



University of Tehran Press

Environmental

Hazards

Management



Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

Home Page: <https://jhsci.ut.ac.ir>

Urban Flood Hazard Assessment and Zoning Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Case Study: Noorabad City, Lorestan Province

Rasol Naderifar¹ | Mamand Salari^{2*} | Hashem Hosseini³

1. Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran. Email: rasoolnaderi1373@gmail.com
2. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Geomorphology, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Iran. Email: m.salari@uok.ac.ir
3. PhD in Geomorphology, Department of Geomorphology, Kharazmi University, Iran. Email: arcgeologist@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 09 June 2026
Revised: 25 June 2026
Accepted: 30 June 2026
Published: 11 July 2026

Keywords:
Hazard,
Urban Flood,
Zoning,
Noorabad.

ABSTRACT

Today, the world is exposed to unprecedented natural hazards, and floods are one of the most important of them, which, given the spatial extent of their occurrence, have the potential to become hazards with a high level of vulnerability. Therefore, one of the significant issues with the risk assessment approach is urban floods, which needs to be examined from a systemic perspective in urban areas. Accordingly, the present study assessed and zoned flood risk in the urban area of Noorabad. In this regard, the research process was a combination of steps including determining the study area, identifying effective criteria in urban flooding including slope, slope direction, elevation, distance from the river, land use, lithology, precipitation, and slope curvature, weighting and prioritizing the floodplains based on their impact on the research problem, fuzzing the information layers based on fuzzy functions, and finally preparing a flood risk potential zoning map based on the FAHP model, and finally validating the model and field evidence. The results of the research showed that each criterion with its related sub-criteria played a role in the flood risk process in Noorabad to varying degrees, and among them, the criterion of distance from the river with a coefficient of 0.219 played the greatest role in flood risk. The final results from the zoning map showed that the majority of the study area, equivalent to 38%, is located in areas with high and very high potential for flood risk. Therefore, a significant part of the urban area of Noorabad has the potential for flood risk, and these flood zones are significant in the river areas and adjacent to rivers throughout the city. The more complementary results of this study showed that apart from the areas mentioned above, due to the cumulative role of effective parameters, especially topographic and physiographic conditions, a significant part of Noorabad city has medium to high flooding potential. Therefore, the present study serves as a database and in the process of completing data from previous studies regarding flood risk potential and identifying flood-prone areas in the urban area of Noorabad, and is useful for urban managers.

Cite this article: Naderifar, R.; Salari, M. & Hosseini, H. (2026). Urban Flood Hazard Assessment and Zoning Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Case Study: Noorabad City, Lorestan Province. *Environmental Hazards Management*, 13 (1), 37-52. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2026.416189.940>



© The Author(s). **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2026.416189.940>

Introduction

Today, the world is exposed to unprecedented natural hazards, with an average of 255 million people exposed to natural hazards each year between 1994 and 2003. Considering these cases, with the flood management approach, the existence of a systemic approach based on the recognition of effective natural and human components, prioritization of effective parameters, and then flood zoning based on complete knowledge of the region and an accurate database is a suitable path towards urban management with the aim of urban flood problem and reducing the risk and vulnerability caused by it.

The results of research worldwide indicate the importance of urban floods as a process that has the potential to become a hazard. Accordingly, it is necessary to pay attention to them in the urban management system with a resilience approach and risk reduction from different angles, with a systemic-spatial approach, and based on combined models of occurrence, and this has expanded in recent years. The study area of this research is the city of Noorabad, as the center of Delfan County, Lorestan, located in a mountainous plain, and the physical space of the city has expanded along two rivers (Gachineh and Badavar). Accordingly, in the aforementioned study, considering the specific location of the Noorabad urban area and its potential in relation to urban flooding, urban flood hazard assessment and zoning were conducted in a systematic format.

Methodology

The present research method is an applied approach based on theoretical studies with the aim of theoretical development of the subject, as well as multi-stage field studies using the fuzzy analytic hierarchy process (FAHP). Accordingly, the methodology of this research is based on identifying and determining the region, introducing 8 effective parameters in the urban flood problem in Noorabad, zoning based on FAHP, and finally validation based on the method and field validation, which are described below. Therefore, in this study, 8 parameters were selected and with the help of the analytic hierarchy process and according to the opinions of experts in the form of a questionnaire, the weight of the criteria and sub-criteria effective in the flooding of the study area was determined and then the criteria under study were compared in pairs. Accordingly, the role of each criterion and its related sub-criteria in flood risk was determined, and the prioritization of the 8 criteria in the flood risk process in the urban area of Noorabad was also determined. In the next step, eight related layers were created and the layers were fuzzified using different fuzzy functions. Finally, using the fuzzy sum operator, a spatial prediction map of flood potential in the urban area of Noorabad was prepared. In order to evaluate the performance and validate the model, the area under the curve (AUC) obtained from the receiver operating characteristic (ROC) curve was used, and then field validation was performed based on the collected points and their matching with the zoning map.

Result and Discussion

In this stage, 8 selected criteria and their sub-criteria were evaluated. Accordingly, in each criterion, the more important sub-criterion has led to a greater flood risk potential. The results of weighting and prioritizing the criteria showed that the distance from the river criterion with a score of 0.219 has the highest importance and the Aspect layer with a score of 0.069 has the lowest importance. The supplementary results of this section showed that the criteria of distance from the river, rainfall, land use, slope, lithology, elevation, slope curvature, and aspect play a role in the flood risk process, respectively. The inconsistency rate was also 0.04, which indicates the accuracy and validity of the results. The systematic estimation resulting from the fuzzification of the eight criteria based on fuzzy functions indicates the impact of each of them with different degrees on flood risk and also in different areas of the study area. The results showed that areas with very high risk potential, high potential, medium potential, low potential and very low potential cover 13.3, 25.3, 35.4, 19.9 and 6.1% of the study area, respectively. Based on the quantitative results of this study from the FAHP model, 74 percent of the study area is in the medium risk potential category, and with a closer look, nearly 38.6 percent of the study area is in the high and very high risk category. Next, the model used was evaluated for accuracy and validation purposes. The results showed that the AUC was 0.771, which, considering the range of 0.5 to 1 from unacceptable to acceptable, indicates the accuracy and efficiency of the model used in assessing flood risk potential and identifying flood-prone areas in Noorabad.

Conclusion

The results showed that a significant part of the urban area of Noorabad has the potential for flood risk, and these flood zones are significant in areas adjacent to urban rivers. The more complementary results of this study showed that apart from the areas mentioned above, due to the cumulative role of effective criteria, especially topographic and physiographic conditions, a significant part of the city of Noorabad has the potential to flood. Evidence from the 2019 flood, studies by Rostami et al. (2019), as well as field studies in this research and a case study of flood-prone areas in the study area, along with

the preparation of a map of flood-affected areas, confirm this. Therefore, the results of this study are a suitable database that complements data from previous studies. In addition, the final results showed that in urban development plans, observing the privacy of stream channels, and especially the separation of level one, two, and three privacy, in other words, prohibited, conditional, and permitted privacy, in the form of preparing city environmental documents and the necessity of a strategy for their implementation, is very important and effective.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) مطالعه موردی: شهر نورآباد، استان لرستان

رسول نادری فر^۱ | ممد سالاری^{۲*} | هاشم حسینی^۳

۱. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، رایانامه: rasoolnader1373@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، رایانامه: m.salari@uok.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، رایانامه: arcegeologist@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

امروزه جهان در معرض مخاطرات بی‌سابقه طبیعی قرار دارد و سیل یکی از مهم‌ترین آنهاست که با توجه به پهنه مکانی عملکرد، قابلیت تبدیل به مخاطراتی با آسیب‌پذیری زیاد جانی و مالی را دارد. بنابراین یکی از مسائل مهم رویکرد مخاطره‌شناسی، سیلاب‌های شهری است که بررسی آن با دید سیستمی در پهنه‌های شهری ضرورت دارد. بر این اساس، پژوهش حاضر به ارزیابی خطر سیلاب و پهنه‌بندی آن در پهنه شهری نورآباد پرداخته است. در این زمینه فرایند پژوهش ترکیبی از مراحل شامل تعیین پهنه مطالعاتی، شناسایی معیارهای مؤثر در سیلاب شهری شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، لیتولوژی، بارش و انحنای شیب، وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها بر اساس حد تأثیر آنها در مسئله پژوهش، فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی بر مبنای توابع فازی و در نهایت تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیلاب بر مبنای مدل FAHP و در نهایت اعتبارسنجی مدل و شواهدسنجی میدانی بود. نتایج پژوهش نشان داد که هر معیار با زیرمعیارهای مربوط به خود، با درجات متفاوتی در فرایند خطر سیلاب در نورآباد نقش دارد و در این بین، معیار فاصله از رودخانه با ضریب ۰/۲۱۹ بیشترین نقش و معیار شیب با ضریب ۰/۰۶۹ کمترین نقش را در مخاطره سیلاب دارند. نتایج تکمیلی حاصل از نقشه پهنه‌بندی نشان داد که بخش غالب محدوده مطالعاتی معادل ۳۸ درصد در محدوده پتانسیل زیاد و خیلی زیاد به لحاظ خطر سیلاب قرار دارد. بنابراین بخش بزرگی از پهنه شهری نورآباد، پتانسیل خطر سیلاب را دارد که این پهنه‌های سیل‌گیر در سطح مناطق پیراجریانی و مجاور رودخانه‌ها در سطح شهر چشمگیر است. نتایج تکمیلی تر این پژوهش نشان داد که جدا از مناطق یادشده در بالا، متأثر از نقش تجمعی پارامترهای مؤثر و به‌ویژه شرایط توپوگرافیک و نیز فیزیوگرافیک، بخش بزرگی از شهر نورآباد همچون مناطق شمالی، مرکزی و جنوب شرقی پتانسیل سیل‌گیری متوسط به زیاد را دارند. بنابراین پژوهش حاضر، یک پایگاه اطلاعاتی و در مسیر تکمیل داده‌های حاصل از پژوهش‌های قبلی در زمینه پتانسیل خطر سیلاب و شناسایی پهنه‌های سیل‌گیر در پهنه شهری نورآباد است و به‌عنوان یک سند محیطی در راستای شناخت حریم ممنوعه، مشروط و مجاز مجاری جریانی و اعمال سیاست‌های مرتبط با آن برای مدیران شهری کارایی دارد.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۲۰

کلیدواژه:

پهنه‌بندی، سیلاب شهری، خطر، نورآباد.

استناد: نادری فر، رسول؛ سالاری، ممد و حسینی، هاشم (۱۴۰۴). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP)

مطالعه موردی: شهر نورآباد، استان لرستان. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۳ (۱)، ۲۷-۵۲.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2026.416189.940>

© نویسندگان ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2026.416189.940>



مقدمه

جوامع انسانی در سراسر جهان با مخاطرات مختلف ناشی از عوامل زمین‌ساختی، اقلیمی و هیدرولوژیکی مواجه‌اند که به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه خسارات جبران‌ناپذیری در پی دارد (تومالا و همکاران، ۲۰۰۶، نظم‌فر و پاشازاده، ۱۳۹۷). به بیانی، امروزه جهان در معرض مخاطرات بی‌سابقه طبیعی قرار دارد، به طوری که در بین سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۳ به‌طور متوسط سالانه ۲۵۵ میلیون نفر در معرض مخاطرات طبیعی قرار گرفته‌اند و در این میان، سیل یکی از مهم‌ترین آنهاست (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۲). از میان ۴۵ مخاطره طبیعی شناخته‌شده، سیل از ویرانگرترین آنهاست که خسارات و تلفات جانی فراوانی دارد (کومار جها و همکاران، ۲۰۱۲). بر اساس گزارش CRED میزان مخاطرات طبیعی حادث‌شده در سال ۲۰۲۲ از میانگین مخاطرات طبیعی سالانه از ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ بیشتر بوده و در این میان سیلاب فراوانی غالب را داشته است (CRED، ۲۰۲۳). بنابراین یکی از مسائل مهم با رویکرد مخاطره‌شناسی سیلاب‌های شهری است که بررسی آن با دید سیستمی در سطح محیط‌های شهری ضرورت دارد. در حالت کلی دو دسته از عوامل اقلیمی و حوضه‌ای در ایجاد سیلاب‌ها نقش دارند (ثقفیان و همکاران، ۱۳۸۵). با این حال از منظر مخاطره‌شناسی، جایگاه پارامترهای حوضه‌ای بسیار شایان توجه است. از مهم‌ترین عوامل حوضه‌ای می‌توان به کاربری اراضی، وضعیت زمین‌شناسی، شیب، شبکه زهکشی و به‌طور کلی عوامل مورفومتریک اشاره کرد (روغنی و همکاران، ۲۰۰۷). سیلاب در محدوده‌های شهری در سطوح صاف و نفوذناپذیر که با سامانه زهکشی مصنوعی توسط انسان به وجود آمده است با سرعت زیاد به وقوع می‌پیوندد. با توجه به این مؤلفه، توسعه کالبد شهر در قلمرو مناطق طبیعی سبب ازدیاد حجم و شدت رواناب و وقوع سیلاب در مناطق پایین‌دست می‌شود (برومندنسب، ۱۳۸۰).

سیلاب‌ها از فراوان‌ترین فرایندهای طبیعی هستند که با توجه به پهنه مکانی عملکرد، قابلیت تبدیل به مخاطرات طبیعی با سطح آسیب‌پذیری شدید جانی و مالی را دارند. امروزه با توجه به سیستم‌های عملکردی انسان، فرایند سیلاب به‌عنوان یک پدیده فزاینده و در قالب یک مخاطره مهم مطرح شده است. رشد شهرنشینی به‌ویژه در حاشیه رودخانه‌ها و بی‌توجهی به حریم رودخانه‌ها، بر خسارت سیل در دو دهه اخیر افزوده است (قهرودی تالی، ۱۳۹۱). به بیانی نبود نگرش‌های مبتنی بر علوم محیطی و دید ترکیبی، زمینه‌ساز توسعه‌های شهری ناموزون و به‌تبع آن افزایش آسیب‌پذیری از فرایندهای محیطی در قالب مخاطراتی همچون سیلاب شهری می‌شود و بر همین اساس، وجود رویکردهای مبتنی بر مخاطره‌شناسی در زمینه سیلاب شهری در سطح پهنه‌های شهری ضروری است. در این زمینه به‌کارگیری روش‌ها و مدل‌هایی که مجموعه‌ای از پارامترها را در زمینه تحلیل دقیق موضوع پژوهش در نظر می‌گیرند و ضمن آن قابلیت سنجش بهتر پارامترها و نیز استدلال‌های دقیق‌تر را دارند بسیار کاراست.

در سال‌های اخیر رشد شهرها در دشت‌های سیلابی، به‌ویژه در حاشیه رودخانه‌ها موجب شده که ساکنان و اموال منقول موجود در منطقه در معرض خطر سیل باشند. بنابراین باید برای کاهش و جلوگیری از وقوع خسارت به سازه‌های انسانی و محیط به فکر چاره باشیم (طهماسبی‌پور، ۱۳۸۶). با توجه به دامنه گسترش و تأثیرگذاری سیلاب، به‌ویژه در محیط‌های سکونتگاهی، آشنایی با نحوه عملکرد سیستم هیدرولوژیک مناطق (رامشت، ۱۳۹۰) و نیز پژوهش‌های کامل و دقیق با هدف مدیریت و کاهش خطر ضرورت دارد. با توجه به این موارد، با رویکرد مدیریت سیلاب، وجود نگرش سیستمی مبتنی بر شناخت مؤلفه‌های طبیعی و انسانی اثرگذار، اولویت‌بندی پارامترهای مؤثر و در پی آن پهنه‌بندی سیلاب بر مبنای شناخت کامل منطقه و نیز داشتن پایگاه اطلاعاتی دقیق، مسیری مناسب در زمینه مدیریت شهری در راستای مسئله سیلاب شهری و کاهش خطر و آسیب‌پذیری ناشی از آن است. بر همین اساس پژوهشگران مختلف در جهان با توجه به اهمیت موضوع سیلاب‌های شهری، از زوایای گوناگون به آن پرداخته‌اند.

اسلام و کمیترو (۲۰۲۰) در پژوهش خود درباره سیل تاریخی ۱۹۹۸ بنگلادش، نقشه پهنه‌بندی خطر سیل را ترسیم کردند و در این زمینه، هر سه رودخانه مهم براهماپوترا، گنگ و منگا را در نظر گرفتند و در نهایت سند خطر سیل را در اختیار مدیران اجرایی و دولت گذاشتند. لی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود، چارچوبی را برای تحلیل ریسک سیل و ارزیابی مزایای اقدامات کنترل سیل در مناطق شهری ارائه کردند و بر مبنای مفهوم مثلث ریسک بلایا (خطر، آسیب‌پذیری و در معرض قرار گرفتن)،

رویکرد تحلیلی جامع و کلی را برای تحلیل ریسک سیلاب شهری پیشنهاد دادند. نتایج نشان داد که کنترل سیل می‌تواند به‌طور معنی‌داری سبب کاهش خطر سیل در دوره‌های بازگشت ۶۶ ساله شود. ریمبا و همکاران (۲۰۱۷) پهنه‌بندی آسیب‌پذیری فیزیکی سیلاب را با استفاده از تکنیک‌های مکانی در شهر اوکازاکی ژاپن انجام دادند و در این مسیر مجموعه‌ای از پارامترهای تأثیرگذار را با به‌کارگیری GIS، RS و AHP ارزیابی و تحلیل کردند. نتایج نهایی نشان داد که آسیب‌پذیری سیل محاسبه‌شده با آب‌گرفتن ناشی از سیل اوکازاکی در آگوست ۲۰۰۸ مطابق بود و این رویکرد، کارایی لازم را در مدیریت سیلاب شهری برای مدیران دارد. مسابی و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی در تانزانیا، خطر سیل را با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره بررسی کردند. در این پژوهش پارامترهای متعدد به کار گرفته شد و کارایی مدل نیز با روش (AUC) بررسی شد. نتایج نهایی نشان داد که ۴۰/۲۷ درصد منطقه در طبقه خطر زیاد تا خیلی زیاد قرار دارد و عملکرد مدل نیز ۸۷/۲۴ درصد است که در مجموع دال بر کارایی آن است. با توجه به اهمیت موضوع، پژوهشگران در ایران نیز از زوایای گوناگون به مسئله سیلاب شهری پرداخته‌اند. قنوتی (۱۳۹۲) در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر سیلاب با رویکرد (سیل‌خیزی و سیل‌گیری) در محدوده شهر کرج و نواحی پیرامونی آن با به‌کارگیری منطق فازی پرداخت. نتایج حاصل از آن با به‌کارگیری پارامترهای متعدد نشان داد که پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در بخش شمالی، شمال شرقی و شرقی منطقه بررسی شده‌اند و بر همین اساس یافته‌ها به‌عنوان یک سند محیطی مرتبط در مدیریت شهری کارایی دارد. محمودزاده و همکاران (۱۳۹۷) به پهنه‌بندی خطر سیل در شهر ساری با استفاده از مدل فازی پرداختند. نتایج نشان داد که ۲۴/۱۲ درصد از محدوده مطالعاتی در پهنه‌بندی خطر خیلی زیاد و ۳۷/۰۵ درصد در پهنه‌بندی خطر خیلی کم قرار دارد و به لحاظ مکانی، خطر سیل در مرکز و جنوب شهر از دیگر نواحی بیشتر است.

برایند پژوهش‌ها در جهان، بیانگر اهمیت سیلاب‌های شهری به‌عنوان فرایندی است که قابلیت تبدیل به مخاطره را دارد و بر همین اساس توجه به آنها در نظام مدیریت شهری با رویکرد تاب‌آوری و کاهش سطح خطر از زوایای مختلف و با رویکرد سیستمی - فضایی و بر مبنای مدل‌های ترکیبی ضروری است و در سال‌های اخیر گسترش یافته است. در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های کیم و همکاران (۲۰۲۰) درباره پیش‌بینی سیلاب شهری در کره جنوبی با استفاده از شبکه عصبی، پژوهش اکای (۲۰۲۱) در زمینه پهنه‌بندی خطر سیلاب در یک قالب ترکیبی - مقایسه‌ای با استفاده از رویکردهای آماری، منطق فازی و رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی در ترکیه، پژوهش صابری‌فر و همکاران (۱۳۹۸) درباره پهنه‌بندی خطر سیل در شهر بیرجند و نیز پژوهش معلمی گرجی و همکاران (۱۴۰۴) با رویکرد برآورد خطرپذیری اقتصادی سیلاب در استان گلستان به‌عنوان یکی از شاخص‌های مؤثر در سنجش مخاطره سیلاب اشاره کرد. با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش‌های جدیدی نیز صورت گرفته که از آن میان می‌توان به پژوهش آمپوفو و همکاران (۲۰۲۵) در زمینه بررسی مخاطره سیلاب شهری و راهبردهای مرتبط با آن در کلانشهر تامل غنا و نیز پژوهش تسومیتا و همکاران (۲۰۲۵) درباره پهنه‌بندی و نقشه ریسک سیلاب در پهنه‌های شهری تایلند با رویکرد مقایسه‌ای بین مدل‌های رگرسیون لجستیک و نیز شبکه عصبی اشاره کرد.

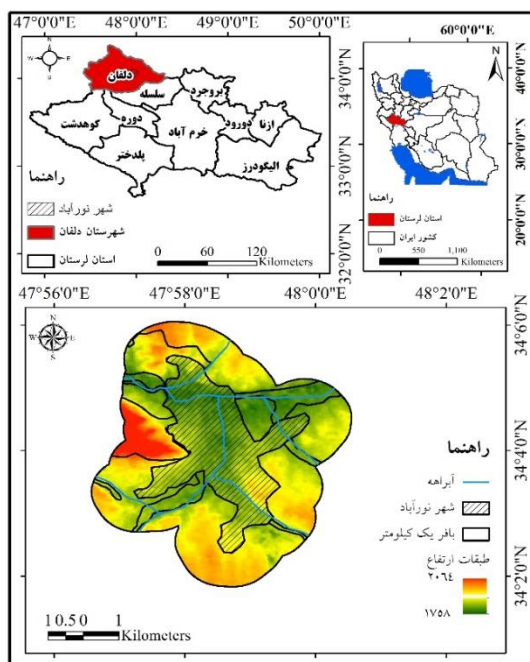
استان لرستان متأثر از شرایط توپوگرافیک و نیز قرارگیری شهرهای آن در مسیر مجاری جریانی و رودخانه‌های پرآب بخشی از زاگرس، یکی از استان‌هایی است که با مخاطره سیلاب شهری مواجه است. بررسی آماری و نیز تاریخی از جمله در سال ۱۳۹۸ مؤید این مسئله است. محدوده مطالعاتی این پژوهش، شهر نورآباد مرکز شهرستان دلفان لرستان، در یک دشت میان‌کوهی واقع شده است که از یک‌طرف با ارتفاعات و سازندهای سست و فرسایش‌پذیر محصور شده و از طرفی فضای کالبدی شهر در کنار دو رودخانه (گچینه و بادآور)، گسترش یافته است. همین مسئله سبب شده است که فرایند رواناب، قابلیت تبدیل به سیلاب و مخاطره را داشته باشد که نمونه آن در سال ۱۳۹۸ سبب شرایط اضطراری و نیز آسیب‌پذیری شد.

با توجه به اینکه مؤلفه‌ها و عوامل گوناگونی در ایجاد سیلاب نقش دارند، پژوهش در زمینه سیلاب شهری با نگرش سیستمی و بر مبنای روش‌هایی که متغیرهای محیطی تأثیرگذار بیشتری را در مسیر پهنه‌بندی دقیق مخاطره سیلاب در نظر بگیرد، جایگاه مهمی دارند. بر این اساس در پژوهش مذکور، با توجه به موقعیت خاص پهنه شهری نورآباد و پتانسیل آن در زمینه سیلاب شهری، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در یک قالب سیستمی و بر اساس FAHP پرداخته شد.

موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های محیطی محدوده مطالعاتی

شهر نورآباد از نظر موقعیت جغرافیایی در شمال غرب استان لرستان قرار دارد. منطقه پژوهش در مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی و در ارتفاع ۱۷۸۵ متر از سطح دریا یکی از شهرهای مرتفع است و با مساحت ۵۸۴ هکتار در فاصله ۸۴ کیلومتری شمال مرکز استان لرستان (خرم‌آباد) و ۹۵ کیلومتری جنوب شرق شهر کرمانشاه قرار گرفته است (حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۸). نقشه توپوگرافی محدوده مطالعاتی، با توجه به روند نسبی افزایش جمعیت و نیز مهاجرت‌های روستا به شهر، مساحت پهنه شهری کمی گسترش یافته و به بیش از ۶۰۰ هکتار رسیده است که با توجه به جمعیت نزدیک به ۷۰ هزارنفری در پهنه شهری نورآباد (مرکز آمار ایران) در ارتباط با خطر سیلاب شایان توجه است (پژوهش‌های میدانی نگارندگان). در زمینه پهنه‌بندی خطر سیلاب در پهنه شهری و نیز پیراشهری نورآباد، بافر یک کیلومتری از مرز منطقه شهری نورآباد تهیه و به‌عنوان محدوده پژوهش در نظر گرفته شد.

محدوده شهری نورآباد از نظر ژئومورفولوژی در واحد دشت قرار دارد که بخشی از آن را پادگانه و دشت سیلابی در بر گرفته و فضای کالبدی آن در کنار دو رودخانه و مجرای جریانی مهم (گچینه و بادآور)، گسترش یافته است (رستمی فتح‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۹). این منطقه از نظر زمین‌شناسی و نیز شرایط ساختاری، تابع شرایط حاکم بر پهنه سندج-سیرجان در شمال و زاگرس در جنوب است و از نظر لیتولوژی نیز بخشی زیادی از منطقه را رسوبات آبرفتی، ماسه‌سنگ و آهک در بر گرفته است (رستمی فتح‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۹). میانگین بارندگی سالانه ۴۶۵/۸ میلی‌متر است که ترکیب این شرایط محیطی پتانسیل سیل‌خیزی در بالادست و نیز سیل‌گیری را در پهنه شهری افزایش داده و زمینه‌ای برای تبدیل فرایند رواناب به مخاطره سیلاب در سطح آن شده است (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی محدوده پژوهش (سمت چپ) و نمای توپوگرافیک آن (سمت راست)

روش تحقیق

پژوهش حاضر با رویکرد کاربردی و بر مبنای پژوهش‌های نظری با هدف بسط نظری موضوع و نیز پژوهش‌های میدانی چندنوبته همراه با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) انجام گرفت. در این زمینه از مجموعه‌ای از نقشه‌ها و نیز لایه‌های رقمی مربوط به متغیرها و پارامترهای محیطی مؤثر بر سیلاب شهری برای افزایش دقت کار در محیط نرم‌افزاری

استفاده شد. با این اوصاف روش‌شناسی این پژوهش مبتنی بر شناخت و تعیین منطقه، معرفی پارامترهای مؤثر هشت‌گانه در مسئله سیلاب شهری در نورآباد، پهنه‌بندی مبتنی بر FAHP در محیط GIS و در نهایت اعتبارسنجی مبتنی بر روش و نیز اعتبارسنجی میدانی است که در ادامه تشریح شده‌اند.

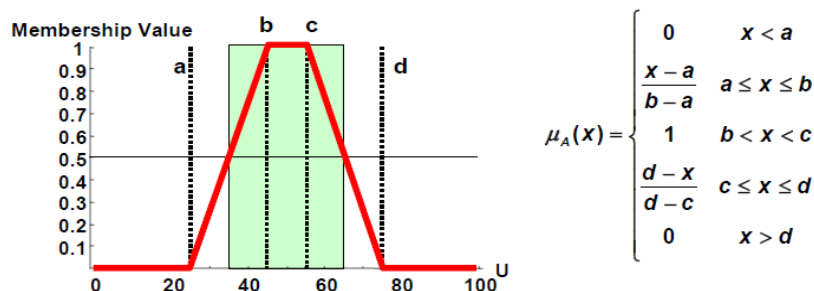
پارامترهای محیطی منتخب مؤثر بر متغیر وابسته (سیلاب شهری) بر اساس پژوهش‌های معتبر قبلی و نیز نظر کارشناسی، شامل هشت پارامتر شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، تراکم رودخانه، کاربری اراضی، لیتولوژی، بارش و انحنای شیب هستند. هر کدام از این پارامترها با توجه به ماهیت با تکیه بر یکی از داده‌های موجود شامل DEM با قدرت تفکیک ۱۲/۵×۱۲/۵ متر، نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۵۰۰۰۰ و اعمال توابع و داده‌های آماری ۳۰ ساله تهیه شد تا پایه پژوهش ایجاد شود و زمینه‌ای برای پهنه‌بندی نهایی بر مبنای مدل‌های موجود فراهم آید.

روش ترکیبی تحلیلی سلسله‌مراتبی - فازی

روش تحلیل سلسله‌مراتبی، روش ریاضی برای تعیین اهمیت و تقدم معیارها در فرایند ارزیابی و تصمیم‌گیری است (کرم، ۱۳۸۴). این روش توسط محقق به نام توماس ال‌ساعتی در دهه ۱۹۷۰ ارائه شد و تا کنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است (اصغری‌پور، ۱۳۸۸). با وجود این، ارزیابی خطرهای محیطی و دیگر رخدادهای طبیعی بر اساس روش‌ها و مدل‌های مختلف مبتنی بر منطق‌های دوارزشی به دلیل مطلق‌گرایی و انعطاف‌ناپذیری، با واقع‌گرایی لازم همراه نیست (شریعت جعفری و حامدپناه، ۱۳۸۶). بنابراین استفاده از مجموعه‌های فازی به دلیل در نظر گرفتن محدوده‌ای از احتمالات به جای اعداد، محدودیت روش‌های کمی را برطرف ساخته و تحلیل قوی‌تری از نقش عوامل طبیعی نسبت به بقیه روش‌های کمی ارائه کرده است (طالب‌پور و قهرودی تالی، ۱۳۹۶). در همین زمینه لطفی‌زاده با ارائه نظریه مجموعه‌های فازی، نخستین بار اقدام به ارائه مبانی منطق‌های فازی چندارزشی کرد تا به استدلال‌های غیرقطعی مبهم و نامعین ذهن انسان، صورت‌بندی ریاضی بخشیده شود (شریعت جعفری و حامدپناه، ۱۳۸۶). به بیان دیگر یک مجموعه فازی، مجموعه‌ای از المان‌ها با ویژگی‌های مشابه است که در آن، مجموعه درجه‌ای مشخص از صفر تا ۱ را دارد. صفر به معنای عدم عضویت و ۱ به معنای عضویت کامل است (دومان و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین قبل از اجرای مدل فازی باید برای هر یک از لایه‌های یادشده توابع عضویت تعیین شود و ارزش لایه‌ها در بازه‌ای بین صفر و ۱ قرار گیرد و سپس لایه‌ها وارد مدل فازی شوند.

بنابراین در این پژوهش، ابتدا پارامترهای هشت‌گانه انتخاب شدند و با کمک روش تحلیل سلسله‌مراتبی و با توجه به نظر کارشناسان و خبرگان در قالب پرسشنامه، وزن معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در سیل‌خیزی منطقه تعیین شد و در ادامه معیارهای تحت بررسی به صورت زوجی مقایسه شدند. بر این اساس، نقش هر معیار و زیرمعیارهای مرتبط با آن در خطر سیل و نیز اولویت‌بندی معیارهای هشت‌گانه در فرایند خطر سیلاب در پهنه شهری نورآباد مشخص و درجه ناسازگاری در حد ۰/۰۴ برآورد شد که با توجه به آنکه کمتر از ۰/۱ است دارای سازگاری است (مؤمنی، ۱۴۰۴).

پس از آن، برای هر متغیر لایه مرتبط ساخته شد و سپس برای تعیین عضویت لایه‌ها در شدت خطر سیلاب، تابع عضویت فازی هر لایه در مدل، بر اساس نوع رابطه هر پارامتر با خطر سیلاب، بر پایه رابطه (Graeme (1994) تعیین شد (رابطه ۱) که در این پژوهش از تابع عضویت خطی استفاده شده است (شکل ۲). این تابع دارای چهار پارامتر است که شکل تابع را تعیین می‌کند (Kaniz, 2008). بر این مبنای فازی‌سازی لایه‌ها با استفاده از توابع مختلف فازی انجام گرفت و در نهایت با استفاده از عملگر جمع فازی، نقشه پیش‌بینی مکانی حساسیت سیلاب در پهنه شهری نورآباد تهیه شد. به بیانی پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، لایه‌ها در محیط GIS به فرمت رستری تبدیل شدند و سپس با به دست آوردن ارزش فازی لایه‌های اطلاعاتی و طبقات معیارها و تعیین حدود فازی بودن هر لایه اطلاعاتی، اوزان نهایی به صورت کمی و در بازه صفر تا ۱ روی همه معیارها اعمال شد و خروجی معیارها در حالت نقشه بر مبنای ارزش هر لایه به دست آمد و در نهایت با ترکیب نقشه‌های فازی لایه‌ها، نقشه نهایی تهیه شد که ترسیم‌کننده وضعیت مخاطره سیلاب است.



شکل ۲. تابع عضویت خطی

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x < \text{Min} \\ \frac{x - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} & \text{Min} < x < \text{Max} \\ 1 & x > \text{Max} \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

اعتبارسنجی

برای ارزیابی عملکرد و اعتبارسنجی مدل، از سطح زیر نمودار AUC به‌دست‌آمده از منحنی ROC استفاده شد. مقدار سطح زیر منحنی AUC، شاخص کمی برای نمایش کارایی و قدرت پیش‌بینی مدل است. همبستگی کیفی- کمی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین به‌صورت (۱-۰/۹ عالی؛ ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب؛ ۰/۷-۰/۸ خوب؛ ۰/۶-۰/۷ متوسط؛ ۰/۵-۰/۶ ضعیف) است. در این زمینه، نقاط سیل خیز در سطح پهنه شهری نورآباد با استفاده از GPS شناسایی و ثبت شد که برای اعتبارسنجی مدل استفاده شدند.

یافته‌های پژوهش

در مسیر اجرای پژوهش حاضر و بر مبنای روش شناسی بیان‌شده، یافته‌های پژوهش شامل وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در خطر سیلاب همراه با اولویت‌بندی، فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در پهنه شهری نورآباد و اعتبارسنجی مدل به‌کاررفته و نیز تطبیق با واقعیت موجود در مسیر تأیید آن و نیز اعتبارسنجی میدانی است که در ادامه به‌عنوان یافته‌های پژوهش تشریح شده‌اند.

وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در خطر سیلاب شهری

هشت معیار انتخابی بر اساس نظر کارشناسی ارزیابی شدند (جدول ۱). نتایج حاصل نشان داد که در معیار ارتفاع، طبقه ارتفاعی ۱۷۵۶-۱۸۰۰ با امتیاز ۰/۳۳۸ دارای بیشترین اهمیت و طبقه ارتفاعی ۲۰۶۴-۱۹۵۰ با امتیاز ۰/۰۹۵ دارای کمترین اهمیت است. نتایج لایه درصد شیب نشان داد که طبقه درصد شیب کمتر از ۱۰ درصد با امتیاز ۰/۲۵۶ دارای بیشترین اهمیت و طبقه شیب بیشتر از ۵۰ درصد با امتیاز ۰/۰۷۹ دارای کمترین اهمیت است. اولویت‌بندی لایه جهت شیب نشان داد که جهت‌های شمال غربی و مسطح به‌ترتیب با امتیاز ۰/۱۶۶ و ۰/۱۵۵ بیشترین اهمیت و جهت‌های جنوب و جنوب شرقی به‌ترتیب با امتیاز ۰/۰۶۸ و ۰/۰۶۳ کمترین اهمیت را دارند. نتایج وزن‌دهی و اولویت‌بندی لایه فاصله از شبکه زهکشی نشان داد که طبقات با فاصله کمتر از ۲۰۰ متر با امتیاز ۰/۳۲۸ بیشترین اهمیت و طبقات با فاصله بیشتر از ۱۵۰۰ متر با امتیاز ۰/۱۱۱ کمترین اهمیت را دارند. در زمینه لایه طبقات بارش، طبقات دارای بارش ۵۴۵-۵۴۳ میلی‌متر با امتیاز ۰/۴۱۳ دارای بیشترین اهمیت و طبقات دارای بارش ۵۴۰-۵۳۷ میلی‌متر با امتیاز ۰/۲۶۰ دارای کمترین اهمیت هستند. نتایج وزن‌دهی و اولویت‌بندی لایه انحنای شیب نشان داد که طبقه مقعر با امتیاز ۰/۴۱۳ دارای بیشترین اهمیت و طبقه محدب با امتیاز ۰/۲۶۰ دارای کمترین اهمیت هستند. نتایج لایه کاربری اراضی نشان داد که طبقه سکونتگاه شهری و زراعت دیم به‌ترتیب با امتیازهای ۰/۲۷۸ و ۰/۲۰۸ دارای بیشترین اهمیت و طبقات باغ و مرتع متوسط به‌ترتیب با امتیاز ۰/۱۰۹ و ۰/۰۸۲ دارای کمترین اهمیت هستند. نتایج وزن‌دهی و اولویت‌بندی لایه لیتولوژی

نشان داد که طبقات «تراس دره‌ای سطح پایین» با امتیاز ۰/۲۹۵ دارای بیشترین اهمیت و طبقه سنگ آهک ریفی با امتیاز ۰/۱۲۵ کمترین اهمیت را دارند (جدول ۱). شایان ذکر است که در هر معیار، زیرمعیار با اهمیت‌تر به نوعی زمینه‌ساز پتانسیل خطر سیلاب و به بیانی سیل‌گیری بیشتر است.

جدول ۱. وزن معیار و زیرمعیارهای منتخب در خطر سیلاب

وزن	زیرمعیار	معیار	وزن	زیرمعیار	معیار
۰/۱۵۵	مسطح	جهت شیب	۰/۳۳۸	۱۷۵۶-۱۸۰۰	ارتفاع
۰/۱۳۳	شمال		۰/۲۵۹	۱۸۰۰-۱۸۵۰	
۰/۰۹۸	شمال شرق		۰/۱۸۲	۱۸۵۰-۱۹۰۰	
۰/۰۷۶	شرق		۰/۱۲۷	۱۹۰۰-۱۹۵۰	
۰/۰۶۳	جنوب شرق		۰/۰۹۵	۱۹۵۰-۲۰۶۴	
۰/۰۶۸	جنوب	۰/۲۵۶	۰-۱۰	درصد شیب	
۰/۹/۰	جنوب غرب	۰/۲۴۳	۱۰-۲۰		
۰/۱۵۲	غرب	۰/۱۹۲	۲۰-۳۰		
۰/۲۷۸	شهری	۰/۱۳۶	۳۰-۴۰		
۰/۲۰۸	زراعت دیم	۰/۰۹۴	۴۰-۵۰		
۰/۱۷	زراعت آبی	کاربری اراضی	۰/۰۷۹	۵۰<	فاصله از شبکه زهکشی (متر)
۰/۱۵۳	زراعت آبی-باغ		۰/۳۳۸	۰-۲۰۰	
۰/۱۰۹	باغ		۰/۲۴۴	۲۰۰-۵۰۰	
۰/۰۸۲	مرتع متوسط	۰/۱۸۶	۵۰۰-۱۰۰۰	انتحای شیب	
۰/۴۱۳	مقعر	۰/۱۳	۱۰۰۰-۱۵۰۰		
۰/۳۲۷	مسطح	۰/۱۱۱	۱۵۰۰<		
۰/۲۶	محدب	۰/۲۹۶	تراس دره‌ای سطح پایین	لیتولوژی	
۰/۲۶	۵۳۷-۵۴۰	۰/۲۲۱	گل‌سنگ آهکی		
۰/۳۲۷	۵۴۰-۵۴۳	۰/۱۸۸	سنگ آهک خاکستری		
۴۱۳	۵۴۳-۵۴۵	۰/۱۷۱	کنگومرا و ماسه‌سنگ		
		۰/۱۲۵	سنگ آهک ریفی		

در مرحله بعد با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی معیارهای هشت‌گانه تحت بررسی به‌صورت زوجی مقایسه شدند. نتایج وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها نشان داد که معیار فاصله از رودخانه با امتیاز ۰/۲۱۹ دارای بیشترین اهمیت و لایه جهت شیب با امتیاز ۰/۰۶۹ دارای کمترین اهمیت هستند. نتایج تکمیلی این بخش نشان داد که به‌ترتیب معیارهای فاصله از رودخانه، مقدار بارش، کاربری اراضی، شیب، لیتولوژی، ارتفاع، انحای شیب و جهت شیب در فرایند مخاطره سیلاب نقش دارند (شکل ۳). نرخ ناسازگاری نیز ۰/۰۴ به دست آمد که دال بر صحت و اعتبار نتایج حاصل است.

Overall Inconsistency = .04



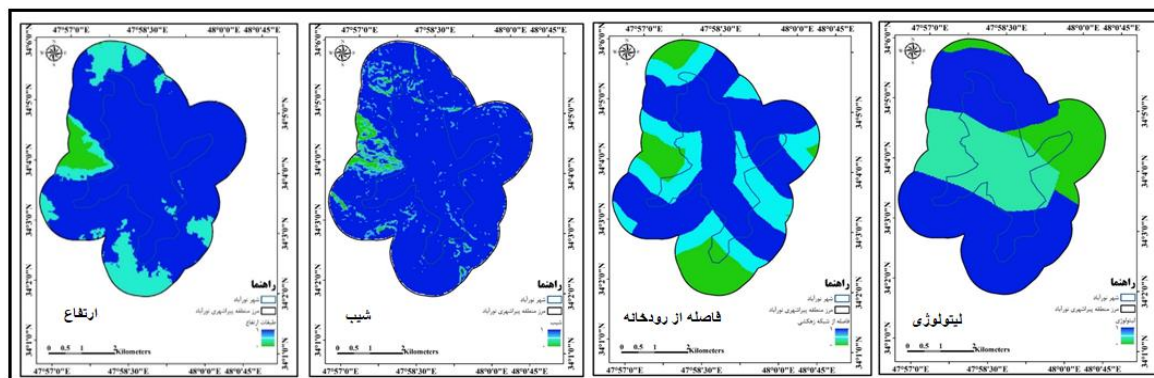
شکل ۳. اولویت‌بندی معیارهای مؤثر در مخاطره سیلاب

فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی در سطح محدوده مطالعاتی

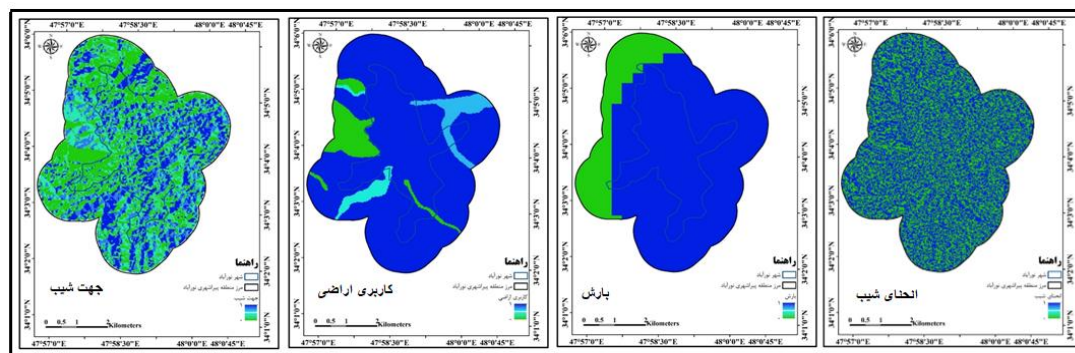
در راستای هدف نهایی پژوهش حاضر، به فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از توابع فازی اقدام شد و بر این اساس، استانداردسازی فازی در محدوده صفر و ۱ انجام گرفت تا ضمن ایجاد نقشه‌های فازی هر لایه، نقش و ارزش واقعی هر پارامتر در فرایند سیل‌گیری در سطح پهنه مکانی نورآباد مشخص شود تا بر این اساس در نهایت زمینه‌ساز پهنه‌بندی مبتنی بر ارزش واقعی شود. پارامترهای مختلف در ترکیب با هم زمینه‌ساز شرایط موجود خطر سیلاب و نیز چگونگی آن در پهنه شهری نورآباد شده‌اند. یافته‌های حاصل از فازی‌سازی معیار ارتفاع نشان داد که تأثیر آن در بخش‌های مرکز بیشتر است و تأثیر آن در بخش‌هایی از شمال، جنوب و غرب منطقه کاسته می‌شود. به بیانی معیار ارتفاع، زمینه‌ساز هدایت جریان به پهنه‌های شهری نورآباد می‌شود و جهت جریان رودخانه و مجرای غالب نیز مؤید این مسئله است. نتایج حاصل از لایه فازی‌شده شیب نیز نشان داد که با حرکت به سمت پهنه شهری و کاهش شیب، شرایط پتانسیل خطر سیلاب بیشتر می‌شود و به‌ویژه با توجه به وجود مجاری جریان در سطح پهنه شهری، این مسئله شایان توجه بیشتری است. بررسی نتایج حاصل از لایه فازی جهت شیب نیز که نمود تأثیرگذاری آن در بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوبی بیشتر است، دال بر پتانسیل بیشتر پهنه‌های شهری و نیز در تطابق با نتایج حاصل از لایه شیب است.

نتایج حاصل از فازی‌سازی لایه فاصله از رودخانه نشان داد که تأثیر این پارامتر در ایجاد خطر سیلاب در بخش‌هایی با فاصله کمتر از رودخانه بیشتر است و بر همین مبنا تأثیر واضح آن به دلیل وجود سیستم‌های جریانی فعال در سطح شهر نورآباد کاملاً محرز است که همین مسئله سبب شده است یکی از اصلی‌ترین پارامترها در مسئله تحت بررسی باشد و بر همین مبنا، ضرورت رعایت حریم و نیز سطح‌بندی آن وجود دارد. بارش نیز یکی از معیارهای پایه‌ای سیلاب است و نتایج نشان داد که به دلیل پهنه کم محدوده شهری و نیز ماهیت آن، این پارامتر در کل محدوده مطالعاتی تأثیرگذاری دارد و اثرگذاری آن به لحاظ خطر سیلاب در سطوح پایین که منطبق بر پهنه شهری هستند خود را بیشتر نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نقشه فازی کاربری اراضی نیز نشان داد که پهنه‌های دارای کاربری شهری با توجه به ماهیت خود، عامل مهمی در افزایش خطر سیلاب هستند و با وجود این در همین محدوده در صورت وجود کاربری‌های با پوشش گیاهی و باغ، پتانسیل مخاطره سیلاب کمتر شده است. بررسی معیار لیتولوژی نیز نشان داد که تأثیر آن در پهنه‌های مختلف تحت بررسی با درجات متفاوت وجود دارد و در این بین، نقش نوع لیتولوژی و به‌ویژه رسوبات جوان‌تر در بخش جنوبی و نیز شمالی در افزایش روند خطر سیلاب شایان توجه است و تأثیر خود را در کل منطقه نشان داده است. نتایج حاصل از معیار شاخص انحنای شیب بیانگر تأثیر با پراکنش آن در سطح محدوده مطالعاتی و حتی در سطوح و پهنه‌های کوچک در تعامل با تقویت پارامتر هدف است.

برآورد سیستمی و جامع حاصل از فازی‌سازی معیارهای هشت‌گانه بر مبنای توابع فازی، بیانگر تأثیرگذاری هر یک از آنها با درجات متفاوت نسبت به مخاطره سیلاب و نیز در سطح پهنه‌های مختلف محدوده مطالعاتی است که در مجموع در نقشه پهنه بندی نهایی خطر سیلاب در نورآباد خود را نشان داده‌اند و بر همین مبنا در ادامه روند به تهیه نقشه پهنه‌بندی نهایی محدوده مطالعاتی پرداخته شده است.



شکل ۴. الف) نقشه‌های فازی‌شده لایه‌های اطلاعاتی در محدوده مطالعاتی



شکل ۴. ب) نقشه‌های فازی شده لایه‌های اطلاعاتی در محدوده مطالعاتی

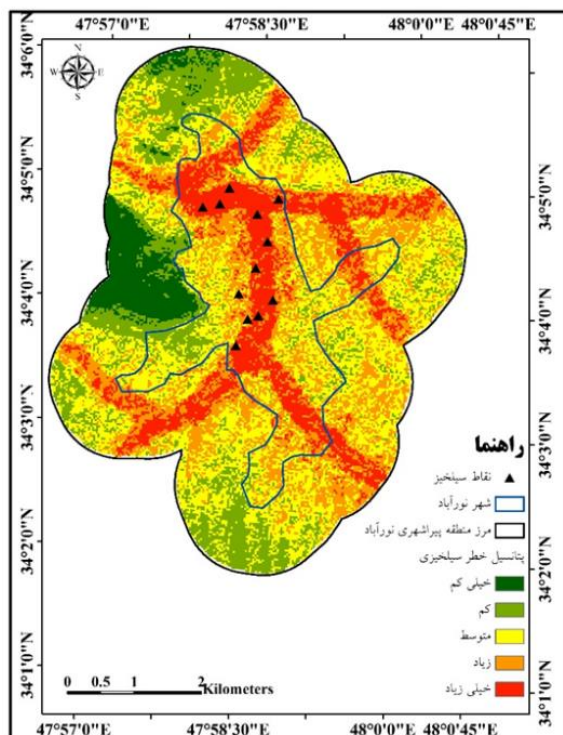
پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده مطالعاتی

در راستای هدف نهایی پژوهش، بر مبنای معیارهای هشت‌گانه وزن‌دهی شده و نیز فازی‌شده بر اساس توابع فازی و دارای ارزش‌های کمی دقیق، فرایند تلفیق نقشه‌ها انجام گرفت و در پی آن نقشه پهنه‌بندی نهایی با هدف قابلیت‌سنجی خطر سیلاب در محدوده شهری نورآباد تهیه شد. نتایج نشان داد که پهنه‌های با پتانسیل خطر خیلی زیاد، پتانسیل زیاد، پتانسیل متوسط، پتانسیل کم و پتانسیل خیلی کم به ترتیب ۱۳/۳، ۲۵/۳، ۳۵/۴، ۱۹/۹ و ۶/۱ درصد را از محدوده مطالعاتی در بر می‌گیرند. بر مبنای نتایج کمی این پژوهش حاصل از مدل FAHP، ۷۴ درصد از پهنه مطالعاتی در طبقه با پتانسیل خطر متوسط قرار گرفته و با نگاه دقیق‌تر نزدیک به ۳۸/۶ از پهنه مطالعاتی در طبقه با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. پرخطرترین مناطق از منظر مخاطره سیلاب، بخش‌های مجاور رودخانه و با فاصله کم از رودخانه و منطق بر پهنه شهری هستند و کم‌خطرترین مناطق نیز بخش‌های شمالی، غربی و نیز بخشی از جنوب منطقه هستند که شرایط توپوگرافیک موجود آنها زمینه‌ساز کاهش سطح سیل‌گیری و خطر متعاقب آن شده است. تحلیل نقشه نهایی نشان داد که با وجود اختصاص مناطق بسیار پرخطر به فضاهای پیراجریانی فعال در سطح شهر، باز بخش عمده‌ای از پهنه شهر با توجه به نقش تجمیعی پارامترها متأثر از موقعیت جغرافیایی و نیز شرایط توپوگرافیک و نیز فیزیوگرافیک پتانسیل سیل‌گیری را دارد و بر همین مبنا ضرورت اعمال راهبردها و سیاست‌های مدیریتی توسعه شهری بر مبنای این مسئله در راستای کاهش سطح خطر و توسعه پایدار بلندمدت وجود دارد و در این بین شناخت منحنی رشد مجاری جریانی و نیز رعایت حریم آنها ضروری و کاراست.

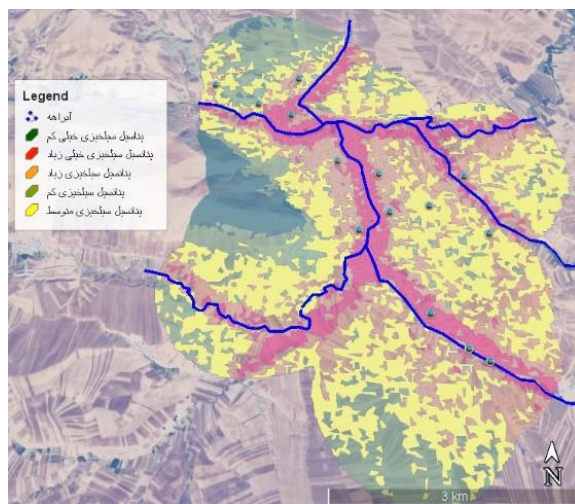
با هدف اشراف بیشتر بر پتانسیل‌سنجی و نیز افزایش دقت مطالعاتی، محدوده‌های درگیر سیل بررسی شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، محدوده‌های قرمز، محدوده‌های درگیر خطر سیل هستند و بیشترین این محدوده‌ها به لحاظ موقعیت مکانی، مربوط به مجاری جریانی، دهانه پل‌ها و قسمت شمال شرق و شرق هستند. بنابراین مجموع شرایط توپوگرافیک محدوده مطالعاتی و نیز وجود مجاری جریانی (گچینه و بادآور) در پهنه شهر و در پی آن توسعه شهری و ضرورت ایجاد زیرساخت‌ها، زمینه‌ای برای افزایش پتانسیل خطر سیلاب شده است و این مسئله با نتایج کمی موجود در جدول ۲ نیز تطابق دارد که دال بر کارا بودن نتایج پژوهش است. سیلاب سال ۱۳۹۸ و نیز پژوهش‌های رستمی و همکاران (۱۳۹۹) دال بر وجود خطر سیلاب در پهنه شهری نورآباد است و بر همین مبنا پژوهش حاضر نیز در مسیر کمک به تهیه یک پایگاه اطلاعاتی در خصوص خطر سیلاب، تکمیل‌کننده پژوهش‌های پیشین است و برای مدیران شهری نیز کارایی دارد.

جدول ۲. پتانسیل خطر سیلاب در پهنه نورآباد

ردیف	پتانسیل	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۱	خیلی زیاد	۴۰۶/۹	۱۳/۳
۲	زیاد	۷۷۳/۸	۲۵/۳
۳	متوسط	۱۰۸۵/۱	۳۵/۴
۴	کم	۶۰۸/۹	۱۹/۹
۵	بسیار کم	۱۸۷/۲	۶/۱
	جمع	۳۰۶۱/۹	۱۰۰



شکل ۵. نقشه پتانسیل خطر سیلاب در پهنه شهری نورآباد



شکل ۶. محدوده‌های درگیر سیل در پهنه مطالعاتی

در ادامه با هدف دقت کار و اعتبارسنجی، مدل استفاده‌شده ارزیابی شد. در این زمینه، منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) تهیه و میزان سطح زیر منحنی (AUC) برآورد شد. نتایج نشان داد که AUC برابر 0.771 است که با توجه به بازه 0.5 تا 1 به صورت عدم مقبولیت تا مقبولیت، بیانگر دقت و کارایی مدل به کار گرفته‌شده در ارزیابی پتانسیل خطر سیلاب و شناسایی پهنه‌های مستعد سیل در نورآباد است.

جدول ۳. نتایج اعتبارسنجی مدل پژوهش

ردیف	مدل پیش‌بینی	داده‌های اعتبارسنجی
۱	تحلیل سلسله‌مراتبی - فازی	0.771

نتیجه گیری

این پژوهش در زمینه پهنه‌بندی خطر سیلاب در پهنه شهری شهر نورآباد بود. در راستای هدف پژوهش، محدوده مطالعاتی با بافر یک کیلومتری تعیین شد و هشت پارامتر مؤثر در خطر سیلاب با توجه به شرایط محیطی منطقه و نیز نظر کارشناسی انتخاب شدند؛ سپس بر مبنای مدل انتخابی FAHP پهنه‌بندی خطر سیلاب انجام گرفت. نتایج حاصل از وزن‌دهی نشان داد که هر معیار با زیرمعیارهای مربوط به خود، با درجات متفاوتی در فرایند خطر سیلاب و نیز پهنه‌های سیل‌گیر در نورآباد نقش دارند و از طرفی مجموع معیارها در ترکیب با هم با میزان اثرگذاری متفاوت، زمینه‌ساز شرایط موجود خطر سیلاب و نیز چگونگی آن در پهنه شهری نورآباد شده‌اند. با این اوصاف نتایج تکمیلی این بخش نشان داد که به ترتیب معیارهای فاصله از رودخانه، مقدار بارش، کاربری اراضی، شیب، لیتولوژی، ارتفاع، انحنای شیب و جهت شیب به ترتیب با ضرایب $0/219$ ، $0/189$ ، $0/143$ ، $0/113$ ، $0/109$ ، $0/89$ ، $0/70$ و $0/69$ بیشترین تأثیرگذاری را در فرایند مخاطره سیلاب داشته‌اند و نرخ ناسازگاری نیز $0/04$ به دست آمد که دال بر صحت اولویت‌بندی معیارهای انتخابی و تأثیرگذار است. برای نمونه معیار فاصله از رودخانه اولویت اول تأثیرگذار در فرایند مخاطره سیلاب در نورآباد شناسایی شد که با توجه به وجود مجاری جریانی فعال گچینه و بادآور بیانگر تأیید این وزن‌دهی و نیز پتانسیل زیاد خطر سیلاب در منطقه مطالعاتی است. همچنین یافته‌های این بخش با پژوهش انتظاری و همکاران (۱۳۹۸) و نیز پژوهش غلامی و احمدی (۱۳۹۸) در شهر لامرد دارای همخوانی زیادی است و بنابراین باید در فرایند توسعه شهری مؤلفه حریم مجاری جریانی را یکی از اصول در مسیر توسعه پایدار در آتی در نظر گرفت.

در زمینه هدف نهایی پژوهش، نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهری نورآباد بر مبنای معیارهای هشت‌گانه و نیز نقشه‌های فازی شده لایه‌های اطلاعاتی موجود بر اساس توابع فازی و دارای ارزش‌های کمی دقیق بر مبنای FAHP تهیه شد. نتایج نهایی نشان داد که بخش غالب منطقه تحت بررسی، در محدوده دارای پتانسیل متوسط به زیاد قرار دارد و به لحاظ کمی نیز مقادیر آن ۷۴ درصد بوده و مقادیر کمی پتانسیل زیاد و خیلی زیاد نیز $38/6$ درصد است. بنابراین بخش بزرگی از پهنه شهری نورآباد پتانسیل خطر سیلاب را دارد که این پهنه‌های سیل‌گیر در سطح مناطق پیراجریانی و مجاور رودخانه‌ها در سطح شهر چشمگیر است. نتایج تکمیلی‌تر این پژوهش نشان داد که جدا از مناطق یادشده، متأثر از نقش تجمعی پارامترهای مؤثر و به‌ویژه شرایط توپوگرافیک و نیز فیزیوگرافیک، بخش بزرگی از شهر نورآباد پتانسیل سیل‌گیری را دارد که شواهد سیلاب ۱۳۹۸، پژوهش‌های رستمی و همکاران (۱۳۹۹) و نیز مطالعات میدانی این پژوهش و بررسی موردی نقاط در سطح محدوده مطالعاتی همراه با تهیه نقشه محدوده‌های درگیر سیلاب مؤید این مطلب است. بررسی موردی نشان داد که نتایج این بخش از پژوهش به لحاظ پهنه‌های درگیر سیل، با پژوهش‌های لی و کیم (۲۰۱۹) و به لحاظ نقش مؤثر شرایط فیزیوگرافیک، با پژوهش ریو و کیم (۲۰۱۹) تطابق زیادی دارد. نتایج حاصل از اعتبارسنجی نیز که بخشی از نوآوری پژوهش است، نشان داد که مقادیر سطح زیر منحنی (AUC) برابر با $0/771$ است که بیانگر مقبولیت و کارایی مدل انتخابی و نیز معیارهای منتخب در این مدل برای ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب است که بررسی‌های میدانی و نیز شناسایی نقاط سیلابی نیز تأییدکننده این مسئله است. بنابراین نتایج این پژوهش، یک پایگاه اطلاعاتی مناسب در مسیر تکمیل داده‌های حاصل از پژوهش‌های قبلی در خصوص پتانسیل خطر سیلاب و شناسایی پهنه‌های سیل‌گیر در پهنه شهری نورآباد است و ضمن آن نتایج نهایی نشان داد که در برنامه‌های توسعه شهری، رعایت حریم مجاری جریانی و به‌ویژه تفکیک حریم سطح یک، دو و سه و به بیانی حریم ممنوعه، مشروط و مجاز در قالب تهیه سندهای محیطی شهر و ضرورت راهبرد اعمال آنها بسیار مهم و کاراست.

منابع

- [۱] اصغرپور، محمدجواد (۱۳۸۸). تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، چاپ هفتم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [۲] انتظاری، مژگان؛ جلیلیان، طاهره؛ و درویشی خاتونی، جواد (۱۳۹۸). پهنه‌بندی نقشه حساسیت سیل‌گیری با استفاده از ارزیابی کارایی روش‌های نسبت فراوانی و وزن شواهد (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۶(۴)، ۱۴۳-۱۶۲.
- [۳] آکان، عثمان (۱۳۸۰). هیدرولوژی رگبار در حوضه‌های شهری، ترجمه سعید برومندنسب، اهواز: انتشارات دانشگاه اهواز.
- [۴] تقفیان، بهرام؛ فرازجو، حسن؛ سپهر، عادل؛ و نجفی‌نژاد، علی (۱۳۸۵). بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوزه آبریز سد گلستان. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۲(۱)، ۱۸-۲۸.
- [۵] حاتمی‌نژاد، حسین؛ حاتمی، احمد؛ و احمدی‌نژاد، مزدک (۱۳۹۸). سنجش ابعاد و شاخص‌های زیست‌پذیری در شهر نورآباد دلفان، توسعه پایدار محیط جغرافیایی، ۱(۱)، ۹۳-۱۱۱.
- [۶] رامشت، محمدحسین؛ و شاه‌زیدی، سمیه‌سادات (۱۳۹۰). چاپ دوم، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.
- [۷] رستمی فتح‌آبادی، محمد؛ جعفری‌گلو، منصور؛ و مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۹). تحلیل فضایی مناطق سیل‌زده و سیل‌خیز شهر نورآباد لرستان و مخاطرات آن، مدیریت مخاطرات محیطی، ۷(۳): ۳۱۳-۳۲۹.
- [۸] شریعت جعفری، محسن؛ و حامدپناه، رامین (۱۳۸۶). پیش‌بینی خطر ناپایداری شیب‌های طبیعی با استفاده از عملکردهای ضرب و جمع جبر فازی در البرز مرکزی، منابع طبیعی ایران، ۳، ۷۴۵-۷۵۷.
- [۹] صابری‌فر، رستم؛ و شکری، هومر (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر سیل در شهر بیرجند، آمایش سرزمین، ۱۱(۱)، ۱۵۹-۱۷۸.
- [۱۰] طهماسبی‌پور، ناصر؛ شریفی، فرود؛ مهدوی، محمد؛ و پزشکی، حمید (۱۳۸۶). منطقه‌ای کردن برآورد سیل در تعدادی از زیرحوزه‌های کرخه با استفاده از چولگی تعمیم‌یافته، پژوهش و سازندگی، ۲(۷۴)، ۲-۱۰.
- [۱۱] قنوانی، عزت‌الله (۱۳۹۲). پهنه‌بندی خطر سیلاب شهر کرج با استفاده از منطق فازی، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۸، ۱۱۳-۱۳۱.
- [۱۲] قهرودی تالی، منیژه (۱۳۹۱). آسیب‌پذیری خطوط ریلی شمال دشت لوت در مقابل سیلاب، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱(۲)، ۱-۱۵.
- [۱۳] کرم، عبدالامیر (۱۳۸۴). تحلیل تناسب زمین برای توسعه فیزیکی شمال غرب شیراز با استفاده از رهیافت ارزیابی چندمعیاره (MCE) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۸(۳)، ۹۳-۱۰۶.
- [۱۴] محمودزاده، حسن؛ و باکویی، مهدی (۱۳۹۷). پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از تحلیل فازی (مطالعه موردی: شهر ساری)، *مخاطرات محیط طبیعی*، ۷(۱۸)، ۵۱-۶۸.
- [۱۵] معلمی گرجی، سارا؛ حسینی، سیدموسی؛ یمانی، مجتبی؛ و قدیمی، مهرنوش (۱۴۰۴). برآورد خطرپذیری اقتصادی سیلاب در استان گلستان، مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۲(۴)، ۳۳۳-۳۴۹.
- [۱۶] مؤمنی، منصور (۱۴۰۴). مباحث نوین تحقیق در عملیات، چاپ دوازدهم، تهران: ناشر مؤلف.
- [۱۷] نظم‌فر، حسین؛ و پاشازاده، اصغر (۱۳۹۷). ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: شهر اردبیل)، *آمایش جغرافیایی فضا*، ۸(۲۷)، ۱۰۱-۱۱۶.
- [18] Akay, H. (2021). Flood hazards susceptibility mapping using statistical, fuzzy logic, and MCDM methods. *Soft Computing*, 25(1), DOI:10.1007/s00500-021-05903-1.
- [19] Ampofo, J.A., Sekyere, E.O., & Adongo, R. (2025). Analysis of urban flood hazards and adaptation strategies in the Tamale Metropolis of Ghana., *Discover Environment*, 3(30), doi: 10.1007/s44274-025-00200-2.
- [20] Bonham-Carter, G. (1994). *Geographic information systems for geoscientists, modeling with GIS*. Geological Survey of Canada, Ottawa.
- [21] CRED – Center for Research on the Epidemiology of Disaster. (2023). 2022 disaster in numbers. https://cred.be/sites/default/files/2022_EMDAT.
- [22] Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A. & Sonmez, H. (2006). Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey, *Environmental Geology*, 51, 241-256, DOI:10.1007/s00254-006-0322-1.
- [23] Islam, A. R. M. T., Talukdar, S., Mahato, S., Kundu, S., Eibek, K. U., Pham, Q. B., Kuriqi, A., & Linh, N. T. T. (2021). Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101075, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.006>.
- [24] Kainz, W. (2008). *GIS for hazard analysis using vague data*, Department of Geography and Regional Research: University of Vienna, Austria.

- [25] Kumar jha, A., Bloch, R., & Almond, J. (2012). *Cities and flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*, World Bank Publications.
- [26] Lee, B.J., & Kim, S. (2019). Gridded Flash Flood Risk Index Coupling Statistical Approaches and TOPLATS Land Surface Model for Mountainous Areas. *Water*, 11(3), 504, <https://doi.org/10.3390/w11030504>.
- [27] Li, C., Cheng, X., Li, N., Du, X., Yu, Q., & Kan, G. (2016). A Framework for Flood Risk Analysis and Benefit Assessment of Flood Control Measures in Urban Areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(8), 787, [10.3390/ijerph13080787](https://doi.org/10.3390/ijerph13080787).
- [28] 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/10.1016/j.rsase.2020.100445>.
- [29] Rimba, A. B., Setiawati, M. D., Sambah, A. B. & Miura, F. (2017). Physical Flood Vulnerability Mapping Applying Geospatial Techniques in Okazaki City, Aichi Prefecture, Japan. *Urban Science*, 1(1): 7, [10.3390/urbansci1010007](https://doi.org/10.3390/urbansci1010007).
- [30] Roughani, M., Ghafouri, M., & Tabatabaei, M. (2007). An innovative methodology for the prioritization of subcatchments for flood control. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9(1), 79-87. [10.1016/j.jag.2006.06.001](https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.06.001).
- [31] Ryu, J. H., & Kim, J. (2019). A Study on Climate-Driven Flash Flood Risks in the Boise River Watershed, Idaho. *Water*, 11(5), 1039, <https://doi.org/10.3390/w11051039>.
- [32] Thomalla, F., Downing, T., Seigfried, E.S., Han, G., & Rockstorm, J. (2006). Reducing hazard vulnerability: towards a common approach between disaster risk reduction and climate adaptation, *Disasters*, 30(1): 48-39, DOI: 10.1111/j.1467-9523.2006.00305.x
- [33] Tsumita, O., Piyapong, S., Kaewklungklom, R., Jaensirisak, S., & Fukuda, A. (2025). Flood susceptibility mapping of urban flood risk: comparing autoencoder multilayer perceptron and logistic regression models in Ubon Ratchathani, Thailand, *Natural Hazards*, 121:17833–17867, Doi:10.1007/s11069-025-07494-8.
- [34] Zhang J., Okada, N., Tatano, H. & Hayakawa, S. (2002). Risk Assessment and Zoning of Flood Damage Caused by Heavy Rainfall in Yamaguchi Prefecture, Japan, Flood Defence`2002. Wu et al. (eds) 2002, Science Press. New York Ltd., ISBN 7-03-008310-5.