

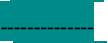
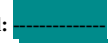
Flood Hazard Potential Zoning Using Machine Learning and Multi-Criteria Decision-Making Methods in the Izeh Basin, Northeast of Khuzestan Province

Ahad Nazarpour^{1*} , Arman Joveili²

1. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Geology, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Email: Ahad.Nazarpour@iau.ac.ir ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1616-5278>

2. MSc Student, Department of Remote Sensing and GIS, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Flooding is one of the most significant natural hazards, causing extensive human and economic losses every year. In this study, flood susceptibility mapping of Izeh County was carried out using nine influential factors, including distance to waterways, rainfall intensity, digital elevation model (DEM), land use/land cover, slope, vegetation cover, soil texture, erosion, and soil moisture. The weighting of these criteria was performed using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The results indicated that distance to waterways plays the most critical role in flood occurrence, followed by factors such as rainfall intensity, elevation, and land use. For a more detailed assessment, two artificial intelligence methods, Random Forest (RF) and Artificial Neural Network (ANN), were employed for flood hazard zoning. A comparison of the results demonstrated that the Random Forest model exhibited a higher capability in identifying high-risk areas and overall provided more accurate performance than the Artificial Neural Network model. The generated maps revealed that the western and central parts of Izeh, particularly areas adjacent to rivers, have the highest flood susceptibility, whereas regions such as Pian and Dehdaz fall within the low-risk category. Furthermore, multi-criteria decision-making analysis using the TOPSIS method indicated that the Eastern Susan and Morgha areas show higher vulnerability to flooding due to the high density of waterways and specific environmental conditions. Finally, by integrating the results obtained from the AHP, Random Forest, and Artificial Neural Network methods, a final flood susceptibility map of the region was produced. The integration of this map with the vulnerability map derived from the TOPSIS method resulted in a comprehensive flood hazard and vulnerability map. By utilizing remote sensing data and integrating multiple modeling approaches, this study enhanced the accuracy of flood hazard assessment and emphasized the importance of spatial planning, construction of flood control structures, dredging of waterways, implementation of early warning systems, and regulation of construction activities in high-risk areas.
Article history:	
Received: 	
Revised: 	
Accepted: 	
Published: 	
Keywords: Flood Hazard Mapping, Machine Learning, Random Forest, Multi-Criteria Decision-Making (MCDM), Izeh.	
How to Cite: Last Name, Initial., Last Name, Initial., & Last Name, Initial. (2021). Title of paper. <i>Journal of Natural Environmental Hazards</i> , -- (--), ----.	
 © The Author/Authors DOI: 00000000000000000000 Publisher: University of Sistan and Baluchestan	

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Floods, as one of the most frequent and destructive natural hazards, cause extensive damage worldwide each year (Negahban et al., 2025). In Iran, the mountainous regions of the Zagros range, particularly Izeh County, are highly prone to severe and flash floods due to their complex topography, Mediterranean precipitation regime, and relatively high average rainfall (Abdollahzadeh et al., 2023; Jankman, 2024). In recent years, the expansion of unauthorized construction within river corridors and extensive land-use changes have further intensified flood risk in the region (Jensi et al., 2023). Despite the significance of this issue, comprehensive studies that simultaneously assess both flood susceptibility and infrastructure vulnerability in this area remain limited. Previous research has demonstrated that integrating multi-criteria decision-making methods such as the Analytic Hierarchy Process (AHP) and TOPSIS with machine learning techniques within a Geographic Information System (GIS) framework is an effective approach for flood hazard mapping (Hejazi et al., 2015). Accordingly, to address the existing research gap, the present study employs nine hydrological and topographic factors, including distance to waterways, rainfall intensity, digital elevation model (DEM), and slope, and integrates AHP, machine learning models, and the TOPSIS method to identify flood-prone areas. Given empirical evidence indicating higher vulnerability in areas with dense drainage networks and limited road accessibility, this research aims to provide a scientific basis for flood risk management and the protection of critical infrastructure in Izeh County.

DATA AND METHODOLOGY

The present study was conducted with the aim of flood hazard zoning in Izeh County. For this purpose, nine flood-influencing criteria listed in the study were utilized. These criteria included distance from waterways, rainfall intensity, digital elevation model, slope, land use, vegetation cover, soil texture, erosion, and soil moisture index. The Analytical Hierarchy Process (AHP) was employed to assign weights to these criteria, and the weighting results are presented in Table 1. Subsequently, to delineate flood susceptibility zones, two machine learning models, Random Forest (RF) and Artificial Neural Network (ANN), were applied. In the vulnerability assessment section, the Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) multi-criteria decision-making method was used, incorporating three criteria: river density, road density, and main road density, to rank the sub-basins. Finally, the performance of the machine learning models was validated using the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve.

Table 1. Pairwise comparison matrix of exploratory layers and weights calculated using the Analytic Hierarchy Process (AHP)

Layers	Weights (%)
Digital Elevation Model (DEM)	15.6
Slope	11.8
Rainfall	17.8
Distance to river	19.2
Soil moisture	2.2
Land use/land cover	13.3
Soil texture	6.8
Vegetation differential index (NDVI)	8.9
Soil erosion	4.5

RESULTS AND DISCUSSION

The results of the Analytical Hierarchy Process (Table 1) indicated that three factors distance from waterways, rainfall intensity, and the digital elevation model received the highest weights in flood occurrence within the region. This highlights the significant role of hydrological and topographical factors in flood formation in Izeh County. In the evaluation of machine learning models, the Random Forest model demonstrated higher accuracy compared to the Artificial Neural Network model, suggesting its greater efficiency as a tool for hazard zoning in the area. Vulnerability analysis further revealed that the Eastern Sosen and Morgha sub-basins, due to high river density and poor road accessibility, exhibited the highest vulnerability. The final integrated hazard map (Figure 1), resulting from the combination of all analyses, clearly identified the western and central parts of Izeh County as areas of very high risk. This map serves as an effective management tool, as it highlights areas with both high flood susceptibility and vulnerability, enabling managers to prioritize preventive measures such as levee construction and infrastructure improvement.

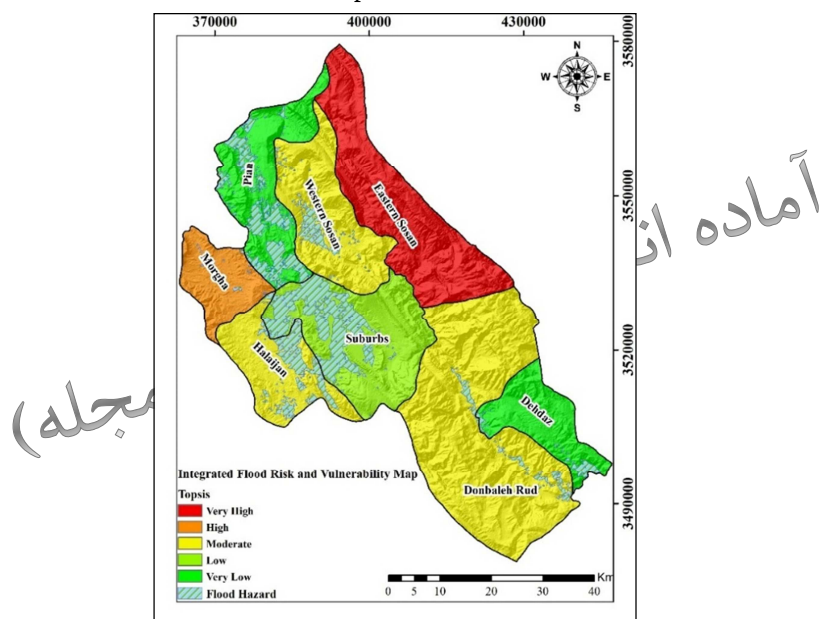


Figure 1: Integrated Flood Hazard and Vulnerability

CONCLUSION

The results of this study indicated that the western and central areas of Izeh County exhibit the highest flood susceptibility. Among the models applied for zoning, the Random Forest model outperformed the Artificial Neural Network model in accurately identifying these high-risk areas. The main contribution of this research lies in providing an integrated methodological framework that successfully synergizes the strengths of different analytical paradigms. This approach simultaneously employs expert knowledge-based weighting through the Analytical Hierarchy Process for evaluating input criteria and leverages the predictive capabilities of machine learning models (Random Forest and Artificial Neural Network) to model nonlinear spatial patterns of flood potential. The process is further complemented by the TOPSIS method, enabling a structured ranking of socio-economic vulnerability. This multifaceted integration overcomes the limitations of single-model assessments and demonstrates that such a combined methodology leads to a more comprehensive, robust, and reliable evaluation of flood hazard, accounting simultaneously for both the physical susceptibility of the region and the varying vulnerability of its sub-basins.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

REFERENCES

References (in Persian)

- Abdollahzadeh, S., & Sharifzadeh, M. S. (1402). Identifying the determinants of participation in flood risk mitigation measures: A study of rural areas exposed to flood in Golestan province. *Scientific Quarterly of Crisis Prevention and Management Knowledge*, 13(3), 318-335. <https://doi: 10.32598/DMKP.13.3.762.1>. [In Persian]
- Hejazi, A., Andaryani, S., Almaspour, F., & Mokhtari Asl, A. (1394). Using multi-criteria decision making and remote sensing techniques in GIS environment to investigate areas sensitive to flooding in Liqvan Chai basin. *Hydrogeomorphology*, 2(3), 61-80. <https://doi: 10.32598/DMKP.13.3.762.1>. [In Persian]
- Jensi, Z., Mahmoudi Chenari, H., Rahimpour Sheikhaninejad, M. A., Maskani, H., & Abedi, T. (1402). Layered analysis of the causes of instability of Iran's wetlands. *Majles and Rahbord*, 30(114), 5-39. <https://doi: 10.22034/mr.2022.5133.4932>. [In Persian]
- Mahmoudi, P., Fattahi, E., Heydari, M., Rigi, A., Ansari, A., Ghaemi, A., & Rezaei, J. (1404). Analysis of precipitation extremes trends in the Persian Gulf and Oman Sea Basin in Southern Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 14(44), 63-88. <https://doi: 10.22034/mr.2022.5133.4932>. [In Persian]
- Negahban, S., Ganja'iyan, H., Ebrahimi, A., & Gheysarian, S. S. (1404). Analysis of the roles of environmental factors in the occurrence of floods using the Google Earth Engine system (Case Study: West of Golestan Province). *Geography and Environmental Planning*, 35(4), 1-18. <https://doi: 10.22108/gep.2024.142342.1659>. [In Persian]

References (in English)

- Jonkman, S.N., Curran, A. & Bouwer, L.M. Floods have become less deadly: an analysis of global flood fatalities 1975–2022. *Nat Hazards* **120**, 6327–6342 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06444-0>.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

پهنه بندی پتانسیل خطر سیل خیزی با استفاده از روش های یادگیری ماشین و تصمیم گیری چند معیاره در حوضه ایذه شمال شرق استان خوزستان

احمد نظریور^{۱*}، آرمان جویلی^۲

۱. دانشیار گروه زمین شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران (نویسنده مسئول)

ایمیل: Ahad.Nazarpour@iau.ac.ir ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1616-5278>

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: --/--/-- تاریخ ویرایش: --/--/-- تاریخ پذیرش: --/--/-- تاریخ انتشار: --/--/-- واژه های کلیدی: نقشه پهنه بندی خطر سیل، یادگیری ماشین، جنگل تصادفی، تصمیم گیری چند معیاره، ایذه.	یکی از مخاطرات طبیعی مهم است که هر ساله موجب خسارات گسترده جانی و مالی می شود. در این پژوهش، پتانسیل یابی سیل خیزی شهرستان ایذه با استفاده از نه شاخص اثرگذار شامل فاصله از آبراهه، شدت بارش، مدل رقومی ارتفاع، کاربری اراضی، شیب، پوشش گیاهی، بافت خاک، فرسایش و رطوبت خاک انجام شد. وزن دهی این معیارها با روش تحلیل سلسله مراتبی انجام گرفت و نتایج نشان داد که شاخص فاصله از آبراهه بیشترین نقش را در بروز سیلاب دارد و پس از آن شاخص هایی مانند شدت بارش، ارتفاع و کاربری اراضی اهمیت بیشتری دارند. برای ارزیابی دقیق تر، از دو روش هوش مصنوعی شامل جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی جهت پهنه بندی خطر سیل استفاده شد. مقایسه نتایج نشان داد که مدل جنگل تصادفی توانایی بیشتری در شناسایی مناطق پرخطر داشته و در مجموع عملکرد دقیق تری نسبت به شبکه عصبی ارائه کرده است. تهیه شده نشان دادند که مناطق غربی و شمال غربی شهرستان ایذه، به ویژه نواحی نزدیک به رودخانه ها با شیب ملایم تر، بیشترین پتانسیل سیل خیزی را دارند. در مقابل، بخش هایی با شیب تندتر و دورتر از آبراهه ها، در دسته مناطق کم خطر قرار می گیرند. همچنین تحلیل تصمیم گیری چندمعیاره تاپسیس مشخص کرد که نواحی شمال شرقی و غرب به دلیل تراکم بالای آبراهه ها و شرایط محیطی خاص، آسیب پذیری بیشتری نسبت به سیلاب دارند. در پایان، با ترکیب نتایج حاصل از سه روش تحلیل سلسله مراتبی، جنگل تصادفی و شبکه عصبی، نقشه نهایی پهنه بندی سیل خیزی منطقه تهیه شد. ادغام این نقشه با نقشه آسیب پذیری حاصل از روش تاپسیس، نقشه جامع خطر و آسیب پذیری سیل را فراهم ساخت. این پژوهش با بهره گیری از داده های سنجش از دور و تلفیق مدل های متعدد، دقت تحلیل را افزایش داد و بر اهمیت برنامه ریزی، احداث سیل بند، لایروبی آبراهه ها، سامانه های هشدار زودهنگام و کنترل ساخت و ساز در مناطق پرخطر تأکید کرد.

استناد: نام خانوادگی، نام؛ نام خانوادگی، نام؛ و نام خانوادگی، نام (۱۴۰۰). عنوان مقاله. مخاطرات محیط طبیعی، -- (--)، ----

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

مقدمه

سیل یکی از اصلی ترین بلاهای طبیعی است که خسارات وارده از آن نسبت به سایر بلایا طبیعی، نظیر زلزله و خشکسالی بیشتر است (چاودهری^۱ و پیرشا^۲، ۲۰۲۱). سیل یک پدیده هیدرولوژیکی است که در آن تراز آب یا دبی جریان از ظرفیت طبیعی بستر رودخانه فراتر می رود و موجب آب گرفتگی موقت اراضی خشک می شود. این رخداد معمولاً در نتیجه بارش های شدید، ذوب برف، طغیان رودخانه، یا نارسایی سازه های کنترل سیلاب به وجود می آید. (چورچ^۳ و جیکوب^۴، ۲۰۲۰). تحقیقات مختلف تأکید بر این موضوع دارند که توجه نکردن و اهمیت ندادن به حریم مسیل ها و رودخانه باعث تشکیل یک بزرگ نمایی در فراوانی وقوع سیلاب و مقیاس خسارات وارد گردیده است (شاه^۵ و همکاران، ۲۰۲۳). در حوضه های آبخیز شناسایی مناطق دارای پتانسیل سیل خیزی زیاد^۶، کمک موثری در برنامه های زیرساختی مربوط به توسعه روستایی، کشاورزی صنعتی می کند (رضایی مقدم و همکاران، ۱۴۰۲). علاوه بر این آگاهی از وضعیت شناخت مناطق سیل خیز باعث کمک به برنامه ریزی به منظور بهره برداری بهینه از منابع طبیعی و کاهش خسارت های مالی به بخش های مختلف می شود (رحمان^۷ و همکاران، ۲۰۲۴). سیلاب ها نه تنها در محدوده برون شهری، بلکه در محدوده شهری نیز تخریب های بیشماری به وجود می آورند. تشدید این تخریب ها به ویژه در محدوده شهری کثرت از محدوده های بیرون شهری است (مرز^۸ و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین بر اساس مشاهدات میدانی در طول تاریخ و همچنین پژوهش های انجام شده، سکونت گاه های انسان مشمول بیشترین پتانسیل خطرپذیری از سیل هستند (همتی^۹ و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین لازم به ذکر است که تغییرات انسانی ایجاد شده در الگوی طبیعی سیستم های زه کشی^{۱۰} از جمله عوامل اصلی رخداد سیلاب و زیان های وارده هستند (دهارمارانتنه^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۴). به دلیل بالا بودن زیان های سیلاب در شهرها و سکونت گاه های انسانی در حریم رودخانه، تغییر الگوی زه کشی طبیعی حوضه ها در نتیجه گسترش شهرنشینی، تخریب پوشش گیاهی^{۱۲} و منابع طبیعی در حوضه های آبریز مرتبط با محیط های شهری است. طبق بررسی های انجام شده توسط پایگاه داده بلایا بین المللی از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۶ حدود هفت میلیون نفر در اثر سیل کشته شده اند و همچنین بیش از ۷۰۰ میلیارد دلار خسارت در سراسر جهان به بار آورده است. (پاپرونتنی^{۱۳} و همکاران، ۲۰۲۴). سیل با آسیب های وارده به زیر ساخت ها، اقتصاد، فعالیت های اجتماعی، پایداری محیط را تهدید کرده و باعث سخت تر شدن زندگی می شود (سیا^{۱۴} و پاستابیل^{۱۵}، ۲۰۲۲). افزایش سطوح نفوذناپذیر، که نشأت گرفته از احداث ساختمان در خاک نفوذپذیر است، قاعدتاً از سطوح نفوذپذیر حوضه، که قادر به جذب بخشی از بارش است، کاسته و در نتیجه

¹ Chaudhary

² Piracha

³ Church

⁴⁴ Jakob

⁵ Shah

⁶ Flood Hazard

⁷ Rahman

⁸ Merz

⁹ Hemmati

¹⁰ Drain

¹¹ Dharmarathne

¹²¹² Normalized Difference Vegetation Index

¹³ Paprotny

¹⁴ Cea

¹⁵ Costabile

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

بر حجم کل رواناب^۱ شهر می افزاید. رسوبگذاری^۲ باعث تغییرات مورفولوژیکی^۳ شده و در امتداد آن دخالت های انسانی تند باعث تغییر دینامیک رسوبات در هر واقعه سیلاب شود (حمیدی فر^۴ و همکاران، ۲۰۲۴). با توجه به اینکه نمی توان به صورت کامل از خطرات سیلاب در امان ماند؛ ولی زیستن در کنار سیلاب و سیاست گذاری های جدید مبتنی بر مدیریت کاربری اراضی^۵ و توسعه حریم رودخانه^۶ به منظور کاهش اثرات آن ضروری است (فرضی و همکاران، ۱۴۰۱). بررسی آمار و اطلاعات خسارات ناشی از رخداد سیلاب در تمامی جهان علی الخصوص ایران، نشان دهنده گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی و انسانی است (اکبری^۷ و همکاران، ۲۰۲۳). خطر سیلاب طی زمان افزایش پیدا کرده است، به ویژه پس از اینکه کشورها تصمیم به تایید مجوز ساخت و ساز در دشتهای سیلابی گرفتند (درسرکیشن^۸ و همکاران، ۲۰۲۲). امروزه با دسترسی به تصاویر ماهواره ای و داده های نقشه ای، امکان شبیه سازی پاسخ حوضه آبخیز به یک بارش با خصوصیات معین با کمک مدل های توزیعی نیز وجود دارد. مدل هایی که در آن ها توزیع مکانی خصوصیات بارش و حوضه سیل خیز لحاظ می شود، به مدل های هیدرولوژیکی توزیعی معروف هستند (ترینج^۹ و ملکنتین^{۱۰}، ۲۰۲۱). پهنه بندی خطر سیل، در واقع راه کاری کلیدی برای آگاهی و مدیریت خطرهای سیل به منظور کاهش آن و همچنین ابزاری مفید برای کنترل و مدیریت کاربری اراضی و برنامه ریزی برای توسعه، هم زمان با کنترل خطرهای ناشی از سیل و محافظت از محیط زیست است (درسرکیشن و همکاران، ۲۰۲۲). در بازه سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ تقریباً ۹۹ میلیون نفر در سال توسط سیلاب در جهان تحت تأثیر قرار گرفته اند (حمیدی فر و همکاران، ۲۰۲۴). از نقشه پتانسیل سیل خیزی می توان به منزله ای ابزاری موثر در برنامه ریزی مسیر توسعه آینده شهر و همچنین شناخت نواحی ای که توسعه زیرساخت های تخلیه و زه کشی سیلاب مورد نیاز است استفاده کرد (احمد^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۴). به منظور پیش بینی دامنه خسارات ناشی از سیلاب در شرایط مختلف و توجیه اقتصادی و اجتماعی، برنامه های کنترل و مهار سیلاب در پهنه بندی خطر سیل ضروری می نماید (کاگوئند و همکاران، ۱۴۰۳). پهنه بندی خطر سیلاب با هدف به کارگیری در برنامه ریزی و مدیریت در کنترل و مهار سیل تاکنون در ایده مورد توجه نبوده و در قالب طرح تحقیقاتی و حتی مطالعاتی فعالیت چندانی در این زمینه انجام نگرفته. با وجود افزایش مطالعات مرتبط با پهنه بندی حساسیت سیلاب با استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره مبتنی بر GIS و الگوریتم های یادگیری ماشین، اغلب پژوهش های پیشین عمدتاً بر ارزیابی مخاطره یا حساسیت سیلاب به صورت مجزا تمرکز داشته اند. در حالی که در بسیاری از مناطق، از جمله شهرستان ایذه، مطالعات جامعی که به صورت هم زمان به ارزیابی حساسیت سیلاب و آسیب پذیری زیرساخت های حیاتی در قالب یک چارچوب یکپارچه مکانی بپردازند، محدود بوده است. با توجه به ویژگی های توپوگرافی پیچیده منطقه، رژیم بارش مدیترانه ای، تغییرات کاربری اراضی و توسعه های انسانی در حریم رودخانه ها، انجام یک ارزیابی جامع از خطر سیلاب ضروری به نظر می رسد. در این پژوهش، به منظور

1 Runoff

2 Sedimentation

3 Morphological

4 Hamidifar

5 Land Use/ Land Cover (LULC)

6 River Buffer Zone

7 Akbari

8 Der Sarkissian

9 Trinh

10 Molkenthin

11 Ahmed

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

پهنه‌بندی دقیق‌تر و جامع‌تر خطر سیلاب در شهرستان ایزده، از ترکیبی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل‌های یادگیری ماشین استفاده شد. بدین منظور، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی برای وزندهی معیارهای مؤثر بر سیل‌خیزی به کار گرفته شد و مدل‌های یادگیری ماشین شامل شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی برای شناسایی مناطق مستعد سیلاب مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها، از روش TOPSIS بهره گرفته شد. تلفیق این روش‌ها در محیط GIS امکان تحلیل جامع‌تری از الگوهای خطر سیلاب را فراهم می‌کند.

داده‌ها و روش‌ها

به منظور پیاده‌سازی مدل‌های حساسیت‌سنجی سیلاب شامل جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی و همچنین ارزیابی آسیب‌پذیری با مدل TOPSIS، پایگاه داده مکانی حوزه آبریز ایزده با استفاده از ۹ عامل محیطی و هیدروژئومورفولوژیکی تشکیل گردید. عوامل منتخب شامل فاصله از آبراهه، شدت بارندگی، ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، بافت خاک، فرسایش و شاخص رطوبت خاک هستند.

به منظور یکسان‌سازی پایگاه داده مکانی و فراهم شدن امکان پردازش هم‌زمان لایه‌ها، تمامی نقشه‌های رقومی در یک سیستم مختصات یکسان زمین‌مرجع شده و با قدرت تفکیک مکانی یکسان آماده‌سازی شدند. همچنین، به منظور افزایش کارایی مدل‌های یادگیری ماشین، متغیرهای پیوسته پس از آماده‌سازی، نرمال‌سازی شدند. داده‌های مربوط به موقعیت‌های سیلابی تاریخی نیز بر اساس سوابق ثبت‌شده و پیمایش‌های میدانی استخراج و به عنوان مبنای آموزش و ارزیابی عملکرد مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. مشخصات، مقیاس و منابع تهیه هر یک از داده‌ها مطابق (جدول ۱) می‌باشد.

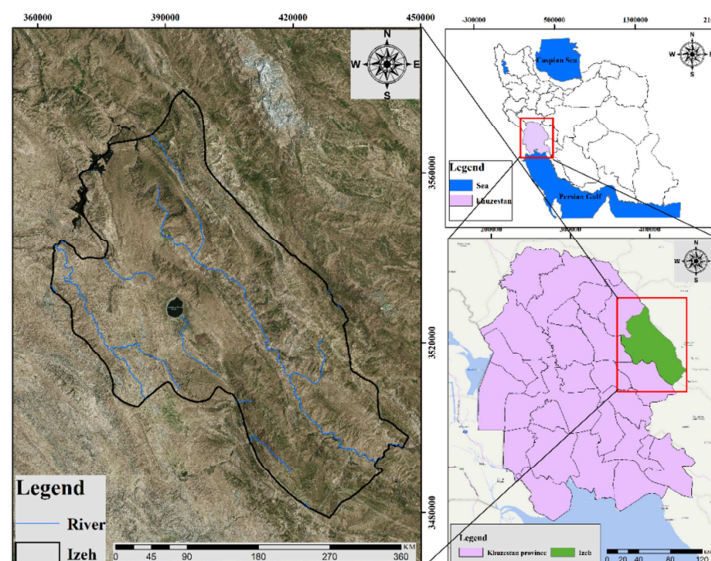
جدول ۱. عوامل مؤثر بر سیلاب و منابع داده‌های مورد استفاده در پژوهش.

ردیف	عامل	نوع داده	قدرت تفکیک مکانی / مقیاس	منبع داده
۱	مدل رقومی ارتفاع	رستری	۳۰ متر	SRTM (USGS EarthExplorer)
۲	شیب	رستری	۳۰ متر	استخراج شده از DEM
۳	فاصله از آبراهه	رستری	۳۰ متر	استخراج شده از شبکه آبراهه با تحلیل فاصله اقلیدسی
۴	شدت بارندگی	رستری	۳۰ متر	داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و درون‌یابی مکانی
۵	شاخص رطوبت خاک	رستری	۳۰ متر	استخراج شده از DEM / شاخص‌های توپوگرافی
۶	کاربری اراضی	رستری	۳۰ متر	تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8
۷	پوشش گیاهی	رستری	۳۰ متر	تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8
۸	فرسایش خاک	برداری / رستری	۱:۱۰۰/۰۰۰	سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور
۹	بافت خاک	برداری / رستری	۱:۱۰۰/۰۰۰	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

منطقه مورد مطالعه

شهرستان ایذه واقع در شمال شرق استان خوزستان، در پهنه‌ای به مساحت ۲۳۲۹/۱ کیلومترمربع، در دشتی بیضی‌شکل قرار دارد (اسماعیل‌زاده^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). این منطقه براساس تقسیمات کشوری شهرستان ایذه از شمال با لردگان، از شمال غرب و غرب با مسجد سلیمان، از شرق با چهارمحال و بختیاری، از جنوب شرقی و جنوب با باغ ملک و کهگیلویه و بویراحمد مرز مشترک دارد این محدوده مطالعاتی دارای دو بخش ایذه و دهدز و ده دهستان می باشد (شکل ۱). ایذه از لحاظ اقلیم تفاوت چشم‌گیری با دشت خوزستان دارد (اسماعیل‌زاده و همکاران، ۲۰۲۴). که این تفاوت‌ها ناشی از رشته ارتفاعات شرق استان است. وجود سدهای مخزنی بزرگ، همچون کارون ۳ و شهید عباسپور تأثیر بسیار زیادی در شرایط اقلیمی این منطقه دارند. متوسط دمای شهرستان ایذه ۲۰ درجه سانتی گراد می باشد (حجازی^۲ و همکاران، ۱۴۰۳).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان خوزستان، و شهرستان ایذه.

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در روش تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از روش‌های متداول تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در آن بر اساس قضاوت کارشناسی و مقایسات زوجی، به معیارها و زیرمعیارها وزن اختصاص داده می‌شود (ساحا و روی، ۲۰۲۱). در این روش، لایه‌های مورد استفاده در مدل‌سازی بر اساس میزان اهمیت نسبی آن‌ها نسبت به یکدیگر وزن‌دهی شده و در نهایت تلفیق لایه‌ها برای تولید نقشه نهایی انجام می‌شود (ساحا و روی، ۲۰۲۱؛ نظری‌پور و همکاران، ۲۰۲۴).

روش AHP نخستین بار توسط ساعتی (۱۹۹۰) معرفی شد و به صورت یک ساختار سلسله‌مراتبی برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره به کار می‌رود. این ساختار معمولاً شامل سه سطح اصلی است: هدف در سطح اول، معیارها و زیرمعیارها در سطح میانی و گزینه‌ها در سطح نهایی (دونگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ نظری‌پور و همکاران، ۲۰۲۴).

¹ Esmailzadeh

² Hejazi

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

در این روش، معیارهای سطح میانی از طریق مقایسات زوجی و با استفاده از مقیاس پیشنهادی ساعتی (۱۹۹۰) از حالت کیفی به کمی تبدیل شده و بر اساس اهمیت نسبی رتبه بندی می شوند (توانا و همکاران، ۲۰۲۳؛ نظری پور و همکاران، ۲۰۲۴). ماتریس مقایسه زوجی برای n معیار مختلف مطابق رابطه (۱) تعریف می شود (ساعتی، ۱۹۹۰).

$$A = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & \alpha_{nn} \end{bmatrix}, \alpha_{ij} > 0; \alpha_{ij} = \frac{1}{\alpha_{ji}}; \alpha_{ii} = 1 \forall i. \quad (1)$$

و در نهایت مقادیر وزنی مناسب لایه ها و زیرلایه ها طبق (رابطه ۲) محاسبه می گردد که در آن W بردار وزنی و بالاترین مقدار ویژه ماتریس می باشد.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

$$AW = \lambda_{max} \cdot W \quad (3)$$

روش تاپسیس

روش تاپسیس^۱ یکی از روش های تصمیم گیری چندمعیاره است که توسط Yoon و Hwang معرفی شد. در این روش، گزینه مطلوب باید کمترین فاصله را از راه حل ایده آل مثبت و بیشترین فاصله را از راه حل ایده آل منفی داشته باشد. مراحل اجرای این روش در پژوهش حاضر شامل: (۱) تشکیل ماتریس تصمیم بر اساس لایه های اطلاعاتی مورد استفاده در مطالعه، (۲) نرمال سازی ماتریس تصمیم، (۳) تشکیل ماتریس نرمال شده موزون با استفاده از وزن معیارها، (۴) تعیین راه حل ایده آل مثبت و منفی، (۵) محاسبه فاصله هر گزینه از راه حل های ایده آل مثبت و منفی و (۶) محاسبه شاخص نزدیکی نسبی (CL^*) و رتبه بندی گزینه ها است. شاخص نزدیکی نسبی از رابطه زیر به دست می آید:

$$CI i^* = S i^+ / (S i^+ + S i^-)$$

که در آن S_i^+

فاصله هر گزینه از راه حل ایده آل مثبت و S_i^-

فاصله آن از راه حل ایده آل منفی است. در نهایت، گزینه هایی که مقدار CI_i^*

بزرگتری دارند در رتبه بالاتری قرار می گیرند.

جنگل تصادفی

جنگل تصادفی یک تکنیک یادگیری ماشین برای یادگیری گروهی است. بر اساس نمونه های Bootstrap، یک درخت تصمیم ساخته شد. (غیائی^۲ و زنده بودی^۳، ۲۰۲۱).

$$W(A) = \alpha v_k \max_B \sum_{i=1}^K I(\omega_i(A) = B) \quad (4)$$

که در آن $W(A)$ ترکیب مدل را نشان می دهد $i\omega$. نشان دهنده یک درخت تصمیم منفرد است. B متغیر خروجی است و $I(\cdot)$ تابع شاخص می باشد.

¹ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

² Ghiasi

³ Zendeheboudi

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

$$mg(A, B) = \alpha v_k I(Wk(A) = B) - \max_{j \neq B} \alpha v_k I(\omega_k(B) = j) \quad (5)$$

معادله (۲) اعتبار مدل را محاسبه می کند. هرچه مقدار تابع بیشتر باشد، طبقه بندی مدل قابل اعتمادتر خواهد بود. بیان تعمیم پذیری طبقه بندی به صورت زیر است:

$$PQ^* = P_{ab}(mg(A, B) < 0) \quad (6)$$

که در آن (A, B) نشان دهنده قابلیت اجرا است. با افزایش تعداد درختان تصمیم، دنباله PQ به PQ* می رسد.

$$P_{ab}(P_{\theta}(\omega(A, \theta) = B) \max P_{\theta}(\omega(A, \theta) = J) < 0) \quad (7)$$

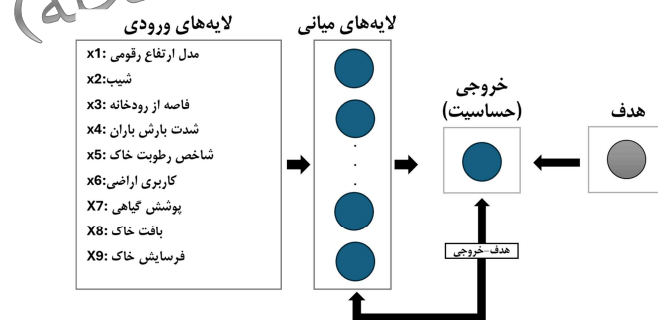
این معادله نشان می دهد که خطای تعمیم با افزایش تعداد درختان کاهش می یابد. علاوه بر این، با استفاده از RF که پایدار بوده و عملکرد خوبی دارد، این نقص برطرف می شود.

شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی ابزاری کارآمد برای تحلیل و پیش بینی سیل خیزی است و می تواند بر اساس الگوی زمین لغزش های گذشته، مناطق مستعد و غیرمستعد را شناسایی کند (لوسشسه^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). این شبکه ها معمولاً شامل سه لایه ورودی، مخفی و خروجی هستند که مقادیر ورودی با وزن های متناظر ترکیب شده و با استفاده از بایاس و تابع فعال سازی پردازش می شوند (شکل ۲). وزن ها و بایاس ها از طریق الگوریتم های بهینه سازی تعیین می شوند تا شبکه بیشترین تطابق را با داده های مشاهده شده داشته باشد.

$$v = f[\sum_{i=1}^n \omega_{ji} u_i + \beta] \quad (8)$$

معادله فوق نشان می دهد که نورون های ورودی u_i و نورون های خروجی v توسط وزن های ω_{ji} به یکدیگر متصل شده اند، در حالی که β نمایانگر بایاس است.



شکل ۲: ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی چند لایه طراحی شده برای نگاشت حساسیت سیل خیزی محدوده مطالعاتی.

منحنی ROC و معیار AUC

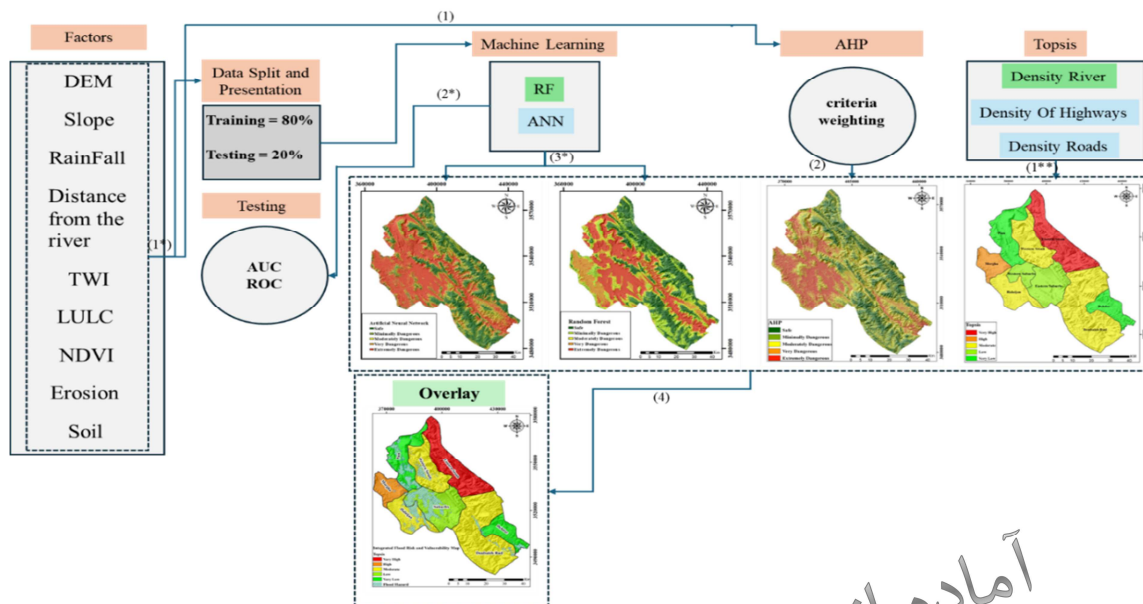
منحنی های ROC به طور رایج برای بررسی صحت مدل های نقشه برداری حساسیت سیل خیزی استفاده می شوند و مقدار AUC می تواند نتایج پیش بینی دقیق را مشخص کند طبقه بندی با مقادیر بالای ROC دقیق تر است (ژائو^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). مقدار AUC می تواند مشخص کند که آیا نمونه ها مثبت یا منفی هستند. نمونه های مثبت واقعی TP انتظار می رود که مثبت باشند، در حالی که نمونه های منفی کاذب FN انتظار می رود که منفی باشند. همچنین،

¹ Lucchese

² Zhao

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

نمونه‌های مثبت کاذب (FP) انتظار می‌رود که مثبت تفسیر شوند. برای ایجاد منحنی‌های ROC، باید دو متغیر محاسبه شوند: ویژگی و حساسیت که از معادلات زیر استخراج می‌شوند.



شکل ۳: ساختار کلی پتانسیل سیل‌خیزی و آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه

بحث و نتایج تحقیق

در این پژوهش، ۹ معیار کلیدی شامل مدل رقومی ارتفاع، شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، شدت بارش، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، بافت خاک، پوشش گیاهی و نرخ فرسایش خاک جهت پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی مورد تحلیل قرار گرفتند.

عوامل توپوگرافیک و هیدرومورفولوژیک، بررسی مدل رقومی ارتفاع منطقه (شکل ۴ الف) نشان‌دهنده استقرار نواحی کم‌ارتفاع در بخش‌های غربی و شمال غربی حوضه است که به دلیل ماهیت کاهنده پتانسیل ثقلی، قانون تجمع آب‌های سطحی محسوب می‌شوند. به موازات آن، تحلیل لایه شیب (شکل ۴ ب) تأیید کرد که مناطق مرتفع در شمال، شرق و جنوب غرب به دلیل تندی شیب و افزایش سرعت رواناب، خطر سیل‌خیزی کمتری دارند؛ در حالی که اراضی با شیب ملایم در غرب و شمال غرب، بیشترین استعداد آب‌گرفتگی را دارا هستند. همچنین، شاخص رطوبت توپوگرافی نشان داد که تلاقی ارتفاع کم و شیب ملایم در این مناطق، منجر به افزایش رطوبت اولیه خاک و اشباع سریع‌تر دامنه می‌گردد که مستقیماً پتانسیل وقوع سیلاب را تشدید می‌کند (شکل ۴ ث). در نهایت، تحلیل فاصله از رودخانه (شکل ۴ ت) بیانگر آن است که حریم بلافاصله آبراهه‌ها، به عنوان مجاری اصلی تخلیه جریان، بحرانی‌ترین نقاط در مواجهه با طغیان‌های فصلی هستند.

در حوزه عوامل اقلیمی و فرسایش، مطالعه شدت بارش (شکل ۴ پ) حاکی از تمرکز بیشترین میزان نزولات در غرب، شمال غرب و بخش‌هایی از جنوب شرقی است که با توجه به رابطه مستقیم شدت بارندگی با تولید رواناب، این نواحی در معرض ریسک بالایی قرار دارند. ضمناً در این مطالعه، نرخ فرسایش خاک در محدوده ایذه با استفاده از

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

مدل جامع اتلاف خاک^۱ در پلتفرم گوگل ارث انجین ارزیابی گردید (شکل ۴ خ). این تحلیل که بر پایه پارامترهایی نظیر فرساینده‌گی باران، فرسایش‌پذیری خاک و اقدامات مدیریتی استوار است، نشان داد که کلاس‌های شدت فرسایش با الگوی سیل‌خیزی منطقه همپوشانی معناداری دارند.

در بررسی ویژگی‌های سطحی و بیوفیزیکی، تأثیر کاربری اراضی و پوشش گیاهی (شکل ۴ ج و ح) مورد واکاوی قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد اراضی شهری، کشاورزی و پهنه‌های رسی به دلیل نفوذپذیری اندک، تولید رواناب را تسریع می‌کنند، در حالی که پوشش‌های جنگلی و مراتع متراکم با افزایش زمان تمرکز و جذب بخشی از جریان، نقش بازدارنده در وقوع سیلاب ایفا می‌کنند. همچنین از منظر بافت خاک (شکل ۴ چ)، زمین‌های نامناسب و پهنه‌های آبی با کمترین نرخ نفوذپذیری، بیشترین سهم را در تولید جریان‌های سطحی دارند، در مقابل خاک‌های صخره‌ای و جدید در شرایط مطلوب‌تری از نظر زهکشی قرار گرفته‌اند.

پس از تعیین فاکتورها، وزن‌دهی معیارها بر اساس نظرات کارشناسی و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شد که در آن، فاصله از آبراهه بالاترین وزن و اهمیت را به خود اختصاص داد (جدول ۲). خروجی نهایی حاصل از تلفیق این لایه‌ها، نقشه سیل‌خیزی شهرستان ایزه را تولید نمود (شکل ۶). طبق این نقشه، بخش‌های مرکزی شهرستان و منطقه دهدز به دلیل مجاورت با رودخانه‌ها، ارتفاع کم، پوشش گیاهی ضعیف و بارش‌های موسمی، در کلاس‌های پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفتند (جدول ۳). این در حالی است که مناطق مرتفع غربی و شرقی با پوشش گیاهی مناسب، کمترین میزان آسیب‌پذیری را نشان داده و در کلاس‌های خطر متوسط تا بی‌خطر طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۲: ماتریس مقایسه زوجی لایه‌های اکتشافی و آوزان محاسبه شده توسط روش AHP.

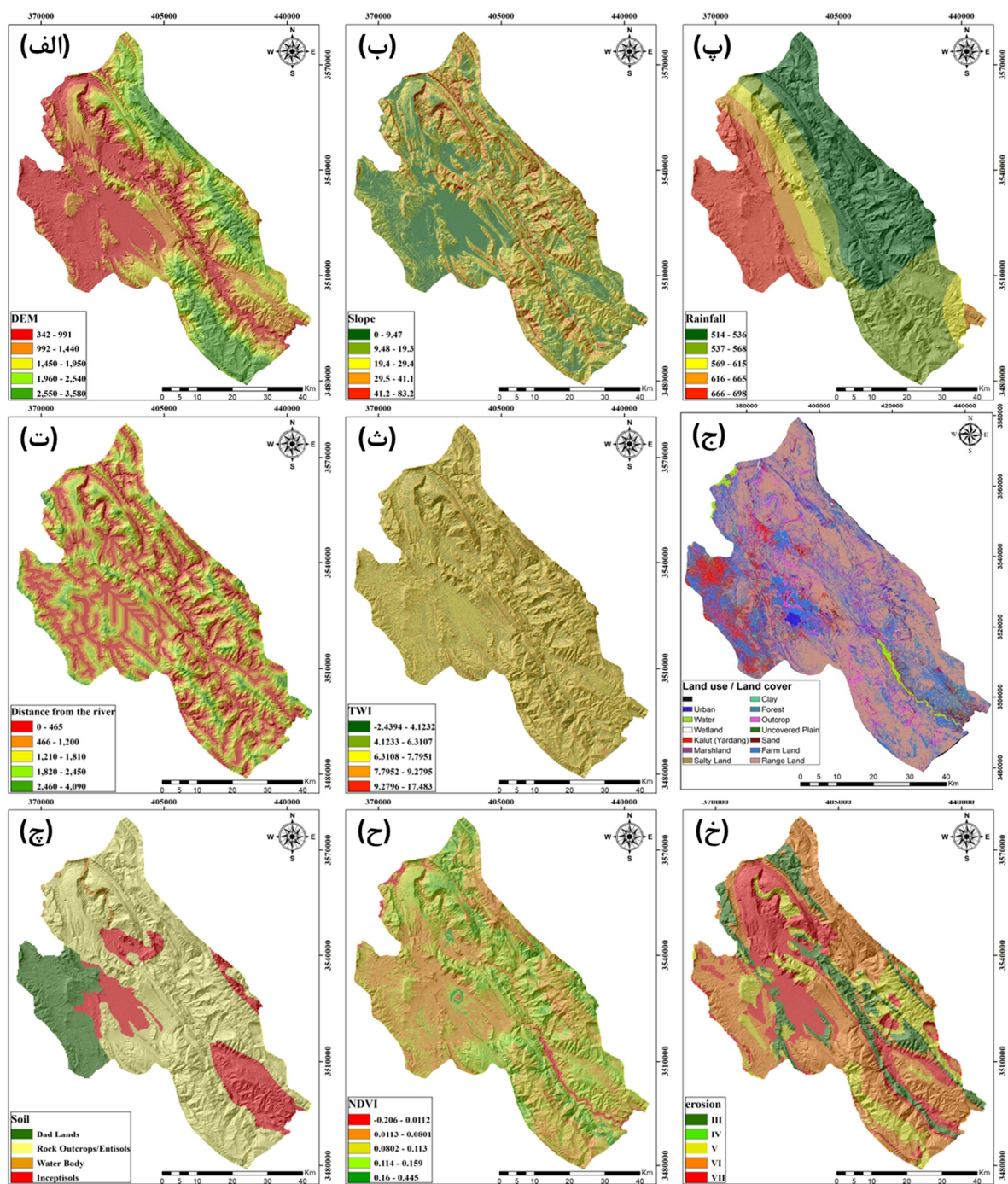
Layers	Weighs
DEM	%15.60
Slope	%11.80
Rainfall	%17.80
Distance from the river	%19.20
TWI	%2.20
LULC	%13.30
Soil	%6.80
NDVI	%8.90
Erosion	%4.50

جدول ۳: مساحت خطرپذیری هر منطقه (Km^2) بر اساس تحلیل سلسله مراتبی.

district	Vulnerability	Area (Km^2)
Donbaleh Rud	Very Low	547
Western Susan	Low	1008
Pian, eastern Susan	Moderate	831
Dehdez	High	734
Morgha, Halaijan, suburbs	Very High	668

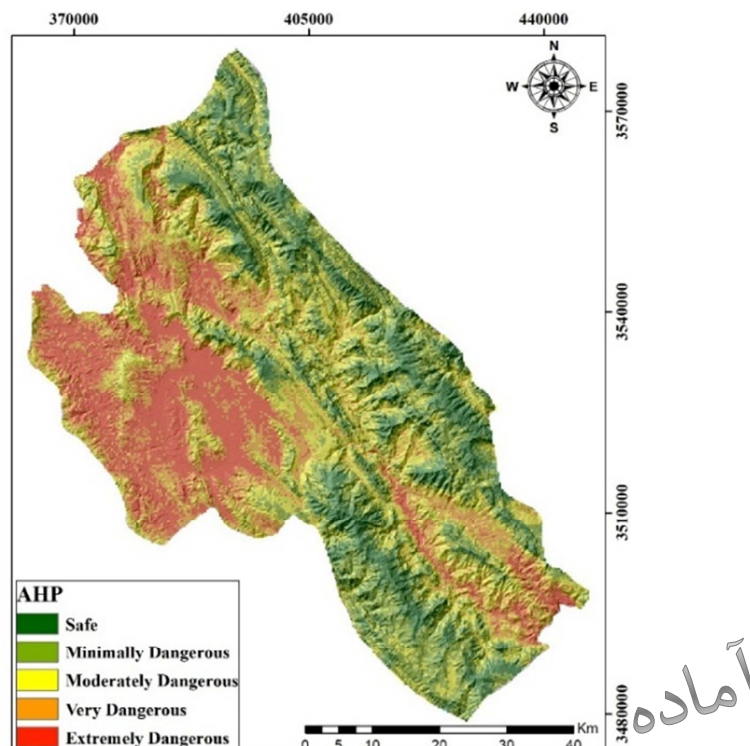
¹ RUSLE

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۴: (الف) نقشه ارتفاع محدوده مورد مطالعه، (ب) نقشه شیب محدوده مورد مطالعه، (پ) نقشه بارندگی محدوده مورد مطالعه، (ت) نقشه فاصله از رودخانه محدوده مورد مطالعه، (ث) نقشه رطوبت خاک محدوده مورد مطالعه، (ج) نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه، (چ) نقشه بافت خاک محدوده مورد مطالعه، (ح) نقشه پوشش گیاهی نرمال شده محدوده مورد مطالعه و (خ) نقشه فرسایش خاک محدوده مورد مطالعه

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

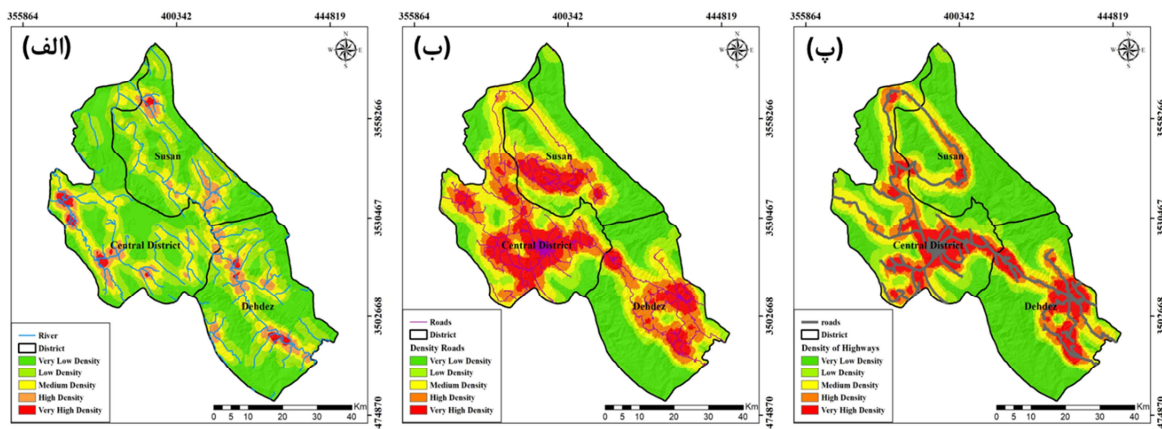


شکل ۶: نقشه نهایی خطر سیل خیزی ایذه براساس تحلیل سلسله مراتبی

نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرستان ایذه با استفاده از روش تاپسیس براساس معیارهای تراکم رودخانه‌ها، تراکم جاده‌ها و جاده‌های اصلی تهیه شد. بررسی نتایج نشان داد که بخش سوسن شرقی بیشترین آسیب‌پذیری را دارد و در کلاس خیلی زیاد قرار می‌گیرد، زیرا تراکم بالای رودخانه‌ها و توپوگرافی ناهموار، خطر سیل‌های ناگهانی را افزایش می‌دهد. بخش مرغا با تراکم نسبی رودخانه و دسترسی پایین به جاده، در دسته آسیب‌پذیری زیاد قرار گرفت (جدول ۸). سوسن غربی، هلايجان و دنباله رود در کلاس متوسط قرار دارند و بخش‌های حومه غربی و شرقی مرکزی کمترین آسیب‌پذیری را نشان می‌دهند. همچنین، مناطق پيان و دهدز در کلاس خیلی کم دسته‌بندی شده‌اند، زیرا تراکم رودخانه‌ها و خطر سیل در این نواحی پایین است. نتایج نشان می‌دهد که مناطق با تراکم بالای رودخانه‌ها و شبکه جاده‌ای محدود در معرض خطر بیشتری هستند، در حالی که تراکم بیشتر جاده‌ها دسترسی سریع‌تر به نواحی مختلف و توزیع بهتر جریان سیلاب را فراهم می‌کند (شکل ۸).

رودخانه‌ها و شبکه جاده‌ها از عوامل مؤثر بر رفتار سیلاب در شهرستان ایذه هستند. رودخانه‌ها به دلیل جریان پرحجم و سریع آب، مناطق نزدیک به خود را بیشترین آسیب‌پذیری قرار می‌دهند (شکل ۷ الف). نقشه تراکم رودخانه‌ها نشان می‌دهد بیشترین تجمع آب در بخش سوسن در غرب و مرکز شهرستان و بخش مرکزی در جنوب‌غرب تا شمال‌غرب رخ می‌دهد، در حالی که بخش دهدز در جنوب کمترین تراکم رودخانه‌ها را دارد و استعداد سیل‌خیزی در آن کمتر است (شکل ۷ ب). تراکم جاده‌ها و مسیرهای اصلی نیز بر رفتار سیلاب و جریان آن اثرگذار است. مناطق با شبکه جاده‌ای متراکم شامل بخش مرکزی، جنوب‌غرب، بخش‌هایی از جنوب‌شرقی و کریدور شمال‌شرقی هستند، در حالی که نواحی شمالی، بخش‌های روستایی غربی و نوک جنوبی دهدز کمترین تراکم جاده‌ها را دارند (شکل ۷ پ).

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۷: (الف) نقشه تراکم رودخانه محدوده مورد مطالعه، (ب) نقشه تراکم جاده‌های محدوده مورد مطالعه و (پ) نقشه تراکم جاده‌های اصلی محدوده مورد مطالعه

ماتریس نرمال شده وزنی

مقادیر استاندارد شده هر بخش را نسبت به سه معیار تراکم رودخانه، تراکم جاده‌های اصلی و تراکم جاده‌ها پس از اعمال اوزان نشان می‌دهد. مقایسه داده‌ها بیانگر آن است که بخش‌های حومه غربی و دهدز در شاخص‌های هیدرولوژیکی بیشترین مقادیر را دارند، در حالی که بیان با امتیاز ۰/۳۸ در تراکم جاده‌ها از وضعیت متمایزی برخوردار است. این ماتریس با ترسیم تصویر دقیقی از تفاوت‌های فضایی، مبنای اصلی محاسبات تاپسیس برای اولویت‌بندی نهایی آسیب‌پذیری سیلاب را فراهم می‌آورد (جدول ۴).

جدول ۴: ماتریس مقایسه زوجی لایه‌های اکتشافی و اوزان محاسبه شده توسط روش تاپسیس.

بخش	تراکم رودخانه	تراکم جاده‌های اصلی	تراکم جاده‌ها
بیان	0.059	0.029	0.38
مرغا	0.055	0.039	0.203
هلايجان	0.098	0.044	0.019
حومه غربی	0.118	0.048	0.019
حومه شرقی	0.098	0.032	0.0139
سوسن غربی	0.075	0.031	0.165
سوسن شرقی	0.047	0.021	0.19
دنباله رود	0.079	0.027	0.127
دهدز	0.118	0.048	0.203
ایده آل مثبت	0.098	0.044	0.380
ایده آل منفی	0.055	0.029	0.019

ماتریس فاصله از ایده آل مثبت

این ماتریس میزان انحراف هر بخش از وضعیت مطلوب را نشان می‌دهد که در آن مقادیر کمتر، بیانگر نزدیکی بیشتر به شرایط بهینه است. بخش بیان با کسب کمترین مقدار فاصله ۰/۴۱۹ در صدر لیست مناطق ایمن قرار دارد، در حالی که بخش دنباله‌رود و حومه شرقی فواصل بسیار بیشتری را نسبت به ایده آل مثبت نشان می‌دهند. این شاخص

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

به خوبی تفاوت میان مناطق دارای زیرساخت های مناسب و نواحی در معرض خطر را برای مدیریت بحران آشکار می سازد (جدول ۵).

جدول ۵: ماتریس فاصله از ایده آل مثبت.

بخش	تراکم رودخانه	تراکم جاده های اصلی	تراکم جاده ها	جمع	جذر
پیان	0.00154	0.00021	0	0.00176	0.041901
مرغا	0.00187	0.0002	0.03141	0.0333	0.182479
هلاچان	0.0002	0.0002	0.03605	0.03609	0.189875
حومه غربی	0.00039	0.00002	0.03605	0.03646	0.190951
حومه شرقی	0	0.00013	0.05784	0.05797	0.240774
سوسن غربی	0.00056	0.00017	0.04631	0.04703	0.216865
سوسن شرقی	0.0261	0.00051	0.03605	0.03917	0.197923
دنباله رود	0.00039	0.00002	0.03141	0.0474	0.254441
دهدز	0.00039	0.00002	0.03141	0.03182	0.178369

ماتریس فاصله از ایده آل منفی

میزان دوری هر بخش را از بدترین وضعیت فرضی محاسبه کرده است که در آن مقادیر بزرگتر نشان دهنده ایمنی بیشتر در برابر آسیب پذیری است. هو این میان، سوسن شرقی با کمترین مقدار فاصله ۰/۰۱۱۲ مستقیماً به بدترین وضعیت ممکن برای سیل خیزی نزدیک است به دلیل آسیب پذیری شدید آن به دلیل تراکم بالای رودخانه ها است. در مقابل، مناطقی مانند پیان با مقادیر بالاتر، وضعیت پایدارتری را در برابر شرایط بحرانی نشان می دهند (جدول ۶).

جدول ۶: ماتریس فاصله از ایده آل منفی.

بخش	تراکم رودخانه	تراکم جاده های اصلی	تراکم جاده ها	جمع	جذر
پیان	0.00002	0.00001	0.3605	0.036068	0.189916
مرغا	0.00001	0.00009	0.00016	0.000254	0.015936
هلاچان	0.00187	0.00021	0.00001	0.00208	0.045608
حومه غربی	0.00395	0.00037	0.00001	0.00433	0.065799
حومه شرقی	0.00187	0.00001	0.00256	0.004443	0.066658
سوسن غربی	0.00039	0.00000	0.00064	0.00103	0.03209
سوسن شرقی	0.00006	0.00007	0.00000	0.000127	0.011264
دنباله رود	0.00056	0.00000	0.00401	0.004565	0.067562
دهدز	0.00395	0.00037	0.00016	0.00449	0.067006

نزدیکی نسبی (CI)

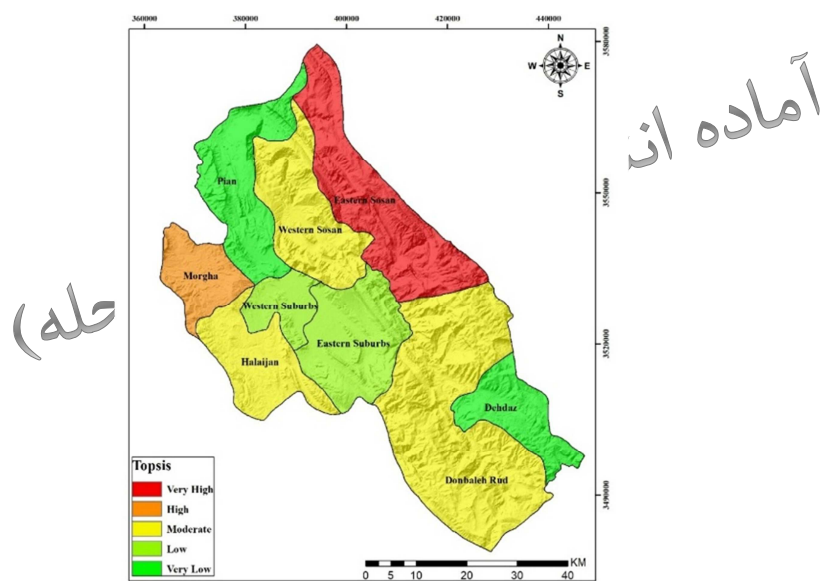
ماتریس شاخص نزدیکی نسبی با ترکیب فواصل مثبت و منفی، هر بخش را در فضای تصمیم گیری نهایی رتبه بندی کرده است تا جایگاه آن ها را در نقشه آسیب پذیری تعیین کند. بر این اساس، بخش پیان با شاخص ۰/۸۱۹ در رتبه اول کمترین آسیب پذیری و سوسن شرقی با شاخص ۰/۰۵۳ در رتبه نهم بیشترین آسیب پذیری قرار گرفته اند. این

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

نتایج به وضوح تایید می کند که مناطق دارای تراکم رودخانه ای بالا و شبکه دسترسی محدود، نیازمند اولویت بندی در اقدامات حفاظتی و مدیریتی هستند (جدول ۷).

جدول ۷: ماتریس شاخص نزدیکی نسبی (CI).

رتبه	وزن	شهر
1	0.819251411	پیان
2	0.273075017	دهدز
3	0.256276998	حومه غربی
4	0.216823239	حومه شرقی
5	0.209817197	دنباله رود
6	0.193677064	هلاچان
7	0.128897148	سوسن غربی
8	0.080315969	مرغا
9	0.053845616	سوسن شرقی



شکل ۸: پهنه بندی خسارات ناشی از خطر سیل منطقه مورد مطالعه.

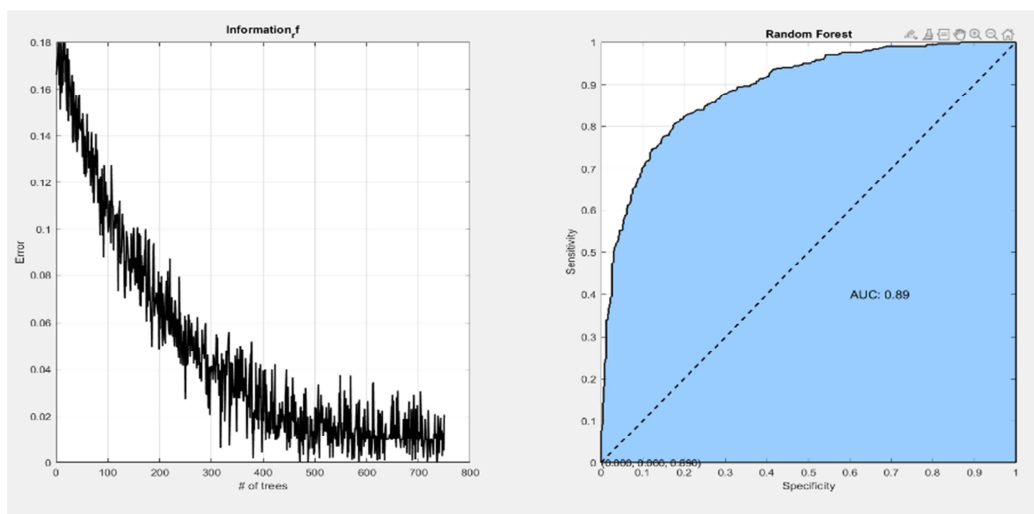
جدول ۸: مساحت آسیب پذیری هر منطقه براساس تحلیل Km^2 تاپسیس.

District	vulnerability	Area (Km^2)
Pian And Dehdez	Very Low	657
Suburbs	Low	563
Halaijan, Western Sosan and Donbaleh Rud	Moderate	1762
Morgha	High	209
Eastern Sosan	Very High	597

تحلیل مدل جنگل تصادفی

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

در این مطالعه، الگوریتم جنگل تصادفی با ۷۵۰ درخت تصمیم برای مدل‌سازی پتانسیل سیل‌خیزی شهرستان ایزده به کار گرفته شد (شکل ۹ و ۱۰). ورودی‌ها شامل بافت و فرسایش خاک، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شدت بارش، شاخص رطوبت خاک، مدل ارتفاعی رقومی، شیب و فاصله از آبراهه‌ها بودند. هر درخت با زیرمجموعه‌ای تصادفی از ویژگی‌ها و داده‌ها ساخته شد تا از بیش‌برازش جلوگیری شود. مدل توانست با دقت ۸۹ درصد نواحی پرخطر سیل را شناسایی کند و نشان داد فاصله از رودخانه، شدت بارش و شیب بیشترین نقش را در بروز سیل دارند. این نتایج اهمیت تحلیل‌های داده‌محور در مدیریت ریسک‌های طبیعی را تأکید می‌کنند.



شکل ۹: منحنی مشخصه عملکرد گیرنده (ROC) با استفاده از جنگل تصادفی

شکل ۱۰: نرخ خطای خارج از OOB مدل کلی جنگل تصادفی (RF)

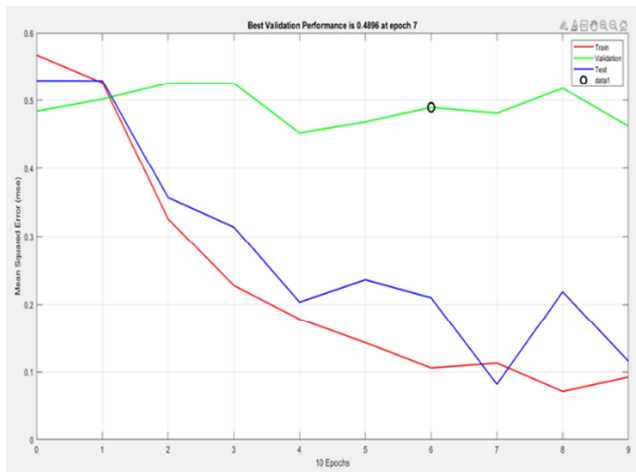
تحلیل مدل شبکه عصبی مصنوعی

در این پژوهش، شبکه عصبی مصنوعی FIT^۱ برای پتانسیل‌یابی سیل‌خیزی شهرستان ایزده استفاده شد (شکل ۱۱ و ۱۲). ورودی‌ها شامل بافت و فرسایش خاک، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، شدت بارش، رطوبت خاک، مدل ارتفاعی رقومی، شیب و فاصله از رودخانه بودند. داده‌ها به سه بخش آموزشی ۸۰ درصد اعتبارسنجی ۱۰ درصد و آزمون ۱۰ درصد تقسیم و مدل طی ۱۰ دوره آموزش دید. بهترین عملکرد در دوره هفتم با خطای ۰/۴۸۹۶ حاصل شد و دقت نهایی مدل در شناسایی نواحی پرخطر سیل ۸۷ درصد بود. این شبکه توانایی شبیه‌سازی روابط پیچیده محیطی و هیدرولوژیکی را دارد و ابزار مناسبی برای تحلیل خطر سیل محسوب می‌شود (جدول ۹).

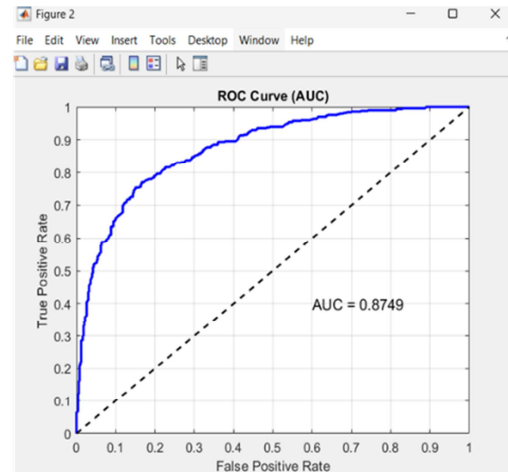
¹ Out Of Bag

² Functional Integration Technique

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۱۲: بهترین عملکرد اعتبارسنجی در شبکه عصبی مصنوعی



شکل ۱۱: منحنی نهایی مشخصه عملکرد گیرنده (ROC) با مقدار مساحت زیر منحنی (AUC)

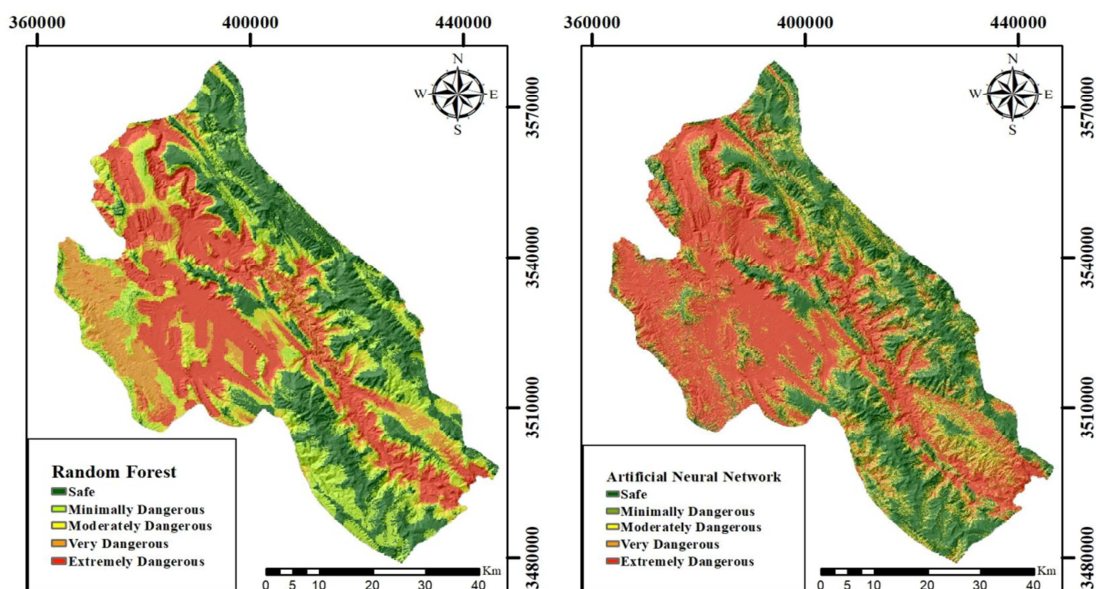
جدول ۹: مساحت آسیب پذیری هر منطقه بر اساس تحلیل شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی)

district	ANN	Vulnerability	Area (Km ²)	
			ANN	RF
Donbaleh Rud	Donbaleh Rud	Very Low	1045	1065
Eastern Sosan	Dehdez	Low	441	721
-	-	Moderate	352	422
Morgha	Morgha, Halajjan	High	396	539
Pian, Morgha, Suburbs	Pian, Morgha	Very High	1554	1041

مقایسه مدل ها و تولید نقشه های پتانسیل سیل خیزی در شهرستان ایزه

در این مطالعه، نقشه های پهنه بندی خطر سیل شهرستان ایزه با استفاده از دو مدل یادگیری ماشین، شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی، تهیه شد تا مناطق پرخطر شناسایی و پتانسیل سیل خیزی تحلیل شود. دقت پیش بینی با منحنی ROC ارزیابی شد و مقدار AUC برای جنگل تصادفی ۸۹ درصد و برای شبکه عصبی مصنوعی ۸۷ درصد بود، که نشان دهنده برتری جنگل تصادفی در شناسایی مناطق پرخطر است. نقشه شبکه عصبی مصنوعی بخش های غرب و مرکز ایزه را با بیشترین پتانسیل سیل مشخص می کند، جنوب غربی و شمال شرقی در دسته متوسط و جنوب و شرق کم خطر هستند، با مرزهایی نرم و پیوسته برای توزیع خطر (شکل ۱۳). نقشه جنگل تصادفی نیز غرب و مرکز پرخطر، جنوب غربی و شمال شرقی متوسط و جنوب و شرق کم خطر را نشان می دهد، اما با مرزهای واضح تر و دسته بندی قطعی تر (شکل ۱۴). تحلیل نقشه ها نشان داد نواحی غرب و مرکز به دلیل تراکم بالای رودخانه ها، شیب کم، ارتفاع پایین، پوشش گیاهی ناکافی، کاربری نامناسب و بارش شدید، در معرض بالاترین خطر هستند، در حالی که نزدیکی به رودخانه ها و شدت بارش نقش تعیین کننده در مناطق با خطر متوسط دارد. این نتایج می تواند راهنمای برنامه ریزان برای کاهش ریسک سیل و مدیریت زیرساخت ها باشد.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۱۴: نقشه جنگل تصادفی منطقه مورد مطالعه

شکل ۱۳: نقشه شبکه عصبی مصنوعی منطقه مورد مطالعه

تحلیل و مقایسه مدل های مختلف ارزیابی سیل خیزی و آسیب پذیری ایذه

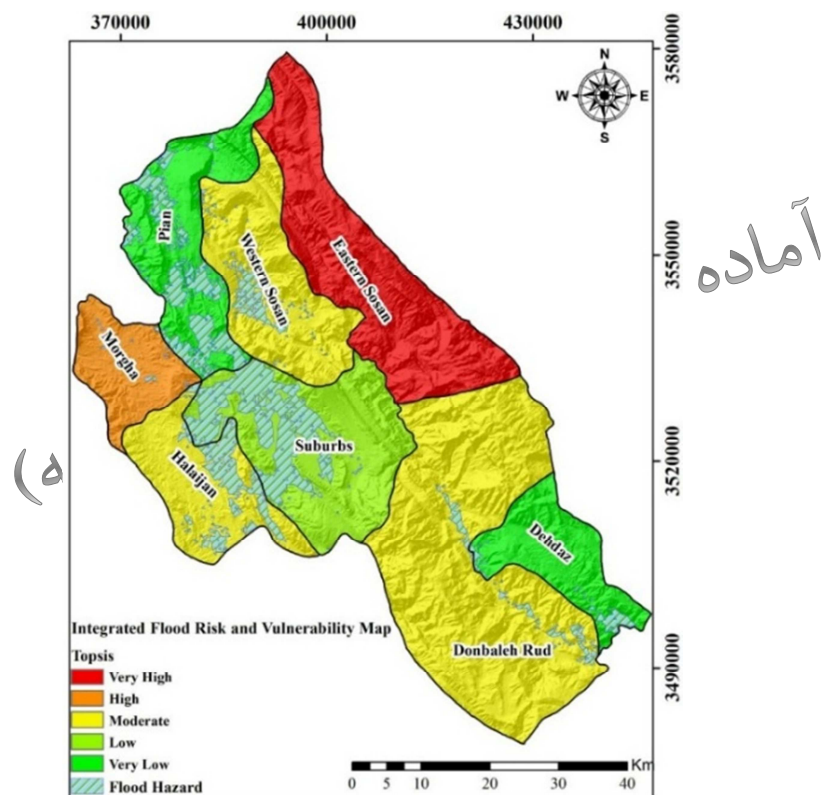
در این پژوهش، پتانسیل و آسیب پذیری سیل خیزی شهرستان ایذه با سه رویکرد شامل تحلیل سلسله مراتبی، مدل های داده محور و روش تصمیم گیری چندمعیاره ارزیابی شد. تحلیل سلسله مراتبی بر پایه ۹ معیار اثرگذار انجام گرفت و بیشترین وزن به فاصله از آبراه اختصاص یافت. نقشه نهایی نشان داد که نواحی مرکزی و دهدز به دلیل نزدیکی به مجاری جریان و شیب و ارتفاع کم، در بالاترین طبقات خطر قرار دارند، در حالی که مناطق مرتفع تر در غرب و شرق کم خطر هستند. دو مدل یادگیری ماشین، شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی، برای بررسی دقیق تر پتانسیل سیل خیزی اجرا شدند. شبکه عصبی با ساختار FIT و آموزش ده مرحله ای، الگوی پیوسته ای از خطر ارائه داد و با دقت ۸۷ درصد نواحی پرخطر را شناسایی کرد، در حالی که جنگل تصادفی با ۷۵۰ درخت و نمونه برداری تصادفی، مرزبندی روشن تری داشت و با دقت ۸۹ درصد بهترین عملکرد را ارائه داد. هر دو مدل نقش عوامل کلیدی مانند فاصله از رودخانه، شدت بارش و شیب را تأیید کردند و در شناسایی نواحی پرخطر غرب و مرکز شهرستان هم نظر بودند. در نهایت، روش تاپسیس به منظور سنجش آسیب پذیری اجرا شد و پنج طبقه اصلی استخراج گردید. بیشترین آسیب پذیری در سوسن شرقی مشاهده شد، در حالی که مناطق پیان و دهدز کمترین آسیب پذیری را داشتند. ترکیب نتایج سه رویکرد نشان می دهد که غرب و مرکز شهرستان در تمامی مدل ها پرخطر هستند و مدیریت خطر سیل باید همزمان بر پتانسیل وقوع و میزان آسیب پذیری تمرکز داشته باشد تا راهبردهای مؤثر برای حفاظت و تقویت زیرساخت ها طراحی شود.

نقشه یکپارچه خطر و آسیب پذیری سیلاب

برای تهیه نقشه پتانسیل سیل خیزی شهرستان، از تلفیق سه روش تحلیل سلسله مراتبی، جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردیم. ابتدا با این روش ها نقشه های جداگانه ای ایجاد شد و سپس با اشتراک گیری پتانسیل های بالا از هر سه نقشه، مناطق دارای پتانسیل سیل خیزی بالا در شهرستان مشخص شدند. (شکل ۱۵). برای

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

نقشه آسیب‌پذیری، از روش تاپسیس بهره بردیم که با معیارهای تراکم جاده‌ها، تراکم جاده‌های اصلی و تراکم رودخانه‌ها کار می‌کند. هر منطقه بر اساس این معیارها ارزیابی شد و سطح آسیب‌پذیری آن‌ها به صورت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد یا خیلی زیاد تعیین گردید. بررسی همزمان این دو نقشه، مناطقی که هم پتانسیل وقوع سیل بالایی دارند و هم پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد، شناسایی شدند. مناطقی مانند سوسن غربی، پیان، حومه غربی مرکزی و هلاجان به دلیل داشتن پتانسیل سیل‌خیزی بالا و آسیب‌پذیری خیلی کم تا متوسط در این دسته قرار می‌گیرند. این مناطق در صورت وقوع سیل با خسارات متوسط تا جدی مواجه خواهند شد، در حالی که مناطقی مثل دشت‌ها و دهدز وضعیت بهتری دارند. تلفیق روش‌های AHP، جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از تاپسیس دقت و جامعیت تحلیل پتانسیل سیل‌خیزی و آسیب‌پذیری را افزایش داده است. مناطق پرخطر مانند شرق سوسن، مرغا و هلاجان نیازمند توجه ویژه در برنامه‌ریزی مدیریت بحران و توسعه زیرساخت‌های حفاظتی هستند.



شکل ۱۵: یکپارچه خطر و آسیب‌پذیری سیل

نتیجه‌گیری

تهیه نقشه پتانسیل‌یابی سیل‌خیزی برای مدیریت و مهار سیلاب در شهرستان ایذه ضروری است، زیرا این نقشه اطلاعات کلیدی درباره مناطق پرخطر و آسیب‌پذیر در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهد و ساخت‌وسازهای بی‌رویه در حریم رودخانه‌ها، به‌ویژه در مناطقی با پتانسیل سیل‌خیزی بالا، نه تنها به محیط زیست آسیب می‌رساند، بلکه خطر خسارات ناشی از سیلاب را افزایش می‌دهد. در این پژوهش، برای پتانسیل‌یابی سیل‌خیزی ایذه از روش AHP استفاده شد و معیارهایی مانند فاصله از آبراهه، شدت بارش، مدل ارتفاعی رقومی، کاربری اراضی، شیب، پوشش گیاهی، بافت خاک، فرسایش و رطوبت خاک وزن‌دهی شدند و تحلیل AHP نشان داد که بخش مرکزی، به‌ویژه در

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

جنوب غربی و مرکز، در کلاس خطرپذیر قرار دارد و پتانسیل سیل خیزی بالایی دارد، در حالی که مناطقی مانند پیان و دهدز با پتانسیل سیل خیزی کم در کلاس بی خطر تا کم دسته بندی شدند. همچنین، تحلیل TOPSIS، که بر پتانسیل آسیب پذیری تمرکز دارد، نشان داد که بخش مرکزی به دلیل تراکم بالای جاده ها و جاده های اصلی، آسیب زیادی نمی بیند و امکان امداد رسانی سریع تری دارد، در حالی که سوسن شرقی و مرغا به دلیل تراکم بالای رودخانه ها و تراکم پایین جاده ها، آسیب پذیری بیشتری دارند و در کلاس خیلی زیاد قرار می گیرند. علاوه بر این، دو مدل یادگیری ماشین یعنی شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی نیز برای پهنه بندی خطر سیل به کار گرفته شدند که نقشه های تولید شده توسط آن ها نشان داد غرب و مرکز ایذه، به ویژه در مجاورت رودخانه ها، پرخطرترین مناطق هستند و جنگل تصادفی با دقت ۸۹٪ و پیش بینی ۸۵٪ و ۸۰٪ مناطق پرخطر در طبقات زیاد و بسیار زیاد، نسبت به شبکه عصبی مصنوعی با دقت ۸۷٪ و پیش بینی ۷۸٪ و ۷۰٪ عملکرد بهتری داشت. در نهایت با تلفیق ۳ روش تحلیل سلسله مراتبی، شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی و اشتراک بین نواحی با پتانسیل سیل خیزی بالا نقشه سیل خیزی بدست آمد. مناطق سیل خیز با قرار گرفتن بر روی نقشه آسیب پذیری به روش تاپسیس نقشه یکپارچه خطر و آسیب پذیری سیل تولید شد. استفاده از سنجش از دور و دورسنجی در این پژوهش، تحلیل دقیق تری از داده ها فراهم کرد و با بهره گیری از داده های ماهواره ای، شناسایی مناطق پرخطر و شبیه سازی تغییرات محیطی با دقت بیشتری انجام شد. برای کاهش آسیب پذیری، احداث سیل بندها و کانال های انحرافی، لایروبی آبراهه ها و رودخانه ها، و استقرار سیستم های هشدار زودهنگام در مناطق کم تراکم جاده ای مانند سوسن شرقی و مرغا توصیه می شود تا خسارات احتمالی به حداقل برسد و نتایج این مطالعه می تواند به برنامه ریزان در مدیریت بهتر ریسک سیل و حفاظت از زیرساخت ها کمک کند.

منابع

- ابراهیمی، لیلان. (۱۳۹۹). تهیه نقشه مدیریت مخاطرات سیلاب با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز لواسانات). مدیریت مخاطرات محیطی، ۷(۲)، ۱۸۱-۱۹۶. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2020.307476.584>
- رضایی مقدم، محمد حسین، کرمی، فریبا، ابادری، کلثوم. (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه بندی خطر سیلاب ناگهانی در حوضه آبریز اوجان چای با استفاده از مدل MFFPI هیدروژئومورفولوژی، ۱۰(۳۶)، ۱۵۷-۱۳۸. <https://doi.org/10.22034/hyd.2023.57462.1701>
- فرضی، حامد، بیات، اصغر، وکیلی تجربه، فرزانه، رحمانی، مجید، اسدی نلیوان، امید. (۱۴۰۱). پهنه بندی حساسیت سیل در حوزه آبخیز سد کرج و تعیین عوامل مؤثر بر آن با استفاده از روش حداکثر آنتروپی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۶(۵۶)، ۱-۱۱. <http://jwmsei.ir/article-1-1029-fa.html>
- کاکاوند، مانده، حق زاده، علی، سلیمانی مطلق، مهدی. (۱۴۰۳). مقایسه شاخص های سنجش از دور در تعیین پهنه سیل حوضه آبخیز دو آب و سیان. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۰)، ۵۶-۴۱. <https://doi.org/10.22111/jneh.2023.46291.1978>
- حجازی، اسدالله، نگهبان، سعید، موسوی، سیده معصومه و امین زاده، محمد هادی. (۱۴۰۳). بررسی و پهنه بندی خطر سیلاب حوضه های آبریز شهری با استفاده از مدل های فازی ویکور و روش خطی وزنی (مطالعه موردی: حوضه آبریز ایذه- خوزستان). پژوهش های ژئومورفولوژی کتی، ۱۳(۲)، ۷۰-۵۱. [doi: 10.22034/gmpj.2024.452640.1499](https://doi.org/10.22034/gmpj.2024.452640.1499)
- Aguilera, Q., Lombardo, L., Tanyas, H., & Lipani, A. (2022). On the prediction of landslide occurrences and sizes via Hierarchical Neural Networks. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 36(8), 2031-2048. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02215-0>
- Ahmad, S., Waseem, M., Hussain, S., Shah, M. M., Malik, F. P., Masood, S., & Leta, M. K. (2024). GIS-Based Identification and Analysis of Optimal Evacuation Areas and Routes in Flood-Prone Zones of Swabi District, Pakistan. Journal of Engineering, 2024(1), 9550808. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2024/9550808>

- Akbari, M., Neamatollahi, E., Memarian, H., & Alizadeh Noughani, M. (2023). Assessing impacts of flood disasters on soil erosion risk based on the RUSLE-GloSEM approach in western Iran. *Natural Hazards*, 117(2), 1689–1710. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05925-y>
- Al-Juaidi, A. E. M. (2023). The interaction of topographic slope with various geo-environmental flood-causing factors on flood prediction and susceptibility mapping. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(21), 59327–59348. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26616-y>
- Cea, L., & Costabile, P. (2022). Flood Risk in Urban Areas: Modelling, Management and Adaptation to Climate Change. A Review. *Hydrology*, 9(3), 50. <https://doi.org/10.3390/hydrology9030050>
- Chaudhary, M. T., & Piracha, A. (2021). Natural Disasters—Origins, Impacts, Management. *Encyclopedia*, 1(4), 1101–1131.
- Church, M., & Jakob, M. (2020). What is a debris flood?. *Water Resources Research*, 56(8), e2020WR027144. <https://doi.org/10.1029/2020WR027144>
- Costache, R., Barbulescu, A., & Pham, Q. B. (2021). Integrated Framework for Detecting the Areas Prone to Flooding Generated by Flash-Floods in Small River Catchments. *Water*, 13(6), 758. <https://doi.org/10.3390/w13060758>
- Der Sarkissian, R., Al Sayah, M. J., Abdallah, C., Zaninetti, J.-M., & Nedjai, R. (2022). Land Use Planning to Reduce Flood Risk: Opportunities, Challenges and Uncertainties in Developing Countries. *Sensors*, 22(18), 6957. <https://doi.org/10.3390/s22186957>
- Dharmarathne, G., Waduge, A. O., Bogahawaththa, M., Rathnayake, U., & Meddage, D. P. P. (2024). Adapting cities to the surge: A comprehensive review of climate-induced urban flooding. *Results in Engineering*, 22, 102123. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102123>
- Dung, N. B., Long, N. Q., Goyal, R., An, D. T., & Minh, D. T. (2022). The Role of Factors Affecting Flood Hazard Zoning Using Analytical Hierarchy Process: A Review. *Earth Systems and Environment*, 6(3), 697–713. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00235-4>
- Esmailzadeh, A., Arvin, M., Ebrahimi, M., Kazemi Garajeh, M., & Afzali Goruh, Z. (2024). Measuring Livelihood Resilience in Multi-Hazard Regions: A Case Study of the Khuzestan Province in the Persian Gulf Coast. *Earth*, 5(4), 1052–1079. <https://doi.org/10.3390/earth5040054>
- Ghiasi, M. M., & Zendeheboudi, S. (2021). Application of decision tree-based ensemble learning in the classification of breast cancer. *Computers in Biology and Medicine*, 128, 104089. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2020.104089>
- Hamidifar, H., & Nones, M. (2021). Global to regional overview of flood fatalities: the 1951–2020 period. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 2021, 1–22. <https://doi.org/10.5194/nhess-2021-357>
- Hamidifar, H., Nones, M., & Rowinski, P. M. (2024). Flood modeling and fluvial dynamics: A scoping review on the role of sediment transport. *Earth-Science Reviews*, 253, 104775. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104775>
- Hemmati, M., Mahmoud, H. N., Ellingwood, B. R., & Crooks, A. T. (2021). Unraveling the complexity of human behavior and urbanization on community vulnerability to floods. *Scientific Reports*, 11(1), 20085. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99587-0>
- Kapović Solomun, M., Ferreira, C. S. S., Zupanc, V., Ristić, R., Drobnjak, A., & Kalantari, Z. (2022). Flood legislation and land policy framework of EU and non-EU countries in Southern Europe. *WIREs Water*, 9(1), e1566. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wat2.1566>
- Lucchesi, L. V., de Oliveira, G. G., & Pedrollo, O. C. (2021). Investigation of the influence of nonoccurrence sampling on landslide susceptibility assessment using Artificial Neural Networks. *Catena*, 198, 105067. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105067>
- Merz, B., Blöschl, G., Vorogushyn, S., Dottori, F., Aerts, J. C. J. H., Bates, P., Bertola, M., Kemter, M., Kreibich, H., Lall, U., & Macdonald, E. (2021). Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(9), 592–609. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00195-3>
- Msabi, M. M., & Makonyo, M. (2021). Flood susceptibility mapping using GIS and multi-criteria decision analysis: A case of Dodoma region, central Tanzania. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 21, 100445. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100445>
- Nazaripour, H., Sedaghat, M., Shafaie, V. et al. Strategic assessment of groundwater potential zones: a hybrid geospatial approach. *Appl Water Sci* 14, 185 (2024). <https://doi.org/10.1007/s13201-024-02243-x>
- Paprotny, D., Terefenko, P., & Śledziowski, J. (2024). HANZE v2.1: an improved database of flood impacts in Europe from 1870 to 2020. *Earth Syst. Sci. Data*, 16(11), 5145–5170. <https://doi.org/10.5194/essd-16-5145-2024>
- Rahman, M. M., Shobuj, I. A., Islam, M. R., Islam, M. R., Hossain, M. T., Alam, E., Hattawi, K. S. A., & Islam, M. K. (2024). Flood preparedness in rural flood-prone area: a holistic assessment approach in Bangladesh. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1), 2379599. <https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2379599>
- Rodrigues da Silva, A., Estima, J., Marques, J., Gamito, I., Serra, A., Moura, L., Ricardo, A. M., Mendes, L., & Ferreira, R. M. L. (2023). A Web GIS Platform to Model, Simulate and Analyze Flood Events: The RiverCure Portal. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(7), 268. <https://doi.org/10.3390/ijgi12070268>

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

- Saaty, T. L. (1986). Absolute and relative measurement with the AHP. The most livable cities in the United States. *Socio-Economic Planning Sciences*, 20(6), 327-331. [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(86\)90043-1](https://doi.org/10.1016/0038-0121(86)90043-1)
- Saha, A., & Roy, R. (2021). An integrated approach to identify suitable areas for built-up development using GIS-based multi-criteria analysis and AHP in Siliguri planning area, India. *SN Applied Sciences*, 3(4), 395. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04354-5>
- Shah, A. A., Ullah, A., Khan, N. A., Shah, M. H., Ahmed, R., Hassan, S. T., Tariq, M. A. U. R., & Xu, C. (2023). Identifying obstacles encountered at different stages of the disaster management cycle (DMC) and its implications for rural flooding in Pakistan [Original Research]. *Frontiers in Environmental Science*, Volume 11 - 2023. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1088126>
- Tavana, M., Soltanifar, M., & Santos-Arteaga, F. J. (2023). Analytical hierarchy process: revolution and evolution. *Annals of Operations Research*, 326(2), 879–907. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04432-2>
- Taye, M. M. (2023). Theoretical Understanding of Convolutional Neural Network: Concepts, Architectures, Applications, Future Directions. *Computation*, 11(3), 52. <https://doi.org/10.3390/ijgi12070268>
- Trinh, M. X., & Molkenthin, F. (2021). Flood hazard mapping for data-scarce and ungauged coastal river basins using advanced hydrodynamic models, high temporal-spatial resolution remote sensing precipitation data, and satellite imagery. *Natural Hazards*, 109(1), 441–469. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04843-1>
- Lai, Y. J., Liu, T. Y., & Hwang, C. L. (1994). TOPSIS for MODM. *European journal of operational research*, 76(3), 486-500. [10.1016/0377-2217\(94\)90282-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)90282-8)
- Zhao, Z. A., He, Y., Yao, S., Yang, W., Wang, W., Zhang, L., & Sun, Q. (2022). A comparative study of different neural network models for landslide susceptibility mapping. *Advances in Space Research*, 70(2), 383–401. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.04.055>

آماده انتشار (بدون شماره مجله)