

تحلیل ارتباط بین ویژگی سطوح مختلف مخروط افکنه‌های مروست با مورفومتری حوضه‌های آبریز بوانات-مدوار

محسن کارگریان مروستی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
ندا محسنی* - دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۱ تأیید نهایی: ۱۴۰۳/۱۱/۱۶

چکیده

مخروط افکنه‌ها از بارزترین لندفرم‌های ژئومورفیک مناطق خشک محسوب می‌شوند. در استان یزد نسل‌های متعددی از مخروط افکنه‌ها در قسمت‌های غربی و شرقی مروست متعلق به حوضه‌های آبریز بوانات (زاگرس جنوبی) و مدوار تشکیل شده است. هدف از مطالعه حاضر بررسی نقش مورفومتری حوضه آبریز در شکل‌گیری و تحول سطوح مختلف مخروط افکنه‌های فعال و غیرفعال می‌باشد. با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیک سطوح مختلف تفکیک شد. سپس ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز مانند مساحت، حجم، طول، ارتفاع، تراکم زهکشی، شیب و ضریب شکل حوضه محاسبه شدند. وجود همبستگی منفی بین مساحت حوضه آبریز و شیب مخروط افکنه‌های فعال بیانگر شکل‌گیری سطوح جدیدتر با شیب زیاد در حوضه‌های کوچک‌تر می‌باشد. در حالی که همبستگی مثبت مساحت حوضه با شیب مخروط افکنه‌های غیرفعال بیانگر این است که با افزایش مساحت حوضه، شیب مخروط‌های قدیمی‌تر بیشتر می‌شود. همچنین، همبستگی منفی شیب حوضه با مساحت و حجم مخروط افکنه‌های غیرفعال نشان می‌دهد سطوح قدیمی‌تر، با گذشت زمان پایداری بیشتری یافته و شرایط تثبیت رسوب‌گذاری، افزایش پوشش گیاهی و رسوبات ریزدانه‌تر ناشی از هوادیدگی طولانی مدت موجب کاهش رواناب و تراکم زهکشی روی این سطوح شده است. در حالی که همبستگی مثبت شیب حوضه با مساحت و حجم مخروط افکنه‌های فعال بیانگر افزایش انتقال بار رسوبی در طی فرایندهای سیلابی، همراه با نرخ پائین نفوذپذیری در رسوبات واریزه‌ای و غیرهوادیده در سطوح جدیدتر زمینه رشد و گسترش سطوح فعال را فراهم می‌آورد. مطالعه تفکیک سطوح مخروط افکنه‌ها و ارتباط ویژگی‌های آنها با مورفومتری حوضه آبریز می‌تواند اولین اقدام موثر در مدیریت چشم‌اندازها و منابع طبیعی و شناسایی مناطق مستعد سیلاب باشد. همچنین در زمینه برنامه ریزی کاربری اراضی، مخروط افکنه‌ها به دلیل مواد رسوبی غنی و دسترسی به منابع آبهای زیرزمینی و بنابراین توسعه کاربری‌های کشاورزی، بشدت مستعد وقوع انواع مخاطرات مانند فرسایش، زمین لغزش، جریان‌ات واریزه‌ای و سیلاب می‌باشند. بطوریکه شناسایی این لندفرم‌ها و عوامل موثر بر ناپایداری سطوح قدیمی و جدید می‌تواند زمینه ساز تصمیمات بهینه در زمینه بهره برداری از این چشم‌اندازها بوده، ضمن اینکه مخروط افکنه‌های قدیمی آرشپوهای ارزشمندی برای بازسازی‌های محیطی گذشته مرتبط با تغییرات اقلیمی و زمین‌شناختی دوران کواترنری می‌باشند.

واژگان کلیدی: سطوح فعال، سطوح غیرفعال، شبکه زهکشی، فرایندهای فرسایشی، مورفومتری.

مقدمه

مخروط‌افکنه‌ها از معدود اشکال ژئومورفولوژیک هستند که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین لندفرم‌های کواترنری در شرایط متفاوت جغرافیایی، اقلیمی و زمین‌شناسی موجودیت یافته و در مطالعات اشکال رسوبی از جایگاه خاصی برخوردار هستند. تشکیل و توسعه مخروط‌افکنه‌ها فقط به اقلیم‌های خشک محدود نشده، بلکه در نواحی یخچالی، مرطوب و حاره‌ای نیز یافت می‌شوند. وضعیت ژئومورفولوژیکی مخروط‌افکنه‌ها در طول زمان ثابت نیست بطوری که شرایط و عوامل مختلف از جمله حرکات تکتونیکی، تغییرات حوزه آبریز و تغییرات اقلیمی می‌توانند در بستر زمان منجر به تغییرات بارزی در ژئومورفولوژی و مورفومتری سطوح مخروط‌افکنه‌ها گردند (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۷). از میان انواع فرایندها دو عامل اقلیم و تکتونیک سیکل رسوب‌گذاری مخروط‌افکنه‌ها را متأثر می‌سازند (تریانو و همکاران^۱، ۲۰۱۷). مطالعات متعدد به تشریح انواع مدل‌ها برای بررسی ارتباط بین تغییر اقلیم و سیکل رسوبات مخروط‌افکنه پرداخته‌اند. برخی از مدل‌ها نشان داده‌اند شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌ها به‌طور گسترده‌ای در طول پلیستوسن اخیر اتفاق افتاده است، زمانی که شرایط اقلیمی بسیار مرطوب‌تر از زمان حاضر بوده است. این مدل‌ها نشان می‌دهند اقلیم‌های مرطوب‌تر با افزایش تخلیه بار رسوبی رودخانه‌ها زمینه شکل‌گیری محیط‌های تراکمی مخروط‌افکنه‌ها را فراهم ساخته‌اند. مدل‌های دیگر نشان داده‌اند سیکل نهشته‌گذاری مخروط‌افکنه‌ها به‌طور گسترده‌ای در نتیجه توالی پاسخ‌های ژئومورفیک به تغییرات زمانی در اقلیم و پوشش گیاهی در دوره گذار پلیستوسن - هولوسن به‌عبارت دیگر گذار از دوره‌های مرطوب‌تر به دوره‌های نسبتاً خشک تر اتفاق افتاده است (گورابی و کریمی، ۱۳۹۱؛ محسنی و همکاران، ۱۴۰۱). فعالیت‌های تکتونیکی نیز نقش بسیار مهمی در تغییر سطوح مخروط‌افکنه‌ها دارند. بال‌آمدگی بخشی از کوهستان سبب فراهمی مواد رسوبی جدید به سطح مخروط‌افکنه‌ها شده به‌طوری که متغیرهای تکتونیکی بافت و موقعیت مخروط‌ها را متأثر می‌سازند. همچنین جابه‌جایی گسل‌ها باعث جابه‌جایی مخروط‌ها و جریان‌های سطحی آن‌ها می‌شوند (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۶). از سوی دیگر فعالیت‌های زمین‌ساختی شدت شکل و موقعیت مخروط‌افکنه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. جابه‌جایی گسل‌ها موجب جابه‌جایی مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز می‌شود. بطوریکه ویژگی‌های مورفومتری این اشکال می‌تواند شاهی بر فعالیت‌های تکتونیکی باشد (نجفی و همکاران، ۱۴۰۴). در شرایطی که میزان بال‌آمدگی جبهه کوهستان کمتر یا مساوی میزان حفر قائم رودخانه باشد، عمل حفر در راس مخروط‌افکنه انجام و محل رسوب‌گذاری به سمت بخش‌های پائین تر و قاعده مخروط منتقل می‌شود و بنابراین مخروط‌های جوان یا فعال از پیشانی کوه فاصله گرفته و در پایین‌دست شکل خواهند گرفت (تقیان، ۱۳۹۴). سطوح مخروط‌افکنه‌ها با سنین مختلف تفاوت‌های مشخصی از نظر نوع و عملکرد فرایندهای ژئومورفیک نشان می‌دهند. مسیرهای جریان و مرزهای کانال در مخروط‌های آبرفتی بسیار ناپایدار هستند، به‌طوری که تمام قسمت‌های مخروط‌های آبرفتی به‌طور یکسان در معرض فرایندهای سیل یا رسوب‌گذاری قرار نمی‌گیرند (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۷؛ ایمنی و همکاران، ۱۳۹۹). سطوح جدیدتر و فعال در معرض فرایندهای سیلابی و رسوب‌گذاری بیشتری قرار دارند (بهرامی و قهرمان^۲، ۲۰۱۹). سطوح قدیمی‌تر مخروط‌افکنه‌ها یا به‌اصطلاح سطوح غیرفعال تقریباً به‌طور کامل از فرایند سیلابی حذف می‌شوند. سایر فرایندها مانند هوادیدگی و اثراتی مانند ورنی بیابانی و نرخ تکامل خاک تفاوت‌های قابل‌توجهی بین مخروط‌های آبرفتی با سنین مختلف نشان می‌دهند (رگمی و راسموسن^۳، ۲۰۱۸؛ دیکرسون و همکاران^۴، ۲۰۱۵). افزایش فصلی سیلاب در مخروط‌های غیرفعال منجر به تشکیل و توسعه فرسایش گالی در مقایسه با سطوح فعال می‌شود. بطوریکه توسعه چنین اشکالی منجر به مورفولوژی ناهموار و منقطع سطوح قدیمی‌تر در مقایسه با مخروط‌های فعال جدید می‌گردد

¹ Terrizzano et al² Bahrami & Ghahraman³ Regmi & Rasmussen⁴ Dickerson et al

(محسنی و همکاران، ۱۴۰۱). مطالعه مخروط افکنه‌ها اهمیت زیادی در شناسایی حوضه آبریز تغذیه‌کننده آن‌ها داشته بطوری که رابطه این اشکال و حوضه‌های آبریز یک مفهوم اساسی در مطالعات ژئومورفولوژیکی محسوب می‌شود (کاین و همکاران^۱، ۲۰۱۸). خصوصیات مورفومتریکی حوضه آبریز بالادست مخروط افکنه تحت تأثیر فرایندهای مختلف محیطی می‌توانند نقش بسزایی در تغییرات ویژگی‌های مخروط افکنه‌ها داشته باشند (جوکار و همکاران، ۱۳۹۴؛ صالحی‌پور و بشکنی، ۱۳۹۹). باتوجه به این که خصوصیات فیزیوگرافی و توپوگرافی حوضه‌های آبریز می‌تواند بسیاری از عوامل آب‌وهوایی همچون درجه حرارت، نوع و میزان بارش‌های جوی و میزان تبخیر یا تعرق را تغییر دهد و به‌طور کلی موجب پیدایش انواع آب‌وهوای موضعی یا محلی شوند، خصوصیات فیزیکی حوضه آبریز نه تنها به طور مستقیم بر رژیم هیدرولیک و میزان تولید رواناب سالیانه، حجم سیلاب‌ها، شدت فرسایش خاک و میزان رسوب تولیدی اثر می‌گذارد؛ بلکه غیرمستقیم نیز با تأثیر بر اقلیم محلی و پوشش گیاهی به میزان زیادی رژیم آبی حوضه آبریز را تحت تأثیر قرار می‌دهد، هر تغییری در حوزه آبریز، بر مخروط‌های مرتبط با آنها نیز تأثیرگذار خواهد بود (مکرم و همکاران^۲، ۲۰۱۴).

مخروط‌های مناطق خشک به تغییرات محیطی بسیار حساس هستند، اما تاریخچه رسوب‌گذاری و فرایندهای رسوبی را حفظ می‌کنند. رخدادهای سیلابی و وقوع جریان‌هایی با غلظت بالای رسوب می‌تواند بر قطر و حجم واریزه‌ها بر بستر رودخانه مؤثر بوده و باعث افزایش عرض حوضه‌های آبریز گردند. هرچه تراکم و وسعت حوضه آبریز بیشتر شود فرسایش شدیدتر خواهد بود و میزان بار رسوبی افزایش خواهد یافت. در نتیجه مخروط افکنه‌های غیرفعال به اوج توسعه خود می‌رسند. با کاهش مقدار بارندگی و سیلاب مقدار آبدهی رودخانه‌ها کاهش یافته و قدرت حمل و رسوب‌گذاری کم شده که منجر به تغذیه ناکافی مخروط افکنه‌ها می‌شود. همچنین شرایط آب‌وهوایی سبب ایجاد مخروط افکنه‌های فعال در بستر مخروط‌های قدیمی‌تر غیرفعال می‌شوند که کمتر در معرض هجوم آب‌های جاری قرار دارند و بنابراین وسعت و شکل آن‌ها نسبت به مخروط‌های قدیمی‌تر متفاوت است و از وسعت و گسترش کمتری برخوردار هستند (بهرامی^۳، ۲۰۱۳؛ روستایی و همکاران، ۱۳۸۸؛ گورابی و کریمی، ۱۳۹۱).

ارتباط بین مخروط افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز و همچنین ارتباط آن‌ها با فعالیت‌های تکتونیکی یک مفهوم اساسی در مطالعات ژئومورفولوژی محسوب می‌شود. در ایران نیز پژوهش‌های زیادی به بررسی رابطه بین مخروط افکنه، تکتونیک و ژئومورفولوژی پرداخته‌اند. شایان و همکاران (۱۳۹۰) فعالیت‌های نو زمین‌ساخت را یکی از عوامل مهم تغییر و تحول مورفولوژی مخروط افکنه گرمسار عنوان کرده‌اند. بهرامی و بهرامی (۱۳۹۰) در ارزیابی مخروط افکنه‌های زاگرس اذعان داشتند که در تفکیک سطوح فعال و غیرفعال شاخص‌های ژئومورفولوژی بیش‌ترین تأثیر را دارد. گورابی و کریمی (۱۳۹۱) به بررسی تأثیر گسل فعال مروست یزد بر تحول مخروط افکنه‌ها پرداختند و مشاهده کردند که تکتونیک نسبت به اقلیم اثرات بیشتری بر مورفولوژی مخروط‌ها داشته است. بهرامی (۱۳۹۳) در بررسی حجم مخروط افکنه دنه خشک و فعالیت‌های تکتونیکی در طاق‌دیس این منطقه به این نتیجه دست‌یافت که بین شیب مخروط افکنه و ساختار لایه‌ها رابطه مستقیمی وجود دارد. امیر احمدی و ابراهیمی (۱۳۹۴) به بررسی نقش تکتونیک در توسعه مخروط افکنه جبله رود، جاجرود در البرز جنوبی پرداختند. همچنین نصرتی و همکاران (۱۳۹۶) در سکردان استان البرز تأثیر تکتونیک بر مساحت، محیط و حجم مخروط افکنه‌ها را بررسی کردند. جوکار و فخرالدین (۱۳۹۴) به تحلیل و بررسی مخروط افکنه‌های دامنه جنوبی البرز در استان سمنان پرداختند و مشاهده کردند که مساحت، طول کل آبراهه‌ها، طول آبراهه اصلی، طول حوضه، محیط، شیب آبراهه اصلی و ارتفاع بیشترین تأثیر را بر مخروط افکنه‌ها دارند. صالحی‌پور و بشکنی (۱۳۹۹) در بررسی مخروط افکنه‌های جلگه ساحلی تالش ضمن ایجاد ارتباط بین ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها و حوضه‌های مرتبط مشاهده کردند

۱- Kain et al

۲- Mokarram et al

۳- Bahrami

همبستگی معناداری بین مساحت مخروط افکنه و حوضه آبریز و همچنین شیب مخروط افکنه و ضریب ملتون وجود دارد. تا دهه‌ی ۱۹۶۰ تحقیقات در مورد مخروط افکنه‌ها و حوضه آبریز بیشتر در کشورهای آمریکا، فرانسه و انگلیس انجام شده است؛ اما از این دهه به بعد مطالعات بیشتر جنبه مدل‌سازی و کمی به خود گرفت. پژوهش‌های زیادی نیز در جهان به منظور بررسی ارتباط بین مساحت مخروط افکنه‌ها و حوضه‌های تغذیه‌کننده آن‌ها به منظور درک مکانیزم شکل‌گیری مخروط افکنه‌ها انجام گرفته است (والک و همکاران^۱، ۲۰۲۲؛ لوکا و همکاران^۲، ۲۰۲۰؛ شوشتا و کومار^۳، ۲۰۲۳؛ یو و همکاران^۴، ۲۰۱۹). محققین متعددی همبستگی مثبت معناداری را بین اندازه مخروط و مساحت حوضه آبریز به دست آوردند و این در حالی بود که رابطه بین مساحت حوضه و شیب منفی بود (گولده^۵، ۱۹۹۶؛ چرچ و مارک^۶، ۱۹۸۰؛ گیلز و^۷، ۲۰۱۰؛ آيازو همکاران، ۲۰۱۸؛ مکرم و همکاران^۸، ۲۰۲۲).

سطوح مختلف مخروط افکنه‌ها در قسمت‌های غربی و شرقی دامنه‌های سفیدکوه و سیاه کوه (دامنه‌ی جنوبی رشته‌کوه شیرکوه) در منطقه مروست تحت تأثیر حوضه آبریز بوانات - مروست و مروست - خبر می‌باشد. تشکیل مخروط افکنه‌های منطقه مروست متأثر از سیلاب‌های بزرگ در روند بارندگی‌های شدید انجام شده است که ترکیبی از ذرات شن و ماسه و قلوه‌سنگ بوده و از نفوذپذیری خوبی برخوردار هستند که در برابر عوامل تکتونیک مقاومت کمی دارند. با توجه به حاصل خیز بودن خاک مخروط افکنه‌ها و دسترسی به منابع آب زیرزمینی، همچنین شرایط مساعد جهت استقرار سکونتگاه و اراضی کشاورزی، این لندفرم‌ها، محیط‌های ناپایداری از لحاظ ژئومورفیک و تکتونیک محسوب می‌شوند. با توجه به این ویژگی‌ها این لندفرم‌ها از جنبه‌های مختلف مورد توجه ژئومورفولوژیست‌ها می‌باشند. بطوریکه شناسایی سطوح مخروط افکنه‌های فعال و غیرفعال منطقه و تحلیل کمی و کیفی این لندفرم‌ها می‌تواند کمک مؤثری در راستای شناسایی مخاطرات و متعاقباً برنامه‌ریزی‌های محیطی و مدیریت این چشم اندازها به منظور بهره‌برداری پایدار باشد. علیرغم مطالعات بسیار درباره ارتباط بین ویژگی‌های حوضه آبریز و مورفومتری مخروط افکنه‌ها، مطالعات کمی به بررسی ارتباط بین تغییرپذیری سطوح مختلف مخروط افکنه‌ها متأثر از عوامل ژئومورفیک با مورفومتری حوضه آبریز پرداخته‌اند. در پژوهش حاضر نشان داده شده است که چگونه تحول سطوح فعال و غیرفعال مخروط افکنه‌ها می‌تواند ارتباط خصوصیات مورفومتری این لندفرم‌ها و حوضه‌های تغذیه‌کننده آن‌ها را متأثر سازد. در این پژوهش سعی شده به این سوال پاسخ داده شود که آیا ارتباط بین ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبریز و مخروط افکنه‌ها می‌تواند تحت تأثیر تحول ژئومورفولوژیک سطوح فعال و غیر فعال قرار بگیرد.

موقعیت و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در ایران مرکزی، در فاصله ۱۸۰ کیلومتری استان یزد، در محدوده جغرافیایی $30^{\circ}20'$ الی $30^{\circ}40'$ عرض شمالی و $54^{\circ}00'$ الی $54^{\circ}40'$ طول شرقی واقع شده است. مساحت منطقه ۳۴۰۰۰ هکتار از اراضی را پوشش می‌دهد. شهرستان مروست در جنوب استان یزد، حدفاصل مهریز و خاتم است و از شرق با استان کرمان (شهرستان شهرابک) و از غرب با استان فارس هم‌مرز است ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۵۲۰ متر، میانگین بارش سالانه ۷۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۱۷٫۵ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۱). مخروط افکنه‌های منطقه مروست در محدوده مطالعاتی ایران

¹- Walk et al

²-Lucà et al

³- Shoshta & Kumar

⁴- Yu yet al

⁵- Gould

⁶- Church & Mark

⁷-Giles

⁸- Mokarram

مرکزی و بین دو گسل مهم، رو راندگی زاگرس در غرب منطقه و گسل نائین-بافت در شرق منطقه و در ناحیه فعال تکتونیکی قرار دارد. حوضه‌های آبریز بوانات (انتهای جنوبی رشته کوه‌های زاگرس) و مدوار دو حوضه آبریز اصلی تشکیل دهنده مخروط افکنه‌های غرب و شرق مروست می‌باشند. حوضه آبریز بوانات تحت تأثیر فعالیت گسل‌های این ناحیه قرار داشته و زمینه را برای توسعه شبکه آب و انتقال رسوب جهت شکل‌گیری و ایجاد مخروط افکنه‌ها فراهم ساخته است (خاکپور مروستی، ۱۳۹۰). کویر لوت، باتلاق گاوخونی و کویر ابرکوه از جمله گودال‌های مهم در امتداد این گسل‌ها هستند. کوهستان، دشت و پایکوه‌هایی که شامل کوه ریگ‌ها و مخروط افکنه هستند، واحدهای توپوگرافی منطقه را تشکیل می‌دهند. ارتفاع کوه‌ها از غرب به سمت شرق کاهش یافته و مرتفع‌ترین نقطه آن ۲۸۰۰ متر است که در مناطق شرقی مروست قرار گرفته است. نقاط ارتفاعی منطقه کوه محمدآباد (۲۴۰۰ متر)، کوه ریگ دهل‌زان (۲۰۲۰ متر)، کوه نجفی (۲۶۰۰ متر) و چندین قله ارتفاعی دیگر را شامل می‌شود. شیب اکثر این ارتفاعات بین ۲۰ تا ۵۲ درجه متغیر است (گیوئی اشرف، ۱۳۹۰). از نظر زمین‌شناسی، قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه مربوط به پالئوزوئیک می‌باشد و رسوبات مربوط به دوره کواترنر جدیدترین واحدهای منطقه است. واریزه‌های دامنه‌ای، آبرفت‌های دشت‌های قدیم و جدید و مارن‌ها از مهمترین رسوبات کواترنری منطقه می‌باشند. برون‌زدگی‌های جنوب منطقه مربوط به لایه‌های مارنی و قدیمی‌ترین رسوبات عهد حاضر است. در مناطق غرب و جنوب غرب آبرفت‌ها توسعه گسترده‌ای یافته‌اند. بیشترین گسترش را رسوبات دشت‌های جوان به خود اختصاص داده و گل‌ولای، رس‌ها و رسوبات در شرق، شمال شرق و جنوب شرق مروست پهنه‌ی وسیعی را به وجود آورده‌اند (درویش زاده، ۱۳۸۵؛ خاکپور مروستی، ۱۳۹۰). گسل‌های مهم منطقه شامل گسل دهشیر-بافت با امتداد شمال، شمال غرب، جنوب، جنوب شرق که از جنوب غرب نائین آغاز و در چاه گو، نزدیک سیرجان به پایان می‌رسد. این ساختار گسلی جوان و مربوط به عهد حاضر است که نهشته‌های کواترنری را قطع می‌کند (بربریان^۱، ۱۹۸۶). گسل بعدی، گسل پشت بادام است که رسوبات کواترنری جوان دشت آبرفتی و پلایای ابرکوه در غرب و شمال باختری شهر بابک و کویر نمک صالح‌آباد مروست را قطع می‌کند.

روش تحقیق

در این پژوهش، به منظور تولید ترکیب رنگی حقیقی (TCC^۲) از سطح زمین برای منطقه مروست و تفکیک مکانی بهتر مخروط افکنه‌های مورد مطالعه، از تصاویر سنجنده چند طیفی Sentinel-2 MSI سطح A۲ (محصول SR) استفاده شد. مجموعه داده‌ها مورد بررسی (S2_SR_HARMONIZED)، شامل مقادیر تصحیح‌شده بازتاب سطحی (Surface Reflectance) هستند که اثرات جوی روی آن‌ها به حداقل رسیده است (لیپا^۳ و همکاران، ۲۰۲۴). برای دستیابی به تصویری با کمترین مقدار پوشش ابر و مناسب جهت نمایش رنگی حقیقی، پیش‌پردازش داده‌ها در چند مرحله صورت پذیرفت. ابتدا، با اعمال فیلتر زمانی، تصاویر مربوط به بازه زمانی ۱ ژانویه ۲۰۲۴ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۲۴ انتخاب شده تا تغییرات پوشش گیاهی و سایر پدیده‌های سطح زمین در طول یک سال کامل مدنظر قرار گیرند. سپس، به منظور کاهش اثر پوشش ابر، از فیلتر درصد پیکسل‌های پوشیده از ابر استفاده شد و تنها تصاویری که درصد پوشش ابری آن‌ها کمتر از ۲۰ درصد بود، برای پردازش‌های بعدی انتخاب شدند. از میان باندهای طیفی Sentinel-2، باندهای قرمز (B4)، سبز (B3) و آبی (B2)، که متناظر با طول‌موج‌های نور مرئی هستند،

^۱- Berberian

^۲ True Color Composite (TCC)

^۳ Liepa

برای ایجاد ترکیب رنگی حقیقی انتخاب شدند. در نهایت، با محاسبه مقدار میانه (Median) برای هر پیکسل در هر باند از میان تصاویر انتخاب شده، اثر ابرهای باقی‌مانده و نویزهای احتمالی در تصویر نهایی به حداقل رسید و ترکیب رنگی حقیقی برای بازنمایی مخروط افکنه‌های قدیمی و جدید ایجاد شد (شکل ۲). تشخیص و تفکیک بخش‌های فعال و غیرفعال مخروط افکنه‌های بخش‌های غربی و شرقی مروست با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیک انجام شد. برای تشخیص و تفکیک سطوح مخروط افکنه از لحاظ سن نسبی، از بازدید میدانی و تصاویر گوگل ارث استفاده گردید. درمجموع با استفاده از شاخص‌هایی مانند الگوی زهکشی، شاخص‌های هوازدهی، مورفولوژی یا میزان تضاريس سطحی و میزان روشنایی رسوبات سطوح فعال و غیرفعال تفکیک شد. در مرحله بعد محدوده ۳۰ مخروط افکنه و حوضه تغذیه‌کننده مرتبط با استفاده از تصاویر شناسایی و طبقه‌بندی گردید. پس از رقومی کردن حوضه آبریز و مخروط افکنه‌ها و تهیه DEM در محیط GIS ویژگی‌های مورفومتری اندازه‌گیری شد. فاکتورهای مورفومتری حوضه شامل مساحت و محیط، اختلاف ارتفاع، میانگین ارتفاع، شیب حوضه، حداکثر طول حوضه، طول آبراهه اصلی و طول کل آبراهه‌ها محاسبه گردید. سایر فاکتورها مانند ضریب شکل حوضه و تراکم زهکشی با استفاده از داده‌های مذکور و از طریق روابط ریاضی مندرج در روابط ۱-۲ محاسبه شدند (هورتون^۱، ۱۹۴۵؛ اسپو^۲، ۱۹۵۶). اندازه‌گیری فاکتورهای مورفومتری مخروط افکنه‌ها شامل مساحت، ارتفاع رأس مخروط، طول مخروط، شیب مخروط، طول قاعده و حجم مخروط افکنه همچنین در رابطه ۳ قابل ملاحظه هستند (گیلز^۳، ۲۰۱۰).

$$\text{فرمول ۱: } FF = \frac{A}{L^2}$$

FF: ضریب شکل حوضه، A: مساحت حوضه آبریز، L^2 : طول حوضه

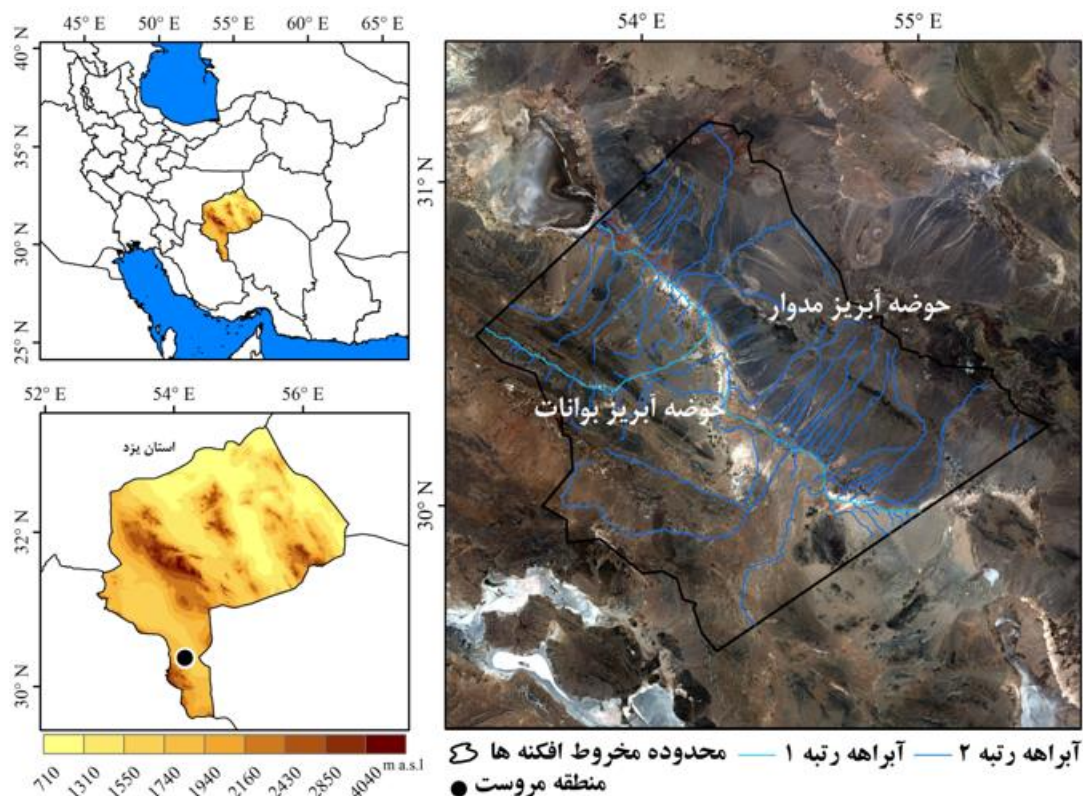
$$\text{فرمول ۲: } D_d = \frac{L}{A}$$

D_d : تراکم زهکشی، L: طول کلیه آبراهه‌ها، A: مساحت کل حوزه

^۱- Horton

^۲- Schumm

^۳- Giles



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

$$V = \left[\frac{\pi * h * R^2}{3} \right] * \left[\frac{S}{360} \right] \quad \text{فرمول ۳}$$

V : حجم مخروط، $3.14 = \pi$ ، h = اختلاف ارتفاع رأس و قاعده مخروط، R : شعاع مخروط به متر، S = زاویه جاروب منطقه

به منظور تحلیل بهتر مخروط افکنه‌ها، با بهره‌گیری از متغیرهای مورفومتری اندازه‌گیری شده، مخروط‌ها به تفکیک سن، قدیمی یا غیرفعال و جدید یا فعال تقسیم‌بندی شدند. برای بررسی ارتباط بین ویژگی مخروط افکنه‌های فعال و غیرفعال با مورفومتری حوضه‌های آبریز و متعاقباً روند تحولات ژئومورفولوژیکی آن‌ها، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. این ضریب، میزان و جهت رابطه خطی بین دو متغیر کمی را نشان می‌دهد و مقادیر آن بین -۱ (همبستگی منفی کامل) تا +۱ (همبستگی مثبت کامل) متغیر است (کوهن^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). برای تعیین سطح معناداری آماری روابط، مقدار P-Value (مقدار احتمال) برای هر یک از ضرایب همبستگی محاسبه گردید. در این پژوهش، سطح معنی‌داری ۵ درصد ($\alpha = 0.05$) به عنوان آستانه در نظر گرفته شد. بدین ترتیب، اگر P-Value محاسبه شده برای یک ضریب همبستگی کمتر از ۰.۰۵ باشد، فرض صفر مبنی بر عدم وجود رابطه خطی بین دو متغیر رد شده و همبستگی مشاهده شده از نظر آماری معنی‌دار تلقی می‌شود.

در تحلیل آلومتری از رابطه بول (۱۹۶۲) به شرح ذیل استفاده گردید:

^۱ Cohen

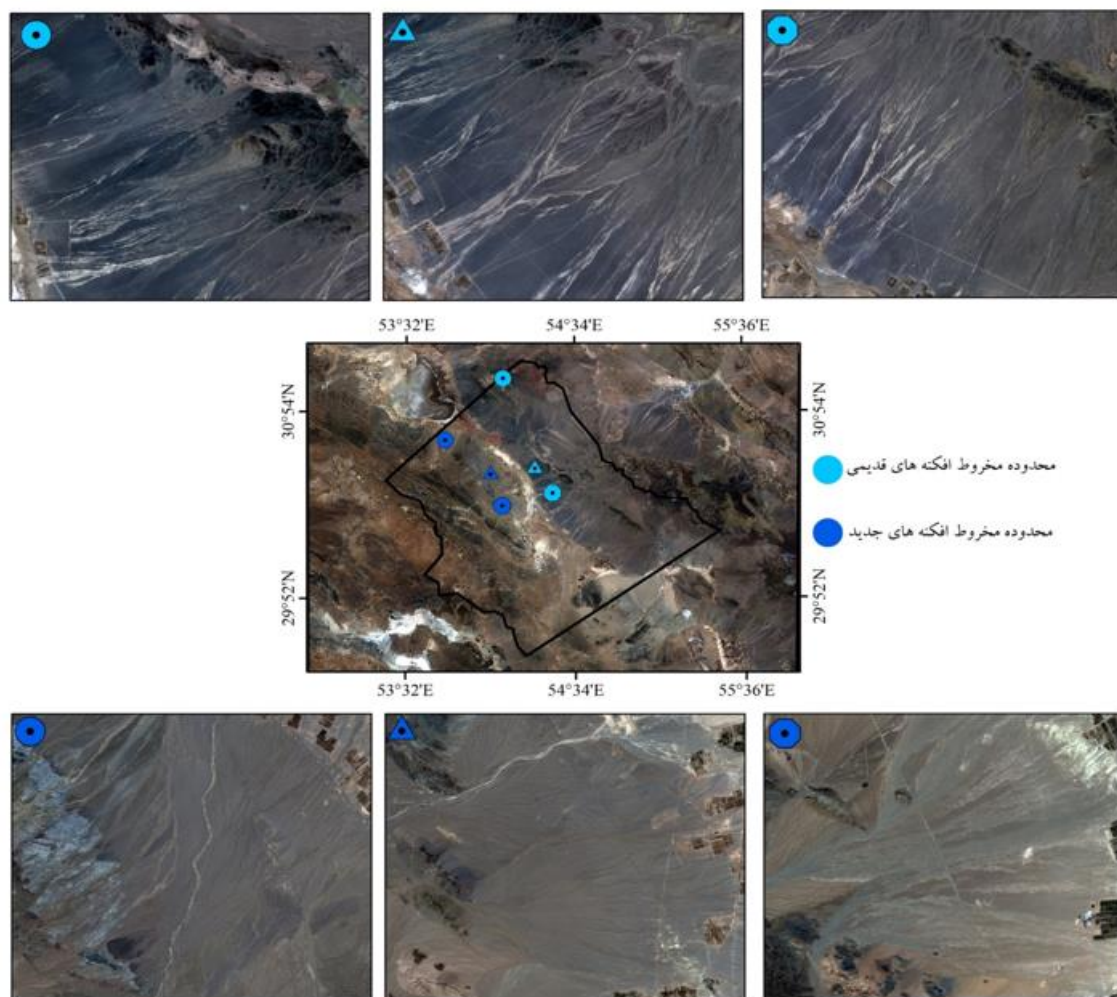
$$A^F = C A_d^K \quad \text{فرمول ۴:}$$

A^F مساحت مخروط افکنه، C نسبت مساحت مخروط افکنه به مساحت حوضه آبخیز، A_d مساحت حوضه آبخیز و توان آن، k میزان شیب رگرسیون خطی مساحت حوضه آبریز و مساحت مخروط افکنه.

نتایج و بحث

تفکیک سطوح مختلف مخروط افکنه

در این پژوهش سطوح فعال و غیر فعال مخروط افکنه‌ها بر اساس شاخص‌های ژئومورفیک شامل الگوی زهکشی، تن رنگ رسوبات و مورفولوژی سطحی تفکیک شدند (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۴). در سطوح مخروط افکنه‌های فعال، الگوی زهکشی در پایین دست به صورت واگرا و متقاطع بوده بطوریکه از رأس مخروط به سمت پائین دست، آبراهه‌ها بصورت الگوی شعاعی پخش و واگرا می‌شوند. شرایطی که منجر به افزایش فرایند رسوب گذاری و توسعه مخروط افکنه های فعال می گردد (شکل ۳). درحالی که در سطوح غیرفعال آبراهه‌ها به صورت همگرا و شبکه درختی توسعه یافته‌اند. در مخروط افکنه‌های شرقی جریانات زهکشی الگوی درختی و همگرا داشته، درحالی که در مخروط افکنه‌های واقع در محدوده غرب، الگوی غالب شعاعی و واگرا می‌باشد. از لحاظ تن رنگ رسوبات در تصاویر ماهواره‌ای، رسوبات سطوح غیرفعال مخروط افکنه‌ها مدت زمان طولانی در معرض فرایندهای هوازدگی قرار گرفته‌اند و بنابراین سنگ فرس بیابانی یا ورنی صحرا روی سطوح این لندها توسعه پیدا کرده‌اند. همچنان که مشاهدات میدانی هم وجود چنین شواهدی را تأیید می‌کند (شکل ۴). در صورتی که سطوح جدیدتر مخروط افکنه‌ها یا سطوح فعال کمتر تحت تأثیر فرایندهای هوازدگی قرار گرفته و بنابراین ورنی صحرا توسعه کمتری داشته است. این تغییرات در عملکرد و مدت فرایندهای هوازدگی منجر به تفاوت در تن رنگ رسوبات بصورت روشن تر در سطوح فعال و تیره تر در سطوح غیرفعال می‌گردد (شکل ۵). مورفولوژی سطوح مختلف این لندها بر اساس فرایندهایی مانند فرسایش و رسوب گذاری متفاوت می‌باشد. عملکرد طولانی فرایندهای سیلابی و حاکمیت فرسایش قهقرایی، توسعه بدلندها به سمت بالادست، گالی ها و شیپارهای متعدد در سطوح غیرفعال منجر به افزایش تضاریس و ناهمواری سطحی و دره‌ها و پشته‌ها در مورفولوژی آنها شده است. درحالی که در مخروط‌های جوان و فعال مورفولوژی هموارتری داشته و مجرا و پشته‌ها کمتر در آنها دیده می‌شوند (شکل ۴). براساس بررسی شاخص‌های مذکور می‌توان مخروط افکنه‌های منطقه را به دو گروه فعال و غیرفعال تفکیک کرد. مخروط افکنه‌های قسمت شرقی جز مخروط افکنه‌های قدیمی یا غیرفعال می‌باشند و مخروط افکنه‌های غرب مروست مخروط‌های جدید یا فعال را شامل می‌شوند. سطوح فعال به طور مستقل و یا منطبق بر قسمتی از عوارض قدیمی تحت تأثیر عملکرد فرایندهای فرسایشی شدید رودخانه‌های فعلی تکامل می‌یابند. درحالی که مخروط افکنه‌های غیرفعال سطوحی هستند که نتیجه عملکرد دوره‌های قبلی فرسایشی می‌باشند و اکنون کمتر در معرض هجوم آب‌های جاری قرار دارند. به طور کلی می‌توان بیان کرد که مخروط‌های فعال متأثر از طغیان‌های رودخانه‌ای دارای الگوی زهکشی شاخه شاخه یا متقاطع هستند، درحالی که مخروط افکنه‌های غیرفعال ممکن است صدها یا هزاران سال از هجوم سیلاب در امان بوده و فرسایش قهقرایی و توسعه کانال‌ها به سمت بالادست سبب ایجاد الگوی زهکشی واگرا در سطوح این لندها شده است. علاوه بر این بخش‌های فعال نسبت به بخش‌های غیرفعال یا قدیمی تر دارای رنگ روشن تری هستند. درحالی که بخش‌های غیرفعال رنگ تیره‌تری نشان می‌دهند، بخش‌های فعال مخروط افکنه‌ها به علت هوا دیدگی کمتر و عدم وجود پوشش هواذیده یا ورنی بیابان رنگ روشن تری نسبت به مخروط افکنه‌های غیرفعال دارند (بهرامی، ۲۰۱۳؛ روستایی و همکاران، ۱۳۸۸).



شکل ۲: محدوده مخروط افکنه‌های فعال و غیرفعال روی Digital Surface Model مستخرج از Sentinel-2 MSI

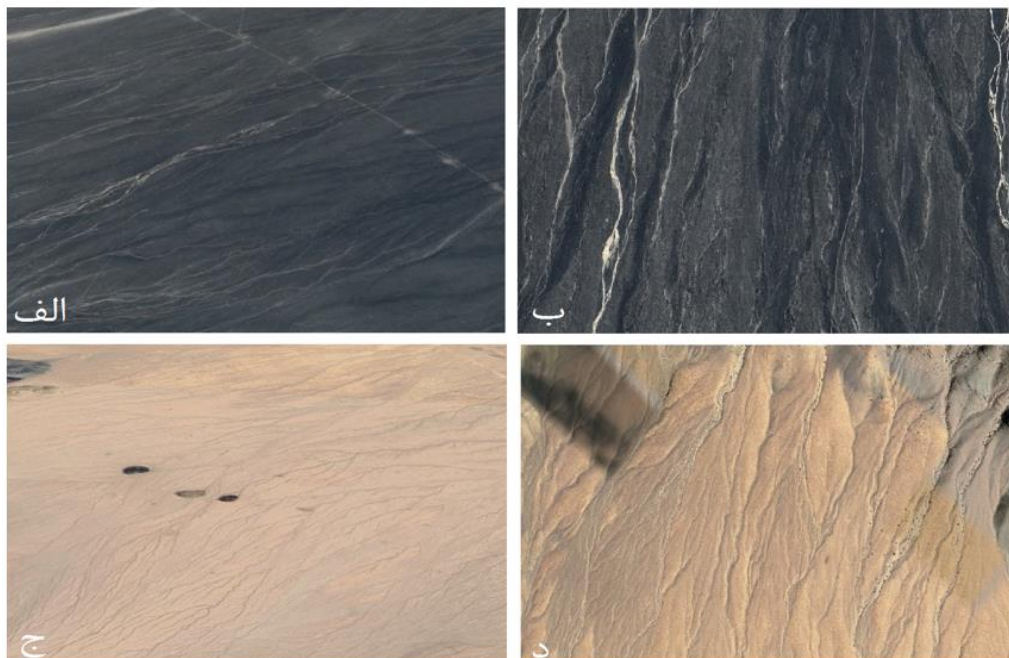
تحلیل مورفومتری سطوح مختلف مخروط افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز نتایج همبستگی

نتایج بررسی فاکتورهای مورفومتری ۱۵ مخروط افکنه فعال (جدول ۱)، ۱۵ مخروط افکنه غیرفعال (جدول ۲) و همچنین ویژگی‌های مورفومتری حوضه‌های آبریز مرتبط به ترتیب در جداول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود. مساحت حوضه آبریز در مخروط‌های غیرفعال از ۳,۳ کیلومترمربع تا ۳۲۷ کیلومترمربع و در مخروط‌های فعال از ۷,۶ تا ۳۳۰ کیلومترمربع متغیر بوده است. مساحت مخروط افکنه‌های جدیدتر از ۲,۶ تا ۱۰۵ کیلومترمربع و در مخروط‌های قدیمی‌تر نیز از ۱,۶ تا ۱۴۴ کیلومترمربع متغیر می‌باشد. در منطقه مروست، مخروط افکنه‌ها از لحاظ گسترش و وسعت مهم‌ترین اشکال این منطقه به شمار می‌آیند. تکتونیک در ابتدای دوره کواترنر سبب فعال شدن گسل‌های فرعی در بالادست مخروط افکنه‌های قدیمی منطقه مروست شده و مسیر رودخانه اصلی را مسدوده کرده است. در اثر برخورد رودخانه و گسل، مخروط افکنه مروست به میزان ۱۰۰۰ متر جابجا شده و پس از این دوره مخروط افکنه‌ها به صورت متروک و غیرفعال درآمده‌اند. در دوره‌های بعد فعالیت‌های تکتونیک با افزایش و کاهش شیب رودخانه اصلی، جابجایی مخروط افکنه‌ها و تغییر الگوی زهکشی و متعاقبا افزایش وسعت مخروط افکنه یا توقف رسوبگذاری، سبب تبدیل مخروط افکنه‌های فعال به غیر فعال شده است. از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر روابط مورفومتری مخروط افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز، عواملی هستند که بر ابعاد مخروط افکنه تأثیر گذارند که این تحقیق به ارتباط کمی ۱۱ فاکتور در حوضه‌های آبریز با ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌های فعال

و غیرفعال در منطقه مروست پرداخته است. بیشترین وسعت مخروط‌افکنه‌ها در بخش شرقی مشاهده می‌شود که مخروط‌افکنه مروست با ۳۳۰ کیلومترمربع بزرگ‌ترین مخروط منطقه مورد مطالعه است. از وسعت این مخروط‌ها به تدریج به سمت شمال غرب این واحد کاهش می‌یابد. به طوری که کوچک‌ترین مخروط نیز در این بخش با مساحت ۱٫۶ کیلومترمربع مشاهده می‌شود (جدول ۲). بیشترین حجم مخروط‌افکنه‌ها نیز به ترتیب متعلق به رودخانه‌های بوانات و مروست است. شیب عمومی مخروط‌افکنه‌ها در حدود ۲/۵۵ درجه بیشترین طول قاعده مخروط مربوط به بوانات - مروست می‌باشد (جدول ۲). براساس نتایج، ارتفاع رأس مخروط افکنه‌های فعال نسبت به غیرفعال بیشتر است. رسوبات مخروط‌افکنه‌ها در زمان ورود رودخانه از لحاظ دانه‌بندی در اندازه تخته‌سنگ و قلوه‌سنگ هستند که با فاصله گرفتن رودخانه از کوهستان به تدریج قدرت جریان رودخانه برای حمل رسوبات کاهش یافته و در بخش‌های میانی و انتهایی اندازه ذرات رسوبی به شن و ماسه تغییر می‌یابد. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد رابطه بین ویژگی‌های حوضه‌های آبریز و مخروط افکنه‌ها، تفاوت‌های معناداری را بین سطوح فعال و غیر فعال به نمایش گذاشته اند. بر این اساس نتایج آنالیز همبستگی پیرسون همبستگی منفی و معناداری بین مساحت حوضه آبریز و شیب مخروط افکنه‌های جوان دیده می‌شود. حوضه‌هایی با مساحت کمتر، سطوح جدیدتر با ابعاد کوچک‌تر (مساحت و حجم) و البته شیب زیاد بوجود آورده‌اند (جدول ۵). این در حالی است که همبستگی مساحت حوضه با شیب مخروط‌های قدیمی‌تر، مثبت و معنادار بوده است. به عبارتی دیگر با کاهش مساحت حوضه، شیب مخروط‌های قدیمی کمتر شده است. همچنین، همبستگی منفی و معنادار شیب حوضه با مساحت و حجم مخروط‌افکنه‌های غیرفعال نشان می‌دهد مخروط‌افکنه‌های قدیمی‌تر با گذشت زمان، پایداری بیشتری یافته و شرایط تثبیت رسوب‌گذاری، افزایش پوشش گیاهی و رسوبات ریزدانه‌تر ناشی از هوادیدگی طولانی مدت موجب کاهش رواناب و تراکم زهکشی روی این سطوح می‌گردد. این در حالی است که وجود همبستگی مثبت شیب حوضه با مساحت و حجم مخروط‌افکنه‌های فعال بیانگر افزایش انتقال بار رسوبی در طی فرایندهای سیلابی، نرخ پائین نفوذپذیری در رسوبات واریزه‌ای و غیرهوادیده در سطوح جدیدتر و بنابراین رشد و گسترش سطوح فعال می‌باشد. تکتونیک با تاثیر بر حوضه آبریز از طریق افزایش و کاهش شیب حوضه، جابجایی و افزایش وسعت حوضه و افزایش رسوبگذاری بر افزایش حجم مخروط افکنه تاثیر داشته است. فعالیت گسل دهشیر-بافت سبب بالا آمدگی کوهستان و افزایش شیب شده، و به دنبال آن افزایش عمق بستر رودخانه و افزایش قدرت حمل و تخریب را دنبال داشته است. این شرایط منجر به افزایش بار رسوبی بر سطوح مخروط افکنه‌های غیرفعال و متعاقباً منجر به گسترش و افزایش حجم مخروط افکنه مروست شده است. سایر ویژگی‌های مورفومتری حوضه مانند شیب و ضریب شکل حوضه همبستگی مثبت و معناداری را با حجم مخروط افکنه فعال نشان داده است (جدول ۵). همچنانکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود دامنه‌های شرقی مروست دارای مخروط افکنه‌هایی با سطوح غیرفعال می‌باشند. حوضه‌های بالادست این مخروط افکنه (حوضه خبر و مدوار) نسبت به حوضه بوانات (مخروط افکنه‌های دامنه غربی) از مساحت کمتری برخوردار بوده و سازند غالب این حوضه‌ها از سازندهای آهکی می‌باشند. ابعاد مخروط‌افکنه‌ها در منطقه مورد مطالعه متأثر از ویژگی‌های حوضه تغذیه‌کننده است. در بین متغیرهای مورفومتری حوضه، مساحت بارزترین ویژگی است. وسعت زیاد حوضه‌های آبریز نقش مهمی در دبی آب، تولید رسوب و در نتیجه گسترش مخروط‌افکنه‌ها دارد.

اگرچه مطالعات بسیاری در زمینه ارتباط بین ویژگی‌های حوضه‌های آبریز با مورفومتری مخروط افکنه‌ها انجام شده است، با این وجود نقش حوضه آبریز در تحول سطوح مختلف مخروط افکنه‌های فعال و غیرفعال نادیده گرفته شده است. مقایسه نتایج مطالعات متعدد نشان می‌دهند ویژگی‌های حوضه آبریز مانند مساحت، ارتفاع، شیب، طول، فرآیندهای رودخانه‌ای، جریان‌های واریزه‌ای، شرایط اقلیمی، فرایندهای زمین‌ساختی، مورفولوژی دره، وجود یا عدم وجود رودخانه اصلی دائمی، سطح اساس فرسایش و فضای انباشت می‌تواند بر مورفولوژی و مورفومتری

مخروط‌افکنه‌ها تأثیر بگذارند (تامزیک، ۲۰۲۱؛ مادر و همکاران، ۲۰۱۷؛ استوک و مادر^۱، ۲۰۱۵؛ دید و واردین^۲، ۲۰۰۷). درک این عوامل و روابط متقابل آن‌ها برای تفسیر صحیح آرشیوهای رسوبی مخروط‌افکنه‌ها و بازسازی تاریخچه زمین‌شناسی و اقلیمی چنین چشم‌اندازهایی ضروری است. علائی (۱۳۸۳) در بررسی همبستگی بین مساحت مخروط افکنه حوضه میقان و حوضه زهکشی به این نتیجه دست یافت که مخروط افکنه بزرگتر حوضه آبریز بزرگتر در بالادست خود دارند. درواقع هرچه حوضه آبریز بزرگتر باشد مقدار مواد تخریبی بیشتر بوده در نتیجه بر وسعت مخروط افکنه افزوده می‌شود. تحلیل رابطه حجم مخروط افکنه در منطقه مورد مطالعه و حوضه آبریز با نتایج پژوهش گورابی و ایمانی (۱۳۹۱) در ایران مرکزی مطابقت داشته بطوریکه براساس نتایج، ابعاد مخروط افکنه با تراکم زهکشی همبستگی بالایی داشته و با کاهش تراکم زهکشی از وسعت مخروط افکنه‌ها کاسته شده است. همچنین نتایج مطالعات صالحی پور و بشکنی (۱۳۹۹) روی مخروط افکنه‌های تالش در راستای نتایج بدست آمده در این پژوهش حاکی از همبستگی معنادار اکثر ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبریز با ابعاد مخروط افکنه‌ها بوده بطوریکه بیشترین همبستگی بین مساحت حوضه و مساحت و شیب مخروط افکنه وجود داشته است. همچنانکه مطالعه تامزیک^۳ (۲۰۲۱) در تأیید مطالعه حاضر نشان داده است حوضه‌های آبریز کوچک، تمایل به تولید مخروط‌افکنه‌های کوچک با شیب زیاد دارند. این روند در سطوح جوان‌تر و مخروط‌افکنه‌های تحت تسلط جریان‌های واریزه‌ای بارزتر است. پژوهش مادر و همکاران^۴ (۲۰۱۷) نشان داده است حوضه‌های آبریز مولد مخروط‌افکنه‌ها، ارتفاع و طول بیشتر، شیب کمتر و مساحت بزرگ‌تری نسبت به حوضه‌های غیرمولد داشته و از نظر زمین‌شناسی دارای سنگ بستر ضعیف‌تر و ساختار چین‌خورده/شیب‌دار بوده، شرایطی که منجر به تولید بار رسوبی فراوان و متعاقباً گسترش مخروط افکنه‌های جدیدتر می‌شود.



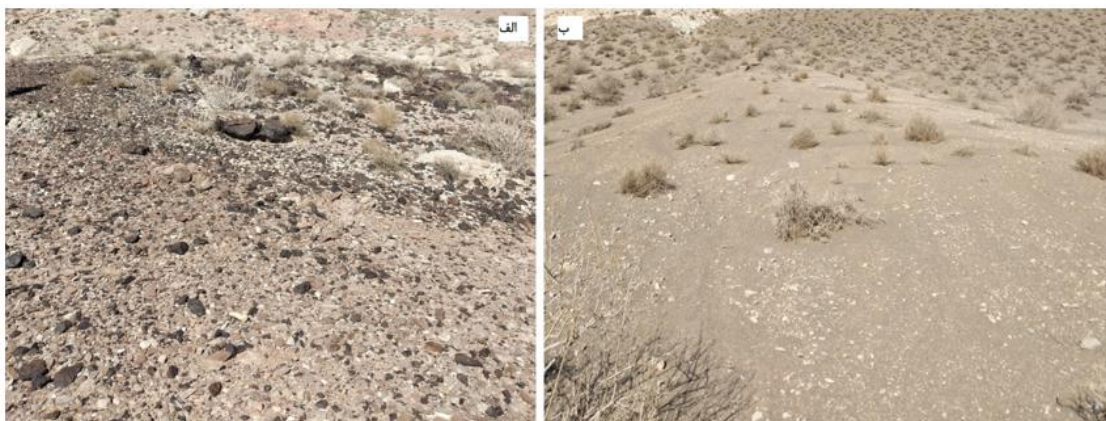
¹ Stokes & Mather

² Dade & Verdeyen

³ Tomczyk

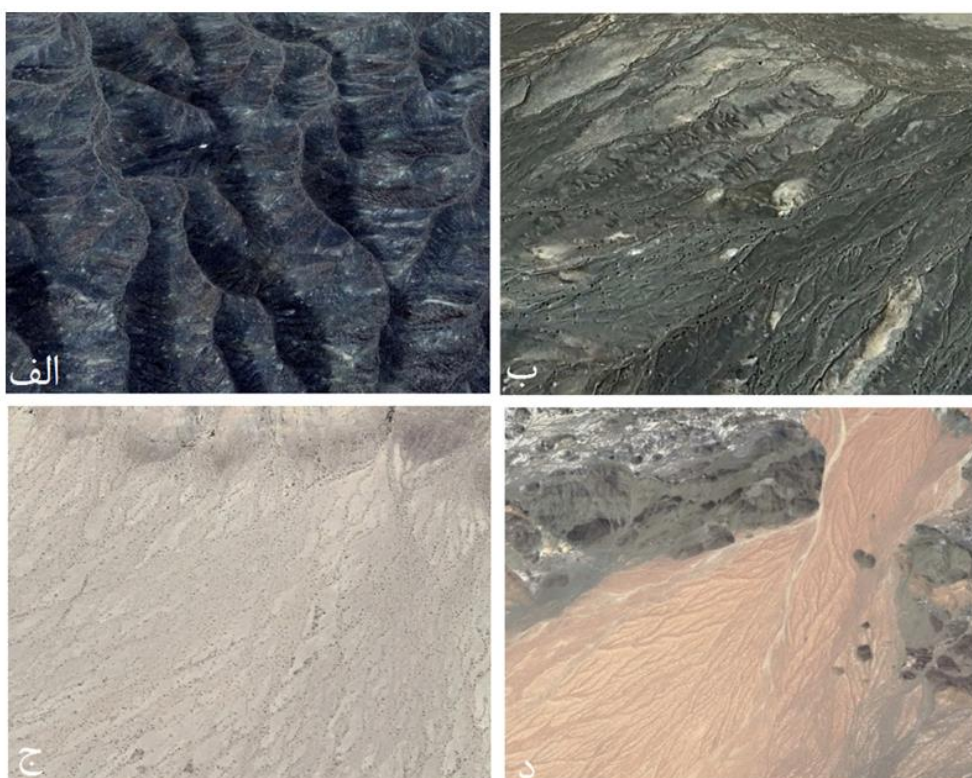
⁴ Mather

شکل ۳: تصویر (الف و ب) بخش قدیمی یا غیرفعال با الگوی زهکشی درختی یا همگرا، تصویر (ج و د) بخش جدید یا فعال با الگوی زهکشی شاخه‌شاخه یا واگرا



شکل ۴: توسعه سنگ‌فرش بیابانی بر سطوح مختلف مخروط افکنه‌های غیرفعال (الف) و فعال (ب)

تغییر و تحول مخروط افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز نتیجه عواملی مانند اقلیم و تکتونیک می‌باشند. قدیمی‌ترین بخش‌های مخروط افکنه‌ها مربوط به اواخر دوره‌ی پلیستوسن، دوره‌ای که اقلیم سرد و خشک در ایران مرکزی حاکم بود (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۷)، در این دوران در شرایطی که پوشش گیاهی توسعه کمی داشته، با افزایش بارش و ایجاد سیلاب‌های عظیم، بار رسوبی افزایش یافته و مخروط افکنه‌های غیرفعال به اوج توسعه و تکامل خود رسیدند و از آنجا که از آخرین فعالیت‌های سیلابی زمان طولانی گذشته است، سطوح مخروط افکنه‌ها ناهموارتر و دره‌ها و کانال‌هایی با عمق زیاد و پشته‌های بزرگ مورفولوژی اصلی این لندفرم‌ها را از مخروط‌های فعال و جدید تفکیک کرده است. در حالی که مخروط افکنه‌های فعال یا جدیدتر سطوح توپوگرافی آن‌ها هموارتر بوده و کانال‌ها و پشته‌های کوچک در سطح آن‌ها مشاهده می‌شود.



شکل ۵: تصویر (الف و ب) مخروط‌های قدیمی یا غیرفعال با کانال‌ها و پشته‌های ناهموار، تصویر (ج و د) مخروط‌های فعال با مورفولوژی هموارتر

علاوه بر این کانال‌هایی به صورت درختی، همگرا در سطوح مخروط‌های غیرفعال مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر فرسایش شدید آبی در بازه‌های زمانی طولانی در بالادست حوضه می‌باشد. ولی سطوح فعال تحت تأثیر عملکرد ناگهانی سیلاب کانال‌هایی به صورت شاخه‌شاخه، متقاطع و واگرا مشاهده می‌شود. بررسی تأثیر محیط حوضه بر ابعاد مخروط‌افکنه‌های منطقه بیانگر همبستگی مثبت و معنادار بین این متغیرها می‌باشد (جدول ۲). در واقع افزایش مساحت حوضه منجر به افزایش محیط مخروط‌افکنه می‌شود و برعکس. همچنین طول آبراهه اصلی در حوضه، عمل تخلیه جریان سطحی را انجام می‌دهد و با افزایش طول آبراهه رسوبات بیشتری جابه‌جا می‌شوند. در نتیجه، این عامل اثر مستقیم و مثبتی بر گسترش ابعاد مخروط‌افکنه‌ها دارد. همچنین ابعاد مخروط‌افکنه یک رابطه مستقیم با تراکم زهکشی دارد. حوضه‌های آبی منطقه مورد مطالعه با تراکم زهکشی بیشتر موجب افزایش ابعاد مخروط‌افکنه‌ها شده و همچنین حوضه‌های آبی با تراکم زهکشی کمتر مخروط‌های کوچک‌تری را به وجود آورده‌اند. اقلیم‌های مرطوب با افزایش تخلیه بار آبی رودخانه‌ها، زمینه‌ساز شکل‌گیری محیط‌های تراکمی در مخروط افکنه‌ها بوده‌اند. مدل‌های دیگری نیز نشان داده‌اند که سیکل‌های رسوب‌گذاری در مخروط افکنه‌ها به طور گسترده‌ای در نتیجه پاسخ‌های ژئومورفیک به تغییرات زمانی در اقلیم و پوشش گیاهی در دوره گذار پلیستوسن-هولوسن اتفاق افتاده است. بر اساس این مدل، سیکل رسوب‌گذاری در مخروط افکنه‌ها در مرحله گذار از دوره‌های مرطوب‌تر به دوره‌های خشک‌تر مشخص می‌شود، زمانی که کاهش رطوبت مؤثر خاک منجر به تلفات پوشش گیاهی در مناطق کوهستانی و دامنه‌ها می‌گردد. مخروط افکنه‌های حاصل پس از دوره‌ی نسبتاً مرطوب‌تر نسبت به زمان حاضر تحت تأثیر رسوب‌گذاری و فرسایش قرار می‌گیرند. درواقع تراس‌های رودخانه‌ای در پایین‌دست تبدیل به مخروط‌های غیرفعال یا قدیمی شده است، بطوریکه در دوره خشک تغییر چندانی در این لن‌دفرم‌ها ایجاد نشد. درواقع از این دوره به بعد تغییرات مورفومتری و مورفولوژی مخروط‌ها بیشتر مؤثر از فرایندهای تکتونیکی بوده است. فرایندهای تکتونیکی با افزایش یا کاهش شیب حوضه‌های آبریز سبب تغییر سطح اساس، وسعت، نوسان فرسایش و رسوب‌گذاری و مورفولوژی مخروط افکنه‌ها شده است. مسئله مهمی که در بررسی تأثیر تکتونیک بر روند شکل‌گیری، توسعه و تحول سطوح مختلف مخروط افکنه‌ها باید مورد توجه قرار گیرد، وجود شواهد مورفوتکتونیکی و ژئومورفولوژیکی موجود در مخروط افکنه‌های فعال و غیرفعال است. وجود پرتگاه‌ها در محل خروجی آبراهه اصلی از کوهستان، هورست، گرابن و پشته‌های مسدودکننده در امتداد آبراهه‌های رأس مخروط افکنه‌ها به عمق چندین متر که عمدتاً در محل خروجی آبراهه اصلی، انتقال و جابجایی مکرر فضای رسوب‌گذاری در سطح مخروط‌ها نشان‌دهنده اثرات بالآمدگی تکتونیکی و در واقع گسل‌های فعال منطقه بر مورفولوژی، توسعه و گسترش سطوح مخروط افکنه‌های فعال و غیرفعال می‌باشد. مطالعه فتاحی و همکاران^۱ (۲۰۰۶) نشان می‌دهد که قدیمی‌ترین مخروط افکنه‌های منطقه مروست تحت تأثیر اقلیم سرد و خشک در اواخر دوره‌ی پلیستوسن تشکیل شده است. در این دوره عدم وجود ناچیز پوشش گیاهی و بارش‌های فراوان سبب ایجاد سیلاب‌های عظیم شده و در نتیجه افزایش بار رسوبی در تشکیل و توسعه مخروط افکنه‌های غیرفعال نقش مؤثری داشته است. تغییرات آب و هوایی کنونی، افزایش پوشش گیاهی منطقه، افزایش گرما، اختلاف دمای شبانه‌روز، سبب هوا دیدگی رسوبات منطقه شده و اعمال یخبندان و به دنبال آن ذوب، ذرات و رسوبات رو شسته و در پایین دامنه مخروط‌های غیرفعال منتقل می‌کند؛ و سبب ایجاد مخروط فعال بر روی مخروط‌های غیرفعال شده است. اما نکته قابل توجه این است که در اقلیم کنونی کاهش بارش سبب شده حوضه‌های آبریز تغذیه‌کننده مخروط‌ها دارای آبدی کمتری بوده و بنابراین کاهش قدرت حمل سبب شده اقلیم کنونی نقش چندانی در سطوح مخروط‌ها نداشته باشند. لذا مطالعات گورابی و کریمی (۱۳۹۱) نشان می‌دهد تغییرات مخروط افکنه‌های جدید در منطقه مروست در حال حاضر بیشتر تحت تأثیر تکتونیک منطقه می‌باشد.

^۱-Fattahi

نتایج پژوهش نشان می‌دهد در مورفولوژی و ساختار مخروط افکنه‌ها عواملی همچون تغییرات زمین ساختی، مورفومتری حوضه‌ی آبریز، تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی نقش دارند. خصوصیات مورفومتری حوضه آبریز مانند مساحت، محیط، ارتفاع، شیب، تراکم زهکشی و طول آبراهه‌ها به دلیل همبستگی با میزان رسوب‌گذاری و مقدار رواناب در مورفولوژی مخروط افکنه‌ها تأثیر دارد. شیب دامنه‌های شرقی منطقه مورد مطالعه کمتر از شیب دامنه‌های غربی و جنوب غربی است. تفاوت شیب در دو دامنه سبب شده است که الگوی زهکشی، طول آبراهه اصلی و تعداد آبراهه‌ها متفاوت باشد. به‌طور مثال تراکم زهکشی در مخروط افکنه‌های غیرفعال واقع در دامنه‌ی شرقی، بیشتر بوده و الگوی زهکشی به‌صورت درختی می‌باشد که بر تعداد آبراهه‌ها افزوده و بر وسعت مخروط افکنه‌های غیرفعال نیز می‌افزاید. در حالی که دامنه غربی و جنوب غربی با شیب بیشتر، الگوی زهکشی حالت شعاعی داشته و فاقد زیر حوضه‌های گسترده می‌باشد. در مخروط افکنه‌های غیرفعال شیب، ملایم‌تر و انشعابات زیرحوضه‌ها، بیشتر و در نتیجه تراکم زهکشی، بالاتر می‌باشد. در صورتی که در مخروط افکنه‌های فعال شیب بیشتر و رودخانه‌ی اصلی طولی و مستقیم و دارای بستر عمیق‌تر و در نهایت تراکم زهکشی کمتر است.

جدول ۱: ویژگی‌های مورفومتری سطوح فعال مورد مطالعه

شماره مخروط‌افکنه	مساحت مخروط (km)	حجم مخروط (km ²)	ارتفاع رأس مخروط (m)	طول مخروط (m)	شیب مخروط (%)	طول قاعده مخروط (m)	زاویه جاروب (%)
۱	۸,۰۹	۷۰,۵	۴۰	۵۹۰۰	۲,۱	۳,۹	۶۳
۲	۸,۴۶	۶۵,۵	۲۰	۶۱۰۰	۲,۲	۳,۱	۶۸
۳	۱۷,۱	۱۵۰,۵	۵۰	۴۸۰۰	۱,۵	۲,۶	۷۸
۴	۱۰۵,۱	۴۳۳,۵	۲۵۰	۵۷۰۰	۱,۷	۴,۵	۸۴
۵	۱۶,۲	۹۹,۵	۵۰	۶۰۷۸	۱,۶	۴,۷	۷۶
۶	۷۲,۹	۲۳۳,۱	۱۳۰	۶۱۰۰	۲,۴	۴,۹	۶۷
۷	۷۴,۱	۲۲۰,۱	۱۲۰	۷۵۰۰	۲,۵	۴,۹	۴۵
۸	۳,۳	۵۶,۲	۳۰	۱۰۴۵۳	۲,۹	۴,۶	۸۹
۹	۸,۱	۶۰,۵	۱۰	۲۴۵۴۶	۳,۷	۴,۹	۷۸
۱۰	۳,۸	۸۸,۹	۲۵	۱۰۵۶۴	۲,۹	۳,۵	۷۵
۱۱	۱۲,۴	۱۲۰,۵	۴۰	۱۲۸۷۶	۳,۲	۳,۹	۸۴
۱۲	۷۵,۲	۸۷,۵	۱۲۰	۱۳۷۶۸	۳,۴	۳,۹	۸۲
۱۳	۸۶,۶	۱۴۵,۶	۲۴۰	۱۴۷۶۵	۳,۱	۴,۱	۸۰
۱۴	۵۶,۶	۹۵,۲	۱۵۰	۱۶۹۸۷	۳,۷	۴,۴	۶۵
۱۵	۱۸	۴۰,۵	۹۰	۱۸۶۴۳	۳,۸	۴,۸	۷۶

جدول ۲: ویژگی‌های مورفومتری سطوح غیرفعال مورد مطالعه

شماره مخروط افکنه	مساحت مخروط (km ²)	حجم مخروط (km ³)	ارتفاع رأس مخروط (m)	طول مخروط (m)	شیب مخروط (%)	طول قاعده مخروط (m)	زاویه جاروب (%)
۱	۲,۶۵	۲۳,۷	۲۰	۱۹۶۵۴	۳,۷	۴,۹	۸۷
۲	۱,۶	۴۰,۱	۱۱۰	۱۸۷۶۵	۳,۵	۴,۹	۶۵
۳	۲۲,۰۹	۸۰,۵	۱۱۹	۱۷۸۶۵	۳,۲	۴,۵	۸۷
۴	۵,۲۷	۹۸,۷	۹۵	۱۶۹۷۶	۲,۹	۳,۵	۸۲
۵	۸۶,۵	۱۵۶,۲	۹۷	۱۵۹۸۷	۲,۱	۳,۳	۷۵
۶	۳,۸۹	۴۶,۱	۲۰	۱۴۵۶۷	۲,۳	۳,۲	۶۸
۷	۳,۰۳	۵۶,۲	۴۰	۱۵۷۶۵	۲,۷	۴,۵	۸۷
۸	۱۴۴,۴	۳۲۴,۲	۱۲۰	۱۴۶۸۷	۲,۲	۴,۲	۸۴
۹	۵,۲	۹۰,۵	۵۰	۱۶۸۷۶	۲,۷	۴,۷	۸۰
۱۰	۵۴,۳	۱۶۰,۳	۳۰	۲۱۶۴۳	۳,۷	۴,۹	۶۸
۱۱	۸,۷	۶۷,۵	۲۰	۱۲۸۷۶	۲,۶	۳,۸	۸۳
۱۲	۱۰,۵	۸۷,۹	۲۰	۱۰۵۴۸	۲,۸	۲,۵	۸۶
۱۳	۲۴,۰۹	۶۷,۴	۶۰	۷۵۴۳	۱,۵	۲,۴	۸۹
۱۴	۸۲,۲۲	۲۰۲,۴	۱۴۰	۶۵۴۳	۱,۲	۳,۱	۸۴
۱۵	۱۱,۴۸	۹۷,۲	۷۰	۶۸۸۷	۱,۲	۳,۲	۷۶

جدول ۳: ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبریز مخروط‌های فعال مورد مطالعه

تراکم زهکشی (km/km ²)	شیب آبراهه اصلی (%)	شیب شکل حوضه	طول آبراهه اصلی (km)	طول کل آبراهه‌ها (km)	طول حوضه (km)	شیب حوضه (%)	میانگین ارتفاع (m)	اختلاف ارتفاع (m)	محیط حوضه (km)	مساحت حوضه (km ²)	حوضه آبخیز
۱,۰۵	۰,۰۷	۴,۰۳	۱۸	۵۵,۳	۱۲,۴	۱۸,۵	۱۶۷۴	۶۲	۴۰,۶	۶۱,۹	۱
۰,۱۸	۰,۱۵	۳,۵	۱۰	۱۳,۳	۹,۲	۲۱,۹	۱۷۱۷	۲۰۹	۱۹,۴	۱۵,۹	۲
۰,۸۵	۰,۰۷	۴,۴	۲۵	۸۶,۹	۲۲,۵	۱۹,۷	۱۸۵۴	۳۰۴	۱۰۳,۷	۱۰۵,۶	۳
۰,۸۳	۰,۰۳	۳,۵	۴۱,۵	۷۱۸	۴۷,۳	۲۰,۰۱	۱۹۶۵	۳۵۶	۱۸۲,۴	۹۷,۶	۴
۰,۷۳	۰,۰۶	۳,۸	۱۸,۹	۶۵,۱	۱۸,۶	۲۴,۶	۱۹۵۱	۳۲۴	۴۹۹,۱	۹۷,۲	۵
۰,۷	۰,۰۵	۲,۲	۱۱۵,۲	۱۶۲,۹	۸۶,۲	۲۹,۴	۲۰۹۷	۴۱۵	۲۴۴,۹	۳۳۰,۳	۶
۱,۰۳	۰,۰۷	۴,۸	۲۶,۸	۱۱,۳۳	۲۵,۵	۳۹,۸	۲۱۲۵	۵۲۶	۱۰۳,۲	۳۱۶,۵	۷
۰,۹۳	۰,۰۸	۱,۳	۷,۱	۷۴,۱۸	۶,۹	۱۲,۷۲	۲۳۷۶	۱۲۷۳	۱۷,۲	۱۴,۱	۸
۰,۷۳	۰,۱۱	۳,۸	۱۷,۸	۱۳,۴۳	۱۶,۵	۲۵,۵۲	۲۳۲۲	۱۳۰۰	۴۶,۸	۵۶,۶	۹
۱۳,۲	۰,۰۷	۴,۵	۷,۵	۹۱۵,۵	۶,۵	۱۶,۲۶	۱۹۵۹	۹۷۴	۱۶,۶	۱۸,۲	۱۰
۰,۷۳	۰,۱۰	۳,۶	۱۸,۷	۹۵,۲	۱۱,۶۴	۱۵,۸	۲۱۲۹	۱۰۸۹	۳۲,۲۵	۳۶,۱	۱۱
۰,۸۳	۰,۰۷	۴,۳	۳۴,۶	۱۳۸,۴	۲۶,۶	۳۲,۳	۲۰۷۶	۱۰۷۴	۹۸,۳	۱۴۳,۳	۱۲
۰,۸۱	۰,۰۶	۴,۸	۱۹	۱۰۳,۷	۱۸,۰۹	۲۰,۰۲	۲۱۷۰	۷۰۶	۵۷,۴	۱۲۰,۳	۱۳
۰,۷۳	۰,۰۵	۲,۱	۳۷,۵	۲۰۴,۸	۲۶,۹	۳۲,۳	۲۰۹۶	۴۹۴	۹۸,۸	۲۵۶,۳۲	۱۴
۱,۳۱	۰,۰۴	۲,۶	۵,۴	۱۵,۷	۴,۵	۱۰,۲	۱۹۷۲	۸۶۷	۱۳,۲	۴,۹۷	۱۵

جدول ۴: ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبریز مخروط‌های غیرفعال مورد مطالعه

تراکم زهکشی (km/km ²)	شیب آبراهه اصلی (%)	ضریب شکل حوضه	طول آبراهه اصلی (km)	طول کل آبراهه‌ها (km)	طول حوضه (km)	شیب حوضه (%)	میانگین ارتفاع (M)	اختلاف ارتفاع (M)	محیط حوضه (km)	مساحت حوضه (km ²)	حوضه آب‌خیز
۰,۳۲	۰,۰۸	۴,۱۲	۲,۸	۲,۴	۴,۸	۱۱,۵	۲۵۰۴	۷۶۶	۱۱,۷	۷,۶	۱
۰,۱۴	۰,۰۹	۳,۲۵	۱,۵	۰,۳	۴,۶	۱۲,۴۶	۲۴۵۶	۷۰۷	۸,۶	۳,۳	۲
۰,۶۳	۰,۱۰	۳,۷	۱۹,۰۴	۷۳,۲	۲,۵	۲۹,۰۴	۲۴۰۵	۳۷۷	۷۳,۲	۱۰۶,۲	۳
۰,۷۶	۰,۰۶	۳,۷۷	۲۸,۹	۱۴,۹	۱۸,۰۳	۱۷,۵۳	۲۵۰۷	۸۶۶	۱۸۱,۴	۱۴,۲	۴
۰,۸	۰,۰۵	۳,۵	۶,۷	۹,۴	۶,۰۶	۲۰,۲	۲۴۷۴	۷۹۲	۳۰۱,۳	۳۰۱,۱	۵
۰,۷۳	۰,۰۷	۲,۷	۲۸,۷	۴,۶	۲۴,۷	۱۹,۸	۲۸۸۷	۸۸۷	۱۹,۶	۱۸,۳	۶
۰,۷۶	۰,۰۵	۳,۲	۱۹,۲	۴۵,۸	۲۷,۷	۱۹,۸۸	۲۷۵۳	۷۸۷	۳۲۶,۳	۳۳,۳	۷
۰,۷۳	۰,۰۹	۲,۳۴	۲۲,۳	۲۵,۱	۱۸,۳	۲۷,۳۸	۲۹۰۱	۶۴۴	۱۱۹,۹	۳۲۷,۸	۸
۰,۵۳	۰,۰۴	۲,۰۵	۲۰,۲	۲۴,۳	۲۱,۳	۱۲,۴۲	۲۸۱۲	۶۸۸	۷,۶	۷,۸۵	۹
۰,۷۲	۰,۰۳	۳,۸۹	۲۰,۵	۴,۹	۱۹,۸	۲۳,۴	۲۲۸۹	۲۳۱	۶۲,۱	۷۲,۲۹	۱۰
۰,۷	۰,۱۰	۲,۱۴	۱۲,۵	۱۰,۱	۲۷,۶	۲۲,۶	۲۳۷۰	۴۳۳	۲۷,۵	۸,۶۹	۱۱
۰,۷۵	۰,۰۴	۳,۸۹	۱۵,۴	۸,۵	۲۰,۶	۲۰,۶	۱۵۳۴	۱۲۳۷	۲۵,۵	۳۴,۷	۱۲
۰,۸	۰,۰۸	۲,۸	۲۱,۵	۷,۹	۲۰,۳	۲۰,۳	۱۸۹۰	۸۷۰	۲۷,۳	۲۶,۷	۱۳
۰,۷۲	۰,۰۷	۲,۴	۲۰,۶	۶,۳	۱۵,۴	۱۵,۴	۱۸۳۱	۸۹۰	۷۳,۲	۱۲۸,۲	۱۴
۰,۱۴	۰,۱۱	۲,۸	۸۵,۱	۱۵,۴	۱۲,۸	۱۲,۸	۲۰۱۷	۴۰۵	۲۹,۱	۵۲,۲	۱۵

جدول ۵: ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های مورفومتری سطوح مختلف مخروط‌افکنه‌ها و حوضه‌های آبریز مرتبط

مخروط افکنه‌های فعال			
متغیر	ضریب همبستگی	P-Value	معنی‌داری
مساحت حوضه-مساحت مخروط افکنه	۰/۹۴	۰/۰۰۱	معنی‌داری ۵ درصد
مساحت حوضه -حجم مخروط افکنه	۰/۹۱	۰/۰۰۱	معنی‌داری ۵ درصد
تراکم زهکشی -حجم مخروط افکنه	۰/۸۷	۰/۰۰۱	معنی‌داری ۵ درصد
مساحت حوضه-شیب مخروط افکنه	-۰/۹۴	۰/۰۰۱	معنی‌داری ۵ درصد
محیط حوضه-مساحت مخروط افکنه	۰/۷۵	۰/۰۰۱	معنی‌داری ۵ درصد
مساحت حوضه-حجم مخروط افکنه	۰/۰۵	۰/۸۶۹	فاقد معنی‌داری ۵ درصد
ضریب شکل حوضه-مساحت مخروط افکنه	۰/۱۴	۰/۶۱۳	فاقد معنی‌داری ۵ درصد
شیب حوضه-حجم مخروط افکنه	۰/۸۰	۰/۰۰۱	معنی‌داری ۵ درصد

معنی‌داری ۵ درصد	۰/۰۰۱	۰/۷۵	شیب حوضه- مساحت مخروط افکنه
معنی‌داری ۵ درصد	۰/۰۰۱	۰/۶۳	ضریب شکل حوضه-حجم مخروط افکنه
معنی‌داری ۵ درصد	۰/۰۰۱	۰/۶۸	طول آبراهه-مساحت مخروط افکنه
مخروط افکنه‌های غیر فعال			
معنی‌داری	P-Value	ضریب همبستگی	متغیر
معنی‌داری ۵ درصد	۰/۰۰۱	۰/۹۳	مساحت حوضه- مساحت مخروط افکنه
معنی‌داری ۵ درصد	۰/۰۰۱	۰/۹۰	مساحت حوضه -حجم مخروط افکنه
فاقد معنی‌داری ۵ درصد	۰/۲۲۰	۰/۵۸	تراکم زهکشی حوضه- حجم مخروط افکنه
معنی‌داری ۵ درصد	۰/۰۰۱	۰/۷۶	مساحت حوضه-شیب مخروط افکنه
معنی‌داری ۵ درصد	۰/۰۰۱	۰/۸۰	محیط حوضه- مساحت مخروط افکنه
معنی‌داری ۵ درصد	۰/۰۰۱	۰/۸۴	مساحت حوضه-حجم مخروط افکنه
فاقد معنی‌داری ۵ درصد	۰/۷۰۴	۰/۱۱	ضریب شکل حوضه- مساحت مخروط افکنه
معنی‌داری ۵ درصد	۰/۰۰۱	-۰/۶۵	شیب حوضه- حجم مخروط افکنه
معنی‌داری ۵ درصد	۰/۰۰۱	-۰/۸۲	شیب حوضه- مساحت مخروط افکنه
فاقد معنی‌داری ۵ درصد	۰/۷۰۴	۰/۴۳	ضریب شکل حوضه-حجم مخروط افکنه
معنی‌داری ۵ درصد	۰/۰۰۱	۰/۶۱	طول آبراهه-مساحت مخروط افکنه
مقادیر معنی‌دار در سطح $\alpha = 5\%$ درصد به شکل پر رنگ در جدول مشخص شده‌اند.			

نتیجه‌گیری

مخروط‌افکنه‌ها یکی از شاخص‌ترین لندفرم‌های رسوبی کواترنر هستند که نوسانات اقلیمی و تکتونیکی در این بازه زمانی سبب تغییر و تحول سطوح این لندفرم‌ها در نواحی خشک و نیمه‌خشک شده است. اقلیم منطقه مورد مطالعه خشک و نیمه‌خشک است، از مشخصات بارز این نوع آب‌وهوا، هوادیدگی شدید و بارش‌های سیل‌آسا است و از این جهت عامل اصلی تشکیل و تحول مخروط‌افکنه‌های این ناحیه می‌باشند (گورابی و یمانی، ۱۳۹۱). در این پژوهش با استفاده از بازدید میدانی و پایش مخروط‌افکنه‌ها و داده‌های رقومی ارتباط متقابل ویژگی‌های مورفومتری ۳۰ مخروط‌افکنه با سطوح سنی مختلف

و مشخصه‌های حوضه آبریز در دامنه‌های شرقی و غربی مروست در استان یزد تحلیل و بررسی شد. مخروط‌افکنه‌ها با سطوح سنی متفاوت در برابر فرایندهای ژئومورفیک عملکرد متفاوتی نشان می‌دهند. جهت تحلیل و بررسی تأثیر ویژگی‌های مورفومتری حوضه بر ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌های فعال و غیرفعال، تلاش شد تا عوامل مورفومتری مؤثر بر توسعه و تکامل مخروط‌افکنه‌ها با سطوح سنی ارائه شود. برای این منظور متغیرهای مساحت، محیط، اختلاف ارتفاع، میانگین ارتفاع، شیب حوضه، طول حوضه، طول کل آبراهه، طول آبراهه اصلی، ضریب شکل حوضه، شیب آبراهه اصلی به تفکیک محاسبه و اندازه‌گیری شد و ارتباط بین ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌افکنه‌های فعال و غیرفعال با خصوصیات مورفومتری حوضه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و مناسب‌ترین مدل ارائه گردید. بیش‌ترین حجم مخروط‌افکنه توسط حوزه آبریز بوانات در قسمت غربی منطقه تشکیل شده است. حجم مخروط‌افکنه‌های فعال از جنوب منطقه به سمت شمال افزایش می‌یابد نتایج حاصل از ارتباط هر یک از عوامل با ابعاد مخروط‌افکنه‌های فعال نشان می‌دهد که به ترتیب عوامل مساحت، محیط و تراکم زهکشی حوضه‌های آبریز دارای همبستگی بالاتری بوده و بیشترین تأثیر را بر گسترش خصوصیات مورفومتری مخروط‌افکنه‌های فعال داشته‌اند. همچنین در مورد مخروط‌افکنه‌های غیرفعال نتایج ارتباط بسیاری از متغیرهای مورفومتری حوضه آبریز متفاوت از سطوح فعال بوده به‌طوری‌که می‌توان گفت ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبریز اثرگذاری متفاوتی بر تحول ژئومورفیک نسل‌های مختلف مخروط‌افکنه‌ها دارند. شیب حوضه آبریز یکی از عوامل کلیدی در انتقال و رسوب‌گذاری مواد با تأثیر مستقیم بر شکل‌گیری و اندازه مخروط‌افکنه‌های جدید و قدیمی می‌باشد. در حوضه‌هایی با شیب زیاد، سرعت و انرژی جریان آب افزایش یافته، در نتیجه باعث تشکیل مخروط‌افکنه‌های جدید با مساحت کوچک‌تر اما ضخامت و حجم بیشتر می‌شود. در حوضه‌هایی با شیب کمتر، سرعت و انرژی جریان آب کاهش یافته و بنابراین انرژی لازم برای حمل رسوبات کاهش می‌یابد. این امر منجر به افزایش رسوب‌گذاری و تشکیل مخروط‌افکنه‌های قدیمی با مساحت بیشتر می‌شود. همچنانکه در نتایج دیده می‌شود حوضه‌هایی با مساحت کوچک‌تر، مخروط‌افکنه‌های فعالی با مساحت و حجم کمتر ولی پرشیب را بوجود می‌آورند (جدول ۲). این در حالی است که همبستگی بین مساحت حوضه و شیب در مخروط‌های قدیمی‌تر، مثبت و معنادار بوده است. به عبارتی دیگر با کاهش مساحت حوضه، شیب سطوح قدیمی‌تر کاهش می‌یابد. ارتباط بین شیب حوضه آبریز و مساحت مخروط‌افکنه‌های جدید و قدیمی به‌طور مستقیم تحت تأثیر فرایندهای هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی قرار دارد. به‌طور کلی، حوضه‌هایی با شیب زیاد منجر به تشکیل مخروط‌افکنه‌های کوچک‌تر و جدیدتر شده، در حالی که شیب ملایم‌تر باعث ایجاد مخروط‌افکنه‌های بزرگ‌تر و قدیمی‌تر می‌گردد. تراکم زهکشی، به عنوان یک شاخص کلیدی، به ارزیابی خطرات هیدرولوژیکی و طراحی راهکارهای مهندسی تأثیرگذار بر فرایندهای محیطی کمک می‌کند. تفاوت‌های بارز بین مخروط‌افکنه‌های جدید و قدیمی از لحاظ فرایندهای ژئومورفولوژیکی و الگوی زهکشی آنها قابل مشاهده است. مخروط‌افکنه‌های جدید معمولاً دارای کانال‌های زهکشی به شدت گسترده‌تر و تراکم بیشتری به علت رسوب‌گذاری فعال‌تر، تغییرات سریع زمین‌شناسی، کمبود پوشش گیاهی و کاهش رسوبات ریزدانه به دلیل هوادیدگی کمتر و متعاقباً نفوذپذیری کمتر می‌باشند. برعکس سطوح قدیمی‌تر، با گذشت زمان، پایداری بیشتری یافته و شرایط تثبیت رسوب‌گذاری، افزایش طول مدت هوادیدگی و فراهم آوری رسوبات ریزدانه و متعاقباً رشد پوشش گیاهی موجب کاهش روان‌آب و افزایش نفوذ می‌شود. این عوامل باعث کاهش تراکم زهکشی در مخروط‌افکنه‌های قدیمی‌تر می‌شوند. مطالعات متعددی در راستای نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهند که شیب، مساحت و سن مخروط‌افکنه‌ها به شدت با تراکم زهکشی حوضه‌های آبریز مرتبط هستند و نقش کلیدی در شکل‌گیری فرایندهای ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی دارند (وینست و همکاران^۱، ۲۰۲۲؛ لین و گوچی^۲، ۲۰۰۴). شناخت این روابط می‌تواند به

¹ Vincent² Lin & Oguchi

بهبود مدیریت حوضه‌های آبریز، کنترل سیل، و حفاظت از زیستگاه‌های طبیعی کمک کند. تحلیل این روابط نه تنها در درک تغییرات محیط زیستی، بلکه برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع طبیعی و کاهش خطرات طبیعی نیز حائز اهمیت است. مطالعه تفکیک سطوح مخروط افکنه‌ها و ارتباط ویژگی‌های آنها با مورفومتری حوضه آبریز می‌تواند اولین اقدام موثر در مدیریت چشم‌اندازها و منابع طبیعی و شناسایی مناطق مستعد سیلاب باشد. همچنین در زمینه برنامه ریزی کاربری اراضی، مخروط افکنه‌ها به دلیل مواد رسوبی غنی و دسترسی به منابع آبهای زیرزمینی و بنابراین توسعه کاربری‌های کشاورزی، شدت مستعد وقوع انواع مخاطرات مانند فرسایش، زمین لغزش، جریانات واریزه‌ای و سیلاب می‌باشند. بطوریکه شناسایی این لندفرم‌ها و عوامل موثر بر ناپایداری سطوح قدیمی و جدید می‌تواند زمینه ساز تصمیمات بهینه در زمینه بهره برداری از این چشم‌اندازها بوده، ضمن اینکه مخروط افکنه‌های قدیمی آرشیه‌های ارزشمندی برای بازسازی‌های محیطی گذشته مرتبط با تغییرات اقلیمی و زمین‌شناختی دوران کواترنری می‌باشند.

منابع

- امیر احمدی، ا. ابراهیمی، م. ۱۳۹۴، تأثیر تکتونیک فعال بر مورفولوژی مخروط افکنه‌ها با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی در مرز ساختاری البرز جنوبی، فضای جغرافیایی، ۱۵ (۴۹)، صص ۲۸۸-۲۵۹.
- ایمنی، س. صدوق، ح. بهرامی، ش. محرایان، ا. نصرتی، ک. ۱۳۹۹، بررسی رابطه پراکنش جوامع گیاهی با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در لندفرم‌های سطح مخروط افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط افکنه‌های جنوب غرب میامی)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال نهم، شماره ۲، صص ۱۱-۳.
- بهرامی، ش. بهرامی، ک. (۱۳۹۰)، ارزیابی نقش زمین‌ساخت در ریخت‌شناسی مخروط افکنه‌های واقع در حاشیه طاق‌دیس دنه خشک، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۵ (۱۹)، صص ۲۹-۱۵.
- بهرامی، ش. ۱۳۹۳، برآورد حجم مخروط افکنه‌های واقع در حاشیه طاق‌دیس دنه خشک و ارتباط آن با تکتونیک، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۹ (۱)، صص ۷۹-۵۲.
- بهرامی، ش. براتعلی، ف. فیله کش، ا. قهرمان، ک. ۱۳۹۷، بررسی تأثیر ژئومورفولوژی در نوع و تراکم پوشش گیاهی مخروط افکنه‌های فشتق-سبزوار، فصل‌نامه جغرافیا و توسعه، دوره ۱۶، صص ۲۱۰-۱۹۳.
- تقیان، ع. ۱۳۹۵، بررسی نقش تکتونیک در مورفولوژی، تقطیع و تکامل مخروط افکنه موغار (شمال اردستان)، تحقیقات جغرافیایی، ش ۳۰، صص ۱۱۹-۱۳۴.
- جوکار سرهنگی، ع. فخرالدین، س. ۱۳۹۴، بررسی تأثیر ویژگی‌های هندسی حوضه‌ها در تشکیل مخروط افکنه‌های دامنه جنوبی البرز در استان سمنان با استفاده از روش‌های همبستگی و تحلیل سلسله مراتبی، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ش ۲۰، صص ۷۰-۶۰.
- خاکپور مروستی، ص. ۱۳۹۰، بررسی مورفوتکتونیک و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه منطقه مروست، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم انسانی و اجتماعی تبریز، ۳۵ (۱۱)، ۴۰-۲۱.
- درویش زاده، ع. ۱۳۸۵، زمین‌شناسی ایران، انتشارات دانشگاه تهران.
- روستایی، ش. زمریدیان، م. رجبی، م. مقامی مقیم، غ. ۱۳۸۸، نقش فعالیت‌های تکتونیک در شکل‌گیری و گسترش مخروط افکنه‌های دامنه‌های جنوبی آلا داغ، جغرافیا و توسعه، ش ۱۳، صص ۱۵۶-۱۳۷.
- شایان، س. شریفی کیا، م. زارع، غ. ۱۳۹۲، بررسی نقش نوزمین ساخت، عوامل مورفوکلیماتیک و آنتروپوژنیک در پیدایش و تحول مخروط افکنه‌ها (مخروط افکنه گرمسار)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ش ۲، صص ۸۸-۷۵.
- صالحی پور میلانی، ع. بشکنی، ز. ۱۳۹۹، تحلیل روابط کمی بین ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌های ساحلی با حوضه‌های آبخیز (مطالعه موردی، واحد ژئومورفولوژیکی تالش)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۴، صص ۱۳۰-۱۱۲.

- فتاحی، م. مهرشانی، د. (۱۳۹۷)، بررسی ویژگی‌های جغرافیای طبیعی، رسوب‌شناسی و تعیین سن کوه ریگ فرا شاه (تفت) جهت تشخیص شرایط محیطی کواترنر پایانی دامنه شمالی شیرکوه. کاوش‌های جغرافیا مناطق بیابانی، (۱) ۱۱۷، ۹۱-۹۰.
- علائی طالقانی، محمود. ۱۳۸۳، مورفومتری مخروط افکنه‌های حوضه میقان (اراک)، *جغرافیایی سرزمین*، شماره ۲، صص ۶۸-۷۸.
- گیوئی اشرف، زهرا. (۱۳۹۰)، پایش شوری آب با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور جهت مدیریت ویژه اراضی کشاورزی در دشت مروست، استان یزد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد، (۱) ۵۵، ۳-۳۰.
- گورابی، ایمانی، م. ۱۳۹۱، ارتباط کمی ویژگی‌های مورفولوژیک حوضه‌های زهکشی و مخروط‌افکنه‌های آن‌ها در ایران مرکزی، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره ۲، صص ۱۶-۱.
- گورابی، ا. کریمی، مصطفی. ۱۳۹۱، تأثیر تکتونیک فعال و تغییرات اقلیمی در تحول مخروط افکنه مروست، ایران مرکزی، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، سال دوازدهم، شماره ۲۷، صص ۳۰-۷.
- نصرتی، ک. احتشامی معین‌آبادی، م. شامخی، ا. نظری سامانی. ۱۳۹۶. تأثیر تکتونیک در شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌ها و تحلیل پدوژئومورفیک آن‌ها (مطالعه موردی: هشتگرد - کردان، استان البرز)، *پژوهش‌های دانش زمین*، دوره ۹، صص ۸۲-۶۶.
- مختاری کشکی، داوود. ۱۳۸۶، تحلیل روابط ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها با حوضه‌های آبریز مطالعه موردی: حوضه‌ها و مخروط افکنه‌های دامنه شمالی میشوداغ (آذربایجان، شمال غرب ایران) *فمدرس*، صص ۳۶-۴۶.
- مقصودی، م. ۱۳۸۷، بررسی عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط افکنه‌ها، مطالعه موردی: مخروط افکنه جاجرد، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، سال ۴۰، شماره ۶۵، صص ۹۲-۷۳.
- محسنی، ۱. محسنی، ن. کریمی، ع. ۱۴۰۱، اثرات تحول سنی لندفرم‌ها بر دینامیک کربن پدوسفر مطالعه موردی: دامنه‌های آلاداغ-شمال شرقی ایران، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، سال یازدهم، شماره ۴۳، صص ۱۰۰-۸۵.
- نجفی، ا. فرجی منفرد، ا. احمدی، م. ۱۴۰۴، بررسی جایگاه مخروط افکنه‌ها در ارزیابی فعالیت‌های تکتونیک مطالعه موردی: دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه خرقان در شمال شرقی استان همدان، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، (۷۶) ۲۵، ۱۰۹-۹۲.
- Ayaz, S. Biswas, M. & Dhali, M. K. (2018). *Morphotectonic analysis of alluvial fan dynamics: comparative study in spatio-temporal scale of Himalayan foothill, India. Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1-16.
- Berberian, M. (1981). *Active faulting and tectonics of Iran. Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution*, 3, 33-69.
- Bahrami, S. & Ghahraman, K. (2019). *Geomorphological controls on soil fertility of semi-arid alluvial fans: A case study of the Joghatay Mountains, Northeast Iran. Catena*, 176, 145-158.
- Bahrami, S. Aghda, S. M. F. Bahrami, K. Rad, M. M. & Poorhashemi, S. (2015). *Effects of weathering and lithology on the quality of aggregates in the alluvial fans of Northeast Rivand, Sabzevar, Iran. Geomorphology*, 241, 19-30.
- Bahrami, S. (2013). *Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans around Danehkhoshk anticline, Zagros, Iran. Geomorphology*, 180, 217-230.
- Bull, W.B. (1962). *Relations of alluvial fan size and slope to drainagebasin size and lithology in western Fresno Country. CA. US Geo logical Survey Professional Paper*, 450-B, 51-53.
- Church, M. & Mark, D. M. (1980). *On size and scale in geomorphology. Progress in Physical Geography*, 4(3), 342-390.
- Cohen, I., Huang, Y., Chen, J., Benesty, J., Benesty, J., Chen, J., ... & Cohen, I. (2009). *Pearson correlation coefficient. Noise reduction in speech processing*, 1-4.
- Dickerson, R. P. Bierman, P. R. & Cocks, G. (2015). *Alluvial fan surfaces and an age-related stability for cultural resource preservation: Nevada Test and Training Range*,

- Nellis Air Force Base, Nevada, USA. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2, 551-568.
- D'Arcy, M. Roda Boluda, D. C. Whittaker, A. C. & Carpineti, A. (2015). Dating alluvial fan surfaces in Owens Valley, California, using weathering fractures in boulders. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(4), 487-501.
 - Dade, W. B., & Verdeyen, M. E. (2007). Tectonic and climatic controls of alluvial-fan size and source-catchment relief. *Journal of the Geological Society*, 164(2), 353-358.
 - Fattahi, M. Walker, R. Hollingsworth, J. Bahroudi, A. Nazari, H. Talebian, M. ... & Stokes, S. (2006). Holocene slip-rate on the Sabzevar thrust fault, NE Iran, determined using optically stimulated luminescence (OSL). *Earth and Planetary Science Letters*, 245(3-4), 673-684.
 - Giles, P, Nichols, G and Wilford, D(2010). Alluvial Fans: Fram Reconstructing Past Environments to Identifying Cometemporary Hazards. *Geomorphology*, Vol.118, No. 1-2, P224.
 - Ghahraman, K. & Nagy, B. (2024). Tectonic controls on the morphometry of alluvial fans in an arid region, northeast Iran. *Physical Geography*, 45(5), 581-604.
 - García-Delgado, H. & Velandia, F. (2020). Tectonic geomorphology of the Serranía de San Lucas (Central Cordillera): regional implications for active tectonics and drainage rearrangement in the Northern Andes. *Geomorphology*, 349, 106914
 - Gao, L. Wang, X. Yi, S. Vandenberghe, J. Gibling, M. R. & Lu, H. (2018). Episodic sedimentary evolution of an alluvial fan (Huangshui Catchment, NE Tibetan Plateau). *Quaternary*, 1(2), 16.
 - Giles, P. T. (2010). Investigating the use of alluvial fan volume to represent fan size in morphometric studies. *Geomorphology*, 121(3-4), 317-328.
 - Gould, S. J. (1966). Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biological reviews*, 41(4), 587-638.
 - He, X. Zhang, X. He, Z. Jia, L. Ye, P. & Zhao, J. (2017). Late Quaternary alluvial fan terraces: Langshan, Inner Mongolia, China. *Geomorphology*, 286, 34-44. doi:<https://doi.org/10.1177/030913339501900406>
 - Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin*, 56(3), 275-370.
 - Kain, C. L. Rigby, E. H. & Mazengarb, C. (2018). A combined morphometric, sedimentary, GIS and modelling analysis of flooding and debris flow hazard on a composite alluvial fan, Caveside, Tasmania. *Sedimentary Geology*, 364, 286-301.
 - Lucà, F. & Robustelli, G. (2020). Comparison of logistic regression and neural network models in assessing geomorphic control on alluvial fan depositional processes (Calabria, southern Italy). *Environmental Earth Sciences*, 79, 1-18.
 - Lin, Z., & Oguchi, T. (2004). Drainage density, slope angle, and relative basin position in Japanese bare lands from high-resolution DEMs. *Geomorphology*, 63(3-4), 159-173.
 - Liepa, A., Thiel, M., Taubenböck, H., Steffan-Dewenter, I., Abu, I. O., Dhillon, M. S., ... & Ullmann, T. (2024). Harmonized NDVI time-series from Landsat and Sentinel-2 reveal phenological patterns of diverse, small-scale cropping systems in East Africa. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 35, 101230.
 - Mokarram, M. Pourghasemi, H. R. & Tiefenbacher, J. P. (2022). Identification of morphometric features of alluvial fan and basins in predicting the erosion levels using ANN. *Environmental Earth Sciences*, 81(3), 95.
 - Mather, A. E., Stokes, M., & Whitfield, E. (2017). River terraces and alluvial fans: The case for an integrated Quaternary fluvial archive. *Quaternary Science Reviews*, 166, 74-90.

- Mokarram, M. Seif, A. & Sathyamoorthy, D. (2014). Use of morphometric analysis and self-organizing maps for alluvial fan classification: case study on Ostorankooch altitudes, Iran. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 20, No. 1, p. 012003). IOP Publishing.
- Melton, M. A. (1965). The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits in southern Arizona. *The Journal of geology*, 73(1), 1-38.
- Ngapna, M. N. Owona, S. Owono, F. M. Ateba, C. B. Tsimi, V. M. Ondoa, J. M. & Ekodeck, G. E. (2020). Assessment of relative active tectonics in Edea–Eseka region (SW Cameroon, Central Africa). *Journal of African Earth Sciences*, 164, 103798.
- Ponti, D. J. (1985). The quaternary alluvial sequence of the Antelope Valley, California. 203,79–96.
- Regmi, N. R. & Rasmussen, C. (2018). Predictive mapping of soil-landscape relationships in the arid Southwest United States. *Catena*, 165, 473-486.
- Stokes, M., & Mather, A. E. (2015). Controls on modern tributary-junction alluvial fan occurrence and morphology: High Atlas Mountains, Morocco. *Geomorphology*, 248, 344-362.
- Shoshta, A. & Kumar, S. (2023). Soil development on alluvial fans in the mountainous arid regions: a case study of Spiti valley in North-western Himalaya, India. In *Understanding Soils of Mountainous Landscapes* (pp. 245-266). Elsevier.
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological society of America bulletin*, 67(5), 597-646 doi:[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67597](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67597).
- Terrizzano, C. M. Morabito, E. G. Christl, M. Likerman, J. Tobal, J. Yamin, M. & Zech, R. (2017). Climatic and Tectonic forcing on alluvial fans in the Southern Central Andes. *Quaternary science reviews*, 172, 131-141.
- Tomczyk, A. M. (2021). Morphometry and morphology of fan-shaped landforms in the high-Arctic settings of central Spitsbergen, Svalbard. *Geomorphology*, 392, 107899.
- Ventra, D. & Clarke, L. E. (2018). Geology and geomorphology of alluvial and fluvial fans: current progress and research perspectives. *Geological Society, London, Special Publications*, 440(1), 1-21.
- Vincent, L. T., Eaton, B. C., Leenman, A. S., & Jakob, M. (2022). Secondary geomorphic processes and their influence on alluvial fan morphology, channel behavior and flood hazards. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 127(2), e2021JF006371.
- Walk, J. Bartz, M. Stauch, G. Binnie, A. Brückner, H. & Lehmkuhl, F. (2022). Weathering under coastal hyperaridity–Late Quaternary development of spectral, textural, and gravelometric alluvial fan surface characteristics. *Quaternary Science Reviews*, 277, 107339.
- Yu, S. Y. Du, J. Hou, Z. Shen, J. & Colman, S. M. (2019). Late-Quaternary dynamics and palaeoclimatic implications of an alluvial fan-lake system on the southern Alxa Plateau, NW China. *Geomorphology*, 327, 1-13.