



Research Paper

Flood Risk Zoning Using Fuzzy Logic Model; Case Example: Lavasanat Watershed



*Sayad Asghari Sareskanroud¹ , Aqil Madadi¹ , Maherukh Sardashti¹

1. Department of Natural Geography/Geomorphology Orientation, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.



Citation Asghari Sareskanroud, S., Madadi, A., & Sardashti, M. (2025). [Flood Risk Zoning Using Fuzzy Logic Model; Case Example: Lavasanat Watershed (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):144-159. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.906.1>

<https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.906.1>

ABSTRACT

Background and objective Iran is prone to various natural disasters including floods. The location of zones at risks of floods is necessary for making optimal decisions for its management. This study aims to locate the zones with flood risk in the Lavasanat watershed using the fuzzy logic model.

Method In this research, the most important factors affecting floods, including precipitation, slope, land use, distance from waterways, elevation, and lithology, were considered for flood risk zoning. These data were classified and weighted based on the opinions of 30 experts in the fields of geography, natural resources, and civil engineering. A questionnaire was prepared and distributed among them, and they were asked to weigh each factor between 0 and 1. Then, based on the fuzzy logic model, flood zoning maps were prepared in the ArcGIS software. To eliminate the limitations of fuzzy multiplication and sum models, a fuzzy gamma operator of 0.9 was used for flood risk zoning. In the final prepared maps, the study area was divided into five zones in terms of flood risk: Very high risk, high risk, moderate risk, low risk, and no risk (safe).

Results The results showed that the very high-risk zone covered 11.8% of the area, the high-risk zone covered 11.3%, the moderate-risk zone covered 26.7%, the low-risk zone covered 30.2%, and the no-risk zone covered 20%.

Conclusion More than 23% of the region is in zones at high and very high risk of floods. These zones are mainly located around the main waterway. In urban and rural planning and construction in the study area, the requirements for flood prevention and risk mitigation, including the consideration of flood retention and storage areas, should be taken into account.

Keywords Flood, Risk zoning, Fuzzy logic, Watershed

Article Info:

Received: 24 Nov 2024

Accepted: 12 May 2025

Available Online: 01 Jul 2025

* Corresponding Author:

Sayad Asghari Sareskanroud, Professor.

Address: Department of Natural Geography / Geomorphology Orientation, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Tel: +98 (910) 4020251

E-mail: s.asghari@uma.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Flood is a natural disaster with severe negative impacts, especially on urban and peri-urban areas. The consequences of flood range from loss of life and property to disruption of essential services and infrastructure. Developing countries are particularly vulnerable to these disasters due to factors such as rapid population growth, inadequate infrastructure, and limited resources for disaster preparedness and disaster response. Various methods are used to mitigate the flood risks, ranging from geological and sedimentological approaches to climate change analyses. Among these methods, geomorphological techniques offer a comprehensive approach by integrating endogenous (internal processes of the Earth) and exogenous (external processes of the Earth) agents. By considering the interaction between geological features, surface processes, and climate factors, geomorphological methods provide comprehensive insights into risk zonation and facilitate the development of effective hazard mitigation measures and solutions. The purpose of this study is to locate the zones at risk of floods in the Lavasanat watershed located in Shemiranat County, Tehran Province, Iran. Due to its proximity to Tehran and having a rustic nature, Lavasanat has high economic value; thus, is always exposed to encroachments and illegal constructions. The occurrence of floods can have adverse effects on its watershed area and cause high sediment loads.

Methods

In this research, the flood risk zoning in the study area was carried out based on the fuzzy logic model. The layers of slope, precipitation, distance from the waterway, land use, elevation and lithology were used to zone the flood risk. All layers were first classified. To implement the fuzzy logic model, it is necessary to first weight the layers based on the membership function. Each layer was thus weighted and converted into raster layers, and the layers were fuzzy in the value range of zero to one. The weighting was done based on the opinions of 30 experts, who were asked to complete a designed questionnaire and score each factor from 0 to 1. The precipitation factor was weighted by considering four categories, while distance from the waterway, slope, land use, and elevation had five categories, and lithology had 10 categories. After weighting the layers, we calculated them using the fuzzy sum model which complements the algebraic multiplication model. In the output map based on this model, the pixel values tend towards 1 (higher membership value).

As a result, more pixels are placed in the “very high risk” class. Then, the layers were fuzzified using the fuzzy multiplication model. In this model, all information layers are multiplied together. This model causes the numbers in the output map to become smaller and tend towards 0 (lower membership value); as a result, fewer pixels are placed in the “very safe” class.

Results

Based on the results, the safe zone had an area of 3450 hectares, covering 20% of the area. This zone was mainly located away from waterways and was consistent with the steep and high-altitude areas. The area of the low-risk zone was 4874 hectares. Like the safe zone, this zone was located away from waterways and mainly covered the region’s central areas, which have the largest area in the region. The area of the moderate-risk zone was 4276 hectares. The high-risk zone had an area of 2056 hectares, which were mainly located around waterways on low slopes and in areas with low vegetation cover. The very high risk zone had an area of 1980 hectares, which was located around waterways on low-slope areas, similar to the high-risk zone.

Conclusion

More than 23% of the region is in zones at high and very high risk of floods, which are mainly located around the main waterway. In urban and rural planning, development, and construction, the requirements for flood prevention and risk reduction, including the provision of retention and storage areas, should be considered.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This research was conducted in compliance with the ethical principles. Since there was no experiment on human or animal samples, the need for an ethical code was waived.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.



Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.



مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل منطق فازی، نمونه موردی: حوضه آبخیز لواسانات

* صیاد اصغری سراسکانرود^۱، عقیل مددی^۱، ماهرخ سردشتی^۱

۱. گروه جغرافیای طبیعی/گرایش ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

Use your device to scan and read the article online



Citation Asghari Sareskanroud, S., Madadi, A., & Sardashti, M. (2025). [Flood Risk Zoning Using Fuzzy Logic Model; Case Example: Lavasanat Watershed (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(2):144-159. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.906.1>

doi <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.2.906.1>

حکیده

زمینه و هدف: ایران کشوری حادثه‌خیز از نظر بلایای طبیعی از جمله سیلاب است. شناسایی نواحی در معرض خطر سیلاب برای اتخاذ تصمیمات بهینه در مدیریت این پدیده ضروری است. هدف این پژوهش، تعیین مکان نواحی دارای خطر سیلاب در حوضه آبخیز لواسانات با استفاده از مدل منطق فازی است.

روش: در این تحقیق، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب شامل بارش، شیب زمین، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه‌ها، ارتفاع و لیتولوژی برای پهنه‌بندی خطر سیلاب مورد بررسی قرار گرفت. این داده‌ها براساس نظر ۳۰ نفر از متخصصان جغرافیا، منابع طبیعی و مهندسی عمران، طبقه‌بندی و وزن‌دهی شدند. پرسش‌نامه‌ای تهیه و در اختیار آنان قرار گرفت تا هر عامل را در بازه (۰ تا ۱) وزن‌دهی کنند. سپس با بهره‌گیری از مدل منطق فازی، نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. برای رفع محدودیت‌های مدل‌های ضرب و جمع فازی، از اپراتور گامای فازی با مقدار ۰/۹ استفاده شد. در نقشه‌های نهایی، منطقه مورد مطالعه از نظر خطر سیلاب به پنج پهنه شامل خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بدون خطر (ایمن) تقسیم شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد پهنه با خطر بسیار زیاد ۱۱/۸ درصد، پهنه با خطر زیاد ۱۱/۳ درصد، پهنه با خطر متوسط ۲۶/۷ درصد، پهنه با خطر کم ۳۰/۲ درصد، و پهنه بدون خطر ۲۰ درصد از مساحت منطقه را پوشش می‌دهند.

نتیجه‌گیری: بیش از ۲۳ درصد از منطقه مورد مطالعه در پهنه‌های دارای خطر زیاد و بسیار زیاد سیلاب قرار دارد. این نواحی عمدتاً در اطراف آبراهه اصلی واقع شده‌اند. در برنامه‌ریزی‌های شهری و روستایی و فعالیت‌های عمرانی منطقه، ضرورت دارد تمهیداتی برای پیشگیری و کاهش خطر سیلاب از جمله در نظر گرفتن مناطق نگهدارنده و ذخیره سیلاب لحاظ شود.

کلیدواژه‌ها: سیل، کوهستان، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، آسیب‌پذیری، حوضه آبخیز لواسانات

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳ آذر

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴ اردیبهشت

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴ تیر

* نویسنده مسئول:

دکتر صیاد اصغری سراسکانرود

نشانی: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی/گرایش ژئومورفولوژی.

تلفن: ۴۰۲۰۲۵۱ (۹۱۰) +۹۸

پست الکترونیکی: s.asghari@uma.ac.ir

Copyright © 2025 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه

نابرابری‌های اجتماعی اقتصادی موجود و چالش‌های زیست محیطی را تشدید می‌کند (کساد-رومن و همکاران، ۲۰۲۲). روش‌های مختلفی برای مطالعه و کاهش خطرات سیلاب، از رویکردهای زمین‌شناسی و رسوب‌شناسی گرفته تا تحلیل‌های اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در میان این روش‌ها، تکنیک‌های ژئومورفولوژیکی با ادغام متغیرها و دینامیک درون‌زا (فرایندهای درونی زمین) و برون‌زا (فرایندهای زمین خارجی) رویکردی جامع ارائه می‌دهند. با در نظر گرفتن تأثیر متقابل بین ویژگی‌های زمین‌شناسی، فرایندهای سطحی و عوامل آب‌وهوایی، روش‌های ژئومورفولوژیکی بینش‌های جامعی را در مورد پهنه‌بندی خطر ارائه می‌کنند. توسعه اقدامات و راه‌حل‌های مؤثر باعث کاهش خطر می‌شوند. علاوه بر این روش‌های ژئومورفولوژیکی ارتباط جهانی را از طریق کاربردهای گسترده خود در کاهش خطر مخاطرات نشان می‌دهند (ولسکی و همکاران، ۲۰۰۶).

نقشه‌های ژئومورفولوژیکی مبنای محکمی برای پهنه‌بندی خطر ارائه می‌دهند، زیرا از تجزیه و تحلیل کامل ویژگی‌های فیزیکی زمین، از جمله شیب، زمین‌شناسی و داده‌های تاریخی زمین‌لغزش به دست آمده‌اند. این نقشه‌ها به عنوان یک ابزار ضروری برای شناسایی مناطق احتمالی مستعد زمین‌لغزش عمل می‌کنند. در حالی که عواملی مانند فعالیت لرزه‌ای، بارندگی و مداخلات انسانی می‌توانند بر وقوع زمین‌لغزش تأثیر بگذارند، نقشه‌برداری ژئومورفولوژیکی پایه کافی برای شناسایی خطر باقی می‌ماند. زمانی که نقشه‌های ژئومورفولوژیکی با سایر عوامل خطر، مانند داده‌های بارندگی و الگوهای کاربری اراضی انسانی ادغام می‌شوند، چارچوبی جامع برای مدیریت و برنامه‌ریزی مؤثر ریسک ارائه می‌کنند (چن و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعات بسیاری در ارتباط با سیلاب در سطح ایران و جهان صورت گرفته است. سان و همکاران (۲۰۲۵) مقاله‌ای تحت عنوان «چارچوب مبتنی بر مکانی برای شبیه‌سازی سریع سیل ناشی از طوفان و ارزیابی ریسک جامع با استفاده از GWDD و FUZZY-SWARA» به نگارش درآوردند. نتایج نشان داد در مقایسه با روش‌های سنتی، این رویکرد تحلیل مکانی، مدل‌های فیزیکی را ساده می‌کند و بازده محاسباتی را ۶۷/۴۴ برابر افزایش می‌دهد و در عین حال دقت محاسباتی ۸۴/۰۸ درصد را با حداقل از دست دادن دقت حفظ می‌کند.

رینسوفسر و همکاران (۲۰۲۵) مقاله‌ای تحت عنوان پایش خطر سیل در سوئیس به نگارش درآوردند. نتایج نشان‌دهنده تغییرات سالانه خطر سیل در سوئیس و در واحدهای اداری مختلف، تنوع مکانی تکامل خطر سیل و تغییرپذیری در تکامل اجزای خطر سیل است. بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳، کل خطر سیل در سوئیس ۲۶ درصد، منطقه خطر ۳۲ درصد و قرار گرفتن در معرض، ۳۵ درصد افزایش یافته است. تفکیک عوامل خطر به درک بهتر عوامل مهمی که خطر را افزایش یا کاهش می‌دهند، منجر می‌شود. با این حال در دسترس بودن و سازگاری داده‌ها چالش‌هایی برای پایش خطر سیل است.

از آغاز تمدن بشری زندگی بشر همواره به وسیله مخاطرات طبیعی تهدید شده‌اند. سیلاب از جمله پدیده‌های طبیعی است که هر ساله سبب خسارات سنگین جانی و مالی می‌شود. تخریب منابع طبیعی چه به صورت بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌ها و منابع طبیعی و چه به شکل تغییر کاربری اراضی و تبدیل آن‌ها به زمین کشاورزی نامناسب و ساخت مناطق مسکونی، موجب شده سیلاب‌ها سال به سال هم از نظر تعداد وقوع و هم از نظر شدت خسارات افزایش یابند. سیلاب یکی از مخرب‌ترین فجایع طبیعی است که به شدت بر توسعه جهانی و ایمنی انسان تأثیر می‌گذارد (افشاری آزاد و پورکی، ۱۳۹۲؛ سبزواری، ۱۳۹۸). در سال‌های اخیر، فراوانی و شدت این مخاطره افزایش یافته که در درجه اول به تغییر اقلیم نسبت داده می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین این روند توسط عوامل دیگری، مانند رشد جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی که به شدت در برابر چنین مخاطراتی آسیب‌پذیر هستند، تشدید می‌شود (هاگن و همکاران، ۲۰۱۰). در نتیجه، خطر سیل به طور قابل توجهی در سطح جهان افزایش یافته است (ونگ و همکاران، ۲۰۲۱).

بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته تغییرات اقلیمی که یکی از دلایل افزایش سیلاب‌ها هستند تا سال ۲۰۳۰ بیشتر افزایش می‌یابد (هونگ و همکاران، ۲۰۱۸). بدون اقدامات کافی برای کاهش خطر سیل، رشد اقتصادی اجتماعی مداوم ممکن است منجر به افزایش ۲۰ برابری خسارات مطلق مرتبط با سیل تا سال ۲۱۰۰ شود (کلاتر و همکاران، ۲۰۲۱؛ لی و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه بر این حوضه‌های آبخیز وسیع که با شرایط هیدرولوژیکی پیچیده، تمرکز جمعیت متراکم و فعالیت‌های اقتصادی پر جنب و جوش مواجه هستند، غالباً جریان‌های اوج بالا و وقوع سیلاب‌های طولانی مدت را تجربه می‌کنند. در نتیجه، منابع مادی، مالی و انسانی قابل توجهی برای کنترل مؤثر سیل و تلاش‌های امدادی این مخاطره ضروری است (تیان و همکاران، ۲۰۲۲). در مطالعه چنین پدیده‌ای بهتر است از نظریه فازی که می‌تواند متغیرهای نادقیق و مبهم را به شکل ریاضی درآورد، استفاده کرد. برای اجرای تکنیک فازی عملگرهایی نظیر اجتماع و اشتراک، ضرب جبری، جمع جبری و گاما نیاز است (عابدی و همکاران، ۱۳۹۵؛ آیگون و همکاران، ۱۴۰۳).

زمین‌لغزش و سیل خطرات طبیعی قابل توجهی را با اثرات شدید، به ویژه در مناطق شهری و حومه شهری به وجود می‌آورند. پیامدهای این رویدادها از خسارات جانی و مالی تا اختلال در خدمات و زیرساخت‌های اساسی متنوع است. کشورهای در حال توسعه، به دلیل عواملی مانند رشد سریع جمعیت، زیرساخت‌های ناکافی و منابع محدود برای آمادگی و واکنش در برابر مخاطرات، به ویژه در برابر اثرات زمین‌لغزش و سیل بیشتر آسیب‌پذیر هستند. این کشورها، بار نامتناسبی از این خطرات را تجربه کرده‌اند که



در این پژوهش برای از بین بردن نواقص ضرب و جمع فازی از عملگر گاما $0/9$ برای پهنه‌بندی سیلاب استفاده شده است. رابطه عملگر فازی حالت کلی روابط عملگرهای ضرب و جمع است و می‌توان با انتخاب صحیح مقدار گاما پارامترهای کاهشی و افزایشی را هم‌زمان تلفیق کرد و به مقادیری در خروجی‌ها دست یافت که حاصل سازگاری قابل‌انعطاف میان گرایش‌های افزایشی و کاهشی 2 عملگر ضرب و جمع فازی هستند. معمولاً حد واسط یعنی $0/7$ را در بیشتر پژوهش‌ها برای اینکه دقت بیشتری دارد انتخاب می‌کنند، اما در این پژوهش عملگر $0/9$ انتخاب شد و برای اعتبارسنجی آن از نقاط انتخابی استفاده شد که در روش تحقیق توضیح داده شده است. در تمامی مطالعات و پژوهش‌های قبلی مناطق مورد مطالعه عمدتاً دارای یکنواختی در ناهمواری می‌باشند اما منطقه مورد مطالعه این پژوهش دارای اختلاف ارتفاع و شیب زیادی بین مناطق پایین‌دست و بالا دست است. همچنین در این مطالعه سعی شد از ترکیب عملگرهای مختلف برای کسب نتیجه بهتر استفاده شود.

هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبخیز لواسانات بود. وضعیت خاص منطقه مورد مطالعه، از جمله نزدیکی به تهران و ییلاقی بودن آن باعث شده این منطقه به یکی از گران‌ترین مناطق تبدیل شود و به لحاظ ارزش بالای اقتصادی همواره در معرض تجاوزات و ساخت‌وسازهای غیرقانونی قرار گیرد؛ بنابراین رخ دادن سیلاب می‌تواند اثرات نامطلوبی را بر رودخانه و کناره‌ها و نیز آورد رسوبی بالا و غیره داشته باشد. باتوجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده در طی سال‌های گذشته این منطقه با وقوع سیلاب‌های مخربی مواجه بوده است. از جمله می‌توان به سیلاب رخ داده در تاریخ ۲۲ تا ۲۴ فروردین ۱۳۹۴ اشاره کرد. طی بارندگی فراوان و آب شدن برف ارتفاعات و جاری شدن سیلاب به سمت پایین‌دست در منطقه حوضه رودخانه جاجرود، سیلابی قابل‌توجه حادث شد که در **تصویر شماره ۱**، نمایی از این سیلاب ویرانگر نشان داده شده است. به همین دلیل توجه به سیلاب و ارائه راهکار در این خصوص بسیار ضروری است.

روش

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه جزو حوضه آبخیز سد لتیان و در شمال شرق تهران واقع شده است (**تصویر شماره ۲**). براساس تقسیمات زمین‌ساختی نبوی، منطقه مورد مطالعه در بخش البرز - آذربایجان و از نظر زمین‌شناسی در زون البرز مرکزی قرار گرفته است. رودخانه اصلی این منطقه جاجرود است که از ارتفاعات البرز سرچشمه می‌گیرد (**ابراهیمی، ۱۳۹۹**).

تلمن و همکاران (۲۰۲۳) تصویر سنجش از دور ماهواره‌ای با وضوح بالا را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ جمع‌آوری و نقشه‌های سیل مربوط به ۹۱۳ رویداد سیل اصلی را تولید کردند. آن‌ها دریافتند کل منطقه سیل‌زده به $2/23$ میلیون کیلومتر مربع رسیده است که بر تقریباً ۲۵۵ تا ۲۹۰ میلیون نفر تأثیر می‌گذارد. نتایج نشان می‌دهد بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵، جمعیت مناطق سیل‌خیز به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت و از ۵۸ میلیون نفر به ۸۶ میلیون نفر رسید. این امر منجر به افزایش تقریباً ۲۴ درصدی جمعیت جهان در معرض سیلاب شده است.

در ایران نیز کارهای بسیاری در زمینه سیلاب انجام شده که از جمله می‌توان به کارهای زیر اشاره کرد.

قنوتی (۱۳۹۲) پهنه‌بندی خطر سیلاب (سیل‌خیزی و سیل‌گیری) در محدوده شهر کرج و نواحی پیرامون آن را با استفاده از منطق فازی مورد بررسی قرار داد و باتوجه به نقشه نهایی به‌دست‌آمده اشاره کرد مدل فازی با وجود پیچیدگی‌هایی که دارد دارای مزایای بسیاری در مطالعه پدیده‌های مختلف مرتبط با سطح زمین است و باتوجه به نقشه نهایی به‌دست‌آمده از این مدل، سیل‌خیزی پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در بخش شمالی، شمال شرقی و شرقی منطقه مورد مطالعه واقع شده است.

نجفی و کریمی کردآبادی (۱۳۹۹) به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY با تأکید بر امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه ۱ کلان‌شهر تهران) پرداختند. نتایج نشان می‌دهد پهنه‌های خطر خیلی کم، خطر کم و متوسط در شمال و مرکز محدوده مورد مطالعه قرار دارند و پهنه‌های خطر خیلی زیاد و زیاد، منطبق بر نقاط خروجی حوضه‌ها و در محدوده شهری منطقه قرار دارند. باتوجه به نقشه نهایی به‌دست‌آمده از پهنه‌بندی سیلاب و در راستای توسعه و امنیت شهری باید از ساخت‌وساز در محدوده‌های با خطر بسیار زیاد و زیاد و حریم مسیل‌ها و رودخانه‌های متعدد در منطقه ۱ تهران ممانعت شود.

آبگون و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی به بررسی آسیب‌های وارده به رودخانه تالار پرداختند و چارچوبی برای تحلیل مخاطرات مشابه در سایر رودخانه‌های کشور ارائه دادند. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده ضرورت همکاری میان نهادهای دولتی، محلی و جامعه مدنی برای ایجاد راهکارهای مؤثر در مدیریت پایدار منابع آبی است که با درک عمیق از چالش‌های موجود و اتخاذ شیوه‌های جامع مدیریت، می‌توان به حفاظت از این منابع ارزشمند و بهبود کیفیت زندگی عمومی کمک کرد.



تصویر ۱. آب‌گرفتنی ساخت‌وسازهای غیرمجاز در اثر سیلاب مورخ ۲۲ تا ۴۲ فروردین ماه سال ۱۳۹۱ (عکس از نگارندگان).

در مدل فازی هر عضو هم‌زمان در مجموعه‌های مختلف، ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و ۱ و نیز خود این دو حد را می‌پذیرد. برای اجرای تکنیک فازی به عملگرهایی نظیر OR (اجتماع)، AND (اشتراک)، Prod-uct (ضرب جبری)، Sum (جمع جبری) و Gamma (گاما) نیاز است. در عملگر OR پیکسلی که فقط از نظر یک نقشه مناسب بوده و ارزش ۱ داشته باشد و از لحاظ سایر لایه‌های اطلاعاتی دارای ارزش صفر باشد، در نقشه خروجی تلفیق یافته و ارزش ۱ می‌گیرد و مناسب تشخیص داده می‌شود. در عملگر AND فقط پیکسلی که در تمامی نقشه‌های پایه ارزش ۱ دارد، در نقشه نهایی ارزش ۱ خواهد داشت و جزء مناطق مناسب قرار می‌گیرد. عملگر Product موجب می‌شود تا اعداد مجموعه‌ها کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. اما عملگر Sum برخلاف عملگر Product موجب می‌شود تا اعداد به سمت ۱ میل کنند. جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر Product و دقت خیلی کم عملگر Sum، عملگر دیگری به نام Gamma تعریف شده است. مقدار گاما تعدیل‌کننده بین صفر و ۱ است و از طریق قضاوت کارشناسانه تعیین می‌شود. گامای صفر معادل ضرب فازی و گامای ۱ معادل جمع فازی است (جیانگ و همکاران، ۲۰۲۳).

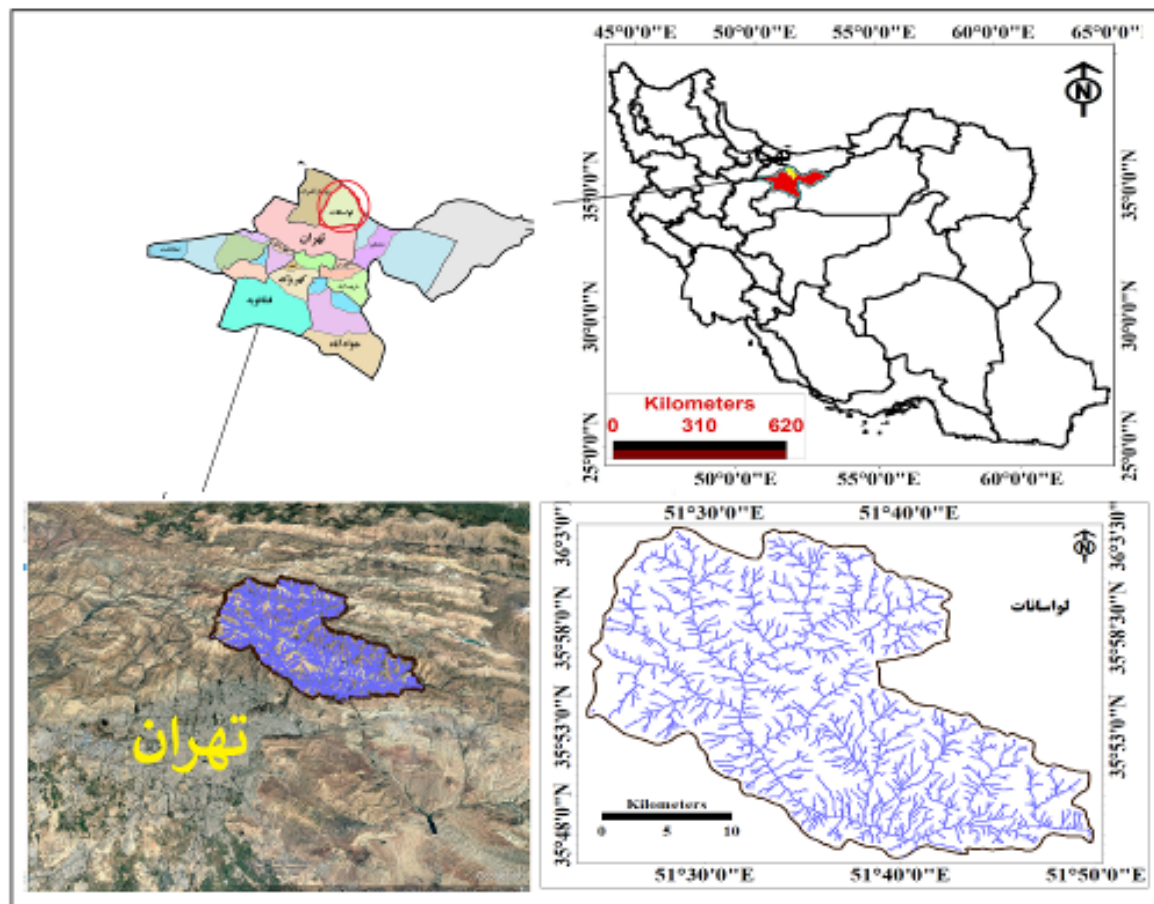
در این مطالعه از عملگرهای Product، Sum و Gamma استفاده شده است. با عنایت به مراتب فوق در این تحقیق ابتدا تمام لایه‌ها طبقه‌بندی شدند. به‌منظور اجرای مدل منطق فازی لازم است ابتدا لایه‌ها براساس تابع عضویت، وزن‌دهی شوند. هر لایه وزن‌دهی و تبدیل به لایه‌های رستری شد و لایه‌ها در بازه ارزشی صفر تا ۱ فازی شدند (فرمول‌های شماره ۱، ۲، ۳).

1. Combination = $\prod_{i=1}^n i(1 - \mu) \mu$
2. Combination = $\prod_{i=1}^n \mu i \mu$
3. Combination = (Fuzzy A lg. Sum)*(Fuzzy A lg. Product) μ

منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ دقیقه و ۳۰ درجه تا ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی واقع شده است. رودخانه جاجرود از ارتفاعات خرسنگ، جانستون، سرکچال، دیزین، آهار، شکرآب، گرمابدر و غیره سرچشمه گرفته و از به‌هم پیوستن شاخه‌های گرمابدر، ابنیک، روته، میگون، شمشک، فشم و اوشان در منطقه رودبار قصران تشکیل شده است و به سد لتیان منتهی می‌شود. از دیگر رودخانه‌های این حوضه، رودخانه افجه و کندرود در لواسان و رودخانه لوارک است. این منطقه یکی از حوزه‌های آبخیز کوهستانی کشور با ارتفاع و شیب زیاد است. ارتفاع متوسط منطقه ۲۳۲۹ متر از سطح دریا و شیب متوسط آن ۴۱ درصد است. برهمن اساس کمترین ارتفاع منطقه ۱۵۳۵ متر است که در جنوب غرب منطقه مشاهده می‌شود و بیشترین ارتفاع منطقه ۴۲۸۰ متر است که در قسمت‌های شمالی منطقه قابل مشاهده است (ابراهیمی، ۱۳۹۹).

روش تحقیق

براساس مطالعات و پژوهش‌های صورت گرفته درمورد خطر سیلاب، عوامل بسیاری در آن دخیل‌اند. در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه مورد مطالعه از لایه‌های شیب، بارش، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، ارتفاع و لیتولوژی استفاده شد. باتوجه به اینکه پدیده‌هایی نظیر سیلاب تحت تأثیر عوامل بسیاری قرار دارند و این عوامل قطعی و صددرصدی نیستند، در این تحقیق پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب براساس مدل منطق فازی صورت پذیرفت. منطق فازی شیوه‌های مرسوم برای طراحی و مدل‌سازی یک سیستم را که نیازمند ریاضیات پیشرفته و نسبتاً پیچیده است با استفاده از مقادیر و شرایط زبانی و یا به عبارتی دانش فرد خبره و با هدف ساده‌سازی و کارآمدتر شدن طراحی سیستم، جایگزین و یا تا حد زیادی تکمیل می‌کند (کلانتر و همکاران، ۲۰۲۱).



تصویر ۲. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

شناسایی قرار گرفتند و سپس پرسش‌نامه‌ای تهیه و بین آن‌ها توزیع و از آن‌ها خواسته شد به هر عامل بین صفر تا ۱ وزن دهند. بدین ترتیب اگر نقش عامل در وقوع سیلاب در منطقه زیاد است وزن بیشتر و امتیازش نزدیک به ۱ و اگر نقش کمتری دارد وزن کمتر و امتیازش نزدیک به صفر بود.

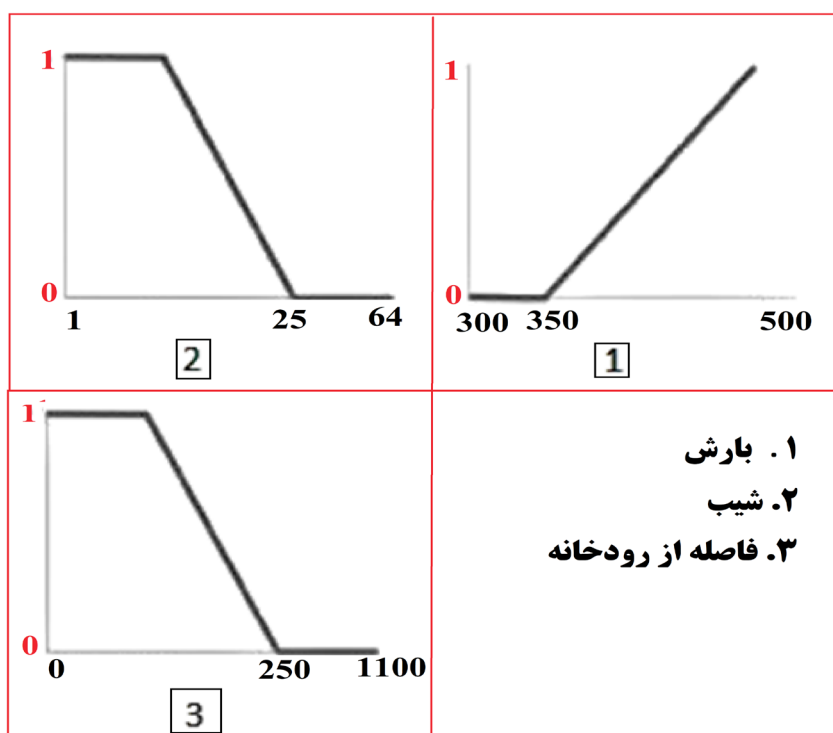
به منظور اعتبارسنجی نقشه پیش‌بینی پتانسیل سیل، مجموعه نقاط اعتبارسنجی (۳۵ نقطه، ۹۲ درصد مجموع نقاط) استفاده شدند. در این مرحله ۳۵ نقطه در محیط GIS با نقشه حساسیت سیل روی هم گذاری شدند، سپس با استفاده از دستور Sample هر کدام از نقاط که در طبقات نقشه پیش‌بینی قرار گرفتند، نمونه‌برداری شدند و بدین ترتیب و با استفاده از هیستوگرام فراوانی وقوع نقاط سیل گیر، صحت‌سنجی نقشه پیش‌بینی انجام شد.

تابع عضویت هریک از لایه‌ها در مدل براساس نوع رابطه‌ای که هر پارامتر با پدیده سیل خیزی در منطقه مورد مطالعه دارد، تعیین شده است که باتوجه به میزان اهمیت و تأثیر در رخداد سیلاب، لایه‌ها طبقه‌بندی، امتیازدهی و وزن‌دهی شدند (تصویر شماره ۳). عامل بارش با پدیده سیلاب رابطه مستقیم دارد، یعنی با افزایش مقدار بارش در منطقه خطر سیلاب افزایش می‌یابد (داس، ۲۰۲۰).

در رابطه گامای فازی ۷ پارامتر انتخاب شده در محدوده صفر و ۱ است. وقتی ۷ برابر ۱ باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی ۷=صفر باشد، ترکیب اصلی برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه بین صفر و ۱ مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل‌انعطاف میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی ۲ عملگر جمع و ضرب فازی هستند. این عملگر زمانی استفاده می‌شود که اثر برخی شواهد کاهشی و اثر برخی افزایشی باشد (فرج‌زاده، ۱۳۹۲).

از میان معیارها، شیب از مدل رقومی ارتفاع منطقه استخراج شد که مستقیماً ماهیت رستری داشته و نیازی به انجام رستری نداشته است. معیارهای کاربری اراضی چون به صورت برداری (وکتوری) هستند در جدول اعداد توصیفی فیلدی تحت عنوان وزن فازی درست شد و طبق آن رستری شدند. معیارهای فاصله از فاصله از آبراهه با استفاده از دستور Euclidean Distance به لایه رستری تبدیل شده‌اند. معیار بارش هم با استفاده از دستور درونیابی^۱ IDW به دست آمد که خود این لایه رستری است. وزن‌دهی لایه‌ها براساس نظرات ۳۰ کارشناس و خبره در رشته‌های جغرافیا، منابع طبیعی و عمران صورت پذیرفت. کارشناسان و خبرگان از طریق مطالعه رزومه و مقالات مورد

1. Inverse Distance Weighting



تصویر ۳. نوع توابع فازی لایه‌ها و وزن‌دهی آن‌ها

یافته‌ها

تعیین عضویت لایه‌ها در مدل سیلاب خیزی

عامل بارش

رابطه بارش با سیل‌خیزی مستقیم است (اکمچی اوغلو و همکاران، ۲۰۲۱). برای وزن‌دهی لایه بارش، براساس اینکه با افزایش میزان بارش میزان خطر سیلاب بیشتر می‌شود نوع تابع برای وزن‌دهی آن خطی افزایشده است. بنابراین میزان بارش در منطقه به ۴ طبقه تقسیم و براین‌اساس وزن‌دهی شد (جدول شماره ۱).

عامل شیب

شیب با پدیده سیلاب رابطه معکوس دارد؛ یعنی با کاهش مقدار شیب در حوضه خطر سیلاب افزایش می‌یابد (قنوتی، ۱۳۹۲). برای فازی‌سازی لایه شیب، باتوجه‌به اینکه با افزایش میزان شیب، میزان خطر سیلاب کاهش می‌یابد و نوع تابع برای فازی‌سازی آن خطی کاهشی است، با کاهش شیب خطر وقوع سیلاب افزایش می‌یابد (جدول شماره ۲).

عامل آبراهه

این پارامتر با سیل‌خیزی رابطه معکوس دارد. بنابراین از رابطه خطی و کاهنده در تعیین عضویت این لایه استفاده شده است. به عبارتی فاصله از آبراهه از دیگر پارامترهای مؤثر بر سیل‌خیزی است، هرچه فاصله از آبراهه در حوضه کاهش یابد خطر سیلاب نیز افزایش می‌یابد (دنگ، ۲۰۱۸). برای وزن‌دهی لایه فاصله از آبراهه، براساس اینکه با افزایش فاصله از آبراهه، میزان خطر سیلاب کمتر می‌شود، بنابراین امتیاز کمتری داده می‌شود (جدول شماره ۳).

عامل کاربری اراضی

در منطقه مورد مطالعه ۵ نوع کاربری اراضی در نظر گرفته شده است، به نحوی که به کاربری‌هایی که مرتبط با ساخت‌وساز شهری در منطقه بوده، به علت نفوذپذیری کمتر و نقش بیشتر در تولید رواناب و سیل‌خیزی، وزن بیشتری تعلق گرفته. به کاربری‌هایی که پوشش گیاهی بیشتر داشتند یا به‌صورت باغات یا زمین‌های بایر بوده‌اند به علت نفوذپذیری بیشتر، تولید رواناب کمتر و اهمیت کمتر در سیل‌خیزی وزن کمتری تعلق گرفته است (جدول شماره ۴).



جدول ۱. وزن دهی لایه بارش براساس مدل منطق فازی

نام طبقه	بارش	وزن
۱	۳۵۰-۳۰۰	۱
۲	۴۰۰-۳۵۰	۳
۳	۴۵۰-۴۰۰	۴
۴	۴۵۰<	۵

جدول ۲. وزن دهی لایه شیب براساس مدل منطق فازی

نام طبقه	شیب	وزن
۱	۸-۰	۵
۲	۱۷-۸	۴
۳	۲۵-۱۷	۳
۴	۳۳-۲۵	۲
۵	۶۴-۳۳	۱

جدول ۳. وزن دهی لایه فاصله از آبراهه براساس مدل منطق فازی

وزن	فاصله از آبراهه (متر)	نام طبقه
۵	۲۰۰-۰	۱
۴	۵۰۰-۲۰۰	۲
۲	۸۰۰-۵۰۰	۳
۲	۱۱۰۰-۸۰۰	۴
۱	۱۱۰۰<	۵

جدول ۴. وزن دهی لایه کاربری اراضی براساس مدل منطق فازی

نام طبقه	کاربری اراضی	وزن
۱	زمین بایر	۱
۲	مناطق مسکونی	۵
۳	زمین های کشاورزی	۲
۴	مرتع	۴
۵	جنگل	۳



جدول ۵. وزن‌دهی لایه لیتولوژی براساس مدل منطق فازی

نام طبقه	نوع سنگ	وزن
۱	توف	۵
۲	شیل	۲
۳	ماسه سنگ	۴
۴	کنگلومرا	۴
۵	شیست	۳
۶	آندزیت	۱
۷	بازالت	۲
۸	آبرفت	۵
۹	دولومیت	۱
۱۰	سنگ آهک	۱

جدول ۶. وزن‌دهی لایه ارتفاع براساس مدل منطق فازی

نام طبقه	طبقات ارتفاعی	وزن
۱	۱۵۳۵-۲۰۰۰	۱
۲	۲۵۰۰-۲۵۰۰	۲
۳	۳۵۰۰-۳۵۰۰	۳
۴	۳۵۰۰-۳۵۰۰	۴
۵	۳۵۰۰-۴۲۸۰	۵

عامل لیتولوژی

بحث

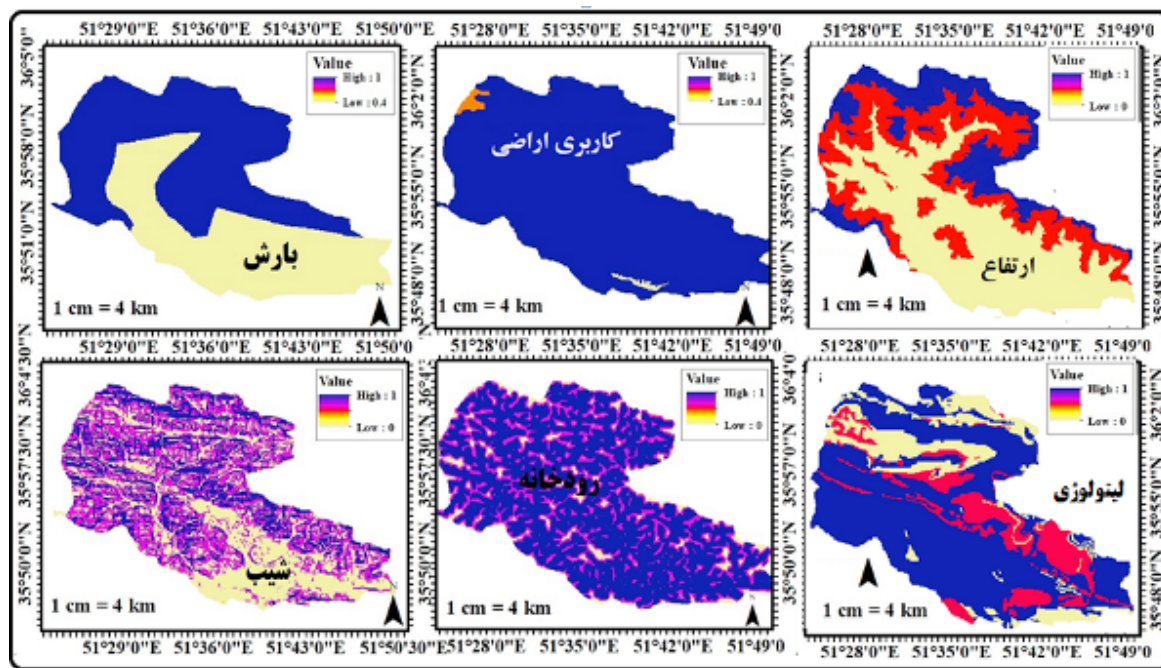
این لایه از ۱۰ طبقه تشکیل شده است. امتیازدهی به واحدهای زمین‌شناسی براساس چگونگی نفوذپذیری آن‌ها انجام شده است. به گونه‌ای که به واحدهایی که نفوذپذیری بیشتری داشته‌اند برای سیل‌خیزی وزن کمتر و به واحدهایی که نفوذپذیری کمتری دارند وزن بیشتری تعلق گرفته است (جدول شماره ۵).

عامل ارتفاع

این منطقه یکی از حوضه‌های آبخیز کوهستانی کشور با ارتفاع و شیب زیاد است. باتوجه به تأثیر عامل ارتفاع در وقوع سیل منطقه مورد مطالعه به ۵ طبقه ارتفاعی تقسیم و براساس توابع منطق فازی وزن‌دهی شد (جدول شماره ۶). به گونه‌ای که هرچه ارتفاع بیشتر باشد، نقش مهم‌تری در سیل‌خیزی منطقه دارد، زیرا مناطق مرتفع دارای پتانسیل بیشتر در ارتباط با بارش و هدایت رواناب هستند. و در نهایت نقشه استانداردسازی شده فازی لایه‌های مذکور تهیه شد (تصویر شماره ۴).

پس از استانداردسازی لایه‌های موردنظر با استفاده از مدل جمع فازی وزن نهایی لایه‌ها محاسبه گردید. این مدل مکمل، حاصل ضرب جبری است. به همین دلیل در نقشه خروجی برخلاف مدل ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت ۱ میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خطرناک قرار می‌گیرد. به همین دلیل این عملگر حساسیت بالایی در مکان‌یابی دارد و از دقت زیادی برخوردار نیست. در تصویر شماره ۵ نقشه مدل جمع فازی برای محدوده مورد مطالعه آورده شده است (سلیمی، ۱۳۹۰). سپس لایه‌ها براساس مدل ضرب فازی^۲ فازی‌سازی شدند. در این مدل تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و ۱ که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه فازی است، این مدل باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند؛ در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد (فرج زاده، ۱۳۹۲).

2. Fuzzy Product

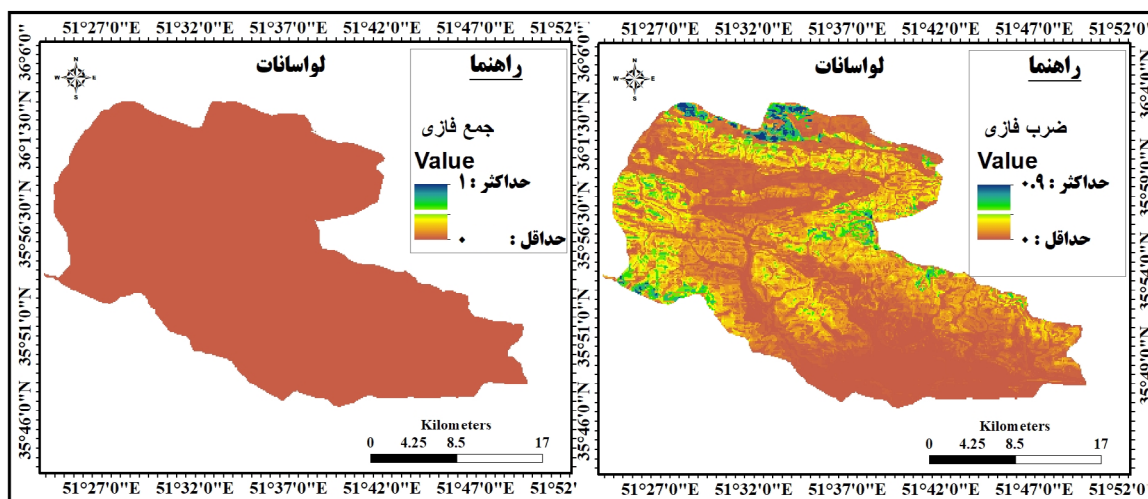


تصویر ۴. نقشه استانداردسازی شده فازی لایه‌های شیب، فاصله از آبراهه، بارش، کاربری اراضی، ارتفاع و لیتولوژی

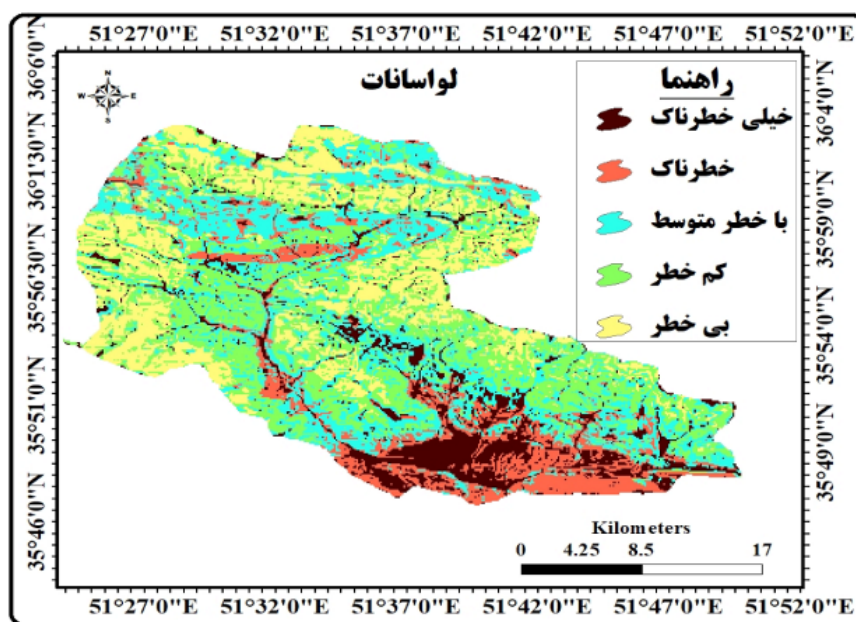
ارزیابی دقت نقشه پیش‌بینی استعداد سیل

به منظور ارزیابی دقت نقشه پیش‌بینی حساسیت سیل، از مجموع نقاط گروه اعتبارسنجی استفاده شد که نتایج آن به صورت هیستوگرام در تصویر شماره ۷ ارائه شده است. تفسیر هیستوگرام به این صورت است که در محور افقی هریک از طبقات مربوط به نقشه حساسیت قرار گرفته است و در محور عمودی درصد مساحت هریک از طبقات و همچنین درصد وقوع سیل‌های اتفاق افتاده در داخل هر طبقه از نقشه حساسیت سیل درج شده

براساس مدل ضرب فازی تقریباً ۷۵ درصد منطقه در پهنه بی‌خطر و کم‌خطر واقع شده‌اند. در حالی که براساس ضرب فازی بیش از ۹۵ درصد منطقه در پهنه خطرناک و خیلی خطرناک واقع شده است (جدول شماره ۷). برای از بین بردن نواقص ضرب و جمع فازی از عملگر گاما ۰/۹ استفاده شده است. تصویر شماره ۶ نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه براساس عملگر گامای فازی را نشان می‌دهد. براساس این نقشه، منطقه مورد مطالعه به ۵ پهنه خیلی خطرناک، خطرناک، با خطر متوسط، کم‌خطر و بی‌خطر تقسیم شده است.



تصویر ۵. فازی‌سازی لایه‌ها براساس اپراتور جمع و ضرب فازی



تصویر ۶. نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب براساس عملگر گاما ۰/۹ در منطقه مورد مطالعه

با نتایج تحقیق داس (۲۰۲۰) مطابقت دارد. مساحت پهنه کم خطر ۴۸۷۴ هکتار است. این پهنه نیز به مانند پهنه بی خطر دور از آبراهه‌ها واقع شده است و عمدتاً مناطق مرکزی منطقه را دربر می‌گیرد و بیشترین مساحت را در منطقه داراست. مساحت پهنه خطر متوسط ۴۲۷۶ هکتار است. پهنه خطرناک دارای مساحت ۲۰۵۶ هکتار است که عمدتاً در اطراف آبراهه‌ها، در شیب‌های کم و در مناطق با پوشش گیاهی کم واقع شده‌اند. پهنه خیلی خطرناک نیز دارای ۱۹۸۰ هکتار می‌باشد که مانند پهنه خطرناک در اطراف آبراهه‌ها و مناطق کم‌شیب واقع شده‌اند. مسئله قابل توجه این است که پهنه‌های خیلی خطرناک و خطرناک عمدتاً در مجاورت آبراهه اصلی واقع شده‌اند که این یافته با نتایج تحقیق کلاتر و همکاران (۲۰۲۱)، کریمی سنگچینی و همکاران (۱۴۰۲)، انتظاری و همکاران (۱۳۹۸)، فرج‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. بیش از ۲۳ درصد منطقه جزو مناطق خیلی خطرناک و خطرناک به لحاظ خطر وقوع سیلاب است که با نتایج تحقیق نورعلی و همکاران (۱۳۹۶) مبنی بر اینکه پهنه خیلی خطرناک و خطرناک بیشترین وسعت را در منطقه دارند، مطابقت ندارد.

است. باتوجه به اینکه ۳۵ نقطه انتخاب‌شده جهت صحت‌سنجی درواقع نشان‌دهنده شرایط وقوع سیل هستند، بنابراین احتمال حضور این نقاط در طبقه‌های با حساسیت بیشتر (یعنی طبقه‌های خیلی زیاد و زیاد) و حتی در طبقه متوسط نیز دیده شوند.

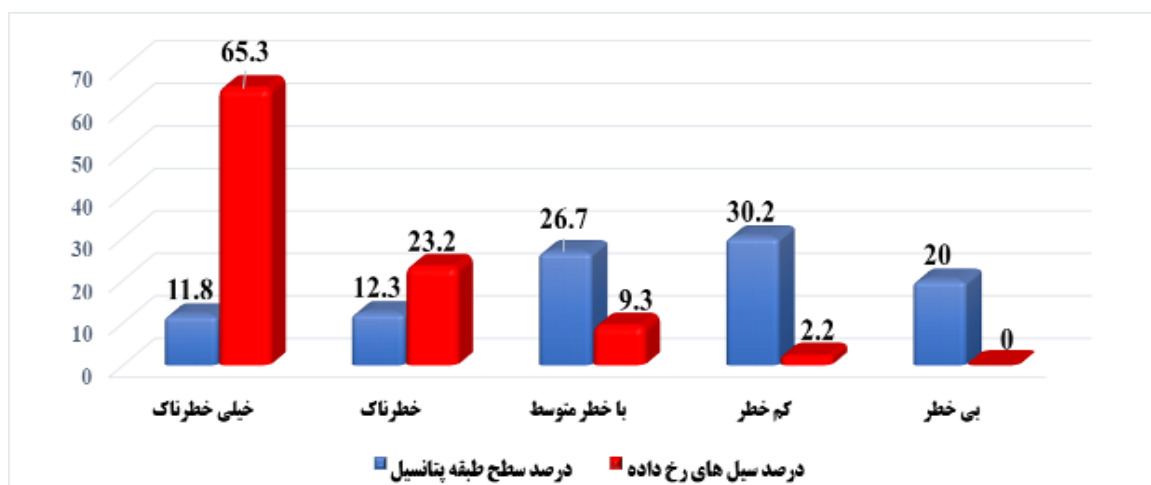
بنابراین باتوجه به تصویر شماره ۷ مشخص می‌شود احتمال حضور نقاط سیل گیر گروه اعتبارسنجی داده‌ها در طبقه خیلی خطرناک برابر با ۶۵/۱۴ درصد و برای طبقه بی خطر این عدد برابر با صفر درصد است. این در حالی است که مساحت هرکدام از این طبقه‌ها به ترتیب ۱۱/۸ و ۲۰ درصد از مساحت کل را شامل می‌شوند. بنابراین هیس‌توگرام مربوطه تأییدکننده روش نسبت فراوانی در تعیین نقشه حساسیت سیل در منطقه مورد پژوهش است.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست‌آمده پهنه بی خطر ۳۴۵۰ هکتار و ۲۰ درصد منطقه را دربر می‌گیرد. این پهنه عمدتاً دورتر از آبراهه‌ها واقع شده است و با مناطق پرشیب و پرارتفاع منطبق است که

جدول ۷. مساحت مناطق خطر وقوع سیلاب براساس عملگر گاما ۰/۹ فازی

ردیف	میزان خطر	تعداد پیکسل خروجی	مساحت (هکتار)	درصد
۱	خیلی خطرناک	۶۶۰۱	۱۹۸۰	۱۱/۸
۲	خطرناک	۶۸۵۳	۲۰۵۶	۱۲/۳
۳	با خطر متوسط	۱۴۲۶۳	۴۲۷۶	۲۶/۷
۴	کم خطر	۱۶۲۵۸	۴۸۷۴	۳۰/۲
۵	بی خطر	۱۱۵۰۲	۳۴۵۰	۲۰



تصویر ۷. هیستوگرام ارزیابی صحت نقشه حساسیت سیل در حوزه آبخیز لواسانات

- استفاده از نرم افزارهای هوش مصنوعی و شبیه ساز برای سنجش میزان تاب آوری.

- باتوجه به طرح آزادسازی تصرفات و تخریب ساخت وسازها در بستر رودخانه لواسانات که مجری آن دستگاه قضا است پیشنهاد می شود این طرح با جدیت ادامه پیدا کند و مانند گذشته تفاوتی بین املاک دولتی و خصوصی دیده نشود تا شاهد آزادسازی ۱۰۰ درصد حریم رودخانه باشیم.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این تحقیق با رعایت اصول اخلاقی انجام شد. از آنجایی که هیچ آزمایشی روی نمونه های انسانی یا حیوانی انجام نشد، نیازی به رعایت اصول اخلاقی نبود.

حامی مالی

این پژوهش هیچ گونه کمک مالی از سازمانی های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش نویس مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

براساس نتایج تحقیق، متغیرهای مؤثر بر وقوع خطرات طبیعی در یک منطقه، به دلیل متفاوت بودن شرایط توپوگرافی، اقلیمی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، خاک شناسی و عوامل انسانی، ممکن است با منطقه دیگر متفاوت باشد که این با نتایج تحقیق **چزگی و پویان (۱۴۰۲)** از این لحاظ که شرایط محیطی نقش زیادی در وقوع مخاطرات محیطی دارد، مطابقت دارد.

نتایج هیستوگرام ارزیابی روش نسبت فراوانی نشان داد احتمال حضور نقاط سیل گیر گروه اعتبارسنجی داده ها در پهنه خیلی خطرناک برابر با ۶۵/۱۴ درصد و برای طبقه بی خطر این عدد برابر با صفر درصد است که این با نتایج تحقیق **دارابی و همکاران (۱۳۹۵)** مطابقت دارد.

باتوجه به یافته ها راهکارهای ذیل پیشنهاد می شود:

- ایجاد بانک اطلاعاتی جامعه از نقاط ضعف و آسیب های موجود در مناطق مختلف به منظور شفاف سازی و افزایش آگاهی از مشکلات و موانع در این حوزه؛

- باتوجه به اینکه منطقه خطرناک و خیلی خطرناک در قسمت جنوبی منطقه و در مجاورت شهر لواسانات قرار دارد استفاده از سازوکارهای مناسب برای کنترل و ارزیابی روند توسعه شهری و سنجش میزان هماهنگی آن با ساختار تاب آوری شهری پیشنهاد می شود.

- به کارگیری و استفاده از ابزارهای هوشمند برای تصویربرداری از بالا برای مشخص شدن تراکم ساختمان ها و تخریب فضاهای سبز برای افزایش اطلاعات و آگاهی از محیط و برنامه ریزی صحیح براساس آن.

- افزایش آگاهی مردم با تبلیغات و ایجاد برنامه های آموزشی برای بالا بردن سطح مشارکت اجتماعی جامعه در زمان وقوع حادثه.



References

- Abgoun, A., Ebrahimi, K., & Heidari, M. (2024). [Investigating the Damaging Events of Talar River, Iran, in Tandem with Presenting a Proposed Framework (Persian)]. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 18 (66), 73-87. [\[Link\]](#)
- Abedi, M., Sadeghi, J., & Rezvani, K. (2016). [Application of fuzzy theory in flood risk modeling under uncertain and imprecise data (Persian)]. *Journal of Water Engineering Sciences*, 6(3), 26-34.
- Afshariyazad, M., & Poraki, H. (2013). [Environmental and geomorphological hazards assessment and their role on road transport (case study: Col Almass) (Persian)]. *Journal of Geography and Planning*, 16(42), 23-44. [\[Link\]](#)
- Arora, A., Arabameri, A., Pandey, M., Siddiqui, M. A., Shukla, U. K., & Bui, D. T., et al. (2021). Optimization of state-of-the-art fuzzy-metaheuristic ANFIS-based machine learning models for flood susceptibility prediction mapping in the Middle Ganga Plain, India. *The Science of The Total Environment*, 750, 141565. [\[DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.141565\]](#) [\[PMID\]](#)
- Baldassarre, G.D., Guy, S., & Paul, D.B. (2009). A technique for the calibration of hydrolic models using uncertain satellite observation of flood extent. *Journal of Hydrology*, 367(3-4), 276-282. [\[DOI:10.1016/j.jhydrol.2009.01.020\]](#)
- Boithias, L., Acuña, V., Vergoñós, L., Ziv, G., Marcé, R., & Sabater, S. (2014). Assessment of the water supply:demand ratios in a Mediterranean basin under different global change scenarios and mitigation alternatives. *The Science of The Total Environment*, 470-471, 567-577. [\[DOI:10.1016/j.scitotenv.2013.10.003\]](#) [\[PMID\]](#)
- Chen, W., Li, Y., Xue, W., Shahabi, H., Li, S., & Hong, H., et al. (2020). Modeling flood susceptibility using data-driven approaches of naïve Bayes tree, alternating decision tree, and random forest methods. *The Science of The Total Environment*, 701, 134979. [\[DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.134979\]](#) [\[PMID\]](#)
- Chezgi, J., & Poyan, S. (2024). [Determining Flood-Prone Areas Using Machine Learning Models in the Shahrestank Watershed Area of Khosf City (Persian)]. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 17 (63), 4. [\[Link\]](#)
- Darabi, F., Nikroosh, M., & Hosseinzadeh, B. (2016). [Flood hazard assessment in northern regions using frequency ratio method (Persian)]. *Journal of Natural Sciences Research*, 3(1), 38-49.
- Das, S. (2020). Flood susceptibility mapping of the Western Ghat Coastal Belt using multisource geospatial data and analytical hierarchy process (AHP). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20(4), 100379 [\[DOI:10.1016/j.rsase.2020.100379\]](#)
- Deng, X., & Xu, Y. (2018). Degrading flood regulation function of river systems in the urbanization process. *The Science of The Total Environment*, 622-623, 1379-1390. [\[DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.12.088\]](#) [\[PMID\]](#)
- Ebrahimi, L. (2020). [Preparation of flood hazards management map using a new random forest algorithm (Case study: Lavasanat watershed) (Case study: Lavasanat watershed) (Persian)]. *Environmental Management Hazards*, 7(2), 181-196. [\[DOI:10.22059/jh-sci.2020.307476.584\]](#)
- Ekmekcioglu, O. Koc, K., & Ozger, M. (2021). Stakeholder perceptions in flood risk assessment: A hybrid fuzzy AHP-TOPSIS approach for Istanbul, Turkey. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 60, 102327. [\[DOI:10.1016/j.ijdrr.2021.102327\]](#)
- Entazari, B., Kazemi, H., & Ramzani, A. (2019). [Statistical and fuzzy modeling of flood occurrence: Case study of the Shemiran watershed (Persian)]. *Iranian Journal of Water Resources Engineering*, 12(1), 101-115.
- Farajzade, M. (2012). [Flood risk assessment in sub-basins of West Azerbaijan province (Persian)]. *Quantitative Geomorphological Research*, 1, 59-68. [\[Link\]](#)
- Farajzadeh, M., Maleki, R., & Fattahi, N. (2018). [Evaluating flood risk in river-adjacent zones based on geomorphological parameters (Persian)]. *Iranian Hydrology Research*, 7(4), 77-89.
- Ghanavati, E. (2014). [FLOOD risk zonation for karaj city using fuzzy logic (Persian)]. *Geography and Environmental Hazards*, 2(8), 113-132. [\[Link\]](#)
- Hagen, E., Shroder Jr, J. F., Lu, X. X., & Teufert, J. F. (2010). Reverse engineered flood hazard mapping in Afghanistan: A parsimonious flood map model for developing countries. *Quaternary International*, 226(1-2), 82-91. [\[DOI:10.1016/j.quaint.2009.11.021\]](#)
- Hong, H., Tsangaratos, P., Ilia, I., Liu, J., Zhu, A. X., & Chen, W. (2018). Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China. *Science of The Total Environment*, 625, 575-588. [\[DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.12.256\]](#) [\[PMID\]](#)
- Hsieh, L. S., Hsu, M. H., & Li, M. H. (2006). An assessment of structural measures for floodprone lowlands with high population density along the Keelung River in Taiwan. *Natural Hazards*, 37(10), 133-152. [\[DOI:10.1007/s11069-005-4660-1\]](#)
- Jiang, F., Tian, J., Aihemaiti, N., & Zeng, J. (2023). Assessment of the supply-demand relationship of plain urban eco-hydrological regulation service in response to rainstorm-flood disaster: A case study of Tianjin City. *Acta Ecologica Sinica*. 43(12), 4928-4942. [\[DOI:10.5846/stxb202204301201\]](#)
- Kalantar, B., Ueda, N., Saeidi, V., Janizadeh, S., Shabani, F., Ahmadi, K., & Shabani, F. (2021). Deep neural network utilizing remote sensing datasets for flood hazard susceptibility mapping in Brisbane, Australia. *Remote Sensing*, 13(13), 2638. [\[DOI:10.3390/rs13132638\]](#)
- Karimi Sangchini, S., Dehghani, M., & Samaei, A. (2023). [Fuzzy logic application in flood risk assessment in urban areas (Persian)]. *Disaster Studies Quarterly*, 8(2), 45-60.
- Li, J., Fang, Z., Zhang, J., Huang, Q., & He, C., (2022). Mapping basin-scale supply-demand dynamics of flood regulation service- A case study in the baiyangdian Lake Basin, China. *Ecological Indicators*, 139; 108902. [\[DOI:10.1016/j.ecolind.2022.108902\]](#)
- Najafi, E. and Karimi Kerdabadi, M. (2020). [Flood risk evaluation and zoning using with AHP-Fuzzy Combined Model with emphasis on urban safety (case study: Region 1 of Tehran Municipality) (Persian)]. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(2), 43-60. [\[DOI:10.22067/geo.v9i2.86110\]](#)
- Nourali, D., Moradi, A., & Salehi, Y. (2017). [Extent of flood-prone zones in the Zayandeh-Rud basin using GIS (Persian)]. *Journal of Geological Sciences*, 10(2), 55-70.
- Quesada-Román, A., Castillo, C., & Martínez, J. (2022). Socioeconomic disparities and environmental challenges in landslide and flood risks in developing countries. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 65, 102547.

- Rindsfuser, N., Mosimann, M., Keiler, M., & Zischg, A. P. (2025). Flood risk monitoring in Switzerland: Proof of concept. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 119, 105337. [DOI:10.1016/j.ijdr.2025.105337]
- Sabzevar, A. (2008). [Comparison of fuzzy logic model with other GIS-compatible conceptual models in locating flood-prone areas using ETM sensor satellite data (Persian)]. Proceedings of the Geomatics Conference, Tehran, Iran, 11 May 2008. [Link]
- Salimi, M. (2011). [Analysis of water quality parameters of Anzali Marsh using fuzzy mathematical method (Persian)] [MA thesis]. Tehran: Tarbiat Moallem University.
- Sinnakaudan, S. K., Ab Ghani, A., Ahmad, M. S. S., & Zakaria, N. A. (2003). Flood risk mapping for Pari River incorporating sediment transport. *Environmental Modelling & Software*, 18(2), 119-130. [DOI:10.1016/S1364-8152(02)00068-3]
- Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettner, A. J., Doyle, C. S., & Brakenridge, G. R., et al. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596, 80-86. [Link]
- Tian, J., Zeng, S., Zeng, J., & Jiang, F. (2022). Assessment of Supply and Demand of Regional Flood Regulation Ecosystem Services and Zoning Management in Response to Flood Disasters: A Case Study of Fujian Delta. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 589. [DOI:10.3390/ijerph20010589] [PMID]
- Wang, Q. W., Zeng, J., Xin, R. H., & Liang, C. (2021). Effect of urbanization on the rainstorm and flood disaster risk: A case study of Min Delta. *Journal of Natural Disasters*, 30, 72-84. [Link]
- Wolski, P., Savenije, H. H. G., Murray-Hudson, M., & Gumbricht, T. (2006). Modelling of the flooding in the Okavango Delta, Botswana, using a hybrid reservoir-GIS model. *Journal of Hydrology*, 331(1-2), 58-72. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2006.04.040]
- Zhou, L., & Liu, L. (2024). Enhancing dynamic flood risk assessment and zoning using a coupled hydrological-hydrodynamic model and spatiotemporal information weighting method. *Journal of Environmental Management*, 366, 121831. [DOI:10.1016/j.jenvman.2024.121831] [PMID]