

لغزش دارند.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، منطق فازی، تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی فازی، تابع عضویت و هراز

مقدمه

زمین لغزش‌ها دسته‌ای از حرکات دامنه‌ای هستند که مواد در امتداد یک سطح گسیختگی یا یک زون گسیختگی مشخص بر روی دامنه لغزیده و به سمت پایین حرکت می‌کنند. توپوگرافی کوهستانی ایران، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، وضعیت متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، افزایش جمعیت و فشار بر منابع طبیعی و تغییر کاربری در دهه‌های اخیر شرایط طبیعی برای بروز طیفی گسترده از زمین لغزش‌ها را در کشور فراهم نموده است. ارزیابی خطر زمین لغزش نیز به دلیل تنوع عوامل موثر در وقوع آن، بسیار پیچیده است. وجود عدم قطعیت که ناشی از مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامترهایی نظیر زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، تکنیکی، پوشش گیاهی، بارندگی و فرسایش در بروز زمین لغزش می‌باشد، لزوم استفاده از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی زمین لغزش به عنوان یکی از ناپایداری‌های دامنه‌ای، منطقی می‌نماید. در حالی که بسیاری از این داده‌ها، به صورت محاوره‌ای بوده و از نوع داده‌های غیردقیق می‌باشند. این گونه محدودیت‌ها دقیقاً آیدیه‌ی اساسی تئوری فازی می‌باشد [۱۱]. منطق فازی نخستین بار در سال ۱۹۶۵ به وسیله‌ی لطفی‌زاده در مقاله‌ای با عنوان "مجموعه‌های فازی" در مجله‌ی اطلاعات و کنترل ارائه گردید. لطفی‌زاده ادعا نمود که برای مشخص شدن اعضای یک مجموعه می‌بایست تابع عضویت^۶ تعریف شود. یعنی میزان عضویت می‌تواند دقیقاً صفر و یک نباشد بلکه مقادیری مابین این دو باشد [۶]. به بیان دیگر، یک مجموعه‌ی فازی، مجموعه‌ای از المان‌ها^۷ با ویژگی‌های مشابه است که در آن، مجموعه یک درجه‌ی مشخص از صفر تا یک دارد. صفر بدین معنی است که هیچ عضویتی در آن مجموعه ندارد و یک، یعنی به گونه‌ی کامل عضو آن مجموعه است [۳، ۴۹]. از جمله مطالعاتی که در زمینه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی انجام شد، عبارتند از: مهدویفر [۱۶]، فاطمی‌عقدا و همکاران [۱۱]، پورقاسمی و همکاران [۵]، تنگستانی [۴۶]، باینجی و همکاران [۲۳]، شای و

ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی فازی

حمیدرضا پورقاسمی^۱، حمیدرضا مرادی^۲، سیدمحمود فاطمی‌عقدا^۳،
 محمدرضا مهدویفر^۴ و مجید محمدی^۵
 تاریخ دریافت: ۸۶/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۸۸/۹/۲۴

چکیده

هدف از این پژوهش، ارزیابی خطر زمین لغزش در بخشی از حوزه‌ی آبخیز هراز با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی فازی است. ابتدا نقاط لغزشی با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی مشخص و در پی آن نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش منطقه تهیه شد. هر یک از عامل‌های موثر بر وقوع زمین لغزش از قبیل (شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه) به عنوان یک لایه‌ی اطلاعاتی در محیط GIS رقومی و به منظور انجام تحلیل‌های مبتنی بر تئوری مجموعه‌های فازی استفاده گردید. تحلیل‌های فازی با استفاده از نرم‌افزار Matlab 7.1 و پس از تعیین توابع عضویت برای هر یک از عامل‌های تاثیرگذار در وقوع زمین لغزش صورت پذیرفت. سپس خروجی این نرم‌افزار که درجه‌ی خطر محاسبه شده برای هر پیکسل در نقشه‌ی محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشد، به محیط نرم‌افزار ILWIS منتقل و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تهیه گردید. نتایج نشان داد که ۲۹/۴۲ درصد از منطقه‌ی مورد مطالعه دارای حساسیت خیلی زیاد، ۳۲/۱۹ درصد حساسیت زیاد، ۳۰/۳۶ درصد متوسط و ۸/۰۴ درصد حساسیت کمی به

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
- ۲- نویسنده مسئول و استادیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران
Morady5hr@Yahoo.com
- ۳- دانشیار، گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت معلم، تهران
- ۴- استادیار، عضو هیئت علمی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
- ۵- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

6- Membership Function

7- Elements

همکاران [۲۶]، پیستوچای و همکاران [۴۱]، ارکانگلو و گوکگلو [۳۰] و [۳۱]، شرن تانر [۴۵]، گورسوسکی و همکاران [۳۳]، چامپاتی-ری [۲۴] ولی [۳۷]. نتایج به دست آمده از پژوهش‌های 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 تحلیلی دقیق‌تر از نقش عوامل طبیعی نسبت به سایر روش‌های کمی ارائه نموده است و به مراتب دقتی بیش‌تر در پیش‌بینی وقوع حوادث طبیعی از جمله زمین‌لغزش‌ها دارد.

منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش بخشی از حوزه‌ی آبخیز رودخانه‌ی هراز است که به خاطر شرایط آب و هوایی و فیزیوگرافی و همچنین تغییر کاربری همواره با مشکل زمین‌لغزش مواجه است. این حوزه از نظر اقتصادی بسیار دارای اهمیت است، برای مثال، مهم‌ترین جاده‌ی تهران-شمال از این حوزه می‌گذرد و بیش از ۳۵ کارگاه پرورش ماهی در مسیر رودخانه وجود دارد که زمین‌لغزش همواره به عنوان تهدیدی بالقوه می‌تواند آن‌ها را در معرض خطر قرار دهد، لذا بررسی پدیده‌ی زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن در حوزه‌ی هراز امری حیاتی است. هدف از این پژوهش، ارزیابی و تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش آن با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی فازی در بخشی از حوزه‌ی آبخیز هراز در حدفاصل روستای وانا تا امامزاده علی به عنوان یکی از حساس‌ترین نقاط کشور از نظر وقوع زمین‌لغزش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه در استان مازندران در بخش مرکزی سلسله جبال البرز قرار دارد که خود بخشی از زیر حوزه‌ی رودخانه‌ی هراز می‌باشد. مقطع انتخابی بخشی از مسیر جاده‌ی ارتباطی بین شهرهای آمل و تهران به مساحت ۱۱۴ کیلومتر مربع است. این منطقه در دو ورقه نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به نام‌های شنگلده و رینه قرار دارد. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی ۳۸° ۰۶' تا ۵۲° ۲۴' ۱۷' و عرض‌های ۳۹° ۴۹' تا ۳۵° ۵۷' ۱۱' شمالی قرار دارد. ارتفاع بیشینه و کمینه در منطقه به ترتیب ۳۲۹۰ متر و ۱۲۰۰ متر می‌باشد (شکل ۱). برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با روش تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی فازی، هر کدام از عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه به رده‌هایی تقسیم می‌شوند. هر رده از این پارامترها دارای تأثیری در ناپایداری است که نرخ^۱ (R_i) آن رده نامیده می‌شود و هر یک از پارامترهای یاد شده دارای درجه‌ی اهمیتی نسبت به پارامترهای دیگر می‌باشند که وزن^۲ (W_i) آن پارامتر نامیده می‌شود. در مرحله‌ی بعد با استفاده از رابطه‌ی (۱) درجه‌ی خطر برای هر

واحد محاسبه می‌شود [۲، ۱۷، ۳۴]:

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

که در آن:

R : درجه‌ی خطر یا نرخ کلی پتانسیل ناپایداری (مطلوبیت فازی) است.

هنگامی که از مجموعه‌ها به جای اعداد حقیقی استفاده می‌شود، باید محاسبات رابطه‌ی (۱) برای آن‌ها انجام شود. این کار مستلزم انجام عملیات جمع، ضرب و تقسیم مجموعه‌ها است. مجموع این عملیات نیز یک مجموعه خواهد بود که مجموعه‌ی یاد شده را میانگین وزن‌های فازی^۳ (FWA) می‌نامند. برای بیان پتانسیل خطر لغزش باید مجموعه فازی نهایی تبدیل به یک مقدار عددی شود [۳۴]. ساده‌ترین روش برای این منظور، استفاده از رابطه‌ی ۲ می‌باشد:

$$HPI = AR - AL + C / 2C \quad (2)$$

که در آن: HPI : شاخص استعداد خطر، AR : سطحی است که به وسیله‌ی محدوده‌ی مرجع و قسمت راست تابع عضویت مجموعه محدود می‌شود AL : سطحی است که به وسیله‌ی محدوده‌ی مرجع و قسمت چپ تابع عضویت مجموعه محدود می‌شود و C : عدد ثابتی است که بیانگر کل سطح محدود شده به وسیله‌ی مرجع است (شکل ۲).

ملاک امتیازدهی برای هر یک از عامل‌ها 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^۴ به عنوان بستری برای معرفی توابع عضویت پارامترهای گوناگون در قالب ۸ پارامتر در ۳۵۸۷۴ واحد به کار گرفته شده‌اند.

گفتنی است که این تعداد واحد با تلفیق نقشه‌ی رقومی شده‌ی تمامی عامل‌های تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش منطقه به دست آمده که در این پژوهش با عنوان واحدهای کاری مورد استفاده قرار گرفته است. روی هم رفته، مراحل تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش چند معیاره‌ی تصمیم‌گیری در این پژوهش به شرح زیر می‌باشد:

- فازی نمودن وزن‌های پیشنهادی برای کلاس‌های گوناگون ۸ پارامتر در ۳۵۸۷۴ واحدکاری.

- مشخص نمودن کلاس هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده بر اساس توابع عضویت.

- برآورد خطر با استفاده از تلفیق مجموعه‌های فازی.

- غیر فازی نمودن مقادیر خطر به دست آمده برای ۳۵۸۷۴ واحد شبکه.

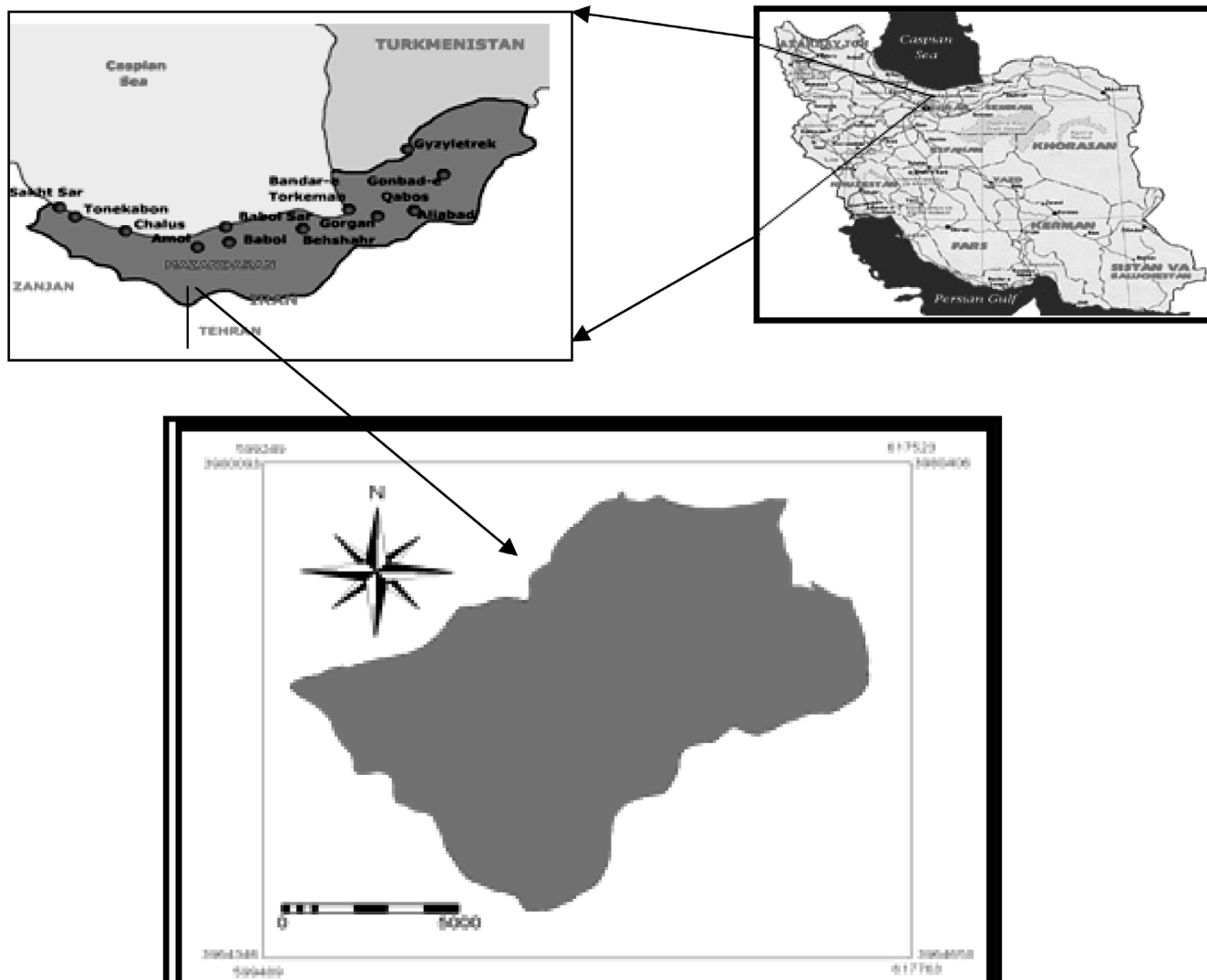
برای انجام مراحل بالا، با استفاده از نرم‌افزار Matlab 7.1 یک برنامه‌ی اصلی به همراه دو زیر برنامه طراحی شد. بخش اصلی

3- Fuzzy Weighted Average

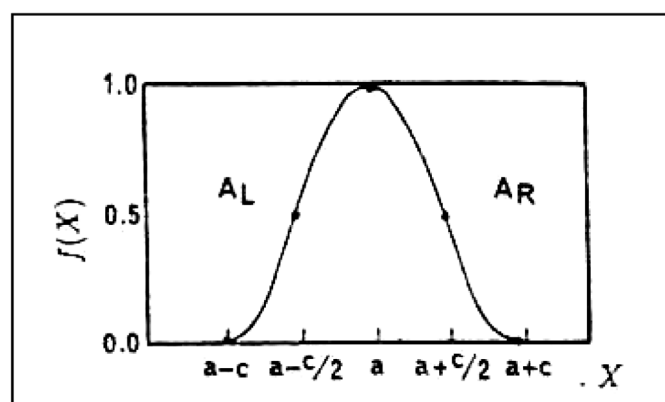
4- Frequency Ratio

1- Rate

2- Weight



شکل ۱ - موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲ - منحنی ایده آل π [۳۲]

می باشند. لازم به توضیح است که برای سهولت بیش تر در معرفی بازه های وزنی، هر یک از پارامترها ابتدا از ویرایشگر FIS12 در محیط نرم افزار Matlab استفاده شد و پس از آن محدوده های هر یک

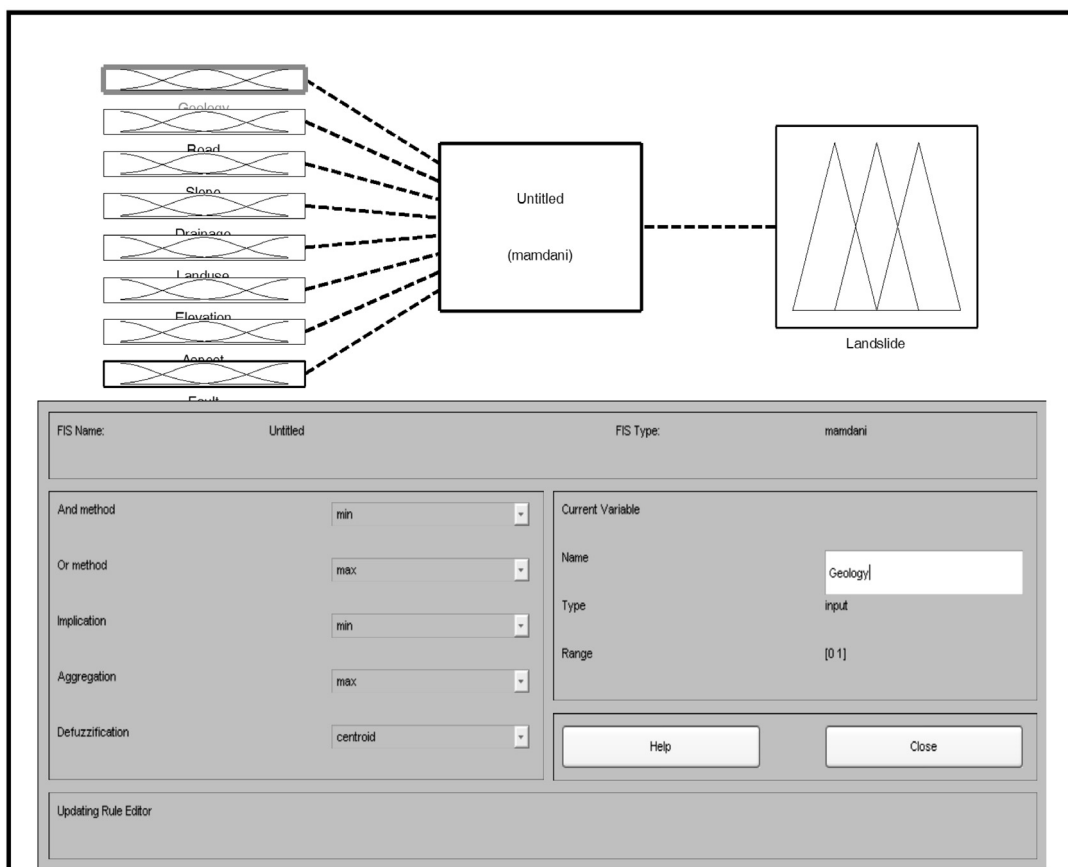
برنامه در واقع هدایت و کنترل اجرای برنامه را به عهده دارد و دو برنامه ی دیگر مربوط به تعریف مجموعه های فازی برای تمامی زیرگروه های مربوطه و تجزیه و تحلیل داده ها و محاسبه ی خطر

خروجی برنامه به صورت یک فایل با ۸ ستون و ۳۵۸۷۴ سطر خواهد بود که در ستون آخر مقدار خطر محاسبه شده ارایه می گردد. این مقادیر با جمع پارامترها در محیط فازی و غیر فازی نمودن آن‌ها بر اساس محاسبه‌ی مرکز ثقل سطح [۱۱، ۲۰، ۴۳ و ۴۷] انجام پذیرفته است. سپس خروجی این نرم افزار که درجه‌ی خطر محاسبه شده برای هر پیکسل در نقشه‌ی محدوده‌ی مورد مطالعه می باشد، با پسوند متنی (txt) به محیط نرم افزار Ilwis منتقل تا نقشه‌ی پهنه بندی خطر زمین لغزش تهیه گردد. جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه، از توابع عضویت مثلثی استفاده شد [۱۰].

ارزیابی روش پهنه‌بندی

در روش تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی فازی برای وزن‌دهی به لایه‌های گوناگون اطلاعاتی از نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش منطقه استفاده شد (شکل ۴). پس از تهیه‌ی نقشه‌های وزنی بر اساس رابطه‌ی مدل، نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین لغزش تهیه و با در نظر گرفتن دو پارامتر آماری میانگین (μ_0) و انحراف معیار (σ_0) نقشه‌ی پهنه‌بندی به چهار کلاس خطر کم (Low)، متوسط (Moderate)، زیاد (High) و خیلی زیاد (Very High) به ترتیب $(\mu_0 - 1.5m\sigma_0)$ ، $(\mu_0 - 0.5m\sigma_0)$ ، $(\mu_0 - 0.5m\sigma_0)$ و $(\mu_0 + 1.5m\sigma_0)$ تقسیم گردید [۳۵ و ۴۴]. در روابط بالا m مقداری است که اولاً نباید صفر باشد و ثانیاً عددی مثبت است [۳۵]. از آن جا

از زیرگروه‌ها در زیر برنامه‌ی Def-fuzzysets وارد گردیده است و در محیط فازی در برنامه‌ی Matlab با تایپ دستور Fuzzy نمایش داده می شود. در این پنجره بنا به تعداد ورودی‌ها خروجی، مدل شماتیکی (شکل ۳) ارایه می‌شود که برای هر یک از ورودی‌ها نمودار توابع عضویت با ویرایشگر تابع عضویت معرفی می‌گردند. در خصوص چگونگی ورود داده‌ها لازم به ذکر است که با توجه به متن برنامه نویسی پارامترهای ورودی که در این پژوهش ۸ پارامتر در ۸ ستون می‌باشند، به ترتیب سنگ شناسی، درصد شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، جهت شیب، حریم فاصله از جاده، حریم فاصله از شبکه‌ی آبراهه و حریم فاصله از گسل در فایل ورودی با پسوند متنی (txt) قرار می‌گیرند. با توجه به تعداد ۳۵۸۷۴ واحد کاری، ماتریس ورودی، ماتریسی با ۳۵۸۷۴ سطر و ۸ ستون خواهد بود. همچنین وزن هر یک از عامل‌های موثر با توجه به فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به دست آمد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک روش نیمه کیفی در مطالعه‌ی زمین لغزش است که شامل یک ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین عامل‌ها بوده و میزان مشارکت هر یک از عامل‌ها را در وقوع زمین لغزش مشخص می‌کند [۱۹]. به این ترتیب کلیه فاکتورها نسبت به یکدیگر مقایسه شدند. این ماتریس در نهایت به نرم افزار Choice Expert وارد و در آن جا وزن نهایی برای هر فاکتور محاسبه شد. لازم به توضیح است که داده‌های ورودی بایستی با برنامه‌های محاسباتی در یک زیر شاخه قرار گیرند.



شکل ۳- منوی FIS در محیط برنامه‌ی Matlab جهت معرفی ۸ پارامتر ورودی برای محاسبه‌ی مقدار خطر

پایین زمین لغزش ایجاد نماید. Q_s بالاتر نمایانگر جدایش بهتر بین رده های خطر گوناگون است. جمع کیفی (Q_s) با رابطه ی ۳ تعریف می گردد [۱۴، ۱۸ و ۳۲].

$$Q_s = \sum_{i=1}^n (Dr-1) 2 * S \quad (3)$$

که در آن n : تعداد رده های خطر و S : مساحت رده ی خطر به درصد در منطقه است.

نتایج

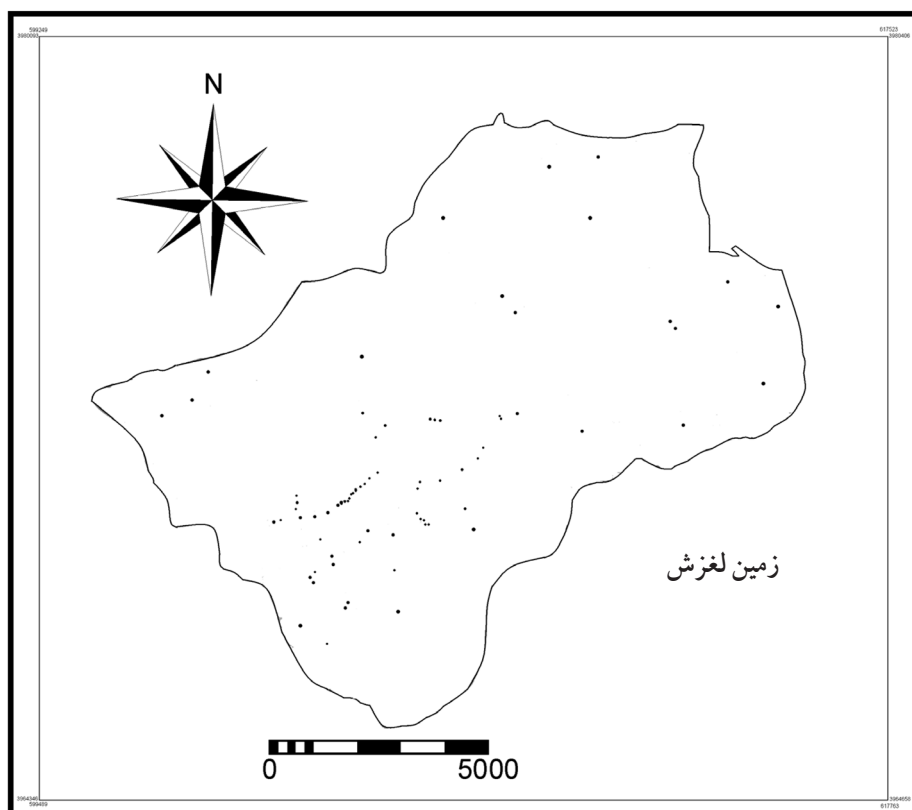
بررسی نتایج به دست آمده از مقادیر عضویت فازی و ارتباط بین عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و لغزش های رخ داده در منطقه ی مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه گردید.

نتایج تعریف تابع عضویت مثلثی برای هر یک از عامل های تاثیرگذار در پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره ی فازی در شکل های (۵) تا (۱۲) ارائه گردیده است. همچنین به منظور تعیین وزن هر یک از عامل های تاثیرگذار در پهنه بندی خطر زمین لغزش از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردید. نتایج این تجزیه و تحلیل در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

نتیجه ی پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم گیری

که نمی توان جهت ارزیابی نقشه ی پهنه بندی زمین لغزش، از نقشه ی پراکنش حرکات توده ای حوزه استفاده کرد [۴۲]، جهت حل این مشکل از ۷۸ نقطه ی لغزشی که در منطقه شناسایی گردید، دو سوم نقاط لغزشی (۵۵ نقطه لغزشی) برای مدل سازی و یک سوم نقاط لغزشی (۲۳ نقطه لغزشی) برای ارزیابی مدل استفاده گردید [۳۶]. سپس نقشه ی به دست آمده با نقشه ی پراکنش حرکات توده ای مقایسه گردید.

نتیجه به دست آمده از انجام پهنه بندی خطر زمین لغزش، عموماً به صورت نقشه هایی است که رده های گوناگون خطر را در منطقه نشان می دهد. برای مقایسه ی رده های گوناگون خطر از تراکم زمین لغزش ها یا نسبت تراکمی^۱ (Dr) در هر یک از رده های خطر استفاده شد. نسبت تراکم با تقسیم نمودن تراکم زمین لغزش در رده ی خطر خاص به میانگین تراکم زمین لغزش ها بر مبنای تراکم سطحی و یا تعداد زمین لغزش محاسبه می گردد. مقدار Dr مساوی یک برای رده خطر خاص بیانگر آن است که تراکم زمین لغزش در آن رده یا طبقه مساوی تراکم زمین لغزش در کل منطقه است. در صورتی که در منطقه ای چند نقشه ی خطر تهیه شده باشد، با استفاده از مقدار جمع کیفی^۲ (Q_s) نقشه های صحیح تر و با دقت بیش تر را می توان شناسایی نمود. یک نقشه ی خطر خوب، نقشه ای است که بهترین جدایش را بین مناطق با تراکم بالای زمین لغزش و مناطق با تراکم



شکل ۴- نقشه ی پراکنش زمین لغزش های مشاهده شده در منطقه ی مورد مطالعه

1- Fuzzy Inference System

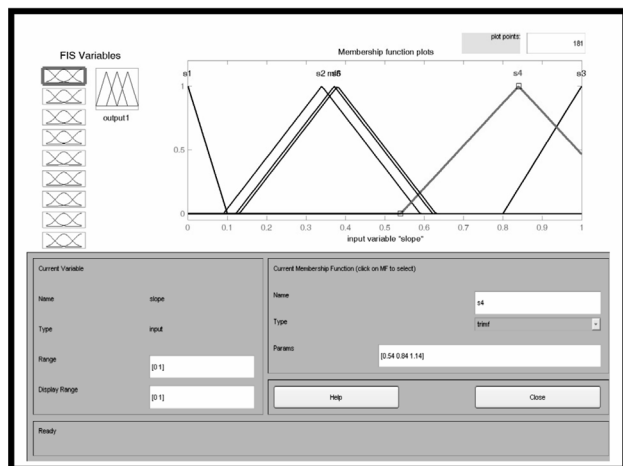
2- Density ratio

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

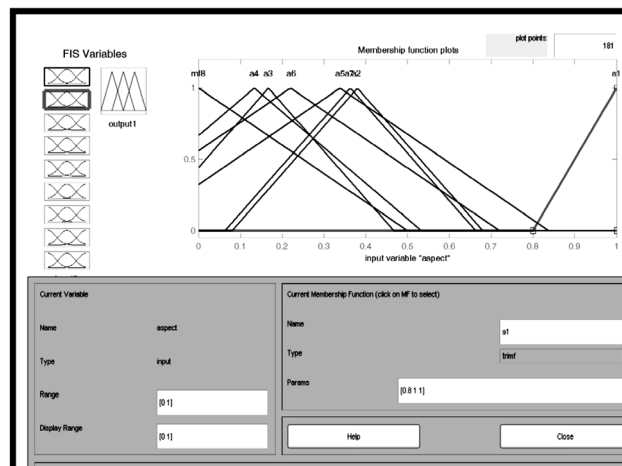
عامل	کلاس	تعداد پیکسل های فاقد لغزش	درصد پیکسل های فاقد لغزشی	تعداد پیکسل های لغزشی	درصد پیکسل های لغزشی	Frequency ratio	مقادیر عضویت فازی
شیب بر حسب درصد	۰-۵	۴۰۲۵۱	۱/۴۳	۰	۰	۰	۰
	۵-۱۵	۱۶۸۴۹۷	۵/۹۹	۲	۳/۶۴	۰/۶۰۸	۰/۳۴
	۱۵-۳۰	۳۴۱۹۴۸	۱۲/۱۶	۱۲	۲۱/۸۲	۱/۷۹۴	۱
	۳۰-۵۰	۶۸۱۰۲۸	۲۴/۲۳	۲۰	۳۶/۳۶	۱/۵۰۱	۰/۸۴
	۵۰-۷۰	۷۴۱۸۱۲	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 ^{lv}	۳۶۲۶۸۶	۰/۸۴	۲	۳/۶۴	۴/۳۳۳	۱
	Jd	۹۳۴۵۹	۳/۳۱	۰	۰	۰	۰
	J1	۱۷۵۹۷۰	۶/۲۳	۰	۰	۰	۰
	Js	۴۷۱۷۸۷	۱۵/۹۹	۱۹	۳۴/۵۵	۲/۱۶۱	۰/۵
	K2	۲۱۰۴۹	۰/۷۴	۰	۰	۰	۰
	Kt	۱۳۹۳۶۳	۴/۹۳	۳	۵/۴۵	۱/۱۰۵	۰/۲۶
	Pd	۷۲۷۹	۰/۲۶	۰	۰	۰	۰
	PEf	۲۴۴۰۹	۰/۸۶	۰	۰	۰	۰
	PEZ	۲۴۳۹۳	۰/۸۶	۰	۰	۰	۰

	Q ^{ag}	۳۱۱۳۱	۱/۱	۰	۰	۰	۰
	Q ^b	۱۶۱۵۱	۰/۵۷	۰	۰	۰	۰
	EK ^{gy}	۷۳۴	۰/۰۳	۰	۰	۰	۰
	Q ^{SC}	۸۳۸۶۴۵	۲۹/۶۳	۱۵	۲۷/۲۷	۰/۹۲۰	۰/۲۱
	Q ^{t1}	۱۸۵۹۶۰	۶/۵۸	۱۳	۲۳/۶۴	۳/۵۹۳	۰/۸۳
	Q ^{t2}	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 _{el}	۸۴۳۹	۰/۳	۰	۰	۰	۰
کاربری اراضی	مرتج خوب	۶۱۷۴۸۲	۲۱/۹۱	۱۰	۱۸/۱۸	۰/۸۳۰	۰/۰۳
	مرتج 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
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
	۳۰۰-۴۰	۱۰۸۹۳۱	۳/۸۵	۲	۳/۶۴	۰/۹۴۵	۰/۳۹
	>۴۰۰	۲۳۹۲۶۰۵	۸۴/۶۴	۴۰	۷۲/۷۲	۰/۸۶۰	۰
فاصله از آبراهه	۰-۱۰۰	۶۶۸۷۸۶	۲۳/۶۶	۳۳	۶۰	۲/۵۳۶	۱
	۰۰-۲۰۰	۴۹۸۵۶۶	۱۷/۶۴	۵	۹/۱	۰/۵۱۶	۰/۲۰
	۲۰۰-۳۰۰	۳۹۲۹۹۲	۱۳/۹۰	۸	۱۴/۵۳	۱/۰۴۵	۰/۴۱
	۳۰۰-۴۰	۳۲۱۹۹۰	۱۱/۳۹	۲	۳/۶۴	۰/۳۱۹	۰
	>۴۰۰	۹۴۴۴۵۶	۳۳/۴۱	۷	۱۲/۷۳	۰/۳۸۱	۰/۱۵
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
	۳۰۰-۴۰	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

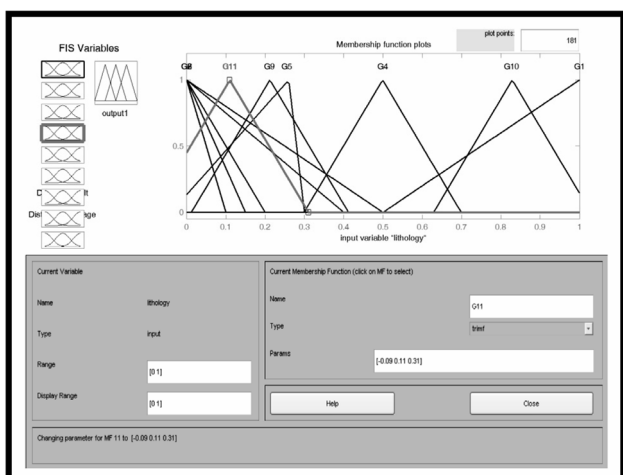
EK^{tv}: توف سبز، جریان‌های گدازه و گدازه‌های برشی شده آندزیتی-بازالتی، J_q: سنگ آهک تخمی-تخریبی با لایه بندی خوب، سنگ آهک مارنی، J₁: سنگ آهک چرت دار توده‌ای تا لایه‌ای، J₂: شیل و ماسه سنگ تیره رنگ همراه با آثار گیاهی زغالسنگ و سازند شمشک، K₂: سنگ آهک بیورنیک و چرتی، K₁: سنگ آهک اوربیتولین دار (سازند تیزکوه)، P_q: ماسه سنگ کوارتزیتی با لایه بندی متقاطع (سازند دورود)، PE_f: کنگلومرا، آگلومرا، کمی مارن و سنگ آهک (سازند فجن)، PE_z: سنگ آهک نومولیت و آلئومین دار، کنگلومرا (سازند زیارت)، Q^{ag}: آگلومرا، Q^b: اولیوین بازالت (قبل از دماوند)، EK^{gy}: سنگ گچ، Q^{SC}: واریزه، Q^{t1}: پادگانه‌های آبرفتی قدیمی، Q^{t2}: پادگانه‌های آبرفتی جدید، Q^{ta}: جریان‌های گدازه تراکی-آندزیتی، Q^{tu}: خاکستر توف، لاپیلی توف، TR_{el}: سنگ آهک نازک لایه.



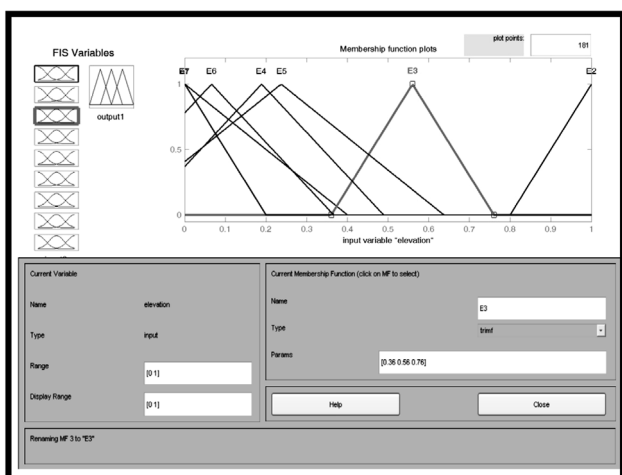
شکل ۶- تابع عضویت مثلثی عامل جهت شیب



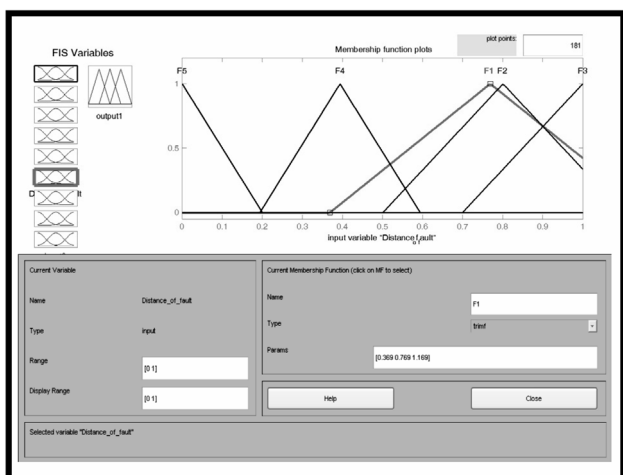
شکل ۵- تابع عضویت مثلثی عامل درصد شیب



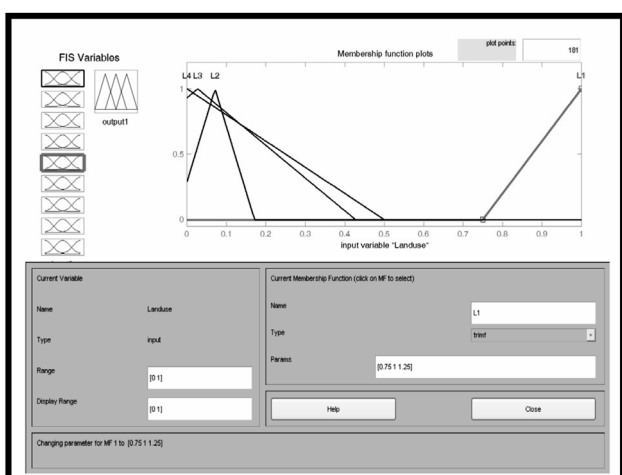
شکل ۸- تابع عضویت مثلثی عامل لیتولوژی



شکل ۷- تابع عضویت مثلثی عامل ارتفاع از سطح دریا



شکل ۱۰- تابع عضویت مثلثی عامل فاصله از گسل

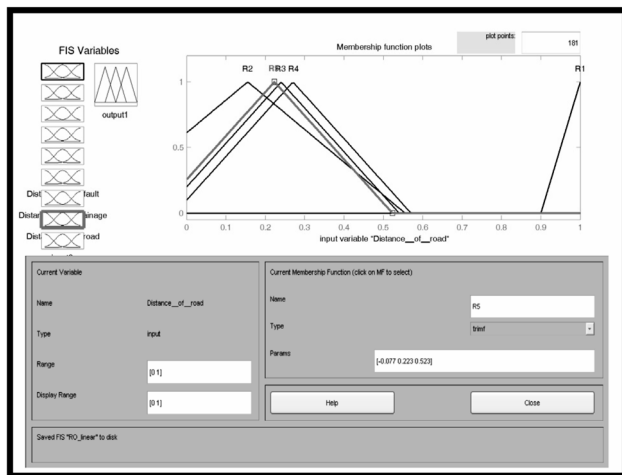


شکل ۹- تابع عضویت مثلثی عامل کاربری اراضی

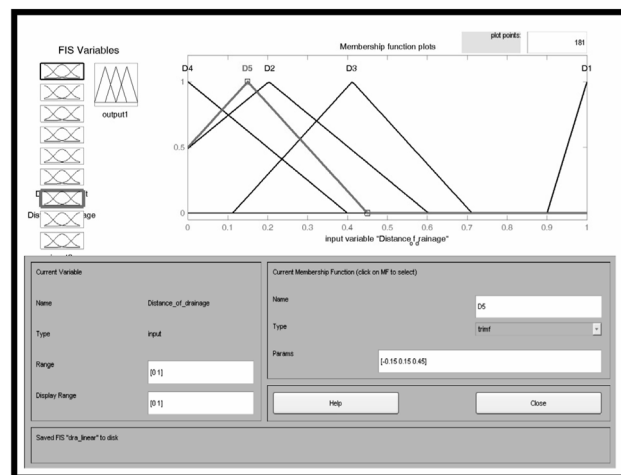
بحث

نتایج بررسی کلاس‌های شیب (جدول ۱) نشان می‌دهد که بیش‌تر لغزش‌های منطقه در کلاس شیب ۱۵-۳۰ درصد اتفاق افتاده است که با نظرات فیض‌نیا و همکاران [۱۳]، فاطمی‌عقدا و همکاران [۱۲]، فیض‌نیا و همکاران [۱۴]، احمدی و همکاران

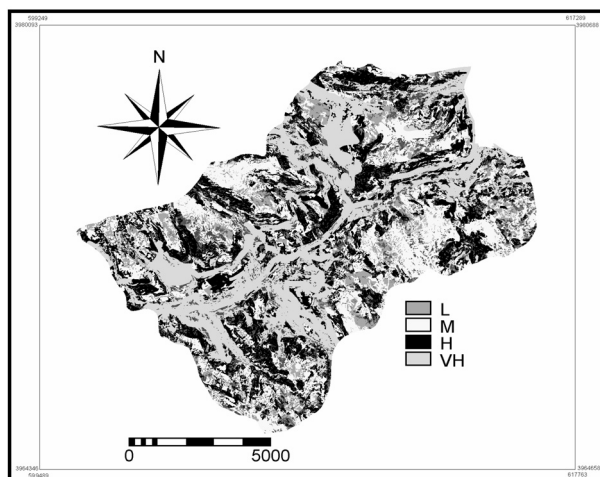
چند معیاره‌ی فازی و با استفاده از تابع عضویت مثلثی در شکل (۱۴) ارایه شده است. نتایج به دست آمده از ارزیابی نقشه‌های پهنه‌بندی روش خطر زمین‌لغزش با روش تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی فازی با تابع مثلثی شکل در جدول (۲) ارایه شده است.



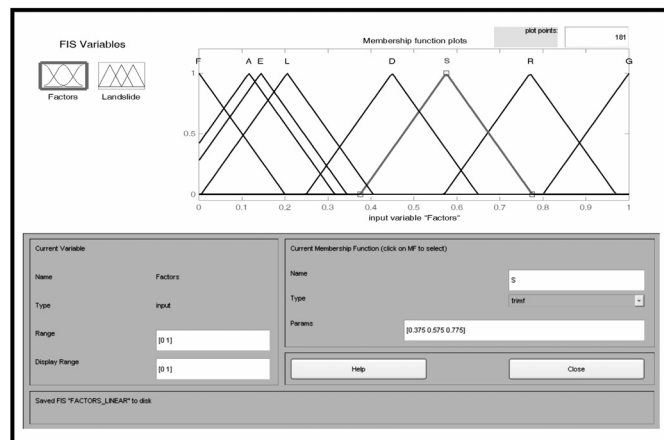
شکل ۱۲- تابع عضویت مثلی عامل فاصله از جاده



شکل ۱۱- تابع عضویت مثلی عامل فاصله از شبکه ی آبراهه



شکل ۱۴- نقشه ی خطر زمین لغزش با استفاده از تابع عضویت مثلی



شکل ۱۳- تابع عضویت مثلی عوامل تاثیر گذار بر اساس وزن به دست آمده در مدل AHP

زمین لغزش بیش تر می شود، اما چنانچه در ارتفاعات بالا فراوانی وقوع لغزش کمتر گردد، نشان دهنده ی آن است که در منطقه عوامل دیگری همچون لیتولوژی منطقه، بسیار مقاوم به لغزش بوده است. بررسی لیتولوژی حوزه نشان داده که بیش ترین لغزش در سازندهای EK^{tv} (توف سبز، جریان گدازه)، Q^4_1 (پادگانه های آبرفتی) و J_S (شیل، ماسه سنگ تیره همراه با آثار گیاهی ذغال سنگ) رخ داده است. دلیل اصلی این موضوع، حساسیت بسیار زیاد این سازندها به حرکات توده ای می باشد که با نظرات غلامی [۹]، شادفر و همکاران [۸]، ناجی [۱۹]، جانگ و همکاران [۳۴]، ارومیه ای و مهدویفر [۴۷]، الماچر و دیویس [۳۹] و آیالیو و یاماگیشی [۲۱] مطابقت دارد. بررسی کاربری اراضی منطقه نشان می دهد که بیش تر لغزش های منطقه در کاربری مسکونی و مخلوط باغ-کشاورزی رخ داده که دلیل آن را می توان به نقش موثر انسان در اکوسیستم های طبیعی و تخریب هایی که به واسطه ی تغییرات کاربری اراضی از جمله ساخت و ساز در منطقه به وجود آمده، نسبت داد که با نظرات احمدی و همکاران [۱]، شادفر و همکاران [۸]، فاطمی عقدا و

[۱]، محمدی و همکاران [۱۵]، ارکانگلو و گوگگلو [۳۱]، چن و چائو [۲۵]، لی و عبدالطالب [۳۸] مطابقت دارد. البته شایان ذکر است که کلاس شیب ۳۰-۵۰٪ در درجه ی دوم اهمیت قرار دارد که با نظرات حائری و سمیعی [۷]، بداغی [۴]، شرنه هانر [۴۵] و لی [۳۷] مطابقت دارد. نتایج بررسی جهت شیب نشان می دهد که بیش تر لغزش های اتفاق افتاده در جهت های شمال و غرب می باشد که دلیل این امر را می توان به تاثیر رطوبت به عنوان یکی از عامل های موثر بر وقوع حرکات توده ای نسبت داد. حوضه ی آبریز کرانه ی دریای خزر تحت تاثیر دو سیستم باران زای غربی و شمال تا شمال غربی بوده که رطوبت بسیاری را برای منطقه ی مورد مطالعه ایجاد کرده است. بررسی طبقات ارتفاعی نشان داده که کلاس ارتفاعی ۱۸۰۰-۲۱۰۰ و ۱۵۰۰-۱۸۰۰ هر کدام به ترتیب ۴۰٪ و ۳۴/۵۴٪ درصد لغزش ها را به خود اختصاص داده و دارای بیش ترین وزن می باشند و با افزایش ارتفاع میزان حساسیت به خطر زمین لغزش کم گردیده است. اگرچه پاچوری و پنت [۴۰] بر این باور هستند که هر چه ارتفاع بیش تر شود، حساسیت به خطر

جدول ۲- ارزیابی نقشه‌ی خطر زمین لغزش با استفاده از تابع عضویت مثلثی

طبقه خطر	مساحت %	زمین لغزش %	DR	$(DR-1)^2 \times \%Area$
Low (کم)	۸/۰۴	۴/۳۵	۰/۵۴۱	۰/۰۱۷
Moderate (متوسط)	۳۰/۳۶	۱۳/۰۴	۰/۴۳۰	۰/۰۹۹
High (زیاد)	۳۲/۱۸	۱۳/۰۴	۰/۴۰۵	۰/۱۱۴
Very High (خیلی زیاد)	۲۹/۴۲	۶۹/۵۷	۲/۳۶۵	۰/۵۴۸
جمع کل				QS= ۰/۷۷۸

مطابقت ندارد. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی فازی و با استفاده از تابع عضویت مثلثی نشان داده که به ترتیب ۸/۰۴، ۳۰/۳۵، ۳۲/۱۹ و ۲۹/۴۲٪ لغزش‌های اتفاق افتاده در کلاس‌های خطر کم (L)، متوسط (M)، زیاد (H) و خیلی زیاد (VH) قرار گرفته است. نتایج به دست آمده از ارزیابی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (جدول ۲) نشان می‌دهد که نقشه‌ی تهیه شده با تابع عضویت مثلثی دارای $QS=0/778$ است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با تابع عضویت مثلثی دارای صحت و دقت زیادی در منطقه‌ی مورد مطالعه است که با نتایج به دست آمده به وسیله‌ی مهدویفر [۱۶]، ناجی [۱۹] و ارومیه‌ای و مهدویفر [۴۷] مطابقت دارد.

منابع

- ۱- احمدی، ح.، محمدخان، ش.، فیض‌نیا، س. و قدوسی، ج. ۱۳۸۴. ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها (AHP)، مطالعه موردی حوزه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۸: ۱۴-۳.
- ۲- اشقلی‌فراهانی، ع. ۱۳۸۰. ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم، ۱۴۱ص.
- ۳- اصغرپور، م. ج. ۱۳۷۷. تصمیم‌گیری چند متغیره، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۹۸ص.
- ۴- بداغی، ب. ۱۳۷۶. بررسی و ارزیابی مدل جهت پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای در حوزه آبخیز شاهرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۹ص.
- ۵- پورقاسمی، ح. ر.، مرادی، ح. ر. و محمدی، م. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با روش آماری Frequency ratio در حوزه آبخیز صفارود، مجموعه مقالات سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، آذرماه ۱۳۸۶، ۱۷۴-۱۷۹.
- همکاران [۱۱] و ارکانگلو و گوگگلو [۳۱] مطابقت دارد، اما با نظر جانگ و همکاران [۳۴] مطابقت نداشته که این امر شاید به دلیل نحوه‌ی تقسیم‌بندی کاربری اراضی بود که ایشان برای منطقه‌ی مطالعاتی خود استفاده کردند. به گونه‌ای که معادن را به عنوان حساس‌ترین منطقه از نظر لغزش معرفی کردند. بررسی نتایج فاصله از گسل نشان می‌دهد که بیش‌تر لغزش‌های اتفاق افتاده در فاصله‌ی ۲۰۰-۳۰۰ متری از گسل مشاهده شده است، با وجود این که ۷۲/۷۲٪ لغزش‌های منطقه در فاصله‌های بیش‌تر از ۴۰۰ متری مشاهده شده‌اند، اما کم‌ترین وزن ($Fr=0.860$) را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی عامل فاصله از شبکه‌ی آبراهه و فاصله از جاده نشان داد که به ترتیب ۶۰٪ و ۴۳/۶۴٪ لغزش‌های اتفاق افتاده‌ی منطقه در فاصله‌ی ۱۰۰ متری از این دو عارضه مشاهده شده است که بیش‌ترین فراوانی را از نظر لغزش به خود اختصاص داده‌اند. نتایج به دست آمده با نظرات شادفر و همکاران [۸]، فاطمی عقدا و همکاران [۱۱]، دومان و همکاران [۲۸]، لی [۳۷] و یلسین [۴۸] مبنی بر همبستگی بالای وقوع زمین لغزش با نزدیکی فاصله به آبراهه و جاده مطابقت دارد. در توضیح نتایج به دست آمده لازم به ذکر است که دامنه‌ها به مرور زمان به شیب تعادل می‌رسند. حال هر فاکتوری که این شیب تعادل را به هم بزند، به شدت باعث ناپایداری دامنه می‌گردد. احداث جاده و فرسایش کنار رودخانه‌ای از عوامل اصلی به هم خوردن تعادل شیب و در نتیجه وقوع زمین لغزش می‌باشند. دقت در شکل‌های تابع عضویت مثلثی (۵ تا ۱۲) نشان می‌دهد که هر یک از کلاس‌های عوامل تاثیرگذار در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش که به سمت راست گرایش دارد، وزن بیش‌تری را در بین کلاس‌های دیگر به خود اختصاص داده است که با نظرات مهدویفر [۱۶]، فاطمی عقدا و همکاران [۱۱] و ارومیه‌ای و مهدویفر [۴۷] مطابقت داشته است.
- عوامل لیتولوژی و فاصله از جاده بیش‌ترین تاثیر را در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داده است که با نظرات آیالیو و همکاران [۲۲]، الماجر و دیویس [۳۹] و دومن و همکاران [۲۹] مبنی بر تاثیر لیتولوژی همخوانی دارد. در حالی که دای و لی [۲۷] عامل ارتفاع را به عنوان مهم‌ترین عامل تاثیرگذار در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ذکر نموده‌اند که با نتایج به دست آمده در این پژوهش

کاهش خسارت‌های آن، ۳۰-۳۱ اردیبهشت ماه ۱۳۷۶، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷-۱۴۵.

۱۸- میرصانعی، ر. ۱۳۸۲. ارزیابی و کاربرد نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (با استفاده از GIS مطالعه موردی: تهران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت معلم، ۱۲۰ ص.

۱۹- ناجی، س. ۱۳۸۵. پهنه‌بندی خطر لغزش در محور ساری-کیاسر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۸۶ ص.

20- Aksoy, H. and Ercanoglu, M. 2006. Determination of the rockfall source in an urban settlement area by using rule-based fuzzy evaluation, *Natural Hazard Earth System Science*, 6: 941-954.

21- Ayalew, L. and Yamagishi, H. 2005. The Application of GIS - based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, central Japan. *Geomorphology*, 65: 15-31.

22- 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.

23- Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F. and Rampini, A. 1998. Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy dempster-shafer approaches, *Natural Hazards*, 17: 77- 97.

24- 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.

25- Chau, K.T. and Chan, J.E. 2005. Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression: Case of Hong Kong Island. *Landslides*, 2: 280- 290

26- 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, 2002. 6pp.

27- Dai, F.C. and Lee, C.F. 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42 (3/4): 213-228.

28- Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C. and Nefeslioglu, H.A. 2005. Landslide susceptibility

۶- تاناکا، ک. ۱۳۸۳. مقدمه‌ای بر منطق فازی برای کاربردهای عملی آن، (ترجمه علی وحیدیان کامیاد و حامد رضا طارقیان)، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۱۳ ص.

۷- حائری، س. م. و سمیعی، ا. ح. ۱۳۷۶. روش جدید پهنه‌بندی مناطق شبیدار در برابر خطر زمین‌لغزش با تکیه بر بررسی‌های پهنه‌بندی استان مازندران، *نشریه علوم زمین*، ۶ (۲۳-۲۴): ۱۵-۲۰.

۸- شادفر، ص.، یمانی، م. و نمکی، م. ۱۳۸۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRE در حوزه چالکرو، *مجله آب و آبخیز*، ۳: ۶۸-۶۲.

۹- غلامی، و. ۱۳۸۳. بررسی عوامل حرکت توده‌ای (ریزش سنگ) با استفاده از تکنیک‌های میدانی و دورسنجی (مطالعه موردی: جاده هراز، مقطع وانا- پلور)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه مازندران، ۱۲۶ ص.

۱۰- غیومیان، ج.، فاطمی عقدا، س. م.، اشقلی فراهانی، ع. و تشنه‌لب، م. ۱۳۸۱. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند مشخصه فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار گیلان)، *پژوهش و سازندگی*، ۵۷-۵۶: ۶۷-۸۰.

۱۱- فاطمی عقدا، س. م.، غیومیان، ج.، تشنه‌لب، م. و اشقلی فراهانی، ع. ۱۳۸۴. بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه رودبار)، *مجله علوم دانشگاه تهران*، ۳۱ (۱): ۴۳-۶۴.

۱۲- فاطمی عقدا، س. م.، غیومیان، ج. و اشقلی فراهانی، ع. ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش، *مجله علوم زمین*، ۱۱ (۴۷-۴۸): ۲۸-۴۷.

۱۳- فیض‌نیا، س.، احمدی، ح. و حسن‌زاده نفوتی، م. ۱۳۸۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه آبخیز شلمانرود در استان گلستان، *مجله منابع طبیعی ایران*، ۵۴ (۳): ۲۰۷-۲۱۹.

۱۴- فیض‌نیا، س.، کلارستانی، ع.، احمدی، ح. و صفایی، م. ۱۳۸۳. بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیرین‌رود- سد تجن)، *مجله منابع طبیعی ایران*، ۵۷ (۱): ۳-۲۰.

۱۵- محمدی، م.، مرادی، ح. ر.، پورقاسمی، ح. ر. و داودی، م. ۱۳۸۶. بررسی ناپایداری دامنه‌های طبیعی و کاربرد آن در آمایش سرزمین با استفاده از GIS. *مجموعه مقالات اولین همایش ملی جغرافیا و آمایش سرزمین*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، ۲۰ و ۲۱ خرداد، ۹۱-۹۲.

۱۶- مهدویفر، م. ر. ۱۳۷۶. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه خورش رستم (جنوب غربی شهرستان خلخال)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۴ ص.

۱۷- مهدویفر، م. ر. و فاطمی عقدا، س. م. ۱۳۷۶. کاربرد تحلیل مجموعه‌های فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و شرح سیستم کامپیوتری تهیه شده، *مجموعه مقالات دومین سمینار زمین‌لغزه و*

predict landslide hazard in Northeast Kansas, USA, *Engineering Geology*, 69: 331- 343.

40- Pachauri, A.K. and Pant, M. 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes, *Engineering Geology*, 32: 81-100.

41- Pistocchi, A., Luzi, L. and Napolitano, P. 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, *Environmental Geology*, 41: 765-775.

42- Remendo, 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*, 437-449.

43- Saboya Jr, F., Da Glori Alves, M. and Dias Pinto, W. 2006. Assessment of failure susceptibility of soil slopes using fuzzy logic, *Engineering Geology*, 86: 211-224.

44- Saha, A.K., Gupta, R.P., Sarkar, I., Arora, M.K. and Csaplovics, E. 2005. An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation with a case study in the Himalayas, *Landslides*, 2: 61-69.

45- Schernthanner, H. 2005. Fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping (Rio Blanco, Nicaragua). Msc Thesis, Institute of Geography, NAWI, Paris Lodron University Salzburg, PP. 94.

46- Tangestani, M.H. 2003. Landslide susceptibility mapping using fuzzy gamma operation in GIS, Kakan catchment area, Iran, *Proceedings of the Map India 2003 Conference*, copyright GIS Development .net.

47- Uromeihy, A. and MahdaviFar, M.R. 2000. Landslide hazard zonation of the Khorshrostan area Iran, *Bulletin Engineering Geology Environment*, 58 (3): 1-7.

48- Yaclin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena*, 72: 1-12.

49- Zhu, A.X. and Scott Mackay, D. 2001. Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling. *Journal of Hydrology*, 284: 57-77.

mapping of Cekmece area (Istanbul, Turkey) by conditional probability, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2: 155-208.

29- 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.

30- 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.

31- 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.

32- Gee, M.D. 1991. Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability, *Landslides*, Bell (ed.), 1991 Balkema, Rotterdam. pp. 947- 952.

33- 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

34- 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.

35- Kanungo, D.P., Arora, M.K., Sarkar, S. and Gupta, R.P. 2006. A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas, *Engineering Geology*, 85: 347- 366.

36- Komac, M. 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia, *Geomorphology*, 74, 17-28.

37- Lee, S. 2007. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping, *Environmental Geology*, 52: 615-623.

38- Lee, S. and Abdul Talib, J. 2005. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis, *Environmental Geology*, 47: 982-990.

39- Ohlmacher, G.C. and Davis, J.C. 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to

*Abstract***Landslide Hazard Assessment Using Fuzzy Multi Criteria Decision- Making Method**H.R. Pourghasemi¹, H.R. Moradi², S.M. Fatemi Aghda³, M.R. Mahdavi⁴ and M. Mohammadi⁵

The aim of this research is landslide hazard assessment in a part of Haraz watershed using fuzzy multi criteria decision making. At first, landslide locations were identified using aerial photos and field study, then landslide distribution map was produced. Effective factors on landslide occurrence such as: slope, aspect, elevation, lithology, land use, distance to fault, distance to road and distance to drainage network were digitized in GIS environment as shape digital layers and then used for analysis of fuzzy sets theory. Fuzzy analysis was accomplished after determining membership function for each effective parameter in landslide occurred using Matlab 7.1 software. Then the results representing hazard degree for each pixel in case study map was transported in ILWIS software and landslide hazard zonation was produced. The results showed that identified landslides were located in the class very high (29.42%), high (32.19%), moderate (30.36%) and low (8.04%) in susceptibility zones.

Keywords: *Landslide, Fuzzy logic, Multi attribute decision making, Membership function and Haraz Watershed.*

1- MSc. Student, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran, hm_porghasemi@yahoo.com

2- Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran, morady5hr@yahoo.com

3- Associate Professor, Department of Engineering Geology, Tarbiat Moallem University, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES).

5- MSc. Student, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran.