Journal of Environmental Research in Mountainous Regions

Spring 2025, Vol 1, Issue 1

Home page: https://ermr.uok.ac.ir

Research Paper

Landslide Susceptibility Mapping in the Vicinity of Dams in Mountainous Areas Using Remote Sensing and Geographic Information System (Case Study: Cheragh Veys Dam, Saqqez County)

Ayub Mohammadi * [a]

[a] Assistant Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

ARTICLEINFO

Received: 2024/04/13
Accepted: 2024/12/23
PP: 15-24

Use your device to scan and read the article online

Keywords: *Landslide, Remote Sensing, Geographic Information System, Mountainous Regions, Cheragh Veys.*

Abstract

The movement of sedimentary layers that occurs due to different reasons such as earthquakes, volcanoes, anthropogenic activities, heavy rainfall or loose soil is called landslide. Landslides sometimes cause irreparable financial and human losses. The aim of this research is to predict the location of the risk of landslides around the newly established Cheragh Veys dam using fuzzy overlap and weighted aggregation models in QGIS environment. For this purpose, 11 factors of, slope, aspect, height, distance to the road, distance to the river, road density, river density, curvature, topographic wetness index, stream power index and vegetation cover were used. The results of the study show that both models performed somewhat similar in detecting areas of low sensitivity to very high sensitivity. In both models, more than half of the area is prone to landslides. The findings of this study can be used by decision-makers and managers to reduce the risks of landslides.

Citation: Mohammadi, A. (2025). **Landslide Susceptibility Mapping in the Vicinity of Dams in Mountainous Areas Using Remote Sensing and Geographic Information System (Case Study: Cheragh Veys Dam, Saqqez County).** *Journal of Environmental Research in Mountainous Regions*, 1(1), 15-24.
DOI: https://doi.org/10.22034/ermr.2025.63295

© The Author(s).

Publisher: University of Kurdistan

* **Corresponding author:** Ayub.Mohammadi, **Email:** ayub.mohammadi@uok.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Landslides involve the slow to rapid movement of materials down slopes caused by a wide range of natural processes and human activities. Every year, these events result in economic losses and numerous casualties in the province and the country, posing a significant threat to people living in these areas. In general, in Iran and specifically in Kurdistan province, landslides are a constant threat to infrastructure, agriculture, other natural resources, and tourism. Local administrations are sometimes under financial and logistical pressure to address these issues. Most landslides in Iran are caused by heavy rainfall. Certain areas, such as those around newly established dams and roads in mountainous regions, are particularly susceptible to landslides and may become more unstable due to human interventions. This research addresses the same issue and aims to use remote sensing techniques and geographic information systems to zone landslide-sensitive areas around the newly established Cheragh Veys Saqqez dam. Over the past few decades, there have been tremendous advances in remote sensing science and geographic information systems, facilitating the preparation of landslide susceptibility maps. These maps, as comprehensive resources, can be used by policymakers and decision-makers to mitigate financial losses caused by landslides. A wide range of models and methods, including hierarchical analysis, the entropy index, geographically weighted principal components, machine learning methods, artificial neural networks, support vector machines, fuzzy logic, and others, have been proposed for preparing landslide susceptibility maps. It should be noted that since the Cheragh Weis dam is newly established, no studies have been conducted in this regard for the area under study so far. This present study, a comprehensive effort, will zone the areas prone to landslides around the aforementioned dam for the first time. Due to the complexity of predicting landslide risks, many researchers have proposed a hybrid model approach. Among these, the alternative decision tree (ADTree) is noteworthy. Both simple and hybrid models have been employed in studies of floods, fires, droughts, gully erosion, land subsidence, and landslides. This study uses fuzzy overlay and weighted aggregation models to create a map of landslide-prone areas around the new Cheragh Weis dam.

Methodology

The first step in landslide studies is identifying historical locations and the factors that influence landslides. This research focuses solely on zoning areas sensitive to landslides. In the present study, 11 factors influencing landslides were selected based on previous research, specialized knowledge, and the physical characteristics of the study area. Additionally, two models—fuzzy overlap and weighted aggregation—were used to produce a landslide susceptibility map. A digital elevation model (DEM) was employed within a geographic information system (GIS) environment to generate the 11 factors. After reclassification, these factors were used to create the landslide susceptibility map. It should be noted that the spatial resolution of the 11 selected factors is 30 meters, which is suitable for producing a landslide susceptibility map of the study area. Since the DEM, from which most of the layers were derived, had a resolution of 30 meters, its derivatives naturally have the exact spatial resolution. Landsat satellite imagery, with a multi-spectral band resolution of 30 meters, was also used to create the vegetation map. Additionally, the road layer was extracted from Google Earth with high accuracy, and the distance from roads and road density maps were resampled to produce a suitable final map with a spatial resolution of 30 meters. The layers extracted from the DEM in the GIS included slope direction, slope, elevation, topographic wetness index, stream power index, and curvature. Furthermore, river density, road density, distance from roads, distance from rivers, and vegetation were extracted in the GIS to produce the final map. In this study, the fuzzy overlap model and the weighted aggregation model were used to achieve the desired objectives.

Results and Discussion

The research findings indicate that in the weighted accumulation model, about 10 square kilometers of the area fall into the low sensitivity group, while 17 square kilometers are at very high risk. Additionally, 26 square kilometers of land around the Cheragh Weis Dam are classified as having medium sensitivity. Finally, a large and significant

portion of the area, totaling 32 square kilometers, belongs to the high-sensitivity group. The quantitative results demonstrate that the area is highly prone to landslides and should be carefully monitored by authorities to prevent potential financial losses and risks to life. The weighted overlap model also predicts a similar trend with some variations. In this model, about 2 square kilometers have been added to the areas with low sensitivity. The medium sensitivity group covers 25 square kilometers. Meanwhile, 34 square kilometers of land around the dam is associated with a high risk of landslides. In the fuzzy overlap model, 3 square kilometers of land are exposed to a very high risk of landslide occurrence, which is less than in the weighted accumulation model.

Conclusion

Landslides, if they occur in residential, tourism, and agricultural areas, can cause significant destruction. Without identifying high-risk areas and under the right conditions, they can result in irreparable financial and human losses. Landslide risk zoning maps enable organizations and officials to monitor high-risk areas in a targeted manner and, if necessary, implement preventive measures to avert accidents. Globally, landslides cause millions of dollars in financial losses yearly, resulting in numerous injuries and fatalities. This risk also leads to economic and human losses in our country. The results of this study can assist authorities in securing landslide-prone areas and preventing potential damages. One limitation of the current research was the lack of access to the southern parts of the dam due to the flooding of the connecting bridges after the dam was drained. Future research could utilize InSAR or DInSAR models to identify landslides, providing better and more accurate modeling for such studies.

Financial sponsor

I am grateful for the financial support of the University of Kurdistan (contract number 21118/12/02/p) in conducting this research.

Contribution of the authors to the research

This research was completely done by the author.

Conflict of interest

The author declares that he has no conflict of interest in writing or publishing this article.

Appreciation and thanks

The author sincerely thanks and appreciates the people of Mirdeh and Cheragh Veys villages for their cooperation in collecting field data for writing this article.

نشریه علمی پژوهش های محیطی در قلمرو های کوهستانی
دوره ۱، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴
Home page: https://ermr.uok.ac.ir
دانشگاه کردستان

مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در مجاورت سدهای قلمروهای کوهستانی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: سد چراغ ویس؛ شهرستان سقز)

ایوب محمدی * : استادیار، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۳
شماره صفحات: ۲۴-۱۵

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، قلمروهای کوهستانی، چراغ ویس

چکیده

به حرکت لایه‌های رسوبی که به دلایل متفاوت از جمله زمین لرزه، فعالیت‌های آتشفشانی، فعالیت‌های انسانی، بارش شدید و یا سستی خاک اتفاق می‌افتد زمین لغزش می‌گویند. زمین لغزش‌ها گاهاً خسارات جبران ناپذیر مالی و جانی را به دنبال دارند. هدف این پژوهش پیش‌بینی مکانی خطر وقوع زمین لغزش در اطراف سد تازه تأسیس چراغ ویس با استفاده از مدل‌های هم پوشانی فازی و تجمع وزنی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی است. برای این منظور ۱۱ عامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله تا جاده، فاصله تا رودخانه، تراکم جاده، تراکم رودخانه، انحنا، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص توان جریان رودخانه و پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که هر دو مدل در تشخیص مناطق حساسیت کم تا حساسیت بسیار بالا، تا حدودی شبیه به هم عمل کردند. در هر دو مدل بیش از نیمی از مساحت منطقه مستعد زمین لغزش است. یافته‌های این مطالعه می‌تواند توسط تصمیم‌گیرندگان و مدیران برای کاهش خطرات زمین لغزش استفاده شود.

استناد: محمدی، ایوب (۱۴۰۴). **پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در مجاورت سدهای قلمروهای کوهستانی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: سد چراغ ویس؛ شهرستان سقز).** *نشریه علمی پژوهش‌های محیطی در قلمروهای کوهستانی*، ۱(۱)، ۱۵-۲۴.

DOI: https://doi.org/10.22034/ermr.2025.63295

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه کردستان

* **نویسنده مسئول:** ایوب محمدی، **پست الکترونیکی:** ayub.mohammadi@uok.ac.ir

مقدمه

زمین لغزش حرکت آهسته تا سریع مواد به سمت پایین دست دامنه‌ها است که طیف وسیعی از فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی در ایجاد آن نقش دارند (الفتی و همکاران، ۱۳۹۱؛ گوزتی[1] و همکاران، ۲۰۰۶). این رخدادها هر سال باعث خسارات اقتصادی و تلفات جانی زیادی در استان و کشور هستند که این خود تهدید بزرگی برای مردم ساکن در این مناطق است. به طور کلی در ایران و به طور خاص در استان کردستان، رانش زمین یک تهدید دائمی برای زیرساخت‌ها، کشاورزی، سایر منابع طبیعی و گردشگری است و ادارات محلی از نظر مالی و لجستیکی برای مقابله با آن‌ها بعضا تحت فشار هستند. بیشتر زمین لغزش‌ها در ایران به دلیل بارندگی شدید ایجاد می‌شود (رمضانی گورابی و ابراهیمی، ۱۳۸۸). از مناطق خاص که ممکن است تحت تأثیر زمین لغزش قرار بگیرد اطراف سدها و جاده‌های تازه تأسیس در قلمروهای کوهستانی است که به دلیل دستکاری‌های بشر ممکن است تا حدودی ناپایدارتر بشوند. این پژوهش هم در راستای همین موضوع عمل می‌کند و در صدد است که با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مناطق حساس به زمین لغزش را در محدوده سد تازه تأسیس چراغ ویس سقز پهنه‌بندی کند.

در طول چند دهه گذشته، پیشرفت‌های شگرفی در علوم سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی اتفاق افتاده که تهیه نقشه‌های حساسیت زمین لغزش را تسهیل کرده است (نوجوان، ۱۳۹۵؛ ژانگ[2] و همکاران، ۲۰۲۳). این نقشه‌ها می‌تواند توسط سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران برای کاهش خسارات مالی ناشی از رانش زمین مورد استفاده قرار گیرد. طیف گسترده‌ای از مدل‌ها و روش‌ها از جمله تحلیل سلسله مراتبی (محمدی و همکاران، ۱۳۸۶؛ حجازی، ۱۳۹۳)، شاخص آنتروپی (روستایی و همکاران، ۱۳۹۹)، مؤلفه‌های اصلی وزن‌دار جغرافیایی (کرد و عزیزپور ۱۳۸۴)، روش‌های یادگیری ماشین (حیدری و همکاران، ۱۳۹۹؛ براتی و همکاران، ۱۳۹۷؛ شهابی و هاشم[3]، ۲۰۱۵). شبکه عصبی مصنوعی (سوری و همکاران، ۱۳۹۰؛ رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۶)، ماشین بردار پشتیبان (کرمی و همکاران، ۱۳۹۸)، منطق فازی (مقتدر، ۱۳۸۸؛ روستایی و همکاران، ۱۳۹۷) و... برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش پیشنهاد شده است. لازم به ذکر است که به دلیل اینکه سد چراغ ویس تازه تأسیس می‌باشد هیچ مطالعه‌ای در این ضمینه برای منطقه مورد مطالعه تاکنون انجام نپذیرفته است و پژوهش حاضر برای اولین بار مناطق مستعد زمین لغزش را در اطراف سد فوق الذکر پهنه‌بندی خواهد کرد.

با توجه به پیچیدگی پیش‌بینی مخاطره زمین لغزش، بسیاری از محققان، رویکرد مدل‌های ترکیبی را پیشنهاد داده‌اند. از جمله آن‌ها می‌توان درخت تصمیم جایگزین[4] را نام برد. هم مدل‌های ساده و هم مدل‌های ترکیبی در مطالعات سیل، آتش‌سوزی، خشکسالی، فرسایش خندقی، فرونشست زمین و زمین لغزش استفاده شده‌اند. این مطالعه از مدل‌های هم پوشانی فازی و تجمع وزنی برای تهیه نقشه مناطق مستعد زمین لغزش در اطراف سد جدید الاحداث چراغ ویس استفاده می‌کند.

مرور ادبیات و سوابق پژوهش

زمین لغزش معمولاً باعث ویرانی بسیار می‌گردد چنانچه مناطق مستعد این پدیده شناسایی و ایمن‌سازی نشوند، در صورت فراهم بودن شرایط، خسارات بسیار جبران ناپذیر مالی و جانی در پی خواهد داشت. مطالعات گسترده‌ای در ضمینه‌های مختلف زمین لغزش انجام پذیرفته است که به طور خلاصه چند مورد ذکر خواهد شد: محمدی و نور (۱۳۹۸)، با استفاده از مدل تلفیقی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی–تراکم سطح در محیط GIS، نقشه حساسیت زمین لغزش را برای بخشی از حوزه آبخیز هراز تهیه کردند. آن‌ها ابتدا با مطالعات میدانی نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوزه را تهیه کردند و سپس نقشه‌های عوامل مؤثر بر زمین لغزش را تولید کردند. نرم‌افزار Expert Choice جهت وزن دهی فاکتورهای مؤثر استفاده شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که خصوصیات سنگ‌شناسی, فاصله از جاده, شیب, فاصله از آبراهه, کاربری اراضی, ارتفاع و جهت شیب عوامل اصلی مؤثر در وقوع زمین لغزش در منطقه هستند. نتایج بیشترنشان داد که شیب ۵۰–۱۵ درصد, جهت‌های شیب شمالی و غربی, ارتفاع ۲۱۰۰–۱۵۰۰, کاربری‌های مسکونی و باغ–کشاورزی, فاصله ۵۰۰ متری از جاده و ۴۰۰ متری از آبراهه, سازندهای شمشک و پادگانه‌های آبرفتی بیش‌ترین حساسیت را نسبت به زمین لغزش از خود نشان دادند. مقصودلو (۱۳۸۶)، با بررسی نقشه‌های متعدد به این نتیجه دست یافت که قسمت‌هایی از گرگان به دلیل اینکه بر روی نهشته‌های لسی, شیب تند دامنه‌ها قرار گرفته و با در نظر گرفتن سایر شرایط مستعدکننده لغزش از جمله گسل‌های خزر, البرز و گسل زیارت بنا و بارندگی شدید، بسیار در معرض این مخاطره قرار دارد. رمضانی گورابی و ابراهیمی (۱۳۸۸)، در تحقیقی با روش توصیفی سعی کردند عوامل مختلف طبیعی و انسانی مؤثر در وقوع زمین لغزش را شناسایی کنند و راهکارهایی

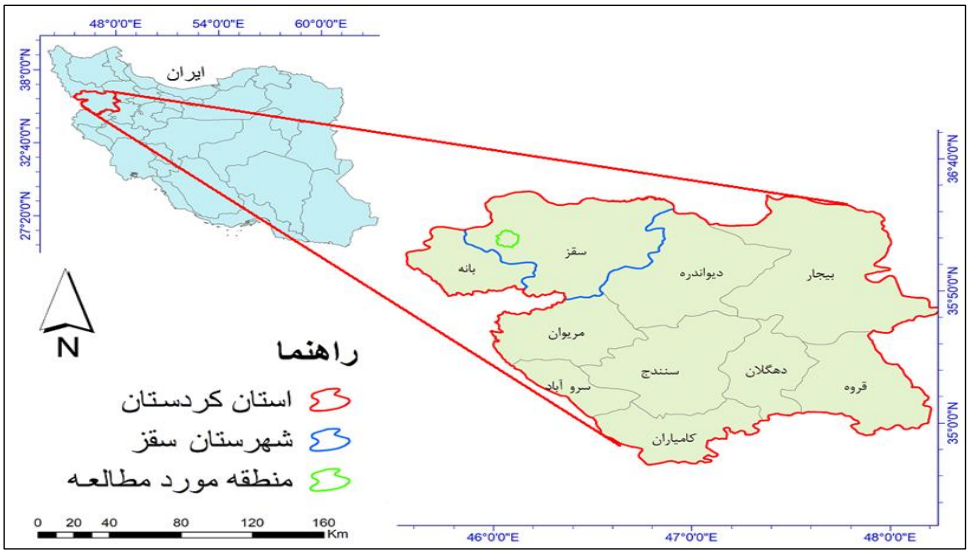
1. Guzzetti
2. Zhang
3. Shahabi & Hashim
4. ADTree

را در جهت کاهش و جلوگیری از وقوع اینگونه بلایای طبیعی ارایه کنند. استفاده از علم آبخیزداری و حایل‌بندی جاده‌ها و اطراف رودخانه از موارد مؤثر در کاهش خسارات زمین‌لغزش هستند. کاردان و یادگارزایی (۱۳۸۶) با مطالعه و تفسیر ۲۱ قطعه عکس هوائی برای قسمت‌هایی از شهرستان خاش در سیستان و بلوچستان، به این نتیجه رسیدند که ۸۲۸ زمین لغزش در منطقه رخ داده است. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که زمین لغزش روستا نرون در شهرستان خاش با گذشت چندین سال از بروز آن، هنوز به ثبات نرسیده است و بعلت احداث جاده ارتباطی تفتان جنوبی–تفتان شمالی در شهرستان خاش پتانسیل فعالیت مجدد را داراست. محمدی و توکلی (۱۳۸۷)، در مطالعه‌ای با استفاده از نرم‌افزار Surfer8، به این نتیجه دست یافتند که با داشتن هندسه قبل از لغزش می‌توان پارامترهای مقاومت برشی در آستانه لغزش را به شیوه آنالیز برگشتی تعیین کرد و وضعیت فعلی شیروانی را مورد بررسی قرار داد. جویباری و همکاران (۱۳۹۶)، مقدار جابجایی توده خاک ناشی از زمین لغزش را در توان واقع در شمال شرق استان قزوین با استفاده از عامل کاربری زمین مورد ارزیابی قرار دادند. ابتدا شبکه‌ای از ۲۰ نقطه‌ی ثابت (داخل و خارج آن منطقه) برای پایش میزان جابجایی ایجاد و میزان جابجایی هر نقطه در پنج بازه زمانی با استفاده از جی پی اس (GPS) اندازه‌گیری شد. نتایج پایش در مدت ۵۱۱ روز نشان داد که مقدار کل جابجایی ۱۸۷۶ (ماهانه ۱۱۰) میلی‌متر بود.

روش‌شناسی پژوهش

محدوده مورد مطالعه

رودخانه سقز از سرشاخه‌های مهم و اصلی حوضه آبی دریاچه ارومیه و زرینه رود می‌باشد که از کوهستان‌های مابین شهرستان‌های سقز و بانه سرچشمه می‌گیرد. بر روی رودخانه سقز سد سنگریزه‌ای با هسته رسی چراغ ویس تأسیس شده است. ۸۶ میلیون مترمکعب حجم نرمال سد فوق الذکر است. ۵/۶۷ متر و ۲۷۴ متر به ترتیب ارتفاع و طول تاج آن است. این سد تا شهرستان سقز حدود ۱۷ کیلومتر فاصله دارد. از آنجائیکه روستای چراغ ویس نزدیکترین روستا به سد است نام سد از آن گرفته شده است. لازم به ذکر است که مساحت منطقه مورد مطالعه حدود ۸۵ کیلو متر مربع می‌باشد. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



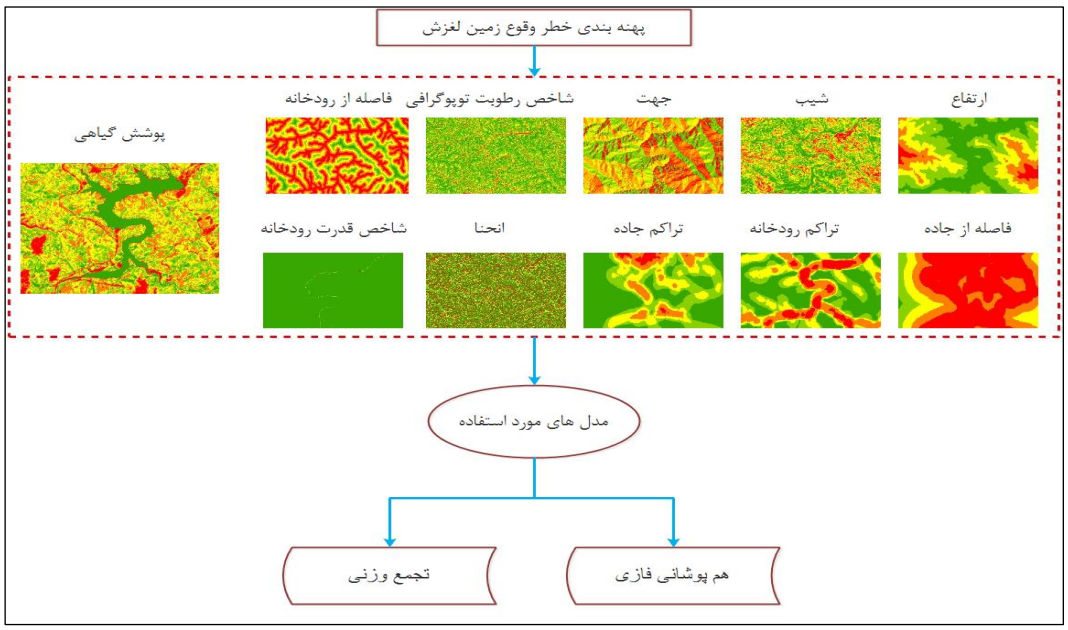
شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

منبع: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کردستان، ۱۴۰۰

روش تحقیق

اولین گام در مطالعات زمین لغزش شناسایی مکان‌های تاریخی زمین لغزش و شناسایی عوامل تأثیرگذار بر آن است (رمضانی گورابی و ابراهیمی، ۱۳۸۸). این پژوهش صرفاً به موضوع پهنه‌بندی مناطق حساس به زمین لغزش می‌پردازد. در پژوهش حاضر ۱۱ عامل مؤثر در زمین لغزش بر اساس پیشینه تحقیق، دانش تخصصی و ویژگی‌های فیزیکی منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. همچنین دو مدل هم پوشانی فازی و

تجمع وزنی برای تولید نقشه حساسیت زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲). مدل رقومی ارتفاعی[1] در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تولید ۱۱ فاکتور مورد استفاده قرار گرفت. فاکتورها بعد از طبقه‌بندی مجدد[2] جهت تولید نقشه حساسیت‌پذیری استفاده شدند.



شکل ۲. روش‌شناسی پژوهش

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

لازم به ذکر است که قدرت تفکیک مکانی ۱۱ عامل انتخاب شده ۳۰ متر می‌باشد که جهت تولید نقشه حساسیت‌پذیری زمین لغزش منطقه مورد مطالعه مناسب است. از آنجائیکه مدل ارتفاع رقومی[3] که عمده لایه‌ها از آن استخراج گردید ۳۰ متری بود لذا مشتقات آن هم طبیعتا با همان تفکیک مکانی خواهند بود. همچنین جهت تولید نقشه پوشش گیاهی تصویر ماهوارهای لندست مورد استفاده قرار گرفت که باندهای چند طیفی آن هم ۳۰ متری می‌باشد. لازم به ذکر است که لایه جاده‌ها هم از گوگل ارث با دقت بسیار زیاد استخراج شد و نقشه‌های فاصله از جاده و تراکم جاده تولید شده از آن جهت تولید نقشه نهایی مناسب به تفکیک مکانی ۳۰ متر ریسمپل[4] شدند. جدول ۱ عوامل انتخاب شده مؤثر در زمین لغزش در این مطالعه را به همراه با منابع و مقیاس آن‌ها مورد بررسی قرار داده است.

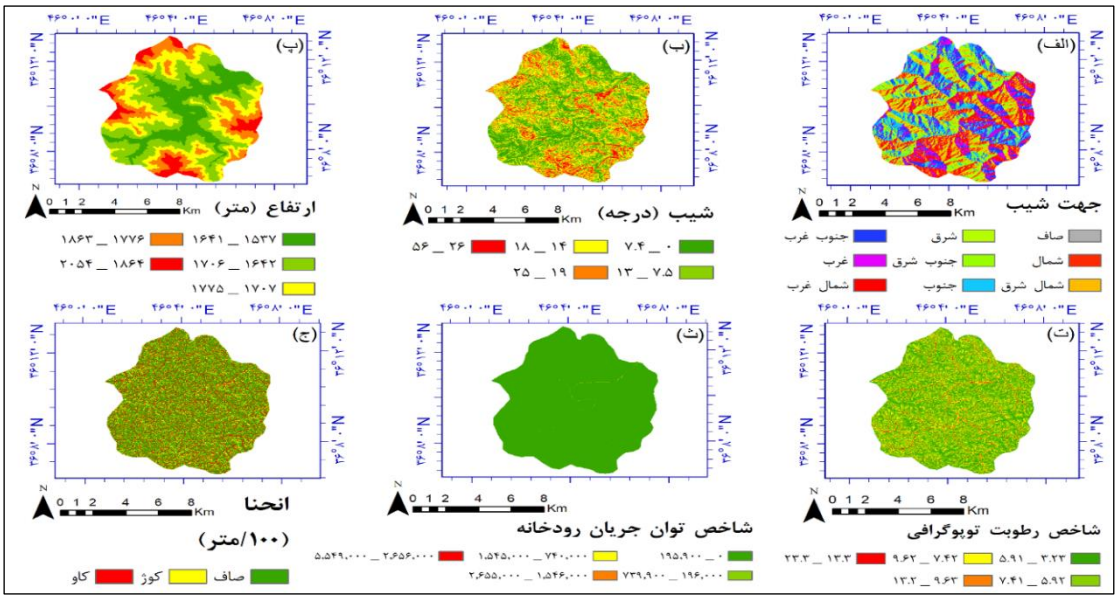
جدول ۱. فاکتورهای مؤثر در رخداد زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه، مقیاس و منابع آن‌ها

لایه	منبع	مقیاس (متر)
شیب	مدل رقومی ارتفاع SRTM	۳۰*۳۰
جهت شیب	مدل رقومی ارتفاع SRTM	۳۰*۳۰
ارتفاع	مدل رقومی ارتفاع SRTM	۳۰*۳۰
انحنا	مدل رقومی ارتفاع SRTM	۳۰*۳۰
شاخص توان جریان رودخانه	مدل رقومی ارتفاع SRTM	۳۰*۳۰
شاخص رطوبت توپوگرافیکی	مدل رقومی ارتفاع SRTM	۳۰*۳۰
پوشش گیاهی	تصویر ماهواره‌ای لندست ۸	۳۰*۳۰
فاصله از رودخانه	مدل رقومی ارتفاع SRTM	۳۰*۳۰
تراکم رودخانه	مدل رقومی ارتفاع SRTM	۳۰*۳۰
فاصله از جاده	گوگل ارث	۳۰*۳۰
تراکم جاده	گوگل ارث	۳۰*۳۰

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

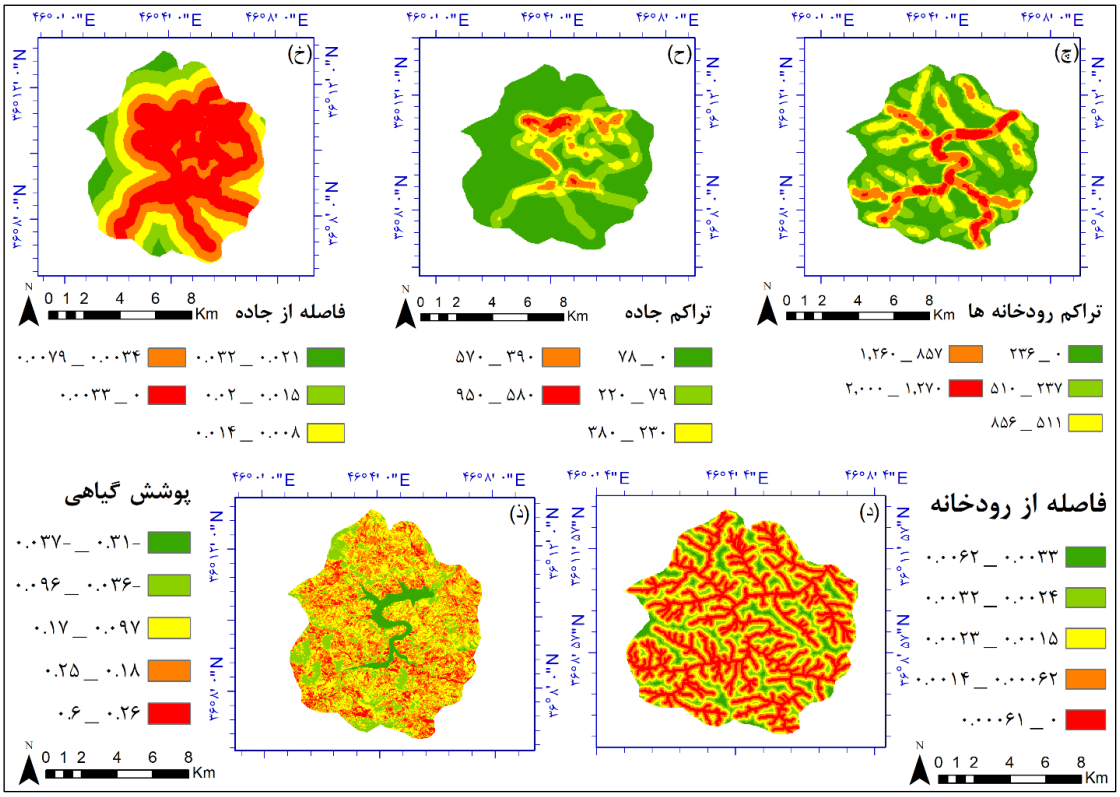
1. Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)
2 . Reclassification
3 . Digital Elevation Model (DEM)
4 . Resample

لایه‌های استخراج شده از DEM در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) شامل جهت شیب، شیب، ارتفاع، شاخص رطوبت توپوگرافیکی، شاخص توان جریان رودخانه و انحنا (شکل ۳ الف؛ ۳ ب؛ ۳ پ؛ ۳ ت؛ ۳ ث؛ ۳ ج) است. همچنین تراکم رودخانه، تراکم جاده، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و پوشش گیاهی (شکل ۴ چ؛ ۴ ح؛ ۴ خ؛ ۴ د؛ ۴ ذ) در سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت تولید نقشه نهایی استخراج گردید.



شکل ۳. جهت شیب الف؛ شیب ب؛ ارتفاع پ؛ شاخص رطوبت توپوگرافیکی ت؛ شاخص توان جریان رودخانه ث و انحنا ج

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳



شکل ٤. تراکم رودخانه چ؛ تراکم جاده ح؛ فاصله از جاده خ؛ فاصله از رودخانه د و پوشش گیاهی ذ

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

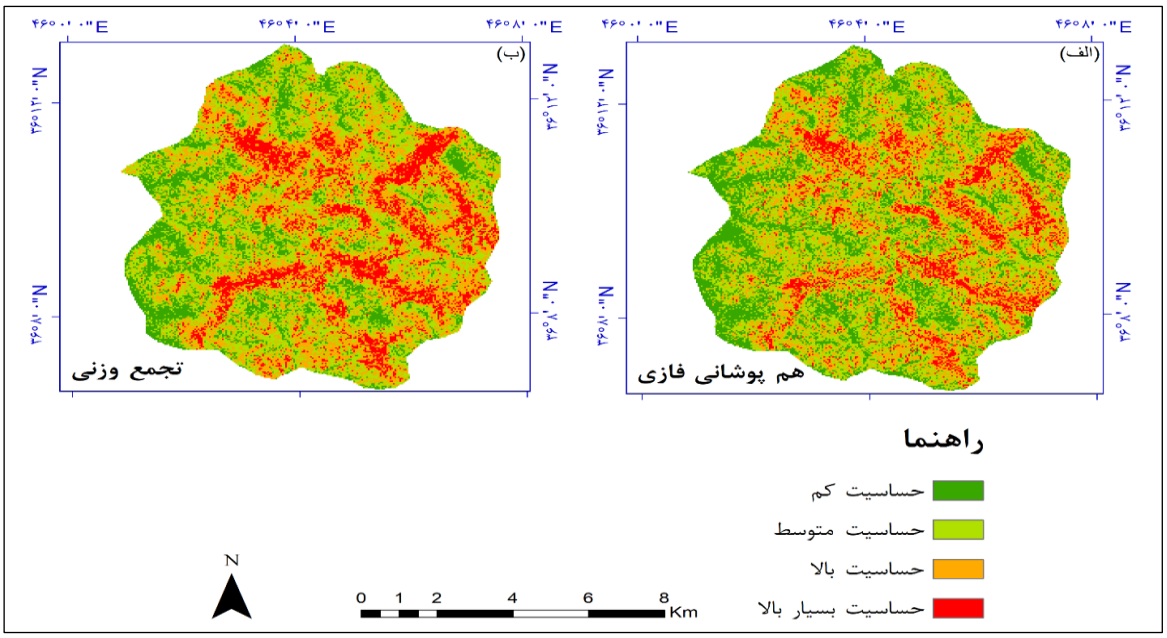
مدل‌های مورد استفاده

الف) مدل همپوشانی فازی: معمولاً در مکان‌یابی پارامترهای موجود تا حد قابل ملاحظه‌ای ماهیت فازی دارند. فاصله مناسب از برخی عوارض موجود مثال روشنی از این موضوع می‌باشد. در این حالت هر پیکسل بعنوان بخشی از مدلسازی و با در نظر گرفتن فاصله‌ای که از هر عارضه دارد، یک درجه متفاوت به خود اختصاص خواهد داد. این نوع مدلسازی‌ها بستگی زیادی به نحوه اثرگذاری فاکتورها بر یکدیگر دارند. این مدل در یک موقعیت مشخص، حداقل درجه عضویت پیکسل‌ها را برای تولید نقشه نهایی در نظر می‌گیرد که این خود منجر به نتیجه محافظه کارانه می‌شود چراکه از اوزان بالای پیکسل‌ها تا حدودی چشم پوشی می‌کند.

ب) مدل تجمع وزنی: در این مدل، حداکثر ضرایب پیکسل‌ها، بعنوان مقادیر نهایی در لایه‌ها جهت تولید نقشه نهایی تجمیع خواهد شد. در نتیجه بدلیل صرفنظر کردن از اوزان پایین پیکسل‌ها، یک خروجی قابل قبولی بدست می‌آید.

یافته‌ها و بحث

همان طور که از نقشه‌ها مشخص است یافته‌های مطالعه نشان می‌دهد که هر دو مدل بسیار نزدیک به هم عمل کردند به این معنی که در تشخیص مناطق حساسیت بسیار بالا تا کم تا حد قابل توجهی شباهت دارند. در هر دو مدل بیش از نیمی از مساحت منطقه مورد مطالعه مستعد زمین لغزش است (شکل ۵) و این نشگر اینست که باید افراد مسئول بیش از پیش به بحث خطر وقوع زمین لغزش در منطقه توجه کنند و نواحی مستعد را با طرق مختلف نسبت به مخاطره زمین لغزش ایمن کنند چراکه به دلیل احداث سد، منطقه مورد مطالعه بسیار مورد توجه گردشگران و کشاورزان است. با فراهم شدن شرایط، در مناطق قرمز رنگ احتمال اینکه در آینده دور یا نزدیک زمین لغزش رخ بدهد بسیار بالا است. مناطق سبز رنگ نسبت به مناطق دیگر در ارتباط با پدیده زمین لغزش ایمن‌تر می‌باشند.



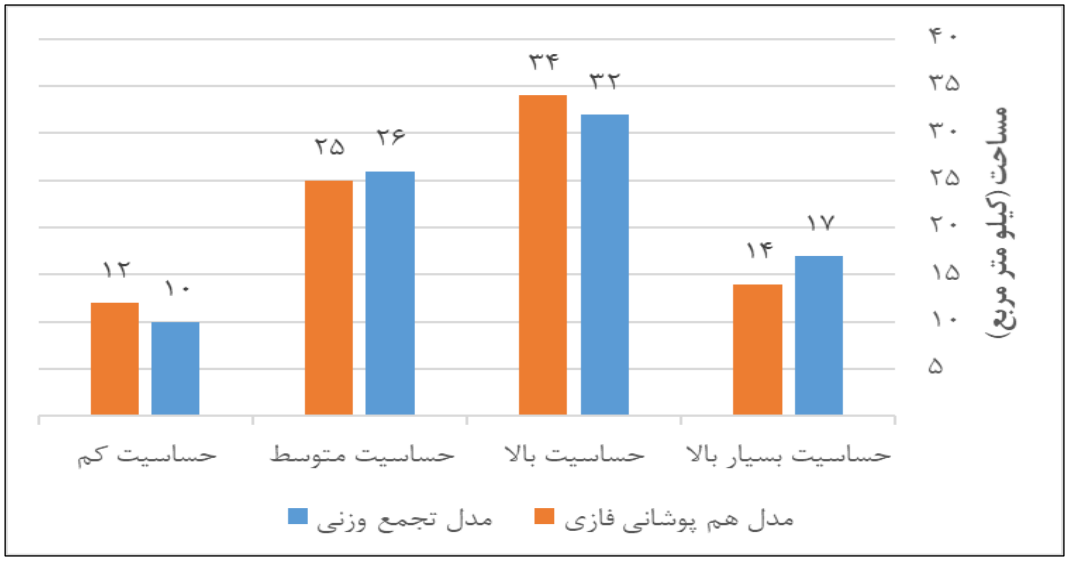
شکل ۵. الف؛ مدل هم پوشانی فازی و ب؛ مدل تجمع وزنی

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

شکل ۶ به صورت کمی مناطق ۴گانه حساسیت کم تا حساسیت بسیار بالا را در هر دو مدل برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در مدل تجمع وزنی حدود ۱۰ کیلومتر مربع از منطقه در گروه حساسیت کم قرار دارد و این در حالی است که ۱۷ کیلومتر مربع از منطقه در خطر بسیار بالا قرار دارد. ۲۶ کیلومتر مربع از اراضی اطراف سد چراغ ویس در گروه حساسیت متوسط جای گرفته است. و نهایتاً بخش اعظم و قابل توجهی از منطقه که ۳۲ کیلومتر مربع است به گروه حساسیت بالا تعلق دارد. نتایج کمی نشان می‌دهد که منطقه، بسیار مستعد زمین لغزش است و باید مورد توجه مسئولین قرار گیرد تا در صورت امکان از هر گونه خطر مالی و جانی جلوگیری شود.

مدل هم پوشانی وزنی هم تا حدودی همین روند را با کمی تغییرات پیش‌بینی کرده است. در این مدل به مناطق با حساسیت کم حدود ۲ کیلومتر مربع اضافه گشته است. ۲۵ کیلومتر مربع از منطقه در گروه حساسیت متوسط قرار دارد. این در حالی است که ۳۴ کیلومتر مربع از

اراضی اطراف سد با خطر بالای وقوع زمین لغزش همراه است. در مدل هم پوشانی فازی ۳ کیلومتر مربع از اراضی، کمتر از مدل تجمع وزنی در معرض خطر بسیار بالای وقوع زمین لغزش قرار گرفته است.



شکل ٦. نمودار بررسی کمی مناطق خطر

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

نتایج و بازدیدهای میدانی نشان داد که عوامل انسانی مثل جاده‌سازی‌های بسیار جهت کشاورزی و گردشگری، تغییر کاربری ارضی از مرتع به کشاورزی و همچنین احداث سد از مهمترین عوامل مؤثر در زمین لغرش منطقه مورد مطالعه می‌باشند.

نتیجه‌گیری

زمین لغزش اگر در مناطق مسکونی، گردشگری و کشاورزی رخ دهد باعث ویرانی بسیار می‌گردد چنانچه مناطق پر خطر شناسایی نشوند و در صورت فراهم بودن شرایط، خسارات بسیار جبران ناپذیر مالی و جانی در پی خواهد داشت. نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به سازمان‌ها و مسئولین این امکان را می‌دهد تا هدفمند نواحی پرخطر را رصد کنند و در صورت نیاز با اقدامات پیشگیرانه از وقوع حوادث جلوگیری کنند. زمین لغزش در دنیا سالانه میلیون‌ها دلار خسارات مالی در پی دارد و همچنین باعث کشته و زخمی شدن افراد زیادی می‌شود. این مخاطره در کشور ما هم خسارات مالی و جانی زیادی به دنبال دارد.

در مطالعه حاضر با بهره‌گیری از موقعیت منطقه و مطالعات پیشین ۱۱ عامل مؤثر در رخداد زمین لغزش گردآوری شد و با استفاده از ۲ مدل هم پوشانی فازی و تجمع وزنی منطقه مورد مطالعه به لحاظ رخداد زمین لغزش پهنه‌بندی گردید و نواحی مستعد شناسایی و به ۴ گروه حساسیت کم تا بسیار بالا دسته‌بندی شدند. نتایج نشان داد که بیش از نیمی از منطقه مورد مطالعه در معرض خطر زمین لغزش قرار دارد. این مطالعه می‌تواند به مسئولین کمک کند تا نسبت به ایمن‌سازی مناطق مستعد زمین لغزش اقدام کنند و از خسارات احتمالی پیشگیری کنند. از محدودیت‌های پژوهش حاضر عدم دسترسی به سمت بخش‌های جنوبی سد بود که آن هم به دلیل زیر آب رفتن پل‌های ارتباطی بعد از آبگیری سد بود که این محدودیت با توجه به نیاز مردمان منطقه امید است به زودی مرتفع گردد. برای پژوهش‌های آتی می‌توان با استفاده از مدل‌های InSAR و یا DInSAR اقدام به شناسایی زمین لغزش‌ها کرد و جهت مدل‌سازی بهتر و دقیقتر در پژوهش‌ها استفاده نمود.

حامی مالی

بدینوسیله از حمایت مالی دانشگاه کردستان (به شماره قرارداد ۰۲/۱۲/۲۱۱۱۸/ص) در انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارم.

سهم نویسندگان در پژوهش

این پژوهش به طور کامل توسط نگارنده انجام گرفته است.

تضاد منافع

نویسنده اعلام می‌دارد که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارد.

تقدیر و تشکر

نویسنده از اهالی روستاهای میرده و چراغ ویس به دلیل همکاری در جمع‌آوری داده‌های میدانی برای نگارش این مقاله، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماید.

منابع

۱. الفتی، سعید؛ صفرپور، فرشاد و محمودآبادی، مهدی (۱۳۹۱). زمین لغزش و انواع روش‌های مطالعه. *رشد آموزش جغرافیا*، ۲۶(۴)، ۳۱-۳۸. https://www.roshdmag.ir/fa/article/5672/

۲. براتی، زهرا؛ امیدوار، ابراهیم و شیرزادی، عطاالله (۱۳۹۷). پیش‌بینی مکانی زمین لغزش‌های سطحی با استفاده از مدل‌های آماری و یادگیری ماشین (مطالعه‌ی موردی: حوضه سرخون). *مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)*، ۷۱(۴)، ۸۶۹-۸۸۴. https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.268247.1314

۳. جویباری، جمشید؛ کاویان، عطاالله و مصطفایی، جمال (۱۳۹۶). تأثیر کاربری زمین بر زمین لغزش در منطقه‌ی توان, قزوین. *پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)*، ۳۰(۱۱۶)، ۲۹-۳۹. https://doi.org/10.22092/wmej. 2017.116713

۴. حجازی، سیداسداله (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه گویجه بل اهر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۸(۵۰)، ۱۳۵-۱۵۲. https://geoplanning. tabrizu.ac.ir/article_3127. html

۵. حیدری، ناصر؛ حبیب نژاد، محمود؛ کاویان، عطاالله و پورقاسمی، حمیدرضا (۱۳۹۹). مدل‌سازی حساسیت زمین لغزش با الگوریتم یادگیری ماشین جنگل تصادفی در آبخیز سد رئیسعلی دلواری. *پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)*، ۳۳(۱۲۶)، ۲-۱۳. https://doi.org/10.22092/wmej. 2019.126288.1219

۶. رضایی مقدم، محمدحسین؛ نیک جو، محمدرضا؛ ولی‌زاده کامران، خلیل؛ بلواسی، ایمانعلی و بلواسی، مهدی (۱۳۹۶). کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۱(۵۹)، ۸۹-۱۱۱. https://geoplanning. tabrizu.ac.ir/article_6126. html

۷. رمضانی گورابی، بهمن و ابراهیمی، هدی (۱۳۸۸). زمین لغزش و راهکارهای تثبیت آن. *آمایش محیط*، ۲(۷)، ۱۲۹-۱۳۹. https://www.sid.ir/paper/130428/fa

۸. روستایی، شهرام؛ حجازی، اسداله؛ رجبی، معصومه؛ جلالی، نادر و نجفی ایگدیر، احمد (۱۳۹۷). کاربرد منطق فازی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز نازلوچای. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۶(۴)، ۱۰۳-۱۱۹. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22519424.1397.6.4.7.4

۹. روستایی، شهرام؛ مختاری کشکی، داوود و اشرفی فینی، زهرا (۱۳۹۹). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز طالقان با استفاده از شاخص آنتروپی شانون. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۴(۷۱)، ۱۲۵-۱۵۰. https://geoplanning. tabrizu.ac.ir/article_10631. html

۱۰. سوری، سلمان؛ لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد و فرهادی نژاد، طاهر (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی؛ مطالعه موردی: حوضه کشوری (نوژیان). *زمین‌شناسی مهندسی*، ۵(۲)، ۱۲۶۹-۱۲۸۶. http://dorl.net/dor/20.1001.1.22286837.1390.5.2.5.2

۱۱. شیرانی، کوروش و خوش باطن، محبوبه (۱۳۹۵). بررسی و پایش زمین لغزش فعال با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (مطالعه موردی: زمین لغزش نقل, سمیرم). *کواترنری ایران*، ۲(۱)، ۵۳-۶۶. https://doi.org/10.22034/irqua. 2016.701900

۱۲. کاردان، رحمت اله و یادگارزایی، محمدحسن (۱۳۸۶). زمین لغزش در استان سیستان و بلوچستان (مطالعه موردی زمین لغزش نرون شهرستان خاش). *همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط زیست*. https://civilica.com/doc/34478

۱۳. کرد، فاطمه، و عزیزپور، فرهاد (۱۳۸۴). کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش. *همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی*. https://civilica.com/doc/3648

۱۴. کرمی، فریبا؛ بیاتی خطیبی، مریم؛ خیری‌زاده، منصور و مختاری اصل، ابوالفضل (۱۳۹۸). ارزیابی کارایی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش حوضه آبریز اهرچای. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۸(۳۲)، ۱-۱۷. https://doi.org/10.22067/geo. v8i4.83263

۱۵. محمدی، مجید و نور، حمزه (۱۳۹۸). پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش ترکیبی جدید در محیط GIS. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۱(۹۱)، ۱۳۵-۱۴۶. https://doi.org/10.22034/jest. 2019.28413.3721

۱۶. محمدی، مهدی و توکلی، حسین (۱۳۸۷). تعیین هندسه قبل از لغزش در زمین لغزش‌ها با نگرشی به زمین لغزش محمدآباد جیرفت. *مهندسی عمران شریف (شریف ویژه مهندسی عمران)*، ۲۴(۴۴)، ۵۹-۶۲. https://sjce.journals.sharif.edu/article_20240.html

۱۷. مقتدر، عطیه (۱۳۸۸). *پهنه‌بندی خطر زمین لغزش استان لرستان با استفاده از منطق فازی*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

۱۸. مقصودلو، رضا (۱۳۸۶). زمین لغزش‌های گرگان و راه‌های مقابله با آن (مطالعه موردی زمین لغزش کوی محتشم گرگان). *همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط زیست*. https://civilica.com/doc/34486

۱۹. نوجوان، محمدرضا (۱۳۹۵). بررسی مورفومتری و پایش زمین لغزش به کمک سنجش از دور (مطالعه موردی زمین لغزش هاردنگ، غرب استان اصفهان). *جغرافیای طبیعی*، ۹(۳۳)، ۹۵-۱۰۷. https://sanad. iau.ir/Journal/jopg/Article/983105

۲۰. ویس کرمی، علی و نوفرستی، حسین (۱۴۰۱). تحلیل و بررسی زمین لغزش پاهلت. *مدیریت بحران*، ۱۱(۲۱)، ۱۷-۲۷. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23453915.1401.11.1.1.8

21. Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M., & Galli, M. (2006). Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 81(1-2), 166-184. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X06001371
22. Zhang, W., He, Y., Wang, L., Liu, S., & Meng, X. (2023). Landslide Susceptibility mapping using random forest and extreme gradient boosting: A case study of Fengjie, *Chongqing. Geological Journal*, 58(6), 2372-2387.https://onlinelibrary. wiley.com/doi/abs/10.1002/gj. 4683
23. Azarafza, M., Azarafza, M., Akgün, H., Atkinson, P. M., & Derakhshani, R. (2021). Deep learning-based landslide susceptibility mapping. *Scientific reports*, 11(1), 24112. https://www.nature.com/articles/s41598-021-03585-1
24. Shahabi, H., & Hashim, M. (2015). Landslide susceptibility mapping using GIS-based statistical models and Remote sensing data in tropical environment. *Scientific reports*, 5(1), 9899. https://www.nature.com/articles/srep09899