



دانشگاه گیلان

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد شانزدهم، شماره چهارم، ۱۳۸۸
www.gau.ac.ir/journals

مقایسه کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: آب‌خیز الموت رود)

* جمال مصفايي^۱، مجید اونق^۲، منصور مصداقی^۲ و محسن شریعت‌جعفری^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناس ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۳مربی پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت آب و خاک

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۲۱

چکیده

زمین لغزش را می‌توان حرکت توده‌ای مواد دامنه‌های شیب‌دار تحت تأثیر نیروی ثقل توده و عوامل محرکی مانند زمین‌لرزه، سیل و باران‌های سیل‌آسا تعریف نمود. با پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل بالای خطر لغزش را شناسایی نمود. در این پژوهش، کارایی مدل تجربی مورا- وارسون اصلاح شده به همراه مدل‌های آماری تراکم سطح غیروزی، تراکم سطح وزنی و رگرسیون چندمتغیره در سطح تفصیلی و مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ در بخشی از آب‌خیز الموت مورد مقایسه قرار گرفته است. به این منظور ابتدا نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه با تفسیر استریوسکوپی عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی تهیه شد. سپس با مرور منابع، کلیه عواملی را که می‌توانند در بروز زمین لغزش مؤثر باشند استخراج و با توجه به دید کارشناسی و بررسی منابع ۸ عامل، زمین‌شناسی، شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از گسل، کاربری زمین، بارش و طبقات هم‌شتاب زمین‌لرزه به‌عنوان عوامل مؤثر زمین لغزش در آب‌خیز الموت انتخاب گردید و نقشه پتانسیل خطر زمین لغزش با به‌کارگیری تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی و تلفیق لایه‌ها در محیط نرم‌افزار

* مسئول مکاتبه: j_mosaffaie@yahoo.com

Arc GIS با چهار مدل مذکور تهیه شد. برای وزن‌دهی عوامل در مدل تراکم سطح وزنی و کمی نمودن طبقات کیفی عوامل کاربری، جهت شیب و زمین‌شناسی، در مدل رگرسیون چندمتغیره از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه‌های زوجی استفاده شد. برای مقایسه میزان تفاوت بین کلاس‌های خطر مدل‌ها، از آزمون کای‌اسکوئر و برای ارزیابی کارایی مدل‌ها، از شاخص جمع مطلوبیت استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهد که در تمامی مدل‌ها، مقدار کای‌اسکوئر محاسبه شده در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده و تفکیک مناسبی بین کلاس‌های خطر زمین لغزش وجود دارد. با انجام روش گام به گام بر روی لگاریتم سطح لغزش به‌عنوان متغیر وابسته و عوامل مؤثر هشت‌گانه، سه عامل جهت شیب، میزان بارش و شتاب زمین‌لرزه به مدل وارد نشدند که نشان از همبستگی کم این سه عامل با لغزش‌های به‌وقوع پیوسته منطقه دارد. همچنین مدل رگرسیون چندمتغیره با جمع مطلوبیت برابر با ۰/۹۴۷ به‌عنوان مدل مناسب‌تر برای حوزه انتخاب گردید.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی زمین لغزش، مورا- وارسون، تراکم سطح وزنی، رگرسیون چندمتغیره، آب‌خیز الموت

مقدمه

زمین لغزش یکی از خطرات طبیعی است که همه‌ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز به همراه دارد. حرکت‌های توده‌ای نقش مؤثری در تخریب جاده‌های ارتباطی، مراکز، مناطق مسکونی و ایجاد فرسایش و رسوب در حوزه‌های آب‌خیز دارند. از آنجا که پیش‌بینی زمان وقوع زمین لغزش‌ها مشکل است، از این‌رو شناسایی مناطق حساس به زمین لغزش و پهنه‌بندی این مناطق براساس پتانسیل خطر ناشی از بروز این پدیده، دارای اهمیت است و تا حد امکان باید از مناطق با احتمال پتانسیل نسبی بالاتر خطر زمین لغزش دوری جست. مدل‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ارائه شده است که کارایی هر کدام از آنها در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد.

مایکل (۱۹۹۱)، از روش ماتریس مشتمل بر چهار عامل زمین‌شناسی، شیب، نهشته‌های سطحی و کاربری زمین برای تخمین شاخص ناپایداری استفاده نمود. برای مثال ماتریسی که شامل سنگ

گرانیت، شیب بیش از ۴۵ درجه، پهنه‌ای از قطعات سنگی و کاربری جنگل باشد، معرف منطقه‌ای با حالت متوسط است. حدود ۹۰ درصد زمین لغزش‌های ناشی از بارش تابستان (۱۹۹۱-۱۹۹۰)، در مناطق بسیار حساس نقشه واقع گردیدند که این موضوع مدل پیشنهادی را تأیید کرد.

کروکی نژاد و همکاران (۲۰۰۵)، خطر زمین لغزش آب‌خیز سیاه رودبار را با دو روش حائری-سمیعی و مورا-وارسون در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ پهنه‌بندی و نتیجه گرفت که در مدل مورا-وارسون هیچ‌یک از عوامل پنج‌گانه با صفات سه‌گانه زمین لغزش (تعداد لغزش، مساحت لغزش، حاصل ضرب تعداد در مساحت هر سلول) ارتباط معنی‌داری ندارند.

اشقلى فراهانی (۲۰۰۱) پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در منطقه رودبار استان گیلان با استفاده از ۶ عامل و ۶ مدل، در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ انجام داد و نتیجه گرفت که مدل رگرسیون از دقت بیشتری برای منطقه برخوردار بوده و روش‌های فازی نیز به دلیل قطعیت نداشتن در داده‌ها، نتایج قابل قبولی را ارائه نموده‌اند.

ژو و همکاران (۲۰۰۲) رابطه مکانی بین زمین لغزش‌ها و عوامل مؤثر بر آنها را جهت دستیابی به الگوی مکانی زمین لغزش‌ها و فاکتورهای عامل در جزیره لانتوآ بررسی کردند و نتیجه گرفتند که بیشتر لغزش‌ها در شیب‌های ۴۰-۲۵ درجه، اراضی مرتعی لخت و مناطق نزدیک به گسل‌های جزیره رخ داده‌اند.

احمدی و همکاران (۲۰۰۳) خطر زمین لغزش را در آب‌خیز گرمی‌چای با استفاده از دو روش رگرسیون چندمتغیره و تحلیل سلسله مراتبی^۱ پهنه‌بندی نموده و نتیجه گرفتند که روش تحلیل سلسله مراتبی به دلیل برخورداری از متغیرهای بیشتر و کلاسه‌بندی اصولی نسبت به روش رگرسیون چندمتغیره، اهمیت و دقت بیشتری دارد.

شیرانی (۲۰۰۴) پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در منطقه سمیرم اصفهان، در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ با ۷ روش انجام داد و نتیجه گرفت که به ترتیب مدل‌های چندمتغیره با آنالیز رگرسیون خطی، مدل چندمتغیره با آنالیز ممیزی، مدل دومتغیره ارزش اطلاعاتی^۲، مدل دومتغیره تراکم سطح^۳، روش نیلسن

1- Analytical Hierarch Process (AHP)

2- Value Information

3- Density Area

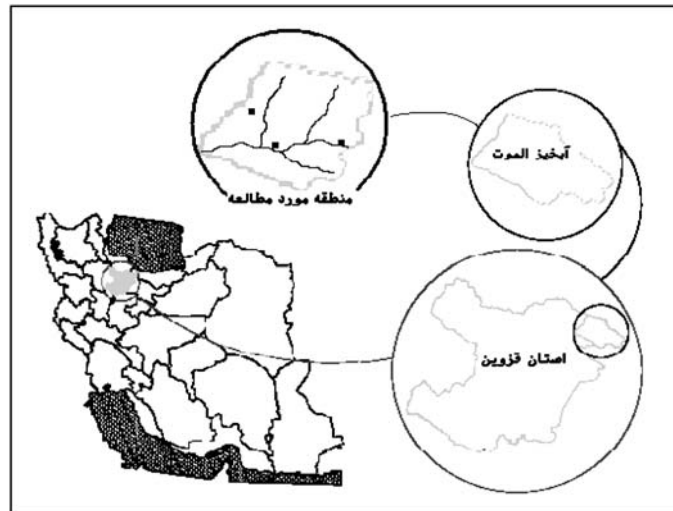
اصلاح شده، روش مورا- وارسون اصلاح شده، و روش مورا- وارسون برای منطقه نتایج بهتری را ارائه نموده و نتیجه گرفت که روش‌های آماری چندمتغیره به دلیل در نظر گرفتن تأثیر هم‌زمان پارامترها، نتایج مطمئن‌تری را دارند.

مورا- وارسون (۱۹۹۳) با استفاده از سه عامل پستی و بلندی نسبی، شرایط لیتولوژیک و رطوبت خاک به عنوان فاکتورهای مؤثر در گسیختگی دامنه، اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در آمریکای مرکزی نموده است. از آنجا که این مطالعه در منطقه کاستاریکا (منطقه‌ای با بارش سنگین) پایه‌ریزی شده است، پس این مدل نسبت به عامل شدت بارش بسیار حساس است و به احتمال زیاد به کار بردن این مدل در کشورهای با آب و هوای خشک، سبب قرار گرفتن بیشتر سطح منطقه در رده‌های خطر پایین تا متوسط می‌گردد (شریعت‌جعفری، ۱۹۹۶).

این پژوهش در قالب پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد (۲۰۰۶)، در دانشگاه گرگان انجام شد، و هدف آن مقایسه کارایی مدل تجربی مورا- وارسون اصلاح شده و مدل‌های آماری تراکم سطح غیروزنی، تراکم سطح وزنی و رگرسیون چندمتغیره جهت انتخاب مدل مناسب برای آب‌خیز الموت می‌باشد تا براساس آن، مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای لغزش شناسایی شده و با ارائه راه‌حل‌ها، روش‌های کنترل و مدیریت مناسب، تا حدی از خسارات ناشی از وقوع آنها کاست. از اهداف دیگر این پژوهش تعیین عوامل دارای بیشترین ارتباط با زمین لغزش‌های منطقه و شناسایی مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای لغزش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از آب‌خیز الموت رود (حدود ۵۴ درصد) است که با وسعت ۳۹۰۰۰ هکتار بین مختصات ۲۳ ۵۰ تا ۴۱ ۵۰ طول شرقی و ۲۰ ۳۶ تا ۳۳ ۳۶ عرض شمالی قرار دارد. ارتفاع متوسط حوزه ۲۳۸۶ متر و متوسط بارش سالانه ۴۰۰ میلی‌متر (ایستگاه باغ کلاویه) می‌باشد. سطح حوزه که به‌طور عمده از کوه‌های با پوشش مرتعی تشکیل شده، به‌صورت یک ناودیس مرکب است که دو گسل اصلی خشچال و الموت رود به ترتیب در قسمت‌های شمالی و جنوبی آن قرار گرفته‌اند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز الموت رود در ایران و استان قزوین.

برای تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش آبخیز ابتدا با تفسیر استریوسکوپی ۴۱ قطعه عکس هوایی در مقیاس ۱/۴۰۰۰۰ (مربوط به سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰) و ۵۲ قطعه عکس هوایی در مقیاس ۱/۲۰۰۰۰ (مربوط به سال ۱۳۴۶)، محدوده تمامی زمین لغزش‌های موجود مشخص شد. سپس طی عملیات گسترده میدانی، لغزش‌های تشخیصی از روی عکس‌های هوایی بازدید شده و محدوده لغزش بر روی عکس‌های هوایی تصحیح گردید. در مرحله بعد، عکس‌های هوایی در محیط نرم‌افزار ArcGIS زمین مرجع^۱ شد و بعد از رقومی نمودن^۲ محدوده لغزش‌ها، نقشه پراکنش زمین لغزش منطقه تهیه گردید (بربریان و همکاران، ۱۹۹۳).

در مرحله بعد با استفاده از منابع و تحقیقات، کلیه عواملی که به‌صورتی در زمین لغزش مؤثر می‌باشند استخراج و با بررسی این عوامل در منطقه مورد مطالعه، عوامل هشت‌گانه زمین‌شناسی، میزان شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، میزان بارش و طبقات هم‌شتاب زمین‌لرزه به‌عنوان عوامل مؤثر زمین لغزش در آبخیز الموت انتخاب شد. که روش تهیه نقشه هر یک از این عوامل به شرح ذیل می‌باشد:

- 1- Georeferencing
- 2- Digitizing

زمین‌شناسی: براساس نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، ۲۹ واحد سنگ‌شناسی در آب‌خیز الموت رود وجود دارد که جهت تحلیل ساده‌تر، براساس حساسیت نسبت به لغزش، به ۷ طبقه تقسیم گردید.

شیب توپوگرافی: در آب‌خیز الموت رود ابتدا مدل رقومی ارتفاع^۱ حوضه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ در محیط نرم‌افزار Arc GIS با سایز سلول ۲۰ متر تهیه و سپس نقشه شیب از روی آن با ۶ طبقه استخراج شد.

جهت: نقشه جهت با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS از روی نقشه مدل رقومی ارتفاع با ۴ طبقه استخراج شد.

فاصله از گسل: ابتدا نقشه خطی گسل‌های منطقه از نقشه زمین‌شناسی استخراج و بعد با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS نقشه فاصله از گسل تهیه، سپس این نقشه با استفاده از نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها به ۵ طبقه کلاسه‌بندی گردید.

ارتفاع: ارتفاع نیز هم‌چون شیب دامنه همبستگی بالایی با زمین لغزش دارد. در آب‌خیز الموت برای به‌دست آوردن نقشه طبقات ارتفاعی، مدل رقومی ارتفاع حوضه براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی به ۶ طبقه کلاسه‌بندی شد.

کاربری زمین: برای تهیه نقشه واحدهای کاربری زمین الموت، از نقشه کاربری تهیه شده توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۸۰-۷۹) استفاده گردید.

بارش: ابتدا معادله گرادیان بارش منطقه تهیه شد سپس نقشه طبقات بارش با استفاده از این معادله و مدل رقومی ارتفاع منطقه و محاسبه میزان بارش برای هر پیکسل تهیه و به ۶ کلاس طبقه‌بندی گردید. گرادیان بارش منطقه (ضریب همبستگی = ۰/۹۱)

$$p = 0.176h + 209.5 \quad (1)$$

H: ارتفاع متوسط از سطح دریا به متر و P: متوسط بارش سالانه به میلی‌متر.

طبقات هم‌شتاب زمین‌لرزه: براساس گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۹۹۳)، آب‌خیز الموت رود در ۳ پهنه هم‌شتاب ۰/۱۵-۰/۱۶ گرم، ۰/۱۶-۰/۱۷ گرم و ۰/۱۷-۰/۱۸ گرم قرار می‌گیرد.

برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش به روش مورا- وارسون اصلاح شده، پس از اصلاح طبقات عوامل میزان بارش و شدت بارش، نقشه عوامل مختلف این مدل تهیه و در نهایت با استفاده از معادله

1- Digital Elevation Model (DEM)

استاندارد تجربي اين مدل (معادله ۱)، نقشه خطر زمين لغزش تهيه و براساس طبقات استاندارد مدل طبقه‌بندي شد.

$$HI = (Sr.Si.Sh).(Ts+Tp) \quad (2)$$

HI: ميزان خطر زمين لغزش، Sr: برجستگي نسبي زمين، Si: قابليت لغزش سازند، Sh: تأثير رطوبت طبيعي خاک، Ts: تأثير شدت زمين‌لرزه و Tp: تأثير ميزان بارندگي.

براي پهنه‌بندي خطر زمين لغزش با استفاده از مدل‌هاي آماری دومتغیره (تراکم سطح غیروزی و وزنی)، علاوه بر لایه‌های اطلاعاتی عوامل کلیدی مؤثر در وقوع این پدیده، نیاز به نقشه پراکنش زمين لغزش‌ها نیز می‌باشد. برای حالت غیروزی ابتدا نقشه هر یک از عوامل هشت‌گانه با نقشه پراکنش زمين لغزش آب‌خیز قطع داده شد و مساحت و درصد زمين لغزش در هر طبقه از نقشه عوامل محاسبه گردید. سپس با استفاده از معادله مدل تراکم سطح (معادله ۳)، نرخ هر طبقه محاسبه و نقشه‌های براساس نرخ عوامل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (ساج)^۱ تهیه شد. برای تهیه نقشه خطر زمين لغزش، نقشه‌های براساس نرخ عوامل با یکدیگر جمع و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها کلاسه‌بندي گردید.

$$Ra = 1000 \cdot \left(\frac{A}{B} \right) - 1000 \cdot \left(\frac{C}{D} \right) \quad (3)$$

A: مساحت لغزش‌های هر واحد (مترمربع)، B: مساحت هر واحد (مترمربع)، C: مساحت کل لغزش در حوزه (مترمربع)، D: مساحت کل حوزه (مترمربع) و Ra: نرخ تراکم سطح.

برای تهیه نقشه پهنه‌بندي خطر زمين لغزش به روش تراکم سطح وزنی، ابتدا وزن عوامل هشت‌گانه با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه‌های زوجی محاسبه، سپس در محیط GIS، وزن محاسبه شده برای هر عامل، در نقشه نرخ همان عامل ضرب شد. در نهایت نقشه خطر از جمع نقشه‌های براساس نرخ و وزن عوامل تهیه و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها، کلاسه‌بندي گردید (قدسی‌پور، ۲۰۰۵).

از آنجا که متغیرهای مورد استفاده در تحلیل خطر زمين لغزش، در مواردی کمی (شیب، بارش، شتاب زمين‌لرزه و فاصله از گسل) و در مواردی نیز کیفی (جهت شیب، لیتولوژی و کاربری زمين) می‌باشند بنابراین جهت استفاده از مدل رگرسیون چندمتغیره در پهنه‌بندي خطر زمين لغزش، باید متغیرهای ورودی به مدل (داده‌های عددی) آماده شوند.

برای تعیین ارزش عددی طبقات مختلف عوامل کیفی نیز از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه‌های زوجی استفاده شد و براساس میزان سطح لغزش در طبقات مختلف عوامل، به طبقات امتیازدهی شده و پس از انجام مقایسه‌های زوجی بین طبقات مختلف وزن هر یک از طبقات محاسبه گردید. در مرحله بعد با قطع دادن نقشه پراکنش زمین لغزش با نقشه واحدهای کاری (نقشه حاصل از تلفیق نقشه ۸ عامل)، طبقات هر یک از عوامل در هر زمین لغزش مشخص و با میانگین‌گیری وزنی آنها میزان تأثیر هر یک از عوامل هشت‌گانه در هر زمین لغزش مشخص گردید. برای نرمال کردن داده‌های متغیر وابسته (سطح لغزش)، بر روی آنها تبدیل لگاریتمی صورت گرفت و به این ترتیب ۸۴ مشاهده متشکل از یک متغیر وابسته و ۸ متغیر مستقل جهت تحلیل آماری زمین لغزش‌ها فراهم، و با استفاده از نرم‌افزار MINITAB و روش گام به گام (پیش‌رو و پس‌رو) اقدام به تعیین مرتبط‌ترین عوامل شد. با استفاده از عوامل مرتبط، به‌عنوان متغیرهای مستقل و لگاریتم مساحت لغزش‌ها به‌عنوان متغیر وابسته، اقدام به برازش بهترین معادله گردید و در نهایت نقشه خطر زمین لغزش منطقه با استفاده از معادله یاد شده تهیه و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها طبقه‌بندی شد. برای مقایسه تفاوت فراوانی و تعیین میزان تفکیک بین کلاس‌های خطر مدل‌ها از آزمون کای‌اسکوئر، استفاده شد. همچنین ارزیابی کارایی نقشه‌های خطر مدل‌ها براساس انطباق آنها با نقشه پراکنش زمین لغزش آبخیز صورت گرفته است. از شاخص نسبت تراکم^۲، برای ارزیابی توانایی مدل در تشخیص کلاس خطر استفاده شده که هرچه تفکیک بین کلاس‌های خطر بهتر باشد، مدل توانا تر می‌باشد. از شاخص جمع مطلوبیت^۳ برای مقایسه عملکرد مدل‌ها استفاده شده است، به‌طوری‌که هرچه مقدار جمع مطلوبیت حاصله بیشتر باشد آن مدل برای منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است.

$$Dr = \frac{Si / Ai}{\sum^n Si / \sum^n Ai} \quad (۴)$$

Dr: تراکم لغزش در هر کلاس خطر
Ai: مساحت هر کلاس خطر (m²)
Si: مساحت زمین لغزش‌ها در هر کلاس خطر (m²)
n: تعداد کلاس‌های خطر

1- Stepwise (Forward and Backward)

2- Density Ratio (Dr)

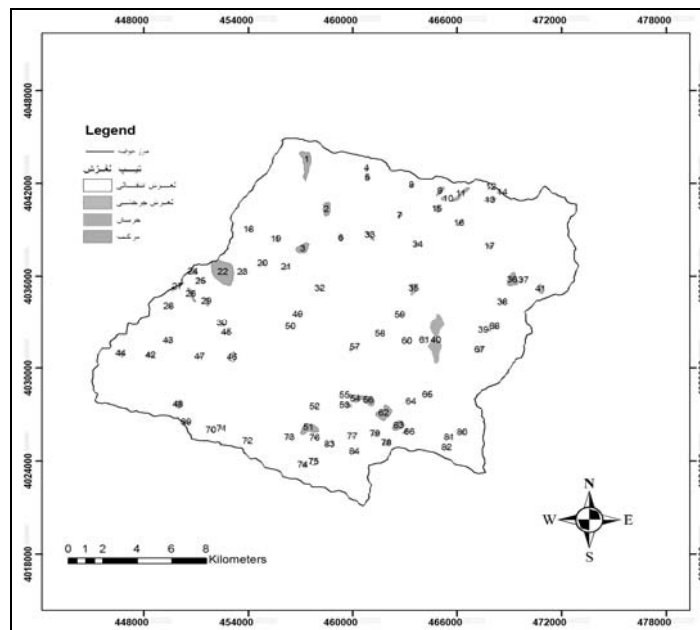
3- Sum of Quality (Qs)

$$Q_s = \sum_{i=1}^n [(Dr - 1)^2 \times \%area] \quad (5)$$

Qs: شاخص جمع مطلوبیت، area: نسبت مساحت هر کلاس خطر به مساحت کل منطقه.

نتایج

مجموع سطح ۸۴ مورد لغزش برداشت شده ۱۰۵۰ هکتار می باشد که معادل ۲/۷ درصد سطح آب خیز است. مساحت کوچک ترین لغزش برداشت شده ۰/۶۱ هکتار و مساحت بزرگ ترین لغزش (زمین لغزش شمس کلایه) معادل ۱۳۷ هکتار و میانگین مساحت هر لغزش ۱۲/۵ هکتار می باشد. در روش تراکم سطح وزنی، برای تعیین وزن عوامل از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه های زوجی استفاده گردید.



شکل ۲- نقشه پراکنش زمین لغزش های آب خیز الموت رود.

جدول ۱- نرخ تراکم سطح طبقات عوامل.

عامل	مساحت لغزش سطح (هکتار)	مساحت (هکتار)	طبقات	عامل	نرخ تراکم سطح	مساحت لغزش سطح (هکتار)	مساحت (هکتار)	طبقات	عامل	
فاصله از گسل	۳۷۵۶	۱۵۵۶۷	<۵۰۰	فاصله از گسل	-۳/۸۲۶۷	۳۴۰	۱۵۱۶۲	$E_{60b}, E_{gab}, M_s, k_v, Q_{1v}, C_m, E_b$	بیولوژی	
	۴/۹۴۵۴	۳۵۷۶	۵۰۰-۱۳۰۰		۶۲/۸۷۳۳	۱۹۶	۲۱۹۱	M_c, I, C		
	۰/۳۴۵۴	۱۸۱۱	۱۳۰۰-۲۳۰۰		-۱۰/۵۲۶۷	۱۴۵	۹۱۹۸	M_{img}, M_{mse}, gyI		
	۶/۳۴۵۴	۱۳۰	۲۳۰۰-۳۵۰۰		-۱/۸۲۶۷	۲۳	۹۶۱	$P_{ees}, d_i, TR_e^{dl}, P_n$		
	-۲۳/۷۵۴۶	۵	>۳۵۰۰		-۲۶/۲۲۶۷	۰	۳۷۰	P_r^{lml}, gy, C_m^{lml}		
		۲۱۰	میانگین		-۴/۵۲۶۷	۱۰۷	۴۹۳۷	Q_2^t, Q_2, Q_1, Q_2^s		
	-۱۰/۵۳۸۵	۱۴۶	۱۰۰۰-۱۵۰۰		۷/۰۷۳۳	۲۳۸	۷۱۵۷	$TR_{3J_2ssh}, j_s, Ngm, Ek_{ta}, Ek_{tm}$		
	۵/۳۶۱۵	۳۲۳	۱۵۰۰-۱۹۰۰			۱۵۰	۵۷۱۱	میانگین		
	۲۲/۰۶۱۵	۳۱۱	۱۹۰۰-۲۳۰۰		-۲/۳۶۷۷	۲۸۹	۱۲۰۸۳	۰/۱۵g-۰/۱۶g		شماره زمین‌ارزه
	-۳/۹۳۸۵	۱۲۰	۲۳۰۰-۲۷۰۰		۱/۶۱۹۳	۷۶۱	۲۷۳۱۴	۰/۱۶g-۰/۱۷g		
-۵/۳۳۸۵	۱۰۹	۲۷۰۰-۳۲۰۰	-۲۶/۲۵۴۷	۰	۵۹۵	۰/۱۷g-۰/۱۸g				
-۱۵/۲۳۸۵	۳۷	۳۲۰۰-۴۲۰۰		۳۵۰	۱۳۳۳۱	میانگین				
بارش	-۱۰/۵۳۸۵	۱۷۴	میانگین	-۱/۰۴۴۹	۲۲۰	۸۷۲۷	شمال	جهت شیب		
	-۲/۶۵۴۶	۱۳۳	۲۵۰-۳۵۰	۰/۳۵۵۱	۲۲۶	۸۴۸۴	شرق			
	۱/۰۴۵۴	۴۷۳	۳۵۰-۴۵۰	۹/۵۵۵۱	۴۴۵۹	۱۲۴۱۹	جنوب			
	۳/۵۴۵۴	۲۸۶	۴۵۰-۵۵۰	-۱۱/۱۴۴۹	۱۵۲۸	۱۰۰۴۳	غرب			
	-۱۷/۰۵۴۶	۴۳	۵۵۰-۶۵۰		۱۶۰۸	۹۹۱۸	میانگین			
	۱۶/۳۴۵۴	۱۱۴	۶۵۰-۷۵۰	۲/۶۴۷۶	۵۷۹	۲۰۰۲۱	مرتفع ضعیف و متوسط			
		۲۰۹	میانگین	-۴/۶۵۲۴	۲۳۳	۱۰۷۶۰	مرتفع خوب			
	-۷/۲۰۲۰	۷۴	۰-۱۵٪	۸/۲۴۷۶	۱۴۰	۴۰۷۱	اراضی دیم			
	۳/۹۹۸۰	۲۴۳	۱۵-۳۰٪	۹/۰۴۷۶	۴۹۱	۱۳۹۱	اراضی بدون پوشش و رودخانه‌ها		کاربری اراضی	
	۵/۳۹۸۰	۲۹۸	۳۰-۴۵٪	-۱۶/۳۵۲۴	۲۴	۲۴۳۶	باغ و مجتمع‌های درختی			
۰/۶۹۸۰	۲۲۹	۴۵-۶۰٪	-۷/۶۵۲۴	۲۴	۱۳۱۴	جنگل و مرتع				
-۶/۱۰۲۰	۲۰۳	>۶۰٪	۲/۶۴۷۶	۵۷۹	۲۰۰۲۱	مرتفع ضعیف و متوسط				
	۲۰۹	میانگین		۲۹۶	۸۵۷۳	میانگین				

همچنین وزن هر یک از طبقات عوامل کیفی لیتولوژی، کاربری زمین و جهت شیب با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه‌های زوجی محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. نرخ ناسازگاری برای ماتریس مقایسه‌های زوجی واحدهای زمین‌شناسی برابر ۰/۰۴ و برای واحدهای مختلف کاربری اراضی برابر ۰/۰۵ و برای واحدهای مختلف جهت شیب برابر ۰/۰۱ می‌باشد که از ثبات خوبی برخوردار می‌باشند.

جدول ۲- امتیاز یا اهمیت نهایی طبقات عوامل (در مدل تراکم سطح وزنی).

امتیاز نهایی	نرخ طبقه	طبقات	وزن عامل	عامل
-۱/۳۸۵۳	-۳/۸۲۶۷	$E_{6ob}, E_{6ab}, M_s, k_v, Q_{1v}, C_m, E_b$		
۲۲/۷۶۰۱	۶۲/۸۷۳۳	M_c, I, C		
-۳/۸۱۰۷	-۱۰/۵۲۶۷	$M_{mg}, M_{msc}, gy1$		
-۰/۶۶۱۳	-۱/۸۲۶۷	$P_{ees}, d_i, TR_e^{dl}, P_n$	۰/۳۶۲	زمین‌شناسی
-۹/۴۹۴۱	-۲۶/۲۲۶۷	P_r^{lml}, gy, C_m^{lml}		
-۱/۶۳۸۷	-۴/۵۲۶۷	Q_2^t, Q_2, Q_1, Q_2^s		
۲/۵۶۰۵	۷/۰۷۳۳	$TR_3J_2ssh, j_s, Ngm, E_{kt_a}, E_{kt_m}$		
-۱/۶۲۰۵	-۷/۲۰۲۰	۰-۱۵٪		
۰/۸۹۹۶	۳/۹۹۸۰	۱۵-۳۰٪		
۱/۲۱۴۶	۵/۳۹۸۰	۳۰-۴۵٪	۰/۲۲۵	شیب
۰/۱۵۷۱	۰/۶۹۸۰	۴۵-۶۰٪		
-۱/۳۷۳۰	-۶/۱۰۲۰	>۶۰٪		
-۰/۶۴۲۸	-۱۰/۵۳۸۵	۱۰۰۰-۱۵۰۰		
۰/۳۲۷۱	۵/۳۶۱۵	۱۵۰۰-۱۹۰۰		
۱/۳۴۵۸	۲۲/۰۶۱۵	۱۹۰۰-۲۳۰۰	۰/۰۶۱	طبقات ارتفاع
-۰/۲۴۰۲	-۳/۹۳۸۵	۲۳۰۰-۲۷۰۰		
-۰/۳۱۹۵	-۵/۲۳۸۵	۲۷۰۰-۳۲۰۰		
-۰/۹۲۹۵	-۱۵/۲۳۸۵	۳۲۰۰-۴۲۰۰		
۰/۴۰۲۴	۲/۶۴۷۶	مرتع ضعیف و متوسط		
-۰/۷۰۷۲	-۴/۶۵۲۴	مرتع خوب		
۱/۲۵۳۶	۸/۲۴۷۶	اراضی دیم	۰/۱۵۲	کاربری زمین
۱/۳۷۵۲	۹/۰۴۷۶	اراضی بدون پوشش و رودخانه‌ها		
-۲/۴۸۵۶	-۱۶/۳۵۲۴	باغ و مجتمع‌های درختی		
-۱/۱۶۳۲	-۷/۶۵۲۴	جنگل و مرتع		

ادامه جدول ۲-

امتیاز نهایی	نرخ طبقه	طبقات	وزن عامل	عامل
-۰/۰۲۴	-۱/۰۴۴۹	شمال		جهت شیب
۰/۰۰۸۲	۰/۳۵۵۱	شرق	۰/۰۲۳	
۰/۲۱۹۸	۹/۵۵۵۱	جنوب		
-۰/۲۵۶۳	-۱۱/۱۴۴۹	غرب		
-۰/۲۷۳۴	-۲/۶۵۴۶	۲۵۰-۳۵۰		میزان بارش
۰/۱۰۷۷	۱/۰۴۵۴	۳۵۰-۴۵۰		
۰/۳۶۵۲	۳/۵۴۵۴	۴۵۰-۵۵۰	۰/۱۰۳	
-۱/۷۵۶۶	-۱۷/۰۵۴۶	۵۵۰-۶۵۰		
۱/۶۸۳۶	۱۶/۳۴۵۴	۶۵۰-۷۵۰		طبقات هم‌شتاب زمین‌لرزه
-۰/۰۹۷۱	-۲/۳۶۷۷	۰/۱۵ g-۰/۱۶ g		
۰/۰۶۶۴	۱/۶۱۹۳	۰/۱۶g-۰/۱۷ g	۰/۰۴۱	
-۱/۰۷۶۴	-۲۶/۲۵۴۷	۰/۱۷ g-۰/۱۸ g		
-۰/۰۷۱۱	-۲/۱۵۴۶	<۵۰۰		فاصله از گسل
۰/۱۶۳۲	۴/۹۴۵۴	۵۰۰-۱۳۰۰		
۰/۰۱۱۴	۰/۳۴۵۴	۱۳۰۰-۲۳۰۰	۰/۰۳۳	
۰/۲۰۹۴	۶/۳۴۵۴	۲۳۰۰-۳۵۰۰		
-۰/۷۸۳۹	-۲۳/۷۵۴۶	>۳۵۰۰		

از تلفیق ۸ لایه مختلف در محیط نرم‌افزار Arc GIS، نقشه واحدهای همگن مشتمل بر ۱۴۷۲۲ واحد حاصل گردید که پس از قطع دادن آن با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها مشخص شد که در ۸۱۳ واحد همگن لغزش وجود دارد. سپس مساحت طبقات مختلف هر عامل در هر یک از زمین لغزش‌های ثبت شده (در مجموع ۸۴ عدد زمین لغزش) محاسبه گردید. برای تعیین مقدار عددی هر عامل در هر یک از زمین لغزش‌ها، میانگین وزنی طبقات مختلف هر عامل در هر زمین لغزش محاسبه، و به این ترتیب ۸۴ مشاهده متشکل از یک متغیر وابسته و هشت متغیر مستقل جهت تحلیل آماری زمین لغزش‌ها فراهم گردید.

جدول ۳- وزن طبقات مختلف عوامل کیفی.

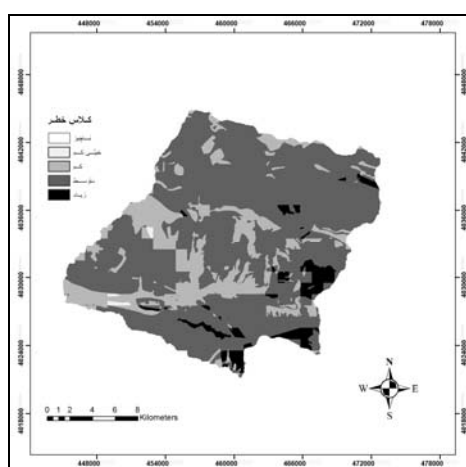
وزن محاسبه شده	طبقات	عامل کیفی
۰/۴۱۸	I, C, M _c	
۰/۲۳۹	TR ₃ J ₂ ssh, j _s , Ngm, E _{kt} a, E _{kt} m	
۰/۱۲۷	P _n , TR _c ^{dl} , d _l , P _{ees}	
۰/۰۸۷	E _{6ob} , E _{6ab} , M _s , k _v , Q _{lv} , C _m , E _b	زمین شناسی
۰/۰۶۲	^s Q, ^۱ Q, ^۲ Q, ^t Q	
۰/۰۴۳	gy _l , M _{msc} , M _{mg}	
۰/۰۲۳	ml ^۱ gy, C _m , ml ^۱ P _r	
۰/۴۱۶	اراضی بدون پوشش و رودخانه‌ها	
۰/۲۹۰	اراضی دیم	
۰/۱۲۸	مرتع ضعیف و متوسط	کاربری زمین
۰/۰۸۲	باغ و مجتمع‌های درختی	
۰/۰۵۵	مرتع خوب	
۰/۰۲۹	جنگل و مرتع	
۰/۶۲۷	جنوب	
۰/۱۹۷	شرق	جهت شیب
۰/۱۳۴	شمال	
۰/۰۴۲	غرب	

نتایج حاصل از روش گام به گام مشخص نمود که تنها ۵ عامل ارتفاع، لیتولوژی، فاصله از گسل، کاربری زمین و شیب باید به مدل وارد شوند و عوامل جهت، شتاب زمین لرزه و بارش، تأثیر چندانی بر روی زمین لغزش‌های آب‌خیز ندارند. بعد با استفاده از این ۵ عامل به‌عنوان متغیرهای مستقل و لگاریتم مساحت لغزش‌ها به‌عنوان متغیر وابسته، اقدام به تعیین بهترین معادله به‌صورت زیر گردید. ضریب تعیین این معادله برابر ۶۰/۷ درصد است که در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد.

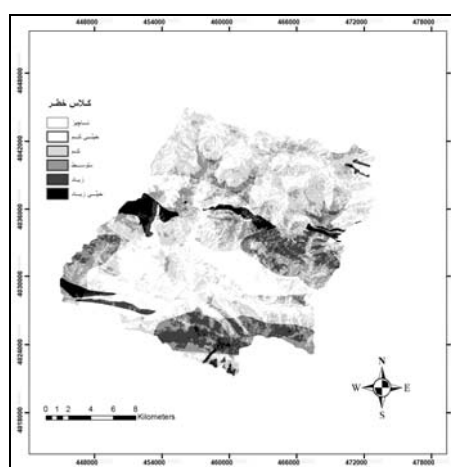
$$Y = ۳.۴ - ۰.۰۰۰۱۳۹F + ۰.۰۰۰۴۲۸H + ۰.۰۰۲۲۸L + ۰.۰۰۱۱۲۵U + ۰.۰۰۶۵۹S \quad (۶)$$

در این معادله، Y: عدد خطر، F: فاصله از گسل، H: میزان ارتفاع، L: لیتولوژی، U: کاربری زمین، S: میزان شیب.

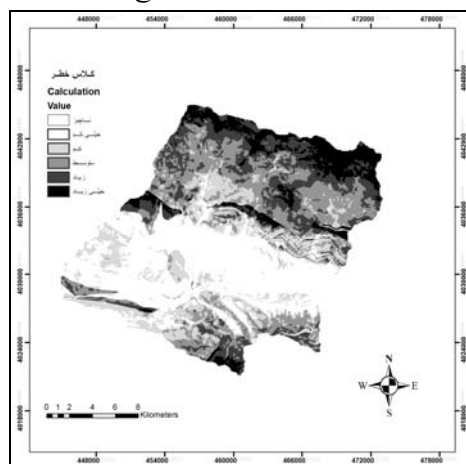
لازم به ذکر است از آنجا که سطح پیکسل‌ها برابر می‌باشد بنابراین Y بیانگر تراکم لغزش در هر پیکسل بوده و می‌تواند به‌عنوان عدد خطر زمین لغزش در هر پیکسل فرض شود. سپس با استفاده از این معادله نقشه خطر زمین لغزش در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها، در ۶ کلاس خطر شامل ناچیز، خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردید.



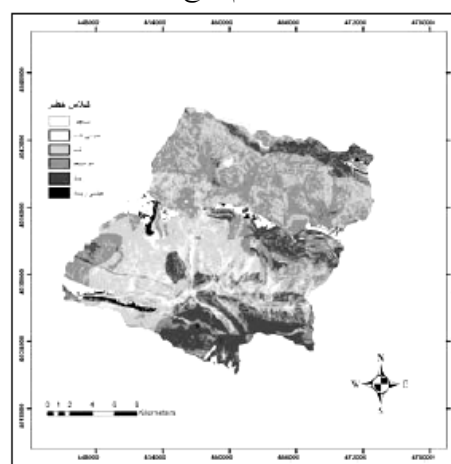
ب- مدل مورا- وارسون اصلاح شده



الف- مدل تراکم سطح غیروزنی

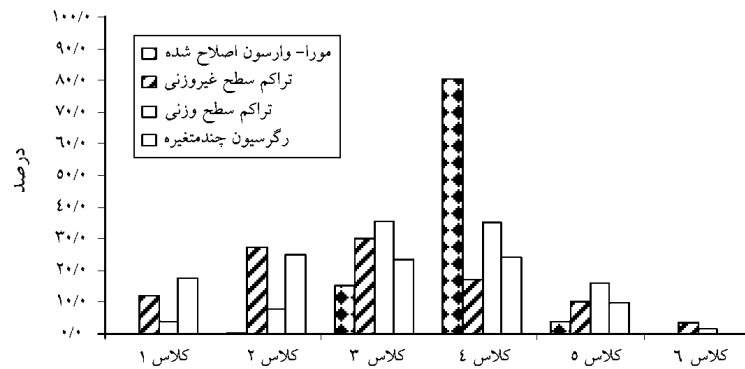


د- مدل رگرسیون چندمتغیره



ج- مدل تراکم سطح وزنی

شکل ۳- نقشه‌های خطر زمین لغزش حاصل از مدل‌های استفاده شده.



شکل ۴- توزیع درصد مساحت طبقات نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش.

برای مقایسه تفاوت فراوانی و تعیین میزان تفکیک کلاس‌های خطر نقشه‌های مختلف، از آزمون کای اسکوتر استفاده و به این منظور ابتدا سطح منطقه بر تعداد کلاس خطر تقسیم شد تا احتمال مساحت هر کلاس خطر به دست آید. سپس مقدار واقعی مساحت هر کلاس خطر نیز محاسبه گردید. بعد با استفاده از کای اسکوتر، معنی‌دار بودن تفاوت بین مساحت مورد انتظار و مساحت واقعی کلاس‌های خطر هر مدل مورد آزمون قرار گرفت که نتایج آن در جدول زیر ملاحظه می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در تمام مدل‌ها مقدار کای اسکوتر محاسبه شده بیشتر از مقدار کای اسکوتر جدول در سطح اطمینان ۹۹ درصد (۲۰/۵۲) می‌باشد و تمام مدل‌ها تفکیک مناسبی را از کلاس‌های خطر ارائه می‌کنند و تفاوت بین آنها معنی‌دار ($P < 0.01$) می‌باشد.

جدول ۴- آماره کای اسکوتر کلاس‌های خطر مدل‌های مختلف.

مورا- وارسون	تراکم سطح وزنی	تراکم سطح غیروزنی	رگرسیون چندمتغیره	
۳۹۳۸۳	۱۴۷۵۴	۶۹۳۹	۸۸۱۳	کای اسکوتر محاسباتی
*	*	*	*	معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

از انطباق نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به دست آمده توسط مدل‌ها با نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه سطح لغزش در هر کلاس خطر به دست آمد و شاخص‌های نسبت تراکم و جمع مطلوبیت برای هر مدل و کلاس‌های خطر آن محاسبه گشت.

جدول ۵- تعیین شاخص‌های نسبت تراکم و جمع مطلوبیت مدل‌ها.

مدل پهنه‌بندی	کلاس خطر	سطح کلاس (هکتار)	سطح لغزش (هکتار)	نسبت تراکم	درصد نسبت مساحت	جمع مطلوبیت
	ناچیز	۲۵/۳	۰	۰	۰/۰۰۱	
	خیلی کم	۱۲۸/۲	۱۰/۵	۳/۱۱۳	۰/۰۰۳	
مورا- وارسون اصلاح شده	کم	۸۲۲۹/۴	۲۹۳/۳	۱/۳۴۹	۰/۲۰۷	۰/۰۵۱۹
	متوسط	۲۹۴۳۵/۴	۷۰۵/۳	۰/۹۱۳	۰/۷۴۲	
	زیاد	۱۸۵۱/۵	۳۵/۷	۰/۵۹۸	۰/۰۴۷	
	خیلی زیاد	۰	۰	۰	۰	
	ناچیز	۴۷۴۴/۸	۲۷/۶	۰/۲۲۱	۰/۱۲۰	
تراکم سطح (غیروزنی)	خیلی کم	۱۰۸۵۴/۳	۱۷۰/۸	۰/۵۹۷	۰/۲۷۴	۰/۶۹۹
	کم	۱۱۸۸۴/۰	۲۷۸/۱	۰/۸۸۷	۰/۳۰۰	
	متوسط	۶۷۳۵/۸	۱۹۷/۳	۱/۱۱۱	۰/۱۷۰	
	زیاد	۴۰۴۸/۲	۱۹۷/۰	۱/۸۴۵	۰/۱۰۲	
	خیلی زیاد	۱۳۶۴/۱	۱۷۴/۳	۴/۸۴۷	۰/۰۳۴	
تراکم سطح (وزنی)	ناچیز	۱۵۲۴/۳	۱۷۳/۵	۴/۲۹۷	۰/۰۳۸	۰/۵۷۴
	خیلی کم	۳۰۵۸/۲	۱۳/۸	۰/۱۷۱	۰/۰۷۷	
	کم	۱۴۱۲۰/۱	۲۱۵/۵	۰/۵۷۶	۰/۳۵۶	
	متوسط	۱۳۹۵۹/۵	۳۶۷/۳	۰/۹۹۳	۰/۳۵۲	
	زیاد	۶۳۳۱/۲	۲۵۴/۹	۱/۵۲	۰/۱۶۰	
رگرسیون چندمتغیره	خیلی زیاد	۶۳۷/۸	۲۰/۲	۱/۱۹۴	۰/۰۱۶	۰/۹۴۷
	ناچیز	۷۰۲۰/۳	۷۰۲۰/۳	۰/۰۱۵	۰/۱۷۷	
	خیلی کم	۹۸۵۸/۲	۹۸۵۸/۲	۰/۰۲۵	۰/۲۴۸	
	کم	۹۳۳۲/۱	۹۳۳۲/۱	۰/۰۲۹	۰/۲۳۵	
	متوسط	۹۵۴۴/۹	۹۵۴۴/۹	۰/۰۳۱	۰/۲۴۱	
زیاد	۳۸۶۱/۹	۳۸۶۱/۹	۰/۰۳۲	۰/۰۹۷		
خیلی زیاد	۵۷/۱	۵۷/۱	۰/۰۳۳	۰/۰۰۱		

بحث

مدل رگرسیون چندمتغیره با جمع مطلوبیت برابر با ۰/۹۴۷ به عنوان مدل برتر برای حوزه برگزیده می‌شود، که نتیجه این پژوهش با نتایج اشقلی‌فراهانی (۲۰۰۰) در منطقه رودبار استان گیلان در یک راستا می‌باشد اما احمدی و همکاران (۲۰۰۳) در آب‌خیز گرمی چای نتیجه گرفتند که مدل رگرسیون نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی از دقت کمتری برخوردار است.

با انجام عمل گام‌به‌گام بر روی لگاریتم سطح لغزش به‌عنوان متغیر وابسته و ۸ عامل مؤثر بر زمین لغزش انتخاب شده در آب‌خیز الموت، ۳ عامل جهت شیب، میزان بارش و شتاب زمین‌لرزه به مدل وارد نشدند که نشان از همبستگی کم این سه عامل با لغزش‌های به وقوع پیوسته آب‌خیز الموت دارد اما ۵ عامل باقی‌مانده در مدل، همبستگی مناسبی را با لغزش‌های منطقه دارند که مایکل (۱۹۹۱) نیز در مورد تأثیر عوامل شیب، کاربری و زمین‌شناسی به نتایج مشابهی رسیده است.

براساس مدل مورا- وارسون اصلاح شده، با وجود ایجاد اصلاحاتی در عامل بارش، بیش از ۸۰ درصد سطح حوزه در کلاس متوسط و بیش از ۹۵ درصد حوزه فقط در دو کلاس کم و متوسط قرار گرفته است که نشان از قدرت تفکیک پایین کلاس‌های خطر این مدل، در منطقه مورد مطالعه دارد که این نتیجه با نتیجه شیرانی (۲۰۰۴) در منطقه سمیرم هم‌سو می‌باشد. همچنین طبق این مدل کلاس خطر خیلی زیاد (کلاس ۶) برای منطقه به‌دست نیامده است در حالی که طی بازدیدهایی که از منطقه به عمل آمده است، آب‌خیز الموت را می‌توان جزو آب‌خیزهای لغزه‌خیز کشور به حساب آورد و لغزش‌های بزرگ شمس کلایه و آلبن نیز این موضوع را تأیید می‌نمایند. شاید توانایی کم این مدل تجربی در پهنه‌بندی خطر آب‌خیز الموت را بتوان به عوامل مؤثر در نظر گرفته شده برای این مدل دانست که در آب‌خیز الموت از کارایی مناسبی برخوردار نمی‌باشند. براساس روش گام به گام مدل رگرسیون چندمتغیره نیز مشاهده گردید که عوامل شتاب زمین‌لرزه و میزان بارش، در آب‌خیز الموت همبستگی خوبی را با زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته نشان نمی‌دهند.

براساس مدل تراکم سطح غیروزی، میزان تفکیک کلاس‌های خطر مناسب می‌باشد. در این مدل با قطع دادن نقشه عوامل مختلف با نقشه زمین لغزش‌ها مشاهده می‌گردد که بیشتر لغزش‌ها در شیب‌های ۳۰-۴۵ درصد، سازندهای I، Mc و C، در فاصله کمتر از ۵۰۰ متری گسل‌های اصلی منطقه، ارتفاع ۱۹۰۰-۲۳۰۰ و در اراضی مرتعی ضعیف به‌وقوع پیوسته‌اند که نشان از حساسیت بالای این طبقات عوامل به پدیده زمین لغزش دارد که این نتیجه با نتیجه ژو و همکاران (۲۰۰۲) در جزیره لانتوا هم‌خوانی خوبی دارد.

در مدل تراکم سطح وزنی، با وجود وزن‌دهی به عوامل مختلف با تکنیک تحلیل سلسله مراتبی، مشاهده می‌گردد که مقدار جمع مطلوبیت این مدل کمتر از حالت غیروزنی می‌باشد، در حالی که هدف از وزن‌دهی در این مدل، دادن امتیاز بیشتر به عواملی می‌باشد که نقش مؤثرتری در وقوع زمین لغزش در آب‌خیز مورد مطالعه دارند و باید جمع مطلوبیت بیشتری برای حالت وزنی نسبت به حالت غیروزنی به دست می‌آید که علت آن را می‌توان در اعمال نظر کارشناسی در وزن‌دهی به عوامل مختلف جستجو نمود.

منابع

1. Ahmadi, H., Esmaili, A., and Shariat Jafari, M. 2003. Landslide hazard zonation using multivariate regression and analytic hierarchy process methods. Iran, Journal of Natural Resources, 56: 4. 323-336. (In Persian)
2. Ashgholi Farahani, A. 2001. Evaluation of natural slope instability hazard in Rudbar using Fuzzy logic theory. M.Sc. Thesis in engineering geology. Mentor Education Univ. of Tehran, Press, 142p. (In Persian)
3. Berberian, M., Ghorashi, M., Arzhangraves, B., and Mohajer-Ashjai, A. 1993. Seismotectonic and earthquake-fault hazard investigations in the greater Qazvin region. Geological survey of Iran (G.S.I), Press, 197p. (In Persian)
4. Ghodsipur, H. 2005. Analytic Hierarchy Process (AHP), Amir kabir Univ. Press, 220p. (In Persian)
5. Korukinejad, M., Ownegh, M., and Sepehri, A. 2005. Landslide hazard zonation in Siahrudbar watershed-Gorgan. Gorgan, J. Agri. Sci. and Natur. Resour. 12: 3. 91-99. (In Persian)
6. Mesdaghi, M. 2004. Regression methods for research in agriculture and natural resources. Emam Reza Univ. Press, 290p. (In Persian)
7. Michael, G.D. 1991. Classification of landslide hazard zonation methods and predictive capability. Landslides, 31: 947-958.
8. Shariat Jafari, M. 1996. Landslide principles of natural slope stability. Sazeh. Press, 218p. (In Persian)
9. Shirani, M. 2004. Evaluation of landslide hazard zonation methods against suitable model selection for Semirum. Final report of investigative scheme. Research center of Watershed Management and Soil Conservation. Record No. 961, Press, 95p. (In Persian)
10. Zhou, C.H., Lee, C.F., Li, J., and Xu, Z.W. 2002. On the spatial relationship between landslides and causative factors on Lantua Island, Hong kong. Geomorphology, 43: 197-207.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 16(4), 2009
www.gau.ac.ir/journals

Comparing the efficiency of statistical and empirical landslide hazard zonation models in Alamout watershed

*** J. Mosaffaie¹, M. Ownegh², M. Mesdaghi² and M. Shariat Jafari³**

¹Former M.Sc. Student, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Professor, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Instructor Research Soil Conservation and Watershed Management Research Center, Tehran

Abstract

Landslide is one of the natural hazards that makes numerous financial and life damages each year. Using landslide hazard zonation, one can detect susceptible and high potential landslide hazard areas. In this study efficiency of four landslide hazard zonation models including empirical revised Moravarson model, nonweighted Density Area model, weighted Density Area model, and multivariate regression model have been compared at a part of Alamout watershed in general level (1/50000 scale). Landslide distribution map of area was first prepared using air photo interpretations and field studies. After reviewing available resources along with reviewing the benefit of experts, eight parameters including (lithology, slope, aspect, height, distance to fault, land use, rain and earthquake acceleration) were selected as landslide effective factors. Potential landslide hazard maps were also provided with four models using geographic information system (GIS) and crossing layers in Arc GIS software. AHP and pair comparing technique were used for weighting the parameters in weighted Density Area model. This technique was also used for quantifying the qualitative categories of land use, aspect, and lithology parameters in multivariate regression model. Chi square test was used for comparing the difference between hazard classes of models and sum of quality index (Qs) was used for efficiency of models. Results showed that measured chi square rate is meaningful at 99% of confidence interval, and there is suitable dissociation among landslide hazard classes. Three factors including aspect, rain and earthquake acceleration could not be entered to model showing, low correlation between three parameters and occurred landslides. Multivariate regression model was also selected for Alamoute watershed with Qs equal to 0.947.

Keywords: Landslide zonation, Mora and Varson, Weighed density area model, Multivariate regression, Alamout watershed

* Corresponding Author; Email: j_mosaffaie@yahoo.com

