

تحلیل کمی مورفومتری مخروط‌افکنه‌های واقع در امتداد گسل امتداد لغز دهشیر

شهرام بهرامی* - دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
محسن احتشامی معین آبادی - دانشیار گروه حوضه‌های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
سید حمید رضا فاطمی - دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۱/۲۷ تأیید نهایی: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰

چکیده

مخروط‌افکنه‌ها از جمله لندفرم‌های تراکمی هستند که مورفومتری آن‌ها اثر فعالیت گسل‌ها را منعکس می‌کند. در این تحقیق ۲۸ مخروط‌افکنه واقع در امتداد گسل امتداد لغز دهشیر انتخاب شد و ارتباط پارامترهای مورفومتریکی مخروط‌ها شامل شیب توپوگرافی، طول، عرض، نسبت عرض به طول، زاویه جاروب، و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده با فعالیت‌های تکتونیکی گسل دهشیر ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد بین شیب مخروط‌ها و پارامترهای زاویه جاروب و نسبت عرض به طول مخروط‌ها رابطه معکوس معنی‌داری وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که مخروط‌های با شیب توپوگرافی بیشتر، زاویه جاروب و نسبت عرض به طول کمتری دارند. با افزایش نسبت عرض به طول مخروط‌ها، زاویه جاروب مخروط‌ها افزایش می‌یابد. با این وجود بین دو پارامتر مذکور رابطه آماری معنی‌داری وجود ندارد. بین دو پارامتر نسبت عرض به طول مخروط‌ها و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده رابطه معکوس معنی‌داری وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که مخروط‌هایی که نسبت عرض به طول بیشتری دارند، دارای شکل منظم‌تر و نزدیک‌تر به مخروط واقعی (ایده‌آل) هستند. مقایسه داده‌ها نشان می‌دهد که میانگین زاویه جاروب و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده در گروه مخروط‌های بزرگ (به ترتیب $100/3$ درجه و $1/1$)، بالاتر از مخروط‌های کوچک (به ترتیب $83/1$ درجه و $0/69$) است. با این وجود، میانگین شیب و نسبت عرض به طول در مخروط‌های کوچک (به ترتیب $1/78$ درصد و $1/11$) بیشتر از مخروط‌های بزرگ (به ترتیب $1/3$ درصد و $0/73$) است. بالا بودن مقدار پارامترهای زاویه جاروب، نسبت عرض به طول، و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به جابجایی مکرر محل رسوب‌گذاری در رأس مخروط‌ها تحت تأثیر حرکات امتداد لغز گسل دهشیر نسبت داد. همچنین وجود رشته‌های فشاری در امتداد خط گسل نیز نقش مهمی در افزایش مقدار زاویه جاروب و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده و بی‌قوارگی مخروط‌ها داشته است.

واژگان کلیدی: گسل امتداد لغز، زاویه جاروب، ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده.

مقدمه

ایران به عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ-همالیا، یکی از فعال‌ترین مناطق دنیا از نظر تکتونیک است. زون ساختمانی ایران مرکزی به شکل یک منطقه مثلثی شکل در مناطق مرکزی ایران قرار دارد. کوه‌های البرز، بلوک لوت و واحد سنندج سیرجان به ترتیب مرز شمال، شرق، و جنوب و جنوب غرب آن را تشکیل می‌دهند. در واحد ساختمانی ایران مرکزی، چند گسل اصلی مانند ناینند، زندان، گوک، کوهبنان، انار و دهشیر با جهت تقریباً شمالی-جنوبی وجود دارد که دارای حرکات امتداد لغز راست گرد هستند (جوادی و همکاران، ۲۰۱۳). گسل دهشیر با طول تقریبی ۳۵۰ کیلومتر یکی از عناصر ساختاری مهم در غرب ایران مرکزی است (گورابی و پاریزی، ۱۳۹۴). مطالعات محققینی مانند یمانی و همکاران (۱۳۸۹)، میر^۱ و همکاران (۲۰۰۶)، گورابی و پاریزی (۱۳۹۴)، فروتن و همکاران (۱۳۹۰) بیانگر آن است که گسل راست‌الغز راست گرد دهشیر در دوره کواترنری از نظر تکتونیک فعال بوده است به طوری که وجود شواهد ژئومورفولوژیکی مانند جابجایی مخروط‌افکنه‌ها، آبراهه‌های جابجا شده، و پرتگاه‌های گسلی بیانگر وجود جابجایی و تکتونیک فعال گسل مذکور هستند.

فعالیت‌های تکتونیک نقش مهمی در مورفولوژی، مورفومتری، فرایندهای ژئومورفولوژی (رسوبگذاری و فرسایش) و همچنین در محل رسوبگذاری و ضخامت رسوبات مخروط‌افکنه‌ها دارند (لوید^۲ و همکاران، ۱۹۹۸؛ بهرامی، ۲۰۱۳؛ موسوی و همکاران، ۲۰۲۱؛ اوزپولات^۳ و همکاران، ۲۰۲۲). گسل‌های امتداد لغز باعث جابجایی زمین به سمت راست (گسل‌های راست لغز) و یا چپ (گسل‌های چپ لغز) می‌شوند و در اثر این جابجایی، لندفرم‌هایی در امتداد این گسل‌ها ایجاد می‌شوند. از جمله این لندفرم‌ها می‌توان به پشته‌های مسدودکننده^۴، برجستگی‌های فشاری^۵، دره‌های خطی^۶، آبراهه‌های منحرف شده^۷، آبراهه‌های بی سر^۸، حوضچه‌های مسدود شده^۹، حوضه‌های کششی^{۱۰}، پرتگاه‌ها^{۱۱}، مخروط‌افکنه‌های جابجا شده^{۱۲}، و دره‌های نامتقارن^{۱۳} اشاره کرد (کیر و پینتر^{۱۴}، ۲۰۰۲؛ ژانگ^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۴؛ فتاحی و همکاران، ۲۰۰۷؛ بهرامی، ۲۰۱۳؛ جوادی و همکاران، ۲۰۱۳؛ رحیم‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹).

مخروط‌افکنه‌ها از جمله اشکال ژئومورفولوژیکی مهمی هستند که به خوبی نقش فعالیت‌های تکتونیک را منعکس می‌کنند. تکامل مخروط‌افکنه‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند تکتونیک (کالواچی^{۱۶} و همکاران، ۱۹۹۷؛ لی^{۱۷} و همکاران، ۱۹۹۹؛ هاروی^{۱۸}، ۲۰۰۵؛ گوسوامی^{۱۹} و همکاران، ۲۰۰۹؛ بهرامی، ۲۰۱۳؛ تین^{۲۰}، ۲۰۱۷؛ انگستر^{۲۱} و همکاران، ۲۰۱۹؛ ون

- 1- Meyer
- 1- Lloyd
- 2- Özpölat
- 3- Shutter ridges
- 4- Pressure ridges
- 5- linear valleys
- 6- offset stream
- 7- beheaded streams
- 8- sag ponds
- 9- pull-apart basins
- 10- scarps
- 11- offset fan
- 12- asymmetric valleys
- 13- Keller and Pinter
- 14- Zhang
- 15- Calvache
- 16- Li
- 17- Harvey
- 18- Goswami
- 19- Thein
- 20- Angster

در وال^۱، (۲۰۲۰)، اقلیم (وایت^۲ و همکاران، ۱۹۹۶؛ پاپ^۳ و ویلکینسون^۴، ۲۰۰۵؛ واترز^۵ و همکاران، ۲۰۱۰؛ جیانو^۶، ۲۰۱۱)، سنگ‌شناسی (لچه^۷، ۱۹۹۱؛ بلر^۸ و مکفرسون^۹، ۱۹۹۸؛ ارزانی، ۲۰۱۲)، و مورفومتری حوضه‌های بالادست (اوگوچی و اوهموری^{۱۰}، ۱۹۹۴؛ سوریسو-والوو^{۱۱} و همکاران، ۱۹۹۸؛ کروستا و فراتینی^{۱۲}، ۲۰۰۴؛ وور^{۱۳} و همکاران، ۲۰۲۳) قرار دارند. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه تاثیر گسل‌های امتداد لغز بر مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها در نقاط مختلف دنیا انجام شده است (مستالرز^{۱۴} و وویودا^{۱۵}، ۱۹۹۳؛ کلینگر^{۱۶} و همکاران، ۲۰۰۰؛ دیاز^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۵؛ ساریکایا^{۱۸} و همکاران، ۲۰۱۵؛ یان^{۱۹} و همکاران، ۲۰۱۸؛ راکول^{۲۰} و همکاران، ۲۰۱۹؛ نیاسری فرد و همکاران، ۲۰۲۱؛ چن^{۲۱} و همکاران، ۲۰۲۱؛ زابیک^{۲۲} و همکاران، ۲۰۲۳). در ایران نیز مطالعاتی در ارتباط با تأثیر حرکات تکتونیکی گسل‌های امتداد لغز روی مخروط‌افکنه‌ها انجام شده است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود.

مطالعه فروتن و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که جابجایی سامانه‌ای آبراهه‌های کوچک و بزرگ، رودخانه‌ها و مخروط‌افکنه‌ها، گویای جنبایی گسل دهشیر در بازه زمانی کوتاه‌تری پایانی است. همچنین شواهد ژئومورفولوژی در گستره جغرافیایی مروست و هرابرجان نشان از حرکت اصلی گسل دهشیر در بازه زمانی پلیستوسن پایانی- هولوسن به صورت راست‌الغز راست بر با مؤلفه فرعی شیب‌لغز دارد. مطالعه گورابی و پاریزی (۱۳۹۴) نشان دادند که گسل دهشیر با جهش تجمعی ۲۰۰ متری در طی کوتاه‌تر، نرخ لغزش تقریبی ۰/۱۱ میلی‌متر در سال داشته است. در مطالعه آن‌ها همچنین نقش گسل در ایجاد پرتگاه گسلی، توالی مخروط‌افکنه‌ها، انحراف شبکه زهکشی، رسوبات پلی ژنتیک و تپه شاهدها بررسی شده است. بر اساس مطالعه فرید و همکاران (۲۰۱۱) حرکات چپ لغز گسل درونه باعث جابجایی ۸۸۰ متری یک مخروط‌افکنه شده است. بررسی ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها در امتداد گسل درونه نشان داد که نوع و نرخ جابجایی گسل در بخش‌های مختلف گسل متفاوت است. بررسی لدورتز^{۲۳} و همکاران (۲۰۱۱) روی گسل دهشیر نشان داد که جابجایی مخروط‌افکنه‌ها در امتداد گسل از ۱۲ متر تا ۳۸۰ متر متغیر است و این موضوع بیانگر نرخ جابجایی گسل دهشیر بین ۰/۹ تا ۱/۵ میلی‌متر در سال است. ندیمی و کانون^{۲۴} (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای بر روی گسل امتداد لغز دهقان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست نشان دادند که در طول گسل مذکور، رسوبات هولوسن یک مخروط‌افکنه تقریباً ۵۰

- 1- Van Der Wal
- 2- White
- 3- Pope
- 4- Wilkinson
- 5- Waters
- 6- Giano
- 7- Lecce
- 8- Blair
- 9- Mcpherson
- 10- Oguchi and Ohmori
- 11- Sorriso-Valvo
- 12- Crosta and Frattini
- 13- Woor
- 14- Mastalerz
- 15- Wojewoda
- 16- Klinger
- 17- Diaz
- 18- Sarikaya
- 19- Yan
- 20- Rockwell
- 21- Chen
- 22- Zabic
- 23- Le Dortz
- 24- Konon

متر به سمت راست جابجا شده‌اند و احتمالاً این جابجایی به علت فعالیت‌های اخیر این گسل بوده است. رحیم‌زاده و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه‌ای بر روی دریاچه زریبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین بازدید میدانی، تأثیر گسل امتدادلغز MRF زاگرس را بر ایجاد دریاچه زریبار ارزیابی کردند. مطالعه آن‌ها نشان داد که گسل راست لغز MRF باعث ایجاد گسل‌های فرعی متعدد و همچنین رودخانه‌های بی‌سر، دره‌های خطی، و مخروط‌افکنه‌ای با زاویه جاروب زیاد شده است.

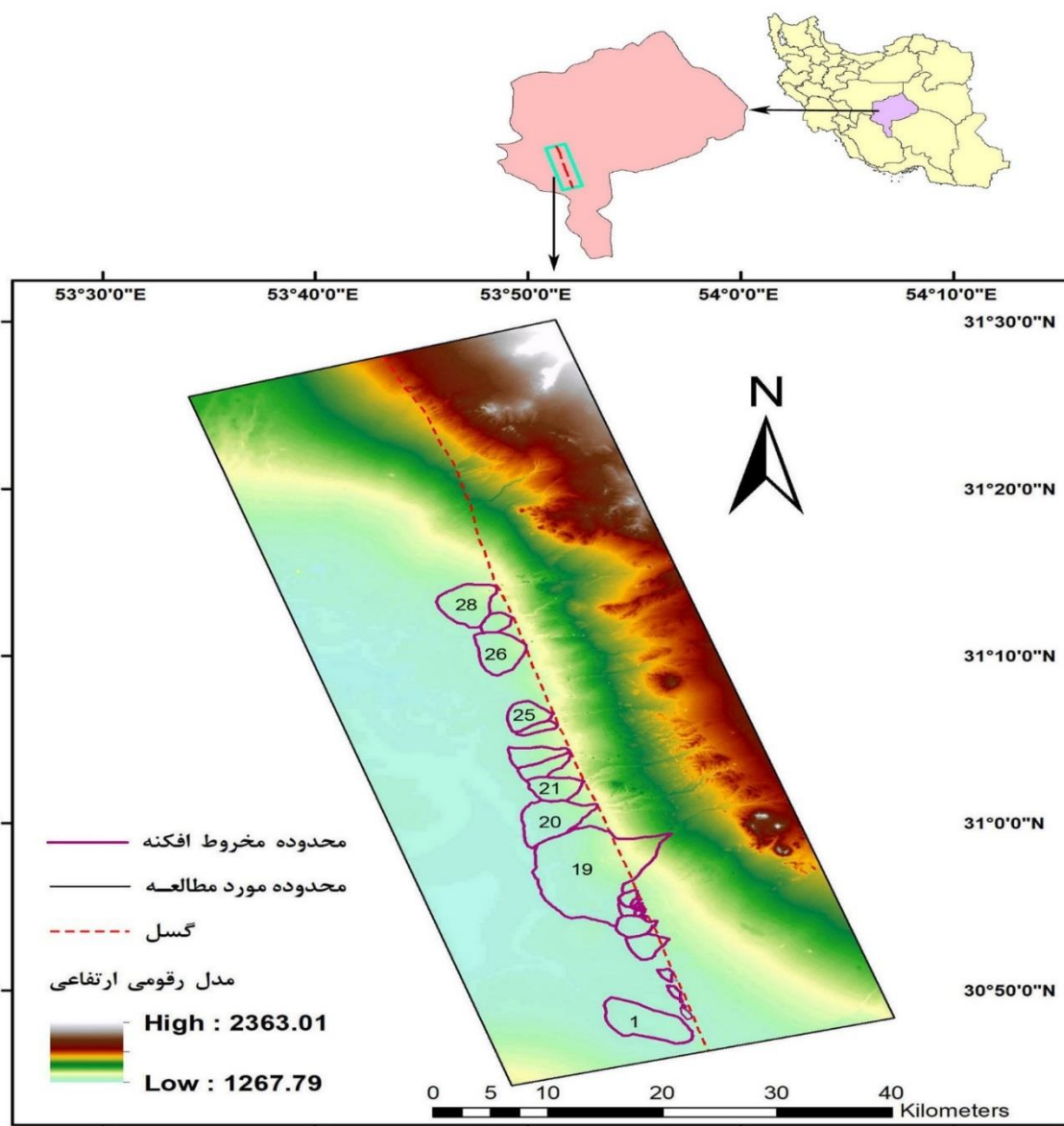
موسوی و همکاران (۱۳۹۶) نقش سیستم گسلی شکرآب را در مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های شمال بیرجند با بررسی شاخص خمیدگی مخروط‌افکنه، درصد مخروط‌گرایی، ضریب کشیدگی و شیب مخروط‌افکنه تحلیل کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که وجود مخروط‌افکنه‌های بیضی شکل، بریدگی و جابجایی در مخروط‌افکنه‌ها، خندق‌های فرسایشی، مخروط‌افکنه‌های نامتقارن و خمیده، موقعیت مخروط‌افکنه‌های جدید نسبت به پیشانی کوهستان، بیانگر فعالیت زمین‌ساختی بالا در منطقه و نیز بیشتر بودن فعالیت تکتونیکی در بخش‌های غربی و شرقی نسبت به بخش مرکزی منطقه است. کمالی و همکاران (۱۳۹۹)، با بررسی نرخ فعالیت تکتونیکی گستره گسل دورود با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و همچنین بازدید میدانی از منطقه به این نتیجه رسیدند که گستره گسل دورود از نظر تکتونیکی فعال است. همچنین آن‌ها با بررسی مخروط‌افکنه‌های واقع در امتداد این گسل دریافتند که جابجایی آبراهه‌های تغذیه‌کننده مخروط‌افکنه‌ها با فعالیت گسل دورود مرتبط است و فعالیت‌های تکتونیکی مهمترین عامل تکامل و توسعه مخروط‌افکنه‌ها می‌باشد. موسوی و همکاران (۲۰۲۱) بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و سن سنجی لومینسانس، ۶ مخروط‌افکنه متأثر از گسل درونه را مورد مطالعه قرار دادند. ارزیابی آن‌ها نشان داد که نرخ جابجایی سالانه گسل ۲/۵ تا ۳ میلی‌متر است و نرخ جابجایی از ۱۰۰ هزار سال گذشته ثابت مانده است. نجفی و همکاران (۱۴۰۲) تأثیر فعالیت گسل امتدادلغز درونه را بر مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های واقع در بین شهر کاشمر و روستای علی‌آباد شهرستان بردسکن ارزیابی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که فعالیت گسل درونه با عبور از رأس اکثر مخروط‌افکنه‌ها سبب تغییر موقعیت آبراهه اصلی مخروط‌افکنه‌ها به قسمت حاشیه‌ای آن‌ها، تغییر موقعیت رسوبگذاری و در نتیجه تقطیع بعضی از مخروط‌افکنه‌ها به صورت سه سطحی عرضی و دو سطحی طولی و عرضی شده است. هدف این مطالعه بررسی شاخص‌های مورفومتری مربوط به مخروط‌افکنه‌ها مانند مساحت، شیب توپوگرافی، طول، عرض، نسبت عرض به طول، زاویه جاروب، و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده و ارتباط آن‌ها با حرکات امتدادلغز گسل دهشیر است.

منطقه مورد مطالعه

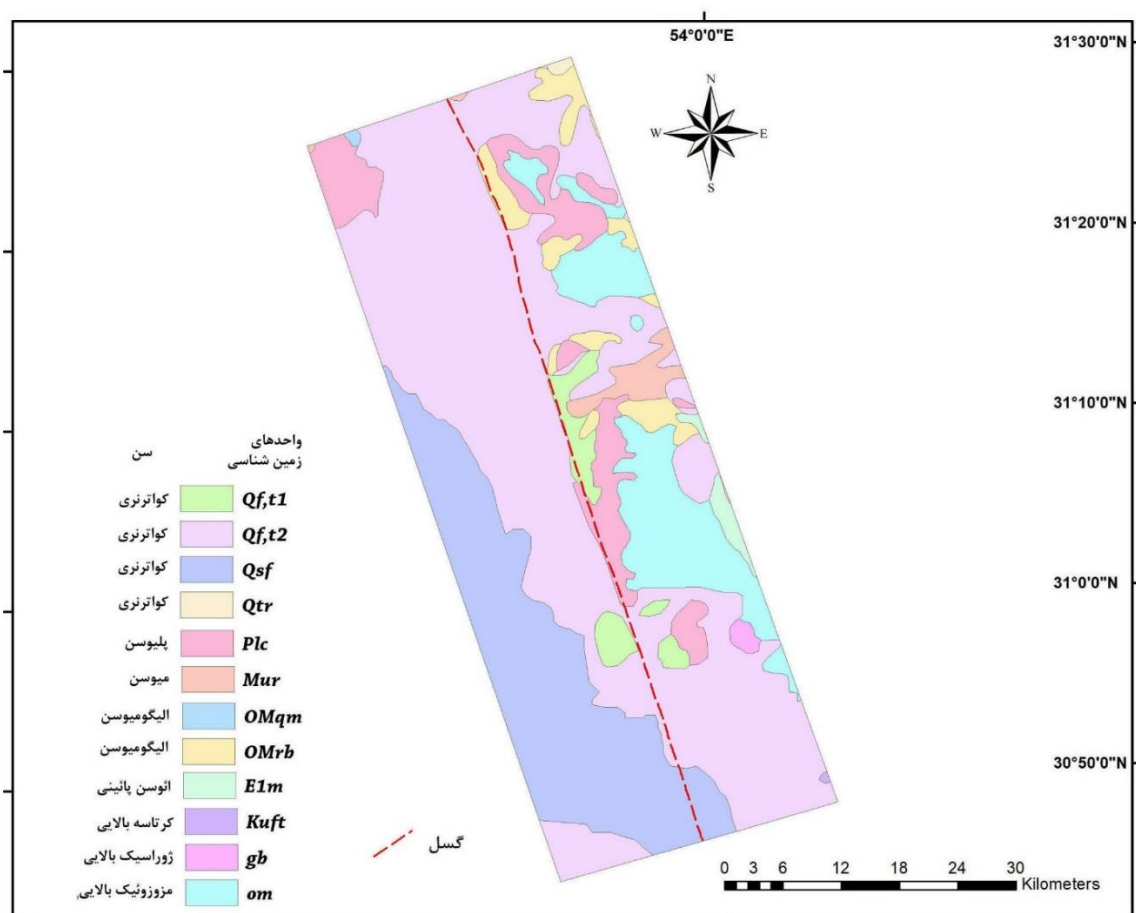
محدوده مورد مطالعه در استان یزد و در جنوب غربی شهرستان تفت در زون ایران مرکزی و در محدوده جغرافیایی بین طول‌های ۵۳ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۴ درجه ۱۷ دقیقه طول شرقی و عرض‌های ۳۰ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۱ درجه ۳۰ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). محدوده مورد مطالعه بخشی از گسل دهشیر با روند شمال غربی-جنوب شرقی و نواحی پیرامون آن است. منطقه مورد مطالعه جزء واحد ساختمانی ایران مرکزی است و به موازات کمربند ماگمایی ارومیه-دختر قرار گرفته است. این منطقه از شمال به دهشیر، از شرق به کههدوئی و از جنوب به شهرهای ابرکوه و مروست ختم می‌شود. متوسط دمای سالیانه ۱۴/۳ درجه سلسیوس می‌باشد و متوسط بارندگی سالیانه ۱۰۵/۹ میلی‌متر است. تیپ اقلیمی منطقه مورد مطالعه، فراخشک می‌باشد.

واحد‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه شامل مخروط‌افکنه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی مرتفع (Qf,t1)، مخروط‌افکنه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی کم ارتفاع (Qf,t2)، پهنه نمکی (Qsf)، تراورتن (Qtr)، کنگلومرا، ماسه سنگ و گل سنگ (PIC)، ماسه

سنگ، مارن گچی، سیلت و شیل (سازند قرمز بالایی) (Mur)، مارن و آهک (OMqm)، بسترهای قرمز رنگ متشکل از کنگلومرا، ماسه سنگ، مارن، مارن گچی و گچ (OMrb)، مارن، مارن گچی و سنگ آهک (E1m)، فلیش توربیدیت‌ها (Kuft)، گابرو (gb)، و افیولیت ملانژ (om) هستند. در قسمت شرقی گسل مورد مطالعه تناوبی از گابروی لایه‌ای جور شده، مارن، مارن گچی و سنگ آهک، مارن با توده‌های آهکی، فلیش توربیدیت‌ها، افیولیت ملانژها (آمیزه‌های رنگی)، بسترهای قرمز رنگ متشکل از کنگلومرای قرمز، ماسه‌سنگ، مارن، مارن گچی و گچ، مخروط‌افکنه‌های پایکوهی و رسوبات پادگانه‌ای دره‌ای جوان وجود دارد. مخروط‌افکنه‌های جوان و پادگانه‌های قدیمی و جدید کواترنری بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۲).



شکل ۱: مدل رقومی ارتفاعی منطقه، موقعیت مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه و گسل دهشیر



شکل ۲: واحد‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و گسل دهشیر

روش تحقیق

در این پژوهش ابتدا محدوده مورد مطالعه در نرم‌افزار Google Earth مشخص گردید. خط گسل دهشیر بر اساس تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ هزار منطقه شناسایی و ترسیم شد. برای شناسایی واحدهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی استفاده شد. برای شناسایی بهتر و دقیق‌تر گسل دهشیر و لندفرم‌های تشکیل شده توسط آن، بازدید میدانی از منطقه مورد مطالعه انجام شد و موقعیت هر لندفرم در نرم‌افزار Google Earth مشخص گردید. به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل مورفومتری و مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های متأثر از حرکات امتدادلغز گسل دهشیر تعداد ۲۸ مخروط‌افکنه در نرم‌افزار Google Earth شناسایی و پارامترهای مساحت (A)، شیب توپوگرافی (S)، طول (L)، عرض (W)، نسبت عرض به طول (W/L)، زاویه جاروب (SA)، و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده (FCIR) برای هر مخروط‌محاسبه شد. شکل ۳ به طور شماتیک روش محاسبه زاویه جاروب، عرض و طول مخروط‌افکنه را نشان می‌دهد. برای شناسایی تأثیر تکتونیک بر مورفومتری و مورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها از ضریب مخروط‌گرایی استفاده شده است. در حالت عادی، شکل یک مخروط‌افکنه شبیه یک مخروط ایده‌آل هندسی است، اما تحت تأثیر عوامل خارجی از جمله تکتونیک شکل مخروط‌افکنه‌ها تغییر پیدا می‌کند و از حالت مخروطی شکل فاصله می‌گیرد. یکی از شاخص‌های مورد استفاده جهت بررسی نقش تکتونیک در شکل مخروط‌افکنه، ضریب مخروط‌گرایی است. مقدار این شاخص برای یک مخروط ساده برابر با ۱ می‌باشد، و به عبارتی، مخروط‌افکنه کمتر تحت تأثیر عوامل خارجی از جمله تکتونیک قرار گرفته است. هرچه این مقدار کمتر یا بیشتر از ۱ باشد نشان‌دهنده‌ی افزایش میزان تأثیر تکتونیک بر

مخروط افکنه است. موکرجی^۱ (۱۹۷۶) اولین بار از این شاخص در مطالعه مخروط افکنه دون واقع در پنجاب هند استفاده نمود که از طریق رابطه زیر بدست می‌آید:

رابطه ۱

$$FCI = AIF / ATF$$

مساحت مخروط ایده‌آل از طریق رابطه زیر بدست می‌آید:

رابطه ۲

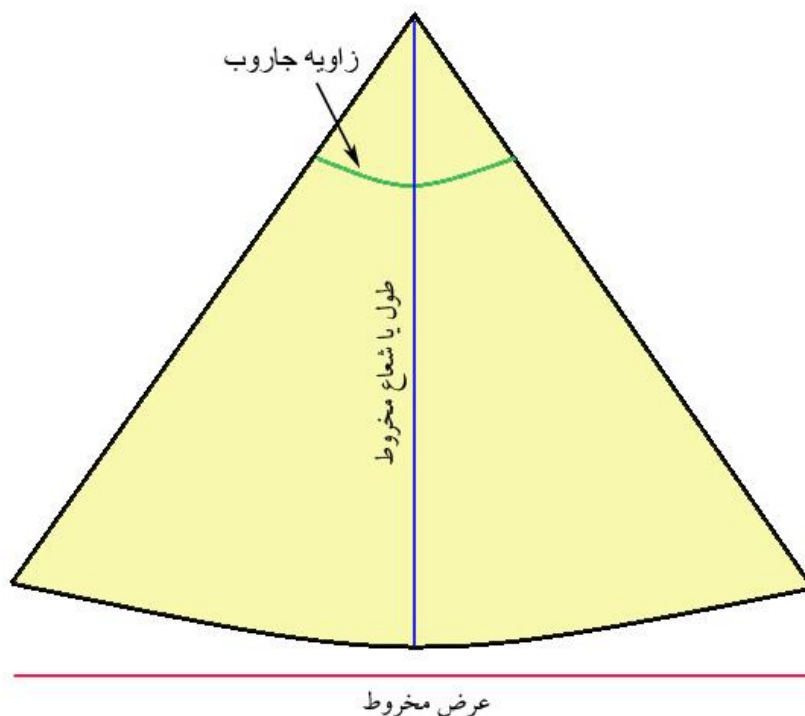
$$AIF = (\pi r^2 \times dFA) / 360$$

که در آن r فاصله بین رأس مخروط تا دورترین نقطه در پائین دست مخروط است و dFA زاویه جاروب در رأس مخروط است. اگر مقدار FCI برابر با ۱ باشد مخروطی ایده‌آل را نشان می‌دهد، در حالی که مقدار کمتر یا بیشتر از ۱ می‌تواند بیانگر تأثیر تکتونیک در شکل مخروط باشد.

در این تحقیق، به منظور محاسبه مقدار مطلق شاخص مخروط گرایی، شاخص FCI به صورت قدر مطلق FCI منهای یک در نظر گرفته شده و به صورت زیر اصلاح گردید:

$$FCIR = |FCI - 1|$$

که در آن $FCIR$ ضریب مخروط گرایی اصلاح شده است. مقدار $FCIR$ برابر با ۰ مخروطی ایده‌آل را نشان می‌دهد و هر اندازه مقدار $FCIR$ بالاتر از صفر باشد بیانگر تأثیر بیشتر تکتونیک بر مخروط افکنه‌ها است.



شکل ۳: نمایش شماتیک نحوه محاسبه پارامترهای طول، عرض و زاویه جاروب مخروط افکنه

جهت ارزیابی همبستگی بین پارامترها، از ماتریس همبستگی پیرسون استفاده شد. در این مطالعه میانگین پارامترهای کمی مخروط‌افکنه در دو گروه مخروط‌های بزرگ (بزرگ‌تر از یک کیلومتر مربع) و کوچک (کوچک‌تر از یک کیلومتر مربع) باهم مقایسه شدند. جهت مقایسه میانگین پارامترهای کمی در دو گروه مخروط‌های بزرگ و کوچک، از آزمون T استفاده شد.

یافته‌ها و بحث

مقادیر پارامترهای کمی مربوط به ۲۸ مخروط‌افکنه مورد مطالعه شامل مساحت، شیب، طول، عرض، نسبت عرض به طول، زاویه جاروب، و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده و همچنین مقادیر میانگین، حداکثر، حداقل، انحراف معیار (SD) و ضریب تغییرات (CV) برای هر پارامتر در جدول ۱ ارائه شده است. مساحت مخروط‌افکنه‌ها از ۰/۰۱ کیلومتر مربع (مخروط شماره ۶) تا ۶۷/۷ کیلومتر مربع (مخروط شماره ۱۹) متغیر است. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که مساحت مخروط‌افکنه‌ها دارای ضریب تغییرات بالایی (۲۰۴/۸ درصد) است. کمترین شیب توپوگرافی مربوط به مخروط شماره ۱ (۰/۱ درصد) و بیشترین شیب مربوط به مخروط شماره ۱۴ (۳/۷ درصد) است. نسبت عرض به طول مخروط‌ها از ۰/۲۸ (مخروط شماره ۱۴) تا ۲/۵۴ (مخروط شماره ۲) متغیر است. مقدار پارامتر زاویه جاروب مخروط‌ها از ۲۴ درجه (مخروط شماره ۶) تا ۱۵۵ درجه (مخروط شماره ۷) در تغییر است. به طور کلی مخروط‌افکنه‌ها دارای زاویه جاروب بالایی هستند به طوری که میانگین زاویه جاروب کل مخروط‌ها ۹۲ درجه است. ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده (FCIR) مخروط‌ها از ۰/۱۳ (مخروط‌های شماره ۱۰ و ۱۷) تا ۲/۷۷ (مخروط شماره ۲۴) در تغییر است. در این مطالعه میانگین پارامترهای کمی مخروط‌افکنه در دو گروه مخروط‌های بزرگ (بزرگ‌تر از یک کیلومتر مربع) و مخروط‌های کوچک (مخروط‌های کوچک‌تر از یک کیلومتر مربع) با هم مقایسه شد (شکل ۴). مقایسه داده‌ها نشان می‌دهد که میانگین زاویه جاروب و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده در گروه مخروط‌های بزرگ (به ترتیب ۱۰۰/۳ درجه و ۱/۱)، بالاتر از مخروط‌های کوچک (به ترتیب ۸۳/۱ درجه و ۰/۶۹) است. با این وجود، میانگین شیب و نسبت عرض به طول در مخروط‌های کوچک (به ترتیب ۱/۷۸ درصد و ۱/۱۱) بیشتر از مخروط‌های بزرگ (به ترتیب ۱/۳ درصد و ۰/۷۳) است.

جدول ۱: پارامترهای مورفومتریکی ۲۸ مخروط‌افکنه مورد مطالعه

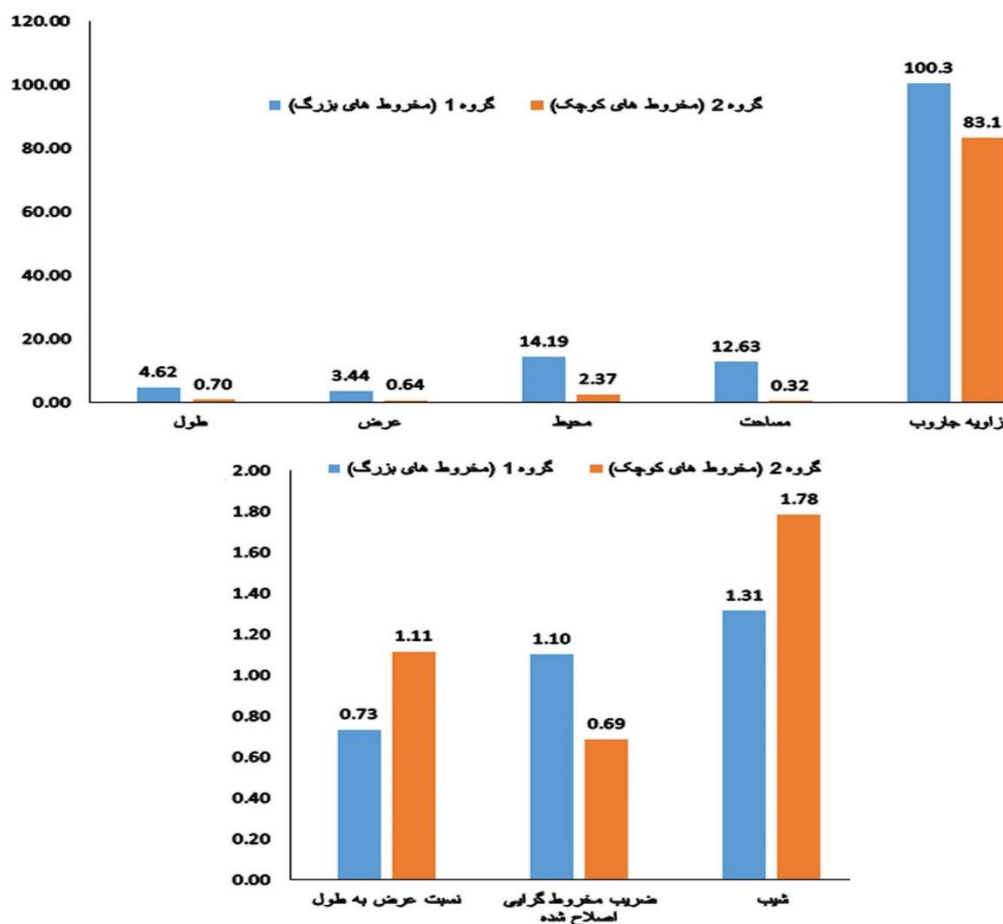
شماره مخروط	مساحت (کیلومتر مربع)	شیب (درصد)	طول (متر)	عرض (متر)	نسبت عرض به طول	زاویه جاروب (درجه)	ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده
1	19.8	0.10	7320	3730	0.51	140	2.30
2	0.63	0.37	550	1395	2.54	155	0.35
3	0.05	0.43	204	372	1.82	79	0.41
4	0.03	1.33	128	290	2.25	100	0.45
5	0.84	0.66	799	1734	2.17	95	0.37
6	0.01	2.50	178	209	1.17	24	0.47
7	0.96	0.53	927	1608	1.73	155	0.21
8	0.46	0.74	1057	626	0.59	125	1.65
9	0.34	0.76	1184	535	0.45	60	1.16
10	5.74	1.06	3143	2698	0.86	75	0.13
11	5.16	0.98	3226	2398	0.74	68	0.20
12	0.10	3.58	547	324	0.59	88	1.19
13	0.31	2.40	740	633	0.86	93	0.43
14	0.1	3.71	771	215	0.28	36	0.87
15	0.14	3.28	703	246	0.35	65	1.00
16	0.21	2.69	860	330	0.38	62	0.90
17	0.33	1.98	1103	452	0.41	27	0.13

1.43	126	0.71	1334	1887	1.34	1.61	18
0.26	40	0.90	10784	11951	1.38	67.7	19
0.70	90	0.81	5021	6180	1.08	17.6	20
0.36	85	0.72	2843	3947	1.53	8.46	21
2.59	112	0.37	1627	4455	1.48	5.4	22
1.70	101	0.53	2410	4506	1.48	6.62	23
2.77	96	0.29	960	3259	1.73	2.36	24
0.86	84	0.87	3056	3510	1.74	4.84	25
0.29	132	1.26	4802	3815	1.51	13	26
0.80	110	0.75	1960	2628	1.71	3.68	27
0.99	145	0.94	4530	4839	1.25	14.87	28
0.89	92	0.92	2040	2657.77	1.55	6.48	میانگین
0.13	24	0.28	209	128.48	0.10	0.01	حداقل
2.77	155	2.54	10784	11951.22	3.71	67.7	حداکثر
0.72	36.67	0.62	2255.22	2670.25	0.94	13.3	SD
81.12	39.98	67.56	110.55	100.47	60.74	204.8	CV

جدول ۲ نتایج آزمون (T) را برای مقایسه میانگین پارامترها در دو گروه مخروط‌های بزرگ و کوچک نشان می‌دهد. بر اساس جدول مذکور، تفاوت معنی‌دار آماری بین میانگین پارامترهای مساحت، طول و عرض مخروط در گروه مخروط‌های بزرگ و کوچک وجود دارد. با این وجود، تفاوت معنی‌دار آماری بین میانگین پارامترهای شیب، زاویه جاروب، نسبت عرض به طول، و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده در دو گروه مخروط‌های بزرگ و کوچک وجود ندارد.

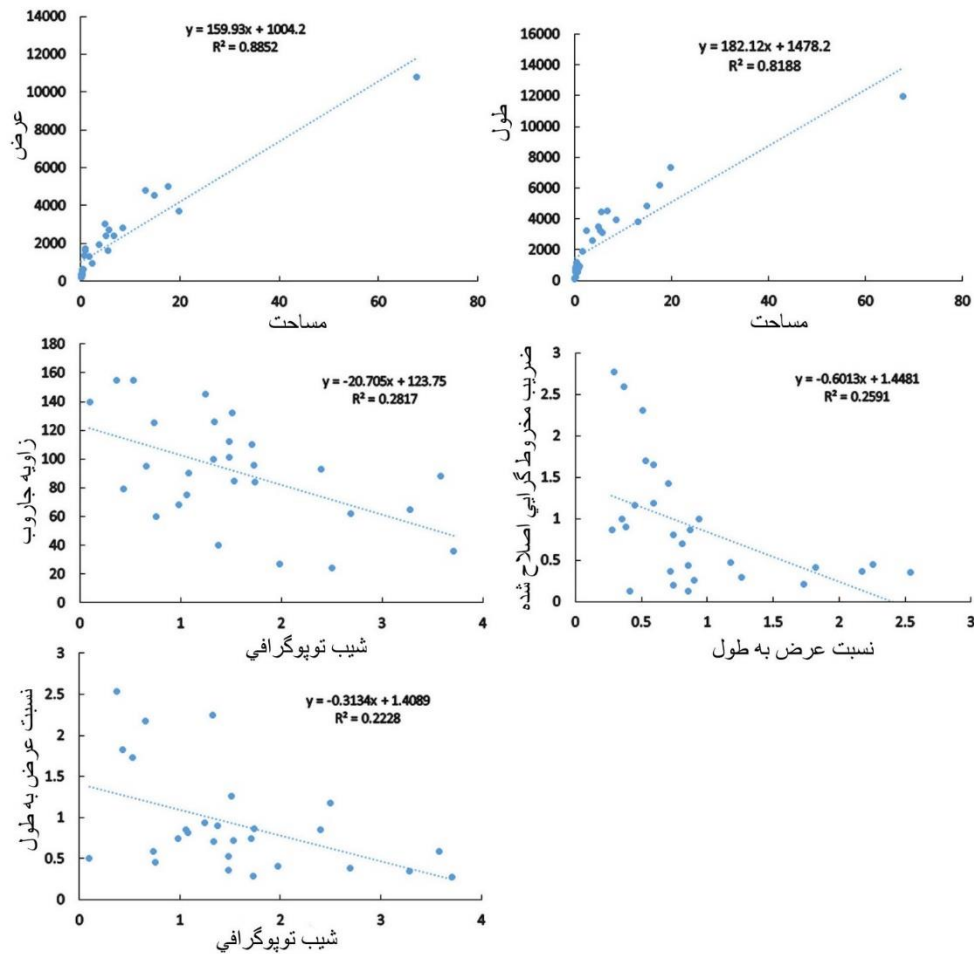
جدول ۲: نتایج آزمون T برای مقایسه میانگین پارامترهای کمی مخروط‌افکنه‌های بزرگ و کوچک

پارامترها	t-test parameters		
	T	df	Sig (2 tailed)
مساحت	2.733	13.008	.017
شیب	-1.626	14.715	.125
طول	5.746	13.471	.000
عرض	4.158	14.205	.001
نسبت عرض به طول	-1.673	15.388	.115
زاویه جاروب	1.250	26	.222
ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده	1.524	18.800	.144



شکل ۴: مقایسه پارامترهای کمی مخروط‌افکنه‌ها در دو گروه مخروط‌های بزرگ (بزرگ‌تر از ۱ کیلومتر مربع) و کوچک (کوچک‌تر از ۱ کیلومتر مربع)

جدول شماره ۳ ماتریس همبستگی پیرسون را برای پارامترهای کمی مخروط‌افکنه‌ها نشان می‌دهد. براساس جدول مذکور رابطه مثبت و معنی‌داری بین پارامترهای مساحت و طول مخروط و همچنین بین مساحت و عرض مخروط وجود دارد. با وجود اینکه با افزایش مساحت مخروط‌ها، شیب آنها کم می‌شود، رابطه معنی‌داری بین آنها وجود ندارد. بین شیب مخروط‌ها و پارامترهای زاویه جاروب و نسبت عرض به طول مخروط‌ها رابطه معنی‌دار منفی وجود دارد (شکل ۵). این موضوع نشان می‌دهد که مخروط‌های با شیب توپوگرافی بیشتر، زاویه جاروب و نسبت عرض به طول کمتری دارند. بین طول و عرض مخروط نیز رابطه‌ای مستقیم و معنی‌دار با ضریب همبستگی بالا وجود دارد. با افزایش نسبت عرض به طول مخروط‌ها، زاویه جاروب مخروط‌ها افزایش می‌یابد. با این وجود، بین دو پارامتر مذکور رابطه آماری معنی‌داری وجود ندارد. بین دو پارامتر نسبت عرض به طول مخروط‌ها و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده رابطه معکوس معنی‌داری وجود دارد. این موضوع نشان می‌دهد که مخروط‌هایی که نسبت عرض به طول بیشتری دارند، دارای شکل منظم‌تر و نزدیک‌تر به مخروط واقعی (ایده‌آل) هستند. جدول ۳ نشان می‌دهد که با افزایش زاویه جاروب مخروط‌ها، ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده افزایش می‌یابد. با این حال، رابطه معنی‌داری بین دو پارامتر مذکور وجود ندارد.



شکل ۵: نمودار رابطه خطی و مقادیر R^2 بین پارامترهای کمی مربوط به مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه

جدول 3: ماتریس همبستگی پیرسون برای پارامترهای مورفومتریکی مخروط‌افکنه‌ها شامل مساحت (A)، شیب توپوگرافی (S)،

طول (L)، عرض (W)، نسبت عرض به طول (W/L)، زاویه جاروب (SA)، و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده (FCIR).

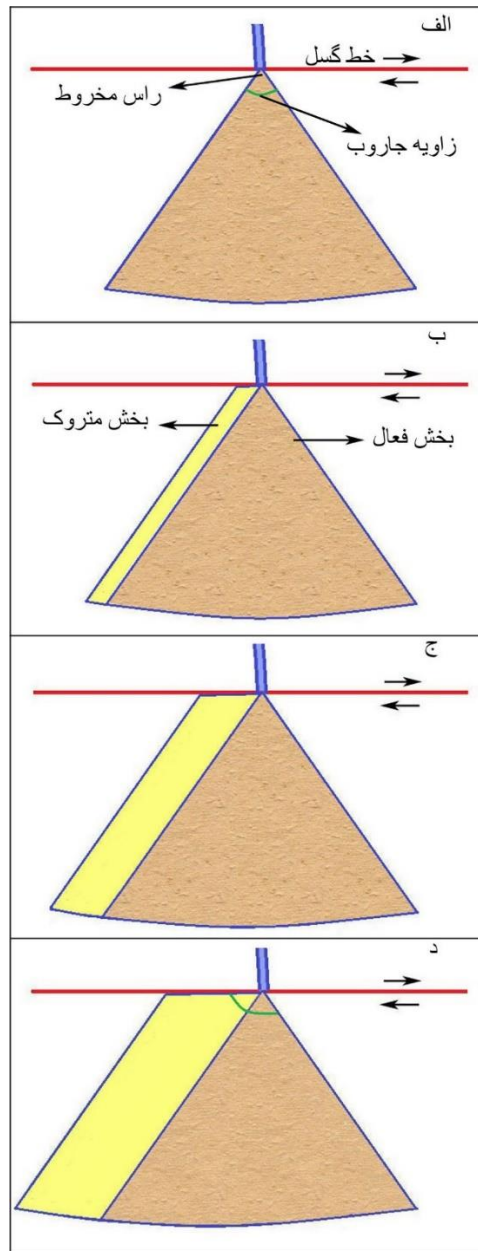
پارامتر	A	S	L	W	W/L	SA	FCIR
A	۱						
S	-.178	۱					
L	.905**	-.264	۱				
W	.941**	-.291	.920**	۱			
W/L	-.073	-.472*	-.258	.002	۱		
SA	-.091	-.53**	.050	.076	.356	1	
FCIR	-.071	.011	.182	-.139	-.509**	.268	1

اغلب مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه در پایین دست خط گسل دهشیر واقع شده‌اند و بنابراین ویژگی‌های مورفومتری آنها متأثر از

فعالیت گسل دهشیر است. از میان شاخص‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها، زاویه جاروب به طور قابل توجهی متأثر از حرکات امتدادلغز گسل دهشیر است. میانگین زاویه جاروب مخروط‌افکنه‌های مورد مطالعه ۹۲ درجه است که این عدد در مقایسه با مخروط‌های تشکیل شده در حاشیه طاقدیس دنه خشک در زاگرس چین خورده با میانگین زاویه جاروب ۴۹ درجه (بهرامی، ۲۰۱۳) عدد بسیار بالایی است. بالا بودن زاویه جاروب مخروط‌افکنه‌ها در منطقه مورد مطالعه را می‌توان به حرکات امتدادلغز گسل دهشیر در دوره‌های گذشته نسبت داد که باعث جابجایی مکرر محل رسوبگذاری در رأس مخروط و در نتیجه افزایش زاویه جاروب مخروط‌ها شده است (شکل ۶). همچنین مقدار بالای میانگین نسبت عرض به طول مخروط‌های مورد مطالعه (۰/۹۲) در مقایسه با میانگین این پارامتر در مخروط‌های حاشیه طاقدیس دنه خشک (۰/۸۱)، بیانگر عریض‌تر شدن مخروط‌های مورد مطالعه تحت تأثیر فعالیت امتدادلغز گسل دهشیر است. مقدار بالای ضریب مخروط گرایی اصلاح شده در اغلب مخروط‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که تحت تأثیر حرکات امتدادلغز گسل دهشیر، شکل اغلب مخروط‌ها از مخروط ایده‌آل فاصله داشته و دچار دگر شکلی شده‌اند. همانگونه که در بخش روش کار اشاره گردید، مقدار شاخص FCIR هر چه به عدد صفر نزدیک باشد نشان می‌دهد که مخروط‌ها به شکل هندسی مخروط نزدیک هستند و دچار دگر شکلی نشده‌اند. بر عکس هر چه مقدار شاخص FCIR از صفر بیشتر باشد بیانگر تغییر شکل مخروط‌ها تحت تأثیر عوامل خارجی به ویژه تکتونیک است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین شاخص FCIR در مخروط‌های مورد مطالعه ۰/۸۹ است که این موضوع دخالت زیاد گسل دهشیر در تغییر شکل و دور شدن شکل مخروط‌ها از مخروط ایده‌آل را نشان می‌دهد. گسل دهشیر تنها در یک مورد از وسط مخروط‌افکنه عبور می‌کند (مخروط شماره ۱۹). همانگونه که شکل ۷ نشان می‌دهد عبور گسل دهشیر از میان مخروط شماره ۱۹ باعث جابجایی عرضی و دگر شکلی آن شده است.

مقایسه پارامترهای کمی در دو گروه مخروط‌های بزرگ و کوچک (شکل ۴) نشان می‌دهد که مخروط‌های بزرگ شیب توپوگرافی کمتری نسبت به مخروط‌های کوچک دارند. نکته جالب توجه، مقدار بالاتر میانگین زاویه جاروب و ضریب مخروط گرایی اصلاح شده در مخروط‌های بزرگ (به ترتیب ۱۰۰/۳ و ۱/۱) نسبت به مخروط‌های کوچک (به ترتیب ۸۳/۱ و ۰/۶۹) است. این موضوع را می‌توان به جریان و رسوب بیشتر و همچنین شیب کمتر مخروط‌های بزرگ نسبت داد به طوری که جریان‌های بزرگتر با بار رسوبی بیشتر در اثر بارش‌های رگباری هنگامی که به سطح مخروط‌های بزرگتر و کم شیب‌تر می‌رسند به راحتی در سطح مخروط‌ها دچار تغییر مسیر جانبی شده (افزایش زاویه جاروب) و به موجب این تغییر مسیرها، دچار تغییر شکل و بی‌قوارگی بیشتری (افزایش مقدار ضریب مخروط گرایی اصلاح شده) می‌شوند.

با وجود اینکه ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌افکنه بیانگر جابجایی و فعالیت‌های تکتونیکی گسل دهشیر است، وجود سایر شواهد ژئومورفولوژیک مانند آبراهه‌های منحرف شده، عریض شدگی کانال در پایین‌دست گسل، رشته‌های فشاری، و حوضچه‌های مسدود شده در امتداد گسل دهشیر (شکل ۸) نیز بیانگر پویایی و حرکات تکتونیکی گسل دهشیر است. از میان لندفرم‌های مذکور، رشته‌های فشاری یا چین خوردگی‌های کوچکی که در امتداد خط گسل ایجاد می‌شوند (شکل ۸ د) نیز می‌توانند در افزایش مقدار زاویه جاروب و ضریب مخروط گرایی اصلاح شده نقش داشته باشند به طوری که ظاهر شدن این رشته‌های فشاری در بالادست مخروط‌ها باعث جابجایی جریان در رأس مخروط‌افکنه‌ها و به موجب آن، افزایش زاویه جاروب مخروط‌ها و بی‌قوارگی آن‌ها می‌شود.

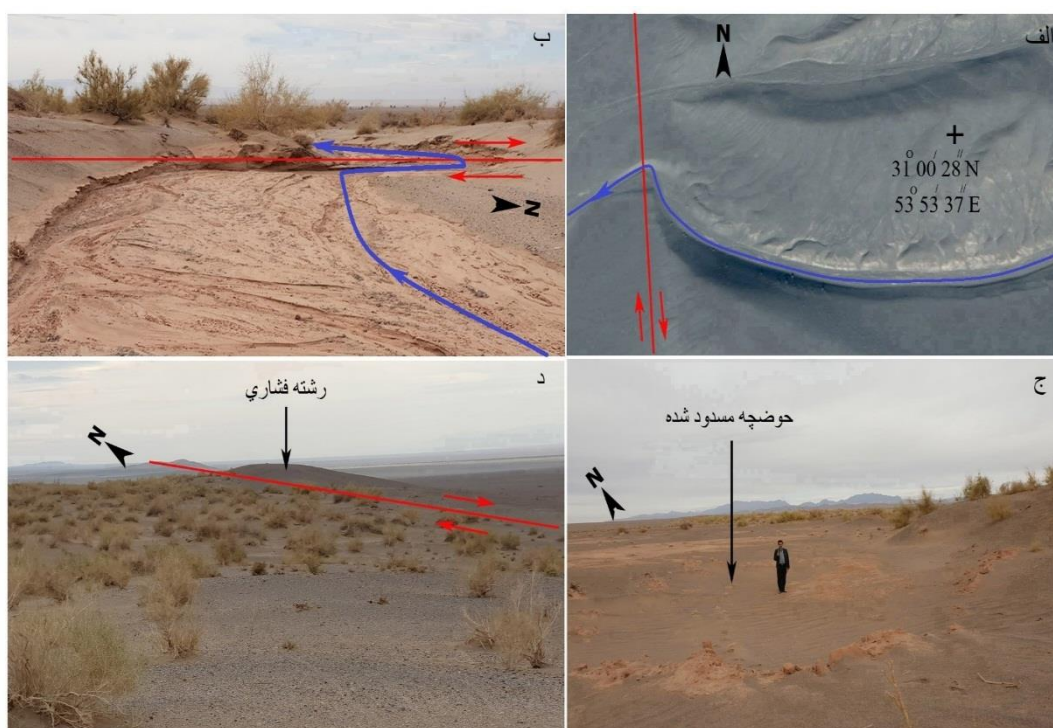


شکل ۶: نمایش شماتیک تأثیر حرکات امتدادلغز گسل دهشیر روی جابجایی محل رسوب‌گذاری و بدنبال آن، عریض شدن و

افزایش زاویه جاروب مخروط‌افکنه (مرحله د)



شکل ۷: تأثیر حرکت امتدادلغز گسل دهشیر در جابجایی عرضی و بی‌قوارگی مخروط شماره ۱۹



شکل ۸: تصویر گوگل ارث از انحراف یک شبکه زهکشی در محل گسل دهشیر (الف)، تصویر میدانی از انحراف ۹۰ درجه شبکه زهکشی در محل گسل دهشیر در شمال مخروط شماره ۲۸ (ب)، نمونه ای از حوضچه مسدود شده در امتداد خط گسل (ج)، و تشکیل رشته فشاری در امتداد گسل دهشیر در شمال مخروط شماره ۲۸ (د)

نتیجه‌گیری

فعالیت‌های تکتونیکی نقش مهمی در مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها و همچنین در فرایندهای ژئومورفولوژی مانند رسوب‌گذاری، فرسایش، و محل رسوب‌گذاری آن‌ها ایفا می‌کنند. گسل امتدادلغز راست‌گرد دهشیر یکی از عناصر ساختاری مهم در غرب ایران مرکزی است. شواهدی مانند جابجایی مخروط‌افکنه‌ها و آبراهه‌های جابجا شده و پرتگاه‌های گسلی بیانگر وجود جابجایی و تکتونیک فعال گسل مذکور در دوره کواترنری است. در این تحقیق، جهت ارزیابی نقش تکتونیک گسل دهشیر در مورفومتری و مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های تشکیل شده در امتداد گسل مذکور، تعداد ۲۸ مخروط‌افکنه شناسایی و پارامترهای طول، عرض، مساحت، محیط، نسبت عرض به طول، زاویه جاروب، ضریب مخروط‌گرایی، برای هر مخروط محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که رابطه مثبت و معنی‌داری بین پارامترهای مساحت و طول مخروط و همچنین بین مساحت و عرض مخروط وجود دارد. با افزایش مساحت مخروط‌ها، شیب توپوگرافی آن‌ها کم می‌شود. با این وجود، رابطه معنی‌داری بین دو پارامتر مذکور وجود ندارد. بین شیب مخروط‌ها و پارامترهای زاویه جاروب و نسبت عرض به طول مخروط‌ها رابطه قوی منفی وجود دارد. نتایج نشان می‌دهد که مخروط‌هایی که نسبت عرض به طول بیشتری دارند، دارای شکل منظم‌تر و نزدیک‌تر به مخروط واقعی (ایده‌آل) هستند. با افزایش زاویه جاروب مخروط‌ها، ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده افزایش می‌یابد. با این حال، رابطه معنی‌داری بین دو پارامتر مذکور وجود ندارد.

مقایسه میانگین پارامترها در دو گروه مخروط‌های بزرگ و کوچک نشان می‌دهد که میانگین زاویه جاروب و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده در گروه مخروط‌های بزرگ، بالاتر از مخروط‌های کوچک است. این موضوع را می‌توان به جریان و رسوب بیشتر و همچنین شیب کمتر مخروط‌های بزرگ نسبت داد به طوری که جریان‌های بزرگتر با بار رسوبی بالا، به راحتی در سطح مخروط دچار تغییر مسیر جانبی شده و به موجب این تغییر مسیرها، زاویه جاروب مخروط‌ها افزایش یافته و آن‌ها دچار تغییر شکل و بی‌قوارگی بیشتری می‌شوند.

علاوه بر نقش حرکات امتدادلغز گسل دهشیر در مورفومتری مخروط‌افکنه‌ها، رشته‌های فشاری یا چین‌خوردگی‌های کوچک تشکیل شده در امتداد خط گسل نیز می‌توانند در افزایش مقدار زاویه جاروب و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده مخروط‌ها مؤثر باشند. در مجموع، وجود مخروط‌افکنه‌های تشکیل شده با ویژگی‌های مورفومتریکی خاص مانند مقادیر بالای نسبت عرض به طول، زاویه جاروب و ضریب مخروط‌گرایی اصلاح شده به وضوح بیانگر جابجایی‌های امتدادلغز و فعالیت تکتونیکی گسل دهشیر است.

منابع

- فروتن، محمد؛ نظری، حمید؛ میر، برتراند؛ سبریر، میشل؛ فتاحی، مرتضی؛ لودورتز، کریستل؛ قرشی، منوچهر؛ حسامی، خالد؛ قاسمی، محمدرضا؛ طالبیان، مرتضی. ۱۳۹۰. آهنگ لغزش راست بر گسل دهشیر در بازه زمانی پلیوستوسن پایانی- هولوسن؛ فلات ایران مرکزی. نشریه علوم زمین، دوره ۲۱، شماره ۸۲، صص ۱۹۵-۲۰۶.
- کمالی، زهرا؛ هیهات، محمدرضا؛ نظری، حمید؛ خطیب، محمدمهدی. ۱۳۹۹. بررسی نرخ فعالیت تکتونیکی گستره گسل دورود (جنوب باختر ایران) بر پایه تحلیل داده‌های ژئومورفولوژیک (مخروط‌افکنه‌ها، حوضه‌ها و شبکه زهکشی). فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۱۴، شماره ۵۳، صص ۱۷-۳۰.
- گورابی، ابوالقاسم؛ پاریزی، اسماعیل. ۱۳۹۴. تأثیر نوزمین ساخت بر تحول لندفرم‌های دامنه‌های جنوب‌غرب شیرکوه. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۴، شماره ۲، صص ۴۵-۵۹.
- موسوی، سید مرتضی؛ خطیب، محمد مهدی؛ یوسفی، مهدی. ۱۳۹۶. تاثیر فعالیت‌های تکتونیکی بر مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های شمال بیرجند. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۳، صص ۶۰-۷۳.

- نجفی، فاطمه؛ حسین زاده، سید رضا؛ بهرامی، شهرام. ۱۴۰۲. تاثیر تکتونیک فعال بر شواهد ژئومورفولوژیکی مخروطافکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروطافکنه‌های بین بردسکن و کاشمر). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۴۷، صص ۲۳-۳۹.
- یمانی، مجتبی؛ قاسمی، علیرضا؛ علوی پناه، سید کاظم؛ گورابی، ابوالقاسم. ۱۳۸۹. مورفوتکتونیک ناحیه دهشیر با استفاده از تکنیک‌های ژئومورفومتری. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، دوره ۴۲، شماره ۷۱، صص ۱-۲۰.
- Angster, S.J., Wesnousky, S.G., Figue-iredo, P.M., Owen, L.A., and Hammer, S.J., 2019. Late Quaternary slip rates for faults of the central Walker Lane (Nevada, USA): Spatiotemporal strain release in a strike-slip fault system: *Geosphere*, 15(10), 1–19, <https://doi.org/10.1130/GES02088.1>.
- Arzani, N., 2012. Catchment lithology as a major control on alluvial megafan development, Kohrud Mountain range, central Iran. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37 (7), 726-740.
- Bahrami, S., 2013. Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danekhoshk anticline, Zagros, Iran. *Geomorphology*, 180-181, 217-230.
- Blair, T.C., McPherson, J.G., 1998. Recent debris-flow processes and resultant form and facies of the Dolomite alluvial fan, Owens Valley, California. *Journal of Sedimentary Research*, 68, 800–818.
- Calvache, M.L., Viseras, C., Fernandez, J., 1997. Controls on fan development-evidence from fan morphometry and sedimentology; Sierra Nevada, SE Spain. *Geomorphology*, 21, 69–84.
- Chen, P., Yan, B., Liu, Y., 2021. Active Strike-Slip Faulting and Systematic Deflection of Drainage Systems along the Altyn Tagh Fault, Northern Tibetan Plateau. *Remote Sens.*, 13, 3109.
- Crosta, G.B., Frattini, P., 2004. Controls on modern alluvial fan processes in the central Alps, northern Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 267–293.
- Diaz, G.J., Speranza, F., Faccena, C., Bayona, G., Mora, A., 2015. Magnetic stratigraphy of the Bucaramanga alluvial Fan: Evidence for a ≤ 3 mm/yr slip rate for the Bucaramanga-Santa Marta Fault, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 57, 12-22.
- Farbod, Y., Bellier, O., Shabanian, E., Abbassi, M.R., 2011. Geomorphic and structural variations along the Doruneh Fault System (central Iran). *Tectonics*, 30, TC6014.
- Fattahi, M., Walker, R.T., Khatib, M.M., Dolati, A., Bahroudi, A., 2007. Slip-rate estimate and past earthquakes on the Doruneh fault, eastern Iran. *Geophysical Journal International*, 168, 691–709.
- Giano, S.I., 2011. Quaternary alluvial fan systems of the Agri intermontane basin (southern Italy): Tectonic and climatic controls, *Geologica Carpathica*, 62(1), 65–76.
- Goswami, P.K., Pant, C.C., Pandey, S., 2009. Tectonic controls on the geomorphic evolution of alluvial fans in the Piedmont Zone of Ganga Plain, Uttarakhand, India. *Journal of Earth System Science*, 118, 245–259.
- Harvey, A.M., 2005. Differential effects of base-level tectonic setting and climatic change on Quaternary alluvial fans in the northern Great Basin, Nevada, USA. *Journal of the Geological Society of London*, 251, 117–131.
- Javadi, H.R., Ghassemi, M.R., Shahpasandzadeh, M., Guest, B., Ashtiani, M.E., Yassaghi, A., Kouhpeyma, M., 2013. History of faulting on the Doruneh Fault System: Implications for the kinematic changes of the Central Iranian Microplate, *Geological Magazine*, 150 (4), 651–672.
- Javadi, H.R., Esterabi Ashtiani, M., Guest, B., Yassaghi, A., Ghassemi, M.R., Shahpasandzadeh, M., Naeimi, A., 2015. Tectonic reversal of the western Doruneh Fault

- System: Implications for Central Asian tectonics, *Tectonics*, 34, doi:10.1002/2015TC003931.
- Keller, E.A., Pinter, N., 2002. *Active tectonics: earthquakes, uplift, and landscape (second edition)*: Englewood Cliffs. Prentice Hall, New Jersey. 362 pp.
 - Lecce, S.A., 1991. Influence of lithologic erodibility on alluvial fan area, western White Mountains, California and Nevada. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 11–18.
 - Klinger, Y., Avouac, J.P., Abou Karaki, N., Dorbath, L., Bourles, D., Reyss, J.L., 2000. Slip rate on the Dead Sea transform fault in northern Araba Valley (Jordan). *Geophys. J. Int.*, 142, 755–768.
 - Le Dortz, K., Meyer, B., Sébrier, M., Braucher, R., Nazari, H., Benedetti, L., Fattahi, M., Bourlès, D., Foroutan, M. Siame, L., Rashidi, A., Bateman, M. D., 2011. Dating inset terraces and offset fans along the Dehshir Fault (Iran) combining cosmogenic and OSL methods. *Geophysical Journal International*, 185, 1147–1174.
 - Li, Y.L., Yang, J.C., Tan, L., Duan, F., 1999. Impact of tectonics on alluvial landforms in the Hexi Corridor, Northwest China. *Geomorphology*, 28, 299–308.
 - Lloyd, M.J., Nichols, G.J and Friend. P.F., 1998. Oligo-Miocene alluvial-fan evolution at the southern Pyrenean thrust front, Spain. *Journal of Sedimentary Research*, 68(5), 869–878.
 - Mastalerz, K., Wojewoda, I., 1993. Alluvial-fan sedimentation along an active strike-slip fault: Plio-Pleistocene Pre-Kaczawa Fan, SW Poland. *Int. Sedimentol. Assoc. Spec. Publ.*, 17. 293–304.
 - Meyer, B., Mouthereau, F., Lacombe, O., Agard, P., 2006. Evidence of Quaternary activity along the Deshir Fault: implication for the Tertiary tectonics of Central Iran. *Geophysical Journal International*, 164, 192–201.
 - Mousavi, Z., Fattahi, M., Khatib, M., Talebian, M., Pathier, E., Walpersdorf, A., et al., 2021. Constant slip rate on the Doruneh strike-slip fault, Iran, averaged over late Pleistocene, Holocene, and decadal timescales. *Tectonics*, 40, e2020TC006256.
 - Mukerji, A.B., 1976. Terminal fans of inland streams in Sutlej-Yamuna Plain India. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 20 (2), 190–204.
 - Nadimi, A., Konon, A., 2012. Strike-slip faulting in the central part of the Sanandaj-Sirjan Zone, Zagros Orogen, Iran, *Journal of Structural Geology*, 40, 2–16.
 - Niassarifard, M., Shabaniyan, E., Soleymani Azad, S., Madanipour, S., 2021. New tectonic configuration in NW Iran: Intracontinental dextral shear between NW Iran and SE Anatolia. *Tectonophysics*, 811, 228886.
 - Oguchi, T., Ohmori, H., 1994. Analysis of relationship among alluvial fan area, source basin area, basin slope and sediment yield. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 38, 405–420.
 - Özpolat, E., Yıldırım, C., Görüm, T., Gosse, J.C., Şahiner, E., Sarıkaya, M.A., Owen, L.A., 2022. Three-dimensional control of alluvial fans by rock uplift in an extensional regime: Aydın range Aegean extensional province. *Scientific Reports*, 12 (1), 15306.
 - Pope, R.J.J., Wilkinson, K.N., 2005. Reconciling the roles of climate and tectonics in Late Quaternary fan development on the Spartan piedmont, Greece. In: Harvey, A.M., Mather, A.E., Stokes, M. (Eds.), *Alluvial Fans: Geomorphology, Sedimentology, Dynamics*: Geological Society, Special Publications, 251, pp. 133–15.
 - Rahimzadeh, B., Bahrami, S., Mohajjel, M., Mahmoudi, H., Haj-Azizi, F., 2019. Active strike slip faulting in the Zagros Mountains: geological and geomorphological evidence of the pull-apart Zaribar Lake basin, Zagros, NW Iran. *J. Asian Earth Sci.*, 174, 332–345.

- Rockwell, T.K., Masana, E., Sharp, W.D., Štěpančíková, P., Ferrater, M., Mertz-Kraus, R., 2019. Late Quaternary slip rates for the southern Elsinore fault in the Coyote mountains, southern California from analysis of alluvial fan landforms and clast provenance, soils, and U-series ages of pedogenic carbonate. *Geomorphology*, 326, 68-89.
- Sarikaya, M.A., Yildirim, C., Çiner, A., 2015. Late Quaternary alluvial fans of Emlî Valley in the Ecemiş Fault Zone, south central Turkey: Insights from cosmogenic nuclides. *Geomorphology*, 228, 512-525.
- Sorriso-Valvo, M., Antronico, L., Le Pera, E., 1998. Controls on modern fan morphology in Calabria, Southern Italy. *Geomorphology*, 24, 169-187.
- Thein, M., 2017. Current Tectonic Activity along the Sagaing Fault, Myanmar Indicated by Alluvial Fans. *Geological Society, London, Memoirs*, 48(1), 443-452.
- Van der Wal, J.L.N., Nottebaum, V.C., Gailleton, B., Stauch, G., Weismüller, C., Bathkishig, O., Lehmkuhl, F., Reicherter, K., 2020. Morphotectonics of the northern Bogd fault and implications for Middle Pleistocene to modern uplift rates in southern Mongolia. *Geomorphology*, 155, 107330.
- Waters, J.V., Jones, S.J., Armstrong, H.A., 2010. Climatic controls on late Pleistocene alluvial fans, Cyprus. *Geomorphology*, 115, 228-251.
- White, K., Drake, N., Millington, A., Stokes, S., 1996. Constraining the timing of alluvial fan response to Late Quaternary climatic changes, southern Tunisia. *Geomorphology*, 17, 295-304.
- Woor, S., Thomas, D.S., Parto, A., Leeman, A., 2023. Morphology and controls of the mountain-front fan systems of the Hajar Mountains, south-east Arabia. *Earth-Science Reviews*, 237, 104316.
- Yan, B., Jia, D., Lin, A., 2018. Late Pleistocene-Holocene tectonic landforms. *Journal of Geodynamics*, 120, 11-22.
- Zabic, C., Sancar, T., Tikhomirov, D., Ivy-Ochs, S., Vockenhuber, C., Friedrich, A.M., Yazici, M., Akcar, N., 2023. Internal deformation of continental blocks within converging plates: insights from the Ovacik Fault (Anatolia, Türkiye). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(3), 351-379.
- Zhang, K., Liu, K., Yang, J., 2004. Asymmetrical valleys created by the geomorphic response of rivers to strike-slip fault. *Quaternary Research*, 62, 310-315.