



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال شانزدهم، شماره‌ی ۵۵
پاییز ۱۳۹۵، صفحات ۲۷۲-۲۵۷

منیژه قهرودی تالی^۱
آیلا قلی زاده^۲

پتانسیل حرکات دامنه‌ای در حوضه رودخانه زنگمار (شهر ماکو)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۰۲

چکیده

حرکات توده‌ای از جمله فرآیندهایی است که سبب تحول ژئومورفولوژیکی دامنه‌های تند و سنگی می‌شود و در موقع بروز به دلیل ناگهانی بودن حادثه مسدود شدن دره‌ها، آبراهه‌ها، جاده‌ها و تخریب مناطق کوهستانی را به همراه دارد. حوضه رودخانه زنگمار واقع در شهرستان ماکو که دارای مناطق مسکونی از جمله شهر ماکو می‌باشد و از مناطق مستعد برای حرکات توده‌ای از جمله زمین‌لغزش، ریزش، جریان‌های واریزه‌ای و روانه‌های گلی می‌باشد. این پژوهش با هدف شناسایی مناطق مستعد وقوع حرکات توده‌ای در این حوضه انجام شده است. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، داده‌های اقلیمی و مشاهدات میدانی می‌باشد. روش انجام پژوهش شامل برداشت‌های میدانی و تعریف متغیرهای موثر در وقوع حرکات توده‌ای براساس نمونه‌های موجود می‌باشد. برای ارزش‌گذاری متغیرها از درجه عضویت مدل فازی استفاده شد و سپس براساس تابع گوسین فازی عضویت‌ها به توزیع نرمال تبدیل شد. سپس براساس ارتباط متقابل بین عوامل مداخله‌گر، توابع مناسب برای ترکیب عوامل انتخاب گردید. نتایج به‌دست آمده از تعیین عضویت سطوح مختلف متغیرها نشان داد که با افزایش ارتفاع و شیب، احتمال وقوع حرکات توده‌ای افزایش می‌یابد و حرکات

E-mail: M-ghahroudi@sbu.ac.ir

۱- استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

۲- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی.

توده‌ای بیش‌تر در نزدیکی گسل‌ها، در واحد کوهستان و در سنگ‌های سخت یکپارچه اتفاق می‌افتد. همچنین از انطباق ۸۳ درصد از نمونه‌های برداشت‌شده با سطوح خطر زیاد و خیلی زیاد، می‌توان نتیجه گرفت که رخداد فرآیند حرکات توده‌ای می‌تواند، توابع انتخابی در نحوه ترکیب عوامل را توجیه نماید.

کلید واژه‌ها: حرکات دامنه‌ای، شهر ماکو، مدل فازی، حوضه زنگمار.

مقدمه

حرکات توده‌ای در کشورهای کوهستانی در حال توسعه یک تهدید جدی محسوب می‌شود، زیرا در این کشورها شرایط فرهنگی، اجتماعی، سیاسی و اقتصادی، آسیب‌پذیری در مقابل مخاطرات طبیعی را افزایش می‌دهد. هنگامی که یک حادثه طبیعی رخ می‌دهد، کشورهای فوق‌هزینه زیادی را برای نجات انسان‌ها، از دست دادن حاصل‌خیزی خاک و منابع طبیعی، دارایی‌های ملی و خصوصی و زیرساخت‌های کشور متحمل می‌شوند. ایران کشوری است که شرایط ناهمواری، اقلیمی و زمین‌شناسی آن را مستعد ایجاد حرکات توده‌ای نموده است. از طرفی وقوع زلزله‌های متعدد و دخالت‌های کنترل نشده انسان سبب شده است که ریسک وقوع آن به‌عنوان یک پدیده غیرقابل پیش‌بینی در محافل علمی و مجامع عمومی ایران مطرح باشد.

منطقه ماکو یکی از مناطق مستعد برای وقوع حرکات توده‌ای از جمله ریزش محسوب می‌شود. این پدیده شهرها و روستاها را تهدید می‌کند و وقوع آن موجب خسارات مالی و تلفات جانی بسیار می‌گردد. حادثه لغزش بزرگ در روستای پره خود یک شهرستان ماکو در ۱۹ اردیبهشت ۱۳۴۷ موجب خسارات فراوان گردید. ریزش‌های متعدد اردیبهشت ۱۳۸۸ شاهدهی بر پتانسیل وقوع این پدیده می‌باشد (شکل ۱). وارنز معتقد است، از زمانی که شبکه‌های ارتباطی در نواحی کوهستانی احداث شده‌اند، پدیده حرکت‌های توده‌ای مواد دامنه‌ای، بیش‌تر اتفاق می‌افتد (به نقل از لارسن و پاکز، ۳، ۱۳۸۱: ۸۳۵)؛ بنابراین توسعه روزافزون راه‌های ارتباطی از کناره‌های دامنه‌های حساس، کشت در دامنه‌ها بدون رعایت قوانین اصول کشت در مناطق شیب‌دار و عدم توجه به ثبات و تعادل دامنه‌ها سبب شده است که دامنه‌های مناطق کوهستانی در ایران به شدت ناپایدار شوند؛ بنابراین رشد سریع جمعیت و گسترش شهرها در نواحی کوهستانی ضرورت پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای را آشکار می‌سازد. پهنه‌بندی حرکات توده‌ای یکی از روش‌هایی است که به کمک آن مناطق بحرانی به لحاظ پایداری شیب را می‌توان مشخص کرد و از نقشه پهنه‌بندی به‌دست آمده در برنامه‌ریزی توسعه پایدار استفاده کرد (کرم، ۱۳۸۰: ۲۵).

این پژوهش با هدف تعیین پهنه‌های مستعد وقوع حرکات توده‌ای در حوضه رودخانه زنگمار با استفاده از مشاهدات میدانی و روش‌های کمی انجام شده است.

در زمینه استفاده از تکنیک‌های کامپیوتری برای پهنه‌بندی حرکات توده‌ای سال‌هاست که محققان فعالیت می‌نمایند از جمله این محققان کارارا^۴ و همکاران (۱۹۹۵)، کلمبو^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۵، گوزتی و تونلی^۶ در سال ۲۰۰۴، گرینون^۷ و همکاران در سال ۲۰۰۴ و فاج فار^۸ و همکاران در سال ۲۰۰۵ را می‌توان نام برد. از جمله تحقیقات، در زمینه مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از GIS توسط کریشنان^۹ در سال ۱۹۹۹ صورت گرفته که در این تحقیق به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در نیلگیری^{۱۰} و مناطق کوهستانی با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی و نقشه‌های پایه شامل نقشه شیب، خاک، کاربری اراضی را تحلیل نمود و به این نتیجه رسید که GIS و RS^{۱۱} در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش توانمند است.

لان^{۱۲} و همکاران در سال ۲۰۰۴ به تحلیل فضایی خطر زمین‌لغزش و پیش‌بینی این پدیده در حوضه آبخیز اکسید اوجیانگ^{۱۳} (این حوضه به موزه زمین‌لغزش در چین مشهور است) پرداختند پارامترهای موثر در وقوع زمین‌لغزش در این حوضه زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، شیب، ارتفاع و فاصله از گسل بود. آن‌ها پایگاه داده مکانی از پارامترهای موثر در وقوع زمین‌لغزش در محیط GIS طراحی کردند و سپس بین زمین‌لغزش‌هایی و پارامترهای موثر در وقوع آن رابطه کمی برقرار کردند و نقشه پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه را تهیه نمودند.

کومک^{۱۴} (۲۰۰۵) به مطالعه زمین‌لغزش در پریال پایین اسلونونی با استفاده از مدل فرایند سلسله مراتبی و آمار چند متغیره به کمک نقشه کاربری اراضی و داده‌های پوشش گیاهی و تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی با قدرت تفکیک‌پذیری بالا پرداخت و به این نتیجه رسید که شیب، سنگ‌شناسی، ناهمواری زمین و نوع پوشش نقش مهمی در زمین‌لغزش دارد.

-
- 4- Carara
 - 5- Colombo and Lanterni
 - 6- Guzzetti and Tonelli
 - 7- Grignon
 - 8- Fajfar
 - 9- Krishnan
 - 10- Nilgiri
 - 11- Remote sensing
 - 12- Lan
 - 13- Xiaojiang
 - 14- Komac

لی^{۱۵} (۲۰۰۷) نواحی مستعد زمین‌لغزش را در غرب تایوان بر اساس تکنیک‌های شبکه‌های عصبی و فازی مورد بررسی قرار و از یک شبکه BPNN جهت آموزش داده‌ها استفاده گردید که در نهایت نقشه طبقه‌بندی فازی نواحی مستعد زمین‌لغزش تهیه شده است.

مورات و کاندن^{۱۶} (۲۰۰۳) در پژوهشی تحت عنوان استفاده از روابط فازی جهت تولید نقشه‌های پتانسیل زمین‌لغزش در غرب دریای سیاه (ترکیه) به این نتیجه رسیدند که به دلیل پیچیده بودن پدیده زمین‌لغزش و دخالت عوامل متعدد در رخداد آن به کار بردن روابط فازی در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از سایر روش‌ها بهتر و به واقعیت نزدیک‌تر است.

سابویا^{۱۷} و همکاران (۲۰۰۶) برای ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ریودوژانیرو برزیل از مدل منطق فازی استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که چون در این مدل کارشناس می‌تواند بین صفر تا یک عوامل مختلف را وزن‌دهی نماید بنابراین نتایج بهتری را نسبت به سایر مدل‌ها به دست می‌آورد.

قهرودی تالی (۱۳۸۰-۱۳۸۹) با استفاده از مدل فازی و لاجستیک داده‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های اقلیمی، متغیرهای موثر در مخاطرات ژئومورفولوژیکی به تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی در حوضه رود کرج و حوضه نوژیان پرداخته و به این نتیجه رسید که مدل فازی نگرش درستی از توزیع فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی دارد.

کرم (۱۳۸۰) مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده در حوضه آبخیز سرخون به تفصیل به بررسی حرکات توده‌ای در حوضه آبخیز سرخون پرداخته و در پایان با انجام چند مدل و ارائه نتایج آن حوضه مورد نظر را در دو پهنه با خطر بالا و کم تعیین نمود. غیومیان و همکاران با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند مشخصه فازی، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را در منطقه رودبار گیلان انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که به‌کارگیری ریاضیات و منطق فازی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش به دلیل طبیعت و ماهیت این پدیده و داده‌های مورد استفاده در ارزیابی آن ابزار سودمندی برای ارزیابی خطر زمین‌لغزش به‌شمار می‌رود. خضری و همکاران به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در بخش مرکزی حوضه زاب به روش آنبالاگان پرداخته و نقشه پهنه‌بندی را در منطقه مورد مطالعه تهیه کرده است. در شهرماکو نیز بلادپس (۱۳۸۴) به تهیه خطر زمین‌لغزش در منطقه ماکو (ماکو - دشت بازرگان) به روش آنبالاگان پرداخته و به این نتیجه رسید که دامنه‌های شمالی چرکین داغ مشرف به دشت بازرگان بالاترین خطر لغزش را به خود اختصاص داده است. در این پژوهش با توجه به مشاهدات میدانی از

15- Lee

16- Murat & Candan

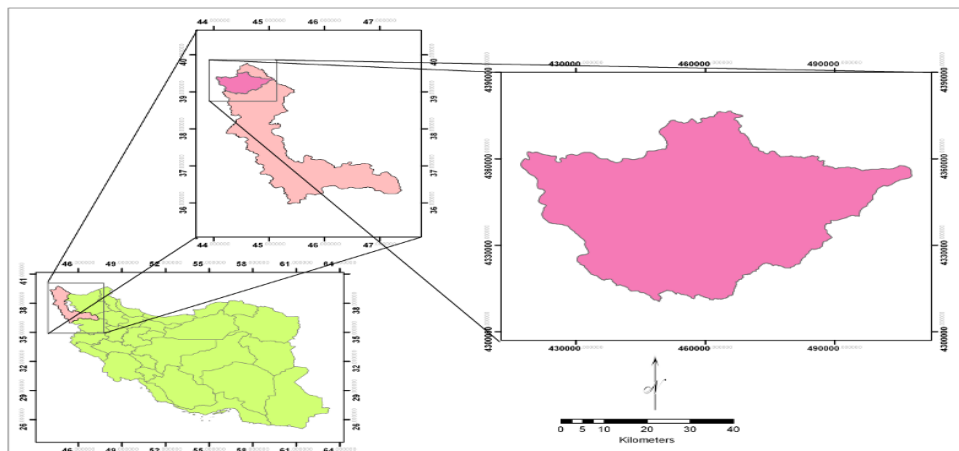
17- Sabuya

حرکات توده‌ای، به تعیین پهنه‌های مستعد وقوع حرکات توده‌ای پرداخته است. (شکل ۱) وقوع این پدیده را در اردیبهشت سال ۱۳۸۸ نشان می‌دهد.



شکل ۱: شواهد حرکات دامنه‌ای در حوضه زنگمار (از راست به چپ: سه راه روستای هندوار، زنگمار بالاتر از اداره زندان)

از نظر زمین‌شناسی در این منطقه گسترش سازندها از پرکامبرین تا عهد حاضر بوده است. رخنمون‌های پره‌کامبرین با گسترش وسیعی در غرب دشت زنگنه و قسمت شمالی آن دیده می‌شود. این منطقه در دوره ترشیاری در نتیجه فشارهای وارده بر قفقاز و آسیای صغیر شکل گرفته و بخش وسیعی از منطقه را گدازه‌های بازالتی و آندزیتی پوشانده است که از فعالیت آتشفشانی آزارات نشأت گرفته است. از لحاظ تقسیم‌بندی زمین‌شناسی جزو زون البرز-آذربایجان محسوب می‌شود که در قسمت غربی و در مرکز ترکیه به زون باریک و کم‌عرض آمیزه رنگین منتهی می‌شود. از نظر نوع سنگ ترکیبی متنوع از سنگ‌های رسوبی و آذرین در منطقه مشاهده می‌شود. شهرستان ماکو دارای ارتفاعات متعدد در قسمت‌های جنوبی، غرب و شمال‌غربی می‌باشد و حداکثر برجستگی حوضه در اشنگل داغی و حداقل آن در پلدشت می‌باشد.



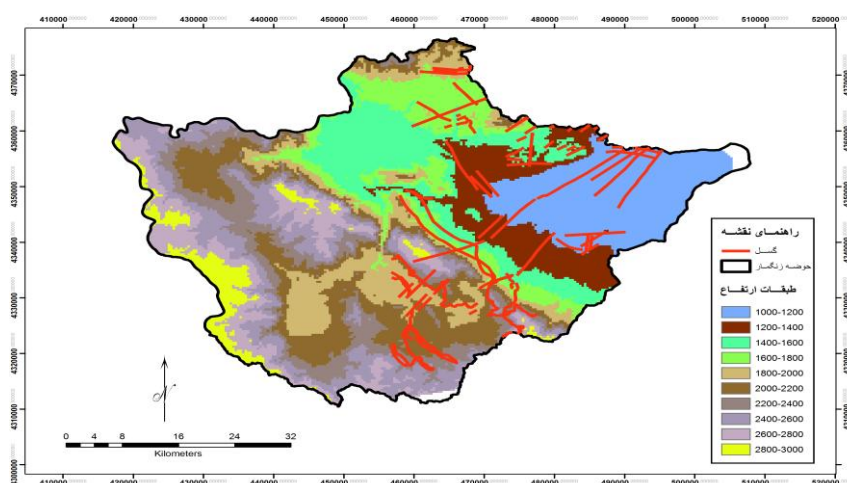
شکل ۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

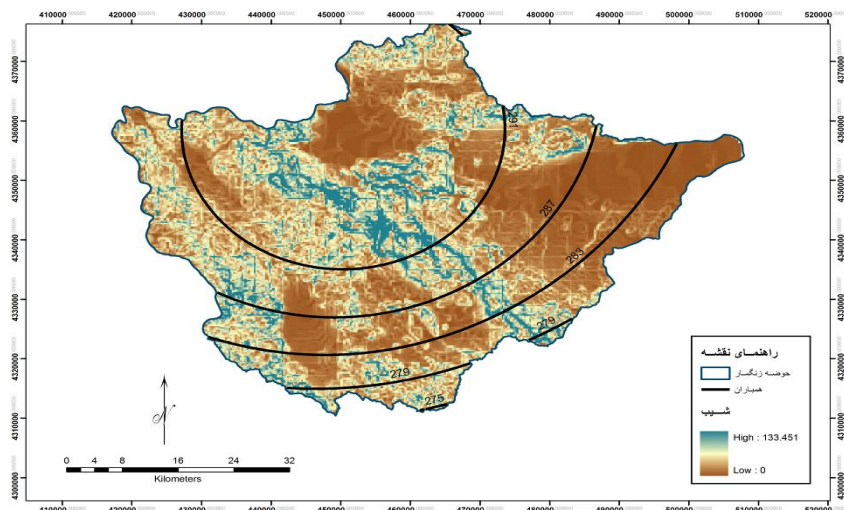
برای تعیین پراکنش فضایی پتانسیل وقوع حرکات توده‌ای در حوضه زنگمار از داده‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، داده‌های اقلیمی و مشاهدات میدانی استفاده شده است. با توجه به این که بیش‌تر زمین‌لغزش‌های منطقه در نواحی کوهستانی و شیب‌های زیاد مشاهده شده است، لذا نقش ارتفاع و شیب در ریسک حرکات توده‌ای قابل توجه است. حضور گسل‌های فعال و غیرفعال در ایجاد حرکات توده‌ای غیرقابل اجتناب است، به طوری که پراکندگی لغزش‌ها (لغزش‌های روستای باغچه جوق و ارتفاعات بایندر) در این نقاط دیده می‌شود. (شکل ۳)، تغییرات ارتفاع و پراکنش گسل‌ها و (شکل ۴)، نقشه شیب و بارش در حوضه زنگمار را نشان می‌دهد. (شکل ۵)، نقاط برداشت شده از وقوع حرکات توده‌ای در واحد ناهمواری کوهستان را نشان می‌دهد. همچنین کوهستان‌ها و مناطق مرتفع، بیش‌تر مساحت حوضه را اشغال نموده است. مشاهدات میدانی از وقوع حرکات توده‌ای در ماکو و جاده‌های اطراف آن نشان داد که غیر از سه عامل تغییرات ارتفاع، گسله‌ها و شیب، سایر عوامل مانند سنگ‌شناسی، فرسایش‌پذیری، کاربری اراضی، فاصله از رود، فاصله از جاده و شرایط اقلیمی در وقوع این پدیده نقش ویژه دارد. لذا موارد فوق به‌عنوان پارامترهای موثر در پتانسیل حرکات توده‌ای تعیین گردیدند. (جدول ۱) مختصات مناطقی که وقوع پدیده مشاهده شده است و در (شکل ۵) نمایش داده شده را نشان می‌دهد.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x < \min \\ \frac{x - \min}{\max - \min} & \min < x < \max \\ 1 & x > \max \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

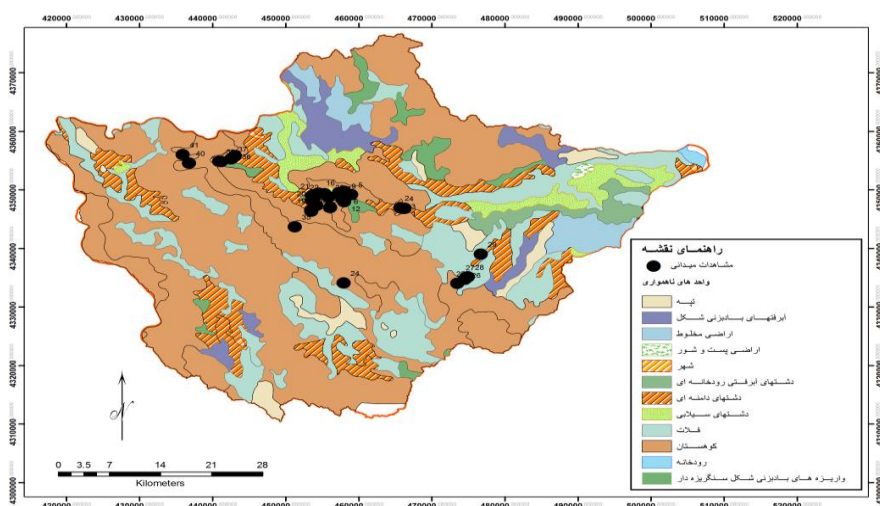
در رابطه (۱) x ارزش متغیر در هر نمونه است. \max حداکثر و \min حداقل مقدار مشاهدات است.



شکل ۳: تغییرات ارتفاع و پراکنش گسله‌ها در حوضه زنگمار



شکل ۴: نقشه شیب به درصد و بارش به میلی متر در حوضه زنگمار



شکل ۵: واحدهای ناهمواری و نقاط برداشت در حوضه زنگمار

برای اجرای مدل به دلیل عدم همگنی متغیرها، برای انجام آنالیز نیاز به یکسان سازی آن‌ها بود. یکسان سازی متغیرها براساس تعیین درجه عضویت^{۱۸} (رابطه ۱) انجام شد (ونالفن^{۱۹} و استوروگل^{۲۰}، ۲۰۰۰، ۱۷۱۳-۱۷۰۶). سپس براساس تابع گوسین فازی^{۲۱} عضویت‌ها تعدیل شد. این تابع، عضویت‌ها را به توزیع نرمال تبدیل می‌کند. نقطه میانی از این توزیع، شرایط ایده‌آل را تعیین می‌کند و عضویت ۱ برای آن منظور می‌شود. حرکت از نقطه میانی به دو جهت منفی

- 18- Membership
- 19- Vanalphen
- 20- Stoorvogel
- 21- The Fuzzy Gaussian function

و مثبت میزان عضویت را کاهش می‌دهد. پس از محاسبه عضویت‌ها، برای ترکیب لایه‌ها از توابع فازی و در نهایت از تابع گاما^{۲۲} استفاده شد تا حضور تمام عضویت‌ها را در مدل پهنه‌بندی حرکات توده‌ای فراهم سازد.

جدول ۱- نمونه‌های برداشت شده از حرکات توده‌ای در حوضه زنگمار

شماره نمونه	نام منطقه جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	نزدیک سه راهه رند	۳۹/۲۷	۴۴/۶۰۹
۲	بین جاده بازرگان و پارک جنگلی	۳۹/۲۷	۴۴/۶۰۲
۳	روبروی 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	۳۹/۲۵۸	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 قاسم‌آباد	۳۹/۲۹۳	۴۴/۵۱۶
۱۲	منطقه مسجد ابوالفضل	۳۹/۲۸	۴۴/۵۱۳
۱۳	اول بازار	۳۹/۲۹۶	۴۴/۵۱۳
۱۴	اول خیابان امیرکبیر	۳۹/۲۹۴	۴۴/۵۰۸
۱۵	خچرخان	۳۹/۲۹۴	۴۴/۵۱
۱۶	اول محله	۳۹/۲۹۴	۴۴/۴۰۵
۱۷	آخر بلوار	۳۹/۲۹۲	۴۴/۴۸۲
۱۸	حسینیه بلوار	۳۹/۲۹۳	۴۴/۴۷۲
۱۹	معرفت	۳۹/۲۹	۴۴/۴۶۴
۲۰	بلوار شهید جواد قنبری	۳۹/۲۸۴	۴۴/۴۶۴
۲۱	روبروی پمپ گاز قره‌سو	۳۹/۲۸۹	۴۴/۴۶۲
۲۲	قره کورپی	۳۹/۲۸۷	۴۴/۴۶۵
۲۳	خیابان شهید مدنی	۳۹/۲۸۷	۴۴/۴۸۸
۲۴	مقبره	۳۹/۱۵۵	۴۴/۵۱۳
۲۵	جاده شوط-چالدران	۳۹/۱۵۵	۴۴/۶۹۳
۲۶	جاده شوط-چالدران ۲	۳۹/۱۶۱	۴۴/۷۰۵

ادامه جدول ۱- نمونه های برداشت شده از حرکات توده ای در حوضه زنگمار

۴۴/۷۰۷	۳۹/۱۶۴	جاده شوط -چالدران ۳	۲۷
۴۴/۷۱	۳۹/۱۶۵	جاده شوط -چالدران ۴	۲۸
۴۴/۷۳	۳۹/۲	جاده شوط-چالدران ۵	۲۹
۴۴/۴۶۲	۳۹/۲۸۲	ورودی روستای قلعه جوق-رودخانه زنگمار	۳۰
۴۴/۴۶۹	۳۹/۲۷۴	روستای قلعه جوق	۳۱
۴۴/۴۹۱	۳۹/۲۷۱	انتهای روستای قلعه جوق	۳۲
۴۴/۴۶۱	۳۹/۲۶۷	جاده ماکو-قره غاچ	۳۳
۴۴/۴۶۱	۳۹/۲۶۵	جاده ماکو-قره غاچ ۲	۳۴
۴۴/۴۳۵	۳۹/۲۴۱	جاده ماکو-قره غاچ ۳	۳۵
۴۴/۳۳۹	۳۹/۳۵	باشکند	۳۶
۴۴/۳۳۳	۳۹/۳۴۵	جاده باشکند-قرمزلیق	۳۷
۴۴/۳۱۷	۳۹/۳۴۱	جاده باشکند-آواجیق	۳۸
۴۴/۳۱۴	۳۹/۳۴۱	جاده باشکند-آواجیق ۲	۳۹
۴۴/۲۶۴	۳۹/۳۳۸	جاده اواجیق به کلیساکندی	۴۰
۴۴/۲۵۶	۳۹/۳۵۱	نرسیده به روستای کلیساکندی (منشورهای بازالتی)	۴۱
۴۴/۷۰۷	۳۹/۱۶۴	جاده شوط -چالدران ۳	۲۷
۴۴/۷۱	۳۹/۱۶۵	جاده شوط -چالدران ۴	۲۸
۴۴/۴۶۱	۳۹/۲۶۷	جاده ماکو-قره غاچ	۳۳
۴۴/۴۶۱	۳۹/۲۶۵	جاده ماکو-قره غاچ ۲	۳۴
۴۴/۴۳۵	۳۹/۲۴۱	جاده ماکو-قره غاچ ۳	۳۵
۴۴/۳۳۹	۳۹/۳۵	باشکند	۳۶
۴۴/۳۳۳	۳۹/۳۴۵	جاده باشکند-قرمزلیق	۳۷
۴۴/۳۱۷	۳۹/۳۴۱	جاده باشکند-آواجیق	۳۸
۴۴/۳۱۴	۳۹/۳۴۱	جاده باشکند-آواجیق ۲	۳۹
۴۴/۲۶۴	۳۹/۳۳۸	جاده اواجیق به کلیساکندی	۴۰
۴۴/۲۵۶	۳۹/۳۵۱	نرسیده به روستای کلیساکندی (منشورهای بازالتی)	۴۱

یافته ها و بحث

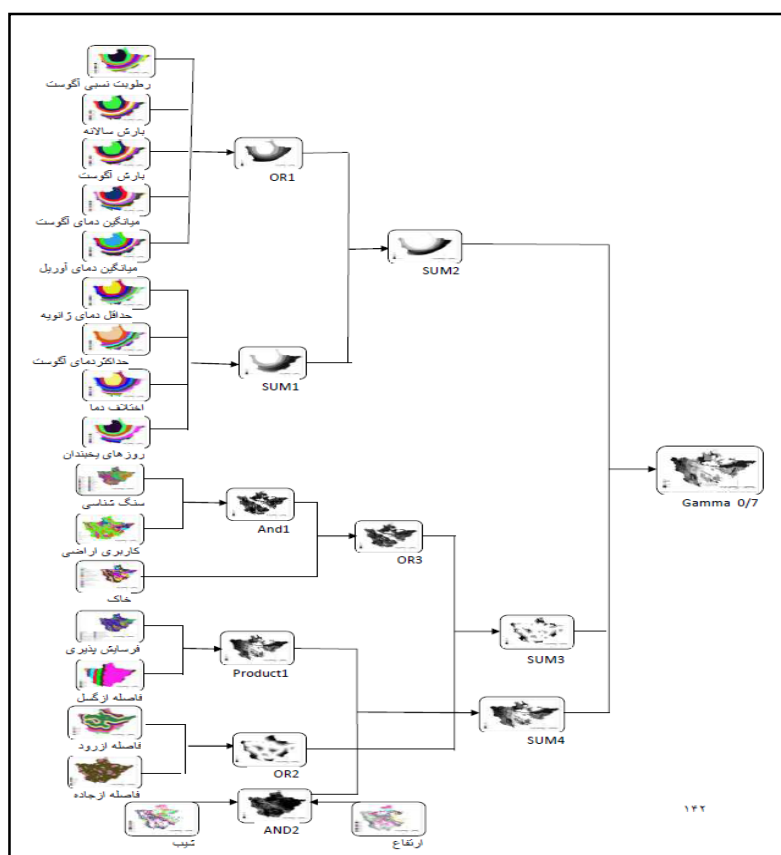
در حوضه زنگمار هوازدگی که خود از تبعات تغییر فصل است به طور محسوس مقاومت سنگها را از بین برده و سبب گسیختگی سنگها می شود. در ارتفاعات چرکین داغ این فرآیند سبب تخریب دامنه های تخت سنگی (تشکیلات آهکی) شده است. مواد هوازده ناشی از یخ شکافتگی و دما شکافتگی تحت تاثیر شیب دامنه ها به پایین

دست حرکت کرده و در جبهه کوهستان‌ها که شرایط مساعد انباشت وجود دارد روی هم انباشته شده است. به دلیل نقش هوازدگی در سست نمودن زمین و مساعد نمودن شرایط مساعد حرکات توده‌ای، متغیرهای رطوبت نسبی گرم‌ترین ماه، بارش سالانه، بارش گرم‌ترین ماه، میانگین دمای آوریل با تابع OR که از توابع جمعی فازی است، ترکیب شدند. عملکرد تخریب سنگ‌ها براساس شاخص‌های هوازدگی فیزیکو-شیمیایی صورت می‌گیرد و تحت تاثیر حضور هر ۴ عامل فوق می‌باشد (رابطه ۲). چون در محاسبه تخریب مکانیکی حداکثر دمای سردترین ماه و گرم‌ترین ماه، اختلاف دما و روزهای یخبندان اهمیت پیدا می‌کند، لذا از تابع Product برای ترکیب متغیرهای فوق استفاده شد و همچنین اثر تشدیدکنندگی کاربری زمین، سنگ‌شناسی، فرسایش‌پذیری و فاصله از گسل توسط (رابطه ۳) تعیین شد.

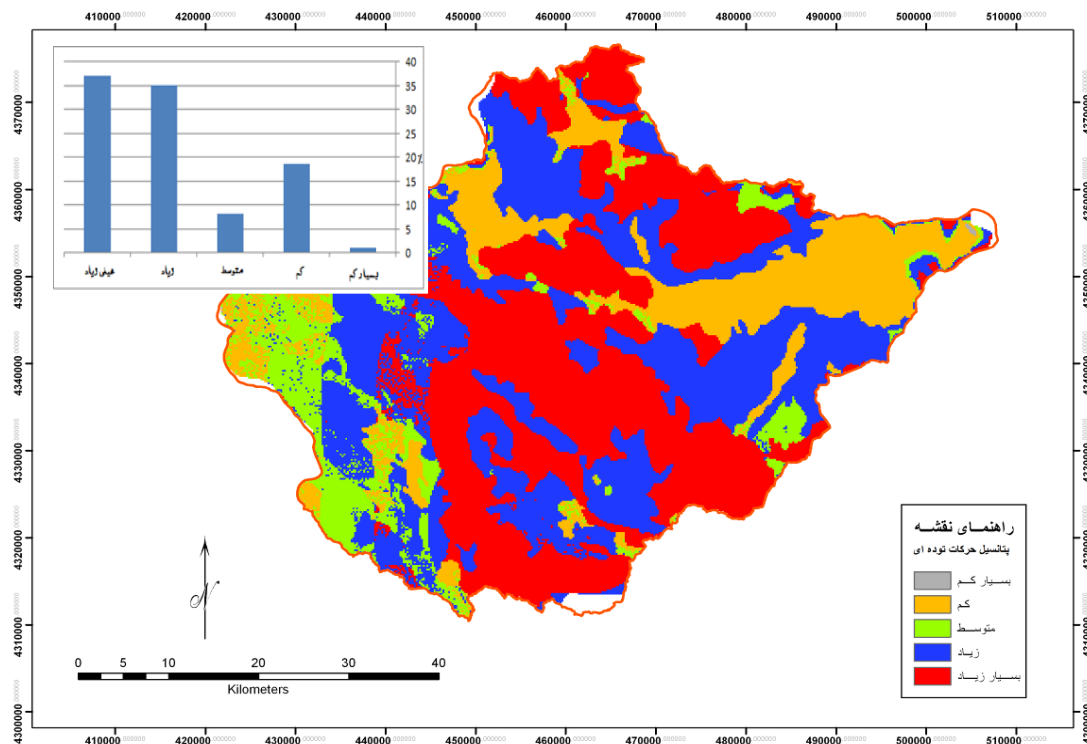
$$\text{OR Function} = \max\{\mu(A), \mu(B)\} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{Product Function} = \mu(A)\mu(B) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\gamma \text{ Function} = [\mu(A + B)]^\gamma [\mu(AB)]^{1-\gamma} \quad \text{رابطه (۴)}$$



شکل ۶: نحوه ترکیب لایه‌ها و استفاده از توابع فازی



شکل ۷: پتانسیل وقوع حرکات توده‌ای در حوضه رود زنگمار

نتیجه گیری

با توجه به (شکل ۷) قابلیت وقوع حرکات توده‌ای در حوضه زنگمار با خطرپذیری بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تعیین شدند که حدود ۳۷ درصد با احتمال وقوع بسیار زیاد و ۳۵ درصد با احتمال وقوع زیاد بیشترین پهنه‌ها را به خود اختصاص دادند. نمودار کنار شکل اخیر درصدهای مساحت را نشان می‌دهد. عوامل متعددی در وقوع حرکات دامنه‌ای در حوضه زنگمار دخالت دارد که سبب رخدادهای شدید در این منطقه شده است. از میان عوامل مورد بررسی بارش‌های شدید و ناگهانی در تشدید وقایع نقش مهمی داشته است که در مدل پهنه‌بندی در نظر گرفته شده است. به طور مثال در ماه‌های مرداد و شهریور ۱۳۸۷ به دنبال بارش رگباری و پی‌درپی، تخته‌سنگ‌های عظیم از ارتفاعات سقوط کرده و باعث ویرانی واحدهای مسکونی شده است در دی‌ماه سال ۱۳۷۲ و اسفند ماه ۱۳۷۲ برای چندمین بار در طول چند هفته سنگ‌های بزرگ در اثر ذوب تدریجی برف‌ها و سست بودن سازه‌های زیرین منجر به تخریب چند واحد مسکونی مربوط به افشار کم‌درآمد شهر گردید. در سال ۱۳۸۸ این پدیده در محدوده اطراف شهر رخ داد که جاده‌ها و خطوط ریلی را تحت تاثیر قرار داد. تجزیه و تحلیل و نتایج حاصل از مدل (جدول ۲) نشان داد که مؤثرترین سطوح خطر وقوع حرکات دامنه‌ای بیش‌تر در فاصله‌های ۰-۳۰۰۰

متر از گسل قرار دارند و ریزش‌هایی که در روستای باغچه جوق ماکو و ارتفاعات بایندر رخ داده به طور مستقیم و غیرمستقیم در اثر عوامل تکتونیکی بوده و دلیلی بر صحت این موضوع می‌باشد لذا در مناطقی که پراکندگی خطوط گسل بیش‌تر از سایر نقاط بود تعدد وقوع حرکات توده‌ای وجود داشته که این سطوح اغلب دارای ارتفاع ۱۹۰۰-۲۲۰۰ متر و شیبی برابر با ۳۹/۹-۵۷/۱ درجه را شامل می‌شوند همچنین این مناطق از نظر جنس سنگ اغلب سنگ آهک و کالرملاثر می‌باشند لذا از نظر قابلیت فرسایشی شیب‌های تند و مناطق با فرسایش بسیار شدید به همراه محدودیت عمق خاک را شامل می‌شوند طبق مطالعات انجام شده پوشش گیاهی یکی از عوامل ثبات و پایداری دامنه‌ها است نواحی فاقد پوشش گیاهی یا پوشش گیاهی ضعیف در مقابل فرسایش آسیب‌پذیر بوده و ناپایدار هستند بنابراین عدم رعایت اصول درست شخم زدن و جاهایی که کشاورزی با اصول فنی و علمی انجام نگرفته و یا دامنه‌ها توسط انسان دستکاری شده سبب تشدید خطر حرکات توده‌ای در منطقه شده است؛ اما کم‌تأثیرترین سطوح برای وقوع خطر حرکات دامنه‌ای در حوضه زنگمار سطوح دارای ارتفاع ۱۴۰۰ متر و شیب‌های ۳/۹-۱۳/۷ قرار دارند که اغلب از آبرفت تشکیل شده و دشت‌ها را شامل می‌شود همچنین این سطوح در فاصله ۰-۵۹۹۴ متر از گسل و ۰-۳۲۱۲ متر از آبراهه فاصله قرار دارند که شامل مناطق سنگلاخی می‌شوند. نقشه پهنه‌بندی ریزش با نقشه شهرها و جاده‌های حوضه مورد مطالعه همپوشانی شد و شهر ماکو به دلیل موقعیت طبیعی خود (قرار گرفتن بین دوکوه) و به دلیل عامل سنگ‌شناسی، شرایط اقلیمی و وجود شیب زیاد از مستعدترین منطقه برای وقوع حرکات توده‌ای است و در محدوده بسیار زیاد قرار دارد و شهرستان چالدران دارای استعداد خطر بالای پدیده ریزش می‌باشد. برای استخراج آستانه‌ها و بازه تغییرات عوامل موثر در حرکات توده‌ای (جدول ۲) برای محدوده‌های با پتانسیل وقوع متوسط تا خیلی زیاد استخراج شد.

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با افزایش ارتفاع و شیب احتمال وقوع حرکات توده‌ای افزایش می‌یابد. حرکات توده‌ای با معکوس فاصله از گسل، واحد ناهمواری دامنه و سنگ‌های سخت یکپارچه رابطه مستقیم دارد که با نتایج تحقیق کریشان، ۱۹۹۹، لارسن و همکاران، ۲۰۰۴، کومک مطابقت دارد. همچنین برای مقایسه حرکات دامنه‌ای در چشم‌اندازهای مختلف نمونه‌های برداشت‌شده با نقشه پتانسیل زمین‌لغزش انطباق داده شد (جدول ۳). تنها ۷ نمونه از ۴۱ نمونه برداشتی یا ۱۷ درصد با سطوح خطر بسیار کم، کم و متوسط انطباق دارد. ۸۳ درصد با سطوح خطر زیاد و خیلی زیاد انطباق دارد که بیش‌تر آن‌ها در مناطق شهری رخ داده است. مشاهدات میدانی مجدد در نمونه‌های برداشت‌شده نیز خاطر نشان ساخت که نمونه‌هایی که رخداد پدیده‌ها را نشان می‌دهند بر سطوح خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند.

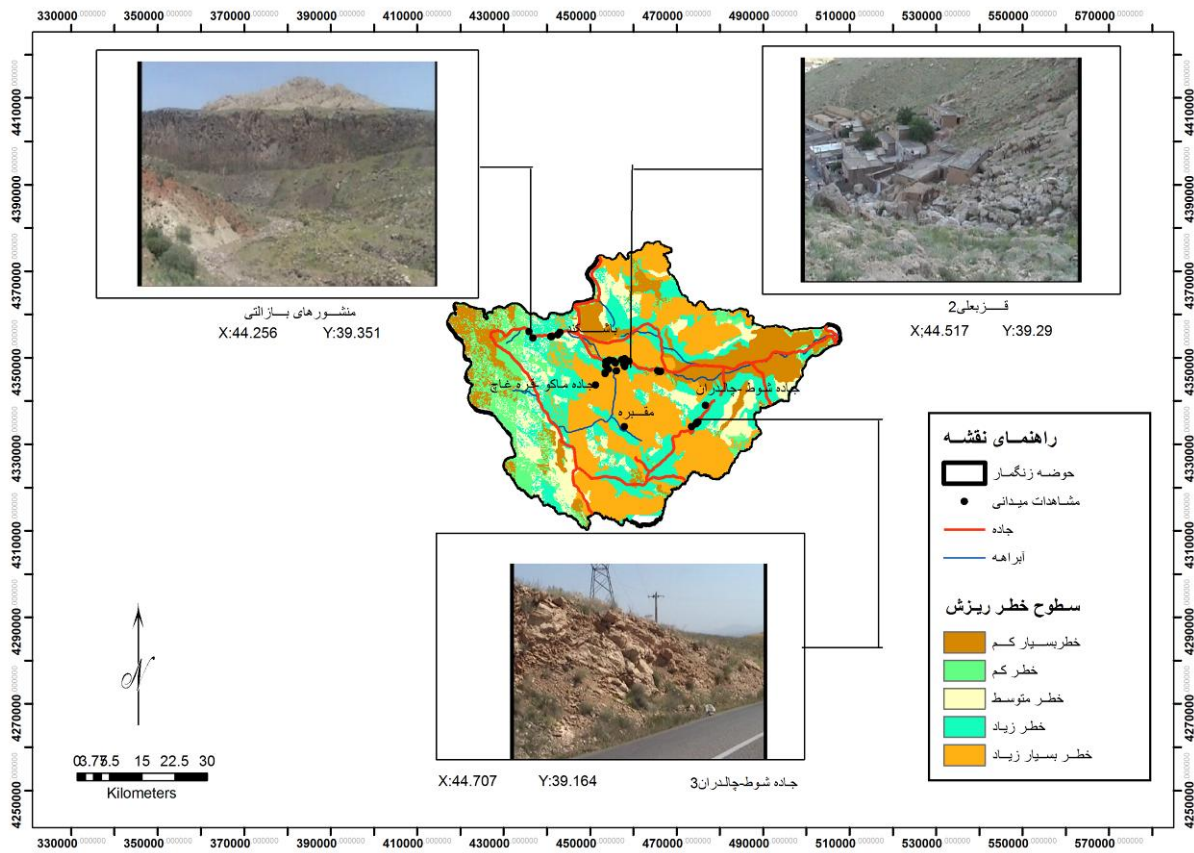
(شکل ۸)، ۳ نمونه در انطباق با نقشه را نشان می دهد. اگرچه حرکات توده ای جزو رخدادهای ناگهانی محسوب می شود، اما درجات حضور و تجمع عوامل موثر می تواند احتمال وقوع آن را تعیین نمایند. تعیین عضویت به عوامل دخیل در حرکات توده ای در روش فازی، تعیین کننده رده بندی حضور عوامل موثر است که اکثر محققان راه یکسان را می پیمایند و توابع فازی تعیین کننده نحوه حضور و تجمع عوامل موثر در رخداد فرآیند حرکات توده ای است. انطباق ۳۴ مورد از ۴۱ رخداد یا ۸۳ درصد از رخداد حرکات توده ای با سطوح خطر زیاد و خیلی زیاد، دلیلی است که می تواند نحوه ترکیب عوامل که در (شکل ۶) نمایان است را توجیه نماید.

جدول ۲- بازه تغییرات عوامل موثر در حرکات توده ای

بسیار زیاد	زیاد	متوسط	احتمال وقوع حرکات توده ای
۱۹۰۰	۲۲۰۰	۱۴۰۰	ارتفاع متوسط به متر
۳۹/۴-۴۸/۷	۴۸/۷-۵۷/۱	۳/۹-۱۳/۷	شیب به درجه
سنگ آهک	کالرمالتر	آبرفت	جنس سنگ
دامنه	دامنه	دشت	واحد ناهمواری
شیب بسیار تند- فرسایش بسیار شدید- محدودیت عمق خاک	شیب بسیار تند- فرسایش بسیار شدید محدودیت عمق خاک	پستی و بلندی- محدودیت خاک- سنگلاخی	قابلیت فرسایش
۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۳۰۰۰	۰-۵۹۹۴	فاصله از گسله ها به متر
۰-۳۲۱۲	۳۲۱۲-۶۴۲۵	۰-۳۲۱۲	فاصله از رودخانه به متر

جدول ۳- شماره نمونه ها در هریک از سطوح خطر

شماره نمونه ها در هریک از سطوح خطر	سطوح خطر
۴، ۳، ۲، ۱	خطر بسیار کم
۸، ۷	خطر کم
۴۰	خطر متوسط
۴۱، ۳۹، ۳۷، ۳۸، ۳۶، ۲۹، ۲۸، ۲۷، ۲۶، ۲۳، ۲۲، ۲۱، ۲۰، ۱۹، ۱۸، ۱۷	خطر زیاد
۳۵، ۳۴، ۳۳، ۳۱، ۳۰، ۲۵، ۲۴، ۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۶، ۵	خطر بسیار زیاد



شکل ۸: مشاهدات میدانی در محدوده مورد مطالعه

منابع

- بلادپس، علی (۱۳۸۴)، «تحلیلی بر ژئومورفولوژی لغزش‌ها در منطقه ماکو (ماکو تا دشت بازرگان)»، *فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۵۲، صص ۷۵-۶۱.
- خضری، سعید؛ روستایی، شهرام؛ رجایی، عبدالحمید (۱۳۸۶)، «ارزیابی و پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در بخش مرکزی حوضه زاب شهرستان سردشت»، *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، شماره ۴، صص ۴۹-۸۰.
- غیومیان، جعفر؛ فاطمی‌عقدا، محمود؛ اشقلى‌فراهانی، عقیل؛ تشنه‌لب، محمد (۱۳۸۱)، «پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند مشخصه فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار گیلان)»، *پژوهش‌سازندگی*، شماره ۵۶ و ۵۷، صص ۸۰-۶۷.
- قهرودی‌تالی، منیژه (۱۳۸۹)، «کاربرد مدل فازی در تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی در حوضه رود کرج»، *دهمین کنفرانس سیستم‌های فازی ایران*، ۲۳ و ۲۴ تیر ماه، تهران، دانشگاه شهید بهشتی.
- کرم، عبدالامیر (۱۳۸۰)، «مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده (مطالعه موردی حوضه سرخون)»، رساله دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس.
- ماتيو، سی. لارسن؛ پارکز، جی. ای (۱۳۸۱)، «پهنای جاده چقدر باشد؟ (ارتباط تخریب توده‌های مواد و استقرار جاده‌ها در یک محیط کوهستانی)»، (ترجمه فریبا کرمی)، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، دانشگاه تبریز، شماره ۱۰، صص ۱۵۲-۱۲۹.
- Carara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., (1995), "Geographical information systems in assessing natural hazards", Kluwer Academic Publishers, *Dordrecht, the Netherlands*, 5: 135-175.
- Chang, N. B., Parvathinathan, G., Breeden, J. B., (2008), "Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill sitting in a fast-growing urban region", *Journal of Environmental Management*, 87: 139-153.
- Colombo, A., Lanterni, L., Ramasco, M., Troisi, C., (2005), "Systematic GIS-based landslide inventory as the first step for effective landslide hazard-management", *Landslide*, 2: 291-301.
- Fajfar, D., Ravnik, D., Ribicic, M., Komac, M., (2005), "Slovenian national landslide database as a solid foundation for the landslide hazard analysis", *Geophysical Reserch Abstracts*, 7:24-29.
- Grignon, A., Bobrowsky, P., Coultish, T., (2004), "Landslide database management philosophy in the Geological Survey of Canada", *Geo-engineering for the society and its*

- environment, 57th Canadian Geotechnical Conference and the 15th joint CGS-IAAH Conference, Québec, Canada, October, 24-27.
- Guzzetti, F., Tonelli, G., (2004), "Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy: a tool for managing landslide and flood hazards", *Nat Hazards Earth*, 4: 213-232.
 - Kainz, W., (2008), "GIS for hazard analysis using vague data, Chapter 1: Fuzzy Logic and GIS", Department of Geography and Regional Research, University of Vienna, Austria.
 - Komac, M., (2005), "A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia", *Geomorphology*, 74: 17-28.
 - Krishna, H., (1999), "Landslide hazard zonation mapping using remote sensing & GIS", *geomorphology*, 21:153-163.
 - Lan, H., wang, L., Li, R., (2004), "Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the xiaojiang watershed", *Enginnering Geology*,7: 109-128.
 - Lee, C. T., (2007), "Neuro-Fuzzy-based landslide susceptibility analysis-an example from central western Taiwan", *Geophysical Research Abstracts* ,9: 6849.
 - Murat, E., Candan, G., (2003), "Use of fuzzy relation to produce landslide susceptibility map of a landslide pron erea (west black sea region,turkey)", *Engineering Geology*, 75: 24-37.
 - Sabuya, F. M., Alves, G., pinto,W. D., (2006), "Assessment of failure susceptibility of soil slopes sing fuzzy logic", *Engineering Geology*, pp 14.
 - Vanalphen, B., Stoorvogel, J. J., (2000), "A functional approach to soil characterization in support of precision agriculture", *Soil Science Society of American Journal*, 64: 1706-1713.