

Leveraging Artificial Intelligence for Environmental Hazard Management in Mountainous Ecosystems

Maesomeh Asadi¹ , Maryam Shayestefar² , Hamid Ganjaeian^{3*} 

1. Soil and Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.
Email: asadi_zhina@yahoo.com
2. Department of Mathematics, Faculty of Mathematics, Statistics and Computer Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.
Email: shayestefar_maryam@yahoo.com
3. Department of Geomorphology, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran (Corresponding author).
Email: h.ganjaeian@ut.ac.ir

Article Info

Article Type: Research Article

Article History:

Received: 16 August 2025
Revised: 14 October 2025
Accepted: 06 December 2025
Published: 29 March 2026

Use Your Device to Scan and Read the Article Online



Keywords: *Environmental Management, Environmental Risks, Mountainous Territories.*

ABSTRACT

The use of Artificial Intelligence (AI) in managing natural and human hazards in mountainous areas has the potential to reduce damage and enhance resilience. This study, through a review of library-based studies and practical examples, analyzes the application of AI in managing earthquake hazards, slope movements, floods, forest fires, vegetation degradation, and urban development. The general information in this research is based on library studies, but in the practical examples section, satellite images from MODIS, Sentinel-1, and Landsat were used. The main tools used in this study were GMT, TerrSet, Google Earth Engine, and ArcGIS. In order to examine the effects of artificial intelligence on environmental hazard management in mountainous areas, the study investigates the importance of using this technology in addressing earthquake hazards, landslides, floods, vegetation degradation, fires, physical urban development, and water resource pollution. The results of this study have shown that for natural hazards, artificial intelligence, by integrating multi-source data, has been able to provide more accurate predictions compared to traditional methods. This higher accuracy not only increases response time but also enables preventive planning and reduces human and financial losses. For example, flood prediction with LSTM models and early warning of landslides using CNN are practical examples of these capabilities. In the field of human hazards, AI acts as an advanced analytical tool and early warning system. These include continuous monitoring of vegetation changes with the NDVI index, rapid detection of fires with convolutional neural networks, and modeling of pollutant pathways in aquifers, demonstrating the high capabilities of this technology in protecting sensitive mountain ecosystems. Based on the obtained results, this technology, with its capability to process vast amounts of data and identify complex patterns, can serve as an efficient and innovative tool for predicting, monitoring, and mitigating the impacts of these hazards.

Cite this article: Asadi, M., Shayestefar, M., & Ganjaeian, H. (2026). **Leveraging Artificial Intelligence for Environmental Hazard Management in Mountainous Ecosystems.** *Environmental Research in Mountainous Regions*, 2(1), 15-31. <https://doi.org/10.22034/ermr.2025.144309.1032>



© The Author(s) retain the copyright

Publisher: University of Kurdistan

Extended Abstract

Introduction

The mountainous regions of the country, particularly the Alborz and Zagros Mountain ranges, with their complex geological characteristics, steep slopes, diverse vegetation cover, and specific climatic conditions, are prone to incidents that not only cause considerable human and financial losses but also threaten the stability of sensitive ecosystems. Managing these hazards requires precise tools for prediction, monitoring, and decision-making that can analyze diverse environmental, climatic, and human data and provide practical solutions for risk reduction. In recent decades, significant advances in data processing technologies and machine learning algorithms have made artificial intelligence one of the most efficient tools for crisis management. With its ability to process massive volumes of data in short timeframes, extract complex patterns, and predict nonlinear phenomena, artificial intelligence can play an effective role in various stages of risk management from prevention and forecasting to response and recovery in mountainous areas. The input data for these systems may include remote sensing information, ground-based sensor data, hydrological models, meteorological data, and even social and economic data. The application of artificial intelligence in managing natural and human hazards in mountainous areas covers a wide range. Despite these advantages, the full utilization of AI's potential in managing hazards in Iran's mountainous regions requires overcoming challenges such as the absence of integrated data infrastructure, limited access to high-quality data, the need for localized algorithms, and the shortage of skilled human resources. Therefore, the present study aims to review and analyze the role of artificial intelligence in managing various natural and human hazards in the country's mountainous areas, and by identifying capacities, limitations, and successful examples, offer practical solutions to enhance the resilience of these regions.

Methodology

This study was designed to develop and evaluate an artificial intelligence framework for predicting and managing natural hazards in

mountainous regions. The general information in this research was based on library studies; however, in the practical examples section, satellite images from MODIS, Sentinel-1, and Landsat were used. The main tools employed in this research included GMT (for preparing maps of ground surface changes), TerrSet (for preparing maps of settlement areas and predicting their physical development trends), Google Earth Engine (for preparing maps of flooded areas and vegetation cover), and ArcGIS (for preparing output maps). In this study, to examine the impacts of artificial intelligence in managing environmental hazards in mountainous regions, the importance of using this technology was investigated in relation to earthquake hazards, landslides, floods, vegetation degradation, wildfires, urban physical development, and water resource pollution. It should be noted that for the topics of earthquakes, floods, vegetation degradation, and urban physical development, practical examples were provided.

Results and Discussion

The conducted investigations showed that Artificial Intelligence (AI) can play a key role in managing a wide range of natural and human-induced hazards in Iran's mountainous regions. In the field of earthquakes, the use of deep neural networks and reinforcement learning algorithms, combined with seismological data, GPS, radar imagery (InSAR), and hydrogeochemical data, enables the identification of earthquake precursors and the assessment of crustal stress. For landslides, algorithms such as Random Forest and Convolutional Neural Networks, utilizing spatial and environmental data, generate susceptibility maps and short-term warnings. Regarding floods, LSTM models and satellite rainfall data (GPM and TRMM), along with IoT sensors, provide early prediction and warning capabilities. In managing human-induced hazards, machine learning algorithms and computer vision are effectively used to monitor vegetation cover changes (NDVI), predict wildfires, model water pollution pathways, and analyze urban development. However, challenges such as the lack of integrated data infrastructure, insufficient high-quality data, the need for localized algorithms, and a shortage of specialized personnel are major obstacles to fully leveraging AI capabilities.

Conclusion

The results of this study indicate that integrating AI into the management of natural and human-induced hazards can significantly enhance resilience, reduce damages, and improve decision-making in Iran's mountainous regions. AI-based approaches, capable of simultaneously analyzing multi-source data, identifying complex patterns, and providing accurate predictions, can fill the gaps in traditional methods. Despite these advantages, realizing the full potential of AI requires overcoming existing barriers. First, establishing a national integrated database, including seismological, meteorological, remote sensing, and spatial information with open access for researchers, is essential. Second, developing

localized algorithms compatible with Iran's specific geological and climatic conditions should be prioritized. Third, investment in training and educating specialized personnel in AI, remote sensing, and GIS can address skill shortages. Additionally, inter-organizational collaboration among research centers, disaster management agencies, universities, and the private sector should be strengthened to use existing capacities in a coordinated manner. Implementing pilot projects in high-risk areas to practically evaluate AI models and deploy real-time data-based early warning systems is also recommended. Finally, the expansion of AI use should align with sustainable development approaches, considering environmental and social aspects, to reduce risks while protecting sensitive mountain ecosystems.

Ethical Considerations

Funding

According to the corresponding author, this research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Author Contributions

First Author: Development of the theoretical framework and scientific supervision of the research process.

Second Author: Data collection and initial drafting of the manuscript.

Third Author: Analysis of findings, scientific editing, and final manuscript revision.

Declaration of Generative AI and AI-assisted technologies in the writing process

The authors declare that no artificial intelligence (AI) tools were used in the writing of this manuscript.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Data Availability Statement

The data are available upon request from the authors.

Acknowledgments

The authors wish to express their sincere gratitude to all individuals, organizations, and institutions that contributed to the preparation of this article.



استفاده از هوش مصنوعی برای مدیریت مخاطرات زیست‌محیطی در اکوسیستم‌های کوهستانی

معصومه اسدی^۱، مریم شایسته‌فر^۲، حمید گنجائیان^{۳*}

۱. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: asadi_zhina@yahoo.com

۲. گروه ریاضی، دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: shayestefar_maryam@yahoo.com

۳. گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). رایانامه: h.ganjaian@ut.ac.ir

چکیده

استفاده از هوش مصنوعی (AI) در مدیریت مخاطرات طبیعی و انسانی مناطق کوهستانی، ظرفیت بالقوه‌ای برای کاهش خسارات و ارتقای تاب‌آوری این مناطق فراهم می‌کند. این پژوهش با مرور مطالعات کتابخانه‌ای و ارائه نمونه‌های عملی، به تحلیل کاربرد AI در مدیریت مخاطراتی همچون زمین‌لرزه، حرکات دامنه‌ای، سیلاب، آتش‌سوزی جنگل‌ها، تخریب پوشش گیاهی و توسعه شهری پرداخته است. داده‌های کلی پژوهش بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای گردآوری شده، اما در بخش نمونه‌های عملی از تصاویر ماهواره‌ای MODIS، Sentinel-1 و Landsat بهره گرفته شده است. مهم‌ترین ابزارهای تحلیلی مورد استفاده در این پژوهش شامل ArcGIS، GMT، TerrSet، سامانه گوگل ارث انجین و ArcGIS بوده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که ادغام داده‌های چندمنبعی با مدل‌های هوش مصنوعی توانسته است پیش‌بینی‌هایی دقیق‌تر و سریع‌تر نسبت به روش‌های سنتی ارائه دهد. این قابلیت نه تنها موجب افزایش زمان واکنش و امکان صدور هشدارهای زودهنگام شده، بلکه زمینه‌ساز برنامه‌ریزی پیشگیرانه و کاهش خسارات جانی و مالی نیز شده است. برای نمونه، پیش‌بینی سیلاب با مدل‌های LSTM و هشدار زودهنگام زمین‌لغزش با استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) نمونه‌هایی از این توانمندی‌ها هستند. در حوزه مخاطرات انسانی نیز هوش مصنوعی به عنوان یک سامانه هشدار سریع و ابزار تحلیلی پیشرفته عمل کرده است؛ از جمله پایش تغییرات پوشش گیاهی با شاخص NDVI، شناسایی سریع آتش‌سوزی‌ها با CNN و مدل‌سازی مسیر آلاینده‌ها در آبخوان‌ها، قابلیت‌های این فناوری در حفاظت از اکوسیستم‌های حساس کوهستانی را به خوبی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این پژوهش، هوش مصنوعی با قدرت پردازش داده‌های عظیم و شناسایی الگوهای پیچیده، می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد و نوآورانه برای پیش‌بینی، پایش و کاهش اثرات مخاطرات طبیعی و انسانی در مناطق کوهستانی به کار گرفته شود.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۵

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۵

انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۹

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



واژه‌های کلیدی: مدیریت

محیطی، مخاطرات

زیست‌محیطی، قلمروهای

کوهستانی.

استناد: اسدی، معصومه؛ شایسته‌فر، مریم و گنجائیان، حمید. (۱۴۰۵). استفاده از هوش مصنوعی برای مدیریت مخاطرات زیست‌محیطی در

اکوسیستم‌های کوهستانی. پژوهش‌های محیطی در قلمروهای کوهستانی، ۲ (۱)، ۱۵-۳۱. <https://doi.org/10.22034/ermr.2025.144309.1032>



مقدمه

ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه و قرارگیری در کمربند کوهستانی آلپ - هیمالیا، در معرض انواع مخاطرات طبیعی از جمله زمین‌لرزه و حرکات دامنه‌ای قرار دارد (گورابی و امامی، ۱۳۹۶). همچنین وضعیت فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز ایران و وضعیت هیدرواقليمی آن سبب شده است تا بخش زیادی از آن در معرض مخاطره سیلاب باشد (کاظمی و پرهمت، ۱۴۰۰؛ ابدالی و همکاران، ۱۴۰۳). علاوه بر مخاطرات طبیعی، ایران در معرض مخاطرات انسانی همچون آتش‌سوزی جنگل‌ها، تخریب پوشش گیاهی، آلودگی منابع آب و توسعه بی‌رویه ساخت‌وساز قرار دارد (حیدری‌فر و همکاران، ۱۳۹۹؛ نصرتی و همکاران، ۱۴۰۱). مناطق کوهستانی کشور، به‌ویژه رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس، با ویژگی‌های زمین‌شناسی پیچیده، شیب‌های تند، پوشش گیاهی متنوع و شرایط اقلیمی خاص، مستعد بروز حوادثی هستند که نه تنها خسارات جانی و مالی قابل توجهی به بار می‌آورند، بلکه پایداری اکوسیستم‌های حساس را نیز تهدید می‌کنند (یعقوب‌نژاد اصل، ۱۴۰۲). مدیریت این مخاطرات نیازمند ابزارهای دقیق پیش‌بینی، پایش و تصمیم‌گیری است که بتوانند داده‌های متنوع محیطی، اقلیمی و انسانی را تحلیل کنند و راهکارهای عملی برای کاهش ریسک ارائه دهند (علی‌نژاد امامقلی و همکاران، ۱۳۹۹؛ ابدالی و همکاران، ۱۴۰۲).

در دهه‌های اخیر، پیشرفت‌های چشم‌گیر در فناوری‌های پردازش داده و توسعه الگوریتم‌های یادگیری ماشین (بهفر^۱ و همکاران، ۲۰۲۵؛ آتش‌پنجه^۲ و همکاران، ۲۰۲۵) موجب شده است که هوش مصنوعی به یکی از کارآمدترین و نوآورانه‌ترین ابزارها در مدیریت بحران تبدیل شود (دورما^۳ و همکاران، ۲۰۲۳؛ طاهرنژاد و همکاران، ۲۰۲۴؛ گریوسکی^۴، ۲۰۲۵) و در حوزه‌های مختلف نظیر مکانیابی محل دفن زباله (الوادح^۵ و همکاران، ۲۰۲۴؛ کوهانسواران^۶ و همکاران، ۲۰۲۵)، انتخاب و ادغام سایت‌های انرژی آبی (چونگ^۷ و همکاران، ۲۰۲۲)، هتلداری و مهمانوازی (جانب^۸ و همکاران، ۲۰۲۲؛ کنانی^۹ و همکاران، ۲۰۲۲)، مکانیابی اکوکمپ گردشگری روستایی (جمینی و همکاران، ۱۴۰۵)، ژئوتوریسم (شهابی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۶)، مخاطرات محیطی (جوان و همکاران، ۱۴۰۵) به‌صورت فزاینده‌ای مورد استفاده محققان و سازمان و ادارات مختلف قرار گیرد. قابلیت‌های هوش مصنوعی در پردازش سریع و دقیق حجم عظیمی از داده‌ها (آتش‌پنجه و همکاران، ۲۰۲۲؛ دورما و همکاران، ۲۰۲۴)، شناسایی الگوهای پیچیده و پیش‌بینی پدیده‌های غیرخطی، فرصت‌های بی‌سابقه‌ای را برای ارتقای کارایی در تمامی مراحل مدیریت ریسک - از پیشگیری و پیش‌بینی تا واکنش و بازیابی به‌ویژه در مناطق کوهستانی فراهم کرده است. داده‌های ورودی این سامانه‌ها می‌تواند ترکیبی از اطلاعات سنجش‌ازدور، داده‌های حسگرهای زمینی، مدل‌های هیدرولوژیکی، داده‌های هواشناسی و حتی داده‌های اجتماعی و اقتصادی باشد (آلوتایی و نسيف^{۱۱}، ۲۰۲۴).

کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت مخاطرات طبیعی و انسانی در مناطق کوهستانی طیفی گسترده را در بر می‌گیرد. برای نمونه، در حوزه زمین‌لرزه، ادغام داده‌های لرزه‌نگاری GPS و تصاویر راداری با شبکه‌های عصبی عمیق می‌تواند در شناسایی پیش‌نشانگرهای لرزه‌ای و ارزیابی تنش‌های پوسته زمین بسیار مؤثر واقع شود (آسیم^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۸). در زمینه حرکات دامنه‌ای، مدل‌های یادگیری ماشینی نظیر Random Forest و شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) با بهره‌گیری از داده‌های مکانی و محیطی قادرند نقشه‌های حساسیت و هشدارهای کوتاه‌مدت تولید کنند (بستان^{۱۳}، ۲۰۲۴؛ حسین^{۱۴} و همکاران، ۲۰۲۵). همچنین، در پیش‌بینی سیلاب، الگوریتم‌های LSTM و ترکیب آن‌ها با داده‌های بارش ماهواره‌ای و اطلاعات حسگرهای اینترنت اشیا امکان صدور هشدارهای زود هنگام را فراهم می‌کنند (چپی^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۷).

از منظر مخاطرات انسانی نیز هوش مصنوعی در پایش و پیش‌بینی آتش‌سوزی‌های جنگلی، ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی با شاخص‌هایی مانند NDVI، مدل‌سازی مسیر آلودگی منابع آب زیرزمینی و تحلیل الگوهای توسعه شهری نقش برجسته‌ای ایفا می‌کند. چنین سامانه‌هایی نه تنها در مدیریت لحظه‌ای بحران مؤثرند، بلکه در تدوین سیاست‌های پیشگیرانه و طراحی برنامه‌های توسعه پایدار نیز اهمیت راهبردی دارند (آشا^{۱۶} و همکاران، ۲۰۲۲).

- 1 . Behfar
- 2 . Atashpanjeh
- 3 . Dumaru
- 4 . Grzybowski
- 5 . Al Awadh
- 6 . Kuhaneswaran
- 7 . Jong
- 8 . Jabeen
- 9 . Knani
- 10 . Shahbi
- 11 . Alotaibi & Nassif
- 12 . Asim
- 13 . Bostan
- 14 . Hussain
- 15 . Chapi
- 16 . Asha

با وجود تمامی مزایا و پیشرفت‌های فناوری، بهره‌گیری کامل از ظرفیت‌های هوش مصنوعی در مدیریت مخاطرات مناطق کوهستانی ایران همچنان با چالش‌های اساسی مواجه است. نبود زیرساخت داده‌ای یکپارچه و به‌روز، محدودیت در دسترسی به داده‌های باکیفیت و متنوع، فقدان الگوریتم‌های بومی‌سازی شده متناسب با ویژگی‌های اقلیمی و ژئومورفولوژیکی کشور، و کمبود نیروی انسانی متخصص در حوزه‌های میان‌رشته‌ای هوش مصنوعی، علوم زمین و مدیریت بحران از جمله موانع اصلی محسوب می‌شوند. این عوامل نه تنها فرآیند پیش‌بینی و هشدار زودهنگام را با عدم قطعیت مواجه می‌سازند، بلکه امکان توسعه سامانه‌های هوشمند تصمیم‌یار برای مدیریت کارآمد بحران را نیز محدود می‌کنند.

علاوه بر این، تغییرات اقلیمی، رشد جمعیت و گسترش سکونتگاه‌های انسانی در مناطق پرخطر کوهستانی، پیچیدگی و شدت این مخاطرات را در سال‌های اخیر افزایش داده است. در چنین شرایطی، نبود راهکارهای فناورانه و مبتنی بر داده می‌تواند خسارات انسانی، اقتصادی و زیست‌محیطی را به شدت تشدید کند. از این‌رو، نیاز به پژوهش‌هایی جامع که بتواند ضمن مرور تجربیات جهانی و ملی، ظرفیت‌ها و محدودیت‌های هوش مصنوعی در مدیریت این مخاطرات را به صورت نظام‌مند شناسایی کرده و راهکارهای عملی برای ارتقای تاب‌آوری مناطق کوهستانی ارائه دهند، بیش از پیش احساس می‌شود.

بر همین اساس، پژوهش حاضر با هدف تحلیل نقش هوش مصنوعی در مدیریت انواع مخاطرات طبیعی و انسانی در مناطق کوهستانی کشور، به دنبال ارائه تصویری جامع از وضعیت موجود، موانع پیش‌رو و فرصت‌های قابل استفاده است تا بتواند زمینه‌ساز تدوین راهبردهای علمی و سیاست‌های اجرایی مؤثر در این حوزه باشد.

مرور ادبیات و سوابق پژوهش

پژوهش‌های بین‌المللی و داخلی در دو دهه اخیر نشان داده‌اند که بهره‌گیری از فناوری‌های نوین به‌ویژه هوش مصنوعی (AI) در مدیریت مخاطرات طبیعی و انسانی، رویکردی کارآمد برای افزایش تاب‌آوری مناطق کوهستانی محسوب می‌شود. در ارتباط با مخاطره زمین‌لرزه، تحقیقات مختلفی در زمینه پیش‌بینی (باتیا^۱ و همکاران، ۲۰۲۳؛ پاوودی^۲ و همکاران، ۲۰۲۴) و ارزیابی تغییرات سطح زمین ناشی از وقوع زمین‌لرزه صورت گرفته است که بیانگر کاربرد و اهمیت بالای استفاده از هوش مصنوعی در این موضوعات است. در حوزه حرکات دامنه‌ای، مطالعات زیادی در ارتباط با شناسایی دامنه‌های حساس در برابر زمین‌لغزش، مناطق مواجه شده با زمین‌لغزش و محاسبه سطح زمین‌لغزش صورت گرفته است (سینگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۱؛ جیانگ^۴ و همکاران، ۲۰۲۲) که می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های محیطی داشته باشد. در ارتباط با مخاطره سیلاب، مطالعات زیادی در ارتباط با پیش‌بینی وقوع سیلاب (نگیا^۵ و همکاران، ۲۰۲۲؛ تانگ^۶ و همکاران، ۲۰۲۳) و شناسایی مناطق سیل‌زده (سای^۷ و همکاران، ۲۰۲۳؛ هالدر و باس^۸، ۲۰۲۴) صورت گرفته است که می‌تواند نقش مهمی در تسریع و افزایش دقت مطالعات در این زمینه داشته باشد.

در بخش مخاطرات انسانی نیز پایش تغییرات پوشش گیاهی و تغییرات کاربری اراضی از جمله موضوعاتی بوده است که با استفاده از هوش مصنوعی، بررسی شده است (لیو^۹ و همکاران، ۲۰۲۴؛ اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۴۰۴؛ صابری‌فر، ۱۴۰۴). همچنین تغییرات کاربری نواحی سکونتگاهی و توسعه فیزیکی شهرها و همچنین پیش‌بینی توسعه فیزیکی شهرها نیز از جمله موضوعات مورد بررسی بوده است (اسدی و همکاران، ۱۴۰۱؛ صداقتی و همکاران، ۱۴۰۱؛ گودرزی و ابراهیمی، ۱۴۰۲). علاوه بر تغییرات پوشش زمین، با استفاده از هوش مصنوعی، موضوعات دیگر از جمله آتش‌سوزی مناطق جنگلی (وو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۲؛ ذهاب‌ناظوری^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۵) و مدیریت آلودگی منابع آب زیرزمینی (منگ^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۴) مورد بررسی قرار گرفته شده است.

یافته‌های پیشین نشان می‌دهند که استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در مدیریت مخاطرات طبیعی طی دهه اخیر به‌طور چشم‌گیری گسترش یافته و مدل‌های پیشرفته‌ای همچون شبکه‌های عصبی عمیق، مدل‌های ترکیبی و رویکردهای مبتنی بر داده‌های چندمنبعه نتایج

1. Bhatia
2. Pwavodi
3. Singh
4. Jiang
5. Nghia
6. Tang
7. Sye
8. Halder & Bose
9. Liu
10. Wu
11. Zahabnazouri
12. Meng

قابل توجهی ارائه کرده‌اند. ادغام داده‌های سنجش‌ازدور با الگوریتم‌های یادگیری عمیق، امکان پایش دقیق‌تر تغییرات محیطی و پیش‌بینی سریع‌تر مخاطرات را فراهم کرده است. با این حال، اغلب مطالعات موجود دارای محدودیت‌هایی هستند:

۱. تمرکز بسیاری از آن‌ها بر یک نوع مخاطره منفرد بوده و مدیریت یکپارچه چندمخاطره‌ای کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.
 ۲. در اکثر موارد، الگوریتم‌ها برای شرایط اقلیمی و ژئومورفولوژیکی خاص ایران بومی‌سازی نشده‌اند و از مدل‌های جهانی بدون ارزیابی سازگاری محلی استفاده شده است.
 ۳. داده‌های اجتماعی - اقتصادی و اطلاعات زیرساختی به‌ندرت در کنار داده‌های سنجش‌ازدور و هیدرولوژیکی برای مدل‌سازی یکپارچه به‌کار رفته‌اند.
- بنابراین، شکاف پژوهشی اصلی در این حوزه، نیاز به توسعه مدل‌های ترکیبی و چندمنبعه بومی‌سازی شده است که بتوانند با استفاده از داده‌های متنوع، مدیریت هم‌زمان چند نوع مخاطره در مناطق کوهستانی را فراهم کنند و ابزارهای پیش‌بینی و هشدار دقیق‌تری در اختیار مدیران بحران قرار دهند.

روش‌شناسی پژوهش

روش تحقیق

این پژوهش به‌منظور توسعه و ارزیابی یک چارچوب هوش مصنوعی برای پیش‌بینی و مدیریت مخاطرات طبیعی در مناطق کوهستانی طراحی شده است. اطلاعات کلی این پژوهش بر مبنای مطالعات کتابخانه‌ای بوده است ولی در بخش مثال‌های عملی، از تصاویر ماهواره‌های MODIS، Sentinel-1 و Landsat استفاده شده است. مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در این پژوهش، GMT (به منظور تهیه نقشه تغییرات سطح زمین)، TerrSet (به تهیه نقشه نواحی سکونتگاهی و پیش‌بینی روند توسعه فیزیکی آن‌ها)، سامانه گوگل ارث انجین (به منظور تهیه نقشه مناطق سیل‌زده و پوشش گیاهی) و ArcGIS (به منظور تهیه نقشه‌های خروجی) بوده است. در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیرات هوش مصنوعی در مدیریت مخاطرات محیطی در مناطق کوهستانی، به بررسی اهمیت استفاده از این فناوری در بررسی مخاطرات زمین‌لرزه، زمین‌لغزش، سیلاب، تخریب پوشش گیاهی، آتش‌سوزی، توسعه فیزیکی شهرها و آلودگی منابع آب پرداخته شده است. لازم به ذکر است که برای موضوع زمین‌لرزه، سیلاب، تخریب پوشش گیاهی و توسعه فیزیکی شهرها، مثال‌های عملی آورده شده است که در ادامه به تشریح نحوه تهیه نقشه‌های مربوط به آن‌ها پرداخته شده است:

نحوه تهیه نقشه تغییرات سطح زمین ناشی از زمین‌لرزه از گله: با توجه به کاربرد و دقت بالای روش تداخل سنجی راداری در ارزیابی جابجایی عمودی سطح زمین، در این پژوهش، به‌منظور بررسی تأثیرات زمین‌لرزه از گله در سال ۱۳۹۶، از روش تداخل سنجی راداری (InSAR) استفاده شد تا میزان تغییرات سطح زمین پس از وقوع زمین‌لرزه ارزیابی شود. برای این منظور، تصاویر راداری Sentinel-1 قبل و بعد از زمین‌لرزه جمع‌آوری گردید (جدول ۱). پس از انتخاب تصاویر، مراحل پیش‌پردازش لازم شامل تصحیح ژئومتریک و حذف نویز بر روی داده‌ها انجام شد. سپس، با استفاده از این داده‌ها، نقشه جابجایی عمودی منطقه در بازه زمانی ۱۲ روز قبل و بعد از زمین‌لرزه از گله تهیه گردید. این نقشه امکان شناسایی مناطقی با بیش‌ترین تغییرات سطحی را فراهم کرد و زمینه تحلیل دقیق‌تر اثرات زمین‌لرزه بر سازندهای زمین‌شناسی و مدیریت بحران در منطقه را فراهم نمود.

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده

تاریخ	نوع	گذر	پلاریزیشن	بیس‌لاین
۲۰۱۷/۱۱/۰۷	SLC	نزولی	VV	۰
۲۰۱۷/۱۱/۱۹	SLC	نزولی	VV	۱۴/۲

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

نحوه تهیه نقشه مناطق سیل‌زده استان گلستان: در این پژوهش، به‌منظور شناسایی مناطق آسیب‌دیده از سیل، از سامانه گوگل ارث انجین استفاده شد. برای این منظور، تصاویر راداری Sentinel-1 قبل از وقوع سیل (از تاریخ ۱ فوریه ۲۰۱۹ تا ۱ مارس ۲۰۱۹) و پس از وقوع سیل (از تاریخ ۱ مارس ۲۰۱۹ تا ۱ آوریل ۲۰۱۹) مورد پردازش قرار گرفتند تا نقشه مناطق سیل‌زده تهیه شود. پس از تولید نقشه اولیه، خروجی آن استخراج شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، نقشه نهایی با دقت بالاتر و قابلیت تحلیل جغرافیایی ارائه گردید. این روش امکان ارزیابی دقیق‌تر گستره و شدت سیل را فراهم می‌کند و می‌تواند در برنامه‌ریزی مدیریت بحران مورد استفاده قرار گیرد.

نحوه تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی شهرستان کامیاران: به‌منظور تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی شهرستان کامیاران، از تصاویر ماهواره MODIS و سامانه گوگل ارث انجین استفاده شده است. در این سامانه با استفاده از دستورالعمل‌های مورد نظر، نقشه تراکم پوشش گیاهی محدوده مطالعاتی تهیه شده است.

نحوه تهیه نقشه روند توسعه فیزیکی شهر پاوه: به‌منظور تهیه نقشه روند توسعه فیزیکی شهر پاوه از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ استفاده شده است. پس از تهیه تصاویر مورد نظر، ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم شامل تصحیحات هندسی و اتمسفری بر روی تصاویر انجام شده است. در ادامه با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال، نقشه کاربری اراضی منطقه در ۲ کلاس مناطق سکونتگاهی و غیرسکونتگاهی تهیه شده است و سپس با استفاده از نرم‌افزار TerrSet و مدل LCM و بر مبنای روش زنجیره مارکوف، نقشه پیش‌بینی شده نواحی سکونتگاهی شهر پاوه بر سال ۲۰۵۰ تهیه شده است.

یافته‌ها و بحث

استفاده از هوش مصنوعی جهت مدیریت مخاطرات طبیعی مناطق کوهستانی

موقعیت جغرافیایی ایران سبب شده است تا بسیاری از مناطق کوهستانی آن در معرض مخاطرات طبیعی باشد. با توجه به اینکه پیش‌بینی وقوع مخاطرات طبیعی می‌تواند نقش مهمی در کنترل، مدیریت و کاهش خسارات احتمالی آن داشته باشد، بنابراین استفاده از هوش مصنوعی جهت دستیابی به این امر بسیار ضروری و حائز اهمیت است. در ادامه به تشریح نقش هوش مصنوعی در مدیریت هر کدام از مخاطرات طبیعی در مناطق کوهستانی پرداخته شده است:

زمین‌لرزه

مناطق کوهستانی ایران، به‌ویژه رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس، بر روی یکی از فعال‌ترین کمربندهای لرزه‌خیز جهان قرار دارند. این مناطق نه تنها دارای سابقه تاریخی از زمین‌لرزه‌های ویرانگر هستند، بلکه به دلیل تراکم بالای جمعیت در برخی بخش‌ها (مانند البرز مرکزی) و توسعه زیرساخت‌های حیاتی (سدها، جاده‌ها، خطوط انتقال انرژی)، مدیریت خطر زلزله در آن‌ها اهمیت دوچندان دارد. پیش‌بینی زمین‌لرزه یکی از دشوارترین مسائل علمی است، اما هوش مصنوعی با تحلیل هم‌زمان داده‌های متنوع می‌تواند الگوهای پیش‌نشانگر زلزله را شناسایی کند. مهم‌ترین داده‌های قابل استفاده برای این موضوع عبارتند از:

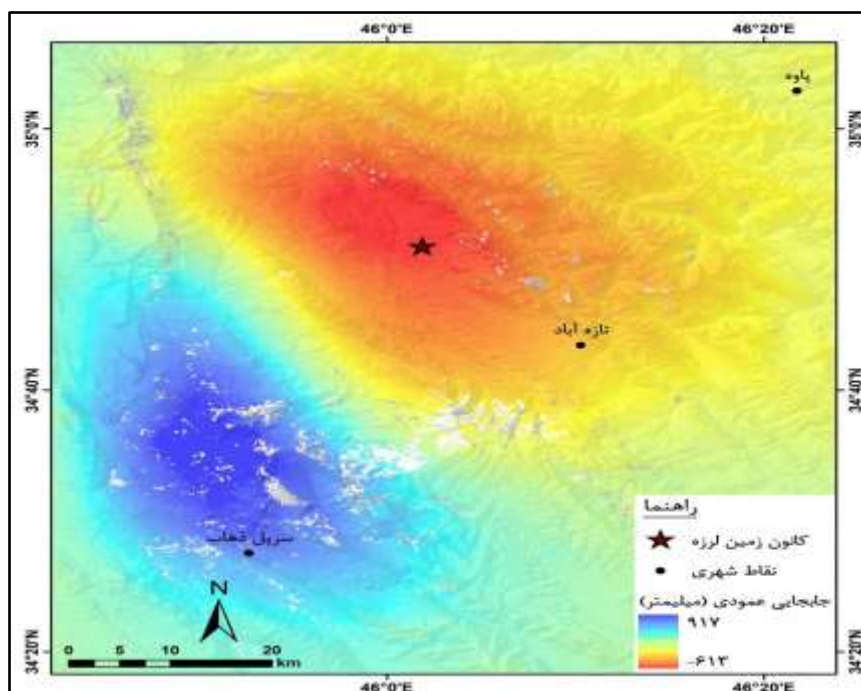
- داده‌های لرزه‌نگاری: ثبت ریزلرزه‌ها و تغییرات فرکانسی آن‌ها.
 - داده‌های حرارتی: اندازه‌گیری تغییرات دمایی در سطح و زیرسطح اطراف گسل‌ها (تصاویر مادون قرمز).
 - داده‌های جابه‌جایی پوسته زمین: پایش با GPS و تصاویر راداری (InSAR) برای شناسایی تغییرات میلی‌متری.
 - داده‌های هیدروژئوشیمیایی: ررسی تغییرات شیمی آب چشمه‌ها و رودخانه‌ها به‌عنوان نشانه احتمالی تغییرات زیرسطحی.
- کاربرد AI: شبکه‌های عصبی عمیق (Deep Neural Networks) و الگوریتم‌های یادگیری تقویتی (Reinforcement Learning) می‌توانند با داده‌های چندمنبعی تغذیه شده و سناریوهای محتمل وقوع زلزله را مدل‌سازی کنند.

مثال عملی: در منطقه کرمانشاه، ترکیب داده‌های GPS (جدول ۱) با تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 و داده‌های ریزلرزه‌ای، می‌تواند احتمال افزایش تنش در بازه زمانی خاصی را نشان دهد. این پیش‌بینی‌ها به نهادهای مدیریت بحران کمک می‌کند تا در صورت مشاهده الگوهای هشداردهنده، اقدامات پیشگیرانه (مثل کنترل مخازن سدها، آمادگی دستگاه‌های امدادی) را اجرا کنند. همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۱ و روش سری زمانی SBAS، می‌توان تغییرات سطح زمین ناشی از زمین‌لرزه را اندازه‌گیری گیرد که در شکل ۱ با استفاده از این روش، تغییرات سطح زمین ناشی از زمین لرزه ازگله کرمانشاه در سال ۱۳۹۶ نشان داده شده است.

جدول ۲. اطلاعات ژئودینامیکی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	دوره زمانی	میانگین جابجایی سالانه (میلی‌متر)		
		جابجایی در جهت شمال	جابجایی در جهت شرق	جابجایی عمودی
سرپل‌ذهاب	۲۰۱۷/۱۱/۲۳-۲۰۱۸/۱۱/۲۳	-۳	۸/۳	۲۰
کرمانشاه	۲۰۲۰/۰۵/۳۱-۲۰۲۰/۰۵/۳۱	۲۱/۹	۲۴/۸	۸
صحنه	۲۰۲۰/۰۱/۲۵-۲۰۱۵/۰۱/۳۱	۲۳/۷	۲۱/۴	-۱
سندج	۲۰۲۰/۰۵/۳۱-۲۰۱۴/۰۵/۳۱	۱۹/۷	۱۸/۶	۱

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴



شکل ۱. نقشه تغییرات سطح زمین ناشی از زمین لرزه از گله کرمانشاه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

حرکات دامنه‌ای

حرکات دامنه‌ای از مهم‌ترین مخاطرات مناطق کوهستانی ایران هستند و به‌طور مستقیم تحت تاثیر ویژگی‌های زمین‌شناسی، شیب، پوشش گیاهی و شرایط آب‌وهوایی قرار دارند. حرکات دامنه‌ای دارای انواع مختلفی از جمله خزش، ریزش و زمین‌لغزش هستند که هر کدام تحت تاثیر شرایط خاصی رخ می‌دهند. در ادامه به تشریح کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت هر کدام از آن‌ها پرداخته شده است:

الف) خزش (Creep): حرکت بسیار آهسته ذرات خاک و سنگ در دامنه‌های کم‌شیب است که در بلندمدت باعث تغییر شکل سازه‌ها، جاده‌ها و خطوط لوله می‌شود. خزش مخصوص دامنه‌های کم‌شیب است و دارای حرکات سانتی‌متری در طول سال هستند و اثرات آن در بلندمدت مشخص می‌شود.

کاربرد AI: استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا مثل (PlanetScope) و تحلیل سری‌های زمانی برای شناسایی تغییرات میلی‌متری و همچنین الگوریتم‌های یادگیری ماشینی مانند Random Forest می‌توانند نقاط با احتمال بالای خزش را مشخص کنند.

ب) ریزش (Rock Fall): ریزش به سقوط ناگهانی قطعات سنگی از دامنه‌های پرشیب، به‌ویژه در مناطق دارای شکستگی و درزهای زیاد گفته می‌شود. دامنه‌های پرشیب که دارای درزه و شکاف بیش‌تری هستند و همچنین دامنه‌های با یخبندان بیش‌تر و پوشش گیاهی کم‌تر، در معرض این مخاطره هستند.

کاربرد AI: استفاده از الگوریتم‌های تشخیص تصویر (Image Classification) روی داده‌های LiDAR برای شناسایی نقاط پرشیب با احتمال ناپایداری، می‌توان نقش مهمی در کنترل و مدیریت داشته باشد.

ج) زمین‌لغزش (Landslide): زمین‌لغزش به حرکت توده‌ای مواد دامنه به سمت پایین‌دست گفته می‌شود. این مخاطره در مناطقی با شیب زیاد، مناطق نزدیک به جاده، رودخانه و گسل و همچنین مناطق با رطوبت بیش‌تر و پوشش گیاهی کم‌تر رخ می‌دهد.

کاربرد AI: شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) می‌توانند با داده‌های مکانی آموزش‌بینند و نقشه حساسیت زمین‌لغزش تولید کنند.

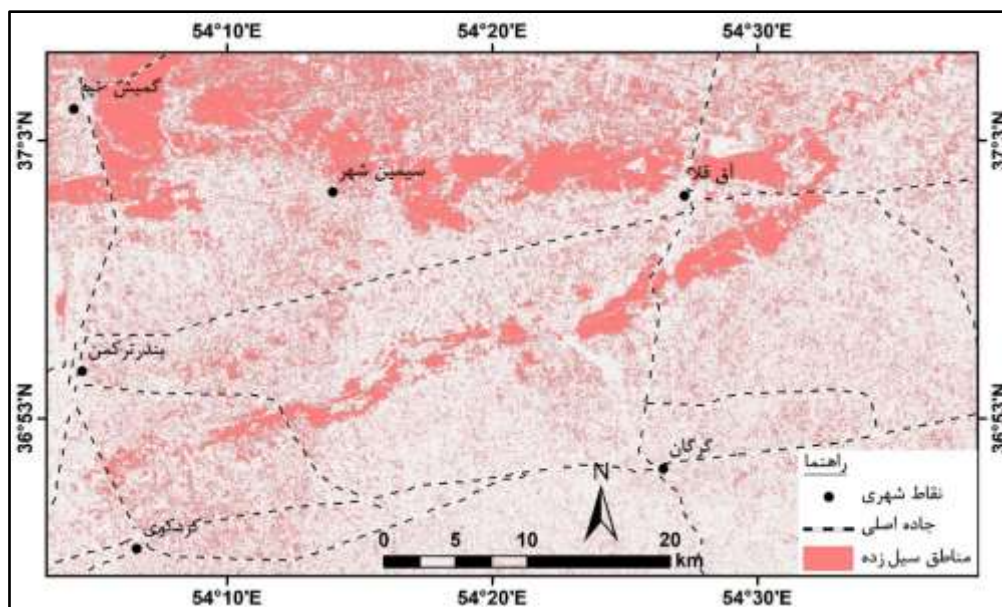
مثال عملی: در محور هراز، مدل AI می‌تواند با تحلیل بارش روزانه، رطوبت خاک و شیب دامنه، احتمال وقوع زمین‌لغزش را در بازه ۴۸ ساعته پیش‌بینی کرده و هشدار صادر کند.

سیلاب

وضعیت فیزیوگرافی حوضه‌های کوهستانی ایران سبب شده است تا بسیاری از مناطق کوهستانی ایران در معرض مخاطره سیلاب باشد. هوش مصنوعی در این زمینه می‌توان نقش مهمی در مدیریت این مخاطره داشته باشد. با استفاده از هوش مصنوعی می‌توان زمان وقوع سیلاب را پیش‌بینی کرد و هشدار داد. سیلاب‌ها تحت تاثیر وضعیت فیزیوگرافی حوضه‌ها، دبی رودخانه‌ها، شدت و مدت بارش قرار دارند.

کاربرد AI: از جمله مهم‌ترین کاربردهای AI در زمینه پیش‌بینی قوع سیلاب عبارتند از:

- پیش‌بینی بارش‌های سیل‌آسا با مدل‌های پیش‌بینی آب‌وهوای مبتنی بر یادگیری عمیق مانند: LSTM Networks
 - استفاده از حسگرهای اینترنت اشیا (IoT) در بالادست رودخانه برای ارسال لحظه‌ای دبی و ارتفاع آب.
 - ترکیب داده‌های ماهواره‌ای (GPM و TRMM) با مدل‌های هیدرولوژیکی AI برای پیش‌بینی حجم و زمان اوج سیلاب.
- مثال عملی:** در حوضه رودخانه کرج، با ترکیب داده‌های پیش‌بینی بارش (ECMWF) و تصاویر راداری Sentinel-1، مدل LSTM می‌تواند سیلاب‌های ناگهانی را تا ۶ ساعت قبل پیش‌بینی کند و از طریق پیامک به ساکنان هشدار دهد. همچنین سامانه گوگل ارث انجین با استفاده تصاویر راداری Sentinel-1 و بر مبنای الگوریتم‌های خاصی می‌تواند نقشه مناطق سیل‌زده را تهیه کند (شکل ۲) که از آن می‌توان برای مدیریت بعد از سیلاب استفاده کرد.



شکل ۲. نقشه مناطق سیل‌زده استان گلستان در جریان سیلاب فروردین سال ۱۳۹۸

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

استفاده از هوش مصنوعی جهت مدیریت مخاطرات انسانی در مناطق کوهستانی ایران

هوش مصنوعی به‌عنوان ابزاری نوین و قدرتمند، نقش چشم‌گیری در مدیریت مخاطرات انسانی در مناطق کوهستانی ایفا می‌کند. این فناوری با تحلیل داده‌های محیطی، اقلیمی و انسانی، امکان پیش‌بینی و کنترل مخاطراتی چون آتش‌سوزی جنگل‌ها، تخریب مراتع و آلودگی منابع طبیعی را فراهم می‌سازد. مناطق کوهستانی ایران، به‌ویژه در استان‌هایی مانند کردستان، لرستان و مازندران، به دلیل شرایط خاص توپوگرافی و پوشش گیاهی، در معرض تهدیدهای متعدد انسانی قرار دارند. بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی، پردازش تصویر و سامانه‌های هوشمند هشداردهنده، می‌تواند به شناسایی سریع خطرات، مدیریت منابع و کاهش خسارات کمک کند و گامی مؤثر در جهت توسعه پایدار و حفظ اکوسیستم‌های حساس کوهستانی باشد. در ادامه به تشریح مهم‌ترین مخاطرات انسانی مناطق کوهستانی و نقش هوش مصنوعی در مدیریت آن‌ها پرداخته شده است:

آتش‌سوزی

آتش‌سوزی‌های جنگلی و مرتعی یکی از مهم‌ترین مخاطرات انسانی و محیطی در مناطق کوهستانی ایران محسوب می‌شوند. طی دهه اخیر، تغییرات اقلیمی، کاهش رطوبت خاک، و گسترش فعالیت‌های انسانی در جنگل‌ها موجب افزایش شدت و فراوانی این رخدادها شده است.

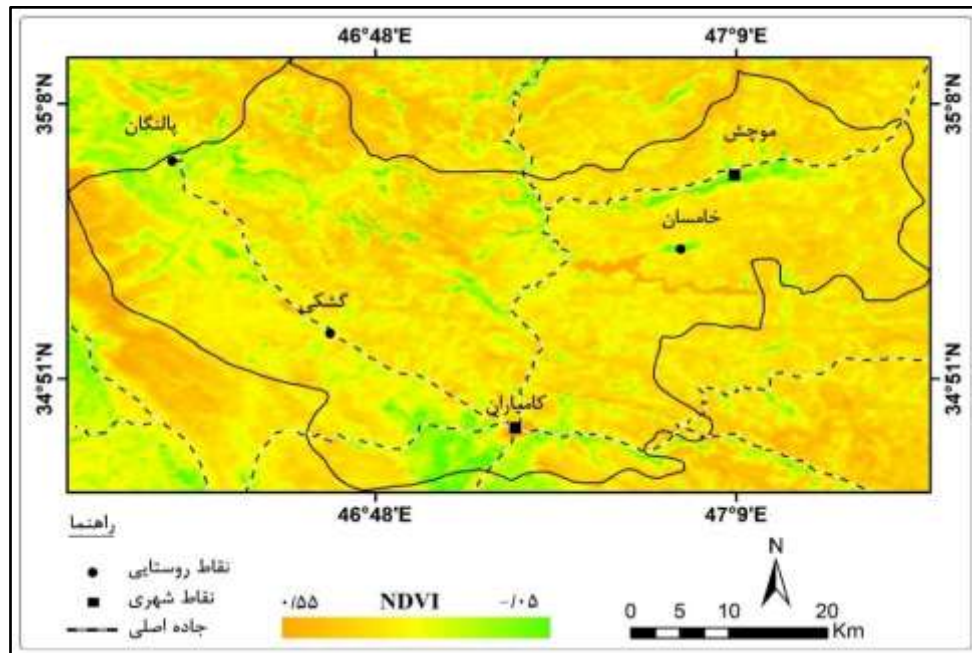
هوش مصنوعی (AI) می‌تواند به عنوان یک ابزار کارآمد در مراحل پیشگیری، پیش‌بینی، تشخیص و اطفای حریق نقش‌آفرینی کند که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است:

- **پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی:** مدل‌های یادگیری ماشین مانند Random Forest و XGBoost با استفاده از داده‌های دما، رطوبت، سرعت باد، میزان سوخت گیاهی و نقشه‌های شیب می‌توانند نقشه‌های خطر آتش‌سوزی تهیه کنند. داده‌های ماهواره‌ای سنجنده MODIS و Sentinel-2 به‌طور روزانه امکان پایش پوشش گیاهی را فراهم می‌کنند.
- **تشخیص سریع آغاز حریق:** شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) با پردازش تصاویر دوربین‌های حرارتی و نوری نصب‌شده در ارتفاعات می‌توانند تغییرات رنگ و دما را شناسایی کرده و حریق را در همان دقایق نخست گزارش دهند.
- **مدیریت عملیات اطفاء:** با ترکیب داده‌های جغرافیایی و هوش مصنوعی، مسیرهای بهینه برای تیم‌های امدادی و اطفای حریق پیشنهاد می‌شود. پهپادهای مجهز به الگوریتم‌های AI می‌توانند مکان دقیق شعله و جهت گسترش آن را رصد کنند.

تخریب پوشش گیاهی

تخریب پوشش گیاهی در مناطق کوهستانی ایران ناشی از چرای بی‌رویه دام، برداشت غیرمجاز چوب، و توسعه غیرپایدار ساخت‌وساز است. این پدیده نه تنها تنوع زیستی را تهدید می‌کند بلکه خطر فرسایش خاک، رانش زمین و سیلاب را افزایش می‌دهد. از جمله مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در این زمینه عبارتند از:

- **پایش تغییرات پوشش گیاهی:** با استفاده از تحلیل سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌هایی مانند NDVI (شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی)، الگوریتم‌های یادگیری عمیق قادرند مناطق دارای کاهش شدید تراکم گیاهی را شناسایی کنند.
 - **پیش‌بینی روند تخریب:** مدل‌های پیش‌بینی مانند LSTM (شبکه‌های عصبی بازگشتی بلندمدت) می‌توانند بر اساس داده‌های چندساله، روند احتمالی کاهش پوشش گیاهی را برای سال‌های آینده برآورد کنند.
 - **شناسایی عوامل انسانی:** با تحلیل همبستگی بین تغییرات پوشش گیاهی و داده‌های مکانی مرتبط با جاده‌ها، مزارع جدید و طرح‌های صنعتی، هوش مصنوعی می‌تواند نقش عوامل انسانی را در تخریب مشخص کند.
- مثال عملی:** در شکل ۳، نقشه تراکم پوشش گیاهی شهرستان کامیاران نمایش داده شده است. این نقشه در محیط سامانه Google Earth Engine و با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS تهیه شده است. داده‌های MODIS به دلیل پوشش زمانی پیوسته و وضوح زمانی بالا، امکان پایش تغییرات پوشش گیاهی را در بازه‌های زمانی مختلف فراهم می‌کنند. در این مطالعه، با به‌کارگیری الگوریتم‌های پردازش و طبقه‌بندی خاص، از جمله محاسبه شاخص‌های گیاهی مانند NDVI، میزان تراکم و توزیع پوشش گیاهی در محدوده شهرستان برآورد شده است. خروجی این پردازش‌ها به صورت نقشه‌های تراکم پوشش گیاهی ارائه شده که می‌تواند در تحلیل تغییرات فصلی و سالانه پوشش گیاهی، شناسایی مناطق تخریب‌شده یا احیاشده، و برنامه‌ریزی مدیریت منابع طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳. نقشه تراکم پوشش گیاهی شهرستان کامیاران

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

آلودگی منابع آب زیرزمینی

در مناطق کوهستانی، منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع تأمین آب آشامیدنی محسوب می‌شوند. اما توسعه کشاورزی، استفاده بی‌رویه از کود و سموم، و نفوذ پساب صنعتی باعث آلودگی این منابع شده است. از جمله مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در این زمینه عبارتند از:

- **مدل‌سازی مسیر آلاینده‌ها:** با استفاده از مدل‌های مبتنی بر AI و داده‌های هیدروژئولوژیکی، می‌توان مسیر حرکت آلاینده‌ها در لایه‌های آبخوان را شبیه‌سازی کرد. این کار به برنامه‌ریزی برای احداث چاه‌های جدید و تعیین مناطق حفاظتی کمک می‌کند.
- **پیش‌بینی تغییر کیفیت آب:** الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند SVR (رگرسیون بردار پشتیبان) می‌توانند غلظت نیترات، فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها را بر اساس ورودی‌هایی مانند کاربری اراضی، بارندگی، و داده‌های کیفی گذشته پیش‌بینی کنند.
- **شناسایی منابع اصلی آلودگی:** هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های مکانی و زمانی می‌تواند تعیین کند که آلودگی ناشی از کشاورزی، صنعت یا فاضلاب شهری است.

پیشنهاد عملیاتی: پیاده‌سازی شبکه‌ای از حسگرهای کیفیت آب خودکار (in-situ) که داده‌ها را به پلتفرم ابری منتقل و الگوریتم‌های یادگیری ماشین را به صورت بلادرنگ تغذیه می‌کنند. این سامانه می‌تواند هشدارهای بهداشتی (مثلاً عبور از آستانه‌های مجاز) و نیز نقشه‌های احتمال گسترش آلاینده را تولید کند.

توسعه بی‌برنامه ساخت و سازها

در مناطق کوهستانی، ساخت‌وسازهای بی‌رویه و بدون مطالعات ژئوتکنیکی می‌تواند باعث رانش زمین، تغییر مسیر آب‌های سطحی و آسیب به زیستگاه‌های طبیعی شود. هوش مصنوعی می‌تواند در چند مرحله نقش کلیدی داشته باشد:

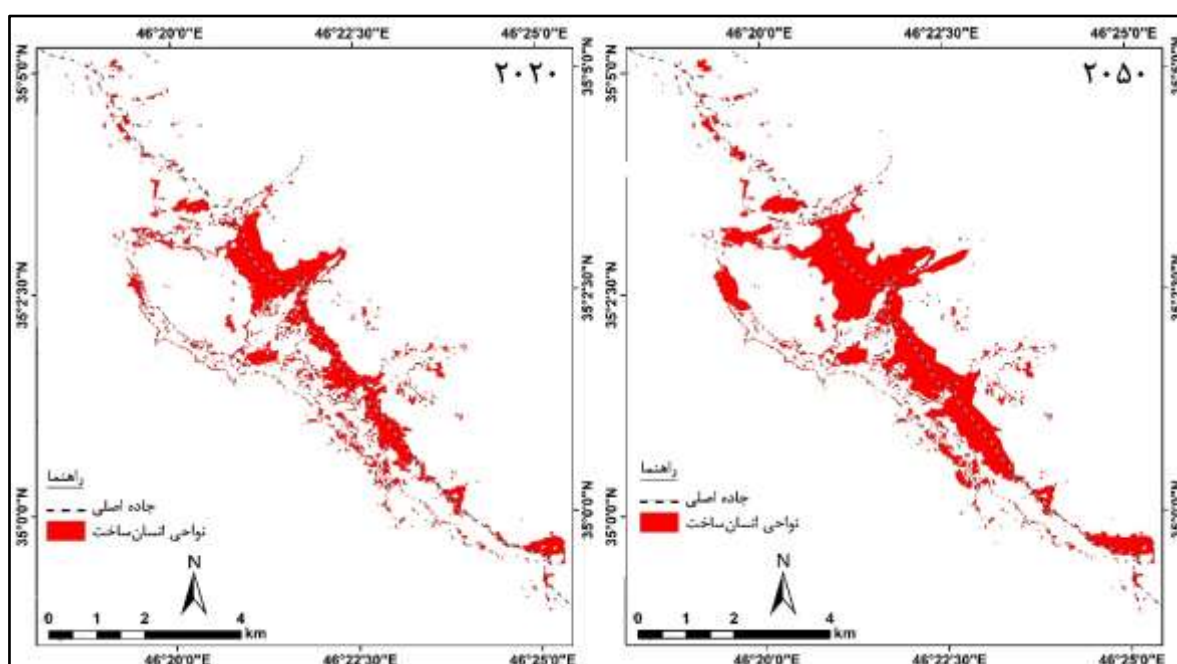
- **ارزیابی ریسک مکان‌یابی پروژه‌ها:** مدل‌های AI با استفاده از داده‌های شیب زمین، نوع خاک، پوشش گیاهی و خطرات زمین‌شناسی، نقاط پرخطر را شناسایی و برای ساخت‌وساز نامناسب اعلام می‌کنند.
- **پایش تغییرات ساخت‌وساز:** با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و هوایی، به‌ویژه با بهره‌گیری از روش‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، ابزاری مؤثر برای بررسی روند تغییرات کاربری اراضی است. یکی از چارچوب‌های پرکاربرد در این زمینه، مدل تغییرات کاربری زمین (Land Change Modeler - LCM) است که در نرم‌افزارهایی مانند TerrSet پیاده‌سازی شده است. این مدل می‌تواند با استفاده از روش‌هایی مانند زنجیره مارکوف، ماتریس احتمالات انتقال بین کلاس‌های کاربری زمین را بر اساس داده‌های تاریخی

محاسبه کند. بدین ترتیب، علاوه بر تحلیل تغییرات گذشته در نواحی سکونتگاهی و ساخت‌وسازها، می‌توان سناریوهای احتمالی تغییرات آینده را نیز برآورد کرد. با این حال، این پیش‌بینی‌ها مبتنی بر فرض ثبات روندهای گذشته بوده و همواره با عدم قطعیت همراه‌اند.

- **بهینه‌سازی طراحی سازه‌ها:** هوش مصنوعی با شبیه‌سازی اثرات بار برف، زلزله و فرسایش بر سازه‌ها می‌تواند طراحی بهینه و مقاوم ارائه دهد.

پیشنهادهای اجرایی: ترکیب بانک داده‌ی مجوزها و تصاویر ماهواره‌ای در یک پلتفرم مبتنی بر AI برای پایش اجرا و صدور هشدار به مراجع محلی، استفاده از مدل‌های ریسک برای تعیین نواحی ممنوعه و مناطق با نیاز به مطالعات ژئوتکنیک عمیق.

مثال عملی: در این بخش، به‌منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات نواحی سکونتگاهی، از مدل تغییرات کاربری زمین (LCM) استفاده شده است. داده‌های ورودی مدل شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه‌های زمانی مشخص بوده که پس از تصحیحات هندسی و رادیومتریک، برای طبقه‌بندی کاربری اراضی به کار رفته‌اند. در گام نخست، با بهره‌گیری از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، نقشه کاربری اراضی با تمرکز بر نواحی سکونتگاهی شهر پاره تهیه شده است. سپس، با استفاده از رویکرد زنجیره مارکوف، ماتریس احتمالات انتقال بین کلاس‌های کاربری محاسبه و سناریوی توسعه نواحی سکونتگاهی تا سال ۲۰۵۰ تولید شده است (شکل ۴).



شکل ۴. نقشه کاربری نواحی سکونتگاهی شهر پاره در سال ۲۰۲۰ و نقشه پیش‌بینی شده آن برای سال ۲۰۵۰

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

نتیجه‌گیری

بررسی نقش هوش مصنوعی در مدیریت مخاطرات طبیعی و انسانی مناطق کوهستانی ایران نشان می‌دهد که این فناوری، با قدرت پردازش داده‌های عظیم و شناسایی الگوهای پیچیده، می‌تواند ابزاری کارآمد و نوآورانه برای پیش‌بینی، پایش و کاهش اثرات این مخاطرات باشد. تحلیل یافته‌های پژوهش حاضر بیانگر آن است که کاربرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و پردازش تصویر در حوزه‌های مختلف، از پیش‌بینی زمین‌لرزه و حرکات دامنه‌ای گرفته تا مدیریت سیلاب، آتش‌سوزی جنگل‌ها، تخریب پوشش گیاهی، آلودگی منابع آب زیرزمینی و کنترل ساخت‌وسازهای بی‌رویه، ظرفیت بالایی برای ارتقاء ایمنی و توسعه پایدار مناطق کوهستانی ایجاد می‌کند. در بخش مخاطرات طبیعی، هوش مصنوعی با ادغام داده‌های چندمنبعی (ماهواره‌ای، سنجش‌ازدور، حسگرهای زمینی و مدل‌های هیدرولوژیکی) توانسته است پیش‌بینی‌های دقیق‌تری نسبت به روش‌های سنتی ارائه دهد. این دقت بالاتر نه تنها زمان واکنش را افزایش می‌دهد، بلکه امکان برنامه‌ریزی پیشگیرانه و کاهش خسارات جانی و مالی را فراهم می‌سازد. برای نمونه، پیش‌بینی سیلاب با مدل‌های LSTM و هشدار زودهنگام زمین‌لغزش با استفاده از CNN نمونه‌هایی عملی از این توانمندی‌ها هستند. در حوزه مخاطرات انسانی، AI به‌عنوان یک سیستم هشدار سریع و ابزار تحلیلی پیشرفته عمل می‌کند. از جمله، پایش مستمر تغییرات پوشش گیاهی با شاخص NDVI، شناسایی سریع آتش‌سوزی‌ها با

شبکه‌های عصبی کانولوشنی، و مدل‌سازی مسیر آلاینده‌ها در آبخوان‌ها، نشان‌دهنده قابلیت‌های بالای این فناوری در حفاظت از اکوسیستم‌های حساس کوهستانی است. افزون بر این، کاربرد مدل‌های تغییرات کاربری زمین (LCM) و زنجیره مارکوف در ارزیابی و پیش‌بینی روند توسعه ساخت‌وسازها، امکان مداخله به‌موقع در جلوگیری از توسعه بی‌برنامه را فراهم می‌کند. برای به‌کارگیری بهینه هوش مصنوعی در مدیریت مخاطرات مناطق کوهستانی، پیشنهاد می‌شود زیرساختی یکپارچه از داده‌های سنجش‌ازدور، حسگرهای زمینی و بانک‌های اطلاعات مکانی ایجاد شود تا تمام سازمان‌های مرتبط به تحلیل‌های دقیق و سریع دسترسی داشته باشند. توسعه سامانه‌های هشدار سریع هوشمند برای پیش‌بینی بلادرنگ سیلاب، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی و ارسال هشدار به ساکنان و نهادهای مسئول، همراه با آموزش و توانمندسازی کارشناسان محلی جهت استفاده از ابزارهای AI و تفسیر نتایج، از الزامات است. همچنین پایش مستمر تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیش‌بینی روند، بازنگری در برنامه‌های توسعه منطقه‌ای متناسب با یافته‌ها، سرمایه‌گذاری در تحقیقات بومی برای توسعه الگوریتم‌های متناسب با شرایط خاص ایران، و ایجاد شبکه همکاری میان دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی، سازمان‌های مدیریت بحران و بخش خصوصی، می‌تواند کارایی و اثربخشی سامانه‌های هوشمند را به شکل چشم‌گیری افزایش دهد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: تدوین چارچوب نظری، نظارت علمی بر فرآیند پژوهش

نویسنده دوم: گردآوری داده‌ها و نگارش اولیه

نویسنده سوم: تحلیل یافته‌ها، ویرایش علمی و ویرایش نهایی مقاله

اعلامیه هوش مصنوعی مولد و فناوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در فرایند نگارش

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ ابزار هوش مصنوعی (AI) در نگارش این مقاله استفاده نشده است.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تضاد منافی ندارند.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌ها بنا به درخواست نویسندگان در دسترس هستند.

سپاسگزاری

نویسندگان مایل هستند از تمامی افراد، سازمان‌ها و مؤسسه‌ای که در تهیه این مقاله مشارکت داشته‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی کنند.

منابع

- ابدالی، یعقوب؛ رضانی حاجی‌محله، عارفه و معینی‌نسب، محسن. (۱۴۰۲). تحلیل راهبردی تاب‌آوری پیراشهری در برابر مخاطرات محیطی (مورد مطالعه: نواحی پیراشهری سندر). توسعه فضاهای پیراشهری، ۵(۲)، ۱۸۱-۲۰۲. <https://doi.org/10.22034/jpusd.2023.366233.1237>
- ابدالی، یعقوب؛ زنگنه‌شهرکی، سعید؛ حاتمی‌نژاد، حسین؛ پوراحمد، احمد و سلمانی، محمد. (۱۴۰۳). سنجش تاب‌آوری شهری در برابر مخاطره سیل با استفاده از شاخص‌های ترکیبی (مورد مطالعه: شهر خرم‌آباد). فصلنامه مطالعات شهری، ۱۳(۵۰)، ۶۱-۷۶. <https://doi.org/10.34785/J011.2022.021>
- اسدی، معصومه؛ حیدری، زهرا و امامی، کامیار. (۱۴۰۱). ارزیابی روند توسعه فیزیکی شهر پلدختر به سمت مناطق سیل‌خیز. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۲)، ۱۵۹-۱۷۴. <https://doi.org/10.22067/geoech.2021.72169.1101>
- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ صادقی، ابودز؛ سلیمانی، حمید و اکبری، نسا. (۱۴۰۴). بررسی تغییرات پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در شهرستان رشت. پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی، ۶(۲۱)، ۸۷-۱۰۴. <https://doi.org/10.30488/ccr.2025.484698.1252>

- جمینی، داود؛ جوان، فرهاد و آتش بهار، رامین. (۱۴۰۵). هوش مصنوعی و گردشگری روستایی (مطالعه‌ای کاربردی در مناطق نمونه گردشگری). فصلنامه مطالعات مدیریت گردشگری، ۲۱(۷۳)، ۳۵۴-۳۱۵. <https://doi.org/10.22054/tms.2025.85190.3055>
- جوان، فرهاد؛ جمینی، داود و آتش بهار، رامین. (۱۴۰۵). کاربرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در مدیریت خطر سیلاب با تأکید بر سکونتگاه‌های روستایی گردشگری (مطالعه موردی: منطقه نمونه گردشگری بیستون، استان کرمانشاه). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۵(۱)، ۲۵۰-۲۲۶. <https://doi.org/10.22067/geoch.2025.95982.1616>
- حیدری‌فر، محمدرفوف؛ سلیمانی‌راد، اسماعیل و حسینی‌سیاه‌گلی، مهناز. (۱۳۹۹). بررسی نقش مخاطرات طبیعی و مدیریت بحران در آمایش سرزمین (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۱۱(۱)، ۵۵-۷۶. https://www.srds.ir/article_122918.html
- صابری‌فر، رستم. (۱۴۰۴). واکاوی تأثیرات تغییر کاربری اراضی بر پوشش گیاهی و دمای سطحی شهر و واکنش مدیران شهری به این روند (نمونه موردی: شهر مشهد). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۱۶(۱)، ۶۸-۸۳. https://www.srds.ir/article_213418.html
- صداقتی، عاطفه؛ مداحی، علی و طالب‌خواه، حمید. (۱۴۰۱). مدل‌سازی و پیش‌بینی روند گسترش و توسعه فیزیکی شهر بجنورد. پژوهش‌های جغرافیایی انسانی، ۵۴(۴)، ۱۵۶۳-۱۵۸۵. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2021.329110.1008364>
- علی‌نژاد امامقلی، کوروش؛ احمدیان، محمدعلی و قنبرزاده‌دربار، هادی. (۱۳۹۹). راهکارهای کاهش مخاطرات طبیعی در سازمان‌های مرتبط با مدیریت بحران (مورد: سکونتگاه‌های پیراشهری قوچان). توسعه فضاهای پیراشهری، ۲(۲)، ۳۳-۵۰. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26764164.1399.2.2.3.2>
- کاظمی، رحیم و پرهمت، جهانگیر. (۱۴۰۰). تحلیل عامل‌های مؤثر بر شدت سیل‌خیزی در ایران. پژوهش‌های آب‌خیزداری، ۳۴(۱)، ۵۹-۷۳. <https://doi.org/10.22092/wmej.2020.342597.1330>
- گودرزی، مجید و ابراهیمی، اعظم. (۱۴۰۲). ارزیابی روند توسعه فیزیکی شهر ایزد با استفاده از مدل LCM. جغرافیا و روابط انسانی، ۲۶(۲)، ۴۱۱-۴۲۴. <https://doi.org/10.22034/gahr.2023.387212.1823>
- گورابی، ابوالقاسم و امامی، کامیار. (۱۳۹۶). تأثیرات نوزمین‌ساخت بر تغییرات مورفولوژیک حوضه‌های زهکشی سواحل مکران، جنوب شرق ایران. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۶(۱)، ۸۹-۷۴. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519424.1396.6.1.5.2>
- نصرتی، مژگان؛ خضری، سعید و کاظمی، آفاق. (۱۴۰۱). بررسی و تحلیل مخاطرات طبیعی و مسائل انسانی و محیطی شهر سنندج به‌منظور ارائه راهکارهای مناسب. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱(۱)، ۹۹-۱۱۵. <https://doi.org/10.22067/geoch.2021.71620.1092>
- یعقوب‌نژاد اصل، نازیلا. (۱۴۰۲). نقش ژئومورفولوژی در مخاطرات طبیعی، آسیب‌پذیری و پیشگیری از بلایای طبیعی در کشور ایران. جغرافیا و روابط انسانی، ۵۴(۴)، ۲۳۱-۲۶۱. <https://doi.org/10.22034/gahr.2022.368878.1761>
- Al Awadh, M., & Mallick, J. (2024). A decision-making framework for landfill site selection in Saudi Arabia using explainable artificial intelligence and multi-criteria analysis. *Environmental Technology & Innovation*, 33, 103464. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103464>
- Alotaibi, E., & Nassif, N. (2024). Artificial intelligence in environmental monitoring: in-depth analysis. *Discov Artif Intell* 4, 84. <https://doi.org/10.1007/s44163-024-00198-1>
- Asha, P., Natrayan, L., Geetha, B.T., Beulah, J.R., Sumathy, R., Varalakshmi, G., & Neelakandan, S. (2022). IoT enabled environmental toxicology for air pollution monitoring using AI techniques. *Environ Res*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112574>
- Asim, K., Idris, A., Iqbal, T., & Martínez-Álvarez, F. (2018). Earthquake prediction model using support vector regressor and hybrid neural networks. *PLOS One*. 13(7). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0199004>
- Atashpanjeh, H., Behfar, A., Haverkamp, C., Verdoes, M.M., & Al-Ameen, M.N. (2022). Intermediate help with using digital devices and online accounts: understanding the needs, expectations, and vulnerabilities of young adults. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, 3-15. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05563-8_1
- Atashpanjeh, H., Paudel, R., & Al-Ameen, M.N. (2025). Mental model-based designs: the study in privacy policy landscape. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 41(12), 7253-7272. <https://doi.org/10.1080/10447318.2024.2392064>
- Behfar, A., Atashpanjeh, H., & Al-Ameen, M.N. (2023). Can password meter be more effective towards user attention, engagement, and attachment?: a study of metaphor-based designs. In *Companion Publication of the 2023 Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing*. 164-171. <https://doi.org/10.1145/3584931.3606983>
- Bhatia, M., Ahanger, T.A., & Manocha, A. (2023). Artificial intelligence based real-time earthquake prediction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105856>
- Bostan, T. (2024). Generating a landslide susceptibility map using integrated meta-heuristic optimization and machine learning models. *Sustainability*, 16, 9396. <https://doi.org/10.3390/su16219396>
- Chapi, K., Singh, V.P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D.T., Pham, B.T., & Khosravi, K. A. (2017). novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. *Environ Model Softw*, 95, 229-245. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.012>

- Dumaru, P., Atashpanjeh, H., & Al-Ameen, M.N. (2024). It's hard for him to make choices sometimes and he needs guidance": Re-orienting Parental Control for Children. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 8, no. CSCWI. 1-51. <https://doi.org/10.1145/3637359>
- Dumaru, P., Shrestha, A., Paudel, R., Behfar, A., Atashpanjeh, H., & Al-Ameen, M.N. (2023). I have learned that things are different here": Understanding the transitional challenges with technology use after relocating to the USA. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 201-220. Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35936-1_15
- Grzybowski, A. (2025). Artificial Intelligence in Ophthalmology: Promises, Hazards and Challenges. In: Grzybowski, A. (eds) Artificial Intelligence in Ophthalmology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-83756-2_1
- Halder, S., Bose, S., 2024. Sustainable flood hazard mapping with GLOF: A Google Earth Engine approach. *Natural Hazards Research*. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2024.01.002>
- Hussain, M.A., Chen, Z., Zhou, Y., Meena, S.R., Ali, N., & Ullah Shah, S. (2025). Landslide susceptibility mapping using artificial intelligence models: a case study in the Himalayas. *Landslides*, 22, 2089–2103. <https://doi.org/10.1007/s10346-025-02466-2>
- Jabeen, F., Al Zaidi, S., & Al Dhaheri, M.H. (2022), Automation and artificial intelligence in hospitality and tourism, *Tourism Review*, 77(4), 1043-1061. <https://doi.org/10.1108/TR-09-2019-0360>
- Jiang, W., Xi, J., Li, Z., Zang, M., Chen, B., Zhang, C., Liu, Z., Gao, S., Zhu, W. (2022). Deep Learning for Landslide Detection and Segmentation in High-Resolution Optical Images along the Sichuan-Tibet Transportation Corridor. *Remote Sens*, 14, 5490. <https://doi.org/10.3390/rs14215490>
- Jong, F. C., Ahmed, M. M., Lau, W. K., & Lee, H. A. D. (2022). A new hybrid Artificial Intelligence (AI) approach for hydro energy sites selection and integration. *Heliyon*, 8(9). [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(22\)01926-0?uuiid=uuiid%3A8860613e-c822-4283-9d2a-3c122c292002](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(22)01926-0?uuiid=uuiid%3A8860613e-c822-4283-9d2a-3c122c292002)
- Knani, M., Echchakoui, S., & Ladhari, R. (2022). Artificial intelligence in tourism and hospitality: Bibliometric analysis and research agenda. *International Journal of Hospitality Management*, 107, 103317. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2022.103317>
- Kuhaneswaran, B., Chamane, G., & Kumara, B. T. G. S. (2025). A comprehensive review on the integration of geographic information systems and artificial intelligence for landfill site selection: A systematic mapping perspective. *Waste Management & Research*, 43(2), 137-159. <https://doi.org/10.1177/0734242X241237100>
- Liu, Y., Huang, X., & Liu, Y. (2024). Detection of long-term land use and ecosystem services dynamics in the Loess Hilly-Gully region based on artificial intelligence and multiple models. *Journal of Cleaner Production*, 447. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141560>
- Meng, L., Yan, Y., Jing, H., Baloch, M.Y.J., Du, S.Y., & Du, S. (2024). Large-scale groundwater pollution risk assessment research based on artificial intelligence technology: A case study of Shenyang City in Northeast China. *Ecological Indicators*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112915>
- Nghia, B.P.Q., Pal, I., Chollacoop, N., Mukhopadhyay, A., 2022. Applying Google earth engine for flood mapping and monitoring in the downstream provinces of Mekong River. *Progress in Disaster Science*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2022.100235>
- Pwavodi, J., Ibrahim, A.U., Pwavodi, P.C., Al-Turjman, F., & Mohand-Said, A. (2024). The role of artificial intelligence and IoT in prediction of earthquakes: Review. *Artificial Intelligence in Geosciences*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.aiig.2024.100075>
- Shahabi, H., Jamini, D., Shirzadi, A., Sadeghi, H., Komasi, H., Elkhachy, I., Salvati, A., Clague, J.J., & Ghaderi, Z. (2026). Spatiotemporal dynamics of geotourism resilience: Machine learning methodologies and key insights. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 14(1), 91-107. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2026.02.004>
- Singh, P., Maurya, V., Dwivedi, R. (2021). Pixel-based landslide identification using Landsat 8 and GEE. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.-ISPRS Arch*, 43, 721–726. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-721-2021>
- Sy, H.M., Luu, C., Bui, Q.D., Ha, H., Nguyen, D.Q., 2023. Urban flood risk assessment using Sentinel-1 on the google earth engine: A case study in Thai Nguyen city, Vietnam. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100987>
- Tahernejad, A., Sahebi, A., Abadi, A.S.S., & Safari. M. (2024). Application of artificial intelligence in triage in emergencies and disasters: a systematic review. *BMC Public Health*, 24. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20447-3>
- Tang, Y., Sun, Y., Han, Z., Soomro, S., Tan, B., & Hu, C. (2023). Flood forecasting based on machine learning pattern recognition and dynamic migration of parameters. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101406>
- Wu, Z., Wang, B., Li, M., Tian, Y., Quan, Y., & Liu, J. (2022). Simulation of forest fire spread based on artificial intelligence. *Ecological Indicators*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108653>

Zahabnazouri, S., Belmont, P., David, S., Wigand, P. E., Elia, M., & Capolongo, D. (2025). Detecting Burn Severity and Vegetation Recovery After Fire Using dNBR and dNDVI Indices: Insight from the Bosco Difesa Grande, Gravina in Southern Italy. *Sensors*, 25(10), 3097. <https://doi.org/10.3390/s25103097>

References

- Abdali, Y., Ramezani Haji Mahalle, A., & Moeini Nasab, M. (2023). Strategic analysis of Peripheral resilience against environmental hazards (Case study: Peripheral areas of Sanandaj). *Preipheral Urban Spaces Development*, 5(2), 181-202. <https://doi.org/10.22034/jpusd.2023.366233.1237> (In Persian)
- Abdali, Y., Zanganeh Shahraki, S., hataminejad, H., Pourahmad, A., & Salmani, M. (2024). Measuring urban resilience against flood risk using composite indicators: a Case Study of Khorramabad city). *Motaleate Shahri*, 13(50), 61-76. <https://doi.org/10.34785/J011.2022.021> (In Persian)
- Al Awadh, M., & Mallick, J. (2024). A decision-making framework for landfill site selection in Saudi Arabia using explainable artificial intelligence and multi-criteria analysis. *Environmental Technology & Innovation*, 33, 103464. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103464>
- Ali Nejad Imamgoli, K., Ahmadian, M.A., & Ghanbarzadeh Darban, H. (2021). Analysis of natural hazard reduction strategies in organizations related to crisis management (Case Study: Quchan Peripheral Areas). *Preipheral Urban Spaces Development*, 2(2), 33-50. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.26764164.1399.2.2.3.2> (In Persian)
- Alotaibi, E., & Nassif, N. (2024). Artificial intelligence in environmental monitoring: in-depth analysis. *Discov Artif Intell* 4, 84. <https://doi.org/10.1007/s44163-024-00198-1>
- Asadi, M., Haidary, Z., & Emami, K. (2022). Assessing the Physical Development Trend of Poldokhtar City Towards Flood-Prone Areas. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(2), 159-174. <https://doi.org/10.22067/geoh.2021.72169.1101> (In Persian)
- Asghari Saraskanroud, S., Sadeghi, A., Soleimani, H., & Akbari, N. (2025). Analysis of Vegetation Changes Based on Vegetation Indices (Case Study: Rasht County). *Climate Change Research*, 6(21), 87-104. <https://doi.org/10.30488/ccr.2025.484698.1252> (In Persian)
- Asha, P., Natrayan, L., Geetha, B.T., Beulah, J.R., Sumathy, R., Varalakshmi, G., & Neelakandan, S. (2022). IoT enabled environmental toxicology for air pollution monitoring using AI techniques. *Environ Res*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112574>
- Asim, K., Idris, A., Iqbal, T., & Martínez-Álvarez, F. (2018). Earthquake prediction model using support vector regressor and hybrid neural networks. *PLOS One*. 13(7). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0199004>
- Atashpanjeh, H., Behfar, A., Haverkamp, C., Verdoes, M.M., & Al-Ameen, M.N. (2022). Intermediate help with using digital devices and online accounts: understanding the needs, expectations, and vulnerabilities of young adults. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, 3-15. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05563-8_1
- Atashpanjeh, H., Paudel, R., & Al-Ameen, M.N. (2025). Mental model-based designs: the study in privacy policy landscape. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 41(12), 7253-7272. <https://doi.org/10.1080/10447318.2024.2392064>
- Behfar, A., Atashpanjeh, H., & Al-Ameen, M.N. (2023). Can password meter be more effective towards user attention, engagement, and attachment?: a study of metaphor-based designs. In *Companion Publication of the 2023 Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing*. 164-171. <https://doi.org/10.1145/3584931.3606983>
- Bhatia, M., Ahanger, T.A., & Manocha, A. (2023). Artificial intelligence based real-time earthquake prediction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105856>
- Bostan, T. (2024). Generating a landslide susceptibility map using integrated meta-heuristic optimization and machine learning models. *Sustainability*, 16, 9396. <https://doi.org/10.3390/su16219396>
- Chapi, K., Singh, V.P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D.T., Pham, B.T., & Khosravi, K. A. (2017). novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. *Environ Model Softw*, 95, 229–245. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.012>
- Dumaru, P., Atashpanjeh, H., & Al-Ameen, M.N. (2024). It's hard for him to make choices sometimes and he needs guidance": Re-orienting Parental Control for Children. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 8, no. CSCW1. 1-51. <https://doi.org/10.1145/3637359>
- Dumaru, P., Shrestha, A., Paudel, R., Behfar, A., Atashpanjeh, H., & Al-Ameen, M.N. (2023). I have learned that things are different here": Understanding the transitional challenges with technology use after relocating to the USA. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 201-220. Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35936-1_15
- Goodarzi, M., & Ebrahimi, A. (2023). Assessing the physical development process of Izeh city using LCM model. *Geography and Human Relationships*, 6(2), 411-424. <https://doi.org/10.22034/gahr.2023.387212.1823> (In Persian)

- Goorabi, A., & Emami, K. (2017). (2018). Neotectonics influences on morphological variations of Makran costal basins, SE Iran. *Quantitative Geomorphological Research*, 6(1), 74-89. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22519424.1396.6.1.5.2>
- Grzybowski, A. (2025). Artificial Intelligence in Ophthalmology: Promises, Hazards and Challenges. In: Grzybowski, A. (eds) Artificial Intelligence in Ophthalmology. *Springer, Cham*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-83756-2_1
- Halder, S., Bose, S., 2024. Sustainable flood hazard mapping with GLOF: A Google Earth Engine approach. *Natural Hazards Research*. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2024.01.002>
- Heydarifar, M. R., Solimani rad, E., & Hosseiniashgoli, M. (2020). Investigating the Role of Natural Hazards and Crisis Management in Land Management (Case Study: Kermanshah Province). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 1(1), 55-76. https://www.srds.ir/article_122918.html (In Persian)
- Hussain, M.A., Chen, Z., Zhou, Y., Meena, S.R., Ali, N., & Ullah Shah, S. (2025). Landslide susceptibility mapping using artificial intelligence models: a case study in the Himalayas. *Landslides*, 22, 2089–2103. <https://doi.org/10.1007/s10346-025-02466-2>
- Jabeen, F., Al Zaidi, S., & Al Dhaheri, M.H. (2022), Automation and artificial intelligence in hospitality and tourism, *Tourism Review*, 77(4), 1043-1061. <https://doi.org/10.1108/TR-09-2019-0360>
- Jamini, D., Javan, F., & Atashbahar, R. (2026). Artificial Intelligence and Rural Tourism: An Applied Study in Tourism Sample Areas. *Tourism Management Studies*, 21(73), 315-354. <https://doi.org/10.22054/tms.2025.85190.3055> (In Persian)
- Javan, F., Jamini, D., & Atashbahar, R. (2026). Application of Machine Learning Algorithms in Flood Risk Management with Emphasis on Tourist- Oriented Rural Settlements (Case Study: the Bisotun Tourist Sample Area, Kermanshah Province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 15(1), 226-250. <https://doi.org/10.22067/geoh.2025.95982.1616> (In Persian)
- Jiang, W., Xi, J., Li, Z., Zang, M., Chen, B., Zhang, C., Liu, Z., Gao, S., Zhu, W. (2022). Deep Learning for Landslide Detection and Segmentation in High-Resolution Optical Images along the Sichuan-Tibet Transportation Corridor. *Remote Sensing*, 14, 5490. <https://doi.org/10.3390/rs14215490>
- Jong, F. C., Ahmed, M. M., Lau, W. K., & Lee, H. A. D. (2022). A new hybrid Artificial Intelligence (AI) approach for hydro energy sites selection and integration. *Heliyon*, 8(9). [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(22\)01926-0?uuiid=uiid%3A8860613e-c822-4283-9d2a-3c122c292002](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(22)01926-0?uuiid=uiid%3A8860613e-c822-4283-9d2a-3c122c292002)
- Kazemi, R., & Porhemmat, J. (2021). An Analysis of the factors Affecting Flooding Severity in Iran. *Watershed Management Research*, 34(1), 59-73. <https://doi.org/10.22092/wmej.2020.342597.1330> (In Persian)
- Knani, M., Echchakoui, S., & Ladhari, R. (2022). Artificial intelligence in tourism and hospitality: Bibliometric analysis and research agenda. *International Journal of Hospitality Management*, 107, 103317. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2022.103317>
- Kuhaneswaran, B., Chamanee, G., & Kumara, B. T. G. S. (2025). A comprehensive review on the integration of geographic information systems and artificial intelligence for landfill site selection: A systematic mapping perspective. *Waste Management & Research*, 43(2), 137-159. <https://doi.org/10.1177/0734242X241237100>
- Liu, Y., Huang, X., & Liu, Y. (2024). Detection of long-term land use and ecosystem services dynamics in the Loess Hilly-Gully region based on artificial intelligence and multiple models. *Journal of Cleaner Production*, 447. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141560>
- Meng, L., Yan, Y., Jing, H., Baloch, M.Y.J., Du, S.Y., & Du, S. (2024). Large-scale groundwater pollution risk assessment research based on artificial intelligence technology: A case study of Shenyang City in Northeast China. *Ecological Indicators*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112915>
- Nghia, B.P.Q., Pal, I., Chollacoop, N., Mukhopadhyay, A. (2022). Applying Google earth engine for flood mapping and monitoring in the downstream provinces of Mekong River. *Progress in Disaster Science*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2022.100235>
- Nosrati, M., Khezri, S., & Kazemi, A. (2022). The Investigation and Analysis of Natural Hazards and Human and Environmental Issues in Sanandaj for Providing Appropriate Solutions. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(1), 99-115. <https://doi.org/10.22067/geoh.2021.71620.1092> (In Persian)
- Pwavodi, J., Ibrahim, A.U., Pwavodi, P.C., Al-Turjman, F., & Mohand-Said, A. (2024). The role of artificial intelligence and IoT in prediction of earthquakes: Review. *Artificial Intelligence in Geosciences*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.aiig.2024.100075>
- Saberifar, R. (2025). Analyzing the effects of land use change on vegetation and surface temperature of the city and the response of urban managers to this trend (Case study: Mashhad city). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(1), 68-83. https://www.srds.ir/article_213418.html (In Persian)

- Sedaghati, A., Madahi, A., & Talebkhah, H. (2022). Modeling and forecasting the process of physical expansion and development of Bojnord city. *Human Geography Research*, 54(4), 1563-1585. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2021.329110.1008364> (In Persian)
- Shahabi, H., Jamini, D., Shirzadi, A., Sadeghi, H., Komasi, H., Elkhachy, I., Salvati, A., Clague, J.J., & Ghaderi, Z. (2026). Spatiotemporal dynamics of geotourism resilience: Machine learning methodologies and key insights. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 14(1), 91-107. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2026.02.004>
- Singh, P., Maurya, V., Dwivedi, R. (2021). Pixel-based landslide identification using Landsat 8 and GEE. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.-ISPRS Arch*, 43, 721-726. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-721-2021>
- Sy, H.M., Luu, C., Bui, Q.D., Ha, H., Nguyen, D.Q. (2023). Urban flood risk assessment using Sentinel-1 on the google earth engine: A case study in Thai Nguyen city, Vietnam. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100987>
- Tahernejad, A., Sahebi, A., Abadi, A.S.S., & Safari. M. (2024). Application of artificial intelligence in triage in emergencies and disasters: a systematic review. *BMC Public Health*, 24. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-20447-3>
- Tang, Y., Sun, Y., Han, Z., Soomro, S., Tan, B., & Hu, C. (2023). Flood forecasting based on machine learning pattern recognition and dynamic migration of parameters. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101406>
- Wu, Z., Wang, B., Li, M., Tian, Y., Quan, Y., & Liu, J. (2022). Simulation of forest fire spread based on artificial intelligence. *Ecological Indicators*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108653>
- Yaghoob Nejad ASL, N. (2023). The Role of Geomorphology in natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in Iran. *Geography and Human Relationships*, 5(4), 231-261. <https://doi.org/10.22034/gahr.2022.368878.1761> (In Persian)
- Zahabnazouri, S., Belmont, P., David, S., Wigand, P. E., Elia, M., & Capolongo, D. (2025). Detecting Burn Severity and Vegetation Recovery After Fire Using dNBR and dNDVI Indices: Insight from the Bosco Difesa Grande, Gravina in Southern Italy. *Sensors*, 25(10), 3097. <https://doi.org/10.3390/s25103097>