پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۴۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴
ص. ۱۷۸-۱۶۱

تحلیل درجهٔ مخاطرهٔ مخروط‌افکنه‌های بینالود جنوبی بر پایهٔ مقبولیت شاخص‌های مورفوتکتونیک

عادل سپهر* ـ استادیار ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
زهرا عبدالله‌زاده‌ـ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی، مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۴/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۷/۳۰

چکیده

در این پژوهش، با این فرض که با فعال بودن تکتونیک، درجهٔ مخاطره افزایش می‌یابد، آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های توسعه‌یافته بر روی مخروط‌افکنه‌های فعال باجادای بینالود جنوبی تحلیل شده است. در ابتدا، بر پایهٔ شاخص‌های مورفوتکتونیکی ضریب مخروط‌گرایی، شاخص نسبت کف دره به ارتفاع، شاخص عدم تقارن حوضهٔ آبریز و شاخص پیچ‌وخم جبههٔ کوهستان، درجهٔ تکتونیک مخروط‌افکنه‌های مورد بررسی محاسبه شد. پس از محاسبهٔ تکتونیک، با کمک شاخص مقبولیت و بردار وزن مرکزی، مطلوبیت شاخص مورفوتکتونیکی مشخص شد. این مطلوبیت شاخص وزن و تأثیر بیشتری بر درجهٔ مخاطرهٔ مخروط‌افکنه‌ها و در نتیجه، آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های مستقر روی مخروط‌افکنه دارد. در پایان، با طبقه‌بندی مخروط‌افکنه‌ها به سه گروه خطر کم، متوسط و زیاد، درجهٔ مخاطره از حیث سکونتگاه‌های توسعه‌یافته در مخروط‌افکنه‌ها تحلیل شد. نتایج نشان داد که سه مخروط‌افکنهٔ بوژمهران ۱، خرو و درود از لحاظ شاخص مقبولیت، بیشترین مقبولیت را برای سه رتبهٔ اول کسب کردند. همچنین، مشخص شد که شاخص‌های مورفوتکتونیکی نسبت کف دره به ارتفاع و سینوسیتهٔ کوهستان بیشترین سهم را در درجهٔ مخاطرهٔ مخروط‌افکنه‌های خرو و درود دارد. نتایج مؤید این مطلب بود که شهر بوژمهران، خرو و درود که بر روی مخروط‌افکنه‌ها توسعه یافته‌اند، آسیب‌پذیری زیادی نسبت به تحولات مخروط‌افکنه‌ای دارند.

کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری، بردار وزن مرکزی، شاخص مقبولیت، مورفوتکتونیک.

مقدمه

مخروط‌افکنه‌ها لندفرم‌های حاصل از تغییر شیب دامنه‌ها در محل خروجی آب حوضهٔ آبریز کوهستان به دشت‌اند که رسوبات آبرفتی و کوهرفتی حوضهٔ بالادست را در برمی‌گیرند. مخروط‌افکنه‌ها اغلب در منطقهٔ تخریب و فراهمی رسوب گسترش می‌یابند که گاه توسعهٔ قاعدهٔ این لندفرم‌ها، بخش‌هایی از منطقهٔ حمل (انتقال) ژئومورفولوژیک را در برمی‌گیرد. همچنین، می‌توان این لندفرم‌ها را در واحدهای پلایا و مناطق تراکم نیز که عمدتاً رسوبات سامانه‌های رودخانه‌ای را در برمی‌گیرد، مشاهده کرد. پژوهش‌ها نشان داده است که بیشتر مخروط‌افکنه‌ها حاصل تحولات بین‌یخچالی دورهٔ کواترنر

نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۵۵۰۸۵۷۳۲
* E- mail: adelsepehr@um.ac.ir

است (هاروی، ۲۰۰۲). از آنجا که این محیط‌ها در پی تغییرات توپوگرافی و کاهش انرژی جریانی ایجاد می‌شد، می‌توان این لندفرم‌ها را از لحاظ ژئومورفولوژی، مناطق ناتعادلی به‌حساب آورد. وجود اشکال فراکتالی در شبکهٔ هیدروگرافی دال بر شرایط ناتعادلی در این لندفرم‌هاست؛ به‌عبارتی، بر پایهٔ تفکر گیلبرت (۱۸۷۷)، مخروط‌افکنه‌ها را می‌توان مکان‌هایی با تعادل دینامیکی محسوب کرد؛ آنچه بر اساس این پارادایم، به طبقه‌بندی مخروط‌افکنه‌ها بر حسب فعالیت و تغییرات ژئومورفولوژیکی به مخروط‌افکنه‌های فعال و نیمه‌فعال منجر شده است. اگرچه مخروط‌افکنه‌های آبرفتی در محیط‌های مختلفی تشکیل می‌شود، بیشتر این لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی در قلمروهای خشک و نیمه‌خشک توسعه می‌یابد که علت این امر شرایط مساعد هوازدگی و تخریب است (چورلی و همکاران، ۱۹۸۵). با توجه به اینکه تراکم رسوبات در مخروط‌افکنه‌ها از نقطهٔ رأس به‌سمت قاعدهٔ مخروط، بیشتر و رسوبات ریزدانه‌تر می‌شود، خاک تحول‌یافته‌ای را در انتهای قاعده فراهم می‌کند که با توجه به سطح ایستابی بالای آب، محل مناسبی برای توسعهٔ کشاورزی و گاه ساخت‌وساز سکونتگاه‌ها ایجاد می‌شود. در ایران، بسیاری از شهرهای بزرگ بدون توجه به پاسخ‌های مخاطره‌آمیز این سامانه‌های فعال، بر روی مخروط‌افکنه‌ها توسعه یافته است. به‌یقین، پاسخ‌های ژئوسیستمی چون مخروط‌افکنه به فشارهای بیرونی، مانند تغییرات کاربری اراضی و تغییر در فرایندهای هیدرولوژیکی، کاتاستروفیک[1] و غیرخطی خواهد بود. بیشتر این پاسخ‌ها به‌دلیل حفظ تعادل در سامانه، به تحولاتی به‌ویژه در مخروط‌افکنه‌هایی با تکتونیک فعال منجر می‌شود. ناپایداری‌های دامنه‌ای و سیلاب‌های شدید بخشی از پاسخ‌هایی است که برای ساکنان این مناطق حکم مخاطره و بلیهٔ ژئومورفولوژیک را به‌خود می‌گیرد. ارزیابی مقدار مخاطره‌آمیز بودن مخروط‌افکنه‌های فعال، به‌خصوص در مناطق شهری و پرجمعیت توسعه‌یافته در قاعدهٔ مخروط‌افکنه‌ها ضروری است. بیشتر مخروط‌افکنه‌های دامنه‌ای جنوبی بینالود جزء گروه مخروط‌افکنه‌های فعال است و اگرچه مساحت آنها نسبت به مخروط‌های غیرفعال کمتر است، به‌طور مستقل یا منطبق بر بخشی از عوارض قدیمی، تحت تأثیر فرایندهای رودخانه‌ای کنونی، تحول به‌نسبت سریعی دارد (حسین‌زاده، ۱۳۸۲). بر اثر گسترش فعالیت‌های انسانی (باغداری، زراعت، دیم‌کاری، احداث قنات‌ها و سازه‌های عمرانی) بر سطح مخروط‌افکنه‌های جنوبی بینالود، در سال‌های اخیر ناپایداری آنها به‌صورت حرکات توده‌ای و سیلاب تشدید شده است. این ناپایداری‌ها در بیشتر موارد به‌صورت بلایای طبیعی و مخاطره‌های ژئومورفیکی، جوامع روستایی مستقر روی آنها را تحت تأثیر قرار داده است (بهنیافر، ۱۳۸۴).

در ایران، در زمینهٔ فعالیت‌های تکتونیک، شکل‌گیری و تحول مخروط‌افکنه‌ها پژوهش‌های زیادی انجام گرفته است. ثروتی (۱۹۸۶) با بررسی ژئومورفولوژی ساختمانی و اقلیمی ناحیهٔ کاشمر و گسل‌درونه، بیان داشت که فعالیت‌های تکتونیکی به‌ویژه فعالیت گسل‌درونه در منطقهٔ کاشمر، تأثیرات زیادی بر شبکهٔ رودخانه‌ها و تحول آنها در سطح مخروط‌افکنه‌های منطقه داشته است. همچنین، یمانی و مقصودی (۱۳۸۲) در زمینهٔ تأثیر عامل تکتونیک، آن را اصلی‌ترین عامل در تغییر مسیر کانال‌های سطح مخروط‌افکنهٔ تنگویه در حوضهٔ کویر سیرجان می‌دانند. مقصودی و

1. Catastrophic

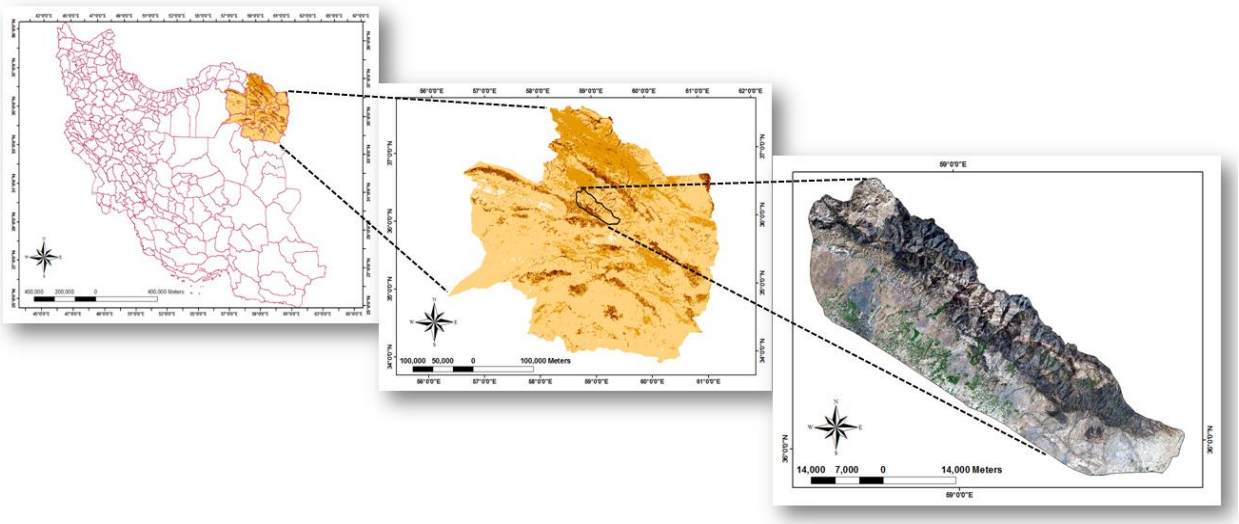
همکاران (۱۳۸۷) با بررسی عوامل مؤثر بر تحولات ژئومورفیک مخروط‌افکنهٔ جاجرود، نشان دادند که تحولات این لندفرم‌های پویا تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و حرکات تکتونیک و تغییر سطح اساس (در درازمدت) و عوامل انسانی (در کوتاه‌مدت) بوده است. در پژوهشی دیگر، مقصودی و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی اثر عوامل تکتونیکی بر شکل‌گیری و تحول مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های دامنهٔ طاقدیس قلاجهٔ کرمانشاه، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، مقدار تکتونیک منطقه را بررسی کرده، به این نتیجه دست یافتند که تکتونیک منطقه (گسل‌ها) عامل اصلی شکل‌گیری و تحول مورفولوژی مخروط‌افکنه‌های منطقه بوده است. رامشت و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی تأثیر تکتونیک بر مورفولوژی مخروط‌افکنهٔ درختنگان شهداد کرمان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که فعالیت‌های تکتونیک گسل‌های فعال منطقه، با اثرگذاری بر محل استقرار مخروط‌افکنه‌ها، افزایش رسوب‌دهی، شیب و افزایش توان حمل رسوبات رودخانه‌ای درختنگان، بر تحول و تکامل امروزی مخروط‌ها مؤثر بوده است. فتاحی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی فعالیت گسل نیشابور پرداخته، از فعال بودن سه گسل شمال نیشابور، گسل نیشابور و گسل بینالود به موازات باجادای بینالود جنوبی یاد کردند. با توجه به تکتونیک فعال مخروط‌افکنهٔ نیشابور و فعال بودن این گسل‌ها و نیز تمرکز جمعیت شهری و روستایی در این مناطق، می‌توان افزایش خطر حرکات دامنه‌ای، زلزله و دیگر مخاطره‌های طبیعی را بسیار جدی برشمرد. یمانی و همکاران (۱۳۹۱) نیز با بررسی شواهد و آثار دو گسل فعال دامغان و تزره به مورفولوژی و مورفومتری ۱۶ مخروط‌افکنه در شمال دامغان پرداخته، بر اساس تحلیل‌های کمی و کیفی حاصل از الگوی رقومی ارتفاع، ویژگی‌های مورفومتری مخروط‌ها، مقدار جابه‌جایی آبراهه‌ها و مقدار بالاآمدگی رسوبات را اندازه‌گیری کرده، شیب و نیمرخ طولی و عرضی را محاسبه کردند و به این نتیجه رسیدند که تأثیر گسل‌های دامغان و تزره، آثاری نظیر سطوح بالاآمده، متروک ماندن سطح مخروط‌ها، جابه‌جایی نقطهٔ تقطیع آبراهه‌ها و جابه‌جایی شبکهٔ اصلی آبراهه‌ها در رأس مخروط‌ها را به‌همراه داشته و در نتیجه، موجب تغییر موقعیت رسوبگذاری در منطقه شده است. در زمینهٔ مسائل پایداری سکونتگاه‌ها در مخروط‌افکنه‌ها، بهنیافر (۱۳۸۴) وجود شرایط مناسب آبی و خاکی در قاعدهٔ مخروط‌افکنه‌ها را علت افزایش تغییر کاربری اراضی و فعالیت‌های زراعی و در نتیجه، افزایش تخریب و تشدید ناپایداری در قاعدهٔ مخروط‌افکنه‌های جنوبی بینالود (بررسی موردی مخروط افکنهٔ گرینه) بیان کرد و عامل کاربری زمین را موجب افزایش ناپایداری‌های سطوح مخروط‌افکنه‌های این منطقه و افزایش بلایای طبیعی از جمله سیلاب‌ها و حرکات دامنه‌ای دانست. حاجی‌آبادی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی ارتباط ناپایداری سطوح مخروط‌افکنه‌ها با عوامل انسانی در دامنه‌های جنوبی بینالود پرداختند و نتیجه گرفتند که تشدید کاربری در مخروط‌افکنهٔ بوژان و حوضهٔ زهکش آن طی دو دههٔ گذشته، موجب ناپایداری سطوح مخروط‌افکنه شده و پدیده‌های کاتاستروفیسم نظیر جریان‌های ثقلی را موجب شده است. عنابستانی و صالحی (۱۳۸۹) از ارتباط معنادار بین ویژگی‌های طبیعی و مناسب مخروط‌ها (نظیر شرایط مناسب آبی و خاکی) با تمرکز جمعیت‌های شهری و روستایی و فعالیت‌های انسانی بر روی مخروط‌افکنه‌های دشت جوین سبزوار یاد کردند. در دیگر کشورها نیز پژوهش دربارهٔ مخروط‌افکنه‌ها سابقه‌ای طولانی دارد؛ برای مثال: هاوس (۲۰۰۵) الگوی زهکشی، توپوگرافی

و برش مخروط‌افکنه‌ها را در تعیین مخروط‌های فعال و نیمه‌فعال از نظر سیل‌خیزی در نوادا بررسی کرد. دربارهٔ خطرهای ناشی از حرکات دامنه‌ای، جریان‌های گلی و واریزه‌ای و سیلاب‌ها در سطح مخروط‌افکنه‌هایی که محل تمرکز جمعیت‌های شهری، روستایی و صنعتی فراوانی است نیز تا کنون پژوهش‌های زیادی در دنیا انجام گرفته است؛ برای نمونه: سانتانگلو و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی یکی از مخاطره‌های جدی مناطق شهری مستقر در مخروط‌افکنه‌های بزرگ پرداختند و با ارزیابی توان سیل‌خیزی در نقاط مختلف یکی از شهرهای جنوب ایتالیا، حساسیت‌پذیری مناطق شهری نسبت به خطر سیلاب و جریان‌های ثقلی دیگر را طبقه‌بندی کردند. لیو و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی امکان وقوع مجدد جریان‌های واریزه‌ای بر روی مخروط‌افکنه‌های یکی از استان‌های چین با سکونت روستایی، به تخمین تأثیر جریان‌های ثقلی در منطقه پرداختند و روش‌هایی نظیر احداث کانال‌های زهکش تحت شرایط هیدرولیکی بهینه برای کاهش خطرهای ناشی از وقوع مجدد این بلایا در سطح مخروط‌افکنه را برای جلوگیری از تبدیل مخاطره‌ها به بلایای خسارت‌بار پیشنهاد کردند. مارکاتو و همکاران (۲۰۱۲) با اثبات در معرض خطر بودن یکی از شهرهای آرژانتین در برابر تهدید سیل و جریان‌های دامنه‌ای دیگر، با توجه به کانون تمرکز جمعیت زیاد شهری و فعالیت‌های گردشگری، اقداماتی پیشگیرانه نظیر احداث سدهای انحرافی و حفاظتی در بالای نقطهٔ رأس مخروط به‌منظور انحراف جریان‌های تهدیدکنندهٔ منطقهٔ شهری مستقر بر روی دامنهٔ مخروط‌افکنه را پیشنهاد کردند. آکوئینو و همکاران (۲۰۱۳) تمایز و تعیین مرزهای مخروط‌افکنه‌ها را در کنترل و کاهش خطرهای ناشی از جریان‌های واریزه‌ای تعیین‌کننده دانستند و به‌کمک الگوی رقومی ارتفاع (DEM) و فناوری SAR و LIDAR به تعیین حدود مرزهای مخروط‌افکنه و وسعت آنها بر اساس رأس هیدروگرافی و مساحت حوضهٔ بالادست پرداختند. در نگاه ژئومورفولوژی، بین فعالیت‌های تکتونیکی، فرسایش و مخاطرهای محیطی حاصل از این فعالیت‌های تکتونیکی، همبستگی وجود دارد. این تفکر در تغییرات مخروط‌افکنه‌ها و مخاطرهای حاصل از توسعه و تحولات مخروط‌افکنه قابل بررسی است. به‌طور کلی، بین شرایط تکتونیکی مخروط‌افکنه‌ها و فرسایش‌پذیری و شاخص‌های مورفولوژیکی مخروط‌افکنه‌ها با مخاطرهای حاصل از این تحولات ارتباط معناداری وجود دارد؛ برای مثال: مخروط‌افکنه‌هایی که تکتونیک و فرسایش در آن شدیدتر است، تراکم آبراهه‌ای و شرایط سیل‌خیزی بیشتری دارد؛ بنابراین، سکونتگاه‌هایی که روی این مخروط‌افکنه‌ها توسعه پیدا می‌کند، به‌یقین آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به تغییرات تکتونیک و فرسایش دارد. از آنجایی که در قسمت عمده‌ای از دامنه‌های جنوبی بینالود، شهرها دارای جمعیت زیادی است و بر روی مخروط‌افکنه‌ها توسعه پیدا کرده است، تغییرات کاربری مخروط‌افکنه‌ها موجب واکنش متفاوت این لندفرم‌ها با توجه به درجهٔ تکتونیکی یعنی فعال بودن مخروط‌افکنه‌ها می‌شود. این پاسخ‌ها گاه حکم مخاطرهٔ ژئومورفولوژیک را به‌خود می‌گیرد. در این پژوهش سعی شده است تا با کمک شاخص‌های مورفودینامیکی و تکتونیکی مخروط‌افکنه‌ها، درجهٔ مخاطره‌آمیز بودن ژئوسیستم‌ها در مخروط‌افکنه‌های بزرگ بینالود جنوبی با کمک تحلیل تصادفی متغیرهای مورفوتکتونیکی بررسی شود.

محدوده منطقهٔ مورد مطالعه

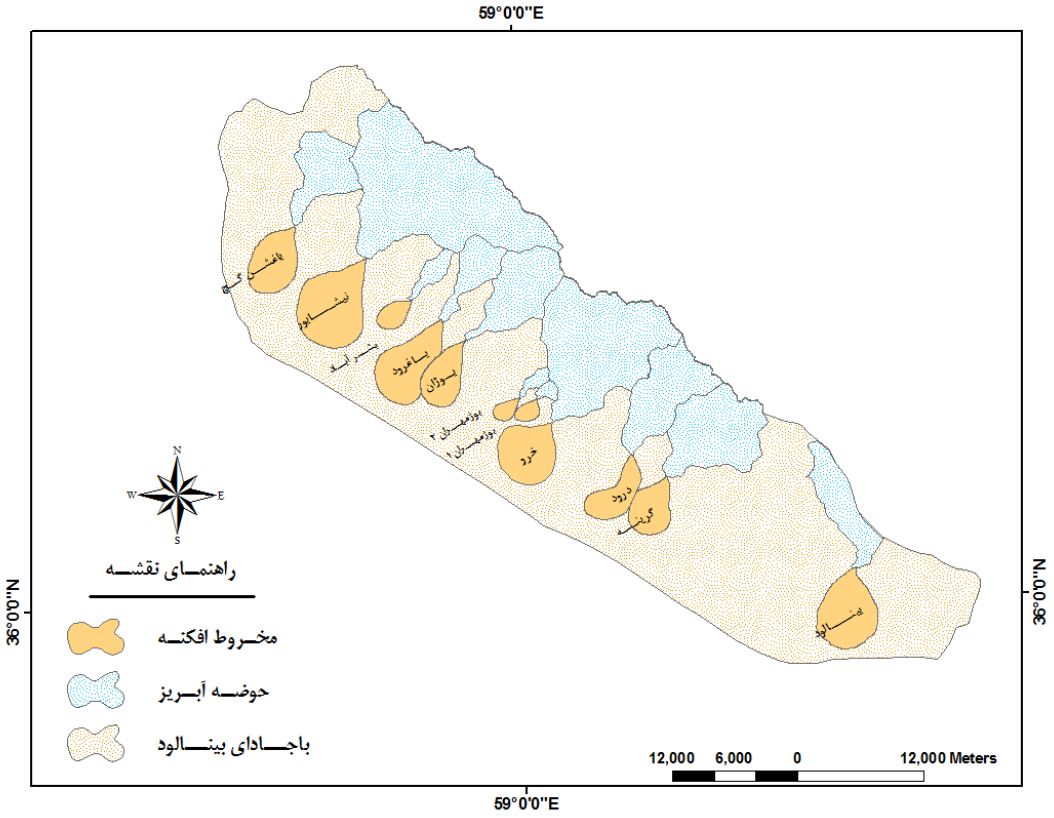
قلمرو این پژوهش در شمال شرق کشور در استان خراسان رضوی و بخش کوچکی از زهکش کال‌شور قرار دارد که در حوضهٔ آبریز کویر مرکزی، از عمده حوضه‌های آبریز ایران، واقع است. از نظر موقعیت و تقسیمات کشوری، منطقهٔ مورد بررسی قسمت‌هایی از شهرستان‌های مشهد، نیشابور و شهر جدید بینالود را در برمی‌گیرد که در پهنهٔ رسوبی ساختاری بینالود، از گروه واحدهای ساختاری منطقهٔ شمال شرق کشور، واقع شده است. این محدوده با وسعت ۲۷۵۱ کیلومترمربع در دامنهٔ جنوبی کوه‌های بینالود بین عرض جغرافیایی ´۵۶ °۳۵ تا ´۴۰ °۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ´۲۹ °۵۸ تا ´۹۲ °۵۹ شرقی قرار دارد. شهر نیشابور در بخش جنوبی محدوده

واقع شده و فاصلهٔ آن تا شهر مشهد حدود ۱۱۵ کیلومتر است و مرز شرقی محدودهٔ پژوهش حدود ۴۷ کیلومتر با شهر مشهد فاصله دارد (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده منطقهٔ مورد مطالعه در ایران و استان خراسان رضوی

از لحاظ ژئومورفولوژی، منطقهٔ پژوهش شامل یک سامانهٔ باجادا با مجموعه‌ای از مخروط‌افکنه‌های متعدد کوچک و بزرگ به‌هم پیوسته است. شهر نیشابور بزرگ‌ترین شهر توسعه‌یافته بر روی مخروط‌افکنه‌های این منطقه است. با توجه به جمعیت و وسعت شهرها و سکونتگاه‌های توسعه‌یافته در این منطقه، در این باجادا ۱۱ مخروط‌افکنه به‌همراه ۱۱ شهر توسعه‌یافته بر روی قاعدهٔ آنها، شناسایی و تفکیک شد. شکل ۲ موقعیت مخروط‌افکنه‌های مورد بررسی را بر روی باجادای بینالود جنوبی نشان می‌دهد. بیشتر آبراهه‌های این ناحیه دائمی بوده، بخش کوچکی از سامانهٔ زهکشی رودخانهٔ کال‌شور محسوب می‌شود که از ارتفاعات بینالود سرچشمه گرفته، اغلب در مسیر شمال شرق به جنوب غرب جریان می‌یابد. این رودخانه‌ها هنگام رسیدن به دشت و تشکیل پادگانه‌های آبرفتی، به چند شاخهٔ بادبزن‌شکل تقسیم می‌شود.

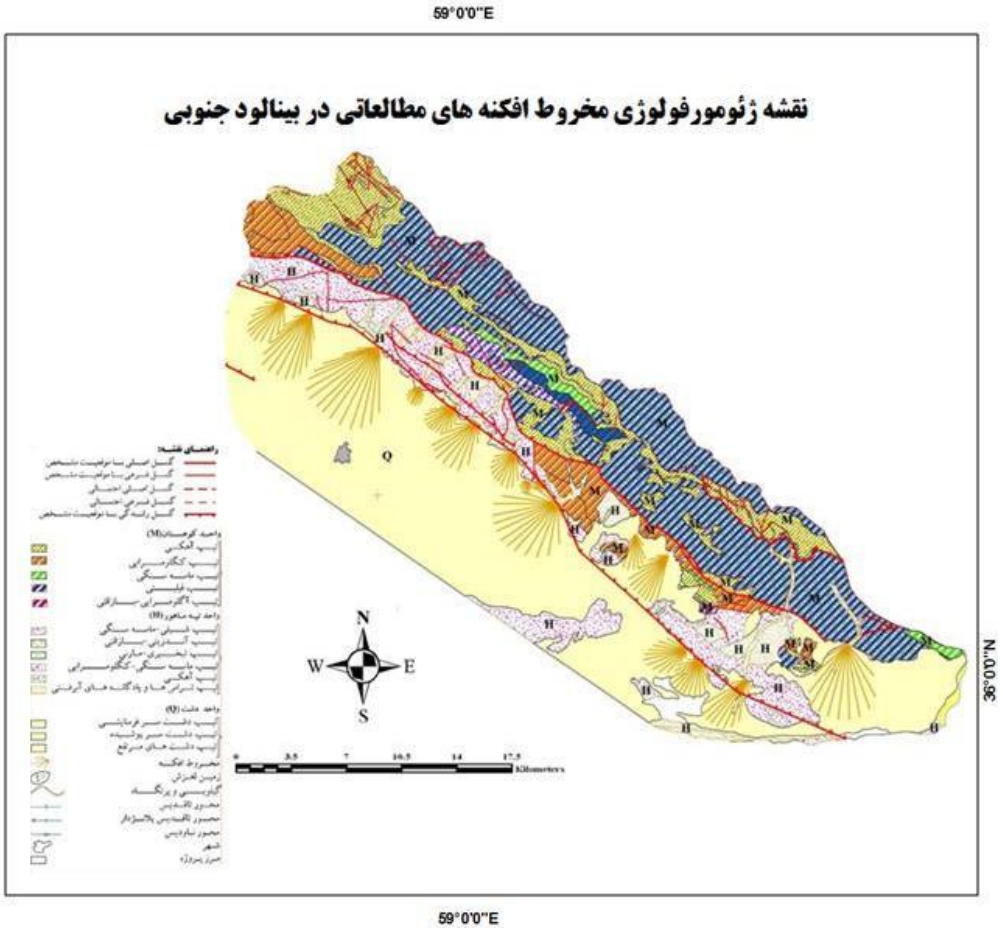


شکل ۲. موقعیت مخروط‌افکنه‌های مورد بررسی به‌همراه حوضه‌های آبریز بالادست در باجادای بینالود جنوبی

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، در ابتدا به‌منظور بررسی درجهٔ مخاطره‌آمیز بودن مخروط‌افکنه‌ها، نقشهٔ ژئومورفولوژی مربوط به باجادای بینالود جنوبی با کمک نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰،۰۰۰ تهیه شد و ۱۱ مخروط‌افکنهٔ اصلی که عمده سکونتگاه‌های پرجمعیت منطقه را تشکیل می‌داد، جداسازی شد (شکل ۳). سپس، با توجه به رابطهٔ بین عوامل تکتونیکی و درجهٔ تغییرپذیری مخروط‌افکنه‌ها و مقدار آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های توسعه‌یافته بر روی مخروط‌افکنه‌ها نسبت به مخاطرهای حاصل از فرایندهای تکتونیکی و فرسایش، شاخص‌های مورفومتری دال بر فعالیت تکتونیکی مخروط‌افکنه‌ها، به‌مثابهٔ شاخصی برای درجهٔ مخاطره‌های مخروط‌افکنه‌ها، ملاک عمل قرار گرفت. ویژگی‌های مورفولوژیکی مثل تراکم آبراهه‌ای، شرایط شکلی مخروط‌افکنه‌ها، مساحت و محیط مخروط‌افکنه و همچنین مساحت حوضهٔ آبریز بالادست بر پایداری و ناپایداری مخروط‌افکنه‌ها از لحاظ تکتونیکی مؤثر است؛ از این‌رو، چهار شاخص ژئومورفولوژیکی در برگیرندهٔ ارتباط بین ویژگی‌های مورفولوژیکی و درجهٔ تکتونیک در مخروط‌افکنه‌ها شامل ضریب مخروط‌گرایی، شاخص نسبت کف دره به ارتفاع، شاخص عدم تقارن حوضهٔ آبریز و شاخص پیچ‌وخم جبههٔ کوهستان انتخاب شد. این شاخص‌ها معرف تکتونیک جنبا یا تکتونیک فعال در هر سامانهٔ ژئومورفولوژیک است که در پژوهش‌های ژئومورفولوژی، یکی از

راهکارهای شناخت فعال بودن تکتونیک بر پایهٔ این شاخص‌های مورفومتری صورت می‌گیرد. هدف از انتخاب این شاخص‌های مورفوتکتونیکی، آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های توسعه‌یافته بر روی مخروط‌افکنه‌ها و ارتباط آنها با وضعیت تکتونیکی این لندفرم‌ها بوده است. در جدول ۱، فهرست و ویژگی‌های مورفولوژیکی هریک از مخروط‌افکنه‌های دامنهٔ جنوبی بینالود آورده شده است.



شکل ۳. نقشهٔ ژئومورفولوژی باجادای مورد بررسی در بینالود جنوبی

برای محاسبه شاخص نسبت کف دره به ارتفاع آن(V_f)، از رابطهٔ بول و مک‌فادن (۱۹۷۷) استفاده شده است.

رابطهٔ (۱)

$$V_f = \frac{2V_{fw}}{(E_{ld} - E_{sc}) + (E_{rd} - E_{sc})}$$

که در این رابطه:

V_{fw}: عرض بستر دره؛

E_{ld}: ارتفاع دیوارهٔ سمت چپ دره؛

E_{rd}: ارتفاع دیوارهٔ سمت راست دره و

E_{sc}: ارتفاع بستر دره است.

اگر نسبت V_f کمتر از ۱ باشد، نشان‌دهندهٔ فعالیت‌های شدید تکتونیکی، اگر بین ۱ تا ۲ باشد، نشان‌دهندهٔ فعالیت کم یا متوسط تکتونیکی است و اگر بزرگ‌تر از ۲ باشد، بر نبود فعالیت‌های تکتونیکی در منطقه دلالت خواهد داشت (بول و مک‌فادن، ۱۹۷۷).

در محاسبهٔ شاخص عدم تقارن حوضهٔ آبریز (AF)، رابطهٔ هار و گاردنر (۱۹۸۵) که به‌صورت رابطه ۲ تعریف شده است، ملاک عمل قرار گرفت:

رابطهٔ (۲) $AF=100\ (A_r/A_t)$

در این رابطه:

A_r: مساحت حوضهٔ آبریز در سمت راست آبراههٔ اصلی و A_t: مجموع مساحت حوضه آبریز است.

در این رابطه نیز چنانچه AF حدود ۵۰ باشد، بیان‌کنندهٔ وضعیت رودخانه‌ای است که موقعیت ثابت و جریان مداومی دارد. در این رودخانه‌ها، زهکش‌های فرعی نسبت به آبراهه‌های اصلی دارای تقارن بوده، نشان از نبود فعالیت تکتونیکی منطقه دارد؛ اما مقادیر AF بیشتر یا کمتر از ۵۰ به‌دلیل تاب‌برداشتگی کانال اصلی رودخانه، نشان از فعالیت منطقه خواهد داشت (کلر، ۱۹۸۶).

در محاسبهٔ شاخص پیچ‌وخم جبههٔ کوهستان (S_{mf}) نیز رابطهٔ بول و مک‌فادن (۱۹۷۷) استفاده شد (رجبی و همکاران، ۱۳۸۵) که در قالب رابطهٔ ۳ بررسی می‌شود:.

رابطهٔ (۳) $S_{mf} = L_{mf} / L_s$

در این رابطه:

L_{mf}: طول پیچ‌وخم جبههٔ کوهستان و L_s: طول خط مستقیم جبههٔ کوهستان در محل تلاقی پایکوه و کوهستان است.

پیشانی‌های کوهستانی به‌شدت فعال، دارای سینوسیتهٔ ۱ تا ۱/۵ است. پیشانی‌های کوهستانی به‌نسبت فعال، سینوسیته‌ای از ۱/۵ تا ۳ دارد و پیشانی کوهستانی غیرفعال، سینوسیته‌ای از ۳ تا بیش از ۱۰ دارد (بوربانک و آندرسون، ۲۰۰۱).

برای محاسبهٔ معیار سنجش شکل واقعی مخروط‌افکنه، از رابطهٔ موکرجی (۱۹۷۶) استفاده شد:

رابطهٔ (۴)
$$\text{شاخص شکل (ضریب مخروط‌گرایی)} = \frac{\text{مساحت}}{\text{مساحت مخروط‌افکنهٔ}}$$

بر اساس این رابطه، مخروط‌افکنه‌ای که شکل آن به مخروط ایده‌آل نزدیک‌تر باشد، ضریب مخروطی بالاتری دارد. مخروط‌افکنه‌ای که شبیه مخروط ایده‌آل نباشد یا به‌صورت کشیده باشد و به‌طور کامل گسترش نیافته باشد، به‌طور معمول شاخص مخروطی پایینی دارد. شاخص مخروطی عاملی است که چگونگی گسترش مخروط را مشخص می‌سازد؛ بنابراین، چنانچه شرایط آب‌وهوایی، سنگ‌شناسی، مساحت حوضهٔ آبریز و فضای قابل دسترس برای رشد مخروط مساعد باشد، مخروط‌افکنه به‌شکل مخروطی ایده‌آل در خواهد آمد و ضریب مخروطی بالایی نیز خواهد داشت (مقصودی و محمدنژاد آروق، ۱۳۹۰).

در گام بعدی، به‌منظور بررسی آسیب‌پذیری هریک از سکونتگاه‌های توسعه‌یافته بر روی مخروط‌افکنه‌ها، از تحلیل‌های تصادفی ریاضی با کمک نظریهٔ مطلوبیت[1] و بهره‌گیری از مطلوبیت هر شاخص نسبت به شاخص‌های دیگر با کمک محاسبهٔ شاخص‌های تصادفی مطلوبیت استفاده شد. در ابتدا، مقبولیت شاخص‌های مورفوتکتونیکی محاسبه‌شده در مرحلهٔ قبل، با کمک شاخص‌های مقبولیت اندازه‌گیری شد.

شاخص مقبولیت[2]

شاخص مقبولیت معیاری ریاضی برای ارزشگذاری به‌منظور توصیف درجهٔ مقبولیت یک گزینه نسبت به گزینه‌های دیگر است. با توجه به شاخص‌ها و معیارهای مورد بررسی در این پژوهش، اولویت‌بندی مخروط‌افکنه‌ها با توجه به مقبولیت از لحاظ درجهٔ تکتونیکی با کمک شاخص مقبولیت انجام گرفت؛ به‌عبارتی، به‌کمک این رابطه، درجهٔ مخاطرهٔ مخروط‌افکنه‌ها با توجه به مطلوبیت شاخص‌های مورفوتکتونیکی محاسبه شد. برای محاسبهٔ شاخص مقبولیت از انتگرال‌های چندگانه استفاده می‌شود که در اینجا برای محاسبهٔ این شاخص از رابطهٔ ۵ استفاده شده است:

$$a_i = \int_{\xi \epsilon x} f_x(\xi) \int_{w \epsilon W_i(\xi)} f_w(w)\, dw d\xi$$ رابطهٔ (۵)

پس از محاسبهٔ شاخص مقبولیت، به‌منظور بررسی تأثیر شاخص‌های مورفوتکتونیکی بر درجهٔ مخاطرهٔ مخروط‌افکنه‌ها، از شاخص بردار وزن مرکزی استفاده شد.

بردار وزن مرکزی[3]

بردار وزن مرکزی w_i^c مرکز گرانش فضای وزن مطلوب مورد انتظار است. در این پژوهش، شاخص‌های مورفوتکتونیکی مؤثر بر رتبه‌بندی مخروط‌افکنه‌ها از لحاظ مقبولیت مقایسه و شاخصی که وزن و تأثیر بیشتری بر آسیب‌پذیری مخروط‌افکنه‌ها و در نتیجه، آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های مستقر روی مخروط‌افکنه دارد، مشخص می‌شود. بردار وزن مرکزی به‌وسیلهٔ انتگرال چندگانهٔ معیار و توزیع وزن محاسبه می‌شود:

$$w_i^c = \frac{1}{a_i} \int_{\xi \epsilon x} f_x(\xi) \int_{w \epsilon W_i(\xi)} f_w(w)\, dw d\xi$$ رابطه (۶)

سپس، درجهٔ اطمینان انتخاب شاخص‌ها و به تبع آن، رتبهٔ در نظر گرفته‌شده برای هر مخروط‌افکنه از حیث مخاطره‌آمیز بودن، به‌کمک محاسبهٔ مؤلفهٔ اطمینان انجام گرفت.

1. Utility Theory
2. Acceptability index
3. Central Weight Vector

مؤلفهٔ اطمینان[1]

مؤلفهٔ اطمینان P_i^c احتمال انتخاب یک معیار نسبت به معیار دیگر را با توجه به مزایای بردار وزن مرکزی نشان می‌دهد. مؤلفهٔ اطمینان از راه انتگرال چندگانهٔ توزیع گزینه‌ها با کمک رابطهٔ ۷ محاسبه شد:

رابطه (۷)
$$P_i^c = \int_{\xi \epsilon x: u\left(\xi_i, w_i^c\right) \geq u\left(\xi_k, w_i^c\right)} f_x\left(\xi\right) d\xi$$

$$\forall k = ۱, \ldots, m$$

مؤلفهٔ اطمینان مشخص می‌کند که آیا اندازه‌گیری معیارها کافی است و به‌عبارتی دیگر، مشخص می‌کند که معیار منتخب به‌مثابهٔ مقبول‌ترین و مؤثرترین شاخص، از کارامدی و کفایت لازم برخوردار است یا خیر. پس از محاسبهٔ مؤلفهٔ اطمینان، شاخص مقبولیت هر مخروط‌افکنه و بردار وزن مرکزی شاخص‌های مورفوتکتونیکی، مخروط‌افکنه‌ها از لحاظ شدت مخاطره‌آمیز بودن در سه گروه کم، متوسط و شدید طبقه‌بندی شد. در پایان، با توجه به مقادیر کمی شاخص مقبولیت تکتونیکی، سه گروه آسیب‌پذیری کم (C_1)، متوسط (C_2) و زیاد (C_3) در نظر گرفته شد و ۱۱ مخروط‌افکنهٔ منتخب در باجادای بینالود، از لحاظ مقبولیت شاخص‌های تکتونیکی و آسیب‌پذیری‌شان در برابر توسعهٔ شهری، با توجه به ظرفیت تکتونیکی و فرسایشی هر مخروط‌افکنه طبقه‌بندی شد.

نتایج و بحث

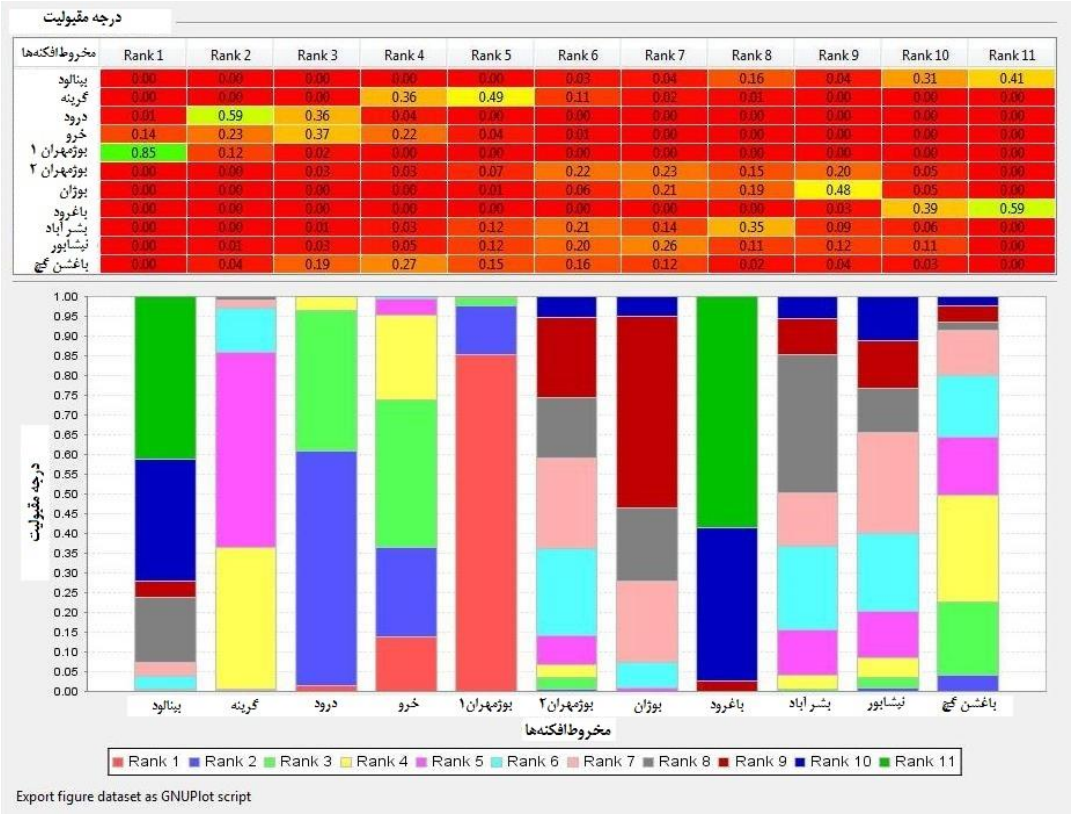
داده‌های به‌دست‌آمده از شاخص‌های شکلی در مخروط‌افکنه‌های مورد بررسی، از وجود اختلاف در بسیاری از ویژگی‌های مورفولوژیکی مخروط‌افکنه حکایت می‌کند. در جدول ۱، ویژگی‌های مورفوتکتونیکی هریک از مخروط‌افکنه‌ها ذکر شده است.

بر اساس شاخص مقبولیت، مخروط‌افکنه‌ها از لحاظ مخاطره‌آمیز بودن رتبه‌بندی شد. به‌یقین، مخروط‌افکنه‌هایی با درجهٔ مخاطرهٔ کمتر مقبول‌تر است. شکل ۴ نتایج رتبه‌بندی مخروط‌افکنه‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، مخروط‌افکنه‌ای که بیشترین مقدار مقبولیت را به‌دست آورده، رتبهٔ یک را از حیث درجهٔ مخاطره‌آمیز بودن به‌خود اختصاص داده است. بر اساس نتایج محاسبهٔ شاخص مقبولیت در شکل ۴، مخروط‌افکنهٔ بوژمهران ۱ رتبهٔ اول شاخص مقبولیت را با مقدار ۰/۸۵ به‌دست آورده است؛ بنابراین، در مقایسه با دیگر مخروط‌افکنه‌ها برای این رتبه، بیشترین مقدار شاخص مقبولیت را دارد و رتبهٔ اول را از بابت درجهٔ مخاطره به‌خود اختصاص داده است. پس از مخروط‌افکنهٔ بوژمهران ۱، مخروط‌افکنهٔ خرو حدود ۰/۱۴ (۱۴درصد) مقبولیت رتبه اول را کسب کرده است. اگرچه مقدار مقبولیت این رتبه برای این مخروط‌افکنه کم است، بیشترین مقدار مقبولیت در این مخروط‌افکنه‌ها متعلق به سه رتبهٔ ابتدایی از حیث مخاطره‌آمیز بودن است. در مقابل، مخروط‌افکنه‌های دیگر نیز در رتبهٔ اول مقبولیتی کسب نکرده است. بنابراین، می‌توان رتبهٔ دوم از حیث درجهٔ مخاطره را پس از بوژمهران۱، برای مخروط‌افکنهٔ خرو در نظر گرفت. پس از مخروط‌افکنهٔ خرو، مخروط‌افکنهٔ درود با کسب بیشترین مقدار مقبولیت برای رتبهٔ دوم و سوم (۵۹ و ۳۶ درصد) در رتبهٔ سوم از حیث مخاطره‌آمیز بودن قرار گرفته است. مخروط‌افکنهٔ باغرود با کسب بیشترین مقدار مقبولیت (۵۹ درصد) برای رتبهٔ یازدهم، کم‌ترین درجهٔ مخاطره‌آمیز بودن را به‌خود اختصاص داده است.

1. Confidence Factor

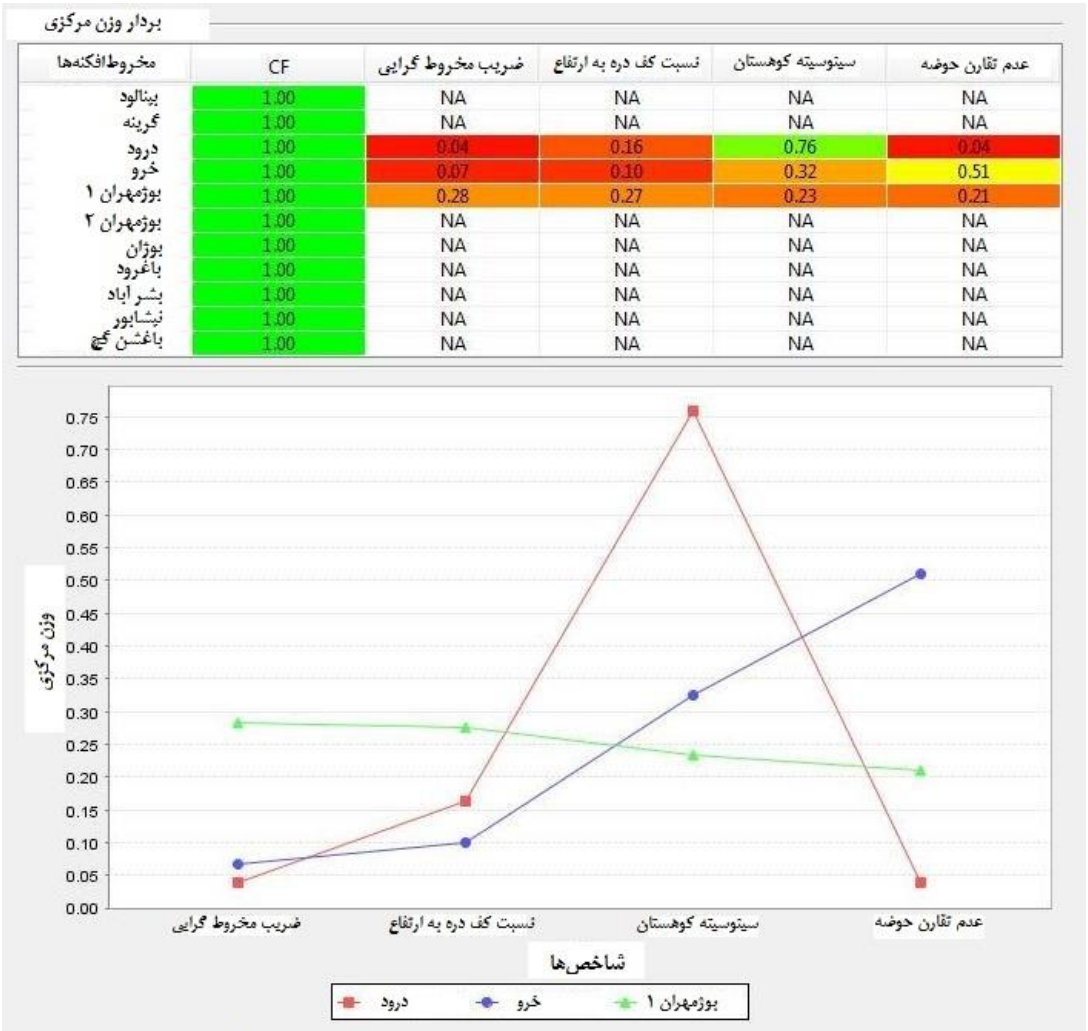
جدول ۱. مشخصات مخروط افکنه‌ها و شاخص‌های مورفوتکتونیکی بررسی‌شده در دامنهٔ جنوبی بینالود

ردیف	نام مخروط‌افکنه	مساحت (km^2)	محیط (km)	شیب متوسط (درصد)	ضریب مخروط‌گرایی	شعاع (km)	سینوسیتهٔ کوهستان	شاخص AF	شاخص V_F
۱	بینالود	۳۶/۸۳	۲۲/۵۰	٪۳/۴	۰/۷۳	۷/۶۳	۱/۵۶	۴۱/۷۶	۰/۵۲
۲	گرینه	۱۱/۷۹	۱۳/۴۷	٪۲/۹۷	۰/۸۰	۴/۸۷	۱/۲۸	۶۵/۷۲	۰/۲۷
۳	درود	۵/۳۶	۹/۳۹	٪۳/۲۹	۰/۷۱	۳/۴۹		۶۶/۱۷	۰/۰۸
۴	خرو	۳۷/۱۱	۲۲/۳۳	٪۲/۶۷	۰/۷۵	۷/۱۲		۷۱/۲۲	۰/۳۰
۵	بوژمهران ۱	۰/۸۴	۳/۷۲	٪۵/۲۲	۰/۶۳	۱/۳۴	۱/۴۱	۶۸	–
۶	بوژمهران ۲	۰/۹۹	۳/۸۳	٪۵/۵	۰/۹۹	۱/۱۷		۶۰/۲۲	–
۷	بوژان	۱۶/۱۴	۱۵/۵۳	٪۳/۵۳	۰/۷۵	۵/۳۸		۵۰/۳۰	۱/۱۱
۸	باغرود	۶/۸۴	۹/۶۱	٪۴/۲۶	۱	۳/۴۰		۴۸/۲۶	۱/۸۰
۹	بشرآباد	۲/۴۴	۵/۹۳	٪۵/۶	۰/۷۲	۲/۰۵		۵۶/۴۱	۱/۲۴
۱۰	نیشابور	۴۶/۳۴	۲۶/۱	٪۲/۶۵	۱	۸/۴۶		۶۹/۴۸	۰/۴۲
۱۱	باغشن‌گچ	۲۳/۲۹	۱۸/۶۷	٪۳/۰۴	۰/۷۱	۷/۲۳	۱/۶۱	۶۴/۱۰	–



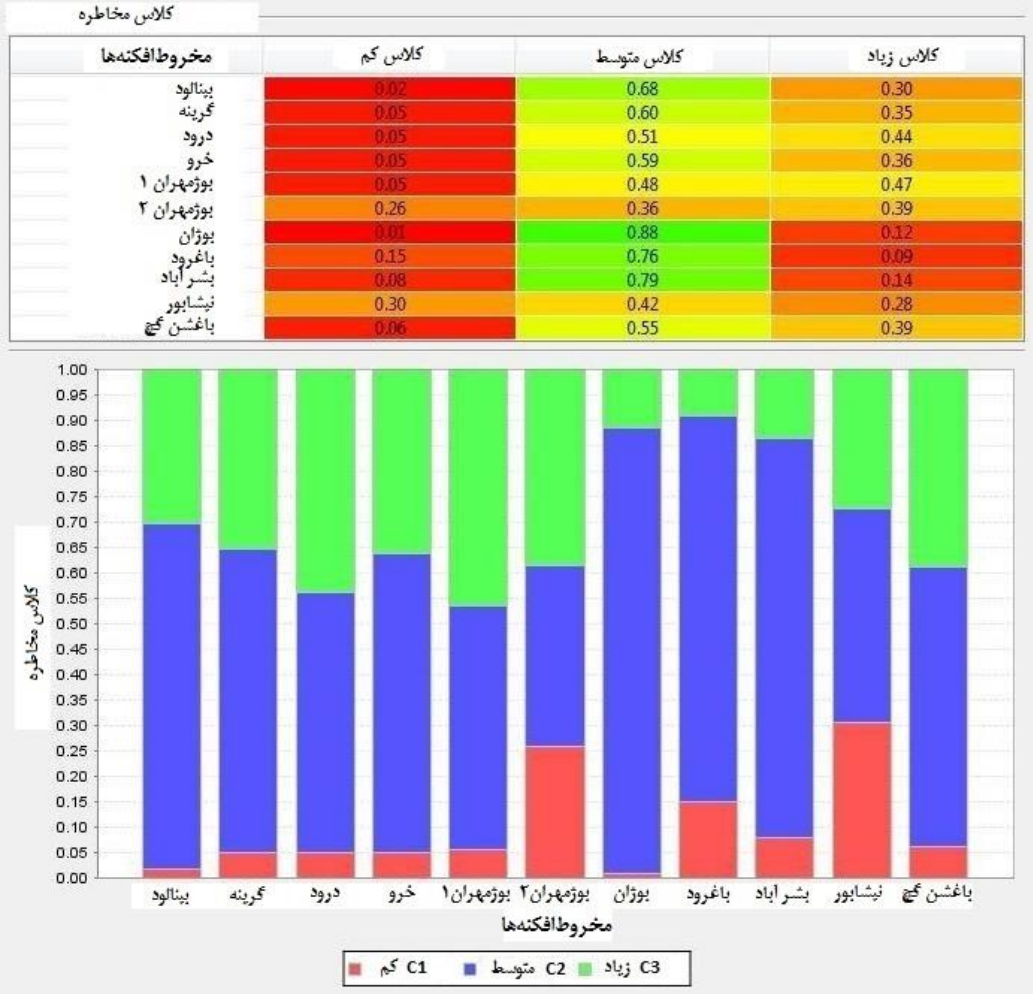
شکل ۴. رتبه‌بندی شاخص مقبولیت بر پایهٔ شاخص‌های مورفوتکتونیک

با توجه به مخروط‌افکنه‌هایی با بیشترین درجهٔ مخاطره‌آمیزی، یعنی بوژمهران ۱، خـرو و درود، بـردار وزن مرکـزی برای آنها بر پایهٔ تأثیر شاخص‌های مورفوتکتونیکی در گزینش‌شان به‌مثابهٔ مخروط‌افکنه‌هایی با بیشترین درجـهٔ مخـاطره اعمال شد. با توجه به نتایج محاسبهٔ بردار وزن مرکزی که در شکل ۵ نمایش داده شده است، مخروط‌افکنهٔ خرو بیشترین تأثیر را از شاخص‌های مورفوتکتونیکی سینوسیتهٔ کوهستان و عدم تقارن حوضه می‌گیرد؛ به‌عبارتی، ایـن دو، مهـم‌تـرین شاخص‌های مورفوتکتونیکی مؤثر بر مخاطره‌آمیز بودن این مخروط‌افکنه‌هاست. این شـرایط بـرای مخـروط‌افکنـهٔ درود، مربوط به شاخص نسبت کف دره به ارتفاع و سینوسیتهٔ کوهستان است. در مخروط‌افکنـهٔ بـوژمهران ۱، سـهم مشـارکت تقریباً یکنواخت و یکسانی برای هر شاخص مورفوتکتونیکی در تأثیر مخاطره‌آمیز بودن توزیع شده اسـت؛ بـه‌عبـارتی، در مخروط‌افکنهٔ بوژمهران ۱، هر چهار شاخص مورفوتکتـونیکی بـه مقـدار تقریبـاً یکنـواختی موجـب انتخـاب آن بـه‌مثابـهٔ مخروط‌افکنهٔ مخاطره‌آمیز شده است.



شکل ۵. بردار وزن مرکزی برای تعیین درجهٔ تأثیر شاخص‌های مورفوتکتونیک بر تشدید مخاطرهٔ مخروط‌افکنه

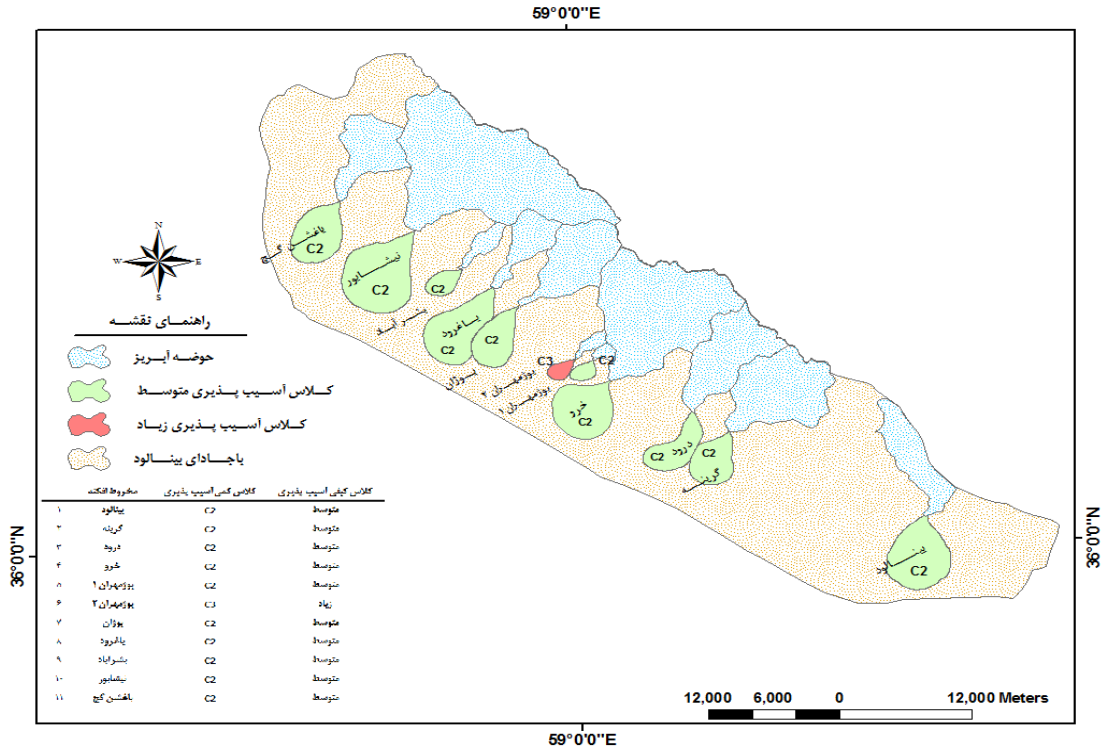
در پایان، همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، طبقه‌بندی آسیب‌پذیری مخروط‌افکنهٔ بوژمهران ۱ که در رتبه‌بندی شاخص مقبولیت، بیشترین مقدار را در رتبهٔ اول دریافت کرده بود، در گروه متوسط (C_2) و زیاد (C_3)، مقادیر به‌نسبت مشابهی را دریافت می‌کند که می‌توان گفت از لحاظ گروه آسیب‌پذیری، در طبقهٔ متوسط رو به بالا قرار می‌گیرد؛ یعنی با بیشترین مقدار مقبولیت از لحاظ تکتونیکی، بیشترین آسیب‌پذیری و در نتیجه بیشترین مخاطره‌ها را به‌خود اختصاص می‌دهد. همچنین، مخروط‌افکنه‌های درود و خرو نیز بیشترین مقدار کمی را در گروه‌های کیفی متوسط و زیاد کسب می‌کند.



شکل ۶. طبقه‌بندی درجهٔ مخاطرهٔ مخروط‌افکنه‌های مورد بررسی بر پایهٔ ارزش شاخص مقبولیت

با توجه به نتایج می‌توان چنین استنباط کرد که مخروط‌افکنه‌هایی که از نظر شاخص مقبولیت در رتبه‌های بالا قرار گرفته است، از لحاظ تکتونیکی نیز فعالیت بیشتری دارد و از طرفی، در طبقه‌بندی نهایی در گروه آسیب‌پذیری زیاد جای می‌گیرد. آن‌گونه که از نمودار شکل ۶ استنباط می‌شود، بیشتر مخروط‌افکنه‌ها از لحاظ آسیب‌پذیری و در نتیجه مخاطره‌آمیز بودن، در گروه آسیب‌پذیری متوسط (C_2) قرار گرفته است. بعد از آن، گروه آسیب‌پذیری زیاد (C_3) سهم

بیشتری را نسبت به گروه آسیب‌پذیری کم (C_1) در اغلب گزینه‌ها به‌خود اختصاص داده است. نکته جالب توجه این است که شهر نیشابور به‌مثابهٔ اصلی‌ترین و متمرکزترین منطقهٔ شهری و سکونتگاهی این محدوده، در گروه آسیب‌پذیری C_2 و بعد C_1 مقبولیت بیشتری را نسبت به گروه آسیب‌پذیری زیاد (C_3) داشته است. مخروط‌افکنهٔ نیشابور از لحاظ مقبولیت در گروه تقریباً متوسط واقع می‌شود؛ این در حالی است که این مخروط‌افکنه با ۳۰ درصد مقبولیت در گروه آسیب‌پذیری کم (C_1)قرار گرفته که از لحاظ شاخص‌های تکتونیک V_f و S_{mf} بیان‌کنندهٔ تکتونیک بسیار فعال است و از نظر شاخص AF نیز رتبهٔ به‌نسبت بالایی را از حیث فعالیت تکتونیک به‌دست آورده است.

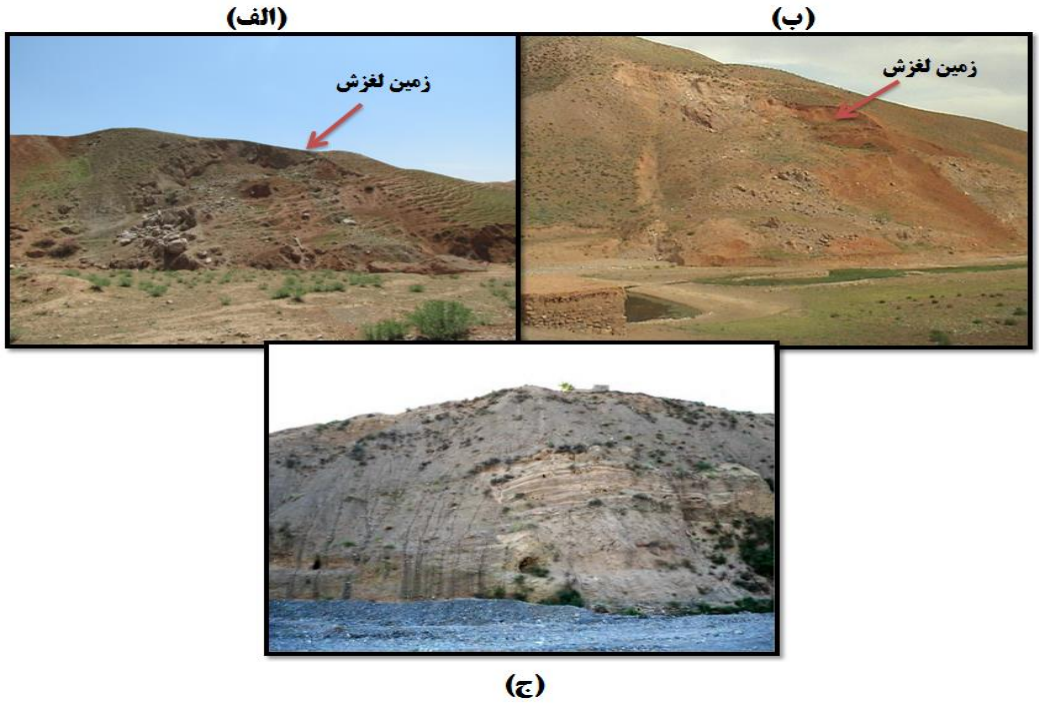


شکل ۷. نقشهٔ درجهٔ مخاطره و گروه آسیب‌پذیری مخروط‌افکنه‌های مورد بررسی در باجادای بینالود جنوبی (منظور از آسیب‌پذیری، درجهٔ آسیب برای سکونتگاه‌های توسعه‌یافته بر روی مخروط‌افکنه‌های پرمخاطره است).

اما باید توجه داشت که مخروط‌افکنهٔ نیشابور، با ضریب مخروط‌گرایی ۱، به‌مثابهٔ مخروط تکامل‌یافته و ایده‌آل و با دارا بودن کمترین شیب در بین دیگر مخروط‌افکنه‌ها، تا حد زیادی توانسته است اثر تکتونیک فعال منطقه را خنثی کند و تأثیر فرایندهای فرسایشی فعال را کاهش دهد و با کمترین اثرپذیری از شاخص‌های تکتونیکی V_f و S_{mf}، در گروه متوسط رو به پایین جای گیرد. همچنین، در یک مورد متضاد، مخروط‌افکنهٔ بوژمهران ۲، با سهم متوسطی از اثرپذیری از شاخص‌هایی نظیر AF، به‌دلیل داشتن شیب زیاد در مساحتی کم و همچنین، فعال بودن جبههٔ کوهستانی با سینوسیته ۱/۵، ظرفیت زیادی برای آسیب‌پذیری از خود نشان داده و بیشترین مقدار را در گروه زیاد (C_3) به‌خود اختصاص داده است. شکل ۷، نقشهٔ نهایی گروه کمی و کیفی مخاطره‌آمیز بودن مخروط‌افکنه‌های بررسی‌شده را از حیث مقدار آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های توسعه‌یافته بر روی آنها نشان می‌دهد.

دربارهٔ مخروط‌افکنهٔ باغشن‌گچ، با وجود مساحت زیاد و شیب به‌نسبت کم مخروط، عدم تکامل مخروط‌افکنه و تداوم

فرایندهای فرسایشی و تکاملی و داشتن سهم زیادی از فعالیت تکتونیکی از منظر سینوسیتهٔ کوهستان و شاخص عدم تقارن، اثر بیشتری را بر آسیب‌پذیری مخروط‌افکنهٔ باغشن‌گچ داشته است؛ تا جایی که از نظر گروه خطرپذیری، در کنار بوژمهران ۲، با مقبولیتی مشابه در رتبهٔ سوم گروه C_3 قرار گرفته است. در نهایت، مخروط‌افکنهٔ بوژمهران ۱ با کسب مقادیر زیادی از درصد مقبولیت، در گروه‌های C_2 و C_3، آسیب‌پذیرترین مخروط در بین ۱۱ مخروط‌افکنهٔ مورد بررسی تعیین شده است. در این منطقه، با توجه به شیب بسیار زیاد در شعاع محدود مخروط‌افکنه و تداوم فرایندهای فرسایشی، امکان آسیب‌پذیری زیادی برای سکونتگاه‌ها وجود دارد. شواهد مورفوتکتونیکی و شرایط ناپایداری دامنه‌ای در مخروط‌افکنه نیز گواهی بر درجهٔ فعالیت و آسیب‌پذیری زیاد سکونتگاه‌های این مخروط است. در شکل ۸، آثار زمین‌لغزش و حرکات دامنه‌ای و وجود گسل‌های فعال در مخروط‌افکنهٔ بوژمهران ۱ نشان داده شده است. این شرایط، هشداری جدی برای ساکنان بوژمهران رقم زده و پژوهش بیشتر در زمینهٔ پاسخ‌های مخروط‌افکنه به فشارهای انسانی و مدیریت کاربری اراضی را ضروری کرده است.



شکل ۸. شواهد فعالیت تکتونیک در مخروط‌افکنهٔ بوژمهران ۱. الف و ب: آثار زمین لغزش؛ ج: آثار گسل روراندگی

نتیجه‌گیری

پژوهش‌های مربوط به تأثیر فعالیت و ناپایداری مخروط‌افکنه‌ها در سکونتگاه‌های توسعه‌یافته بر روی آنها، کمتر بحث و تحلیل شده است. در این پژوهش، بر پایهٔ تحلیل‌های تصادفی با کمک شاخص مقبولیت و وزن مرکزی شاخص‌ها، درجهٔ آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها یا به‌عبارتی، درجهٔ مخاطرهٔ مخروط‌افکنه‌ها بحث شده است. نتایج این پژوهش نشان داد

مخروط‌افکنهٔ بوژمهران ۱، خرو و درود رتبه‌های بالای مقبولیت را دارد و شاخص‌های سینوسیتهٔ کوهستان و نسبت کف دره به ارتفاع تأثیر بیشتری نسبت به دیگر شاخص‌های مورفوتکتونیکی در کسب این مقبولیت داشته است؛ اگرچه برای مخروط‌افکنهٔ بوژمهران ۱، این نسبت تا حدودی در همهٔ شاخص‌ها، توزیع یکسانی دارد. همچنین، مخروط‌افکنهٔ بوژمهران ۱، درود، خرو و بوژمهران ۲ درجهٔ بالا یا به‌عبارتی، گروه مخاطرهٔ (آسیب‌پذیری) شدید را کسب کرد. به‌طور کلی، بیشتر مخروط‌افکنه‌های منطقهٔ این پژوهش، در گروه خطر متوسط قرار دارد که توجه به مدیریت سکونتگاه‌های قرار گرفته در آنها را ضروری می‌سازد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود فرض می‌دانند از جناب آقای دکتر ابوالفضل بهنیافر، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد و جناب آقای جعفر رکنی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، برای در اختیار گذاشتن اطلاعات و داده‌های موجود از منطقهٔ بررسی‌شده، کمال سپاس را داشته، قدردانی کنند.

منابع

بهنیافر، ا. (۱۳۸۴). **کاربری زمین و ناپایداری سطوح مخروط‌افکنه‌ای در دامنه‌های جنوبی بینالود (مطالعهٔ موردی: مخروط‌افکنهٔ گرینهٔ نیشابور)**، مجلهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، شمارهٔ ۴.

حاجی‌آبادی، ا.؛ قنبرزاده، هـ و بهنیافر، ا. (۱۳۸۷). **ارتباط ناپایداری سطوح مخروط‌افکنه‌ای و عوامل انسانی در دامنه‌های جنوبی بینالود (مطالعهٔ موردی مخروط‌افکنهٔ بوژان نیشابور)**، فصلنامهٔ فضای جغرافیایی، سال ۸، شمارهٔ ۲۴، ص. ۵۱-۷۱.

حسین‌زاده، س.ر. (۱۳۸۲). **تعیین پایداری و ناپایداری سطوح مخروط‌افکنه‌ای در بیابان‌های داخلی ایران**، مجلهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، شمارهٔ ۱، ص. ۱۸۳-۲۰۸.

رامشت، م.ح. و شاه‌زیدی، س.س. (۱۳۸۷). **نقش گسل‌ها در جابه‌جایی کانون‌های واگرایی متواتر و تکامل مخروط‌افکنهٔ درختنگان در کواترنر**، مجلهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، شمارهٔ ۱۰، ص. ۱-۲۰.

رجبی، م.و.؛ روستایی، ش. و مقامی مقیم، غ.ر. (۱۳۸۵). **تحلیل فعالیت‌های نئوتکتونیکی در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ در شمال شرق ایران**، مجلهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، شمارهٔ ۸، ص. ۱۷۷-۱۹۱.

عنابستانی، ع.ا. و صالحی، ط. (۱۳۸۹). **سنجش پایداری سکونتگاه‌ها در مخروط‌افکنه‌ها (مطالعهٔ موردی: دشت جوین)**، فصلنامهٔ جغرافیا و مطالعات محیطی، سال ۱، شمارهٔ ۳، ص. ۸۵-۹۴.

فتاحی، م.؛ رستمی مهربان، س.، طالبیان، م.، بحرودی، ع.، هالینگورث، ج. و والکر، ر. (۱۳۹۰). **بررسی فعالیت گسل نیشابور در استان خراسان رضوی**، مجلهٔ علوم زمین، سال ۲۰، شمارهٔ ۷۹، ص. ۵۵-۶۰.

مقصودی، م. (۱۳۸۷). **بررسی عوامل مؤثر در تحول ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها (مطالعهٔ موردی: مخروط‌افکنهٔ جاجرود)**، فصلنامهٔ پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شمارهٔ ۶۵، ص. ۷۳-۹۲.

مقصودی، م.؛ باقری، س. و مینایی، م. (۱۳۸۸). **بررسی نقش تکتونیک در شکل‌گیری و تحول مخروط‌افکنه‌ها (مطالعهٔ موردی: مخروط‌افکنه‌های دامنهٔ طاقدیس قلاجه)**، مجلهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، شمارهٔ ۱۲، ص. ۹۹-۱۲۴.

مقصودی، م. و محمدنژاد آروق، و. (۱۳۹۰). **ژئومورفولوژی مخروط‌افکنه‌ها**، چاپ اول، تهران: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

یمانی، م. و مقصودی، م. (۱۳۸۲). **نقش تکتونیک و تغییرات اقلیم در تحول مخروط‌افکنه‌ها (مطالعهٔ موردی مخروط‌افکنه‌های چالهٔ سیرجان)**، مجلهٔ بیابان، شمارهٔ ۴۵، ص. ۱۳۷-۱۵۱.

یمانی، م.؛ مقصودی، م.، قاسمی، م.ر. و محمدنژاد، و. (۱۳۹۱). **شواهد مورفولوژیکی و مورفومتریکی تأثیر تکتونیک فعال بر مخروط‌افکنه‌های شمال دامغان**، فصلنامهٔ پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۴، شمارهٔ ۲، ص. ۱-۱۸.

Annabestani, A.A., and Salehi, T., 2010, **Evaluation of settlement Stability in Alluvial fans (Case Study: jovein Plain)**, Geography & Environmental Studies, No. 3, PP. 85-93.

Aquino, D., Ortiz, I., Timbas, N., Gacusan, R., Montalbo, K., Eco, R. and Lagmay, A., 2013, **Alluvial Fan Delineation from SAR and LIDAR-Derived Digital Elevation Models in the Philippines**, AGU Fall Meeting Abstract, Vol. 1, PP. 1631.

Behniyafar A., 2005, **Landuse and instability surface of alluvial fans in Southern slopes of Binalood (Case Study: Garine Alluvialfan Neyshaboor)**, Geography & Regional Development, No. 4.

Bull, W.B. and McFadden, L.D., 1977, **Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California, in Doehring, D.O. (Ed)**, Geomorphology in Arid Regions, Proceeding of Eighth Annual Geomorphology Symposium, State University of New York, Binghamton, PP. 115-138.

Burbank, D.W. and Anderson, R.S., 2001, **Tectonic Geomorphology**, Blackwell Science, USA.

Chorley, R.J., Schumm, S.A. and Sugden, D.E., 1985, **Geomorphology**, Methuen & Co, New York.

Fattahi M., Rostami mehraban S., Talebian, M., Bahroudi, A., Hollingsworth J. and Walker R., 2011, **An Investigation into the Activity of the Neyshabour Fault, Khorasane Province, Iran**, Geosciences, No. 79, PP. 55-60.

Gilbert, G.K., 1877, **report on the geology of the henry mountains**, US Department of the interior, Washington DC.

Hajiabadi A., ghanbarzadeh, H. and Behniyafar, A., 2008, **The Relationship between instability surface of alluvial fan and anthropogenic factors in Southern slopes of Binalood (Case Study: Boojan Alluvial fan, Neyshabour)**, Geographic Space, No. 24, PP. 51-71.

Harvey, A.M., 2002, **The role of base-level change in the dissection of alluvial fans: case studies from southeast Spain and Nevada**, Geomorphology, Vol. 45, PP. 67-87.

Hoseinzadeh S.R., 2003, **Determination of Stability and instability Surfaces of Alluvial fans in the Iranian Desert**, Geography & Regional Development, No. 1, PP. 183-208.

Keller, E.A., 1986, **Investigation of active tectonics: use of surficial Earth processes, in Wallace, R.E. (Ed), Active Tectonics, Studies in Geomorphology**, Washington DC: National Academy Press.

Liu, J.F., You, Y. and Chen, X.C., 2012, **Debris Flow Hazards and its Mitigation Works in Xianbuleng Gully, Jinchuan County, Sichuan Province, China**, Applied Mechanics and Materials, Vol. 166, PP. 2769-2773.

Maghsoudi, M., 2008, **The Study of effecting factors in Geomorphic Evolution of Alluvial fans (Case Study: Jajroud Alluvial fan)**, Physical Geography Researches, No. 65, PP. 73-92.

Maghsoudi, M., Bagheri, S. and Minaiy, M., 2009, **Study of The Role of Tectonic on Formation and Evolution of Alluvial fans (Case Study: Alluvial fans of Ghalaje Anticline Slopes)**, Geography & Regional Development, No. 12, PP. 99-124.

Maghsoudi, M. and Mohammadnejad Aroogh, V., 2011, **Geomorphology of Alluvial fans**, Tehran: University of Tehran Press.

Marcato, G., Bossi, G., Rivelli, F. and Borgatti, L., 2012, **Debris flood hazard documentation and mitigation on the Tilcara alluvial fan (Quebrada de Humahuaca, Jujuy province, North-West Argentina)**, Natural Hazards and Earth System Science, Vol. 12, PP. 1873-1882.

Rajabi, M.V., Roostayi, Sh. and Maghami moghim, Gh.R., 2006, **Analaysis of Neotectonic activities in Southern slopes of Aladagh Heights in Northeast of Iran**, Geography & Regional Development, No. 8, PP. 177-191.

Ramesht, M.H. and Shahzeidi, S.S., 2008, **The Role of Faults in Relocation Frequent Divergence Centers and Evolution of Derakhtangan Alluvial fan in Quaternary** , Geography & Regional Development, No. 10, PP. 1-20.

Santangelo, N., Santo, A., Di crescenzo, G., Foscari, G., Liuzza, V., Sciarrotta, S. and Scorpio, V., 2011, **Flood susceptibility assessment in a highly urbanized alluvial fan: the case study of Sala Consilina (southern Italy)**, Natural Hazards and Earth System Science, Vol. 11**,** PP. 2765-2780.

Sarvati, M., 1986, **Geomorphological Investigations in the Kashmar Region NE/Iran**, Germany: University of Wurzburg.

Yamani, M. and Maghsoudi, M., 2003, **The Role of Tectonic and Climate Changes in the Evolution of Fans A Case Study: Fans Around Sirjan Playa**, Desert Journal, No. 45, PP. 137-151.

Yamani, M., Maghsoudi, M., Ghasemi, M.R. and Mohammadnejad, V., 2012, **Morphologic and Morphometric Evidence for Active Tectonic Effects on Alluvial Fans in North Damghan**, Physical Geography Researches, No. 2, PP. 1-18.