



Research Paper

Zoning of Environmental Hazards in Tourism Destinations with Emphasis on Flooding (Case Study: Sarvabad County, Kurdistan Province)

Farhad Javan^a , Ramin Atashbahar^b, Azadeh Motalebpoor^c

^a Assistant Professor of Tourism Management, Faculty of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

^b Master's student, Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

^c M.Sc. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Human Sciences, Rasht, Iran

ARTICLE INFO

Received: 2025/05/05

Accepted: 2025/07/07

PP: 43-56

Use your device to scan and
read the article online



Keywords: Environmental Hazards, Tourist Destinations, Floods, Hawraman.

Abstract

The occurrence of environmental hazards has multidimensional and widespread damages on the natural environment and human society. Among environmental hazards, flooding is one of the most important and frequent hazards, which causes significant human, financial, and environmental losses every year. In different regions, tourist destinations, in addition to the permanent community living in them, welcome a significant number of tourists. Compared to the local community, these tourists are not very familiar with the destination environment and may be at greater risk. Therefore, identifying flood-prone areas in tourist destinations can be an important tool for reducing the damages caused by it. Sarvabad County is one of the most important tourist destinations in Kurdistan Province, due to its natural and cultural attractions. Therefore, the present quantitative and applied research has been conducted with the aim of zoning flood risk in Sarvabad County. In this study, 14 criteria affecting flood occurrence were used to achieve the main objective of the research. Data-driven approach and modern remote sensing tools, geographic information system and MaxEnt model were used to analyze the data. The results of the study showed that due to the mountainous nature of the region, a limited part of Sarvabad County is in high-risk classes in terms of flood risk. In this way, of the total area studied (1044 square kilometers), 96.84 percent is in very low and low risk zones, 1.2 percent is in medium risk zones and 1.96 percent is in high and very high-risk zones. The results also showed that most of the high and very high-risk zones are located in a strip shape in the northern to central parts of the county. The results of the validation of the final research model using the Omission and Predicted Area diagrams and the ROC curve showed that the final model had high accuracy and performance and was able to zone Sarvabad County in terms of flood occurrence.

Citation: Javan, F., Atashbahar, R., & Motalebpoor, A. (2025). Zoning of Environmental Hazards in Tourism Destinations with Emphasis on Flooding (Case Study: Sarvabad County, Kurdistan Province). *Journal of Environmental Research in Mountainous Regions*, 1(3), 43-56.

DOI: <https://doi.org/10.22034/ermr.2025.144141.1025>



© The Author(s).

Publisher: University of Kurdistan

* **Corresponding author:** Farhad Javan, **Email:** F.Javan@umz.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Despite the human, financial, environmental, etc. damages caused by floods, as well as the fact that a large part of our country's geographical space is flooded and the development of unplanned urbanization, studies indicate that flooding, as one of the natural disasters, can be properly monitored using modern technologies and information systems. The first step towards reducing the harmful effects of floods is to identify flood-prone areas and zoning these areas in terms of flood risk, so that, based on the results obtained, principled and optimal decisions can be made about the use of various agricultural, industrial, service land uses and the location of urban and rural settlements, and the harmful effects of floods can be minimized as much as possible. In order to achieve this goal, the use of a geographic information system (GIS) is one of the most important tools for identifying and zoning different areas in terms of flood risk and even other environmental hazards. Sarvabad County, with a population of 43,700, consisting of 8,800 urban and 34,900 rural residents, is one of the border counties located in western Iran and is always at risk of flooding due to its mountainous location, significant rainfall, and the rapid growth of physical development in urban and rural areas. Due to its natural and cultural attractions, this county is located within the Horaman Cultural Landscape, which was registered as a World Heritage Site by UNESCO in 2021. For this reason, it receives a significant number of tourists throughout the year. Therefore, flood risk management in this tourist destination has double value. In order to manage this risk, one of the most important measures is the zoning of Sarvabad County, relying on the geographic information system, so that high-risk spaces can be identified and necessary measures can be taken to take management measures in the future. Therefore, considering the multidimensional damages of flood risk as well as the human and natural conditions prevailing in Sarvabad County, the researchers in the present study are trying to answer the following questions: What is the spatial distribution of flood risk in different risk classes (very high risk to very low risk) in Sarvabad County? How is the validation of the

final flood risk zoning model in Sarvabad County?

Methodology

This research is among the quantitative and applied researches that have been conducted with the aim of zoning flood risk in Sarvabad County using a data-driven approach and modern remote sensing tools and Geographic Information System (GIS). This study has been written in several systematic stages, considering the overall process governing it. In the first step, the factors and parameters affecting flood occurrence were identified by reviewing scientific records, reliable sources, and expert analyses. Then, these layers were converted to ASCII format for use in the modeling environment to enable their entry into the MaxEnt software. MaxEnt, as one of the powerful models based on maximum entropy, has a high ability in modeling the spatial potential of phenomena based on occurrence points and environmental variables. On the other hand, flood points in the study area were identified through past flood zoning maps, image analysis, and field observations, and after filtering, they were converted to CSV format to be used as training data in the MaxEnt model. In this study, the training and learning data were divided in a ratio of 20 to 80. Also, the number of points extracted was 250 flood points. This data plays a vital role in training the model and determining the relationship between environmental factors and spatial patterns of flooding. After running the model in the MaxEnt environment, a flood probability map was produced for Sarvabad County, which distinguishes different areas in terms of flood risk (very low risk, low risk, medium, high, and very high). The modeling results were also evaluated for validation with statistical indicators such as AUC to ensure the accuracy of the model. In the final step, the modeling outputs were extracted in the GISPro software environment and the generated maps were reviewed and analyzed.

Results and Discussion

The results of the study showed that due to the mountainous nature of the region, a limited part of Sarvabad County is in high-risk classes in terms of flood risk. In this way, of the total area studied (1044 square kilometers), 96.84 percent is in very low and low risk zones, 1.2 percent is

in medium risk zones and 1.96 percent is in high and very high-risk zones. The results also showed that most of the high and very high-risk zones are located in a strip shape in the northern to central parts of the county. The results of the validation of the final research model using the Omission and Predicted Area diagrams and the ROC curve showed that the final model had high accuracy and performance and was able to zone Sarvabad County in terms of flood occurrence.

Conclusion

In line with flood risk management in Sarvabad County, the most important practical suggestions of the present study are: Accurate notification of the exact time of flood occurrence by the Meteorological and

Hydrological Organization, distribution of zoning maps among urban and rural managers, installation of warning signs in the vicinity of areas at high and very high risk in terms of flood risk, prevention of construction and development of other physical activities in high-risk areas, accurate determination of hazard zones, especially in the vicinity of residential areas, efficient and optimal multilateral management of pastures and forests, construction of relief centers in high-risk areas, use of flood-resistant structures when developing various types of physical and structural infrastructure, and construction of diversion barriers to direct water to areas further away from residential centers..

Financial sponsor

According to the responsible author, this article has no financial sponsor.

Contribution of the authors to the research

The first author: Scientific supervision and overall guidance of the research process, data and results analysis, contribution to the final drafting of the manuscript, and final approval of the text.

Second author: Collection of spatial and statistical data, drawing maps and graphical analyses, assistance in the research methodology section, collaboration in writing the literature review.

Third author: Contribution to writing the findings and conclusion, and final revision of the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest in writing or publishing this article.

Appreciation and thanks

The authors sincerely thank all the people who have cooperated with them in collecting field data.



مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی مخاطرات محیطی در مقاصد گردشگری با تأکید بر سیلاب (مطالعه موردی: شهرستان سروآباد، استان کردستان)

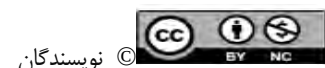
فرهاد جوان*  : استادیار گروه مدیریت جهانگردی، دانشکده میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
رامین آتش‌بهار: دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
آزاده مطلب‌پور: کارشناس ارشد، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
وقوع مخاطرات محیطی دارای خسارات چند بعدی و گسترده بر پیکره محیط طبیعی و جامعه بشری است. در میان مخاطرات محیطی، سیل از مهم‌ترین و پرتکرارترین مخاطرات است که وقوع آن هر ساله، خسارات جانی، مالی و زیست محیطی متعددی را به همراه دارد. در میان مناطق مختلف، مقاصد گردشگری علاوه بر جامعه دائمی ساکن در آن‌ها، پذیرای تعداد قابل توجهی از گردشگران هستند. این گردشگران در مقایسه با جامعه محلی آشنایی زیادی را محیط مقصد ندارد و ممکن است در معرض خطر بیشتری قرار داشته باشند. از این رو شناسایی فضاهای مستعد وقوع سیل در مقاصد گردشگری، می‌تواند ابزار مهمی برای کاهش خسارات ناشی از آن باشد. شهرستان سروآباد با توجه به برخورداری جاذبه‌های طبیعی و فرهنگی، از مهم‌ترین مقاصد گردشگری استان کردستان است. از این رو پژوهش کمی و کاربری حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان سروآباد انجام گرفته است. در این مطالعه برای دستیابی به هدف اصلی پژوهش، از ۱۴ معیار موثر بر وقوع سیلاب استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از رویکرد داده‌محور و ابزارهای نوین سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل MaxEnt استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داد با توجه به کوهستانی بودن منطقه، قسمت محدودی از شهرستان سروآباد به لحاظ خطر وقوع سیل، در کلاس‌های پر خطر قرار دارد. به این صورت که از کل مساحت مورد بررسی (۱۰۴۴ کیلومتر مربع)، ۹۶/۸۴ درصد در پهنه‌های خطر بسیار کم و کم، ۱/۲ درصد در پهنه خطر متوسط و ۱/۹۶ درصد در پهنه خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد. همچنین نتایج نشان داد اکثر پهنه‌های خطر زیاد و بسیار زیاد، به صورت نواری شکل در بخش‌های شمالی تا مرکزی شهرستان واقع شده‌اند. نتایج صحت‌سنجی مدل نهایی پژوهش با استفاده از نمودار Omission و Predicted Area و منحنی ROC نشان داد مدل نهایی از دقت و عملکرد بالایی برخوردار بوده است و به خوبی توانسته است شهرستان سروآباد را به لحاظ وقوع سیلاب پهنه‌بندی نماید.	تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۶ شماره صفحات: ۴۳-۵۶ از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید  واژه‌های کلیدی: مخاطرات محیطی، مقاصد گردشگری، سیل، هورامان.

استناد: جوان، فرهاد؛ آتش‌بهار، رامین و مطلب‌پور، آزاده (۱۴۰۴). پهنه‌بندی مخاطرات محیطی در مقاصد گردشگری با تأکید بر سیلاب (مطالعه موردی: شهرستان سروآباد، استان کردستان). نشریه علمی پژوهش‌های محیطی در قلمروهای کوهستانی، ۱(۳)، ۴۳-۵۶.

DOI: <https://doi.org/10.22034/ermr.2025.144141.1025>

ناشر: دانشگاه کردستان



مقدمه

در میان مخاطرات طبیعی جهان، سیل از فراوان‌ترین و ویران‌گسترترین مخاطراتی است که آسیب‌های متعددی را به همراه دارد (محمودزاده و باکوئی، ۱۳۹۷). بر اساس گزارش برنامه عمران سازمان ملل در ارتباط با خطرات بلایای طبیعی، سیل در کنار زلزله و خشکسالی، بیشترین خسارت جانی و مالی را در سراسر دنیا به همراه داشته است (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۶). به دلیل آسیب‌های چند بعدی ناشی از وقوع سیل، از آن به عنوان مخرب‌ترین پدیده در سراسر جهان یاد شده است که از سه دهه اخیر به صورت پیوسته در حال افزایش است (پراساد^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). وقوع سیل به عنوان یکی از پرتکرارترین مخاطرات طبیعی، خسارات متعددی را برای جوامع به همراه دارد (ساندرز^۲ و همکاران، ۲۰۲۰) و باعث مرگ و میر، جراحات و خسارات مالی زیادی می‌شود (فنگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۲).

بر اساس گزارش‌های منتشر شده میزان خسارات ناشی از سیل حدود ۳۱ درصد از کل خسارات ناشی از بلایای طبیعی را شامل می‌شود که بیشتر از خسارات طوفان و زلزله است. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷، سیل در سراسر جهان زندگی بیش از دو میلیارد انسان را تحت تاثیر قرار داده است (پناهی و همکاران، ۱۴۰۲). پیش‌بینی شده است که خسارات اقتصادی جهانی ناشی از سیل در مناطق با اقتصادی پیشرفته و پرجمعیت به ۵۹۷ میلیارد دلار در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۳۵ برسد (لی^۴ و همکاران، ۲۰۱۹).

با توجه به تمرکز اکثریت جمعیت دنیا در فضاها شهری و با تسریع روند شهرنشینی شتابان در سال‌های اخیر، مناطق مستعد سیل بیشتر توسعه یافته‌اند و ساختمان‌های بیشتری را در معرض خطر سیل قرار می‌دهند (فنگ^۵ و همکاران، ۲۰۲۲)؛ به گونه‌ای که اکثر شهرهای جهان در برابر مخاطره سیل قرار دارند (ساندرز^۶ و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد توسعه شهرنشینی به‌ویژه در مناطق سیل‌گیر در دهه‌های اخیر بر میزان خسارات سیل افزوده است. از این‌رو آگاهی از میزان خسارت مناطق مختلف شهر و توجه به موضوع مدیریت سیلاب‌های شهری به عنوان یکی از محورهای مهم در مسائل شهری حائز اهمیت و توجه است (رستمی و کاظمی، ۱۳۹۸).

در ایران سطح مناطق سیل خیز، حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد شده است. به تعبیری دیگر می‌توان چنین عنوان نمود که ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع نقش دارند و در این میان، حدود ۴۲ میلیون هکتار آن دارای شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در کشورمان ۵۹۲ شهر، ۶۶ هزار روستا، ۲ هزار رشته قنات، یک میلیون هکتار از اراضی زراعی و بخش عظیمی از جاده‌ها و تأسیسات صنعتی در معرض خطر سیل‌گیری و تخریب قرار دارند (شعبانلو و همکاران، ۱۳۸۷). علی‌رغم وضعیت پرمخاطره بودن کشورمان به لحاظ وقوع سیل، بررسی‌ها نشان می‌دهد توسعه و گسترش شهرها در حاشیه رودها، بر روی مخروطه افکنه‌ها، دلتاها، مناطق پایین دست سدها، سواحل کم ارتفاع و ... سبب افزایش سطح آسیب‌پذیری فضاهای شهری در برابر سیلاب شده است (غلامی و احمدی، ۱۳۹۸). همچنین مضاف بر اینکه اکثر شهرهای ایران در خروجی حوضه‌های آبریز بنا، گسترش و توسعه یافته‌اند، افزایش سطوح نفوذناپذیر ناشی از شهرسازی و احداث ساختمان بر خاک‌های نفوذپذیر مانند سطوح روکش شده شهر، بام ساختمان‌ها، پارکینگ‌ها، سطوح خیابان‌ها و ... همه مانند مانعی در برابر نفوذ آب باران در خاک عمل می‌نمایند و در تشدید وقوع سیل موثر هستند (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۵). با وجود آسیب‌های جانی، مالی، زیست‌محیطی و ... ناشی از وقوع سیل و همچنین سیل‌گیر بودن بخش عمده‌ای از فضای جغرافیایی کشورمان و توسعه شهرنشینی برنامه‌ریزی نشده، بررسی‌ها نشانگر این مهم است که وقوع سیل به عنوان یکی از بلایای طبیعی را می‌توان با استفاده از فناوری‌های مدرن و سیستم‌های اطلاعاتی به درستی رصد کرد (اسواین^۷ و همکاران، ۲۰۲۰). اولین گام در جهت کاهش آثار زیان‌بار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل‌گیری است تا بتوان براساس نتایج بدست آمده، درباره نحوه استفاده از اراضی و کاربری‌های مختلف کشاورزی، صنعتی، خدماتی و مکانیابی سکونت گاه‌های شهری و روستایی تصمیم‌گیری اصولی و بهینه نمود و آثار زیان‌بار سیل را تا حد ممکن به حداقل رسانید (آذریان، ۱۴۰۰). در راستای دستیابی به این هدف، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) از مهم‌ترین ابزارها جهت شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مختلف به لحاظ وقوع خطر سیل و حتی سایر مخاطرات محیطی است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵).

شهرستان سروآباد با ۴۳۷۰۰ نفر جمعیت در قالب ۸۸۰۰ نفر جمعیت شهری و ۳۴۹۰۰ نفر جمعیت روستایی (پایگاه خبری تحلیلی هاژه، ۱۴۰۱) به عنوان یکی از شهرستان‌های مرزی واقع در غرب ایران، به دلیل موقعیت کوهستانی، میزان بارش قابل توجه و همچنین روند شتابان رشد توسعه فیزیکی نقاط شهری و روستایی، همواره در معرض خطر سیل قرار گرفته است.

1. Prasad
2. Sanders
3. Feng
4. Li
5. Feng
6. Sanders
7. Swain

این شهرستان به واسطه جاذبه‌های طبیعی و فرهنگی در محدوده منظر فرهنگی هورامان قرار گرفته است که در سال ۲۰۲۱ توسط یونسکو به ثبت جهانی رسیده است (جمینی و شعبانی حسین آبادی، ۱۴۰۴). به همین دلیل در طول ایام سال پذیرای تعداد قابل توجهی از گردشگران است. بنابراین مدیریت مخاطره سیل در این مقصد گردشگری دارای ارزش مضاعف است. در راستای مدیریت این مخاطره یکی از مهم‌ترین اقدامات پهنه‌بندی شهرستان سروآباد با اتکا به سیستم اطلاعات جغرافیایی است تا به واسطه آن فضاها پرخطر شناسایی شده و نسبت به انجام اقدامات مدیریتی در آینده تدابیر لازم اندیشیده شود. از این‌رو به توجه به خسارات چندبعدی مخاطره سیل و همچنین شرایط انسانی و طبیعی حاکم بر شهرستان سروآباد، محققان در مطالعه حاضر درصدد پاسخگویی به سوالات زیر هستند: توزیع فضایی خطر وقوع سیلاب در کلاس‌های مختلف خطر (خطر بسیار زیاد تا خطر بسیار کم) در شهرستان سروآباد چگونه است؟ صحت‌سنجی مدل نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در شهرستان سروآباد چگونه است؟

مرور ادبیات و سوابق پژوهش

دستورالعمل سیل اتحادیه اروپا سیل را به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی اینچنین تعریف کرده است: سیل پوشش موقت زمین توسط آب است که در حالت عادی توسط آبی در آن وجود نداشته است (انوشه و بهاراتی^۱، ۲۰۲۰). در تعریفی دیگر سیل به وضعیت اطلاق می‌گردد که طی آن جریان رودخانه‌ای و سطح آب به صورت غیرمنتظره افزایش پیدا می‌کند و خسارت مالی و جانی را به همراه دارد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۵).

در هر صورت وقوع سیل اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی قابل توجهی ایجاد می‌کند مانند تلفات جانی و اثرات منفی بر جمعیت، آسیب به زیرساخت‌ها و خدمات زیرساختی، آسیب به محصولات زراعی و حیوانات، گسترش بیماری‌ها و آلودگی منابع آب را به همراه دارد (رینکن^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). در حال حاضر افزایش فراوانی و خسارت ناشی از وقوع سیل منجر به شکل‌گیری و تقویت فزاینده این ذهنیت شده است که باید اقدامات جدی‌تر و موثرتری نسبت به مدیریت مخاطره سیل اتخاذ گردد (بولین و میلز^۳، ۲۰۲۴). در این راستا تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل برای ارگان‌ها و سازمان‌های متولی مدیریت آن، از الزامات اساسی است. زیرا با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی، آن‌ها می‌توانند ضمن برنامه‌ریزی برای مدیریت خطر سیل، تجهیزات و امکانات خود را جهت واکنش سریع در مکان‌های پرخطر مستقر نماید و خسارات ناشی از سیل را کاهش دهند (لی و همکاران، ۲۰۱۸). پهنه‌بندی حساسیت به سیل^۴ (FSM) یک روش مدیریتی ضروری برای شناسایی مناطق در معرض خطر و همچنین جلوگیری از ساخت‌وسازهای غیرمجاز و حتی مجاز در مناطق پرخطر است (جمینی و شعبانی حسین آبادی، ۱۴۰۴). پهنه‌بندی مذکور، یک ابزار ضروری و کم هزینه برای ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر سیل است که می‌تواند برای برنامه ریزی کاربری زمین مورد استفاده تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد (گونزالز-آرکوروس^۵ و همکاران، ۲۰۱۸).

بررسی‌ها نشان می‌دهد در خصوص پهنه‌بندی خطر سیل در فضاها مختلف جغرافیایی (شهری، روستایی و منطقه ای) مطالعات متعددی انجام گرفته است که در ادامه به نتایج چند مطالعه مهم پرداخته شده است. نتایج پژوهش غلامی و احمدی (۱۳۹۸) با هدف پهنه بندی خطر سیلاب در شهر لامرد نشان داد در این مطالعه برای دستیابی به هدف مد نظر از ۸ معیار طبیعی (فاصله از آبراهه، زمین شناسی، شیب) و انسانی (شبکه معابر، پل‌های شهری، کاربری‌های مسکونی، کاربری‌های کشاورزی - جنگلی و قابلیت اراضی) استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داد پهنه مستعد خطر سیل به صورت نواری وسیع در امتداد شمال غربی - جنوب شرقی کشیده شده و بخش عمده ای از محدوده شهری لامرد را در برمی گیرد. به گونه‌ای که حداقل نزدیک نیمی از محدوده این شهر در وضعیت هشدار قرار داشته و در شرایط سیل خیزی بسیار خطرناک قرار گرفته است. آذریان (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای اقدام به برآورد رواناب شهری و پهنه بندی آن با استفاده از تحلیل‌های فضایی در شهر بندرعباس نموده است. در این پژوهش به‌منظور پهنه‌بندی سیلاب از نقشه‌های ضریب رواناب، سطح نفوذناپذیری، شیب و جهت شیب، فاصله تا کانال‌های جمع‌آوری آب سطحی و فاصله از خیابان‌ها، استفاده شده است. نتایج نشان داد به دلیل افزایش سطوح نفوذناپذیر، ضریب رواناب از مقدار میانگین ۰/۵۶ به ۰/۷۰، افزایش داشته است و ۱/۸۱ درصد از محدوده مورد مطالعه دارای ریسک بسیار بالای آبگرفتگی، ۷/۱۶ درصد دارای ریسک زیاد، ۱۴/۱۲ درصد دارای ریسک نسبتاً زیاد، ۱۰/۲۳ درصد دارای ریسک متوسط و ۶۶/۷۷ درصد دارای ریسک کم می‌باشد. صادقی و جوان (۱۴۰۳) در پژوهش خود نشان دادند که بیش از ۵۴۳ روستای گردشگری ایران در سناریوی بدبینانه دارای حداکثر آسیب‌پذیری ژئوفیزیکی با مقدار یک؛ ۲۰۱ روستا در سناریوی متعادل دارای حداکثر آسیب‌پذیری با حداکثر مقدار برابر با ۰/۷ و

1. Anusha & Bharathi

2. Rincón

3. Bullen & Miles

4. Flood susceptibility mapping

5. González-Arqueros

در سناریوی خوش‌بینانه، ۹۸ روستا دارای حداکثر آسیب‌پذیری ژئوفیزیکی با مقدار یک بوده‌اند. همچنین بررسی الگوی توزیع فضایی روستاهای گردشگری ایران از لحاظ میزان آسیب‌پذیری ژئوفیزیکی در سه سناریوی بدبینانه، متعادل و خوش‌بینانه از طریق شاخص موران نشان داد الگوی فضایی غالب، خوشه‌ای است. در نتیجه آسیب‌پذیری روستاها تحت تأثیر عوامل جغرافیایی مختلف از جمله مسیل‌ها، سازندها، توپوگرافی، زمین‌لغزش و... است. نتایج پژوهش محمدی و همکاران (۱۴۰۳) با هدف شناسایی پهنه‌های در معرض مخاطره سیل در سکونتگاه غیررسمی نایسر واقع در شهر سنج نشان داد محققان در این مطالعه از برای تهیه نقشه پهنه‌بندی از ترکیب روش‌های Fuzzy Overlay و تابع Sum استفاده کرده‌اند. همچنین نتایج پژوهش نشان داد به لحاظ سیل‌گیر بودن ۹۸/۰۱ هکتار (۳۰/۴۷ درصد) در پهنه‌های با خطر بسیار کم و کم، ۸۱/۵۶ هکتار (۲۵/۳۶ درصد) در پهنه خطر متوسط و ۱۴۲/۰۴ هکتار (۴۴/۱۶ درصد) در پهنه‌های خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. صادقی و جوان (۱۴۰۴) در پژوهشی با عنوان آسیب‌پذیری روستاهای گردشگری ایران از لحاظ مخاطره زمین لغزش با استفاده از GIS به این نتایج رسیدند که ۶۲/۵۹ درصد مساحت کشور به عنوان پهنه با خطر بسیار کم؛ ۱۹/۵۵ درصد، پهنه با خطر کم، ۱۱/۲۰ درصد پهنه با خطر متوسط، ۵/۲۱ درصد پهنه با خطر زیاد و ۱/۴۳ درصد پهنه با خطر بسیار زیاد در زمینه مخاطره زمین لغزش شناخته شده است. بر اساس نتایج از مجموع ۹۸۰ روستا، ۲۵ روستای گردشگری ایران با آسیب‌پذیری بسیار بالا و ۱۱۳ روستا با آسیب‌پذیری بالا در معرض مخاطره زمین لغزش قرار دارند. همچنین ارزیابی توزیع روستاهای گردشگری با نقاط زمین لغزش، از تطبیق نتایج این پژوهش با نقاط نمونه برداشت شده اشاره دارد. همچنین نتایج نشان داد که بین نقشه نهایی و معیارهای ارزیابی مخاطره زمین لغزش، ارتباط وجود دارد.

نتایج مطالعه رینکن و همکاران (۲۰۱۸) در خصوص پهنه‌بندی خطر سیل در تورتو نشان داد با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، داده‌های سرشماری، رودخانه‌ها و مسیل‌ها، کاربری اراضی و لایه‌های نوع خاک، می‌توان اقدام به پهنه‌بندی مخاطره سیل نمود. همچنین نتایج پژوهش نشان داد حوضه‌های در معرض خطر سیل در محدوده مورد مطالعه دارای پراکنش نامنظمی هستند. پوپا^۱ و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای اقدام به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه رودخانه بوزائو در کشور رومانی نموده‌اند. آن‌ها در این مطالعه از لایه‌هایی مانند شیب، جهت شیب، ارتفاع، کاربری اراضی و شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال‌شده جهت پهنه‌بندی خطر سیلاب استفاده کرده‌اند. نتایج پژوهش نشان داد اگر محدوده مورد مطالعه در دو بخش غربی و شرقی تقسیم نماییم، در بخش غربی حوضه مورد بررسی، احتمال وقوع سیل بیشتر از نیمه شرقی آن است. نتایج مطالعه اسواین و همکاران (۲۰۲۰) با هدف پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه بیهار در کشور هند نشان داد در این مطالعه از پنج معیار هیدرولوژیک، مورفومتریک، نفوذپذیری، دینامیک پوشش زمین و انسانی استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داد مساحتی به وسعت ۳۰۰۰ کیلومتر مربع (۴۰/۳۶ درصد) در مناطق با خطر زیاد تا بسیار زیاد قرار گرفته‌اند و حدود ۱۰۰۰ کیلومتر مربع (۱۲ درصد) دارای حساسیت بسیار کم نسبت به سیلاب هستند. در مجموع نتایج نشان داد مناطقی که در مجاورت رودخانه‌ها قرار داشته‌اند، بیشتر در معرض خطر سیلاب قرار گرفته‌اند. نتایج پژوهش شعبانی حسین آبادی و جمینی (۲۰۲۵) با هدف پهنه‌بندی منظر فرهنگی هوارمان به لحاظ خطر سیل نشان داد که محققان در این مطالعه برای دستیابی به هدف اصلی پژوهش از معیارهای شیب، بارش، تراکم پوشش گیاهی، تراکم رودخانه، شاخص موقعیت توپوگرافی (TLI)، رواناب، شاخص قدرت جریان (FSI)، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، ارتفاع و خاک استفاده کرده و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از رویکرد همپوشانی فازی و عملگر Sum در نرم‌افزار ArcMap استفاده کرده‌اند. همچنین نتایج نشان داد ۳۴/۴۶ درصد از کل منطقه محدوده مطالعه به لحاظ مخاطره سیل در پهنه‌های پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفته است.

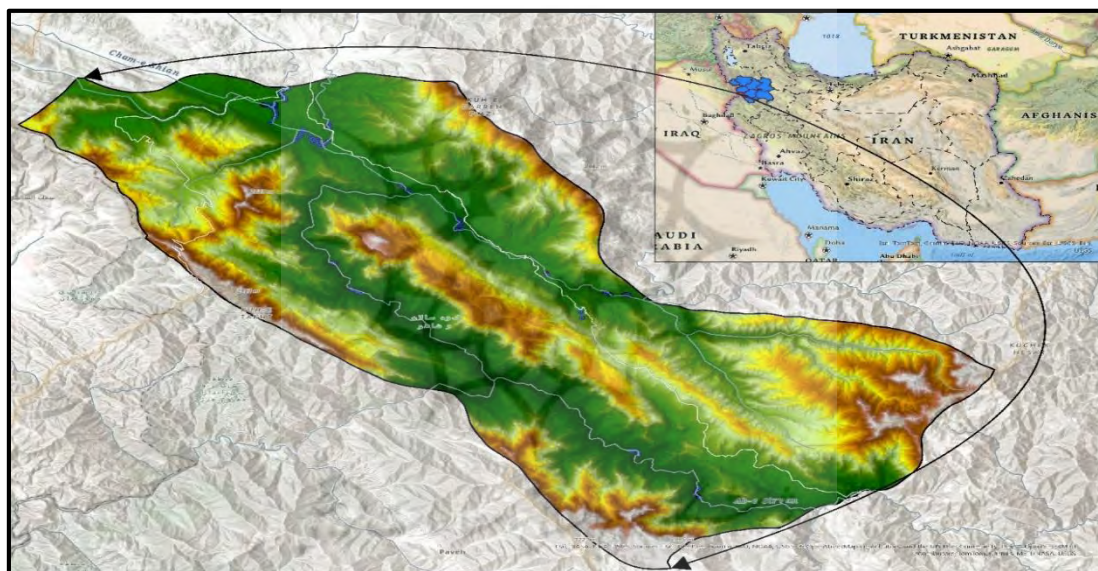
بررسی ادبیات و سوابق پژوهش نشان می‌دهد در زمینه پهنه‌بندی فضاهای جغرافیایی به لحاظ مخاطره سیل، فضاهای مختلفی مورد بررسی قرار گرفته و از عوامل و روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی مخاطرات محیطی استفاده شده است. با این وجود بررسی‌ها نشانگر این مهم است که در خصوص پهنه‌بندی مخاطرات محیطی از جمله سیل در مقاصد گردشگری مطالعات اندکی انجام گرفته است. همچنین استفاده از مدل MaxEnt برای پهنه‌بندی خطر سیل نیز کمتر مورد استفاده قرار گرفته است. از این‌رو مطالعه حاضر علاوه بر داشتن جنبه کاربردی، به لحاظ موضوع و روش مورد استفاده تا حد زیادی دارای نوآوری است.

روش‌شناسی پژوهش

محدوده مورد مطالعه

شهرستان سروآباد یکی از شهرستان‌های استان کردستان است که در بخش غربی این استان و در ناحیه‌ای کوهستانی از زاگرس میانی واقع شده است. این شهرستان با وسعتی بالغ بر ۱۰۴۴ کیلومتر مربع، از شمال به شهرستان مریوان، از شرق به شهرستان سنندج، از جنوب به شهرستان کامیاران و از غرب به کشور عراق محدود می‌شود. مرکز این شهرستان، شهر سروآباد است و سایر نقاط مهم آن شامل بخش‌های

اورامان، ژاوه‌رود و روستاهای متعددی در مناطق کوهستانی و دامنه‌ای می‌باشد. از نظر توپوگرافی، شهرستان سروآباد دارای ناهمواری‌های قابل توجهی است و ارتفاع آن از سطح دریا بین ۷۰۹ تا بیش از ۳۰۱۹ متر متغیر است. رودخانه‌های مهمی چون رودخانه سیروان در این شهرستان جریان دارند که نقش حیاتی در تأمین منابع آبی، اکوسیستم‌های محلی و نیز خطرپذیری سیلاب دارند. اقلیم منطقه به‌طور کلی نیمه‌مرطوب کوهستانی، با زمستان‌هایی سرد و پربرف و تابستان‌هایی معتدل است. میانگین بارندگی سالانه در شهرستان سروآباد بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر برآورد می‌شود که در ارتفاعات بیشتر است. این بارش‌ها عمدتاً در فصول زمستان و بهار رخ می‌دهند و در ترکیب با شیب‌های تند، شرایط مستعدی را برای وقوع سیلاب‌های فصلی فراهم می‌آورند. کاربری اراضی در این منطقه شامل کاربری‌های کشاورزی، باغی، مرتعی و جنگلی است. جنگل‌های طبیعی اورامانات در جنوب غربی سروآباد به‌عنوان یکی از غنی‌ترین پوشش‌های گیاهی منطقه شناخته می‌شوند که نقش مهمی در پایداری اکولوژیکی دارند. با این حال، توسعه بی‌رویه سکونت‌گاه‌ها، جاده‌سازی و تغییرات کاربری اراضی طی دهه‌های اخیر، پتانسیل خطرپذیری نسبت به سیلاب را در منطقه افزایش داده است. با توجه به ترکیب شرایط طبیعی، اقلیمی، ژئومورفولوژیکی و انسانی، شهرستان سروآباد به‌عنوان منطقه‌ای مستعد برای وقوع سیلاب‌های فصلی شناخته می‌شود. به همین دلیل، بررسی دقیق عوامل مؤثر بر بروز سیل و پهنه‌بندی خطر در این شهرستان از اهمیت راهبردی بالایی برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و کاهش آسیب‌پذیری برخوردار است. لازم به ذکر این شهرستان به واسطه جاذبه‌های گردشگری طبیعی و انسانی از پرمخاطب‌ترین فضاها در استان کردستان است. قرار گرفتن این شهرستان در محدوده ثبت شده جهانی منظر فرهنگی هورامان توسط یونسکو، نشانگر غنای طبیعی و انسانی این شهرستان و ارزش جهان آن است.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه در استان کردستان و ایران

منبع: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کردستان، ۱۴۰۰

روش تحقیق

این تحقیق در زمره پژوهش‌های کمی و کاربردی قرار می‌گیرد که با هدف پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهرستان سروآباد و با استفاده از رویکرد داده‌محور و ابزارهای نوین سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شده است. این مطالعه با توجه به فرایند کلی حاکم بر آن، در چندین مرحله نظام‌مند نگارش شده است. در گام نخست، شناسایی عوامل و پارامترهای مؤثر بر وقوع سیل با بهره‌گیری از مرور پیشینه‌های علمی، منابع معتبر و تحلیل‌های کارشناسی صورت گرفت. در این مرحله، ۱۴ پارامتر کلیدی به‌عنوان عوامل مؤثر در بروز و گسترش سیلاب شناسایی شدند. این پارامترها عبارتند از: ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از مراکز ترافیکی، تراکم رودخانه‌ها، تراکم جاده‌ها، تراکم مراکز ترافیکی، شاخص انحنای سطح^۱، شاخص انحنای مقطع^۲، شاخص انحنای کلی^۳ و میانگین بارش سالیانه. در مرحله بعد، کلیه لایه‌های مکانی مرتبط با این پارامترها با استفاده

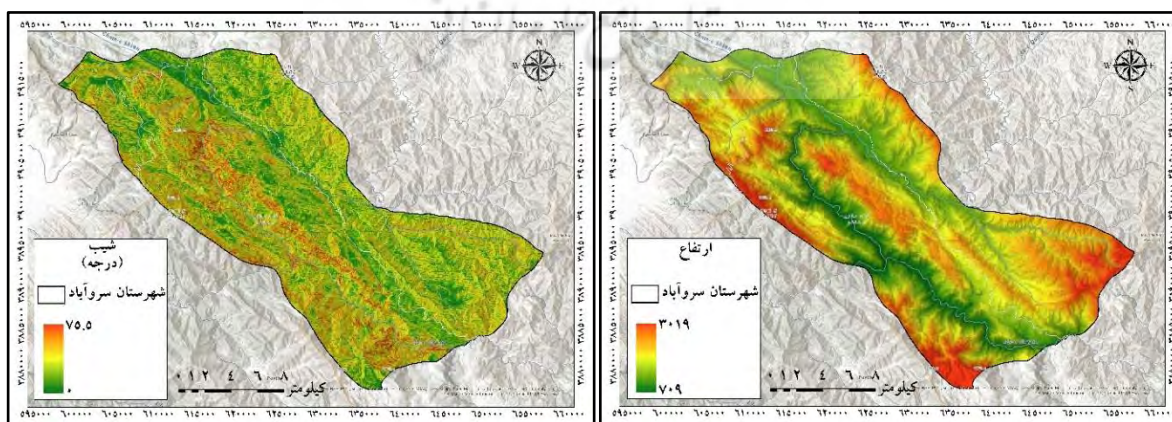
1. Plan Curvature
2. Profile Curvature
3. Curvature

از منابع مختلف مانند داده‌های رقومی ارتفاع^۱، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و لایه‌های برداری تولید شدند. سپس این لایه‌ها با هدف به‌کارگیری در محیط مدل‌سازی، به فرمت ASCII تبدیل گردیدند تا امکان ورود آن‌ها به نرم‌افزار MaxEnt فراهم شود. MaxEnt به‌عنوان یکی از مدل‌های قدرتمند مبتنی بر حداکثر آنتروپی، توانایی بالایی در مدل‌سازی پتانسیل مکانی پدیده‌ها بر اساس نقاط وقوع و متغیرهای محیطی دارد. از سوی دیگر، نقاط وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه، از طریق نقشه‌های پهنه‌بندی سیل گذشته، تحلیل تصاویر و مشاهدات میدانی شناسایی شده و پس از پالایش، به فرمت CSV تبدیل شدند تا به‌عنوان داده‌های آموزشی در مدل MaxEnt مورد استفاده قرار گیرند. در این پژوهش داده‌های آموزشی و یادگیری به نسبت ۲۰ به ۸۰ تقسیم شده‌اند. همچنین تعداد نقاط استخراج شده ۲۵۰ نقطه سیلابی بوده است. این داده‌ها نقش حیاتی در آموزش مدل و تعیین رابطه بین عوامل محیطی و الگوهای مکانی سیل دارند. پس از اجرای مدل در محیط MaxEnt، نقشه احتمال وقوع سیلاب برای شهرستان سروآباد تولید شد که محدوده‌های مختلف از نظر میزان خطر سیل (بسیار کم خطر، کم خطر، متوسط، زیاد و بسیار زیاد) را تفکیک می‌نماید. نتایج مدل‌سازی به‌منظور اعتبارسنجی با شاخص‌های آماری نظیر AUC نیز ارزیابی شد تا از دقت مدل اطمینان حاصل شود. در گام نهایی، خروجی‌های حاصل از مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار GISPro استخراج گردید و نقشه‌های تولید شده، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند. این نقشه‌ها امکان تصمیم‌گیری بهتر برای مدیریت منابع، برنامه‌ریزی کاربری اراضی، کاهش خسارات ناشی از سیلاب و ارتقای تاب‌آوری محیطی را فراهم می‌کنند.

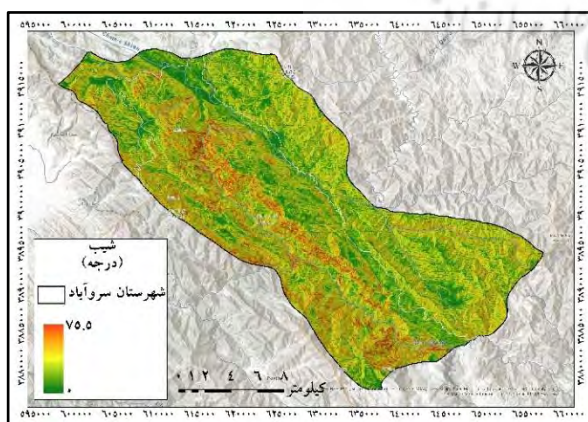
یافته‌ها و بحث

تهیه نقشه‌های احتمال وقوع سیلاب با استفاده از الگوریتم MaxEnt بر اساس پارامترهای مؤثر بر وقوع سیلاب

در این بخش، نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها و اجرای مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم MaxEnt ارائه شده است. هدف اصلی از این مرحله، ارزیابی نقش پارامترهای مؤثر در وقوع سیلاب و تعیین پهنه‌های دارای خطر سیل در شهرستان سروآباد است. پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی و نقاط وقوع سیلاب، مدل اجرا گردید و خروجی‌های آن به‌صورت نقشه‌های احتمال وقوع سیلاب، ارائه شد. شکل‌های ۲ تا ۵ نقشه‌ی پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت شیب و کاربری اراضی را نشان می‌دهد. نقشه ارتفاع (شکل ۲) نشان می‌دهد که منطقه دارای تنوع توپوگرافی قابل توجهی است، به‌طوری که ارتفاع از حدود ۷۹۰ تا بیش از ۳۰۰۰ متر تغییر می‌کند. این ناهمواری‌ها نقش مهمی در جهت‌دهی به جریان رواناب سطحی دارند. نقشه شیب (شکل ۳) نیز نشانگر تسلط شیب‌های تند در نواحی مرکزی و جنوب شرقی منطقه است که این وضعیت می‌تواند موجب افزایش سرعت رواناب و تشدید پتانسیل وقوع سیلاب‌های ناگهانی شود. در مقابل، نواحی شمال غربی عمدتاً دارای شیب ملایم‌تری هستند. نقشه جهت شیب (شکل ۴) الگوی پراکنش جهات دامنه‌ها را مشخص می‌سازد که این متغیر در ترکیب با تابش خورشیدی، رطوبت خاک و بارش می‌تواند در تعیین رفتار هیدرولوژیکی حوضه مؤثر باشد. نقشه کاربری اراضی (شکل ۵) تنوع استفاده از اراضی را نمایش می‌دهد؛ به‌طوری که اراضی کشاورزی و مراتع بخش عمده‌ای از منطقه را پوشش می‌دهند، در حالی که نواحی شهری و سکونت‌گاه‌های انسانی بیشتر در دشت‌های پایین‌دست متمرکز شده‌اند. این توزیع می‌تواند آسیب‌پذیری مناطق مسکونی در برابر سیلاب را افزایش دهد.

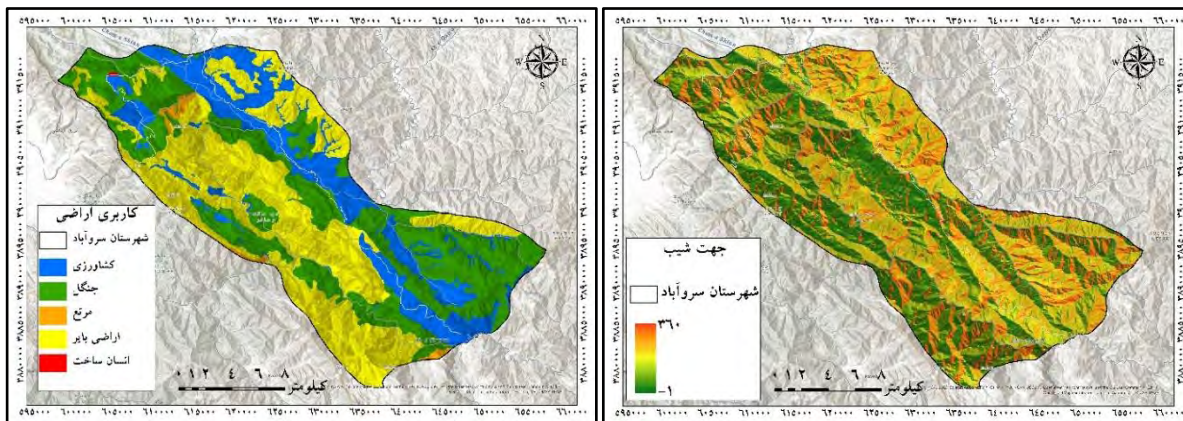


شکل ۲. نقشه ارتفاع منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

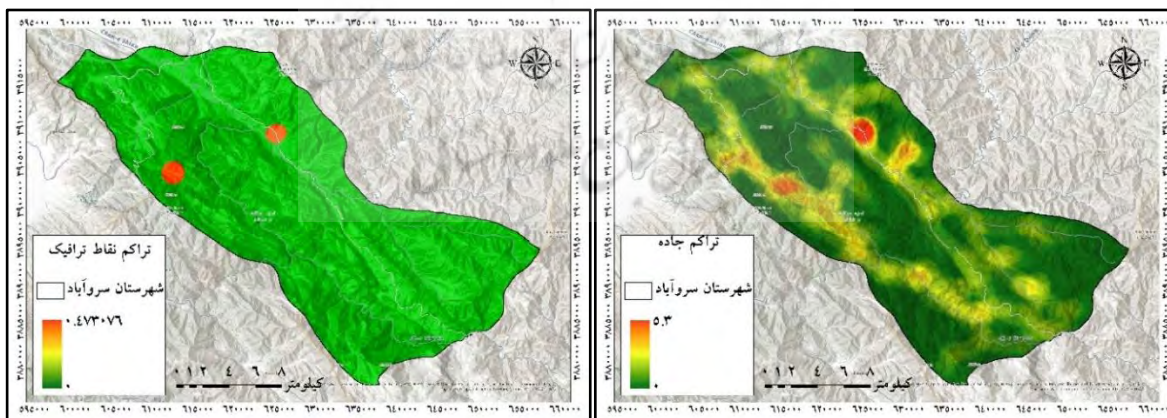


شکل ۵. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

شکل ۴. نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

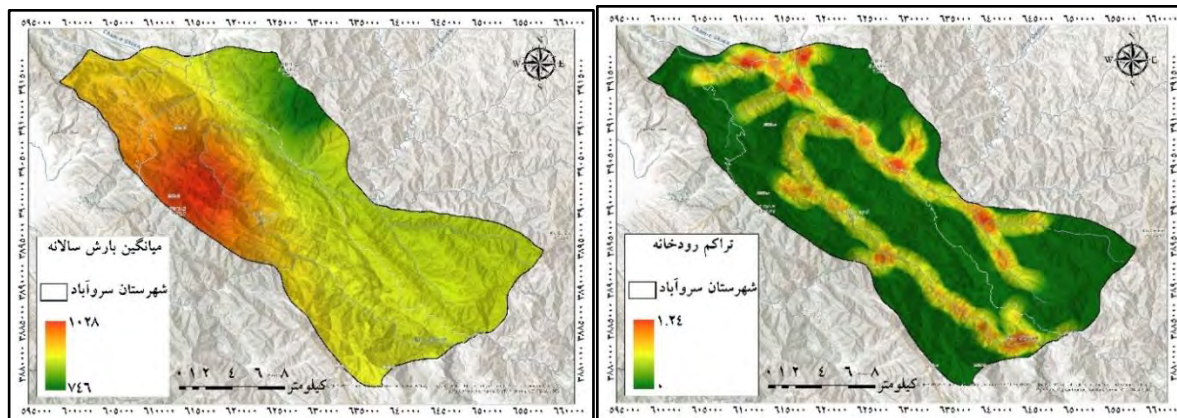
در این مطالعه شکل ۶، که به تراکم جاده اختصاص دارد، نشان می‌دهد که تراکم جاده‌ها عمدتاً در نواحی شمالی و مرکزی شهرستان سروآباد بیشتر است. این مناطق به دلیل دسترسی بهتر، فعالیت‌های انسانی و تمرکز زیرساختی، از مسیرهای جاده‌ای بیشتری برخوردارند. از دیدگاه مخاطرات، تراکم بالای جاده‌ها در مناطق پرشیب یا نزدیک به منابع آب می‌تواند ریسک آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب را افزایش دهد. شکل ۷ که به تراکم نقاط ترافیک اختصاص داد نشان می‌دهد تراکم نقاط ترافیکی بیشتر در اطراف مراکز جمعیتی مانند شهر سروآباد متمرکز شده است. این تراکم می‌تواند به عنوان شاخصی برای تمرکز فعالیت‌های انسانی و حضور زیرساخت‌های حیاتی تلقی شود، که در صورت وقوع سیلاب، احتمال خسارت‌های جانی و مالی را در این نواحی افزایش می‌دهد. شکل ۸ نشانگر تراکم رودخانه در محدوده مورد مطالعه است. این شکل نشان‌دهنده الگوی توزیع رودخانه‌ها و آبراهه‌ها در منطقه است. تمرکز رودخانه‌ها در نواحی جنوبی و مرکزی مشهود است و این نواحی به واسطه تراکم بالای شبکه آبراهه‌ای، مستعد وقوع سیلاب‌های ناگهانی و شدید هستند. این عامل، همراه با شیب زیاد و بارش بالا، می‌تواند مناطق مذکور را به پهنه‌های پرخطر سیل تبدیل کند. شکل ۹ که به میانگین بارش سالانه تعلق دارد، نشان می‌دهد بارش سالانه در شهرستان سروآباد از شمال غرب به جنوب شرق دارای یک شیب کاهشی است. بیشترین بارش در مناطق مرتفع شمال غربی مشاهده می‌شود که می‌تواند منبع تأمین رواناب سطحی برای مناطق پایین دست باشد. این الگوی بارشی در ترکیب با شرایط توپوگرافی و پوشش زمین، نقشی تعیین‌کننده در میزان و شدت سیلاب دارد.



شکل ۷. نقشه تراکم نقاط ترافیک در منطقه مورد مطالعه

شکل ۶. نقشه تراکم جاده در منطقه مورد مطالعه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

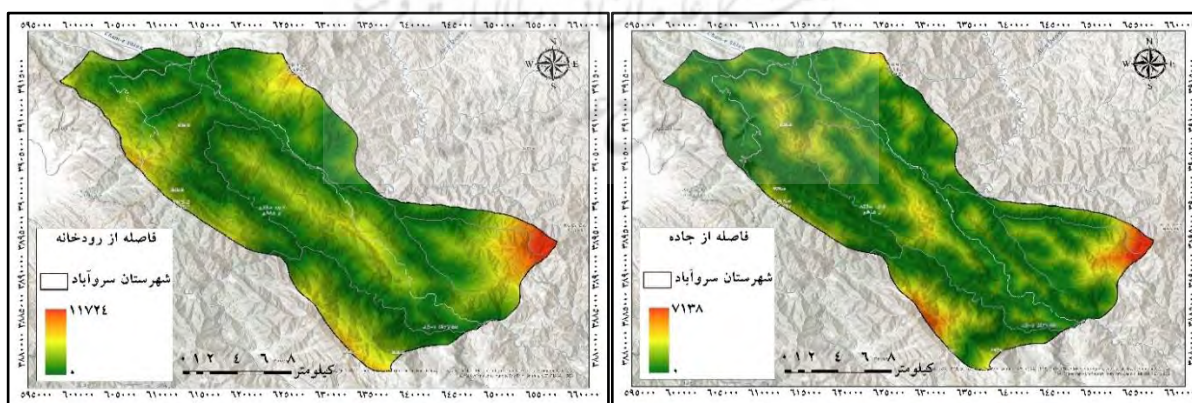


شکل ۸. نقشه تراکم رودخانه در منطقه مورد مطالعه

شکل ۹. نقشه میانگین بارش سالانه منطقه مورد مطالعه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

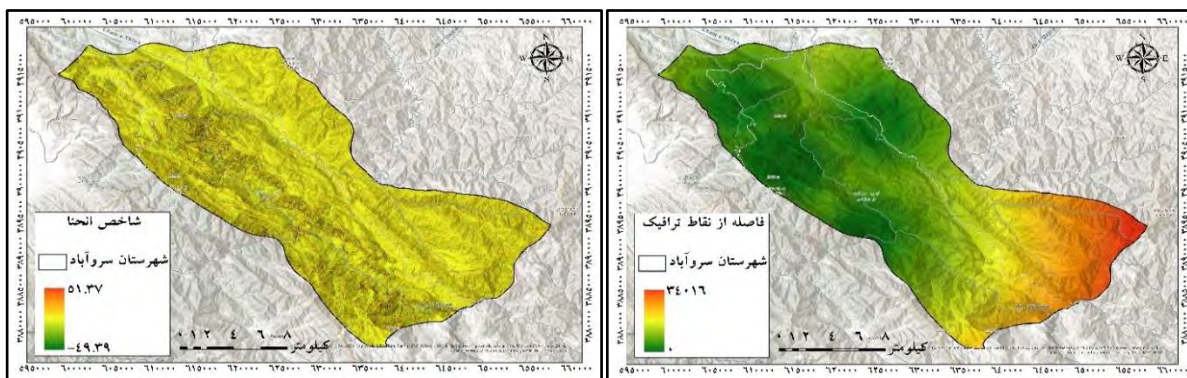
نقشه مربوط به معیار فاصله از جاده (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که نواحی شمالی و مرکزی شهرستان سروآباد به شبکه جاده‌ای نزدیک‌تر هستند، در حالی که نواحی شرقی و جنوبی از جاده‌ها فاصله بیشتری دارند. نزدیکی به جاده‌ها نشان‌دهنده دسترسی بهتر، تمرکز زیرساخت و احتمال فعالیت انسانی بالاتر است. اما این نزدیکی در مناطق پرشیب یا مجاور رودخانه‌ها می‌تواند خطر آسیب‌پذیری در برابر سیلاب یا رانش زمین را افزایش دهد. نقشه فاصله از رودخانه (شکل ۱۱) نشان می‌دهد، نواحی مرکزی و جنوبی شهرستان دارای فاصله کمتری از رودخانه‌ها هستند. تمرکز آبراهه‌ها در این مناطق، همراه با شیب و بارندگی بالا، نشان‌دهنده ریسک بالای سیلاب‌های ناگهانی و فرسایش شدید است. این شرایط می‌تواند تهدیدی برای سکونت‌گاه‌ها و زیرساخت‌های نزدیک به بستر رودخانه‌ها باشد. نقشه فاصله از نقاط ترافیکی (شکل ۱۲) نشانگر این است که نقاط ترافیکی عموماً به مراکز سکونت یا گره‌های حمل‌ونقل مرتبط هستند. در این نقشه، بخش‌های مرکزی و شمال‌غربی شهرستان سروآباد فاصله کمتری از نقاط ترافیکی دارند. این موضوع نشان‌دهنده تمرکز فعالیت انسانی، جمعیت و خدمات است. در صورت وقوع حوادثی نظیر سیل یا زلزله، این نواحی به دلیل تمرکز جمعیت و اهمیت زیرساختی، در معرض آسیب‌های جدی‌تری خواهند بود. شاخص انحنای یکی از ویژگی‌های ژئومورفولوژیک مهم برای تحلیل پتانسیل رواناب و حرکات توده‌ای است. نقشه شاخص انحنای (شکل ۱۳) نشان می‌دهد نواحی با انحنای منفی (مقعر) معمولاً محل تجمع آب و رواناب بوده و استعداد بالاتری برای وقوع سیلاب دارند. در مقابل، نواحی با انحنای مثبت (محدب) به عنوان مناطق زهکش طبیعی عمل می‌کنند. تحلیل این نقشه در کنار عوامل دیگر مانند شیب، بارش و پوشش زمین، می‌تواند به شناسایی دقیق مناطق پرخطر کمک کند.



شکل ۱۰. نقشه فاصله از جاده در منطقه مورد مطالعه

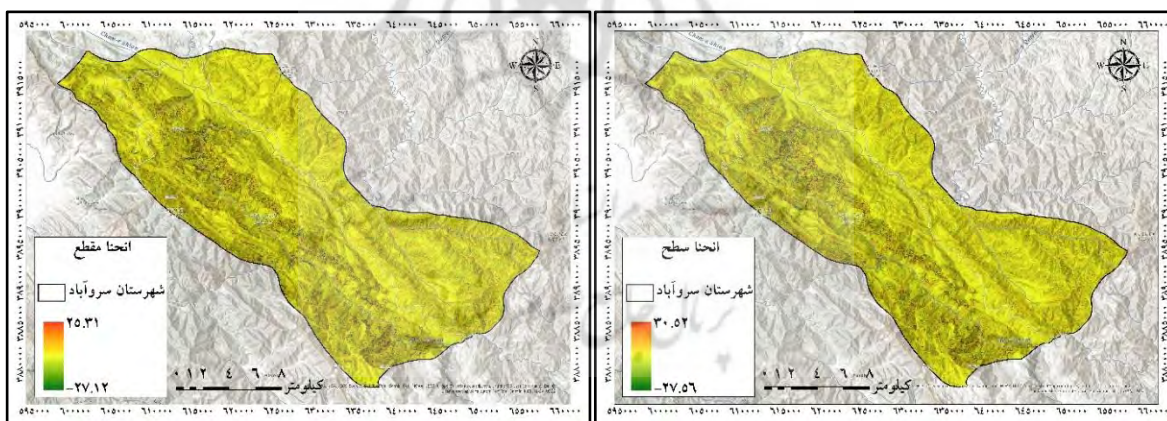
شکل ۱۱. نقشه فاصله از رودخانه در منطقه مورد مطالعه

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴



شکل ۱۲. نقشه فاصله از نقاط ترافیک در منطقه مورد مطالعه
شکل ۱۳. نقشه شاخص انحنا در منطقه مورد مطالعه
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

نقشه مربوط به شاخص انحنا سطح (شکل ۱۴) نیز، نشان‌دهنده انحناى زمین در راستای افقی و نقش آن در همگرایی یا واگرایی جریان آب است. نواحی با انحناى منفی در این نقشه، که عمدتاً در مناطق پایین‌دست و میان‌دست حوضه دیده می‌شوند، محل همگرایی جریان و تمرکز آب‌های سطحی بوده و بنابراین مستعد شکل‌گیری کانال‌ها و فرسایش شدید هستند. در حالی که مناطق با انحناى مثبت که در بخش‌های مرتفع و تیغه‌ای‌تر قرار دارند، معمولاً نقش پراکندگی و هدایت آب به اطراف را ایفا می‌کنند. شاخص انحناى مقطع (شکل ۱۵) نشانگر انحناى زمین در راستای شیب است و بر شتاب جریان آب و نحوه تجمع یا پراکندگی آن در امتداد شیب‌ها تأثیر می‌گذارد. در این نقشه مشاهده می‌شود که مناطق مرکزی و جنوبی شهرستان دارای مقادیر منفی انحنا (مقعر) هستند که نشان‌دهنده شیارها و دره‌هایی با پتانسیل بالا برای تجمع رواناب و وقوع سیلاب‌های شدید است. در مقابل، بخش‌های محدب که معمولاً در ارتفاعات و تیغه‌ها قرار دارند، محل پراکندگی جریان و آغاز فرسایش سطحی هستند. ترکیب این دو شاخص در تحلیل‌های هیدرولوژیکی و ارزیابی خطرات محیطی مانند سیل و فرسایش، اطلاعات ارزشمندی فراهم می‌سازد. نواحی که همزمان دارای انحناى مقعر در هر دو بُعد باشند (هم در راستای شیب و هم در راستای افقی)، به‌عنوان پهنه‌های پرخطر باید در اولویت مدیریت سیلاب، اجرای اقدامات حفاظتی و برنامه‌ریزی کاربری زمین قرار گیرند.

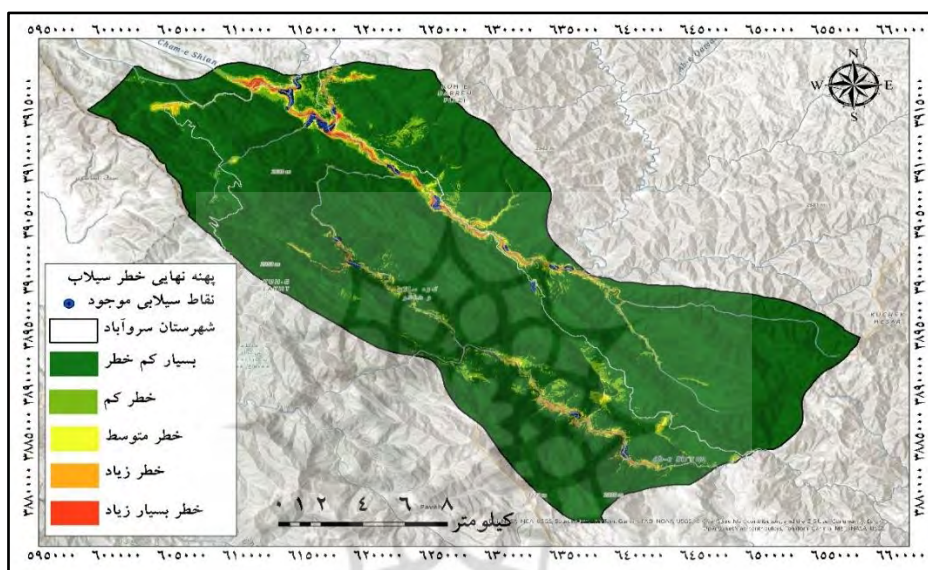


شکل ۱۴. نقشه شاخص انحنا سطح در منطقه مورد مطالعه
شکل ۱۵. نقشه شاخص انحنا مقطع در منطقه مورد مطالعه
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

پهنه‌بندی نهایی خطر وقوع سیلاب در شهرستان سروآباد

پهنه‌بندی نهایی خطر وقوع سیلاب در شهرستان سروآباد با استفاده از تلفیق شاخص‌های محیطی، توپوگرافی و انسانی تهیه شده است. این نقشه بر اساس پنج کلاس خطر از «بسیار کم» تا «بسیار زیاد» طبقه‌بندی شده و نقاط سیلابی ثبت شده نیز برای اعتبارسنجی نتایج در آن مشخص شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد (شکل ۱۶ و جدول ۱) از کل مساحت محدوده مورد مطالعه که ۱۰۴۴/۵۲ کیلومتر مربع است، ۹۳/۶۴ درصد (معادل ۹۷۸/۱۱ کیلومتر مربع) در پهنه بسیار کم خطر، ۳/۲ درصد (معادل ۳۳/۳۸ کیلومتر مربع) در پهنه کم خطر، ۱/۲ درصد (معادل ۱۲/۵۸ کیلومتر مربع) در پهنه خطر متوسط، ۰/۵۴ درصد (معادل ۵/۶ کیلومتر مربع) در پهنه خطر زیاد و ۱/۴۲ درصد (معادل ۱۴/۸۵ کیلومتر مربع) در پهنه خطر بسیار زیاد قرار گرفته است. در واقع نتایج گویای این مهم است که بخش محدودی از شهرستان سروآباد به لحاظ مخاطره

سیل در پهنه‌های پرخطر قرار دارد. مطابق با این نقشه، مناطق با خطر بسیار زیاد و زیاد (نوارهای قرمز و نارنجی‌رنگ) عمدتاً در امتداد دره‌ها، بستر رودخانه‌ها و نواحی با تراکم بالای شبکه آبراهه‌ای متمرکز شده‌اند. این مناطق که اغلب به صورت نواری شکل در بخش‌های شمالی تا مرکزی شهرستان واقع شده‌اند. این نقاط پرخطر در محل تلاقی چندین عامل مؤثر مانند شیب مناسب برای تمرکز رواناب، نزدیکی به رودخانه‌ها، انحنای مقعر زمین و تراکم بالای جاده‌ها و نقاط ترافیکی قرار دارند. تطابق بالای این نواحی با نقاط ثبت‌شده سیلابی (نقاط آبی‌رنگ) مؤید دقت مناسب مدل در شناسایی مناطق پرخطر است. در مقابل، بیشتر مناطق جنوبی، جنوب‌شرقی و شمال‌غربی شهرستان در کلاس‌های خطر کم و بسیار کم قرار گرفته‌اند. این نواحی معمولاً دارای ارتفاعات بیشتر، شیب‌های تندتر، فاصله زیاد از رودخانه‌ها و پراکندگی پایین‌تر فعالیت‌های انسانی هستند که منجر به کاهش پتانسیل سیلاب‌پذیری در آن‌ها شده است. این نقشه نهایی می‌تواند ابزار بسیار مؤثری در مدیریت بحران، برنامه‌ریزی شهری و مکان‌یابی زیرساخت‌های حیاتی باشد. مناطق با خطر بالا باید در اولویت اقدامات حفاظتی، اجرای پروژه‌های کنترل سیلاب و تعیین کاربری‌های مقاوم به بحران قرار گیرند، در حالی که توسعه‌های جدید ترجیحاً به سمت نواحی با خطر کمتر هدایت شود.



شکل ۱۶. نقشه پهنه نهایی خطر وقوع سیلاب در شهرستان سروآباد

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

جدول ۱. مساحت و درصد پهنه‌های مختلف در شهرستان سروآباد

پهنه خطر	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	درصد تجمعی
بسیار کم خطر	۹۷۸/۱۱	۹۳/۶۴	۹۳/۶۴
کم خطر	۳۳/۳۸	۳/۲	۹۶/۸۴
خطر متوسط	۱۲/۵۸	۱/۲	۹۸/۰۴
خطر زیاد	۵/۶	۰/۵۴	۱۰۰
خطر بسیار زیاد	۱۴/۸۵	۱/۴۲	—
مجموع	۱۰۴۴/۵۲	۱۰۰	—

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

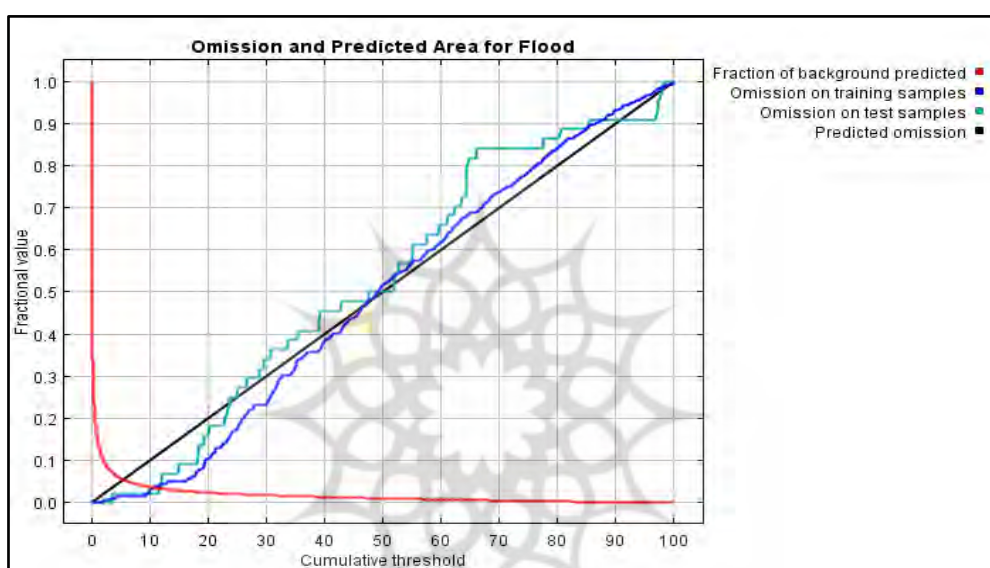
صحت‌سنجی مدل

صحت‌سنجی پهنه‌بندی انجام شده با استفاده از نمودار Omission و Predicted Area (شکل ۱۷) در راستای این مهم انجام شده است که مدل تا چه حد توانسته است با دقت، مناطق در معرض سیلاب را پیش‌بینی کند و هم‌زمان از پیش‌بینی نادرست نواحی غیرسیلابی (پس‌زمینه) خودداری نماید. محور افقی نمودار، آستانه تجمعی^۱ را نشان می‌دهد، که بیانگر شدت طبقه‌بندی پیکسل‌ها به عنوان مثبت (یعنی وقوع سیلاب) است. محور عمودی نیز مقادیر کسری را برای معیارهای مختلفی مانند حذف، پیش‌بینی نادرست پس‌زمینه و غیره نمایش می‌دهد.

1. Cumulative Threshold

سه خط کلیدی در این نمودار مشاهده می‌شود:

- ✓ خط آبی و فیروزه‌ای (Omission on training/test samples) که نشان‌دهنده نرخ حذف (نادرستی در پیش‌بینی نقاط واقعی وقوع سیلاب) در داده‌های آموزشی و آزمون است. مشاهده می‌شود که این خطوط تا سطوح آستانه بالا، مقدار بسیار کمی دارند (نزدیک صفر)، که دلالت بر دقت بالای مدل در شناسایی مناطق سیلاب‌زده دارد. همچنین تطابق مناسب بین دو خط، نشان‌دهنده عملکرد یکنواخت و قابل تعمیم مدل در داده‌های دیده‌نشده است.
- ✓ خط قرمز (Fraction of background predicted) بیانگر بخشی از نواحی پس‌زمینه (غیر سیلاب) است که اشتباهاً به‌عنوان مثبت پیش‌بینی شده‌اند. هرچند در آستانه‌های پایین این خط افزایش زیادی دارد (پیش‌بینی بیش‌ازحد مثبت)، اما به سرعت پایدار شده و کاهش می‌یابد، که نشان می‌دهد مدل با اعمال آستانه مناسب، توانایی حذف نویز را دارد.
- ✓ خط مورب مشکی (Predicted omission) به‌عنوان خط پایه یا پیش‌بینی تصادفی در نظر گرفته می‌شود. خطوط آبی و فیروزه‌ای در بیشتر بازه‌ها به‌وضوح پایین‌تر از این خط قرار دارند که نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل نسبت به حالت تصادفی است.



شکل ۱۷. صحت‌سنجی مدل پژوهش با استفاده از نمودار Omission و Predicted Area

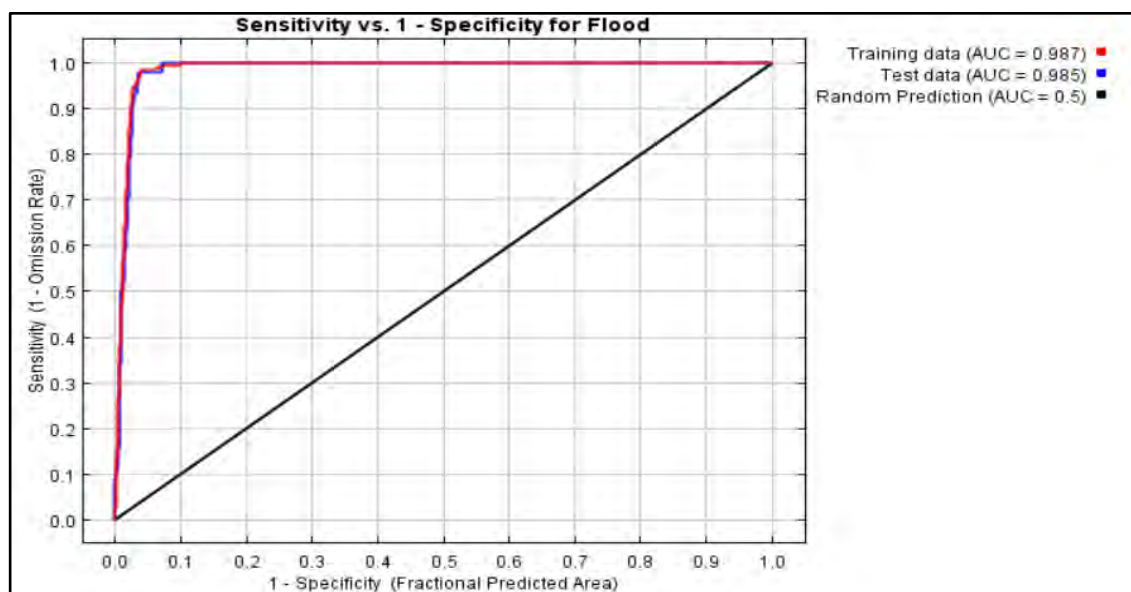
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

در نمودار دوم (شکل ۱۸)، عملکرد مدل در قالب منحنی ROC (Receiver Operating Characteristic) ترسیم شده است. این نمودار نمایانگر تعادل بین حساسیت (نرخ صحیح شناسایی مناطق سیلابی) و نرخ مثبت کاذب (پیش‌بینی اشتباه نواحی غیرسیلابی به‌عنوان سیلابی) است. هرچه منحنی به گوشه بالا-چپ نزدیک‌تر باشد، عملکرد مدل بهتر است.

در این نمودار:

- ✓ منحنی صورتی (Training data) و آبی (Test data) به‌شدت به گوشه بالا-چپ متمایل شده‌اند، که نشان از قدرت تمایز بسیار بالای مدل دارد. مقادیر AUC به‌ترتیب برابر با ۰/۹۸۷ و ۰/۹۸۵ گزارش شده‌اند، که بسیار نزدیک به ۱ هستند و دقت مدل را چه در داده‌های آموزش و چه در داده‌های تست تأیید می‌کنند.
- ✓ نزدیکی زیاد بین منحنی‌های آموزش و تست نشان می‌دهد که مدل دچار بیش‌برازش نشده و توانایی تعمیم‌پذیری خوبی دارد. این مسئله بسیار مهم است، زیرا هدف اصلی در مدل‌سازی پیش‌بینی، داشتن عملکرد مشابه در شرایط واقعی و نادیده‌گرفته شده است.
- ✓ خط مورب (Random prediction) همان عملکرد یک مدل کاملاً تصادفی با $AUC = 0.5$ را نشان می‌دهد، که در مقایسه با مدل فعلی، به‌وضوح ضعیف‌تر است.

مجموع تحلیل دو نمودار فوق نشان می‌دهد که مدل پیش‌بینی سیلاب عملکردی بسیار رضایت‌بخش دارد. نرخ حذف پایین، درصد بالای شناسایی صحیح مناطق هدف، توانایی تفکیک بالا میان مناطق سیلابی و غیرسیلابی، و مقادیر بسیار بالا برای AUC همگی گواهی بر دقت، پایداری و تعمیم‌پذیری بالای مدل هستند. علاوه بر این، اختلاف ناچیز بین عملکرد روی داده‌های آموزشی و تست نشان می‌دهد که مدل با موفقیت از بیش‌برازش اجتناب کرده است.



شکل ۱۸. صحت‌سنجی مدل پژوهش با استفاده منحنی ROC

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۴

نتیجه‌گیری

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر، یکی از کم‌هزینه‌ترین و کارآمدترین ابزارهای مدیریت مخاطرات محیطی به ویژه در کشورهای در حال توسعه است که با کمبود منابع مالی برای مدیریت مخاطرات محیطی مواجه هستند. در این میان استفاده از ابزار و روش‌های نوین، پهنه‌بندی مناسب‌تری را از فضاهای جغرافیایی ارائه می‌دهد. در میان مخاطرات محیطی مختلف، سیل از جمله مخاطراتی است که بیشترین خسارت را به دنبال دارد. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد در میان فضاهای مختلف جغرافیایی، پهنه‌بندی مخاطرات محیطی در مقاصد گردشگری از اهمیت دوچندان برخوردار است. چراکه علاوه بر جامعه محلی، گردشگران زیادی در این فضاهای تردد دارند که با مخاطرات منطقه آشنایی زیادی ندارند و همواره در معرض خطر هستند. بنابراین پهنه‌بندی خطر در مقاصد گردشگری که دارای ارزش جهانی باشند، از اهمیت استراتژیک برخوردار است. با این تفاسیر مطالعه حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر سیل در شهرستان سروآباد به عنوان یکی از مقاصد کلیدی گردشگری استان کردستان و همچنین بخشی از منظر فرهنگی هوارامان انجام گرفته است که در سال ۲۰۲۱ توسط سازمان یونسکو، به ثبت جهانی رسیده است. در راستای دستیابی به هدف اصلی پژوهش از ۱۴ معیار کلیدی (ارتفاع، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، تراکم جاده، تراکم نقاط ترافیک، تراکم رودخانه، میانگین بارش سالانه، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از نقاط ترافیک، شاخص انحنای شاخص انحنای سطح و شاخص انحنای مقطع) استفاده شده است.

موسوی و همکاران (۱۳۹۵)، پژوهش غلامی و احمدی (۱۳۹۸)، آذریان (۱۴۰۰)، محمدی و همکاران (۱۴۰۳)، رینکن و همکاران (۲۰۱۸)، پوپا و همکاران (۲۰۱۹)، اسواین و همکاران (۲۰۲۰) و شعبانی حسین آبادی و جمینی (۲۰۲۵) در مطالعات خود از معیارهای فوق برای پهنه‌بندی سیل استفاده کرده‌اند. نتایج پژوهش نشان داد به واسطه شرایط جغرافیایی (طبیعی و انسانی) حاکم بر شهرستان سروآباد، بخش کوچکی از محدوده مورد مطالعه در پهنه‌های خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. از آنجایی که کمتر از دو درصد فضای مورد بررسی به لحاظ خطر وقوع سیل در کلاس‌های خطر بسیار زیاد و زیاد قرار گرفته است، از این نظر نتایج پژوهش حاضر با هیچ یک از مطالعات مورد بررسی همسویی ندارد. از این رو می‌توان چنین عنوان کرد که در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده، شهرستان سروآباد به لحاظ خطر سیل در وضعیت مطلوبی قرار دارد. با این وجود با توجه به اسکان جمعیت قابل توجهی از مردمان سخت‌کوش مرزنشین در این منطقه، ارزش و جایگاه جهانی این فضای جغرافیایی و نقش کلیدی آن در توسعه گردشگری و همچنین تردد تعداد زیادی از گردشگران در این مختلف سال در این فضای سکونتگاهی، مدیریت مخاطره سیل می‌تواند نقش مهمی را در پایداری شهرستان سروآباد ایفا نماید.

در راستای مدیریت خطر سیل در شهرستان سروآباد اطلاع‌رسانی دقیق زمان دقیق وقوع سیل توسط سازمان آب و هواشناسی، توزیع نقشه پهنه‌بندی انجام شده در میان مدیران شهری و روستایی، نصب علائم هشدار در مجاورت پهنه‌های واقع در خطر زیاد و بسیار به لحاظ خطر سیل، جلوگیری از ساخت و ساز و توسعه سایر فعالیت‌های فیزیکی در محدوده‌های پر خطر، تعیین دقیق حرایم خطر به ویژه در مجاورت فضاهای مسکونی، مدیریت کارآمد و بهینه چندجانبه مراتع و جنگل‌ها، احداث مراکز امداد رسان در محدوده‌های پرخطر، استفاده از سازه‌های

مقاوم در برابر سیل در زمان توسعه انواع زیرساخت‌های فیزیکی و کالبدی و احداث موانع انحرافی برای هدایت آب به فضای دورتر از مراکز سکونت، از مهم‌ترین پیشنهادهای کاربردی مطالعه حاضر هستند.

از مهم‌ترین محدودیت‌های انجام پژوهش می‌توان به عدم حمایت مالی از نتایج پژوهش، دسترسی دشوار به لایه‌های اطلاعاتی مد نظر و همکاری ضعیف سازمان‌های و ادارات در خصوص ارائه داده به محققان، اشاره کرد. در راستای توسعه موضوع مورد بررسی پیشنهادها و مطالعاتی زیر ارائه می‌شود: بررسی تاب آوری جامعه محلی در برابر سیل و شناسایی عوامل موثر بر آن؛ شناسایی پهنه‌های بهینه مسکونی جهت به لحاظ انواع مخاطرات محیطی (مخاطرات چندگانه) جهت توسعه فیزیکی آتی در شهرستان سروآباد؛ شناسایی و اولویت‌بندی راهکارهای مقابله با مخاطرات محیطی از دیدگاه جامعه محلی.

حامی مالی

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

سه‌م نویسندگان در پژوهش

نویسنده اول: نظارت علمی و راهنمایی کلی بر روند تحقیق، تجزیه و تحلیل داده‌ها و نتایج، مشارکت در نگارش نهایی مقاله و تأیید نهایی متن

نویسنده دوم: گردآوری داده‌های مکانی و آماری، ترسیم نقشه‌ها و تحلیل‌های گرافیکی، کمک در بخش روش‌شناسی تحقیق، همکاری در نگارش بخش پیشینه تحقیق

نویسنده سوم: مشارکت در نگارش یافته‌ها و نتیجه‌گیری، و بازبینی نهایی مقاله.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی افرادی که در گردآوری داده‌های میدانی با آن‌ها همکاری کرده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

۱. امیراحمدی، ابوالقاسم؛ کرامتی، صغری و احمدی، طیب (۱۳۹۰). ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر نیشابور در راستای توسعه شهری. فصلنامه علمی و پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۲(۷)، ۹۱-۱۱۰. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22285229.1390.2.7.6.4>
۲. آذریان، کامیار (۱۴۰۰). برآورد رواناب شهری و پهنه بندی آن با استفاده از تحلیل‌های فضایی در شهر بندرعباس. فصل‌نامه جغرافیا و برنامه ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس، ۱۳(۵۰)، ۵۴-۲۷. <https://sanad.iau.ir/Journal/zagros/Article/937815>
۳. پایگاه خبری تحلیلی هازه (۱۴۰۱). آمار جمعیت استان کوردستان به تفکیک شهرها در سال ۱۴۰۰. کد مطلب: ۱۹۱۶۳، ۱۶ خرداد ۱۴۰۱. <https://haje.ir/newsdetails.aspx?itemid=18063>
۴. پناهی، قاسم؛ خدشناس، سعیدرضا؛ عقابی، شیمیا و خسروی منش، زهرا (۱۴۰۲). بهینه‌یابی موقعیت مکانی نقشه استاندارد سیل در پهنه‌بندی سیل با استفاده از مشخصه‌های ژئومورفولوژیکی. نشریه مهندسی عمران / امیرکبیر، ۵۵(۹)، ۱۷۸۶-۱۷۶۵. <https://doi.org/10.22060/ceej.2023.21664.7790>
۵. جمینی، داود و شعبانی حسین آبادی، امیر (۱۴۰۴). شناسایی سکونتگاه‌های روستایی در معرض خطر سیل در منظر فرهنگی هورامان. روستا و توسعه پایدار فضا، مقاله آماده انتشار، <https://doi.org/10.22077/vssd.2025.8898.1302>
۶. رستمی، نورالدین و کاظمی، یونس (۱۳۹۸). پهنه بندی خطر سیلاب در محدوده شهر ایلام با استفاده از روش AHP و GIS. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱۶(۱)، ۱۷۹-۱۹۳. <http://dx.doi.org/10.29252/jsaeh.6.1.10>
۷. شعبانلو، سعید؛ صدقی، حسین؛ تقفیان، بهرام و موسوی جهرمی، سید حبیب (۱۳۸۷). پهنه بندی سیلاب در شبکه رودخانه های استان گلستان با استفاده از GIS. پژوهش آب/ایران، ۲(۲)، ۱۱-۲۲. https://iwrij.sku.ac.ir/article_10784.html
۸. صادقی، حجت و جوان، فرهاد (۱۴۰۳). ارزیابی روستاهای گردشگری ایران از لحاظ آسیب‌پذیری ژئوفیزیکی با استفاده از سناریوهای فازی. پژوهش‌های روستایی، ۱۵(۴)، ۸۵-۱۰۰. <https://doi.org/10.22059/jrur.2024.383580.1993>

۹. صادقی، حجت و جوان، فرهاد (۱۴۰۴). آسیب‌پذیری روستاهای گردشگری ایران از لحاظ مخاطره زمین لغزش با استفاده از GIS. *جغرافیا (نشریه انجمن جغرافیایی ایران)*، ۲۳(۸۴)، ۱۵۳-۱۷۰. <https://doi.org/10.22034/jiga.2025.2055364.1385>
۱۰. غلامی، محمد و احمدی، مهدی (۱۳۹۸). ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر لامرد با استفاده از AHP، GIS و منطق فازی. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۲۰(۸)، ۱۰۱-۱۱۴. <https://doi.org/10.22111/jneh.2018.22505.1334>
۱۱. محمدی، ایوب؛ جمینی، داود و آتش بهار، رامین (۱۴۰۳). شناسایی و تحلیل پهنه‌های در معرض مخاطره سیل در سکونتگاه غیررسمی نایسر - شهر سندر. *بزننامه‌ریزی و توسعه محیط شهری*، ۱۷(۵): ۵۳-۶۴. <https://sanad.iau.ir/Journal/juep/Article/1128137>
۱۲. محمودزاده، حسن؛ امامی کیا، وحید و رسولی، علی اکبر (۱۳۹۴). ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از روش AHP. *فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی*، ۳۰(۱)، ۱۶۷-۱۸۰. <https://georesearch.ir/article-1-652-fa.html>
۱۳. مرکز آمار ایران (۱۳۹۵). جمعیت و خانوار شهرهای کشور به تفکیک جنس - سرشماری ۱۳۹۵، قابل دسترس در: <https://amar.org.ir/statistical-information/statid/52308>
۱۴. موسوی، سیده معصومه؛ نگهبان، سعید؛ رخشانی مقدم، حیدر و حسین زاده، سید محسن (۱۳۹۵). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهر باغملک). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۲۰(۵)، ۷۹-۹۸. <https://doi.org/10.22111/jneh.2017.2960>
15. Anusha, N., & Bharathi, B. (2020). Flood detection and flood mapping using multi-temporal synthetic aperture radar and optical data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(2), 207-219. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2019.01.001>
16. Bullen, J., & Miles, A. (2024). Exploring local perspectives on flood risk: A participatory GIS approach for bridging the gap between modelled and perceived flood risk zones. *Applied Geography*, 163, 103176. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103176>
17. Feng, Y., Xiao, Q., Brenner, C., Peche, A., Yang, J., Feuerhake, U., & Sester, M. (2022). Determination of building flood risk maps from LiDAR mobile mapping data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 93, 101759. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101759>
18. González-Arqueros, M. L., Mendoza, M. E., Bocco, G., & Castillo, B. S. (2018). Flood susceptibility in rural settlements in remote zones: The case of a mountainous basin in the Sierra-Costa region of Michoacán, Mexico. *Journal of Environmental Management*, 223, 685-693. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.075>
19. Li, Y., Martinis, S., Wieland, M., Schlaffer, S., & Natsuaki, R. (2019). Urban flood mapping using SAR intensity and interferometric coherence via Bayesian network fusion. *Remote Sensing*, 11(19), 2231. <https://doi.org/10.3390/rs11192231>
20. Li, Z., Wang, C., Emrich, C. T., & Guo, D. (2018). A novel approach to leveraging social media for rapid flood mapping: A case study of the 2015 South Carolina floods. *Cartography and Geographic Information Science*, 45(2), 97-110. <https://doi.org/10.1080/15230406.2016.1271356>
21. Popa, M. C., Peptenatu, D., Drăghici, C. C., & Diaconu, D. C. (2019). Flood hazard mapping using the flood and flash-flood potential index in the Buzău River catchment, Romania. *Water*, 11, 2116. <https://doi.org/10.3390/w11102116>
22. Prasad, P., Loveson, V. J., Das, B., & Kotha, M. (2021). Novel ensemble machine learning models in flood susceptibility mapping. *Geocarto International*, 37(16), 4571-4593. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1892209>
23. Rincón, D., Khan, U. T., & Armenakis, C. (2018). Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A greater Toronto area case study. *Geosciences*, 8(8), 275. <https://doi.org/10.3390/geosciences8080275>
24. Sanders, B. F., Schubert, J. E., Goodrich, K. A., Houston, D., Feldman, D. L., Basolo, V., ... Matthew, R. A. (2020). Collaborative modeling with fine-resolution data enhances flood awareness, minimizes differences in flood perception, and produces actionable flood maps. *Earth's Future*, 8, e2019EF001391. <https://doi.org/10.1029/2019EF001391>
25. Shabani Hosainabadi, A., & Jamini, D. (2025). Zoning of environmental hazards in rural areas of western Iran. *Journal of Sustainable Rural Development*, 9(1), 71-82. <https://doi.org/10.22034/jsrd.2025.508315.1214>
26. Swain, K. C., Singha, C., & Nayak, L. (2020). Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 720. <https://doi.org/10.3390/ijgi9120720>