



دانشگاه علم و صنعت ایران

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد هجدهم، شماره چهارم، ۱۳۹۰

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## ارزیابی عوامل ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز هراز)

حمیدرضا پورقاسمی<sup>۱</sup>، \* حمیدرضا مرادی<sup>۲</sup>، سید محمود فاطمی عقدا<sup>۳</sup>

محمد رضا مهدوی فر<sup>۴</sup> و مجید محمدی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، <sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت

مدرس، <sup>۳</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت معلم، <sup>۴</sup> استادیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۳۱

### چکیده

در این پژوهش با استفاده از عکس‌های هوایی و مطالعات میدانی زمین‌لغزش‌های رخ داده در بخشی از حوضه آبخیز هراز شناسایی و با استفاده از پارامترهای ژئومورفولوژیکی (شیب، جهت شیب، ارتفاع) و زمین‌شناسی (لیتولوژی و فاصله از گسل) به‌عنوان مهم‌ترین عوامل موثر بر خطر وقوع زمین‌لغزش منطقه، به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش اقدام گردید. به‌این منظور هر یک از عوامل موثر به‌عنوان یک لایه اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار ILWIS ذخیره و برای تحلیل‌های مبتنی بر تئوری مجموعه‌های فازی مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل‌های فازی با استفاده از نرم‌افزار Matlab 7.1 و پس از تعیین توابع عضویت برای هر یک از عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش انجام شد. سپس خروجی این نرم‌افزار که درجه خطر محاسبه شده برای هر پیکسل در نقشه محدوده مورد مطالعه می‌باشد، به محیط نرم‌افزار ILWIS منتقل و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از توابع عضویت مثلثی و گوسی فازی تهیه گردید. نتایج ارزیابی نشان داد که نقشه خطر زمین‌لغزش تهیه شده با استفاده از تابع عضویت گوسی با شاخص جمع کیفی ( $QS=0/23$ ) دقت و صحت بیشتری نسبت به نقشه تهیه شده با استفاده از تابع عضویت مثلثی با شاخص جمع کیفی ( $QS=0/0515$ ) دارد.

**واژه‌های کلیدی:** ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، زمین‌لغزش، منطق فازی، توابع عضویت

\*مستول مکاتبه: [morady5hr@yahoo.com](mailto:morady5hr@yahoo.com)

## مقدمه

ناپایداری دامنه‌های طبیعی، یکی از پدیده‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش موثری دارد و زمانی که فعالیت‌های انسانی را تحت تاثیر قرار دهد می‌تواند به پدیده‌ای خطرناک تبدیل شود (فاطمی‌عقدا و همکاران، ۲۰۰۵). بر اساس مطالعات انجام شده توسط شبکه موضوعی ژئوتکنیک اروپا، زمین‌لغزش به تنهایی ۱۷ درصد از بلایای طبیعی جهان را به خود اختصاص داده است (کوهورست و همکاران، ۲۰۰۵). براساس گزارش کمیته بلایای طبیعی ایران، طی برنامه پنج ساله اول، خسارات ناشی از بلایای طبیعی در کشور بالغ بر ۱/۶ میلیارد دلار برآورد شده که بخش اعظم آن مربوط به خسارات زمین‌لغزش است (باقریان و همکاران، ۲۰۰۵). از آن‌جا که در روش‌های کمی پهنه‌بندی زمین‌لغزش، عموماً از اعداد وزنی برای بیان نقش عوامل استفاده می‌کنند و این‌که اعداد ارائه شده، نتیجه مشاهده ارتباط زمین‌لغزش‌های رخ داده با عوامل یادشده است مسلماً نمی‌تواند به‌طور یقین معیار درستی برای بیان اهمیت عامل در وقوع زمین‌لغزش باشد. بنابراین محققان بر آن شدند که از مجموعه‌های فازی برای بیان وزن عوامل طبیعی استفاده کنند. مزیت مجموعه‌های فازی نسبت به اعداد این است که محدوده‌ای از امکان‌ها را برای بیان نقش عامل یاد شده در نظر گرفته و علاوه بر مزایای روش‌های آماری، به‌دلیل بیان دقیق عواملی که نقش محدودی در وقوع زمین‌لغزش خواهد داشت، دقت بیشتری در پیش‌بینی وقوع حوادث طبیعی از جمله زمین‌لغزش‌ها دارند (مهدویفر، ۱۹۹۶). از سوی دیگر منطق فازی به دلیل قابلیت فرموله نمودن دانش بشری در قالب ریاضی، ابزاری سودمند در ارزیابی خطر زمین‌لغزش به‌شمار می‌آید. مطالعاتی که در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی انجام شده عبارتند از: چای و همکاران (۲۰۰۲) در کشور کره به منظور تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش از منطق فازی استفاده کردند. در این پژوهش از شبکه‌های استنتاج فازی با عملگرهای مختلف، به‌ویژه ترکیبی از عملگرهای Or و  $\lambda$  (گاما) استفاده گردید.

مهدویفر (۱۹۹۶) در منطقه خورش رستم در جنوب غربی شهرستان خلخال به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پرداخت. در این مطالعه، منطقه مورد مطالعه با استفاده از شبکه منظم به ۵۰۷۱ واحد مربع شکل با ابعاد ۵۰۰ متر تقسیم گردید. سپس واحدهای یاد شده از نظر وجود عوامل مختلف لغزش

همچون زمین‌شناسی، درصد شیب دامنه، تیپ اراضی، فاصله از گسل و نهشته‌های لغزشی مورد بررسی قرار گرفته و به وسیله مجموعه‌های فازی پهنه‌بندی گردیدند.

فاطمی‌عقدا و همکاران (۲۰۰۵) در منطقه رودبار گیلان به بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی پرداختند. در این مطالعه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندم‌مقیسه فازی و بر اساس دو روش وزن‌دهی (تجربی و نظریه اطلاع وقوع) صورت گرفته است. علاوه بر آن رتبه‌بندی خطر با دو تابع فازی ساز مثلثی و دوزنقه‌ای نیز محاسبه شده است. نتایج نشان داده که نوع فازی‌ساز (مثلثی و دوزنقه‌ای) تاثیر زیادی در نتایج ندارد.

ناجی (۲۰۰۶) جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در جاده ساری-کیاسر از منطق فازی استفاده نمود. در این پژوهش از سیستم استنتاج فازی با پایگاه قواعد اگر-آن‌گاه، موتور استنتاج ممدانی و فازی‌زدایی مرکز ثقل استفاده گردید. نتایج نشان داد که ۶ درصد منطقه در کلاس خطر بسیار کم، ۹ درصد در کلاس خطر کم، ۱۳/۵ درصد در کلاس خطر متوسط، ۱۷ درصد در کلاس خطر زیاد و ۴۲/۵ درصد از منطقه در کلاس خطر خیلی زیاد قرار دارد.

ارکان‌اغلو و گوک‌اغلو (۲۰۰۴) در ترکیه از روابط فازی در تهیه نقشه حساسیت به زمین‌لغزش برای مناطق مستعد به لغزش استفاده کردند. در این پژوهش ابتدا با مطالعات صحرایی و عکس‌های هوایی مناطق لغزشی را شناسایی و پس از تهیه نقشه هر یک از پارامترهای موثر بر لغزش، داده‌ها وارد برنامه کامپیوتری FULLSA گردید. نتایج نشان داد که ۶/۹ درصد از منطقه حساسیت خیلی بالا، ۱۰/۳ درصد حساسیت بالا، ۸/۹ درصد متوسط، ۲۷/۵ درصد حساسیت کم و ۴۳/۸ درصد حساسیت بسیار کمی به لغزش دارند.

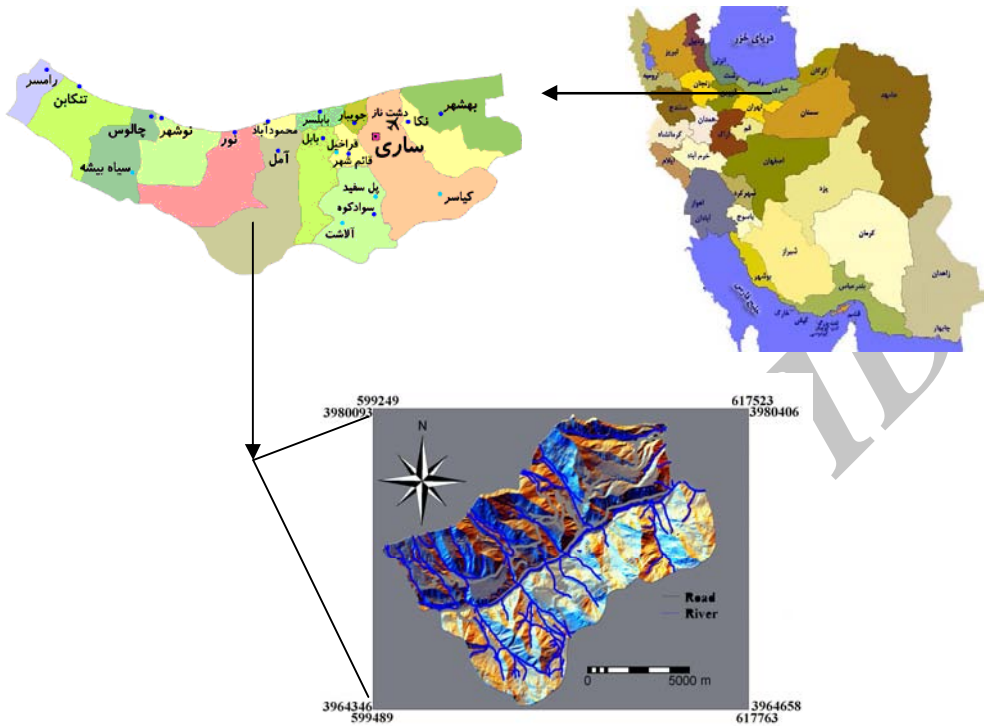
گورسوسکی و همکاران (۲۰۰۶) به منظور تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش، از منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرده‌اند. در این پژوهش از مقایسه دو به دو و متعاقب آن اجتماع توابع ترکیب وزنی خطی و وزنی متوسط مرتب شده جهت تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش استفاده شد. استانداردهای داده‌ها با روش فازی و وزن‌دهی معیارها با روش تحلیل سلسله مراتبی صورت گرفته‌اند.

چامپاتی ری و همکاران (۲۰۰۷) به ارزیابی خطر زمین‌لغزش در مناطق زلزله‌خیز هیمالیا با استفاده از منطق فازی پرداختند. در این پژوهش مقادیر مختلفی از عملگر فازی گاما (۰/۸، ۰/۹، ۰/۹۵ و ۰/۹۸)

برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان داد که عملگر فازی گاما با مقدار  $0/98$  بهترین شکل نقشه حساسیت به زمین‌لغزش را در منطقه مورد مطالعه نشان داده است. لی (۲۰۰۷) در کره با استفاده از عملگرهای جبری فازی به تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش پرداخت. در این پژوهش مکان‌های لغزشی با استفاده از تصاویر ماهواره KOMPSAT-1 و مطالعات میدانی مشخص گردید. عوامل موثر بر لغزش در منطقه از قبیل شیب، جهت، فاصله از آب‌راه، فاصله از جاده، بافت خاک و کاربری اراضی با استفاده از عملگرهای فازی وزن‌دهی گردیدند. پورقاسمی و همکاران (۲۰۰۸). با استفاده از عملگرهای جبری فازی و سامانه اطلاعات جغرافیایی به تهیه نقشه پهنه‌بندی ناپایداری دامنه‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که عملگر فازی گاما با مقدار  $0/95$  بهترین شکل نقشه حساسیت به زمین‌لغزش را در منطقه مورد مطالعه نشان داده است. حوزه آبخیز هراز به دلیل اهمیت بالای اقتصادی (وجود جاده مواصلاتی تهران-شمال و داشتن حدود ۳۵ کارگاه پرورش ماهی) از حساسیت خاصی برخوردار بوده و وقوع حرکات توده‌ای مهم‌ترین عامل تهدیدکننده امنیت اقتصادی این منطقه می‌باشد. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی عوامل ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی در تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی در بخشی از حوزه آبخیز هراز در حد فاصل روستا وانا تا امامزاده علی است.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوزه رودخانه هراز در استان مازندران است. مقطع انتخابی بخشی از مسیر جاده ارتباطی بین شهرهای آمل و تهران به مساحت ۱۱۴ کیلومتر مربع می‌باشد. این منطقه در دویزگ نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به نام‌های سنگلده و رینه قرار دارد. این منطقه بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه و ۳۹ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه و ۱۱ ثانیه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۲ درجه و ۶ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۱۷ دقیقه و ۲۴ ثانیه شرقی قرار دارد. ارتفاع بیشینه و کمینه در منطقه به ترتیب ۳۲۹۰ متر و ۱۲۰۰ متر می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه.

تئوری فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی‌زاده در مقاله‌ای با عنوان "مجموعه‌های فازی" در مجله اطلاعات و کنترل ارائه گردید. تئوری فازی، شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کنند. لطفی‌زاده ادعا نمود که برای مشخص شدن اعضاء یک مجموعه می‌باید تابع عضویت تعریف شود، یعنی میزان عضویت می‌تواند دقیقاً صفر و یک نباشد بلکه مقادیری ما بین این دو است. صفر به این معنی است که هیچ عضویتی در آن مجموعه ندارد و یک، یعنی به‌طور کامل عضو آن مجموعه می‌باشد (ژو و اسکات ماکای، ۲۰۰۱).

به‌منظور ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی، ابتدا با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی مربوط به سال ۱۳۷۵ در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، پیمایش میدانی و ثبت موقعیت زمین لغزش‌ها با استفاده از دستگاه GPS، نقشه پراکنش زمین‌لغزش تهیه گردید. سپس هر کدام از عوامل شیب، جهت

## 1- Global Positioning System

شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی و فاصله از گسل به طبقه‌هایی تقسیم شدند (فاطمی عقدا و همکاران، ۲۰۰۵). هر طبقه از این پارامترها دارای تاثیری در ناپایداری است که نرخ ( $R_i$ ) آن طبقه نامیده می‌شود و هر یک از پارامترهای یاد شده دارای درجه اهمیتی نسبت به پارامترهای دیگری می‌باشند که وزن ( $W_i$ ) آن پارامتر نامیده می‌شوند. در مرحله بعد با استفاده از رابطه ۱، درجه خطر برای هر واحد کاری محاسبه گردید (مهدوی فر و فاطمی عقدا، ۲۰۰۲؛ اشقلی فراهانی، ۲۰۰۲؛ جوانگ و همکاران، ۱۹۹۲):

$$R = \sum (R_i \times W_i) / \sum (W_i) \quad (1)$$

که در آن  $R$ : درجه خطر یا نرخ کلی پتانسیل ناپایداری (مطلوبیت فازی) می‌باشد. هنگامی که از مجموعه‌ها به جای اعداد حقیقی استفاده می‌گردد باید محاسبات با استفاده از رابطه ۱ برای آن‌ها صورت گیرد. این کار مستلزم انجام عملیات جمع، ضرب و تقسیم مجموعه‌ها است. مجموع این عملیات نیز یک مجموعه خواهد بود که مجموعه یاد شده را متوسط وزن‌های فازی<sup>۱</sup> (FWA) می‌نامند. ملاک امتیازدهی برای هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط با آن از تقسیم نسبت مناطق لغزش (درصد پیکسل‌هایی که در آن لغزش رخ داده) به مناطق فاقد لغزش (درصد پیکسل‌های فاقد لغزش) به دست می‌آید. وزن‌های به دست آمده در روش نسبت فراوانی<sup>۲</sup> به عنوان بستری برای معرفی توابع عضویت پارامترهای گوناگون به کار گرفته شده‌اند. پارامترهای ورودی این پژوهش ۵ عامل می‌باشند که در ۵ ستون به ترتیب درصد شیب، ارتفاع، جهت شیب، لیتولوژی و فاصله از گسل واقع گردیده‌اند. با توجه به تعداد ۵۱۵۵ واحدکاری، ماتریس ورودی، دارای ۵۱۵۵ سطر و ۵ ستون خواهد بود. همچنین وزن (اهمیت نسبی) هر یک از عوامل موثر با توجه به مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)<sup>۳</sup> و براساس مقایسه‌های زوجی بین عوامل به دست آمد. این مدل یک روش نیمه کیفی در مطالعه زمین لغزش است که شامل یک ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسه‌های زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در وقوع زمین لغزش مشخص می‌کند (آیلو و همکاران، ۲۰۰۵). این روش بر مبنای نظرات کارشناسی بنا نهاده شده و از مزایای آن، این که اعمال نظر کارشناسی توسط افراد را تا حد زیادی آسان‌تر کرده و احتمال خطا را کاهش می‌دهد. همچنین در این روش ابتدا می‌توان تعداد زیادی از عوامل را دخالت داد و با استفاده از نظر کارشناسی، وزن هر عامل را به دست آورده و عوامل را اولویت‌بندی کرد. سپس درجه خطر محاسبه شده برای هر پیکسل در نقشه محدوده

- 1- Fuzzy Weighted Average
- 2- Frequency Ratio
- 3- Analytical Hierarchy Process

مورد مطالعه، به محیط نرم افزار Ilwis منتقل و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از توابع عضویت مثلثی و گوسی تهیه گردید.

ارزیابی روش پهنه‌بندی: از آن‌جا که نمی‌توان جهت ارزیابی کارایی و صحت نقشه خطر زمین‌لغزش، از نقشه پراکنش زمین‌لغزش استفاده کرد (رمن‌دو و همکاران، ۲۰۰۳). جهت حل این مشکل از ۷۸ نقطه لغزشی که در منطقه شناسایی گردید دو سوم نقاط لغزشی (۵۵ نقطه لغزشی) برای مدل‌سازی و یک سوم نقاط لغزشی (۲۳ نقطه لغزشی) برای کالیبره کردن مدل استفاده گردید (کوماک، ۲۰۰۶). سپس نقشه به دست آمده با نقشه پراکنش زمین‌لغزش مقایسه شد. نتیجه به دست آمده از انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش عموماً به صورت نقشه‌هایی است که کلاس‌های مختلف خطر را در منطقه نشان می‌دهد. برای مقایسه طبقه‌های مختلف خطر از تراکم زمین‌لغزش‌ها یا نسبت تراکمی<sup>۱</sup> (Dr) در هر یک از کلاس‌های خطر استفاده می‌شود. نسبت تراکم با تقسیم نمودن تراکم زمین‌لغزش در کلاس خطر خاص به تراکم متوسط زمین‌لغزش‌ها بر مبنای تراکم مساحتی و یا تعداد زمین‌لغزش محاسبه می‌گردد. در صورتی که در منطقه‌ای چند نقشه خطر به روش‌های مختلف تهیه شده باشد، با استفاده از مقدار جمع کیفی<sup>۲</sup> (Qs) نقشه‌های صحیح‌تر و با دقت بیشتر را می‌توان شناسایی نمود. Qs بالاتر نمایانگر جدایش بهتر بین کلاس‌های خطر مختلف است. جمع کیفی (Qs) با رابطه ۲ تعریف می‌گردد:

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

که در آن n: تعداد کلاس‌های خطر و S: مساحت کلاس خطر به درصد در منطقه می‌باشد.

## نتایج و بحث

بررسی نتایج حاصل از مقادیر عضویت فازی و ارتباط بین عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش و لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه در جدول‌های ۱ تا ۵ ارائه گردید. نتایج بررسی کلاس‌های شیب (جدول ۱) نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های منطقه در کلاس شیب ۳۰-۱۵ درصد اتفاق افتاده است که با نتایج پژوهش مهدوی‌فر (۱۹۹۶)؛ فاطمی‌عقدا و همکاران (۲۰۰۵) و ارکان‌اغلو و گوکاغلو (۲۰۰۴) مطابقت دارد.

1- Density ratio

2- Quality sum

جدول ۱- مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل شیب.

مقادیر	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس	عامل
۰	۰	۰	۰	۱/۴۳	۴۰۲۵۱	۰-۵	
۰/۳۴	۰/۶۰۸	۳/۶۴	۲	۵/۹۹	۱۶۸۴۹۷	۵-۱۵	شیب
۱	۱/۷۹۴	۲۱/۸۲	۱۲	۱۲/۱۶	۳۴۱۹۴۸	۱۵-۳۰	بر
۰/۸۴	۱/۵۰۱	۳۶/۳۶	۲۰	۲۴/۲۳	۶۸۱۰۲۸	۳۰-۵۰	حساب
۰/۳۸	۰/۶۸۹	۱۸/۱۸	۱۰	۲۶/۳۹	۷۴۱۸۱۲	۵۰-۷۰	درصد
۰/۳۷	۰/۶۷۱	۲۰	۱۱	۲۹/۷۹	۸۳۷۵۳۵	>۷۰	

نتایج بررسی جهت شیب (جدول ۲) نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های اتفاق افتاده در جهات شمال و غرب می‌باشد که دلیل این امر را می‌توان به تاثیر شرایط محلی رطوبت به‌عنوان یکی از عوامل موثر بر وقوع حرکات توده‌ای نسبت داد که با نظرات فاطمی عقدا و همکاران (۲۰۰۵) و ناجی (۲۰۰۶) مطابقت دارد. اما با نظرات ارکان‌اغلو و گوک‌اغلو (۲۰۰۴)؛ چامپاتی ری و همکاران (۲۰۰۷)؛ لی (۲۰۰۷) مطابقت ندارد و از طرفی مهدوی‌فر (۱۹۹۶) عامل جهت شیب را یک عامل غالب در وقوع زمین‌لغزش نمی‌داند زیرا قسمت اعظم لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه ایشان در جهت جنوب شرقی رخ داده است.

جدول ۲- مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل جهت شیب.

مقادیر	نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس	عامل
۱	۴/۳۱۲	۱۰/۹۱	۶	۲/۵۳	۷۰۸۹۱	شمال	
۰/۱۷	۰/۷۲۰	۱۲/۷۳	۷	۱۷/۶۷	۴۹۵۱۱۰	شمال شرقی	
۰/۱۳	۰/۵۷۵	۷/۲۷	۴	۱۲/۶۵	۳۵۴۴۲۶	شرق	
۰/۳۴	۱/۴۵۷	۲۰	۱۱	۱۳/۷۳	۳۸۴۴۶۷	جنوب شرقی	جهت
۰/۲۲	۰/۲۱۹	۱۲/۷۳	۷	۱۳/۴۴	۳۷۶۳۹۰	جنوب	شیب
۰/۳۶	۱/۵۶۴	۱۶/۳۶	۹	۱۰/۴۶	۲۹۳۰۱۳	جنوب غربی	
۰/۳۸	۱/۶۴۹	۱۲/۷۳	۷	۷/۷۲	۲۱۶۳۳۷	غرب	
۰	۰/۵۴۵	۷/۲۷	۴	۱۳/۳۳	۳۷۳۲۶۰	شمال غربی	



بررسی طبقات ارتفاعی (جدول ۳) نشان داده که کلاس ارتفاعی ۲۱۰۰-۱۸۰۰ (۴۰ درصد) و ۱۵۰۰-۱۸۰۰ (۳۴/۵۴ درصد) بیشترین درصد لغزش‌ها را به خود اختصاص داده و دارای بیشترین وزن بوده و با افزایش ارتفاع میزان حساسیت به خطر زمین‌لغزش کم شده است.

جدول ۳- مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل ارتفاع از سطح دریا.

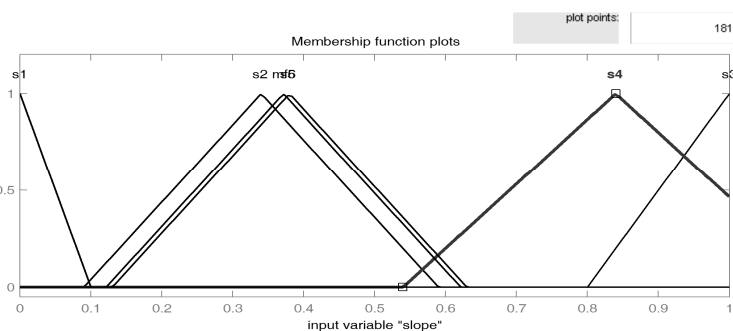
مقادیر	نسبت	درصد	تعداد	درصد	تعداد	کلاس	عامل
عضویت	فراوانی	پیکسل‌های لغزشی	پیکسل‌های لغزشی	پیکسل‌های فاقد لغزش	پیکسل‌های فاقد لغزش		
۰	۰	۰	۰	۲/۴۵	۶۹۳۹۲	۱۲۰۰-۱۵۰۰	
۱	۲/۵۲۱	۳۴/۵۴	۱۹	۱۳/۷۰	۳۸۷۲۰۲	۱۵۰۰-۱۸۰۰	
۰/۵۶	۱/۵۱۲	۴۰	۲۲	۲۶/۴۶	۷۴۷۹۳۴	۱۸۰۰-۲۱۰۰	
۰/۱۹	۰/۴۷۶	۱۲/۷۳	۷	۲۶/۷۳	۷۵۵۶۱۵	۲۱۰۰-۲۴۰۰	ارتفاع
۰/۲۴	۰/۵۹۷	۱۰/۹۱	۶	۱۸/۲۶	۵۱۶۱۵۸	۲۴۰۰-۲۷۰۰	
۰/۰۷	۰/۱۶۶	۱/۸۲	۱	۱۰/۹۷	۳۱۰۱۸۵	۲۷۰۰-۳۰۰۰	
۰	۰	۰	۰	۱/۴۳	۴۰۳۰۴	>۳۰۰۰	

بررسی نتایج فاصله از گسل (جدول ۴) نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های اتفاق افتاده در فاصله ۲۰۰-۳۰۰ متری از گسل مشاهده شده است. بررسی لیتولوژی (جدول ۵) نشان داده که بیشترین لغزش در سازندهای  $EK^{IV}$  (توف سبز، جریان گدازه)،  $Q_1^I$  (پادگانه‌های آبرفتی) و  $J_s$  (شیل، ماسه سنگ تیره همراه با آثار گیاهی ذغال‌سنگ) رخ داده است. دلیل اصلی این موضوع، حساسیت بسیار زیاد این سازندها به حرکات توده‌ای می‌باشد که با نظرات ناجی (۲۰۰۶)؛ فاطمی‌عقدا و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد. نتایج حاصل از تابع عضویت مثلثی برای هر یک از عوامل تأثیرگذار در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی در شکل‌های ۲ تا ۶ ارائه گردیده است. شکل‌ها نشان می‌دهد که هر یک از کلاس‌های عوامل موثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش که به سمت راست گرایش دارد وزن بیشتری را در بین کلاس‌های دیگر به خود اختصاص داده که با نظرات فاطمی‌عقدا و همکاران (۲۰۰۵) و مهدوی‌فر (۱۹۹۶) مطابقت داشته است.

جدول ۴- مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل فاصله از گسل.

مقادیر	درصد	تعداد	درصد	تعداد	کلاس	عامل
عضویت فازی	نسبت فراوانی	پیکسل‌های لغزشی	پیکسل‌های فاقد لغزش	پیکسل‌های لغزشی	پیکسل‌های فاقد لغزش	
۰/۷۷	۱/۸۴۵	۷/۲۷	۴	۳/۹۴	۱۱۱۳۹۰	۰-۱۰۰
۰/۸۰	۱/۹۲۳	۷/۲۷	۴	۳/۷۸	۱۰۶۸۶۰	۱۰۰-۲۰۰
۱	۲/۴	۹/۱	۵	۳/۷۹	۱۰۷۰۰۴	۲۰۰-۳۰۰
۰/۳۹	۰/۹۴۵	۳/۶۴	۲	۳/۸۵	۱۰۸۹۳۱	۳۰۰-۴۰۰
۰	۰/۸۶۰	۷۲/۷۲	۴۰	۸۴/۶۴	۲۳۹۲۶۰۵	>۴۰۰

همچنین به منظور تعیین وزن هر یک از عوامل موثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردید. نتایج این آنالیز در شکل ۷ نشان داده شده است که عوامل لیتولوژی و شیب بیشترین تاثیر را در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه نشان داده است که با نظرات آیلو و همکاران (۲۰۰۵) و دومان و همکاران (۲۰۰۶) مبنی بر تاثیر لیتولوژی و شیب همخوانی دارد اما با نتایج گورسوسکی و همکاران (۲۰۰۶) مبنی بر این‌که ارتفاع و شیب به‌ترتیب بیشترین تاثیر را داشته مغایرت دارد.

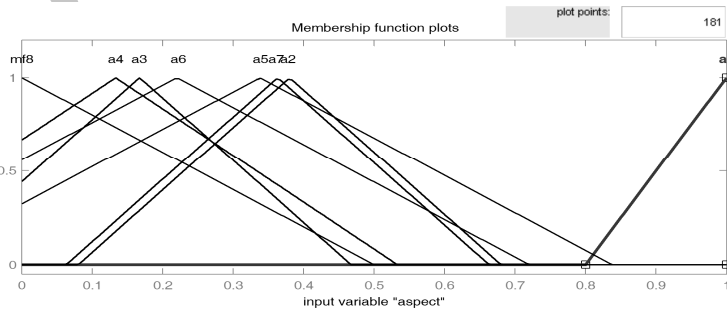


شکل ۲- تابع عضویت مثلثی عامل درصد شیب.

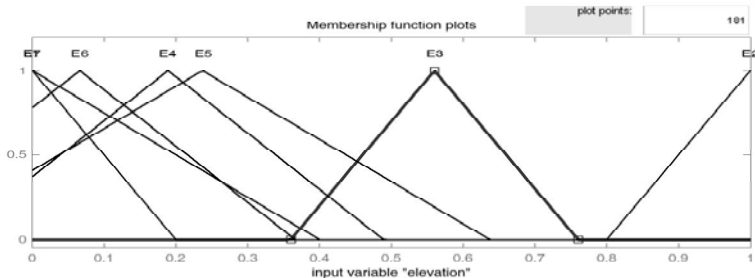
جدول ۵- مقادیر عضویت فازی مربوط به عامل لیتولوژی.

مقادیر	نسبت	درصد پیکسل‌های	تعداد پیکسل‌های	درصد پیکسل‌های	تعداد پیکسل‌های	کلاس	عامل
عضویت فازی	فراوانی	لغزشی	لغزشی	فاقد لغزش	فاقد لغزش		
۱	۴/۳۳۳	۳/۶۴	۲	۰/۸۴	۳۶۲۶۸۶	EK <sup>iv</sup>	
۰	۰	۰	۰	۳/۳۱	۹۳۴۵۹	J <sub>d</sub>	
۰	۰	۰	۰	۶/۲۳	۱۷۵۹۷۰	J <sub>1</sub>	
۰/۵	۲/۱۶۱	۳۴/۵۵	۱۹	۱۵/۹۹	۴۷۱۷۸۷	J <sub>S</sub>	
۰	۰	۰	۰	۰/۷۴	۲۱۰۴۹	K <sub>2</sub>	
۰/۲۶	۱/۱۰۵	۵/۴۵	۳	۴/۹۳	۱۳۹۳۶۳	K <sub>1</sub>	
۰	۰	۰	۰	۰/۲۶	۷۲۷۹	P <sub>d</sub>	
۰	۰	۰	۰	۰/۸۶	۲۴۴۰۹	PE <sub>f</sub>	
۰	۰	۰	۰	۰/۸۶	۲۴۳۹۳	PE <sub>Z</sub>	
۰	۰	۰	۰	۱/۱	۳۱۱۳۱	Q <sup>ag</sup>	لیتولوژی
۰	۰	۰	۰	۰/۵۷	۱۶۱۵۱	Q <sup>b</sup>	
۰	۰	۰	۰	۰/۰۳	۱۳۴	E <sub>k</sub> <sup>gy</sup>	
۰/۲۱	۰/۹۲۰	۲۷/۲۷	۱۵	۲۹/۶۳	۸۳۸۶۴۵	Q <sup>sc</sup>	
۰/۸۳	۳/۵۹۳	۲۳/۶۴	۱۳	۶/۵۸	۱۸۵۹۶۰	Q <sup>i</sup> <sub>1</sub>	
۰	۰	۰	۰	۳/۹۴	۱۱۱۳۵۵	Q <sup>i</sup> <sub>2</sub>	
۰/۱۱	۰/۴۷۹	۵/۴۵	۳	۱۱/۳۷	۳۲۱۲۶۳	Q <sup>ta</sup>	
۰	۰	۰	۰	۰/۴	۱۱۳۸۳	Q <sup>tu</sup>	
۰	۰	۰	۰	۰/۳	۸۴۳۹	TR <sub>e1</sub>	

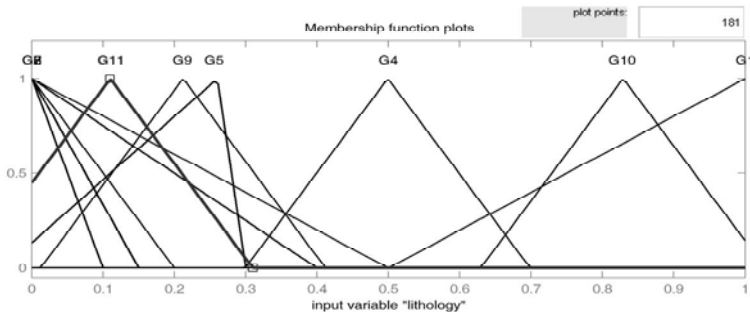
EK<sup>iv</sup>: توف سبز، جریان‌های گدازه و گدازه‌های برشی شده آندزیتی-بازالتی، a<sub>4</sub>: سنگ آهک تخمی-تخریبی با لایه‌بندی خوب، سنگ آهک مارنی، a<sub>1</sub>: سنگ آهک چرت‌دار توده‌ای تا لایه‌ای، a<sub>5</sub>: شیل و ماسه سنگ تیره رنگ همراه با آثار گیاهی زغالسنگ و سازند شمشک، a<sub>2</sub>: سنگ آهک بیوژنیک و چرتی، K<sub>1</sub>: سنگ آهک اوربیتولین‌دار (سازند تیزکوه)، P<sub>d</sub>: ماسه سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متقاطع (سازند دورود)، PE<sub>f</sub>: کنگلومرا، آگلومرا، کمی مارن و سنگ آهک (سازند فجن)، PE<sub>Z</sub>: سنگ آهک نومولیت و آلونومین‌دار، کنگلومرا (سازند زیارت)، Q<sup>ag</sup>: آگلومرا، Q<sup>b</sup>: اولیون بازالت (قبل از دماوند)، E<sub>k</sub><sup>gy</sup>: سنگ گچ، Q<sup>sc</sup>: واریزه، Q<sup>i</sup><sub>1</sub>: پادگانه‌های آبرفتی قدیمی، Q<sup>i</sup><sub>2</sub>: پادگانه‌های آبرفتی جدید، Q<sup>ta</sup>: جریان‌های گدازه تراکی-آندزیتی، Q<sup>tu</sup>: خاکستر توف، لایه‌ی توف، TR<sub>e1</sub>: سنگ آهک.



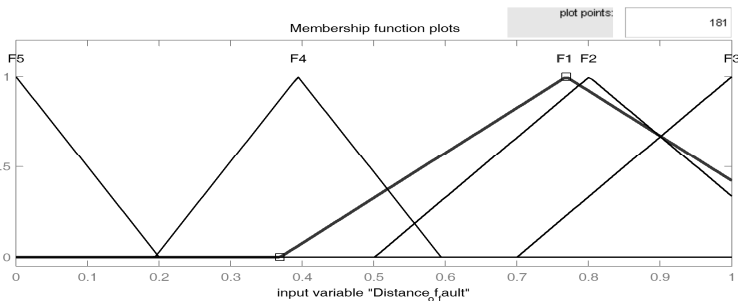
شکل ۳- تابع عضویت مثلثی عامل جهت شیب.



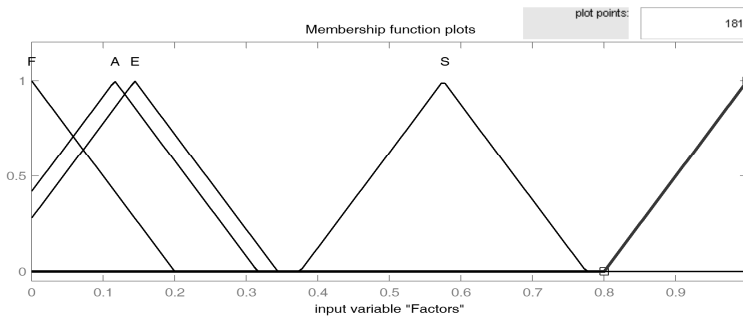
شکل ۴- تابع عضویت مثلثی عامل ارتفاع از سطح دریا.



شکل ۵- تابع عضویت مثلثی عامل لیتولوژی.



شکل ۶- تابع عضویت مثلثی عامل فاصله از گسل

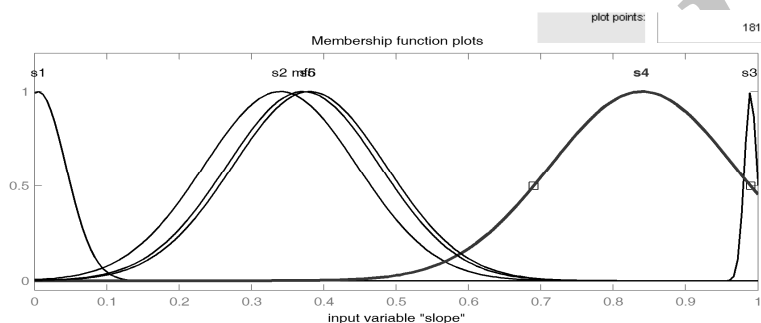


شکل ۷- تابع عضویت مثلثی عوامل تاثیرگذار بر اساس وزن به دست آمده در مدل AHP

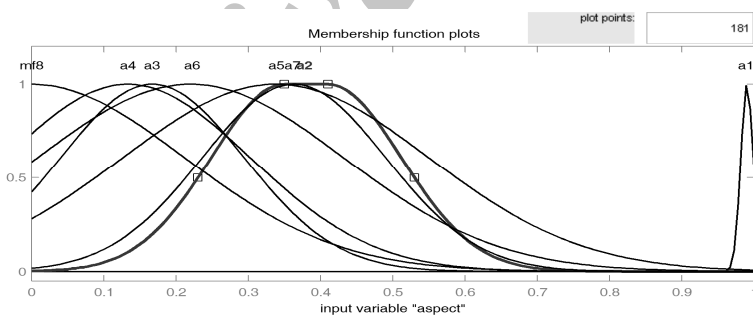
نتایج تعریف تابع عضویت گوسی برای هر یک از عوامل موثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شکل‌های ۸ تا ۱۲ ارائه گردیده است. همچنین وزن هر یک از عوامل تاثیرگذار در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش که از روش AHP تعیین گردیده در شکل ۱۳ نشان داده شده است. نتیجه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و توابع عضویت مثلثی و گوسی در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ ارائه شده است. نتایج پهنه‌بندی با استفاده از تابع عضویت مثلثی نشان داده که به ترتیب  $۸/۷$ ،  $۲۶/۰۹$ ،  $۳۰/۴۳$ ،  $۳۰/۴۳$  و  $۲۹/۴۲$  درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در کلاس‌های خطر خیلی کم، خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. در حالی که نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تابع عضویت گوسی نشان داده که در کلاس خطر خیلی کم و زیاد هیچ لغزشی مشاهده نشده و کلاس خطر کم و متوسط  $۳۴/۷۸$  درصد لغزش‌ها را به خود اختصاص داده اما کلاس خطر خیلی زیاد  $۳۰/۴۴$  درصد لغزش‌ها را به خود اختصاص داده است. نتایج حاصل از ارزیابی و کالیبره کردن نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و توابع عضویت مثلثی و گوسی در جدول‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. جدول‌ها نشان می‌دهد که نقشه تهیه شده با تابع عضویت مثلثی دارای  $QS=۰/۰۵۱۵$  و نقشه تهیه شده با تابع عضویت گوسی دارای  $QS=۰/۰۲۳$  می‌باشد. بنابراین می‌توان

- 1- Very Low
- 2- Low
- 3- Moderate
- 4- High
- 5- Very High

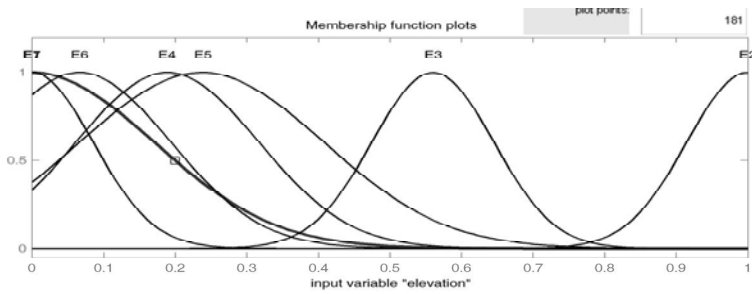
نتیجه گرفت که نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با تابع عضویت گوسی دارای صحت و دقت بیشتری در منطقه مورد مطالعه بوده که با نظر غیومیان و همکاران (۲۰۰۲) مبنی بر اینکه نوع فازی‌سازی تاثیر زیادی در نتایج ندارد تطبیق نداشته که دلیل این امر را می‌توان نادیده گرفتن تاثیر هر یک از مورد مطالعه و در نظر گرفتن شرایط یکسان در تعریف تابع عضویت برای هر عامل توسط این محققین دانست. اما با نتایج به دست آمده توسط ناجی (۲۰۰۶) و مهدوی‌فر (۱۹۹۶) کاملاً مطابقت دارد.



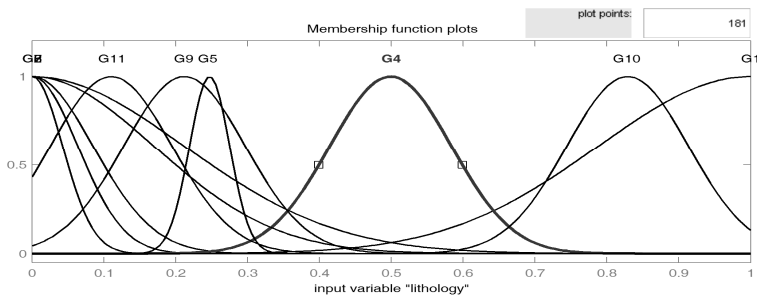
شکل ۸- عامل درصد شیب تابع عضویت گوسی.



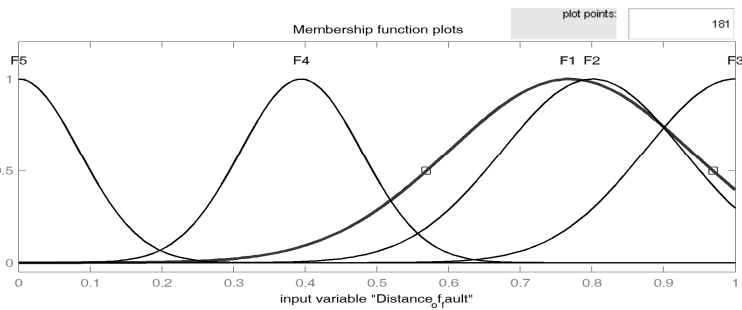
شکل ۹- تابع عضویت گوسی عامل جهت شیب.



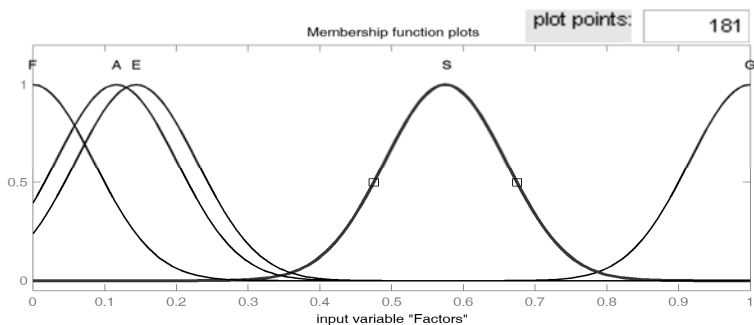
شکل ۱۰- تابع عضویت گوسی عامل ارتفاع از سطح دریا.



شکل ۱۱- تابع عضویت گوسی عامل لیتولوژی.



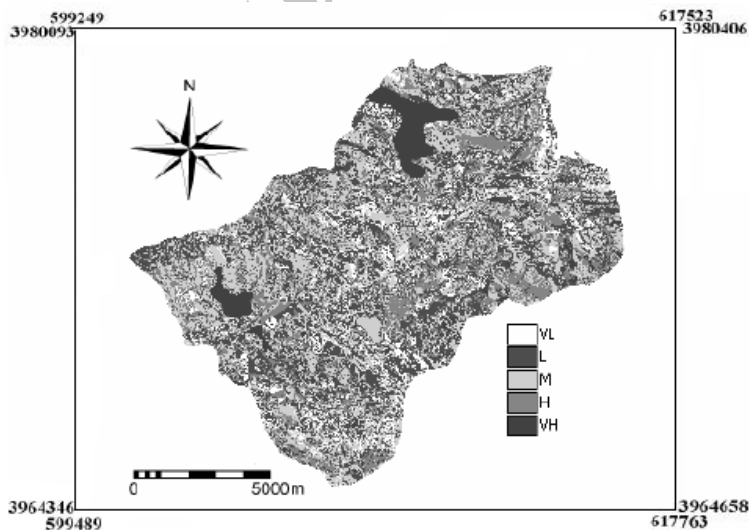
شکل ۱۲- تابع عضویت گوسی عامل فاصله از گسل.



شکل ۱۳- تابع عضویت گوسی عوامل تاثیرگذار بر اساس وزن به دست آمده در مدل AHP.

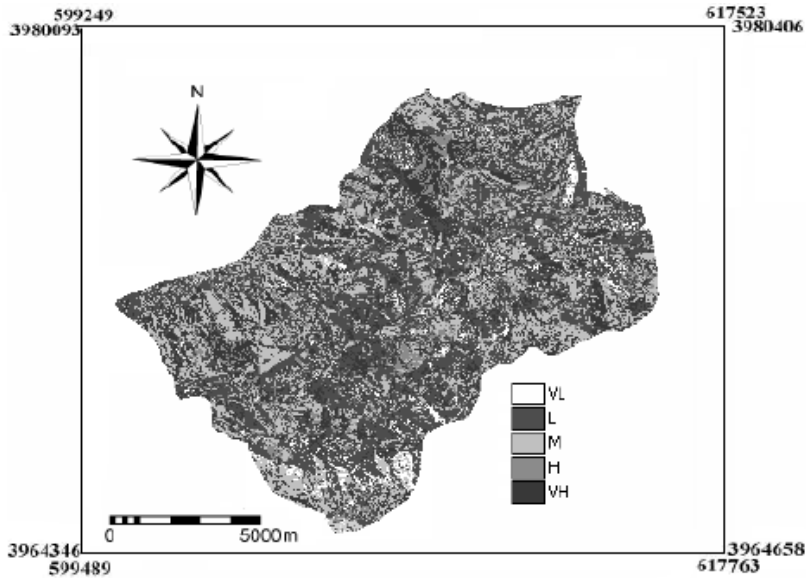
جدول ۶- ارزیابی نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از تابع عضویت مثلثی.

QS	DR	درصد لغزش‌ها	سطح منطقه (درصد)	کلاس‌های خطر
۰/۰۰۰۸	۰/۹۰۷	۸/۷	۹/۵۹	خیلی کم
۰/۰۰۰۶	۰/۹۵۲	۲۶/۰۹	۲۷/۴۱	کم
۰/۰۰۱۵	۰/۹۳۲	۳۰/۴۳	۳۲/۶۶	متوسط
۰/۰۳۰۸	۱/۳۷۳	۳۰/۴۳	۲۲/۱۷	زیاد
۰/۰۱۷۸	۰/۵۳۳	۴/۳۵	۸/۱۶	خیلی زیاد



شکل ۱۴- نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از تابع عضویت مثلثی.





شکل ۱۵- نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از تابع عضویت گوسی.

جدول ۷- ارزیابی نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از تابع عضویت گوسی.

QS	DR	درصد لغزش‌ها	سطح منطقه (درصد)	کلاس‌های خطر
۰/۰۳۲	۰	۰	۳/۲۰	خیلی کم
۰/۰۱۲	۰/۸۲۹	۳۴/۷۸	۴۱/۹۴	کم
۰/۰۱۴	۱/۲۲۵	۳۴/۷۸	۲۸/۴۰	متوسط
۰/۰۸۵	۰	۰	۸/۵۳	زیاد
۰/۰۸۷	۱/۶۹۸	۳۰/۴۴	۱۷/۹۳	خیلی زیاد

### نتیجه‌گیری

با نظر به نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌توان جمع‌بندی نمود که انتخاب نوع تابع عضویت می‌تواند تاثیر به‌سزایی در خروجی مدل داشته باشد. ارزیابی نتایج با استفاده از یک سوم نقاط لغزشی (۲۳ نقطه لغزشی) نشان داده که نقشه خطر زمین لغزش با تابع عضویت گوسی ( $QS=0/23$ ) دقت و صحت بیشتری نسبت به نقشه تهیه شده با تابع عضویت مثلثی ( $QS=0/0515$ ) دارد. به طور کلی می‌توان بیان نمود که سیستم‌های فازی برای مدل‌سازی دو نوع اصلی عدم قطعیت در پدیده‌های

موجود در جهان، یعنی عدم قطعیت ناشی از ضعف دانش و ابزار بشری در شناخت پیچیدگی‌های یک پدیده و نوع دوم عدم قطعیت مربوط به عدم صراحت و عدم شفافیت مربوط به یک پدیده یا ویژگی خاص آن کاربرد فراوانی دارد. به طوری که منطق فازی با انعطاف پذیری فوق‌العاده برای تحلیل معانی زبان طبیعی، قادر است ابهامات برخاسته از ذهن انسان، محیط و عدم قطعیتی که همواره در قضاوت انسانی وجود دارد مدل‌سازی و تحلیل نماید. از این رو افق تازه‌ای برای سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری پیش روی مدیران قرار می‌دهد. انجام تحقیقات گسترده به منظور استفاده از منطق فازی بویژه در منابع طبیعی و خطرات محیطی به عنوان بستر حیات انسانی از توصیه‌های این تحقیق است.

#### منابع

1. Ashghali Farahani, A. 2002. Natural slopes instability hazard assessment in Rudbar area using fuzzy logic, M.Sc thesis, Tarbiat Moallem University, 141p. (In Persian)
2. Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., and Kanno, T. 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications, *Engineering Geology*, 81: 432–445.
3. Bagherian, R., Godarzi, M., and Ghayoumian, J. 2005. A study on socio-economic damages of landslides (Case study: Imamzadeh Ali and Barikan landslides), *Journal of Water and Watershed*, 2: 68-76.
4. Champati-ray, P.K., Dimri, S., Lakhera, R.C., and Sati, S. 2007. Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya, *Landslides*, 4: 101-111.
5. Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., and Sonmez, H. 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey, *Environmental Geology*, 51: 241-256.
6. Chi, K.H., Park, N.W., and Chung, C.J. 2002. Fuzzy logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from Boeun, Korea. *Symposium Geospatial Theory, Processing and Applications*, Ottawa. 6p.
7. Ercanoglu, M., and Gokceoglu, C. 2002. Assessment of landslide susceptibility or a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach, *Environmental Geology*, 41: 720–730.
8. Ercanoglu, M., and Gokceoglu, C. 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey), *Engineering Geology*, 75: 229–250.

9. Fatemi Aghda, S.M., Ghayoumian, J., Teshnehlab, M., and Ashghali Farahani, A. 2005. Assessment of landslide hazard by using fuzzy logic (Case study: Rudbar Area), *Journal of science, University Tehran*, 1: 43-64.
10. Ghayoumian, J., Fatemi Aghda, S.M., Teshnehlab, M., and Ashghali Farahani, A. 2002. Landslide hazard zonation using fuzzy multi attribute decision making (case study Rudbar Area, Iran), *Pajouhesh and Sazandegi*, 56-57: 67-80. (In Persian)
11. Gorsevski, P.V., Jankowski, P., and Gessler, P.E. 2006. Heuristic approach for mapping landslide hazard integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process, *Control and Cybernetics*, 35: 1-26
12. Juang, C.H., Lee, D.H., and Sheu, C. 1992. Mapping slope failure potential using fuzzy sets, *Journal of Geotechnical Engineering ASCE*, 118: 3. 475-493.
13. Oehorst, B.A.N., Kjekstad, O., Patel, D., Lubkowski, Z., Knoeff, J.G., and Akkerman, G.J. 2005. Workpackage 6, Determination of Socio-Economic Impact of Natural Disasters, *Assessing socio-economic Impact in Europe*, 173 pp.
14. Komac, M. 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia, *Geomorphology*, 74: 17-28.
15. Ee, S. 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping, *Environmental Geology*, 52: 615-623.
16. Ahdavifar, M.R. 1996. Landslide hazard zonation in Khoreshrostan region (South west of Khalkhal country), M.sc thesis, Tarbiat Modares University, 154 pp.
17. Ahdavifar, M.R., and Fatemi Aghda, S.M. 2002. Application fuzzy sets analysis in landslide hazard zonation and description provided computer system, *Proceeding 2<sup>st</sup> landslide and its increase disasters*, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), pp: 137-145.
18. Aji, S. 2006. Landslide hazard zonation in Sari-Kiasar, M.sc thesis, Faculty environmental geology, Shahrood University, 86 p. (In Persian)
19. Ourghasemi, H R., Moradi, H.R., and Mohammadi, M., 2008. Application of fuzzy and GIS in identify and slopes instability zonation and environmental management, 1<sup>st</sup> Conference on Environmental System<sup>s</sup> Planning and Management Engineering, 1-2 Jan. 2008 at University Tehran, Iran.
20. Emendo, J., Gonzales, A., Teran, J., Cendrero, A., Fabbri, A. and Chung, C. 2003. Validation of landslide susceptibility maps, examples and applications from a case study in northern Spain, *Natural Hazard*, pp: 437-449.
21. Hu, A.X., and Scott Mackay, D. 2001. Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling. *Journal of Hydrology*, 284: 57-77.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(4), 2011*  
*http://jwfst.gau.ac.ir*

## **Evaluation of geomorphological and geological parameters in landslide hazard mapping using fuzzy logic and AHP method (Case Study: a part of Haraz Watershed)**

**H.R. Poorghasemi<sup>1</sup>, H.R. Moradi<sup>2</sup>, S.M. Fatemi Oghda<sup>3</sup>,  
M.R. Mahdavi<sup>4</sup> and M. Mohammadi<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. student Watershed Engineering, Tarbiat Modares University, <sup>2</sup>Assistant Prof., Dept. of Watershed Engineering, Tarbiat Modares University, <sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Geology, Tarbiat Moalem University, <sup>4</sup>Assistant Prof., International Institute of Earthquake Engineering and seismology (IIIES)

Received: 2008-3-1; Accepted: 2011-5-21

### **Abstract**

In this study landslides occurred in a part of Haraz watershed were determined using aerial photos and field studies, then landslide hazard zonation was determined using geomorphological factors (slope, aspect and elevation) and geological factors (lithology and distance fault) as the most important effective factors on landslide hazard. So each of the effective factors as information layer was used in ILWIS environment for analysis based on fuzzy set theory using MATLAB 7.1 software before that membership functions were determined for each effective element on landslide. Then output of software computed hazard for each pixel in case study map transformed to ILWIS software environment and landslide hazard zonation was made using fuzzy Gaussian and Triangular membership functions. Evaluation of results showed that landslide hazard mapping using gaussian membership function QS (0.23) is more accurate in comparison with map made by using triangular membership function QS (0.0515).

**Keywords:** Geomorphology; Geology; Landslide, Fuzzy logic; Membership function

---

\*Corresponding Author; Email: morady5hr@yahoo.com