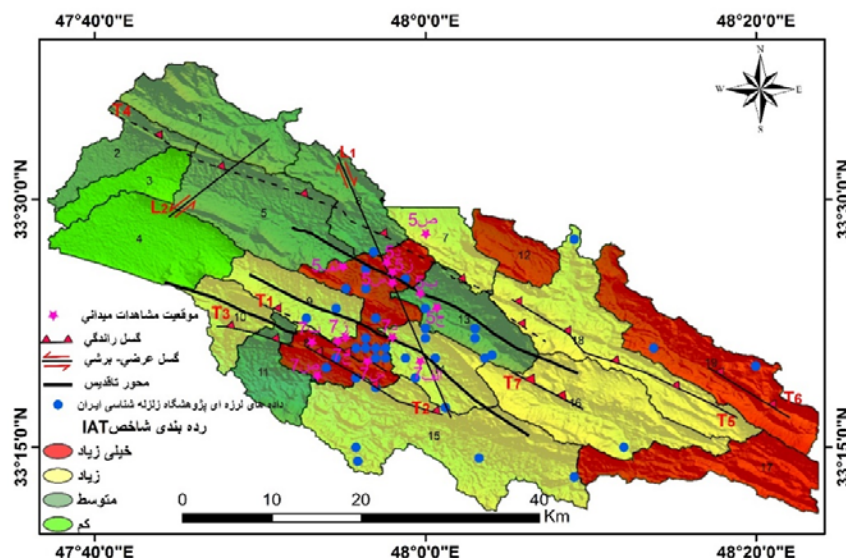
کمبرند چین‌خورده-رانده زاگرس بخشی از کمربند کوهزایی آلپ-همالیا و یکی از جوان‌ترین و فعال‌ترین مناطق برخورد قاره‌ای بر روی زمین محسوب می‌شود (فرضی پور صائین و همکاران ۲۰۰۹). حوضه مورد مطالعه در زیرپهنه لرستان و در شمال غربی پهنه زاگرس چین‌خورده-رانده واقع شده است. گسل‌های راندگی و چین‌خوردگی‌های متعددی در مقیاس کوچک، متوسط و بزرگ مشاهده شده‌اند که عموماً سبب دگرریختی، الگوهای زمین‌ریختی و رخداد لرزه‌ای در منطقه مورد مطالعه شده‌اند. از نکات قابل توجه، وجود گسل‌های زیر سطحی می‌باشد که آثار فعالیت آنها به صورت دگرریختی‌های سطحی ظهور پیدا کرده است (عباسی و یساقی ۱۳۹۰). بررسی داده‌های میدانی و شواهد لرزه‌ای در منطقه مورد مطالعه بیانگر وجود حرکات جوان پس از پلیوسن گسل‌های عرضی-برشی راستگرد و چپگرد می‌باشد (شکل ۸). شناسایی عملکرد این گسل‌ها با توجه به تغییر شکل‌های سطحی از قبیل انحنای روند عمومی تاقدیس‌ها و چرخش جهت شیب لایه‌ها در یال چین و تغییر در ضخامت توالی‌ها ممکن شده است. این موضوع می‌تواند در ارتباط با چگونگی توزیع همگرایی دو صفحه عربی-اوراسیا در راستای شمال باشد.

جبهه‌های کوهستان فعال، سطوح بزرگ و توسعه‌یافته‌ای را نشان می‌دهند و جبهه‌های کوهستان با فعالیت زمین‌ساختی کمتر، به دلیل تشکیل شبکه‌های زهکشی، شیارهای داخلی ایجادکننده سطوح موجود و مهاجرت جانبی آبراهه‌ها در جبهه کوهستان دارای سطوح کمتر و کوچک‌تر هستند. در منطقه مورد مطالعه، جبهه‌های کوهستانی تقریباً مستقیم با وجوه مثلثی و ذوزنقه‌ای به خوبی توسعه یافته در مسیر فعالیت گسل‌های راندگی مشاهده شده‌اند. دره‌های جام شرابی شکل با دهانه‌های باریک نیز نشان‌دهنده وجود گسل فعال در امتداد حاشیه کوه‌ها در مرحله نوزمین‌ساختی است. عملکرد گسل‌های راندگی T1، T2، T3 و T7 سبب ایجاد سطوح مثلثی و ذوزنقه‌ای شده است (شکل‌های ۶ و ۵). فعالیت مجدد حرکات زمین‌ساختی ممکن است چندین مرتبه از سطوح مثلثی را در کنار یکدیگر ایجاد کند (ویوگین^۱ و همکاران ۲۰۱۱). سطوح مثلثی با چند مرتبه فعالیت زمین‌ساختی در گسل‌های T1 (شکل ۵د)، T2 (شکل ۶) و T3 (شکل ۵س) مشاهده می‌شوند. تحلیل شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی نشان می‌دهد این گسل‌ها در نواحی با فعالیت زمین‌ساختی بالا واقع شده‌اند (شکل ۸) که تاییدی بر فعالیت نوزمین‌ساختی این گسل‌ها می‌باشد.

ارزیابی شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی یکی از مهم‌ترین روش‌هایی است که از طریق آن می‌توان زمین‌ساخت فعال نسبی مناطق را به‌طور مؤثر ارزیابی کرد. هدف از این مطالعه بررسی زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص ریخت زمین‌ساختی و شواهد صحرایی در ۱۹ حوضه تعریف شده در این منطقه می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی برای محاسبه شاخص Iat مورد استفاده قرار گرفت. نقشه به دست آمده از محاسبه شاخص Iat منطقه را به چهار رده از لحاظ درجه نسبی فعالیت زمین‌ساختی تقسیم کرده که بر اساس این شاخص بیشتر منطقه از لحاظ زمین‌ساختی فعال می‌باشد (شکل ۸). بر این اساس، ۲۲.۰۸٪ فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا، ۴۱.۳۰٪ فعالیت بالا، ۲۷.۴٪ فعالیت متوسط و ۹.۲۲٪ فعالیت کم نشان می‌دهند. نتایج نهایی نشان می‌دهند بخش شرقی و مرکزی منطقه مورد مطالعه فعالیت زمین‌ساختی نسبی بالایی نشان می‌دهند و بخش‌های شمال غربی منطقه فعالیت نسبی کمی دارند (شکل ۸).

^۱. Wiwegwin

حوضه‌های شماره ۸، ۱۲، ۱۷ و ۱۹ فعال‌ترین حوضه‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشند. گسل‌های راندگی T1، T2، T3، T5، T6 و T7 از این حوضه‌ها عبور می‌کنند. حوضه‌های با فعالیت زمین‌ساختی نسبی بالا همخوانی خوبی با داده‌های لرزه‌ای، گسل‌ها و لندفرم‌های زمین ریختی شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند (شکل ۸). اکثریت زمین لرزه‌های ثبت شده در منطقه منطبق بر حوضه ۸ با فعالیت زمین‌ساختی نسبی بسیار بالا می‌باشد. با توجه به موقعیت این حوضه که در مسیر محور تاقدیس‌های پشت جنگل و امیران واقع شده، فعالیت بالای این حوضه را می‌توان به رشد مداوم این تاقدیس‌های مرتبط با راندگی نسبت داد. شواهد ساختاری و زمین‌ریختی جوان و رودخانه‌های مئاندردی کشکان و چول‌هول فعال بودن این گسل‌ها را تایید می‌کند. در این حوضه عملکرد گسل عرضی-برشی L1 هم در فعالیت زمین‌ساختی منطقه تاثیرگذار بوده است. عملکرد این تاقدیس‌های در حال رشد ناشی از همگرایی دو صفحه عربی و ایران مرکزی می‌باشد.



شکل ۸: نقشه پهنه‌بندی نهایی حاصل از شاخص‌های کمی زمین‌ریختی در منطقه مورد مطالعه
جدول ۱. مقادیر شاخص‌های اندازه‌گیری شده و سطح فعالیت زمین‌ساختی در گستره مورد مطالعه

Basin no.	SL	Class	Hi	Class	AF	Class	Vf	Class	S	Class	Bs	Class	Iat	Class Iat
1	408.32	2	0.42	3	46.89	1	0.43	2	1.31	2	2.54	3	2.17	3
2	279.11	3	0.40	3	10.91	2	7.15	3	1.28	2	1.43	3	2.67	4
3	106.42	3	0.35	3	67.30	1	3.31	3	1.26	2	2.93	3	2.50	3
4	86.56	3	0.31	3	24.35	1	1.91	3	1.41	2	2.26	3	2.50	3
5	245.13	3	0.51	1	49.28	1	0.43	2	1.00	1	1.99	3	1.83	2
6	139.41	3	0.58	1	69.18	1	0.45	2	1.54	3	2.08	3	2.17	3
7	237.58	3	0.52	1	15.57	1	0.27	1	1.42	2	2.62	3	1.83	2
8	449.40	2	0.47	2	35.20	1	0.27	1	1.01	1	3.11	2	1.50	1
9	279.11	3	0.51	1	41.29	1	0.36	1	1.00	1	2.67	3	1.67	2
10	285.26	3	0.54	1	14.78	2	0.28	1	1.14	2	0.93	3	2.17	3
11	512.50	1	0.37	3	4.81	3	0.29	1	1.34	2	0.65	3	2.83	4
12	555.70	1	0.53	1	-6.94	3	0.58	2	1.00	1	1.89	3	1.83	2
13	146.61	3	0.49	2	117.14	1	0.50	2	1.28	2	3.02	2	2.00	2
14	520.04	1	0.47	2	108.00	1	0.29	1	1.00	1	2.21	3	1.50	1
15	682.00	1	0.45	2	94.02	1	0.51	2	1.46	2	3.01	2	1.67	2
16	365.53	2	0.60	1	-0.28	3	0.85	2	1.16	2	3.02	2	2.00	3
17	484.97	2	0.53	1	85.96	1	0.13	1	1.30	2	4.09	1	1.33	1
18	713.21	1	0.51	1	11.93	2	0.28	1	1.31	2	2.84	3	1.67	2
19	536.22	1	0.49	2	55.28	1	0.36	1	1.02	1	4.05	1	1.17	1

نتیجه‌گیری

با تحلیل پارامترهای ساختاری، مورفومتریک و شاخص‌های ژئومورفیک می‌توان به درک بهتری از تغییرشکل‌های زمین ساختی گذشته که در یک منطقه رخ داده است، دست یافت. این به عنوان یک ابزار شناسایی مناطق تکتونیکی فعال و ارزیابی ناهنجاری‌های زهکشی عمل می‌کند. شاخص‌های ژئومورفیک محاسبه‌شده در این مطالعه نشان داد که تکتونیک فعال نقش کلیدی در تکامل دگرشکلی کوتاه‌تر در امتداد گسل‌های اصلی منطقه مورد مطالعه و توسعه لندفرم‌های مرتبط در رشته‌کوه‌های زاگرس داشته است. بر این اساس، نقشه پهنه بندی پایداری زمین ساختی منطقه مورد مطالعه (Iat)، در چهار رده فعالیت نسبی خیلی بالا، بالا، متوسط و کم تهیه شد. این نتایج حاکی از این است که فعالیت گسل‌های راندگی T1، T2، T3، T5، T6 و T7 و گسل عرضی-برشی L1 موجب شده این حوضه آبریز دارای فعالیت زمین‌ساختی نسبی اخیر نسبتاً بالایی باشد. به گونه‌ای که با توجه به نقشه حاصل (Iat) حوضه‌های ۸، ۱۲، ۱۷ و ۱۹ فعالیت بسیار بالا و حوضه‌های ۷، ۹، ۱۰، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۸ فعالیت بالایی را نشان دهند. بر این اساس، ۲۲.۰۸٪ منطقه مورد مطالعه فعالیت زمین‌ساختی بسیار بالا و ۴۱.۳۰٪ فعالیت بالا دارند. شواهد ساختاری، زمین‌ریخت‌شناسی و پراکنش داده‌های لرزه‌ای با نتایج حاصل از برآورد کمی شاخص‌ها انطباق خوبی نشان می‌دهند که می‌تواند تاییدی بر کاربردی بودن این شاخص‌ها در ارزیابی فعالیت نو زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند جهت طراحی نقشه‌های پهنه بندی مناطق خطر و اجرای اقدامات ایمن‌سازی محیط استفاده شود. مطالعه فعالیت‌های زمین‌ساختی نسبی در این منطقه ما را به انجام مطالعات میدانی جامع‌تری در آینده سوق خواهد داد.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۱۴۰۲-۶۶-۰۳-۱۴۰۰-۴ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه لرستان انجام شده است. از دانشگاه لرستان بابت حمایت مالی تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- بابائی، شیماء، ده بزرگی، مریم، حکیمی آسیاب، سعید، حسینی اصل، امین (۱۳۹۶) بررسی زمین‌ساخت فعال با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در البرز مرکزی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۶، شماره ۱، صص ۴۰-۵۶
- بشکنی، زهرا، صالحی میلانی، علیرضا (۱۳۹۸) ارزیابی فعالیت‌های مورفوتکتونیکی حوضه‌های آبریز ساحلی واحد ژئومورفولوژیکی تالش (ایران- آذربایجان) با استفاده از شاخص‌های مورفومتری. پژوهش‌های دانش زمین، دوره ۱۰، شماره ۴۰، زمستان ۹۸، صص ۷۴-۹۰
- بهرامی، شهرام، پرهیزگار، فاطمه، اکبری، الهه، جعفری، تیمور (۱۳۹۵) بررسی نقش ژئومورفولوژی تکتونیک بر اکتشاف مخازن هیدروکربنی زاگرس فارس (مطالعه موردی: طاقدیس‌های خشت و نورا). جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دوره ۲۷، شماره ۲، صص ۴۹-۶۴
- دریکوند، سمیه، یساقی، علی (۱۳۸۹) تحلیل ساختاری تاقدیس‌های زنگول و پشت جنگل در شمال غرب پهنه لرستان، زاگرس چین‌خورده-رانده، به منظور برآورد بستگی افق دهرم. نشریه علوم (دانشگاه خوارزمی)، دوره ۱۰، شماره ۲، صص ۷۶۵-۷۸۲.
- رجبی، معصومه، روستایی، شهرام، مقامی مقیم، غلامرضا (۱۳۸۵) تحلیل فعالیت‌های تکتونیکی در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ در شمال شرقی ایران. نشریه جغرافیا و توسعه (دانشگاه سیستان و بلوچستان)، دوره ۴، شماره ۸، صص ۱۷۷-۱۹۲.

- سلیمانی، شهریار (۱۳۷۸)، رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیک فعال و جوان با نگرشی بر مقدمات دیرینه لرزه-شناسی، چاپ اول، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران.
- صفاری، امیر، یمانی، مجتبی، کرم، امیر، کرمی، پرپوش (۱۳۹۷) تاثیرات مورفوژنتیکی تکتونیک فعال بر زمین لغزش در حوضه جاجرود. پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۳، صص ۱۱۷-۱۳۵.
- عباسی، ثریا، یساقی، علی. ۱۳۹۰. استفاده از تصاویر لندست و داده‌های زمین مغناطیسی در شناسایی خطواره‌های گسلی و تحلیل خاستگاه آنها در ناحیه لرستان، زاگرس چین خورده. سنجش از دور و GIS ایران، شماره ۱، صص 19 – 33.
- علیزاده، اکرم، خادمی، شاهین، ارزیابی فعالیت گسل تالش در استان گیلان با بررسی‌های مورفوژنتونیک و لرزه‌زمین‌ساختی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۱۹ مهر ماه ۱۴۰۱، انتشار آنالین
- قاسمی، زهرا، علی پور، رضا، معدنی پور، سعید. ۱۳۹۸. تاثیر گسل‌های راندگی و راستالغز پی سنگی بر هندسه ساختاری تاقدیس امیران در زیرپهنه لرستان، باختر زاگرس. زمین‌ساخت، دوره ۳، شماره ۱۱، صص ۱-۱۴.
- گنجیان، حمید، یمانی، مجتبی، گورابی، ابوالقاسم، مقصودی، مهران (۱۳۹۹) انطباق شاخص‌های مورفوژنتونیک با کانون‌های زمین‌لرزه در زاگرس شمال غرب (حوضه‌های سیروان و قره‌سو). جغرافیا و برنامه ریزی محیطی (دانشگاه اصفهان)، دوره ۳۱، شماره ۸۰، صص ۱۱۳-۱۳۰.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Mouthereau, F., 2005, *Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation*. *Int. J. Earth Sci.* 94, 401–419
- Alaei M, Dehbozorgi M, Ghassemi MR, Nozaem R 2017, *Evaluation of relative tectonic activity of Buin Zahra-Avaj area, northern Iran*. *Arab J Geosci* 10:229
- Arian M., Aram Z., 2014, *Relative tectonic activity classification in Kermanshah area, west Iran*. *Solid Earth Discuss* 5:2097–2141
- Bagha N, Arian M, Ghorashi M, Pourkermani M, El Hamdouni R, Solgi A, 2014, *Evaluation of relative tectonic activity in the Tehran basin, central Alborz, northern Iran*. *Geomorphology* 213:66–87
- Bahrami, S., 2022, *Analysis of confluence angle of drainages and its relation to morphometric properties of drainage basins in the Zagros Simply Folded Belt, Iran*. *Geomorphology*, 400, p.108091
- Bahrami, S., Capolongo, D. and 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, p.107086
- 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*. The State University of New York, Binghamton, NY, pp. 115–138
- Bull, W.B., 2007, *Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology*. Blackwell, Malden, USA. 316 pp
- Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2001, *Tectonic Geomorphology*. Backwell Science: 274 p
- Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2012, *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science, Oxford, pp. 438.
- Chen, Y.C., Sung, Q., Cheng, K.Y., 2003, *Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis*. *Geomorphology*, 56, pp. 109–137
- Chang Z, Sun W, Wang J, 2015, *Assessment of the relative tectonic activity in the Bailongjiang Basin: insights from DEM-derived geomorphic indices*. *Environ Earth Sci* 74(6):5143–5153

- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A. A., Motamedi, H., & Hosseiniasl, A., 2010, *Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area Central Zagros Iran*. *Geomorphology*, 121, 329–341
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., Keller, E.A., 2008, *Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain)*. *Geomorphology*, 96, pp. 150–173. B11401. <https://doi.org/10.1029/2005JB004103>
- Farzipour-Saein, A., Yassagi, A., Sherkati, S., Koyi, H., 2009, *Basin Evolution of the Lurestan Region in the Zagros Fold-and thrust Belt, Iran*, *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 36, 5–20
- Font, M., Amorèse, D., Lagarde, J.L., 2010, *DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: the Normandy intraplate area (NW France)*. *Geomorphology* 119, 172–180
- Hack, J.T., 1973. *Stream-profiles analysis and stream-gradient indeces*. U.S. Geological Survey, No.1, 421-429
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002, *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape*, 2nd Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J, p. 362
- McQuarrie, N. 2004, *Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran*. *Journal of Structural Geology* 26, 519–35
- Owen, L. A., 2013, *Tectonic Geomorphology*. In: Shroder, J.F. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press.
- Paliaga, G., 2015, *Erosion triangular facets as markers of order in an open dissipative system*. *Pure and Applied Geophysics*, 172(7), pp.1985-1997
- Panek, T., 2004, *The use of morphometric parameters in tectonics geomorphology (on the example of the western Beskydy MTS)* *Journal of Geographia*, 1, pp. 111-126
- Petit, C., Meyer, B., Gunnell, Y., Jolivet, M., San'kov, V., Strak, V. and Gongg-Saholiariliva, N., 2009, *Height of faceted spurs, a proxy for determining long-term throw rates on normal faults: Evidence from the North Baikal Rift System, Siberia*. *Tectonics*, vol. 28, TC6010, doi:10.1029/2009TC002555
- Selby, M.J. *Earth's changing surface—An introduction to geomorphology*. 1985, Clarendon, Oxford.
- Sherkati, S., Molinaro, M., de Lamotte, D.F., Letouzey, J., 2005, *Detachment folding in the Central and Eastern Zagros fold-belt (Iran): salt mobility, multiple detachments and late basement control*. *Journal of Structural Geology*, 27(9), pp.1680-1696
- Tepe, Ç., Sözbilir, H., 2017, *Tectonic geomorphology of the Kemalpaşa Basin and surrounding horsts, southwestern part of the Gediz Graben, Western Anatolia*. *Geodinamica acta*, 29(1), 70-90.
- Vernant, Ph., NF, Hatzfeld D, Abassi MR, Vigny C, Masson F, Nankali H, Martinod J, Ashtiani A, Bayer R, Tavakoli F, Chery J (2004) *Present day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman*. *Geophys J Int* 157:381–398
- Wiwegwin, W., Sugiyama, Y., Hisada, K. and Charusiri, P., 2011, *Re-evaluation of the activity of the Thoen Fault in the Lampang Basin, northern Thailand, based on geomorphology and geochronology*. *Earth Planets Space*, 63(9), 975–990
- Yousefi, E., Friedberg, J. L., 1978a, *Aeromagnetic map of the Kuhdasht 1:250000 quadrangle*. Geological Survey of Iran.
- Zebari, M., Burberry, C.M., 2015, *4-D evolution of anticlines and implications for hydrocarbon exploration within the Zagros Fold Thrust Belt, Kurdistan region, Iraq*. *GeoArabia* 20 (1), 161–188