



Predicting the susceptibility of landslide occurrence in order to manage landslide risk in Bar Neyshabur watershed

Ali Dastranj¹ & Samad Shadfar²

1. Corresponding Author: Soil Conservation and Watershed Management Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
2. Associate Prof, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Abstract

Background and objective: Landslide susceptibility zoning using different methods is one of the landslide management strategies. The purpose of this study is to evaluate the landslides susceptibility in the Bar watershed in Khorasan Razavi province using the support vector machine (SVM) algorithm.

Method: First, the landslide layer of the area was corrected through field visits and Google Earth satellite imagery. Finally, 73 landslides were identified and the layer related to these landslides was prepared in GIS environment. Of these landslides, 70% were used for model training and the remaining 30% for modeling validation. Then, according to the review of extensive sources and expert opinions, 16 factors affecting the occurrence of landslides in the study area were identified and layers related to these parameters were prepared. Then, using the SVM algorithm in ModEco software environment, a ground sensitivity map was prepared and finally this map was divided into five classes with very high, high, medium, low and very low sensitivity. Finally, the performance of this algorithm was evaluated using the ROC curve.

Findings: Based on the results, the area under curve (AUC) was obtained using training data (0.87) and validation data (0.85). Therefore, SVM algorithm has a very good performance to evaluate landslide sensitivity in the study area. Also, model evaluation based on kappa index showed that slope length (LS) and slope indices have the greatest impact on slope instability in this region. The results of sensitivity zoning also showed that 27.6% of the lands in the region, which were mainly located in the west and northwest of the basin, were in the class with high and very high sensitivity.

Conclusion: Based on the results obtained in the model training and validation stage, indicates that the SVM algorithm is approved in terms of accuracy and validity of modeling. As a result, the landslide susceptibility map obtained in the studied area can be used as a management tool as a cornerstone of landslide research in critical times, land use planning, damage reduction and landslide risks.

Keywords: Zoning, Kapa Index, SVM algorithm, ROC Curve

► **Citation (APA 6th ed.):** Dastranj A, Shadfar S. (2022, Autumn). Predicting the susceptibility of landslide occurrence in order to manage landslide risk in Bar Neyshabur watershed. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 12(3), 253-268.

پیش‌بینی حساسیت وقوع زمین لغزش به منظور مدیریت ریسک زمین لغزش در حوضه آبخیز بار نیشابور

علی دسترنج^۱ و صمدشادفر^۲

۱. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، مشهد (نویسنده مسئول). Dastranj66@gmail.com

۲. دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. samad.shadfar@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با استفاده از روش‌های مختلف، یکی از راه‌کارهای مدیریت زمین لغزش است. هدف از این پژوهش، ارزیابی حساسیت وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز بار نیشابور در استان خراسان رضوی با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) است.

روش: ابتدا از طریق بازدیدهای میدانی و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، لایه زمین لغزش‌های منطقه که توسط اداره کل منابع طبیعی تهیه شده بود، اصلاح گردید. در نهایت ۷۳ مورد زمین لغزش شناسایی و لایه مربوط (به صورت نقطه‌ای) به این زمین لغزش‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شد. از این تعداد زمین لغزش، ۷۰ درصد به منظور آموزش مدل و ۳۰ درصد باقیمانده به منظور اعتبارسنجی مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه با توجه به مرور منابع گسترده و نظرات کارشناسی ۱۶ عامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه شناسایی و لایه‌های مربوط به این پارامترها تهیه گردید. سپس با استفاده از الگوریتم SVM در محیط نرم‌افزار ModEco، نقشه حساسیت زمین تهیه شد و در نهایت، این نقشه به پنج کلاس با حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم گردید. در پایان، عملکرد این الگوریتم با استفاده از منحنی ROC مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: بر اساس نتایج به دست آمده، سطح زیر نمودار (AUC) با استفاده از داده‌های آموزشی، ۰/۸۷ و با استفاده از داده‌های صحت‌سنجی، ۰/۸۵ به دست آمد. لذا الگوریتم SVM عملکرد خیلی خوبی جهت ارزیابی حساسیت زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین ارزیابی مدل بر اساس شاخص کاپا نشان داد که شاخص‌های طول شیب (LS) و شیب بیشترین تأثیر را در ناپایداری دامنه‌ها در این منطقه دارند. نتایج پهنه‌بندی حساسیت نیز نشان داد که ۲۷/۶ درصد از اراضی منطقه که عمدتاً در غرب و شمال غرب حوضه واقع شدند در کلاس با حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: نتایج به دست آمده در مرحله آموزش مدل و هم در مرحله اعتبارسنجی بیانگر این مطلب است که الگوریتم SVM، از نظر صحت و اعتبار مدل‌سازی مورد تأیید می‌باشد. در نتیجه، نقشه حساسیت زمین لغزش به دست آمده در منطقه مورد مطالعه به عنوان سنگ بنای تحقیقات زمین لغزش در مواقع بحرانی، برنامه‌ریزی کاربری اراضی، کاهش خسارات و خطرات زمین لغزش می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کلیدواژه‌ها: پهنه بندی، شاخص کاپا، الگوریتم SVM، نمودار ROC

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** دسترنج، علی؛ شادفر، صمد. (پاییز، ۱۴۰۱). پیش‌بینی حساسیت وقوع زمین لغزش به منظور مدیریت ریسک زمین لغزش در حوضه آبخیز بار نیشابور. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*. ۱۲ (۳)، ۲۵۳-۲۶۸.

مقدمه

اهمیت بسیاری برخوردار است (حبیبی پور و طالبی، ۱۳۹۰). با تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌توان مناطق حساس به زمین‌لغزش را شناسایی و درباره برنامه‌های مورد نظر تصمیم‌گیری کرد. برای دستیابی به کاهش خسارات ناشی از زمین‌لغزش، برنامه‌ریزی کلی و اعمال مدیریت خطر زمین‌لغزش ضروری می‌باشد، لیکن می‌توان گفت که یکی از مهم‌ترین اقدامات در این رابطه، شناخت مناطق دارای پتانسیل خطر زمین‌لغزش، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و برنامه‌ریزی جهت کاربری مناسب در این گونه مناطق است. لذا پی‌موند مسیر مدیریت راهبردی زمین‌لغزش شامل حلقه‌های ارزیابی استعداد، خطر (احتمال مکانی و بزرگی) و ریسک ریالی زمین‌لغزش در این حوضه از اهمیت خاصی برخوردار است. حوضه آبخیز بار در شمال غربی شهر نیشابور به دلیل استقرار روستاهای متعدد و شهر بار که عمده فعالیت‌های آن‌ها کشاورزی، باغداری و دامداری است، نقش مهمی در تولیدات باغی و کشاورزی و تولیدات دامی در استان خراسان رضوی دارد. همچنین این حوضه به دلیل داشتن مراتع سرسبز و باغات پهناور، آبشار معروف بار و رودخانه بار دارای چشم‌اندازهای بسیار زیبایی می‌باشد و یکی از قطب‌های گردشگری استان خراسان رضوی محسوب می‌شود. این حوضه به دلیل شرایط زمین‌شناسی، اقلیمی و فعالیت‌های انسانی دارای پتانسیل وقوع زمین‌لغزش است. همچنین مسیرهای ارتباطی و جاده‌های موجود، خطوط انتقال برق، لوله‌های انتقال آب، خطوط انتقال گاز، مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی و باغات در معرض خطر زمین‌لغزش قرار دارند. از این رو برای دستیابی به کاهش خسارات ناشی از زمین‌لغزش، برنامه‌ریزی کلی و اعمال مدیریت خطر زمین‌لغزش ضروری می‌باشد. لیکن می‌توان گفت که یکی از مهم‌ترین اقدامات در این رابطه، شناخت مناطق دارای پتانسیل خطر زمین‌لغزش، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی و برنامه‌ریزی جهت کاربری مناسب در این گونه مناطق می‌باشد.

پیشینه

در ارتباط با پدیده زمین‌لغزش در مناطق مختلفی از دنیا که با این پدیده مخرب روبرو هستند با توجه به خسارات مختلف به مناطق

ناپایداری دامنه‌های طبیعی یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش مؤثری دارد (مددی و همکاران، ۱۳۹۴). زمانی که این فرایند، فعالیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار دهد به پدیده‌ای خطرناک تبدیل می‌شوند (فاطمی عقدا و غیومیان، ۱۳۸۲ و پائولتی^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). از میان حرکات دامنه‌ای، زمین‌لغزش‌ها با توجه به تکرار وقوع این پدیده و خسارات زیان‌بار آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است (میرصانعی و کاردان، ۱۳۷۸). وقوع زمین‌لغزش موجب تخریب پوشش گیاهی، باغات، اراضی زراعی و حتی تلفات انسانی می‌گردد. کشور ایران به دلیل مساعد بودن شرایط جغرافیایی، ضعف مدیریت جامع و عدم رعایت آستانه‌های محیطی، به عنوان یک کشور پرمخاطره به شمار می‌رود (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۴). ایران از نظر بلایای طبیعی جزء ده کشور اول دنیا می‌باشد و هر ساله وقوع زمین‌لغزش‌ها در مناطق مختلف کوهستانی آن خسارات و صدمات جبران‌ناپذیری به بار می‌آورد (حجازی و رنجبریان شادباد، ۱۳۹۳). با توجه به طیف گسترده وقوع پدیده زمین‌لغزش روش واحدی برای شناسایی و تهیه نقشه پهنه‌بندی جهت ارزیابی خطر وجود ندارد. با به‌کارگیری روش‌های علمی، مجموعه‌ای از ابزارهای دقیق برای آماده‌سازی و استفاده بهینه از نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش و همچنین استفاده از مدل‌های پیش‌بینی لغزش فراهم می‌آید، که مشکل شناسایی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را کاهش می‌دهد. بررسی پدیده ناپایداری دامنه‌ای به کمک تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش، از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری و از سوی دیگر برای شناسایی مکان‌های امن برای توسعه زیستگاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌های انسان نظیر جاده‌ها، مسیرهای انتقال نیرو، انرژی و غیره حائز اهمیت می‌باشد و در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان قرار دارد. با توجه به اینکه بسیاری از خسارات ناشی از زمین‌لغزش به دلیل عدم رعایت اصول صحیح در گسترش مناطق مسکونی، ساخت سدها، احداث راه‌ها و تأسیسات و غیره به وجود آمده‌اند، بنابراین لزوم شناخت مناطق حساس به زمین‌لغزش از

1. Paoletti

مسکونی، تأسیسات، اراضی زراعی و باغی و جنگل‌ها و مراتع و از بین رفتن خاک و تولید رسوب و هم‌چنین خسارات جانی و ... که وارد می‌نماید، تحقیقات به‌طور همه‌جانبه انجام گرفته است. مطالعات پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ابتدا در کشورهای ایالات متحده آمریکا سال ۱۹۷۷، استرالیا سال ۱۹۷۸، اسپانیا سال ۱۹۷۸، ایتالیا سال ۱۹۷۹، فرانسه سال ۱۹۸۷ و چک و اسلواکی سال ۱۹۸۷ انجام پذیرفته است. امروزه بسیاری از کشورها دارای مؤسسات مستقلی جهت مطالعه و بررسی این پدیده می‌باشند. در ایران پس از وقوع زلزله سال ۱۳۶۹ رودبار-منجیل و هم‌چنین بعد از اعلام دهه ۱۹۹۰ میلادی به عنوان دهه کاهش اثرات بلایای طبیعی و تشکیل کمیته ملی کاهش بلایای طبیعی و کمیته فرعی تخصصی کاهش خسارات ناشی از زلزله و لغزش لایه‌های زمین در ارتباط با انواع مطالعات پیرامون پدیده زمین‌لغزش از جمله تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش اقداماتی آغاز گردیده است (پروژه ارزیابی کارایی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان تهران، ۱۳۸۲). در قرن اخیر مدل‌های یادگیری ماشین به لحاظ به‌کارگیری الگوریتم‌های تخمین توزیع، طبیعت داده‌محور و تکرار بالای فرآیند مدل‌سازی، توانایی بالایی در شناسایی رفتار وقوع پدیده زمین‌لغزش داشته‌اند (لی^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). یکی از این روش‌ها الگوریتم بردار پشتیبان می‌باشد که در این مطالعه از این الگوریتم به منظور پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش استفاده شد. در ادامه مروری بر منابع در این زمینه در داخل و خارج از کشور ارائه گردیده است.

اسفندیاری درآباد (۱۳۹۹) در پژوهشی به بررسی حساسیت زمین‌لغزش محور ارتباطی حیران با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و توابع خطی، چندجمله‌ای، شعاعی و حلقوی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان پرداختند. معیارهای مؤثر در شناسایی حساسیت زمین‌لغزش در سطح منطقه مورد مطالعه شامل لایه‌های استخراج شده از سطوح ارتفاعی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، شیب، جهت شیب و فاصله از جاده است. بر اساس نتایج ارزیابی مدل به ترتیب عامل زمین‌شناسی، ارتفاع، جهت شیب و کاربری اراضی، بیشترین ارزش را در ناپایداری دامنه‌ها در این محدوده داشته‌اند. در قالب مقایسه بین مدل‌ها جهت

ارزیابی مطابقت آن با واقعیت منطقه به نظر می‌رسد مدل ماشین بردار پشتیبان نسبت به شبکه عصبی مصنوعی کارایی بهتری جهت ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در محور ارتباطی گردنه حیران دارد. کرنژادی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های داده‌کاوی در حوضه آبخیز چهل چای پرداختند. بدین منظور، از دو مدل داده‌کاوی ماشین بردار پشتیبان (SVM) و درخت رگرسیون تقویت‌شده (BRT) به لحاظ الگوریتم محاسباتی توانمند در زمینه ارزیابی فرایند زمین‌لغزش استفاده شد. به منظور ارزیابی نتایج مدل‌ها، از مقدار مساحت زیر منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) و ۳۰ درصد لغزش‌های استفاده نشده در فرایند مدل‌سازی استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) با مساحت زیر منحنی ۰/۸۲ (۸۲ درصد) کارایی بهتری در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه داشته است و مدل BRT با مقدار معادل ۰/۷۷ (۷۷ درصد) در رتبه بعدی اهمیت قرار گرفت. بر اساس نتایج مدل SVM، حدود ۴۵ درصد از حوضه آبخیز چهل چای در پهنه حساسیت زیاد و خیلی زیاد به وقوع زمین‌لغزش قرار گرفته است. غلامی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی حساسیت زمین‌لغزش حوضه کن با استفاده از شاخص آنتروپی و الگوریتم ماشین‌های پشتیبان ب ردار پرداختند. معیارهای مؤثر در بروز زمین‌لغزش در این تحقیق شامل توپوگرافی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده می‌باشند. جهت اعتبارسنجی مدل‌ها، با استفاده از ۳۰ درصد نقاط لغزشی، منحنی ROC، ترسیم و مساحت زیر منحنی (AUC) محاسبه شده است. نتایج اعتبارسنجی نشان داده است که الگوریتم ماشین‌های پشتیبان بردار (AUC=۰/۹۱) (SVM-) داده است. در برآورد حساسیت زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه نسبت به مدل شاخص آنتروپی (AUC=۰/۸۶) از صحت بیشتر و قابلیت اعتماد بالاتری برخوردار است. بیو^۲ و همکاران (۲۰۱۲) در کشور ویتنام با استفاده از چهار مدل ماشین پشتیبان بردار (SVM)، رگرسیون لجستیک، درخت تصمیم و تئوری بیزین به بررسی حساسیت زمین‌لغزش پرداختند. نتایج نشان داد که مدل بردار پشتیبان (SVM) با (AUC=۰/۹۶)، بهترین دقت را در

درصد سطح منطقه دارای خطرپذیری کم و خیلی کم و ۱۱ درصد منطقه دارای خطرپذیری زیاد و خیلی زیاد است.

مبانی نظری

مدیریت بحران و مدیریت ریسک

در مدیریت بحران که اغلب در کشورهای در حال توسعه از آن استفاده می‌شود، پس از وقوع یک واقعه کلیه امکانات مالی و انسانی در منطقه بسیج می‌شود و پرداخت خسارات و کمک‌رسانی بلاعوض در سرلوحه فعالیت‌ها قرار می‌گیرد. ویژگی مهم مدیریت بحران، عدم هرگونه اقدام قبل از وقوع حادثه است و همه فعالیت‌ها پس از آن انجام می‌شود. با شروع بحران، حمایت‌های معنوی و مالی در اوج خود قرار دارد، ولی به تدریج در فازهای توانمندسازی و بازسازی، کاهش می‌یابد. در مدیریت ریسک برعکس مدیریت بحران، اقدامات گسترده‌ای قبل از وقوع حادثه انجام می‌شود تا عملاً غافلگیری به حداقل ممکن برسد.

خسارت زمین‌لغزش در جهان و ایران

زمین‌لغزش‌ها همه‌ساله، موجب تلفات قابل توجه و زیان‌های اقتصادی بزرگ در مناطق مختلف جهان، به‌ویژه در مناطق کوهستانی شده‌اند. در ادبیات فنی، از پدیده زمین‌لغزش به عنوان سومین نوع بلایای طبیعی (از لحاظ اهمیت) در سطح جهان یاد شده است (زیل من^۵، ۱۹۹۹). بر اساس گزارش بانک اطلاعات بین‌المللی رویدادهای طبیعی (International Disaster Database)، ۴/۹ درصد بلایای طبیعی بین سال‌های ۲۰۱۵-۱۹۹۰ زمین‌لغزش بودند و ۱/۳ درصد مرگ و میر ناشی از بلایای طبیعی در این مدت مربوط به زمین‌لغزش است و ۵۴ درصد این زمین‌لغزش‌ها در قاره آسیا اتفاق افتاده است. طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۴ در سراسر جهان ۴۸۶۲ زمین‌لغزش اتفاق افتاده است (فرود^۶ و همکاران، ۲۰۱۸). ماتئوس^۷ و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای تحت عنوان ادغام خطر زمین‌لغزش در اروپا بیان کردند که ۴۸ میلیون نفر در اروپا در معرض خطر زمین‌لغزش هستند. و بین سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۵ در اروپا ۳۹۰۷ لغزش رخ داده است که منجر به کشته شدن ۳۹ نفر مجروح شدن و

پیش‌بینی حساسیت زمین‌لغزش دارد. هانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از الگوریتم بردار پشتیبان (SVM) به پیش‌بینی مکانی زمین‌لغزش و وقوع زمین‌لغزش در چین پرداختند. در این مطالعه ۲۸۲ زمین‌لغزش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، عکس هوایی و بازدید میدانی شناسایی شدند. نتایج نشان داد که مدل SVM دارای عملکرد بالایی در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش است. فام^۲ و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از ۵ روش یادگیری ماشین شامل: ماشین بردار پشتیبان (SVM)، رگرسیون لجستیک (LR)، آنالیز توزیع خطی فیشر (FLDA)، شبکه بیزین (BN) و بیز ساده (NB) به منظور ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در کشور هند استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل SVM با (AUC=۰/۹۵) دارای بهترین عملکرد در پیش‌بینی زمین‌لغزش می‌باشد. شانو^۳ و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در حوضه آبخیز Shafe و Baso در جنوب شرقی ایتوپیا، پرداختند. بدین منظور، فاکتورهای لیتولوژی، شرایط آب زیرزمینی، فاصله از گسل، پارامترهای مورفومتریک (شیب، جهت و انحنای)، کاربری و بارش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که فاکتورهای فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، لیتولوژی و جهت بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش دارند. همچنین نتایج پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نشان داد که ۴۲/۱۵ درصد دارای خطر کم و خیلی کم و ۲۶/۲ درصد دارای خطر زیاد و خیلی زیاد است. تیاگی^۴ و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای در منطقه Tehri area در کشور هند با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمتغیره (MCDM) در محیط GIS اقدام به ارزیابی پهنه‌بندی خطر و ریسک زمین‌لغزش اقدام کردند. بدین منظور، پارامترهای داده‌های زمین‌لرزه، بارش، TWI، SPI، DEM، شبکه زهکش، شیب، جهت و مخازن آب مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به منظور ارزیابی شاخص خطر زمین‌لغزش استفاده شد و سپس ارزیابی آسیب‌پذیری زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. و در نهایت نقشه ریسک با ترکیب نقشه خطر و آسیب‌پذیری تهیه شد. نتایج نشان داد که ۶۰

5. Zillman
6. Froude
7. Mateos

1. Hong
2. Pham
3. Shano
4. Tyagi



خسارت وارد می‌شود. میزان خسارات ناشی از ۴۹۰۰ زمین‌لغزش برابر گزارش‌های بانک اطلاعات زمین‌لغزش تا پایان شهریور ۱۳۸۶، ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال برآورد شده است (عظیم پور مقدم، ۱۳۹۴).

۱۵۵ نفر گردیده است. جدول (۱-۱) نمونه‌هایی از زمین‌لغزش‌های ویرانگر را نشان می‌دهد. ایران در ردیف ۱۰ کشور بلاخیز جهان قرار دارد که بر اساس گزارش کمیته ملی کاهش بلایای طبیعی وزارت کشور، در مناطق کوهستانی سالانه ۵۰۰ میلیارد ریال به کشور

جدول ۱. نمونه‌هایی از زمین‌لغزش‌های ویرانگر (سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، ۱۳۹۷)

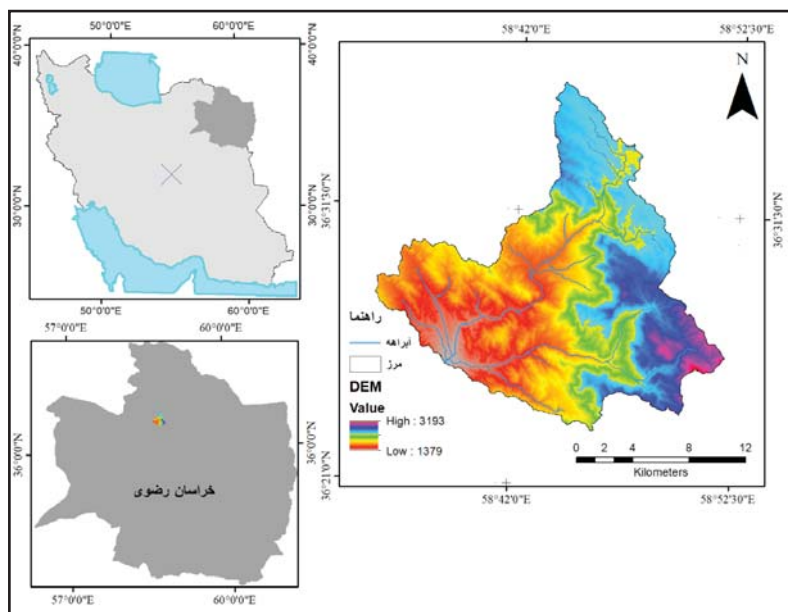
تعداد مرگ‌ومیر	کشور	محل رویداد	زمان رویداد
۳۳۰۰	فرانسه	Tour, hone Valley	۱۵۸۴
۲۲	آمریکا	Pennsylvania	۱۷۴۱
۴۵۷	سوئیس	Goldau	۱۸۰۶
۱۱۱	نروژ	Vaerdalen	۱۸۹۳
۷۰	کانادا	Frank, Alberta	۱۹۰۳
۲۰۰۰۰۰	چین	Kansu Province	۱۹۲۰
۳۰۰۰	ایتالیا	Vaiont	۱۹۶۳
۴۰۰۰۰	پرو	West Central	۱۹۷۰
۲۳۰۰۰	کلمبیا	Armero	۱۹۸۲
۱۹۴	ایران	منجیل- رودبار	۱۹۹۰
۵۵	ایران	آبیکار	۱۹۹۸

روش

منطقه مورد مطالعه

تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش یکی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی خطر زمین‌لغزش، شناسایی و تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود حوضه است. بدین منظور ابتدا با استفاده از نقشه زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه -که توسط اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ در سال ۱۳۸۲، تهیه‌شده بود- نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود حوضه استخراج شد. سپس از طریق انجام بازدید میدانی در حوضه، استفاده از اطلاعات محلی و دستگاه GPS و همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth اقدام به اصلاح این نقشه شد و در نهایت، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها به صورت نقطه‌ای تهیه گردید (شکل ۲). در نهایت، ۷۳ زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه به صورت نقطه‌ای شناسایی شد که از این تعداد، ۷۰ درصد برای آموزش مدل و ۳۰ درصد باقیمانده به منظور اعتبارسنجی مدل استفاده شد. در شکل ۲ تصاویری از زمین‌لغزش‌هایی که در منطقه مورد مطالعه رخ داده‌اند، ارائه شده است.

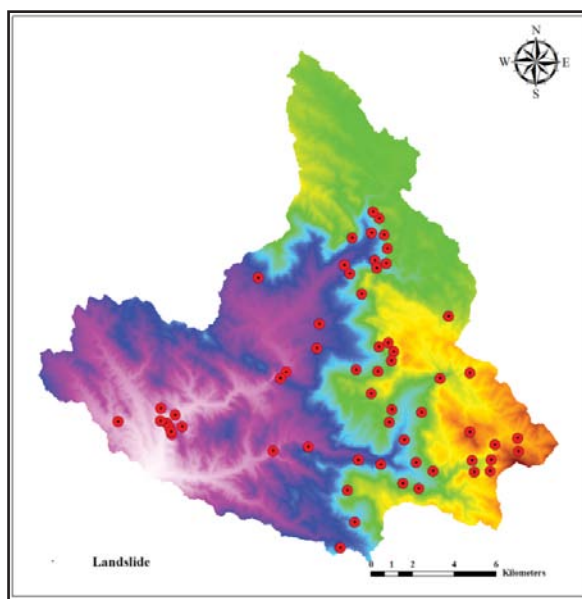
حوضه آبخیز بار در محدوده طول جغرافیایی $23^{\circ} 35' 58''$ تا $4^{\circ} 52' 58''$ شرقی و عرض جغرافیایی $9^{\circ} 28' 36''$ تا $7^{\circ} 26' 36''$ شمالی قرار دارد و در دامنه‌های جنوبی بینالود واقع شده است. این حوضه یکی از زیر حوضه‌های حوضه آبریز رودخانه بار است که در شمال شهرستان نیشابور قرار دارد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. حوضه آبخیز بار بخشی از زیر زون ساختاری بینالود-آلاداغ است که در نتیجه تحولات زمین‌ساختی واقع در آن، انواع واحدهای سنگی و رسوبی دوران دوم و سوم زمین‌شناسی بر روی آن گسترش یافته است. شیب متوسط حوضه ۱۸/۹۸ درجه و حداقل و حداکثر ارتفاع به ترتیب ۱۳۷۹ و ۳۱۹۳ متر از سطح دریا می‌باشد. کاربری اغلب منطقه مورد مطالعه مرتع متوسط (۱۸۶۶۶ هکتار) می‌باشد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت، در نیشابور و اخلمد سازندهای دوران دوم (لار)، و چهارم (رسوبات کواترنری Qt2، پادگانه‌های آبرفتی Qt1 و آبرفت‌های جوان (Qa) در محل تلاقی آبراه‌ها و مسیل‌ها با رودخانه اصلی گسترش یافته است (غلام پور، ۱۳۹۴).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز بار



شکل ۲. نمایی از زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. نقشه پراکنش زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه

داده‌های پژوهش

در این مطالعه عوامل شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، زمین‌شناسی، شبکه زهکشی (فاصله از رودخانه)، جاده (فاصله از جاده)، گسل (فاصله از گسل)، شاخص‌های توپوگرافیک (شاخص توان رودخانه (SPI)، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و شاخص طول شیب (LS))، شاخص‌های ژئومورفولوژیک (شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI) و شاخص انحنای سطح (Curvature Index))، کاربری اراضی، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و خطوط هم بارش جهت بررسی مناطق حساس به زمین‌لغزش انتخاب شدند (شکل ۴).

کاربری اراضی و پوشش گیاهی: حضور یا عدم حضور پوشش گیاهی از عوامل تأثیرگذار در رخداد زمین‌لغزش محسوب می‌گردد و نقش بسیار پیچیده و متضادی در حساسیت زمین‌لغزش ایفا می‌کند. این نقش توسط چهار عامل مختلف تعیین می‌شود: ثبات مکانیکی ناشی از وجود ریشه، تخلیه رطوبت خاک در اثر تعریق، بار اضافی ناشی از وزن درختان و شکست باد. نقشه کاربری منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه کاربری اراضی استان خراسان رضوی - که از اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه شد - استخراج گردید و از طریق بازدید میدانی و به‌ویژه از طریق تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، اصلاح شد. شاخص NDVI با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth engine، تهیه گردید. **ارتفاع:** ارتفاع، عاملی است که به‌طور غیرمستقیم نقش تعیین‌کننده در عوامل وقوع زمین‌لغزش نقش دارد که از جمله این عوامل می‌توان مقدار بارندگی، تغییرات دمایی، یخبندان و ذوب یخ، هوازدگی فیزیکی و شیمیایی را نام برد. شیب: به‌طور کلی میزان شیب نقش مهمی را در عواملی همچون نفوذپذیری آب در دامنه‌ها، زاویه شکست و چسبندگی خاک دارد. جهت شیب: جهت شیب از این جنبه مورد توجه در مطالعات زمین‌لغزش می‌باشد که نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان بارندگی و رطوبت، نور خورشید و رژیم باد بازی می‌کند که این موارد نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد لغزش دارند. لایه‌های شیب، جهت شیب و طبقات ارتفاعی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک زمینی ۱۲/۵ متر و

نرم‌افزار Arc GIS 10/8 تهیه گردید.

زمین‌شناسی: زمین‌شناسی یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در مطالعه زمین‌لغزش‌ها می‌باشد، زیرا واحدهای سنگی مختلف دارای درجات حساسیت گوناگونی در بروز این پدیده هستند. گسل: تأثیر گسل‌ها بر حرکات دامنه‌ای به صورت خرد شدگی سنگ‌های پیرامون، نفوذ بیشتر آب در درون توده‌های خرد شده و ایجاد زمین‌لرزه می‌باشد. برای تهیه لایه‌های زمین‌شناسی و گسل‌های منطقه مورد مطالعه از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نیشابور و اخمد با شماره شیت ۷۷۶۲ و ۷۷۶۳ (تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی)، استفاده شد. از تابع فاصله اقلیدسی برای تهیه و آماده‌سازی فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10/8، استفاده گردید.

بارش: بارندگی به عنوان متداول‌ترین عامل ماشه‌ای وقوع زمین‌لغزش است. به‌طور کلی بارندگی باعث نفوذ بارش و در نتیجه سبب بالا رفتن فشار منفذی، کاهش مکش خاک، و افزایش وزن واحد خاک و کاهش مقاومت برشی خاک می‌شود و در نهایت دامنه برای وقوع زمین‌لغزش مستعد می‌شود. نقشه بارش با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی - که داخل و نزدیک به منطقه مورد مطالعه واقع شدند - استخراج گردید.

جاده: فعالیت‌های انسانی مانند جاده‌سازی، یکی از مهم‌ترین عوامل رخداد زمین‌لغزش در مناطق شیب‌دار به‌شمار می‌رود. جاده‌ها به‌ویژه در مناطق کوهستانی، به دلیل سیستم زهکشی نامناسب، بر هم زدن شیب تعادل منطقه و بی‌ثباتی مکانیکی در دامنه‌ها یکی از عوامل شناخته شده در افزایش وقوع زمین‌لغزش می‌باشند. نقشه جاده‌های منطقه مورد با استفاده از نقشه جاده‌های استان - که از اداره منابع طبیعی استان خراسان رضوی تهیه شد - استخراج گردید و از طریق بازدیدهای میدانی و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، اصلاح شد. شاخص توان آبراهه (SPI) از رابطه ۱ و با توجه به دستور raster calculator در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10/8 محاسبه می‌گردد (عظیم پور مقدم، ۱۳۹۴).

رابطه ۱ (عظیم پور مقدم، ۱۳۹۴):

$$SPI = \text{Astan} \beta$$

در این رابطه AS: مساحت حوضه و $\tan \beta$: مقدار شیب منطقه در هر پیکسل می‌باشد.

داده‌های هدف (متغیرهای وابسته)، مدل ماشین بردار پشتیبان پس از تجزیه و تحلیل بین متغیرهای مستقل و وابسته (واسنجی)، داده‌ها را به گروه‌های متمایزی تقسیم می‌کند. در الگوریتم SVM، هر نمونه داده را به عنوان یک نقطه در فضای n بعدی روی نمودار پراکنندگی داده‌ها ترسیم کرده (n تعداد ویژگی‌هایی است که یک نمونه داده دارد) و مقدار هر ویژگی مربوط به داده‌ها، یکی از مؤلفه‌های مختصات نقطه روی نمودار را مشخص می‌کند. سپس، با ترسیم یک خط راست، داده‌های مختلف و متمایز از یکدیگر دسته‌بندی می‌شوند. ماشین بردار پشتیبان مرزی است که به بهترین شکل دسته‌های داده‌ها را از یکدیگر جدا می‌کند. ایده اصلی این الگوریتم به صورت یک طبقه‌بندی دوتایی با استفاده از نقاط آموزشی است که فضای ورودی اصلی را به یک فضای با ابعاد بالاتر، جهت یافتن یک ابر صفحه مطلوب تبدیل می‌کند (رابط و همکاران، ۱۳۹۹). نقاط آموزشی که نزدیک به صفحه مطلوب است، پشتیبان بردار نامیده می‌شود. هنگامی که سطح تصمیم به دست آمد، می‌توان از آن جهت برآورد داده‌های جدید استفاده کرد. الگوریتم SVM تحت عنوان ماشین بردار پشتیبان توسط واپ نیک^۱ بر پایه تئوری یادگیری آماری است که از حداقل ریسک ساختاری تبعیت می‌کند و برای ارزیابی و آزمون مجموعه‌ای از داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (قاسمیان و همکاران، ۱۳۹۶). بر اساس نظریه یادگیری آماری، می‌توان کران نرخ خطای ماشین یادگیری را برای داده‌های طبقه‌بندی نشده، به عنوان نرخ خطای تعمیم یافته در نظر گرفت. این کران‌ها به عنوان تابعی از مجموعه نرخ خطاهای آموزش هستند که میزان پیچیدگی طبقه‌بندی کننده‌ها را نشان می‌دهند. این الگو در سال‌های اخیر توجه زیادی را به دلیل عملکرد خوب طبقه‌بندی و قابلیت تعمیم مناسب به خود جلب کرده است (قاسمیان و همکاران، ۱۳۹۶). مدل SVM با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود. اگر Xi مجموعه‌ای از سلول‌های آموزشی رابطه زیر باشد (حلاجی و همکاران، ۱۳۹۹).

رابطه ۱:

$$X_i = (i = 1, 2, \dots, n)$$

سلول‌های آموزشی دو رده (وقوع زمین لغزش و عدم وقوع آن) می‌باشد که به صورت $y_i = \pm 1$ مشخص می‌شوند. هدف SVM

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) از رابطه ۲ در محیط نرم‌افزار SAGA GIS، تهیه شد.

رابطه ۲ (عظیم پور مقدم، ۱۳۹۴):

$$TWI = \ln \alpha / \tan \beta$$

در این رابطه α : زهکش شیب بالاست در واحد طول و β : شیب منطقه‌ای می‌باشد.

شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) طبق رابطه ۳ به دست می‌آید:

رابطه ۳ (ملکی و همکاران، ۱۳۹۵):

$$TPI = Z_0 - \sum_{n=1} Z_{n/n}$$

که Z_0 ارتفاع نقطه مدل تحت ارزیابی، Z_n ارتفاع از شبکه و n = تعداد کل نقاط اطراف در نظر گرفته شده در ارزیابی.

شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI) از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد:

رابطه ۴ (بابلی مؤخر و همکاران، ۱۳۹۷):

$$TRI = \sqrt{\sum_{p=1}^8 ZM_d}$$

P = تعداد پیکسل اطراف، ZM_d = میانگین تفاضل ۸ پیکسل اطراف هر پیکسل.

ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)

روش‌های کمی در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش نتایج مطمئن تری را نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌دهند، لذا استفاده از این روش‌ها اعتبار علمی بیشتری نسبت به سایر روش‌ها دارند (طاهری و همکاران، ۱۳۹۹). از این رو در این مطالعه به منظور ارزیابی حساسیت زمین لغزش و پهنه‌بندی آن از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده شد. در این راستا بعد از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز و تهیه لایه‌های این داده‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تهیه لایه زمین لغزش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، اقدام به مدل‌سازی حساسیت زمین لغزش شد. در این مطالعه از ۷۰ درصد داده‌های لغزش به منظور آموزش و ۳۰ باقی‌مانده برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد.

این مدل یکی از مدل‌های یادگیری ماشین نظارت شده است که به منظور طبقه‌بندی و تفکیک داده‌ها به کار می‌رود. به بیان دیگر، پس از مشخص شدن داده‌های ورودی مدل (متغیرهای مستقل) و

یافته‌ها

در این پژوهش ۱۶ عامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش به عنوان لایه‌های ورودی به مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) با استفاده از نرم‌افزار ModEco و ArcGIS مورد بررسی قرار گرفتند. نقشه مربوط به این لایه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. برای پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش، مهم‌ترین بخش کار، تهیه لایه پراکندگی زمین‌لغزش‌های منطقه می‌باشد. میزان دقت و ارزیابی درست پهنه‌بندی حساسیت تا حد زیادی به این بخش کار وابسته است. بدین منظور از طریق بازدیدهای میدانی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، لایه زمین‌لغزش‌های تهیه شده توسط اداره منابع طبیعی خراسان رضوی، اصلاح شد. در مجموع، ۷۳ مورد زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه شناسایی و لایه مربوط به آن‌ها تهیه گردید (شکل ۳). از این تعداد، ۷۰ درصد برای آموزش مدل و ۳۰ درصد باقی‌مانده به منظور اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه به منظور اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه از نمودار شاخص کاپا استفاده شد. شکل (۵) نتایج حاصل از نمودار شاخص کاپا جهت تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار و سهم هر یک از پارامترها را در پیش‌بینی مدل نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، شاخص‌های طول شیب و شیب مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار هستند. همچنین پارامترهای فاصله از گسل و ارتفاع، دارای کمترین تأثیر در وقوع زمین‌لغزش می‌باشند.

جستجوی یک فراتر از افتراق N-ابعادی در دو کلاس بوده است که به وسیله شکاف حداکثری آن‌ها مشخص می‌شوند. از نظر ریاضی این موضوع می‌تواند به صورت رابطه ۲ بیان شود:

رابطه ۲:

$$W^2 = 1/2$$

که منوط به محدود کردن رابطه ۳ است.

رابطه ۳:

$$Y_i = ((W \cdot X_i)^2) \geq 1$$

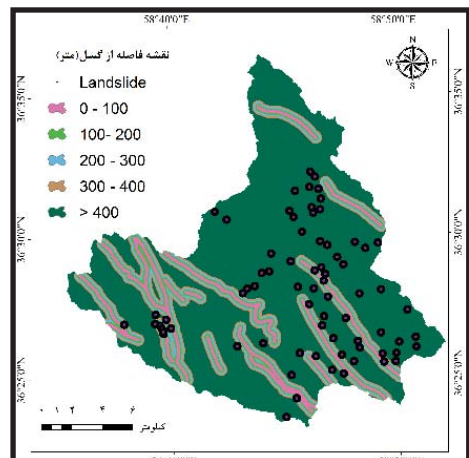
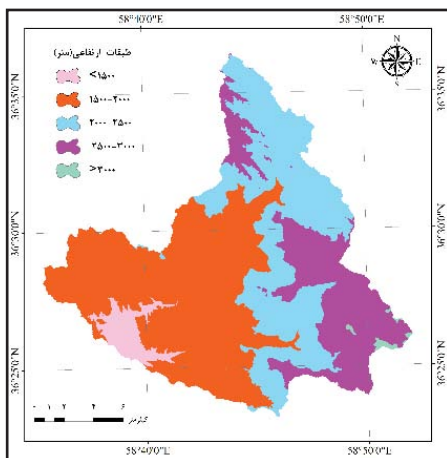
W^2 قاعده‌ای از فرا طرح بهنجار است، ۱ پایه عددی و ۰ مشخص‌کننده عمل تولید عددی است و ارزش آن با چند ضریبی لاگرانژیان محاسبه می‌شود. عملکرد آن با رابطه ۴ تعریف می‌شود (حلاجی و همکاران، ۱۳۹۹).

رابطه ۴:

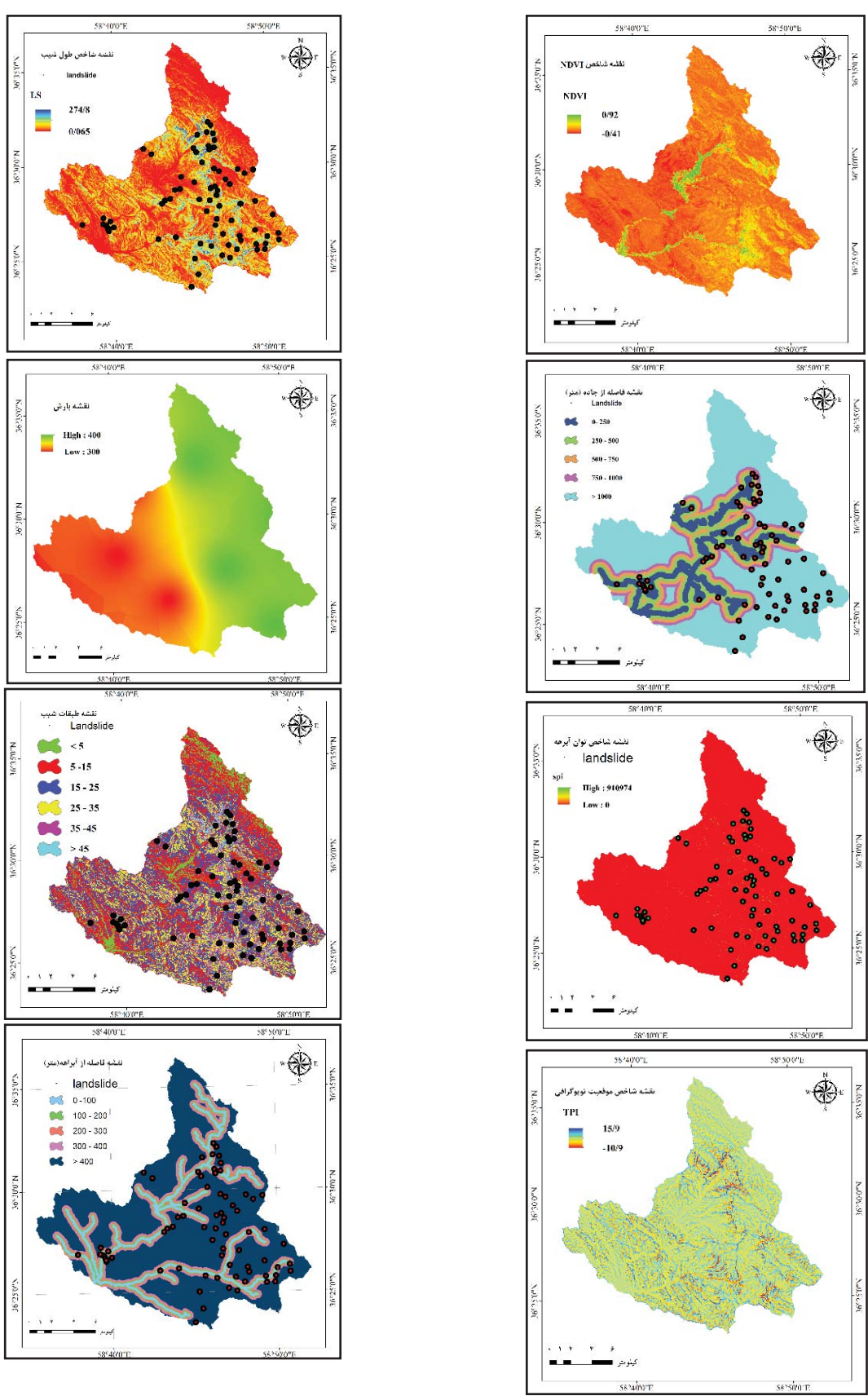
$$L = W^2 - \sum_{i=1}^n Y_i (W \cdot X_i + B) = \frac{1}{2}$$

ارزیابی صحت سنجی مدل

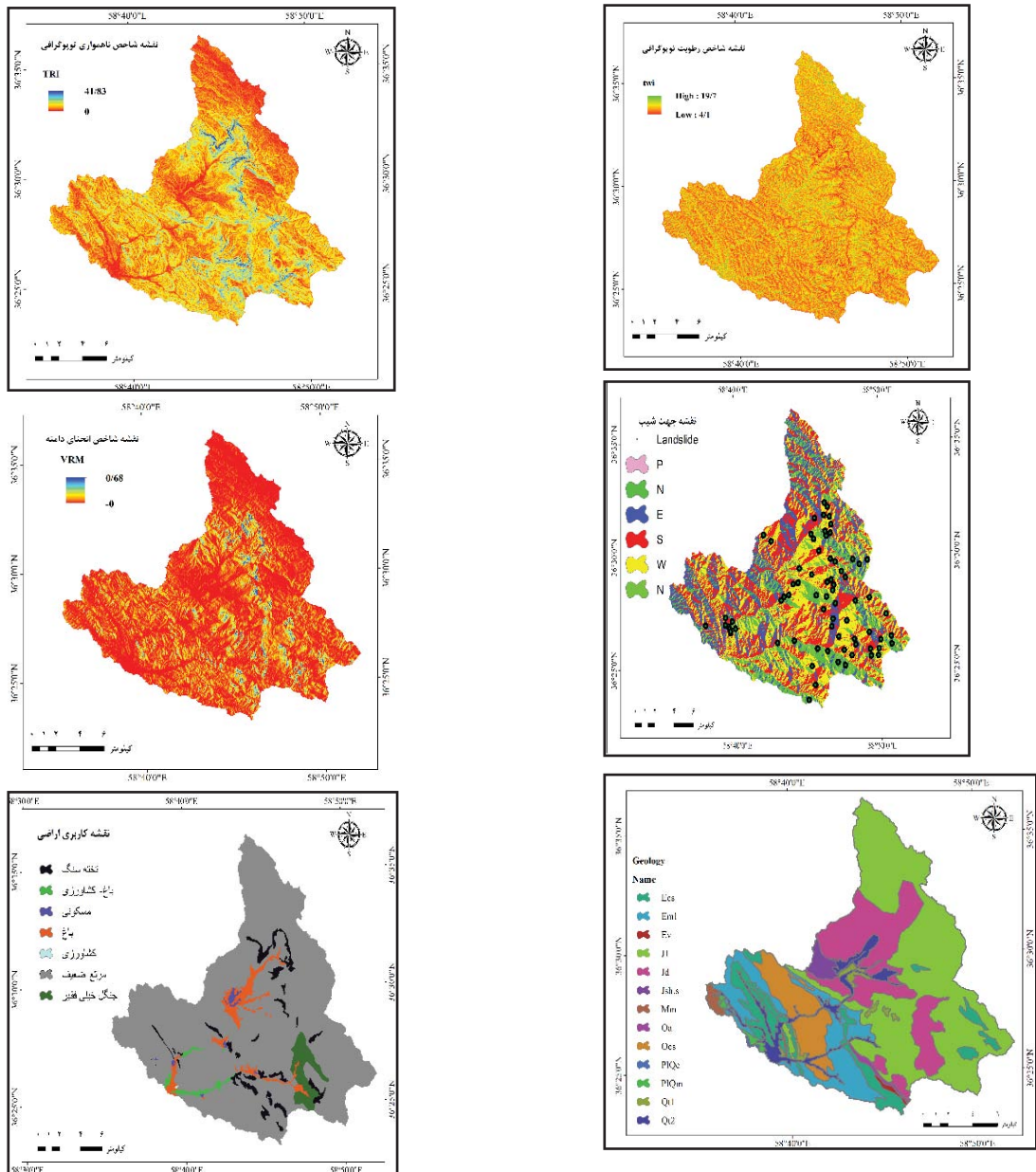
به منظور ارزیابی صحت سنجی نتایج مدل، از شاخص تشخیص عملکرد نسبی (ROC)، استفاده شد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۹). منحنی ROC، نمایش ترسیمی از موازنه بین خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی است. سطح زیر منحنی ROC، بیانگر مقدار پیش‌بینی شده مدل از راه توصیف توانایی مدل در تخمین درست رخ دادن پدیده مورد نظر و رخ ندادن آن است. مقدار آن بین ۰/۵ تا یک است. هر چه سطح زیر منحنی به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر بهترین دقت است. طبقه‌بندی سطح زیر منحنی با درجه عالی (۱ - ۰/۹)، خیلی خوب (۰/۹ - ۰/۸)، خوب (۰/۸ - ۰/۷)، متوسط (۰/۷ - ۰/۶) و ضعیف (۰/۶ - ۰/۵) می‌باشد (حیدری و همکاران، ۱۳۹۹).



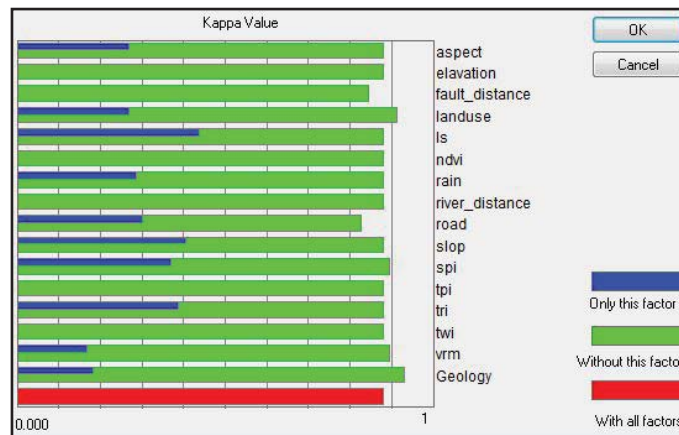
شکل ۴. نقشه عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش



ادامه شکل ۴. نقشه عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش

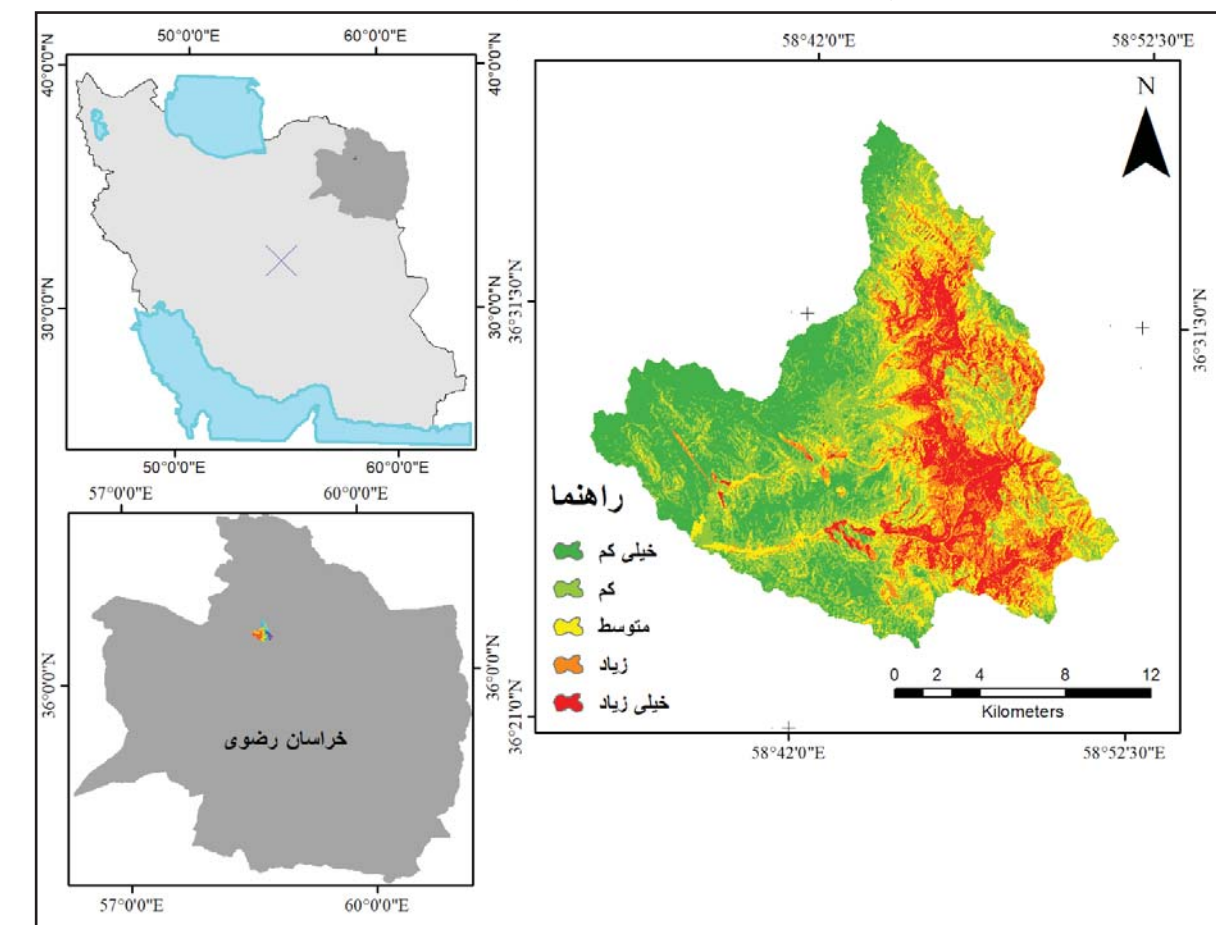


ادامه شکل ۴. نقشه عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش



شکل ۵. نتایج حاصل از نمودار شاخص کاپا جهت تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار

پس از تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM)، نقشه حاصله با استفاده از نقاط عطف (شکست طبیعی) (Xu و همکاران، ۲۰۱۲) (منحنی تجمعی فراوانی پیکسل‌ها به پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد (شکل ۶)). جدول ۲ توزیع فراوانی کلاس‌های خطر



شکل ۶. نقشه شدت خطر زمین لغزش با مدل ماشین بردار پشتیبان حوزه آبخیز بار

ارزیابی مدل در مرحله آموزش مدل با استفاده از روش منحنی ROC، در شکل‌های ۷ (الف) نشان داده شده است. میزان مساحت زیر نمودار شاخص ROC در مرحله آموزش، ۰/۸۷۱ به دست آمد، که نشان‌دهنده قابلیت خیلی خوب مدل در آموزش مدل می‌باشد. طبقه‌بندی سطح زیر منحنی با درجه عالی (۱ - ۰/۹)، خیلی خوب (۰/۹ - ۰/۸)، خوب (۰/۸ - ۰/۷)، متوسط (۰/۷ - ۰/۶) و ضعیف (۰/۶ - ۰/۵) است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج حاصل از ارزیابی در مرحله اعتبارسنجی: نتایج حاصل از ارزیابی مدل در مرحله اعتبارسنجی مدل با استفاده از روش منحنی

جدول ۲. توزیع فراوانی کلاس‌های خطر زمین لغزش با روش مدل ماشین بردار پشتیبان حوزه آبخیز بار

کلاس خطر	صفات بیانی	مساحت (ha)	درصد مساحت
۱	خیلی کم	۷۶۱۲/۸	۲۷/۵
۲	کم	۷۰۳۹/۸	۲۵/۴
۳	متوسط	۵۳۴۳/۱	۱۹/۳
۴	زیاد	۴۴۰۷/۲	۱۵/۹
۵	خیلی زیاد	۳۲۴۰/۸	۱۱/۷
مجموع		۲۷۶۴۳/۸	۱۰۰

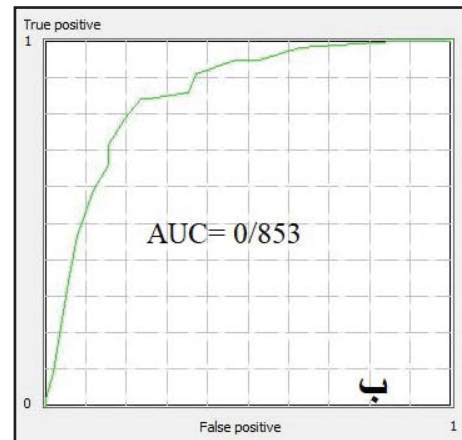
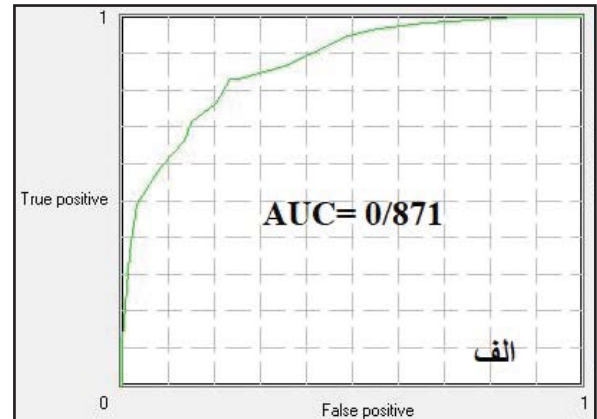
نتایج حاصل از ارزیابی در مرحله آموزش: نتایج حاصل از

زمین‌لغزش به وجود آورده است، که در مجموع، ۷۳ مورد در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. بخشی از این اطلاعات با استفاده از اطلاعات اخذ شده از اداره کل منابع طبیعی خراسان رضوی به کمک تفسیر عکس هوایی ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۴۲ استخراج شد، که این داده‌ها از طریق بازدیدهای میدانی و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth، اصلاح گردید و نقاط لغزشی جدیدی شناسایی و به داده‌های قبلی افزوده شد.

در این مطالعه سعی شد تا از تعداد گسترده‌ای از عوامل به منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش استفاده شود. لذا از ۱۶ عامل به عنوان عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش، جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. این عوامل، حاصل نظرات کارشناسی و انجام مروری بر منابع در زمینه مدل‌های مختلف می‌باشد. به عنوان نمونه، حلاجی و همکاران (۱۳۹۹)، ۱۲ لایه اطلاعاتی؛ عفیفی و همکاران (۱۴۰۰)، ۱۰ عامل؛ عمادالدین و همکاران (۱۴۰۰)، ۱۳ پارامتر؛ شریفی و همکاران (۱۴۰۰)، ۱۲ عامل؛ نامی تبار و همکاران (۱۴۰۰)، ۱۹ پارامتر؛ غیاثی و همکاران (۱۳۹۸)، ۱۰ عامل، شانو^۱ و همکاران (۲۰۲۱)، ۹ فاکتور و تیاگی^۲ و همکاران (۲۰۲۱)، ۹ عامل را در مطالعات خود به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش انتخاب کردند و مورد بررسی قرار دادند.

بر اساس نتایج، عوامل طول شیب (LS)، شیب و شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI)، مؤثرترین عوامل در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. به‌طور کلی میزان شیب، نقش مهمی را در عواملی همچون نفوذ آب در دامنه‌ها، زاویه شکست و چسبندگی خاک می‌گذارد (دوکوتا^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). بسیاری از تحقیقات بر نقش مستقیم شیب و تأثیر آن بر زمین‌لغزش‌ها تأکید داشته‌اند (لی^۴ و همکاران، ۲۰۰۵). در عامل شیب، با افزایش شیب، حساسیت زمین‌لغزش افزایش یافته است که نماینده افزایش نیروی گرانش در شیب‌های بالا می‌باشد. شاخص طول شیب (LS) یا حمل رسوب (STI) بیانگر توان حمل آبراهه است، در واقع، تأثیر توپوگرافی را بر فرسایش مشخص می‌کند. هر چه طول شیب بیشتر

ROC، در شکل‌های ۷ (ب) نشان داده شده است. میزان مساحت سطح زیر نمودار شاخص ROC در مرحله اعتبارسنجی، ۰/۸۵۳ به دست آمد، که حاکی از قابلیت خیلی خوب مدل در پهنه‌بندی و تعیین مناطق مستعد خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز بار است.



شکل ۷. منحنی ROC و مقدار AUC محاسبه شده برای ارزیابی عملکرد آموزش مدل (الف) و اعتبارسنجی مدل (ب)

نتیجه‌گیری

امروزه کشورهای درگیر با مسأله زمین‌لغزش، تمایل زیادی به مطالعات جامع شامل ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک، خسارت و تدوین برنامه مدیریتی دارند. از این رو در این مطالعه، با انتخاب حوضه آبخیز بار نیشابور در استان خراسان رضوی به عنوان یک حوضه مستعد وقوع زمین‌لغزش با مساحتی حدود ۲۷۶۴۳/۸ هکتار، اقدام به پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش گردید. شرایط طبیعی حوضه آبخیز بار نیشابور مانند زمین‌شناسی، شرایط ناهمواری‌ها، ژئومورفولوژی و تکتونیک و همچنین عوامل تشدیدکننده انسانی مانند تغییر کاربری و راه‌های روستایی، بستر مناسبی را برای وقوع

1. Shano
2. Tyagi
3. Devkota
4. Lee

بالادست (شمال) و شمال شرقی حوضه قرار دارند، که به دلیل شیب زیاد دامنه‌ها بیشتر از نوع ریزش می‌باشند. نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌سازی با استفاده از منحنی ROC، نشان داد که میزان مساحت سطح زیر نمودار شاخص ROC در مرحله اعتبارسنجی، ۰/۸۵۳ به دست آمد و حاکی از قابلیت خیلی خوب مدل در پهنه‌بندی و تعیین مناطق مستعد خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز بار می‌باشد. همچنین میزان مساحت زیر نمودار ROC، در مرحله آموزش نشان‌دهنده قدرت خیلی خوب مدل ($AUC=0/871$) است نتایج به‌دست آمده در مرحله آموزش مدل و هم در مرحله اعتبارسنجی بیانگر آن است که الگوریتم SVM، از نظر صحت و اعتبار مدل‌سازی مورد تأیید می‌باشد. در نتیجه، نقشه حساسیت زمین‌لغزش به‌دست آمده در منطقه مورد مطالعه به عنوان سنگ بنای تحقیقات زمین‌لغزش در مواقع بحرانی، برنامه‌ریزی کاربری اراضی، کاهش خسارات و خطرات زمین‌لغزش می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

منابع

اسفندیاری درآباد، فریبا؛ رحیمی، مسعود. نویدفر، اصغر ارسلان مهرورز. (۱۳۹۹). ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (مطالعه موردی: جاده □ حیران- استان اردبیل)، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۹(۳)، ۳۳-۱۸. بازیابی از: <https://www.magiran.com/paper/citation?ids=2223100>

بابلی مؤخر، حمید؛ کورش، شیرانی و تقیان، علیرضا. (۱۳۹۷). ارزیابی نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از روش تلفیقی فاکتور اطمینان و رگرسیون لجستیک با به‌کارگیری شاخص‌های ژئومورفومتریک، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۷(۳)، ۹۱-۱۱۶. <http://ensani.ir/file/download/article/1567576329-10010-27-6.pdf>

پروژه ارزیابی کار آبی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در استان تهران، ۱۳۸۲. گروه مطالعه امور زمین‌لغزش، دفتر مهندسی و ارزیابی طرح‌ها. سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور.

حبیبی پور، اعظم و طالبی، علی. ۱۳۹۰. بررسی نقش و اهمیت ساختار لیتولوژی در وقوع زمین‌لغزش. هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، شاهرود. بازیابی از: <https://civilica.com/doc/224724/>

حجازی، سید اسدالله و رنجبریان شاداباد، مریم. (۱۳۹۳). شناسایی عوامل مؤثر و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخش غربی حوضه آبریز سرند چای، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۳(۳): ۱۱۴-۱۲۹. بازیابی از: <https://www.magiran.com/paper/1402117>

حلاجی، مریم؛ زنگنه اسدی، محمدعلی و امیراحمدی، ابوالقاسم. (۱۳۹۹).

باشد، توان حمل رسوب بالاتری دارد و در نتیجه، شرایط فرسایش کناری بیشتر می‌شود و زمین‌لغزش‌های کناری بیشتر می‌گردد. در ارتباط با شاخص ناهمواری توپوگرافی (TRI) و ارتباط این شاخص با وقوع زمین‌لغزش می‌توان گفت که؛ از آنجایی که میزان بالای این شاخص، نشان‌دهنده بالاآمدگی و فعالیت نئوتکتونیک است، در نتیجه، ناهمواری، به‌هم‌ریختگی و زبری سطوح و افزایش شیب بیشتری رخ می‌دهد، که باعث مساعد شدن شرایط وقوع زمین‌لغزش می‌شود. در مطالعه خسرویان و همکاران (۱۳۹۸) در حوضه بار، به منظور اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از آنروپی شانون، پارامترهای شیب، جهت شیب و ارتفاع را به عنوان مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش معرفی کردند. مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) یکی از مدل‌های یادگیری ماشین نظارت شده است که به منظور طبقه‌بندی و تفکیک داده‌ها به کار می‌رود. ایده اصلی این الگوریتم به‌صورت یک طبقه‌بندی دوتایی با استفاده از نقاط آموزشی است که فضای ورودی اصلی را به یک فضای با ابعاد بالاتر، جهت یافتن یک ابر صفحه مطلوب تبدیل می‌کند. نقاط آموزشی که نزدیک به صفحه مطلوب است، پشتیبان بردار نامیده می‌شود. هنگامی که سطح تصمیم به دست آمد، می‌توان از آن به منظور برآورد داده‌های جدید استفاده کرد. یمانی و همکاران (۱۳۹۱)، حلاجی و همکاران (۱۳۹۹)، اسفندیاری درآباد (۱۳۹۹)، پنگ^۱ و همکاران (۲۰۱۴)، هانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۵)، لی^۳ و همکاران (۲۰۱۷) و فام^۴ و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعات خود از الگوریتم SVM به منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش استفاده کرده‌اند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این مدل، ۱۴۶۵۲/۶ هکتار از مساحت سطح منطقه مورد مطالعه معادل ۵۲/۹ درصد مساحت سطح حوضه در کلاس حساسیت خیلی کم و کم، ۱۹/۳ درصد (معادل ۵۳۴۳/۱ هکتار) در کلاس حساسیت متوسط و ۷۶۴۸ هکتار از سطح منطقه معادل ۲۷/۶ سطح منطقه داری حساسیت زیاد و خیلی زیاد، قرار گرفته است. بررسی نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش نشان‌دهنده این است که مناطق با حساسیت زیاد و خیلی زیاد به دلیل شیب زیاد در بخش‌های

1. Peng
2. Hang
3. Lee
4. Pham



فراوانی و شاخص آماری در حوضه آبخیز اوغان، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۹(۴)، ۷۵-۹۵. بازیابی از: https://www.geomorphologyjournal.ir/article_131012.html

غلامی، معصومه؛ احمدآبادی، علی و قنوتی، عزت‌الله. (۱۳۹۸). ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از شاخص آنتروپی و الگوریتم ماشین‌های پشتیبان بردار (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کن)، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۸(۱)، ۱۶-۳۳. بازیابی از: https://www.geomorphologyjournal.ir/article_91723.html

غلام پور، شیرین. (۱۳۹۴). تحلیل پایداری حوضه بار به لحاظ زمین‌لغزش با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، ایران. قاسمیان، بهاره؛ عابدینی، موسی؛ روستایی، شهرام و عطاالله شیرزادی. (۱۳۹۷). ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از الگوریتم ماشین‌های پشتیبان بردار (مطالعه موردی: شهرستان کامیاران، استان کردستان)، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۶(۳)، ۱۵-۳۶. بازیابی از: <https://www.sid.ir/Fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=323295>

کرتزادی، آیدینگ و حمیدرضا پورقاسمی، (۱۳۹۸). ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های داده‌کاوی، مطالعه موردی: حوضه آبخیز چهل‌چای، مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۱)، ۲۸-۴۲. بازیابی از: <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=472607>

میرصانعی، سید رضا و کاردان، رحمت‌الله. (۱۳۷۸). نگرش تحلیلی بر ویژگی‌های زمین‌لغزش کشور، مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی محیط‌زیست ایران، دانشگاه تربیت‌معلم تهران. بازیابی از: <https://civilica.com/doc/381322/>

ملکی، امجد؛ مارابی، هاجر و حمید رحیمی، (۱۳۹۵). ارزیابی شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) در زون ساندج - سیرجان و زاگرس شکسته، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۵(۱)، ۱۲۹-۱۴۱. بازیابی از: <http://ensani.ir/file/download/article/20161123152454-10010-174.pdf>

ناعمی تبار، مهناز؛ زنگنه اسدی، محمدعلی و مختار کریمی. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های عامل اطمینان، تراکم سطح و هیبریدی قضیه بیز (مطالعه موردی: حوضه بقیع، نیشابور)، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۰(۱)، ۱۱۲-۱۲۹. بازیابی از: <https://www.magiran.com/paper/2328057>

یاراحمدی، جمشید؛ روستایی، شهرام؛ شریفی کیا، محمد و روستایی، مه‌آسا (۱۳۹۴)، شناسایی و پایش ناپایداری دامنه‌ای به روش اینترفرومتری تفاضلی مطالعه موردی: حوضه آبریز گرمی چای میانه، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳(۴): ۵۹-۴۴. بازیابی از: https://www.geomorphologyjournal.ir/article_77970.html

یمانی، مجتبی؛ احمدآبادی، علی و غلامرضا زارع، (۱۳۹۱). به‌کارگیری الگوریتم ماشین‌های پشتیبان بردار در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز درکه)، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳(۳)، ۱۲۵. بازیابی از: <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=189677>

Devkota, K. Regmi, A. Pourghasemi, H.R. Yoshida, K. Pradhan, B. Ryu, I. Dhital, M. Althuwaynee, Q. 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya, Nat

ارزیابی کارایی مدل‌های پیش‌بینی حساسیت وقوع زمین‌لغزش در آبخیز بار نیشابور، فصلنامه پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، ۲۰-۳۰. بازیابی از: <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=526468>

حیدری، ناصر؛ حبیب‌نژاد، محمود؛ کاویان، عطاالله و حمیدرضا پورقاسمی. (۱۳۹۹). مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش با الگوریتم یادگیری ماشین جنگل تصادفی در آبخیز سد رئیسعلی دلواری، فصلنامه پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، ۳۳(۱۲۶)، ۲-۱۳. بازیابی از: <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=526491>

خسرویان، مریم؛ انتظاری، علیرضا؛ کریمی، مختار و ابراهیمی، مجید. (۱۳۹۸). مدل‌سازی عرصه‌های حساس به وقوع زمین‌لغزش و شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع آن با استفاده از مدل آنتروپی شانون (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بار نیشابور). علوم جغرافیایی (جغرافیای کاربردی)، ۳۱(۱)، ۳۴-۴۶. بازیابی از: http://geographic.sinaweb.net/article_670968.html

سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور. ۱۳۹۷. گروه مطالعه امور زمین‌لغزش، دفتر مهندسی و ارزیابی طرح‌ها.

رابط، علیرضا؛ دسترنج، علی؛ اسدی، سورنا و اسدی نلیوان و امید. (۱۳۹۹). تعیین پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و رگرسیون خطی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دریاچه ارومیه). اکوهیدرولوژی، ۷(۴)، ۱۰۴۷-۱۰۶۰. بازیابی از: <https://www.magiran.com/paper/citation?ids=2356968>

شریفی پیچون، محمد؛ شیرانی، کوروش و مانده شیرانی، (۱۴۰۰). اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره خطی مطالعه موردی: حوضه آبریز وهرگان-غرب استان اصفهان، نشریه هیدروژئومورفولوژی، ۸(۲۶)، ۱۳۹-۱۶۳. بازیابی از: https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_12902.html

طاهری، واله؛ کرم، امیر؛ صفاری، امیر و شعبان‌شتایی جویباری، (۱۳۹۹). پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های محدوده کوهستانی استان گلستان با استفاده از روش الگوریتم ترکیبی کمترین مربعات ماشین بردار پشتیبان و کلونی زنبور عسل مصنوعی، فصلنامه آمایش جغرافیایی فضا، ۱۰(۳۷)، ۲۱۳-۲۳۰. بازیابی از: <https://www.sid.ir/fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=583863>

عظیم پور مقدم، وحیبه. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تئوری بیزین و دمپستر-شیفر (مطالعه موردی: بخش از حوضه آبخیز بابلرود). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه ساری. <https://civilica.com/doc/429112/>

عفیفی، محمدابراهیم. (۱۴۰۰). تحلیل مکانی خطر زمین‌لغزش با تاکید بر عوامل ژئومورفولوژیک با استفاده از مدل جنگل تصادفی (مطالعه موردی: شهرستان لارستان در استان فارس)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۴(۵۱)، ۳۹-۵۳. http://jogp.iaularestan.ac.ir/article_681071.html

عقدا، فاطمی و غیومیان، محمود. (۱۳۸۲). ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش، فصلنامه علوم زمین، ۱۱(۴۸-۴۷): ۴۷-۲۸. بازیابی از: <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=3160>

عمادالدین، سمیه؛ طاهری، واله؛ محمد قاسمی، مسعود و زهرا نظری گزیک، (۱۴۰۰). پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های نسبت

- B. (2016). A comparative study of different machine learning methods for landslide susceptibility assessment: A case study of Uttarakhand area (India). *Environmental Modelling & Software*, 84, 240-250. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815216303139>
- Shano, L., Raghuvanshi, T. K., & Meten, M. (2021). Landslide Hazard Zonation using Logistic Regression Model: The Case of Shafe and Baso Catchments, Gamo Highland, Southern Ethiopia. *Geotechnical and Geological Engineering*, 1-19. Retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10706-021-01873-1>
- Tien Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O., & Revhaug, I. (2012). Landslide susceptibility assessment in vietnam using support vector machines, decision tree, and Naive Bayes Models. *Mathematical problems in Engineering*, 2012. Retrieved from: <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2012/974638/>
- Tyagi, A., Tiwari, R. K., & James, N. (2021). GIS-Based Landslide Hazard Zonation and Risk Studies Using MCDM. In *Local Site Effects and Ground Failures* (pp. 251-266). Springer, Singapore. Retrieved from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-9984-2_22
- Xu, C., Dai, F., Xu, X., & Lee, Y. H. 2012. GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China. *Geomorphology*, 145, 70-80. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X11006556>
- Zillman, J. (1999). *The physical impact of disaster*. Natural Disaster Management. Leicester: Tudor Rose Holdings Ltd. Leicester, 320.
- Hazards, 65: 135-165. Retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007/S11069-012-0347-6>
- Froude, M. J., & Petley, D. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 2161-2181. Retrieved from: <https://nhess.copernicus.org/articles/18/2161/2018/>
- Hong, H., Pradhan, B., Jebur, M. N., Bui, D. T., Xu, C., & Akgun, A. (2016). Spatial prediction of landslide hazard at the Luxi area (China) using support vector machines. *Environmental Earth Sciences*, 75(1), 1-14. Retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-015-4866-9>
- Hong, H., Pradhan, B., Xu, C., & Bui, D. T. (2015). Spatial prediction of landslide hazard at the Yihuang area (China) using two-class kernel logistic regression, alternating decision tree and support vector machines. *Catena*, 133, 266-281. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816215300278>
- Lee, S., & Pradhan, B. (2007). Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4(1), 33-41. Retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-006-0047-y>
- Lee, S., Hong, S. M., & Jung, H. S. (2017). A support vector machine for landslide susceptibility mapping in Gangwon Province, Korea. *Sustainability*, 9(1), 48. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/1/48>
- Lee, S., Hwang, J., & Park, I. (2013). Application of data-driven evidential belief functions to landslide susceptibility mapping in Jinbu, Korea. *Catena*, 100, 15-30. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816212001555>
- Mateos, R. M., López-Vinielles, J., Poyiadji, E., Tsagkas, D., Sheehy, M., Hadjicharalambous, K., ... & Gauert, C. (2020). Integration of landslide hazard into urban planning across Europe. *Landscape and Urban Planning*, 196, 103740. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204619308874>
- Paoletti, V., Tarallo, D., Matano, F., Rapolla A., (2013), Level-2 susceptibility zoning on seismic induced landslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy. *Physics and Chemistry of the Earth* 63:147° 159. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706513000065>
- Peng, L., Niu, R., Huang, B., Wu, X., Zhao, Y., & Ye, R. (2014). Landslide susceptibility mapping based on rough set theory and support vector machines: A case of the Three Gorges area, China. *Geomorphology*, 204, 287-301. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X13004182>
- Pham, B. T., Pradhan, B., Bui, D. T., Prakash, I., & Dholakia, M.