

بر آورد دامنه‌ی فعالیت تکتونیکی بخش جنوبی گسل میناب و سیستم گسلی شرق آن از طریق داده‌های

مورفومتری به منظور تعیین میزان پایداری منطقه (شرق تنگه‌ی هرمز)

مهران مقصودی* - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
کامیار امامی - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
عادل رسولی - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
عباس درخشان - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
یاسمن جلالی - دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
سعید مرادی‌پور - دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تربیت مدرس
فاطمه مرادی‌پور - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی - مدیریت محیطی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۴ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۲/۲۱

چکیده

در تحقیق حاضر، پنج تاقدیس در بخش جنوبی گسل میناب و شرق آن توسط سه پارامتر مورفومتری تاقدیس شامل رویه‌های سه‌گوش، دره‌های شرابی و سینوسیت‌های جبهه‌ی تاقدیس مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفته است؛ ضمن اینکه شواهد تکتونیکی و ژئومورفیک موجود در محدوده‌ی بررسی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. داده‌های مورد استفاده شامل 30 Dem III منطقه، تصاویر ماهواره‌ای لندست و همین‌طور نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده‌ی مورد مطالعه است. روش تحقیق به صورت دو مرحله‌ی، محاسبه‌ی شاخص‌ها و ارزیابی شواهد انجام گرفته است. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی منطقه از نظر میزان فعالیت تکتونیکی می‌باشد. نتایج که از تحلیل محاسبه‌ی شاخص‌ها به‌دقت آمد نشان‌دهنده‌ی این است که از منظر ارزیابی و تحلیل شاخص رویه‌های سه‌گوش و دره‌های ساغری، یال‌های جنوبی تاقدیس‌ها و برحسب نتایج حاصل شده از بررسی شاخص سینوسیت‌های جبهه‌ی تاقدیس، یال‌های شمالی، دارای بیشترین میزان فعالیت تکتونیکی می‌باشند. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که میزان فعالیت تکتونیکی در یال‌های جنوبی تاقدیس‌ها بیشتر می‌باشد و از میان تاقدیس‌های مورد بررسی در دو شاخص دره‌های ساغری و سینوسیت‌های جبهه‌ی کوهستان، تاقدیس شماره یک دارای بیشترین میزان فعالیت تکتونیک می‌باشد و بر اساس شواهد مورد بررسی و پراکنش این شواهد، مشخص گردید که بیشترین تراکم شواهد مورفوتکتونیکی نظیر جابه‌جایی سازندها، گسل‌های پلکانی و تغییر مسیر رودخانه‌ها در محدوده و اطراف تاقدیس شماره ۱ مشاهده شده است که این موضوع بر فعالیت‌های بیشتر تکتونیک در این منطقه دلالت دارد؛ بنابراین بر اساس نتایج به‌دست آمده از مجموعه‌ی عوامل مورد بررسی، منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر تکتونیک فعال است و اثرات این فعالیت در شواهد مورفوتکتونیکی مشهود می‌باشد.

واژگان کلیدی: مورفوتکتونیک، رویه‌های سه‌گوش، دره‌های شرابی شکل، سینوسیت‌های جبهه‌ی کوهستان، گسل میناب.

مقدمه

در دهه‌های اخیر حرکت ناگهانی به سمت توسعه‌ی ژئومورفولوژی کمی، منجر به پیشرفت روش‌های آماری و مدل‌های ریاضی برای توصیف فرایندهای ژئومورفولوژیکی شده است؛ دامنه‌ی وسیع این کار منجر به پایه‌ریزی روش‌های ژئومورفولوژیکی کمی مفید در تعبیر و تفسیر فرایندهای تحولی-ریختی و نیز در مطالعه‌ی نواحی فعال تکتونیکی شده است (آونا^۱ و همکاران ۱۹۶۷، بوناسورت^۲ و همکاران ۱۹۹۱، پیک^۳ ۱۹۹۳ و مرتا^۴ و همکاران ۲۰۰۵). رقابت پایان‌ناپذیر میان فرایندهای زمین‌ساختی که تمایل به ایجاد ناهمواری‌ها دارند و فرایندهای سطحی که تمایل به از بین بردن و صاف کردن ناهمواری‌ها دارند، مفهوم اصلی تکتونیک ژئومورفولوژی است (بربانک و اندرسن^۵، ۲۰۱۲). لندفرم‌ها در نواحی مختلف حاصل ترکیب پیچیده‌ای از تأثیرات حرکات عمودی و افقی مربوط به بلوک‌های پوسته‌ای و فرسایش یا رسوب‌گذاری توسط فرایندهای سطحی است (ایوانیس و همکاران^۶، ۲۰۰۶). ریخت‌سنجی اشکال سطحی، بررسی شاخص‌های مورفوتکتونیکی و مطالعه‌ی شواهد زمین‌شناسی و ژئومورفیک، روش‌های درک تکامل تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی هستند. ریخت‌سنجی به صورت اندازه‌گیری‌های کمی شکل زمین رخسارها تعریف می‌شود (کلر و پینتر^۷، ۱۹۹۶). مهم‌ترین اندیس‌های مورفوتکتونیکی که می‌توانند در ارزیابی تکتونیک فعال به کار روند شامل سینوسیته‌ی جبهه‌ی کوهستان (Smf)، دره‌های شرابی شکل و رویه‌های سه‌گوش می‌باشند (همدونی و همکاران^۸، ۲۰۰۸؛ آزانون و همکاران^۹، ۲۰۱۲؛ بهت و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۳؛ ده‌بزرگی و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۰؛ دلکایلو و همکاران^{۱۲}، ۲۰۰۶؛ دورانتی-تیریتان و همکاران^{۱۳}، ۲۰۱۴؛ بهرامی^{۱۴}، ۲۰۱۳؛ محمود و گلوگن^{۱۵}، ۲۰۱۲، بهرامی و شایان، ۱۳۹۲)؛ اما باید در نظر داشت که نتایج حاصل از این پارامترها می‌تواند در بخش‌های مختلف مقادیر مختلفی را نشان دهد (زوئوچ^{۱۶}، ۱۹۹۸). هرگاه نتایج حاصل از پژوهش در طرح‌های تحقیقاتی جهت کسب اطلاعاتی جامع و کامل درباره تکتونیک فعال مدنظر باشد، این شاخص‌ها به‌طور خاص برای مطالعات تکتونیک فعال مورد استفاده قرار می‌گیرند (داگلاس و همکاران^{۱۷}، ۲۰۰۱)؛ بنابراین این شاخص‌ها می‌توانند به‌عنوان یک ابزار سودمند در برآوردهای تکتونیک فعال به کار گرفته شوند (مولین و همکاران^{۱۸}، ۲۰۰۴). شواهدی نظیر جابجایی مسیر رودخانه‌ها، پرتگاه‌های گسلی، رویه‌های سه‌گوش، دره‌های ساغری و ... نیز نتایج برهم‌کنش میان نیروهای زمین‌ساختی و نیروهای سطحی است (بال^{۱۹}، ۲۰۰۷؛ فتاحی و همکاران، ۲۰۱۳). در ایران نیز شفیعی و همکاران (۱۳۸۸)، در تحقیقی بخشی از رشته‌کوه بینالود را توسط پارامترهای مورفومتری نظیر عدم تقارن حوضه‌ی آبریز، سینوسیته‌ی جبهه‌ی کوهستان و درصد مسطح‌شدگی پیشانی کوهستان و نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن را مورد مطالعه قرار داده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که منطقه‌ی مورد مطالعه به‌طور کلی از نظر تکتونیک فعال است ولی میزان فعالیت در همه جای آن یکسان نیست.

1- Avena

2- Buonasorte

3- Pike

4- Merta

5- Burbank & Anderson

6- Ioannis et al

7- Keller & Pinter

8- Hamdouni et al

9- Azanon et al

10- Bhat et al

11- Dehbozorgi et al

12- Delcaillau et al

13- Doranti-Tiritan et al

14- Bahrami

15- Mahmood & Gloaguen

16- Zuchiewicz

17- Duglas et al

18- Molin et al

19- Bull

در این تحقیق پارامترهای مورفومتری حوضه و کوهستان به صورت ترکیبی به کار گرفته شده است درحالی که برای ارزیابی مورفومتری کوهستان، پارامترهای خاص و برای ارزیابی مورفومتری حوضه نیز پارامترهای دیگری وجود دارد. یمانی و همکاران (۱۳۸۸)، در تحقیقی، با استفاده از شاخص‌های مورفومتری در هفده حوضه‌ی آبریز در دامنه‌های شمال شرقی و جنوب غربی ارتفاعات کرکس، نشان داده‌اند که منطقه از لحاظ تکتونیک فعال بوده ولی میزان آن در همه جا یکسان نیست. نویسندگان در تحقیق حاضر منطقه را از نظر حوضه‌ای مورد مقایسه قرار داده‌اند و بنابراین از شاخص‌های مورفومتری حوضه استفاده کرده‌اند. مقصودی و همکاران (۱۳۹۰)، نیز در تحقیقی به بررسی فعالیت راندگی گیلان غرب پرداخته‌اند. این تحقیق نیز با استفاده از کمیت‌های توپوگرافی و شاخص‌های الگوی شبکه زهکشی انجام گرفته است.

سرزمین ایران همواره شاهد تحولات گسترده‌ی زمین‌ساختی از میانه دوره کرتاسه تاکنون بوده است. شاهد این تحولات زمین‌ساختی؛ تشکیل گسل‌های بزرگ و کوچک با سازوکارهای متفاوت، وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد و چین‌خوردگی‌های کوچک و بزرگ می‌باشد؛ در نتیجه‌ی این نیروهای زمین‌ساختی که اکنون نیز فعال بوده و سرزمین ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند ساختارهای زمین‌شناسی گوناگون مانند آنچه ذکر گردید و نیز اشکال و پدیده‌های مورفوتکتونیک و زمین‌رخسارهای متعدد و متنوعی به خصوص در محدوده‌ی شرق تنگه‌ی هرمز تشکیل شده است.

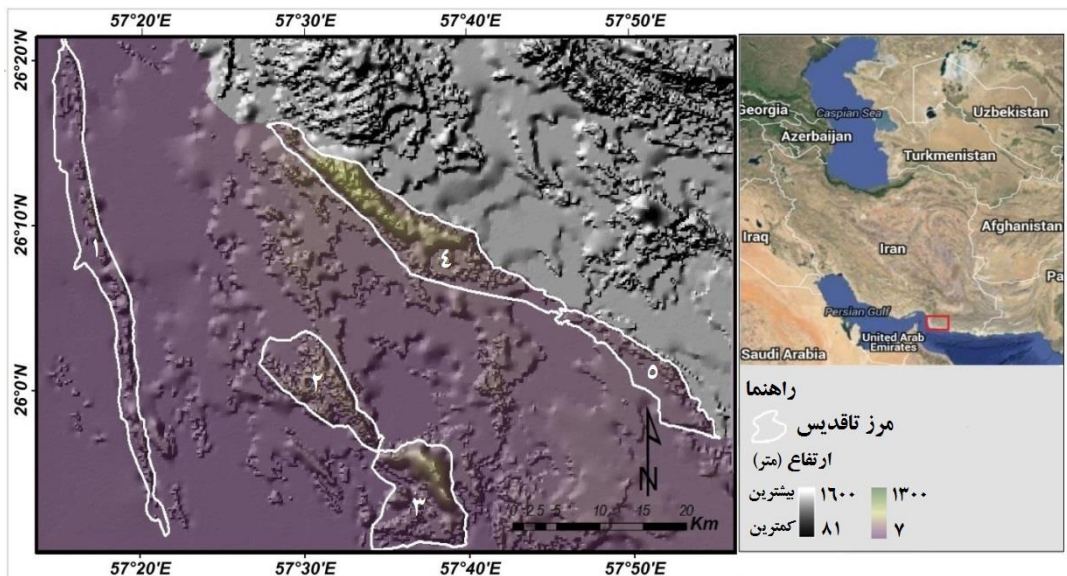
منطقه شرقی تنگه‌ی هرمز (بخش جنوبی گسل میناب و سیستم گسلی شرقی آن) متأثر از نیروهای زمین‌ساختی مذکور، دارای اشکال مورفوتکتونیک متنوعی بوده که بررسی چگونگی پیدایش و ارتباط این اشکال با زمین‌ساخت عمومی منطقه می‌تواند راهگشای حل بسیاری از سؤالات موجود در مورد تکامل تکتونیک و ژئومورفولوژیکی مربوط به این منطقه از سرزمین ایران باشد. در این مطالعه تلاش شده تا با بررسی شاخص‌ها و شواهد مورفوتکتونیک و همچنین سامانه‌ی شکستگی‌های منطقه، ارتباط احتمالی اشکال ژئومورفولوژیکی مشاهده‌شده با زمین‌ساخت عمومی منطقه بررسی گردد و از این رهگذر به تکامل تکتونیک منطقه‌ی شرقی تنگه‌ی هرمز (جنوب گسل میناب و سیستم گسلی شرقی آن) پی برده شود. به‌طور کلی هدف از انجام این پژوهش، بررسی میزان تأثیر تکتونیک در مورفولوژی کنونی لندفرم‌های محدوده‌ی مورد مطالعه بوده و در پی آن ارزیابی و اعتبارسنجی استفاده از شاخص‌های مورفومتری توسط ارزیابی و انطباق با شواهد مورفوتکتونیک منطقه، جهت تحلیل تکتونیک منطقه در ۵ تاقدیس مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۱) که در نهایت می‌توان از یافته‌های آن در امر برنامه‌ریزی محیطی استفاده نمود.

در تحقیقات پیشین معمولاً به بررسی یک شاخص اکتفا شده است یا در بررسی و مطالعه‌ی میزان فعالیت تکتونیک تاقدیس، از شاخص‌های مورفومتری حوضه استفاده شده است. درحالی که در مطالعات تکتونیک فعال توسط شاخص‌های مورفومتری، برای بررسی تاقدیس و حوضه‌های آبخیز به صورت استاندارد شاخص‌های مجزایی تعیین شده است؛ که در تحقیق حاضر سعی شده است با توجه به اینکه ۵ تاقدیس اصلی منطقه، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، از سه شاخص استاندارد موجود در زمینه‌ی مورفومتری تاقدیس استفاده شده است.

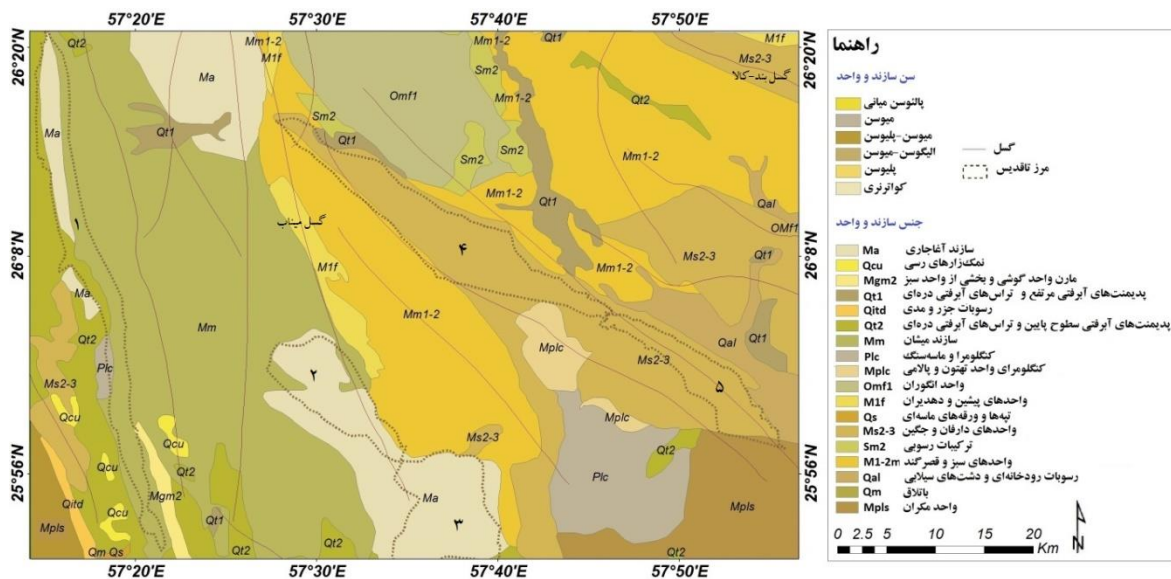
معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق، بخش‌های شرقی تنگه‌ی هرمز یا به عبارتی بخش جنوبی گسل میناب و سیستم گسلی شرقی آن به وسعت ۳۹۳۶ کیلومتر می‌باشد که در محدوده‌ی استان هرمزگان قرار دارد. مرتفع‌ترین بخش منطقه، قسمت‌های شمالی و شمال شرقی آن است که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۰۰ متر می‌باشد و پست‌ترین قسمت آن با ارتفاع ۷ متر در بخش‌های غربی، شمال غربی و جنوبی منطقه قرار دارد (Dem 30 m). روند اصلی گسل‌های منطقه شمالی - جنوبی و شمال غربی - جنوب شرقی می‌باشد (شکل ۳). از اشکال عمده‌ی ژئومورفولوژیک منطقه، تاقدیس‌های فرسایش یافته و تاقدیس‌های زیرسطحی و نیمه پنهان می‌باشند که عمدتاً توسط گسل‌های پلکانی بریده شده‌اند. از جمله اثرات دیگر این گسل‌ها ایجاد یک وضعیت درهم‌ریخته از نظر زمین‌شناسی و ژئومورفیک در سازندهای منطقه می‌باشد که

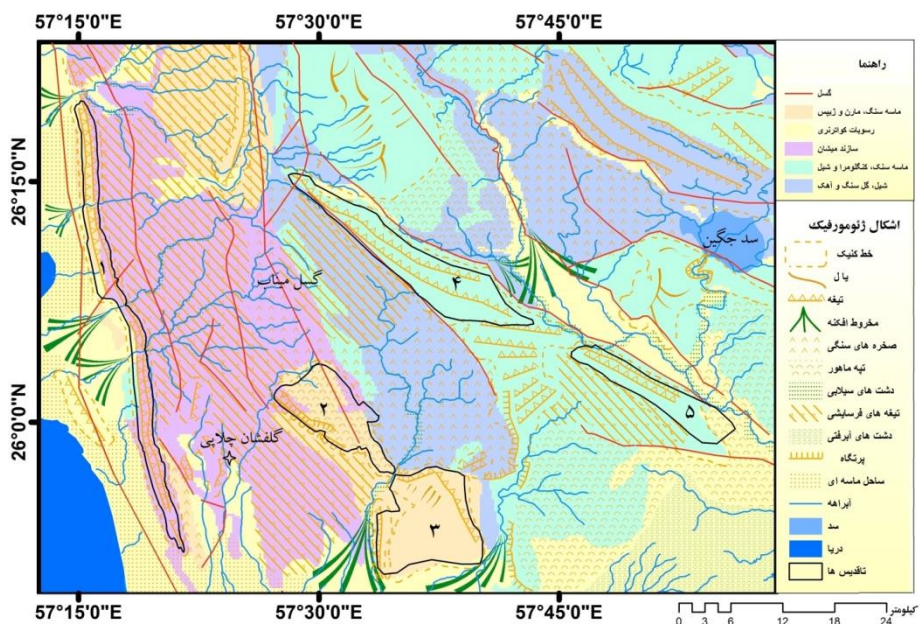
منجر به قرارگیری سازندهای متفاوت منطقه در کنار هم شده است (شکل ۱۰). شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه که شامل ۵ تاقدیس می‌باشد را نشان می‌دهد که جهت آن‌ها به ترتیب تاقدیس ۱ شمالی _ جنوبی و تاقدیس‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ شمال غربی _ جنوب شرقی است که روند آن‌ها با روند گسل‌های منطقه تقریباً یکی می‌باشد. از جمله سازندهای اصلی منطقه، سازند آهکی آغاچاری است که از ماسه‌سنگ‌های کمتر هوازده، رگه‌های ژئیس، مارن قرمز و سیلتستون تشکیل شده است. دیگر سازندهای منطقه شامل بخشی از واحد سبز متشکل از گچ و مارن آهکی؛ سازند میشان که با سنگ‌شناسی تناوب مارن خاکستری با هوازگی کم و سنگ آهک پوخته پوخته، کنگلومرا و ماسه‌سنگ مشخص می‌شود. واحد تهتون و کنگلومرای پالامی متشکل از کنگلومرای پلیوسن، ماسه‌سنگ و گل‌سنگ است. شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی محدوده‌ی بررسی را بر اساس نوع سازند نمایش می‌دهد. تاقدیس شماره‌ی یک، تاقدیسی طولیل با شیب بیشتر در یال جنوبی آن؛ در هر دو دامنه‌ی آن رویه‌های سه‌گوش (بخصوص در دامنه‌ی جنوبی آن)، دره‌های ساغری و یک جریان رودخانه که منجر به برشی عمیق در قسمت‌های شمالی آن شده است، وجود دارد. تاقدیس شماره دو یک مورفولوژی نسبتاً فرسایش یافته داشته و در قسمت شمالی به صورت پنهان بوده و تحت تأثیر گسل‌های پلکانی متعدد، دارای مورفولوژی کمی درهم‌ریخته می‌باشد. تاقدیس شماره سه که بخصوص در قسمت‌های شمالی خود دارای رویه‌های سه‌گوش کشیده و مشخص می‌باشد، دارای یک water gap شاخص بوده که بیشتر متمایل به جهت شمالی تاقدیس می‌باشد. تاقدیس شماره ۴ که یک تاقدیس نسبتاً طولیل می‌باشد، با مورفولوژی مضرس و رویه‌های سه‌گوش مطبق بخصوص در یال جنوبی که منجر به ایجاد دره‌های شرابی شکل طولیل و عمقی شده است، دارای یک مورفولوژی منحصربه‌فرد می‌باشد. این تاقدیس در گوشه‌ی شمالی توسط یک گسل با امتداد شمالی - جنوبی تا شمال شرقی - جنوب غربی با روند راستا لغز راستگرد بریده شده است. در نهایت تاقدیس شماره ۵ با مورفولوژی بیشتر فرسایشی، تحت تأثیر زهکش‌های متعدد رودخانه‌ی جگین بوده؛ بنابراین دارای یک سیمای فرسایش یافته و مضرس می‌باشد. سیمای ژئومورفیک منطقه در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه‌ی زمین‌شناسی محدوده‌ی مورد مطالعه

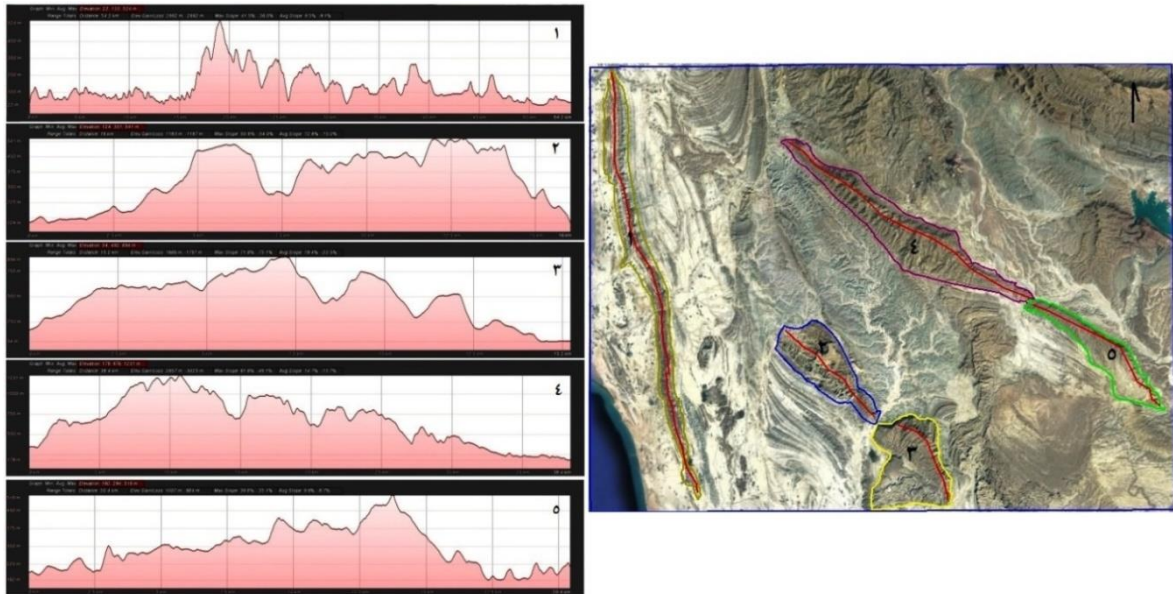


شکل ۳. نقشه‌ی ژئومورفولوژی محدوده‌ی مورد بررسی



شکل ۴. (۱) اشکال رویه‌های سه‌گوش با دره‌های طولی بین رشته‌های موازی رویه‌های سه‌گوش، (۲) سطح یکی از رویه‌های سه‌گوش که توسط اشکال تافونی پوشیده شده است، (۳) عوارض ناشی از فرسایش آبی، بر روی تشکیلات سست رسی و مارنی منطقه در زیر و سخت ماسه‌سنگی بر روی تاقدیس‌های مورد بررسی

پروفیل‌های طولی تاقدیس‌های مورد بررسی در شکل ۵ نشان داده شده است؛ همان‌طور که در این شکل مشخص است، تاقدیس شماره‌ی یک، دارای دره‌های متعدد، باریک‌تر و عمیق‌تری نسبت به تاقدیس‌های دیگر می‌باشد که این نشان‌دهنده‌ی عملکرد کمتر فرسایش و غلبه‌ی بیشتر تکتونیک در این تاقدیس می‌باشد.



شکل ۵. نیمرخ طولی تاقدیس‌های مورد بررسی

روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه به‌منظور شناسایی گسل‌ها، داده‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM ۳۰ متر منطقه) برای تهیه‌ی نقشه‌ی موقعیت منطقه و اطلاعات تصاویر ماهواره‌ی لندست و تصاویر Google earth برای اندازه‌گیری شاخص‌ها و ارزیابی شواهد تکتونیکی منطقه

می‌باشد. با کمک داده‌های ذکر شده و نرم‌افزارهای GIS و Google earth پارامترهای مورفومتری تاقدیس که شامل سه پارامتر اصلی رویه‌های سه‌گوش، دره‌های شرابی و سینوسیته‌ی جبهه‌ی تاقدیس می‌باشد، محاسبه گردیده است (جدول ۱).

جدول ۱. شاخص‌های مورد استفاده (همدونی و همکاران، ۲۰۰۸؛ بهرامی، ۲۰۱۳)

شاخص	فرمول	اجزاء فرمول	تفسیر
شاخص رویه‌های سه‌گوش	-	$BL = \text{طول قاعده}$ $A = \text{مساحت}$ $S = \text{شیب}$	رویه‌های با شیب تندتر، مساحت و طول قاعده‌ی بیشتر، در مناطق با تکتونیک فعال‌تر تشکیل می‌شوند.
شاخص Wine glass valley	$W=M/O$	$M = \text{بیشینه‌ی عرض دره}$ $O = \text{خروجی دره}$	دره‌هایی که دارای نسبت W بالاتری هستند در یال‌های پرشیب‌تر و چرخش بیشتر تشکیل می‌شوند، در نتیجه نشانگر فعالیت تکتونیکی بالاتری هستند.
شاخص سینوسیته‌ی جبهه‌ی کوهستان	$S_{mf} = L_{mf}/L_s$	$L_{mf} = \text{طول جبهه‌ی کوهستان در جلو و پای کوهستان یا جایی که شیب تغییر می‌کند (منحنی)}$ $L_s = \text{فاصله‌ی مستقیم همان دو نقطه}$	هرچه کمتر باشد، به خط راست نزدیک‌تر باشد و فرسایش کمتر باشد و به ۱ نزدیک‌تر باشد تکتونیک فعال‌تر است.

برای محاسبه‌ی وضعیت مورفوتکتونیک منطقه، در مرحله‌ی اول پارامترهای مربوطه، در دو یال شمالی و جنوبی که شامل رویه‌های سه‌گوش، دره‌های ساغری و سینوسیته‌ی جبهه‌ی کوهستان است به‌صورت جداگانه محاسبه گردید؛ برای این منظور از نرم‌افزار Google earth استفاده شده است. به‌این ترتیب در نرم‌افزار Google earth مرزهای مربوطه ترسیم شد، شیب رویه‌های سه‌گوش، طول قاعده‌ی رویه‌ها، بیشینه‌ی عرض و عرض خروجی دره‌های ساغری و خط جبهه‌ی کوهستان در حالت سینوسی و مستقیم ترسیم و محاسبات مربوطه صورت پذیرفت. در مرحله‌ی دوم شواهد ژئومورفولوژیک و زمین‌شناسی حاصل از تکتونیک فعال منطقه مورد مشاهده قرار گرفت و در این راستا تعدادی از شواهد به‌دست آمده است. در نهایت روایی شاخص‌های به‌دست‌آمده با مقایسه و ارزیابی شواهد مورفوتکتونیکی، مورد بررسی قرار گرفته است (شکل‌های ۸ و ۹).

بحث و یافته‌ها

رویه‌های سه‌گوش اشکال خاصی هستند که در پیشانی کوهستان، پرتگاه‌های گسلی و یال‌های چین‌خوردگی‌ها تشکیل می‌شوند. به وجود آمدن این پدیده‌ها نتیجه‌ی تکتونیک فعال در یک منطقه است که به‌صورت برخاستگی و بالا آمدن لایه‌های زمین‌شناسی و تشکیل چین‌ها بروز می‌نماید. در صورتی که نرخ برخاستگی بیشتر از نرخ فرسایش آبی باشد، پدیده‌هایی با شکل مثلثی تا چندشکلی تشکیل می‌گردد که توسط آبراهه‌ها از یکدیگر جدا می‌شوند. هرچه میزان برخاستگی تکتونیکی بیشتر باشد، رویه‌های سه‌گوش پرشیب‌تر و با طول قاعده‌ی بیشتر خواهند بود. در این تحقیق مجموعاً تعداد ۲۵۱ رویه‌ی سه‌گوش بر روی ۵ تاقدیس مورد مطالعه شناسایی شد که از این تعداد ۸۸ رویه در تاقدیس شماره ۱، ۳۲ رویه در تاقدیس شماره ۲، ۴۳ رویه در تاقدیس شماره ۳، ۶۵ رویه در تاقدیس شماره ۴ و ۲۳ رویه در تاقدیس شماره ۵ شناسایی و

اندازه‌گیری شد. جدول شماره‌ی ۲ میانگین مقادیر این شاخص را نشان می‌دهد. این پارامترها شامل مساحت هر رویه، طول قاعده و شیب می‌باشند.

جدول ۲. میانگین مقادیر شاخص رویه‌های سه‌گوش در تاق‌دیس شماره ۱

یال تاق‌دیس ۱	میانگین مساحت (m^2)	میانگین طول قاعده (m)	میانگین شیب (درصد)
شمال	۲۱۹۶۶/۹۵	۱۹۶/۹	۲۴
جنوب	۶۷۱۰۶/۳۸	۴۶۶/۶۷	۳۴
یال تاق‌دیس ۲			
شمال	۵۵۱۱۰/۲	۲۷۵/۲	۵۳
جنوب	۱۱۳۶۸/۵	۳۵۵/۰۴	۲۸
یال تاق‌دیس ۳			
شمال	۹۶۷۶۴/۰۸	۴۷۲/۷۶	۳۶
جنوب	۲۸۰۷۹۳/۱	۵۴۳/۶	۲۱
یال تاق‌دیس ۴			
شمال	۱۱۵۵۰۱/۳	۴۲۱/۴۳	۳۴/۷۸
جنوب	۱۲۳۵۰۲/۷	۵۲۱/۵۷	۳۰/۵۹
یال تاق‌دیس ۵			
شمال	۱۷۰۲۴/۳۱	۱۶۴/۳۱	۲۹/۲۵
جنوب	۳۵۶۹۴۶/۱	۹۲۱	۶/۱۴

بر اساس جدول ۲، در تاق‌دیس شماره‌ی ۱ بیشترین میزان میانگین مساحت، میانگین طول قاعده و میانگین شیب مربوط به یال جنوبی تاق‌دیس می‌باشد. در تاق‌دیس شماره ۲، بیشترین مقدار میانگین مساحت و میانگین طول قاعده مربوط به یال جنوبی آن است ولی در مقابل بیشترین میزان شیب در یال شمالی آن اندازه‌گیری شده است. در تاق‌دیس شماره ۳، بیشترین مقدار میانگین مساحت و میانگین طول قاعده مربوط به یال جنوبی آن است و نظیر تاق‌دیس شماره ۲ بیشترین میزان شیب در یال شمالی آن اندازه‌گیری شده است. در تاق‌دیس شماره ۴ و ۵، نیز روند مقادیر مانند تاق‌دیس‌های شماره ۲ و ۳ می‌باشد. بر اساس جدول ۱، رویه‌های با شیب تندتر، مساحت و طول قاعده‌ی بیشتر، در مناطق با تکتونیک فعال‌تر تشکیل می‌شوند. نحوه‌ی اندازه‌گیری این شاخص در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶. نحوه‌ی اندازه‌گیری شاخص رویه‌های سه‌گوش بر روی یال یکی از تاق‌دیس‌های مورد بررسی

اشکال دره‌های ساغری، دره‌هایی به شکل جام هستند که بر روی پرتگاه‌های گسلی و یال‌های تاقدیس‌های فعال در نتیجه فرسایش رودخانه‌ای و آبی تشکیل می‌شوند. هرچه نرخ برخاستگی بیشتر از نرخ فرسایش آبی باشد، این دره‌ها عمیق‌تر و باریک‌تر خواهند بود و در مقابل در صورتی که نرخ فرسایش آبی بیشتر باشد، این دره‌ها پهن‌تر خواهند بود. در این تحقیق در مجموع تعداد ۱۸۵ دره‌ی ساغری بر روی ۵ تاقدیس مورد مطالعه، شناسایی شد که از این تعداد ۶۴ دره‌ی ساغری در تاقدیس شماره ۱، ۱۸ دره در تاقدیس ۲، ۲۸ دره در تاقدیس ۳، ۴۷ دره در تاقدیس ۴ و ۲۸ دره‌ی ساغری در تاقدیس شماره ۵ شناسایی و اندازه‌گیری گردید. جدول شماره‌ی شماره ۳ میانگین این مقادیر را نشان می‌دهد. این پارامترها شامل بیشترین عرض (M) و عرض خروجی دره (O) و نسبت بیشترین عرض به عرض خروجی (W) می‌باشد.

جدول ۳. میانگین مقادیر شاخص دره‌های ساغری

یال تاقدیس ۱	M (m)	O(m)	W
شمال	۲۵۰	۷۵/۹	۳/۳۱
جنوب	۳۲۷	۷۰/۴	۴/۸۴
یال تاقدیس ۲			
شمال	۲۵۰	۹۳	۲/۷۱
جنوب	۳۳۱	۱۱۶/۵	۳/۱۳
یال تاقدیس ۳			
شمال	۳۹۸	۱۳۸/۴	۳/۰۹
جنوب	۳۵۲	۱۳۲/۳	۲/۹۴
یال تاقدیس ۴			
شمال	۴۲۵	۱۰۴/۹	۴/۳۰
جنوب	۵۴۵	۱۰۶/۳	۵/۳۳
یال تاقدیس ۵			
شمال	۳۳۳	۸۹	۳/۸
جنوب	۲۲۳	۵۶/۵	۴/۰۹

طبق جدول شماره ۳ در تاقدیس شماره ۱، بیشترین میزان پارامتر نسبت بزرگ‌ترین عرض به عرض خروجی دره‌های ساغری در یال جنوبی آن اندازه‌گیری شده است. در تاقدیس شماره ۲ نیز مقدار این شاخص در یال جنوبی بیشتر است. در تاقدیس شماره ۳، مقدار این شاخص در یال شمالی آن بیشتر است. در تاقدیس شماره ۴، این مقدار در یال جنوبی تاقدیس بیشتر است و در تاقدیس شماره ۵ نیز مقدار این پارامتر در یال جنوبی تاقدیس بیشتر است؛ بنابراین در اکثر تاقدیس‌های مورد بررسی یال‌های جنوبی دارای نسبت W بیشتری می‌باشند. نحوه‌ی اندازه‌گیری این شاخص در یال یکی از تاقدیس‌های پنج‌گانه نشان داده شده است (شکل ۷).



شکل ۷. نحوه‌ی اندازه‌گیری شاخص دره‌های شرابی شکل بر روی یال یکی از تاقدیس‌های مورد بررسی و مرفولوژی دره‌های مورد مطالعه بر سطح تاقدیس مورد بررسی

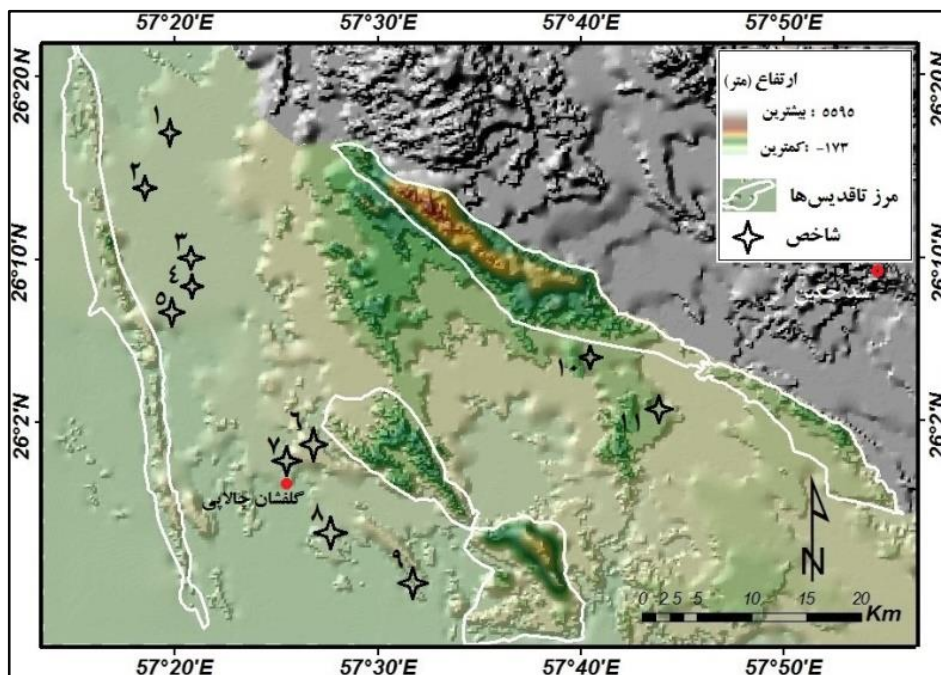
شاخص سینوسیته‌ی جبهه‌ی تاقدیس، از تقسیم خط فرسایش یافته و تورفته‌ی پیشانی تاقدیس به خط مستقیم نشان‌دهنده‌ی طول یال تاقدیس به دست می‌آید. در تاقدیس‌های با تکتونیک فعال و نرخ بالای برخواستگی، خط فرسایش یافته دارای طولی نزدیک به خط مستقیم همان یال بوده و این پارامتر به عدد ۱ میل می‌کند. در صورتی که در تاقدیس‌های با تکتونیک ضعیف، طول خط فرسایش یافته بسیار بیشتر از طول خط مستقیم بوده و این شاخص از عدد ۱ بیشتر است. مقادیر شاخص سینوسیته‌ی جبهه‌ی تاقدیس در جدول شماره‌ی ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. مقادیر شاخص سینوسیته‌ی جبهه‌ی تاقدیس

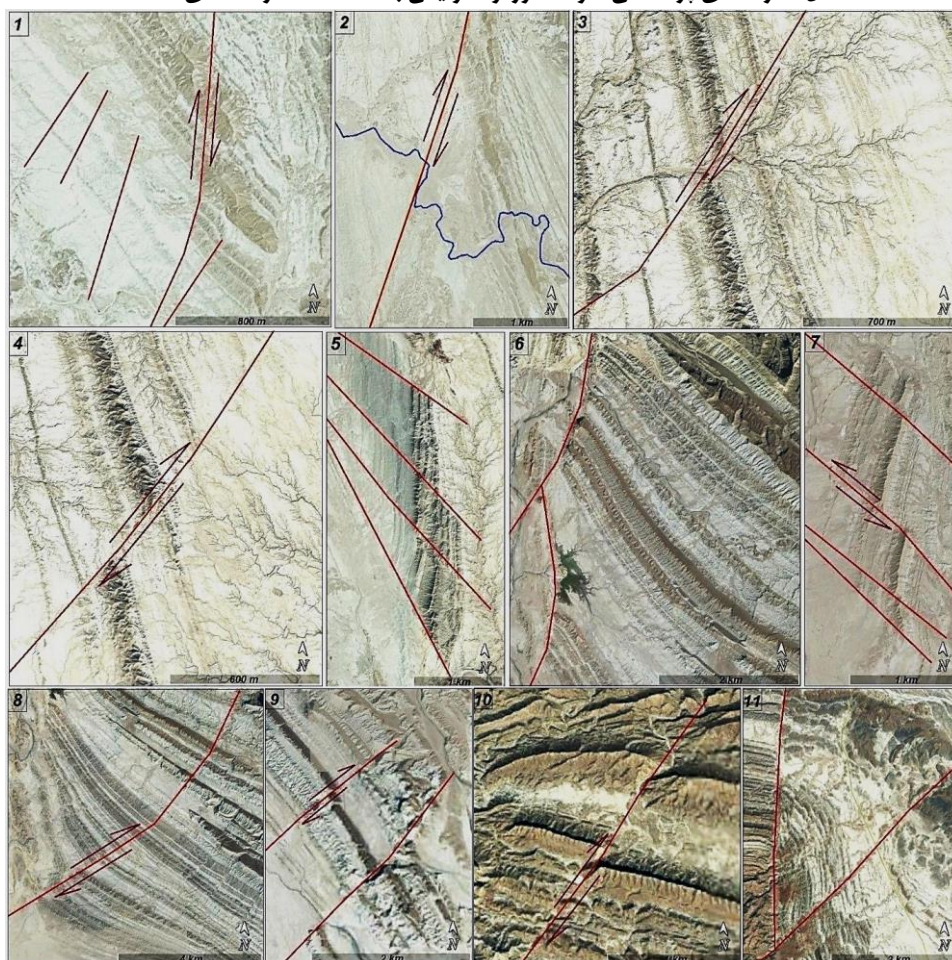
تاقدیس ۱	Lmf(m)	La(m)	smf	تاقدیس ۲	Lmf(m)	La(m)	smf	تاقدیس ۳	Lmf(m)	La(m)	smf
شمال	۵۹۱۴۸	۵۴۱۰۹	۱/۰۹	شمال	۱۶۳۱۸	۱۴۸۳۵	۱/۰۹	شمال	۱۹۷۱۰	۱۳۲۰۹	۱/۴۹
جنوب	۶۲۳۵۰	۵۴۰۹۵	۱/۱۵	جنوب	۱۷۳۳	۱۵۲۷۷	۱/۱۳	جنوب	۲۹۲۴۲	۱۲۳۸۲	۲/۳۶
تاقدیس ۴	Lmf(m)	La(m)	smf	تاقدیس ۵	Lmf(m)	La(m)	smf	-	-	-	-
شمال	۵۰۴۳۰	۳۶۷۰۶	۱/۳۷	شمال	۲۵۲۷۹	۲۰۸۳۵	۱/۲۱	-	-	-	-
جنوب	۴۴۶۵۵	۳۶۵۳۰	۱/۲۲	جنوب	۲۵۲۱۶	۲۱۷۱۱	۱/۱۶	-	-	-	-

بر طبق جدول شماره‌ی ۴، شاخص Smf در تاقدیس شماره‌ی ۱، در یال شمالی کمتر از یال جنوبی است و به عدد ۱ نزدیک‌تر است؛ این موضوع نشان‌دهنده‌ی این است که فرسایش در یال جنوبی بیشتر از یال شمالی است. این شاخص در تاقدیس‌های شماره‌ی ۲ و ۳ نیز، در یال شمالی کمتر از یال جنوبی است؛ اما مقدار آن در تاقدیس‌های شماره‌ی ۴ و ۵ در یال جنوبی آن کمتر می‌باشد؛ که نشان می‌دهد فرسایش در یال شمالی این تاقدیس‌ها بیشتر بوده و برعکس تکتونیک در یال جنوبی این تاقدیس‌ها فعال‌تر می‌باشد.

در ارزیابی شواهد مورفوتکتونیکی منطقه، تعدادی شواهد به صورت شاخص به دست آمده است که در شکل ۹ نمایش داده شده است. پراکنده‌ی این شواهد و موقعیت آن‌ها در منطقه‌ی مورد بررسی در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸. راهنمای پراکنده‌گی شواهد مورفوتکتونیک به دست آمده از منطقه‌ی مطالعه



شکل ۹. وجود برش و جابه‌جایی سازند در موارد ۱، ۳، ۴، ۶، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱؛ جابه‌جایی رودخانه توسط گسل راست‌گرد در شکل ۲؛ وجود گسل‌های پلکانی در شکل‌های ۱، ۵ و ۷

در شکل ۹، مورد شماره‌ی ۱ گسل راست‌گرد راستا لغز موجب ایجاد یک آفست به طول ۴۲۲ متر در سازند شده است؛ در همین تصویر وجود گسل‌های پلکانی مشاهده می‌شود. در مورد دوم گسل راست‌گرد موجب انحراف رودخانه از مسیر اصلی خود شده است. در مورد سوم یک آفست اصلی به طول ۱۳۵ متر و یک آفست به طول ۱۳۸ متر و دیگری به طول ۲۰۶ متر موجب جابه‌جایی سازند شده است. در نمونه‌ی چهارم گسل راست‌گرد موجب برش و جابه‌جایی سازند به طول ۳۳۴ متر شده است. در نمونه‌ی پنجم چندین گسل موازی با روند شمال غربی - جنوب شرقی موجب ایجاد گسل‌های پلکانی و جابه‌جایی‌های متعدد در سازند شده است. در مورد شماره‌ی ششم مجموعه‌ی سازند به‌طور کامل جابه‌جا شده و در برابر سازند دیگر قرار گرفته است. در مورد هفتم وجود گسل چپ‌گرد موجب ایجاد گسل‌های متعدد پلکانی و موجب تغییر و جابه‌جایی سازند شده است. در مورد شماره ۸ نیز یک گسل راست‌گرد اصلی نشان داده شده که منجر به برش و جابه‌جایی سازند شده است و در سمت راست همین تصویر وجود گسل‌های کوچک پلکانی موازی با گسل اصلی مشاهده می‌شود، در تصویر ۹ وجود دو گسل موازی منجر به برش مقطعی تاقدیس شده است، در شکل ۱۰ نیز وجود یک گسل راست‌گرد، در محل برش حاصل از Water gap منجر به جابه‌جایی راست‌گرد تاقدیس‌های محدوده شده است و در نهایت شکل ۱۱ نیز برش و جابه‌جایی سازندها را توسط گسل‌های متقاطع با زاویه‌ی ۴۵ درجه نشان می‌دهد. جدول ۵ میزان فعالیت تکتونیکی منطقه را بر اساس نتایج هر سه شاخص مورد بررسی، رتبه‌بندی کرده است. (عدد ۱ بیشترین میزان فعالیت و عدد ۵ کمترین میزان فعالیت تکتونیکی را نشان می‌دهد):

جدول ۵. میزان فعالیت تکتونیکی تاقدیس‌ها

شماره	رویه‌های سه گوش (میانگین سه پارامتر شیب، طول و مساحت)	دره‌های ساغری (میزان W)	سینوسیته جبهه تاقدیس (میزان SMF)	میانگین رتبه‌بندی سه شاخص بر اساس میزان فعالیت تکتونیکی
۱	۴	۲	۱	۱
۲	۵	۴	۲	۴
۳	۱	۳	۵	۳
۴	۲	۱	۴	۲
۵	۳	۵	۳	۵

همچنان که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، بیشترین فعالیت تکتونیکی در تاقدیس شماره‌ی ۱ می‌باشد. همچنین وجود ۵ مورد از شواهد تکتونیکی از میان ۱۱ مورد (شکل ۸)، در نزدیکی تاقدیس شماره‌ی ۱ تأییدی بر صحت‌سنجی شاخص‌ها و فعالیت تکتونیکی در این تاقدیس می‌باشد.

تحقیق حاضر در مقایسه با تحقیقات داخلی و خارجی مشابه دارای این امتیاز می‌باشد که به سه شاخص اصلی و مهم مورفوتکتونیک تاقدیس به‌طور هم‌زمان پرداخته است اما در اکثر کارهای مشابه داخلی و یا خارجی معمولاً به یک یا دو شاخص از بین شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق اکتفا شده است. از دیگر امتیازات تحقیق حاضر در مقایسه با کارهای مشابه، ارزیابی هم‌زمان شواهد مورفوتکتونیکی به‌منظور ارائه‌ی نتایج بهتر و موثق‌تر می‌باشد. همچنین برای تأیید و بهتر نشان دادن شواهد فعال تکتونیکی در منطقه با کار میدانی و حضور در محدوده‌ی تاقدیس‌ها، عوارض مورفومتریک منطقه از نزدیک مشاهده شده است. بر اساس شواهد موجود نظیر دره‌های تند و شیب‌دار در روی تاقدیس‌ها، جابه‌جایی مسیر رودخانه‌ها، گسل‌های راست‌گرد و چپ‌گرد و برش و جابه‌جایی سازندها، کاهش میزان فرسایش و فعالیت بیشتر تکتونیک در منطقه، تأیید گردید.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، تاکدیس‌های مورد مطالعه که در واحد زمین‌شناسی مکران واقع شده‌اند، با توجه به سه شاخص رویه‌های سه‌گوش، دره‌های ساغری و سینوسیت‌های جبهه‌ی تاکدیس، به‌صورت جداگانه به شکل یال‌های شمالی-جنوبی، با هدف برآورد میزان پایداری منطقه مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفتند. در این راستا با توجه به تحلیل‌های کمی صورت گرفته به کمک شاخص‌های مورفومتری ذکر شده، از منظر ارزیابی و تحلیل شاخص رویه‌های سه‌گوش و دره‌های ساغری، یال‌های جنوبی تاکدیس‌ها و برحسب نتایج حاصل شده از بررسی شاخص سینوسیت‌های جبهه‌ی تاکدیس، یال‌های شمالی، دارای بیشترین میزان فعالیت تکتونیکی می‌باشند. از طرفی برتری نقش تکتونیک نسبت به فرسایش در مورفولوژی ظاهری این تاکدیس‌ها که به بیانی در یکی از حساس‌ترین سازندهای ایران نسبت به فرسایش استقرار یافته‌اند، خود به‌نوعی می‌تواند شاهدهی بر استمرار فعالیت‌های تکتونیکی عهد حاضر باشد.

به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که میزان فعالیت تکتونیکی در یال‌های جنوبی تاکدیس‌ها بیشتر می‌باشد و از میان تاکدیس‌های مورد بررسی در دو شاخص دره‌های ساغری و سینوسیت‌های جبهه‌ی کوهستان، تاکدیس شماره یک دارای بیشترین میزان فعالیت تکتونیکی می‌باشد (جدول ۵) و بر اساس شواهد مورد بررسی و پراکندگی این شواهد در شکل‌های ۳ و ۴، مشخص گردید که بیشترین تراکم شواهد مورفوتکتونیکی نظیر جابه‌جایی سازندها، گسل‌های پلکانی و تغییر مسیر رودخانه‌ها در محدوده و اطراف تاکدیس شماره ۱ مشاهده شده است که این موضوع بر فعالیت‌های بیشتر تکتونیک در این منطقه دلالت دارد. به‌طور کلی نتایج شاخص‌ها و شواهد بررسی شده، بیان‌کننده حاکمیت فعالیت تکتونیکی در سطح منطقه می‌باشد. بعد از تاکدیس شماره ۱ تاکدیس‌هایی که از لحاظ فعالیت تکتونیکی به ترتیب بیشترین میزان فعالیت را دارند تاکدیس شماره ۴، تاکدیس شماره ۳، تاکدیس شماره ۲ و کمترین فعالیت تکتونیکی نیز مربوط به تاکدیس شماره ۵ می‌باشد. تطابق پژوهش‌های میدانی انجام گرفته شده و مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفته با نتایج حاصل از شاخص‌ها و پراکنش و نوع شواهد، نشان‌دهنده کاربرد مناسب این شاخص‌ها در ارزیابی فعالیت تکتونیکی می‌باشد. از نتایج تحقیق حاضر می‌توان جهت برنامه‌ریزی‌های آمایش سرزمین از جمله تهیه نقشه‌های خطر، اولویت‌بندی انجام اقدامات ایمن‌سازی در مناطق دارای خطر بیشتر، در جهت دستیابی به پایداری محیط استفاده کرد.

منابع و مأخذ

- بهرامی، شهرام و سیاوش شایان، ۱۳۹۲، بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های مورفومتریک شبکه زهکشی و سطوح مثلثی شکل تاکدیس دانه خشک، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۸ (۳)، صص. ۲۱۰-۱۹۷.
- شفیع‌ی، الهه، علوی، سید احمد و نصیر نادری میقان، ۱۳۸۸، تکتونیک فعال در رشته‌کوه بینالود با تکیه بر بررسی‌های مورفوتکتونیکی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۰، صص. ۹۲-۷۹.
- مقصودی، مهران، باقری، سجاد و محمود داودی، ۱۳۹۰، راندگی گیلان غرب با استفاده از شاخص‌ها و شواهد ژئومورفولوژیک، جغرافیا و توسعه، ۶، صص. ۱۳۷-۱۵۸.
- یمانی، مجتبی، مقیمی، ابراهیم و علیرضا تقیان، ۱۳۸۸، ارزیابی تأثیرات نو زمین‌ساخت فعال در دامنه‌های کرکس با استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی، تحقیقات جغرافیایی، ۲۳، صص. ۱۱۷-۱۳۶.
- Avena, G. C., Giuliano G. & Lupia Palmier E, 1967, Sulla valutazione quantitativa della gerarchizzazione ed evoluzione dei reticoli fluviali, Bollettino della Societa Geologica Italiana. No. 86, Pp. 781-796.
- Azanon, J. M., Perez-Pena, J. V., Giaconia, F., Booth-Real, G., Martínez-Martínez, J. M., Rodríguez-Peces, M. J, 2012, Active tectonics in the central and eastern Betic Cordillera through morphotectonic analysis: the case of Sierra Nevada and Sierra

- Alhamilla. *Journal of Iberian Geology* 38 (1). Pp. 225-238. doi.org/10.5209/rev_JIGE.2012.v38.n1.39214.
- Bhat F. A., Bhat I. M., Hamid Sana, Mohd Iqbal & Akhtar R. Mir, 2013, Identification of geomorphic signatures of active tectonics in the West Lidder Watershed, Kashmir Himalayas: Using Remote Sensing and GIS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATICS AND GEOSCIENCES*. Volume 4, No 1. Pp. 164-176.
 - Burbank, Douglas W & Robert Anderson, 2012, *Tectonic Geomorphology*. Second Edition. Published by Wiley-Blackwell. USA. P. 454.
 - Buonasorte, G., Ciccacci, S., De Rita, D., Fredi, P. & Lupia Palmieri, E., 1991, Some relations between morphological characteristics and geological structure in the Vulcini Volcanic Complex (Northern Latium, Italy), *Zeitschrift fur Geomorphologie N.F., Supple. Bd.* 82: 59-71.
 - Bull, William B., 2007, *Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology*. Published by Blackwell. USA. First published, P. 316.
 - Bahrami, Shahram., 2013, Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekhoshk anticline, Zagros, Iran. *Journal of Geomorphology*, No. 180-181, Pp. 217–230. doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.10.012.
 - Doranti-Tiritan, Carolina., Christian Hackspacher, Peter., Henrique de Souza, Daniel & Marli Carina, Siqueira-Ribeiro., 2014, The Use of the Stream Length-Gradient Index in Morphotectonic Analysis of Drainage Basins in Pocos de Caldas Plateau, SE Brazil. *International Journal of Geosciences*. No, 5. Pp, 1383-1394. doi.org/10.4236/ijg.2014.511112.
 - Duglas W. burbank & Robert S. Anderson., 2001, *Tectonic Geomorphology*. Blackwell Science Ltd. Geological survey Open-File Report 87-673 pp: 203-222.
 - Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A.A., Motamedi, H & A, Hosseiniasl., 2010, Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. *Journal of Geomorphology*. No. 13. doi:10.1016/j.geomorph.2010.05.002.
 - Delcaillau, Bernard., Carozza, Jean-Michel., & Edgard Laville, 2006, Recent fold growth and drainage development: The Janauri and Chandigarh anticlines in the Siwalik foothills, north west India. *Journal of Geomorphology*. No, 76. Pp, 241–256. doi:10.1016/j.geomorph.2005.11.005.
 - Fattahi, M., Walker, R.T., Talebian, M., Sloan, R.A & A, Rasheedi, 2013, Late Quaternary active faulting and landscape evolution in relation to the Gowk Fault in the South Golbaf Basin, S.E. Iran. *Journal of Geomorphology*. No. 10, Pp. 1-10. doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.08.017.
 - Hamdouni, R. El. Iriggaray, C. Fernandez, T. Chacon, J & E.A Keller, 2008, Assessment of relative active tectonics southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). *Geomorphology*. 96.
 - Ioannis, M.T., Ioannis, K.K & S. Pavlides, 2006, Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf Corinth (Beotia, central Greece). *Tectonophysics* Vol. 453.
 - Keller, Edward A & Nicholas, Pinter, 1996, *Active Tectonics Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Published by Prentice-Hall, Inc. New Jersey. P. 338.
 - Merta, D. & N. S, Harkins, 2005, Quantitative morphotectonic analysis as a tool for detecting deformation patterns in softrock terrains: A case study from the southern Marches, Italy, *Geomorphologie*, No. 4, Pp. 267-284.
 - Molin, P., Pazzaglia, F.J & F, Dramis, 2004, Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly-deforming forearc, Sali massif, Calabria, southern Italy. *American Journal of Science* 304, 559-589.

- Mahmood, Syed Amer & Richard, Gloaguen, 2012, Apprais al of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis. *Journal of GEOSCIENCE FRONTIERS*. No. 3(4). Pp, 407-428. doi:10.1016/j.gsf.2011.12.002.
- zuchiewicz, W.A and J.P., McCaplin, 2000, Geometry of faceted spurs on an active normal fault: case study of the Central Wasatch Fault, Utah, U.S.A. *Annals Societatis Geologorum Poloniae*, 70, 231 -249.
- Pike, R.1., 1993, A bibliogralhy of geomorphometry, with a topical key to the literature and an introduction to the numerical. *Characterization of topographic form, U.S Geological Survey Open-file Report*. 93-262-A,132P.27. Zuchiewicz, W., 1998, *Quaternary Tectonics of the outer West Carpathians, Poland Tectonophysics* 'Vol. 297 ' No. 1-4 'pp. 121-132.