



University of Tehran Press

Environmental

*Hazards*

Management



Iranian Hazardology Association  
Online ISSN: 2383-0530

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

## Flooding Assessment of Qaleh Chai basin Using MABAC Multi Criteria Decision Making Method

Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam<sup>1\*</sup> | Masoumeh Rajabi<sup>2</sup> | Tohid Rahimpour<sup>3</sup> | Ayuob Farazian<sup>4</sup>

1. Corresponding Author, Professor, University of Tabriz, Iran. Email: [Rezmogh@tabrizu.ac.ir](mailto:Rezmogh@tabrizu.ac.ir)
2. Professor, University of Tabriz, Iran. Email: [mrjabi@tabrizu.ac.ir](mailto:mrjabi@tabrizu.ac.ir)
3. Postdoctoral Researcher, University of Tabriz, Iran. Email: [rahimpour1990@gmail.com](mailto:rahimpour1990@gmail.com)
4. PhD Student, University of Tabriz, Iran. Email: [Farazian2000@yahoo.com](mailto:Farazian2000@yahoo.com)

### ARTICLE INFO

**Article type:**  
Research Article

**Article History:**  
**Received** 29 December 2024  
**Revised** 25 January 2025  
**Accepted** 29 February 2025  
**Published** 01 March 2025

**Keywords:**  
Flooding,  
Prioritization,  
Analytical Network Process,  
MABAC,  
Qaleh Chai Basin.

### ABSTRACT

Floods are considered the country's most frequent and destructive hazards, causing significant damage every year. Prioritizing basins regarding flood potential is the first step in managing this natural hazard. The Qaleh Chai basin, located in Ajabshir County (East Azerbaijan Province), is considered one of the basins with high flood hazard potential. Therefore, preparing flood hazard maps in this basin seems essential for flood hazard management. The main objective of this study is to prioritize the flood potential of hydrological units of the Qaleh Chai basin using multi-criteria decision-making techniques and geographic information systems. In the present study, 11 criteria effective in the flood potential of sub-basins were used. These criteria are: Elevation, slope, River density, lithology, Gravilius coefficient, land use, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), precipitation, order of stream, number of streams and area. In the following, the Analytical Network Process (ANP) model was used to determine the weight of the criteria and the MABAC model was used to prioritize hydrological units and identify units with high flood potential. The results of weighting the criteria using the ANP model showed that the lithology, slope, and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) had the highest weight with coefficients of 0.191, 0.189, and 0.135, respectively, which indicates that these criteria play an important role in the flooding potential of hydrological units. In contrast, the two criteria, the number of streams and the order of streams had the lowest weight. Prioritizing the hydrological units also showed that units 2A, 2B and 1C have high flooding potential. These units cover an area of over 125 Km<sup>2</sup>, which includes 30% of the basin's total area. Hydrological units with high flood potential due to high slopes and lack of suitable vegetation provide conditions for the formation of surface runoff and, as a result, floods in these basins.

**Cite this article:** Rezaei Moghaddam, M. H.; Rajabi, M.; Rahimpour, T. & Farazian, A. (2025). Flooding Assessment of Qaleh Chai basin Using MABAC Multi Criteria Decision Making Method. *Environmental Hazards Management*, 11 (4), 323-337. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.387824.861>



© The Author(s). **Publisher:** University of Tehran Press.  
DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.387824.861>

### 1. Introduction

Flood hazard susceptibility maps are becoming increasingly necessary due to the devastating floods across the country in recent years, taking many lives and causing significant financial losses. Prioritizing the basin regarding flood potential is the first step in managing this natural hazard. The Qaleh Chai basin in East Azerbaijan Province, due to its specific geographical location on the slopes of the Sahand Mountains, witnesses destructive floods every year at the beginning of spring. Almost all settlements in the study area are located near the main streams of the basin, especially the Qaleh Chai River. This dramatically increases the vulnerability of human communities living in the study

area. One of this basin's most significant and destructive floods was on 15 April 2017. The total rainfall recorded at Ajabshir Synoptic Station on the 14th and 15th of April was 37.4 mm. Following these rainfalls, over 50 m<sup>3</sup> of flood discharges occurred in Chenar village. The main objective of the present study is to assess and prioritize the flood potential of the Qaleh Chai basin using multi-criteria decision-making techniques and geographic information systems.

## 2. Materials and methods

Qaleh Chai basin is located at latitudes between 37° 27' and 37° 42' North and at longitudes between 45° 52' and 46° 20' East. This basin is located within the political boundaries of Ajabshir County and in East Azerbaijan Province. The basin area is about 482 Km<sup>2</sup>. In the present study, 11 criteria effective in the flood potential of sub-basins were used. These criteria are Elevation, slope, River density, lithology, Gravilius coefficient, land use, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), precipitation, order of stream, number of streams and area. In the following, the Analytical Network Process (ANP) model was used to determine the weight of the criteria: the MABAC model prioritized Hydrological units and identified units with high flood potential.

## 3. Discussion and Results

The results of weighting the criteria using the ANP model showed that the lithology, slope, and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) had the highest weight with coefficients of 0.191, 0.189, and 0.135, respectively, which indicates that these criteria play an important role in the flooding potential of hydrological units. In contrast, the two criteria, the number of streams and the order of streams had the lowest weight. Examining the area of the units in each of the classes shows that hydrological units 2A, 2B and 1C, with an area of 123.8 Km<sup>2</sup>, cover about 25.7% of the total area of the studied basin. Also, units B1 and C2, located in the high class, cover about 135 km<sup>2</sup> of the study area. Units D1 and A1 are also located in the low and very low classes regarding flood potential, respectively.

## 4. Conclusion

In the present study, an attempt was made to prioritize the hydrological units of the Qaleh Chai basin in terms of flood potential by using the multi-criteria decision-making models of ANP and MABAC. A study of the region's geographical features, such as topographic and slope maps, indicates that the Qaleh Chai basin is a mountainous basin consisting of numerous large and small hydrological units. Therefore, due to receiving adequate rainfall by the region's heights, this basin's flood potential is high. The results of prioritizing hydrological units showed that units with high flood hazard provide suitable conditions for forming surface runoff in terms of slope, lithology, and vegetation.

## References

- Pamučar, D., Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC), *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016-3028.
- 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
- Saaty, T.L., Vargas, L.G. (2006): *Decision Making with the Analytic Network Process*, New York: Springer Science, 363 p.
- Zebardast, E. (2010). The Application of Analytic Network Process (ANP) in Urban and Regional Planning. *Journal of Fine Arts: Architecture & Urban Planning*, 2(41), 79-90. (in Persian)



## ارزیابی سیل خیزی حوضه آبریز قلعه‌چای با استفاده از روش

### تصمیم‌گیری چندمعیاره MABAC

محمدحسین رضائی مقدم<sup>۱\*</sup> | معصومه رجبی<sup>۲</sup> | توحید رحیم‌پور<sup>۳</sup> | ایوب فرازبان<sup>۴</sup>

۱. نویسنده مسئول، استاد دانشگاه تبریز. رایانامه: [Rezmogh@tabrizu.ac.ir](mailto:Rezmogh@tabrizu.ac.ir)

۲. استاد دانشگاه تبریز. رایانامه: [mrajabi@tabrizu.ac.ir](mailto:mrajabi@tabrizu.ac.ir)

۳. پژوهشگر پسادکتری، دانشگاه تبریز. رایانامه: [rahimpour1990@gmail.com](mailto:rahimpour1990@gmail.com)

۴. دانشجوی دکتری، دانشگاه تبریز. رایانامه: [Farazian2000@yahoo.com](mailto:Farazian2000@yahoo.com)

#### چکیده

#### اطلاعات مقاله

سیلاب‌ها فراوان‌ترین و مخرب‌ترین مخاطره در کشور محسوب می‌شوند که همه‌ساله خسارت‌های زیادی بر جای می‌گذارند. اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز از نظر پتانسیل سیل‌خیزی اولین گام در مدیریت این مخاطره طبیعی است. حوضه آبریز قلعه‌چای واقع در شهرستان عجب‌شیر (استان آذربایجان شرقی) جزو حوضه‌های با پتانسیل زیاد خطر وقوع سیل به شمار می‌رود. از این‌رو تهیه نقشه‌های خطر وقوع سیل در این حوضه برای مدیریت مخاطره سیلاب ضروری به نظر می‌رسد. هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی و اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز قلعه‌چای با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. در تحقیق حاضر از بازده معیار مؤثر بر پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز قلعه‌چای استفاده شد که عبارت‌اند از: ارتفاع، شیب، تراکم آبراهه، لیتولوژی، ضریب گراویلیوس، کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی، بارش، رتبه آبراهه، تعداد آبراهه و مساحت. در ادامه از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) برای تعیین وزن معیارها و از مدل MABAC برای اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک و شناسایی واحدهای با پتانسیل سیل‌خیزی زیاد استفاده شد. نتایج وزن‌دهی معیارها با استفاده از مدل ANP نشان داد که معیارهای لیتولوژی، شیب و پوشش گیاهی به ترتیب با ضرایب ۰/۱۹۱، ۰/۱۸۹ و ۰/۱۳۵ بیشترین وزن را دارند که نشان‌دهنده اثر مهم این معیارها در پتانسیل سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیک منطقه است. در مقابل دو معیار تعداد آبراهه و رتبه آبراهه کمترین وزن را داشته‌اند. نتایج اولویت‌بندی نیز نشان داد که واحدهای هیدرولوژیک ۲A، ۲B و ۱C از پتانسیل سیل‌خیزی زیاد برخوردارند. این واحدها مساحتی بالغ بر ۱۲۵ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهند که ۳۰ درصد از کل مساحت حوضه آبریز را شامل می‌شود. واحدهای هیدرولوژیک با پتانسیل سیل‌خیزی زیاد به دلیل داشتن شیب زیاد و نبود پوشش گیاهی مناسب، شرایط شکل‌گیری رواناب‌های سطحی و در نتیجه وقوع سیل را در این حوضه‌ها فراهم می‌آورند.

#### نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

#### تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۱

#### کلیدواژه:

اولویت‌بندی، حوضه آبریز قلعه‌چای، سیل‌خیزی، فرایند تحلیل شبکه‌ای، MABAC

**استناد:** رضائی مقدم، محمدحسین؛ رجبی، معصومه؛ رحیم‌پور، توحید و فرازبان، ایوب (۱۴۰۳). ارزیابی سیل‌خیزی حوضه آبریز قلعه‌چای با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره MABAC. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۱ (۴)، ۳۳۳-۳۳۷.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.387824.861>

© نویسنده‌گان ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.387824.861>



## مقدمه

سیستم‌های طبیعی زمین ایران همواره در حال تغییرند. امروزه شاهد گرم شدن آب‌وهوای جهانی از جمله در ایران هستیم. دانشمندان انتظار دارند که این گرم شدن آب‌وهوا سبب رویدادهای هواشناسی چشمگیرتری همچون سیل، توفان، خشکسالی و دمای شدید شود [۱۷]. طبق آمار، سیل یکی از سه خطر هیدروژئومورفولوژیکی است که بخش اعظم کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد و خسارات جانی و مالی به بار می‌آورد [۳۵]. در سطح حوضه آبریز، مدیریت صحیح آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌تواند سبب پیشرفت‌های اقتصادی و اجتماعی شود و در نهایت به توسعه پایدار منطقه کمک می‌کند. اما سوء استفاده و مدیریت نادرست این منبع ارزشمند می‌تواند سبب وقوع مهم‌ترین مخاطره ژئومورفیک یعنی سیل شود [۱۰]. براساس گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷، حدود ۲ میلیارد نفر در سراسر جهان از سیلاب‌ها متأثر شده‌اند [۳۹]. عوامل طبیعی به‌ویژه شدت بارندگی که به‌تازگی به دلیل تأثیر تغییرات آب‌وهوایی افزایش یافته است، علت اصلی خطرهای وقوع سیل هستند. همچنین عوامل انسانی مانند افزایش جمعیت، رشد شهرنشینی، سیستم زهکشی ضعیف، کاربری نامناسب زمین، مدیریت ناکافی دشت سیلابی و مدیریت ضعیف مخازن آب تأثیرگذار است و خطر وقوع سیل را افزایش می‌دهد [۳۰، ۲۵]. برای مدیریت هرچه بهتر سیلاب باید عوامل تولید و ایجاد سیل شناسایی شده و سپس مناطق دارای پتانسیل زیاد در تولید سیل مشخص شوند [۲]. از نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب می‌توان به‌منزله ابزاری مفید و کارآمد در برنامه‌ریزی مسیر توسعه یک منطقه چه از لحاظ ساخت‌وساز و توسعه زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها و چه از لحاظ مدیریت مخاطره سیل استفاده کرد [۷]. بنابراین یکی از اقدامات مهم در زمینه مدیریت پایدار حوضه‌های آبریز با هدف کنترل سیلاب، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل‌خیزی است [۱۹]. میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در تولید سیل خروجی حوضه، صرفاً به یک عامل بستگی ندارد و اثر متقابل عوامل، تعیین‌کننده سهم مشارکت آنها در سیل‌خیزی زیرحوضه‌هاست [۱۳]. با توجه به شکل و موقعیت مکانی حوضه، هر زیرحوضه می‌تواند شایستگی افزون‌تری در تولید و احتمال وقوع سیل نسبت به دیگر زیرحوضه‌ها داشته باشد [۲۰]. با اطلاع از سطوحی از یک حوضه آبریز که پتانسیل بیشتری در تولید رواناب و سیل‌خیزی دارند، می‌توان تدابیری با هدف کاهش رواناب در نظر گرفت [۴]. اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز، دسته‌بندی حوضه‌های آبریز مختلف براساس اهمیت آنها برای اتخاذ اقدامات مدیریتی و حفاظتی است [۲۹]. حوضه آبریز قلعه‌چای در استان آذربایجان شرقی به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص خود در دامنه‌های کوهستان سهند، همه‌ساله با شروع فصل بهار شاهد وقوع سیلاب‌های مخرب است. بیشتر سکونتگاه‌های منطقه در مجاورت آبراهه‌های اصلی حوضه به‌ویژه رودخانه قلعه‌چای استقرار یافته‌اند. این امر آسیب‌پذیری جوامع انسانی ساکن حوضه مد نظر را به جد افزایش می‌دهد. یکی از بزرگ‌ترین و مخرب‌ترین سیلاب‌ها در این حوضه در ۲۶ فروردین ۱۳۹۶ روی داد. مجموع بارش‌های ثبت‌شده در روزهای ۲۵ و ۲۶ فروردین در ایستگاه سینوپتیک عجب‌شیر، ۳۷/۴ میلی‌متر بود. در پی این بارش‌ها دبی سیلابی بیش از ۵۰ متر مکعب در روستای چنار رخ داد. طبق گزارش‌های مدیریت بحران شهرستان عجب‌شیر در اثر این سیلاب ۳۰ خانوار دچار آسیب شدند که از این تعداد، ۱۸ خانوار آسیب جدی دیدند و خانه‌های ۱۲ خانوار دیگر تخریب شد. بنابراین هدف اصلی تحقیق حاضر، اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبریز قلعه‌چای از نظر پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از مدل MABAC و تکنیک GIS است.

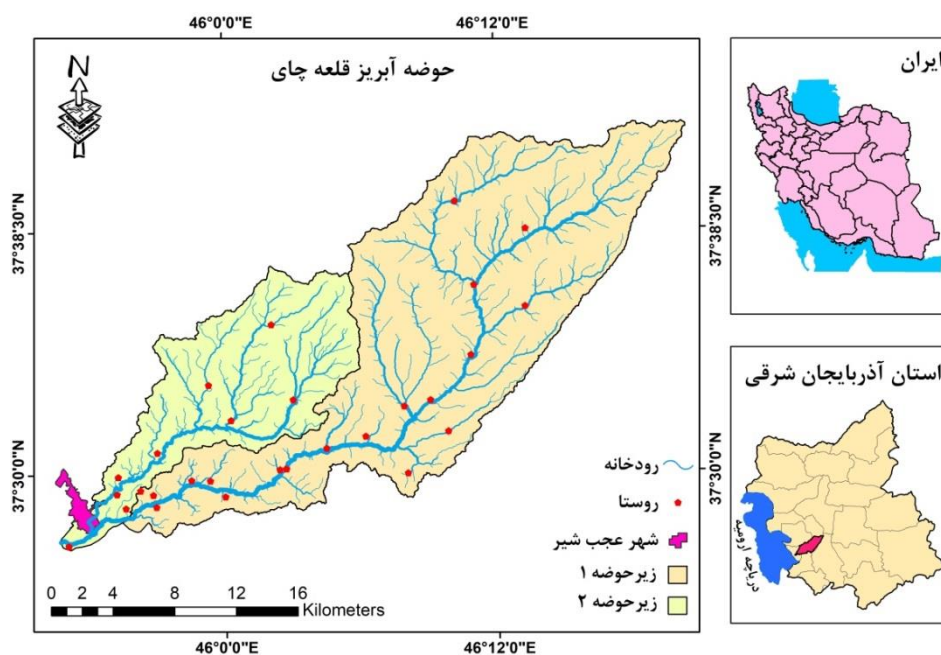
پژوهش‌های خوبی در زمینه موضوع تحقیق در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. نفرزادگان و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چدمعیاره و تکنیک تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبریز دهبار خراسان پرداختند. در این تحقیق حوضه آبریز دهبار به ۱۰ زیرحوضه تقسیم و از ۱۳ معیار استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که سه زیرحوضه در رتبه‌های نخست از نظر سیل‌خیزی قرار دارند که از لحاظ اجرای اقدامات مدیریتی در اولویت هستند [۱۹]. نصیری و طالبی (۱۳۹۹) در پژوهشی به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی با استفاده از مدل HEC-HMs پرداختند. محدوده تحت بررسی در این تحقیق بالادست رودخانه خشک شیراز بود. نتایج تحقیق نشان داد که از شش زیرحوضه تحت بررسی، دو زیرحوضه از نظر سیل‌خیزی در اولویت قرار دارند [۱۸]. محمدی و همکاران (۱۴۰۱) زیرحوضه‌های حوضه آبریز دهبار واقع در استان خراسان رضوی را از نظر سیل‌خیزی اولویت‌بندی کردند. در

این تحقیق از مدل‌های AHP، TOPSIS، آنالیز مورفومتریک و تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که از ۱۰ زیرحوضه تحت بررسی، ۳ زیرحوضه در اولویت قرار دارند [۱۶]. چزگی و حامدی (۱۴۰۲) در پژوهشی زیرحوضه‌های رودخانه سرباز را با استفاده از مدل SWAT از نظر سیل‌خیزی اولویت‌بندی کردند. در این تحقیق منطقه پژوهش به ۲۱ زیرحوضه تقسیم شد. نتایج تحقیق نشان داد که زیرحوضه ۲۰ در اولویت اول و زیرحوضه ۱۰ در اولویت آخر از نظر سیل‌خیزی قرار دارد [۳]. متقیان و همکاران با استفاده از روش FLDP به بررسی پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوضه آبریز کوهستان در استان سمنان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیشتر زیرحوضه‌های هیدرولوژیک از نظر سیل‌خیزی در طبقه زیاد قرار دارند [۱۵]. رضائی مقدم و رحیم‌پور (۱۴۰۲) در پژوهشی زیرحوضه‌های حوضه آبریز سیه‌چشمه واقع در استان آذربایجان غربی را از نظر سیل‌خیزی رتبه‌بندی کردند. در این تحقیق حوضه یادشده به ۶ زیرحوضه تقسیم و از ۸ شاخص هیدروژئومورفیک استفاده شد. برای وزندهی شاخص‌ها از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره SWARA استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که ۲ زیرحوضه از حساسیت سیل‌خیزی زیادی برخوردارند [۸]. دیریبا و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و AHP به تجزیه و تحلیل خطر وقوع سیل در حوضه گیدابو واقع در کشور اتیوپی پرداختند. در این تحقیق از شش معیار تراکم زهکشی، خاک، ارتفاع، بارش، شیب و کاربری اراضی برای تهیه نقشه خطر وقوع سیل استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که ۲۴ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌های زیاد و خیلی زیاد از نظر وقوع سیل قرار دارد [۲۴].

## روش تحقیق

### منطقه پژوهش

حوضه آبریز قلعه‌چای با مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه و ۱۸ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه و ۱۵ ثانیه عرض شمالی در محدوده شهرستان عجب‌شیر استان آذربایجان شرقی واقع شده است (شکل ۱). مساحت حوضه حدود ۴۸۲ کیلومتر مربع است که قلعه‌چای به‌عنوان رودخانه اصلی این حوضه، بخش‌هایی از دامنه‌های غربی توده آتشفشانی سهند را زهکشی می‌کند و پس از عبور از شهر عجب‌شیر به دریاچه ارومیه می‌ریزد. در پژوهش حاضر موقعیت ایستگاه هیدرومتری شیشوان روی رودخانه قلعه‌چای به‌عنوان خروجی حوضه در نظر گرفته شده است. همچنین برای بررسی سیل‌خیزی حوضه، محدوده مدنظر به دو زیرحوضه اصلی و هشت واحد هیدرولوژیک تقسیم شده که زیرحوضه ۱ دارای پنج واحد هیدرولوژیک و زیرحوضه ۲ دارای سه واحد هیدرولوژیک است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش

## داده‌ها

در تحقیق حاضر برای بررسی سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیک حوضه آبریز قلعه‌چای از مواد و ابزارهای زیر به تناسب نیاز استفاده شد: مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸، داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نرم‌افزارهای ArcGIS، ENVI، Super Decision.

## روش MABAC

در پژوهش حاضر به منظور اولویت‌بندی سیل‌خیزی حوضه آبریز قلعه‌چای از روش MABAC استفاده شد. روش MABAC از تازه‌ترین مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در سال ۲۰۱۵ معرفی شد [۳۲]. هدف این روش رتبه‌بندی گزینه‌های تحقیق است. در این روش برای رتبه‌بندی گزینه‌ها به وزن معیارها نیاز است. مراحل اجرای این روش چنین است:

۱. شناسایی معیارها و گزینه‌های تحقیق. معیارهای این بخش برای بررسی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها عبارت‌اند از: ارتفاع، شیب، تراکم آبراهه، لیتولوژی، ضریب گراویلیوس، کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی، بارش، رتبه آبراهه، تعداد آبراهه و مساحت. هشت زیرحوضه نیز به‌عنوان گزینه‌های تحقیق انتخاب شدند؛
۲. تشکیل ماتریس تصمیم. ماتریس تصمیم در این روش به‌صورت معیار-گزینه است. به این صورت که ستون‌های این ماتریس را معیارهای مسئله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند؛
۳. نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم؛
۴. وزن‌دار کردن ماتریس نرمال شده. وزن معیارها را می‌توان از روش‌هایی همچون ANP، AHP، ANP، SWARA، آنتروپی شانون و... به دست آورد. در این تحقیق از روش ANP برای تعیین وزن معیارها استفاده شد؛
۵. تعیین مرز ناحیه شباهت ماتریس (g). در این مرحله از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$g_j = \left( \prod_{i=1}^m \hat{r}_{ij} \right)^{1/m}; j = 1, \dots, n \quad (\text{رابطه ۱})$$

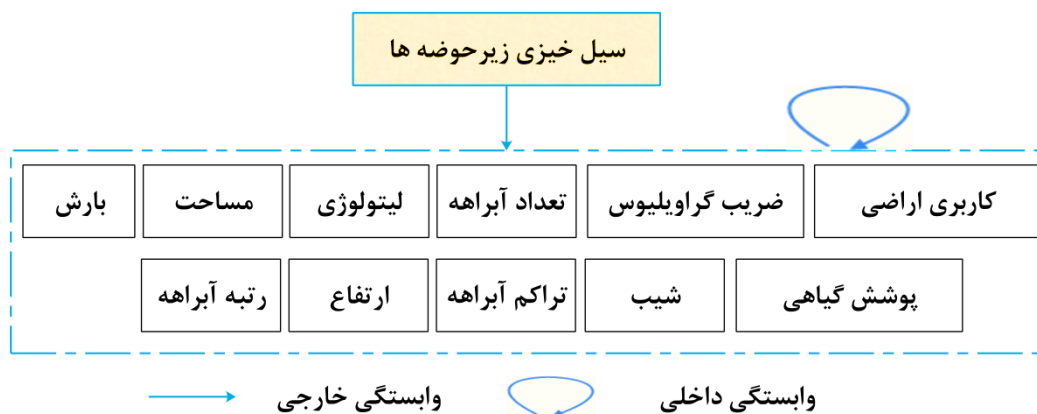
که در آن  $\hat{r}_{ij}$  عناصر ماتریس وزنی و m تعداد کل گزینه‌های تحقیق است. پس از محاسبه مقادیر مرز ناحیه شباهت ماتریس، یک ماتریس  $n \times 1$  تشکیل می‌شود. محاسبه فاصله گزینه‌ها تا مرز ناحیه شباهت. در این مرحله فاصله گزینه‌ها تا مرز ناحیه شباهت از طریق رابطه زیر به دست می‌آید.

$$q_{ij} = \hat{r}_{ij} - g_j; i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \quad (\text{رابطه ۲})$$

۷. رتبه‌بندی گزینه‌ها (اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک). در این مرحله گزینه‌های تحقیق به‌ترتیب نزولی مرتب می‌شوند. گزینه‌ای که بیشترین مقدار را داشته باشد به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود.

## روش ANP

از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP برای تعیین وزن معیارهای تحقیق استفاده شده است. فرایند تحلیل شبکه‌ای یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که توسط توماس ال‌ساعتی (۱۹۸۰) ایجاد شده است. در این مدل معیارها به‌عنوان عناصر در داخل دسته‌هایی به نام خوشه قرار می‌گیرند. این مدل دارای شبکه‌ای از ارتباطات بین عناصر خوشه‌های مختلف (وابستگی خارجی) و نیز ارتباطات بین عناصر داخل یک خوشه (ارتباطات داخلی) است. در حقیقت مدل ANP روابط دوطرفه (متقابل) بین مؤلفه‌ها را نیز نشان می‌دهد [۳۳، ۳۴]. فرایند تحلیل شبکه‌ای را می‌توان در چهار مرحله اجرا کرد. گام اول: تعیین مسئله تصمیم‌گیری و ارائه آن در یک مدل شبکه‌ای. در این مرحله، پس از تعیین مسئله تصمیم‌گیری و عوامل مؤثر بر آن باید یک مدل شبکه‌ای تشکیل شود. در این شبکه، وابستگی‌های خارجی به‌صورت پیکان و وابستگی‌های داخلی به‌صورت کمان نشان داده می‌شود [۱۲]. شکل ۲ ساختار شبکه‌ای معیارها و روابط درونی و بیرونی آنها را در این ساختار نشان می‌دهد.



شکل ۲. ساختار شبکه‌ای معیارها در مدل ANP

### تهیه لایه‌های اطلاعاتی

در پژوهش حاضر برای بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز قلعه‌چای با بررسی پیشینه مرتبط با موضوع تحقیق تعداد ۱۱ پارامتر مؤثر در سیل‌خیزی انتخاب شد. شیب عامل مؤثری در سرعت رواناب سطحی، حرکت رسوب، نفوذ عمودی و در نتیجه بر حساسیت سیل و فرسایش خاک است [۲۸]. هرچه شیب منطقه بیشتر باشد، سرعت نفوذ کمتر و در نتیجه سرعت شکل‌گیری جریان بیشتر می‌شود [۳۸]. ارتفاع تأثیر زیادی بر عملکردهای تنظیم سیل دارد، زیرا با افزایش ارتفاع، روند واضحی از افزایش بارندگی و دبی رودخانه مشاهده می‌شود [۳۱]. به‌منظور تهیه نقشه‌های شیب و طبقات ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاعی منطقه (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استفاده شده و هر یک از نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. شاخص تفاضل نرمال‌شده گیاهی (NDVI) به‌عنوان شاخصی از وضعیت سلامت پوشش گیاهی عمل می‌کند و می‌تواند نفوذپذیری و رواناب سطحی را کنترل کند. این پارامتر به وقوع سیل کمک می‌کند [۲۷]. نقشه پوشش گیاهی محدوده پژوهش از باندهای مرئی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به سال ۲۰۲۳ (گذر و ردیف ۳۴-۱۶۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر) در محیط نرم‌افزار ENVI استخراج شد. حوضه‌هایی که مقادیر کمی از این شاخص را نشان می‌دهند (واحدهای هیدرولوژیک ۲A و ۱C) از پتانسیل سیل‌خیزی زیاد برخوردارند. کاربری اراضی بر رواناب سطحی و انتقال رسوب تأثیر گذاشته و در نتیجه بر فراوانی سیل تأثیر مستقیم می‌گذارد [۲۱]. نقشه کاربری اراضی منطقه نیز با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و در پنج طبقه (پهنه‌های آبی، باغ، کشاورزی، شهر-روستا و مرتع) استخراج شد بارش یک عامل مهم در ایجاد سیل است [۳۷]. برای تهیه نقشه بارش از اطلاعات داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک (عجب‌شیر) و کلیماتولوژی منطقه برای یک دوره ۲۰ ساله از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۲۲ استفاده شد. برای تعمیم داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌ها به داده‌های پهنه‌ای از روش درون‌یابی IDW در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. برای تهیه نقشه آبراهه‌های منطقه از لایه DEM و نقشه توپوگرافی استفاده شد. نقش عوامل هیدرولوژی به‌همراه پارامترهای اقلیمی شبیه بارش، مشخصات شبکه زهکشی مانند تراکم زهکشی به‌صورت غیرمستقیم نشان‌دهنده میزان نفوذپذیری است، به‌نحوی که زیاد بودن تراکم آبراهه نشان‌دهنده کاهش نفوذ و کم بودن آن به‌شرط مهیا بودن شرایط زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی، نشان‌دهنده زیاد بودن آن است [۵]. به‌طور کلی مقادیر کم تراکم زهکشی شرایط مناسبی برای نفوذپذیری فراهم می‌آورد و در نتیجه پتانسیل شکل‌گیری رواناب را کاهش می‌دهد و برعکس [۶]. برای بررسی تراکم زهکشی واحدهای هیدرولوژیک از رابطه ۳ استفاده شده است:

$$Dd = Lu / A \quad \text{رابطه ۳}$$

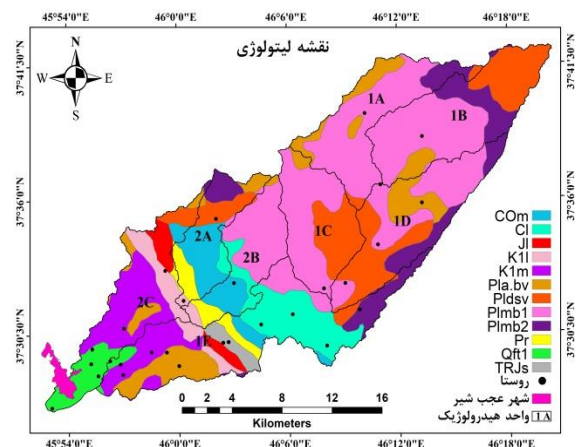
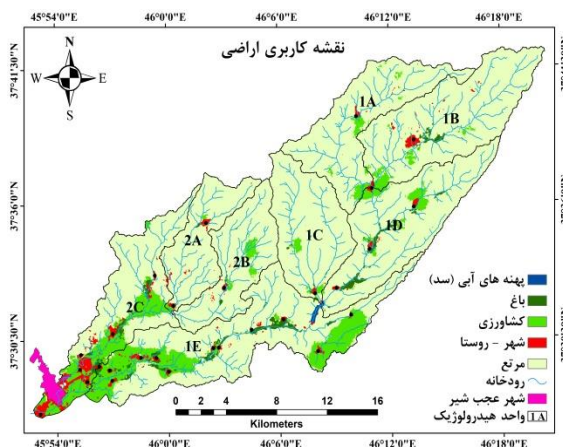
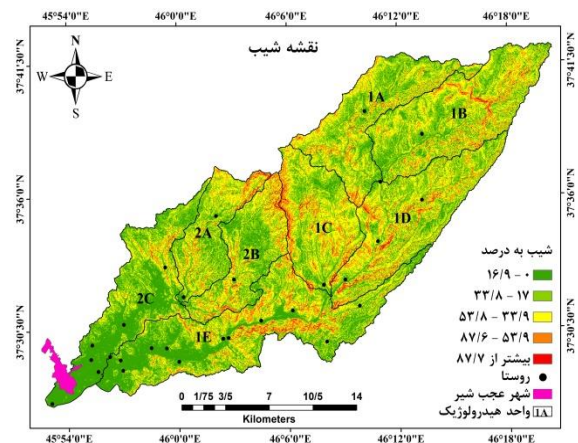
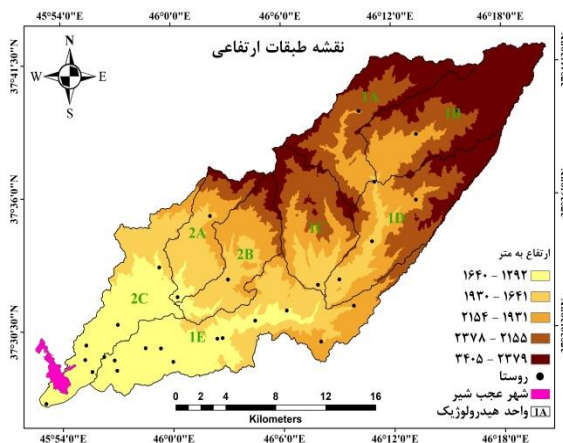
در این رابطه Dd تراکم زهکشی است که واحد آن  $\text{Km/Km}^2$  است. Lu طول کل آبراهه‌های حوضه آبریز به کیلومتر و A مساحت حوضه آبریز به کیلومترمربع است. بررسی مقادیر تراکم زهکشی برای منطقه نشان می‌دهد که واحدهای هیدرولوژیک ۲A، ۲B و ۱A بیشترین مقدار را داشته‌اند. لیتولوژی اطلاعاتی در مورد ماهیت سنگ‌شناسی، ساختارهای منطقه و هندسه آن ارائه می‌دهد [۲۳]. برای تهیه نقشه لیتولوژی حوضه از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات

معدنی کشور (برگه‌های عجب‌شیر و اسکو) استفاده شد. حوضه‌هایی که رتبه‌های بیشتری از آبراهه‌ها را نشان می‌دهند از پتانسیل سیل‌خیزی زیاد برخوردارند [۹]. نقشه رتبه‌بندی آبراهه‌ها با استفاده از روش رتبه‌بندی استرالر در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شده است. نقشه رتبه‌بندی آبراهه‌های منطقه نشان می‌دهد که بزرگ‌ترین آبراهه حوضه رتبه ۵ را داشته است. طبقه‌بندی آبراهه‌ها براساس تعداد و نوع اتصالات، شاخصی مفید برای نشان دادن اندازه، دبی و منطقه زهکشی آبراهه‌هاست [۳۶]. نقشه تعداد آبراهه‌ها نشان می‌دهد که واحد هیدرولوژیک ۱E در زیرحوضه ۱ بیشترین تعداد را داشته است. پارامتر مساحت یکی از عوامل مهم در تهیه نقشه‌های خطر وقوع سیل در نظر گرفته می‌شود. مساحت بزرگ‌تر نشان‌دهنده تعداد آبراهه‌های بیشتر و در نتیجه رواناب بیشتری در سطح حوضه آبریز است [۲۲]. بررسی مساحت واحدهای هیدرولوژیک منطقه نشان می‌دهد که واحد هیدرولوژیک ۲A در زیرحوضه ۲ با ۳۴/۴ کیلومترمربع کمترین مساحت و واحد هیدرولوژیک ۱E در زیرحوضه ۱ با ۹۸/۸ کیلومترمربع بیشترین مساحت را دارند. ویژگی‌های هیدرولوژیک حوضه آبریز تحت تأثیر شکل حوضه قرار دارد. حوضه باریک و طولیل با داشتن نسبت انشعاب زیاد، پیکی کم اما ثابت را به وجود می‌آورد، درحالی که حوضه‌های دایره‌ای با نسبت انشعاب کم، یک هیدروگراف تیز را به وجود می‌آورند [۲۶]. از رابطه زیر برای تعیین مقادیر ضریب گراویلیوس هر یک از واحدهای هیدرولوژیک استفاده شده است.

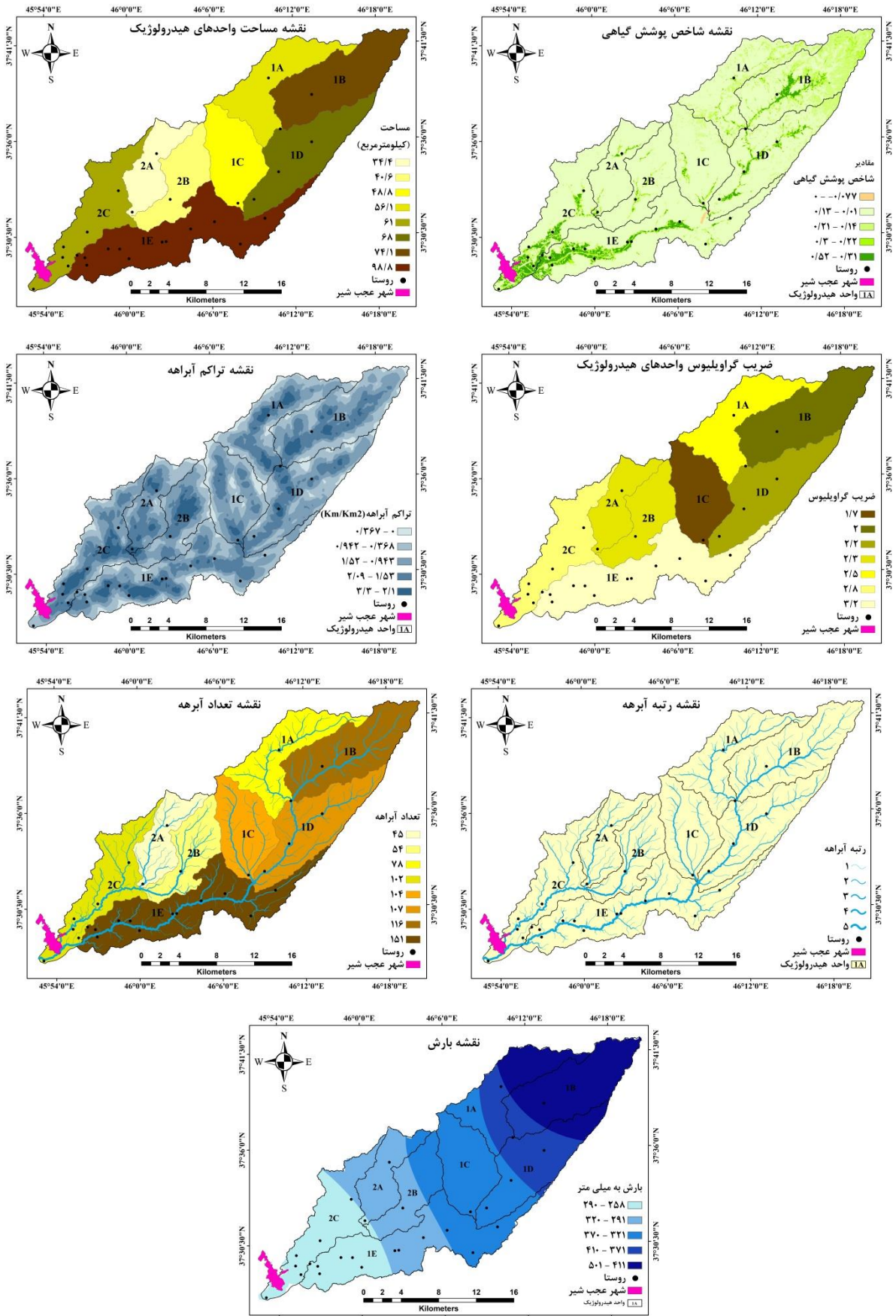
$$C_c = 0.2812 \times P / A^{0.5}$$

رابطه ۴)

P محیط حوضه و A مساحت حوضه آبریز است.







شکل ۳. نقشه لایه‌های اطلاعاتی

## تحلیل داده‌ها

ابتدا برای تعیین وزن معیارهای تحقیق از مدل ANP استفاده شد. در روش فرایند تحلیل شبکه‌ای، معیاری که نقش مهم‌تری را از نظر تأثیرگذاری بر موضوع مورد بررسی دارد، بیشترین وزن را به خود اختصاص می‌دهد. از آنجا که هدف اصلی تحقیق حاضر اولویت‌بندی حوضه آبریز قلعه‌چای از نظر سیل‌خیزی است، معیارهای تأثیرگذار در این فرایند، مهم‌ترین عوامل برای دستیابی به هدف نهایی در نظر گرفته شدند. از این‌رو برای معیارهای لیتولوژی، پوشش گیاهی و شیب با توجه به اهمیت آنها در شکل‌گیری رواناب سطحی و افزایش پتانسیل سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیک، بیشترین وزن در نظر گرفته شد. وزن‌دهی معیارهای دیگر نیز نسبت به کاهش تأثیرشان در سیل‌خیزی هر یک از واحدهای هیدرولوژیک کمتر می‌شود. ماتریس دوجه‌دو، وزن نهایی و نرخ سازگاری معیارهای مورد استفاده برای بررسی سیل‌خیزی حوضه قلعه‌چای در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج وزن‌دهی نشان می‌دهد که معیارهای لیتولوژی، شیب و پوشش گیاهی با ضرایب ۰/۱۹۱، ۰/۱۸۹ و ۰/۱۳۵ به ترتیب بیشترین وزن را داشته‌اند. همچنین نتایج این بخش نشان می‌دهد که نرخ سازگاری ۰/۰۹۱ به دست آمده است که درستی مقایسه‌های زوجی و تعیین وزن نهایی معیارها را تأیید می‌کند.

در ادامه برای اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک از مدل MABAC استفاده شد. در تحقیق حاضر برای ارزیابی معیارها نسبت به گزینه‌ها (واحدهای هیدرولوژیک) از طیف ۹ تایی ساعتی در روش AHP استفاده شده و ماتریس تصمیم تکمیل شد (جدول ۲). در این ماتریس واحدهای هیدرولوژیک به‌عنوان گزینه در ستون و ۱۱ معیار نیز در سطرها ماتریس قرار گرفتند.

جدول ۱. مقایسات زوجی و وزن نهایی معیارها با مدل ANP

| وزن نهایی | تعداد آبراهه | رتبه آبراهه | مساحت | بارش | گراویلیوس | ضریب | ارتفاع | کاربری اراضی | تراکم آبراهه | پوشش گیاهی | شیب | لیتولوژی | معیار          |
|-----------|--------------|-------------|-------|------|-----------|------|--------|--------------|--------------|------------|-----|----------|----------------|
| ۰/۱۹۱     | ۵            | ۳           | ۳     | ۱    | ۶         | ۴    | ۴      | ۳            | ۳            | ۲          | ۲   | ۱        | لیتولوژی       |
| ۰/۱۸۹     | ۶            | ۳           | ۳     | ۳    | ۶         | ۴    | ۴      | ۳            | ۴            | ۲          | ۱   | ۱/۲      | شیب            |
| ۰/۱۳۵     | ۵            | ۳           | ۳     | ۲    | ۳         | ۳    | ۳      | ۱            | ۵            | ۱          | ۱/۲ | ۱/۲      | پوشش گیاهی     |
| ۰/۰۷۶     | ۲            | ۲           | ۳     | ۲    | ۲         | ۲    | ۲      | ۲            | ۱            | ۱/۵        | ۱/۴ | ۱/۳      | تراکم آبراهه   |
| ۰/۱۰۷     | ۴            | ۳           | ۲     | ۳    | ۴         | ۳    | ۳      | ۱            | ۱/۲          | ۱          | ۱/۳ | ۱/۳      | کاربری اراضی   |
| ۰/۰۷۸     | ۴            | ۴           | ۲     | ۳    | ۳         | ۱    | ۱      | ۱/۳          | ۱/۲          | ۱/۳        | ۱/۴ | ۱/۴      | ارتفاع         |
| ۰/۰۴۰     | ۳            | ۲           | ۲     | ۱/۲  | ۱         | ۱/۳  | ۱/۳    | ۱/۴          | ۱/۲          | ۱/۳        | ۱/۶ | ۱/۶      | ضریب گراویلیوس |
| ۰/۰۸۳     | ۳            | ۴           | ۳     | ۱    | ۲         | ۱/۳  | ۱/۳    | ۱/۳          | ۱/۲          | ۱/۲        | ۱/۳ | ۱        | بارش           |
| ۰/۰۴۱     | ۳            | ۲           | ۱     | ۱/۳  | ۱/۲       | ۱/۲  | ۱/۲    | ۱/۲          | ۳            | ۳          | ۱/۳ | ۱/۳      | مساحت          |
| ۰/۰۳۴     | ۳            | ۱           | ۱/۲   | ۱/۴  | ۱/۲       | ۱/۴  | ۱/۴    | ۱/۳          | ۱/۲          | ۱/۳        | ۱/۳ | ۱/۳      | رتبه آبراهه    |
| ۰/۰۲۱     | ۱            | ۱/۳         | ۱/۳   | ۱/۳  | ۱/۳       | ۱/۴  | ۱/۴    | ۱/۴          | ۱/۲          | ۱/۵        | ۱/۶ | ۱/۵      | تعداد آبراهه   |

نرخ سازگاری: ۰/۰۹۱

جدول ۲. ماتریس تصمیم براساس معیارها و گزینه‌ها در مدل MABAC

| زیرحوضه   | معیار | لیتولوژی | شیب | پوشش گیاهی | تراکم آبراهه | کاربری اراضی | ارتفاع | ضریب | گراویلیوس | بارش | مساحت | رتبه آبراهه | تعداد آبراهه |
|-----------|-------|----------|-----|------------|--------------|--------------|--------|------|-----------|------|-------|-------------|--------------|
| زیرحوضه ۱ | ۱ A   | ۲        | ۳   | ۲          | ۴            | ۴            | ۵      | ۲    | ۵         | ۵    | ۲     | ۲           | ۲            |
|           | ۱ B   | ۳        | ۴   | ۲          | ۴            | ۴            | ۵      | ۴    | ۵         | ۵    | ۴     | ۲           | ۵            |
|           | ۱ C   | ۴        | ۶   | ۴          | ۳            | ۵            | ۵      | ۴    | ۴         | ۴    | ۲     | ۲           | ۳            |
|           | ۱ D   | ۲        | ۳   | ۱          | ۳            | ۳            | ۴      | ۴    | ۴         | ۴    | ۴     | ۴           | ۴            |
|           | ۱ E   | ۱        | ۲   | ۱          | ۲            | ۲            | ۳      | ۳    | ۱         | ۲    | ۵     | ۵           | ۵            |
| زیرحوضه ۲ | ۲ A   | ۵        | ۶   | ۷          | ۶            | ۷            | ۴      | ۳    | ۳         | ۳    | ۲     | ۳           | ۲            |
|           | ۲ B   | ۵        | ۴   | ۳          | ۵            | ۳            | ۳      | ۲    | ۲         | ۳    | ۲     | ۳           | ۲            |
|           | ۲ C   | ۱        | ۲   | ۳          | ۲            | ۲            | ۲      | ۱    | ۲         | ۲    | ۳     | ۵           | ۳            |

در ادامه با تکمیل ماتریس تصمیم، نرمال‌سازی مقادیر ماتریس صورت گرفت (جدول ۳).

جدول ۳. ماتریس نرمال شده در مدل MABAC

| تعداد آبراهه | رتبه آبراهه | مساحت | بارش | گرابیلوس ضریب | ارتفاع | کاربری اراضی | تراکم آبراهه | پوشش گیاهی | شیب  | لیتولوژی | معیار واحد هیدرولوژیک | زیرحوضه   |
|--------------|-------------|-------|------|---------------|--------|--------------|--------------|------------|------|----------|-----------------------|-----------|
| ۱            | ۱           | ۱     | ۰    | ۰/۶۶          | ۰      | ۰/۶          | ۰/۵          | ۰/۱۶۶      | ۰/۲۵ | ۰/۲۵     | ۱ A                   | زیرحوضه ۱ |
| ۰            | ۱           | ۰/۳۳  | ۰    | ۰             | ۰      | ۰/۶          | ۰/۵          | ۰/۱۶۶      | ۰/۵  | ۰/۵      | ۱ B                   |           |
| ۰/۶۶         | ۱           | ۱     | ۰/۳۳ | ۰             | ۰      | ۰/۴          | ۰/۷۵         | ۰/۵        | ۱    | ۰/۷۵     | ۱ C                   |           |
| ۰/۳۳         | ۰/۳۳        | ۰/۶۶  | ۰/۳۳ | ۰/۳۳          | ۰/۳۳   | ۰/۸          | ۰/۷۵         | ۰          | ۰/۲۵ | ۰/۲۵     | ۱ D                   |           |
| ۰            | ۰           | ۰     | ۱    | ۰             | ۰/۶۶   | ۱            | ۱            | ۰          | ۰    | ۰        | ۱ E                   |           |
| ۱            | ۰/۶۶        | ۱     | ۰/۶۶ | ۰/۳۳          | ۰/۳۳   | ۰            | ۰            | ۱          | ۱    | ۱        | ۲ A                   | زیرحوضه ۲ |
| ۱            | ۰/۶۶        | ۱     | ۰/۶۶ | ۰/۶۶          | ۰/۶۶   | ۰/۸          | ۰/۲۵         | ۰/۳۳       | ۰/۵  | ۱        | ۲ B                   |           |
| ۰/۶۶         | ۰           | ۰/۶۶  | ۰/۶  | ۰             | ۱      | ۱            | ۱            | ۰/۳۳       | ۰    | ۰        | ۲ C                   |           |

در ادامه مقادیر مرز ناحیه شباهت ماتریس (G) تعیین شد. در این مرحله از میانگین حسابی برای تعیین مرز ناحیه شباهت استفاده شد (جدول ۴). با تعیین مقادیر مرز ناحیه شباهت ماتریس، مقادیر فاصله گزینه‌ها تا مرز ناحیه شباهت نیز محاسبه شد. نتایج این بخش در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۴. مقادیر مرز ناحیه شباهت ماتریس (G)

| تعداد آبراهه | رتبه آبراهه | مساحت | بارش  | گرابیلوس ضریب | ارتفاع | کاربری اراضی | تراکم آبراهه | پوشش گیاهی | شیب   | لیتولوژی | معیار |
|--------------|-------------|-------|-------|---------------|--------|--------------|--------------|------------|-------|----------|-------|
| ۰/۰۳۲        | ۰/۰۵۲       | ۰/۰۶۸ | ۰/۱۲۱ | ۰/۰۵۸         | ۰/۱۰۴  | ۰/۱۷۳        | ۰/۱۱۸        | ۰/۱۷۳      | ۰/۲۶۳ | ۰/۲۷۱    | G     |

جدول ۵. مقادیر فاصله گزینه‌ها تا مرز ناحیه شباهت (q)

| تعداد آبراهه | رتبه آبراهه | مساحت | بارش  | ضریب گرابیلوس | ارتفاع | کاربری اراضی | تراکم آبراهه | پوشش گیاهی | شیب   | لیتولوژی | معیار واحد هیدرولوژیک | زیرحوضه   |
|--------------|-------------|-------|-------|---------------|--------|--------------|--------------|------------|-------|----------|-----------------------|-----------|
| ۰/۱۰         | ۰/۰۱۶       | ۰/۰۱۴ | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۰۹         | ۰/۰۲۶  | ۰/۰۰۲        | ۰/۰۰۴        | ۰/۰۱۵      | ۰/۰۲۷ | ۰/۰۳۲    | ۱ A                   | زیرحوضه ۱ |
| ۰/۰۱۱        | ۰/۰۱۶       | ۰/۰۱۴ | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۱۸         | ۰/۰۲۶  | ۰/۰۰۲        | ۰/۰۰۴        | ۰/۰۱۵      | ۰/۰۲۰ | ۰/۰۱۶    | ۱ B                   |           |
| ۰/۰۰۳        | ۰/۰۱۶       | ۰/۰۱۴ | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۱۸         | ۰/۰۲۶  | ۰/۰۲۳        | ۰/۰۱۵        | ۰/۰۳۰      | ۰/۱۱۵ | ۰/۰۶۳    | ۱ C                   |           |
| ۰/۰۰۴        | ۰/۰۰۷       | ۰     | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۰۵         | ۰      | ۰/۰۲۰        | ۰/۰۱۵        | ۰/۰۳۸      | ۰/۰۲۷ | ۰/۰۳۲    | ۱ D                   |           |
| ۰/۰۱۱        | ۰/۰۱۸       | ۰/۰۲۷ | ۰/۰۴۵ | ۰/۰۲۲         | ۰/۰۲۶  | ۰/۰۴۱        | ۰/۰۳۴        | ۰/۰۳۸      | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۸۰    | ۱ E                   |           |
| ۰/۰۱۰        | ۰/۰۰۵       | ۰/۰۱۴ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۰۵         | ۰      | ۰/۰۶۶        | ۰/۰۴۲        | ۰/۰۹۷      | ۰/۱۱۵ | ۰/۱۱۱    | ۲ A                   | زیرحوضه ۲ |
| ۰/۰۱۰        | ۰/۰۰۵       | ۰/۰۱۴ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۰۹         | ۰/۰۲۶  | ۰/۰۲۰        | ۰/۰۳۳        | ۰/۰۰۷      | ۰/۰۲۰ | ۰/۱۱۱    | ۲ B                   |           |
| ۰/۰۰۳        | ۰/۰۱۸       | ۰     | ۰/۰۴۵ | ۰/۰۲۲         | ۰/۰۵۲  | ۰/۰۴۱        | ۰/۰۳۴        | ۰/۰۰۷      | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۸۰    | ۲ C                   |           |

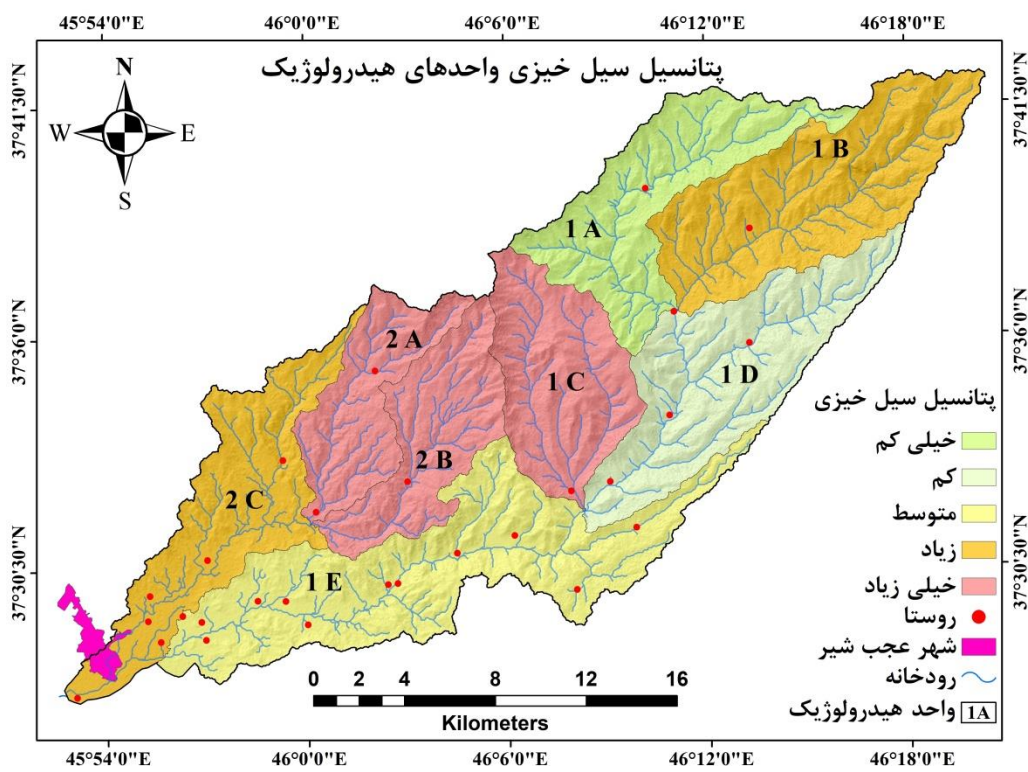
در نهایت وزن نهایی هر گزینه (S) محاسبه شد و واحدهای هیدرولوژیک رتبه‌بندی شدند. وزن نهایی هر گزینه از جمع سطری ماتریس مقادیر فاصله گزینه‌ها تا مرز ناحیه شباهت (q) به‌دست آمده است. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود واحدهای هیدرولوژیک ۲A، ۲B و ۱C به‌ترتیب با ضرایب ۰/۲۵۶، ۰/۲۱۶ و ۰/۱۷۸ بیشترین وزن را داشته‌اند. بنابراین این

واحدها حساس‌ترین واحدهای هیدرولوژیک از نظر سیل‌خیز بودن انتخاب شدند. بررسی نقش معیارها در سیل‌خیزی حوضه قلعه‌چای نشان می‌دهد که واحدهای هیدرولوژیک که پتانسیل سیل‌خیزی زیاد دارند به دلیل نبود پوشش گیاهی مناسب، شیب زیاد و نفوذپذیری کم سازندهای زمین‌شناسی، شرایط مناسبی را از نظر شکل‌گیری رواناب‌های سطحی دارند.

جدول ۶. وزن نهایی گزینه‌ها و رتبه‌بندی آنها

| رتبه | وزن نهایی | گزینه (واحد هیدرولوژیک) | زیرحوضه   |
|------|-----------|-------------------------|-----------|
| ۸    | -۰/۰۹۵    | ۱ A                     | زیرحوضه ۱ |
| ۵    | -۰/۰۷۵    | ۱ B                     |           |
| ۳    | ۰/۱۷۸     | ۱ C                     |           |
| ۷    | -۰/۰۸۸    | ۱ D                     |           |
| ۶    | -۰/۰۸۰    | ۱ E                     |           |
| ۱    | ۰/۲۵۶     | ۲ A                     | زیرحوضه ۲ |
| ۲    | ۰/۲۱۶     | ۲ B                     |           |
| ۴    | ۰/۰۳۲     | ۲ C                     |           |

در نهایت با استفاده از نتایج به دست آمده در جدول ۶ نقشه اولویت‌بندی واحدها از نظر پتانسیل سیل‌خیزی تهیه شد (شکل ۴). بررسی مساحت واحدها در هر کدام از طبقات نشان می‌دهد که واحدهای هیدرولوژیک ۲A، ۲B و ۱C با مساحت ۱۲۳/۸ کیلومترمربع حدود ۲۵/۷ درصد از کل مساحت حوضه را پوشش می‌دهند. واحدهای ۱B و ۲C نیز که در طبقه زیاد قرار دارند حدود ۱۳۵ کیلومترمربع از منطقه را شامل می‌شوند. واحدهای ۱A و ۱D نیز به ترتیب در طبقات کم و خیلی کم از نظر پتانسیل سیل‌خیزی قرار دارند. به طور کلی نتایج اولویت‌بندی واحد هیدرولوژیک نشان‌دهنده سیل‌خیز بودن حوضه آبریز قلعه‌چای است. بررسی موقعیت مکانی روستاهای موجود در داخل حوضه نشان می‌دهد که این روستاها در مسیر رودخانه اصلی منطقه (قلعه‌چای) و شاخه‌های فرعی آن جای گرفته‌اند که آسیب‌پذیری آنها به هنگام وقوع سیلاب‌های مخرب را نشان می‌دهد.



## نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تلاش شد تا با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP و MABAC واحدهای هیدرولوژیک حوضه آبریز قلعه‌چای از نظر پتانسیل سیل‌خیزی اولویت‌بندی شوند. به این منظور از ۱۱ پارامتر مؤثر در شکل‌گیری رواناب و پتانسیل سیل‌خیزی استفاده شد. ابتدا به‌منظور تعیین وزن معیارها از مدل ANP استفاده شد و مهم‌ترین معیارها مشخص شدند. نتایج وزن‌دهی معیارها نشان داد که معیارهای جهت لیتولوژی، شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی به‌ترتیب با اوزان ۰/۱۸۹، ۰/۱۳۵ و ۰/۱۰۷ بیشترین وزن را داشته‌اند. بررسی پتانسیل سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیک نیز با استفاده از مدل MABAC نشان داد که واحدهای ۲A، ۲B و ۱C بیشترین وزن را داشته‌اند. بنابراین این واحدها از نظر اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در طبقه خیلی زیاد قرار دارند. بررسی ویژگی‌های جغرافیایی منطقه از قبیل نقشه‌های توپوگرافی و شیب نشان‌دهنده این است که حوضه آبریز قلعه‌چای حوضه‌ای کوهستانی بوده که از زیرحوضه‌های متعدد بزرگ و کوچکی تشکیل شده است. از این‌رو به‌دلیل دریافت بارش مناسب توسط ارتفاعات منطقه، پتانسیل سیل‌خیزی این حوضه زیاد است. نتایج اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک نیز نشان می‌دهد که واحدهایی که از سیل‌خیزی زیاد برخوردارند از نظر عواملی همچون شیب، لیتولوژی و پوشش گیاهی شرایط مناسبی برای شکل‌گیری رواناب‌های سطحی فراهم می‌کنند. نتایج تحقیق حاضر با نتایج پژوهشگرانی همچون صلواتی و ملکیان در زیرحوضه‌های شهری سندج [۱۴]، رضائی‌مقدم و همکاران در حوضه آبریز الندچای [۱۱] و ابراهیمی و همکاران در حوضه آبریز دشت مختاران بیرجند [۱] مطابقت دارد. این محققان استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را به‌عنوان روش‌هایی مناسب برای بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز پیشنهاد کرده‌اند که نتایج پژوهش حاضر نیز تأییدی بر نتایج محققین مذکور است.

## منابع

- [۱]. ابراهیمی، بهروز؛ معماریان خلیل‌آباد، هادی؛ تاجبخش، سیدمحمد؛ و آقاخان افشار، امیرحسین (۱۳۹۹). ارزیابی توان اکولوژیک واحدهای هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز به‌منظور اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری. مطالعه موردی: حوضه آبخیز دشت مختاران، بیرجند، *آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۰(۳۶)، ۱۲۳-۱۴۶.
- [۲]. بدری، بهرام؛ زارع بیدکی، رفعت؛ هنربخش، افشین؛ و آتشخوار، فاطمه (۱۳۹۵). اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد از نظر پتانسیل سیل‌خیزی، *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۴۸(۱)، ۱۴۳-۱۵۸.
- [۳]. چزگی، جواد؛ و حامدی، احسان (۱۴۰۲). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های رودخانه سرباز با استفاده از مدل SWAT، *پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم*، ۳، ۷۳-۸۶.
- [۴]. درخشان شهرام (۱۳۸۹). مطالعه پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز کسلیان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۰(۱۰)، ۵۱-۶۳.
- [۵]. رحیمی، داریوش؛ و رحیمی، داریوش (۱۳۹۰). پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت شهرکرد)، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۲(۴)، ۱۲۷-۱۴۲.
- [۶]. رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، اسدالله؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ و رحیم‌پور، توحید (۱۳۹۹). بررسی حساسیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه آبریز الوندچای، شمال غرب ایران)، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۹(۲)، ۱۹۵-۲۱۴. doi: 10.22034/gmpj.2020.118241
- [۷]. رضائی مقدم، 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)، ۲۹۱-۳۰۸. doi: 10.22059/jhsci.2024.369163.803
- [۸]. رضائی مقدم، محمدحسین؛ و رحیم‌پور، توحید (۱۴۰۲). رتبه‌بندی حوضه زهکشی سیه‌چشمه از نظر سیل‌خیزی به‌منظور مدیریت مخاطرات سیلاب، *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۰(۱)، ۱-۱۴. doi: 10.22059/jhsci.2023.356121.768
- [۹]. رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، اسدالله؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ و رحیم‌پور، توحید (۱۳۹۹). تحلیل خصوصیات هیدروژئومورفیک حوضه آبریز الوندچای به‌منظور اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر حساسیت سیل‌خیزی، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۹(۱)، ۶۱-۸۳. doi: 10.22067/geo.v9i1.84675
- [۱۰]. رضائی مقدم، 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
- [۱۱]. رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، اسدالله؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ و رحیم‌پور، توحید (۱۳۹۹). تحلیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها بر پایه مدل WASPAS مطالعه موردی: حوضه آبریز الوندچای، شمال غرب ایران، *هیدروژئومورفولوژی*، ۷(۲۴)، ۸۳-۱۰۶. doi: 10.22034/hyd.2020.39815.1534
- [۱۲]. زبردست، اسفندیار (۱۳۸۹). کاربرد فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، *هنرهای زیبا*، ۴۱(۲)، ۷۹-۹۰.
- [۱۳]. سلیمانی، کریم؛ شکران، فاطمه؛ عبدلی، سپیده؛ و صابری، عارف (۱۴۰۰). اولویت‌بندی پتانسیل خطر سیل‌خیزی حوضه آبخیز تالار در محیط GIS، *کوه‌پژوهی*، ۳(۳)، ۷۴۹-۷۶۲. doi: 10.22059/ije.2021.324244.1509
- [۱۴]. صلواتی، آریان؛ و ملکیان، آرش (۱۳۹۹). اولویت‌بندی زیرحوضه‌های شهری به‌منظور کنترل سیلاب با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری AHP و Fuzzy\_AHP، *پژوهش‌های محیط زیست*، ۱۱(۲۲)، ۳-۱۴.
- [۱۵]. متقیان، مسعود؛ علوی‌نیا، سیدحسن؛ مفیدی، سپیده؛ و عبدالله پور، زهرا (۱۴۰۲). بررسی پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها به روش FLDP (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کوهستان استان سمنان)، *هجدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران (آبخیزداری، بازیابی و احیای منابع آب‌و خاک)*، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ۱-۷.
- [۱۶]. محمدی، مجتبی؛ محمدی‌فر، علی‌اکبر؛ فروزان‌فرد، معصومه؛ و جلالی، مهدی (۱۴۰۱). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز دهبار در استان خراسان رضوی با استفاده از مدل TOPSIS، *آنالیز مورفومتریک و تجزیه‌وتحلیل منطقه‌ای سیلاب، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱۳(۲۵)، ۱۸۸-۱۹۶.
- [۱۷]. مقیمی، ابراهیم (۱۴۰۳). رویکرد جدید به مخاطرات محیطی و توسعه پایدار در ایران، *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۱۱(۱)، ۸۴-۷۳. DOI: http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.378814.830

- [۱۸]. نصیری، زهرا؛ وو طالبی، علی (۱۳۹۹). اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی با استفاده از مدل HEC-HMS در بالادست رودخانه خشک شیراز، *اکوهیدرولوژی*، ۷(۱)، ۴۷-۵۷.
- [۱۹]. نفرزادگان، علی‌رضا؛ محمدی فر، علی‌اکبر؛ وقارفر، حسن؛ و فروزان‌فرد، معصومه (۱۳۹۸). ادغام مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تکنیک تجزیه و تحلیل منطقه‌ای سیلاب جهت اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها برای کنترل سیل (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دهبار خراسان)، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۸(۲)، ۲۷-۴۵. doi: 10.22067/geo.v0i0.76607
- [20]. Avand, M., Nasiri Khiavi, A., Khazaei, M., & Tiefenbacher, J.P. (2021). Determination of flood probability and prioritization of sub-watersheds: A comparison of game theory to machine learning. *Journal of Environmental Management*, 295: 1-14.
- [21]. Benito, G., Rico, M., Sánchez-Moya, Y., Sopeña, A., Thorndycraft, V.R., & Barriendos, M. (2010). The impact of late Holocene climatic variability and land use change on the flood hydrology of the Guadalentín River, southeast Spain. *Glob. Planet. Chang*, 70(1-4), 53-63.
- [22]. Bisht, S., Chaudhry, S., Sharma, S., & Soni, S. (2018). Assessment of flash flood vulnerability zonation through Geospatial technique in high altitude Himalayan watershed, Himachal Pradesh India, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 35-47. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.09.001>
- [23]. Chen, W., Pourghasemi, H.R., & Naghibi, S.A. (2018). A comparative study of landslide susceptibility maps produced using support vector machine with different kernel functions and entropy data mining models in China. *Bull. Eng. Geol. Environ*, 77, 647-664.
- [24]. Diriba, D., Takele, T., Karuppannan, S., & Husein, M. (2024). Flood hazard analysis and risk assessment using remote sensing, GIS, and AHP techniques: a case study of the Gidabo Watershed, main Ethiopian Rift, Ethiopia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1). <https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2361813>
- [25]. Erena, S.H., & Worku, H. (2018). Flood risk analysis: causes and landscape based mitigation strategies in Dire Dawa city, Ethiopia. *Geoenviro Disas* 5:16.
- [26]. Garde, R. J. (2006). River Morphology. New Delhi: Published by New Age International (P) Ltd.
- [27]. Hitouri, S., Mohajane, M., Lahsaini, M., Ali, S.A., Setargie, T.A., Tripathi, G., D'Antonio, P., Singh, S.K., & Varasano, A. (2024). Flood Susceptibility Mapping Using SAR Data and Machine Learning Algorithms in a Small Watershed in Northwestern Morocco. *Remote Sens*, 16, 858.
- [28]. Javidan, N., Kavian, A., Pourghasemi, HR., Conoscenti, C., & Jafarian, Z. (2019). Gully erosion susceptibility mapping using multivariate adaptive regression splines—replications and sample size scenarios. *Water*, 11, 2319. <https://doi.org/10.3390/w11112319>
- [29]. Marwade, A., Patil, A., & Panhalkar, S. (2024). Mapping and Prioritizing Flash-Flood Susceptible Watersheds in the Warana Basin, India: A Morphometric Analysis and Total Ranking Approach for Resilience Planning. *Journal of Geomatics*, 18(1), 1-11. <https://doi.org/10.58825/jog.2024.18.1.90>
- [30]. Mbow, C., Diop, A., Diaw, A.T., & Niang, C.I. (2008). Urban sprawl development and flooding at Yeumbeul suburb (Dakar Senegal). *Afr J Environ Sci Technol*, 2, 075-088.
- [31]. Nedkov, S., & Burkhard, B. (2012). Flood regulating ecosystem services—mapping supply and demand, in the Etropole municipality, *Bulgaria. Ecol. Indic.* 21, 67-79.
- [32]. Pamučar, D., & Čirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC), *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016-3028.
- [33]. Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw Hill, 287 p.
- [34]. Saaty, T.L., & Vargas, L.G. (2006): *Decision Making with the Analytic Network Process*, New York: Springer Science, 363 p.
- [35]. Sepehr, A., Abdollahi, A., Mohammadian, A., & Pashaie Nejad, M. (2017). Prioritization of Kashafud Sub-basins in Terms of Flooding Sensitivity Based on ELECTRE-TRI Algorithm. *Universal Journal of Geoscience*, 5(4), 83-90. DOI: 10.13189/ujg.2017.050401
- [36]. Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of American Geophysics Union*, 38, 913-920.
- [37]. Tien Bui, D., Khosravi, K., Shahabi, H., Daggupati, P., Adamowski, J.F., Melesse, A.M., Thai Pham, B., Pourghasemi, H.R., Mahmoudi, M., & Bahrami, S. (2019). Flood spatial modeling in northern Iran using remote sensing and gis: A comparison between evidential belief functions and its ensemble with a multivariate logistic regression model. *Remote Sens*, 11, 1589
- [38]. Towfiqul Islam, A.B., Talukdar, S., Mahato, S., Kundu, S., UddinEibek, K., BaoPham, Q., Kuriqi, A., & ThuyLinh, N.T. (2021). Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models, *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101075. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.006>
- [39]. World Health Organization (WHO).