

# پهنه‌بندی خطر و خسارت زمین لغزش

## مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز زیارت، استان گلستان

آیدینگ کرنژادی\* - دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان؛ akornegady@yahoo.com

مجید اونق - استاد، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

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

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۲۴

### چکیده

تحقیق پیش‌رو بر تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر و خسارت زمین لغزش در حوضه‌ی آبخیز بحرانی زیارت گرگان متمرکز شده است. نقشه‌ی شدت خسارت زمین لغزش از معادله‌ی وارنس (معادله‌ی عمومی ریسک) و از ترکیب سه نقشه‌ی خطر، عناصر در معرض خطر و درجه‌ی آسیب‌پذیری تهیه می‌شود. برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از دو روش آماری چند متغیره (رگرسیون لجستیک) و مدل LNRF استفاده شده است. پس از اعمال نرخ به طبقات پارامترها، نقشه‌ی شدت خطر زمین لغزش برای هر یک از مدل‌ها تهیه شد. مدل برتر به‌وسیله‌ی چهار شاخص جمع کیفیت‌ها (QS)، دقت نتایج پیش‌بینی شده (ROC, P) و آزمون کای اسکوئر انتخاب شد و مبنای تهیه‌ی نقشه‌ی خسارت قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که مدل رگرسیون لجستیک برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش کارایی بیشتری دارد و ۱۳/۶۲ درصد و ۹/۰۴ درصد از حوضه‌ی آبخیز زیارت شامل روستای زیارت. به ترتیب در پهنه‌ی خطر و خسارت زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند. واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، معادله‌ی وارنس، LNRF، رگرسیون لجستیک.

۵۱

شماره هفتم

بهار و تابستان  
۱۳۹۴

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



پهنه‌بندی خطر و خسارت زمین لغزش

## Landslide Risk and Hazard Zonation

### Case study: Ziarat Watershed- Golestan province

1- Aiding Kornejadi<sup>1</sup> 2- Majid Ownegh<sup>2</sup> 3- Amir Sadoddin<sup>3</sup>

#### Abstract

This paper has focused on landslide hazard and risk zonation in the critical Ziarat watershed. Varnes equation and combination of Hazard map, elements at risk map and vulnerability map were used in the preparation of the risk map. Two quantitative models, including multivariate statistical (logistic regression) and LNRF model were used in the preparation of the hazard map. After applying the rate to the classes of parameters, Landslide hazard zonation was prepared for each of the models. The prior model was selected using four indices, including Quality summation (Qs), Precision of the predicted results (P), Receiver Operating Characteristic (ROC) and Chi-Square test and used in preparation of risk zonation. Results indicated that the logistic regression model shows a better performance for landslide hazard zonation and 13.63 and 9.04 percent of Ziarat watershed –including Ziarat village– were located in a high and very high zone of hazard and risk maps respectively.

**Key words:** Zonation, Varnes equation, LNRF, Logistic regression.

<sup>1</sup> PhD Student of Arid Zone and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran; Email: akornegady@yahoo.com

<sup>2</sup> Prof., Dept of Arid Zone and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

<sup>3</sup> Assoc Prof., Dept of Arid Zone and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

## مقدمه

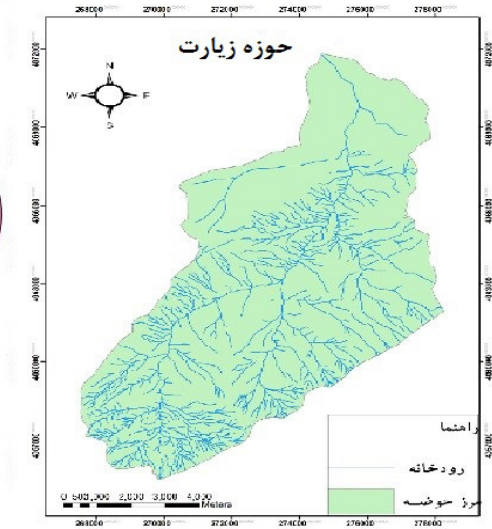
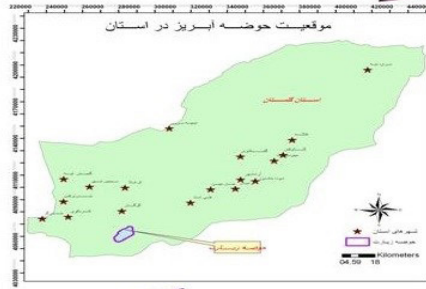
از حدود ۴۳ خطر طبیعی و تا حدی با دخالت انسانی تقریباً ۳۸ خطر در ایران شناسایی و ثبت شده و به دلیل تعدد، تنوع، تکرار و شدت وقوع خطرات طبیعی و ناآرامی محیطی، ایران در ردیف ۱۰ کشور بلاخیز جهان قرار گرفته است [۱۴]. حسین زاده و همکاران، با استفاده از ۷ عامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین شناسی، فاصله از گسل، تراکم زهکشی و فاصله از جاده به منزله‌ی متغیرهای مستقل به روش رگرسیون لجستیک خطر زمین لغزش را در مسیر سندیج - دهگلان در پنج کلاس خطر پهنه بندی نموده‌اند. در نهایت ارزیابی مدل با استفاده از سه شاخص شبه  $R^2$ ، کای اسکوئر و ROC انجام شده و نتایج مدل قابل قبول بوده است [۱]. شیرانی و همکاران، با استفاده از دو روش آماری دو متغیره (تراکم سطح و ارزش اطلاعاتی) و دو روش آماری چند متغیره (رگرسیون خطی و تحلیل ممیزی) و انتخاب هشت عامل کلیدی و زمینه ساز، توانایی زمین لغزش را پهنه بندی کرده‌اند و مبتنی بر دو شاخص «زمین لغزش»<sup>۱</sup> و «دقت نتایج پیش بینی شده»<sup>۲</sup>، روش آماری دو متغیره‌ی ارزش اطلاعاتی به منزله‌ی مدل برتر انتخاب شده است [۳]. آنبالاگان و همکاران، با انتخاب هفت عامل کلیدی و زمینه ساز سنگ شناسی، مقدار شیب، رخساره‌ی شیب، گسل، کاربری اراضی، ارتفاع و هیدرولوژی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و استفاده از یک روش نرخ دهی مبتنی بر عامل ارزیابی خطر زمین لغزش در منطقه‌ی سوخیدهانگ هند، خطر زمین لغزش را پهنه بندی کرده‌اند. پس از تهیه‌ی نقشه‌ی زیان وارد شده به سازه‌های مهندسی و منابع طبیعی و انسانی، با استفاده از ایجاد ماتریس ارزیابی خسارت (RAM) و با ادغام دو نقشه‌ی پهنه بندی خطر زمین لغزش و زیان وارد شده، نقشه‌ی خسارت کلی زمین لغزش را تهیه نموده‌اند [۶]. لی و همکاران با مرور کلی پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌ی زمین لغزش، چارچوبی برای ارزیابی خطر، خسارت و مدیریت زمین لغزش شامل ۱. برنامه‌های پایش از جمله کاهش عناصر مورد انتظار در معرض خسارت؛ ۲. راه حل‌های مهندسی از جمله مجموعه اقدامات کاهش احتمالی وقوع زمین لغزش یا کاهش اثرات مخرب پس از وقوع؛ ۳. پذیرش خسارت در صورت اجتناب ناپذیر بودن واقعه و ۴. راهکارهای تسکینی و شبکه‌ی هشدار مانند تخلیه‌ی نسبی یا کامل مناطق ارائه داده‌اند [۱۳]. اسپیزوا و همکاران، با استفاده از تصمیم‌گیری کارشناسی و انتخاب چهار عامل کلیدی سنگ شناسی، بارندگی، زمین لرزه، پوشش گیاهی و در نظر گرفتن ارتباط عوامل با حجم زمین لغزش در حوضه‌ی مندوزای آرژانتین، خطر پتانسیل زمین لغزش را در سه کلاس خطر (کم، متوسط، زیاد) پهنه بندی کرده‌اند [۹]. ون وستن و همکاران، در تحقیق خود با پرده برداری از مشکلات موجود در زمینه‌ی ۱. کمی کردن ریسک زمین لغزش در مناطق بزرگ؛ ۲. تولید نقشه‌ی شواهد زمین لغزش حاوی اطلاعات زمان وقوع، نوع و حجم زمین لغزش؛ ۳. تعیین احتمال زمانی و مکانی زمین لغزش و ۴. مدل کردن کل پروسه‌ی زمین لغزش و ارزیابی آسیب پذیری منابع، هنوز ارائه‌ی نقشه‌های کمی پهنه بندی خسارت زمین لغزش را در مقیاس متوسط (۱:۵۰۰۰۰ - ۱:۱۰۰۰۰) توسط سازمان‌های

محلی، کاری دشوار می‌دانند [۱۵]. زیزره و همکاران، با استفاده از روش کمی (احتمالاتی) و برقراری همبستگی بین سری‌های زمانی زمین لغزش‌های پیشین و سری‌های زمانی بارندگی در شمال لیسبون پرتغال، خطر پتانسیل زمین لغزش را پهنه بندی کردند و بر اساس معادله‌ی عمومی ریسک، نقشه‌ی پهنه بندی خسارت زمین لغزش را تهیه و در نهایت هزینه‌ی مستقیم از سه نقشه‌ی خطر، آسیب پذیری عناصر و عناصر در معرض خطر را محاسبه کرده‌اند [۱۷]. انیشتین و همکاران، با انتخاب سه عامل زمینه ساز سن شناسی، گرادیان شیب و پوشش گیاهی و استفاده از یک شبکه‌ی نرخ دهی خطر در شهر باگیوی فیلیپین، نقشه‌ی خطر زمین لغزش را پهنه بندی کرده‌اند و با استفاده از معادله‌ی عمومی ریسک و عوامل کاربری اراضی و جمعیت و نرخ دهی (در بازه‌ی ۱-۰) به دو نقشه‌ی کاربری اراضی و تراکم جمعیت، نقشه‌ی شدت احتمالی خسارت زمین لغزش را تهیه کرده‌اند [۸]. کانلانگ و همکاران، اقدام به ساخت یک شبکه‌ی هشدار پویا (دینامیک) منطقه‌ای جی آی اسی - اینترنتی (Web-GIS) زمین لغزش نموده‌اند که با برقراری ارتباط آماری بین تعداد زمین لغزش‌ها و آمار روزانه‌ی بارندگی در استان ژیجیانگ چین، قادر به ارسال هشدار به کاربران است؛ همچنین کاربران قادر به استفاده از اطلاعات زمین لغزش‌های موجود در این پایگاه اطلاعاتی هستند. در نهایت با به روزرسانی اطلاعات موجود در این پایگاه (با دریافت نقشه‌های پیش بینی روزانه‌ی بارندگی از سازمان هواشناسی) و تهیه‌ی پراکنش عوامل آسیب پذیر، با استفاده از معادله‌ی عمومی ریسک  $R = \sum HEV$ ، خسارت اکولوژیک زمین لغزش محاسبه شده است [۱۲]. جیان و همکاران، با انتخاب هفت عامل کلیدی و زمینه ساز سنگ شناسی، درجه‌ی شیب، ارتفاع، شاخص نرمال شده‌ی تفاوت پوشش گیاهی (NDV)<sup>۳</sup>، شبکه‌ی زهکشی، بافر راندگی‌ها و نقشه‌ی خطواره‌ها (حاصل از پایش و ارزیابی تصاویر ماهواره‌ای سنگ شناسی) و رودخانه‌ها و نرخ دهی و وزن دهی کارشناسی (مبتنی بر باز دیده‌های میدانی) و تولید نقشه‌ی شاخص خطر زمین لغزش، از روی هم گذاری نقشه‌ی پارامترها در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS) و تهیه‌ی هیستوگرام حاصل از آن، نقشه‌ی خطر زمین لغزش را پهنه بندی کردند. همچنین در این پژوهش اعتبارسنجی کلاس‌های خطر مبتنی بر انطباق با نقشه‌ی شواهد زمین لغزش انجام شده است [۱۱].

## روش تحقیق و ابزارها

### منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه‌ی مورد مطالعه از حوزه‌های کوهستانی کشور با وسعت ۹۱۴۸ هکتار در محدوده‌ی جغرافیایی "۱' ۳۷' ۳۶° تا "۵۵' ۴۵' ۳۶° عرض شمالی و "۴۷' ۲۳' ۵۴° تا "۱۱' ۳۱' ۵۴° طول شرقی واقع شده است. این حوزه از لحاظ تقسیمات سیاسی در جنوب شهرستان گرگان قرار گرفته و یکی از زیرحوزه‌های حوضه‌ی آبخیز قره‌سو به شمار می‌رود (تصویر ۱). به طوری که حداقل ارتفاع ۵۵۸ متر و حداکثر آن ۳۰۲۷ متر از سطح دریا است. آبراهه‌ی اصلی حوضه‌ی آبخیز زیارت با جهت کلی جنوب غربی به شمال



تصویر ۱: نقشه‌ی موقعیت حوضه‌ی آبخیز زیارت در استان گلستان ایران

به صورت پهنه‌ای تهیه گردید. برای انتخاب پهنه‌ی عوامل، از ابزار تحلیل عامل‌های اصلی (PCA) در نرم‌افزار IDRISI استفاده شد.

### پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با مدل L<sup>5</sup>NRF

مدل L<sup>5</sup>NRF ابتدا توسط گوپتا و جوشی ارائه گردید که مدلی غیر وزنی است و مبنای نرخ‌دهی به طبقات عوامل در آن بر اساس الگوریتم محاسباتی تقسیم و به صورت رابطه‌ی ۱ است [۱۰].

$$\text{رابطه‌ی ۱: } LNR F = \frac{A}{A}$$

که در آن A برابر با سطح لغزش رخ داده در هر طبقه از نقشه‌ی عامل و  $\bar{A}$  برابر با میانگین سطح لغزش رخ داده در کل طبقات نقشه‌ی عامل است. به عبارت دیگر منطق محاسباتی نرخ‌دهی در مدل غیر وزنی L<sup>5</sup>NRF، تقسیم است. در این تحقیق پس از نرخ‌دهی به طبقات ۱۰ عامل مؤثر در زمین لغزش، نقشه‌ی عوامل در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی جمع شد و نقشه‌ی خطر تهیه شد و بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در پنج کلاس خطر (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه‌بندی گردید.

نزولات جوی را جمع‌آوری می‌کند. در این حوزه میانگین بارندگی سالانه برابر ۵۵۰/۲۸ (با استفاده از روش معکوس فاصله) است که ماه آذر با ۴۹/۰۳ میلی‌متر بارندگی بیشترین میزان و ماه مرداد با ۱۸/۵۸ میلی‌متر بارندگی کمترین میزان بارندگی را در حوزه به خود اختصاص می‌دهند. متوسط دما ۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است. بر اساس مطالعات فیزیوگرافی حوضه‌ی آبخیز زیارت به شش زیرحوضه‌ی فرعی سوتنه‌رود، آبشار، سفید آب، ناتکه، خالوده و میدان تقسیم شده است. شیب متوسط حوزه ۴۸/۱۸ درصد است که مقدار بالای آن در رسوب‌دهی و ایجاد انواع فرسایش و حرکات توده‌ای نقش زیادی دارد. سازندهای سنگی حوضه‌ی آبخیز زیارت شامل سازند خوش بیلاق، لار، دونین - کربونيفر، مبارک، شمشک و شیبست گرگان است. گونه‌های مرتعی چون بروموس - آچپلا، جانیپروس سابین و گونه‌های جنگلی مانند توسکا، ممرز، بلوط، راش، انجیلی و نمدار رویشگاه حوزه را تشکیل داده‌اند و سطح حوضه‌ی آبخیز از کاربری‌های جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، باغات، دیمزارهای رها شده و مناطق مسکونی پوشیده شده است.

### تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش، انتخاب و طبقه‌بندی عوامل مؤثر

یکی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی خطر زمین لغزش، شناسایی و تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش‌های موجود در حوزه است. بدین منظور از طریق نرم‌افزار Google Earth، انجام بازدیدهای میدانی در حوزه، استفاده از اطلاعات و راهنمای محلی و دستگاه GPS، نقشه‌ی شواهد زمین لغزش‌های حوضه‌ی آبخیز زیارت

## پهنه بندی خطر زمین لغزش با مدل رگرسیون چند متغیره‌ی لجستیک

در این روش از تلفیق نقشه‌های عوامل مختلف، نقشه‌ی واحدهای همگن تهیه گردید. بعد از قطع دادن نقشه‌ی واحدهای همگن با نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش، واحدهای دارای لغزش مشخص گردید و به تمام واحدهای همگن دارای لغزش کد ارزشی ۱ و فاقد لغزش کد ارزشی صفر داده شد [۵]. سپس با محاسبه‌ی درصد تراکم سطحی زمین لغزش در هر طبقه (تراکم سطحی لغزش‌ها در هر طبقه تقسیم بر تراکم سطحی لغزش در کل حوزه) به طبقات پارامترها نرخ دهی شد [۴]. بود یا نبود زمین لغزش در واحدهای همگن به منزله‌ی متغیر وابسته و ۱۰ عامل مؤثر دیگر به منزله‌ی متغیرهای مستقل وارد ابزار رگرسیون لجستیک در نرم‌افزار IDRISI شدند. رابطه‌ی رگرسیون لجستیک به صورت رابطه‌ی ۲ است [۷].

رابطه‌ی ۲:

$$Y = \log(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n$$

در این رابطه P احتمال متغیر وابسته‌ی (Y) و  $\left(\frac{p}{1-p}\right)$  نیز نسبت احتمال یا عدم توافق،  $\beta$  عدد ثابت،  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  ضرایب هستند (که اندازه و مقدار مشارکت عوامل مستقل  $X_1, X_2, \dots, X_n$  را در متغیر وابسته نشان می‌دهند). بهترین معادله بین عوامل مؤثر وجود و عدم وجود زمین لغزش و همچنین نقشه‌ی خطر زمین لغزش در نرم‌افزار IDRISI تهیه شد و بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در پنج کلاس خطر (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه بندی گردید.

## ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش

شاخص نسبت تراکم برای مقایسه‌ی کلاس‌های خطر در هر یک از نقشه‌ها به طور مستقل با رابطه‌ی زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

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

که در آن Dr تراکم لغزش در هر کلاس خطر، Ai مساحت i امین کلاس خطر در یک نقشه‌ی پهنه بندی، Si مجموع مساحت زمین لغزش‌های رخ داده در هر کلاس خطر و n تعداد کلاس‌های خطر است. هر چه تفکیک بین کلاس‌های خطر توسط شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، نقشه از کارایی بیشتری برخوردار است. مقدار جمع مطلوبیت نشان دهنده‌ی مطلوبیت عملکرد مدل در پیش بینی خطر رانش زمین در منطقه است. معمولاً مقدار این شاخص برای مدل‌های مختلف در گستره‌ی ۰ تا ۷ قرار می‌گیرد، اگرچه از لحاظ تئوریک حدی برای آن وجود ندارد. در ارزیابی مدل‌ها هرچه مقدار جمع مطلوبیت بیشتر باشد، روش از

مطلوبیت بیشتری در تفکیک برخوردار است. مقدار جمع مطلوبیت از رابطه‌ی ۴ به دست می‌آید [۲].

رابطه‌ی 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.

برای مقایسه‌ی نقشه‌های پهنه بندی تهیه شده، عامل دقت نتایج پیش بینی شده (P) مورد توجه قرار گرفت. این عامل از رابطه‌ی ۵ قابل محاسبه است.

$$\text{رابطه‌ی ۵: } P = \frac{Ks}{S}$$

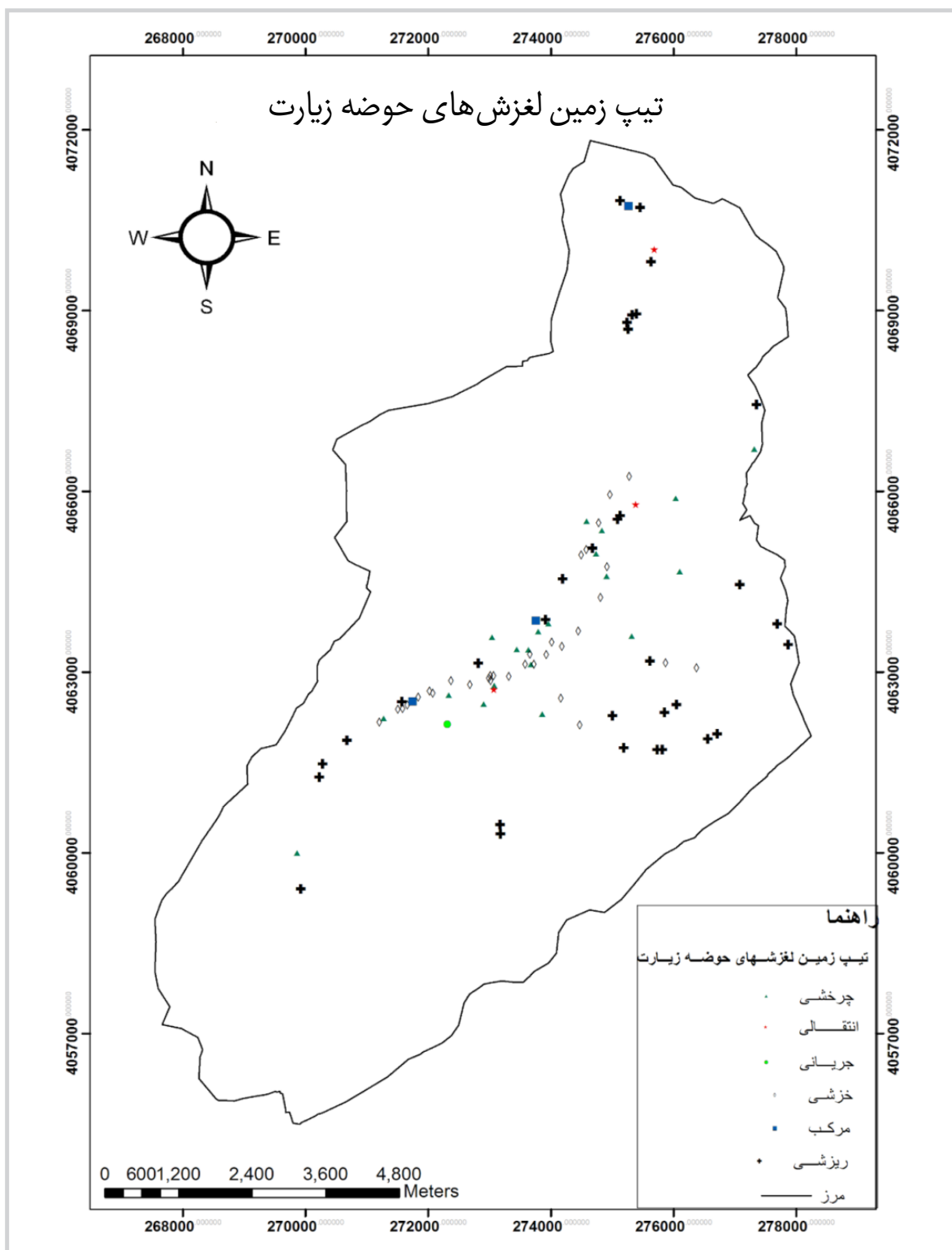
که در این رابطه P دقت نتایج پیش بینی شده، Ks مساحت لغزش یافته در کلاس‌های خطر متوسط به بالا و S مساحت کل زمین لغزش‌های منطقه است.

شاخص ROC<sup>۷</sup> مشخصه‌ی عملکرد نسبی هر مدل است. این شاخص از روی منحنی ROC محاسبه می‌گردد. منحنی ROC نموداری است که در آن نسبت پیکسل‌هایی که وقوع یا عدم وقوع زمین لغزش در آن‌ها توسط مدل به درستی پیش بینی شده (مثبت درست)<sup>۸</sup> در برابر مقدار مکمل آن یعنی نسبت پیکسل‌هایی که نادرست پیش بینی شده‌اند (مثبت غلط)<sup>۹</sup> ترسیم می‌گردد. این شاخص در نرم‌افزار IDRISI بین نقشه‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش و نقشه‌ی وجود و عدم وجود زمین لغزش محاسبه شد. مدلی که بیشترین مقدار شاخص ROC - بیشترین مساحت زیر نمودار ROC حاصل از اتصال نقاط متناظر با آزمایش‌های مکرر - را دارا باشد دارای عملکرد نسبی بالاتری است.

آزمون کای اسکوتر (خی دو) یک آزمون ناپارامتری است و بر مبنای فراوانی مشاهده شده و فراوانی مورد انتظار به بررسی تفاوت بین مقادیر دو یا چند جامعه می‌پردازد که در اینجا برای ارزیابی تفکیک مناسب و معنادار کلاس‌های خطر و خسارت در سطح خطای ۵ درصد از آن استفاده شده است.

## ارزیابی خسارت زمین لغزش

خسارت کلی زمین لغزش با معادله‌ی عمومی ریسک  $R = \sum HEV$  برآورد می‌شود [۱۶]. که در آن R خسارت، H بزرگی خطر، E عناصر در معرض خطر و V درجه‌ی آسیب پذیری عناصر است. عناصر خسارت در این مطالعه شامل جاده‌ها، ساختمان‌ها، پراکنش جمعیت و منابع طبیعی (کاربری‌های جنگل، مرتع و زراعت و چشمه) هستند. دیگر عناصر آسیب پذیر مانند شبکه‌های برق و تلفن نیز هزینه‌های غیرمستقیم هستند و محاسبه‌ی میزان خسارت ناشی از آن‌ها نیز مشکل است. برای ارزیابی خسارت، پلی‌گون‌های کوچک‌تر از ۵ هکتار در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در نقشه‌ی خطر مدل برتر در پلی‌گون‌های همگن نزدیک‌تر و بزرگ‌تر ادغام شدند و در نهایت ۶۶ واحد با کلاس خطر متفاوت استخراج شد که این نقشه مبنای ارزیابی خسارت زمین لغزش در حوزه‌ی مورد مطالعه شد.



تصویر ۲: نقشه‌ی پراکنش شواهد زمین لغزش حوضه‌ی آبخیز زیارت

## نتایج و بحث

### نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش حوزه

به طور کلی ۹۲ زمین لغزش به مساحت ۲۶/۱۶ هکتار در این حوزه ثبت شد. این تعداد با استفاده از طبقه بندی وارنس به ۶ تیپ چرخشی (۲۰ عدد به مساحت ۴/۸۹ هکتار)، انتقالی (۳ عدد

به مساحت ۰/۵۷ هکتار)، خزشی (۳۲ عدد به مساحت ۶/۷۲ هکتار)، ریزشی (۳۳ عدد به مساحت ۱۰/۷۳ هکتار)، جریان‌ی (۱ عدد به مساحت ۰/۱۵ هکتار) و مرکب (۳ عدد به مساحت ۳/۱۹ هکتار) تقسیم بندی شدند (تصویر ۲).

۵۵

شماره هفتم

بهار و تابستان  
۱۳۹۴

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی





جدول ۱: ماتریس ارزیابی همبستگی عوامل مؤثر در زمین لغزش

ماتریس ارزیابی	جهت شیب	ارتفاع از سطح دریا	فاصله از گسل	زمین شناسی	کاربری اراضی	مقدار بارندگی	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	درصد شیب	خاک
جهت شیب	۱	۰/۸۱	۰/۶۸	۰/۷	۰/۵۵	۰/۶۶	۰/۶۳	۰/۸	۰/۸۲	۰/۷۲
ارتفاع از سطح دریا	۰/۸۱	۱	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۶۷	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۶۶
فاصله از گسل	۰/۶۸	۰/۶۷	۱	۰/۷۷	۰/۴۸	۰/۷۳	۰/۶۳	۰/۷۱	۰/۷۴	۰/۶۷
زمین شناسی	۰/۷	۰/۷۱	۰/۷۷	۱	۰/۵۱	۰/۶۶	۰/۴۷	۰/۶۹	۰/۷۳	۰/۵۶
کاربری اراضی	۰/۵۵	۰/۶۷	۰/۴۸	۰/۵۱	۱	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۴۴	۰/۵	۰/۵
مقدار بارندگی	۰/۶۶	۰/۴۵	۰/۷۳	۰/۶۶	۰/۳۷	۱	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۶۶	۰/۶۵
فاصله از رودخانه	۰/۶۳	۰/۵۵	۰/۶۳	۰/۴۷	۰/۳۱	۰/۶۸	۱	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۷
فاصله از جاده	۰/۸	۰/۸۳	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۴۴	۰/۶۲	۰/۶۷	۱	۰/۸۵	۰/۷۸
درصد شیب	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۵	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۸۵	۱	۰/۷۶
خاک	۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۵۶	۰/۵	۰/۶۵	۰/۷	۰/۷۸	۰/۷۶	۱

تیپ خاک است. نرخ دهی به طبقات پارامترها بر اساس الگوریتم محاسباتی تقسیم در روش LNRFL انجام شد و در نهایت عوامل با هم جمع شدند. نتایج پهنه بندی خطر زمین لغزش دو مدل مذکور در جدول ۲ و تصاویر ۳ و ۴ ارائه شده است

### مقایسه‌ی روش‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش

از انطباق نقشه‌های خطر زمین لغزش مدل‌های مختلف با نقشه‌ی شواهد زمین لغزش، شاخص‌های QS و P محاسبه شد (جدول ۳). پس از امتیازدهی به شاخص‌های کارایی در هر مدل، مدل رگرسیون لجستیک با امتیاز بیشتر، به منزله‌ی مدل برتر انتخاب شد.

با مروری بر ضرایب تأثیر عوامل در روش رگرسیون لجستیک، مشخص می‌شود که احتمال وقوع زمین لغزش با افزایش ارتفاع، مقدار بارندگی و شیب تا مقادیر بحرانی در حوزه رابطه‌ی مستقیم دارد که با نظرهای کارشناسی نیز هم‌راستا است. مثبت بودن ضریب برخی از عوامل نظیر فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و فاصله از جاده در نگاه اول کمی مبهم است و با نظرهای کارشناسی هم‌راستا نیست، ولی با بررسی دوباره‌ی نقشه‌های اولیه به دلیل آن پی برده می‌شود. بخش اعظم رودخانه‌ها در حوضه‌ی آبخیز زیارت در مناطق فاقد زمین لغزش انشعاب دارند و تنها بخش کوچکی از آن (شاخه‌ی اصلی) در محل تمرکز زمین لغزش‌ها قرار دارد. با بررسی نقشه‌ی پراکنش زمین لغزش و گسل معلوم می‌شود که تمرکز زمین لغزش‌ها در فواصلی دورتر از گسل‌ها بوده است؛ بنابراین بدیهی است که با فاصله گرفتن از آن، احتمال وقوع زمین لغزش افزایش یابد. دلیل مثبت بودن ضریب تأثیر عامل فاصله از جاده را می‌توان مساحت بالایی طبقه‌ی آخر (بیشتر از ۵۰۰ متر) و به تبع آن بالا بودن مساحت زمین لغزش‌ها در این طبقه دانست. از طرف دیگر درهم‌کنش و ارتباط عوامل مختلف و

### انتخاب و طبقه بندی عوامل مؤثر

برای تعیین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش از روش PCA استفاده شد. اساس این روش برقراری همبستگی بین نقشه‌ها است. نقشه‌های با همبستگی بالا، سبب ایجاد آریبی در نتیجه‌ی نهایی پهنه بندی می‌شوند. بنابراین باید عواملی با همبستگی بالای ۹۰ درصد شناسایی و در صورت لزوم یک یا هر دوی آن‌ها با نظر کارشناسی و بررسی اهمیت آن عامل، حذف شود (جدول ۱). همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین و کمترین همبستگی به ترتیب بین عامل فاصله از جاده و شیب ۸۵ درصد و فاصله از رودخانه و کاربری اراضی ۳۱ درصد است. بنابراین با توجه به PCA انجام شده، استفاده از ۱۰ عامل زمین شناسی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، بافت خاک، کاربری اراضی و مقدار بارش بلامانع است.

### نقشه‌ی خطر زمین لغزش تهیه شده با مدل‌های مختلف

در مدل رگرسیون لجستیک پس از معرفی عوامل مستقل (۱۰ پارامتر مدل) و عامل وابسته (واحد‌های همگن دارای کد زمین لغزشی ۰ و ۱) به نرم‌افزار IDRISI بهترین معادله به دست آمد (رابطه‌ی ۶).

$$Y = -5.6331 + (0.0154 \times A) + (0.0237 \times D) + (0.0179 \times F) + (0.0787 \times G) + (0.0172 \times L) + (0.0216 \times P) + (0.045 \times R_1) + (0.0244 \times R_0) + (0.0246 \times S_1) - (0.0364 \times S_0)$$

که در آن Y عامل وابسته (زمین لغزش)، A جهت شیب، D ارتفاع، F فاصله از گسل، G سنگ شناسی، L کاربری اراضی، P بارندگی، R<sub>۱</sub> فاصله از رودخانه، R<sub>۰</sub> فاصله از جاده، S<sub>۱</sub> شیب و S<sub>۰</sub>

جدول ۲: مساحت لغزش رخ داده در طبقات عوامل و محاسبه‌ی نرخ هر طبقه به روش LNRF و رگرسیون لجستیک

عامل	طبقات	مساحت لغزش در طبقه (هکتار)	لجستیک	LNRF	پارامتر	طبقات	مساحت لغزش در طبقه (هکتار)	لجستیک	LNRF
فاصله از رودخانه	۰-۵۰	۱۲/۴۹	۲۵/۹۸	۳/۳۴	کاربری اراضی	مسکونی	۱/۱۲	۵۵/۵۱	۰/۳۴
	۵۰-۱۰۰	۶/۰۱	۱۸/۷۳	۱/۶۱		زراعت غیر دیم	۲/۸۵	۱۵/۰۲	۰/۸۷
	۱۰۰-۱۵۰	۲/۵	۱۲/۸۷	۰/۶۷		زراعت دیم	۰	۰	۰
	۱۵۰-۲۰۰	۱/۴۳	۱۱/۵۴	۰/۳۸		جنگل با تاج پوشش کم	۹/۰۹	۱۵/۷۹	۲/۷۸
	۲۰۰-۳۰۰	۲/۷	۲۰/۱۳	۰/۷۲		جنگل با تاج پوشش متوسط	۱/۵۸	۷/۷۲	۰/۴۸
	۳۰۰-۴۵۰	۰/۷۵	۸/۰۵	۰/۲		جنگل با تاج پوشش انبوه	۱۱/۵۱	۵/۹۴	۳/۵۲
	۴۵۰<	۰/۲۹	۲/۶۸	۰/۰۸		مرتع ضعیف	۰	۰	۰
						مرتع خوب	۰	۰	۰
	۰-۲	۰/۳۵	۲۵/۳۳	۰/۱۲		۲۷۷-۳۱۰/۴	۰	۰	۰
	۲-۵	۱/۲۲	۱۰/۳۸	۰/۴۲		۳۱۰/۴-۳۴۳/۲	۱/۹۷	۳/۸۸	۰/۶۸
شیب	۵-۸	۵/۰۲	۱۷/۹۶	۱/۷۲	مقدار بارندگی	۳۴۳/۲-۳۷۵/۹	۲/۰۷	۵/۲	۰/۷۱
	۸-۱۲	۷/۱۴	۱۲/۶۱	۲/۴۶		۳۷۵/۹-۴۰۸/۷	۳/۲۸	۸/۹۸	۱/۱۳
	۱۲-۱۵	۴/۷۶	۱۲/۵۱	۱/۶۴		۴۰۸/۷-۴۴۱/۴	۸/۱۸	۲۳/۹۷	۲/۸۱
	۱۵-۲۰	۵/۰۳	۱۱/۳۷	۱/۷۳		۴۴۱/۴-۴۷۴/۲	۶/۴۸	۲۳/۰۱	۲/۲۳
	۲۰-۳۰	۲/۲۷	۵/۸۲	۰/۷۸		۴۷۴/۲-۵۰۶/۹	۱/۷۷	۱۱/۵۶	۰/۶۱
	۳۰-۶۵	۰/۳۸	۳/۹۹	۰/۱۳		۵۰۶/۹-۵۳۹/۷	۲/۰۸	۲۰/۴۷	۰/۷۱
	۶۵<	۰	۰	۰		۵۳۹/۷-۷۰۰	۰/۳۵	۲/۸۹	۰/۱۲
						F	۰	۰	۰
	۰-۵۰۰	۳/۸۷	۱۳/۰۱	۰/۷۴		N	۷/۳۱۱	۲۰/۸۴	۱/۳۹۷
	۵۰۰-۱۳۰۰	۸/۱۷	۲۲/۲۱	۱/۵۶		S	۰/۶۵۷	۷/۷۲	۱/۸۰۱
فاصله از گسل	۱۳۰۰-۲۳۰۰	۱۳/۹۸	۶۳/۵۱	۲/۶۷	جهت شیب				
	۲۳۰۰-۳۵۰۰	۰/۱۵	۱/۲۵	۰/۰۳		W	۸/۶۶۱	۳۳/۳۴	۰/۱۲۵
	۳۵۰۰<	۰	۰	۰		E	۹/۴۲۵	۳۸/۰۸	۱/۶۵۵
	۵۵۸-۶۰۰	۰	۰	۰		Cml	۸/۲۹	۳۲/۱۸	۳/۴۸
	۶۰۰-۱۲۰۰	۱۰/۰۱	۴۷/۹۴	۱/۹۱		Dkh	۱/۰۷	۰	۰/۴۵
ارتفاع از سطح دریا	۱۲۰۰-۱۸۰۰	۱۳/۵۱	۳۹/۲۴	۲/۵۸	زمین شناسی	Gib	۰	۲/۱۷	۰
	۱۸۰۰-۲۲۰۰	۱/۴۷	۸/۱۴	۰/۲۸		Jl1	۰	۰	۰
	۲۲۰۰-۳۰۲۷	۱/۱۷	۴/۶۶	۰/۲۲		Jsl s.sh	۱۲/۴۵	۲۵/۵۳	۵/۲۳
	۰-۷۵	۴/۴۶	۲۷/۵	۱/۰۲		Kul ml	۰/۵۹	۰	۰/۲۵
	۷۵-۱۵۰	۲/۸۶	۱۹/۸۲	۰/۶۶		Osch	۰/۲	۸/۷	۰/۰۸
فاصله از جاده	۱۵۰-۲۲۵	۲/۶۴	۱۹/۶۱	۰/۶۱	زمین شناسی	Pdl	۱/۸۷	۲۸/۰۲	۰/۷۸
	۲۲۵-۳۰۰	۱/۸۸	۱۵/۰۴	۰/۴۳		Pr	۱/۷۱	۲/۸۳	۰/۷۲
	۳۰۰-۵۰۰	۱/۸۴	۶/۴	۰/۴۲		QLC	۰	۰/۵۴	۰
	۵۰۰<	۱۲/۴۷	۱۱/۶۲	۲/۸۶		Qal	۰	۰	۰

۵۷

شماره هفتم  
بهار و تابستان  
۱۳۹۴

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی

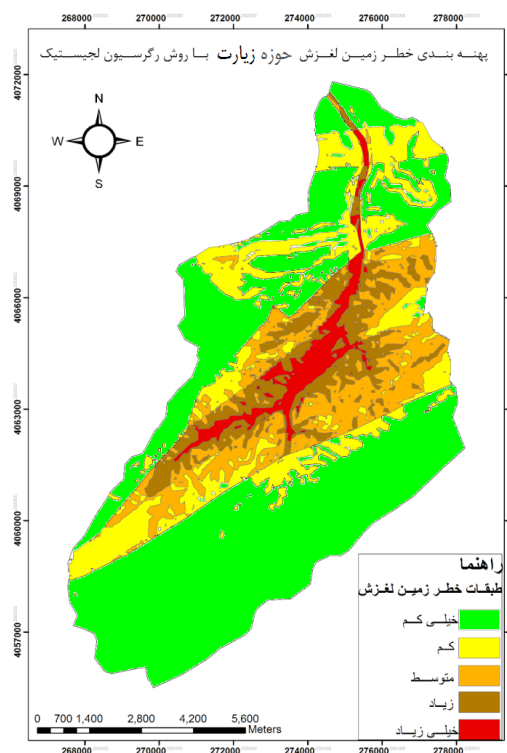


پهنه بندی خطر و خسارت زمین لغزش

عامل	طبقات	مساحت لغزش در طبقه (هکتار)	لجستیک	LNRF	پارامتر	طبقات	مساحت لغزش در طبقه (هکتار)	لجستیک	LNRF
بافت خاک	سیلتی - لومی	۰	۰	۰					
	سیلتی - رسی - لومی	۷/۷۳	۶۰/۲۸	۱/۱۸					
	لومی - رسی	۱۲/۵۶	۲۹/۷۸	۱/۹۲					
	شنی - لومی	۵/۸۸	۹/۹۲	۰/۹					

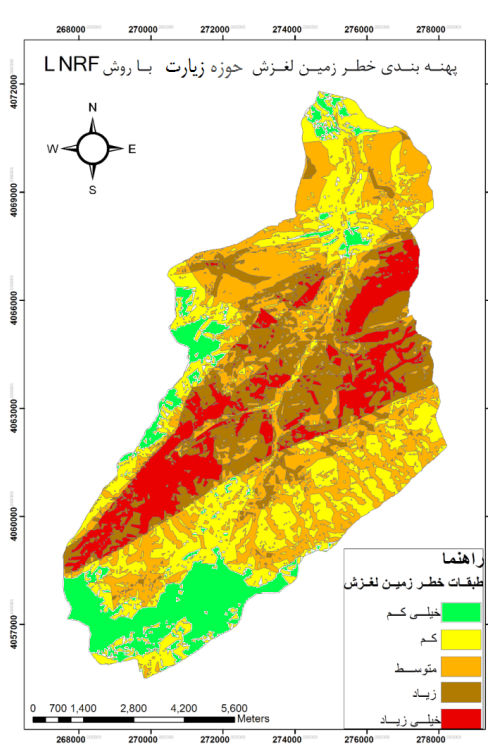
جدول ۳: رتبه بندی کارایی مدل های پهنه بندی خطر زمین لغزش

رتبه ی کل	ROC		P		Qs		کای اسکوئر (Chi <sup>2</sup> )		امتیاز
	مقدار	مدل	مقدار	مدل	مقدار	مدل	مقدار	مدل	
۱	۸۶	رگرسیون لجستیک	۹۳	LNRF	۲/۲۲۳	رگرسیون لجستیک	۷۲۲۹/۵۶	رگرسیون لجستیک	
۲	۸۴	LNRF	۸۴/۴	رگرسیون لجستیک	۱/۲۵۴	LNRF	۷۶۷/۴۸	LNRF	



تصویر ۴: نقشه ی خطر زمین لغزش در حوضه ی آبخیز زیارت با مدل رگرسیون لجستیک

نیاز برای شناسایی عوامل در معرض خطر (E)، از منابع اطلاعاتی متفاوتی استخراج گردید. به طوری که سطح اراضی زراعی، مراتع و جنگل ها از نقشه ی کاربری اراضی، تعداد اماکن مسکونی و طول جاده ها از تصاویر Google Earth، نقشه ی چشمه ها از اطلاعات اداره ی آب منطقه ای شهرستان گرگان و نقشه ی تراکم جمعیت سیار و ساکن از اطلاعات اداره ی خانه ی بهداشت روستای زیارت



تصویر ۳: نقشه ی خطر زمین لغزش در حوضه ی آبخیز زیارت با مدل LNRF

در برخی موارد غلبه ی یک عامل به سایر عوامل، پیچیدگی بالای شبکه را یادآور می شود. بنابراین تفسیر نتایج را مشکل می سازد. مدل رگرسیون لجستیک با در نظر گرفتن این ارتباط درونی بین عوامل تا حدی به حل این مشکل غلبه می کند و نسبت به مدل LNRF (با الگوریتم ساده تر) دقیق تر است که نتایج حاصل از شاخص های کارایی نیز بر این امر صحنه گذاشته اند. داده های مورد

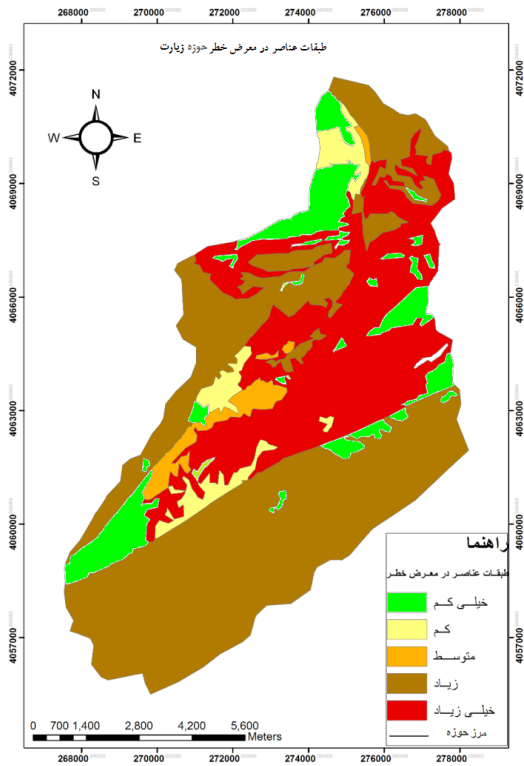


جدول ۴: توزیع فراوانی مقادیر عناصر در معرض خطر در هر کلاس خطر حوضه آبخیز زیارت

مجموع	کلاس خطر				عناصر در معرض خطر	
	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	صفت بیانی
۶۴۹/۶۵۷	۱۳۴/۱۰۶	۲۵۷/۱۴۳	۱۹۵/۳۲۴	۵۸/۳۱۵	۴/۷۶۸	اراضی زراعی (ha)
۷۵۲/۳۳۵	۰	۰	۰	۰	۷۵۲/۳۳۵	مراتع (ha)
۶۸۲۲/۲۲	۵۷/۵۰۱	۴۱۵/۱۶۴	۹۴۵/۵۴۹	۱۵۲۴/۴۷۶	۳۸۷۹/۵۲۷	جنگل (ha)
۵	۳	۱	۰	۱	۰	چشمه با مصرف کشاورزی
۴	۰	۱	۰	۱	۲	چشمه با مصرف شرب
۱۲	۰	۱۲	۰	۰	۰	چشمه با مصرف مشترک
۴۰/۱۷۸	۵/۳۳۶	۹/۴۷۸	۷/۱۲۴	۰/۸۸۵	۱۷/۳۵۴	خاکی (km)
۱۳/۷۳۲	۵/۵۱	۳/۳۴۹	۰/۳۵۴	۲/۸۷۸	۱/۶۳۹	آسفالت
۴۵۸	۳۶۴	۸۰	۱۴	۰	۰	اماکن مسکونی روستایی
۶۳۰	۲۲۹	۱۷۹	۱۲۷	۷۶	۱۹	اماکن مسکونی ویلایی
۳۸/۷۴۹	۲۶/۱۶	۱۰/۰۵۳	۲/۵۳۱	۰	۰	پراکنش جمعیت ثابت (ha)
۳۳۷/۱۱۵	۱۰۳/۲۰۵	۱۱۵/۳۳۶	۷۹/۱۱۷	۳۱/۰۴۳	۸/۴۱۲	پراکنش جمعیت سیار (ha)

و هزینه‌ی مالی عوامل در معرض خطر و پریا خالی از سکنه بودن آن‌ها بستگی دارد. همچنین تپ، اندازه و قدرت تخریب زمین لغزش نیز بر مقدار آسیب‌پذیری عوامل تأثیر می‌گذارد. با توجه به اینکه این عوامل در مقیاس مکانی و زمانی شدیداً متغیراند، تعیین مقدار کمی آسیب‌پذیری عوامل بسیار دشوار است، ازین رو روش‌های نیمه‌کمی و استفاده از امتیازات کارشناسی و بررسی شرایط حوزه‌ی مورد مطالعه راه‌گشا خواهد بود. برای محاسبه‌ی امتیاز آسیب‌پذیری عناصر، توجه به کلاس خطر و شرایط هر یک از عناصر از لحاظ اقتصادی (خسارت مالی) و اکولوژیکی حائز اهمیت است. عناصری که در کلاس خطر بالاتری قرار دارند و خسارت مالی بیشتری متحمل می‌شوند، از اهمیت و امتیاز آسیب‌پذیری بیشتری برخوردارند. پس از وزن‌دهی کارشناسی به آسیب‌پذیری عناصر مبتنی بر خسارت مالی (ریالی) ۱۰، برای تعیین وزن نهایی از نرم‌افزار استفاده شد و سپس عدد آسیب‌پذیری عناصر در ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید (تصویر ۶). امتیاز آسیب‌پذیری عوامل حاصل از نرم‌افزار ۱۱ Expert choice برای بزرگ‌نمایی و درک بهتر در عدد ۱۰ ضرب شده است (جدول ۵).

پس از تهیه و کلاسه‌بندی نقشه‌ی سه عامل خطر، عوامل در معرض خطر و آسیب‌پذیری و تلفیق (ضرب) سه نقشه بر اساس معادله‌ی عمومی ریسک، عدد خسارت محاسبه و بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها در پنج کلاس خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد طبقه‌بندی گردید (تصویر ۷). طبقات زیاد و خیلی زیاد نقشه‌ی عوامل در معرض خطر مساحتی حدود ۷۵۲۷ هکتار یعنی حدود ۸۲ درصد از سطح حوضه‌ی آبخیز زیارت را به خود اختصاص داده‌اند. کلاس‌های خسارت زیاد و خیلی زیاد ۹/۰۴ درصد از سطح حوزه را به خود اختصاص داده‌اند.



تصویر ۵: نقشه‌ی کلاس عناصر در معرض خطر زمین لغزش حوضه آبخیز زیارت

استخراج شدند. سپس تعداد و مساحت هر یک از عوامل در معرض خطر در واحدهای پلیگونی نقشه‌ی خطر حاصل از مدل برتر (رگرسیون لجستیک) تعیین شد (جدول ۴) و در قالب یک نقشه‌ی مجزا (نقشه‌ی عناصر در معرض خطر) تهیه و در پنج کلاس (خیلی کم تا خیلی زیاد) طبقه‌بندی گردید (تصویر ۵).

تعیین کمی عامل آسیب‌پذیری عوامل (V) تقریباً غیرممکن است، زیرا به شرایط متفاوتی از قبیل جنس، اندازه، استقامت

جدول ۵: وزن نهایی آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر زمین‌لغزش حوضه‌ی آبخیز زیارت حاصل از نرم‌افزار Expert choice ۱۱

عوامل در معرض خطر	وزن نهایی	۱۰۰ × وزن نهایی	رند کردن
جنگل	۰/۲۰۱	۲۰/۱	۲۰
پراکنش جمعیت ثابت	۰/۱۶۵	۱۶/۵	۱۷
اماکن ویلایی	۰/۱۳۹	۱۳/۹	۱۴
پراکنش جمعیت سیار	۰/۱۲۱	۱۲/۱	۱۲
اماکن روستایی	۰/۰۷۵	۷/۵	۸
زراعت طول بنه	۰/۰۶۶	۶/۶	۷
زراعت پایین دست روستا	۰/۰۶۶	۶/۶	۷
جاده آسفالتی	۰/۰۵۱	۵/۱	۵
مرتع	۰/۰۲۵	۲/۵	۳
جاده‌ی خاکی	۰/۰۲۴	۲/۴	۲
زراعت آبشار	۰/۰۲۴	۲/۴	۲
زراعت روستا	۰/۰۱۹	۱/۹	۲
چشمه‌ی کشاورزی	۰/۰۱	۱	۱
چشمه‌ی مشترک	۰/۰۰۸	۰/۸	۱
چشمه‌ی شرب	۰/۰۰۷	۰/۷	۱

### نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر خطر و خسارت زمین‌لغزش با روش‌های مختلف در حوزه‌ی بحرانی زیارت ارزیابی شد. در ارزیابی خطر زمین‌لغزش از دو مدل رگرسیون لجستیک و LNRF استفاده شد. ارزیابی کارایی مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های کای اسکوتر، P، Qs و ROC انجام شد و مدل رگرسیون لجستیک به‌منزله‌ی مدل برتر انتخاب گردید.

بر اساس نتایج مدل برتر (رگرسیون لجستیک)، عوامل زمین‌شناسی و فاصله از رودخانه و شیب مهم‌ترین عوامل طبیعی و فاصله از جاده مهم‌ترین عامل انسانی مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز زیارت است. با توجه به اینکه سه عامل اصلی (بیشترین ضرایب تأثیر در معادله‌ی رگرسیون لجستیک) مربوط به عوامل طبیعی حوزه بوده است، بنابراین نمی‌توان خطر ذاتی منطقه را در وقوع این پدیده‌ی مخرب نادیده گرفت.

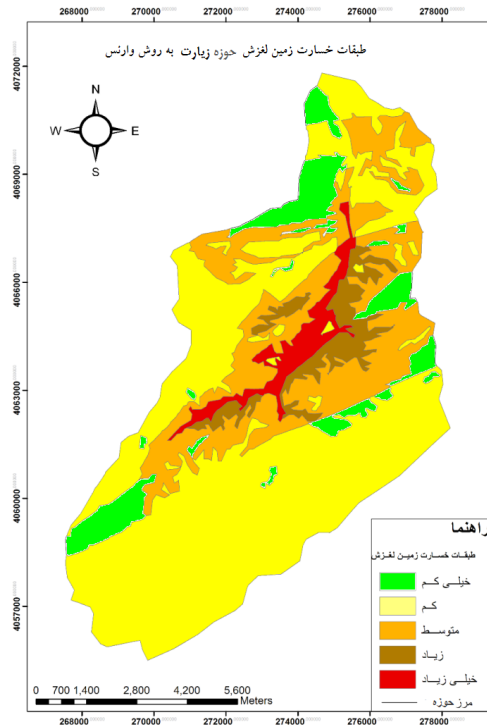
کلاس‌های خطر زیاد و خیلی زیاد زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک حدود ۱۴ درصد از حوضه‌ی زیارت را به خود اختصاص داده است. نتایج بخش خطر، با پژوهش حسین‌زاده و همکاران [۱] مبنی بر برآزش قابل قبول مدل رگرسیون لجستیک هم‌راستا بوده است و با پژوهش شیرانی و همکاران [۳] مبنی بر برتری روش‌های آماری دومتغیره بر چندمتغیره همخوانی ندارد.

دو کلاس زیاد و خیلی زیاد نقشه‌های عوامل در معرض خطر و آسیب‌پذیری به ترتیب ۸۲/۲۹ و ۱۰ درصد از حوزه را به خود اختصاص می‌دهند که می‌تواند زمینه‌ساز ایجاد خسارت بالا شود. پس از تهیه، کلاسه‌بندی و ضرب سه نقشه‌ی خطر، آسیب‌پذیری عناصر و عوامل در معرض خطر بر اساس معادله‌ی عمومی ریسک (معادله وارنس)، نقشه‌ی خسارت زمین‌لغزش تهیه شد.

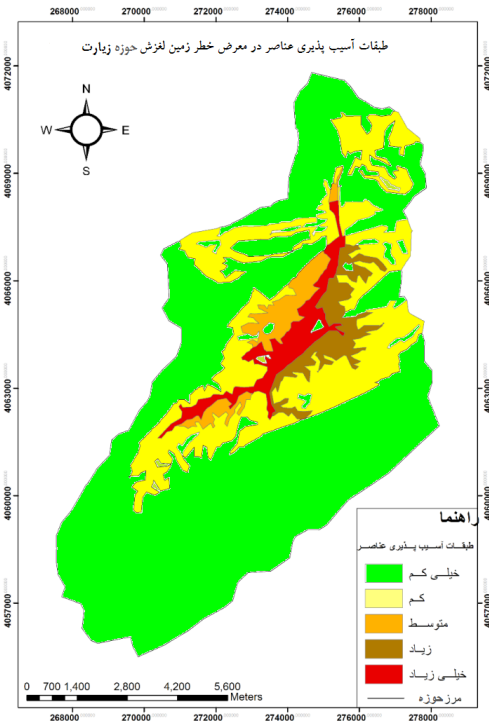
با مقایسه‌ی دو نقشه‌ی خطر و خسارت زمین‌لغزش مشخص می‌شود که مناطقی با کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد دارای کلاس خسارت زیاد و خیلی زیاد زمین‌لغزش نیز هستند؛ یعنی در حوضه‌ی آبخیز زیارت، در مناطقی که احتمال وقوع زمین‌لغزش زیاد و خیلی زیاد است، بیشترین عناصر در معرض خطر با آسیب‌پذیری بالا موجود است که در نهایت موجب به بار آمدن خسارت زیادی خواهد شد. نکته‌ی قابل توجه آن است که روستای زیارت نیز در این پهنه قرار گرفته است.

تعیین خسارت ریالی عناصر در معرض خطر نیز جزئی اساسی و کلیدی است، اما به علت نبود اطمینان کامل از مناطق تحت تأثیر زمین‌لغزش و به‌ویژه ناقص و کم‌دقت بودن علوم کنونی برای پیش‌بینی خسارت احتمالی زمین‌لغزش، محققان به ارزیابی ارزش ریالی کل عناصر در معرض خطر بسنده کرده‌اند و از آن به عنوان خسارت پتانسیل زمین‌لغزش یاد می‌کنند که گواهی بر مشکل بودن ارزیابی خسارت مالی واقعی و بالفعل زمین‌لغزش و سایر بلایای طبیعی است.

استفاده از سایر روش‌های پهنه‌بندی خطر و خسارت با ترکیب و کلاسه‌بندی متفاوت عوامل به لحاظ امکان مقایسه‌ی مدل‌ها و استخراج نتایج بنیادی، پیشنهاد می‌شود. همچنین شایسته است در تحقیقات بعدی مدیریت زمین‌لغزش در این حوضه‌ی آبخیز بررسی شود و برنامه‌های مدیریتی مناسب ارائه شود. نتایج این تحقیق به‌منزله‌ی ابزاری مناسب برای اولویت‌بندی برنامه‌های مدیریتی، برای سازمان‌های مدیریت بحران، منابع طبیعی و همچنین دانشجویان علاقه‌مند به پدیده‌ی زمین‌لغزش قابل استفاده خواهد بود.



تصویر ۷: نقشه‌ی خسارت زمین لغزش  
حوضه‌ی آبخیز زیارت



تصویر ۶: نقشه‌ی کلاس آسیب پذیری عناصر در  
معرض خطر زمین لغزش حوضه‌ی آبخیز زیارت

## پی‌نوشت

1. Landslide Index
2. Precision of the Predicted results
3. Normalized Difference Vegetation Index
4. Principal Components Analysis
5. Landslide Nominal Risk Factor
6. Precision of the Predicted results
7. Relative Operating Characteristic
8. True positive
9. False positive
۱۰. اداره کل راه و ترابری استان گلستان، بخش حفاظت اداره‌ی منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان، شرکت آب منطقه‌ای گلستان و معاونت برنامه‌ریزی استانداری گلستان (۱۳۹۲).

## منابع

۱. حسین‌زاده، محمد مهدی؛ ثروتی، محمد رضا؛ منصوری، عادل؛ میر باقری، بابک؛ خضری، سعید (۱۳۸۸). پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک. مطالعه‌ی موردی محدوده‌ی مسیر سندانج- دهگلان. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال سوم، شماره ۱۱، ۲۸-۳۷.
۲. شریعت جعفری، محسن (۱۳۷۵). زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی). انتشارات سازه.
۳. شیرانی، کورش؛ چاوشی، ستار؛ غیومیان، جعفر (۱۳۸۵). بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پادانای علیای سمیرم. مجله‌ی پژوهشی دانشگاه اصفهان، ۲۳، ۱.
۴. کریمی سنگچینی، ابراهیم (۱۳۸۹). ارزیابی خطر، خسارت و برنامه‌ی مدیریت زمین لغزش حوضه‌ی آبخیز چهل‌چای استان گلستان. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۵. مصفاپی، جمال (۱۳۸۵). مقایسه‌ی کارایی مدل‌های آماری و تجربی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز الموت و ارائه‌ی برنامه‌ی
- مدیریت خطر. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
6. Anbalagan, R., Singh, B. (1996). Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains. *Engineering Geology*, 43, 237-246.
7. Ayalew, L., Yamagishi, H. and Ugawa, N. (2004). Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River. *Niigata Prefecture, Japan, Landslides* 1, 73-81.
8. Einstein, H., Saldivar-Sali, A. (2007). A landslide Risk Rating System for Baguio, Philippines. *Engineering Geology*, 91, 85-99.
9. Espizua, L., Bengochea, J.D. (2002). Landslide Hazard and Risk Zonation Mapping in the Rio Grande Basin. *Mountain Research and Development*, 22(2), 178-185.
10. Gupta, R.P., Joshi, B.S. (1990). Landslide hazard zoning using GIS approach- A case study from the Ramganga catchment, Himalayas. Abstract. *Engineering Geology*, 28(1), 119-131.
11. Jian, W., Xiang-guo, P. (2009). GIS-based landslide hazard zonation model and its application. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1, 1198-1204.
12. Kunlong, Y., Lixia, C. and Guirong, Z. (2007). Regional landslide hazard warning and risk assessment. *Earth Science Frontiers*, 14(6), 85-97.
13. Lee, C.F., Dai, F.C. and Ngai, Y.Y. (2002). Landslide

risk assessment and management. *Engineering Geology*, 64, 65-87.

14. Mohammadi, A., Heshmatpoor, A. and Mosaedi, A. (2004). Study on Efficiency of an Iranian Method for Landslide Hazard Zonation in Golestan Province. EGU- 1 st General Assembly, Nice, France.
15. Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J. and Soeters, R. (2005). Landslide hazard risk zonation- why is it still so difficult? *Bull Eng Geol Env*, 65, 167-184.
16. Varnes, D.J. and the International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. France.
17. Zezere, J.L., Garcia, R.A.C., Oliveria, S.C. and Reis, E. (2008). Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal). *Geomorphology*, 94, 467-495.

۶۲

شماره هفتم  
بهار و تابستان  
۱۳۹۴

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



پهنه بندی خطر و خسارت زمین لغزش