

مقایسه‌ی دو روش تعیین مناطق مستعد خطر زمین لغزش در آبخیز زیارت استان گلستان

علی عبدالله زاده*: دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ Email: aliabdollahzadeh66@gmail.com
مجید اونق: استاد، گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

امیر سعدالدین: دانشیار، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

رئوف مصطفی زاده: استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، تهران.

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۱

چکیده

زمین لغزش از حوادث غیرمترقبه‌ای است که در مناطق مختلف کشور خسارات مالی و جانی زیادی به بار آورده است. حوزه‌های شمالی کشور از جمله مناطق مستعد وقوع زمین لغزش است و دخالت‌های انسانی نیز موجب تشدید این خطر و خسارت‌های آن شده است. در این پژوهش تعیین مناطق مستعد زمین لغزش با مدل دو متغیره‌ی وزنی AHP و مدل غیروزنی LRNF در آبخیز زیارت گرگان مورد ارزیابی قرار گرفت. با بازدیدهای میدانی و اطلاعات محلی، نقشه‌ی پراکندگی زمین لغزش تهیه گردید. با مرور منابع و بررسی شرایط آبخیز زیارت، چهار عامل فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، بارش و زمین شناسی به منزله‌ی عوامل مؤثر بر زمین لغزش انتخاب و نقشه‌های خطر لغزش با پنج کلاس تهیه شدند. بر اساس نتایج، در مدل دو متغیره حدود ۴/۴ درصد مساحت منطقه در پهنه‌ی خطر خیلی زیاد و ۱۴/۵ درصد در پهنه‌ی خیلی کم، و در مدل غیروزنی LRNF حدود ۱۴/۶ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌ی خطر خیلی زیاد و ۸/۸ درصد در پهنه‌ی خیلی کم قرار می‌گیرند. مقایسه‌ی پهنه‌های خطر در هر دو روش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، با استفاده از شاخص نسبت تراکمی (DR)، نشان داد که با افزایش درجه‌ی خطر، قابلیت تفکیک میان پهنه‌های خطر افزایش می‌یابد که نشان دهنده‌ی قابلیت شاخص مذکور در مقایسه‌ی نتایج است. ارزیابی صحت مدل بر اساس شاخص جمع مطلوبیت (QS) و شاخص دقت (P) به ترتیب در مدل آماری دو متغیره‌ی وزنی AHP به میزان ۰/۸۱ و ۰/۹۶ در مدل غیروزنی LRNF حدود ۰/۲۷ و ۰/۸۹ است، که بر این اساس مدل آماری دو متغیره‌ی وزنی AHP به منزله‌ی مدل برتر معرفی گردید.

واژه‌های کلیدی: شاخص جمع مطلوبیت، شاخص نسبت تراکمی، شاخص دقت، مدل دو متغیره‌ی وزنی AHP، مدل غیروزنی LRNF

Comparison of two landslide-prone area determination methods in Ziarat Watershed, Golestan Province

Ali abdollahzadeh^{*1}, Majid Ownegh², Amir Sadoddin³, Rauf Mostafazadeh⁴

Abstract:

Landslide has caused great financial losses and casualties. Northern basins of Iran are prone to landslide occurrence and human interference also increased the risk of its large losses. In this study, landslide-prone areas were evaluated using Bivariate Weighted AHP model and Non-weighted LRNF model in Ziarat Watershed, Golestan Province. The landslide distribution was prepared through the field surveys. According to literature review and watershed conditions four factors of distance from fault, distance from drainage, rainfall and geology, were selected as factors affecting landslide and hazard maps for five classes were prepared. The results showed that the bivariate statistical model assigned 4.4% of the area prone to severe landslide hazard, and 14.5% were located in very low hazard class. While, the non-weighted LRNF model explicates 14.6% of the area in high hazard, and 8.8% of the area assigned as very low hazard class. In order to compare the hazard classes the Density Ratio (DR) was calculated in both landslide hazard maps. According to the results, the hazard classes were increased in high-hazard levels. Thus, the employed models can determine the hazard classes in an acceptable manner. The validity of the bivariate weighted AHP model results were 0.81 and 0.96 based upon the quality sum (Qs) and the precision index (P) indices, respectively. Furthermore, the values of Qs and P were 0.27 and 0.89 for non-weighted LRNF model. Based on the results, the weighted AHP Model is introduced as superior.

Keywords: Quality sum index, Density ratio index, Precision index, Weighted Bivariate AHP model, Non-weighted LRNF model

1 MSc. in Watershed Management, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran; Email: aliabdollahzadeh66@gmail.com

2 Professor, Dept. of Arid Zone and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3 Associate Professor, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

4 Assistant professor, Dept. of watershed, Mohaghegh Ardabili University, ardebil, Iran.

۵

شماره نهم

بهار و تابستان
۱۳۹۵

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



پایداری دامنه‌ها، از انجام هرگونه سرمایه‌گذاری و احداث سازه در مناطق مستعد زمین‌لغزش شدیداً اجتناب گردد.

عظیم‌پور و همکاران [۹] نیز با ارزیابی نتایج مدل AHP^۴ در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در آبخیز اهرچای، عوامل زمین‌شناسی را دارای بیشترین وزن و عوامل انسانی را دارای کمترین وزن دانسته‌اند. عوامل سنگ‌شناسی، شیب، گسل، جهت دامنه، ارتفاع، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی و فاصله از جاده، به ترتیب اولویت، مهم‌ترین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش شناخته شدند. سپس خطر زمین‌لغزش را در سه گروه زیاد، متوسط و کم تهیه کردند. محمدی و همکاران [۱۰]، نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش را در استان مازندران با استفاده از مدل تراکم سطح و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی سامانه‌ها تهیه نمودند و با ارزیابی کارایی مدل‌ها با استفاده از شاخص جمع مطلوبیت (QS) به این نتیجه رسیدند که مدل تراکم سطح، نسبت به مدل تحلیل سلسله‌مراتبی دقت بیشتری دارد. کریمی سنگ‌چینی و همکاران [۱۱]، در پژوهش خود با انتخاب نه عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی و میزان بارش و با استفاده از چهار مدل آماری دو متغیره (مدل نیمه کمی)، رگرسیون چند متغیره‌ی گام به گام و رگرسیون چند متغیره‌ی لجستیک (مدل‌های کمی) نقشه‌های خطر زمین‌لغزش حوزه‌ی چهل‌چای در استان گلستان را پهنه‌بندی کردند. نتایج نشان داد که شاخص جمع مطلوبیت (QS) در مدل‌های آماری دو متغیره‌ی وزن‌دهی با AHP، ترکیب خطی وزین (WLC)^۵، چندمتغیره‌ی لجستیک و رگرسیون چندمتغیره‌ی گام به گام به ترتیب برابر ۳/۶، ۲/۲، ۱/۷، ۱/۶ است و مدل آماری دو متغیره‌ی وزن‌دهی به منزله‌ی مدل برتر معرفی شد. شیرانی و سیف [۱۲] در تحقیقی در منطقه‌ی پیشکوه شهرستان فریدون‌شهر اقدام به تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با دو روش آماری دو متغیره‌ی تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی نمودند و برای مقایسه بین پهنه‌های خطر از شاخص نسبت تراکم (DR) استفاده کردند. در هر دو روش پهنه‌بندی، خطر زمین‌لغزش درجه‌ی خطر افزایش می‌یابد و تفکیک‌پذیری قابل قبول و افزایش یافته است. آن‌ها برای مقایسه‌ی روش‌های پهنه‌بندی از شاخص مجموع کیفیت (QS) و دقت (P)^۶ استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش ارزش اطلاعاتی نسبت به روش تراکم سطح در پهنه‌بندی زمین‌لغزش، دارای مطلوبیت و دقت بهتری است. کرزادی و همکاران [۱۳]، در تحقیقی در آبخیز زیارت رتبه‌بندی کارایی مدل‌های رگرسیون لجستیک، LNRNF و AHP را با استفاده از شاخص‌های کای اسکور، QS، ROC و P ارزیابی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که به ترتیب، مدل‌های رگرسیون لجستیک، LNRNF و AHP در اولویت هستند. پژوهش آنبالاگان [۱۴] نیز با شناسایی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن برای مشخص نمودن مناطق مستعد خطر لغزش و ناپایداری و کمک به برنامه‌ریزان برای انتخاب مکان‌های مناسب توسعه‌ای از قبیل ساختن جاده‌ها و مناطق مسکونی در مراحل اولیه‌ی برنامه‌ریزی بسیار مفید واقع می‌گردد. گوزتی و همکاران [۱۵]، در ایتالیا نقشه‌ی عوامل مؤثر بر

برخلاف پیشرفتی که در علم و تکنولوژی حاصل شده است، خسارت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از پدیده‌ی زمین‌لغزش، به‌ویژه در نواحی پرجمعیت، با تغییر الگوهای توسعه‌ی شهری همچنان رو به افزایش است که این وضعیت نیاز به مقابله با خطرهای ناشی از این پدیده را دو چندان می‌کند [۱]. زمین‌لغزش عبارت است از حرکت مواد تشکیل‌دهنده‌ی شیب شامل صخره‌های طبیعی، خاک، انباشته‌های مصنوعی و یا مخلوطی از آن‌ها که توسط نیروی ثقل به سمت پایین جابه‌جا می‌شوند [۲]. زمین‌لغزش‌ها نتیجه‌ی فرایندهای مکانی-زمانی به هم وابسته شامل فرایندهای هیدرولوژیک (بارش، تبخیر و آب زیرزمینی)، وزن پوشش گیاهی، مقاومت ریشه، وضعیت خاک، سنگ مادر، توپوگرافی و فعالیت‌های انسانی هستند [۳]. برای پهنه‌بندی خطر نسبی ناپایداری دامنه‌ها مدل‌های متعدد عددی با عوامل وزن، نرخ، منطق محاسباتی و مقیاس متفاوت ابداع و در شرایط متنوع، بر اساس شواهد زمینی، واسنجی و اصلاح شده است [۴]. شناخت نوع و فرایند شکل‌گیری، عوامل مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای و شناخت گستره‌های وقوع زمین‌لغزش و تعیین میزان خطر آن‌ها، مهم‌ترین گام‌هایی است که در راستای جلوگیری از این نوع مخاطرات طبیعی باید به آن توجه شود [۵]. سطح زمین در مقیاس آبخیز موزاییک پیچیده‌ای از قابلیت‌ها و خطرهای محیطی (نقطه‌ی تعارض جامعه و طبیعت) به شمار می‌رود. شدت و ارزش عددی سود و زیان آن‌ها برای مقاصد آمایش سرزمین و توسعه‌ی پایدار با مدل‌های عینی و ذهنی مختلف قابل ارزیابی است. برای بسیاری از مدل‌های آمایش و برنامه‌ریزی محیطی خطرمدار، توجه به خطر زمین‌لغزش به منزله‌ی یکی از ناپایداری‌های محیطی امری ضروری است [۶].

در پژوهش یمانی و همکاران [۷]، با استفاده از مدل LNRF^۱ و انتخاب پنج عامل مؤثر سنگ‌شناسی، شیب و جهت شیب به منزله‌ی عوامل اصلی و کاربری اراضی و بارندگی به منزله‌ی عوامل فرعی در حوزه‌ی جلیسان استان مازندران، خطر پتانسیل زمین‌لغزش پهنه‌بندی شده است و صحت نتایج مدل مورد قبول واقع شده است؛ به طوری که بر اساس نتایج ایشان مدل LNRF کارایی بسیار خوبی در زمینه‌ی بررسی داده‌ها و پهنه‌بندی زمین‌لغزش در نواحی مرطوب تا نیمه‌مرطوب دارد. شادفرو و همکاران [۸]، در پژوهش دیگری با استفاده از روش‌های آماری دو متغیره (تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی) و LNRF با انتخاب چهار عامل سنگ‌شناسی، شیب، جهت شیب و فاصله از گسل در حوزه‌ی آبخیز جنت‌رودبار شهرستان رامسر، پتانسیل خطر زمین‌لغزش را پهنه‌بندی کردند. با محاسبه‌ی دو شاخص نسبت تراکم (DR)^۲ و مجموع مطلوبیت (QS)^۳ در هر یک از رده‌های خطر، به ترتیب اولویت، مدل‌های تراکم سطح، LNRF و ارزش اطلاعاتی برای حوزه‌ی مورد نظر مناسب تشخیص داده شده است. در نهایت توصیه شده است که قبل از شناخت شرایط ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی برای کاهش نسبی خطر و افزایش

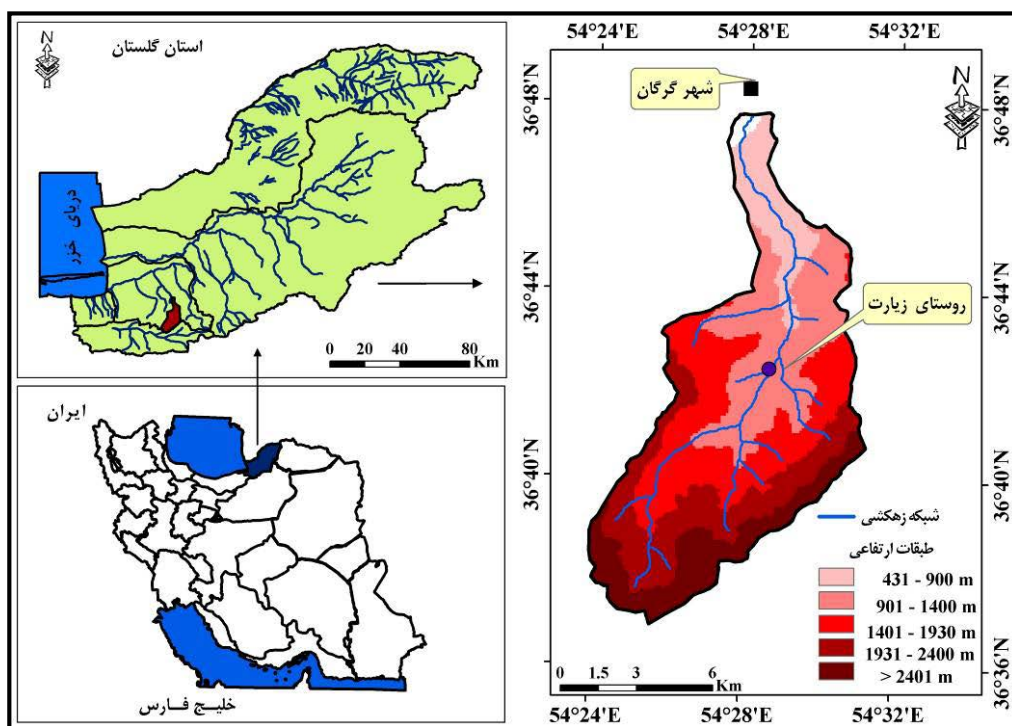
زمین لغزش را با روش‌های آماری، ژئومورفولوژی و نقشه‌های خطر زمین لغزش با همدیگر مقایسه نمودند. کوماک [۱۶]، با استفاده از تحلیل آماری چند متغیره و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، اقدام به پهنه‌بندی زمین لغزش در مرکز اسلوونی نمود. نتایج او نشان داد عوامل شیب، سنگ‌شناسی و نوع پوشش، نقش مهمی در حساسیت منطقه به وقوع زمین لغزش دارند. دیموند و همکاران [۱۷]، در یکی از مناطق نیوزیلند، اقدام به پژوهش حرکات توده‌ای اتفاق افتاده در طوفان سال ۲۰۰۴ کردند. نتایج بررسی نشان داد که در اطراف خطوط زهکشی و مناطقی که تخریب جنگل وجود دارد، وقوع حرکات توده‌ای افزایش یافته است. روموندو و همکاران [۱۸]، در منطقه‌ی باوجوبا در شمال اسپانیا با استفاده از GIS رابطه‌ی بین عوامل مربوط به زمین لغزش را به دست آوردند و یک ارزیابی کمی از زمین لغزش انجام دادند. یالسن [۱۹]، نقشه‌های خطر زمین لغزش را در ترکیه با استفاده از مدل ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و AHP تهیه نمود و در ارزیابی کارایی مدل‌ها، مدل AHP دقت بیشتری داشته است. بررسی نتایج حاصل از تحقیقات مذکور نشان می‌دهد که در هر منطقه، مدل خاصی کارایی بهتری دارد و عوامل مؤثر بر زمین لغزش متفاوت‌اند. در حوزه‌ی آبخیز زیارت سازندهای شمشک و شیبست گرگان تقریباً ۷۰٪ سطح حوزه را شامل می‌شوند و فرسایش‌پذیری زیادی دارند. تغییر شدید کاربری در حوزه مشهود است. تولید رسوب حوزه زیاد است که موجب کاهش کیفیت منابع آب و خاک می‌شود؛ این در حالی است که حدود ۳۰ درصد آب شرب شهر گرگان از حوزه‌ی زیارت تأمین می‌شود. در آبخیز مورد مطالعه، هر ساله زمین لغزش موجب خسارت‌های فراوانی می‌گردد. لذا برنامه‌ریزی برای جلوگیری از این خسارات و شناخت مناطق حساس به زمین لغزش

و ارزیابی آن‌ها برای دستگاه‌های اجرایی اهمیت زیادی داشته و می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها نقش عمده‌ای ایفا کند. هدف پژوهش حاضر، ارزیابی مدل آماری دومتغیره‌ی وزن‌دهی شده با AHP و مدل غیروزی L NRF برای تعیین مناطق مستعد خطر زمین لغزش و ارزیابی صحت مدل‌های مذکور با استفاده از روش‌های نسبت تراکمی (Dr) و شاخص جمع کیفی (Qs) برای معرفی مدل برتر در آبخیز زیارت استان گلستان به منظور کاهش خسارات ناشی از این پدیده‌ی مخرب است.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه‌ی مورد مطالعه

آبخیز زیارت، با مساحت ۱۰۲ کیلومتر مربع، یکی از زیرحوزه‌های رودخانه‌ی قره‌سو است که در بالادست جنوب شهر گرگان قرار دارد. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در ایران و استان گلستان در تصویر ۱ ارائه شده است. این آبخیز در محدوده‌ی جغرافیایی ۱° ۳۷' ۳۶" تا ۱۱° ۳۱' ۵۴" طول شرقی واقع شده است. و ۴۷° ۲۳' ۴۷" تا ۵۴° ۳۱' ۱۱" عرض شمالی. میانگین بارش سالانه‌ی منطقه ۵۷۵ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد و شیب متوسط حوزه ۲۳/۱۸ درصد است. پایین‌ترین ارتفاع آن ۳۵۶ متر و بالاترین ارتفاع آن ۲۹۵۰ متر از سطح دریاهای آزاد است. سازندهای زمین‌شناسی حوزه‌ی زیارت شامل سازند خوش‌بیلاق، لار، مبارک، شمشک و شیبست گرگان است و بخش عمده‌ی حوزه کوهستانی است. کاربری‌های اراضی منطقه به ترتیب مساحت شامل جنگل، مرتع، کشاورزی و مسکونی است. گونه‌های جنگلی شامل توسکا، ممرز، بلوط، راش،



تصویر ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی آبخیز زیارت در استان گلستان و ایران

انجیلی و نمدار است و درختچه‌ی ژونپروس و گونه‌های مرتعی بروموس ساختار پوشش گیاهی منطقه را تشکیل داده است [۲۰].

روش تحقیق

یکی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی خطر زمین‌لغزش، شناسایی و تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود در حوزه است. بدین منظور با انجام بازدید میدانی، استفاده از اطلاعات محلی و سامانه‌ی موقعیت‌یاب جهانی و همچنین با استفاده از نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش (تهیه شده از تفسیر عکس هوایی و بازدید میدانی توسط اداره‌ی آبخیزداری استان گلستان سال ۱۳۸۶)، تعداد ۱۱۰ مورد لغزش ثبت شده و پس از محاسبه‌ی مساحت آن‌ها، نقشه‌ی نهایی پراکنش زمین‌لغزش‌ها به صورت پلی‌گونی تهیه و اصلاح گردید.

پهنه‌بندی خطر با مدل آماری دومتغیره‌ی تراکم سطح وزنی AHP

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به تقسیم‌بندی مناطق به بخش‌های مجزا و رتبه‌بندی آن‌ها بر اساس درجه‌ی واقعی یا قابلیت خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش اطلاق می‌شود [۲۱]. این نقشه‌ها میزان حساسیت وقوع زمین‌لغزش را در پهنه‌های مختلف، با عباراتی چون خطر بالا، متوسط و پایین نمایش می‌دهند [۱۰]. برای انجام این پژوهش نقشه‌ی عامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش شامل فاصله از گسل، بارش، فاصله از آبراهه، زمین‌شناسی و شیب در محیط نرم‌افزار ArcMap رقومی و تهیه شد. سپس نقشه‌ی هر یک از عوامل مؤثر با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی همپوشانی شدند و مساحت و درصد زمین‌لغزش در هر طبقه از نقشه‌ی عوامل محاسبه و سپس نرخ هر طبقه با استفاده از روش تراکم سطح در قالب رابطه‌ی ۱ محاسبه گردید [۲۲، ۲۳، ۲۴].

$$Ra = 1000 \times (A/B) - 1000 \times (C/D) \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

که در آن، Ra: نرخ تراکم سطح؛ A: مساحت لغزش‌های هر واحد؛ B: مساحت هر واحد؛ C: مساحت کل لغزش در حوزه D: مساحت کل حوزه‌ی آبخیز است. در این مدل، وزن عوامل در نظر گرفته شده با تحلیل سلسله‌مراتبی یا مقایسات زوجی محاسبه شد. مقایسات زوجی را هشت متخصص دانشگاهی و شش متخصص اجرایی (کارشناسان زمین‌لغزش) با نرم‌افزار Expert Choice - 11 انجام دادند. در نهایت با ضرب نمودن نرخ در وزن هر عامل، نقشه‌ی خطر تهیه گردید.

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل LNRF

برای اندازه‌گیری مساحت لغزش رخ داده در طبقات پارامترها، نقشه‌ی هر پارامتر با نقشه‌ی شواهد زمین‌لغزش در محیط Arc Map قطع داده می‌شود. به عبارت دیگر منطق محاسباتی نرخ‌دهی در مدل LNRF، تقسیم است. در این روش به خود پارامترها وزنی اختصاص داده نمی‌شود و مدل از نوع غیروزنی است و مبنای نرخ‌دهی به طبقات پارامترها در مدل LNRF رابطه‌ی ۲ است.

رابطه‌ی ۲:

$$LNRF = \frac{\text{سطح لغزش رخ داده در هر طبقه از نقشه‌ی عامل}}{\text{میانگین مساحت لغزش رخ داده در کل طبقات نقشه‌ی عامل (حوزه‌ی زیارت)}}$$

میزان کارایی مدل‌های ارزیابی خطر زمین‌لغزش

شاخص نسبت تراکم (Dr) برای ارزیابی توانایی مدل در تفکیک کلاس‌های خطر در هر یک از نقشه‌ها به طور مستقل مورد استفاده قرار گرفت، به طوری که هر چه تفکیک بین کلاس‌های خطر بالاتر باشد، مدل دارای قابلیت بیشتری در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. همچنین از شاخص جمع کیفیت نیز برای مقایسه‌ی کارایی مدل‌ها استفاده شده، به طوری که هر چه مقدار Qs به دست آمده بیشتر باشد، آن مدل برای منطقه‌ی مورد مطالعه مناسب‌تر است [۷، ۱۱، ۱۲، ۲۶].

$$Dr = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Si}{Ai}}{\sum_{i=1}^n Si} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

که در آن Dr: تراکم لغزش در هر کلاس خطر؛ Ai: مساحت i امین کلاس خطر در یک نقشه‌ی پهنه‌بندی؛ Si: مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های رخ داده در هر کلاس خطر و n: تعداد کلاس‌های خطر است.

رابطه ۴:

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

که در آن Qs: جمع مطلوبیت؛ Dr: نسبت تراکم؛ S: نسبت مساحت هر کلاس خطر به مساحت کل منطقه و n: تعداد کلاس خطر است. همچنین برای مقایسه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده، پارامتر دقت نتایج پیش‌بینی شده (P) مورد توجه قرار گرفت. این پارامتر از رابطه‌ی ۵ قابل محاسبه است.

$$P = \frac{Ks}{S} \quad \text{رابطه ۵}$$

جدول ۱: مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی در فرایند سلسله‌مراتبی [۲۵].

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر و یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر و یا کمی مطلوب‌تر
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۰.۴، ۰.۶، ۰.۸	ترجیحات بین فواصل فوق



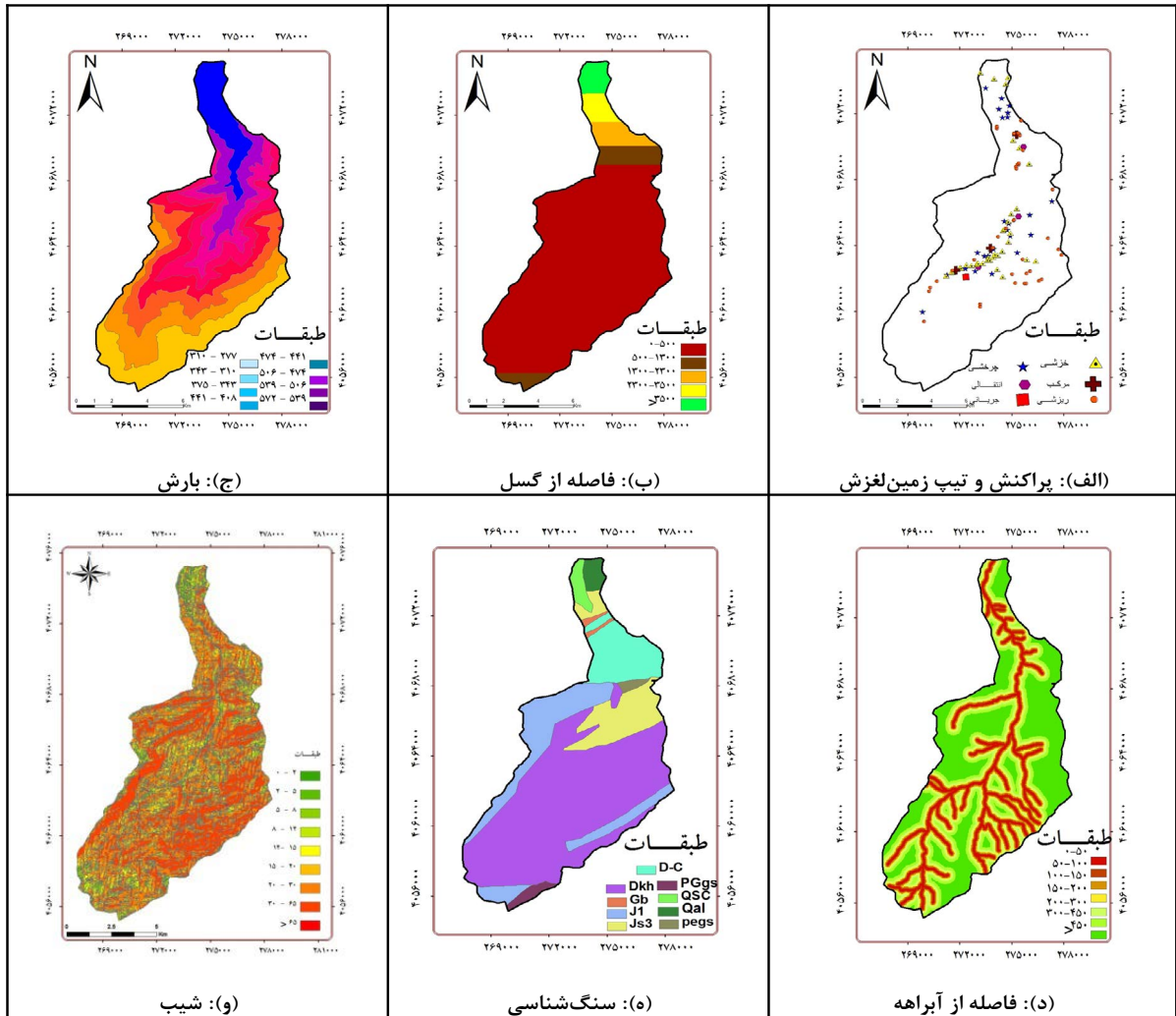
شماره نهم

بهار و تابستان
۱۳۹۵

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



مقایسه‌ی دو روش تعیین مستعد مناطق خطر زمین‌لغزش در
آبخیز زیارت استان گلستان



(ج): بارش

(ب): فاصله از گسل

(الف): پراکنش و تیپ زمین لغزش

(و): شیب

(ه): سنگ‌شناسی

(د): فاصله از آبراهه

تصویر ۲: نقشه‌ی پراکنش پلی‌گون زمین لغزش‌ها و عوامل مؤثر بر زمین لغزش آبخیز زیارت استان گلستان

محاسبه شد. در طبقات هر یک از عوامل مؤثر بر زمین لغزش نرخ تراکم سطح به کار رفته در مدل آماری دومتغیره‌ی وزنی AHP محاسبه گردید (جدول‌های ۲ تا ۶). همچنین نتایج مقایسات زوجی و وزن نهایی عوامل مؤثر بر زمین لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه در تصویر ۳ نشان داده شده است.

نتایج پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با مدل آماری دومتغیره‌ی وزنی و مدل غیروزنی

تعیین وزن هر یک از لایه‌های اطلاعاتی خطر زمین لغزش با AHP با انجام مقایسات زوجی توسط ۸ متخصص هیئت علمی و ۶ متخصص اجرایی و با نرم‌افزار Expert Choice ۱۱ وزن عوامل مؤثر بر زمین لغزش تعیین شد (جدول ۶). نرخ ناسازگاری در این تحقیق برابر $IR = 0.03$ است که از سازگاری بالایی برخوردار است [۲۵].

که در آن P: دقت نتایج پیش‌بینی شده؛ KS: مساحت لغزش یافته در کلاس‌های خطر متوسط به بالا و S: مساحت کل زمین لغزش‌های منطقه است.

نتایج

نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش حوزه و عوامل مؤثر بر زمین لغزش در آبخیز زیارت استان گلستان در تصویر ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از برداشت‌های میدانی، مجموع سطح لغزش یافته در حوزه‌ی مورد پژوهش حدود $31/22$ هکتار است.

پس از تهیه‌ی نقشه‌ی عوامل مؤثر بر زمین لغزش، هر یک از این نقشه‌ها با نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش حوزه تطبیق داده شد و درصد لغزش موجود در هر طبقه نسبت به کل طبقات نقشه



تصویر ۳: مقایسات زوجی و وزن نهایی عوامل مختلف مؤثر بر زمین لغزش آبخیز زیارت استان گلستان

جدول ۲: توزیع فراوانی مساحت و تعداد زمین لغزش بر حسب طبقات فاصله از آبراهه‌ی آبخیز زیارت

طبقات فاصله از آبراهه به (m)	مساحت (هکتار)	مساحت لغزش (هکتار)	نرخ تراکم سطح
۰-۵۰	۱۰۷۱	۴/۱۷	۰/۵۲
۵۰-۱۰۰	۹۸۰	۴/۳۷۷	۱/۰۷
۱۰۰-۱۵۰	۹۴۲	۴/۷۳	۱/۶۳
۱۵۰-۲۰۰	۶۴۷	۲/۷۵	۰/۸۷
۲۰۰-۳۰۰	۱۴۲۶	۳/۵	۰/۱۲
۳۰۰-۴۴۵	۱۴۸۶	۵/۵	۰/۳۲
۴۴۵<	۳۷۳۴	۶/۲	-۱/۱۷
مجموع	۱۰۲۸۶	۳۱/۲۲	-

جدول ۳: توزیع فراوانی مساحت و تعداد زمین لغزش بر حسب طبقات سنگ‌شناسی آبخیز زیارت

طبقات سنگ‌شناسی	مساحت (هکتار)	مساحت لغزش	نرخ تراکم سطح
آهک بامیان لایه رس	۹۶	۰	-۲/۸۶
آهک - دولومیتی ضخیم تا توده تیره	۱۰۸۹	۵/۲۹	۱/۹۹
آهک ضخیم لایه - توده خاکستری	۲۰۶۰	۰/۲۲	-۲/۷۶
سنگ آهک مارنی سفید	۱۱۹۸	۲/۱۰۵	-۱/۱۱
شیل خاکستری تیره	۶۲۰	۱/۸۲	۰/۰۷
شیبست گرگان	۵۲۲	۱/۵۱	۰/۱۷
شیل خاکستری تیره	۲۷۰۶	۷/۲۴	-۰/۱۹
ماسه سنگ خاکستری و شیل	۱۹۲۱	۸/۳۴	۱/۴۶
نهشته‌های آبرفتی بستر رودخانه	۶۴۹	۴/۷	۴/۳۷
جمع	۱۰۸۶۱	۳۱/۲۲	-

جدول ۵: توزیع فراوانی زمین لغزش بر حسب بارش آبخیز زیارت استان گلستان

طبقات بارش	مساحت (هکتار)	مساحت لغزش	نرخ تراکم سطح
۲۷۷-۳۱۰	۱۶۶۴	۰	-۳/۰۳
۳۱۰-۳۴۳	۱۷۷۵	۱/۹۷	-۱/۹۲
۳۴۳-۳۷۵	۱۴۳۳	۱/۹۲	-۱/۶۹
۳۷۵-۴۴۱	۱۲۸۶	۳/۴۴	-۰/۳۶
۴۴۱-۴۷۴	۱۲۲۲	۸	۳/۵۱
۴۷۴-۵۰۶	۹۷۸	۴/۱۴	۱/۲۰
۵۰۶-۵۳۹	۹۰۷	۴/۶۳	۰۷/۲
۵۳۹-۶۰۰	۱۰۲۱	۷/۱۱	۳/۹۳
مجموع	۱۰۲۸۶	۳۱/۲۲	-

جدول ۴: توزیع فراوانی مساحت بر حسب طبقات فاصله از گسل آبخیز زیارت

طبقات فاصله از گسل به (m)	مساحت (هکتار)	مساحت لغزش	نرخ تراکم سطح
۰-۵۰۰	۸۶۷۸	۱۸/۲۳	-۰/۳۷
۵۰۰-۱۳۰۰	۴۸۳	۱/۰۲	-۰/۹۳
۱۳۰۰-۲۳۰۰	۳۴۶	۲/۶	۴/۴۶
۲۳۰۰-۳۵۰۰	۲۵۳	۰/۵۳	-۰/۹۵
۳۵۰۰<	۵۲۷	۴	۴/۵۴
جمع	۱۰۲۸۷	۳۱/۲۲	-

جدول ۶: توزیع فراوانی زمین لغزش بر حسب شیب آبخیز زیارت استان گلستان

طبقات شیب	مساحت (هکتار)	مساحت لغزش	نرخ تراکم سطح
۰-۲	۲۷/۴۶	۰	۰
۲-۵	۱۶۲/۷۳	۰/۲۵	-۰/۳
۵-۸	۳۵۴/۴	۰/۰۹	-۲/۴
۸-۱۲	۸۵۴/۹۳	۲/۵	۱/۱
۱۲-۱۵	۹۰۴/۵۶	۰/۱۹	-۲/۰۳
۱۵-۲۰	۱۸۰۹/۷۸	۱/۴	۰/۷
۲۰-۳۰	۳۳۹۲/۴۸	۱۶/۱۸	۰/۴
۳۰-۶۵	۲۷۷۶/۰۸	۷/۹۱	-۰/۸
>۶۵	۳/۸۶	۰	۰
مجموع	۱۰۲۸۶	۲۳۱/۲۲	-

۱۰

شماره نهم

بهار و تابستان
۱۳۹۵

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



پهنه بندی خطر زمین لغزش با مدل LNRF

در این پژوهش پس از نرخ دهی به طبقات ۴ پارامتر مؤثر در زمین لغزش، نقشه‌ی پارامترها در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی جمع شده و سرانجام با توجه به تجزیه و تحلیل داده‌ها، برای اندازه‌گیری مساحت لغزش‌های موجود در طبقات پارامترها، نقشه‌ی هر پارامتر با نقشه‌ی شواهد موجود زمین لغزش در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی همپوشانی شدند؛ به عبارتی منطق محاسباتی در این مدل تقسیم است. پس از تهیه‌ی نقشه‌ی خطرو براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در کلاس خطر (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه بندی گردید (تصویر ۵). مساحت و درصد مساحت هر کلاس در جدول ۸ درج شده است.

بر اساس نقشه‌ی پهنه بندی به دست آمده، حدود ۱۴/۶ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌ی خطر خیلی زیاد، ۳۲/۶ درصد در پهنه‌ی خطر زیاد، ۲۵/۴ درصد در پهنه‌ی خطر متوسط، ۱۸/۷ درصد در پهنه‌ی خطر کم و ۸/۸ درصد در پهنه‌ی خیلی کم قرار می‌گیرد.

جدول ۸: توزیع فراوانی کلاس‌های خطر زمین لغزش آبخیز

طبقه	مساحت به هکتار	درصد مساحت	DR	Qs	P
خیلی کم	۹۰۶/۲	۸/۸	۰/۳۶	۰/۲۷	۰/۸۹
کم	۱۹۲۲/۳	۱۸/۷	۰/۴۴		
متوسط	۲۶۰۸/۹	۲۵/۴	۰/۹۸		
زیاد	۳۳۴۸/۷	۳۲/۶	۱/۰۲		
خیلی زیاد	۱۴۹۹/۷	۱۴/۶	۱/۰۹		
جمع	۱۰۲۸۶	۱۰۰			

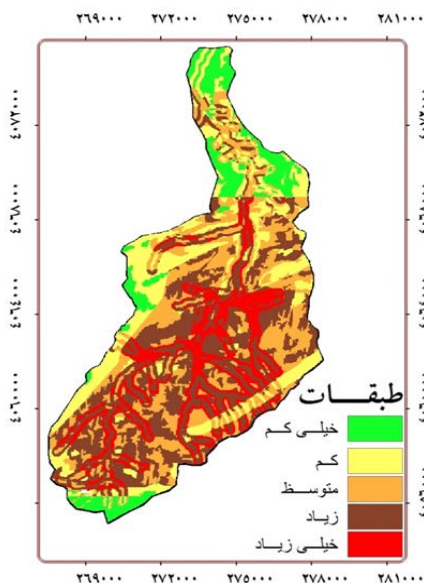
برای پهنه بندی خطر زمین لغزش، وزن هر عامل در نقشه‌ی نرخ آن ضرب شد و نقشه‌ی خطر زمین لغزش از جمع حاصل ضرب نقشه‌های عوامل و براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها (تصویر ۴ و جدول ۷) در ۵ کلاس طبقه بندی گردید.

خطر زمین لغزش با مدل آماری دو متغیره‌ی وزنی AHP = $(\text{Rainfall} \times 0/291) + (\text{Fault} \times 0/114) + (\text{Stream} \times 0/062) + (\text{Slope} \times 0/062) + (\text{Geology} \times 0/471)$ بر اساس نقشه‌ی پهنه بندی به دست آمده، حدود ۴/۴ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌ی خطر خیلی زیاد، ۲۷/۴ درصد در پهنه‌ی خطر زیاد، ۱۲/۳ درصد در پهنه‌ی خطر متوسط، ۴۱/۴ درصد در پهنه‌ی خطر کم و ۱۴/۵ درصد در پهنه‌ی خیلی کم قرار می‌گیرد.

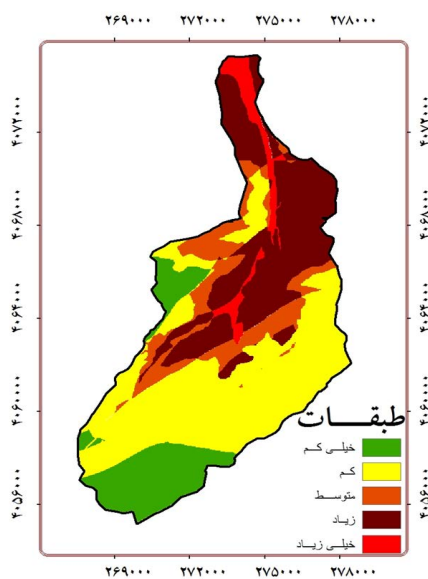
بر اساس نقشه‌ی پهنه بندی به دست آمده، حدود ۴/۴ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌ی خطر خیلی زیاد، ۲۷/۴ درصد در پهنه‌ی خطر زیاد، ۱۲/۳ درصد در پهنه‌ی خطر متوسط، ۴۱/۴ درصد در پهنه‌ی خطر کم و ۱۴/۵ درصد در پهنه‌ی خیلی کم قرار می‌گیرد.

جدول ۷: توزیع فراوانی کلاس‌های خطر زمین لغزش به روش مدل آماری دو متغیره‌ی وزنی AHP آبخیز زیارت

طبقه	مساحت به هکتار	درصد مساحت	Dr	Qs	P
خیلی کم	۱۴۸۹	۵/۱۴	۰	۸۱/۰	۰/۹۶
کم	۱۴۲۵۹	۴/۴۱	۴۲/۰		
متوسط	۲/۱۲۶۹	۳/۱۲	۱۶/۱		
زیاد	۲۸۲۰	۴/۲۷	۹۲/۱		
خیلی زیاد	۱/۴۴۹	۴/۴	۵۹/۳		
جمع	۱۰۲۸۶	۱۰۰			



تصویر ۵: نقشه‌ی خطر زمین لغزش حوزه‌ی زیارت با مدل LNRF



تصویر ۴: نقشه‌ی شدت خطر زمین لغزش با مدل آماری دو متغیره‌ی وزنی AHP آبخیز زیارت استان گلستان

نتیجه‌گیری

شده‌اند. در هر دو روش مورد استفاده در این پژوهش، در اطراف جاده، آبراهه‌ها و مناطق مسکونی، نسبت به سایر قسمت‌های حوزه، بیشترین زمین‌لغزش مشاهده گردید؛ به طوری که ساختمان‌سازی و جاده‌سازی وضعیت طبیعی منطقه را ناپایدار می‌کند و موجب تشدید اثر نیروی ثقل می‌شود، که محمدی و همکاران [۱۰]، دومان و همکاران [۱۷] و یالسن [۱۹] نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. از طرفی در اکثر فعالیت‌های آبخیزداری در این حوزه یکی از مشکلات عمده پدیده‌ی زمین‌لغزش و رسوب فراوان است، که سبب کاهش عمر مفید بندها می‌شود. همچنین در صورت توسعه‌ی ساخت و سازهای مسکونی و تأسیسات گردشگری (با وجود خطرات احتمالی زیست‌محیطی)، با آینده‌نگری آمایشی، این حوزه به قطب گردشگری - کوهستانی تبدیل خواهد شد. بر این اساس شایسته است که برای یافتن مکان‌های مناسب شهری، تمرکززدایی و ایجاد تعادل در محیط زیست، کاهش بحران‌ها و توزیع مناسب خدمات سکونتگاهی، برنامه‌ریزی سکونتگاهی بر اساس دیدگاه آمایش خطرمدار شکل گیرد تا مانع اوج‌گیری بحران‌ها شود. در این خصوص می‌توان به توزیع و پراکنش مناطق سکونتگاهی و گردشگری کنونی و موقعیت آن‌ها نسبت به خطرهای بالقوه‌ی محیطی توجه نمود و با اعمال مدیریت در آن‌ها تا حد امکان توسعه را مطلوب‌تر کرد.

پی‌نوشت

1. Landslide Nominal Risk Factor
2. Density Ratio
3. Quality Sum
4. Analytical Hierarchy Process
5. Weighted Linear Combination
6. Precision of the Predicted results

منابع

1. Aleotti, P., Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 21- 44.
2. Radbruch-Hall, D.H., and Varnes, D.T. (1976). Landslide: cause and effect. *International Association of Engineering Geology Bulletin*, 14, 205-216.
3. Wu, W., and Sidle, R.C. (1995). A distributed slope stability model for steep forested basins. *Water resources Research*, 31(8), 2097- 2110.
4. Ownegh, M. (2004). Assessing the applicability of the Australian landslide databases in hazard management. *Proceedings of ISCO, Brisbane*, 4 to 8 July, Australia, 1001-1006.
۵. حسین‌زاده، محمد مهدی؛ ثروتی، محمد رضا؛ منصور، عادل؛ میرباقری، بابک؛ خضری، سعید (۱۳۸۸). پهنه‌بندی ریسک و حرکات توده‌ای با

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش یک مرحله‌ی اساسی از مدیریت خطر است و می‌تواند به مدیران حوزه‌ی آبخیز و برنامه‌ریزان آمایش سرزمین کمک کند. در این پژوهش با استفاده از مدل‌های آماری دو متغیره تراکم سطح وزن‌دهی شده با AHP (مدل نیمه‌کمی) و مدل غیروزنی LNRF به پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین‌لغزش و تعیین روش مناسب در منطقه‌ی مطالعاتی اقدام شد. شناسایی و انتخاب مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در یک منطقه، موجب می‌شود با اطمینان بالاتری از نتایج، برای پیشگیری و بهبود شرایط، اقدام لازم انجام شود. مدل غیروزنی AHP با درجه مطلوبیت Qs برابر ۰/۸۱ و دقت P برابر با ۰/۹۶ به منزله‌ی مدل برتر (مناسب‌تر) برای حوزه برگزیده شد و مدل آماری دو متغیره تراکم سطح وزن‌دهی شده با LNRF با درجه مطلوبیت Qs برابر ۰/۲۷ و دقت P برابر با ۰/۸۹ در اولویت دوم قرار گرفت. نتیجه‌ی این پژوهش با نتایج شادفر و همکاران [۸]، در شهرستان رامسر، کریمی‌سنگچینی [۱۱] در حوزه‌ی چهل‌چای، یالسن [۱۹] و محمدی و همکاران [۱۰] در استان مازندران، هم‌خوانی دارد و همچنین پژوهش حاضر با نتایج پژوهش کرنژادی [۱۳] در آبخیز زیارت‌گرگان برای ارزیابی کارایی مدل‌ها با شاخص دقت (Qs) و (Dr) در یک راستا است. همچنین با نتایج پژوهش یمانی و شادفر [۷]، در حوزه‌ی جلیسان استان مازندران، شیرانی و سیف [۱۲] در منطقه‌ی پیشکوه شهرستان فریدون‌شهر هم‌خوانی ندارد. با توجه به شاخص نسبت تراکمی (Dr) در هر دو نقشه‌ی خطر لغزش، درجه‌ی خطر افزایش می‌یابد و تفکیک‌پذیری بین کلاس‌های خطر قابل قبول و افزایش یافته است که با پژوهش شیرانی و سیف [۱۲] در یک راستا است.

تجزیه و تحلیل نقش هر یک از عوامل در وقوع زمین‌لغزش، در مدل آماری دو متغیره بر اساس وزن‌دهی AHP، نشان داد که به ترتیب عوامل بارش، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و شیب دارای بیشترین اهمیت بوده‌اند، که با نتایج کریمی سنگ‌چینی و همکاران [۱۱]، در یک راستاست. درحالی‌که با نتایج پژوهش کرنژادی و همکاران [۱۳] هم‌خوانی ندارد؛ علت این امر را می‌توان به تفاوت در لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در پهنه‌بندی، تفاوت در تعداد نقاط لغزشی، تفاوت در محدوده‌ی مطالعاتی و مساحت منطقه‌ی مطالعاتی نسبت داد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش عظیم‌پور و همکاران [۹] در حوزه‌ی آبخیز اهرچای به لحاظ تفاوت در خصوصیات دو منطقه‌ی مورد مطالعه، متفاوت است. در روش AHP نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش بر اساس مشاهدات میدانی، ۱۱۰ مورد زمین‌لغزش در آبخیز زیارت استان گلستان شناسایی و نقشه‌ی پراکنش و نیز مساحت آن‌ها تهیه شد. سپس بر اساس چهار عامل مؤثر بر زمین‌لغزش از جمله بارش، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و زمین‌شناسی در قالب لایه‌های مختلف اطلاعاتی، با احتمال وقوع زمین‌لغزش بسیار زیاد تا کم پهنه‌بندی گردید. مناطق با خطر بسیار زیاد در مدل آماری دو متغیره‌ی تراکم سطح وزن‌دهی شده با AHP در قسمت میانی (روستا، اطراف رودخانه) و خروجی محدوده‌ی مطالعاتی واقع

variate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*, (72), 1-12.

۲۰. مهندسین مشاور پژوهاب شرق گلستان (۱۳۸۸). طرح تفصیلی اجرایی حوزه‌ی آبخیز زیارت. جلد اول، مطالعات پایه، بخش زمین‌شناسی، ۱۴ - ۲۵.

21. Varnes, D.J. (1984). *Landslide hazard zonation: A review of Principles and Practice*. UNESCO, France, Issue 19.
22. Kelarestaghi, A. and Ahmadi, H. (2009). Landslide susceptibility analysis with a bivariate approach and GIS in Northern Iran. *Arab J Geosci*, (2), 95 - 101.
23. Luzi, L., Pergalani, F. and Terlien, M.T.J. (2000). Slope vulnerability to earthquakes at subregional scale, using probabilistic techniques and geographic information systems. *Eng Geol*, (58), 313 - 336.
24. Donati, L. and Turrini, M.C. (2002). An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina, Perugia, Italy). *Eng Geol*, (63), 277 - 289.
25. Saaty, T.L. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.
26. Gee, M.D. (1991). Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability. *Landslides*, Bell (ed.), Balkema, Rotterdam, 947- 952.

استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه‌ی موردی: محدوده مسیر سنج دهگلان). فصلنامه‌ی زمین‌شناسی ایران، ۳ (۱۱)، ۲۷-۳۷.

۶. اونق، مجید (۱۳۸۸). الزامات آمایشی مدیریت پایدار خطرات طبیعی در مقیاس آبخیز، یک مدل خطرمدار پیشنهادی، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران گرگان، ص ۱۰۳.
۷. یمانی، مجتبی؛ شادفر، صمد (۱۳۸۶). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه‌ی آبخیز جلیسبان با استفاده از مدل LNRF. پژوهش‌های جغرافیایی، (۶۲)، ۱۱ - ۲۳.
۸. شادفر، صمد؛ قدوسی، جمال؛ خلخالی، سید علی؛ کلارستانی، عطاءاله (۱۳۸۷). بررسی و ارزیابی روش‌های آماری دو متغیره و LNRF در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز جنت رودبار. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، (۷۴)، ۵۷ - ۷۴.
۹. عظیم‌پور، علیرضا؛ صدوق، حسن؛ دلال اوغلی، علی؛ ثروتی، محمدرضا (۱۳۸۸). ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه (مطالعه‌ی موردی حوزه‌ی آبریز اهرچای). فضای جغرافیایی، جلد نهم، (۲۶)، ۷۱ - ۸۷.
۱۰. محمدی، مجید؛ مرادی، حمیدرضا؛ فیض‌نیا، سادات؛ پورقاسمی، حمیدرضا (۱۳۸۸). تهیه‌ی نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل تراکم سطح و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی سامانه‌ها. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۲۴۸، ۲۵۸.
۱۱. کریمی‌سنگ‌چینی، ابراهیم؛ اونق، مجید؛ سعدالدین، امیر (۱۳۹۱). مقایسه‌ی کارایی ۴ مدل کمی و نیمه کمی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه‌ی آبخیز چهل چای، استان گلستان. پژوهش‌های آب و خاک، جلد نوزدهم، (۱)، ۱۸۳ - ۱۹۶.
۱۲. شیرانی، کوروش؛ سیف، عبدالله (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقه‌ی پیشکوه، شهرستان فریدون‌شهر). علوم زمین، سال بیست و دوم، (۸۵)، ۱۴۹ - ۱۵۸.
۱۳. کرنزادی، آیدینگ (۱۳۹۲). ارزیابی خطر، خسارت و برنامه مدیریت زمین‌لغزش حوزه‌ی آبخیز زیارت. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، شهرستان گرگان.
14. Anbalagan, R. (1992). Landslide hazard development and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology*, 32(2), 269-277.
15. Guzzetti, F., Cardinali, M., Relchenbach, P., Carrara, A. 2000. Comparing landslide maps: A case study in the upper tiber river basin, Central Italy *Environmental Management*, 25 (3), 247-263.
16. Komac, M. 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, (74), 17-28.
17. Dymond, J.R., A.G. Ausseeil, J.D. Shepherd and L. Buettner. (2006). Validation of a Region- Wide Model of Landslide Susceptibility in the Manawatu-Wanganui Region of New Zealand. *Geomorphology*, (74), 70-79.
18. Romondo, j., Bonachea, j., cendrene, A. (2007). Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of re-occurrences *Geomorphology*.
19. Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bi-