



بررسی عوامل مؤثر بر زمین لغزش در حوزه آبخیز ساحلی بهشهر-گلوگاه با استفاده از مکسنت در استان مازندران

مینا نعمتی کوتنایی*

۱- کارشناسی ارشد مهندسی آب-سازه های آبی، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران، ساری

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	مطالعه حاضر بررسی مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر زمین لغزش در حوزه آبخیز ساحلی بهشهر-گلوگاه است. با پیمایش میدانی در منطقه مورد مطالعه نقاط حضور زمین لغزش با GPS ثبت شد، هفت عامل شیب، فاصله از جاده، فاصله از گسل، زمین شناسی، فاصله از رودخانه، متوسط بارش سالانه و تغییرات کاربری اراضی به عنوان مهم ترین عوامل تأثیرگذار به عنوان متغیرهای مستقل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه و وارد مدل شد. برای مدل سازی و محاسبات از مدل حداکثر آنتروپی در محیط نرم افزار Maxent استفاده شد. نتایج حاصل از نمودار جک نایف نشان داد که ۳ عامل شیب، فاصله از جاده و زمین شناسی بیشترین اثر را بر زمین لغزش منطقه مورد مطالعه دارند. به طوری که با افزایش شیب (۲۰-۴۰ درصد) زمین لغزش بیشتر می شود همچنین زمین لغزش با فاصله از جاده رابطه عکس داشتند در عامل زمین شناسی نیز درون واحدهای PZq.d و Qra، بیشترین احتمال زمین لغزش وجود دارد. اعتبارسنجی مدل با استفاده از سطح زیر منحنی ROC با مقدار ۰/۷۷ نشان داد که این مدل در منطقه مورد مطالعه قابل قبول است. از طرفی نتایج حاصل از طبقه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده پتانسیل ۴۰ درصدی آن است. یافته های این مطالعه پایه و اساس مهمی را برای کمک به تصمیم گیران در مورد پیش گیری از فاجعه و کاهش آن ارائه می کند. همچنین به درک بهتر خطرات زمین لغزش کمک می کند، که برای توسعه اقدامات مدیریتی خطر مناسب بسیار مفید است بنابراین پیشنهاد می گردد که در مناطق مختلف نیز به منظور شناخت مناطق پرخطر اقدام شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰	
کلید واژه ها: شیب، فاصله از جاده، جک نایف، حداکثر آنتروپی، اعتبارسنجی	



General Department of Natural Resources and Watershed Management, Mazandaran, Sari, Iran

Mina Nemati Koutenae^{1*}

1- MSc in Water Engineering - Water Structures, General Directorate of Natural Resources and Watershed Management of Mazandaran, Sari, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received:
12/12/2023

Accepted:
12/08/2024

Available online:
20/09/2024

Keywords:

Slope,
Distance from
road,
Jackknife,
Maximum
Entropy,
Validation

Abstract

The aim of the present study is to investigate the most important factors affecting landslides in Behshahr-Galogah coastal watershed. For this purpose, by field survey in the study area, the locations of landslides were recorded with GPS. 7 factors including, distance from the road, distance from the fault, geology, distance from the river, the average of annual rainfall, and land use changes as the most important influencing factors and independent variables were prepared using Geographical Information System (GIS) and entered into the model. For modeling and calculations, the maximum entropy model was used in the Maxent software environment. The results of the Jackknife diagram showed that the three factors of slope, distance from the road and geology have the greatest effect on landslides in the study area. As, by increasing the slope (20-40 percent), landslides increase; also, landslides have an inverse relationship with the distance from the road. For the geological factor, there is the highest probability of landslides within PZq.d and Qra units. The validation of the model using the area under the ROC curve showed that this model is acceptable in the study area with a value of 0.77. On the other hand, the results of landslide risk classification in the studied area showed that 40% of the area has landslide potential. The findings of this study provide an important foundation to assist decision makers in disaster prevention and mitigation and also, it helps to better understand the dangers of landslides which is very useful for the development of risk management measures, so it is suggested to take action in different regions in order to identify high-risk areas.

* Corresponding author E-mail address: m.nemati.k@gmail.com

مقدمه

زمین لغزش حجم زیادی از خاک یا سنگ با محتوای رطوبت بالا است که تحت تأثیر جاذبه از دامنه، کوه‌ها و تپه‌ها عبور می‌کند. شیب صخره‌های نفوذناپذیر در زیر خاک نقش مهمی در وقوع زمین لغزش دارند. اگر شیب سنگ‌های نفوذناپذیر مناسب باشد، پتانسیل زمین لغزش بر روی آن بیشتر خواهد بود. به‌منظور وقوع زمین لغزش‌ها، در نتیجه بارندگی در مناطق مستعد زمین لغزش، توده خاک روی شیب با رطوبت اشباع می‌شود، به مایع تبدیل می‌شود و در طول سطح سنگ‌های نفوذناپذیر زیر خاک فرو می‌رود (Chen et al. 2018). حجم زمین لغزش می‌تواند از چند ده هزار متر مکعب تا چند صد هزار متر مکعب یا بیشتر باشد. بنابراین، لغزش زمین یکی از خطرناک‌ترین بلاهای طبیعی مانند زلزله است، رانش زمین در میان مخرب‌ترین و خطرناک‌ترین فجایع زمین‌شناسی قرار دارد (Tukhtamirzaevich et al. 2022; Chen et al. 2022). همچنین لغزش زمین اغلب موجب آسیب شدید به سکونتگاه‌ها، زمین‌های کشاورزی و زیرساخت‌ها می‌شوند و زندگی انسان‌ها را تهدید می‌کنند. از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷، ۳۷۸ زمین لغزش بزرگ در سراسر جهان رخ داده است که منجر به کشته شدن ۱۸۴۱۴ نفر، مجروح شدن ۴/۸ میلیون نفر و خسارت اقتصادی بالغ بر ۸ میلیارد دلار یا ۱۳ درصد از کل خسارات ناشی از خطرات ژئوفیزیکی و بلایای مرتبط با آب و هوا شده است (Ding et al. 2017). بر اساس گزارش‌ها، چین یکی از کشورهای است که اغلب در جهان از رانش زمین رنج می‌برد. تنها در سال ۲۰۱۹، ۶۱۸۶ فاجعه زمین‌شناسی در چین رخ داده است که باعث حدود ۳۰۰ تلفات و خسارت اقتصادی مستقیم ۰/۴۳ میلیارد دلاری شده است. بنابراین مطالعه زمین لغزش‌ها و اثرات متقابل آن‌ها نه تنها پایه‌های علمی پیشگیری و کنترل زمین لغزش‌ها را ارائه می‌دهد، بلکه نقش اساسی در بهبود درک زمین لغزش دارد. عدم پیروی از قوانین توسعه زمین و آبیاری بدون مطالعه مناسب لایه خاک کوه‌ها و تپه‌ها نیز منجر به رطوبت اضافی در خاک و توسعه رانش زمین می‌شود. تغییرات ایجاد شده توسط بشر مانند استخراج مواد معدنی، ساخت راه‌آهن و بزرگراه‌ها، قرار دادن خطوط لوله آب و گاز، قطع جنگل‌ها و بوته‌ها، به‌ویژه در مناطقی که خطر رانش زمین وجود دارد، نیز باعث رانش زمین می‌شوند (Wang et al. 2021; Zhang et al. 2021; Liao et al. 2022).

در سال‌های اخیر، خطرات زمین‌شناسی (جریان‌های واریزه‌ای و رانش زمین)، که تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی جهانی، فعالیت زلزله، و شهرنشینی شتاب یافته قرار گرفته‌اند، بسیار مکرر و مضر شده‌اند (Alexander et al. 2008; Wang et al. 2013). لغزش‌های زمین در محیط‌های مختلفی رخ می‌دهند که با گرادیان‌های شیب تند یا ملایم، از دامنه‌های کوهستانی گرفته تا صخره‌های ساحلی و حتی در زیر آب مشخص می‌شوند. از نظر زمین‌شناسی، سنگ فرسایش یافته، برشی، شکافدار و چسبندگی کم سنگ دلایل شناخته شده زمین لغزش هستند (Alexander et al. 2008; Garcia-Rodriguez et al. 2008; Lui et al. 2016; Wen et al. 2017). از نظر مورفولوژیکی، تمام اشکال فرسایش، مانند رودخانه، آب، موج و یخچال در امتداد یک شیب ممکن است باعث زمین لغزش و انواع دیگر جریان‌ها شوند، در حالی که رسوب‌گذاری و هوازدگی نیز دلایل اصلی زمین لغزش هستند (Li, 2016). جاذبه، نیروی محرکه اصلی زمین لغزش است. در بسیاری از موارد، زمین لغزش بایک رویداد خاص تحریک می‌شود (مانند بارش سنگین، زلزله، فوران آتش‌فشانی، کاهش شیب برای ساخت جاده، یا دیگر فعالیت‌های انسانی که سطح زمین را در معرض قرار می‌دهند) (Zhong et al. 2019). لغزش‌های زمین، به‌ویژه زمین لغزش‌های طولانی، هر ساله خسارات اقتصادی زیادی را در سراسر جهان به بار می‌آورند (Fan et al. 2019). تحقیقات قبلی نشان داده است که هم بارندگی و هم توپوگرافی نقش مهمی در زمین لغزش‌های طولانی دارند (Guo et al. 2020).

نقش بارش در زمین لغزش عمدتاً در سه بخش منعکس می‌شود: اول، افزایش فشار منفذی، تنش مؤثر (Lu et al. 2010) و مکش ماتریک (Tang et al. 2013; Zhao et al. 2014) را کاهش می‌دهد، که ممکن است آغاز زمین لغزش را القا کند (Takahashi et al. 2014; Cui et al. 2017). دوم، تشکیل جریان سطحی بر روی شیب و پیوستگی خاک زیر در یک

دانه‌بندی وسیع رسوب خاک، مقاومت اسکلت خاک را کاهش می‌دهد و هم خاک و هم آب در طول مهاجرت مخلوط می‌شوند و در نهایت یک جریان واریزه‌ای را تشکیل می‌دهند (Peng et al. 2015; Cui et al. 2019). سوم، روانکاری سطح لغزش، حرکت زمین‌لغزش را در طول حرکت بهبود می‌بخشد (Sassa and Takayawa, 2018). Hong و همکاران (۲۰۱۸) همچنین نقش عوامل هیدرولوژیکی مانند بارندگی، رطوبت خاک، جریان زیرسطحی و عمق آب زیرزمینی را در پایداری یا عدم پایداری شیب‌های طبیعی و مصنوعی مختلف در نظر گرفتند و اظهار داشتند که تغییر اقلیم مانند افزایش بارش شدید و کوتاه‌مدت، به دلیل بارش ملایم و بلندمدت، عاملی در افزایش رانش زمین و آسیب ناشی از آن‌ها است. Rossi و همکاران (۲۰۱۷) با تجزیه و تحلیل داده‌های بارش برای دوره‌های بلند و کوتاه روزانه و ساعتی، نتیجه گرفتند که بارش سنگین در زمین‌لغزش به‌عنوان محرک عمل می‌کند. Pham و همکاران (۲۰۱۷) نیز دریافتند که در هر زمانی در طول فصل بارش، آستانه بارش از ۶۸۲ میلی‌متر تجاوز خواهد کرد، حرکات لغزشی رخ خواهد داد. همچنین Lin و همکاران (۲۰۱۸) مکانیزم زمین‌لغزش در تایوان را تجزیه و تحلیل کردند و گفتند که شدت زیاد و رویدادهای تجمعی بارش ممکن است یک رویداد بزرگ مقیاس و پیچیده باشد که منجر به فاجعه شود. با وجود این، مطالعات کمی در مورد نقش عامل بارش در زمین‌لغزش به دلیل فقدان داده‌های زمین‌لغزش و ثبت مداوم داده‌های بارش در سطح جهانی انجام شده است (Mellilo et al. 2016).

همچنین مطالعات اخیر نشان داده است که پوشش گیاهی می‌تواند پیش‌بینی‌کننده مکانی قابل‌توجهی برای وقوع زمین‌لغزش باشد. حضور پوشش گیاهی می‌تواند بر وقوع ناپایداری کم‌عمق تأثیر بگذارد (Liu et al. 2016; Haung et al. 2021). علاوه بر این، ثابت شده است که پوشش گیاهی برای پایداری شیب بسیار مهم است، که به خاطر مجموعه‌ای از اثرات هیدرودینامیکی ریشه‌ها و برگ‌ها است. تعداد زیادی از مطالعات نشان داده‌اند که اثرات اصلی پوشش گیاهی بر پایداری شیب، تقویت مکانیکی و هیدرومکانیکی ریشه‌ها است (Arnone et al. 2016). تقویت مکانیکی به افزایش مقاومت برشی شیب از طریق خواص مکانیکی ریشه‌ها اشاره دارد که پایداری خاک شیب را بهبود می‌بخشد و وقوع زمین‌لغزش سطحی را کاهش می‌دهد (Gonzales et al. 2017).

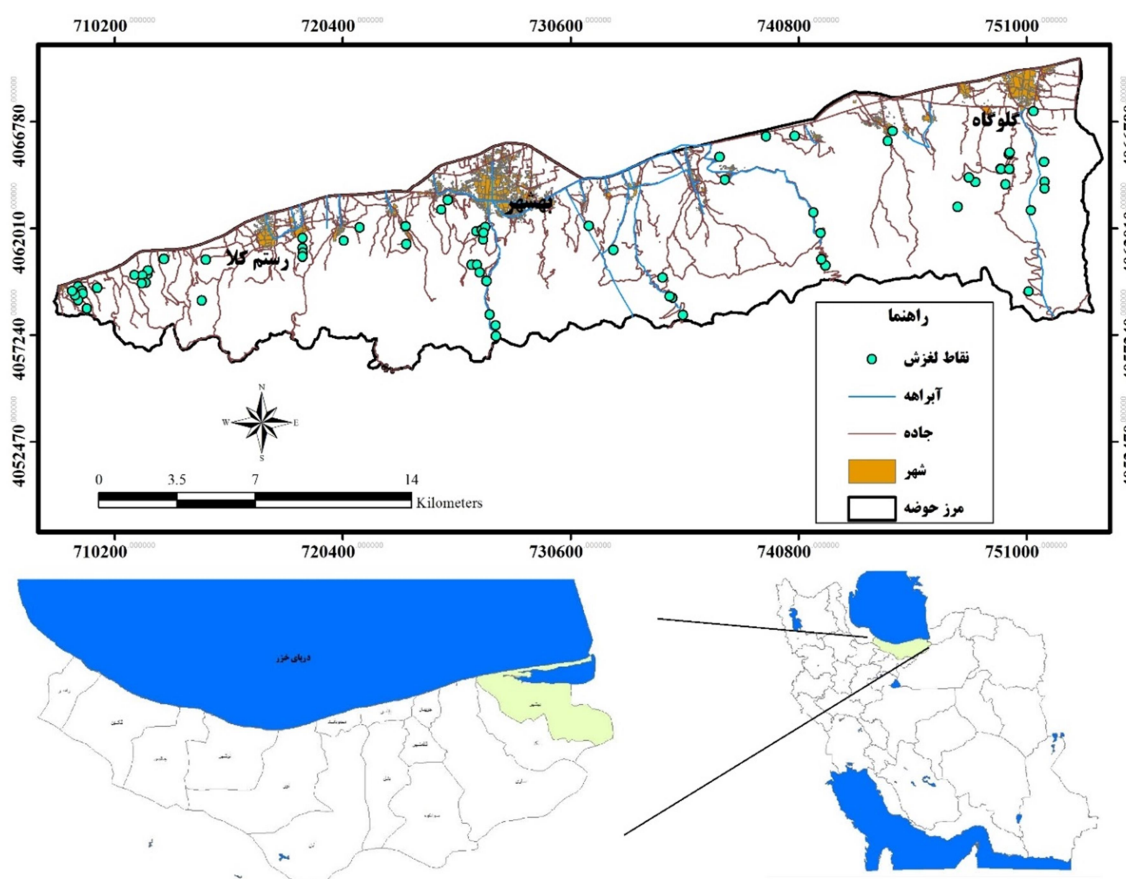
همچنین لغزش زمین فرآیندهای طبیعی هستند که می‌توانند حرکت آزاد مردم و کالاها را محدود کنند زمانی که آن‌ها به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر شبکه‌های جاده‌ای تأثیر می‌گذارند (Hilker et al. 2015). انسداد کلی یا جزئی شبکه‌های جاده‌ای دارای اثرات اقتصادی و اجتماعی، به‌ویژه در آسیب مستقیم به زیرساخت (آسیب‌های مادی)، بر روی جمعیت (مرگ‌ومیرها) در هنگام رانندگی بر روی زیرساخت‌ها تحت تأثیر قرار گرفته (Pereira et al., 2017). است. آسیب‌های غیرمستقیم مانند تأخیر، انحراف، آسیب مواد و افزایش قیمت مواد خام (Bil et al. 2015; Winter et al. 2016). ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش برای شناسایی مکان‌هایی با احتمالات بالاتر وقوع زمین‌لغزش بسیار مهم است (Guzzetti et al. 2012). حساسیت زمین‌لغزش، احتمال وقوع زمین‌لغزش در یک منطقه تعیین‌شده تحت کنترل شرایط محلی زمین است؛ به‌طور کلی، انتخاب عوامل مستعد کننده زمین‌لغزش و جزئیات اصلی اطلاعات جغرافیایی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش براساس روش‌های آماری توضیح داده نشده است؛ در عوض، معیارهای تعریف شده در مقالات (به‌عنوان مثال، زاویه شیب، جهت شیب، انحنای شیب، خاک، سنگ‌شناسی، کاربری زمین و پوشش زمین) برای این انتخاب استفاده می‌شوند زیرا آن‌ها می‌توانند وقوع حرکات شیب را در منطقه مورد مطالعه توضیح دهند (Belahut et al. 2010). علاوه بر تأثیر عوامل محیطی مختلف (مانند لیتولوژی، زاویه شیب، مورفولوژی شیب، توپوگرافی، خاک و هیدرولوژی) بر توزیع فضایی زمین‌لغزش، استفاده از زمین و پویایی پوشش زمین نیز یک عامل مهم در ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش است. جنگل‌زدایی، گسیختگی‌های شیب به ساخت جاده، شیب‌های تند تعداد شیب‌های ناپایدار را افزایش می‌دهد (Mensses et al. 2019). نظر به تأثیرات سویی که وقوع زمین‌لغزش‌ها بر روی منابع طبیعی، سکونتگاه‌های روستایی و شهری و تأسیسات و تجهیزات دارند و از سویی دیگر باعث

فرسایش حجم قابل توجهی از خاک‌های با ارزش می‌شوند، لذا شناسایی اراضی مستعد و پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش، جهت اجتناب از این گونه اراضی و اجرای روش‌های کنترل‌کننده در نتیجه مطالعه بررسی عوامل مؤثر شامل پوشش، دوری از جاده، مناطق مسکونی بر زمین لغزش در حوزه آبخیز ساحلی بهشهر حائز اهمیت است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بین $53^{\circ} 19' 19''$ تا $53^{\circ} 51' 25/2''$ طول شرقی و $36^{\circ} 37' 19/09''$ تا $36^{\circ} 44' 22/04''$ عرض شمالی واقع شده است. وسعت حوزه آبخیز $33033/22$ هکتار است. محیط حوزه بهشهر $127/40$ کیلومتر، حداقل ارتفاع حوزه $9/32$ متر و حداکثر ارتفاع آن $1621/66$ متر از سطح دریا است. متوسط بارش سالانه حوزه مورد مطالعه $537/3$ میلی‌متر و کاربری عمده حوضه مطالعاتی جنگلی و پس از آن کشاورزی و مسکونی است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش کار

جمع‌آوری داده‌ها: نقشه متغیرهایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند شامل: نقشه درصد شیب مستخرج شده از مدل‌های رقومی ارتفاع (DEM)، نقشه زمین‌شناسی $1:100000$ ، متوسط بارش سالانه که با استفاده از روش IDW در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی سازمان هواشناسی و وزارت نیرو استخراج گردیده، نقشه کاربری اراضی، فاصله از جاده و رودخانه و گسل است. همچنین برای داده‌های حضور لغزش‌های رخ

داده در منطقه مورد مطالعه با پیمایش میدانی مناطقی که زمین‌لغزش (۷۳ نقطه) در آن به وقوع پیوسته است با استفاده از GPS ثبت گردید.

مدل‌سازی: مدل مکسنت^۱ یکی از الگوریتم‌های بسیار رایج یادگیری ماشینی است. اصل این روش به حداکثر آنتروپی یا نزدیک به واقعیت برمی‌گردد. ماکزیمم آنتروپی یا حداکثر آشفتگی نام قانون دوم ترمودینامیک است، که آن را به نام قانون افزایش آشفتگی نیز می‌شناسند. اصل ماکزیمم آنتروپی بیان می‌دارد که در تخمین یک توزیع نامعلوم توزیعی نزدیک به واقعیت است که دارای حداکثر آشفتگی است (Philips and Dudi, 2008). این روش به‌ویژه در مواردی که تنها داده‌های وقوع وجود دارند و سایر روش‌ها مانند رگرسیون لجستیکی کارآمد نیستند، استفاده می‌شوند و در این حالت پیش‌بینی‌های حاصل از این مدل بسیار قابل اعتمادتر بوده و از پشتوانه تحلیلی بالایی برخوردار است. در نرم‌افزار مکسنت، لایه‌های ورودی همان اطلاعات وقوع زمین‌لغزش و لایه‌های تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش هستند. فرمت لایه‌های محیط زیستی باید با پسوند ASCII وارد شوند. نقاط وقوع زمین‌لغزش، در یک فایل اکسل و با فرمت CSV. در نرم‌افزار قابل استفاده خواهد بود. در اکسل نقاط زمین‌لغزش به همراه (X) مختصات طول جغرافیایی و (Y) مختصات عرض جغرافیایی از وقوع زمین‌لغزش ثبت می‌شود. لایه‌ها (Layers) شامل تعدادی فایل‌های شبکه‌ای با قالب (ESRI.asc) است که هرکدام توصیف کننده یک پارامتر محیطی است و سلول‌ها همگی باید یک رمز داشته باشند به این معنی که رمز بیرونی لایه‌ها باید برهم منطبق باشد و اندازه سلول در تمام لایه‌ها با هم برابر باشد. این لایه‌ها می‌بایستی به صورت لایه‌های رستری، در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده باشند (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۹؛ ذاکری نژاد و عمو شاهی، ۱۴۰۱).

عوامل مورد بررسی

عواملی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت در جدول ۱ و ۲ آمده است.

جدول (۱) عوامل مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه

ردیف	عوامل	اختصار
۱	فاصله از گسل	Fault-distne
۲	زمین‌شناسی	Geo-distnce
۳	تغییر کاربری	Landuse
۴	بارش	Rain
۵	فاصله از رودخانه	River-distnce
۶	فاصله از جاده	Road-distnce
۷	شیب	slope

جدول (۲) عوامل مربوط به تغییر کاربری در منطقه مورد مطالعه

ردیف	کاربری	اختصار
۱	جنگل با پوشش انبوه	F1
۲	جنگل با تراکم متوسط	F2
۳	کشاورزی	IF
۴	مسکونی	ST

^۱ -MAXENT Model

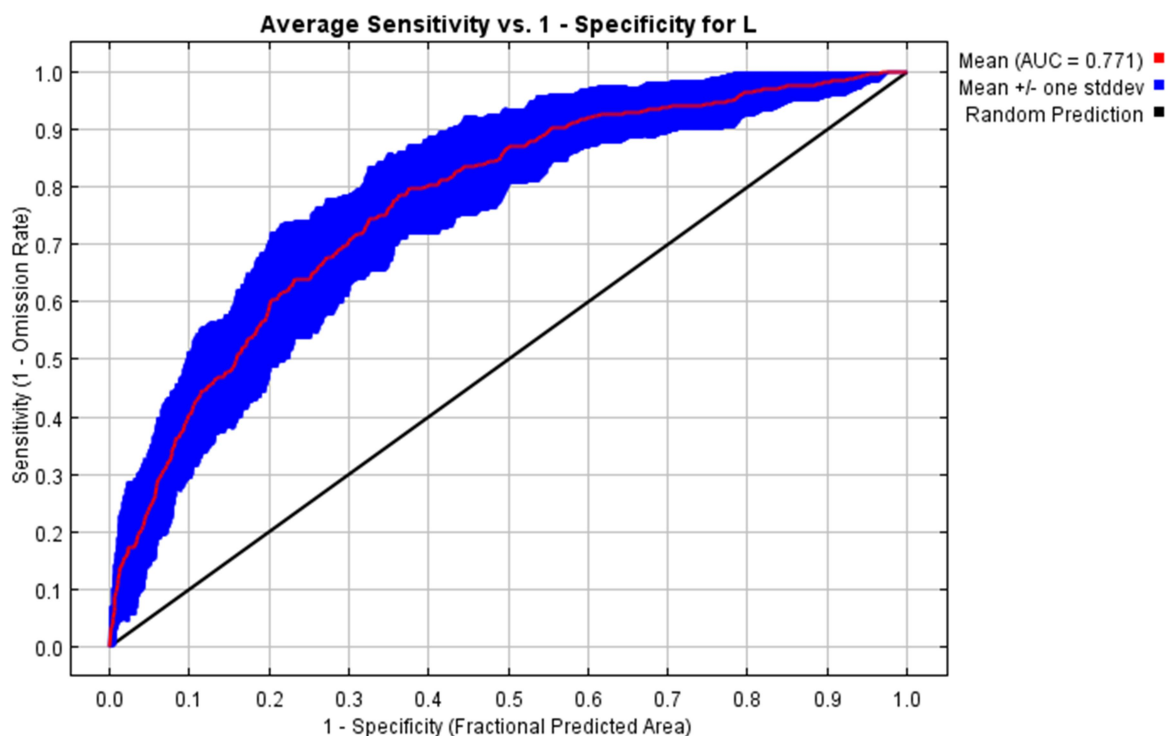
اعتبارسنجی مدل: از سطح زیر منحنی ROC برای دقت سنجی مدل استفاده شد. از پلات کردن حضور واقعی (Sensitivity) در برابر عدم حضور کاذب (1 - Specify)، نمودار مشخصه عملکرد (Receiver Operating Characteristics)، به دست می‌آید. معیار AUC (Area Under Curve) برابر است با احتمال قدرت تعیین نقاط حضور و عدم حضور مدل که این معیار نشان می‌دهد سطح زیر نمودار (ROC) است (Camps-Valls et al. 2012). مطابق جدول (۳) این مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ است.

جدول (۳) طبقه‌بندی سطح زیر منحنی AUC

دامنه	طبقه‌بندی ضرایب
۰/۷ - ۰/۵	ضعیف
۰/۹ - ۰/۷	قابل قبول
۱ - ۰/۹	خوب

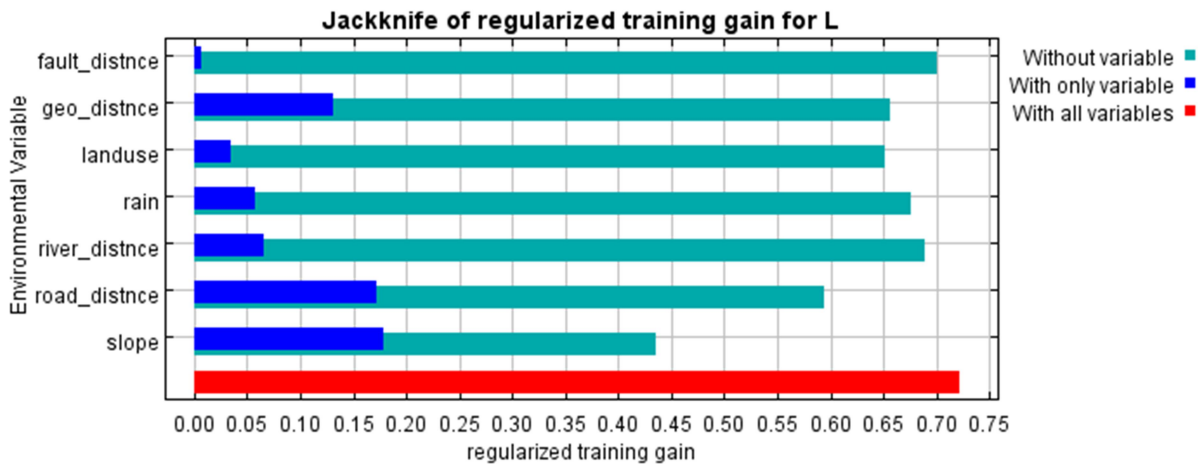
یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل براساس منحنی ROC نشان می‌دهد که مدل حاصل، عملکرد خوبی دارد. به‌طوری‌که، برای داده‌های تعلیمی $AUC = 0.77$ به دست آمد (شکل ۲). مدل‌های با $(AUC = 1)$ ، نشان‌دهنده بهترین عملکرد و مدل‌های با $(AUC > 0.75)$ ، دارای عملکرد مناسبی در پیش‌بینی عوامل مختلف دارند. همچنین آستانه بهینه برای طبقه‌بندی نقشه خطر زمین لغزش در حوضه مطالعاتی برابر ۰/۲۳ به دست آمد (بین ۰ تا ۰/۲۳ خطر پایین و بیشتر از این مقدار خطر بالا). مدل شامل هفت متغیر برای تعیین عوامل اثرگذار بر لغزش بوده است.



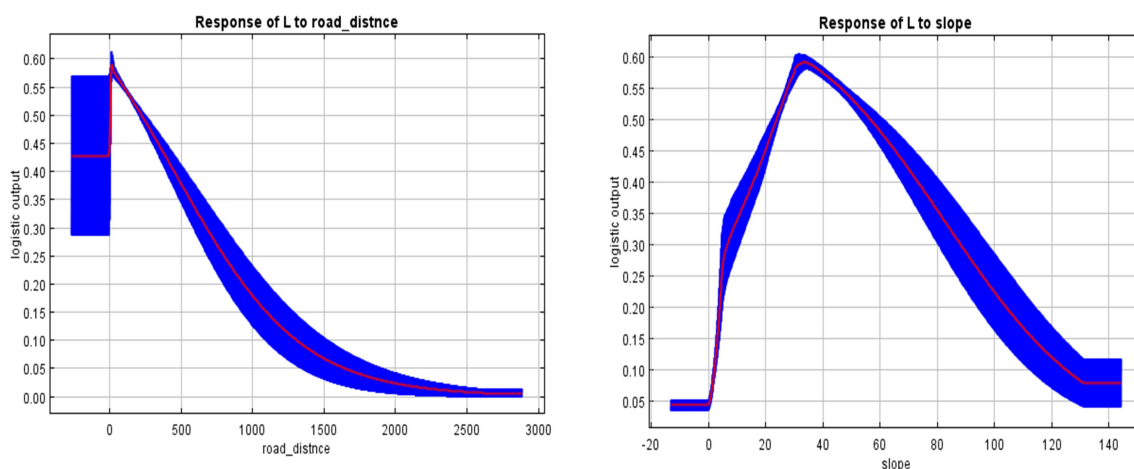
شکل (۲) منحنی ROC و مقدار AUC محاسبه شده برای عملکرد مدل

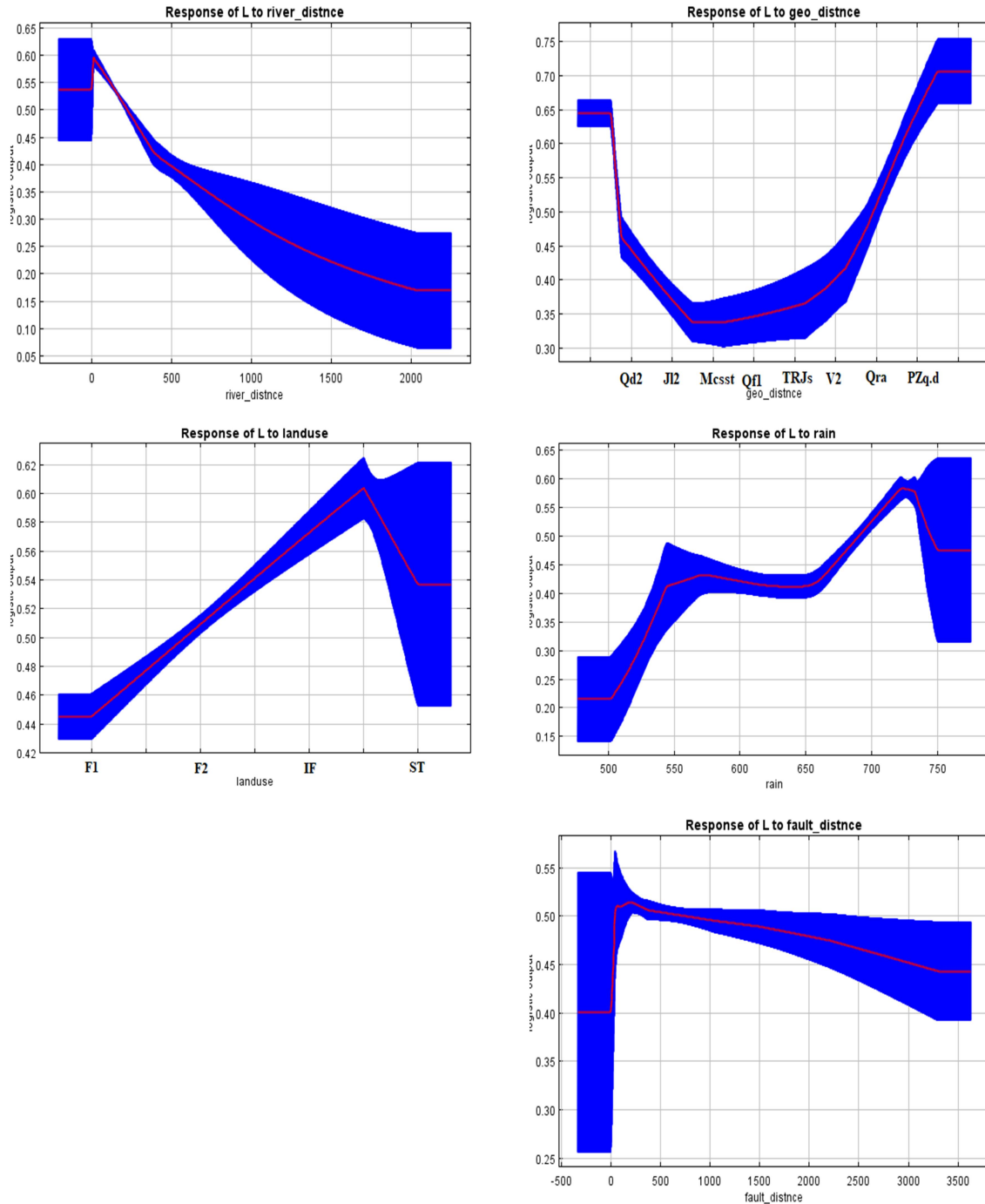
براساس نتایج فراکافت جک نایف از بین هفت متغیر که در نظر گرفته شد به ترتیب متغیرهای شیب، فاصله از جاده، زمین‌شناسی بیشترین تأثیر و همچنین فاصله از گسل کم‌ترین اثر را بر زمین لغزش این حوزه داشتند (شکل ۳).



شکل (۳) نمودار جک نایف برای بررسی اهمیت هر یک از متغیرهای مورد بررسی

منحنی‌های زیر نشان‌دهنده چگونگی تأثیر متغیرهای محیطی بر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی حداکثر در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. باتوجه به نمودار جک نایف که پیش‌تر گفته شد متغیر شیب بیش‌ترین تأثیر را در زمین‌لغزش حوضه داشت تحلیل منحنی پاسخ نشان می‌دهد که در شیب صفر درصد میزان احتمال زمین‌لغزش بسیار کم است اما از شیب صفر تا ۴۰ درصد میزان احتمال زمین‌لغزش به‌طور ناگهانی افزایش داشته است. با افزایش شیب احتمال وقوع لغزش در منطقه بیشتر خواهد شد. همچنین منحنی پاسخ پارامتر فاصله از جاده نشان می‌دهد که هر چه فاصله از جاده بیش‌تر باشد خطر لغزش کاهش می‌یابد. همچنین منحنی پاسخ زمین‌شناسی نشان داد که بیشترین میزان زمین‌لغزش در نواحی با میزان مارن، آهک، کنگلومرا بالا است. نتایج منحنی پاسخ مربوط به عامل فاصله از رودخانه نیز نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از رودخانه زمین‌لغزش کاهش می‌یابد. همچنین منحنی پاسخ متوسط بارش سالانه نشان می‌دهد که بارش با تعداد لغزش رابطه مستقیم دارد. با توجه به منحنی پاسخ تغییر کاربری می‌توان دریافت که باتغییر کاربری از جنگل به سمت کشاورزی و مسکونی افزایش تعداد لغزش را مشاهده می‌کنیم و بیش‌ترین تعداد لغزش مربوط به تغییر کاربری کشاورزی است. درنهایت عامل فاصله از گسل که با توجه به نمودار جک نایف کم‌ترین تأثیر را بر لغزش منطقه مورد نظر دارد نشان‌دهنده روند ثابت بین فاصله از گسل و تعداد لغزش در منطقه موردنظر است (شکل ۴).

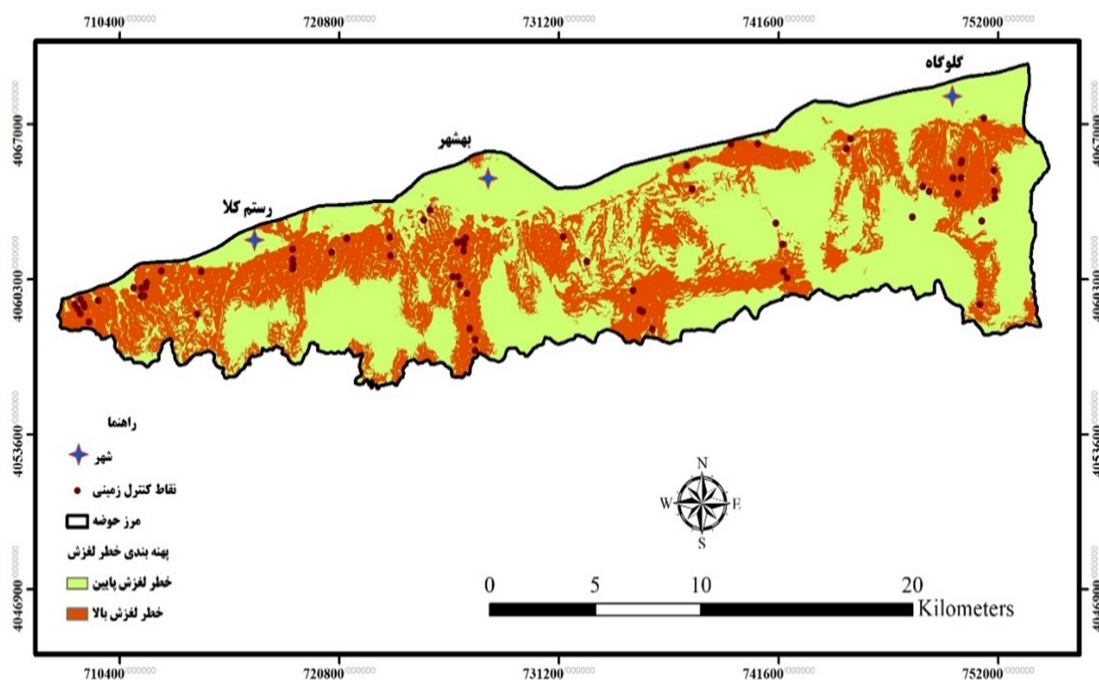




شکل (۴) منحنی‌های پاسخ متغیرهای مورد بررسی بر زمین لغزش حوزه آبخیز ساحلی بهشهر-گلوگاه

نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

نقشه پهنه‌بندی خطر لغزش براساس هفت متغیر ورودی به مدل به صورت شکل (۵) طبقه‌بندی شد و در جدول (۴) مقادیر هر یک از طبقات قابل مشاهده است. نتایج نشان داده‌اند که ۴۰ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه (حدود ۱۳۰۰۷/۷ هکتار) در خطر لغزش بالا قرار دارند.



شکل (۵) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه

جدول (۴) طبقه‌بندی خطر لغزش در حوزه آبخیز ساحلی بهشهر-گلوگاه

مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)	طبقه‌بندی خطر لغزش
۱۹۸۹۴	۶۰	خطر لغزش پایین
۱۳۰۰۷/۷	۴۰	خطر لغزش بالا

بحث و نتیجه‌گیری

آشکارسازی عوامل محرک ضروری زمین‌لغزش‌ها برای پیشگیری و درمان زمین‌لغزش اهمیت زیادی دارد (Liao et al. 2022). با تغییر در محیط طبیعی و تشدید فعالیت‌های انسانی، بلایای ناشی از زمین‌لغزش در دهه‌های اخیر افزایش یافته است و نتایج غیرقابل پیش‌بینی بسیاری را به دنبال داشته است (He et al. 2012).

نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش نشان داد که مناطق با خطر بیشتر عمدتاً در مناطق پر شیب توزیع پیدا کرده‌اند که این یافته‌ها با مطالعات Wu و همکاران (۲۰۲۰) و Wang و همکاران (۲۰۲۱) و Arrogant-Funes و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. در شیب‌های صفر تا ۴۰ درصد که مناطق انسان ساخت و کاربری کشاورزی غالب کاربری در منطقه است نشان‌دهنده تأثیر زیاد انسان بر وقوع زمین‌لغزش است (حنیفی نیا و همکاران، ۱۳۹۹؛ Pham et al. 2021). در شیب‌های کم به علت اینکه معمولاً نیروهای مقاوم مانند اصطکاک خاک بیشتر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است ناپایداری دامنه‌ای اتفاق نمی‌افتد. اما در شیب‌های بالا به علت ویژگی‌های اقلیمی و پوشش گیاهی شرایط خاک‌سازی در این درجه از شیب (۱۰-۴۰ درصد) کاملاً مهیا بوده که به بالا بودن نیروی ثقل و دخالت عوامل انسانی شرایط برای وقوع لغزش‌های بیشتر را فراهم می‌آورد (Sun et al.).

2021). همچنین در مطالعه Ngo و همکاران (۲۰۲۱) گزارش داد که شیب، پوشش زمین، فاصله از گسل و زمین‌شناسی چهار عامل مهم مؤثر بر وقوع زمین لغزش هستند.

برای فاصله از جاده یک ارتباط مثبت با زمین لغزش روند مشابهی نیز توسط Youssef و همکاران (۲۰۱۴) و Wang و همکاران (۲۰۱۵) و Gao و همکاران (۲۰۲۲) گزارش شده است. سایر مطالعات اخیر به همین نتیجه رسیده‌اند که به دلیل روند رو به رشد شهرنشینی انسان، که به محیط طبیعی آسیب رسانده و خطرات زمین‌شناسی را تشدید می‌کند (Phom et al. 2020; Zhou et al. 2021). نتایج نوجوان و همکاران (۱۳۹۸) نیز نشان داد که بیشترین وقوع زمین لغزش در فاصله کمتر از ۱۰۰ متر جاده اتفاق افتاده و با افزایش فاصله از ۲۰۰۰ متر میزان وقوع زمین لغزش کاهش پیدا کرده است.

اهمیت تنش ساختارهای زمین‌شناسی به‌ویژه گسل‌ها در شکل‌گیری و وقوع لغزش‌ها نقش اساسی دارند، اما نمودار جک نایف نشان‌دهنده اهمیت کم‌تر فاصله از گسل نسبت به سایر عوامل در منطقه مورد مطالعه بوده است البته لازم به توضیح است که تراکم گسل در منطقه بسیار بالاست و این عامل به نظر می‌رسد که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در تشدید سایر عوامل تأثیر می‌گذارد. در اغلب موارد در کنار هر زمین لغزش و یا با فاصله کمی از توده لغزنده گسلی قرار دارد که ورود آب را به درون توده دارای پتانسیل لغزش تسهیل می‌کند (قبادی و همکاران، ۱۳۹۲). تراکم گسل‌ها علاوه بر افزایش فرسایش‌پذیری و کاهش مقاومت سازندها باعث افزایش میزان رطوبت و نفوذپذیری در دامنه‌های مختلف این سازندها می‌شود مقاومت برشی سنگ‌ها و خاک‌های واجد کانی‌های رسی با افزایش درصد رطوبت به‌شدت کاهش یافته و موجب ناپایداری در این سازندها می‌شود؛ به همین دلیل می‌توان وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه را تا حد زیادی به تراکم بالای گسل و وجود سازندهایی با خصوصیات زمین‌شناسی ضعیف مربوط دانست (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۳).

در منطقه مورد مطالعه پارامترهای متوسط بارش سالانه و فاصله از رودخانه چهارمین و پنجمین عوامل اثرگذار بر زمین لغزش بوده‌اند. روند بارندگی با زمین لغزش در قسمت‌هایی افزایش و سپس کاهش و سپس دوباره افزایش یافته است و این به دلیل آن است که در مناطقی که زمین لغزش بیشتر بوده است دارای بافت خاک لوم، رسی و شنی بوده است که با وقوع بارندگی در مناطق دارای خاک‌های سیلتی رسی خطر وقوع زمین لغزش نیز افزایش می‌یابد (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۶؛ رضوی ترمه و شیرانی، ۱۳۹۷، Bui et al. 2019). فاصله از رودخانه تا حدود ۱۰۰ متر، بیشترین احتمال خطر زمین لغزش وجود دارد و با افزایش فاصله از آن، میزان خطر زمین لغزش با کاهش چشمگیر مواجه شده است. زیرا آبراهه‌ها بر اثر فرسایش رودخانه‌ای و سایش دیواره کنار رودخانه باعث به هم خوردن تعادل شیب و در نتیجه ناپایداری دامنه‌های مشرف به رودخانه می‌گردد. شاخص توان آبراهه نیز گویای این بحث است زیرا در مناطقی که توان آبراهه بیشتر می‌گردد تأثیر آن بر وقوع زمین لغزش‌ها بیشتر می‌شود (Zhong et al. 2019; Zhou et al. 2021).

نتیجه‌گیری

زمین لغزش یکی از فرسایش‌های پرخطر است که آسیب‌های جانی و مالی به جوامع بشری وارد می‌کند بنابراین مطالعات درخصوص پیش‌بینی احتمال زمین لغزش به کارشناسان در جهت اقدامات پیشگیرانه کمک خواهد کرد. آن چیزی که نتایج این تحقیق و مرور تحقیقات گذشته نشان می‌دهد تغییرات کاربری و احداث جاده به‌ویژه در مناطق کوهستانی پر شیب به خصوص در سال‌های اخیر که جوامع بشری به‌صورت صعودی رو به افزایش است سبب این نوع فرسایش می‌شود. این مطالعه به ما کمک می‌کند تا مناطق آسیب‌پذیر را در این منطقه شناسایی کنیم و از اقداماتی مثل تغییر کاربری، احداث جاده و غیره که

سبب زمین لغزش به خصوص در مناطق پرخطر می‌شود اجتناب کنیم. همچنین پیشنهاد می‌گردد از دیگر روش‌های پهنه‌بندی برای این حوضه استفاده گردد تا بتوان مدل مقایسه‌ای بین عملکرد آن‌ها داشت تا بهترین مدل انتخاب گردد.

منابع

- ذاکری‌نژاد، ر. و عمو شاهی، ه. ۱۴۰۱. ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل حداکثر آنتروپی (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز کمه، جنوب استان اصفهان). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۲ (۱): ۱۲۸-۱۴۹.
- رضوی ترمه، و. و شرانی، ک. ۱۳۹۷. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های نسبت فراوانی، آنتروپی و روش تصمیم‌گیری تاپسیس (مطالعه موردی: حوزه فهلپیان، فارس). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، ۹ (۴): ۱۱۹-۱۳۸.
- صفامهر، م.، صالحی، م.، نصری، م.، رهنما، م.، بور، ح. ۱۳۹۶. رفتارسنجی و پایداری‌سازی زمین‌لغزش براساس برداشت‌های نقشه‌برداری و داده‌های زمین‌شناسی مهندسی (مطالعه موردی: زمین‌لغزش نُقل در منطقه پادناهی سمیرم). مسکن و محیط روستا، ۱۶۲: ۱۴۵-۱۵۷.
- قبادی، م.، بهزادتبار، پ.، خدابخش، س. ایزدی کیان، ل. ۱۳۹۳. مطالعه عوامل زمین‌شناسی مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه زمان آباد، جنوب شرق همدان. مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، ۳ (۴): ۱-۱۴.
- عابدینی، م.، قاسمیان، ب.، شیرزادی، ع.، ۱۳۹۳. مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک مطالعه موردی: استان کردستان، شهرستان بیجار. جغرافیا و توسعه. ۱۲ (۳۷): ۸۵-۱۰۲.
- عرب عامری، ع.، ک. شیرانی و خ. رضایی. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع زمین‌لغزش با روش‌های دمپستر-شيفر و نسبت فراوانی در حوزه سرخون کارون. مجله پژوهش‌های حفاظت آبخاک، ۱۸ (۲۷): ۴۱-۵۷.
- نوجوان، م.، سادات شاه زیدی، س.، د. داودی، م.، امین‌الرعایایی، ه. ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تلفیق دو مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کمه)، استان اصفهان پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۷ (۲۸): ۱۴۲-۱۵۹.
- Alexander, David. E. (2008). "A Brief Survey of GIS in Mass-movement Studies, with Reflections on Theory and Methods." *Geomorphology* 94 (3-4): 261-267. doi:10.1016/j.geomorph.2006.09.022.
- Arnone, E. Caracciolo, D. Noto, C.D. F. & Preti, R. L. (2016). Bras, "Modeling the hydrological and mechanical effect of roots on shallow landslides," *Water Resources Research*, vol. 52, no. 11, pp. 8590-8612, 2016.
- Bíl, Michal., Vodák, Rostislav., Kubeček, Jan., Bílová, Martina. & Sedoník, Jiri. (2015). Evaluating road network damage caused by natural disasters in the Czech Republic between 1997 and 2010, *Transport. Res. A-Pol.*, 80, 90-103, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.07.006>.
- Blahut, Jan., Westen, Cees. & Sterlacchini, Simone. (2010). Analysis of landslide inventories for accurate prediction of debris-flow source areas, *Geomorphology*, 119, 36-51.
- Chen, Wei., Zhang, Shuai., Li, Renwei. & Shahabi, Himan. (2018). Performance evaluation of the gis-based data mining techniques of best-first decision tree, random forest, and naïve bayes tree for landslide susceptibility modeling. *Science of the Total Environment*, 644: 1006-1018.
- Chen, Yushan., Zhang, Yeming., Wang, Li., Wang, Shon., Tian, David. & Zhang, Liang. (2022). Influencing factors, deformation mechanism and failure process prediction for reservoir rock landslides: Tanjiahe landslide, three gorges reservoir area. *Frontiers in Earth Science*, 15: 1-19.
- Cui, Yi.Fei., Zhou, Xiao.Jun. & Guo, Chao.Xu. (2017). Experimental study on the moving characteristics of fine grains in wide grading unconsolidated soil under heavy rainfall. *J Mt Sci* 14(3):417-431

- Cui, Yifei., Cheng, Deqiang., Choi, Clarence.E., Jin, Wenjin., Lei, Y. & Kargel, Jeffrey.S. (2019a). The cost of rapid and haphazard urbanization: lessons learned from the Freetown landslide disaster. *Landslides* 16:1167–1176
- Ding, Qingfeng., Chen, Wei. & Hong, Haoyuan. (2017). Application of frequency ratio, weights of evidence and evidential belief function models in landslide susceptibility mapping. *Geocarto International*, 32(6): 619-639.
- Fan, Xuanmei., Scaringi, Gianvito., Korup, Oliver., West, A.Joshua., Westen, Cees,J., Tanyas, Hakan., Hovius, Niels., Hales, Tristram.C., Jibson, Randall.W., Allstadt, Kate.E., Zhang, Limin., Evans, S.G., Xu, Chong., Li, Gen., Pei, Xiangjun., Xu, Qiang. & Huang, Runqiu. (2019). Earthquake-induced chains of geologic hazards: patterns, mechanisms, and impacts. *Rev Geophys* 57(2):421–503
- Gao, Jiangping., Shi, Xiangyang., Li, Linghuti., Zhou, Ziqiang. & Wang, Junfeng. (2022). Assessment of Landslide Susceptibility Using Different Machine Learning Methods in Longnan City, China. *Sustainability*, 14: 16716.
- García-Rodríguez, Mike., Malpica, Jolin. A., Benito, Barbara. & Díaz, Mikael. (2008). “Susceptibility Assessment of Earthquake-triggered Landslides in El Salvador Using Logistic Regression.” *Geomorphology* 95 (3–4): 172–191. doi:10.1016/j.geomorph.2007.06.001.
- Gonzalez-Ollauri, Alejandro. & Mickovski, Slobodan. B. (2017). “Plant-soil reinforcement response under different soil hydrological regimes,” *Geoderma*, vol. 285, pp. 141–150.
- Guo, Jian., Yi, Shujian., Yin, Yanzhou., Ciu, Yifie., Quin, Mingyue., Li, Tonglu. & Wang, Chenyang. (2020). The effect of topography on landslide kinematics: a case study of the Jichang town landslide in Guizhou, China. *Landslides*, 9-16.
- Guzzetti, Fausto., Mondini, Alessandro. Cesare., Cardinali, Mauro., Fiorucci, Federica., Santangelo, Michele. & Chang, Kang. Tsung. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem, *Earth-Sci. Rev.*, 112, 42–66, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001>.
- Hilker, Nall., Badoux, Airon. & Hegg, Chang. (2015). The Swiss flood and landslide damage database 1972–2007, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 913–925.
- Huang, Ggang., Zheng, Mingxin. & Peng, Jing. (2021). Effect of Vegetation Roots on the Threshold of Slope Instability Induced by Rainfall and Runoff. *Hindawi Geofluids*, *Article ID* 6682113, 19 pages
- Hong, Haoyuang., Kornejady, Aiding., Soltani, Adel., Termeh, Seyed.Vahid.Razavi., Liu, Junzhi., Zhu, A.Xing., Ahmad, Baharin.Bin. & Wang, Yi. (2018). Landslide susceptibility assessment in the Anfu County, China: comparing different statistical and probabilistic models considering the new topo-hydrological factor (HAND). *Earth Science Informatics*, 11(4): 605-622. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12145-018-0352-8>
- Javadinejad, Safieh., Dara, Rebwar., Jafari, Forough. (2019). Effect of Precipitation Characteristics on Spatial and Temporal Variations of Landslide in Kermanshah Province in Iran. *Journal of Geographical Research*. 2 (4): 7-14
- Li, Zhongbin., Shi, Wenzhong. Yan, Lin. Yan, Lu. Wang, Qunming. & Miao, Zelang. (2016b). “Landslide Mapping from Aerial Photographs Using Change Detection-based Markov Random Field.” *Remote Sensing of Environment* 187: 76–90. doi:10.1016/j.rse.2016.10.008.
- Liao, Mingyong., Wen, Haijia. & Yang, Ling. (2022). Identifying the essential conditioning factors of landslide susceptibility models under different grid resolutions using hybrid machine learning: A case of Wushan and Wuxi counties, China. *Catena*, 217: 106428.
- Lin, Mon.Lian., Wu, Yong.Tu., Wang, Kalin.L., Hsieh, Yallana.Mu. (2018). Monitoring of the Deep-seated Landslide using MEMS-a Case Study of Lantai Landslide, Taiwan. *In EGU General*

- Assembly Conference Abstracts*, 20: 12531. DOI: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2018EGUGA.2012531L>
- Liu, Jinking., Hsiao, Kuo. & Shih, Peter. (2012). “A Geomorphological Model for Landslide Detection Using Airborne Lidar Data.” *Journal of Marine Science and Technology* 20 (6): 629–638. doi:10.6119/JMST-012-0412-1.
 - Liu, Hong W., Feng, Song. & Ng, Cong. (2016). “Analytical analysis of hydraulic effect of vegetation on shallow slope stability with different root architectures,” *Computers and Geotechnics*, vol. 80, pp. 115–120.
 - Lu, N., Godt, J.W. & Wu, D.T. (2010). A closed-form equation for effective stress in unsaturated soil. *Water Resour Res* 46:567–573
 - Melillo, Massimo., Brunetti, Maria.Teresa., Peruccacci, Silvia., Gariano, Stefano.Luigi. & Guzzetti, Fausto. (2016). Rainfall thresholds for the possible landslide occurrence in Sicily (Southern Italy) based on the automatic reconstruction of rainfall events. *Landslides*, 13(1): 165–172. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-015-0630-1>
 - Meneses, Bruno., Pereira, Susana. & Reis, Eusebio. (2019). Effects of different land use and land cover data on the landslide susceptibility zonation of road networks. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 19, 471–487
 - Ngo, P.T.T., Panahi, M., Khosravi, K., Ghorbanzadeh, O., Kariminejad, N., Cerda, A., Lee, S. (2021). Evaluation of deep learning algorithms for national scale landslide susceptibility mapping of Iran. *Geosci. Front.* 12, 505–519.
 - Nuth, Mathieu, & Laloui, Lyesse. (2010). Effective stress concept in unsaturated soils: clarification and validation of unified framework. *Int J Numer Anal Methods Geomech* 32:771–801
 - Peng, Jianbing., Fan, Zhongjie., Wu, Di., Zhuang, Jianqi., Dai Fuchu, Chen, Wenwu. & Zhao, Cheng. (2015). Heavy rainfall triggered loess–mudstone landslide and subsequent debris flow in Tianshui, China. *Eng Geol* 186:79–90
 - Pereira, Susana., Zêzere, Jose. Luis. & Quaresma, Ivania. (2017). Landslide Societal Risk in Portugal in the Period 1865–2015, in: *Advancing Culture of Living with Landslides*, edited by: Mikoš, M., Vilímek, V., Yin, Y., and Sassa, K., 491–499, *Springer International Publishing, Slovenia*.
 - Pham, Binh.Thai., Bui, Dieu.Tein., Pham, Ha.Viet., Le, Hung.Quoc., Prakash, Indra. & Dholakia, M.B. (2017). Landslide hazard assessment using random subspace fuzzy rules based classifier ensemble and probability analysis of rainfall data: a case study at Mu Cang Chai District, Yen Bai Province (Viet Nam). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45(4): 673–683. DOI: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12524-016-0620-3>
 - Pham, Bian.Thai., Nguyen-Thoi, Trung., Qi, Chongchong., Phong, Tran.Van., Dou, Jie., Ho, Lanh.Si., Le, Hiep.Van. & Prakash, Indra. (2020). Coupling RBF neural network with ensemble learning techniques for landslide susceptibility mapping. *Catena* 195, 104805. [CrossRef]
 - Rossi, Mike., Luciani, Simon., Valigi, David., Kirschbaum, David., Brunetti, MikeT., Peruccacci, Simon. & Guzzetti, F. (2017). Statistical approaches for the definition of landslide rainfall thresholds and their uncertainty using rain gauge and satellite data. *Geomorphology*, 285: 16–27. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S01695555X17300855>
 - Sassa, Shinji. & Takagawa, Tomohiro. (2018) Liquefied gravity flow-induced tsunami: first evidence and comparison from the 2018 Indonesia Sulawesi earthquake and tsunami disasters. *Landslides* 16:195–200

- Sun, Deliang., Wen, Haijia., Zhang, Yalan. & Xue, Mengmeng. (2021). An optimal sample selection-based logistic regression model of slope physical resistance against rainfall-induced landslide. *Nat. Hazards*. 105, 1255–1279. [CrossRef]
- Takahashi, Tamotsu. (2014). Debris flow: mechanics, prediction, and countermeasures, 2nd edn. CRC press, London
- Tang, Hong.Mei., Liao, Pei.Wei., Wang, Lin.Feng. & Chen, Hong.Kai. (2013) Experimental study on gravel soils of matrix suction. *Appl Mech Mater* 275-277:310–315
- Tukhtamirzaevich, Mamadaliev.Adkhamjon. & Akhmadjanovich, Turgunov.Aazkhan. (2022). Causes the occurrence of landslides and measures for its prevention. *Международныйнаучныйжурнал*, 100 (2): 2149-2156.
- Wang, D., Hao, M., Chen, Sh., Meng, Z., Jiang, D and Ding, F., 2021. Assessment of landslide susceptibility and risk factors in China. *Natural Hazards*, 1-15.
- Wang, Guoquan., Joyce, Joyce., Phillips, David., Shrestha, Ramesh. & Carter, William. (2013). “Delineating and Defining the Boundaries of an Active Landslide in the Rainforest of Puerto Rico Using a Combination of Airborne and Terrestrial LIDAR Data.” *Landslides* 10 (4): 503–513. doi:10.1007/s10346-013-0400-x
- Wen, Mu., Chen, Huo., Zhang, Ma., Chu, Huo., Wang, Wong., Hang, Nall. & Huang, Zou. (2017). “Characteristics and Formation Mechanism Analysis of the “6·24” Catastrophic Landslide of the June 24 of 2017 at Maoxian, Sichuan.” *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control* 28 (3): 1–7. In Chinese with English abstract. doi:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2017.03.01.
- Winter, Mike G., Shearer, Barbara., Palmer, Derek., Peeling, David., Harmer, Clare. & Sharpe, Jonathan. (2016). The Economic Impact of Landslides and Floods on the Road Network, *Procedia Eng.*, 143, 1425–1434 <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.168>.
- Wu, Yanli., Ke, Yutian., Chen, Zhuo., Liang, Shouyun., Zhao, Hhongliang. & Hong, Haoyuan. (2020). Application of alternating decision tree with Ada- Boost and bagging ensembles for landslide susceptibility mapping. *Catena*. doi. org/ 10. 1016/j. catena. 2019. 104396
- Zevenbergen, LyleW. & Thorne, ColinR. (1987). Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, 47-56.
- Zhang, Chenyang., Yin, Yueping., Yan, Hui., Li, Hauaxiu., Dai, Zhenwei. & Zhang, Nan. (2021). Reactivation characteristics and hydrological inducing factors of a massive ancient landslide in the three Gorges Reservoir, *China*. *Engineering Geology*, 292: 106273.
- Zhao WenFeng., Li, Long. & Xiao, Yu Hang. (2014). Experimental research of matrix suction of the unsaturated red clay. *Adv Mater Res* 919-921:835–838
- Zhou, Xinzhi., Wen, Haijia., Zhang, Yalan., Xu, Jiahui. & Zhang, Wengange. (2021). Landslide susceptibility mapping using hybrid random forest with GeoDetector and RFE for factor optimization. *Geosci. Front.* 12, 101211. [CrossRef]
- Zhong, Cheng., Liu, Yuo., Gao, Peng., Chen, Wen., Li, Hui., Huo, Yong., Nuremanguli, Tuohuti. & Ma, Haijian. (2019). Landslide mapping with remote sensing: challenges and opportunities. *International Journal of Remote Sensing*, VOL. 41, NO. 4, 1555–1581