

ارزیابی و پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش به کمک مدل رگرسیونی و تحلیل سلسله‌مراتبی، مطالعه موردی: حوضه الموت

جمال مصفايي^۱، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
مجید اونق، استاد دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۲/۱۸

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۷/۳۰

چکیده

زمین‌لغزش را می‌توان حرکت توده‌ای مواد دامنه‌ای تحت تاثیر نیروی ثقل و عوامل محرکی مانند زمین‌لرزه، سیل و باران‌های سیل‌آسا تعریف نمود. این پدیده یکی از خطرات طبیعی است که همه‌ساله خسارات جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه خیز به همراه دارد. با پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای لغزش را شناسایی نمود و با ارائه راه‌حل‌ها، روش‌های کنترل و مدیریت مناسب تا حدی از وقوع زمین‌لغزش‌ها جلوگیری و یا از خسارات ناشی از وقوع آن‌ها کاست. در این تحقیق، پتانسیل خطر زمین‌لغزش در حوضه الموت رود با استفاده از مدل آماری معادله همبستگی چندمتغیره مورد ارزیابی و پهنه‌بندی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا نقشه پراکنش زمین‌لغزش حوضه الموت رود با تفسیر استریوسکوپي عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی تهیه شد. سپس با مرور منابع، عواملی را که می‌توانند در زمین‌لغزش موثر باشند، استخراج و از بین آن‌ها هشت عامل زمین‌شناسی، شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از گسل، کاربری زمین، میزان بارش و شتاب زمین‌لرزه به‌عنوان عوامل موثر زمین‌لغزش در حوضه الموت انتخاب گردید. برای وزن‌دهی عددی به طبقات کیفی عوامل سنگ‌شناسی، کاربری زمین و جهت شیب، از تکنیک سلسله‌مراتبی و مقایسات زوجی استفاده شد. از تلفیق نقشه‌های هشت عامل کلیدی زمین‌لغزش در حوضه الموت نقشه واحدهای کاری تهیه و با قطع دادن این نقشه با نقشه پراکنش زمین‌لغزش، طبقات هر یک از عوامل در هر زمین‌لغزش مشخص و با میانگین‌گیری وزنی آن‌ها، تاثیر هر یک از عوامل هشت‌گانه در هر زمین‌لغزش مشخص گردید. بدین ترتیب ۸۴ مشاهده جهت تحلیل آماری زمین‌لغزش‌ها فراهم شد. نتایج نشان داد که پنج عامل سنگ‌شناسی، میزان شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از گسل و کاربری اراضی ارتباط معنی‌داری را با زمین‌لغزش‌های حوضه دارند که ضریب تعیین بین این عوامل به‌عنوان متغیرهای مستقل و لگاریتم مساحت لغزش به‌عنوان متغیر وابسته، ۶۰/۷ درصد بوده است. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با رابطه مذکور در شش طبقه تهیه گردید که طبقه دو با ۲۴/۸۵ درصد دارای بیش‌ترین سطح و طبقه شش با ۰/۱۴ درصد کم‌ترین سطح منطقه را به‌خود اختصاص داده‌اند. همچنین جهت مقایسه تفاوت فراوانی و میزان تفکیک طبقات خطر از آزمون کای‌اسکوئر استفاده شد و نتایج نشان داد که مدل مورد بررسی تفکیک مناسبی را از طبقات خطر زمین‌لغزش ($p < 0.01$) ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، حرکت توده‌ای، چندمتغیره، نرخ طبقات، همبستگی

مقدمه

زمین‌لغزش 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 موثری در تخریب جاده‌های ارتباطی، مراتع، مناطق مسکونی و ایجاد فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز دارند. اثرات مخرب پدیده زمین‌لغزش در مناطق لرزه‌خیز و دارای

^۱ نویسنده مسئول j_mosaffaie@yahoo.com

سازندهای رسوبی حساس به لغزش از جمله منطقه الموت استان قزوین مانند دو زمین لغزش بزرگ شمس کلايه و آلوین قابل مشاهده می‌باشد. از آنجا که پیش‌بینی زمان وقوع زمین‌لغزش‌ها بسیار مشکل است، لذا شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و پهنه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر وقوع، حائز اهمیت است. هم‌چنین از دیدگاه آبخیزداری، ارزیابی قابلیت‌ها و محدودیت‌های منابع طبیعی یک آبخیز نظیر زمین‌لغزش، امری ضروری است. سریع‌ترین روش پیش‌بینی در مقیاس آبخیز، تعیین پتانسیل خطر لغزش به‌صورت نسبی است. در برنامه‌های توسعه حوزه آبخیز باید تا حد امکان از مناطق با احتمال نسبی بالاتر خطر زمین‌لغزش دوری جست و یا در صورت اجبار، تا حد ممکن، تمهیدات و نکات فنی لازم را در نظر گرفت. مدل‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ارائه شده است. در مدل‌های آماری چندمتغیره، تحلیل هم‌زمان اثر تعدادی متغیر مستقل بر متغیر وابسته فضایی فراهم می‌گردد و از آنجا که پدیده‌های طبیعی نظیر زمین‌لغزش، ناشی از عمل کرد هم‌زمان چند متغیر می‌باشند، لذا استفاده از مدل‌های آماری چندمتغیره مناسب می‌باشد.

در ایران تا سال ۱۳۶۹، تحقیقات محدودی در زمینه زمین‌لغزش صورت گرفته است. خسارات شدید ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌های زلزله رودبار-منجیل باعث شد که محققان تحقیقات بیش‌تری را در خصوص زمین‌لغزش بالاخص پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش انجام دهند. احمدی و همکاران (۱۳۸۲) خطر زمین‌لغزش را در آبخیز گرمی‌چای با استفاده از دو روش رگرسیون چندمتغیره^۱ و تحلیل سلسله‌مراتبی^۲ پهنه‌بندی و در نهایت نتیجه گرفتند که روش تحلیل سلسله‌مراتبی به دلیل برخورداری از متغیرهای بیش‌تر و طبقه‌بندی اصولی نسبت به روش رگرسیون چندمتغیره، اهمیت و دقت بیش‌تری دارد. افجه‌نصرآبادی و همکاران (۱۳۸۷) به منظور ارزیابی کارایی مدل‌های آماری ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سری دو جنگل شصت‌کلاته گرگان با استفاده از مدل‌های آنالیز آماری ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح براساس مقادیر وزنی کمی شده به این نتیجه رسیدند که کارایی این دو مدل در تشخیص کلاس‌های با خطر بالا نسبت به کلاس‌های با خطر پایین خوب عمل نموده‌اند.

شیرانی و همکاران (۱۳۸۹) به کمک رابطه رگرسیونی چندمتغیره اولویت نسبی عوامل مؤثر را تعیین و از آنها به جای اولویت بندی عوامل در روش سلسله‌مراتبی استفاده کردند. در مرحله بعد، ضمن تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش، صحت دو روش را نیز در حوضه رودخانه ماربر از زیرحوضه‌های بالادست حوضه کارون شمالی ارزیابی و مقایسه کردند. علایی طالقانی و رحیم‌زاده (۱۳۸۹) نیز با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فرآیندها (AHP) مبادرت به پهنه‌بندی خطر لغزش در حوزه آبخیز جوانرود واقع در شمال غرب زاگرس چین‌خورده نمودند. در تحقیقی Ownegh (۲۰۰۴) در ارزیابی کارایی پایگاه‌های اطلاعاتی زمین لغزش استرالیا، اهمیت نسبی عوامل را به روش تحلیل سلسله‌مراتبی محاسبه و تفاوت ارزش عددی پایگاه‌های اطلاعاتی را به روش کای اسکوتر مورد آزمون قرار داده است. Torstone (۲۰۰۰) از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه پتانسیل خطر منطقه دریای شیر استفاده کردند. آن‌ها از انطباق طبقات عوامل مختلف با زمین‌لغزش‌های موجود برای وزن‌دهی شاخص‌های خطر زمین‌لغزش بهره جسته و نقشه نهائی را تهیه نمودند.

در این تحقیق پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری معادله همبستگی چندمتغیره در حوزه آبخیز الموت‌رود مورد بررسی قرار گرفته است تا مناطق حساس و دارای توان‌مندی خطر بالای لغزش، شناسایی و با ارائه راه‌حل‌ها، روش‌های کنترل و مدیریت مناسب تا حدی از خسارات ناشی از وقوع آن‌ها کاسته شود.

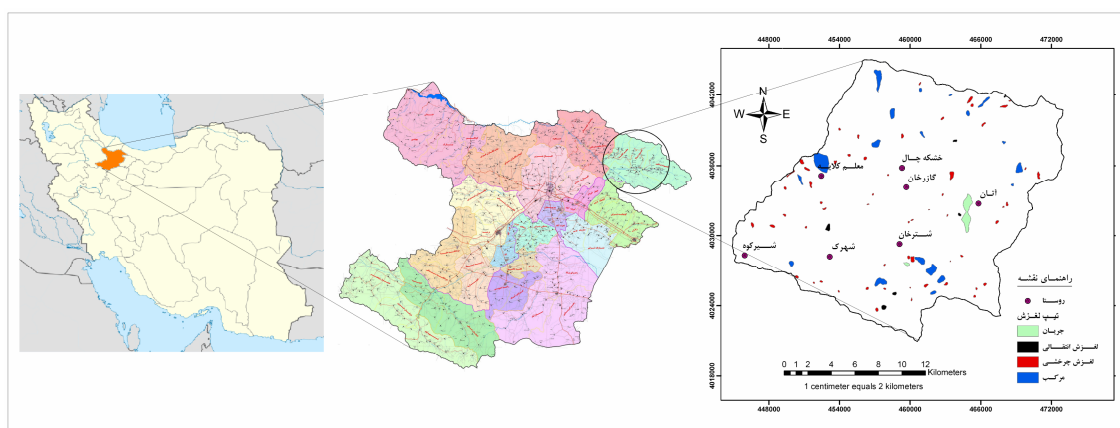
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه الموت‌رود که حدود ۵۴ درصد از سطح آن را تشکیل می‌دهد. این منطقه با وسعت ۳۹۰۰۰ هکتار بین مختصات ۵۰ درجه و ۲۳ دقیقه الی ۵۰ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه الی ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری شمال‌شرق شهر قزوین قرار دارد

¹ Multivariate Regression (MR)

² Analytical Hierarchy Process (AHP)

(شکل ۱). برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه الموت‌رود از مدل آماری رگرسیون چندمتغیره استفاده شده است. ابتدا اقدام به تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش آبخیز گردید. بدین منظور با تفسیر استریوسکوپي ۴۱ قطعه عکس هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰ و ۵۲ قطعه عکس هوایی در مقیاس ۱:۲۰۰۰، محدوده تمامی زمین‌لغزش‌های موجود مشخص گردید. سپس طی عملیات میدانی، لغزش‌های تشخیصی از روی عکس‌های هوایی بازدید و محدوده لغزش بر روی عکس‌های هوایی تصحیح شد. در مرحله بعد، عکس‌های هوایی در محیط نرم‌افزار ArcGIS زمین‌مرجع شد و بعد از رقومی نمودن محدوده لغزش‌ها، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه تهیه گردید (شکل ۱).



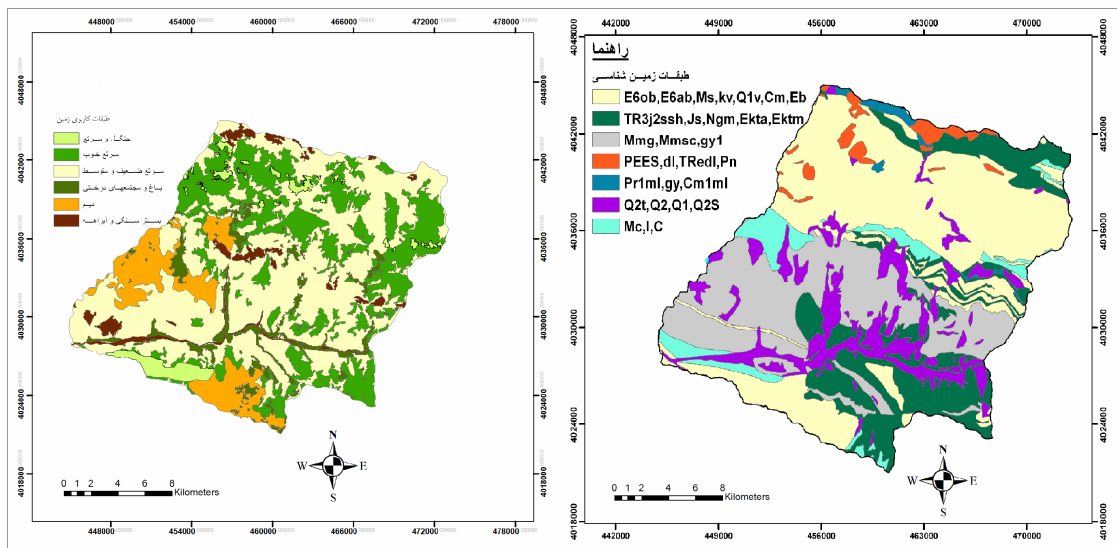
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه الموت‌رود

در مرحله عوامل زمین‌شناسی، شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از گسل، کاربری زمین، بارش و شتاب زمین‌لرزه به‌عنوان عوامل کلیدی زمین‌لغزش در حوضه الموت انتخاب شدند. براساس نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، ۲۹ واحد سنگ‌شناسی در حوضه الموت‌رود وجود دارد (جدول ۱) که جهت تحلیل ساده‌تر، با استفاده از مدل حائری-سمیعی (۱۳۷۵) و نظر کارشناسی، به هفت طبقه تقسیم گردید (شکل ۲ راست). برای تهیه نقشه واحدهای کاربری زمین، از نقشه کاربری تهیه شده توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۸۰-۷۹) استفاده شد که در حوضه الموت شش نوع کاربری در نظر گرفته شده است (شکل ۲ چپ).

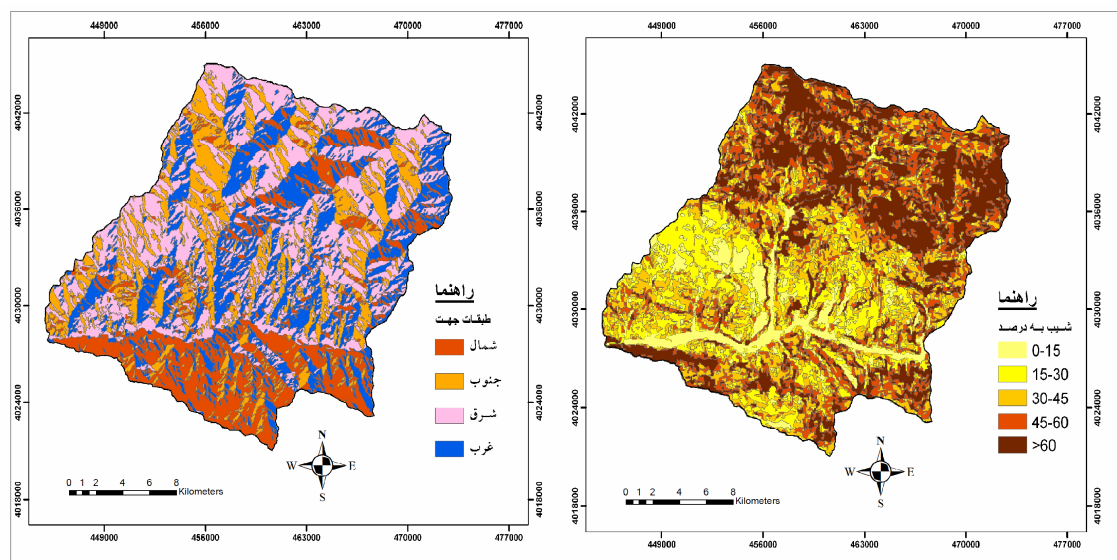
جدول ۱- واحدهای سنگ‌شناسی آبخیز الموت

واحد سنگ‌شناسی	علامت اختصاری	واحد سنگ‌شناسی	علامت اختصاری
سیلت‌سنگ و گل‌سنگ خاکستری و قرمز	gy1	آندزیت، بازالت	E6ab
سنگ آهک نازک‌لایه کرم و دولومیت ضخیم زرد	TRed1	ماسه‌سنگ کرم تا قهوه‌ای	Ms
ماسه‌سنگ، شیل، کنگلومرا	Pn	گدازه بازیک	Kv
لای سنگ کرم تا زرد	Pr1ml	تراکیت سبز یا خاکستری	Q1v
ژئپس	gy	دولومیت-شیل-لای سنگ	Cm
پادگانه‌های آبرفتی کم‌ارتفاع جوان	Q2t	برش آتشفشانی-توف خاکستری	Eb
واریزه	Q2	کنگلومرا	Mc
پادگانه‌های آبرفتی قدیمی	Q1	لای سنگ	I
نهشته‌های دشت‌سیلابی و آبرفتی	Q2S	کنگلومرا-دولومیت	C
ماسه‌سنگ و شیل	Js	شیل و مارن خاکستری با میان لایه های ژئپس	Mmg
گل سنگ توفی	Ektm	سیلت‌سنگ و گل‌سنگ قرمز	Ngm
توف اسیدی	Ekta		

مدل رقومی ارتفاع^۱ حوضه با استفاده از نقشه های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ در محیط نرم افزار ArcGIS با تفکیک فضایی ۲۰ متر تهیه گردید و سپس نقشه شیب حوضه از آن استخراج و بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی ارزش پیکسل ها به شش کلاس طبقه بندی گردید (شکل ۳ راست). نقشه جهت شیب با استفاده از نرم افزار ArcGIS از روی مدل رقومی ارتفاع، با چهار طبقه استخراج گردید (شکل ۳ چپ).



شکل ۲- نقشه طبقات زمین شناسی (راست) و نقشه واحدهای کاربری (چپ)



شکل ۳- نقشه طبقات شیب (راست) و نقشه طبقات جهت شیب (چپ)

در حوضه الموت جهت تهیه نقشه طبقات ارتفاعی، مدل رقومی ارتفاع حوضه بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی ارزش پیکسل ها به شش کلاس طبقه بندی گردید (شکل ۴ راست). نقشه طبقات بارش، با استفاده از معادله گرادیان بارش (دوره ۱۵ ساله) و مدل رقومی ارتفاع منطقه و محاسبه میزان بارش برای هر پیکسل تهیه و در شش کلاس طبقه بندی گردید (شکل ۴ چپ).

$$p = 0.176h + 209.5$$

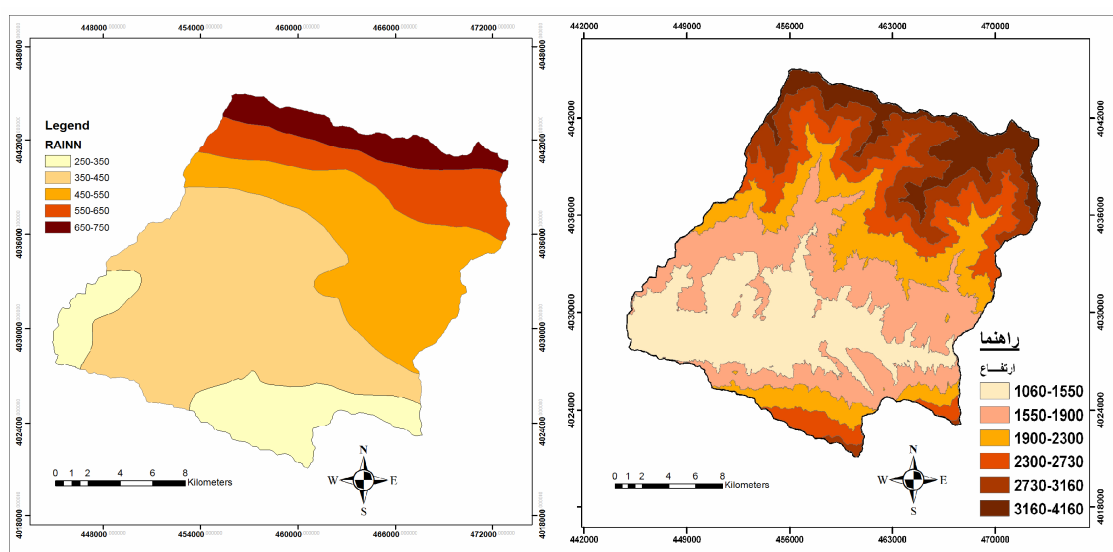
(۱)

که در آن، h ارتفاع متوسط از سطح دریا (متر) و p متوسط بارش سالانه (میلی متر) می باشد.

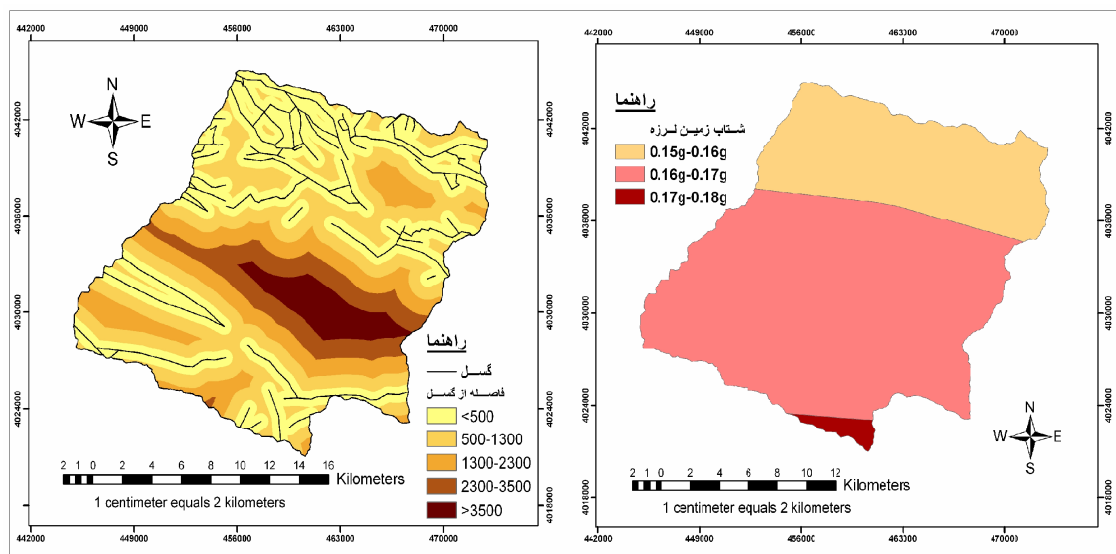
¹ Digital Elevation Model (DEM)

براساس گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور و نقشه خطوط هم‌شتاب زمین لرزه منطقه قزوین، حوضه الموت‌رود در سه پهنه هم‌شتاب قرار می‌گیرد (شکل ۵ راست). در این حوضه نقشه خطی گسل‌های منطقه از نقشه زمین‌شناسی منطقه استخراج و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نقشه فاصله از گسل تهیه گردید و با استفاده از نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها به پنج کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۵ چپ).

از آن‌جا که متغیرهای مورد استفاده در تحلیل خطر زمین‌لغزش، در مواردی کمی (شیب، بارش، شتاب زمین‌لرزه، فاصله از گسل) و در مواردی نیز کیفی (جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری زمین) می‌باشند، لذا جهت استفاده از رگرسیون چندمتغیره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، باید تمام متغیرهای ورودی به مدل به داده‌های عددی تبدیل شوند. برای تعیین ارزش عددی طبقات مختلف عوامل کیفی (سنگ‌شناسی، کاربری، جهت شیب)، از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی و مقایسات زوجی استفاده شده است و بر اساس میزان سطح لغزش در طبقات مختلف عوامل، به طبقات امتیازدهی شده و پس از انجام مقایسات زوجی بین طبقات مختلف، وزن هر یک از طبقات محاسبه شده است.



شکل ۴- نقشه طبقات ارتفاعی (راست) و نقشه طبقات میزان بارش (چپ)



شکل ۵- نقشه طبقات هم‌شتاب زمین لرزه (راست) و نقشه طبقات فاصله از گسل (چپ)

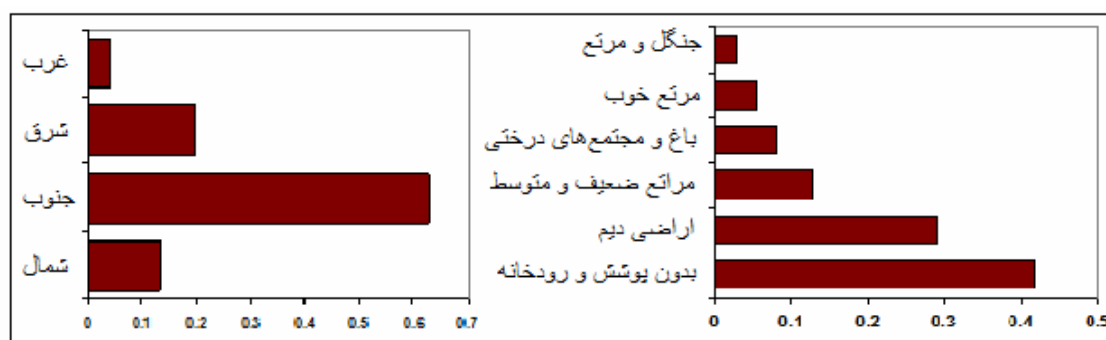
برای تهیه نقشه واحدهای کاری، نقشه هشت عامل کلیدی زمین لغزش در حوضه الموت، تلفیق شدند و با قطع دادن نقشه‌های پراکنش زمین لغزش و واحدهای کاری، طبقات هر یک از عوامل در هر زمین لغزش مشخص و با میانگین‌گیری وزنی میزان تاثیر هر یک از عوامل مشخص شد. برای نرمال کردن داده‌های متغیر وابسته (سطح لغزش)، بر روی آن‌ها، تبدیل لگاریتمی صورت گرفت و بدین ترتیب ۸۴ مشاهده متشکل از یک متغیر وابسته و هشت متغیر مستقل جهت تحلیل آماری روابط فراهم گردید. با استفاده از نرم‌افزار MINITAB و روش گام به گام اقدام به تعیین موثرترین عوامل و برازش بهترین رابطه شد و با استفاده از مدل ساخته شده، نقشه خطر زمین لغزش تهیه و براساس نقاط عطف منحنی تجمعی ارزش پیکسل‌ها به شش کلاس طبقه‌بندی گردید. در نهایت برای مقایسه تفاوت فراوانی و تعیین میزان تفکیک طبقه‌های خطر، از آزمون کای اسکوئر استفاده شد.

نتایج و بحث

سطح ۸۴ لغزش ۱۰۵۰ هکتار می‌باشد که ۲/۷ درصد حوضه است. کوچک‌ترین لغزش برداشت شده ۰/۶۱ هکتار و بزرگ‌ترین لغزش (زمین لغزش شمس کلایه) ۱۳۷ هکتار و میانگین هر لغزش ۱۲ هکتار می‌باشد. براساس طبقه‌بندی حرکت‌های توده‌ای توسط وارنر در سال ۱۹۵۸، چهار تیپ لغزشی در حوضه الموت مشاهده می‌شود (جدول ۲). نقشه عوامل مختلف و مساحت طبقات آن‌ها و مساحت لغزش در هر طبقه در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج محاسبه وزن هر یک از طبقات عوامل کیفی کاربری اراضی، جهت شیب و سنگ‌شناسی با تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی و مقایسات زوجی در شکل‌های ۶ و ۷ و جدول ۴ ارائه شده است. نرخ ناسازگاری برای ماتریس مقایسات زوجی واحدهای زمین‌شناسی برابر ۰/۰۶ و برای واحدهای مختلف کاربری اراضی برابر ۰/۰۳ و برای واحدهای مختلف جهت شیب برابر ۰/۰۸ می‌باشد که از ثبات خوبی برخوردار می‌باشند.

جدول ۲- تحلیل آماری تیپ‌های مختلف لغزشی

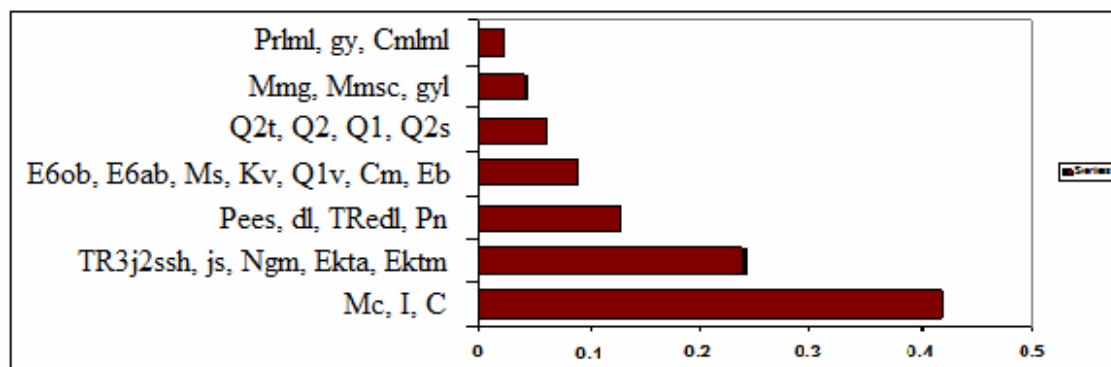
تیپ لغزش	تعداد	میانگین طول (متر)	میانگین عرض (متر)	میانگین مساحت (هکتار)
لغزش چرخشی	۵۷	۲۴۹/۹	۱۶۵/۲	۵/۸
لغزش انتقالی	۶	۳۶۰	۲۳۵/۸	۱۱/۷
جریان	۲	۱۸۳۵/۵	۵۴۰	۶۹/۵
مرکب	۱۹	۷۴۶/۸	۴۳۶/۸	۳۹/۱



شکل ۶- هیستوگرام وزن طبقات مختلف کاربری اراضی (راست) و هیستوگرام وزن طبقات جهت شیب (چپ)

از تلفیق هشت لایه مختلف در محیط نرم‌افزار ArcGIS، ۱۴۷۲۲ واحد هم‌گن به‌وجود آمد و پس از قطع دادن نقشه واحدهای هم‌گن با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها ۸۱۳ واحد هم‌گن (معادل ۵/۵۲ درصد کل واحدهای هم‌گن) لغزشی ملاحظه شد. سپس طبقات مختلف هر عامل به‌همراه مجموع مساحت هر طبقه در هر یک از زمین لغزش‌های ثبت شده (مجموعاً ۸۴ عدد زمین لغزش) به‌دست آمد. در مرحله بعد مقدار عددی هر عامل در هر یک از زمین لغزش‌ها

با استفاده از میانگین وزنی طبقات مختلف هر عامل در هر زمین لغزش محاسبه گردید و بدین ترتیب ۸۴ مشاهده متشکل از یک متغیر وابسته و هشت متغیر مستقل جهت تحلیل آماری روابط علت و معلولی زمین لغزش ها فراهم شد.



شکل ۷- هیستوگرام وزن طبقات مختلف زمین شناسی

جدول ۳- مساحت واحدهای عوامل مختلف و میزان لغزش در هر واحد

عامل	ردیف	طبقات	مساحت طبقه (ha)	مساحت لغزش (ha)	عامل	ردیف	طبقات	مساحت طبقه (ha)	مساحت لغزش (ha)
سنگ شناسی	۱	$E_{6ob}, E_{6ab}, M_s, k_v, Q_{1v}, C_m, E_b$	۱۵۱۶۲	۳۴۰	فاصله از گسل (m)	۱	<۵۰۰	۱۵۵۶۷	۳۷۵۶
	۲	M_c, I, C	۲۱۹۱	۱۹۶		۲	۵۰۰-۱۳۰۰	۱۱۴۵۶	۳۵۷۶
	۳	M_{mg}, M_{msc}, gyl	۹۱۹۸	۱۴۵		۳	۱۳۰۰-۲۳۰۰	۶۸۱۰۰	۱۸۱۱
	۴	$P_{ees}, d_l, TR_{e^{dl}}, P_n$	۹۶۱	۲۳		۴	۲۳۰۰-۳۵۰۰	۴۰۱۵	۱۳۰
	۵	P_r^{lml}, gy, C_m^{lml}	۳۷۰	۰		۵	>۳۵۰۰	۲۱۴۴	۵
	۶	Q_2^t, Q_2, Q_1, Q_2^s	۴۹۳۷	۱۰۷		۶	میانگین	۷۹۹۹	۲۱۰
	۷	$TR_{3j2ssh}, j_s, Ngm, E_{kta}, E_{ktm}$	۷۱۵۷	۲۳۸		۷	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۹۲۲۹	۱۴۶
لرزه	۱	میانگین	۵۷۱۱	۱۵۰	ارتفاع (m)	۱	۱۵۰۰-۱۹۰۰	۱۰۱۹۱	۳۲۳
	۲	۰/۱۵g-۰/۱۶g	۱۲۰۸۳	۲۸۹		۲	۱۹۰۰-۲۳۰۰	۶۴۲۵	۳۱۱
	۳	۰/۱۶g-۰/۱۷g	۲۷۳۱۴	۷۶۱		۳	۲۳۰۰-۲۷۰۰	۵۳۷۰	۱۲۰
	۴	۰/۱۷g-۰/۱۸g	۵۹۵	۰		۴	۲۷۰۰-۳۲۰۰	۵۱۶۳	۱۰۹
	۵	میانگین	۱۳۳۳۱	۳۵۰		۵	۳۲۰۰-۴۲۰۰	۳۳۰۴	۳۷
	۶	شمال	۸۷۲۷	۲۲۰		۶	میانگین	۶۶۱۴	۱۷۴
	۷	شرق	۸۴۸۴	۲۲۶	بارش (mm)	۱	۲۵۰-۳۵۰	۵۶۴۲	۱۳۳
جهت شیب	۲	جنوب	۱۲۴۱۹	۴۴۵۹		۲	۳۵۰-۴۵۰	۱۷۳۳۶	۴۷۳
	۳	غرب	۱۰۰۴۳	۱۵۲۸		۳	۴۵۰-۵۵۰	۹۶۱۱	۲۸۶
	۴	میانگین	۹۹۱۸	۱۶۰۸		۴	۵۵۰-۶۵۰	۴۷۱۶	۴۳
	۵	مرتفع ضعیف و متوسط	۲۰۰۲۱	۵۷۹		۵	۶۵۰-۷۵۰	۲۶۸۸	۱۱۴
	۶	مرتفع خوب	۱۰۷۶۰	۲۳۳		۶	میانگین	۷۹۹۹	۲۰۹
	۷	اراضی دیم	۴۰۷۱	۱۴۰		۷	۰-۱۵	۳۹۱۴	۷۴
کاربری اراضی	۱	اراضی بدون پوشش و رودخانه ها	۱۳۹۱	۴۹۱	شیب (%)	۱	۱۵-۳۰	۸۰۳۷	۲۴۳
	۲	باغ و مجتمع های درختی	۲۴۳۶	۲۴		۲	۳۰-۴۵	۹۴۲۳	۲۹۸
	۳	جنگل و مرتع	۱۳۱۴	۲۴		۳	۴۵-۶۰	۸۵۲۰	۲۲۹
	۴	میانگین	۸۵۷۳	۲۹۶		۴	>۶۰	۱۰۰۸۲	۲۰۳
	۵					۵	میانگین	۷۹۹۵	۲۰۹
	۶								
	۷								

نتایج حاصل از متد Stepwise مشخص نمود که تنها پنج عامل ارتفاع، سنگ شناسی، فاصله از گسل، کاربری زمین و شیب باید به مدل وارد شوند و عوامل جهت شیب، شتاب زمین لرزه و بارش، تاثیر چندانی بر روی زمین لغزش های

حوضه ندارند. بعد با استفاده از این پنج عامل به عنوان متغیرهای مستقل و لگاریتم مساحت لغزش‌ها به عنوان متغیر وابسته، اقدام به تعیین بهترین رابطه به صورت زیر گردید که ضریب تعیین این معادله برابر ۶۰/۷ درصد می‌باشد.

$$Y = 3.4 - 0.000139F + 0.000428H + 0.00228L + 0.00125U + 0.00659S \quad (2)$$

که در آن، Y عدد خطر زمین لغزش، F فاصله از گسل، H میزان ارتفاع، L سنگ‌شناسی، U کاربری زمین و S میزان شیب است.

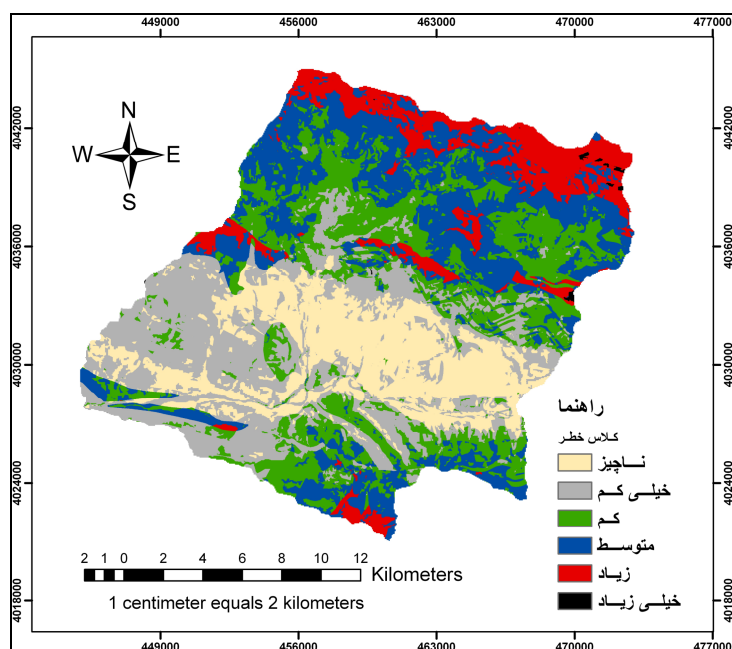
جدول ۴- وزن طبقات مختلف عوامل کیفی

عامل کیفی	ردیف	طبقات	وزن محاسبه شده
زمین‌شناسی	۱	I, C, M_c	۰/۴۱۸
	۲	$TR_3J_2ssh, j_s, Ngm, E_{kta}, E_{ktm}$	۰/۲۳۹
	۳	$P_n, TR_e^{dl}, d_l, P_{ees}$	۰/۱۲۷
	۴	$E_{6ob}, E_{6ab}, M_s, k_v, Q_{lv}, C_m, E_b$	۰/۰۸۷
	۵	$^sQ, ^1Q, ^2Q, ^tQ$	۰/۰۶۲
	۶	$gy1, M_{msc}, M_{mg}$	۰/۰۴۳
	۷	$^{ml}gy, C_m, ^{ml}P_r$	۰/۰۲۳
کاربری زمین	۱	اراضی بدون پوشش و رودخانه‌ها	۰/۴۱۶
	۲	اراضی دیم	۰/۲۹۰
	۳	مرتع ضعیف و متوسط	۰/۱۲۸
	۴	باغ و مجتمع‌های درختی	۰/۰۸۲
	۵	مرتع خوب	۰/۰۵۵
	۶	جنگل و مرتع	۰/۰۲۹
جهت شیب	۱	جنوب	۰/۶۲۷
	۲	شرق	۰/۱۹۷
	۳	شمال	۰/۱۳۴
	۴	غرب	۰/۰۴۲

در شکل ۸، با استفاده از این معادله نقشه خطر زمین لغزش در محیط نرم افزار ArcGIS تهیه و بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها، به شش کلاس طبقه بندی گردید. جدول ۵، درصد مساحت طبقات نقشه پهنه بندی خطر به روش رگرسیون چند متغیره را نشان می‌دهد.

برای مقایسه تفاوت فراوانی و تعیین میزان تفکیک طبقات خطر از آزمون کای اسکور استفاده و مشخص شد که مقدار کای اسکور محاسبه شده (۸۸۱۳) بیش تر از مقدار جدول (۲۰/۵۲) در سطح اطمینان ۹۹ درصد است و مدل تفکیک مناسبی را از طبقات خطر ارائه کرده و تفاوت بین آن‌ها معنی دار ($p < 0.01$) می‌باشد.

در هیستوگرام وزن طبقات جهت شیب (شکل ۶ چپ) مشاهده می‌شود که جهت جنوبی بیش ترین وزن را به خود اختصاص داده و بیش تر لغزش‌ها در این جهت رخ داده است. علت این موضوع را می‌توان در تاثیر سایر عوامل در لغزش‌های به وقوع پیوسته در منطقه و تحت تاثیر قرار دادن عامل جهت شیب در نظر گرفت. هم چنین در جدول دو مشاهده می‌شود که در طبقه با بیش ترین نرخ شتاب زمین لرزه (۰/۱۷g-۰/۱۸g) هیچ گونه لغزشی رخ نداده است و علت آن این است که اولاً این طبقه از شتاب زمین لرزه، مساحت کمی را در حوضه الموت نسبت به سایر طبقات به خود اختصاص داده و ثانیاً این طبقه، بخش‌های جنوبی حوضه را شامل می‌شود که عمدتاً توسط کوه‌های سنگی و مرتفع پوشیده شده که از لحاظ سنگ‌شناسی از پتانسیل کمتری برای لغزش برخوردار است.



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون چندمتغیره

جدول ۵- درصد مساحت طبقات نقشه پهنه‌بندی خطر به روش رگرسیون چند متغیره

طبقه خطر	خطر زمین لغزش	مساحت طبقات (ha)	مساحت طبقات (%)
۱	ناچیز	۷۰۲۰	۱۷/۶۹
۲	خیلی کم	۹۸۵۸	۲۴/۸۵
۳	کم	۹۳۳۲	۲۳/۵۲
۴	متوسط	۹۵۴۵	۲۴/۰۶
۵	زیاد	۳۸۶۲	۹/۷۳
۶	خیلی زیاد	۵۷	۰/۱۴
مجموع		۳۹۶۷۴	۱۰۰

براساس روش گام به گام مدل رگرسیون چند متغیره مشاهده شد که عوامل شتاب زمین‌لرزه، جهت و میزان بارش در حوضه الموت همبستگی بالایی را با زمین لغزش‌های به وقوع پیوسته نشان نمی‌دهند. در این رابطه زکی‌زاده (۱۳۷۳) هم در حوزه آبخیز دریاچه ولشت به نتایج مشابهی دست یافته است. همچنین مشخص شد که همبستگی خوبی بین پنج عامل ارتفاع، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، کاربری زمین، و شیب در سطح اعتماد ۹۹ درصد با زمین لغزش‌ها وجود دارد و نتیجه این تحقیق با نتایج زکی‌زاده (۱۳۷۳) در حوزه آبخیز دریاچه ولشت، احمدی و طالبی اسفندرانی (۱۳۸۰) در منطقه گله‌شور هم‌خوانی دارد. ضرایب مدل نشان‌دهنده این است که عوامل شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، ارتفاع و فاصله از گسل به ترتیب بیش‌ترین تاثیر را در لغزش‌های منطقه داشته‌اند.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی، ج.، ا. اسمعیلی، س. فیض‌نیا و م. شریعت‌جعفری. ۱۳۸۲. پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چندمتغیره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP). مجله منابع طبیعی ایران، ۵۶(۴): ۳۳۶-۳۲۳.
۲. احمدی، ج. و ع. طالبی‌اسفندرانی. ۱۳۸۰. بررسی عوامل موثر در ایجاد حرکت‌های توده‌ای (لغزش)، مطالعه موردی: منطقه اردل استان چهارمحال و بختیاری. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۴(۴): ۳۳۰-۳۲۳.
۳. افجه‌نصرآبادی، ج.، ش. شتابی، ن. رافت‌نیا و م. شریعت‌جعفری. ۱۳۸۷. ارزیابی کارایی مدل‌های آماری ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مناطق جنگلی، سری دو جنگل شصت کلاته گرگان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵(۶): ۴۳-۳۴.

۴. اونیق، م. ۱۳۸۴. پهنه‌بندی خطر و خسارت زمین‌لغزش آبخیز زیارت گرگان. گزارش نهایی طرح پژوهشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۵. بربریان، م. ۱۳۷۱. پژوهش و بررسی نو زمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه-گسلش در گستره قزوین بزرگ و پیرامون. سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۱۹۷، ۶۱ صفحه.
۶. حائری، م. و ا. سمیعی. ۱۳۷۵. روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیب‌دار در برابر خطر زمین‌لغزش با تکیه بر بررسی‌های پهنه‌بندی استان مازندران. مجله علوم زمین، ۶(۲۴-۲۳): ۱۵-۱.
۷. زکی‌زاده، م. ۱۳۷۳. بررسی عوامل مختلف موثر در خطر زمین‌لغزش در آبخیز دریاچه ولشت. پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه بین‌المللی امام خمینی، ۱۲۸ صفحه.
۸. شریعت‌جعفری، م. ۱۳۷۵. زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی). چاپ اول، انتشارات سازه، ۲۱۸ صفحه.
۹. شیرانی، ک.، ع. سیف و م. علیم‌رادی. ۱۳۸۹. صحت سنجی روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و رگرسیون چندمتغیره (MR) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به کمک تکنیک (GIS)، مطالعه موردی: حوضه رودخانه ماربر. مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۱(۳): ۹۱-۱۰۸.
۱۰. علایی طالقانی، م. و ز. رحیم‌زاده. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی احتمال وقوع لغزش در حوضه آبخیز جواهرود با مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با تأکید بر ویژگی‌های مورفولوژی. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۴۴(۴): ۷۲-۵۳.
۱۱. مصداقی، م. ۱۳۸۳. روش‌های رگرسیون در تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی. انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۹۰ صفحه.
۱۲. مصفايي، ج. ۱۳۸۵. مقایسه کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در آبخیز الموت‌رود و ارائه راه‌کار مدیریتی. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۰۵ صفحه.
13. Ownegh, M. 2004. Assessing the applicability of Australian landslide databases for hazard management. ISCO, Proceedings, pp1001-1005.
14. Torestone, W. 2000. Toward a paleo geography and tectonic evolution of India. Canadian Journal of Earth Science, 26(850-993)872-883.

Landslide hazard zonation by AHP and regression model, Case study: Alamout watershed

Jamal mosaffaie¹, MSc Student, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Majid Ownegh, Professor, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 21 October 2010

Accepted: 07 May 2011

Abstract

Landslide is one of the natural hazards that makes numerous financial and life damages each year. By landslide hazard zonation, we able to detect susceptible areas to landslide and with applying developed methods and suitable management the abundance of land sliding and the amount of damages will be reduced. In this study potential landslide hazard evaluated using multivariate regression model at a part of Alamout watershed in general level (1:50000 scale). So first, landslide distribution map of area prepared using study of air photos and field surveying. After reviewing available resources along with reviewing the benefit of experts, all factors that can affect landslide were extracted and among them eight parameters including (lithology, slope percent, aspect, height, distance to fault, land use, rainfall and earthquake acceleration) were selected as landslide effective factors. AHP and pair comparing technique were used for numerical weighting to qualitative categories of land use, aspect, and lithology parameters. Homogeneous units map prepared using overlaying 8 maps of landslide key factors, and by crossing of homogeneous map and landslide distribution map. Categories of each parameter were detected in each landslide, and with weighting average of them, the effect of each parameter was determined in each landslide. Therefore 84 observations prepared for statistical analysis of landslides. Results showed that 5 parameters including lithology, slope, height, distance to fault and land use have meaningful relation with landslides that determining coefficient between these parameters as independent variables and logarithm of landslides area as dependent variable was 60.7%. Landslide hazard zonation map and landslide distribution map were crossed and efficiency of model was evaluated. The Chi square test was used for comparing of difference between hazard classes of model. Results show that model has higher efficiency in higher classes of hazard. Results show also measured chi square rate is meaningful at 99% of confidence interval, and there is suitable separation among landslide hazard classes.

Key words: Categories rate, Mass movement, Multivariate, Regression, Zonation

¹ Corresponding author: j_mosaffaie@yahoo.com