

بررسی نقش سیستم گسلی شرق گسل زندان در زایش محدوده جدید گل فشانی ایران

(شرق تنگه هرمز)

کرامت نژادافزلی*؛ استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

مهران مقصودی؛ دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

راضیه لک؛ دانشیار رسوب‌شناسی، پژوهشکده علوم زمین، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۳۰

چکیده

گل‌فشان خروج تحت فشار آب و گل همراه با ترکیبات شیمیایی متفاوت است. این جاذبه طبیعی معمولاً به دو شکل مخروطی و حوضچه‌ای یافت می‌شود و اغلب از مناطق زیرراندگی پوسته‌ای، به‌ویژه در کمربند آلپ-همالیا، پیروی می‌کند. در ایران گل‌فشان‌ها اغلب در جلگه‌های ساحلی دریای خزر و دریای عمان قرار دارند. در تحقیق حاضر، جهت ارزیابی فعالیت تکتونیکی گل‌فشان‌های شرق گسل زندان پنج تاقدیس در بخش جنوبی گسل میناب و شرق آن، توسط سه پارامتر مورفومتری تاقدیس، شامل رویه‌های سه‌گوش و دره‌های شرابی و سینوسیته جبهه تاقدیس، بررسی و اندازه‌گیری شد. داده‌های استفاده‌شده شامل 30 m Dem منطقه، تصاویر ماهواره‌های لندست، و نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه است. تحقیق در دو مرحله محاسبه شاخص‌ها و ارزیابی شواهد انجام گرفت. هدف از این تحقیق ارزیابی منطقه از نظر میزان فعالیت تکتونیکی و نقش آن در شکل‌گیری گل‌فشان‌های منطقه بود. نتایجی که از تحلیل محاسبه شاخص‌ها به دست آمد نشان‌دهنده این بود که از منظر ارزیابی و تحلیل شاخص‌ها منطقه فعالیت تکتونیکی بالایی دارد و نقش تکتونیک و سیستم گسلی میناب در شکل‌گیری گل‌فشان‌ها چشمگیر است. کلیدواژگان: دریای عمان، فرورانش، گسل زندان، گل‌فشان.

مقدمه

گل‌فشان‌ها یکی از پدیده‌های جذاب ژئومورفولوژیک هستند که در ایران بیشتر در جلگه‌های ساحلی دریای عمان و دریای خزر دیده می‌شوند و هر بیننده‌ای را مجذوب خود می‌کنند. گل‌فشان، رسوب‌فشان، یا نفت‌وگازفشان از پدیده‌های جالب طبیعی است که گسترش آن در نوار آلپ-همالیا و اقیانوس آرام و آسیای مرکزی در کشورهای پاکستان، آذربایجان، ترکمنستان، گرجستان، ایران، ایتالیا، رومانی، ژاپن، مکزیک، و ونزوئلاست و نمونه‌های فعال آن در آذربایجان دیده می‌شود (قلی‌اوف و فیض‌الله اف ۲۰۰۱). بیش از نیمی از حدود ۸۰۰ گل‌فشان دنیا اطراف دریای خزر و دریای عمان قرار دارد. درباره منشأ گل‌فشان‌های ایران نیز دیدگاه‌های مختلف بیان شده است. آنچه مسلم است این است که تشکیل همه گل‌فشان‌های موجود در مناطق مختلف کشور را نمی‌توان بر اساس نظریه‌ای واحد توضیح داد. تکتونیک، فرونشست، رسوب‌گذاری سریع، فشار گازهای هیدروکربن، یا احتمالاً بخار آبی که از اعماق زمین به طرف سطح صعود می‌کنند همه از عوامل تشکیل گل‌فشان‌ها دانسته شده‌اند. گازهای اشاره‌شده ضمن صعود و عبور از لایه‌های سست

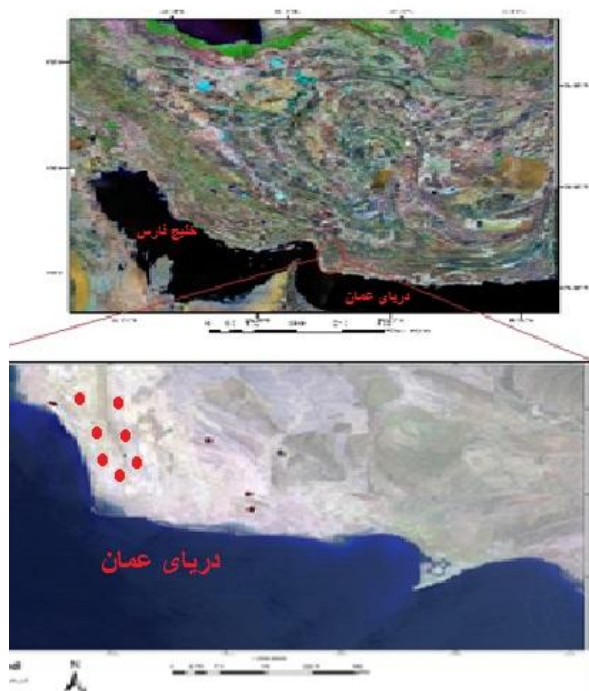
سنگی و اشباع از آب آن‌ها را به صورت گل درمی‌آورد و با خود به سطح زمین منتقل می‌کند. پدیده گل‌فشان عمدتاً در مناطقی دیده می‌شود که رسوبات ریزدانه، نظیر رسوب سیلتی، وجود دارد (اینن و همکاران ۱۹۹۷). شرایط تشکیل گل‌فشان‌های منطقه را رسوب‌گذاری سریع رسوبات کواترنری، به تله افتادن گاز متان در لایه‌های ژرف رسی، رسوبات ریزدانه، و تاقدیس‌های تله که ناشی از نیروهای فشارشی زمین‌ساخت هستند فراهم می‌کنند (قلی‌اف و همکاران ۲۰۰۲). بررسی گل‌فشان‌ها به چند دلیل اهمیت دارد. با بررسی کانی‌شناسی گل‌ها می‌توان درباره ژرفای دیپایرشان اطلاعات بالارزشی به دست آورد. کوپر (۲۰۰۱) در ارتباط با ژرفای انباره گل مطالعاتی انجام داد و نتیجه گرفت که انباره در ژرفای ۱۴ کیلومتری است. مازینی و همکارانش (۲۰۰۹) به منظور پی بردن به خاستگاه و ژرفا و واکنش گل با سنگ‌های پیرامون آن ژئوشیمی گل‌فشان داشگیل را بررسی کردند. مکانیسم اولیه شکل‌گیری گل‌فشان‌ها آزاد شدن انرژی زیاد گازهای به‌دام‌افتاده در رسوبات زیرین زمین از طریق زلزله‌ها و گسل‌هاست. بونینی (۲۰۰۷) مواد خارج‌شده را شامل گل، گاز، تخته‌سنگ‌ها از خاک رس یا دیگر مواد جامد می‌داند که در جریان فشار بیش از حد مایعات و گازها در امتداد شکستگی‌های نفوذپذیر زمین ایجاد می‌شود. هینگ و ساندرس (۱۹۷۴) تشکیل گل‌فشان‌ها را در مکان‌هایی مؤثر می‌دانند که رسوب‌گذاری سریع، رسوبات ریزدانه، و فشارهای تکتونیکی وجود داشته باشد. مهم‌ترین اندیس‌های مورفوتکتونیکی که می‌توانند در ارزیابی تکتونیک فعال به کار روند سینوسیته جبهه کوهستان (Smf)، دره‌های شرابی‌شکل، و رویه‌های سه‌گوش هستند (همدونی و همکاران ۲۰۰۸؛ آزانون و همکاران ۲۰۱۲؛ بهت و همکاران ۲۰۱۳؛ ده‌بزرگی و همکاران ۲۰۱۲؛ دلکایلو و همکاران ۲۰۰۶؛ دورانتی-تیریتان و همکاران ۲۰۱۴؛ بهرامی ۲۰۱۳؛ محمود و گلوگن 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 ۱۹۹۸). هرگاه نتایج حاصل از پژوهش در طرح‌های تحقیقاتی جهت کسب اطلاعاتی جامع و کامل درباره تکتونیک فعال مد نظر باشد، این شاخص‌ها به طور خاص برای مطالعات تکتونیک فعال استفاده می‌شوند (داگلاس و همکاران ۲۰۰۱). بنابراین این شاخص‌ها می‌توانند به منزله یک ابزار سودمند در برآوردهای تکتونیک فعال به کار گرفته شوند (مولین و همکاران ۲۰۰۴). شواهدی نظیر جابه‌جایی مسیر رودخانه‌ها، پرتگاه‌های گسلی، رویه‌های سه‌گوش، دره‌های ساغری، و ... نیز نتایج برهم‌کنش میان نیروهای زمین‌ساختی و نیروهای سطحی است (بال ۲۰۰۷؛ فتاحی و همکاران ۲۰۱۳). در ایران نیز شفیعی و همکارانش (۱۳۸۸) در تحقیقی بخشی از رشته‌کوه بینالود را توسط پارامترهای مورفومتری، نظیر عدم‌تقارن حوضه آبریز و سینوسیته جبهه کوهستان و درصد مسطح‌شدگی پیشانی کوهستان و نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن، مطالعه کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که منطقه مورد مطالعه به طور کلی از نظر تکتونیک فعال است. اما، میزان فعالیت در همه‌جا آن یکسان نیست. یمانی و همکارانش (۱۳۸۸) در تحقیقی، با استفاده از شاخص‌های مورفومتری در هفده حوضه آبریز در دامنه‌های شمال شرقی و جنوب غربی ارتفاعات کرکس، نشان داده‌اند منطقه از لحاظ تکتونیک فعال است. اما، میزان آن در همه‌جا یکسان نیست. نویسندگان در تحقیق حاضر منطقه را از نظر حوضه‌ای مقایسه و بنابراین از شاخص‌های مورفومتری حوضه استفاده کرده‌اند. مقصودی و همکارانش (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. منطقه شرقی تنگه هرمز، بخش جنوبی

گسل میناب و سیستم گسلی شرقی آن یک گستره جدید گل‌فشانی جوان با مورفولوژی مختلف شناسایی شده که به نظر می‌رسد متأثر از نیروهای زمین-ساختی باشد. بررسی چگونگی پیدایش و ارتباط این اشکال با زمین‌ساخت عمومی منطقه می‌تواند به بسیاری از سوالات موجود درباره تکامل تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی این منطقه از سرزمین ایران پاسخ دهد. به طور کلی، هدف از این پژوهش بررسی میزان تأثیر تکتونیک در مورفولوژی کنونی لندفرم‌های محدوده مورد مطالعه و در پی آن ارزیابی و اعتبارسنجی استفاده از شاخص‌های مرفومتري توسط ارزیابی و انطباق با شواهد مورفوتکتونیک منطقه جهت تحلیل تکتونیکی منطقه در پنج تاقدیس مورد مطالعه است (شکل ۱) که در نهایت می‌توان از یافته‌های آن در برنامه‌ریزی محیطی استفاده کرد. در تحقیق حاضر سعی شد با توجه به اینکه پنج تاقدیس اصلی منطقه مطالعه شده‌اند از سه شاخص استاندارد موجود در زمینه مورفومتري تاقدیس استفاده شود. در این تحقیق پارامترهای مورفومتري حوضه و کوهستان به صورت ترکیبی به کار گرفته شده است؛ درحالی‌که برای ارزیابی مورفومتري کوهستان پارامترهای خاص و برای ارزیابی مورفومتري حوضه نیز پارامترهای دیگری وجود دارد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ساحل شمالی دریای عمان از بخش خاوری تنگه هرمز تا بندر گواتر در استان‌های هرمزگان و سیستان و بلوچستان در محدوده جغرافیایی ۲۵ ۱۴ ۵۷ تا ۵۸ ۰۰ طول خاوری و ۲۵ ۳۸ تا ۲۶ ۰۰ عرض شمالی، در بخش ساحلی منطقه مکران، واقع است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بخش‌های شرقی تنگه هرمز یا به عبارتی بخش جنوبی گسل میناب و سیستم گسلی شرقی آن به وسعت ۳۹۳۶ کیلومتر است که در محدوده استان هرمزگان قرار دارد. مرتفع‌ترین بخش منطقه قسمت‌های شمالی و شمال شرقی آن است که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۰۰ متر است و پست‌ترین قسمت آن با ارتفاع ۷ متر در بخش‌های غربی، شمال غربی، و جنوبی منطقه قرار دارد.

گل‌فشان‌های مورد مطالعه (۱۲ مورد) در فاصله ۵۵ کیلومتری غرب جاسک، ۹۵ کیلومتری شرق میناب، و حدود ۲۰ کیلومتری خط ساحلی با توزیع خوشه‌ای در امتداد خطوط گسلی و تاقدیس‌های منطقه واقع شده‌اند (شکل ۲). سازند تشکیل‌دهنده این منطقه ماسه‌سنگ آهکی با میان‌لایه‌های مارن است. ضخامت آن در حدود ۱۰۰۰ متر و سن فسیل‌های موجود در این واحد سنگی میوسن پسین تخمین زده می‌شود (خان‌ناظر و همکاران ۱۳۷۱) و دارای مورفولوژی متفاوت تک‌مخروطی (شکل ۲J)، چندمخروطی (شکل ۲A)، استخر گل (شکل ۲B)، و منفذهایی کوچک (شکل ۲G) در سطح زمین است. منفذهای خروجی ابعاد مختلف، از چند سانتی‌متر (شکل ۲L) تا چندده متر (شکل ۲E) دارد. ارتفاع کوچک‌ترین گل‌فشان از سطح پایه مخروط ۵۰ سانتی‌متر (شکل ۲G) و بزرگ‌ترین گل‌فشان ۳۵ متر است (شکل ۲C). این مجموعه گل‌فشانی در حال حاضر حدود ۱۰ دهانه فعال و نیمه‌فعال و ۵ دهانه غیرفعال دارد. مورفولوژی موجود بر روی دامنه‌های مختلف نشان می‌دهد که دهانه‌های این گل‌فشان‌ها در ادوار گذشته بیشتر بوده که در اثر فرسایش از بین رفته‌اند. از اشکال دیگر ژئومورفولوژیک منطقه تاقدیس‌های فرسایش‌یافته و تاقدیس‌های زیرسطحی و نیمه‌پنهان است که عمدتاً توسط گسل‌های پلکانی بریده شده‌اند. از آثار دیگر این گسل‌ها ایجاد یک وضعیت درهم‌ریخته از نظر زمین‌شناسی و ژئومورفیک در سازندهای منطقه است که به قرارگیری سازندهای متفاوت منطقه در کنار هم منجر شده است (شکل ۵D).



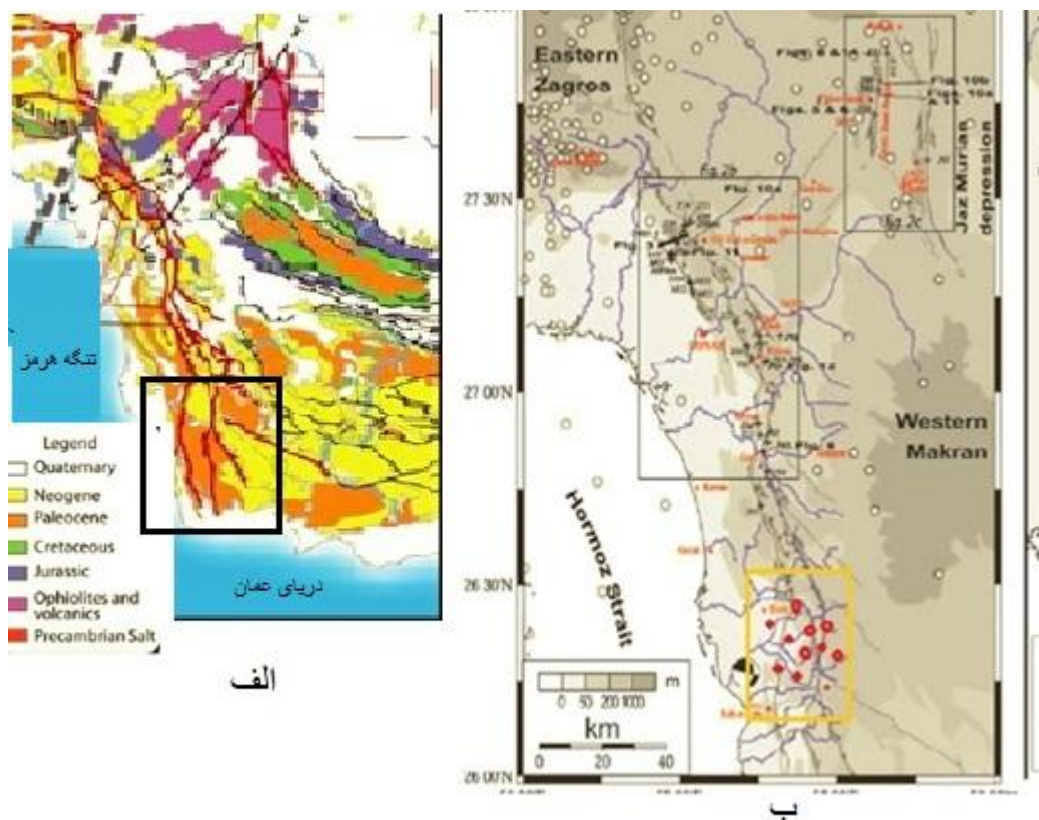
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی گل‌فشان‌های منطقه



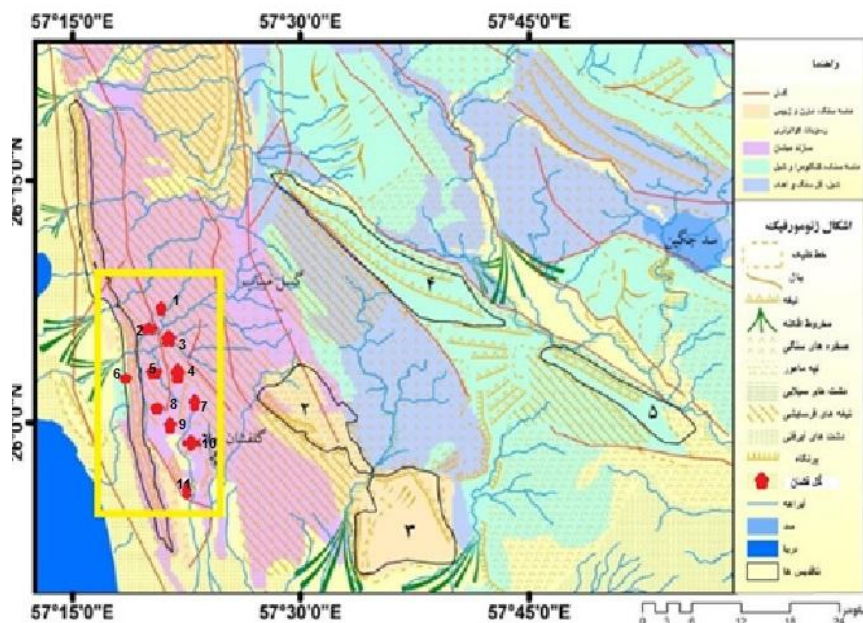
شکل ۲. مورفولوژی گل‌فشان‌های جدید منطقه مورد مطالعه*

زمین‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه

از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه جزء زون مکران است و شامل کوه‌های خاوری-باختری است که از سواحل دریای عمان تا فروافتادگی جازموریان دنباله دارد. مرز باختری این کوه‌ها توسط خط عمان (گسل میناب) از زون برخوردی زاگرس جدا می‌شود و در خاور، پس از گذر از بلوچستان پاکستان، تا محور لاس‌بلا ادامه می‌یابد (شکل ۳ الف). جنس سازندهای محدوده مطالعاتی عمدتاً لایه‌های شبه‌فلیش ائوسن، الیگوسن، متشکل از شیل و مارن و ماسه‌سنگ است. خمش سنگ‌کره اقیانوسی عمان به زیر ورقه قاره‌ای و عملکرد گسل‌ها در این منطقه از عوامل چهره‌ساز مکران هستند (خان‌ناظر و همکاران ۱۳۷۱).



شکل ۳. الف) نقشه زمین‌شناسی منطقه (Burg 2012)؛ ب) نقشه پراکندگی گل‌فشان‌ها نسبت به گسل‌ها و طاقدیس‌های منطقه



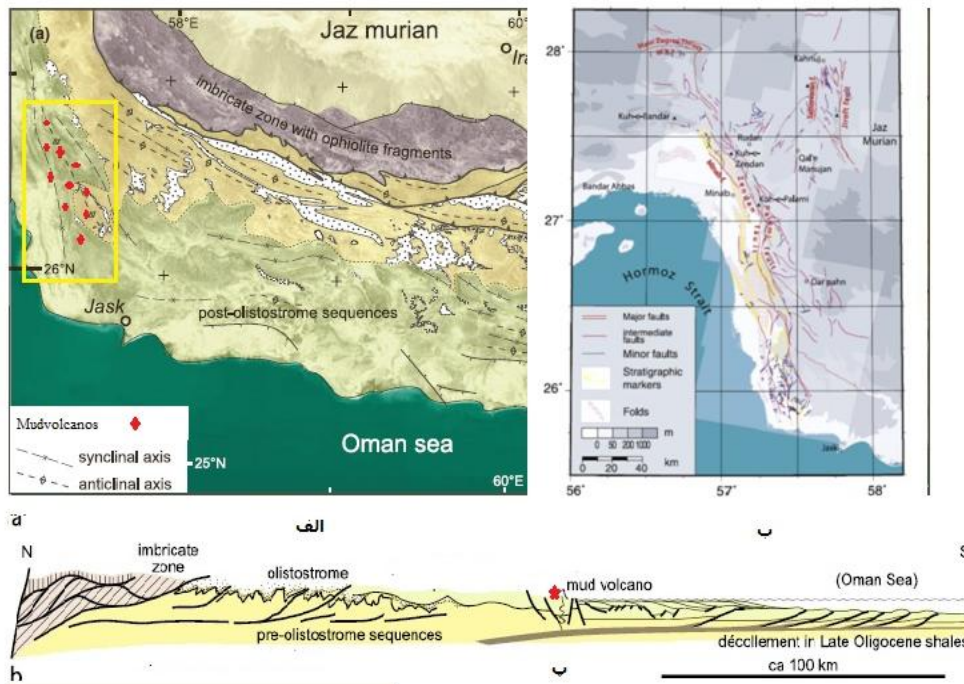
شکل ۴. نقشه ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه (مقصودی و همکاران ۱۳۹۷)

سیستم گسلی زندان

گسل زندان، دارای روند شمال-شمال غرب، با شیب به سمت شرق، مرز زمین‌شناسی بین زاگرس و مکران را تشکیل می‌دهد. این گسل ۲۵۰ کیلومتر طول دارد و دارای حرکت مایل لغز است و از قطعات مختلف تشکیل شده است (ریگارد و همکاران ۲۰۰۵) که از نظر زمان پیدایش و نقش به چند دسته تقسیم می‌شوند. گسل‌های طولی در آغاز از نوع گسل‌های نرمال بوده‌اند و هم‌زمان با شکل‌گیری حوضه به وجود آمده‌اند (شکل ۳).

فرورانش مکران

مکران نوعی منشور برافزاینده است که در فرادیواره یک زون فرورانش کم‌ژرفا قرار دارد. در این ناحیه، اگرچه عمل فرورانش از کرتاسه پسین آغاز شده است، هنوز برخورد نهایی صفحه‌ها صورت نگرفته است (لوپیشون ۱۹۶۸). از همین روی، در حال حاضر کوه‌زایی در مکران همچنان در حال وقوع است. همچنین، منشورهای برافزایشی مکران یکی از منشورهای برافزایشی بسیار بزرگ روی کره زمین‌اند که ۱۰۰۰ کیلومتر طول و ۱۰۰ کیلومتر پهنا دارند (مک‌کال ۱۹۸۵). در شکل ۵ منشور افزایشی مکران از شمال به فروافتادگی‌های جازموریان و هامون و از جنوب شرق به شیب قاره در ۱۵۰ کیلومتری ساحل و از جنوب و غرب به شیب باریک حاشیه عمان منتهی می‌شود. این مجموعه در شرق و غرب به ترتیب به گسل زندان-میناب وارانچ محدود می‌شود (مختاری و همکاران ۲۰۰۸). گوه فزاینده مکران حاصل فرورانش فعال سنگ‌کره اقیانوسی دریای عمان (باقی‌مانده تیس) در زیر بلوک‌های قاره‌ای لوت و افغان با نرخ حدودی ۵cm/yr است (شکل ۵) و یک گوه با شیب کم از زمان کرتاسه تجمع کرده است (وایت ۱۹۸۲).



شکل ۵. الف) پراکندگی گل‌فشان‌ها نسبت به طاقدیس‌ها و ناودیس‌های منطقه؛ ب) نقشه گسل‌های منطقه؛ ج) فرورانش صفحه عمان به زیر مکران و پیدایش گل‌فشان‌ها (Burg 2012)

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق را، علاوه بر داده‌های اسنادی، نقشه‌های زمین‌شناسی رقومی 1:250000 و 1:100000 منطقه، داده‌های مدل رقومی ارتفاعی DEM30 متر، اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، تصاویر Google Earth، و نیز داده‌های مورفومتری گل‌فشان‌ها تشکیل دادند که طی کارهای میدانی گسترده برداشت شدند. ابزار تحلیل دامنه فعالیت زمین‌ساختی منطقه با بررسی شاخص‌های مورفومتری طاقدیس، که شامل سه پارامتر اصلی رویه‌های سه‌گوش و دره‌های شرابی و سینوسیته جبهه طاقدیس است، محاسبه شد. برای محاسبه وضعیت مورفوتکتونیک منطقه، در مرحله اول پارامترهای مربوطه در دو یال شمالی و جنوبی، که شامل رویه‌های سه‌گوش و دره‌های ساغری و سینوسیته جبهه کوهستان است، به صورت جداگانه محاسبه شد. برای این منظور از نرم‌افزار Google Earth استفاده شد. به این ترتیب در نرم‌افزار Google Earth مرزهای مربوطه و شیب رویه‌های سه‌گوش، طول قاعده رویه‌ها، بیشینه عرض و عرض خروجی دره‌های ساغری، و خط جبهه کوهستان در حالت سینوسی و مستقیم ترسیم شدند و محاسبات مربوطه صورت پذیرفت. در مرحله بعد، شواهد ژئومورفولوژیک و زمین‌شناسی حاصل از تکتونیک فعال منطقه مورد مشاهده قرار گرفت و در این زمینه تعدادی از شواهد به دست آمده است. در نهایت روایی شاخص‌های به دست آمده با مقایسه و ارزیابی شواهد مورفوتکتونیک بررسی شد.

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

شاخص	اجزای فرمول	تفسیر
شاخص رویه‌های سه‌گوش	$BL =$ قاعده طول $A =$ مساحت $S =$ شیب	رویه‌های با شیب تندتر و مساحت و طول قاعده بیشتر در مناطق با تکتونیک فعال‌تر تشکیل می‌شوند.
شاخص Wine glass valley	$M =$ بیشینه عرض دره $O =$ خروجی دره $W = M/O$	دره‌هایی که دارای نسبت W بالاتری هستند در یال‌های پرشیب‌تر و چرخش بیشتر تشکیل می‌شوند. در نتیجه، نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی بالاتری هستند.
شاخص سینوسیته جبهه کوهستان	$Lmf =$ طول جبهه کوهستان $Smf = Lmf/Ls$	هر چه کمتر باشد به خط راست و نزدیک‌تر باشد و فرسایش کمتر باشد و به ۱ نزدیک‌تر باشد تکتونیک فعال‌تر است.
	$Ls =$ فاصله مستقیم همان دو نقطه	

بحث و نتایج

رویه‌های سه‌گوش اشکال خاصی هستند که در پیشانی کوهستان، پرتگاه‌های گسلی، و یال‌های چین‌خوردگی‌ها تشکیل می‌شوند. به وجود آمدن این پدیده‌ها نتیجه تکتونیک فعال در یک منطقه است که به صورت برخاستگی و بالا آمدن لایه‌های زمین‌شناسی و تشکیل چین‌ها بروز می‌کند. در صورتی که میزان برخاستگی بیشتر از میزان فرسایش آبی باشد، پدیده‌هایی مثلث‌شکل تا چندشکلی به وجود می‌آیند که توسط آبراهه‌ها از یک‌دیگر جدا می‌شوند. هر چه میزان برخاستگی تکتونیکی بیشتر باشد رویه‌های سه‌گوش پرشیب‌تر و دارای طول قاعده بیشتر خواهند بود. در این تحقیق مجموعاً تعداد ۲۵۱ رویه سه‌گوش روی پنج طاق‌دیس مورد مطالعه شناسایی شد که از این تعداد ۸۸ رویه در طاق‌دیس شماره ۱، ۳۲ رویه در طاق‌دیس شماره ۲، ۴۳ رویه در طاق‌دیس شماره ۳، ۶۵ رویه در طاق‌دیس شماره ۴، و ۲۳ رویه در طاق‌دیس شماره ۵ شناسایی و اندازه‌گیری شد. جدول ۲ میانگین مقادیر این شاخص را نشان می‌دهد. این پارامترها شامل مساحت هر رویه و طول قاعده و شیب هستند.

بر اساس جدول ۲ در طاق‌دیس شماره ۱، بیشترین میزان میانگین مساحت و میانگین طول قاعده و میانگین شیب به یال جنوبی طاق‌دیس تعلق دارد. در طاق‌دیس شماره ۲ بیشترین مقدار میانگین مساحت و میانگین طول قاعده مربوط به یال جنوبی آن است. اما، در مقابل، بیشترین میزان شیب در یال شمالی آن اندازه‌گیری شده است. در طاق‌دیس شماره ۳ بیشترین مقدار میانگین مساحت و میانگین طول قاعده مربوط به یال جنوبی آن است و نظیر طاق‌دیس شماره ۲ بیشترین میزان شیب در یال شمالی آن اندازه‌گیری شده است. در طاق‌دیس‌های شماره ۴ و ۵ نیز روند مقادیر مانند طاق‌دیس‌های شماره ۲ و ۳ است. بر اساس جدول ۱ رویه‌های با شیب تندتر و مساحت و طول قاعده بیشتر در مناطق با تکتونیک فعال‌تر تشکیل

می‌شوند. اشکال دره‌های ساغری دره‌هایی به شکل جام هستند که روی پرتگاه‌های گسلی و یال‌های طاق‌دیس‌های فعال در نتیجه فرسایش رودخانه‌ای و آبی تشکیل می‌شوند. هر چه میزان برخاستگی بیشتر از میزان فرسایش آبی باشد، این دره‌ها عمیق‌تر و باریک‌تر خواهند بود و در مقابل در صورتی که میزان فرسایش آبی بیشتر باشد این دره‌ها پهن‌تر خواهند بود. در این تحقیق در مجموع تعداد ۱۸۵ دره ساغری روی پنج طاق‌دیس مورد مطالعه شناسایی شد که از این تعداد ۶۴ دره ساغری در طاق‌دیس شماره ۱، ۱۸ دره در طاق‌دیس شماره ۲، ۲۵ دره در طاق‌دیس شماره ۳، ۴۷ دره در طاق‌دیس شماره ۴، و ۲۸ دره در طاق‌دیس شماره ۵ شناسایی و اندازه‌گیری شد. جدول ۳ میانگین این مقادیر را نشان می‌دهد.

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

شاخص	اجزای فرمول	تفسیر
شاخص رویه‌های سه‌گوش	$\text{قاعده طول BL} =$ $\text{مساحت A} =$ $\text{شیب S} =$	رویه‌های با شیب تندتر و مساحت و طول قاعده بیشتر در مناطق با تکنونیک فعال‌تر تشکیل می‌شوند.
شاخص Wine glass valley	$M = \text{بیشینه عرض دره}$ $O = \text{خروجی دره}$	دره‌هایی که دارای نسبت W بالاتری هستند در یال‌های پرشیب‌تر و چرخش بیشتر تشکیل می‌شوند. در نتیجه نشان‌دهنده فعالیت تکنونیک بالاتری هستند.
شاخص سینوسیته جبهه کوهستان	$Lmf = \text{طول جبهه کوهستان در جلو و پای کوهستان یا جایی که شیب تغییر می‌کند.}$ $Ls = \text{فاصله مستقیم همان دو نقطه}$	هر چه کمتر باشد و به خط راست نزدیک‌تر باشد و فرسایش کمتر باشد و به ۱ نزدیک‌تر باشد تکنونیک فعال‌تر است.

طبق جدول ۳ در طاق‌دیس شماره ۱ بیشترین میزان پارامتر نسبت بزرگ‌ترین عرض، به عرض خروجی دره‌های ساغری در یال جنوبی آن اندازه‌گیری شده است. در طاق‌دیس شماره ۲ نیز مقدار این شاخص در یال جنوبی بیشتر است. در طاق‌دیس شماره ۳ مقدار این شاخص در یال شمالی آن بیشتر است. در طاق‌دیس‌های شماره ۴ و ۵ این مقدار در یال جنوبی طاق‌دیس بیشتر است. بنابراین، در اکثر طاق‌دیس‌های مورد بررسی یال‌های جنوبی دارای نسبت W بیشتری هستند.

شاخص سینوسیته جبهه طاق‌دیس از تقسیم خط فرسایش‌یافته و تورفته پیشانی طاق‌دیس به خط مستقیم نشان‌دهنده طول یال طاق‌دیس به دست می‌آید. در طاق‌دیس‌های با تکنونیک فعال و میزان بالای برخاستگی خط فرسایش‌یافته دارای طولی نزدیک به خط مستقیم همان یال است و این پارامتر به عدد ۱ میل می‌کند. در صورتی که در طاق‌دیس‌های با تکنونیک ضعیف طول خط فرسایش‌یافته بسیار بیشتر از طول خط مستقیم است و این شاخص از عدد ۱ بیشتر است. مقادیر شاخص سینوسیته جبهه طاق‌دیس در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۳. میانگین مقادیر شاخص دره‌های ساغری

تفسیر	اجزای فرمول	اجزای فرمول	شاخص
رویه‌های با شیب تندتر و مساحت و طول قاعده بیشتر در مناطق با تکتونیک فعال‌تر تشکیل می‌شوند.	قاعده طول BL = مساحت A = شیب S =		شاخص رویه‌های سه‌گوش
دره‌هایی که دارای نسبت W بالاتری هستند در یال‌های پرشیب‌تر و چرخش بیشتر تشکیل می‌شوند. در نتیجه نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی بالاتری هستند.	M = بیشینه عرض دره O = خروجی دره	W=M/O	شاخص Wine glass valley
هر چه کمتر باشد و به خط راست نزدیک‌تر باشد و فرسایش کمتر باشد و به ۱ نزدیک‌تر باشد تکتونیک فعال‌تر است.	Lmf = طول جبهه کوهستان در جلو و پای کوهستان یا جایی که شیب تغییر می‌کند. Ls = فاصله مستقیم همان دو نقطه	Smf=Lmf/Ls	شاخص سینوسیته جبهه کوهستان

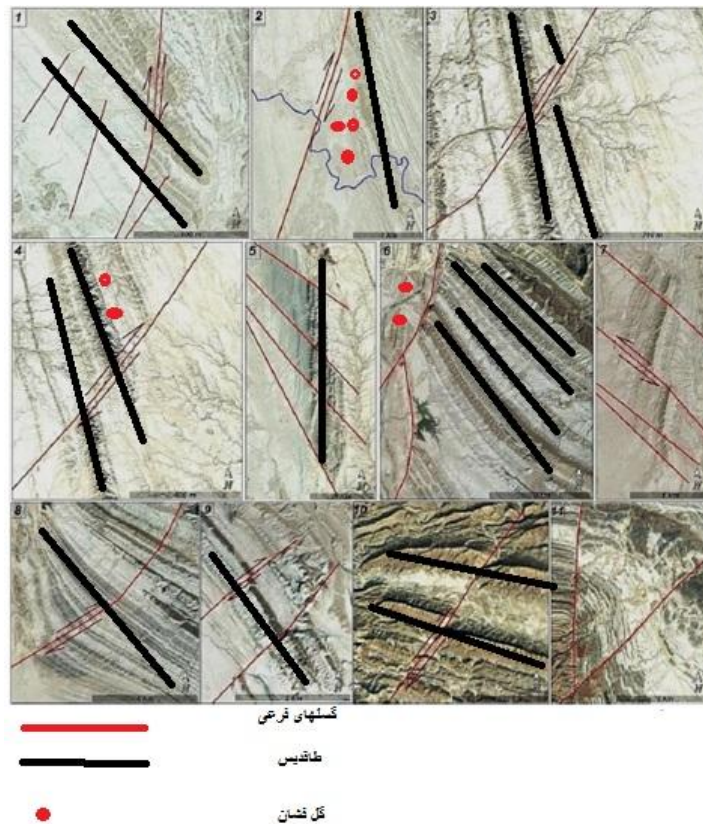
جدول ۴. مقادیر شاخص سینوسیته جبهه طاقدیس

تفسیر	اجزای فرمول	اجزای فرمول	شاخص
رویه‌های با شیب تندتر و مساحت و طول قاعده بیشتر در مناطق با تکتونیک فعال‌تر تشکیل می‌شوند.	قاعده طول BL = مساحت A = شیب S =		شاخص رویه‌های سه‌گوش
دره‌هایی که دارای نسبت W بالاتری هستند در یال‌های پرشیب‌تر و چرخش بیشتر تشکیل می‌شوند. در نتیجه نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی بالاتری هستند.	M = بیشینه عرض دره O = خروجی دره	W=M/O	شاخص Wine glass valley
هر چه کمتر باشد و به خط راست نزدیک‌تر باشد و فرسایش کمتر باشد و به ۱ نزدیک‌تر باشد تکتونیک فعال‌تر است.	Lmf = طول جبهه کوهستان در جلو و پای کوهستان یا جایی که شیب تغییر می‌کند. Ls = فاصله مستقیم همان دو نقطه	Smf=Lmf/Ls	شاخص سینوسیته جبهه کوهستان

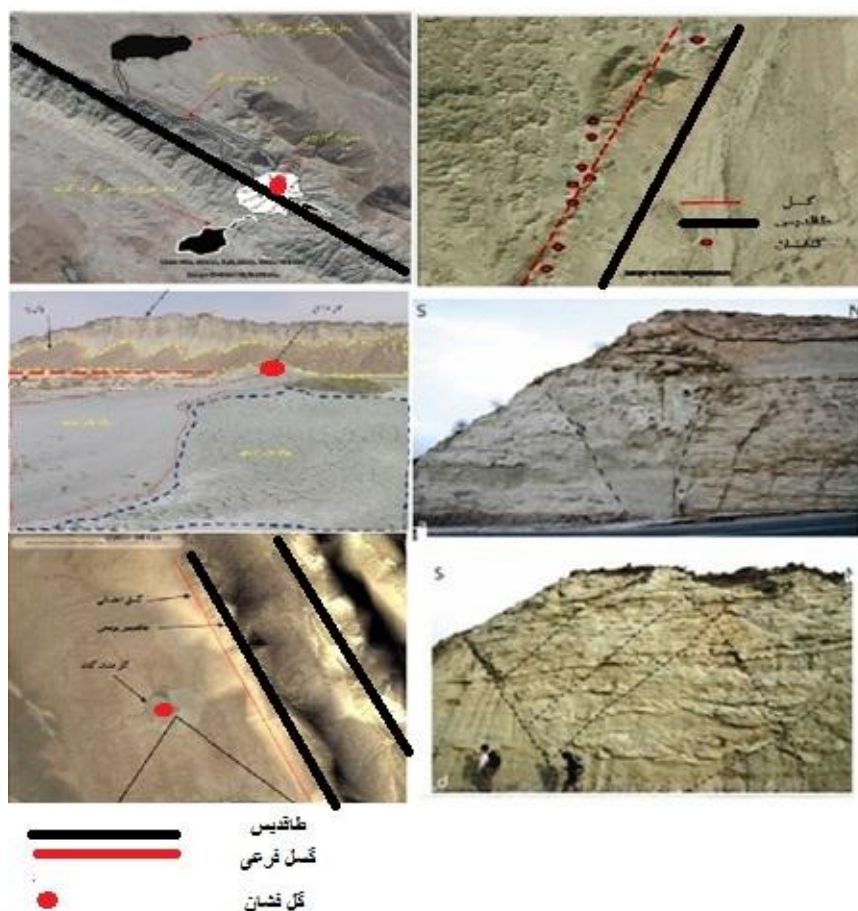
طبق جدول ۱، شاخص Smf در طاقدیس شماره ۱ در یال شمالی کمتر از یال جنوبی است و به عدد ۱ نزدیک‌تر است. این موضوع نشان‌دهنده این است که فرسایش در یال جنوبی بیشتر از یال شمالی است. این شاخص در طاقدیس‌های شماره ۲ و ۳ نیز در یال شمالی کمتر از یال جنوبی است. اما مقدار آن در طاقدیس‌های شماره ۴ و ۵ در یال جنوبی کمتر است که نشان می‌دهد فرسایش در یال شمالی این طاقدیس و تکتونیک در یال جنوبی آن مؤثر بوده‌اند. همچنین، پروفیل‌های طولی طاقدیس‌های مورد بررسی در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است، طاقدیس شماره ۱ دارای دره‌های متعدد و باریک‌تر و عمیق‌تر نسبت به طاقدیس‌های دیگر است که این نشان‌دهنده عملکرد کمتر فرسایش و غلبه بیشتر تکتونیک در این طاقدیس است.

جدول ۵. میزان فعالیت تکتونیکی تاقدیس‌ها

تفسیر	اجزای فرمول	اجزای فرمول	شاخص
رویه‌های با شیب تندتر و مساحت و طول قاعده بیشتر در مناطق با تکتونیک فعال‌تر تشکیل می‌شوند.	قاعده طول BL = مساحت A = شیب S =		شاخص رویه‌های سه‌گوش
دره‌هایی که دارای نسبت W بالاتری هستند در یال‌های پرشیب‌تر و چرخش بیشتر تشکیل می‌شوند. در نتیجه نشان‌دهنده فعالیت تکتونیکی بالاتری هستند.	M = بیشینه عرض دره O = خروجی دره	W=M/O	شاخص Wine glass valley
هر چه کمتر باشد و به خط راست نزدیک‌تر باشد و فرسایش کمتر باشد و به ۱ نزدیک‌تر باشد تکتونیک فعال‌تر است.	Lmf = طول جبهه کوهستان در جلو و پای کوهستان یا جایی که شیب تغییر می‌کند. Ls = فاصله مستقیم همان دو نقطه	Smf=Lmf/Ls	شاخص سینوسیته جبهه کوهستان



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



شکل ۷. انطباق گل‌فشان‌ها با گسل‌ها و طاقدیس‌های منطقه

در شکل ۶، مورد شماره ۱ گسل راست‌گرد راست‌الغز 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 نمونه چهارم گسل راست‌گرد موجب برش و جابه‌جایی سازند به طول ۳۳۴ متر شده است. در نمونه پنجم چندین گسل موازی با روند شمال غربی- جنوب شرقی موجب ایجاد گسل‌های پلکانی و جابه‌جایی‌های متعدد در سازند شده است. در مورد شماره ششم مجموعه سازند به طور 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 طاقدیس شده است. در شکل ۱۰ نیز وجود یک گسل راست‌گرد در محل برش حاصل از Water gap منجر به جابه‌جایی راست‌گرد طاقدیس‌های محدوده شده است. در نهایت، شکل ۷ نیز برش و جابه‌جایی سازندها را توسط گسل‌های متقاطع با زاویه 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.

نتیجه

نتایج برداشت‌های صحرائی که به صورت لندفرم‌های تکتونیکی در مجاورت گسل‌های اصلی تشریح شد سرعت بالای فعالیت تکتونیکی در منطقه را نشان می‌دهد که در پی حرکات کواترنری گسل‌های اصلی حاصل شده است. همچنین، پویایی زمین‌ساختی منطقه با تأثیر مستقیم بر مورفولوژی منطقه در تصاویر ماهواره‌ای به صورت کج‌شدگی و بریدگی در مسیر آبراهه‌ها نمایان است. به طور کلی، نتایج نشان می‌دهد میزان فعالیت تکتونیکی در یال‌های جنوبی تاقدیس‌ها بیشتر است. شواهد مورد بررسی و پراکندگی این شواهد نشان‌دهنده آن بود که بیشترین تراکم شواهد مورفوتکتونیکی، نظیر جابه‌جایی سازندها و گسل‌های پلکانی و تغییر مسیر رودخانه‌ها، در محدوده و اطراف طاقدیس‌ها مشاهده شده است. این موضوع بر فعالیت‌های بیشتر تکتونیک در این منطقه دلالت دارد. به طور کلی، نتایج شاخص و شواهد بررسی شده بیان‌کننده حاکمیت فعالیت تکتونیکی در سطح منطقه است و از آنجا که تجمع گل‌فشان‌های مورد مطالعه نیز در همین محدوده است تأثیر تکتونیک منطقه بر پیدایش آن‌ها را نشان می‌دهد. منطقه مورد مطالعه از یک سو با زون فشارشی ناشی از فرورانش پوسته اقیانوسی عمان به زیر منطقه مکران و از سوی دیگر محل برخورد زون مکران با زون زاگرس است. از این رو، تحت تأثیر نیروهای فشارشی است. رسوب‌گذاری سریع رسوبات کواترنری و به تله افتادن گاز متان در لایه‌های ژرف رسی و رسوبات ریزدانه طاقدیس‌های تله، که ناشی از نیروهای فشارشی زمین‌ساخت است، باعث خروج گل و گازهای ناشی از این فرورانش از سیستم گسلی منطقه مورد مطالعه شده است؛ به گونه‌ای که فرایند گسلش با زایش گل‌فشان‌های جدید و جوان همراه است.

منابع

- بهرامی، شهرام؛ شایان سیاوش (۱۳۹۲). «بررسی تأثیر تکتونیک در ویژگی‌های مورفومتریکی شبکه زهکشی و سطوح مثلثی شکل تاقدیس دهنه‌خشک»، *تحقیقات جغرافیایی*، س ۳، ش ۲۸، صص ۱۹۷ - ۲۱۰.
- خان‌ناظر، ناصر؛ ح، مصور (۱۳۷۱). نقشه زمین‌شناسی جاسک-گتان، سازمان زمین‌شناس کشور.
- شفیعی، الهه؛ سید احمد علوی؛ نصیر نادری میقان (۱۳۸۸). «تکتونیک فعال در رشته‌کوه بینالود با تکیه بر بررسی‌های مورفوتکتونیکی»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ش ۷۰، صص ۹۲ - ۹۷.
- صمدیان، محمدرضا (۱۳۷۶). *بررسی‌های تکتونیک در گستره‌های ساختاری مکران و زاگرس بیرونی*، سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۱۴۷.
- مقصودی، مهران؛ کامران امامی؛ عادل رسولی (۱۳۹۷). «برآورد دامنه فعالیت تکتونیکی بخش جنوبی گسل میناب و سیستم گسلی شرق آن از طریق داده‌های مورفومتری به منظور تعیین میزان پایداری منطقه»، *پژوهش‌های*

ژئومورفولوژی کمی، س ۷، ش ۲، صص ۸۲ - ۹۶.

مقصودی، مهران؛ سجاد باقری؛ محمود داودی (۱۳۹۰). «راندگی گیلان غرب با استفاده از شاخص‌ها و شواهد

ژئومورفولوژیک»، *جغرافیا و توسعه*، س ۶، صص ۱۳۷ - ۱۵۸.

نژادافضلی، کرامت؛ راضیه لک (۱۳۸۹). *بررسی گل‌افشان‌های سواحل شمالی دریای عمان، سازمان زمین‌شناسی کشور،*

مدیریت زمین‌شناسی دریایی.

نژادافضلی، کرامت؛ راضیه لک (۱۳۹۰). «بررسی سایت گل‌فشانی و اهمیت زمین‌گردشگری آن‌ها»، *علوم زمین کشور،*

س ۲۱، ش ۸۲.

نگارش، حسین (۱۳۷۶). *طرح تحقیقاتی مطالعه گل‌افشان‌های استان سیستان و بلوچستان، دانشگاه سیستان و بلوچستان،*

ص ۱۳۷.

یمانی، مجتبی؛ ابراهیم مقیمی؛ علی‌رضا تقیان (۱۳۸۸). «ارزیابی تأثیرات نوزمین‌ساخت فعال در دامنه‌های کرکس با

استفاده از روش‌های ژئومورفولوژی»، *تحقیقات جغرافیایی*، ش ۲۳، صص ۱۱۷ - ۱۳۶.

Azanon, J. M., Perez-Pena, J. V., Giaconia, F., Booth-Real, G., Martínez-Martínez, J. M., & Rodriguez-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, S., Mohd, I. & Akhtar, R. M. (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*, Vol. 4, No. 1, pp. 164-176.

Bonini, M. (2009). "Mud volcano eruptions and earthquakes in the Northern Apennines and Sicily, Italy", *Tectonophysics*, 474, pp. 723-735.

Bull, W. B. (2007). *Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology*, Published by Blackwell, USA, First published, p. 316.

Burg, J.P., Bernoulli, D., Dolati, A., Muller, C., Smit, J., & Spezzaferri, S. (2012). Stratigraphy and Structure of the Iranian Makran, Vol. 2, No. 1, pp. 104-116.

Cooper, C. (2001). Mud volcanoes of Azerbaijan visualized using 3D seismic depth cubes the importance of over pressured fluid and gas in stead of nonextant diapirs, In Abstr, Vol. Subsurface Sediment Mobilization Conf. 10-13 September, Ghent, Belgium, p. 71.

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", *Journal of Geomorphology*, No. 13, doi:10.1016/j.geomorph.2010.05.002.

Delcaillau, B., Carozza, J-M., & Edgard, L. (2006). "Recent fold growth and drainage development: The Janauri and Chandigarh anticlines in the Siwalik foothills, northwestern India", *Journal of Geomorphology*, No. 76, pp. 241-256. doi:10.1016/j.geomorph.2005.11.005.

Doranti-Tiritan, C., Christian Hackspacher, P., Henrique de Souza, D., & Marli Carina, S-R. (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.
- Fattahi, M., Walker, R.T., Talebian, M., Sloan, R.A., & Rasheedi, A. (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.
- Guliyev, I. & Feizullayev, A. (2001). "All About Mud Volcanoes", Geology Institute of Azerbaijan National Academy of Sciences Goubkin, I.M., Fedorov. S.F. (1938). Mud volcanoes of the Soviet Union and their Connection with the genesis of petroleum fields in Crimean Caucasus geologic province. USSR Academy of Science, Moscow (in Russian).
- Hamdouni, R. El., Iriggaray, C., Fernandez, T., Chacon, J., & Keller, E.A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain), *Geomorphology*, 96.
- Inan, S., Naamik Yalein, M., Guliev, I.S., Kuliev, K., & Feizullayev, A.A. (1997). "Deep Petroleum occurrence in the Lower Kura Depression, South Caspian Basin", Azerbaijan anorganic geochemical and basin modeling study. *Mar.Petrol Geo.*14;731-762.
- Mahmood, S. A. & Richard, G. (2012). "Appraisal 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
- Mazzini, A., Svensen, H., Planke, S., Guliyev, I., Akhmanov, G.G., Fallik, T., & Banks, D. (2009). When mud volcanoes sleep; insight from seep geochemistry at the Dashgill mud volcanoes Azerbaijan, Elsevier, *Marine and petroleum geology*, pp. 1704-1715.
- Molin, P., Pazzaglia, F.J., & Dramis, F. (2004). Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly-deforming forearc, Sali massif, Calabria, southern Italy, *American Journal of Science* 304, pp. 559-589.
- Zuchiewicz, W.A. & McCaplin, J.P. (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, pp. 231-249.