



پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما (مطالعه موردی: حوزه آبخیز هراز)

حمیدرضا مرادی^{۱*}، حمیدرضا پورقاسمی^۲، مجید محمدی^۲، محمدرضا مهدویفر^۳

۱- گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس مازندران، نور.
۲- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبخیزداری، مازندران، نور، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
۳- بخش زمین‌لغزش، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

Landslide Hazard Zoning using Gamma Fuzzy Operator, with a Case Study of Haraz Watershed

Hamid Reza Morady^{1*}, Hamid Reza Pourghasemi¹,
Majid Mohammadi², Mohammad Reza Mahdavi³

1- Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University

2-PhD. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University

3- Landslide Section, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES).

Abstract

Research aimed at showing element weight used fuzzy sets because of the limitation on the use of numbers. The benefit of this theory includes the range of numbers with an accompanying possibility of the degree of landslide that can be used instead of one number. Thus, when the fuzzy collections theory is used for presenting weight factor, certainly a number is cannot determined for weight, but the only possible correct numbers provided more than other numbers may be close to correct its intended. The aim of this study was to supply landslide hazard zoning using gamma fuzzy operator in Haraz watershed. To achieve this objective, each factor having an impact on landslide occurrence - such as slope, aspect, elevation, lithology, land use, distance of road, distance of drainage, distance of fault and precipitation - were digitally mapped in a GIS environment. Landslide points were recognized using air photography and extensive field study and the level of correlation between each effective parameter in landslide occurrence with landslide points was determined using the frequency ratio model; fuzzy values were then determined using scientific ideas and a fuzzy membership function was obtained for each effective parameter in an Idrisi software environment. In this research for analysis we used different values of gamma. The results showed a gamma fuzzy operator with value $\lambda = 0.975$ had best accuracy in making a landslide hazard susceptibility map in study area.

Keywords: Landslide zoning, Fuzzy theory, Membership function, Gamma fuzzy operator, Frequency ratio, GIS, Haraz watershed.

چکیده

محدودیت استفاده از اعداد محققین را بر آن داشته که از مجموعه‌های فازی برای بیان وزن عوامل استفاده کنند. مزیت این تئوری در آن است که به جای یک عدد، دامنه‌ای از اعداد با درجه امکان مشارکت در لغزش در نظر گرفته می‌شود. لذا هنگامی که از تئوری مجموعه‌های فازی برای بیان وزن عوامل استفاده می‌شود به طور قطع و یقین یک عدد به عنوان وزن تعیین نمی‌گردد، بلکه تنها امکان صحیح بودن عدد ارائه شده بیش از امکان صحیح بودن سایر اعداد نزدیک به آن در نظر گرفته می‌شود. هدف از این تحقیق تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما در حوزه آبخیز هراز می‌باشد. به این منظور هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه از قبیل نقشه شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از گسل و نقشه همباران منطقه شناسایی و در محیط GIS رقمی گردیدند. نقاط لغزشی با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی شناسایی و سطح همبستگی هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش و نقاط لغزشی با استفاده از مدل نسبت فراوانی (Frequency ratio) مشخص و سپس مقادیر فازی با استفاده از نظرات کارشناسی و تعیین توابع عضویت برای هر یک از عوامل موثر در محیط نرم افزار Idrisi تعیین گردید. مقادیر مختلفی از گاما جهت آنالیز مورد استفاده قرار گرفت به طوری که نتایج نشان داد، اپراتور فازی گاما با مقدار $\lambda = 0.975$ بیشترین دقت را در تهیه نقشه حساسیت به خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه دارد.

کلید واژه‌ها: پهنه‌بندی زمین‌لغزش، تئوری فازی، توابع عضویت، اپراتور فازی گاما، نسبت فراوانی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، حوزه آبخیز هراز.

* Corresponding author. E-mail Address: Morady5hr@yahoo.com

مقدمه

در وقوع هر پدیده طبیعی ممکن است یک یا چند عامل دخیل باشند که هر یک از آنها نقش معینی ایفا می‌کنند؛ لذا همواره جهت محاسبه احتمال وقوع یک پدیده بایستی عوامل ایجادکننده آن را شناسایی نمود. اگر عوامل به درستی شناسایی نشوند، نقش آن‌ها در محاسبه احتمال وقوع پدیده در نظر گرفته نشده و نتیجه قابل اطمینان نخواهد بود. زمین لغزش، همچون سایر پدیده‌های طبیعی نتیجه حضور و تاثیر متقابل عوامل گوناگون است. برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش یک منطقه، در ابتدا بایستی میزان تاثیر هر یک از عوامل در وقوع آن تعیین گردد، اما برای رسیدن به این هدف محدودیت‌هایی وجود دارد که مهم‌ترین آنها کیفی بودن عوامل در نظر گرفته شده می‌باشد (MahdaviFar, 1996). در بسیاری از موارد مهندسین طراح نیاز به برآوردی کمی از پتانسیل خطر زمین لغزش دارند و داده‌های کیفی به دلیل مبهم بودن و انعطاف ناپذیری تفسیر آن‌ها، در کارهای طراحی قابل کاربرد نیستند. جنس مصالح، شیب دامنه، کاربری اراضی، بارندگی، زلزله و غیره از جمله عوامل موثر در لغزش هستند. اکثر این عوامل کیفی بوده و با معیارهای کمی سنجیده نمی‌شوند. برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش‌های کمی نمی‌توان از مقادیر کیفی استفاده نمود لذا باید داده‌های کیفی حاصل از میزان تاثیر عوامل مختلف (وزن عوامل)، به طریق مناسب به مقادیر کمی تبدیل گردند. تاکنون محققین زیادی در صدد تبدیل عوامل کیفی موثر در زمین لغزش‌ها به مقادیر کمی برآمده‌اند. اغلب محققین اعداد مطلق را برای بیان وزن هر یک از عوامل انتخاب نموده‌اند. استفاده از اعداد مطلق برای بیان اهمیت نسبی، علاوه بر تبدیل عوامل کیفی به کمی، انجام محاسبات و نتیجه‌گیری‌ها را بسیار ساده و آسان می‌سازد. با این وجود، استفاده‌کننده از این

روش همواره با یک محدودیت عمده روبرو می‌گردد. این محدودیت که ناشی از خواص ذاتی اعداد می‌باشد، ارزش مطلق هر عدد است. اگر وزن یک عامل را یک و وزن عامل دیگری دو فرض شود، عملاً تاثیر عامل دوم، دو برابر عامل اول در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال اگر در یک منطقه به عامل زمین‌شناسی وزن چهار و به عامل شیب وزن یک اختصاص یابد، بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه خطایی در این قضاوت، تاثیر عامل زمین‌شناسی چهار برابر عامل شیب دامنه در نظر گرفته شده است. این کار کاملاً دور از واقعیت بوده و با احتمال خطای زیاد همراه است (MahdaviFar and Fatemi Aghda, 2002). محدودیت استفاده از اعداد، برخی محققین (Binaghi *et al.*, 1998; Ercanoglu and Pistocchi *et al.*, 2002; Chi *et al.*, 2002; Ercanoglu and Gokceoglu, 2002; Tangestani, 2003; Scherthanner, Zhu *et al.*, 2004; Gokceoglu, 2004; Gorsevski *et al.*, 2006; Champati *et al.*, 2007 2005; Lee, 2007) را بر آن داشت که از مجموعه‌ها برای بیان وزن عوامل طبیعی استفاده کنند. مزیت مجموعه‌ها این است که به جای یک عدد، دامنه‌ای از اعداد با احتمالات به کار گرفته می‌شوند. لذا هنگامی که از مجموعه برای بیان وزن یک عامل استفاده می‌شود به طور قطع و یقین وزن آن عامل تعیین نمی‌گردد بلکه فقط احتمال صحیح بودن وزن ارائه شده بیش از احتمال صحیح بودن سایر اعداد نزدیک به آن در نظر گرفته می‌شود (Ashghali Farahani, 2002). نتایج حاصله از تحقیقات انجام شده نشان داده که استفاده از مجموعه‌های فازی به دلیل در نظر گرفتن محدوده‌ای از احتمالات به جای اعداد، محدودیت روش‌های کمی را برطرف ساخته و تحلیل دقیق‌تری از نقش عوامل طبیعی نسبت به سایر روش‌های کمی ارائه کرده است. به این ترتیب، دقت بیشتری در پیش‌بینی وقوع حوادث طبیعی از جمله زمین لغزش‌ها دارد. این تحقیق در بخشی از حوزه آبخیز رود هراز در حد فاصله امامزاده علی تا روستای وانا اجرا

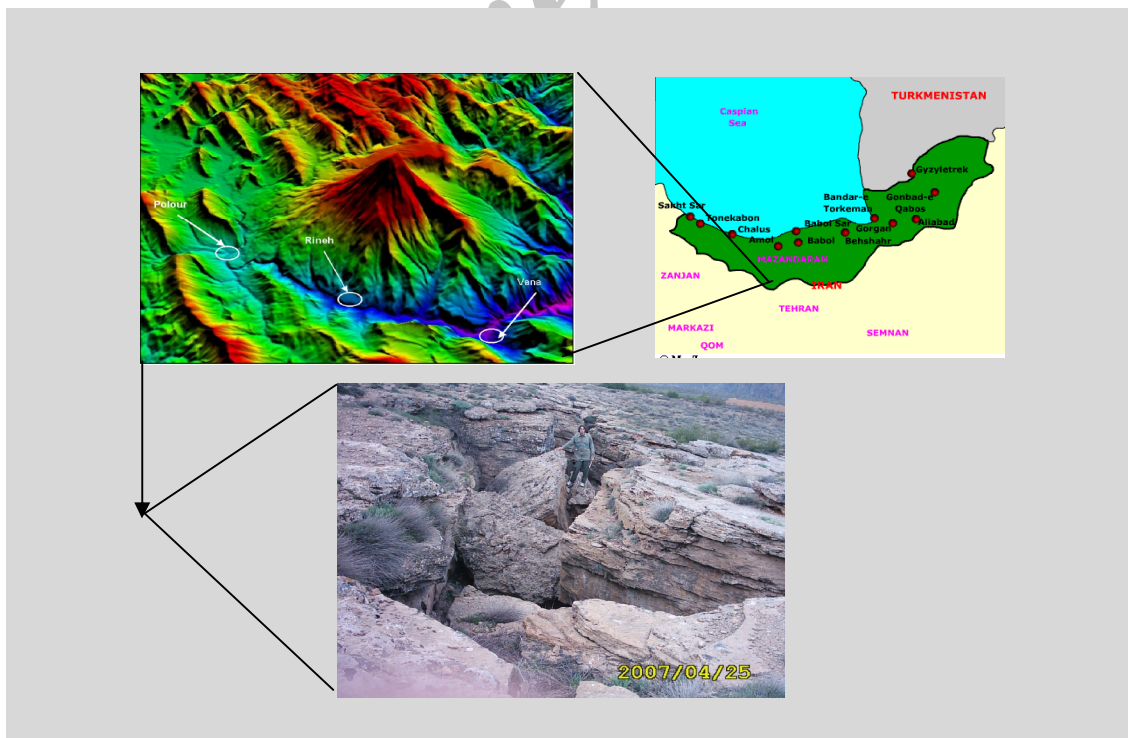
ارتباطی بین شهرهای آمل و تهران به مساحت ۱۱۴ کیلومتر مربع می‌باشد. این منطقه در دو شیت نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به نام‌های سنگلده و رینه قرار دارد. منطقه مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی ۳۸° ۵۲' ۰۶" تا ۳۵° ۱۷' ۲۴" شرقی و عرض‌های ۳۵° ۴۹' ۳۹" تا ۳۵° ۵۷' ۱۱" شمالی استقرار یافته است. ارتفاع بیشینه و کمینه منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۳۲۹۰ متر و ۱۲۰۰ متر می‌باشد (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه از طرف شمال به قله دماوند با ارتفاع ۵۶۷۱ متر و از جنوب به کوه قروقچی با ارتفاع ۳۰۵۹ متر و از شرق به روستای وانا و از غرب به روستای پلور ختم می‌شود.

به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این تحقیق، نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، کاربری اراضی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای ETM⁺ سال ۲۰۰۲ و عکس‌های

گردید. حوزه آبخیز هراز به دلیل موقعیت جغرافیایی، ویژگی‌های طبیعی و زمین‌شناختی یکی از مناطق مستعد بروز حرکات توده‌ای است. رود هراز جزء مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودهای استان مازندران بوده و از لحاظ اقتصادی به دلیل داشتن بیش از ۳۵ کارگاه پرورش ماهی و آبیاری مزارع در سطح جلگه دارای اهمیت زیادی است. تحقیق حاضر در صدد شناسایی و تعیین مناطق حساس به لغزش با استفاده از روش منطقی فازی است تا با شناسایی این مناطق، اقدامات اجرایی برای کنترل در منطقه دارای سمت و سویی منطقی گردد و از اتلاف انرژی و سرمایه جلوگیری شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در استان مازندران در بخش مرکزی سلسله جبال البرز قرار دارد که خود بخشی از زیرحوزه رودخانه هراز می‌باشد. مقطع انتخابی بخشی از مسیر جاده



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه روی نقشه استان مازندران و نمونه‌ای از لغزش مشاهده شده در منطقه

مورد مطالعه با استفاده از اپراتورهای Product، Sum و Gamma تهیه گردید. (Bonham; An et al., 1991; Lee, 2007; Chi et al., 2002; Carter, 1994)

$$\mu_{combination} = \prod_{i=1}^n \mu_i, \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن μ_i تابع عضویت فازی می‌باشد. عملگر ضرب فازی (Product) درجه عضویت‌های یک موقعیت در نقشه‌های مختلف را در هم ضرب می‌کند. این عملگر باعث کاهش عضویت نهایی می‌شود و نتیجه آن تعلق وزن بسیار کوچکی به هر موقعیت است که در صورت زیاد بودن نقشه‌های ورودی این عدد به سمت صفر میل می‌کند.

$$\mu_{combination} = 1 - \prod_{i=1}^n \mu_i (1 - \mu_i) \quad \text{رابطه ۳}$$

با اعمال عملگر جمع فازی (Sum)، مقدار عضویت نهایی پیکسل‌ها در نقشه خروجی بزرگ شده، و در صورت زیاد بودن ورودی‌ها به سمت یک میل می‌کند. به دلیل بزرگ شدن وزن‌های موقعیت‌های نهایی، اثر این عملگر افزایشی است.

رابطه ۴

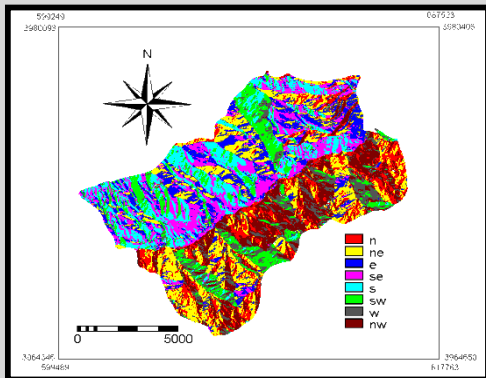
$$\mu_{combination} = (Fuzzy\ lg\ ebraic\ sum)^\lambda * (Fuzzy\ lg\ ebraic\ product)^{-\lambda}$$

عملگر فازی گاما، حالت کلی روابط عملگرهای ضرب و جمع است و می‌توان با انتخاب صحیح مقدار گاما، پارامترهای کاهش و افزایشی را همزمان تلفیق نموده، به مقادیری در خروجی‌ها دست یافت که حاصل سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های افزایشی و کاهش‌ی دو عملگر ضرب و جمع فازی می‌باشند و λ متغیری بین صفر و یک است. در این تحقیق مقادیر مختلفی از تابع فازی گاما نظیر ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹، ۰/۹۵ و ۰/۹۷۵ (Lee, 2007) مورد استفاده قرار گرفت.

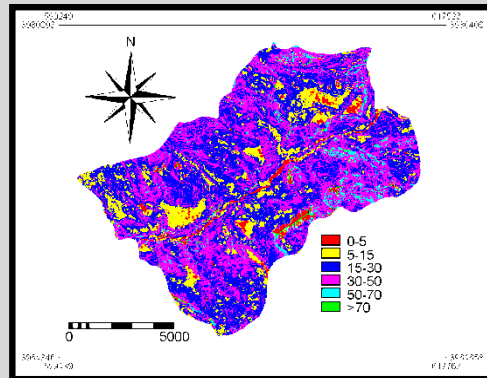
هوایی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از سازمان‌های مربوطه فراهم و نقشه‌های مذکور در محیط GIS رقومی گردید. با استفاده از عکس‌های هوایی منطقه، لغزش‌های اتفاق افتاده و مناطق مستعد و مشکوک به لغزش در منطقه شناسایی و از آن‌جا که بسیاری از لغزش‌ها به دلیل ابعاد کم یا ظاهری مشابه با دامنه‌های مجاور، در عکس‌های هوایی قابل تشخیص نیستند لذا برای تکمیل اطلاعات، تمامی لغزش‌های قابل دسترس مورد بازدید صحرایی قرار گرفتند. برای تعیین ارتباط زمین لغزش با عوامل موثر در وقوع آن و نیز تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه، از واحدهای کاری به عنوان مبنا و پایه مطالعات استفاده گردید. نقشه واحدهای کاری با تلفیق عوامل مرفولوژی (شیب، جهت شیب و ارتفاع) بدست آمد. با استفاده از نرم‌افزار ILWIS، نقشه‌های عامل (شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و بارش) تهیه شده (شکل‌های ۲ الی ۱۰) و با نقشه پراکنش زمین لغزش تلفیق گردید. به این ترتیب تعداد زمین لغزش در هر واحد کاری به دست آمد. در مرحله بعد با استفاده از مدل نسبت فراوانی، وزن هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط با آن از رابطه ۱ محاسبه گردید (Lee, 2007).

$$FR = A/B \quad (1)$$

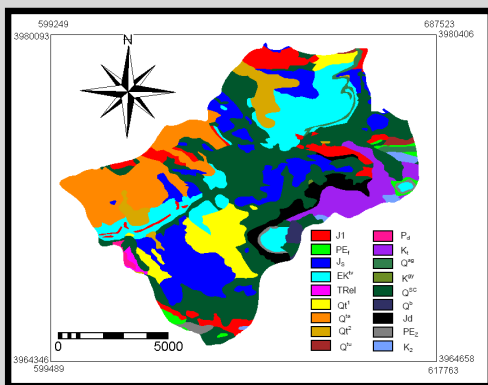
که در آن: A: درصد پیکسل‌های لغزشی، B: درصد پیکسل‌های فاقد لغزش و FR: نسبت فراوانی است. به منظور تجزیه و تحلیل‌های فازی در ابتدا وزن‌های به دست آمده از روش نسبت فراوانی، نرمال‌سازی (بین صفر و یک) و وارد نرم افزار Idrisi شد. با انتخاب نوع و شکل تابع عضویت، هر یک از نقشه‌های مذکور فازی گردید. در این تحقیق از تابع عضویت I- شکل (et al., 2004; Scherthanner, 2005; Zhu 2004) استفاده گردید. آنگاه با استفاده از رابطه‌های ۲ تا ۴ نقشه‌های خطر برای منطقه



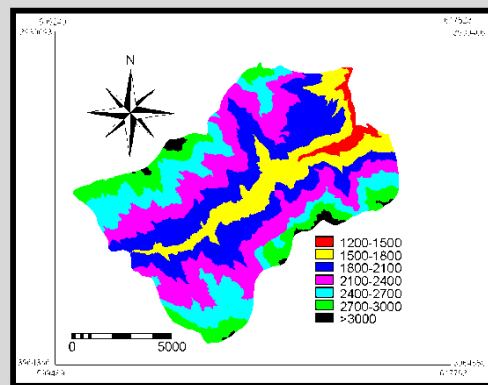
شکل ۳- نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه



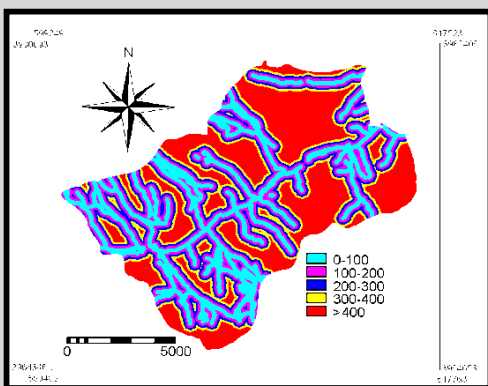
شکل ۲- نقشه شیب منطقه مورد مطالعه



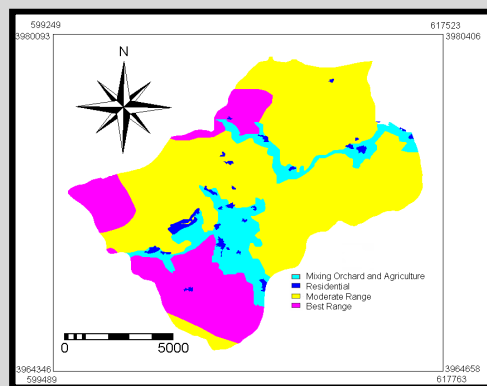
شکل ۵- نقشه لیتولوژی منطقه مورد مطالعه



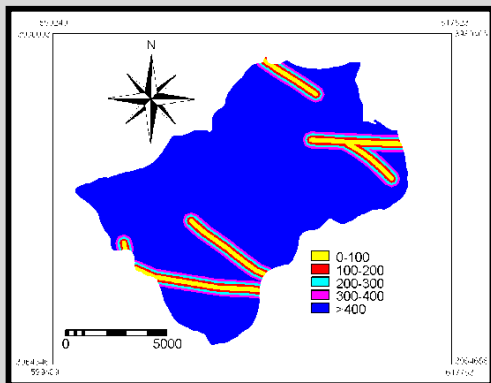
شکل ۴- نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه



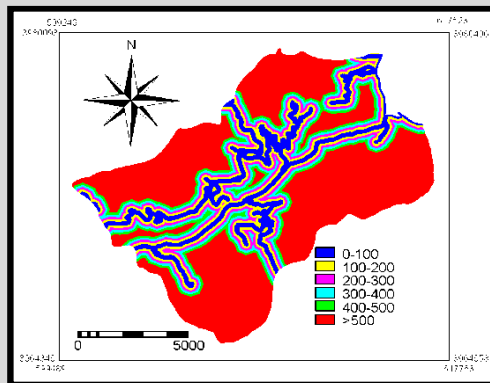
شکل ۷- نقشه حریم فاصله از آبراهه منطقه



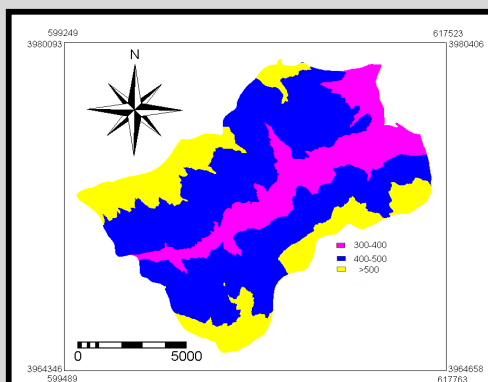
شکل ۶- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه



شکل ۹- نقشه حریم فاصله از جاده منطقه



شکل ۸- نقشه حریم فاصله از جاده منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰- نقشه بارش منطقه مورد مطالعه

ارزیابی روش پهنه‌بندی

نقشه پهنه‌بندی حرکات توده‌ای، از نقشه پراکنش حرکات توده‌ای حوزه استفاده کرد (Remendo et al., 2003). جهت حل این مشکل از ۷۸ نقطه لغزشی که در منطقه شناسایی گردید ۲/۳ نقاط لغزشی (۵۵ نقطه لغزشی) برای مدل سازی و ۱/۳ نقاط لغزشی (۲۳ نقطه لغزشی) برای کالیبره کردن مدل استفاده گردید (Komac, 2006). سپس نقشه

در روش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما برای وزن‌دهی به لایه‌های مختلف اطلاعاتی از نقشه پراکنش حرکات توده‌ای منطقه استفاده شد. بعد از تهیه نقشه‌های وزنی بر اساس روابط مدل، نقشه پهنه‌بندی حرکات توده‌ای تهیه و سپس بر اساس روند تغییرات منحنی هیستوگرام طبقه‌بندی گردید. لذا نمی‌توان جهت ارزیابی

معمولاً مقدار آن بین صفر تا هفت است. اختلاف بین مقادیر Qs، کمتر از ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود و مقادیر با اختلاف کمتر از این مقدار تقریباً یکسان لحاظ می‌گردند. در واقع Qs از جنس واریانس می‌باشد. انحراف مقادیر Dr از میانگین در پهنه‌های مختلف اگر به هم نزدیک باشند نشان‌دهنده آن است که تراکم زمین لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف نزدیک به یکدیگر بوده و مقدار Qs نیز پایین می‌باشد و اگر انحراف مقادیر Dr از میانگین در پهنه‌های مختلف زیاد باشد نشان‌دهنده آن است که تراکم زمین لغزش‌ها با یکدیگر تفاوت داشته و در نتیجه مقدار عددی Qs بزرگ می‌گردد. بنابراین هر نقشه پهنه‌بندی که دارای Qs بالاتر باشد دارای صحت و دقت بیشتری می‌باشد (Gee, 1991).

نتایج

بررسی نتایج حاصل از مقادیر عضویت فازی و ارتباط بین عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد.

نقشه‌های خطر تهیه شده با اپراتور فازی گاما (۰/۲۵ تا ۰/۹۷۵) پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این تحقیق نقشه‌های خطر زمین لغزش با اپراتور فازی Sum (شکل ۱۱)، Product (شکل ۱۲) و فازی گاما ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۰/۹ و ۰/۹۷۵ به ترتیب (شکل‌های ۱۳ تا ۱۷) ارائه شده است. با توجه به روش ارزیابی (جدول ۲)، نقشه خطر تهیه شده با اپراتور فازی گامای ۰/۹۷۵، بیشترین دقت و صحت را در منطقه مورد مطالعه دارد.

حاصله با نقشه پراکنش حرکات توده‌ای مقایسه گردید. نتیجه حاصله از انجام پهنه‌بندی خطر زمین لغزش عموماً به صورت نقشه‌هایی است که رده‌های مختلف خطر را در منطقه نشان می‌دهد و بسته به تعداد رده‌های خطر در منطقه با عباراتی نظیر بی‌خطر، خطر بسیار کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و یا بسیار زیاد معرفی می‌گردند. برای مقایسه رده‌های مختلف خطر از تراکم زمین لغزش‌ها یا نسبت تراکمی (Density ratio) در هر یک از رده‌های خطر استفاده می‌شود. تراکم زمین لغزش در نقشه‌های خطری که به طور صحیح تهیه شده‌اند از رده خطر کم تا رده‌های پرخطر به صورت صعودی است. نسبت تراکم با تقسیم نمودن تراکم زمین لغزش در رده خطر خاص به تراکم متوسط زمین لغزش‌ها بر مبنای تراکم سطحی و یا تعداد زمین لغزش محاسبه می‌گردد. مقدار Dr مساوی یک برای رده خطر خاص بیانگر آن است که تراکم زمین لغزش مساوی تراکم زمین لغزش در کل منطقه است. در صورتی که در منطقه‌ای چند نقشه خطر تهیه شده باشد، با استفاده از مقدار جمع کیفی (Qs) نقشه‌های صحیح تر و با دقت بیشتر را می‌توان شناسایی نمود. یک نقشه خطر خوب، نقشه‌ای است که بهترین جدایش را بین مناطق با تراکم بالای زمین لغزش و مناطق با تراکم پایین زمین لغزش ایجاد نماید. Qs بالاتر نمایانگر جدایش بهتر بین رده‌های خطر مختلف است. جمع کیفی (Qs) با رابطه ۵ تعریف می‌گردد (Gee, 1991):

$$Qs = \sum_{i=1}^n (Dr - 1)^2 * S \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن n: تعداد رده‌های خطر و S: مساحت رده خطر به درصد در منطقه است. گرچه از نظر تئوری حد فوقانی خاصی برای Qs نمی‌توان در نظر گرفت ولی

جدول ۱- مقادیر عضویت فازی مربوط به هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش

عامل	کلاس	تعداد پیکسل های فاقد لغزش	درصد پیکسل های فاقد لغزش	تعداد پیکسل های لغزشی	درصد پیکسل های لغزشی	FREQUENCY RATIO	مقادیر عضویت فازی
شیب بر حسب درصد	۰-۵	۴۰۲۵۱	۱/۴۳	۰	۰	۰	۰
	۵-۱۵	۱۶۸۴۹۷	۵/۹۹	۲	۳/۶۴	۰/۶۰۸	۰/۳۴
	۱۵-۳۰	۳۴۱۹۴۸	۱۲/۱۶	۱۲	۲۱/۸۲	۱/۷۹۴	۱
	۳۰-۵۰	۶۸۱۰۲۸	۲۴/۲۳	۲۰	۳۶/۳۶	۱/۵۰۱	۰/۸۴
	۵۰-۷۰	۷۴۱۸۱۲	۲۶/۳۹	۱۰	۱۸/۱۸	۰/۶۸۹	۰/۳۸
	>۷۰	۸۳۷۵۳۵	۲۹/۷۹	۱۱	۲۰	۰/۶۷۱	۰/۳۷
جهت شیب	شمال	۷۰۸۹۱	۲/۵۳	۶	۱۰/۹۱	۴/۳۱۲	۱
	شمال شرقی	۴۹۵۱۱۰	۱۷/۶۷	۷	۱۲/۷۳	۰/۷۲۰	۰/۱۷
	شرق	۳۵۴۴۲۶	۱۲/۶۵	۴	۷/۲۷	۰/۵۷۵	۰/۱۳
	جنوب شرقی	۳۸۴۴۶۷	۱۳/۷۳	۱۱	۲۰	۱/۴۵۷	۰/۳۴
	جنوب	۳۷۶۳۹۰	۱۳/۴۴	۷	۱۲/۷۳	۰/۲۱۹	۰/۲۲
	جنوب غربی	۲۹۳۰۱۳	۱۰/۴۶	۹	۱۶/۳۶	۱/۵۶۴	۰/۳۶
	غرب	۲۱۶۳۳۷	۷/۷۲	۷	۱۲/۷۳	۱/۶۴۹	۰/۳۸
شمال غربی	۳۷۳۲۶۰	۱۳/۳۳	۴	۷/۲۷	۰/۵۴۵	۰	
ارتفاع	۱۲۰۰-۱۵۰۰	۶۹۳۹۲	۲/۴۵	۰	۰	۰	۰
	۱۵۰۰-۱۸۰۰	۳۸۷۲۰۲	۱۳/۷۰	۱۹	۳۴/۵۴	۲/۵۲۱	۱
	۱۸۰۰-۲۱۰۰	۷۴۷۹۳۴	۲۶/۴۶	۲۲	۴۰	۱/۵۱۲	۰/۵۶
	۲۱۰۰-۲۴۰۰	۷۵۵۶۱۵	۲۶/۷۳	۷	۱۲/۷۳	۰/۴۷۶	۰/۱۹
	۲۴۰۰-۲۷۰۰	۵۱۶۱۵۸	۱۸/۲۶	۶	۱۰/۹۱	۰/۵۹۷	۰/۲۴
	۲۷۰۰-۳۰۰۰	۳۱۰۱۸۵	۱۰/۹۷	۱	۱/۸۲	۰/۱۶۶	۰/۰۷
	>۳۰۰۰	۴۰۳۰۴	۱/۴۳	۰	۰	۰	۰
لیتولوژی	EK ^{IV}	۳۶۲۶۸۶	۰/۸۴	۲	۳/۶۴	۴/۳۳۳	۱
	J _d	۹۳۴۵۹	۳/۳۱	۰	۰	۰	۰
	J _۱	۱۷۵۹۷۰	۶/۲۳	۰	۰	۰	۰
	J _s	۴۷۱۷۸۷	۱۵/۹۹	۱۹	۳۴/۵۵	۲/۱۶۱	۰/۵
	K _۲	۲۱۰۴۹	۰/۷۴	۰	۰	۰	۰
	K _t	۱۳۹۳۶۳	۴/۹۳	۳	۵/۴۵	۱/۱۰۵	۰/۲۶
	P _d	۷۲۷۹	۰/۲۶	۰	۰	۰	۰
	PE _f	۲۴۴۰۹	۰/۸۶	۰	۰	۰	۰
	PE _z	۲۴۳۹۳	۰/۸۶	۰	۰	۰	۰

ادامه جدول ۱

عامل	کلاس	تعداد پیکسل های فاقد لغزش	درصد پیکسل های فاقد لغزشی	تعداد پیکسل های لغزشی	درصد پیکسل های لغزشی	FREQUENCY RATIO	مقادیر عضویت فازی
لیتولوژی	Q ^{gs}	۳۱۱۳۱	۱/۱	۰	۰	۰	۰
	Q ^b	۱۶۱۵۱	۰/۵۷	۰	۰	۰	۰
	E _K ^{gy}	۷۳۴	۰/۰۳	۰	۰	۰	۰
	Q ^{sc}	۸۳۸۶۴۵	۲۹/۶۳	۱۵	۲۷/۲۷	۰/۹۲۰	۰/۲۱
	Q ^t ₁	۱۸۵۹۶۰	۶/۵۸	۱۳	۲۳/۶۴	۳/۵۹۳	۰/۸۳
	Q ^t ₂	۱۱۱۳۵۵	۳/۹۴	۰	۰	۰	۰
	Q ^{ta}	۳۲۱۲۶۳	۱۱/۳۷	۳	۵/۴۵	۰/۴۷۹	۰/۱۱
	Q ^{tu}	۱۱۳۸۳	۰/۴	۰	۰	۰	۰
	TR _{e1}	۸۴۳۹	۰/۳	۰	۰	۰	۰
کاربری اراضی	مرتع خوب	۶۱۷۴۸۲	۲۱/۹۱	۱۰	۱۸/۱۸	۰/۸۳۰	۰/۰۳
	مرتع متوسط	۱۸۱۲۸۱۰	۶۴/۳۲	۲۴	۴۳/۶۲	۰/۶۷۸	۰
	مخلوط باغ و کشاورزی	۳۷۹۷۷۷	۱۳/۴۷	۱۶	۲۹/۱	۲/۱۶۰	۰/۰۷
	مسکونی	۸۳۳۷	۰/۳	۵	۹/۱	۳۰/۳۳۳	۱
بافر فاصله از گسل	۰-۱۰۰	۱۱۱۳۹۰	۳/۹۴	۴	۷/۲۷	۱/۸۴۵	۰/۷۷
	۱۰۰-۲۰۰	۱۰۶۸۶۰	۳/۷۸	۴	۷/۲۷	۱/۹۲۳	۰/۸۰
	۲۰۰-۳۰۰	۱۰۷۰۰۴	۳/۷۹	۵	۹/۱	۲/۴	۱
	۳۰۰-۴۰۰	۱۰۸۹۳۱	۳/۸۵	۲	۳/۶۴	۰/۹۴۵	۰/۳۹
	>۴۰۰	۲۳۹۲۶۰۵	۸۴/۶۴	۴۰	۷۲/۷۲	۰/۸۶۰	۰
بافر فاصله از آبراهه	۰-۱۰۰	۶۶۸۷۸۶	۲۳/۶۶	۳۳	۶۰	۲/۵۳۶	۱
	۱۰۰-۲۰۰	۴۹۸۵۶۶	۱۷/۶۴	۵	۹/۱	۰/۵۱۶	۰/۲۰
	۲۰۰-۳۰۰	۳۹۲۹۹۲	۱۳/۹۰	۸	۱۴/۵۳	۱/۰۴۵	۰/۴۱
	۳۰۰-۴۰۰	۳۲۱۹۹۰	۱۱/۳۹	۲	۳/۶۴	۰/۳۱۹	۰
	>۴۰۰	۹۴۴۴۵۶	۳۳/۴۱	۷	۱۲/۷۳	۰/۳۸۱	۰/۱۵
بافر فاصله از جاده	۰-۱۰۰	۳۳۴۷۰۳	۱۱/۸۴	۲۴	۴۳/۶۴	۳/۶۸۶	۱
	۱۰۰-۲۰۰	۲۷۰۱۷۸	۹/۵۶	۳	۵/۴۵	۰/۵۷۰	۰/۱۶
	۲۰۰-۳۰۰	۲۳۲۲۰۰	۸/۲۱	۴	۷/۲۷	۰/۸۸۵	۰/۲۴
	۳۰۰-۴۰۰	۲۰۶۷۶۰	۷/۳۱	۴	۷/۲۷	۰/۹۹۴	۰/۲۷
	۴۰۰-۵۰۰	۱۸۷۶۴۲	۶/۶۴	۳	۵/۴۵	۰/۸۲۱	۰/۲۲
	>۵۰۰	۱۵۹۵۳۰۷	۵۶/۴۴	۱۷	۳۰/۹۲	۰/۵۴۸	۰

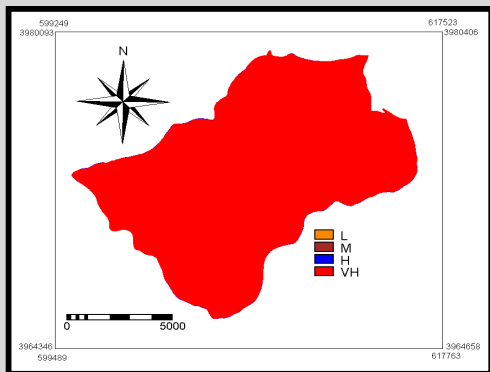
ادامه جدول ۱

عامل	کلاس	تعداد پیکسل های فاقد لغزش	درصد پیکسل های فاقد لغزشی	تعداد پیکسل های لغزشی	درصد پیکسل های لغزشی	FREQUENCY RATIO	مقادیر عضویت فازی
بارش	۳۰۰-۴۰۰	۵۸۲۹۹۳	۲۰/۶۲	۲۶	۴۷/۲۷	۲/۲۹۲	۱
	۴۰۰-۵۰۰	۱۶۲۳۷۲۱	۵۷/۴۴	۲۴	۴۳/۶۳	۰/۷۵۹	۰/۳۳
	>۵۰۰	۶۲۰۰۷۶	۲۱/۹۴	۵	۹/۱	۰/۴۱۵	۰

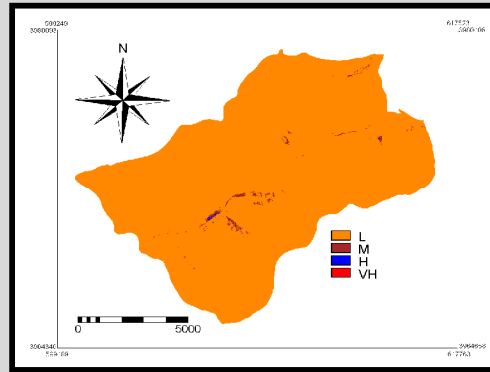
$E_k^{(1)}$: توف سبز، جریان های گدازه و گدازه های برشی شده آندزیتی-بازالتی، h : سنگ آهک تخمی-تخریبی با لایه بندی خوب، سنگ آهک مارنی، l_1 : سنگ آهک چرت دار توده ای تا لایه ای، J_s : شیل و ماسه سنگ تیره رنگ همراه با آثار گیاهی زغال سنگ و سازند شمشک، K_2 : سنگ آهک بیوزنیک و چرتی، K_3 : سنگ آهک اوریتولین دار (سازند تیزکوه)، P_h : ماسه سنگ کوارتزیتی با لایه بندی متقاطع (سازند دورود)، PE_r : کنگلومرا، آگلومرا، کمی مارن و سنگ آهک (سازند فجن)، PE_z : سنگ آهک نومولیت و آلونومین دار، کنگلومرا (سازند زیارت)، $Q^{(2)}$: آگلومرا، Q^b : اولیوین بازالت (قبل از دماوند)، $E_k^{(2)}$: سنگ گچ، $Q^{(3)}$: واریزه، Q_1^1 : پادگانه های آبرفتی قدیمی، Q_2^1 : پادگانه های آبرفتی جدید، $Q^{(4)}$: جریان های گدازه تراکی-آندزیتی، $Q^{(5)}$: خاکستر توف، لاپیلی توف، TR_{ei} : سنگ آهک نازک لایه.

جدول ۲- مقدار QS اپراتورهای مختلف فازی به منظور ارزیابی بهترین نقشه خطر لغزش

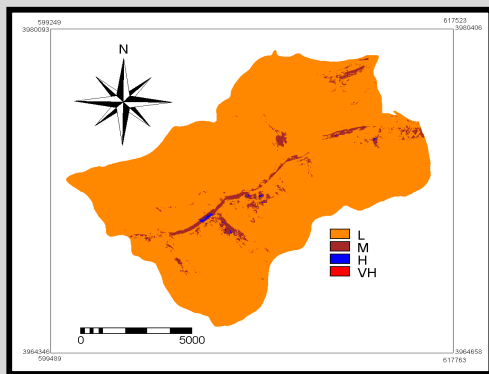
ردیف	روش پهنه بندی خطر زمین لغزش	QS
۱	اپراتور Sum	۰/۰۰۲۶
۲	اپراتور Product	۱/۰۴۰۸
۳	اپراتور Gamma (۰/۰۲۵)	۱/۹۱۵
۴	اپراتور Gamma (۰/۰۵)	۰/۸۹۱
۵	اپراتور Gamma (۰/۱)	۱/۴۶۵
۶	اپراتور Gamma (۰/۲)	۱/۸۵۲
۷	اپراتور Gamma (۰/۳)	۱/۲۲۴
۸	اپراتور Gamma (۰/۴)	۱/۵۰۸
۹	اپراتور Gamma (۰/۵)	۱/۳۱۹
۱۰	اپراتور Gamma (۰/۶)	۱/۵۸۰
۱۱	اپراتور Gamma (۰/۷)	۲/۰۳۳
۱۲	اپراتور Gamma (۰/۸)	۱/۷۹۷
۱۳	اپراتور Gamma (۰/۹)	۲/۰۷۹
۱۴	اپراتور Gamma (۰/۹۵)	۱/۱۸۹
۱۵	اپراتور Gamma (۰/۹۷۵)	۲/۱۴۹



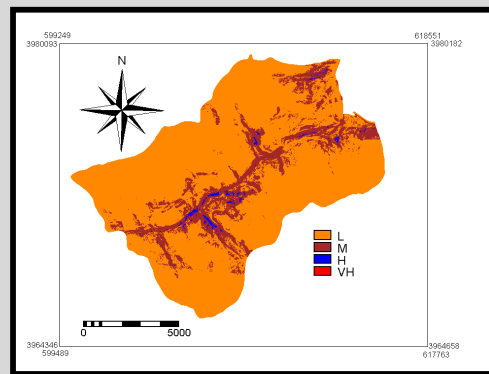
شکل ۱۲- نقشه خطر لغزش با اپراتور Sum



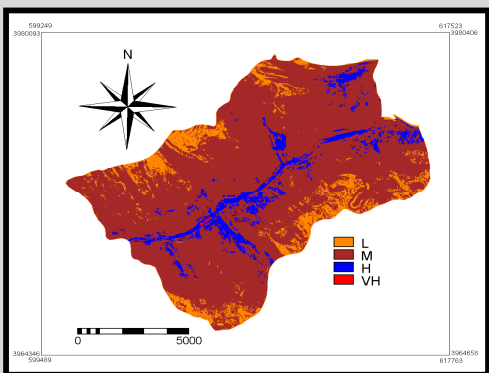
شکل ۱۱- نقشه خطر لغزش با اپراتور Product



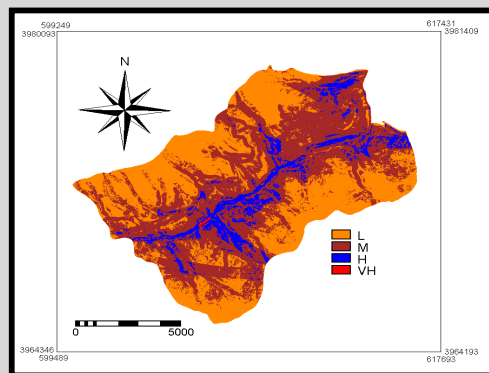
شکل ۱۴- نقشه خطر لغزش با اپراتور گامای ۰/۳



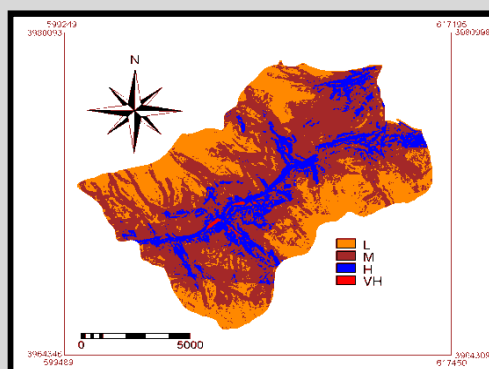
شکل ۱۳- نقشه خطر لغزش با اپراتور گامای ۰/۵



شکل ۱۶- نقشه خطر لغزش با اپراتور گامای ۰/۷



شکل ۱۵- نقشه خطر لغزش با اپراتور گامای ۰/۹



شکل ۱۷- نقشه خطر لغزش با اپراتور گامای ۰/۹۷۵

بحث

نقش نموده‌اند زیرا عامل جهت می‌تواند تحت تاثیر فیزیوگرافی منطقه نیز قرار گیرد (Ercanoglu and Gokceoglu, 2002). بررسی طبقات ارتفاعی نشان داده که کلاس ارتفاعی ۱۵۰۰-۱۸۰۰ (۳۴/۵۴٪) و ۲۱۰۰-۱۸۰۰ (۴۰٪) بیشترین درصد لغزش‌ها را به خود اختصاص داده که دارای بیشترین وزن بوده و با افزایش ارتفاع میزان حساسیت به خطر زمین لغزش کم گردیده است، اگرچه Pachauri and Pant (1992) معتقدند که هر چه ارتفاع بیشتر شود، حساسیت به خطر زمین لغزش در منطقه بیشتر می‌شود اما چنانچه در ارتفاعات بالا فراوانی وقوع لغزش کمتر گردد نشان‌دهنده آن است که در منطقه عوامل دیگری همچون لیتولوژی بسیار مقاوم به لغزش منطقه می‌باشد. بررسی لیتولوژی حوزه نشان داده که بیشترین لغزش در سازندهای EK^{IV} ، Q_1^I و s_1 رخ داده که به ترتیب از توف سبز، جریان گدازه، پادگانه‌های آبرفتی، شیل، ماسه سنگ تیره همراه با آثار گیاهی ذغال‌سنگ تشکیل شده که بسیار حساس به حرکات توده‌ای می‌باشند که با نظرات Shadfar et al., (2005) مطابقت دارد. بررسی کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های منطقه در کاربری مسکونی و مخلوط باغ-کشاورزی اتفاق افتاده که دلیل آن را می‌توان به نقش موثر انسان در

نتایج بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های منطقه در کلاس شیب ۱۵-۳۰ درصد اتفاق افتاده است که با نظرات (Fatemi Aghda et al., 2005؛ Ahmadi et al., 2005؛ Mohammadi et al., 2007) مطابقت دارد. البته شایان ذکر است که کلاس شیب ۳۰-۵۰٪ در درجه دوم اهمیت قرار دارد که با نظرات (Schernthanner, 2005؛ Lee, 2007) مطابقت دارد. نتایج بررسی جهت شیب نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های اتفاق افتاده در جهت‌های شمال و غرب می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان به تاثیر رطوبت به عنوان یکی از عوامل موثر بر وقوع حرکات توده‌ای نسبت داد، زیرا حوضه آبریز کرانه دریای خزر تحت تاثیر دو سیستم باران‌زای غربی و شمال تا شمال غربی بوده که رطوبت زیادی را برای منطقه به ارمغان می‌آورد. این نتایج با نظرات (Ahmadi et al., 2005) و Mohammadi et al., (2007) مطابقت دارد. اگرچه فراوانی لغزش در جهت جنوب‌شرقی بیشتر از سایر جهات می‌باشد. در توضیح این مطلب قابل ذکر است که عامل جهت یک عامل غالب برای وقوع زمین لغزش محسوب نمی‌گردد. احتمالاً در این مناطق فاکتورهای دیگری به عنوان عامل غالب در وقوع زمین لغزش ایفای

منابع

- Ahmadi, H., S.H. Mohammadkhan, S. Feiznia and J. Ghoddousi (2005). A modeling of mass movement hazard, case study: Taleghan drainage catchment. Iranian Journal Natural Resource, 58 (1): 3-14.
- An, P., Moon, W.M. and Renez, A. (1991). Application of fuzzy set theory to integrated mineral exploration. Canadian Journal of Exploration Geophysics, 27 (1): 1-11.
- Ashghali Farahani, A. (2002). Natural slopes instability hazard assessment in Rudbar area by using fuzzy logic, M.Sc thesis, Faculty of science geology, Tarbiat Moallem University.
- Binaghi, E., L. Luzi, P. Madella, F. Pergalani and A. Rampini (1998). Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy dempster-shafer approaches. Natural Hazards, 17: 77-97.
- Bonham-Carter, G.F. (1994). Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS. New York: Pergamon.
- Champati ray, P.K., S. Dimri, R.C. Lakhera and S. Sati (2007). Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya, Landslides, 4: 101-111.
- Chi, K.H., N.W. Park and C.J. Chung (2002). Fuzzy logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from Boeun, Korea. Symposium Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa:
- Ercanoglu, M. and C. Gokceoglu (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. Environ Geol, 41: 720-730.
- Ercanoglu, M. and C. Gokceoglu (2004). Use of fuzzy اکوسیستم‌های طبیعی و تخریب‌هایی که بواسطه تغییرات کاربری اراضی از جمله ساخت و ساز در منطقه بوجود آمده نسبت داد که با نظرات (Ahmadi et al., 2005 ; Fatemi Aghda et al., 2005; Shadfar et al., 2005; Ercanoglu and Gokceoglu, 2004) مطابقت دارد. بررسی نتایج فاصله از گسل نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های اتفاق افتاده در فاصله ۲۰۰-۳۰۰ متری از گسل مشاهده شده است. علیرغم اینکه ۷۲/۷۲٪ لغزش‌های منطقه در فواصل بیشتر از ۴۰۰ متری مشاهده شده‌اند اما کم‌ترین وزن ($F_r=0.860$) را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی عامل فاصله از شبکه آبراهه و فاصله از جاده نشان داد که به ترتیب ۶۰٪ و ۴۳/۶۴٪ لغزش‌های اتفاق افتاده منطقه در فاصله ۱۰۰ متری مشاهده شده است که بیشترین فراوانی را از نظر لغزش به خود اختصاص داده‌اند که با نظرات محققین زیادی (Shadfar et al., 2005; Shadfar et al., 2005; Lee, 2007; Fatemi Aghda et al., 2005) مبنی بر افزایش وقوع زمین لغزش با نزدیکی فاصله به آبراهه و جاده مطابقت دارد. نتایج بررسی عامل بارش نیز نشان داده که بیشتر لغزش‌ها در مناطقی اتفاق افتاده که حدود ۴۰۰-۳۰۰ میلی‌متر بارندگی داشته‌اند و نکته قابل تامل آن است که هر چه قدر میزان بارندگی در منطقه بیشتر می‌شود به همان اندازه میزان لغزش کمتر می‌گردد که این موضوع شاید به دلیل تاثیر دیگر عوامل مهم بر وقوع خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه باشد که به نحوی تاثیر بارش را پوشش داده‌اند. نقشه‌های خطر تهیه شده با اپراتور فازی گاما (۰/۲۵ تا ۰/۹۷۵) پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به روش ارزیابی (جدول ۲)، نقشه خطر تهیه شده با اپراتور فازی گاما (۰/۹۷۵)، بیشترین دقت و صحت را در منطقه مورد مطالعه داشته است که با نظرات (Lee, 2007 ; Scherthanner, 2005; Tangestani, 2003) مطابقت دارد.

- Pachauri, A.K. and M. Pant (1992). Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Eng. Geol.*, 32: 81-100.
- Pistocchi, A., L. Luzi and P. Napolitano (2002). The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods. *Environ Geol.*, 41: 765-775.
- Remendo, J., A. Gonzales, J. Teran, A. Cendrero, A. Fabbri and C. Chung (2003). Validation of landslide susceptibility maps, examples and applications from a case study in northern Spain. *Natural Hazard*, 437-449.
- Schernthanner, H. (2005). Fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping (Rio Blanco, Nicaragua). M.Sc Thesis, Institute of Geography, NAWI, Paris Lodron University Salzburg.
- Shadfar, S., M. Yamani and M. Namaki (2005). Landslide hazard zonation using information value, surface density and LNRE models in Chalakroud watershed. *Journal Water and Watershed*, (3): 62-68.
- Tangestani, M.H. (2003). Landslide susceptibility mapping using fuzzy gamma operation in GIS, Kakan catchment's area, Iran. *Proceedings of the Map India 2003 Conference*, copyright GIS Development.
- Zhu, A.X., R.X. Wang, J.P. Qiao, Y.B. Chen, Q.G. Cai and C.H. Zhou (2004). Mapping landslide susceptibility in the three gorges area, China using GIS, expert knowledge and fuzzy logic. *GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment (Proceedings of ICGRHWE held at the Three Gorges Dam, China, and September 2003)*.
- relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Eng Geol.*, 75: 229-250.
- Fatemi Aghda, S.M., J. Ghayoumian, M. Teshnehlab and A. Ashghali Farahani (2005). Assessment of landslide hazard by using fuzzy logic (case study Rudbar area). *Journal science, University Tehran*, 11: 43-64.
- Gee, M.D. (1991). Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability, *Landslides*, Bell (ed.), 1991 Balkema, Rotterdam.
- Gorsevski, P.V., P. Jankowski and P.E. Gessler (2006). Heuristic approach for mapping landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process. *Control and Cybernetics*, 35: 1-26
- Komac, M.A. (2006). Landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in per alpine Sloveni. *Geomorphology*, 74: 17-28.
- Lee, S. (2007). Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 50: 847-855.
- MahdaviFar, M.R. (1996). Landslide hazard zonation in Khoreshrostan region (south west of Khalkhal country), M.Sc thesis, Tarbiat Modares University.
- MahdaviFar, M.R. and S.M. Fatemi Aghda (2002). Application fuzzy sets analysis in landslide hazard zonation and description provided computer system, *Proceeding 2st landslide and its increase disasters*, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), 137-145.
- Mohammadi, M., H.R. Moradi, H.R. Pourghasemi and M. Davodi (2007). Investigation of natural slopes instability and it application to landuse planning using GIS, *The first national meeting landuse planning*, Hamedan University Azad, 91-92.

