

کاربرد مدل‌های تاپسیس و فازی در پهنه‌بندی خطر حرکات ریزشی (مطالعه موردی: شهرستان ماکو)

امیر کرم - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه خوارزمی
آیلا قلی‌زاده* - کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه پیام نور، مرکز ماکو
مرضیه آقاعلیخانی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی
حمیده افشارمنش - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۸/۱۳

چکیده

ریزش سنگ نوع رایجی از زمین‌لغزش‌های دامنه‌ی مناطق کوهستانی است که به دلیل ناگهانی بودن، سبب خسارت جانی و مالی می‌شود، به همین باید آنها را مورد شناسایی قرار داد و از لحاظ میزان خطر با روش‌های مناسب پهنه‌بندی کرد. هدف از انجام این پژوهش، پهنه‌بندی خطر ریزش در شهرستان ماکو با استفاده از مدل‌های فازی و تاپسیس و همچنین مقایسه و معرفی مناسب‌ترین مدل با کمک داده‌های میدانی در شناسایی این پهنه‌ها است. به منظور اجرای این هدف ده پارامتر، شامل اختلاف دما، بارش، یخبندان، ارتفاع، شیب، زمین‌شناسی، پوشش زمین، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و داده‌های میدانی، برای تجزیه و تحلیل ریزش‌های منطقه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که مدل گامای ۹/۰ مناسب‌ترین پهنه‌بندی را از حرکات ریزش ارائه می‌دهد. بر اساس نقشه به‌دست آمده از این مدل، سطوح با پتانسیل بالای حرکات دامنه‌ای دارای شیبی بیش از ۳۰ درصد و ارتفاع حدود ۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰ متر هستند و اغلب از سنگ آهک تشکیل شده‌اند و در مجموع حدود ۲۸ درصد محدوده را پوشش داده‌اند.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، تاپسیس، ریزش، فازی، ماکو.

مقدمه

ریزش سنگ شامل حرکت ناگهانی یا تند بلوک‌های لق شده یا مجموعه‌ای از سنگ‌های سخت جدا شده از دیواره‌های سنگی پرشیب است که به‌طور معمول در راستای سطوح لایه‌بندی درزه‌ها و مناطق گسلی یا سطوح گسلی رخ می‌دهد. چایو، تانگ و ونگ (۲۰۰۴-الف). براساس برآوردهای انجام گرفته، ۱۰ درصد جمعیت جهان در نواحی کوهستانی زندگی می‌کنند و ۳۶ درصد از اراضی جهان در نواحی کوهستانی واقع شده‌اند که به‌دلیل افزایش جمعیت جهان، فعالیت‌های انسانی در نواحی کوهستانی دور از دسترس نیز افزایش چشمگیر یافته است چایو، ونگ، لی یو و لی (۲۰۰۴-ب). شهرستان ماکو به‌دلیل داشتن ویژگی‌هایی چون، توپوگرافی کوهستانی، شرایط آب‌وهوایی ویژه، قرارگرفتن در منطقه مستعد زلزله، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، از مستعدترین مناطق برای وقوع حرکات دامنه‌ای، از جمله ریزش محسوب می‌شود. در سال‌های گذشته وقوع این حرکات به شهر، روستاها و تأسیسات انسانی خسارات جانی و مالی فراوانی وارد کرده است. حادثه لغزش بزرگ در روستای پره خودیک شهرستان ماکو در ۱۹ اردیبهشت ۱۳۴۷، سقوط تخته‌سنگ‌های عظیم از ارتفاعات شهر ماکو در سال ۱۳۸۷ به‌دنبال بارش رگباری و پی‌درپی^۱، همچنین سقوط سنگ‌های بزرگ در اثر ذوب تدریجی برف‌ها و سست‌بودن سازندهای زیرین^۲ در سال ۱۳۷۲، از جمله این حوادث هستند. همچنین به‌لحاظ نیاز ساکنان منطقه به فعالیت‌های توسعه‌ای، مانند جاده‌سازی، کشاورزی و سایر فعالیت‌های عمرانی، به‌ویژه در مناطق مستعد، حرکات دامنه‌ای موجب تشدید وقوع این رخداد شده است. از این رو، رشد سریع جمعیت و گسترش شهرها در نواحی کوهستانی ضرورت پهنه‌بندی خطر حرکات دامنه‌ای را در این شهرستان آشکار می‌کند. شکل‌های ۱ و ۲ نمونه‌ای از وقوع حرکات دامنه‌ای را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. بنابراین شناخت نواحی مستعد وقوع ریزش، یکی از گام‌های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای است.



شکل ۲. وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱. وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه

۱. روزنامه آوای ماکو، شماره ۲۰۹، ۳۱ مردادماه ۱۳۸۷.

۲. روزنامه همشهری، یکشنبه ۱۲ دی ماه ۱۳۷۲ و روزنامه کیهان، پنجشنبه ۱۲ اسفندماه ۱۳۷۲.

در این مطالعه تلاش شده است تا با کمک مدل فازی و تاپسیس، علاوه بر شناسایی سطوح با خطر بالای ریزش، کارایی هریک از مدل‌های مورد مطالعه در پهنه‌بندی حرکات دامنه‌ای سنجیده شود. تا کنون در زمینه پهنه‌بندی خطر ریزش، مطالعات بسیاری در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود.

مارکواینز، مندزدوارت، فاریاس و جیمزسانجز (۲۰۰۳) به کمک متغیرهای زیست‌محیطی و زمین‌شناسی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، به پیش‌بینی خطر ریزش در کوه صخره‌ای کانتابریان^۱ در شمال اسپانیا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که یک مدل وابسته به نقشه‌کشی برای پیش‌بینی خطر ریزش در کوه‌های صخره‌ای، با تعداد کمی از متغیرها به دست می‌آید. چایو، ونگ، لی یو و لی (۲۰۰۳: ۳۸۳) به تجزیه و تحلیل و پهنه‌بندی خطر ریزش‌های پنجاه سال گذشته هنگ‌کنگ^۲ پرداختند و بین ریزش و بارش روزانه ارتباط مستقیمی یافتند و یک آستانه بارش روزانه حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر را برای ریزش‌های منطقه معرفی کردند. تونسل اوغلو و زورلو (۲۰۰۹: ۹۶۳) به کمک مشاهدات میدانی و با استفاده از نرم‌افزار Rackfall V.4 نقشه پهنه‌بندی وقوع ریزش قلعه اورتا حصار^۳ در منطقه کاپادوکیه^۴ در کشور ترکیه را ترسیم کردند. چوی، پارک، دوارت و مارکوئیز (۲۰۰۹: ۶۹) با استفاده از مدل بارتون و نسخه چهارم نرم‌افزار Rackfall به حل مشکل خطر ریزش ایالت سوک‌گای اوراک^۵ در کره جنوبی پرداختند و بیان کردند ۸۰ درصد تخته‌سنگ‌های در حال سقوط، دارای وزنی حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم هستند، میانگین سرعت آنها ۸/۴ متر در ثانیه بوده و حداکثر انرژی جنبشی این سنگ‌ها ۱۲/۵ کیلوژول است. دوارت و مارکواینز (۲۰۰۲) توزیع فضایی ریزش در مقیاس منطقه‌ای را با استفاده از داده‌های توپوگرافیکی در سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه کردند و از ترکیب ریزش‌های منطقه با نقشه زمین‌شناسی و مدل رقومی زمین، نتیجه گرفتند رابطه قوی بین ریزش و سنگ‌شناسی، ارتفاع، شیب، دیواره‌های سنگی و تراکم آبراهه‌ها وجود دارد. لان، مارتین، ژویو و لیم (۲۰۱۰) برای ارزیابی خطر ریزش در امتداد راه‌آهن کانادا از داده‌های LIDAR^۶ مدل سه‌بعدی و از سوابق ریزش‌های رخ داده، برای درجه‌بندی فرایندهای فیزیکی بهره گرفتند. آنها مدل رقومی ارتفاع با رزولوشن بالای حاصل از داده‌های LIDAR را روشی جامع در این زمینه معرفی کردند. پرت، استفل، کیین هولز (۲۰۰۶: ۲۱۹) به مطالعه فعالیت مکانی و زمانی ریزش در مناطق جنگلی کوه‌های آلپ سوئیس پرداختند و نتیجه گرفتند وقوع فصلی ریزش در طول فصل خواب درختان، در اوایل بهار به اوج می‌رسد. علاوه بر این، وقوع ریزش با درجه حرارت تابستان و زمستان در ارتباط است، ولی هیچ همبستگی‌ای با بارش سالانه یا فصلی ندارد. سابویا، آلوس و پینتو (۲۰۰۶: ۱۴) برای ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ریودوژانیروی برزیل، از مدل منطق فازی استفاده کرد. آنها به این نتیجه رسیدند که چون در این مدل کارشناس می‌تواند بین صفر تا یک طبقات عوامل مختلف را وزن‌دهی کند، بنابراین نتایج بهتری نسبت به سایر مدل‌ها به دست می‌آید.

1. Cantabrian
2. Hong Kong
3. Ortahisar Castle
4. Cappadocia
5. Seokgayeo
6. Light Detection And Ranging

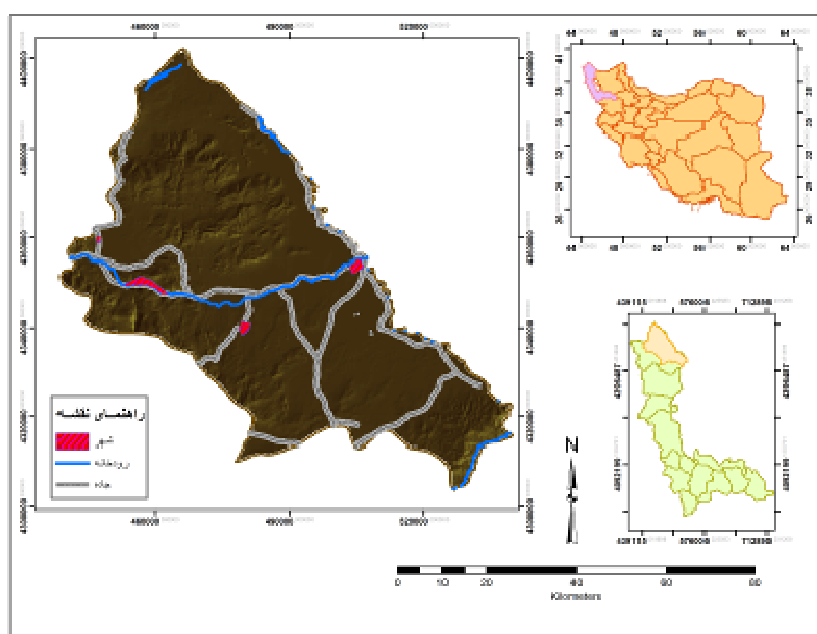
در کشور ایران مطالعات انجام شده در زمینه پهنه‌بندی حرکات دامنه‌ای، جوان بوده و شروع جدی آن به اوایل سال‌های ۸۰۱۳-۱۳۷۰ بازمی‌گردد. در ادامه به برخی از مطالعات در داخل کشور اشاره می‌شود. قلی‌زاده (۱۳۸۹: ۱۴۸) پتانسیل ریزش در حوضه زنگبار شهرستان ماکو را به کمک ۱۸ پارامتر و مشاهدات میدانی و استفاده از مدل فازی، بررسی کرد. قلی‌زاده در این مطالعه نتیجه گرفت که عملگر گاما $0/7$ ، مناسب‌ترین عملگر در تعیین توانمندی ریزش در حوضه مورد مطالعه است. بلادپس (۱۳۸۷: ۱) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه ماکو (ماکو - دشت بازرگان) به روش آنبالاگان پرداخته و به این نتیجه رسید که دامنه‌های شمالی چرکین‌داغ مشرف به دشت بازرگان، بالاترین خطر لغزش را به خود اختصاص داده است. شیرزادی، سلیمانی، حبیب‌نژاد روشن و چپی (۱۳۸۹) با هدف مقایسه دو مدل آماری، رگرسیون لاجستیک و مدل احتمالاتی نسبت فراوانی، به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش در گردنه صلوات واقع در شرق سندرچ پرداختند و نتیجه گرفتند، مدل آماری رگرسیون لاجستیک کارایی بهتری برای منطقه دارد. قهرودی تالی (۱۳۸۴: ۱۱۴) به پهنه‌بندی قلمروهای هوازدگی سنگ‌ها در ایران به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخت و به این نتیجه رسید که تنوع شرایط هوازدگی در ایران، نیاز به پژوهش‌هایی در مقیاس ناحیه‌ای دارد. اسفندیاری درآبادی و هاشمی (۱۳۹۱: ۱۴۵) با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی به پهنه‌بندی خطر ریزش در مسیر ارتباطی پناه اقدام کردند و اظهار داشتند، عوامل انسانی از جمله تغییر کاربری اراضی، کاهش پوشش گیاهی، تغییر در هندسه شیب دامنه‌ها و احداث راه‌های ارتباطی روی دامنه، سبب وقوع ریزش در منطقه است. کرمی (۱۳۸۳: ۶۲) طی مطالعه فرآیندهای هوازدگی مناطق کوهستانی آذربایجان بر اساس بازدید میدانی، بررسی عکس‌های هوایی، روش‌های کمی و تجربی، به این نتیجه رسید که در ناپایداری دامنه‌ها و وقوع حرکات توده‌ای مواد در دامنه‌های ارتفاعات آذربایجان، هوازدگی مکانیکی سهم عمده‌ای دارد.

در این راستا ضرورت دارد با انجام پهنه‌بندی و ارزیابی پتانسیل خطر ریزش و تعیین مدل مناسب برای پهنه‌بندی با استفاده از مدل فازی و تاپسیس در منطقه ماکو، ضمن ارائه راهکارهایی به منظور کاهش خسارات، تمهیدات مناسبی برای برنامه‌ریزی محیطی و منطقه‌ای در شهرستان ماکو فراهم شود.

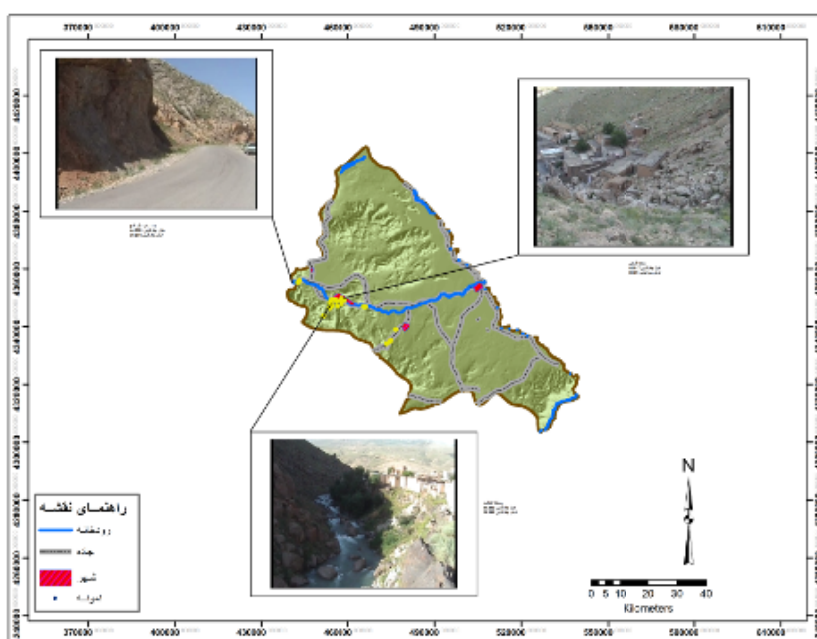
منطقه مورد مطالعه

شهرستان ماکو بین طول شرقی ۴۴ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۴ درجه و ۵۲ دقیقه و عرض شمالی ۳۹ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۶ دقیقه از توابع استان آذربایجان غربی در شمال غرب‌ترین نقطه کشور قرار دارد (شکل ۳). وسعت آن ۴۱۸۲ کیلومتر است که حدود ۲۲/۱ درصد کل وسعت آذربایجان غربی را شامل می‌شود. از نظر ارتفاعی در سطوح نزدیک به ۴۵۰۰-۴۰۰۰ متر قرار دارد. این منطقه از نظر شرایط طبیعی، دارای آب و هوای نیمه‌خشک با تابستان گرم و زمستان سرد بوده و از اختلاف دمای سالانه بالایی برخوردار است. همچنین میانگین روزهای یخبندان در ایستگاه هواشناسی ماکو ۱۱۶/۵ روز گزارش شده است. از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در دوره ترشیاری، در نتیجه فشارهای وارده بر قفقاز و آسیای صغیر شکل گرفته و از لحاظ تقسیم‌بندی جزء زون البرز آذربایجان محسوب می‌شود. با توجه به کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه و همچنین وضعیت اقلیمی و زمین‌شناسی که اغلب جنس سنگ‌های منطقه

از نوع سنگ آهک است، انواع حرکات در این منطقه وجود دارد که از آن دسته ریزش و زمین لغزش فعال‌ترین پدیده‌های دینامیکی در دامنه‌ها هستند و در میان شهرهای این شهرستان، شهر ماکو بیشتر از شهرهای دیگر در معرض وقوع رخدادهای ناشی از خطر ریزش است. بنابراین برای مطالعه این فرایندها در منطقه مورد نظر، حدود ۳۶ نمونه از ریزش‌های منطقه در نتیجه مشاهدات میدانی با کمک دستگاه GPS به همراه عکس و مختصات جغرافیایی این نقاط برداشت شد. در جدول ۱ و شکل ۴، اطلاعات مربوط به بازدیدهای میدانی از منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۳. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان



شکل ۴. مشاهدات میدانی مربوط به چند حرکت توده‌ای

جدول ۱. موقعیت نقاط ریزشی برداشت شده

ردیف	نام منطقه جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	نزدیک سه راهی رند	۳۹/۲۷	۴۴/۶۰۹
۲	بین جاده بازرگان و پارک جنگلی	۳۹/۲۷۱	۴۴/۶۰۲
۳	روبه روی پارک جنگلی	۳۹/۲۷	۴۴/۶۰۸
۴	نزدیک پمپ گاز ورودی شهر ماکو	۳۹/۲۷	۴۴/۶۰۵
۵	قزبعلی	۳۹/۲۹۱	۴۴/۵۲۴
۶	قزبعلی ۲	۳۹/۲۹	۴۴/۵۱۷
۷	قره خجلیق	۳۹/۲۸۵	۴۴/۵۱
۸	قبرستان قره خجلیق	۳۹/۲۸۶	۴۴/۵۱۴
۹	قاسم‌آباد	۳۹/۲۸۹	۴۴/۵۱۳
۱۰	قاسم‌آباد ۲	۳۹/۲۹۲	۴۴/۵۱۲
۱۱	انتهای قاسم باد	۳۹/۲۹۳	۴۴/۵۱۶
۱۲	منطقه مسجد ابوالفضل	۳۹/۲۸	۴۴/۵۱۳
۱۳	اول بازار	۳۹/۲۹۶	۴۴/۵۱۳
۱۴	اول خیابان امیر کبیر	۳۹/۲۹۴	۴۴/۵۰۸
۱۵	ختیج‌خان	۳۹/۲۹۴	۴۴/۵۱
۱۶	اول محله	۳۹/۲۹۴	۴۴/۵۰۵
۱۷	آخر بلوار	۳۹/۲۹۲	۴۴/۴۸۲
۱۸	حسینیة بلوار	۳۹/۲۹۳	۴۴/۴۷۲
۱۹	معرفت	۳۹/۲۹	۴۴/۴۶۴
۲۰	بلوار شهید جواد قنبری	۳۹/۲۸۸	۴۴/۴۶۴
۲۱	روبه روی پمپ گاز قره‌سو	۳۹/۲۸۹	۴۴/۴۶۲
۲۲	قره کورپی	۳۹/۲۸۷	۴۴/۴۶۵
۲۳	خیابان شهید مدنی	۳۹/۲۸۷	۴۴/۴۸۸
۲۴	جاده شوط - چالدران	۳۹/۱۵۵	۴۴/۶۹۳
۲۵	جاده شوط - چالدران ۲	۳۹/۱۶۱	۴۴/۷۰۵
۲۶	جاده شوط - چالدران ۳	۳۹/۱۶۴	۴۴/۷۰۷
۲۷	جاده شوط - چالدران ۴	۳۹/۱۶۵	۴۴/۷۱
۲۸	جاده شوط - چالدران ۵	۳۹/۲	۴۴/۷۳
۲۹	ورودی روستای قلعه جوق - رودخانه زنگمار	۳۹/۲۸۲	۴۴/۴۶۲
۳۰	روستای قلعه جوق	۳۹/۲۷۴	۴۴/۴۶۹
۳۱	انتهای روستای قلعه جوق	۳۹/۲۷۱	۴۴/۴۹۱
۳۲	جاده ماکو - بارون	۳۹/۲۶۷	۴۴/۴۶۱
۳۳	جاده ماکو - بارون ۲	۳۹/۲۶۵	۴۴/۴۶۱
۳۴	جاده ماکو - بارون ۳	۳۹/۲۴۱	۴۴/۴۳۵
۳۵	باشکند	۳۹/۳۵	۴۴/۳۳۹
۳۶	جاده باشکند - قرمزلیق	۳۹/۳۴۵	۴۴/۳۳۳

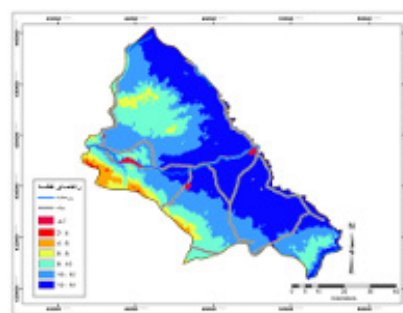
مواد و روش‌ها

الف) داده‌ها و لایه‌های مورد استفاده

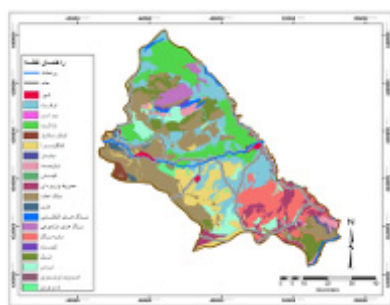
با توجه به موضوع و هدف پژوهش که پهنه‌بندی خطر ریزش در سطح شهرستان ماکو است و به دلیل ویژگی‌های آب و هوایی منطقه (باران‌های شدید، اختلاف فصلی و شبانه‌روزی دما، وقوع یخبندان‌های مکرر و ذوب برف‌ها) و وجود گسل‌های فعال و غیر فعال و ویژگی‌های زمین‌شناسی (وجود سازند قم که عمدتاً به صورت آهک و کنگلومرا در منطقه دیده می‌شود، ارتفاع و شیب زیاد و همسو بودن شیب زمین‌شناسی و شیب توپوگرافی که سبب می‌شود مواد هوازده ناشی از یخ‌شکافتگی و دما شکافتگی تحت تأثیر شیب دامنه‌ها به پایین دست حرکت کرده و در جبهه کوهستان که شرایط مساعد انباشت وجود دارد، روی هم انباشته شوند) و نیز مطالعات انجام‌شده شادفر و یمانی (۱۳۸۳)، عبادی نژاد (۱۳۸۶: ۳۹)، ایلانلو، مقیمی و ثروتی (۱۳۸۸)، بهشتی راد، فیض نیا، سلاجقه و احمدی (۱۳۸۸)، داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی اختلاف دما (شکل ۵)، ارتفاع (شکل ۶)، بارش (شکل ۷)، زمین‌شناسی (شکل ۸)، شیب (شکل ۹)، فاصله از جاده (شکل ۱۰)، فاصله از آبراهه (شکل ۱۱)، فاصله از گسل (شکل ۱۲)، پوشش زمین (شکل ۱۳) و یخبندان (شکل ۱۴)، پارامترهایی هستند که بر پهنه‌بندی ریزش در شهرستان ماکو مؤثر بوده و برای انجام این پژوهش انتخاب شده‌اند. برای تهیه این لایه‌ها از داده‌ها و اطلاعات اولیه، شامل نقشه توپوگرافی منطقه ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۸۰ ETM⁺ لندست، داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی مراغه، تبریز، جلفا، خوی، ماکو و ارومیه استفاده شده است. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی و اجرای مدل، از نرم‌افزار ArcGIS با توجه به قابلیت آن در تحلیل داده‌های مکانی، کمک گرفته شده است.



شکل ۶. نقشه سطوح ارتفاعی منطقه



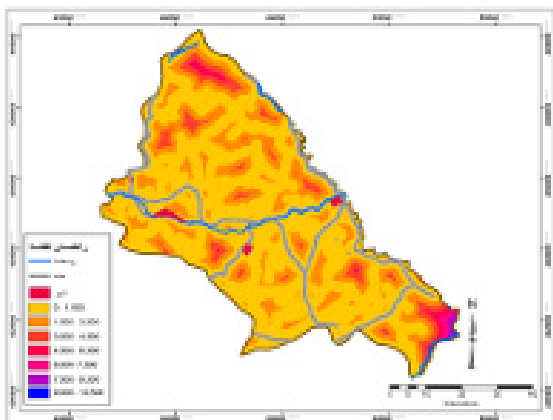
شکل ۵. نقشه اختلاف دمایی منطقه



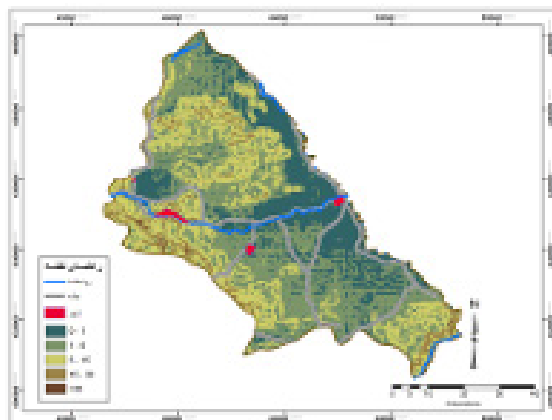
شکل ۸. نقشه زمین‌شناسی منطقه



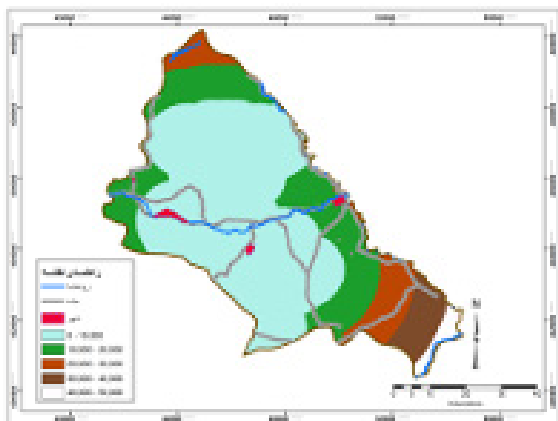
شکل ۷. نقشه بارش سالانه منطقه



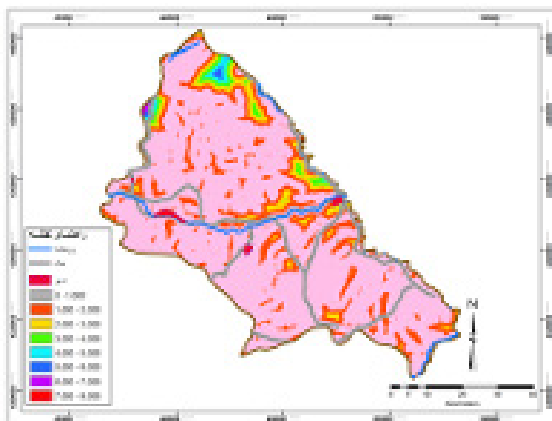
شکل ۱۰. نقشه فاصله از جاده منطقه



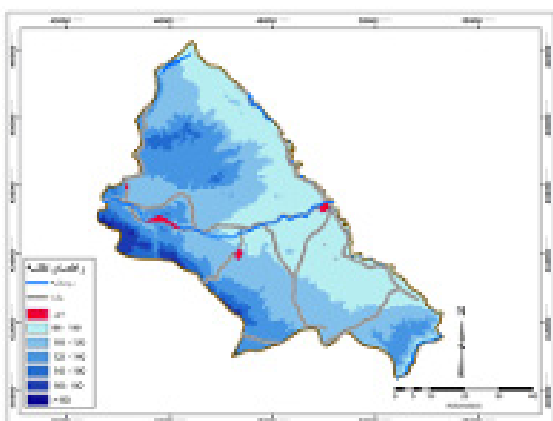
شکل ۹. نقشه شیب منطقه



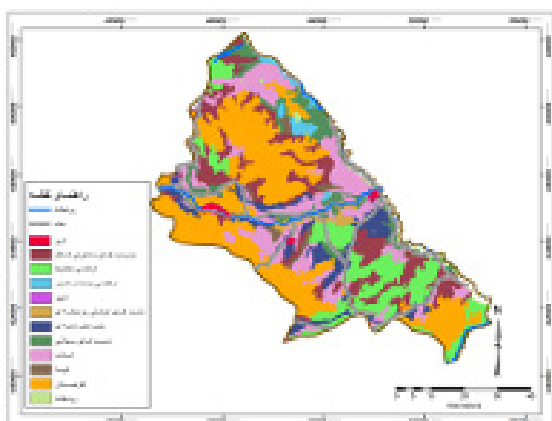
شکل ۱۲. نقشه فاصله از گسل منطقه



شکل ۱۱. نقشه فاصله از آبراهه منطقه



شکل ۱۴. نقشه تعداد روزهای یخبندان منطقه



شکل ۱۳. نقشه پوشش زمین منطقه

ابتدا لایه DEM منطقه بر اساس نقشه توپوگرافی منطقه تهیه شد، سپس با کمک این لایه، لایه‌های شیب و ارتفاع با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS آماده گردید. لایه فاصله از آبراهه نیز بر مبنای لایه آبراهه‌های استخراج شده از نقشه توپوگرافی به دست آمد. همچنین برای تهیه لایه فاصله از گسل و زمین‌شناسی، از نقشه زمین‌شناسی بهره برده شده است، پوشش زمین در منطقه با کمک تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. به منظور آماده‌سازی لایه‌های اقلیمی، مانند یخبندان، اختلاف دما و بارش، ابتدا از طریق همبستگی (رابطه ۱، ۲، ۳)، رابطه خطی این پارامترها با ارتفاع در نرم‌افزار SPSS به دست آمد و سپس در نرم‌افزار ArcGIS با اعمال روی DEM منطقه، این لایه‌ها نیز به دست آمدند و برای اجرای مدل‌ها در نرم‌افزار ArcGIS از ابزار Spatial Analyst دستور Raster Calculator استفاده شده است.

$$y = 68/56 + 0/158x \quad R = 0/889 \quad \text{رابطه همبستگی بارش و ارتفاع} \quad \text{رابطه ۱)}$$

$$y = 54/42 + 0/046x \quad R = 0/96 \quad \text{رابطه همبستگی یخبندان و ارتفاع} \quad \text{رابطه ۲)}$$

$$y = 17/29 - 0/005x \quad R = 0/723 \quad \text{رابطه همبستگی اختلاف دما و ارتفاع} \quad \text{رابطه ۳)}$$

برای تعیین رابطه بین پارامترها با ریزش، همه لایه‌ها به صورت جداگانه با مشاهدات میدانی منطقه همپوشانی شد، سپس معکوس و مستقیم‌بودن روابط آنها با ریزش مشخص شد. با توجه به اینکه اختلاف دما سبب هوازگی در سنگ‌ها می‌شود، برای تعیین رابطه دما با ریزش‌های منطقه، مشاهدات میدانی با لایه اختلاف دما همپوشانی شد و نتیجه حاصل از این همپوشانی نشان داد که اختلاف دمای منطقه با ریزش، رابطه معکوس دارد، هرچه اختلاف دما در منطقه کمتر باشد، هوازگی در سنگ‌ها بیشتر می‌شود (شکل ۵). لایه ارتفاع (شکل ۶) از عوامل بسیار مهم در ثبات پایداری یک منطقه است، بنابراین این عامل به دلیل تأثیری است که روی تغییرات دما و بارش دارد. همچنین بازدیدهای میدانی از منطقه نشان داد که ریزش در مناطق مرتفع با ارتفاع ۲۱۰۰ متر بیشتر است، لذا رابطه مستقیم برای این پارامتر تعریف شد. بارش سالانه (شکل ۷) تأثیری است که هیدروکلاستی روی تخریب سنگ‌ها دارد و در هوای گرم و مرطوب سبب تخریب و تجزیه سنگ‌هایی می‌شود که در آنها کانی‌های سیلیس به وفور یافت می‌شود. یکی از پارامترهای مهم در ریزش، لیتولوژی (شکل ۸) است که خود تحت تأثیر عوامل دیگری مانند شدت هوازگی، سیستم درزه‌ها، خرد شدگی در منطقه و ... قرار می‌گیرد و رابطه تنگاتنگی با اقلیم‌های مختلف دارد، بنابراین رابطه مستقیمی با ریزش دارد. از دیگر پارامترهای مؤثر بر ریزش شیب (شکل ۹) است. دامنه‌هایی که دارای شیب بیشتری هستند، آمادگی بیشتری برای ریزش دارند، پس رابطه ریزش با شیب را نیز می‌توان مستقیم قلمداد کرد. به طور کلی فاصله از جاده (شکل ۱۰) رابطه معکوسی با ریزش دارد؛ بدین معنا که در فاصله کم از جاده، عملیات خاک‌برداری برای احداث جاده در پای دامنه باعث از بین رفتن تکیه‌گاه دامنه می‌شود. بعد از ساخت جاده نیز، عبور و مرور وسایل نقلیه و سروصدای ناشی از آنها، موجب ارتعاشاتی می‌شود که می‌تواند زمینه لازم برای وقوع ریزش در منطقه را فراهم کند، لذا با افزایش فاصله از جاده امکان وقوع ریزش کمتر می‌شود. فاصله از آبراهه (شکل ۱۱) رابطه معکوس با ریزش نشان می‌دهد. آبراهه‌ها با زهکشی آب‌های جاری در سطح منطقه، نقش مؤثری در افزایش حساسیت دامنه‌های مجاور خود برای ناپایداری خواهند داشت، نفوذ آب در درزه‌ها و

شکاف‌های سنگ‌های مختلف سطح ناحیه و واریزه‌های روی دامنه‌ها، همچنین تأثیر رطوبت آبراهه‌ها در کاهش دما، از اثرات هیدرولوژیکی است که در ریزش تأثیر دارد. دلیل استفاده از گسل افزایش خطر ریزش و ناپایداری در دامنه‌ها با نزدیک‌شدن به ساختار تکتونیک است. با افزایش فاصله از گسل، تراکم سیستم درزها، شکستگی‌ها و خرد شدگی سنگ‌ها که در وقوع ریزش مؤثرند، کاهش می‌یابد. پس این پارامتر با ریزش رابطه معکوس دارد (شکل ۱۲). لایه پوشش زمین (شکل ۱۳) بر اساس نوع پوشش زمین به هر یک از کاربری‌ها با توجه به تأثیر موقعیت و شرایطشان بر ریزش امتیازدهی شده است. این امتیازدهی به گونه‌ای است که با ریزش رابطه مستقیم دارد. لایه یخبندان (شکل ۱۴) با ریزش رابطه مستقیم دارد؛ بدین معنی که هرچه تعداد روزهای یخبندان در منطقه بیشتر باشد، هوازگی کریوکلاستی در منطقه فعال است و این عامل به تخریب بیشتر سنگ‌ها می‌انجامد. علاوه بر داده‌ها و اطلاعات فوق، مشاهدات میدانی شامل برداشت مختصات و تصویر (۳۶ نمونه) از ریزش در سطح منطقه مورد مطالعه صورت گرفته که نقشه آن برای ارزیابی نهایی مدل‌ها تهیه شده است.

ب) روش‌شناسی پژوهش

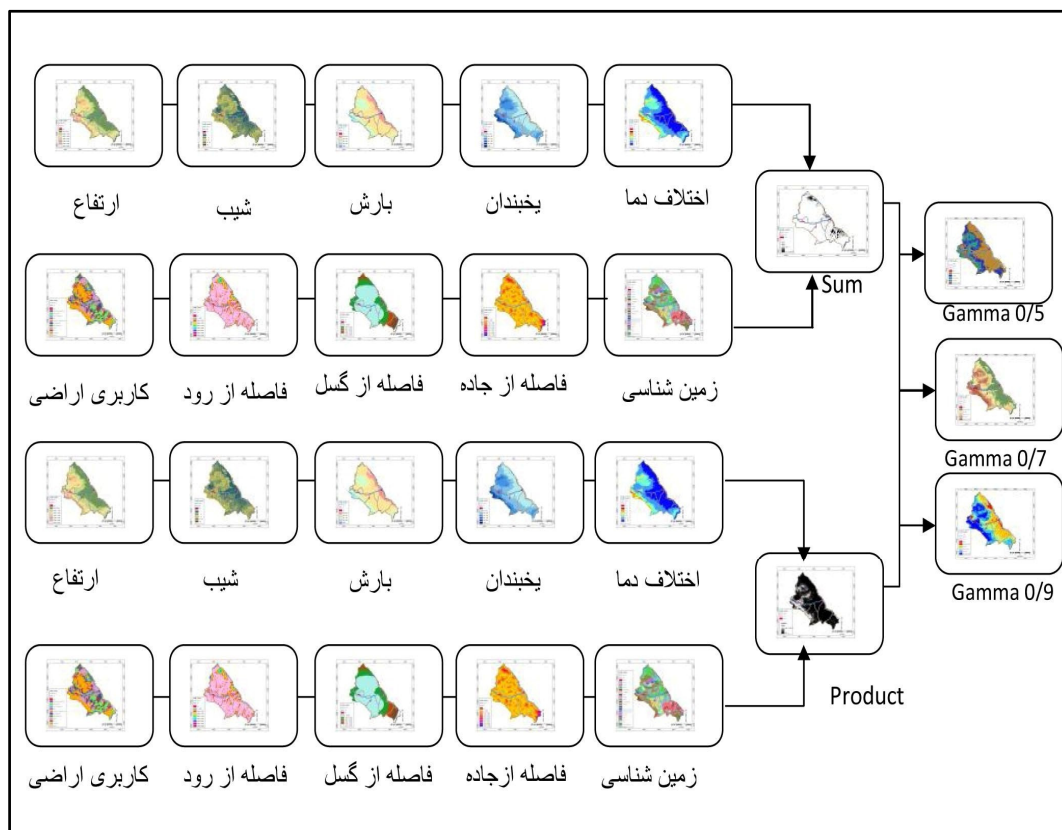
با توجه به قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS در تحلیل داده‌های مکانی، از این نرم‌افزار برای پهنه‌بندی پتانسیل ریزش در شهرستان ماکو استفاده شده است. با توجه به توانمندی‌های این نرم‌افزار، از آن در اجرای مدل‌های فازی و تاپسیس برای تعیین مناطق خطر در سطح منطقه مورد مطالعه، استفاده شده است. سپس نقشه نهایی جداگانه خطر ریزش برای هر یک از مدل‌ها تهیه و با هم مقایسه شدند. سر انجام با توجه به نمونه‌های برداشت شده در مشاهدات میدانی، مدل‌های فوق مورد ارزیابی قرار گرفته تا مناسب‌ترین مدل برای پتانسیل‌سنجی خطر ریزش در شهرستان ماکو تعیین شود.

مدل فازی: مدل فازی بر منطق فازی استوار بوده که در کل به منظور اقدام در شرایط ابهام ارائه شده است. هر فرد همزمان در مجموعه‌های مختلف، ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت، مقادیر بین صفر و یک و نیز خود این دو حد را می‌پذیرد (ون آلفن و استراوگلو، ۲۰۰۰). این تئوری در الگو کردن پدیده‌های فیزیکی، نقشه‌برداری و طبقه‌بندی به طور گسترده استفاده شده است (رستمی، ۱۳۸۷: ۲۲، خسروی، ۱۳۸۲: ۴۳ و اشقیی فرهانی، ۱۳۸۰: ۶۷). یک مجموعه فازی توسط تابع عضویتی بیان می‌شود که این تابع عضویت درجه تعلق اعضای مجموعه را با یک عدد حقیقی بین $[۱, ۰]$ نشان می‌دهد. به گفته دیگر اگر عضویت عنصری در مجموعه A را در بازه‌ای از $[۱, ۰]$ قرار دهیم، به هر x از X ، عددی در بازه $[۱, ۰]$ نسبت داده می‌شود که به آن تابع عضویت گفته می‌شود. این تابع را به صورت $\mu_A(x)$ نشان می‌دهند که درجه عضویتی بین (۰) و (۱) خواهد داشت.

برای اجرای این مدل ابتدا برای هر یک از لایه‌های به کار رفته با توجه به نوع رابطه و تأثیرشان روی ریزش، توابع عضویت (جدول ۲) تعیین شد و پس از تعیین عضویت هر یک از لایه‌ها، مدل براساس عملگرهای جمع جبری، ضرب جبری و گاما (مطابق شکل ۱۵)، اجرا و نقشه نهایی بر اساس گامای $۰/۵$ ، گامای $۰/۷$ و گامای $۰/۹$ استخراج شد.

جدول ۲. توابع عضویت لایه‌ها

ردیف	پارامتر	تابع عضویت	نمودار وابسته به تابع
۱	اختلاف دما	$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{If } x \leq 10 \\ \frac{14-x}{14-10}, & \text{If } 10 < x \leq 14 \end{cases}$	
۲	بارش	$f(x) = \frac{x-0}{500}, \text{ If } x \leq 500$	
۳	یخبندان	$f(x) = \frac{x-0}{180}, \text{ If } x \leq 180$	
۴	ارتفاع	$f(x) = \begin{cases} \frac{x-0}{2100}, & \text{If } 0 \leq x \leq 2100 \\ 1, & \text{If } 2100 < x \leq 2000 \\ \frac{2800-x}{2000}, & \text{If } 2000 \leq x \leq 2800 \end{cases}$	
۵	پوشش زمین	$f(x) = \frac{x-0}{9}, \text{ If } x \leq 9$	
۶	فاصله از آبراهه	$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{If } x \leq 50 \\ \frac{8000-x}{8000-50}, & \text{If } 50 < x \leq 8000 \end{cases}$	
۷	فاصله از گسل	$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{If } x \leq 500 \\ \frac{50000-x}{50000-500}, & \text{If } 500 < x \leq 50000 \end{cases}$	
۸	فاصله از جاده	$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{If } x \leq 100 \\ \frac{10500-x}{10500-100}, & \text{If } 100 < x \leq 10500 \end{cases}$	
۹	شیب	$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{If } x \leq 20 \\ \frac{20-x}{50-10}, & \text{If } 10 < x \leq 30 \end{cases}$	
۱۰	زمین شناسی	$f(x) = \frac{x-0}{9}, \text{ If } x \leq 9$	



شکل ۱۵. مراحل شکل‌گیری مدل فازی در مطالعه فرایند حرکات دامنه‌ای

تاپسیسی: این مدل، گزینه‌ها را به کمک شاخص‌های تعریف شده، ارزیابی می‌کند و منطق آن بر تعیین فاصله هر یک از گزینه‌ها از نقاط ایده‌آل مثبت و منفی است. در این مدل، گزینه بهینه گزینه‌ای است که کمترین فاصله از ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی را داشته باشد (مؤمنی، جعفرنژاد و صادقی، ۱۳۹۰: ۱۲۹). بنابراین در نقشه تهیه‌شده از این مدل، پیکسل‌هایی بالاترین رتبه را دارند که از بیشترین تشابه با نقاط ایده‌آل مثبت برخوردارند. برای به‌دست آوردن فاصله هر گزینه از نقاط ایده‌آل مثبت و منفی از روابط ۴ و ۵ استفاده شده است.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{فاصله از نقطه ایده‌آل مثبت} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{فاصله از نقطه ایده‌آل منفی} \quad \text{رابطه ۵}$$

گزینه بهینه نیز از رابطه ۶ به‌دست آمده است.

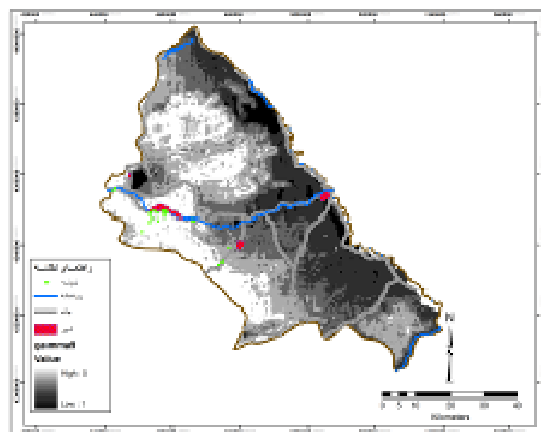
$$CL_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad \text{رابطه ۶}$$

بنابراین برای پهنه‌بندی خطر ریزش با این روش، ابتدا روابط هر یک از پارامترها تعیین و سپس ماتریس موزون بی‌بعد آنها به دست آمد و در نهایت فاصله هر یک از پارامترها از ایده‌آل‌های مثبت و منفی محاسبه شد و نقشه نهایی بر اساس رابطه ۶ ترسیم شد.

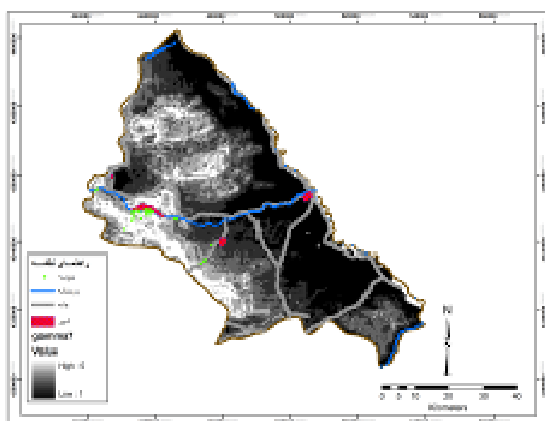
پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش به کمک مدل‌های فوق، این مدل‌ها با کمک داده‌های میدانی برداشت شده مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت پهنه‌های مؤثر در خطر ریزش با کمک مناسب‌ترین نقشه به دست آمده تعیین شدند.

یافته‌های پژوهش

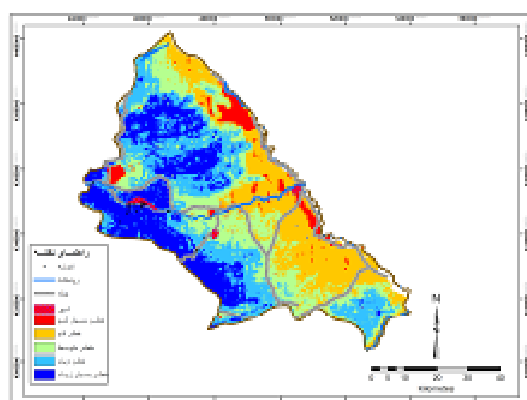
در مدل فازی پس از اعمال توابع به هر یک از لایه‌ها، مقدار ارزش هر یک از لایه‌ها در بازه‌ای بین صفر و یک قرار گرفته است؛ یعنی سطوحی که بیشترین تأثیر در وقوع ریزش را داشتند، بالاترین مقدار عددی یا یک و سطوحی که کمترین تأثیر در وقوع ریزش را داشتند، پایین‌ترین مقدار عددی یعنی صفر را پذیرفته‌اند. سپس در نرم‌افزار ArcGIS عملگرهای جمع جبری و ضرب جبری بر لایه‌ها اعمال شدند. بنابراین برای به دست آوردن نقشه نهایی پهنه‌بندی ریزش و تعدیل نقشه‌های به دست آمده بر اساس عملگرهای جمع جبری و ضرب جبری، از عملگرهای گاما ۰/۹ (شکل ۱۶)، گاما ۰/۷ (شکل ۱۷) و گاما ۰/۵ (شکل ۱۸) استفاده شده است. در نهایت تمامی نقشه‌ها در پنج سطح بر اساس روش شکستگی‌های طبیعی طبقه‌بندی و سطوح با خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم در نقشه‌های گاما ۰/۹ (شکل ۱۹)، گاما ۰/۷ (شکل ۲۰) و گاما ۰/۵ (شکل ۲۱) مشخص شدند.



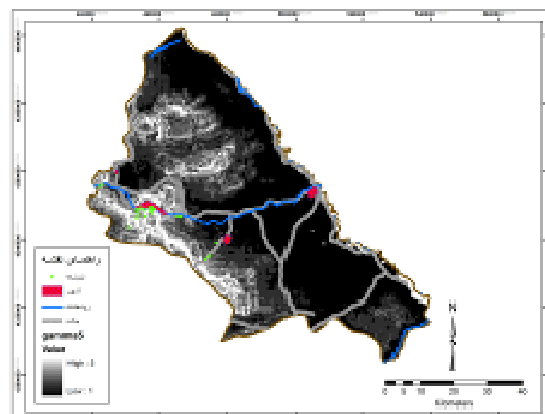
شکل ۱۶. نقشه طیفی مدل فازی گاما ۰/۹



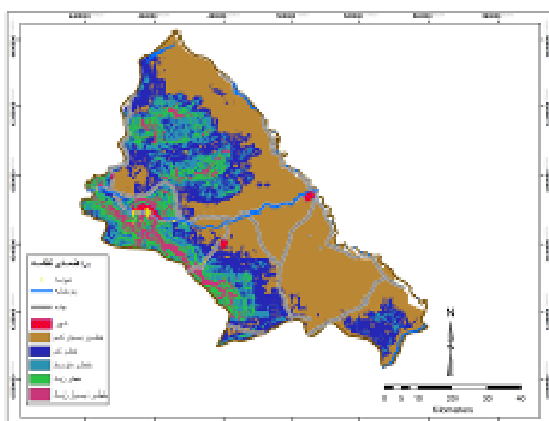
شکل ۱۷. نقشه طیفی مدل فازی گاما ۰/۷



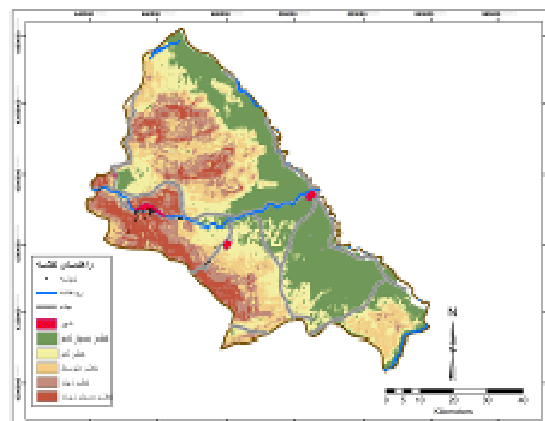
شکل ۱۹. نتایج حاصل از مدل فازی گاما ۰/۹



شکل ۱۸. نقشه طیفی مدل فازی گاما ۰/۵



شکل ۲۱. نتایج حاصل از مدل فازی گاما ۰/۵



شکل ۲۰. نتایج حاصل از مدل فازی گاما ۰/۷

در مدل تاپسیس نیز، ابتدا لایه بی بعد هر یک از لایه‌های اطلاعاتی به کار رفته در پهنه‌بندی پتانسیل ریزش به دست آمده است و سپس با استفاده از ضرب این لایه‌ها در وزن‌های کارشناسی تعیین شده (جدول ۳)، لایه بی بعد وزن این معیارها به دست آمده است.

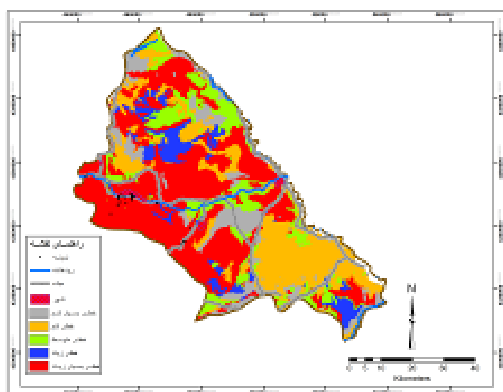
جدول ۳. وزن کارشناسی هر یک از لایه‌های به کار رفته در مدل تاپسیس

معیار	زمین شناسی	کاربری	فاصله از گسل	شیب	فاصله از رود	فاصله از راه	ارتفاع	یخبندان	بارش	اختلاف دما
وزن	۱/۲۵	۱/۲	۰/۹	۱/۱۵	۰/۸۵	۰/۵۵	۱/۱	۱/۰۵	۱	۰/۹۵

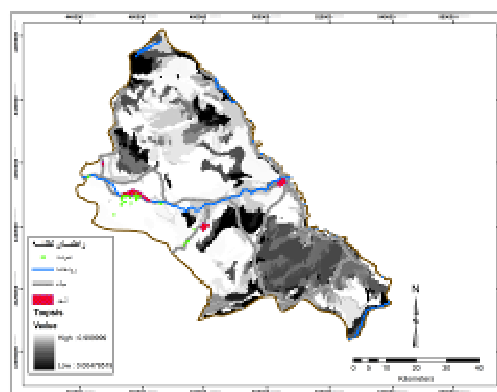
در نهایت پس از به‌دست آوردن ایده‌آل‌های مثبت و منفی، نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل ریزش به‌دست آمد (شکل ۲۲) و در پنج سطح با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی طبقه‌بندی شد (شکل ۲۳). مشخصات مربوط به درصد مساحت هر یک از سطوح خطر در مدل‌های تاپسیس و فازی در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. مشخصات سطوح خطر ریزش در هر یک از مدل‌ها به درصد

مدل‌ها - سطوح خطر	تاپسیس	گامای ۰/۵	گامای ۰/۷	گامای ۰/۹
خطر بسیار کم	۱۰/۴۹	۴۹/۶۰	۳۴/۶۸	۴/۴۲
خطر کم	۲۳/۶۵	۲۲/۹۹	۲۱/۹۵	۲۴/۳۲
خطر متوسط	۱۴/۴۹	۱۳/۷۳	۲۴/۱۹	۲۲/۶۱
خطر زیاد	۷/۱۶	۹/۲۶	۱۴/۹۴	۲۶/۳۶
خطر بسیار زیاد	۴۴/۲۱	۴/۴۱	۹/۱۸	۲۲/۲۹



شکل ۲۳. نتایج حاصل از مدل تاپسیس



شکل ۲۲. نقشه طیفی مدل تاپسیس

برای ارزیابی مدل‌ها از حوضه مورد مطالعه در سه نوبت بازدید میدانی انجام گرفت. بازدید مقدماتی و اولیه از حوضه مورد مطالعه و همچنین انطباق اطلاعات حاصل از نقشه‌های توپوگرافی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شیب حوضه و سایر نقشه‌ها با واقعیت‌های موجود روی زمین، در مرحله اول انجام گرفت. مرحله دوم بازدید برای تهیه عکس از ریزش‌های رخ داده و برداشت موقعیت نقاط ریزشی به‌صورت طول و عرض و ارتفاع به کمک دستگاه GPS بود (اطلاعات مربوط به این مرحله در جدول ۱ ارائه شده است). مرحله سوم، به‌منظور بازدید نهایی از محدوده پس از اتمام مطالعه برای تطبیق یافته‌های پژوهش با محیط واقعی انجام گرفت. لایه اطلاعاتی مربوط به این نقاط در نرم‌افزار GIS تهیه شد و با نقشه‌های نهایی به‌دست آمده همپوشانی گردید که نتایج مربوط به این همپوشانی در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵. نتایج همپوشانی نقشه نهایی با نقاط نمونه برداری شده

مدل‌ها - سطوح خطر	خطر بسیار کم	خطر کم	خطر متوسط	خطر زیاد	خطر بسیار زیاد
تاپسیس	۰	۰	۰	۰	۳۶
گاما ۰/۵	۰	۸	۱۲	۷	۹
گاما ۰/۷	۰	۱	۱۱	۱۲	۱۲
گاما ۰/۹	۰	۰	۰	۱۴	۲۲

ارقام جدول تعداد نمونه‌های حرکات ریزشی در هر طبقه خطر را نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل از بررسی مدل‌ها، چهار نقشه برای پهنه‌بندی پتانسیل خطر ریزش به دست آمد که با توجه به جدول ۴، بیشترین درصد مساحت سطوح با خطر بسیار مربوط به مدل تاپسیس (۴۴/۲۱ درصد) و کمترین مساحت مربوط به مدل گاما ۰/۵ (۴/۴۱ درصد) است و بیشترین مساحت سطوح با خطر بسیار کم مربوط به مدل گاما ۰/۵ (۴۹/۶۰ درصد) و کمترین مساحت مربوط به گامای ۰/۹ (۴/۴۲ درصد) است. به طور کلی در مدل تاپسیس سطوح با خطر بسیار زیاد مساحت گسترده‌ای از منطقه را به خود اختصاص می‌دهند، اما نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی اولیه نشان داده است که سطوح با خطر بسیار زیاد دارای چنین گستردگی در منطقه نیست و به نظر می‌رسد این مدل، به دلیل تعیین خطی روابط، دقت پایینی دارد. بنابراین مدل تاپسیس دارای صحت لازم برای بررسی‌های پهنه‌بندی خطر ریزش در منطقه مورد مطالعه نیست. با توجه به برداشت نمونه‌ها در مناطق با پتانسیل بالای ریزش، نقشه گاما ۰/۵ مورد پذیرش قرار نمی‌گیرد؛ زیرا بیشترین نمونه‌ها در طبقه با خطر متوسط قرار گرفتند. نقشه گاما ۰/۷ نیز به دلیل تعداد نمونه‌های مربوط به طبقه با خطر متوسط (یک سوم نمونه‌ها) پذیرفته نمی‌شود. نقشه گاما ۰/۹ دارای بیشترین صحت، به دلیل نوع پراکندگی نمونه‌ها در سطوح خطر است، اما به دلیل توزیع تمام نمونه‌ها در مدل گاما ۰/۹ در سطوح با خطر بسیار زیاد و زیاد، مناسب‌ترین مدل برای پهنه‌بندی پتانسیل خطر حرکات دامنه‌ای در سطح منطقه پیشنهاد می‌شود. با توجه به نقشه گامای ۰/۹ (شکل ۱۹) پهنه‌های با خطر ریزش بسیار زیاد در شمال و غرب منطقه واقع شده‌اند که این پهنه‌ها منطبق با سطوح ارتفاعی هستند و مناطق پست در بخش‌های شرقی نیز نواحی خطر بسیار کم را به وجود آورده‌اند. مشخصات مربوط به هر یک از سطوح خطر در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. مساحت طبقات خطر ریزش در شهرستان ماکو

ردیف	سطوح	مساحت (Km ^۲)	مساحت - درصد
۱	بسیار کم	۱۸۴/۶۹	۴/۴۲
۲	کم	۱۰۱۷/۰۶	۲۴/۳۲
۳	متوسط	۹۴۵/۶۹	۲۲/۶۱
۴	زیاد	۱۱۰۲/۴۴	۲۶/۳۶
۵	بسیار زیاد	۹۳۲/۱۳	۲۲/۲۹
	مجموع	۴۱۸۲	۱۰۰

بر اساس جدول ۶، بیشترین مساحت منطقه مربوط به نواحی خطر زیاد با مساحت ۱۱۰۲/۴۴ کیلومتر مربع (۲۶/۳۶ درصد) است و کمترین مساحت نیز به سطوح با خطر بسیار کم (۱۸۴/۶۹ کیلومتر مربع) اختصاص دارد. در نهایت مؤثرترین و کم‌تأثیرترین سطوح خطر برای هر یک از معیارها با توجه به نقشه گاما ۰/۹ بر اساس روش جدول متقاطع به شرح زیر تعیین شد (جدول ۷).

جدول ۷. جمع‌بندی نتایج همپوشانی هر یک از لایه‌ها با نقشه گامای ۰/۹

ردیف	معیار	مؤثرترین سطوح	مساحت	
			Km ^۲	درصد
۱	شیب	> ۳۰ درصد	۱۳۷۰۰	۶۸/۵
۲	ارتفاع	۱۶۰۰-۱۳۰۰ متر	۷۸۹۲	۳۹/۴۶
۳	زمین شناسی	سنگ آهک	۱۲۶۸۰	۶۳/۴
۴	پوشش زمین	کوهستان	۱۶۲۰۰	۸۱/۰
۵	اختلاف دما	۱۰-۱۲ درجه سانتی‌گراد	۱۱۹۶۶	۵۹/۸۳
۶	یخبندان	۱۴۰-۱۲۰ روز	۱۰۸۸۰	۵۴/۴
۷	بارش	۴۰۰-۳۰۰ میلی‌متر	۱۲۴۰۰	۶۲
۸	فاصله از جاده	۱۵۰۰-۰ متر	۱۳۴۰۰	۶۷
۹	فاصله از رود	۱۰۰۰-۰ متر	۱۲۳۶۰	۶۱/۸
۱۰	فاصله از گسل	۱۰۰۰-۰ متر	۱۷۸۲۰	۸۹/۱

بر اساس جدول ۷ مؤثرترین سطوح در ایجاد ریزش، اغلب دارای شیبی بیش از ۳۰ درصد هستند که در سطوح ارتفاعی ۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰ متر در مناطق کوهستانی استقرار دارند، از لحاظ لیتولوژیکی بیشتر از سنگ آهک تشکیل شده‌اند و در فاصله کمتر از ۱۰۰۰ متر از گسل‌ها قرار گرفته‌اند، از نظر اقلیمی بیشتر در محدوده‌هایی واقع شده‌اند که دارای ۱۲۰ تا ۱۴۰ روز یخبندان سالانه، میانگین اختلاف دمای ۱۰ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد در سال و میانگین بارش سالانه ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر هستند.

کم‌تأثیرترین سطوح نیز عمدتاً شیب ۰ تا ۱ درصد و ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر دارند، بستر آنها از دشت‌های سیلابی تشکیل شده که اغلب با رسوبات آبرفتی کوتاه‌تر پوشیده شده‌اند، فاصله این سطوح از گسل‌ها، اغلب بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر است، اما به نظر می‌رسد در منطقه رابطه مشخصی بین پارامترهای فاصله از جاده و فاصله از رود با ریزش وجود ندارد. از آنجاکه عوامل مختلفی مانند توپوگرافی، زمین‌شناسی، فرایندهای اقلیمی، سازندهای سطحی و ... در وقوع ریزش نقش دارند، لذا با توجه به تعدد فاکتورهای به‌وجود آورنده، نمی‌توان با قاطعیت فقط یک عامل را به‌منزله تنها عامل دخیل در وقوع کلیه ریزش‌های منطقه معرفی کرد، اما با توجه مطالعه و بررسی موردی ریزش‌های منطقه از ابعاد و جهات مختلف، عوامل زمین‌شناسی، هوازدگی، شیب و گسل‌ها، مهم‌ترین آنها در وقوع ریزش‌های منطقه هستند.

همچنین نتایج حاصل از مدل گاما ۰/۹ نشان می‌دهد که شهرهای ماکو، بازرگان و مراکز سکوتی، بیشتر در معرض ریزش هستند و به برنامه‌ریزی و بررسی بیشتر در این زمینه برای توسعه آینده شهر نیاز دارند. بنابراین برای کاهش خطر وقوع ریزش در منطقه، جلوگیری از سکونت مردم در مناطق در معرض خطر، اسکان دادن خانه‌های زیرکوهی در فضاهای باز شهر، ایجاد دیواره‌های بتونی به‌ویژه در حاشیه جاده‌ها و اجرای عملیات صحیح روی دامنه‌ها از طریق پایه‌های بتونی و گابیون بندی پیشنهاد می‌شود.

منابع

- اسفندیاری درآباد، ف. و هاشمی، س.ا. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی ریزش در مسیر راه ارتباطی یاهو - نودشه با استفاده از روش AHP و Exper Choice در محیط GIS. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۱، شماره ۲، صص. ۱۴۵-۱۵۸.
- اشقلی فراهانی، ع. (۱۳۸۰). ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تهران: دانشگاه تربیت معلم.
- ایلانلو، م.؛ مقیمی، ا. و ثروتی، م. (۱۳۸۸). پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌های با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) مطالعه موردی حوضه آبریز سد کرج. فصلنامه جغرافیای طبیعی، دوره ۲، شماره ۵۵، صص. ۸۵-۹۵.
- بهشتی راد، م.؛ فیض‌نیا، س.؛ سلاجقه، س. و احمدی، ح. (۱۳۸۸). بررسی کارایی مدل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش فاکتور اطمینان (CF)، مطالعه موردی حوضه آبخیز معلم کلاویه. فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال دوم، شماره ۵، صص. ۱۹-۲۸.
- بلادپس، ع. (۱۳۸۷). تحلیلی بر ژئومورفولوژی لغزش‌ها در منطقه ماکو (ماکو تا دشت بازرگان). مجله علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، سال هشتم، شماره ۲۳، صفحه ۱۷-۱.
- خسروی، ش. (۱۳۸۲). آشکارسازی تغییرات ژئومورفولوژیکی محیط‌های ساحلی شمال غرب خلیج فارس (هندیجان) با استفاده از روش منطق فازی و تکنیک‌های RS و GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تهران: دانشگاه تربیت معلم.
- رستمی، ف. (۱۳۸۷). اصلاح مدل برآورد رسوب ام. پسیاک با به‌کارگیری تکنیک فازی در حوضه سد زاگرس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تهران: دانشگاه تربیت معلم.
- سازمان آب و هواشناسی کشور. (۱۳۶۵-۱۳۸۵). آمار ایستگاه‌های سینوپتیک، مراغه، تبریز، جلفا، خوی، ماکو و ارومیه.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۲۰۰۲). تصویر ماهواره‌ای شهرستان ماکو.
- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۴). نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
- سازمان نقشه‌برداری کشور (۱۳۸۵). نقشه توپوگرافی شهرستان ماکو با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.
- شادفر، ص. (۱۳۸۴). ارزیابی تحلیلی مدل‌های کمی زمین لغزش به منظور دستیابی به مدل مناسب برای حوضه آبخیز چالکروود. پایان‌نامه دکتری، تهران: دانشکده جغرافیا، دانشگاه.
- شادفر، ص. و یمانی، م. (۱۳۸۳). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل L NRF. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۹، شماره ۶۲، صص. ۱۱-۲۳.

- شیرزادی، ع.؛ سلیمانی، ک.؛ حبیب‌نژاد روشن، م.؛ چپی، ک. (۱۳۸۹). مقایسه مدل‌های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی در پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ. نشریه مرتع و آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۳، شماره ۴، صص. ۴۸۹-۵۰۲.
- عبادی‌نژاد، س. ع.؛ یمانی، م.؛ مقصودی، م.؛ شادفر، ص. (۱۳۸۶). ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیروود). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۱، شماره ۲، صص. ۳۹-۴۴.
- قلی‌زاده، آ. (۱۳۸۹). مدل‌سازی پتانسیل ریزش در شهرستان ماکو (مطالعه موردی: حوضه زنگبار) با استفاده از فازی و GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تهران: دانشگاه تربیت معلم.
- قهرودی تالی، م. (۱۳۸۴). پهنه‌بندی قلمروهای هوازدگی سنگ‌ها در ایران با بکارگیری فناوری GIS، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران: دانشگاه تربیت معلم. صص. ۱۲۴-۱۱۴.
- کریمی، ف. (۱۳۸۳). فرایندهای هوازدگی و تأثیر آنها در نواحی شهری و روستایی (مطالعه موردی: مناطق کوهستانی آذربایجان). مجله جغرافیا و توسعه، سال دوم، شماره ۴، صص. ۸۰-۶۲.
- مؤمنی، م.؛ جعفرنژاد، ا. و صادقی، ش. (۱۳۹۰). جابه‌جایی بهینه مراکز توزیع در فرایند بازاریابی با استفاده از روش ریاضی. مدیریت صنعتی، دوره ۳، شماره ۶، صص. ۱۴۸-۱۲۹.
- Chau, K.T., Tang, Y.F., Wong, R.H.C., 2004, **GIS-Based Rock Fall Hazard Map for Hong Kong**. The Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vol. 41, PP. 846-851.
- Chau, K.T., Wong, R.H.C., Liu, J., Lee, C.F., 2003, **Rockfall Hazard Analysis for Hong Kong Based on rockfall Inventory**, Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 36, No. 5, PP. 383-408.
- Choi, Y., Lee, J.Y., Lee, J., Park, H.D., 2009, **Engineering Geological in Vestigation in to Rockfall Problem: A Case Study of the Seated Seokgayeorac Image Carved on a Rock Face at the UNESCO World Heritage Site in Korea**, Geosciences Journal, Vol. 13, No. 1, PP. 69-78.
- Duarte, R. M., Marquinez, J., 2002, **The in Fluence of Environmental and Lithologic Factors on Rockfall at a Regional Scale: an Evaluation Using GIS**, Geomorphology, Vol. 43, No. 1-2, PP. 117-136.
- Lan, H., Martin, C.D., Zhou, Ch., Lim, Ch.H., 2010, **Rockfall Hazard Analysis Using LIDAR and Spatial Modeling**, Geomorphology, Vol. 118, No. 1-2, PP. 213-223.
- Marquinz, J., Menendez Duarte, R., Farias, P., Jimenez Sanchez, M., 2003, **Predictive GIS-Based Model of Rockfall Activity in Mountain**, Natural Hazard, Vol. 30, No. 3, PP. 341-360.
- Perret, S., Stoffel, M., Kienholz, H., 2006, **Spatial and Temporal Rockfall Activity in a Forest Stand in the Swiss Prealps - A Dendrogeomorphological Case Study**, Geomorphology, Vol. 74, No. 1-4, PP. 219-231.
- Sabuya, F., Alves, M.G. and Pinto, W. D., 2006, **Assessment of Failure Susceptibility of Soil Slopes Sing Fuzzy Logic**, Engineering Geology, Vol.86, No. 4, PP. 211-224.

Tunusluoglu, M. C., Zorlu, K.2009, **Rockfall Hazard Assessment in a Cultural and Natural Heritage (Ortahisar Castle, Cappadocia, Turkey)**, Environmental Geology, Vol. 56, No. 5, PP. 963-972.

Van Alphen, B.J., Stoorvogel, J. J., 2000, **A Functional Approach to Soil Characterization in Support of Precision Agriculture**, Soil Science Society of America Journal, Vol. 64, No. 5, PP. 1706-1713.