



Flood Hazard Zoning of Kashan County Based on Analytical Hierarchy Process Using Geographic Information System

Mehrdad Khoshoei^{1*}, Ehsan Esteki², Saman Amini²

1. Assist. Prof. of Water Resources Management and Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran (Corresponding Author) m.Khoshoei@kashanu.ac.ir

2. MSc. Student in Civil Engineering, Water Resources Engineering and Management, Dept. of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran



<https://doi.org/10.22093/wwj.2025.521261.3491>

Original Paper

Abstract

Flooding is one of the most significant natural disasters that has extensive impacts on various regions of Iran, particularly in Kashan County. Each year, this phenomenon causes considerable financial damage to local infrastructure and often results in human casualties. Given the importance of this issue, identifying and assessing flood-prone areas can play a crucial role in minimizing losses and preventing the destructive effects of floods. Accordingly, the present study focuses on flood susceptibility zoning in Kashan County, located in central Iran. In this research, Geographic Information System was employed as an effective analytical tool. In the first stage, raster maps related to key indicators influencing flood susceptibility were prepared. These indicators included environmental and geographical variables affecting flood occurrence. Subsequently, the maps were analyzed using the Analytical Hierarchy Process, one of the most widely used multi-criteria decision-making methods for weighting. The weights of each criterion and their respective classes were determined through this process. Finally, the flood susceptibility map was generated using the raster calculator tool within the GIS environment. The results indicate that approximately 30% of the county's area falls within zones of high flood risk, primarily covering the eastern regions characterized by high population density and urban development. In contrast, about 60% of the area lies within low-risk zones, mostly located in the western parts of the county with gentle slopes and dense vegetation cover. The novelty of this study lies in the simultaneous integration of twelve environmental and hydrological indicators within the AHP-GIS framework, with a specific focus on the arid climatic conditions of Kashan. The findings of this research can serve as a valuable basis for disaster management planning and the implementation of preventive measures across Kashan County.

Keywords:
Zoning, Flooding,
Geographic
Information System,
Digital Height Model,
Hierarchical Analysis.



Received: Jan. 17, 2025

Revised: Apr. 14, 2025

Accepted: May 16, 2025

Use your device to scan and read the article online



To cite this article:

Khoshoei, M., Esteki, E., Amini, S., 2025. Flood hazard zoning of Kashan County based on analytical hierarchy process using geographic information system. *Water and Wastewater*, 36(2), 43-62. <https://doi.org/10.22093/wwj.2025.521261.3491>.

© The Author(s).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



1. Introduction

This interdisciplinary study aims to develop a scientific-practical framework for accurately assessing flood susceptibility in Kashan County. The present research innovatively integrates the Analytic Hierarchy Process¹ and advanced spatial analyses within a Geographic Information System² environment to evaluate 12 key indicators influencing flood susceptibility (Fig. 1).

The findings reveal that approximately 37.2% of the county's area falls within high-risk and very high-risk flood susceptibility categories. By providing high-precision spatial zoning maps and flood risk management strategies at various levels, this study takes a significant step toward mitigating damages caused by this natural phenomenon.

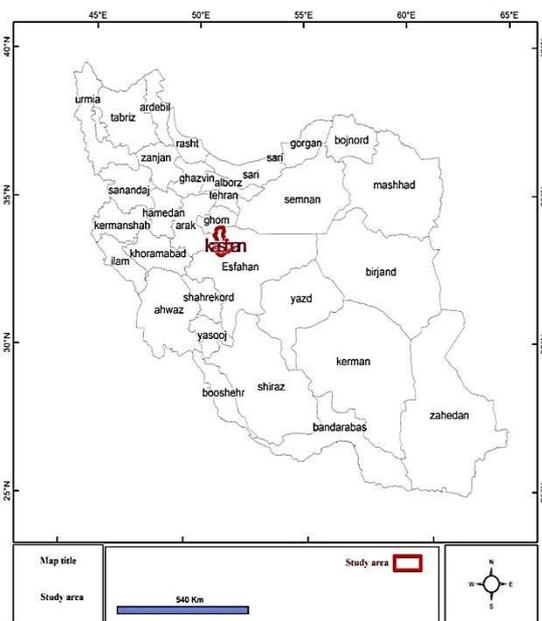


Fig. 1. Study area boundary

2. Explanation of the research problem

Flash floods, as one of the most destructive natural disasters in arid and semi-arid regions, cause significant economic and human losses to communities annually. Kashan City is at high risk of flooding due to its specific geomorphological characteristics and land use changes resulting from urban development. Recent studies show that changes in precipitation patterns in the region have led to a 40 percent increase in the occurrence of destructive floods in the last

decade.

3. Research literature review

Numerous studies have been conducted in the field of flood risk zoning, which can be divided into three general categories:

- Studies based on hydrological indicators
- Research with a remote sensing approach
- Integrated research on multi-criteria decision making and GIS
- By combining the strengths of all three approaches, this study provides a comprehensive model for flood risk assessment (Goodarzi et al., 2020, NOAA Severe Weather, Shahabi, 2021).

4. Research goals and innovations

The main objective of this research is to develop a scientific framework for:

- Quantitative identification of flood-prone areas.
- Analytical hierarchy of influencing factors.
- Providing evidence-based management solutions.

5. Advanced methodology

• Theoretical framework of the research

This research is designed based on the systems paradigm and with a combined quantitative-qualitative approach. The conceptual framework of the research includes three main stages:

1. Data preprocessing stage
2. Analysis and modeling stage
3. Validation and interpretation of results stage.

• Research population and sample

The statistical population of this study includes all spatial data of the Kashan region between 2000 and 2022. Sampling was carried out purposefully and based on scientific criteria.

• Data collection tools

A combination of the following methods was used in this research:

- Library and documentary studies
- Field observations
- Satellite images
- Data from official organizations

6. Data analysis methods

Data analysis was conducted at three levels:

1. Descriptive level: including descriptive statistics and basic spatial analyses
2. Analytical level: including AHP modeling and advanced spatial analyses
3. Inferential level: including model validation and interpretation of results.

¹ Analytic Hierarchy Process (AHP)

² Geographic Information System (GIS)



7. Research findings

Equations start from the far left of the column and are numbered consecutively. The equation numbers must be in parentheses and placed.

The results of spatial analyses show that different factors have different intensities in the flooding potential of the region. Land slope was identified as the most important factor with the highest impact (24.7 percent). This was followed by vegetation cover with 19.2 percent and precipitation with 15.8 percent.

Based on the final model results, the areas of Kashan City were divided into four risk classes:

- Very high-risk areas (32.4% of the area)
- High-risk areas (4.8% of the area)
- Medium-risk areas (8.7% of the area)
- Low-risk areas (54.1% of the area)

The presented model was validated with two different methods:

1. Comparison with historical data: 87.5% accuracy.
2. ROC test: Area under the curve 0.891.

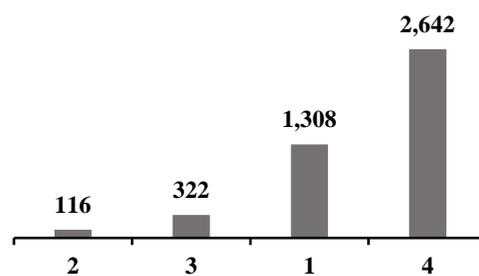


Fig. 9. Area of zones with flood hazard potential (km²)

8. Discussion and conclusion

The findings of this study show that the eastern regions of Kashan City are at the highest risk of flooding due to a combination of natural and human factors.

This research contributes theoretically to the development of basic knowledge in the field of flood risk management. From a practical perspective, it also provides implementation strategies for reducing flood risk.





پهنه‌بندی سیل خیزی شهرستان کاشان بر اساس تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی

مهرداد خوشوعی^{۱*}، احسان استکی^۱، سامان امینی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
(نویسنده مسئول) m.Khoshoei@kashanu.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران



<https://doi.org/10.22093/wwj.2025.521261.3491>

مقاله پژوهشی

چکیده

سیل یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که تأثیرات گسترده‌ای بر مناطق مختلف ایران، به‌ویژه شهرستان کاشان، دارد. این پدیده سالانه خسارات مالی قابل توجهی به زیرساخت‌های منطقه وارد کرده و منجر به آسیب‌های جانی نیز می‌شود. با توجه به اهمیت این موضوع، شناسایی و ارزیابی مناطق سیل‌خیز می‌تواند نقش مؤثری در کاهش خسارات و پیشگیری از اثرات مخرب سیلاب ایفا کند. بر این اساس، این پژوهش به پهنه‌بندی سیل خیزی شهرستان کاشان در مرکز ایران پرداخت. در این پژوهش، از سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان ابزاری کارآمد استفاده شد. در گام نخست، نقشه‌های رستری مرتبط با شاخص‌های مهم و تأثیرگذار بر سیل خیزی منطقه تهیه شد. این شاخص‌ها شامل متغیرهای محیطی و جغرافیایی مؤثر بر وقوع سیل هستند. سپس، این نقشه‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان یکی از روش‌های وزن‌دهی مناسب تحلیل شد و وزن‌های هر معیار و طبقه‌های مرتبط با آن‌ها مشخص شد. در نهایت، نقشه نهایی پهنه‌های سیل‌خیز با بهره‌گیری از ابزار محاسبه‌گر رستر در محیط GIS تولید شد. یافته‌ها نشان داد که حدود ۳۰ درصد از مساحت شهرستان در پهنه با بیشترین خطر وقوع سیلاب قرار دارد؛ این بخش عمدتاً شامل نواحی شرقی با تراکم بالای جمعیت و توسعه شهری است. در مقابل، حدود ۶۰ درصد از مساحت شهرستان در پهنه با کمترین خطر وقوع سیلاب جای می‌گیرد که بیشتر در مناطق غربی با شیب ملایم و تراکم بالای پوشش گیاهی واقع شده است. نوآوری این پژوهش ترکیب هم‌زمان ۱۲ شاخص محیطی و هیدرولوژیکی در چارچوب AHP-GIS و تمرکز بر شرایط اقلیم خشک کاشان بود. یافته‌های این پژوهش می‌تواند مبنای مناسبی برای برنامه‌ریزی مدیریت بحران و اجرای اقدامات پیشگیرانه در سطح شهرستان کاشان باشد.

واژه‌های کلیدی:
پهنه‌بندی، سیل خیزی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل رقومی ارتفاع، تحلیل سلسله مراتبی



دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۸
اصلاح: ۱۴۰۴/۱/۲۵
پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲۶

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

خوشوعی، م.، استکی، ا.، امینی، س.، ۱۴۰۴، پهنه‌بندی سیل خیزی شهرستان کاشان بر اساس تحلیل سلسله مراتبی با

استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. *آب و فاضلاب*. ۳۶(۲)، ۴۳-۶۲.

<https://doi.org/10.22093/wwj.2025.521261.3491>



© The Author(s).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



۱- مقدمه

سیل اختصاص داشته است. بررسی‌ها حاکی از آن است که تعداد وقوع سیلاب‌ها در ایران از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۷۵ روندی افزایشی داشته است. به‌گونه‌ای که در دهه ۱۳۶۰، تعداد کل سیلاب‌های کشور ۴۵۳ مورد بوده و این رقم در سال ۱۳۷۰ به ۵۸۵ مورد و در سال ۱۳۸۰ به ۸۲۷ مورد افزایش یافته است. در بازه سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴، چندین سیل با شدت زیاد رخ داده که خسارات جانی و مالی قابل توجهی را به همراه داشته است (Rajabizadeh et al., 2019).

به‌طور کلی، اثرات مخرب سیلاب‌ها شامل موارد زیر است: شست‌وشو و تخریب خاک‌های تشکیل شده و در حال تشکیل، فرسایش سریع زمین و ایجاد ناهمواری، کاهش حاصلخیزی زمین به دلیل انباشته شدن رسوبات درشت، تخریب قنوات، تلف شدن احشام و حیات وحش، پر شدن سریع دریاچه‌ها بر اثر رسوب‌گذاری، تخریب منازل، پل‌ها و زیرساخت‌های حیاتی، هدر رفت منابع آبی به دلیل نبود فرصت کافی برای بهره‌برداری. سیل از گذشته‌های دور همواره موجب ترس و وحشت در جوامع انسانی بوده است. بررسی تجارب جهانی در مدیریت سیلاب‌ها نشان می‌دهد که امروزه بیشتر دولت‌ها تمایل دارند مدیریت سیلاب را قبل از وقوع آن انجام دهند، زیرا این رویکرد تأثیر چشمگیری در کاهش خسارات و صدمات بعدی دارد (Masoudian and Fenderski, 2014).

افزایش وقوع سیلاب‌ها در سال‌های اخیر به‌وضوح نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بیشتر مناطق کشور و در نتیجه افزایش خسارت‌ها و تلفات جانی و مالی ناشی از این پدیده است (Shahabi, 2021).

مطالعات نشان می‌دهد که خسارات ناشی از سیل بیشتر از سایر سوانح طبیعی است. به‌عنوان مثال، سیل پاکستان در سال ۲۰۱۰ یکی از بزرگترین سیلاب‌های دهه اخیر بود که به دنبال بارش‌های موسمی شدید و بالا آمدن سطح آب رود سند، ایالت‌های سند، پنجاب و بلوچستان پاکستان را در بر گرفت. این سیل منجر به مرگ بیش از ۲۰۰۰ نفر و تخریب بیش از ۱ میلیون خانه شد.

در ایران نیز به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص از جمله اقلیم خشک و نیمه‌خشک، بارش‌های رگباری شدید، وجود کوهستان‌های متعدد با شیب تند و اراضی غیرقابل نفوذ، شرایط برای وقوع سیلاب‌ها کاملاً فراهم است. شهرستان کاشان نیز تحت تأثیر مرکز پرفشار جنب حاره‌ای قرار دارد و در ماه‌های مختلف سال، گاهی با ریزش بارش‌های قابل توجه در مدت چند روز یا حتی چند ساعت،

مخاطرات محیطی هر ساله خسارت‌های فراوانی در سراسر جهان، به بار می‌آورند که سیل یکی از مهم‌ترین آن‌ها محسوب می‌شود. سیل بزرگترین و مهم‌ترین بحران اقلیمی است که سالانه جان هزاران نفر را گرفته و خسارات گسترده‌ای به جوامع انسانی و محیط‌زیست وارد می‌کند. سیل‌های ویرانگر نه تنها جان انسان‌ها را تهدید می‌کنند، بلکه خسارت‌های اقتصادی سنگینی به ساکنان مناطق سیل‌زده وارد کرده و ایمنی آن‌ها را به خطر می‌اندازند (Goodarzi et al., 2020). به‌طور کلی، مناطق مستعد سیلاب به پتانسیل آب موجود در جو، سطح زمین و سامانه‌های جوی وابسته هستند. این شرایط منجر به تخلیه منابع جوی و تراکم آن‌ها به صورت برف و یخ بر سطح زمین می‌شود (Kundzewicz et al., 2014) از آنجا که منشأ اولیه سیلاب‌ها جو زمین است و پتانسیل سیلاب به حجم آب سطحی و مدت‌زمان تخلیه آن از سطح زمین وابسته است، می‌توان سیلاب‌ها را به سه دسته زیر طبقه‌بندی کرد:

- سیلاب‌های ناشی از بارش‌های کوتاه‌مدت و با شدت زیاد: این نوع سیلاب‌ها زمانی خطرناک می‌شوند که مسیرهای طبیعی تخلیه آب، مانند مسیل‌ها و رودخانه‌های فصلی، مسدود شده باشند و رواناب حاصل از بارندگی نتواند به‌موقع از منطقه خارج شود (NOAA Severe weather).

- سیلاب‌های ناشی از بارندگی مداوم: این نوع سیلاب‌ها زمانی حادثه‌آفرین می‌شوند که زمین منطقه پیش‌تر بر اثر بارندگی‌های متوالی اشباع شده باشد. در چنین شرایطی، با شروع بارش‌های جدید، رواناب‌ها در سطح منطقه به جریان در آمده و منجر به وقوع سیلاب می‌شوند (UNDRR Flash flood).

- سیلاب‌های ناشی از ریزش باران بر روی ذخایر برفی: این نوع سیلاب‌ها به‌ویژه زمانی خطرناک‌تر می‌شوند که با افزایش دما همراه باشند، زیرا ذوب سریع برف و یخ می‌تواند منجر به افزایش حجم رواناب و تشدید خطر سیلاب شود (UNDRR Snowmelt flood).

سیل در مقیاس جهانی یکی از ویرانگرترین بلایای طبیعی محسوب می‌شود و بیشترین میزان مرگ‌ومیر و خسارت را به همراه دارد. آمارها نشان می‌دهند که بین سال‌های ۱۹۴۷ تا ۱۹۸۱، حدود ۳۲ درصد از بلایای طبیعی مربوط به سیل بوده است. همچنین، از میان ۵۰ مورد بلایای طبیعی ثبت شده در سال ۱۹۹۶، ۲۶ مورد به



قسمت‌های میانی حوضه واقع شده‌اند، بیشترین تأثیر را در سیل‌خیزی حوضه دارند (Shaabani Bazneshin et al., 2016).

پژوهشگران زیادی از روش HEC-RAS در مدل‌سازی سیلاب و بررسی آثار ناشی از آن استفاده کرده‌اند. به‌عنوان مثال، پژوهشی که در سال ۲۰۲۱ با استفاده از مدل HEC-RAS در مدل‌سازی سیلاب هیدرودینامیکی و تکنیک‌های مکانی به بررسی رودخانه‌ای در هند پرداخت، استفاده از این روش را مفید و مؤثر ارزیابی کرد (Pathan and Agnihotri, 2021).

اصغری و همکاران توان سیل‌خیزی در حوضه آبریز جعفرآباد در استان ایلام را با استفاده از روش آماری تحلیل عاملی بر پایه GIS بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که عامل "ضریب شکل" با مقدار ۱۱/۳، مهم‌ترین عامل مؤثر در سیل‌خیزی حوضه است (Asgari et al., 2018).

در پژوهشی تأثیر تغییرات مکانی بر روی فرایند بارش - رواناب در یک حوضه در آلمان بررسی شد. نتایج آن‌ها نشان داد که عملیات کشاورزی بیشترین تأثیر را روی خصوصیات رواناب خروجی حوضه دارند (Merz and Bardossy, 1996). پژوهشگران از یک مدل توزیعی به نام DBSIM که بر اساس اطلاعات توپوگرافی بنا شده بود، استفاده کردند. آن‌ها پس از واسنجی و اعتباریابی مدل نشان دادند که تحلیل حساسیت، نقش پارامترهای مدل را در بررسی عکس‌العمل حوضه به‌خوبی نمایش می‌دهد (Garrote and Bras, 1994).

در پژوهشی دیگر، کاربرد مدل توزیعی ANSWERS در شبیه‌سازی عکس‌العمل یک حوضه در آرژانتین بررسی شد و برآورد شد که اساسی‌ترین عامل در ایجاد رواناب حوضه، تغییرات مکانی بارش و نوع خاک است (Braud et al., 1998).

شکری‌کوچک نقش مشارکت زیر حوضه‌ها در شدت سیل‌خیزی حوضه آیدنک واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد را بررسی کرد و نشان داد که زیر حوضه‌های میانه حوضه نقش بیشتری در سیلاب خروجی دارند؛ دلیل آن را هم این‌گونه بیان کرد که زمانی که دبی اوج در خروجی حوضه اتفاق می‌افتد، سیلاب مناطق پایین‌دست از منطقه خارج شده و اوج سیلاب مناطق بالادست هم هنوز به خروجی نرسیده و سیلاب مناطق میانی باعث دبی اوج در خروجی حوضه محسوب می‌شود (Shokrikochak, 2011).

سیلاب‌های مخربی به وقوع می‌پیوندد. از این‌رو، شناسایی و پهنه‌بندی سیل‌خیزی برای مطالعات مدیریت منابع آب در شهرستان کاشان امری ضروری است. همچنین، بیان این نکته حائز اهمیت است که با توجه به محدودیت‌های اقتصادی، فناوری و فیزیکی، کنترل کامل سیلاب‌ها امکان‌پذیر نیست و راهکارهای ارائه شده تنها در برای کاهش خسارات و پیامدهای منفی این پدیده هستند (Yamani and Enayati, 2006).

تکثیر سطوح مصنوعی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بر ویژگی‌های رواناب تأثیر بگذارد و منجر به افزایش مناطق غوطه‌ور در طول سیلاب شود. این تغییرات در فرایندهای طبیعی، چالش‌های ویژه‌ای را برای کشورهای در حال توسعه ایجاد می‌کند؛ چراکه این کشورها معمولاً منابع محدودی برای بازسازی و انجام تعمیرات پس از بلایای طبیعی دارند (Allafta and Opp, 2021). با فرض اینکه روابط بین مشخصه‌های کلیدی حوضه و سیل در سطح منطقه‌ای و هم‌بستگی‌های آن‌ها برای پیش‌بینی مشخص نیست، مشخصه‌های کلیدی حوضه (شیب، ارتفاع، عمق سنگ‌بستر، فرسایش‌پذیری خاک، پوشش جنگلی و شهری، شاخص خشکی خاک، مساحت و چگالی زهکشی حوضه) به‌منظور بررسی و ارزیابی تأثیر آن‌ها بر شدت سیلاب در ۴۰۴ حوضه در آمریکا مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج این پژوهش نشان داد که شیب، بیشترین تأثیر را در برآورد شدت سیلاب دارد. همچنین مشخص شد که مؤلفه‌های پوشش گیاهی، خاک، زمین‌شناسی و اقلیم تأثیر کمی در برآورد سیلاب دارند (Gao et al., 2018).

شعبانی بازنشین در پژوهشی به بررسی پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه آبریز نکا با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS پرداخت و نشان داد که سهم زیرحوضه‌ها در پتانسیل سیل‌خیزی کل حوضه تنها تحت تأثیر مساحت آن‌ها نیست. عواملی مانند موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها و روندیابی سیلاب در رودخانه اصلی نیز تأثیر قابل‌توجهی بر رژیم سیلابی حوضه دارند. همچنین، تعیین شاخص شدت سیل‌خیزی به ازای واحد سطح زیرحوضه‌ها می‌تواند در اولویت‌بندی عملیات کنترل سیلاب از نظر هزینه و امکانات، کارایی بیشتری نسبت به دیگر شاخص‌ها داشته باشد. درنهایت، زیرحوضه‌هایی که در

¹ Geographic Information System (GIS)



باشد قادر به نفوذ ۹۸ درصد از باران به درون زمین خواهد بود و بنابراین مناطق پایین دست شهری سیلابی را تجربه نخواهند کرد و در صورت تخریب مراتع و کاهش پوشش گیاهی آن به کمتر از ۲۰ درصد میزان رواناب سطحی به میزان ۳۶ برابر افزایش خواهد یافت و به عبارت دیگر ۷۴ درصد از ارتفاع باران در زمین نفوذ نمی‌کند و وقوع سیلاب در نقاط شهری بسیار متحمل خواهد بود (Schueler, 1987).

در پژوهشی بر روی حوضه رودخانه نیل به‌ویژه در شرق رود نیل (اتیوپی، سودان، مصر) بررسی انجام و مشخص شد، فرسایش و رسوب یکی از مشکلاتی بودند که توسعه منابع آب را در این مناطق تهدید می‌کند (Betrie et al., 2011). پیش‌بینی سیل و کنترل زمان واقعی آن، در نحوه بهره‌برداری از سازه‌های کنترل سیل مخازن، نحوه مقابله با سیل در کاهش خسارت، ذخیره‌سازی برای مصارف، رهاسازی در دره پایین دست، اطلاع‌رسانی به مردم و سازمان‌ها مؤثر بوده و یکی از پیش‌نیازهای طرح‌های توسعه حوضه‌های آبریز به شمار می‌رود (Lumbroso and Gaume, 2012). برای اصلاح اصول طراحی سازه‌ها، بهره‌برداری بهینه از منابع آب، استفاده از فناوری نو، پیشرفته، کامپیوتر و توسعه نرم‌افزار در شبیه‌سازی حوضه و مخزن ضروری است (Giannakis et al., 2016).

با توجه به گسترده بودن سطح حوضه‌ها امکان اقدامات کنترل سیل در سرتاسر حوضه موجود نیست؛ بنابراین باید از طریق مطالعات کنترل سیل، مناطقی که تأثیر بیشتری در ایجاد سیلاب دارند شناسایی و اولویت‌بندی شوند تا بتوان با صرف کم‌ترین هزینه به بیشترین میزان مهار سیلاب دست پیدا کرد (Lastra et al., 2008, Yamani and Enayati, 2006). در پژوهش دیگری خطرات سیل در منطقه با استفاده از یک الگوریتم هم‌پوشانی با وزن GIS پهنه‌بندی شدند. پهنه‌بندی سیل بر اساس نقشه‌های مختلفی انجام شد که عواملی مانند بارندگی، فاصله از آبراه، ترکیب خاک، چگالی زهکشی حوضه، شیب، نفوذپذیری خاک، کاربری اراضی و پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (Karimi et al., 2023).

در مجموع، با توجه به روند فزاینده وقوع سیلاب‌ها و خسارات ناشی از آن، شناسایی نواحی سیل خیز و تحلیل دقیق عوامل مؤثر در بروز این پدیده، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر در برنامه‌ریزی‌های محیطی و مدیریت منابع آب به شمار می‌رود. بهره‌گیری از ابزارهای نوین

سقفیان و همکاران از مدل توزیعی ModClark و HEC-RAS برای تعیین شدت سیل خیزی استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از GIS و تعریف شاخص سیل خیزی بر واحد سطح، اقدام به زیرحوضه‌بندی حوضه‌های بالادست رود دز بر اساس پتانسیل سیل خیزی کردند (Saghafian et al., 2005).

اسلامی و مولائی با استفاده از مدل HEC-RAS پهنه‌های سیل‌گیر در رودخانه نرماشیر را بررسی کردند. نتایج حاصل نشان‌دهنده هم‌خوانی رفتار رودخانه‌ها با داده‌های مدل و خسارات ناشی از طغیان بود. مطالعات انجام شده در استان اصفهان به‌صورت زیرحوضه‌ای و یا چند زیرحوضه در نقاط مختلف است و اقدامات حفاظتی در این زیرحوضه‌ها برای کنترل سیل و کاهش خسارات آن انجام شده است (Islamy and Molaei, 2005).

منحنی رواناب به‌طور گسترده در اکثر پژوهش‌ها در زمینه سیل و سیل‌خیزی در کشور استفاده می‌شود. قائمی ضمن معرفی هفت عامل تأثیرگذار بر وقوع سیلاب شامل عمق بارندگی، زمان بارش، عمق برف، جنس زمین، پوشش گیاهی، شیب و شکل حوضه و ارزش‌گذاری کمی آن‌ها بر طبق نظر کارشناسی، شدت سیل خیزی زیرحوضه‌های کرخه را تعیین کرد (Qaemi et al., 1996). همچنین در ویتنام با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ و کمی‌سازی میزان تأثیر عوامل مؤثر در سیل خیزی، به شناسایی عوامل مؤثر در خطر سیلاب پرداختند (Dang et al., 2011).

در پژوهشی از روش SCS در تخمین سیلاب استفاده کرده و داده‌های به‌دست‌آمده را با داده‌های واقعی مقدار رواناب و دبی در طی سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۵ منطقه مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که داده‌های به‌دست‌آمده از روش SCS قابل‌اعتماد است (Inci Tekeli et al., 2005). همچنین در پژوهشی دیگر، به‌منظور مدیریت خطر سیل از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۲ و سیستم‌های پشتیبانی تصمیم^۳ استفاده شد و به این نتیجه رسید که دو روش فوق می‌توانند در شناسایی پهنه‌های مستعد سیلاب مؤثر واقع شوند (Levy, 2005). حداقل درصد پوشش گیاهی از نظر کنترل سیلاب ۴۰ درصد است (Morgan, 2009) و چنانچه مرتعی دارای ۷۰ درصد پوشش گیاهی

¹ Analytic Hierarchy Process (AHP)

² Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

³ Decision Support System (DSS)



مخرب تبدیل شود. از مهم‌ترین آن‌ها، تبدیل اراضی، تخریب پوشش گیاهی، درجه اشباع شدن خاک، تجاوز به حریم رودخانه‌ها، شدت بارندگی، شیب و نفوذپذیری حوضه است. شهرستان کاشان به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص خود، شرایط اقلیمی نیمه خشک و خشک و وجود کوهستان‌های متعدد با شیب‌های تند، از جمله مناطق مستعد وقوع سیلاب‌های مخرب در ایران است. در این منطقه، بارش‌های ناگهانی و شدید در مدت زمان کوتاه، به‌ویژه پس از دوره‌های طولانی خشکی، می‌تواند به شکل‌گیری رواناب‌های گسترده و سیلاب‌های ویرانگر منجر شود. این ویژگی‌ها، همراه با توسعه شهری و کاهش پوشش گیاهی در برخی نواحی، آسیب‌پذیری منطقه را در برابر سیلاب‌ها افزایش داده است؛ بنابراین، شناسایی مناطق سیل‌خیز و پهنه‌بندی خطر سیلاب در این شهرستان برای مدیریت منابع آب و کاهش خسارات احتمالی امری ضروری به نظر می‌رسد. شهرستان کاشان یکی از شهرستان‌های واقع در استان اصفهان است. مرکز این شهرستان، شهر کاشان است. این شهرستان در حوضه اصلی دریاچه نمک واقع است. زیرحوضه‌های اصلی موجود در شهرستان کاشان شامل: قم، کاشان، مویه، دلیجان، محلات و میمه است (Khoshoei et al., 2016).

شهرستان کاشان با مساحتی در حدود ۴۳۹۸ کیلومتر مربع، یکی از شهرستان‌های مهم استان اصفهان به شمار می‌رود که جمعیت آن بالغ بر ۳۷۰ هزار نفر است. این منطقه در گستره ارتفاعی وسیع واقع شده است که از ۷۸۳ متر تا ۳۵۹۶ متر بالاتر از سطح دریا متغیر است. چنین تفاوت ارتفاع چشم‌گیری، موجب ایجاد تغییرات قابل توجه در ویژگی‌های جغرافیایی، اقلیمی و زیست‌محیطی شهرستان شده است. با توجه به تغییرات ارتفاع و فاصله جغرافیایی کل شهرستان، شیب متوسط منطقه به‌طور تقریبی ۴/۵ درصد محاسبه شده است که این میزان شیب نشان‌دهنده وجود دامنه‌های نسبتاً شیب‌دار در بخش‌هایی از شهرستان است. این عوامل جغرافیایی تأثیر مستقیمی بر توسعه شهری، کشاورزی و برنامه‌ریزی‌های زیربنایی در شهرستان کاشان دارد (Khoshoei, 2025). شکل ۱ محدوده مطالعاتی مورد بررسی در این پژوهش را نشان می‌دهد.

در این پژوهش از یک رویکرد چندمعیاره با ترکیب روش AHP و GIS برای پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی در شهرستان کاشان استفاده شد. این رویکرد ترکیبی، با تلفیق داده‌های مکانی در محیط

مانند GIS و مدل‌های هیدرولوژیکی، امکان تحلیل دقیق‌تر شرایط حوضه‌های آبریز و تدوین راهکارهای مؤثر برای کاهش خطرپذیری را فراهم می‌سازد. از این رو، انجام مطالعات جامع پهنه‌بندی سیل و تعیین اولویت مناطق بحرانی می‌تواند نقش کلیدی در کاهش تلفات جانی، خسارات مالی و ارتقای تاب‌آوری مناطق آسیب‌پذیر ایفا کند.

هدف این پژوهش شناسایی مناطق با پتانسیل سیل زیاد در شهرستان کاشان بود. سیلاب یکی از مخاطرات طبیعی است که سالانه خسارات فراوانی به جوامع انسانی و محیط‌زیست وارد می‌کند و به‌ویژه در کشورهایی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، وقوع سیلاب‌ها به دلیل شرایط جغرافیایی و اقلیمی باعث افزایش تلفات جانی و مالی می‌شود. با توجه به اینکه وقوع سیلاب‌ها به عوامل مختلفی مانند بارش‌های شدید، تغییرات در پوشش گیاهی و تغییرات اقلیمی وابسته است، شناسایی و پهنه‌بندی سیل‌خیزی در حوضه‌های آبریز اهمیت ویژه‌ای دارد.

مطالعات متعدد در کشورهای مختلف نشان داده‌اند که عوامل گوناگون همچون شیب، پوشش گیاهی، وضعیت خاک و ویژگی‌های زمین‌شناسی تأثیرات قابل توجهی بر شدت وقوع سیلاب دارند. برای پیش‌بینی و مدیریت بهتر سیلاب‌ها، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و ابزارهای GIS و HEC-HMS بسیار مؤثر بوده است. این روش‌ها به‌ویژه در شبیه‌سازی و تحلیل سیلاب‌ها و شناسایی مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی بالا کمک می‌کنند و می‌توانند اولویت‌بندی عملیات کنترل سیلاب را بر اساس ویژگی‌های خاص هر منطقه انجام دهند. در شهرستان کاشان نیز به دلیل ویژگی‌های خاص جغرافیایی و اقلیمی، وقوع سیلاب‌های شدید و ویرانگر یک معضل مهم به شمار می‌آید؛ بنابراین، شناسایی مناطق با پتانسیل سیل زیاد و تعیین اولویت‌های کنترل سیلاب با استفاده از روش‌های مدل‌سازی و داده‌های مکانی ضروری است. این پژوهش می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد در مدیریت منابع آب و کاهش خسارات ناشی از سیلاب‌ها در شهرستان کاشان به کار رود.

۲- روش پژوهش

در طبیعت مجموعه عواملی هستند که باعث می‌شوند جریان رودخانه از حالت طبیعی و تعادل خود خارج شده و به یک عامل



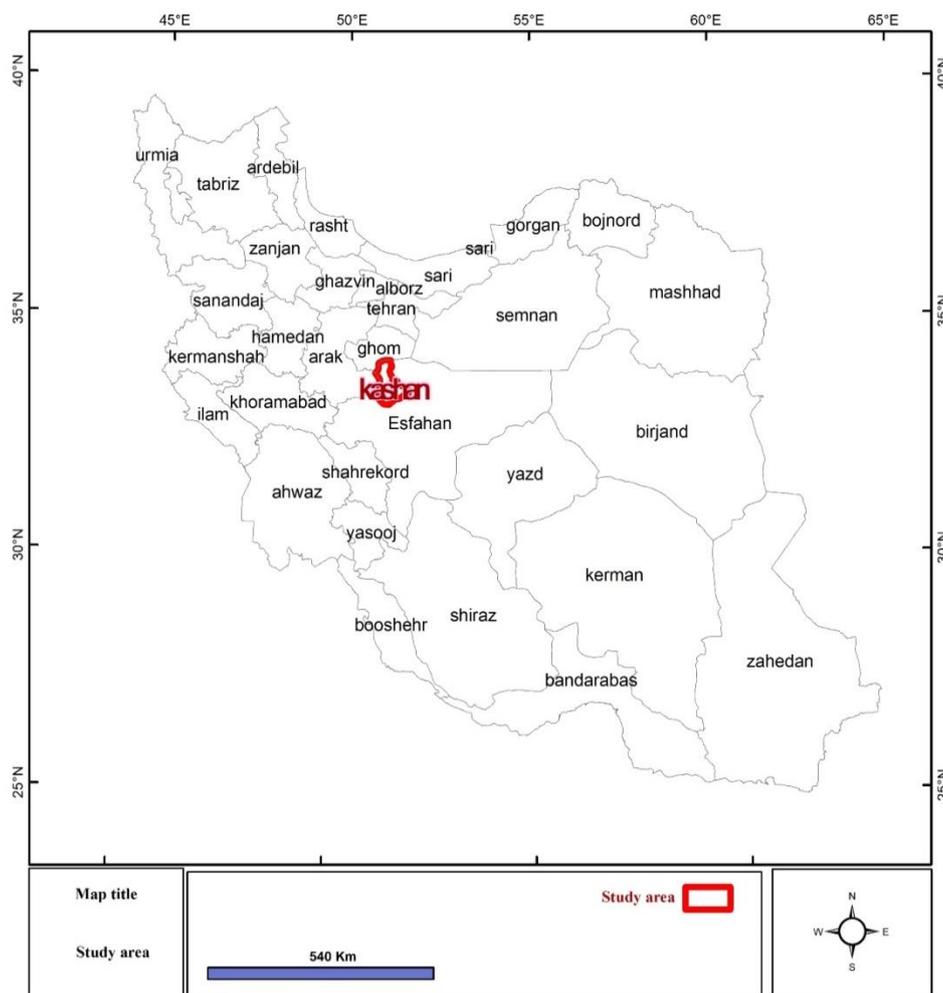


Fig. 1. Study area

شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

مقایسه‌ها بررسی شد. برای تعیین وزن شاخص‌ها در مدل AHP، از نظر ۱۲ متخصص در حوزه منابع طبیعی و مدیریت بلایا با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice انجام شد. مقایسات زوجی با نرم‌افزار Expert Choice انجام شد و نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۰۵ به دست آمد که بیانگر قابل‌اعتماد بودن فرایند وزن‌دهی بود. در این پژوهش بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از نرم‌افزار Choice Expert و با میانگین وزنی پرسشنامه‌ها، وزن نهایی پارامترها محاسبه شد. میزان نرخ ناسازگاری معیارها کمتر از ۵ درصد بود. در شکل ۲ مقدار وزن اختصاص‌یافته به هر یک از پارامترها بیان شده است.

GIS و وزن‌دهی به شاخص‌های مؤثر بر اساس اهمیت نسبی آن‌ها از طریق AHP، یک چارچوب علمی-عملی برای ارزیابی جامع خطر سیلاب فراهم می‌آورد. برای تعیین اهمیت و وزن هر شاخص (مانند شیب، پوشش گیاهی و بارش)، از روش AHP استفاده شد. در این فرایند، ابتدا یک ساختار سلسله‌مراتبی شامل هدف پژوهش (پهنه‌بندی سیل‌خیزی)، معیارها (شاخص‌ها) و گزینه‌ها (طبقات هر شاخص) تعریف شد. سپس، با استفاده از مقایسه‌های زوجی و بر اساس مقیاس ۹ درجه‌ای پیشنهادی (Saaty et al., 2022) اهمیت هر معیار نسبت به معیارهای دیگر مشخص شد. مقایسه‌ها در نرم‌افزار Expert Choice انجام شد و نرخ ناسازگاری برای تمامی



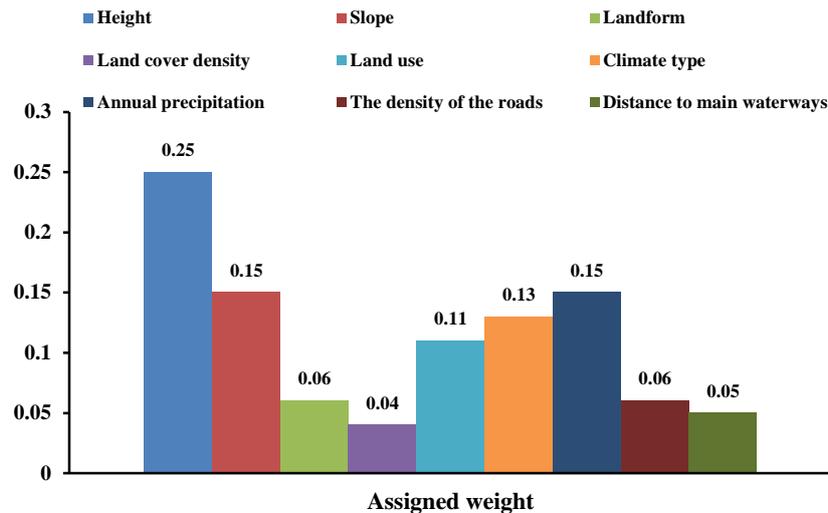


Fig. 2. Rank assigned to criteria affecting flooding

شکل ۲- رتبه اختصاص یافته به معیارهای مؤثر بر سیلاب

خطر سیلاب تأثیرگذار است. تحلیل و اولویت بندی این عوامل با استفاده از مدل های هیدرولوژیکی و ابزارهای تصمیم گیری مانند GIS می تواند در طراحی اقدامات کنترلی و کاهش خسارات سیلاب بسیار مؤثر باشد (Khoshoei et al., 2023).

در فرایند رتبه بندی طبقات شاخص های مؤثر بر سیل خیزی، از مقدار عددی استفاده شد. این مقدار به صورت قراردادی و بر پایه رویکرد AHP تعیین شدند. بر اساس دیدگاه (Saaty et al., 2022)، روش AHP به پژوهشگر این امکان را می دهد که با تکیه بر قضاوت های کارشناسی و تحلیل های تطبیقی، اولویت بندی نسبی معیارها و زیرمعیارها را به صورت کمی انجام دهد.

مطالعات متعددی از جمله (Saaty and Vargas, 2012، Malczewski, 1999) تأکید کرده اند که درجه بندی های عددی در AHP لزوماً استاندارد ثابتی ندارند، بلکه باید با در نظر گرفتن شرایط منطقه ای، ویژگی های داده ها و نظرات خبرگان حوزه مرتبط تعیین شوند. همچنین، در پژوهش هایی مانند (Merz et al., 2007، Khosravi et al., 2016) نیز از طبقه بندی های عددی مشابه برای متغیرهایی مانند شیب، ارتفاع، پوشش گیاهی و کاربری اراضی استفاده شده که بر اساس دانش محلی و تجربیات میدانی تنظیم شده اند.

در این پژوهش، ابتدا لایه های پایه شامل ارتفاع، شیب، بارش، نوع اقلیم، پوشش گیاهی و سایر شاخص های محیطی در محیط

شکل ۲ رتبه بندی نهایی و وزن اختصاص یافته به هر یک از معیارهای مؤثر بر سیلاب را بر اساس AHP نشان می دهد. همان طور که در این نمودار مشخص است، شیب زمین با کسب بالاترین وزن (۲۵ درصد)، به عنوان مهم ترین عامل تأثیرگذار بر سیل خیزی شهرستان کاشان شناسایی شده است. این نتیجه نشان می دهد که توپوگرافی منطقه و سرعت رواناب سطحی، نقش کلیدی در وقوع سیلاب ایفا می کند. پس از آن، پوشش گیاهی و بارش با (۱۵ درصد) در رتبه های بعدی قرار گرفته اند که به ترتیب بیانگر اهمیت نقش پوشش طبیعی و مقدار بارش در کنترل سیلاب هستند.

رتبه بندی عوامل مؤثر در سیلاب یکی از گام های اساسی در مدیریت و کنترل این پدیده است که با هدف شناسایی مهم ترین عوامل ایجاد و تشدید سیلاب انجام می شود. این عوامل شامل شیب زمین، پوشش گیاهی، نفوذپذیری خاک، بارش های شدید، مساحت و شکل حوضه آبریز، چگالی زهکشی حوضه و کاربری اراضی است. مطالعات نشان داده اند که شیب زمین به عنوان یکی از مهم ترین عوامل، تأثیر مستقیمی بر سرعت و شدت رواناب دارد (Khoshoei and Safavi, 2023). پوشش گیاهی نیز با کاهش فرسایش خاک و افزایش نفوذ آب، نقشی کلیدی در کنترل سیلاب ایفا می کند. از سوی دیگر، کاربری اراضی، به ویژه افزایش سطوح مصنوعی مانند مناطق شهری، به شدت بر تشدید رواناب و افزایش



رستری^۱ که ارزش‌ها و مقدار پیکسل‌ها برحسب هدف تغییر داده شده‌اند، تهیه شد. برای اخذ خروجی نهایی، برای فرمول نویسی در نرم‌افزار با استفاده از ابزار ماشین حساب رستری اقدام به تهیه نقشه نهایی شد.

۳-۱- توپوگرافی محدوده مورد مطالعه: مقدار رواناب با توجه به ویژگی‌های توپوگرافی تغییر می‌کند و بنابراین در این مرحله به توجه نقش به سزای توپوگرافی در پهنبندی سیل خیزی، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع^۲ محدوده، نقشه طبقات ارتفاعی رستری تهیه و با استفاده از ابزار Reclassify، طبقات ارتفاعی وزن‌دهی می‌شوند (شکل ۳). محدوده‌هایی که در طبقات ارتفاعی بالاتری قرار دارند، وزن بیشتری به آن‌ها اختصاص داده شد.

۳-۲- شیب محدوده مورد مطالعه: شیب حوضه آبریز اثری محسوس و قابل توجه در جریان سطحی آن دارد. تأثیر شیب روی مقدار رواناب، ناشی از اثر آن بر عمق و ظرفیت نگهداری آب و خاک و همچنین فرصت نفوذ آب در آن و سرانجام میزان نفوذ آب در خاک است. چنانچه مقدار شیب فزونی یابد، نقش عوامل افزایشنده نفوذ کاهش یافته و میزان رواناب زیاد می‌شود، زیرا تجمع آب در ناهمواری‌های سطحی رابطه نزدیک با شیب آبریز داشته و با افزایش آن تقلیل می‌یابد. در شرایط مساوی سرعت جریان در حوضه‌های با شیب تند نسبت به حوضه‌های با شیب ملایم سریع‌تر است؛ زیرا هر چه شیب بیشتر باشد سرعت آب بیشتر شده و سریع‌تر به انتهای حوضه رسیده و زودتر تجمع می‌یابد و در نتیجه دبی اوج هیدروگراف تیزتر می‌شود. عامل شیب یکی از عوامل بسیار مؤثر در وقوع پدیده سیلاب است. پارامتر شیب با سیل‌خیزی دارای رابطه مستقیم است یعنی با افزایش شیب سیل‌خیزی افزایش می‌یابد (شکل ۳).

۳-۳- نوع شکل زمین^۳: انواع مختلف شکل‌های زمین وجود دارد که هر یک تأثیر متفاوتی بر سیل‌خیزی یک منطقه دارد. در طبقه‌بندی محدوده مورد مطالعه، پهنه‌هایی با لندفرم دشت‌های سیلابی، آبرفتی و کوه‌ها تأثیر بیشتری بر سیل‌خیزی منطقه داشته و در امتیازدهی وزنی، نسبت به اراضی دشتی، مخلوط یا تپه‌ها، امتیاز بالاتری کسب می‌کند (شکل ۴).

GIS تولید شدند. این نقشه‌ها به‌عنوان ورودی مدل AHP به کار گرفته شدند. هر لایه، پس از طبقه‌بندی و باز نرمال‌سازی با استفاده از ابزار Reclassify، وارد فرایند وزن‌دهی شد. سپس، با استفاده از ابزار Raster Calculator و اعمال وزن‌های به‌دست‌آمده، نقشه نهایی پهنبندی خطر سیلاب تولید شد. در جدول ۱ طبقه‌بندی عوامل دخیل در سیلاب نمایش داده شده است. همچنین بر اساس ضریب اهمیت رتبه هر طبقه در جدول بیان شده است. طبقه‌بندی بیان شده در جدول ۱ از رتبه ۱ تا ۱۰۰ به هر کدام از نقشه‌های پایه اختصاص داده شده است. با افزایش رتبه خطر، وقوع سیلاب در هر یک از پارامترها افزایش خواهد یافت. به عبارت دیگر عدد ۱ نشان‌دهنده خطر سیلاب پذیری کمتر و عدد ۱۰۰ نشان‌دهنده پتانسیل سیل‌خیزی بیشتر است.

لایه‌های ورودی ابتدا با استفاده از ابزار Reclassify به طبقات استاندارد تبدیل شده‌اند (مقیاس ۱ تا ۱۰۰)، سپس با اعمال وزن‌های AHP به صورت زیر جمع شده‌اند (معادله ۱)

$$\text{Flood Susceptibility Index} = (W_1 * L_1) + (W_2 * L_2) + \dots + (W_n * L_n) \quad (1)$$

که در آن

W_n وزن هر لایه بر اساس AHP و L_n مقدار استاندارد شده هر لایه در واحد رستر (Reclassified) است.

در مورد تأثیر مثبت یا منفی هر متغیر (مثلاً تراکم پوشش گیاهی با تأثیر منفی بر سیلاب)، امتیازدهی طبقات در مرحله Reclassification با دقت بر همین مبنا انجام شده است؛ برای نمونه، «پوشش گیاهی بیشتر» دارای امتیاز کمتر و «فاقد پوشش» دارای امتیاز بیشتر است.

۳- نتایج و بحث

به منظور پهنبندی سیل‌خیزی شهرستان کاشان از شاخص‌های تأثیرگذار بر سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز استفاده می‌شود. نقشه‌های وکتوری شاخص‌های اصلی در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد و پس از تهیه نقشه وکتوری هر شاخص، با استفاده از ابزار Reclassify طبقات برحسب تأثیر آن در سیل‌خیزی، وزن‌دهی شده و نقشه

¹ Raster

² Digital Elevation Model (DEM)

³ Landform



جدول ۱- طبقه‌بندی پارامترهای مؤثر بر پتانسیل سیل‌خیزی

Table 1. Classification of parameters affecting flood potential

Map	Classification	Ranking
Elevation map (meters above sea level)	783--1272	5
	1273--1816	25
	1817--2381	50
	2382--3596	100
Slope map (percentage)	0--6	5
	7--13	25
	14--21	50
	22--30	75
	31--73	100
Landform map	Miscellaneous lands	5
	Mixed Lands	10
	Low Plains	10
	Plateaus	20
	Hills	50
	Alluvial Plains	50
	Slope Plains	50
	Flood Plains	70
	Foothills	100
	Land cover density map	Good
Relatively good		10
Low		60
Very low		80
Land use map	No vegetation	100
	Mixed Lands	10
	Lowlands	10
	Industrial	10
	Residential	20
	Plateaus	30
	Hills	40
	Slope Plains	40
	Flood Plains	60
	Mountains	100
Climate type map	Ultra-arid	10
	Arid	15
	Mild semi-arid	20
	Intermediate semi-arid	25
Annual precipitation map (mm)	150	60
	200	80
	300	100
Watercourse density map (L/Km)	0--0.17	40
	0.18--0.34	50
	0.35--0.51	70
	0.52--0.68	90
	0.69--0.86	100
Distance map to main waterways (km)	0--8.1	25
	8.2--14.3	20
	14.4--24.3	15
	24.4--32.3	15
	32.4--40.5	10



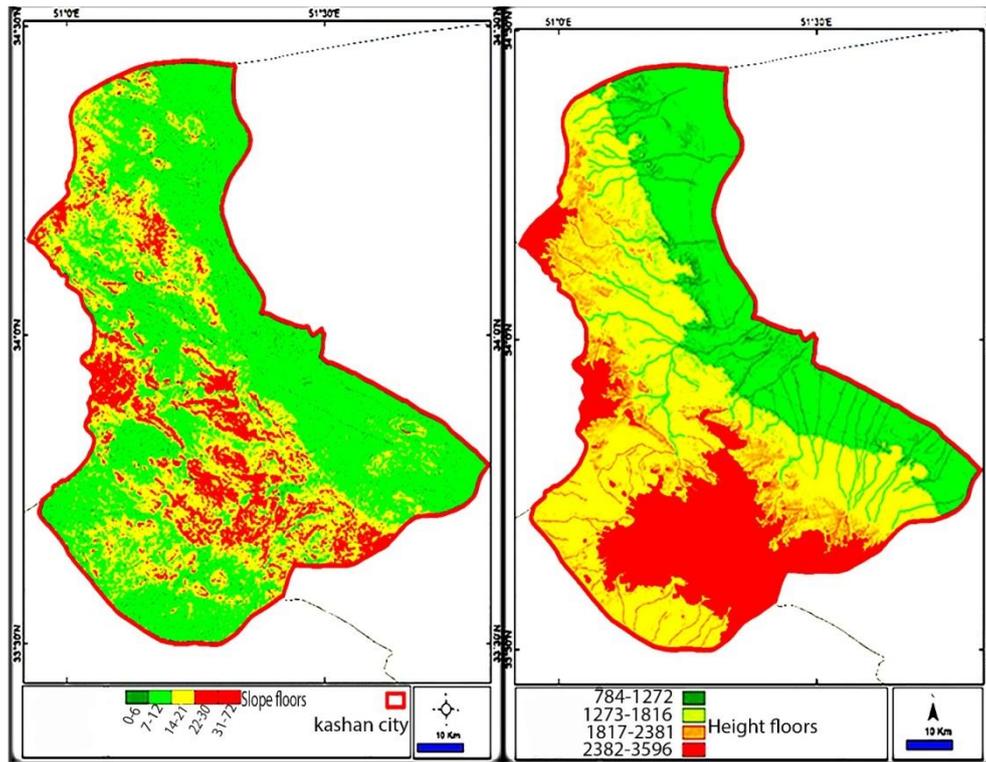


Fig. 3. Topography and slope of the study area
 شکل ۳- توپوگرافی و شیب محدوده مورد مطالعه

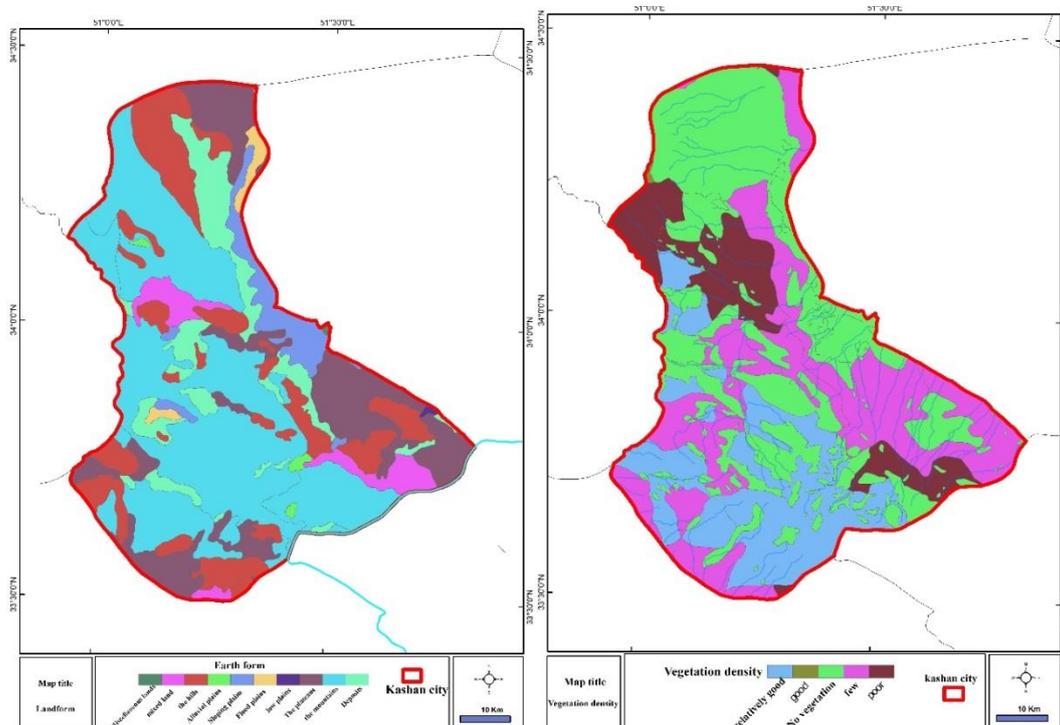


Fig. 4. Landform and vegetation density of the study area
 شکل ۴- شکل زمین و تراکم پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه



سطوح کاربری دارای پوشش گیاهی از قبیل باغ و کاربری‌های مشابه آن باعث مصرف و نفوذ بیشتر آب شود و بر کاهش دبی، نقش مؤثری داشته باشد. تغییرات کاربری و پوشش اراضی تأثیر مستقیمی بر تغییر رژیم هیدرولوژیک حوضه دارد. به عبارتی می‌تواند با افزایش سطوح زمین‌های بایر و کاربری‌های مشابه آن باعث سیل‌خیزی حوضه می‌شود. بنابراین در این مرحله اقدام به تهیه نقشه تپ اراضی کرده و برحسب نوع کاربری وزندهی می‌شوند. (شکل ۵).

۳-۶- اقلیم محدوده مورد مطالعه: سیل با نوع اقلیم رابطه مستقیم دارد و می‌توان گفت اقلیم مرطوب با بارش‌های شدید مستعد مخاطرات اقلیمی از نوع سیل است؛ بنابراین در وزندهی سیلاب خیزی، این محدوده وزن بیشتری به خود می‌گیرد. متقابلاً محدوده‌های خیلی خشک در این وزندهی امتیاز کمتری به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۵).

۳-۴- تراکم پوشش گیاهی: گیاهان با جذب بخشی از بارش‌ها موجب باز داشته شدن بخشی از رواناب شده و رواناب‌های سطحی را کاهش می‌دهند. بنابراین باعث کاهش قابل‌توجهی در سیلاب‌های مخرب خواهند شد؛ بنابراین در این مرحله اقدام به تهیه نقشه تراکم پوشش گیاهی در چهار طبقه مطابق شکل ۴ شده است. طبیعی است که پهنه‌های فاقد پوشش گیاهی هستند دارای امتیاز بیشتر در وزندهی می‌باشند و متقابلاً منطقی که دارای پوشش گیاهی ضعیف و یا فاقد پوشش گیاهی هستند. در هنگام Reclassify کردن وزن کمتری به آنان اختصاص داده می‌شود.

۳-۵- تپ اراضی محدوده مورد مطالعه: تغییرات تپ اراضی تأثیر مستقیمی بر تغییر رژیم هیدرولوژیک هر حوضه دارد. نحوه استفاده از اراضی یکی از عوامل مهم در ایجاد سیل، میزان و شدت سیل و نیز ارزیابی میزان خسارات ناشی از سیلاب به بخش‌های مختلف است. به عبارتی می‌تواند با افزایش سطوح زمین‌های بایر و کاربری‌های مشابه آن باعث سیل‌خیزی حوضه شده و با افزایش

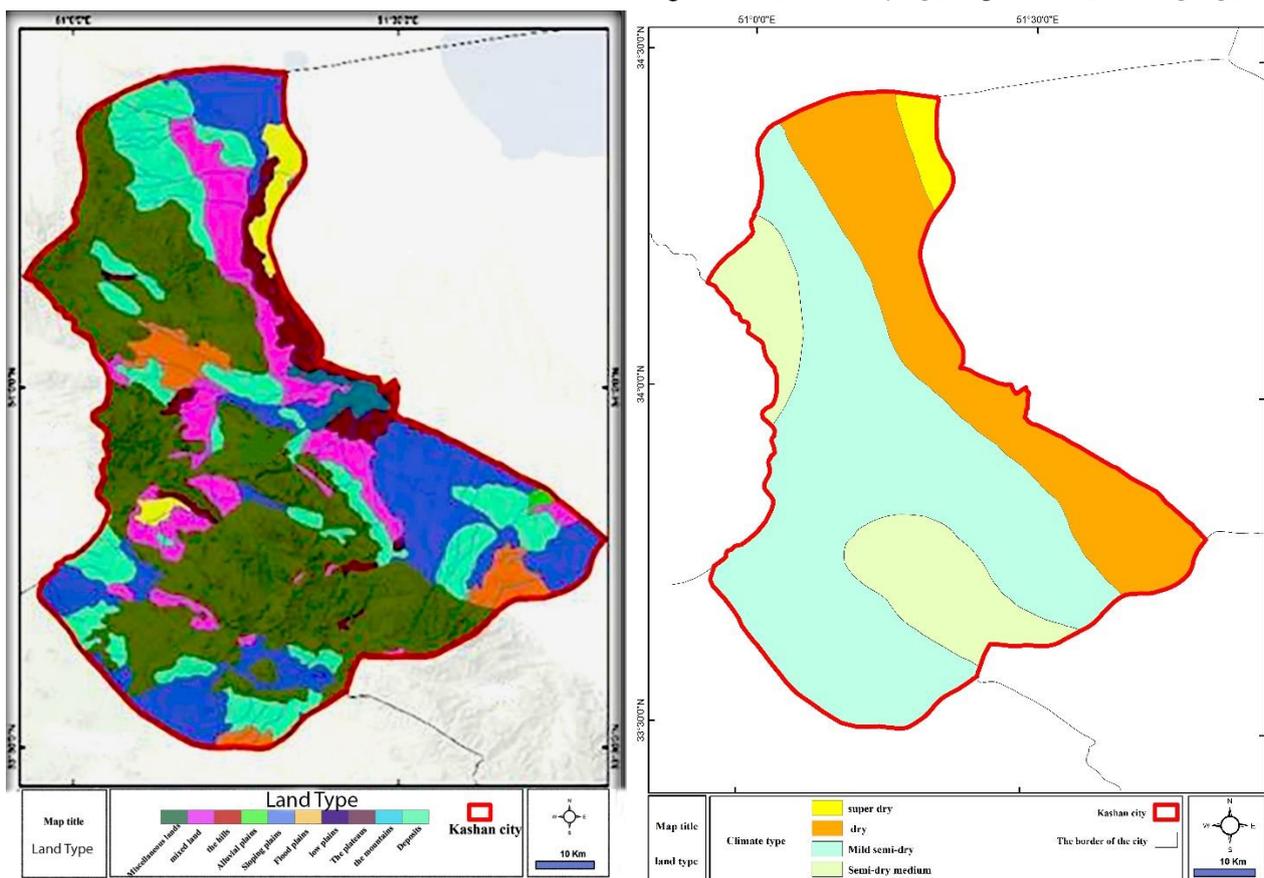


Fig. 5. Land use and climate of the study area
شکل ۵- کاربری زمین و اقلیم محدوده مورد مطالعه



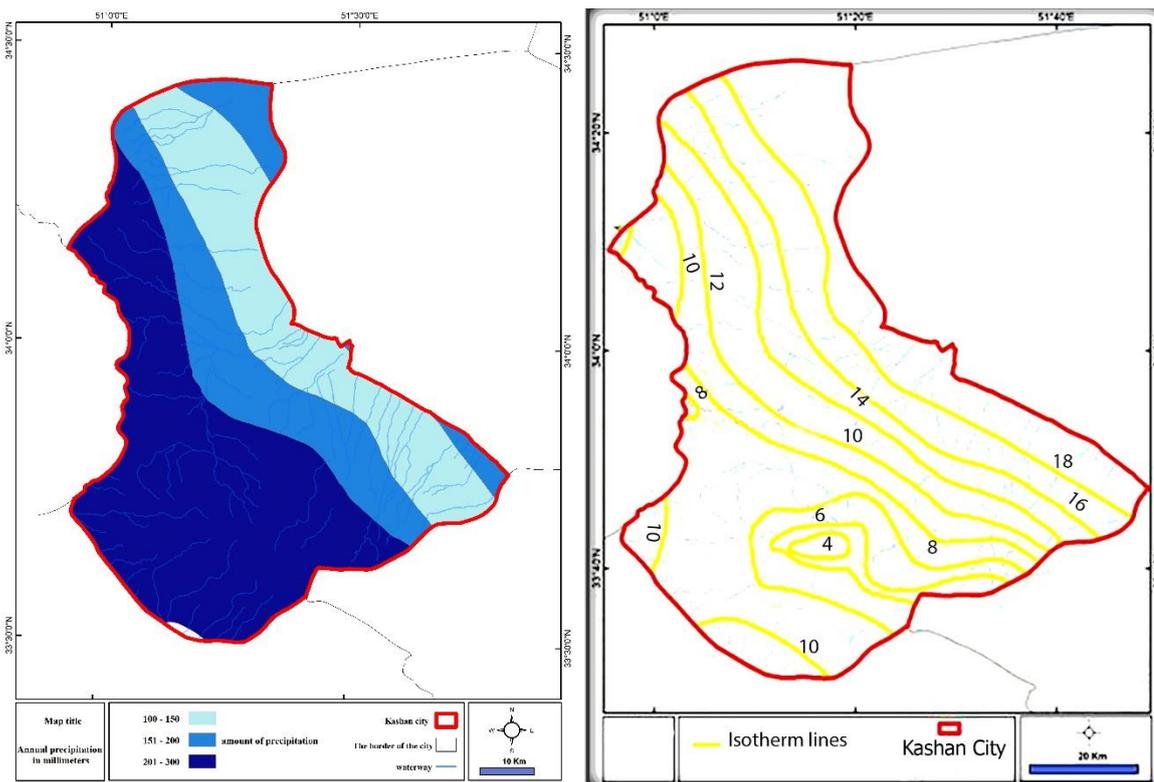


Fig. 6. Precipitation and temperature of the study area

شکل ۶- میزان بارش و دمای محدوده مورد مطالعه

برای نشان دادن محل تمرکز خطوط آبراهه در یک حوضه است (شکل ۷).

۳-۱۰- تعیین فاصله تا آبراهه‌ها اصلی: قطعاً یکی از معیارها یا متغیرهای مؤثر نقشه فاصله تا یک نقطه خاص است. از جمله این توابع ابزار فاصله اقلیدسی است. با استفاده از این ابزار فاصله تا آبراهه سنجیده می‌شود. نقشه‌های فاصله ایجاد شده به صورت نقشه‌های رستری خواهند بود که فاصله هر یاخته یا پیکسل در این نقشه در واقع بیانگر کوتاه‌ترین فاصله تا معیار و متغیر مورد بررسی است (شکل ۷).

پس از تهیه نقشه وکتوری شاخص‌های اصلی تأثیرگذار بر سیل خیزی شهرستان کاشان، از ابزار Reclassify به پیکسل‌ها مقدار دلخواه برحسب هدف، برای وزن‌دهی انجام شده است. در ادامه از ابزار محاسبه‌گر رستر^۱ برای اخذ خروجی نهایی استفاده شد. با استفاده از ابزار محاسبه‌گر رستر تمامی لایه‌های تهیه شده در مرحله قبل با یکدیگر جمع شده و خروجی نهایی مطابق شکل ۸ تهیه

۳-۷- میزان بارش: بارش به‌عنوان مهم‌ترین عنصر اقلیمی همواره پیچیدگی‌های خاصی داشته است و میزان، شدت و نوع بارش رابطه مستقیم با سیل خیزی دارد. پس از یک بارش بلافاصله رواناب‌ها ایجاد شده و در صورت شدت بارش باعث می‌شود سیلاب پدید آمده و خسارات هنگفتی به منابع کشاورزی و مالی مردم برسد (Khademi and Akbari, 2014). مناطقی که میزان بارش آن‌ها زیاد است، دارای وزن بیشتر (پتانسیل سیل خیزی بالا) و پهنه با بارش کم دارای وزن کمتر در طبقه‌بندی خواهد بود (شکل ۶).

۳-۸- دما: عنصر دما یکی از پارامترهای مهم تأثیرگذار در سیل خیزی یک منطقه است و رابطه مستقیمی با میزان تبخیر و رواناب دارد و در بین شاخص‌های مورد مطالعه وزن زیادی به آن اختصاص داده شده است (شکل ۶).

۳-۹- تراکم شبکه آبراهه‌ها: تراکم زهکشی یک پارامتر ژئومورفولوژی و هیدرولوژی و از شاخص‌های اصلی میزان تراکم شبکه آبراهه‌ها در سطح حوضه هست. نقشه تراکم به سادگی راهی

¹ Raster Calculator



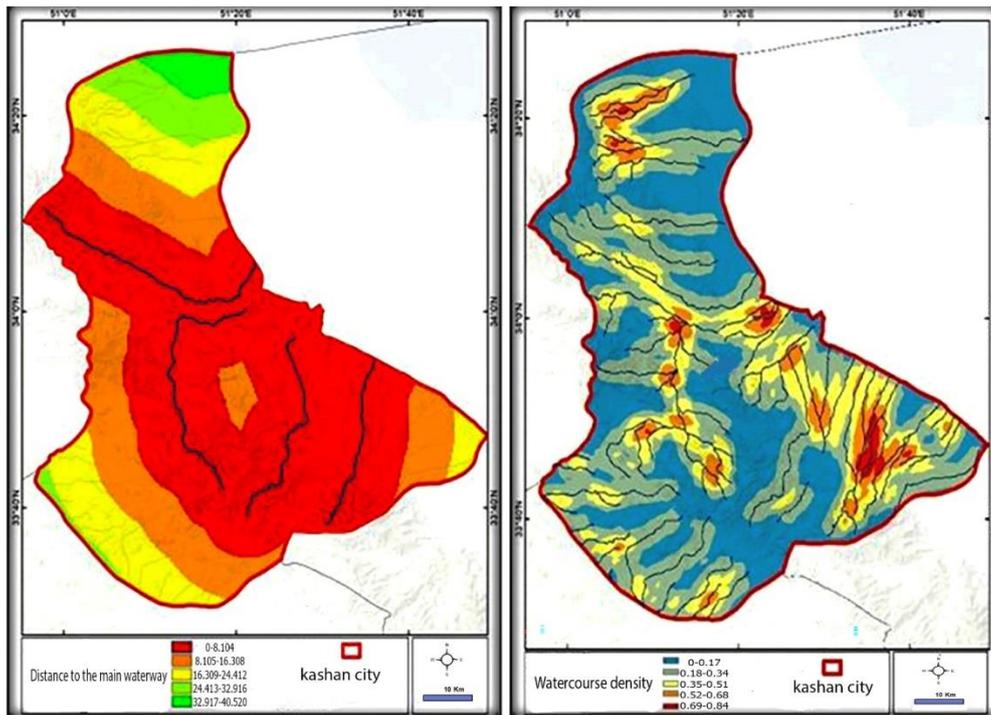


Fig. 7. Waterway network density and Euclidean distance

شکل ۷- تراکم شبکه آبراهه‌ها و فاصله اقلیدسی

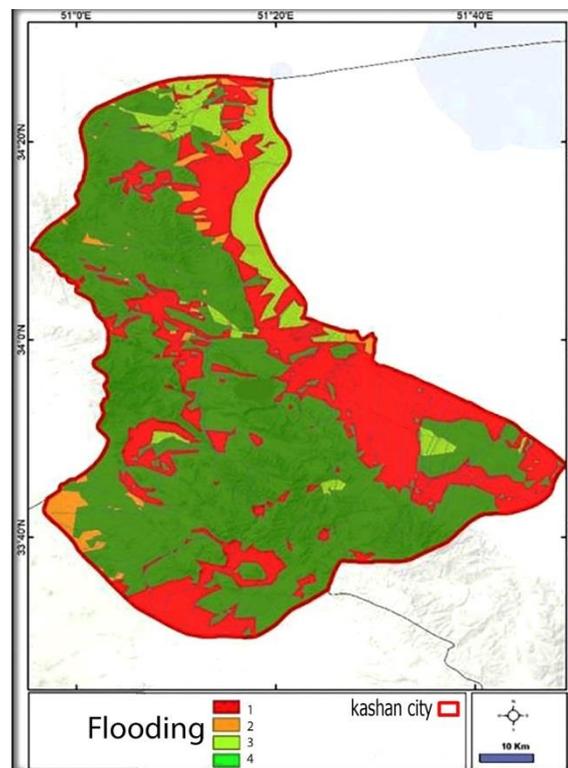


Fig. 8. Final flood zoning of Kashan City in raster format

شکل ۸- پهنه‌بندی نهایی سیل‌خیزی شهرستان کاشان با فرمت رستر



در گام دوم، برای سنجش عملکرد پیش‌بینی‌کننده مدل، از آزمون منحنی^۱ استفاده شد. مساحت زیر این منحنی^۲ برابر با ۰/۸۹۱ به دست آمد که نشان‌دهنده قدرت تفکیک بسیار خوب مدل در شناسایی مناطق مستعد سیل است. این دو روش اعتباربخشی، صحت و دقت بالای مدل پیشنهادی را تأیید کرده و به نتایج پژوهش اعتبار می‌بخشد.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور شناسایی و پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز شهرستان کاشان، با بهره‌گیری از روش‌های تحلیل فضایی در GIS و استفاده از مدل‌سازی داده‌های محیطی انجام شد. در فرایند پژوهش، شاخص‌های متعدد و مؤثر در سیل‌خیزی، شامل ویژگی‌های توپوگرافی، شیب زمین، نوع لندفرم، تراکم پوشش گیاهی، تیپ اراضی، اقلیم، میزان بارش، دما، تراکم شبکه آبراه‌ها و فاصله از آبراه‌های اصلی، مورد بررسی دقیق قرار گرفتند. هر یک از این عوامل با استفاده از ابزارهای تحلیلی در GIS وزن‌دهی شده و بر اساس اهمیت آن‌ها در ایجاد و تشدید سیلاب طبقه‌بندی شدند. یافته‌های کلیدی شامل موارد زیر است: توپوگرافی و شیب زمین: نقشه‌های رستری ارتفاع و شیب نشان‌دادند که مناطق مرتفع و با شیب تند بیشتر مستعد سیلاب هستند، زیرا افزایش شیب سبب کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش رواناب سطحی می‌شود.

نوع لندفرم: دشت‌های سیلابی و مناطق آبرفتی نسبت به سایر اشکال زمین، مانند تپه‌ها و دشت‌های کم‌ارتفاع، تأثیر بیشتری بر پتانسیل سیل‌خیزی دارند.

پوشش گیاهی: مناطق با پوشش گیاهی کم یا فاقد پوشش، به دلیل کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب، خطر سیلاب بیشتری دارند.

تیپ اراضی و کاربری زمین: زمین‌های بایر و غیرمستحکم بیشترین سهم را در افزایش سیلاب دارند، در حالی که اراضی کشاورزی و باغ‌ها به دلیل نفوذپذیری بیشتر آب و مصرف بیشتر رطوبت، خطر سیلاب کمتری را نشان می‌دهند.

اقلیم و بارش: اقلیم مرطوب و بارش‌های شدید تأثیر مستقیم در سیلاب‌خیزی منطقه دارند. مناطقی با بارش‌های سنگین، مانند

می‌شود و به این ترتیب به هدف نهایی پژوهش که پهنه‌بندی سیل‌خیزی شهرستان کاشان است، دست می‌یابیم. در این نقشه پهنه با رنگ قرمز و نشان داده شده با عدد یک، دارای بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی و پهنه چهار دارای کمترین خطرات سیل‌خیزی است. خروجی نهایی نشان‌داد پتانسیل سیل‌خیزی در شرق شهرستان زیاد بوده و مناطق غربی شهرستان کمتر در معرض سیل‌خیزی قرار دارد. برای محاسبه مساحت پهنه‌های در معرض سیل‌خیزی شهرستان کاشان، ابتدا نقشه رستری تولید شده در مراحل قبلی که شامل داده‌های مربوط به مناطق سیل‌خیز است، به نقشه وکتوری تبدیل می‌شود. این تبدیل باهدف افزایش دقت در تحلیل و استخراج اطلاعات فضایی انجام می‌گیرد، زیرا نقشه‌های وکتوری به دلیل قابلیت نمایش مرزهای دقیق و اعمال محاسبات تحلیلی پیچیده بر روی لایه‌های مختلف جغرافیایی، مناسب‌تر هستند.

پس از این مرحله، پهنه‌های سیل‌خیز به طبقات مختلف بر اساس میزان خطر دسته‌بندی می‌شوند و مساحت هر طبقه با استفاده از ابزارهای موجود در نرم‌افزارهای GIS محاسبه می‌شود. این اطلاعات می‌توانند در برنامه‌ریزی مدیریت بحران و اولویت‌بندی اقدامات کنترلی برای کاهش خسارات سیلاب به‌طور مؤثر استفاده شوند. در شکل ۹ مساحت هر یک از ۴ پهنه سیلاب بر اساس مترمربع در شهرستان کاشان نمایش داده شده است.

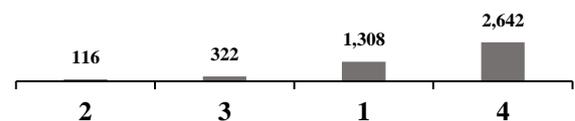


Fig. 9. Area of the areas with flood potential (km²)
شکل ۹- مساحت محدوده‌های دارای پتانسیل سیل‌خیزی (km²)

برای ارزیابی و تأیید دقت مدل نهایی پهنه‌بندی سیل‌خیزی، از دو روش مجزا استفاده شد تا نتایج به دست آمده کاملاً قابل اعتماد باشند. در گام اول، نتایج مدل با داده‌های تاریخی وقوع سیلاب‌های گذشته در منطقه مورد مقایسه قرار گرفت. این مقایسه نشان داد که مدل توانسته است با دقت ۸۷/۵ درصد، مناطق پرخطر را به درستی شناسایی کند و با شواهد میدانی مطابقت دارد.

¹ Receiver Operating Characteristic (ROC)

² Area Under the Curve (AUC)



شهری، ایجاد حوضچه‌های نگهداری آب و اصلاح پوشش گیاهی مناطق حساس را به صورت هدفمند اجرا کنند. این یافته‌ها در برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع طبیعی، پیشگیری از سیلاب‌های مخرب و کاهش آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی سیلاب‌ها نقش به سزایی دارند.

یافته‌های این پژوهش با ارائه نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان کاشان، ابزاری کاربردی برای مدیران شهری و نهادهای مرتبط با مدیریت بحران فراهم می‌کند. این نتایج می‌توانند در اولویت‌بندی اقدامات پیشگیرانه، تعیین محل مناسب برای احداث سازه‌های کنترل سیلاب، به‌روزرسانی طرح‌های توسعه شهری و نیز طراحی سامانه‌های هشدار سریع استفاده شوند. همچنین، استفاده از AHP و GIS امکان شناسایی دقیق مناطق پرخطر را فراهم کرده است که می‌تواند به تخصیص مؤثر منابع و افزایش آمادگی جوامع محلی در برابر سیلاب منجر شود.

۵- قدردانی

به این وسیله نویسندگان از دانشگاه کاشان برای حمایت‌ها، همچنین شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان اصفهان برای جمع‌آوری داده‌های موردنیاز صمیمانه قدردانی می‌کنند.

بخش‌های شرقی شهرستان، مستعد وقوع سیلاب‌های مخرب هستند.

دما و تراکم شبکه آبراهه‌ها: افزایش دما که بر تبخیر و کاهش ذخایر آبی تأثیر می‌گذارد، می‌تواند به افزایش رواناب سطحی کمک کند. همچنین، تراکم بالای شبکه آبراهه‌ها در مناطق با خطر بالای سیلاب به‌طور مشهود دیده شد.

نقشه نهایی که بر اساس تجمیع لایه‌های اطلاعاتی و تحلیل آن‌ها با ابزارهای پیشرفته در GIS تهیه شد، مناطق سیل‌خیز را در چهار طبقه مشخص کرد. این نقشه به صورت رنگی (از قرمز برای بالاترین خطر تا رنگ‌های خنثی برای کمترین خطر) طبقه‌بندی شده است. پهنه ۱ (بیشترین خطر): ۳۰ درصد از مساحت کل شهرستان را در بر گرفته و مناطق شرقی با تراکم جمعیت و توسعه شهری در این پهنه قرار دارند. پهنه ۴ (کمترین خطر): ۶۰ درصد از مساحت کل، عمدتاً در مناطق غربی و با شیب کم و تراکم پوشش گیاهی بیشتر واقع شده است.

این پژوهش ابزارهای تحلیلی مفیدی برای برنامه‌ریزی مدیریت بحران و کاهش خسارات ناشی از سیلاب ارائه می‌دهد. اطلاعات دقیق پهنه‌بندی به سازمان‌های مرتبط کمک می‌کند تا با اولویت‌بندی مناطق پرخطر، اقداماتی مانند تقویت زیرساخت‌های

References

- Allafta, H. and Opp, C., 2021. GIS-based multi-criteria analysis for flood prone areas mapping in the trans-boundary Shatt Al-Arab basin, Iraq-Iran. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 2087-2116. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1955755>.
- Asgari, Sh., Safari, A. and Fathi, H., 2018. Investigation of flooding in Jafarabad catchment using factor analysis. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 18(50), 77-90. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jgs.18.50.77>.
- Betrie, G. D., Mohamed, Y. A., Van Griensven, A. and Srinivasan, R., 2011. Sediment management modeling in the Blue Nile Basin using SWAT model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(3), 807-818. <https://doi.org/10.5194/hess-15-807-2011>.
- Braud, I., Fernandez, P. and Bouraoui F., 1998. Study of the rainfall-runoff process in the Andes region using a continuous distributed model. *Journal of Hydrology*, 216, 155-171. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00292-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00292-3).
- Dang, N. M., Babel, M. S. and Luong, H. T., 2011. Evaluation of flood risk parameters in the Day River flood diversion area, Red River delta, Vietnam. *Natural Hazards*, 56, 169-194. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9558-x>.
- Gao, H., Cai, H. and Duan, Z., 2018. Understanding the impacts of catchment characteristics on the shape of the storage capacity curve and its influence on flood flows. *Hydrology Research*, 49(1), 90-106. <https://doi.org/10.2166/nh.2017.245>.



- Garrote, L. and Bras, R. L., 1994. A distributed model for real-time flood forecasting using digital elevation model. *Journal of Hydrology*, 167, 279-306. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)02592-Y](https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)02592-Y).
- Giannakis, E., Bruggeman, A., Djuma, H., Kozyra, J. and Hamme, J., 2016. Water pricing and irrigation across Europe: opportunities and constraints for adopting irrigation scheduling decision support systems. *Water Science and Technology: Water Supply*, 16(1), 245-252. <https://doi.org/10.2166/ws.2015.136>.
- Goodarzi, M. R., Fatehifar, A. and Moradi, A., 2020. Predicting future flood frequency under climate change using Copula function. *Water and Environment Journal*, 34, 710-727. <https://doi.org/10.1111/wej.12572>.
- Inci Tekeli, Y., Akgul, S., Dengiz, O. and Akuzum, T., 2005. Estimation of flood discharge for small watershed using SCS Curve Number and GIS. *International Congress on River Basin Management*, 527-537. [Link]
- Islamy, A. and Molaei, A., 2005. Assessment of HEC-RAS model application in floodplain mapping: case study of Narmashir River in Bam. 2nd National Conference on Watershed Management and Water Resources, Kerman, Iran. (In Persian). [Link]
- Karimi, P., Safaval, P. A., Azizi-Zarkash, M. M. K. and Kalashami, H. K., 2023. Flood risk zoning using GIS: case study of the Khorramabad flood in April 2019. *Acta Hydrotechnica*, 35(63), 89-100. <https://doi.org/10.15292/acta.hydro.2022.07>.
- Khademi, F. and Akbari, M., 2014. Methods of flood control. *National Conference on Flood Management and Engineering with Urban Flood Approach*. (In Persian). [Link]
- Khoshoei, M., Safavi, H. R. and Zamani, A. R., 2016. Design of drought monitoring system based on integrated index in Zayanderood River Basin-Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 20, 27-43. (In Persian). <https://doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.20.75.27>.
- Khoshoei, M. and Safavi, H. R., 2023. Developing the drought index in natural and engineering sub-basins (case study: Zayandehrood Basin). *Iran-Water Resources Research*, 19(4), 48-61. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/IWRR.2023.173579>.
- Khoshoei, M., Safavi, H. R. and Kazemi, A., 2023. Integrated index for drought assessment in Isfahan Province. *Journal of Water and Soil Science*, 27(1), 113-136. (In Persian). <https://doi.org/10.47176/jwss.27.1.28582>.
- Khoshoei, M., 2025. Estimation of water stress multivariable index (case study: Kashan City). *Journal of Water and Soil Science*, 29(2), 33-55. (In Persian). <https://doi.org/10.47176/jwss.29.2.28583>.
- Khosravi, Kh., Nohani, E., Maroufinia, E. and Pourghasemi, H. R., 2016. A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. *Natural Hazards*, 83, 947-987. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2>.
- Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P. et al., 2014. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 1-28. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.857411>.
- Lastra, J., Fernandez, E., Diez-Herrero, A. and Marquinez, J., 2008. Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula. *Natural Hazards*, 45, 277-293. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9164-8>.
- Levy, J. K., 2005. Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19, 438-447. <https://doi.org/10.1007/s00477-005-0009-2>.
- Lumbroso, D. and Gaume, E., 2012. Reducing the uncertainty in indirect estimates of extreme flash flood discharges. *Journal of Hydrology*, 414-415, 16-30. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.048>
- Malczewski, J., 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley and Sons. ISBN: 978-0-471-32944-2. [Link]



- Masoudian, M. and Fenderski, N., 2014. Reducing urban flood damage using non-structural management. *Watershed Management Research Journal*, 5(10), 1-14. (In Persian). [[Link](#)]
- Merz, B. and Bardossy, A., 1996. Effects of spatial variability on the rainfall runoff process in a small loess catchment. *Journal of Hydrology*, 212-213, 304-317. [https://doi.org/10.1016/s0022-1694\(98\)00213-3](https://doi.org/10.1016/s0022-1694(98)00213-3).
- Merz, B., Thielen, A. H., and Gocht, M., 2007. Flood Risk Mapping At the Local Scale: Concepts and Challenges. In Begum S., Stive, M. J. F. and Hall, J. W. ed. *Flood Risk Management in Europe*. pp. 231-251. Springer. [[Link](#)]
- Morgan, R. P. C., 2009. *Soil Erosion and Conservation*. 3rd Edition. Blackwell Publishing, London: Longman. [[Link](#)]
- Moayeri, M. and Entezari, M., 2008. Floods and an overview of floods in Isfahan Province. *Journal of Human Settlements Planning Studies (Geographical Perspective)*, 3(6), 109-123. (In Persian). [[Link](#)]
- NOAA National Severe Storms Laboratory. Severe weather 101: Flood types. *National Oceanic and Atmospheric Administration*. [[Link](#)]
- Pathan, A. I. and Agnihotri, P. G., 2021. Application of new HEC-RAS version 5 for 1D hydrodynamic flood modeling through geospatial techniques: case of River Purna at Navsari, Gujarat, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(2), 1133-1144. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00961-0>.
- Qaemi, H., Morid, S. and Abolghasem, Sh., 1996. Flood-susceptibility model of the Karkkeh sub-basins. *Niwar*, (30), 10-27. (In Persian). [[Link](#)]
- Rajabizadeh, Y., Ayyoubzadeh, S. A. and Zahiri, A., 2019. Flood survey of Golestan province in 2018-2019 and providing solutions for its control and management in the future. *Journal of Eco Hydrology*, 6(4), 921-942. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/IJE.2019.283004.1137>.
- Saaty, T. L., Vargas, L. and St, C., 2022. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill. ISBN: 978-1-4614-3597-6. [[Link](#)]
- Saaty, T. L. and Vargas, L. G., 2012. *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Springer Science and Business Media. New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>.
- Saghafian, B., Ghermezcheshmeh, B. and Nozari, H., 2005. Spatial distribution of flood intensity in hydrological units: a case study of the Dez River Basin. *5th Iranian Hydraulic Conference*, Kerman, Iran. (In Persian). [[Link](#)]
- Schueler, T. R., 1987. *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban Best Management Practices*. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, DC. 272. [[Link](#)]
- Shaabani Bazneshin, A., Emadi, A. and Fazloul, R., 2016. Investigation of the flooding potential of basins and identification of flood-producing areas: case study of Neka Basin. *Journal of Watershed Management Research*, 7(14), 20-28. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/jwmr.7.14.28>.
- Shahabi, H., 2021. Application of artificial neural networks, frequency ratio, and evidential belief function models in flood susceptibility mapping in Haraz watershed. *Urban Research and Planning Journal*, 181-202. (In Persian). <https://doi.org/20.1001.1.22285229.1400.12.45.9.3>.
- Shokrikochak, S., 2011. The role of sub-basins in flood severity in the Eydenk sub-watershed of the Maroon basin. MSc. Thesis in Water Resources Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (In Persian).
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). Flash flood (MH0603). UNDRR Hazard Information Profiles. [[Link](#)]
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). Snowmelt flood (MH0610). UNDRR Hazard Information Profiles. [[Link](#)]
- Yamani, M. and Enayati, M., 2006. Analysis of flood data in relation to the geomorphologic characteristics of the Fashsand and Behjatabad basins. *Geography Research*, 47-57. (In Persian). [[Link](#)]

