Shahid Beheshti University

Researches in Earth Sciences

Journal homepage: https://esrj.sbu.ac.ir

Research Article

Landslide risk modeling using logistics regression model (Case study: Chaharmahal and Bakhtiari province)

Hadiseh Seddighi[1], Ahmad Reza Ghasemi[*1]

1-Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Received: 08 Jan 2023 Accepted: 16 Oct 2023

Extended Abstract

Introduction: Landslide is defined as the movement of a mass of rock, debris, or earth down a slope. Sedimentary mass movement can be various factors that play an important role in the destruction of communication roads and residential houses, the destruction of pastures and gardens, as well as erosion and sediment transport in the basins. Various studies have been conducted on landslide risk zoning using logistic regression model. Which factors such as distance from fault, slope, slope direction, land use, rainfall, lithology, elevation and distance from river and road were reported as the most important factors affecting landslides.

Materials and methods: In this study, Chaharmahal and Bakhtiari province as an important mountainous region in the country was studied. Reviewing past research showed that among the various factors affecting landslides, 9 factors including distance from fault, slope, slope direction, land use, precipitation, lithology, elevation classes and distance from river and road as independent variables, are the most important factors. To analyze the data, first 200 landslide areas were randomly selected, and another 200 points in the whole area without landslides were also randomly selected. After preparing the layers, the logistic regression model was performed to investigate the role and weight of each of the 9 independent variables. The accuracy of the model results was checked using three statistics, R^2 Naglerk, R^2 Cox and Snell and factor-2LL.

Results and discussion: The results of running the logistic regression model, showed that among the studied variables, the texture and slope of the land, respectively, can be considered as the most effective factors in creating landslides in the region. After that, the distance from roads and finally the amount of rainfall has the greatest impact on landslides in the studied region. The evaluation results of the model obtained from these five parameters, showed that the overall accuracy of the model is 90.9% and acceptable. After that, the distance from the roads is an effective factor in creating this phenomenon, and in the end, the amount of rainfall is effective on the landslides. The results of evaluating the correctness of the logistic regression model show that the factor -2LL in the last iteration of the model is equal to 117.893 and the coefficients of R^2 Naglerk, R^2 Cox and Snell are 0.65 and 0.42, respectively, which indicate the accuracy of the model. Based on the obtained results, a landslide risk zoning map was prepared for the study area.

Conclusion: Due to the high number of landslides recorded in Chaharmahal and Bakhtiari province and the risk of new landslides, this study was conducted on the area to determine the factors that have the greatest impact on this phenomenon and areas with a high risk of landslides. Based on the results, it can be stated that in addition to natural factors (land type, land slope and rainfall), some human factors, including unprincipled road construction, have an important role in landslides. These factors have caused 13.8% of Chaharmahal and Bakhtiari province is at high risk of landslides. To reduce the risks, ecosystem change and land use of the regions should be avoided as much as possible.

Keywords: Risk zoning, Logistic regression, Landslide, Geographic information system.

Citation: Hadiseh Seddighi, Ahmad Reza Ghasemi (2023). Landslide risk modeling using logistics regression model, *Res. Earth. Sci:* 14(4), (34-48) DOI: 10.48308/ESRJ.2023.104053

* Corresponding author E-mail address: ghasemiar@yahoo.com

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

پژوهشهای دانش زمین
Journal homepage: https://esrj.sbu.ac.ir
Shahid Beheshti University

مدل‌سازی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: استان چهار محال و بختیاری)

حدیثه صدیقی[۱]، احمدرضا قاسمی*[۱]

۱-گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۸ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۲۴

چکیده گسترده

مقدمه: زمین‌لغزش به حرکت لایه‌های رسوبی غیر متراکم و متراکم بر روی سطح شیب‌دار ناپایدار گفته می‌شود. عامل حرکت توده رسوبی می‌تواند عوامل مختلفی باشد که هر ساله نقش مهمی در تخریب جاده‌های ارتباطی و منازل مسکونی، از بین رفتن مراتع و باغ‌ها و نیز فرسایش و انتقال رسوب در حوضه‌های کشورها را دارند. پژوهش‌های مختلفی در خارج و داخل کشور در مورد پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک انجام شده است که عواملی همچون فاصله از گسل، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، بارندگی منطقه، سنگ‌شناسی، طبقات ارتفاعی و فاصله از رودخانه و جاده به عنوان مهم‌ترین عوامل موثر بر زمین لغزش گزارش شدند.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه استان چهارمحال و بختیاری که منطقه‌ای کوهستانی است مورد مطالعه قرار گرفت. با بررسی تحقیقات گذشته و از بین عوامل مختلف تاثیرگذار بر روی زمین لغزش، ۹ عامل اولیه موثر شامل فاصله از گسل، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، نقشه هم بارش، سنگ‌شناسی، طبقات ارتفاعی و فاصله از رودخانه و جاده به عنوان متغیر مستقل شناخته شدند. برای تحلیل داده‌ها ابتدا ۲۰۰ منطقه‌ی دارای زمین لغزش به صورت تصادفی انتخاب شد، همچنین ۲۰۰ نقطه دیگر در کل منطقه و بدون زمین لغزش نیز به‌طور تصادفی انتخاب شد. سپس با اجرای مدل رگرسیون لجستیک وزن و نقش هر یک از متغیرهای مورد مطالعه تعیین شد. صحت نتایج مدل نیز با استفاده از سه آماره R^2 ناگلکرک، R^2 کوکس و اسنل و فاکتور $2LL$- بررسی گردید.

نتایج و بحث: با اجرای مدل رگرسیون لجستیک نتایج نشان داد که از بین متغیرهای مورد بررسی، به ترتیب جنس و شیب زمین را می‌توان موثرترین عوامل در ایجاد زمین لغزش در منطقه دانست. پس از آن فاصله از جاده‌های ارتباطی و در انتها میزان بارش بیشترین تاثیر را بر ایجاد زمین لغزش در منطقه دارند. نتایج ارزیابی نشان داد که صحت کلی مدل ۹۰/۹ درصد و قابل قبول است. پس از آن فاصله از جاده‌های ارتباطی عامل موثر در ایجاد این پدیده است و در انتها میزان بارش باران بر روی این پدیده موثر است. نتایج ارزیابی صحت مدل رگرسیون لجستیک ارائه شده نشان می‌دهد که فاکتور $2LL$- در آخرین تکرار مدل برابر ۱۱۷/۸۹۳ و ضرایب R^2 ناگلکرک و R^2 کوکس و اسنل به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۴۲ می‌باشند که نشان دهنده دقت مدل می‌باشد. در انتها با استفاده از نتایج به دست آمده نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه به دست آمد.

نتیجه‌گیری: با توجه به تعداد بالای زمین لغزش‌های ثبت شده در استان چهار محال و بختیاری و خطر وقوع زمین لغزش‌های جدید، این مطالعه بر روی منطقه مورد نظر انجام گرفت تا عواملی که تاثیر بیشتری بر روی این پدیده دارند و مناطق با خطر بالای زمین لغزش مشخص شوند. براساس نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌توان اظهار کرد که علاوه بر عوامل طبیعی(جنس زمین، شیب زمین و میزان بارندگی) برخی عوامل انسانی از جمله جاده‌سازی غیر اصولی نقش مهمی را بر وقوع لغزش دارد که این عوامل باعث شده‌اند ۱۳/۸ درصد استان چهارمحال و بختیاری در معرض خطر شدید زمین لغزش قرار بگیرد. برای کاهش خطرات ناشی از آن باید از تغییر اکوسیستم و کاربری اراضی مناطق تا حد امکان اجتناب کرد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی خطر، رگرسیون لجستیک، زمین لغزش، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

استناد: حدیثه صدیقی، احمدرضا قاسمی (۱۴۰۲). مدل‌سازی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، پژوهشهای دانش زمین: ۱۴(۴)، (۴۸-۳۴)، DOI: 10.48308/ESRJ.2023.104053

* نویسنده مسئول: E-mail: ghasemiar@yahoo.com

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

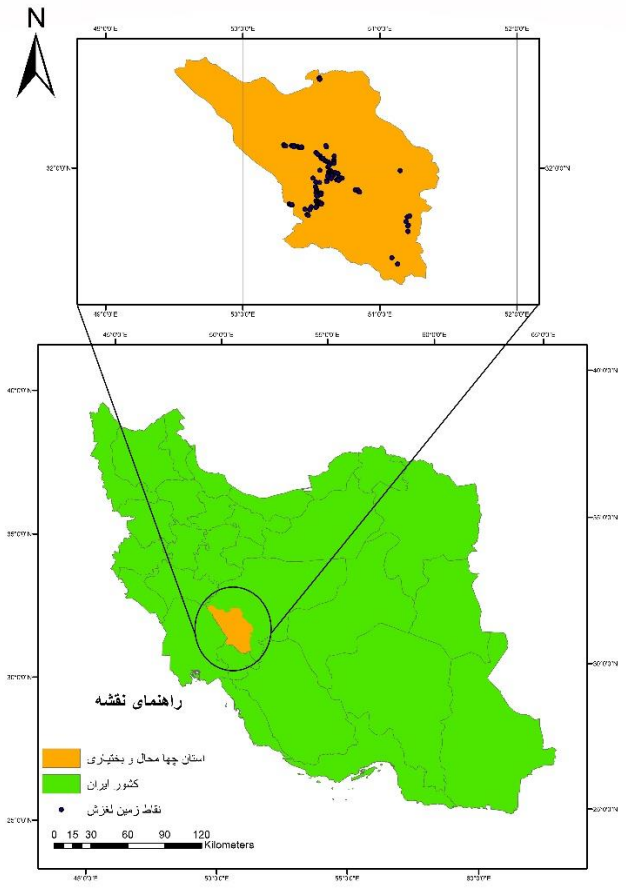
مقدمه

زمین‌لغزش به حرکت لایه‌های رسوبی غیر متراکم و متراکم بر روی سطح شیب‌دار ناپایدار گفته می‌شود. عامل حرکت توده رسوبی می‌تواند نیروی جاذبه، زلزله، باران یا فشار منفذی سیالات، سبک سازی پایین دست توده و بسیاری عوامل دیگر باشد. زمین لغزش‌ها در ایران یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی بوده که هر ساله نقش مهمی در تخریب جاده‌های ارتباطی و منازل مسکونی، از بین رفتن مراتع و باغ‌ها و نیز فرسایش و انتقال رسوب در حوضه‌های کشور را دارند. بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که در کشورهای پیشرفته برای کاهش خطر زمین لغزش بیشتر از شیوه‌های پیشگیری استفاده می‌کنند و در نتیجه چارچوب مدیریت خطر زمین لغزش در این کشورها را، قوانین و دستورالعمل های کاربری اراضی و برنامه‌های آموزش به عموم تشکیل می‌دهد (آرمین و قربان‌نیا خیبری، ۱۳۹۸). در کشور ما آمار دقیقی از خسارات مستقیم حاصل از زمین لغزش به صورت سالانه موجود ندارد. تنها آمار کلی که از خسارات مستقیم زمین لغزش در کشور ارائه شده است را می‌توان تخمینی در مورد خسارات‌های ۴۴۸۶ زمین لغزش موجود در بانک اطلاعاتی تا شهریور ۱۳۸۶ دانست که نتایج بیانگر آمار ۱۸۷ کشته و بالغ بر ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال خسارت می‌باشد، که این مقدار بالغ بر ۱۲/۶ میلیارد دلار است و ضرورت توجه به این امر خطرناک را متذکر می‌شود (کاردان و همکاران، ۱۳۸۶). سابقه مطالعات و پژوهش‌ها در مدل‌سازی و پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در کشورهای توسعه یافته به دهه ۶۰ میلادی باز می‌گردد (کرم و محمودی، ۱۳۸۴). پژوهش‌های مختلفی در خارج و داخل کشور در مورد پهنه‌بندی خطر زمین لغزش انجام شده است، که در طی این پژوهش‌ها (چوو و چان، ۲۰۰۵؛ دای و لیی، ۲۰۰۲) ارتفاع از سطح دریا، درجه و جهت شیب از جمله مهم‌ترین عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش شناخته شد. همچنین به این موضوع نیز اشاره شده است که تنوع بافت و سنگ‌شناسی در سنگ‌ها و خاک‌ها منجر به تفاوت در استحکام و نفوذپذیری آنها می‌شود، بنابراین عامل زمین‌شناسی نقش بسزایی در وقوع زمین لغزش‌ها ایفا می‌کند. عامل شکل شیب توسط پژوهشگران مختلفی مورد بررسی قرار گرفته و اهمیت آن در به وجود آمدن پدیده زمین لغزش به اثبات رسیده است. از طرفی شبکه‌های زهکشی و آبراهه‌ها نیز می‌توانند با ایجاد فرسایش و یا اشباع نمودن خاک باعث سستی و لغزش زمین گردند (ساها و همکاران، ۲۰۰۲؛ یاکلین، ۲۰۰۸). لین و همکاران (۲۰۱۷) پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در جنوب غربی تایوان را با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک ترسیم کرد. هاسالی و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه منطقه بدولا در سری‌لانکا به بررسی خطر وقوع زمین لغزش در منطقه با استفاده از رگرسیون لجستیک پرداختند. آنها شیب زمین، سنگ-شناسی، پوشش زمین، فاصله از رودخانه‌ها و جاده‌ها را به عنوان عوامل ایجاد کننده زمین لغزش بررسی کردند. مطابق این مطالعه، ۲۰/۵ درصد مساحت منطقه بسیار مستعد برای برای زمین لغزش است. زاهو و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از رگرسیون لجستیک به بررسی زمین لغزش های ناشی از بارندگی در جنوب شرقی چین پرداختند و عنوان کردند که با استفاده از این روش نقشه حساسیت منطقه با میزان *ROC* قابل ترسیم است. یانگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز با تکیه بر روش رگرسیون لجستیک نقشه حساسیت منطقه بزرگراه دوون در استان سیچوان چین را ترسیم نمودند و کارایی روش رگرسیون لجستیک را برای اینگونه مطالعات تایید کردند. در مطالعات داخلی نیز به برخی موارد در ادامه پرداخته خواهد شد. خالدی و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که ۸۳/۷۲ درصد از مساحت حوضه آبخیز طالقان در رده‌های با خطر بالا و بسیار بالا از نظر زمین لغزش قرار دارند. خسروی و جمالی (۱۳۹۷) روند تغییرات و عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش در منطقه شمال قوچان را با روش‌های شبکه عصبی، اتوماتای سلولی-مارکوف و رگرسیون لجستیک بررسی کردند. نتایج مقایسه مدل‌ها نشان داد که دقت مدل‌های شبکه عصبی، مارکوف و رگرسیون لجستیک به ترتیب برابر ۰/۹۶، ۰/۷۲ و ۰/۸۶ است. همچنین نتایج نشان داد که با سست شدن سازندها، تغییر کاربری اراضی به سمت مراتع فقیر و اراضی کشاورزی دیم و افزایش شیب خطر رخداد زمین‌لغزش افزایش می‌یابد. قایدشرف و همکاران (۱۳۹۷) نیز جهت ارزیابی خطر زمین لغزش در حوزه دماوند از روش رگرسیون لجستیک استفاده کردند. نتایج مدل‌ها با استفاده از منحنی *ROC* نشان دهنده این بود که روش رگرسیون لجستیک با دقت ۷۶/۵ درصد امکان پیشگویی زمین لغزش را دارد. بروغنی و همکاران (۱۳۹۷) نیز با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

به این نتیجه رسیدند که در حوضه آبخیز بقیع عامل شیب، لیتولوژی و ارتفاع مهمترین عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشند. شاه زیدی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مدل آنتروپی منطقه فریدونشهر در استان اصفهان را مورد تجزیه و تحلیل از نظر خطر زمین لغزش قرار دادند. در منطقه سمیرم که جز مناطق پرخطر بر روی دامنه رشته کوه زاگرس می‌باشد نیز با تکیه بر مدل آماری دومتغیره به ترتیب سنگ‌شناسی، فاصله از جاده، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب و بارندگی به عنوان مهمترین عوامل موثر بر زمین لغزش معرفی شدند (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۸). علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی، ویژگی‌های شیمیایی خاک هم بر زمین لغزش موثر است و با اصلاح خاک‌های منطقه می‌توان پایداری چشمگیری ایجاد کرد (امامی، ۱۳۹۸). اسدی و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی با هدف بررسی زمین لغزش در استان تهران عنوان نمود در نوار شمالی، قسمت‌هایی از شرق و جنوب استان تهران و شمال و غرب استان البرز خطر زمین لغزش به ترتیب با احتمال بسیار بالا، بالا و متوسط وجود دارد. نوفرستی و همکاران (۱۳۹۸) عدم توجه به حرکات اولیه دامنه و ادامه کارهای ساختمانی در محدوده توده لغزشی را از عوامل اصلی وقوع زمین لغزش در محور قائن- افین در استان خراسان جنوبی دانستند و عنوان نمودند که بارندگی نقش چندانی در بروز این پدیده نداشته است. فلاح و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مدل های آنتروپی در استان قزوین به این نتیجه رسیدند که در منطقه رودبار الموت شرقی پهنه‌های با خطر زمین‌لغزش زیاد و خیلی زیاد در باغ‌ها و مراتع فقیر و امتداد گسل‌های منطقه قرار دارند. مجدباوی و مومی‌پور (۱۴۰۰) با مطالعه محدوده سد شهید عباسپور در استان خوزستان بیان کردند که خصوصیات سنگ‌سناسی مهم‌ترین عامل زمین لغزش در این منطقه است. کیانی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و آنفییس در حوضه آبریز هشتجین در استان اردبیل پرداختند و نشان داد که دقّت مدل آنفیس و رگرسیون لوجستیک به ترتیب برابر با ۸۸/۵۲ ٪ و ۸۸/۵۲ ٪ است. نتایج براساس مدل انفیس بیانگر آن است که حدود ۵۸۲۵ هکتار، معادل ۵۲/۸ ٪ از منطقه هشتجین از نظر خطر زمین‌لغزش در محدود زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. در بین روش‌های مطالعه زمین لغزش استفاده از روش رگرسیون لجستیک بیشتر مورد توجه محققان بوده است. این روش ضمن سادتر بودن نسبت به برخی روش‌های دیگر مانند روش‌های شبکه عصبی، مارکوف و یا روش‌های سلسله مراتبی، نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. رگرسیون لجستیک که یکی از انواع مدل های خطی تعمیم یافته است، برای تجزیه و تحلیل وجود یا عدم وجود متغیر وابسته بسیار مناسب بوده و برای پیش‌بینی ناپایداری دامنه‌ای و بررسی عوامل موثر بر زمین لغزش‌ها در بسیاری از پژوهش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (دای و لیی، ۲۰۰۲). استان چهارمحال و بختیاری با توجه به موقعیت کوهستانی و نیز به دلیل وجود آهک، فعالیت‌های کشاورزی و عمرانی، بارش‌های فراوان و اشباع بودن خاک برخی مناطق، مستعد وقوع پدیده زمین‌لغزش می‌باشد. با توجه به عوامل موثر بر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه که منجر به مستعد شدن دامنه‌ها جهت وقوع زمین لغزش شده، لزوم تهیه نقشه پیش‌بینی مکانی خطر زمین لغزش به صورت کمی اهمیت می‌یابد و نیز ارزیابی پتانسیل وقوع زمین لغزش در منطقه را ضروری می‌نماید. بنابراین هدف اصلی این تحقیق شناسایی عوامل موثر در وقوع پدیده زمین لغزش در استان چهارمحال و بختیاری و نیز پهنه‌بندی این استان از نظر احتمال خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از رگرسیون لجستیک می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان چهارمحال و بختیاری است. این استان با ۱۶۴۲۱ کیلومتر مربع وسعت معادل یک درصد از کل وسعت ایران، بیست و دومین استان کشور از نظر مساحت می‌باشد. این استان با میانگین ارتفاع ۲۱۵۳ متر از سطح دریا از جمله مناطق کوهستانی فلات مرکزی ایران محسوب می‌شود و بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی گرینویچ قرار دارد. این استان از شمال و مشرق به استان اصفهان، از مغرب به استان خوزستان، از جنوب به استان کهگیلویه و بویراحمد و از سمت شمال غربی به استان لرستان محدود می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه‌ی موقعیت زمین لغزش‌های استان چهارمحال و بختیاری

این منطقه در آغاز دوره سوم زمین‌شناسی از رسوبات دریایی «تتیس» به وجود آمده که بدون شک روی رسوبات دوران سوم قرار گرفته و چین خوردگی‌ها و ناهمواری‌های این منطقه؛ نتیجه کوه‌زایی اواخر دوران سوم زمین شناسی است. عمده‌ترین سازندهای زمین‌شناسی منطقه چهار محال و بختیاری عبارتند از اشکوب آلپین، اشکوب سنونین، اشکوب مقدونین که لیتولوژی و اشکوب‌ها عموما از آهک است. مساحت جنگل‌های استان حدود ۳۰۷ هزار هکتار است که ۹۸ درصد پوشش عمده جنگلی را در این مناطق بلوط غرب تشکیل می‌دهد. منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم کوهستانی بوده و نیز متوسط بارش سالانه درحدود ۵۶۰ میلی‌متر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مدل رگرسیون لجستیک

یکی از مدل‌های آماری مناسب جهت اجرای پهنه‌بندی براساس داده‌های موجود، استفاده از مدل رگرسیونی می‌باشد. رگرسیون‌گیری را می‌توان پیش‌بینی و بیان تغییرات یک متغیر، براساس اطلاعات متغیر یا متغیرهای دیگر دانست. در تجزیه و تحلیل‌های آماری، با توجه به نیاز مساله، از انواع مختلف رگرسیون‌گیری استفاده می‌شود که رگریسیون لجستیک یکی از انواع آن است. جهت انجام تحلیل رگرسیون خطی، متغیر وابسته باید کمی و در سطح سنجش فاصله‌ای/نسبی باشد. اما گاهی اوقات اتفاق می‌افتد که متغیر وابسته تحقیق در مقیاس فاصله‌ای/نسبی نبوده و مقیاس آن به صورت اسمی است. در چنین حالتی، از رگرسیون لجستیک استفاده می‌شود. رگرسیون لجستیک یک مدل آماری رگرسیون برای متغیرهای وابسته دوسویی است که معادله آن مطابق رابطه ۱ می‌باشد.

رابطه ۱)

$$Y = Logit(p) = Ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots + \beta_n X_n$$

که در آن:

P= احتمال رخداد حادثه (زمین لغزش).

β_0= عرض از مبدا یا ضریب ثابت است.

$\frac{p}{1-p}$= نسبت شانس.

$X_1X_2 \dots X_n$ ضرایب مربوط به متغیرهای مستقل $\beta_1\beta_2\dots\beta_n$ هستند.

منظور از دو سویی بودن، رخ داد یک واقعه تصادفی در دو حالت ممکنه است، به عنوان مثال بارش یا عدم بارش. در اصل متغیرهایی هستند که فقط دارای دو موقعیت هستند و مجموع احتمال هر یک آن‌ها در نهایت یک خواهد شد. زمین‌لغزش نیز یک متغیر دوسویی به حساب می‌آید زیرا یا اتفاق می‌افتد یا خیر. مزیت مدل‌سازی با رگرسیون لجستیک نسبت به سایر تکنیک‌های آماری چند متغیره مانند رگرسیون چندگانه و آنالیز تشخیصی این است که متغیر وابسته می‌تواند تنها دو عامل داشته باشد که یکی احتمال وقوع حادثه و دیگری عدم وقوع آن است. جهت تفسیر مناسب در معادله رابطه ۱ از ضرایبی با لگاریتم طبیعی در مبنای عدد نپرن استفاده شد. چنانچه ضرایب مثبت باشد، مقدار لگاریتم تغییر یافته بزرگتر از یک خواهد بود که احتمال وقوع حادثه بیشتر می‌شود، چنانچه ضریب منفی باشد این مقدار از یک کمتر خواهد شد و احتمال وقوع حادثه کمتر می‌شود. پس از آماده‌سازی کدهای مربوطه تجزیه تحلیل آماری مدل رگرسیون لجستیک در نرم‌افزار *SPSS 23* صورت گرفت که در انتها احتمال وقوع زمین لغزش براساس رابطه ۲ بدست آمد.

رابطه ۲)

$$P = \frac{e^{\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2\dots+\beta_nX_n}}{1+e^{\beta_0+\beta_1X_1+\beta_2X_2\dots+\beta_nX_n}}$$

که در آن P احتمال وقوع پدیده (زمین‌لغزش) می‌باشد. در این تحقیق ابتدا ۲۰۰ منطقه دارای زمین لغزش به صورت تصادفی انتخاب شد، همچنین ۲۰۰ نقطه دیگر در کل منطقه و بدون زمین لغزش نیز به‌طور تصادفی انتخاب شد. سپس لایه‌های مربوط به پارامترهای مستقل (X) با آنها هم‌پوشانی داده شد. این نکته نیز حائز اهمیت است که، هر یک از لایه‌های اطلاعاتی به صورت مشخصی کلاسبندی شدند. سپس به کل کلاس‌های لایه‌های اطلاعاتی کد صفر و یک نسبت داده شد، به این صورت که برای کلاس‌هایی از لایه‌های اطلاعاتی که دارای زمین لغزش بودند کد یک، و سایر کلاس‌ها کد صفر تعلق گرفت. این امر در مورد نقاط غیر لغزشی نیز انجام گرفت. بعد از آماده‌سازی لایه‌ها، به منظور اجرای مدل رگرسیون لجستیک در محیط *SPSS* لایه‌های عامل به مدل وارد شدند.

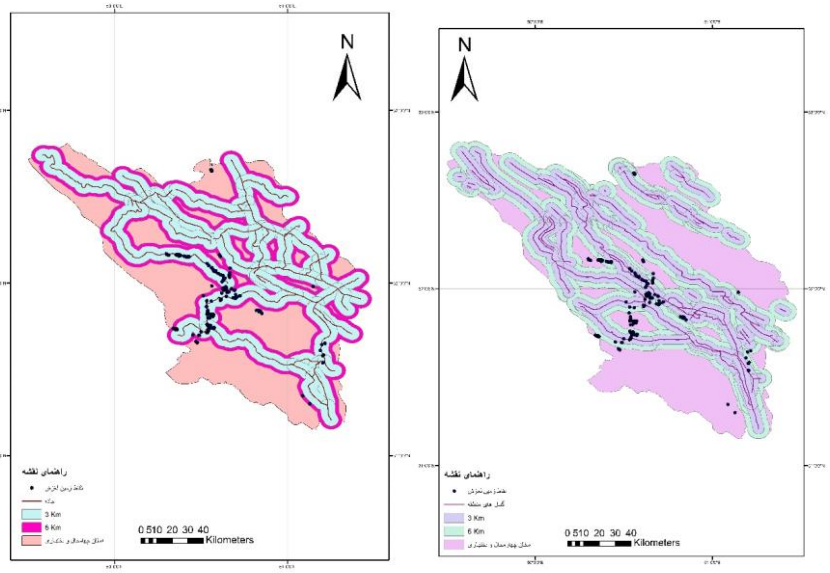
پراکنش زمین لغزش و لایه‌های اطلاعاتی

همانطور که بیان شد، جهت برآورد رگرسیون لجستیک، به متغیرهای وابسته و مستقل احتیاج است. لایه اطلاعاتی زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه مطالعاتی، به عنوان متغیر وابسته در مدل، مهمترین لایه مورد استفاده در این پژوهش هستند. از طرفی با بررسی تحقیقات گذشته و از بین عوامل مختلف تاثیرگذار بر روی زمین لغزش، ۹ عامل اولیه موثر شامل فاصله از گسل، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، نقشه هم بارش، سنگ شناسی، طبقات ارتفاعی و فاصله از رودخانه و جاده به عنوان متغیر مستقل شناخته شدند و نقشه‌های اطلاعاتی آن‌ها به همراه نقشه زمین-لغزش‌های منطقه مطالعاتی، از سازمان برنامه و بودجه استان و پایگاه داده‌های علوم زمین تهیه گردید. جهت تحلیل آماری داده‌ها ابتدا نیاز به دسته‌بندی و مرتب کردن اطلاعات جغرافیایی منطقه می‌باشد. بدین منظور نقشه‌های اطلاعاتی منطقه مطابق زیر تجزیه و تحلیل شدند.

- با استفاده از نقشه زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در استان، شیپ فایل نقطه‌ای مربوطه آماده شد. این شیپ فایل از نقشه ۱:۳۵۰۰۰ زمین لغزش‌های استان به دست آمد که با توجه به اطلاعات نقشه تعداد ۲۰۰ زمین لغزش در کل منطقه مطالعاتی اتفاق افتاده است (شکل ۲).

- با توجه به این نکته که در منطقه مطالعاتی همواره گسل-های فعالی وجود دارد و با ایجاد زمین لرزه‌های کوچک و بزرگ می‌توانند به ناپایداری زمین کمک کنند، این عامل به عنوان متغیر مستقل دیگری در نظر گرفته شد. شیپ فایل خطی گسل‌های منطقه مطالعاتی با استفاده از نقشه گسل‌های منطقه موجود در پایگاه علوم زمین رسم شد و بافرهای ۳، ۶ و بزرگتر از ۶ کیلومتری از گسل‌های منطقه تهیه گردید (شکل ۲).

- جاده‌های احداث شده در مناطق مختلف به علت تغییرات شیب زمین‌ها و به نوعی افزایش ناپایداری مناطق می‌توانند عاملی تاثیر گذار بر روی زمین لغزش‌ها باشند. بنابراین پس از تهیه نقشه جاده‌های منطقه، شیب فایل خطی این متغیر مستقل با استفاده رسم شد. سپس، بافرهای ۳، ۶ و بزرگتر از ۶ کیلومتر از جاده‌های منطقه تهیه گردید. همانگونه که مشاهده می‌شود تراکم زمین لغزش‌های منطقه با نزدیک شدن به جاده‌های ارتباطی بیشتر می‌شود (شکل ۳).



شکل ۲: نقشه فاصله از گسل منطقه

شکل ۳: نقشه‌ی فاصله از جاده منطقه

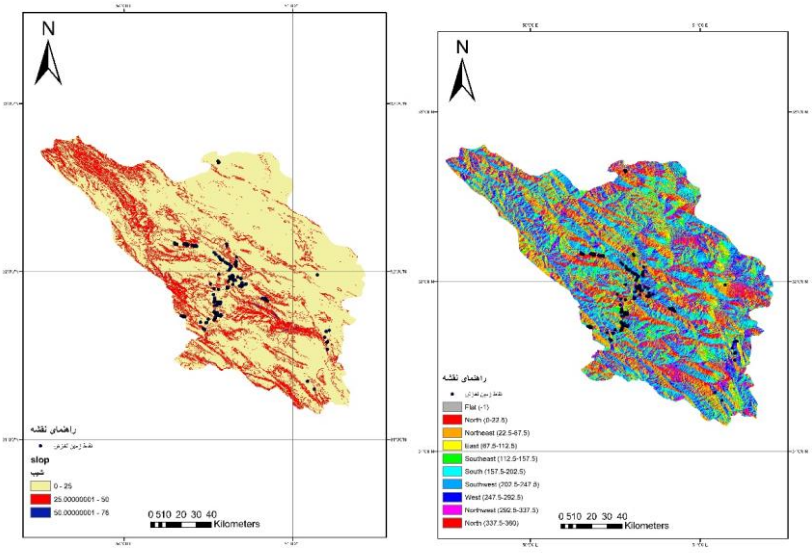
- جهت به دست آوردن لایه اطلاعاتی جهت شیب که به عنوان متغیر مستقل دیگری در نظر گرفته شده است، مدل رقومی ارتفاع منطقه (*DEM*) استفاده و نقشه جهت شیب در ۸ جهت، شامل جهت‌های شمال، جنوب، شرق، غرب، شمال غرب، شمال‌شرق، جنوب غرب و جنوب، تهیه گردید (شکل ۴). همچنین نقشه شیب نیز در ۳ طبقه دسته‌بندی شد (شکل ۵). همانگونه که در شکل مشخص است کل منطقه در شیب‌های بین صفر و ۷۶/۰۱ درجه قرار گرفتند. با توجه به لایه‌های اطلاعاتی شیب و زمین لغزش مشاهده شد که بیشتر زمین لغزش‌ها در مناطق با شیب‌های کمتر یعنی تا شیب ۲۵ درجه اتفاق افتاده است.

- با تمرکز بر این موضوع که تغییرات ارتفاعی مناطق ممکن است بر حرکت کردن لایه‌های زمین تاثیرگذار باشند، لایه اطلاعاتی طبقات ارتفاعی منطقه با استفاده از کلاس‌بندی کردن نقشه *DEM* در ۶ کلاس تهیه گردید. همانطور که در نقشه مشخص است منطقه مورد مطالعه دارای ارتفاعی بین ۷۶۱ تا ۴۱۷۴ می‌باشد (شکل ۶).

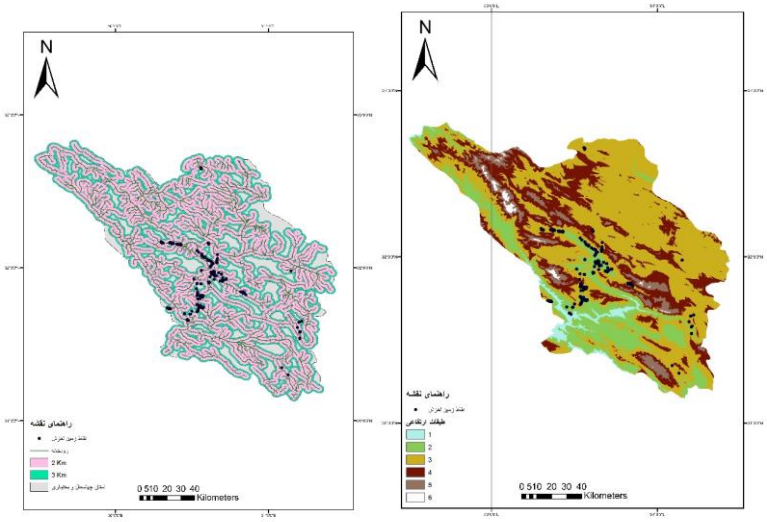
- وجود آبراهه‌ها در مناطق به دلیل نفوذ آب آنها در زمین و ایجاد سستی امکان دارد موجب تقویت احتمال زمین لغزش شوند. بنابراین عامل فاصله از رودخانه نیز به عنوان پارامتری مستقل به مدل وارد شد. نقشه آبراهه‌های منطقه مطالعاتی به همراه بافرهای ۲، ۳ و بزرگتر از ۳ کیلومتری تهیه شد (شکل ۷). لازم به ذکر است به دلیل پراکندگی بالای آبراهه‌ها در منطقه، زمین لغزش‌ها در یک بازه خاصی از فاصله با رودخانه‌ها قرار نگرفتند.

- بارش باران و برف به دلیل تامین آب خاک و احتمال ایجاد سستی در خاک می‌تواند عاملی موثر در ایجاد زمین لغزش‌ها باشد. بنابراین با استفاده از نقشه هم بارش منطقه مورد مطالعه، شیپ فایل خطی این متغیر نیز ترسیم شد. تاثیر بارش در ۳ دسته بارندگی ۷۰۰-۴۰۰، ۷۰۰-۱۰۰۰ و بزرگتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر بر روی زمین لغزش‌های اتفاق افتاده بررسی گردید (شکل ۸). البته این نکته را باید خاطر نشان کرد که این عامل به تنهایی موجب زمین لغزش نمی‌شود و همواره در صورت ادغام با عوامل دیگر به عاملی موثر تبدیل خواهد شد. به همین علت الزاما در مناطقی که بیشترین بارندگی را دارند وقوع زمین لغزش‌ها بیشتر یا شدیدتر نیست.

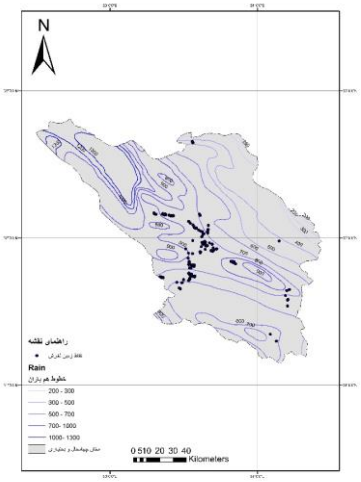
- با توجه به اینکه کاربری اراضی به دلیل ایجاد تغییراتی در بافت خاک‌ها و شکل فیزیکی آنها عاملی تاثیرگذار بر مقاومت زمین می‌باشد، و همچنین با توجه به این موضوع که اکثر سنگ‌های موجود در منطقه از جنس آهک هستند که خاصیت انحلال بالا و ایجاد سستی در منطقه را دارند، لایه‌های اطلاعاتی این عوامل مستقل نیز تهیه گردید (شکل‌های ۹ و ۱۰).



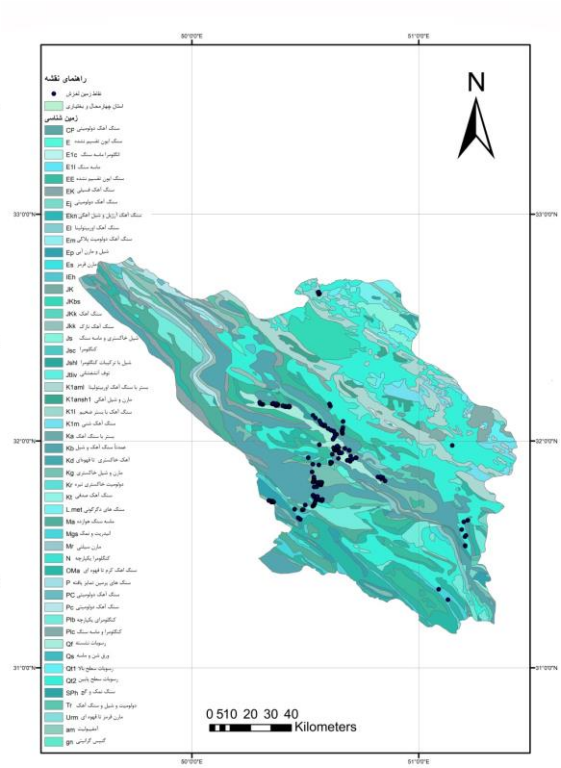
شکل ۴: نقشه جهت شیب منطقه شکل ۵: نقشه شیب منطقه



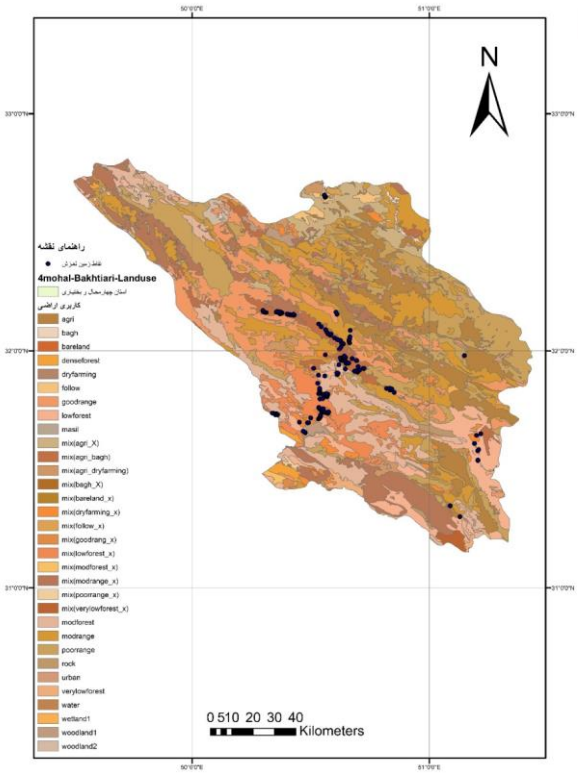
شکل ۶: نقشه طبقات ارتفاعی منطقه شکل ۷: نقشه فاصله از رودخانه منطقه



شکل ۸: نقشه هم بارش منطقه



شکل ۹: نقشه زمین‌شناسی منطقه



شکل ۱۰: نقشه کاربری اراضی منطقه

ارزیابی و اعتبار سنجی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

یک روش تحلیلی استاندارد در رگرسیون لجستیک به منظور بررسی صحت مدل، آزمون درصد صحت مدل براساس جدول طبقه‌بندی صفر و یک *(Classification table)* برای نقاط مشاهده‌ای و احتمال پیش‌بینی شده است (چوو و چان، ۲۰۰۵). در صورتی که احتمال پیش‌بینی شده (p) برای نقاط زمین لغزش بالاتر از ۰/۵ و برای نقاط غیر زمین لغزش پایین‌تر از ۰/۵ باشد، مدل اجرا شده صحت لازم را دارد. برای یک مدل موفق، نقاط صفر باید نزدیک به انتهای پایینی یا ($p=0$) و نقاط ۱ در انتهای بالایی طبقه-بندی یا ($p=1$) ظاهر شوند. از طرف دیگر می‌توان با استفاده از فاکتورهای R^2 ناگلکرک، R^2 کوکس و اسنل و منفی دو برابر لگاریتم لایکلیهود نتایج را مورد بررسی قرار داد. دامنه تغییرات فاکتورهای R^2 از صفر تا یک بوده و مقادیر بالاتر نشان‌دهنده صحت بیشتر مدل است. به عبارت دیگر با افزایش قدرت برازش مدل، مقدار آن افزایش می‌یابد (حسن‌شاهی، ۱۳۹۷). در مورد منفی دو برابر لگاریتم لاکلیهود می‌توان گفت زمانی مدل با داده‌های مشاهده‌ای تطابق دارد که مقدار کمتری از این شاخص را به خود اختصاص دهد (موسوی‌خطیر و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین اعتبار ضرایب مدل رگرسیونی لجستیک با استفاده از آماره والد (*Wald*) نیز سنجیده شد. این آماره مهم‌ترین آماره برای آزمون معنی‌داری حضور هر متغیر مستقل در مدل رگرسیون لجستیک می‌باشد. آماره والد معادل آماره t در رگرسیون خطی است (حبیب‌پور و صفری، ۱۳۸۸). فرض صفر آماره والد این است که میزان تأثیر تمامی متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته برابر با صفر است. بنابراین رد فرض صفر به معنی غیر صفر بودن ضریب حداقل یکی از متغیرها است. قابل ذکر است برای صحت سنجی مدل از ۳۰ درصد داده‌های موجود استفاده شد.

بحث و نتایج

نتایج اجرای مدل رگرسیون

پس از اینکه وجود زمین لغزش در تمام کلاس‌های لایه‌های اطلاعاتی مورد بررسی قرار گرفت، اطلاعات جمع آوری شده در نرم افزار *SPSS* جهت اجرای رگرسیون لجستیک، فراخوانی شد. پیش از رگرسیون گیری، هم خطی چندگانه متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان

دهنده عدم همبستگی متغیرهای مستقل بود. جدول ۱ نتایج حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک را همراه با آماره‌های ارزیابی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که اعتبار ضرایب به دست آمده برای مدل لجستیک با استفاده از آماره‌های *Wald* ، *S.E.* و *PValue* سنجیده شده است. قابل ذکر است در طی فرآیند رگرسیون لجستیک، متغیرهایی که ارتباط معنی‌داری با متغیر وابسته (زمین لغزش) نداشته باشند، از مدل حذف و لایه های باقی‌مانده مجدد وارد مدل می‌شوند. این روند تا زمانی ادامه پیدا خواهد کرد که مدل رگرسیونی متغیرهای مستقلی که تاثیر بسزایی بر روی متغیر وابسته دارند را، پیدا کرده و نتایج را ارائه دهد. همانگونه در در جدول ۱ مشاهده می‌گردد تنها ۵ متغیر فاصله از جاده، بارش، شیب، سنگ‌شناسی (سنگ آهک و شیل) و سنگ‌شناسی (مارن) در مدل باقیمانده و چهار متغیر دیگر حذف شده‌اند. به عبارت دیگر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه ارتباط معنی‌داری با فاصله از این ۵ متغیر داشته است و تمامی ضرایب مدل رگرسیون لجستیک بر مبنای آماره والد از نظر آماری معنی‌دار هستند. بدین صورت که، ضریب متغیر مستقل بارش در سطح آماری ۵ درصد و بقیه متغیرها در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار هستند. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ می‌توان معادله رگرسیون را برای منطقه مورد مطالعه به صورت رابطه ۳ نشان داد.

رابطه ۳)

$$Y = 1.337(A) - 1.471(B) + 2.401(C) + 2.607(D) + 3.569(E) - 2.824$$

جدول ۱: ضرایب مدل رگرسیون لجستیک اجرا شده

متغیرهای مستقل	علامت	ضریب متغیرها	*S.E.*	*Wald*	*P-Value*
فاصله از جاده ($3Km$)	A	۱/۳۳۷	۰/۵۰۸	۶/۹۱۳	۰/۰۰۹
بارش (mm۱۰۰۰-۷۰۰)	B	۱/۴۷۱	۰/۶۷۳	۴/۷۸۱	۰/۰۲۹
شیب (۳-۰/ ۲۵ درجه)	C	۲/۴۰۱	۰/۵۳۲	۲۰/۳۶۰	۰/۰۰۰
سنگ‌شناسی (سنگ آهک و شیل)	D	۲/۶۰۷	۰/۷۷۷	۱۱/۲۵۴	۰/۰۰۱
سنگ‌شناسی (مارن)	E	۳/۵۶۹	۱/۰۴۵	۱۱/۶۶۰	۰/۰۰۱
ضریب ثابت		۲/۸۲۴	۰/۷۱۱	۱۵/۷۷۳	۰/۰۰۰

در رگرسیون لجستیک، ضرایب مدل ارائه شده نشان دهنده میزان تاثیر متغیر مستقل در وقوع و پیش‌بینی متغیر وابسته است. در اینجا می‌توان گفت که، متغیرهای مستقلی که داری ضریب بالاتری هستند، تاثیر بیشتری بر میزان زمین لغزش و احتمال وقوع آن دارند. با بررسی نتایج ارائه شده از مدل در جدول ۱، جنس زمین‌های منطقه بیشترین تاثیر را در ایجاد زمین لغزش دارند. پس آن شیب زمین را می‌توان موثرترین عامل در ایجاد زمین لغزش‌ها دانست. سپس میزان بارش عامل موثر در ایجاد این پدیده است و در انتها فاصله از جاده‌های ارتباطی بر روی این پدیده موثر است. کیانی و همکارن (۱۴۰۰) نیز در پژوهشی در استان اردبیل و براساس رابطه رگرسیون لجستیک نتیجه گرفتند متغیر زمین‌شناسی مهمترین متغیر مؤثّر بر وقوع زمین لغزش است. آنها نشان دادند که برخی از واحدهای زمین شناسی منطقه حساسیت بسیارشدید نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارند. آنها بعد از متغیر زمین‌شناسی، شیب زمین را مهمترین عامل موثر بر زمین لغزش دانستند. ایلدرمی و سپهری (۱۴۰۲) نیز در پژوهشی با هدف ارزیابی دقت نقشه‌های پتانسیل خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز سد کردستان با استفاده از روش‌های AHP، BWM و FUCOM نشان دادند که متغیر سنگ‌شناسی بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه نقش زیادی دارد. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود فاصله ۳ کیلومتری از جاده‌های موجود در استان چهارمحال و بختیاری، یک متغیر مستقل تاثیر گذار در وقوع و پیش‌بینی زمین لغزش است. این بدین معناست که هر چه از فاصله

۳ کیلومتری به سمت جاده‌ها در این منطقه نزدیک شویم، احتمال وقوع زمین لغزش بیشتری وجود دارد. این موضوع بیانگر آن است که زمانی که جاده سازی غیر اصولی در منطقه انجام می‌شود و نیز ایجاد راه‌های روستایی، شیب تعادل منطقه و نیز وضعیت طبیعی آن را بر هم خواهد زد. بریدگی هایی که برای ساخت جاده‌ها در زمین ایجاد می-شود نه تنها موجب ناپایداری شیب زمین می‌گردد، بلکه قسمت‌هایی از جاده ممکن است مانند دالانی برای عبور آب عمل کند و در مناطق کوهستانی در ایجاد زمین‌لغزش‌ها موثر باشد (ایللو و یاماگاشی، ۲۰۰۵). پیش‌تر نیز هنگام ورود لایه‌های اطلاعاتی در مدل این نکته وجود داشت که ۶۸ درصد از زمین لغزش‌های منطقه در فاصله ۳ کیلومتری از جاده قرار داشتند. شریفی و همکاران (۱۴۰۰) نیز با مطالعه زمین‌لغزش‌ها در غرب استان اصفهان نتیجه گرفتند که ایجاد راه‌های ارتباطی بر روی دامنه‌های پرشیب با خاک سست و ضخیم، مهمترین عامل در ایجاد زمین‌لغزش بوده است. همچنین، بعد از آن عوامل طبیعی شامل لیتولوژی، بارش و کاربری اراضی بیشترین نقش و عامل پوشش گیاهی کمترین نقش را در وقوع زمین لغزش‌های منطقه ایفا کرده-اند. در مورد متغیر مستقل باران اینکه نیز همانطور قبل‌تر ذکر گردید، بارش باران به تنهایی عامل موثری در وقوع زمین لغزش نیست زیرا زمانی که در یک منطقه از نظر جنس زمین دارای استحکام و مقاومت کافی در برابر بارش باشد، افزایش بارش نمی‌تواند خود به تنهایی باعث وقوع زمین لغزش شود این در حالی است که اگر در منطقه‌ای مانند منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، جنس زمین از نوعی باشد که بارش با افزایش رطوبت و کاهش مقاومت خاک، موجب سست شدن آن شود، و نیز زمین شیبدار باشد، احتمال وقوع زمین لغزش بالا می‌رود. در بررسی نقاط زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه نتایج نشان داد که از زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه، ۵۷ درصد در مناطقی با میانگین بارش ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر اتفاق افتاده است. علی‌رغم مطالعه حاضر موضوع بارش و تجمع آب بارش یا زیر زمینی در برخی مطالعات عامل بسیار تاثیرگذاری بر زمین لعزش است. برای نمونه امامی و همکاران (۱۴۰۱) پتانسیل زمین‌لغزش در منطقه چای‌باغ سوادکوه را با استفاده از روش توموگرافی الکتریکی بررسی و نشان دادند که تجمع آب زیرزمینی می‌تواند محرک حرکت زمین‌لغزش در این منطقه در آینده باشد. بنابراین طراحی زهکش برای سازه‌های مهندسی در طرح‌های راه-سازی در این منطقه ضروری است. از بین ۲۰۰ نقطه زمین لغزش اتفاق افتاده در منطقه مورد مطالعه، ۷۹ درصد در مناطقی با شیب بین صفر تا ۲۵ درجه اتفاق افتاده است این موضوع نشانگر این است که در منطقه مطالعاتی اکثر زمین لغزش‌ها در منطقه با شیب کمتری اتفاق افتاده است. دلیل این امر را می‌توان سخت شدن جنس سازندها و کاهش آبراهه‌ها در مناطق با شیب زیادتر دانست زیرا در شیب‌های بالاتر جنس سازندها سخت‌تر شده و آب های جاری فرصت کمتری برای نفوذ در زمین دارند (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین در مورد شیب زمین می‌توان به این موضوع اشاره کرد که، زمانی که در یک شیب نیروهای رانش از نیروهای مقاومت خاک یا سنگ بیشتر شود، ناپایداری در آن اتفاق می‌افتد. از طرفی هنگامی که بارش تدریجی باران در منطقه وجود داشته باشد و موجب آب گیری و در برخی مواقع اشباع شدن توده خاک بر روی یه سطح شیبدار شود، در نتیجه آن تعادل تنش‌ها در شیب به هم خورده و زمین لغزش در پی آن اتفاق می‌افتد. متغیر مستقل دیگری که بر روی زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه در این پژوهش موثر واقع شد سنگ‌شناسی یا جنس خاک و سنگ‌های منطقه می‌باشد. از بین زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه ۷۰ درصد در مناطقی با جنس آهک، شیل و مارن است. این مساله نشان دهنده این است که زمانی که بارندگی در مناطقی که از جنس آهک باشد اتفاق می‌افتد و به دلیل خاصیت انحلال‌پذیری سنگ‌های آهکی، مقاومت خاک منطقه پایین آمده و موجب بالا رفتن احتمال وقوع زمین‌لغزش می‌شود. ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که چون از منطقه‌ای به منطقه دیگر تغییرات عوامل تاثیرگذار بر وقوع زمین لغزش مانند جنس و شیب زمین، میزان بارش و ... تغییرات فراوانی دارد، میزان اهمیت هرکدام از متغیرها در مناطق مختلف تغییر می‌کند. به عنوان مثال در مطالعه حاضر جنس زمین موثرترین عامل در وقوع زمین لغزش شناخته شده و شیب زمین در درجه دوم قرار دارد، این درحالی است که در مطالعه‌ای که عابدینی و همکاران (۱۳۹۳) بر روی منطقه بیجار انجام دادند، شیب زمین مهم‌ترین عامل شناخته شده است و دیگر متغیرها در درجه بعدی قرار دارند.

ارزیابی صحت سنجی و اعتبار سنجی مدل رگرسیون لجستیک

نتایج ارزیابی صحت مدل رگرسیون لجستیک ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که فاکتور *2LL*- در آخرین تکرار مدل برابر ۱۱۷/۸۹۳ و ضرایب R^2 ناگلکرک و R^2 کوکس و اسنل به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۴۲ می‌باشند که نشان دهنده مطابقت مدل با داده‌های مشاهده‌ای و معنی‌داری آماری متغیرهای مستقل در مدل با وقوع زمین لغزش‌های منطقه می‌باشد. از طرفی درصد صحت پیش‌بینی مدل به صورت جدول طبقه‌بندی صفر و یک برای نقاط مشاهده‌ای و احتمال پیش‌بینی شده در جدول ۳ نمایش داده شده است. با استفاده از نتایج این جدول می‌توان نتیجه گرفت که آیا پیش‌بینی که برای این منطقه با استفاده از نقاط صفر و یک که در رگرسیون لجستیک انجام شده است دارای صحت بوده یا خیر و چه میزان دقتی در پیش‌بینی وجود دارد. نتایج نشان می‌دهد میزان موفقیت پیش‌بینی مدل برای نقاط زمین لغزشی در منطقه ۹۷/۲ درصد و برای نقاط فاقد زمین لغزش ۶۸/۶ درصد می‌باشد. میزان موفقیت کلی مدل اجرا شده ۹۰/۹ درصد می‌باشد که حاکی از توانایی مدل در شبیه‌سازی و یا پیش‌بینی زمین لغزش است. نتایج اعتبارسنجی نتایج مدل که با ۳۰ درصد داده‌های باقیمانده نیز کارایی مناسب مدل را نشان می‌دهد. نتایج این ارزیابی در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۲: ارزیابی صحت مدل براساس ضرایب همبستگی

آماره	R^2 ناکلگرک	R^2 کوکس و اسنل	*-2 LL*
مقدار آماره	۰/۶۵	۰/۴۲	۱۱۷/۸۹۳

جدول ۳: جدول طبقه‌بندی نقاط صفر و یک برای نقاط مشاهده‌ای و احتمال پیش‌بینی شده

نقاط مشاهده‌ای		نقاط پیش‌بینی شده		
		موقعیت		درصد صحت
		۰	۱	
موقعیت	۰	۳۵	۱۶	۶۸/۶
	۱	۵	۱۷۵	۹۷/۲
درصد صحت کلی مدل				۹۰/۹

جدول ۴: ارزیابی توانایی و صحت مدل براساس ۳۰ درصد داده‌ها

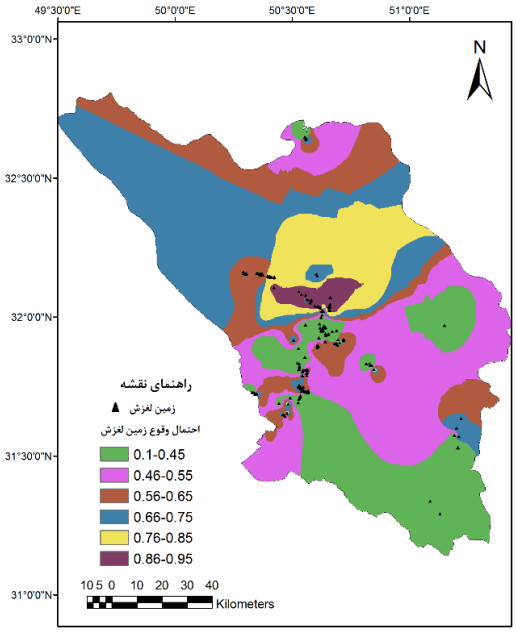
آماره	R^2 ناکلگرک	R^2 کوکس و اسنل	*-2 LL*	درصد صحت کلی
مقدار آماره	۰/۸۴	۰/۶۲	۴۲/۶۲	۹۶/۳۰

نتایج به دست آمده در این بخش نشان می‌دهد بعد از برازش مدل ضریب تبیین ناگل کرک، ۰/۸۴ به دست آمده است. این نتیجه بیانگر آن است که تابع لوجیت استخراج شده می‌تواند در حدود ۸۴ درصد از احتمال قرار گرفتن یک منطقه در گروه همراه با زمین لغزش را پیش‌بینی کند و یا به عبارت دیگر توان تفکیک دو حالت زمین لغزش و غیر زمین لغزش از هم را دارد. میزان صحت کلی مدل نیز مطابق با جدول ۴ معادل ۹۶/۳۰ به دست آمده است که نشان می دهد که مدل به دست آمده توانسته است به میزان ۹۶/۳۰ درصد، طبقه‌های زمین لغزش و غیر زمین لغزش را به صورت درست تفکیک و پیش‌بینی کند.

نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه

با استفاده از رابطه به دست آمده از رگرسیون لجستیک و نرم‌افزار *ArcGIS10.2* نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه به دست آمد که در شکل ۱۱ قابل مشاهده است. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود، پهنه-بندی به ۶ طبقه تقسیم شده و نواحی با درصد احتمال وقوع مختلف در آن مشخص شده است. تعداد طبقات براساس تفکیک بهتر انتخاب گردید. در صورتی که احتمال وقوع زمین لغزش را به سه دسته کم (۰-۵۵٪)، متوسط (۵۶-۷۵٪) و زیاد (۷۶-۱۰۰٪) دسته‌بندی کنیم، نتایج نشان می‌دهد که ۴۷ درصد از مساحت منطقه مطالعاتی در ناحیه با خطر وقوع زمین لغزش کم، ۳۹/۲ درصد در ناحیه

با خطر وقوع متوسط و ۱۳/۸ درصد مساحت ناحیه مطالعاتی در منطقه با احتمال وقوع بالای زمین لغزش قرار دارد. در طی بررسی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و لایه های اطلاعاتی که در وقوع این پدیده موثر است، می توان به این نکته اشاره کرد که نواحی با احتمال خطر بالاتر در مناطقی با جنس زمین آهک و شیل، که شیب درصد بالایی از آنها بین ۰ تا ۲۵ درجه است، قرار می‌گیرد.



شکل ۱۱: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه

نتیجه‌گیری

جهت بررسی عوامل تاثیرگذار بر روی منطقه مطالعاتی از ۹ عامل اولیه موثر شامل فاصله از جاده، فاصله از گسل، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، نقشه هم بارش، سنگ شناسی، طبقات ارتفاعی و فاصله از رودخانه به عنوان متغیر مستقل و عامل زمین لغزش به عنوان متغیر وابسته استفاده شد. براساس ارزیابی نتایج، مدل رگرسیون لجستیک وابستگی زمین لغزش‌های استان به ۵ متغیر مستقل، شامل فاصله از جاده، میزان بارش، شیب منطقه و دو کلاس سنگ‌شناسی را نشان داد. صحت کلی مدل به دست آمده معادل ۹۶/۳ درصد به دست آمد که نشان می‌دهد مدل توانسته است به میزان ۹۶/۳۰ درصد، طبقه‌های زمین لغزش و غیر زمین لغزش را به صورت درست تفکیک و پیش‌بینی کند. از بین متغیرهای موثر بر زمین لغزش در این استان جنس زمین‌های منطقه بیشترین تاثیر را دارد و پس آن شیب زمین قرار دارد. با توجه به اینکه این دو عامل قابل تغییر یا اصلاح نیست بنابراین برای دور ماندن از آسیب‌های زمین لغزش باید در ایجاد تاسیسات صنعتی، شهرک‌سازی و یا توسعه شهرها و روستا و یا توسعه کشاورزی و دامپروری این دو پارامتر مد نظر قرار گیرند. تاثیر دو عامل معنی‌دار دیگر بر زمین لغزش های استان یعنی میزان بارندگی و فاصله از جاده های ارتباطی تقریبا یکسان است. با توجه به اینکه این استان یک منطقه غالبا کوهستانی با بارش‌های خوب است، موضوع جاده‌سازی و مکان‌یابی مسیر جاده‌های روستایی باید از نگاه پیشگیری از پدیده زمین لغزش بسیار مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اینکه بخش بزرگی نیمه شمالی استان از نظر خطر وقوع زمین‌لغزش در محدوده پرخطر قرار گرفته است، توجه به موارد ذکر شده در بالا در این مناطق از اهمیت بیشتری برخوردار است.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.

منابع (References)

-Abedini, M., Ghasemian, B. and Shirzadi, A., 2013. Landslide Risk Modeling Using Logistic Regression Statistical Model (Case Study of Kurdistan Province, Bijar), Geography and Development Quarterly, v. 12, p. 85-102 (in Persian).
-Armin, M. and Ghorban Niakhibri, V., 2018. Comprehensive management of landslide risk monitoring, Disaster Prevention and Management Knowledge (quarterly), v. 9, p. 179-192 (in Persian).
-Asadi, S., Sharqi, A. and Atefi, M., 2018. Zoning of physical - infrastructural Vulnerabilities to landslides using GIS, case study: settlements in Tehran and Alborz provinces, Disaster Prevention and Management Knowledge (quarterly), v. 4, p. 329-340 (in Persian).
-Ayalew, L. and Ymagishi H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakud-Yahiko Mountains, Central Japan: Geomorphology, v. 65, p. 15-31.
-Broghni, M., Porfashmi, S. and Zanganeh, M., 2017. Landslide risk and damage assessment in the Baqi watershed using the methods of certainty factor and logistic regression, Geographical planning of space quarterly journal, v. 8, 1-18 (in Persian).
-Chau, K.T. and Chan, J.E., 2005. Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression for Hong Kong Island: Landslides, v. 2, p. 280-290.
-Dai, F.C. and Lee, C.F., 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong: Geomorphology, v. 42, p. 213-228.
-Emami, R., Rezapour, M. and Faraji, M., 1401. Study of landslide potential in Chaybagh region with 2D electrical resistivity tomography method, Iranian Geophysical Journal, v. 3, 237-223 (in Persian).
-Emami, S., 2018. The effect of soil physical and chemical variables on the occurrence of landslides, the first national conference on earth sciences, weather and climate change, Tehran, Mehrarvand Institute of Higher Education (in Persian).
-Enteziri, M., Zakirinejad, R. and Zakari, G., 2018. Investigating the effective causes of landslides in Semiram region, 14th Congress of the Geographical Society of Iran, Tehran, Geographical Society of Iran (in Persian).
-Fallah, M., Vafai-Najad, A., Al-Sheikh, A. and Madiri, M., 2018. Landslide probability zoning using Shannon entropy models and the value of information in GIS environment, a case study: Eastern Alamut River section, Qazvin province, Scientific Research Quarterly of Geographical Data, v. 28, p. 123-136 (in Persian).
-Hasali, H., Rangali, R., Deshapriya, N. and Samarakoon, L., 2018. Landslide susceptibility mapping using logistic regression model: ProcediaEngineering, v. 212, p. 1046-1053. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.135
-Habibpour, K. and Safari, R., 2018. A comprehensive guide to the use of spss in survey research, Motafkaran Publications, Tehran, 861 p (in Persian).
-Hasan Shahi, M., 2017. Estimated Demand for Medical Services Case Study of Shiraz and Arsanjan Cities "Generalized Logit and ANN Method, Journal of Healthcare Management, v. 9, p. 16-32. (in Persian).
-Ilderami, A. and Sepehri, M., 1402. Accuracy of landslide potential hazard maps of Kurdistan dam watershed using Full Consistency Method (FUCOM), BestWorst Method (BWM) and Analytic Hierarchy Process (AHP) methods, Hydrogeomorphology, http://dx.doi.org/10.22034/hyd. 2023.55538.1682 (in Persian).
-Karam, A. and Mahmoudi, F., 1384. Quantitative modeling and landslide risk zoning in folded Zagros (Serkhon watershed, Chaharmahal and Bakhtiari province), Geographical researches, v. 51, p. 1-14 (in Persian).
-Kardan, R., Qobadi, M. and Mirsanei, R., 1386. Landslides of the country based on aerial photographs, the 5th Conference on Engineering Geology and Environment of Iran, Tehran, Engineering Geology Society of Iran, Natural Disasters Research Institute (in Persian).
-Khalidi, Sh., Darfashi, Kh., Mehrjunjad, A. and Qara Chahi, S., 2013. Evaluation of factors affecting the landslide event and its zoning using logistic regression model in GIS environment: Quarterly Journal of Geography and Environmental Hazards, v. 1, p. 65-82 (in Persian).
-Khosravi, M. and Jamali, A., 2017. Prediction of landslide changes in North Qochan region according to factors affecting landslides using neural network, Cellular-Markov automata and

logistic regression, Geography and Environmental Hazards, v. 27, p. 1-17 (in Persian).
-Kiani, Sh., Karimkhani, A. and Muzhesi, A., 1400. Landslide risk zoning using logistic and ANFIS regression model in Hashtjin catchment area of Ardabil province, Geography and Environmental Sustainability, v. 9, p. 55-73 (in Persian).
-Lin, G., Ming, J., Ya, C. and Jui, Y., 2017. Assessment of susceptibility to rainfall-induced landslides using improved self-organizing linear output map, support vector machine, and logistic regression: Engineering Geology, v. 224, p. 62-74. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.05.009
-Majdbavi, A. and Momipour, M., 1400. Zoning of areas prone to landslides in Shahid Abbaspur Dam, Geography and Environmental Hazards, v. 37, p. 65-80 (in Persian).
-Mousavi-Khatir, Z., Kavian, A. and Soleimani, K., 1389. Preparation of landslide susceptibility map, Sejarood watershed using logistic regression model, Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources, v. 53, 111-99 (in Persian).
-Nofarsti, H., Viskarmi, A. and Rahim-Del, M., 2018. Analysis and investigation of landslide potential using numerical modeling (case study of Qain-Afin axis of South Khorasan province), Civil and Environmental Research Quarterly, v. 5. p. 88-77 (in Persian).
-Qaidsharf, A., Talai, R. and Mokhbari, M., 2017. Landslide Risk Assessment in Damavand Basin by Logistic Regression Method, 13th National Conference on Watershed Science and Engineering and 3rd National Conference on Protection of Natural Resources and Environment, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil (in Persian).
-Saha, A., Gupta, R. and Arora, M., 2002. GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) valley, Himalayas: International Journal of Remote Senescing, v. 23, p. 357-369.
-Shah Zaidi, S. and Hayati Zadeh, R., 2018. Investigation of landslides in Poshtkouh region of Fereydoun Shahr using entropy model, Geography and Development Quarterly, v. 17, p. 37-50 (in Persian).
-Sharifi, M., Shirani, K. and Shirani, M., 1400. Prioritization of factors affecting the occurrence of landslides and its sensitivity zoning using the multivariate linear regression method of a case study of the Vohrgan Watershed-West of Isfahan province, Hydrogeomorphology, v. 26, p. 163-139 (in Persian).
-Yaclin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey) comparisons of results and confirmations: Catena, v. 72, p. 1-12.
-Yang, J., Song, C., Yang, Y., Xu, C., Guo, F. and Xie, L., 2019. New method for landslide susceptibility mapping supported by spatial logistic regression and GeoDetector: A case study of Duwen Highway Basin, Sichuan Province, China: Geomorphology, v. 324, p. 62-71.
-Zhao, Y., Wang, R., Jiang, Y., Liu, H. and Wei, Z., 2019. GIS-based logistic regression for rainfall-induced landslide susceptibility mapping under different grid sizes in Yueqing, Southeastern China: Engineering Geology, v. 259, p. 105147.
https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105147.