



University of Tehran Press

Environmental

Hazards

Management



Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

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

Site Selection Assessment of Azar Abadeghan Khoy Cement Factory in terms of Flood Hazards Using MEREC Model

Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam^{1*} | Tohid Rahimpour²

1. Corresponding Author, Professor of Geomorphology, University of Tabriz and Iranian Hazardology Association, Iran.
Email: Rezmogh@tabrizu.ac.ir

2. Postdoctoral Researcher, University of Tabriz, Iran. Email: rahimpour1990@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received: 08 July 2025

Revised: 16 August 2025

Accepted: 01 September 2025

Published: 22 September 2025

Keywords:

Flood,
GIS,
MEREC,
Azar Abadeghan Cement Factory.

ABSTRACT

Due to its geographical location at the outlet of an upstream basin and the presence of an extensive network of primary and secondary waterways, the Azar Abadeghan Cement Factory in Khoy is constantly at risk of destructive flooding. The primary objective of this study is to assess the placement of this factory in relation to flood hazard and to propose appropriate strategies for mitigating potential damages. To gain a comprehensive understanding of the flood hazard, a detailed flood hazard map of the study area was developed. In this research, a multi-criteria decision-making (MCDM) model, combined with Geographic Information System (GIS) capabilities, was employed to create a flood hazard zoning map and identify vulnerable areas. The criteria used in this study included elevation, slope, aspect, precipitation, distance to the river, drainage density, vegetation index, land use, lithology, soil hydrological groups, topographic wetness index, sediment transport index, and stream power index. The MEREC method was employed to determine the weights of the criteria. The weighting results revealed that the slope factor, with a weight of 0.137, had the greatest influence on flood occurrence in the region. Following that, lithology (with a weight of 0.131) and precipitation (with a weight of 0.118) ranked second and third, respectively. Based on the analysis of hazard zone areas in the final map, over 16% of the region's area (equivalent to 124 hectares) falls within the high and very high-hazard classes. According to the findings of this study, appropriate preventive and management measures should be implemented to reduce flood hazard around the factory, in order to prevent potential flood-related damages in the future.

Cite this article: Rezaei Moghaddam, M. H. & Rahimpour, T. (2025). Site Selection Assessment of Azar Abadeghan Khoy Cement Factory in terms of Flood Hazards Using MEREC Model. *Environmental Hazards Management*, 12 (2), 135-152. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.398196.886>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.398196.886>

1. Introduction

Floods are among the most significant and frequent natural disasters in Iran, causing considerable damage annually (Rezaei Moghaddam and Rahimpour, 2024). Industrial towns, cement and steel factories are key hubs of economic development in the country. To ensure the sustainable development of these areas, it is essential to evaluate their site selection and assess their vulnerability to environmental hazards, particularly floods. The Azar Abadeghan Khoy Cement Factory is one of the most important companies in Khoy County and West Azerbaijan Province, playing a significant role in the region's sustainable development. However, the occurrence of numerous minor and major floods in the factory's vicinity underscores the critical need for enhanced flood hazard management in this area. Implementing such measures is vital to preventing economic losses and safeguarding this industrial complex from flood-related damages. The primary objective of this study is to assess the

placement of this factory in relation to flood hazard and to propose appropriate strategies for mitigating potential damages.

2. Materials and methods

Khoy Cement Plant was established in 2004, 16 kilometers from the city of Khoy (at the 16th kilometer of the Khoy-Tabriz road). In terms of site selection, the plant is located at the outlet of its upstream basin. This has led to an annual threat of destructive floods with the onset of spring and spring rainfalls.

The criteria used in this study included elevation, slope, aspect, precipitation, distance to the river, drainage density, vegetation index, land use, lithology, soil hydrological groups, topographic wetness index, sediment transport index, and stream power index. The MEREC method was employed to determine the weights of the criteria. The MEREC method (Method based on the Removal Effects of Criteria) is one of the latest approaches in multi-criteria decision-making (MCDM) analysis. This method was introduced by Keshavarz-Ghorabae et al. in 2021. The MEREC method is used to determine the weights of criteria. The calculation of criteria weights using this method is carried out in six steps.

3. Discussion and Results

This study aims to develop a comprehensive model for mapping flood susceptibility by identifying and weighting key parameters influencing surface runoff formation. Based on systematic analyses, four primary factors—precipitation, slope, lithology, and distance to the river—were determined as the most influential variables in flood occurrence and were assigned the highest weights in the modeling. Other parameters were also weighted, considering their mitigating role in the region's flood susceptibility process. This integrated approach significantly enhances the predictive accuracy of flood-prone areas and can serve as an effective tool for natural disaster risk management.

The analysis of hazard zone areas in the final map indicates that over 16% of the region's area (124 hectares) falls within the high and very high-hazard classes. In contrast, 571 hectares (74.3%) of the area are classified as having low or very low flood hazard. These zones include mountainous areas, steep slopes, and rugged terrain, which are prone to the formation of surface runoff.

4. Conclusion

The Azar Abadeghan Khoy Cement Factory is situated in a highly sensitive geomorphological location, as it lies at the outlet of a basin. This position is inherently prone to runoff accumulation and flood hazards, as all surface and subsurface flows within the basin converge toward this point. In such areas, even moderate-intensity rainfall can trigger sudden flash floods. The cement factory is adjacent to a network of numerous drainage channels, highlighting the critical role of the natural drainage system in directing runoff toward this location. These channels may typically appear dry or carry minimal water, but during heavy rainfall or rapid snowmelt, they quickly become primary pathways for transporting large volumes of water. Since the factory is located downstream of these channels, it is naturally exposed to water accumulation and sediment deposition carried by the flow. The study area features steep topography with significant elevation changes over short distances. This characteristic has two major consequences: a) Increased flow velocity: The steep slope causes runoff to move downstream with greater energy. b) Enhanced erosion and sediment transport capacity: Faster flows can carry more material (including sediments, gravel, and even larger debris), increasing the risk of damage to the factory's infrastructure. In the event of heavy rainfall, these conditions can lead to flash floods that rapidly threaten the facility. In general, it can be stated that the construction of large industrial facilities, such as cement factories, downstream of basins without thorough geomorphological assessments can heighten risks and lead to adverse consequences. Given the unique characteristics of the upstream basin (including steep slopes, significant elevation differences, and intense, concentrated rainfall), the design of flood control systems for the Khoy Cement Factory should be based on an integrated approach (combining structural and non-structural measures).

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study. The authors of the article would like to express their special gratitude to the board of directors of Azarabadgan Khoy Cement Factory for providing the research funding. They also appreciate the Technology Management of the University of Tabriz and the Research Affairs Management of the University of Tabriz for creating the opportunity to benefit from the Industry Relations and Postdoctoral Law.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

The study was funded by the University of Tabriz and Azar Abadeghan Khoy Cement Factory, Country Iran, and Grant No. 1137.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. (2021). Determination of ObjectiveWeights Using a New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MERECE), *Symmetry*, 13(525): 1-20.
- Rezaei Moghaddam, M. H., Rahimpour, T. (2024). Preparation of flood hazard potential map using two methods: Frequency Ratio and Statistical Index (Case study: Aji Chai Basin). *Environmental Management Hazards*, 10(4), 291-308. doi: 10.22059/jhsci.2024.369163.803



شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۴۱۶۸

مدیریت مخاطرات محیطی

سایت نشریه: <https://jhsci.ut.ac.ir>



انتشارات دانشگاه تهران

ارزیابی مکان‌گزینی کارخانه سیمان آذرآبادگان خوی از نظر مخاطرات سیلاب با استفاده از مدل MEREC

محمدحسین رضائی مقدم^{۱*} | توحید رحیم‌پور^۲

۱. نویسنده مسئول، استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز و انجمن مخاطره‌شناسی ایران. رایانامه: Rezmogh@tabrizu.ac.ir

۲. پژوهشگر پسادکتری، دانشگاه تبریز. رایانامه: rahimpour1990@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ‌های مقاله: تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱ کلیدواژه: سیستم اطلاعات جغرافیایی، سیلاب، کارخانه سیمان آذرآبادگان، MEREC.	کارخانه سیمان آذرآبادگان در شهرستان خوی، به دلیل موقعیت جغرافیایی خود در خروجی حوضه آبریز بالادست و وجود شبکه گسترده‌ای از آبراهه‌های اصلی و فرعی، همواره در معرض تهدید سیلاب‌های مخرب قرار دارد. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی مکان‌گزینی این کارخانه در برابر خطر سیل و ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش خسارات احتمالی است. برای دستیابی به درک جامعی از این مخاطره، نقشه‌ای از مناطق پرخطر سیل در محدوده تحت بررسی تهیه شد. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر، از معیارهای مؤثر در وقوع سیل و مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به همراه توانایی‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد. معیارهای استفاده‌شده در این پژوهش شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، بارش، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی، لیتولوژی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص حمل رسوب و شاخص قدرت آبراهه بودند. برای تعیین وزن معیارها از روش MEREC استفاده شد. نتایج وزن‌دهی نشان داد که عامل شیب با وزن ۰/۱۳۷ بیشترین تأثیر را در وقوع سیلاب‌های منطقه دارد. پس از آن، لیتولوژی (با وزن ۰/۱۳۱) و بارش (با وزن ۰/۱۱۸) به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. براساس تحلیل مساحت پهنه‌های خطر در نقشه نهایی، بیش از ۱۶ درصد از مساحت منطقه (۱۲۴ هکتار) در طبقات خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. براساس یافته‌های این تحقیق، باید اقدامات پیشگیرانه و مدیریتی مناسب برای کاهش خطر سیل در اطراف کارخانه انجام گیرد تا از خسارات ناشی از سیلاب‌های احتمالی در آینده جلوگیری شود.

استناد: رضائی‌مقدم، محمدحسین و رحیم‌پور، توحید. (۱۴۰۴). ارزیابی مکان‌گزینی کارخانه سیمان آذرآبادگان خوی از نظر مخاطرات سیلاب با استفاده از مدل MEREC. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۲ (۲)، ۱۳۵-۱۵۲.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.398196.886>

© نویسندگان
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.398196.886>



مقدمه

سیلاب‌ها از مهم‌ترین و شایع‌ترین بلایای طبیعی در ایران به شمار می‌روند که هرساله خسارات سنگینی به بار می‌آورند (رضائی مقدم و رحیم‌پور، ۱۴۰۲). در چند دهه گذشته، تغییرات آب‌وهوایی موجب شده است که هم تعداد و هم شدت سیلاب‌ها به‌طور چشمگیری افزایش یابد (گاش، ساها و برا، ۲۰۲۲). از طرف دیگر نادیده گرفتن حریم رودخانه‌ها و دست‌اندازی به این مناطق همراه با توسعه ساخت‌وساز، روند فراوانی وقوع سیل و در نتیجه خسارت‌های ناشی از آن را بیشتر کرده است. نابرابری‌های فضایی مناطق در معرض سیل، مشکلات ارزیابی‌های دقیق را افزایش داده است (استفانیدز، الکساندریدز و تئودوریدو، ۲۰۲۲). با گسترش شهرنشینی و تمرکز جمعیت در حاشیه رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی، ارزیابی و پیش‌بینی سیلاب‌ها در سال‌های اخیر بیش از گذشته مورد توجه قرار گرفته است (دیاکاکیس، ماورولیس و دلیگیاکاکیس، ۲۰۱۲). تفاوت در ویژگی‌های جمعیتی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی یک جامعه می‌تواند بر اثرهای سیل و توانایی جوامع در بازسازی پس از وقوع یک مخاطره تأثیر بگذارد (بورتون و کاتر، ۲۰۰۸). آسیب‌پذیری سیل از نظر مکانی در بین ملت‌ها، مناطق، جوامع و افراد متغیر است (سم و همکاران، ۲۰۱۷). پیش‌بینی مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب می‌تواند به کاهش تلفات انسانی و خسارت‌های مالی ناشی از این بلایای طبیعی کمک کند (داس، ۲۰۱۹). در حال حاضر، باید برنامه‌ها و سیاست‌های توسعه در ایران براساس اتخاذ روش‌های کاهش خسارت در برابر مخاطرات باشد (مقیمی، ۱۴۰۳). ارزیابی آسیب‌پذیری گامی اساسی برای کاهش پیامدهای مخاطرات محیطی است. بنابراین شناسایی آسیب‌پذیرترین بخش‌ها برای توسعه پایدار یک منطقه بسیار ضروری است.

پژوهش‌های خوبی درباره موضوع تحقیق در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. اسماعیلی علویجه و همکاران (۱۳۹۹)، آسیب‌پذیری منطقه ۲۲ تهران را در برابر سیل ارزیابی کردند. در این تحقیق از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و منطق فازی برای وزن‌دهی معیارها استفاده شد. معیارهای استفاده‌شده عبارت بودند از: شیب، خاک، فاصله از رود، زمین‌شناسی، ارتفاع، کاربری اراضی و جمعیت. نقشه نهایی آسیب‌پذیری براساس عملگر گاما ۰/۷ تهیه شد. نتایج تحقیق نشان داد که در قسمت شمال شرقی منطقه احتمال آسیب‌پذیری زیاد است. سروانی و همکاران (۱۴۰۰)، در پژوهشی آسیب‌پذیری خانوارها در مواجهه با خطر سیلاب در نواحی روستایی را ارزیابی کردند. منطقه پژوهش، بیست روستای شهرستان‌های آق‌قلا و گمیشان بود. نتایج نشان داد که در هر دو شهرستان، دو مؤلفه در معرض بودن و حساسیت که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بیشتر به سیل هستند از مقدار میانگین بیشترند. نتایج مقایسه مؤلفه‌های آسیب‌پذیری و همچنین شاخص آسیب‌پذیری کل در بین روستاهای دو شهرستان آق‌قلا و گمیشان نشان داد که روستاهای شهرستان آق‌قلا هم بیشتر در معرض سیل هستند و هم آسیب‌پذیری زیادی از وقوع سیل دارند. با توجه به موقعیت جغرافیایی روستاهای آق‌قلا که سیلاب از بالادست زودتر به آنها می‌رسد، این نتیجه منطقی به نظر می‌رسد. سنایی فرد و همکاران (۱۴۰۲)، میزان خطرپذیری سیلاب و ارزیابی خسارات وارد به شهر سبزوار را ارزیابی کردند. در این تحقیق از ماشین بردار پشتیبان برای مدل‌سازی سیلاب استفاده شد. معیارهای استفاده‌شده در این تحقیق عبارت بودند از: کاربری اراضی، تراکم جمعیت، مسیل‌ها، تراکم مسکونی، طبقات شیب، ضریب رواناب، تراکم جمعیت، ضریب CN، فضای باز و قدمت ابنیه. نتایج تحقیق نشان داد که سیل‌بندهای ضلع شمال شهر بر مسیل‌های موجود در شهر سبزوار منطبق نیستند. رضائی مقدم و رحیم‌پور (۱۴۰۳)، در پژوهشی به ارزیابی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز آجی‌چای پرداختند. در این تحقیق از روش آماری وزن شواهد استفاده شد. همچنین از ۲۷۴ نقطه سیلابی، ۷۰ درصد برای آموزش مدل و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی استفاده شد. نتایج نشان داد که بیش از ۳۰ درصد مساحت حوضه در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد؛ به‌ویژه کلانشهر تبریز که در مسیر رودخانه‌های آجی‌چای و مهران‌رود واقع شده و در معرض خطر زیاد است. رحیمی و نسترن (۱۴۰۴) در پژوهشی برای تحلیل آسیب‌پذیری سیلاب و زیرساخت‌های شهری، از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (AHP Fuzzy) و دوازده معیار (بافت فرسوده، تراکم جمعیت، شبکه معابر، کاربری، ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، خاک‌شناسی، فرونشست زمین و مقدار بارندگی) استفاده کردند. منطقه پژوهش شهر خرم‌آباد بود. داده‌ها توسط کارشناسان امتیازدهی و در نرم‌افزار Expert Choice وزن‌دهی شدند. نتایج نشان داد که ۱۷/۳۸ درصد از زیرساخت‌های روبنایی شهر در معرض آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد سیل هستند. کاربری‌های اداری و

تجاری بیشترین آسیب‌پذیری و کاربری‌های فرهنگی و مذهبی کمترین آسیب‌پذیری را داشتند. پنگالی شارما و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به بررسی آسیب‌پذیری خانوارهای قوم تارو در برابر سیل پرداختند و داده‌ها را از راه نظرسنجی‌های خانگی، بحث‌های گروهی و مصاحبه با افراد مهم در روستای تاپاپور جمع‌آوری کردند. تحلیل داده‌ها براساس مدل‌های فشار و رهایی و دسترسی نشان می‌دهد که تاروها به‌عنوان ساکنان اصلی منطقه، ترجیح می‌دهند در اجتماع خود زندگی کنند. استفاده از تلفن همراه موجب کاهش تلفات انسانی می‌شود، اما خسارات کشاورزی همچنان زیاد است. اقبال‌شاه و داس‌پن (۲۰۲۴) در پژوهشی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) شامل VIKOR، TOPSIS و EDAS، به شناسایی مناطق پرخطر پرداختند. در این پژوهش ۱۷ عامل مؤثر بررسی شد که آزمون چندخطی بودن، نبود همبستگی بین آنها را تأیید کرد. نتایج نشان داد مناطق مجاور رودخانه جهم، به‌ویژه شهر سری‌نگر، در طبقه خطر بسیار زیاد قرار دارند. مدل‌های VIKOR، TOPSIS و EDAS به‌ترتیب ۴/۲۷، ۹/۶۷ و ۵/۳۹ درصد از منطقه را بسیار مستعد سیلاب ارزیابی کردند. ارزیابی عملکرد مدل‌ها با شاخص AUC-ROC، دقت زیاد آنها را تأیید کرد، به‌طوری که VIKOR بهترین عملکرد را داشت.

شهرک‌های صنعتی، کارخانه‌های سیمان و فولاد کانون‌های مهم توسعه اقتصادی در کشور به شمار می‌روند. به‌منظور حفظ توسعه پایدار این مناطق، بررسی مکان‌گزینی و ارزیابی آسیب‌پذیری این مناطق در برابر مخاطرات محیطی به‌ویژه سیل ضروری به نظر می‌رسد. کارخانه سیمان آذر آبادگان خوی یکی از شرکت‌های مهم در سطح شهرستان خوی و استان آذربایجان غربی است که نقش مهمی در روند توسعه پایدار شهرستان دارد. وقوع سیلاب‌های کوچک و بزرگ متعدد در محدوده این کارخانه، لزوم توجه بیشتر به مدیریت خطر سیل در محدوده این کارخانه را به‌منظور جلوگیری از خسارات اقتصادی سیل به این مجموعه صنعتی بیش از پیش ضروری می‌نماید.

روش تحقیق

منطقه پژوهش

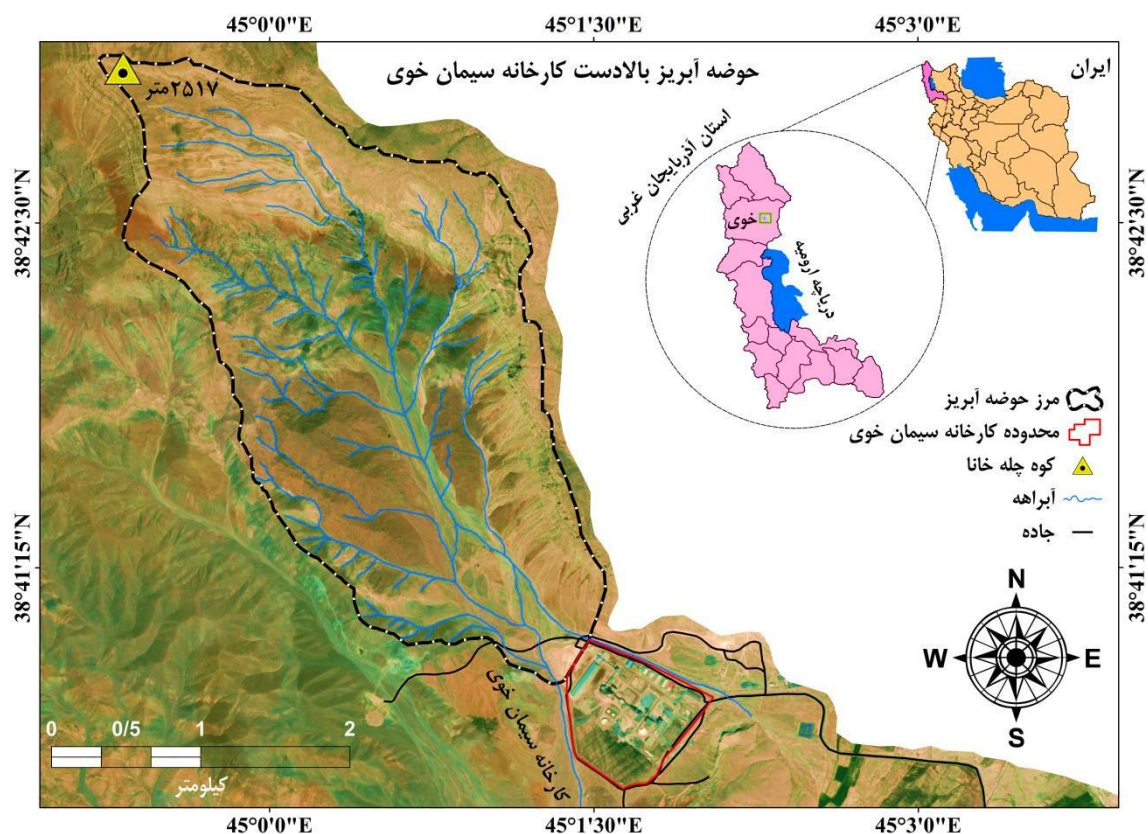
کارخانه سیمان خوی در سال ۱۳۸۳ و در ۱۶ کیلومتری شهر خوی (کیلومتر ۱۶ جاده خوی- تبریز) تأسیس شد. این کارخانه از نظر مکان‌گزینی در خروجی حوضه آبریز بالادست خود قرار گرفته است (شکل ۱). همین مسئله سبب شده است که همه‌ساله با شروع فصل بهار و آغاز بارش‌های بهاری موسوم به نیسان، وقوع سیلاب‌های مخرب تهدیدی برای این کارخانه باشد. این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی بین $38^{\circ} 40' 48''$ تا $38^{\circ} 43' 06''$ عرض شمالی و $44^{\circ} 59' 20''$ تا $45^{\circ} 01' 13''$ طول شرقی قرار گرفته و مساحت آن بالغ بر ۷۶۸ هکتار است. این حوضه آبریز دارای تغییرات ارتفاعی زیادی است، به‌طوری که ارتفاع از ۱۱۷۸ متر در خروجی حوضه تا ۲۵۱۷ متر در قله کوه چله‌خانا متغیر است. کارخانه سیمان خوی نیز در نزدیکی خروجی حوضه و در ارتفاع ۱۱۴۵ متر از سطح دریا واقع شده است. اختلاف ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متری بین محل کارخانه و بلندترین نقطه حوضه در فاصله‌ای به‌نسبت کم، سبب تشکیل شیب‌های تند و دامنه‌های پرشیب در منطقه شده است. این شرایط، همراه با نفوذپذیری کم خاک، سبب می‌شود که در زمان بارندگی‌ها، رواناب سطحی به‌سرعت تشکیل شود و در نتیجه، احتمال وقوع سیل در پایین‌دست حوضه و محدوده کارخانه به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد.

روش MEREC

روش MEREC^۱ یا محاسبه وزن مبتنی بر اثرهای حذف معیارها از جدیدترین روش‌های تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. این روش توسط کشاورز قربایی و همکاران در سال ۲۰۲۱ ارائه شد. روش MEREC به‌منظور تعیین وزن معیارها استفاده می‌شود. محاسبه وزن معیارها با این روش در شش مرحله انجام می‌گیرد که توضیح هر مرحله به‌شرح زیر است:

گام اول: ایجاد ماتریس تصمیم. ماتریس تصمیمی که در این روش تشکیل می‌شود به‌صورت معیار - گزینه است. به این صورت که ستون‌های ماتریس را معیارها و سطرها را گزینه‌ها شامل می‌شوند.

1. MEthod based on the Removal Effects of Criteria



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{im} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nj} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه ۱، m تعداد معیارهای تحقیق و n تعداد گزینه‌هاست.

گام دوم: نرمال‌سازی ماتریس تصمیم (N). در این روش برای نرمالیزه کردن معیارهای مثبت و منفی از رابطه زیر استفاده می‌شود.

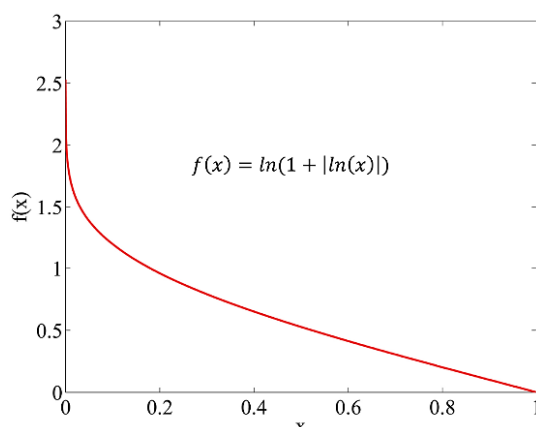
$$n_{ij}^x = \frac{\min_k x_{kj}}{x_{ij}} \quad \text{رابطه (۲) برای معیارهای مثبت}$$

$$n_{ij}^x = \frac{x_{ij}}{\max_k x_{kj}} \quad \text{رابطه (۳) برای معیارهای منفی}$$

گام سوم: تعیین عملکرد کلی گزینه‌ها (S_i). برای تعیین عملکرد کلی گزینه‌ها از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$S_i = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_j |\ln(n_{ij}^x)| \right) \right) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه m تعداد معیارهای تحقیق و n_{ij}^x مقادیر ماتریس نرمال‌شده است. طبق نظر کشاورز قرابایی و همکاران (۲۰۲۱) عملکرد کلی گزینه‌ها از تابع زیر پیروی می‌کند (شکل ۲).



شکل ۲. تحلیل تطبیقی وزن‌ها در مدل MEREC

این تابع نشان می‌دهد که هرچه مقادیر ماتریس نرمال شده کوچک‌تر باشد، عملکرد گزینه آن بیشتر خواهد بود.
گام چهارم: تعیین عملکرد گزینه‌ها با حذف هر معیار (S_{ij}) . برای اجرای این مرحله از رابطه زیر استفاده می‌شود.

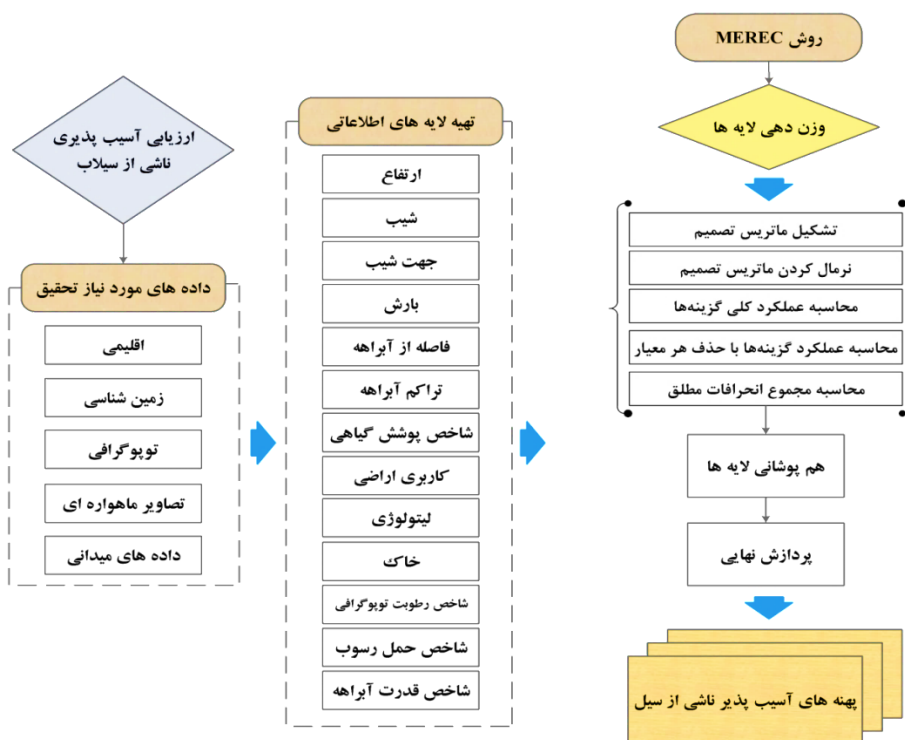
$$S'_{ij} = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{m} \sum_{k, k \neq j} |\ln(n_{ik}^x)| \right) \right) \quad (\text{رابطه ۵})$$

این رابطه مشابه رابطه ۴ است، با این تفاوت که عملکرد گزینه‌ها براساس حذف هر معیار به‌طور جداگانه محاسبه می‌شود.
گام پنجم: محاسبه مجموع انحرافات مطلق (E_j) . از رابطه زیر می‌توان مجموع انحرافات مطلق را محاسبه کرد.

$$E_j = \sum_i |S'_{ij} - S_i| \quad (\text{رابطه ۶})$$

گام ششم: محاسبه وزن نهایی معیارها (w_j) . وزن هر یک از معیارها با استفاده از مقادیر اثرهای حذف (E_j) در گام قبل به دست می‌آید.

$$w_j = \frac{E_j}{\sum_k E_k} \quad (\text{رابطه ۷})$$



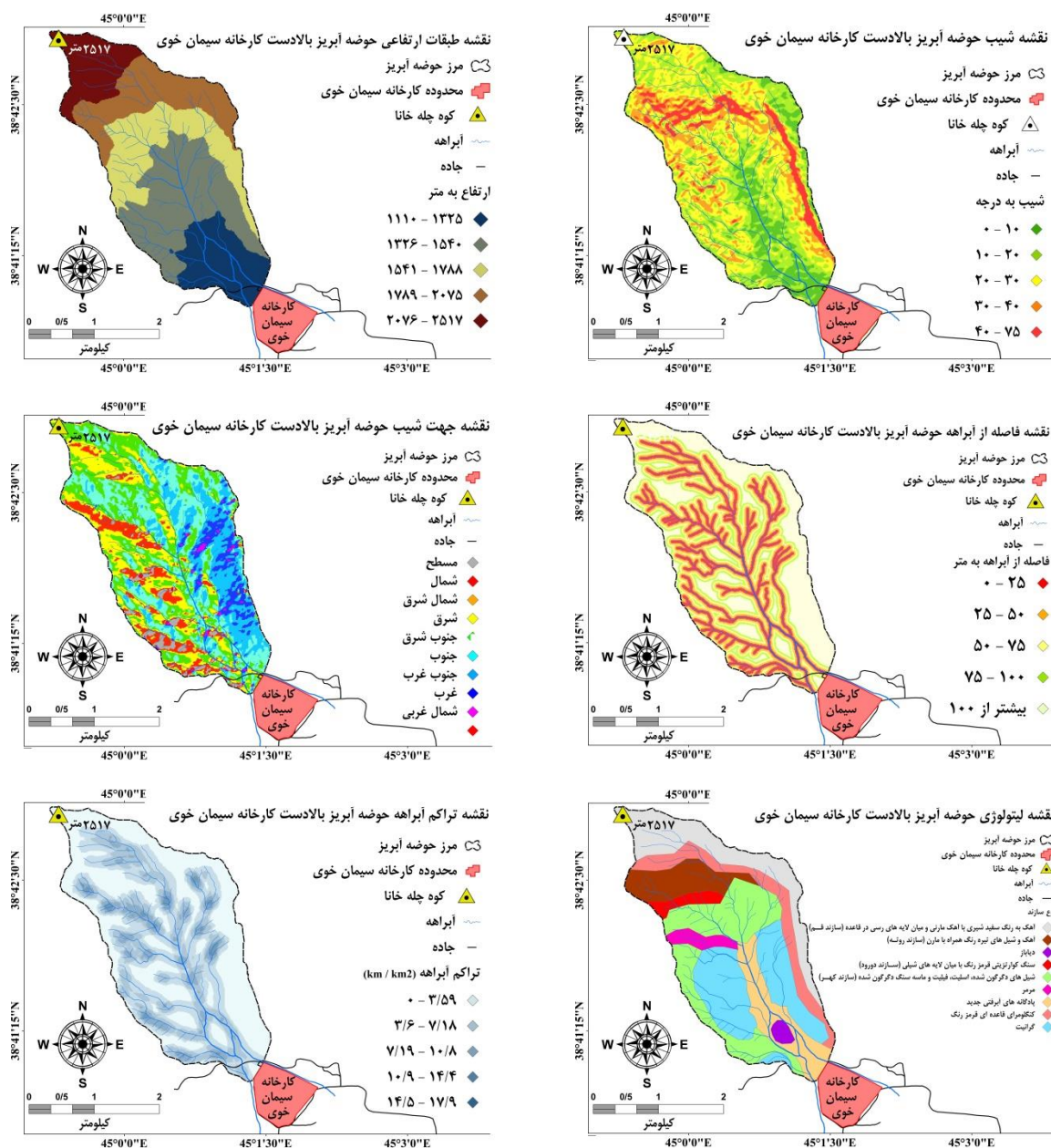
شکل ۳. مراحل اجرای روش MEREC

تهیه لایه‌های اطلاعاتی

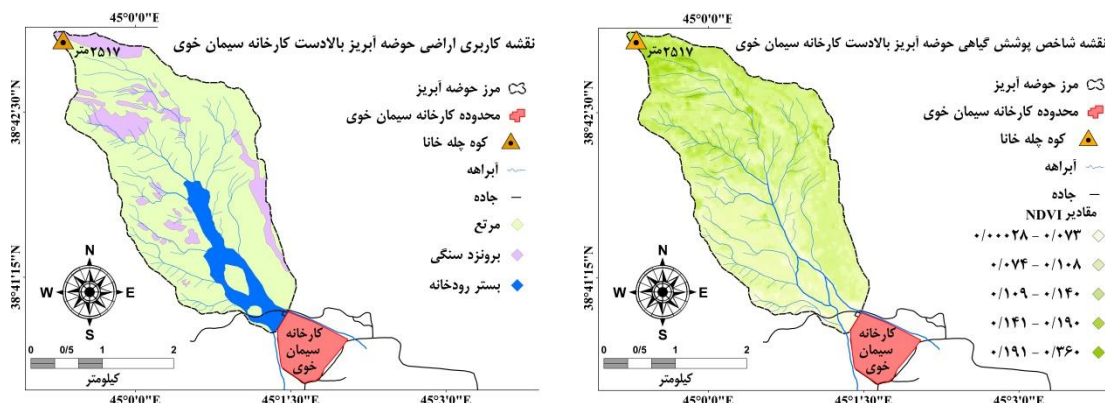
در این تحقیق با مرور پژوهش‌های پیشین و با توجه به دسترسی به داده‌های لازم، سیزده پارامتر تأثیرگذار در وقوع سیل برای تهیه نقشه پتانسیل خطر سیلاب در حوضه آبریز بالادست کارخانه سیمان آذربادگان خوی انتخاب شد. با افزایش ارتفاع، احتمال وقوع سیل کاهش می‌یابد و بین این دو عامل رابطه معکوس برقرار است. برای ایجاد نقشه طبقات ارتفاعی منطقه، شیب و جهت شیب از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با دقت مکانی ۱۲/۵ متر استفاده شد. نقشه توزیع مکانی بارش منطقه براساس داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی موجود در منطقه و با استفاده از روش درون‌یابی IDW در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. نقشه فاصله از آبراهه با به‌کارگیری ابزار فاصله اقلیدسی و در پنج طبقه مختلف ایجاد شد. در این پژوهش، فاصله از رودخانه‌ها براساس متر محاسبه شد. برای استخراج شبکه زهکشی منطقه، از لایه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استفاده شد. نقشه تراکم زهکشی منطقه با به‌کارگیری ابزار تراکم خطی و در پنج طبقه مختلف در محیط نرم‌افزار ArcGIS ایجاد شد. برای ایجاد نقشه شاخص پوشش گیاهی منطقه، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ متعلق به سال ۲۰۲۴ (۱۶ خرداد ۱۴۰۳) استفاده شد. نقشه کاربری اراضی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ که دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و مربوط به سال ۲۰۲۲ است تهیه شد. نقشه لیتولوژی منطقه با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ (شامل برگه‌های خوی و قره‌ضیاءالدین) که از سازمان زمین‌شناسی کشور استخراج شدند تهیه شد. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه با استفاده از داده‌های جهانی گروه‌های هیدرولوژیک خاک از وب‌سایت ناسا، نقشه‌های زمین‌شناسی و همچنین لایه کاربری اراضی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. نقشه گروه‌های خاک منطقه در سه گروه B، C و D تهیه شد. گروه B شامل سطوح هموار در امتداد بستر رودخانه اصلی است که با رسوبات آبرفتی کواترنری پوشیده شده‌اند. گروه C اغلب، تپه‌ها و مناطق کوهستانی را در بر می‌گیرد که توانایی به‌نسبت زیادی برای ایجاد رواناب دارند. گروه D که بیشترین توانایی تولید رواناب را دارد، مناطق با برونزدهای سنگی و همچنین ارتفاعات بسیار بلند کوهستان چله‌خانه را شامل می‌شود. محدوده کارخانه سیمان نیز به‌دلیل تغییر کاربری و کاهش ظرفیت نفوذپذیری خاک، در گروه D طبقه‌بندی شده است.

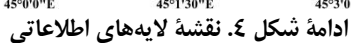
وزن‌دهی معیارها با روش MEREC

مرحله اول این مدل، ایجاد ماتریس تصمیم است که در آن معیارها در ستون‌ها و گزینه‌های تحقیق در سطرها نمایش داده می‌شوند. ارزش‌گذاری معیارها نسبت به گزینه‌ها با استفاده از مقیاس ۹ سطحی ساعتی انجام گرفته است. این پژوهش با هدف توسعه یک مدل جامع برای تهیه نقشه پتانسیل وقوع سیلاب، بر شناسایی و وزن‌دهی پارامترهای مهم مؤثر در تشکیل رواناب سطحی متمرکز شده است. براساس تحلیل‌های نظام‌مند، چهار عامل اصلی بارش، شیب، لیتولوژی و فاصله از آبراهه، مؤثرترین متغیرها در وقوع سیلاب هستند و بیشترین وزن را در مدل‌سازی به خود اختصاص دادند. پارامترهای دیگر نیز با در نظر گرفتن نقش کاهنده‌شان در فرایند سیل‌خیزی منطقه وزن‌دهی شدند. این رویکرد ترکیبی، دقت پیش‌بینی مناطق مستعد سیلاب را به‌طور معناداری افزایش می‌دهد و می‌تواند ابزاری کارآمد در مدیریت مخاطرات طبیعی باشد. در این پژوهش با توجه به نبود نقاط سیلابی برای مقایسه‌های زوجی، از دیدگاه‌های متخصصان و استادان رشته ژئومورفولوژی بهره گرفته شد.



شکل ۴. نقشه لایه های اطلاعاتی





جدول ۱. ماتریس تصمیم معیار - گزینه در مدل MEREC

معیار گزینۀ	معیار												
	ارتفاع	شیب	جهت شیب	فاصله از آبراهه	تراکم آبراهه	بارش	لینولوژی	خاک	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	TWI	SPI	STI
A۱	۶	۷	۳	۵	۴	۵	۶	۵	۴	۴	۵	۳	۳
A۲	۵	۵	۲	۵	۴	۴	۷	۵	۲	۵	۴	۳	۲
A۳	۴	۵	۲	۲	۲	۳	۵	۴	۵	۴	۳	۲	۳
A۴	۶	۲	۲	۴	۴	۶	۳	۴	۲	۳	۳	۲	۲
A۵	۶	۶	۳	۴	۴	۵	۶	۴	۴	۵	۴	۳	۳
A۶	۵	۷	۳	۵	۴	۷	۵	۳	۴	۴	۴	۲	۲

در مرحله بعد، ماتریس تصمیم نرمال سازی شد.

جدول ۲. مقادیر ماتریس تصمیم نرمال شده

معیار گزینه	ارتفاع	شیب	جهت شیب	فاصله از آبراهه	تراکم آبراهه	بارش	لیتولوژی	خاک	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	STI	SPI	TWI
A۱	۰/۶۶	۰/۴۲۸	۰/۶۶	۰/۶۰	۰/۷۵	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۶
A۲	۰/۸۰	۰/۶۰	۱	۰/۶۰	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۴۲۸	۰/۶۰	۱	۰/۶۰	۰/۶۶	۰/۶۶	۱
A۳	۱	۰/۶۰	۱	۱	۱	۱	۰/۶۰	۰/۷۵	۰/۶۰	۰/۷۵	۱	۱	۰/۶۶
A۴	۰/۶۶	۱	۱	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۵۰	۱	۰/۷۵	۱	۱	۱	۱	۱
A۵	۰/۶۶	۰/۵۰	۰/۶۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۶۰	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۶۰	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۶۶
A۶	۰/۸۰	۰/۴۲۸	۰/۶۶	۰/۶۰	۰/۷۵	۰/۴۲۸	۰/۶۰	۱	۰/۷۵	۰/۷۵	۱	۱	۱

در ادامه عملکرد کلی گزینه‌ها محاسبه شد. برای مثال، برای محاسبه عملکرد کلی گزینه اول از رابطه زیر استفاده شد:

$$S_1 = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{13} \left(|\ln(0/66)| + |\ln(0/428)| + |\ln(0/66)| + |\ln(0/60)| + |\ln(0/75)| + |\ln(0/60)| + |\ln(0/50)| \right) \right) \right. \\ \left. + |\ln(0/60)| + |\ln(0/75)| + |\ln(0/75)| + |\ln(0/60)| + |\ln(0/66)| + |\ln(0/66)| \right) = 0/383$$

جدول ۳. مقادیر عملکرد کلی گزینه‌ها (S_i)

گزینه	مقادیر S_i
A۱	۰/۳۸۳
A۲	۰/۲۹۰
A۳	۰/۱۷۶
A۴	۰/۱۴۰
A۵	۰/۳۵۱
A۶	۰/۲۹۷

در مرحله بعد، با حذف هر یک از معیارها، عملکرد گزینه‌ها ارزیابی شد. برای مثال، برای محاسبه عملکرد گزینه اول، به صورت زیر عمل شد.

$$S'_{A1C1} = \ln \left(1 + \left(\frac{1}{13} \left(|\ln(0/428)| + |\ln(0/66)| + |\ln(0/60)| \right) + |\ln(0/75)| + |\ln(0/60)| + |\ln(0/50)| + |\ln(0/60)| \right) \right. \\ \left. + |\ln(0/75)| + |\ln(0/75)| + |\ln(0/60)| + |\ln(0/66)| + |\ln(0/66)| \right) = 0/36$$

جدول ۴. مقادیر عملکرد گزینه‌ها با حذف هر معیار (S'_{ij})

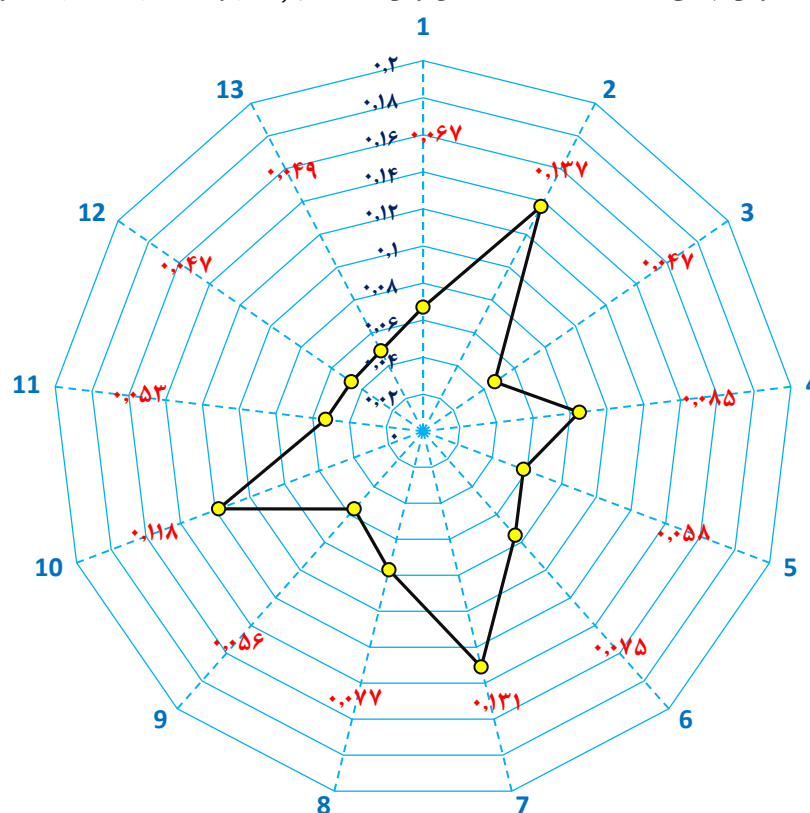
معیار گزینه	ارتفاع	شیب	جهت شیب	فاصله از آبراهه	تراکم آبراهه	بارش	لیتولوژی	خاک	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	STI	SPI	TWI
A۱	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶
A۲	۰/۲۸	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۹
A۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۵
A۴	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴
A۵	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۳۳
A۶	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۳۰

در ادامه مجموع انحرافات مطلق (E_j) محاسبه شد.

جدول ۵. مقادیر مجموع انحرافات مطلق (E_j)

معیار	STI	SPI	TWI	کاربری اراضی	پوشش گیاهی	خاک	لیتولوژی	بارش	تراکم آبراهه	فاصله از آبراهه	جهت شیب	شیب	ارتفاع
مقدار E_j	۰/۰۷۰	۰/۰۶۷	۰/۰۷۶	۰/۱۰۸	۰/۰۸۱	۰/۱۱۱	۰/۱۸۸	۰/۱۶۹	۰/۰۸۴	۰/۱۲۲	۰/۰۶۷	۰/۱۹۷	۰/۰۹۷
مجموع	۱/۴۳۷												

در آخرین مرحله وزن نهایی معیارها محاسبه شد. این وزن از تقسیم E_j مربوط به هر معیار بر مجموع E_j ها به دست آمد.



شکل ۵. وزن نهایی معیارها (w_i) براساس مدل MEREC

۱- ارتفاع ۲- شیب ۳- جهت شیب ۴- فاصله از آبراهه ۵- تراکم آبراهه ۶- کاربری اراضی ۷- لیتولوژی ۸- خاک ۹- پوشش گیاهی ۱۰- بارش ۱۱- شاخص رطوبت توپوگرافی ۱۲- شاخص قدرت آبراهه ۱۳- شاخص حمل رسوب

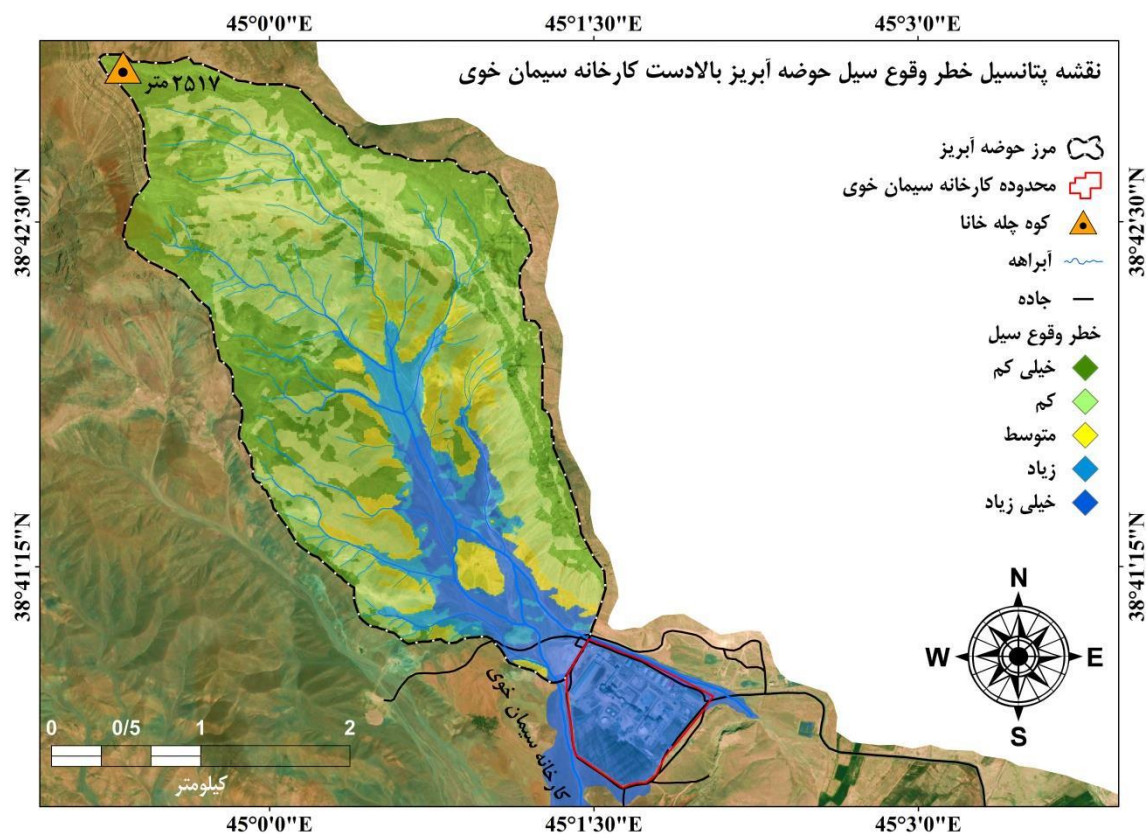
نتایج وزن‌دهی پارامترها حاکی از آن است که عامل شیب با وزن ۰/۱۳۷ بیشترین تأثیر را داشته است. پس از آن، پارامترهای لیتولوژی و بارش به ترتیب با وزن‌های ۰/۱۳۱ و ۰/۱۱۸ در جایگاه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند. در مقابل، جهت شیب و شاخص قدرت آبراهه کمترین وزن (۰/۰۴۷) را در این تحلیل به خود اختصاص داده‌اند.

تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل با روش MEREC

نقشه نهایی از حاصل ضرب وزن‌های هر یک از پارامترها در لایه‌های اطلاعاتی مربوط تهیه شد. در ادامه محدوده تحت بررسی از نظر پتانسیل وقوع مخاطره سیل با استفاده از دستور Natural Breaks (یکی از روش‌های Rating در نرم‌افزار ArcGIS) به

پنج طبقه از خطر خیلی کم تا خیلی زیاد تقسیم شد (شکل ۶). برای تهیه نقشه پهنه‌بندی، لایه‌ها به‌صورت زیر با یکدیگر در محیط نرم‌افزار ArcGIS همپوشانی داده شدند.

همپوشانی لایه‌ها = (ارتفاع $\times 0.067$) + (شیب $\times 0.137$) + (جهت شیب $\times 0.047$) + (فاصله از آبراهه $\times 0.085$) + (تراکم آبراهه $\times 0.058$) + (بارش $\times 0.118$) + (لیتولوژی $\times 0.131$) + (خاک $\times 0.077$) + (پوشش گیاهی $\times 0.056$) + (کاربری اراضی $\times 0.075$) + (شاخص TWI $\times 0.053$) + (شاخص SPI $\times 0.047$) + (شاخص STI $\times 0.049$)

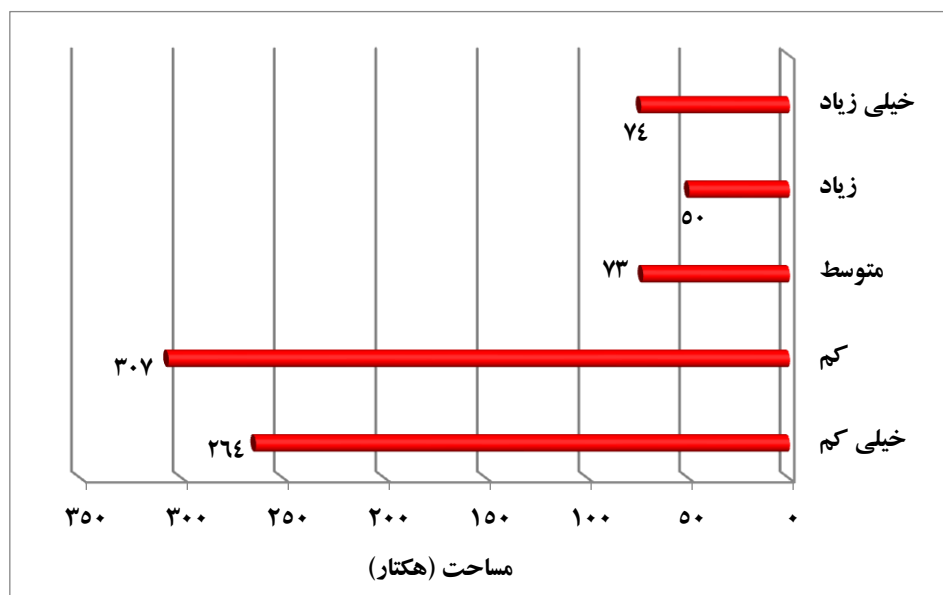


شکل ۶. نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل حوضه بالادست کارخانه سیمان خوی

تحلیل مساحت پهنه‌های خطر در نقشه نهایی حاکی از آن است که بیش از ۱۶ درصد از مساحت منطقه (۱۲۴ هکتار) در طبقات خطر زیاد و خیلی زیاد واقع شده است. در مقابل ۵۷۱ هکتار (۷۴/۳ درصد) از مساحت منطقه در طبقات کم و خیلی از نظر خطر وقوع سیلاب قرار دارد (شکل ۷). این مناطق اغلب شامل نواحی کوهستانی، شیب‌های تند و عوارض ناهموار هستند که محل شکل‌گیری رواناب‌های سطحی محسوب می‌شوند. در نتیجه، رواناب‌های ناشی از بارندگی یا ذوب برف در این مناطق به‌سوی خروجی حوضه جریان پیدا می‌کنند و سبب وقوع سیل در پایین‌دست حوضه می‌شوند. بررسی نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل و همچنین مساحت هر یک از پهنه‌های خطر نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از منطقه در زمره مناطق تولیدکننده رواناب قرار می‌گیرد. این نتیجه مهم نشان می‌دهد که خاک یا پوشش زمین منطقه قابلیت نفوذپذیری کمی دارد و بارش به‌جای نفوذ، به‌صورت رواناب سطحی جاری می‌شود. در نتیجه می‌توان گفت که نقشه نهایی بر نقش غالب منطقه در تولید رواناب تأکید دارد که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری زیاد در برابر سیلاب است؛ بنابراین ایجاد سیستم‌های زهکشی و مدیریت آب باران در چنین منطقه‌ای حیاتی است.

کارخانه سیمان آذرآبادگان خوی از مهم‌ترین و تأثیرگذارترین مراکز صنعتی در شهرستان خوی است که در خروجی حوضه آبریز یادشده قرار گرفته است. از دیدگاه ژئومورفولوژی، این مکان از حساس‌ترین نقاط از نظر تجمع رواناب و خطر سیلاب

محسوب می‌شود. موقعیت جغرافیایی این کارخانه به‌گونه‌ای است که در مجاورت شبکه‌ای از آبراهه‌های متعدد واقع شده که از دو سمت آن جریان می‌یابند و به‌طور چشمگیری خطر وقوع سیلاب را در منطقه تشدید می‌کنند.



شکل ۷. مساحت هر یک از طبقات خطر وقوع سیل در منطقه پژوهش

بررسی پهنه‌های خطر وقوع سیل در این حوضه نشان می‌دهد که همه تأسیسات و عرصه‌های کارخانه سیمان در محدوده‌ای با ریسک بالای سیل‌خیزی واقع شده‌اند. این وضعیت ناشی از وجود واحدهای هیدرولوژیکی متعدد با مقیاس‌های مختلف در بالادست حوضه است که طی رویدادهای بارشی، با تولید حجم زیادی از رواناب، این جریان‌ها را به دلیل تغییرات ارتفاعی زیاد در فاصله به‌نسبت کم و مطابق با شیب توپوگرافی منطقه به‌سمت خروجی حوضه و محل استقرار کارخانه هدایت می‌کنند. یکی از عوامل مهم تشدید خطر سیل‌گرفتنی در این منطقه، در نظر نگرفتن اصول و ملاحظات هیدروژئومورفولوژیکی در فرایند مکان‌یابی و احداث کارخانه سیمان خوی بوده است. قرارگیری این مجموعه صنعتی در نقطه خروجی حوضه آبریز، بدون ارزیابی دقیق مخاطرات طبیعی، سبب افزایش چشمگیر آسیب‌پذیری آن در برابر پدیده سیلاب شده است. این شرایط لزوم بازنگری در مدیریت ریسک و اجرای اقدامات پیشگیرانه و سازگار با محیط زیست را در این مجموعه صنعتی مهم بیش از پیش آشکار می‌کند.

به‌طور کلی می‌توان گفت که موقعیت کارخانه سیمان آذرآبادگان خوی از نظر ژئومورفولوژی نامناسب ارزیابی می‌شود، زیرا این کارخانه در پایین‌دست یک سیستم زهکشی فعال قرار گرفته است. بی‌توجهی به اصول هیدروژئومورفولوژی در زمان احداث این کارخانه، سبب افزایش ریسک‌پذیری آن شده است و کارخانه را در معرض مخاطرات محیطی مانند سیلاب‌های ناگهانی، فرسایش خاک و تجمع رسوبات قرار داده است. برای کاهش خسارات، تلفیق دانش ژئومورفولوژی و مدیریت زیست‌محیطی در قالب طرح‌های کاهش خطر سیل ضروری است.

نتیجه‌گیری

کارخانه سیمان آذرآبادگان خوی در موقعیت ژئومورفولوژیکی بسیار حساسی واقع شده است، زیرا در خروجی یک حوضه آبریز قرار دارد. این جایگاه به‌صورت ذاتی مستعد تجمع رواناب و خطر وقوع سیلاب است، زیرا همه جریان‌های سطحی و زیرسطحی حوضه به‌سمت این نقطه همگرا می‌شوند. در چنین مناطقی، حتی بارش‌های با شدت متوسط نیز می‌توانند سبب جاری شدن سیلاب‌های ناگهانی شوند. کارخانه سیمان آذرآبادگان در مجاورت شبکه‌ای از آبراهه‌های متعدد قرار گرفته که نشان‌دهنده اهمیت سیستم زهکشی طبیعی در هدایت رواناب به‌سمت این نقطه است. این آبراهه‌ها در حالت عادی ممکن است خشک یا کم‌آب

باشند، اما در زمان بارش‌های شدید یا ذوب سریع برف، به سرعت به مسیرهای اصلی انتقال حجم زیادی از آب تبدیل می‌شوند. کارخانه به دلیل قرار داشتن در پایین دست این آبراهه‌ها، به صورت طبیعی در معرض تجمع آب و رسوبات حمل شده توسط جریان قرار می‌گیرد. منطقه پژوهش دارای توپوگرافی پرشیب با تغییرات ارتفاعی زیاد در فاصله کم است. این ویژگی دو پیامد اصلی دارد: الف) افزایش سرعت جریان آب؛ شیب تند سبب می‌شود رواناب با انرژی بیشتری به سمت پایین دست حرکت کند؛ ب) تقویت قدرت فرسایش و انتقال رسوب: جریان‌های سریع تر مواد بیشتری (از جمله رسوبات، سنگریزه‌ها و حتی قطعات بزرگ تر) را حمل می‌کنند که خطر آسیب به تأسیسات کارخانه را افزایش می‌دهد. در صورت وقوع بارش‌های سنگین، این شرایط ممکن است سبب سیل‌های ناگهانی شود که به سرعت کارخانه را در معرض تهدید قرار می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت احداث صنایع بزرگ همچون کارخانه‌های سیمان در پایین دست حوضه‌های آبریز بدون بررسی‌های دقیق ژئومورفولوژیکی می‌تواند سبب افزایش مخاطره و پیامدهای نامطلوب شود. با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد حوضه آبریز بالادست کارخانه (شامل شیب‌های تند، اختلاف ارتفاع زیاد و بارندگی‌های شدید و متمرکز)، طراحی سیستم‌های مهار سیلاب برای کارخانه سیمان خوی باید برپایه یک راهکار تلفیقی (ترکیب روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای) صورت پذیرد. نتایج این پژوهش همسو با یافته‌های رحیمی و نسترن (۱۴۰۴) و رضائی مقدم و رحیم‌پور (۱۴۰۴) است. تحقیقات آنها نشان می‌دهد که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از دقت و کارایی زیادی در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب برخوردارند. یافته‌های این پژوهش نیز تأیید می‌کند که تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی می‌تواند راهکاری مؤثر برای تهیه نقشه‌های خطر سیلاب باشد. این رویکرد ترکیبی، دقت و قابلیت اطمینان پیش‌بینی‌های مربوط به مناطق سیل‌خیز را به طور چشمگیری افزایش می‌دهد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاقی

همه نویسندگان اصول اخلاقی را در اجرا و انتشار این پژوهش علمی رعایت کرده‌اند.

مشارکت نویسندگان

سهام مشارکت نویسندگان در این مقاله برابر بوده است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این پژوهش با حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه تبریز و کارخانه سیمان آذربادگان خوی و به شماره قرارداد ۱۱۳۷/ص انجام گرفته است.

هماندجویی

هماندجویی مقاله طبق سامانه مشابهت‌یاب سمیم نور برابر با ۶/۷۴ درصد است.

قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج طرح پژوهشی دوره پسادکتری با شماره قرارداد ۱۱۳۷/ص در دانشگاه تبریز است. نویسندگان مقاله از هیأت مدیره محترم کارخانه سیمان آذربادگان خوی بابت تأمین هزینه تحقیق تشکر ویژه دارند. همچنین از مدیریت فناوری دانشگاه تبریز و مدیریت امور پژوهشی دانشگاه تبریز بابت ایجاد زمینه بهره‌مندی از قانون ارتباط با صنعت و پسادکتری قدردانی می‌شود.

منابع

- [۱] اسماعیلی علویجه، الهام؛ کریمی، سعید؛ و علوی‌پور، فاطمه‌سادات (۱۳۹۹). ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر سیل با منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران). علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۳)، ۳۵۱-۳۶۱.
- [۲] رحیمی، امیر؛ و نسترن، مهین (۱۴۰۴). تحلیل آسیب‌پذیری زیرساخت‌های روبنایی در برابر سیل با تأکید بر روش AHP Fuzzy (مورد مطالعه: شهر خرم‌آباد). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۴(۱): ۱۰۵-۱۲۸. doi: 10.22067/geoh.2025.89239.1506
- [۳] رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ و رحیم‌پور، توحید (۱۴۰۲). تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و شاخص آماری (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی‌چای). مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۰(۴)، ۳۰۸-۳۹۱. doi: 10.22059/jhsci.2024.369163.803
- [۴] رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ و رحیم‌پور، توحید (۱۴۰۳). ارزیابی پتانسیل خطر وقوع سیلاب با استفاده از روش تحلیل آماری دومتغیره (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی‌چای). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۲(۴)، ۹۱-۱۰۷. doi: 10.22034/gmpj.2024.429929.1473
- [۵] رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ و رحیم‌پور، توحید (۱۴۰۴). کاربرد روش‌ها و فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره در مدل‌سازی مخاطرات محیطی. انتشارات دانشگاه تبریز، ۲۱۰ صفحه.
- [۶] سراوانی، چنگیز؛ عبدالله زاده، غلامحسین؛ شریف‌زاده، محمدشریف؛ و قربانی، خلیل (۱۴۰۰). ارزیابی آسیب‌پذیری خانوارها در مواجهه با خطر سیلاب در نواحی روستایی: مطالعه موردی شهرستان‌های آق‌قلا و گمیشان. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۸(۲)، ۱۰۱-۱۱۸.
- [۷] سنایی‌فرد، ابوالقاسم؛ امیراحمدی، ابوالقاسم؛ و زنگنه، یعقوب (۱۴۰۲). کاهش آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی در برابر سیل (مطالعه موردی: شهر سبزوار). پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۱۴(۵۲)، ۱-۱۶.
- [۸] مقیمی، ابراهیم (۱۴۰۳). رویکرد جدید به مخاطرات محیطی و توسعه پایدار در ایران. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۱(۱)، ۷۳-۸۴. doi: 10.22059/jhsci.2024.378814.830
- [9]. Burton, C., Cutter, S. (2008). Levee failures and social vulnerability in the Sacramento-San Joaquin delta area California. *Nat Hazard Rev*, 9(3):136-149. doi:10.1061/(ASCE)1527-6988(2008)9:3(136)
- [10]. Das, S. (2019). Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14: 60-74. doi: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.006
- [11]. Diakakis, M., Mavroulis, S., Deligiannakis, G. (2012). Floods in Greece, a statistical and spatial approach. *Nat. Hazards*, 62: 485-500. https://doi.org/10.1007/s11069-012-0090-z
- [12]. Esmaeili Alavijeh, E., Karimi, S., Alavipoor, F. (2020). Vulnerability Assessment in Urban Areas against Flood with Fuzzy Logic (case study: Tehran District 22), *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(3), 351-361. (in Persian)
- [13]. Ghosh, S., Saha, S., Bera, B. (2022). Flood susceptibility zonation using advanced ensemble machine learning models within Himalayan foreland basin. *Natural Hazards Research*, 2(4): 363-374. doi: https://doi.org/10.1016/j.nhres.2022.06.003
- [14]. Iqbal Shah, A., Das Pan, N. (2024). Flood susceptibility assessment of Jhelum River Basin: A comparative study of TOPSIS, VIKOR and EDAS methods. *Geosystems and Geoenvironment*, 3(4): 100304. https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2024.100304
- [15]. Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Antucheviciene, J. (2021). Determination of ObjectiveWeights Using a New Method Based on the Removal Effects of Criteria (MEREC), *Symmetry*, 13(525): 1-20.
- [16]. Moghimi, E. (2024). A new approach to environmental hazards and sustainable development for Iran. *Environmental Management Hazards*, 11(1), 73-84. doi: 10.22059/jhsci.2024.378814.830 (in Persian)
- [17]. Pangali Sharma, T.P., Zhang, J., Khanal, N.R., Nepal, P., Pangali Sharma, B.P., Nanzad, L., Gautam, Y. (2022). Household Vulnerability to Flood Disasters among Tharu Community, Western Nepal. *Sustainability*, 14, 12386. https://doi.org/10.3390/su141912386
- [18]. Rahimi, A., Nastaran, M. (2025). Vulnerability analysis of facilities against flood with emphasis on AHP Fuzzy method (case study: Khorramabad city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 14(1), 99-122. doi: 10.22067/geoh.2025.89239.1506 (in Persian)
- [19]. Rezaei Moghaddam, M. H., Rahimpour, T. (2024). Evaluating of Flood hazard potential using bivariate statistical analysis method (Case study: Aji Chai basin). *Quantitative Geomorphological Research*, 12(4), 91-107. doi: 10.22034/gmpj.2024.429929.1473 (in Persian)

- [20]. Rezaei Moghaddam, M. H., Rahimpour, T. (2024). Preparation of flood hazard potential map using two methods: Frequency Ratio and Statistical Index (Case study: Aji Chai Basin). *Environmental Management Hazards*, 10(4), 291-308. doi: 10.22059/jhsci.2024.369163.803 (in Persian)
- [21]. Rezaei Moghaddam, M. H., Rahimpour, T. (2024). Application of Multi-Criteria Decision Making Methods in Environmental Hazards Modeling. University of Tabriz, 210 Pages. (in Persian)
- [22]. Sam, A.S., Kumar, R., Kächele, H., Müller, K. (2017). Vulnerabilities to flood hazards among rural households in India. *Nat Hazards*, doi:10.1007/s11069-017-2911-6
- [23]. Sanaifard, A., Amirahmadi, A., & Zanganeh, Y. (2023). Reducing the Vulnerability of Vital Arteries to Flood (Case Study: Sabzevar County). *Journal of Research and Urban Planning*, 14(52), 1-16. doi: 10.30495/jupm.2021.26428.3693 (in Persian)
- [24] Seravani C, Abdollahzadeh G, Sharifzadeh M S, Ghorbani K. Vulnerability assessment of households to flood risk in the rural areas: case study of Aqqala and Gomishan Counties. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 2021, 8(2):101-118 URL: <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3232-fa.html> (in Persian)
- [25]. Stefanidis, S., Alexandridis, V., Theodoridou, T. (2022). Flood Exposure of Residential Areas and Infrastructure in Greece. *Hydrology*, 9, 145.