



Application of DEMATEL-AHP and SVM in identifying flood-prone areas (Case study: Barzak-e-Kashan basin)

Seyyede Faezeh Lahoutinasab¹ | Hoda Ghasemieh²

1. Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran. E-mail: fayilahouti76@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran. E-mail: h.ghasemieh@kashanu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: June. 7, 2024

Revised: July. 17, 2024

Accepted: Sep. 11, 2024

Published online: Dec. 2024

Keywords:

Rainfall,
Barzak,
Multi-Criteria Decision Making,
Data Mining,
Flood.

ABSTRACT

Flood is one of the most frequent and costly natural disasters, and the financial and human losses caused by it every year affect a wide range of countries, especially Iran. Therefore, one of the fields of research to control flood risks is to identify the flooding points of the region. For this reason, the aim of the current research is to identify flood-prone areas in Barzak-e-Kashan basin using DEMATEL-AHP and SVM models. For this purpose, 100 flooding points were identified and recorded during field visits. In the following, 12 factors affecting the occurrence of flood including precipitation, lithology, land use, distance from stream, slope, drainage density, topographic position index, topographic wetness index, topographic roughness index, stream power index, curve number and runoff coefficient were selected for preparing maps of flood-prone areas and their layers were prepared in ArcGIS 10.7.1 and SAGA GIS softwares' environment. The results showed that the precipitation component with the highest weight equal to 0.211 is the most effective variable on flooding and the runoff coefficient is the most influential factor and has the most relationship with other factors. Also, according to AUC=0.859, the AHP efficiency was evaluated very well and the SVM accuracy was good (AUC= 0.751) in validation phase. The map of flood-prone area also showed that the north, northwest, and west lands of Barzak basin have the highest potential for flooding. The results of the present research can be used as a road map for managers and policy makers to manage flood.

Cite this article: Lahoutinasab, S. F., & Ghasemieh, H. (2024). Application of DEMATEL-AHP in identifying flood-prone areas (Case study: Barzok-e-Kashan basin)., *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55 (10), 1939-1960. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.377663.669724>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.377663.669724>





EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Flood is one of the most frequent and costly natural disasters and their frequency has been on the rise in recent years not only in developing countries, but also worldwide. The financial, economic and human losses caused by flood every year affect a wide range of countries, particularly Iran. Therefore, one of the research fields to control and mitigate flood risks is the identification of flood-prone areas in the region.

Research Method

For this reason, the aim of the current research is to identify flood-prone areas in the Barzak-e-Kashan basin using the DEMATEL-AHP and SVM models.

Research Method

For this purpose, 100 flooding points were identified and recorded during field visits. In the following, 12 factors affecting the occurrence of flood including precipitation, lithology, land use, distance from the stream, slope, drainage density, topographic position index (TPI), topographic wetness index (TWI), topographic roughness index (TRI), stream power index (SPI), curve number and runoff coefficient were selected for preparing maps of flood-prone areas and their layers were prepared in ArcGIS 10.7.1 and SAGA GIS software environment.

Results and Discussion

According to the results obtained from the implementation of the AHP model, the factors affecting flooding, are ranked in order from the lowest to the highest weight as follows, the stream power index (0.013), topographic roughness index (0.014), topographic wetness index (0.018), topographic position index (0.019), drainage density (0.056), slope (0.063), distance from the stream (0.083), land use (0.094), runoff coefficient (0.124), curve number (0.147), lithology (0.159) and precipitation (0.211). This indicates that precipitation component with the weight to 0.211 is the most influential variable on flooding. The results of the DEMATEL method also support this, showing that precipitation with the highest weight (0.211) is the most effective and influential parameter among other components. Additionally, the runoff coefficient with the weight equal to 0.124 is the most influential and has the most relationship with other factors. Also, according to the area under the ROC curve (AUC=0.859), the AHP model was evaluated to be very well and efficient in the validation stage. Also, the SVM accuracy was good (AUC= 0.751) in validation phase. The final flood zoning maps of Barzak basin using AHP and SVM models also confirm that the southern, southwestern, and southeastern parts of the basin have low to very low sensitivity to flooding, while the northern, northwest and west parts have moderate to very high sensitivity to flooding.

Conclusion

Flood is one of the most important natural crises. This phenomenon causes soil erosion, and landslide and has destructive effects on the environment for which a solution must be found. To prevent the harmful effects of flood, changes cannot be made in atmospheric factors and elements, and a scientific and principled solution must be found for it in basins. One of the ways to control flood risks is to identify flood critical points and the necessity of land use management, because the lack of sufficient knowledge of flood critical points leads to mismanagement and heavy financial and human losses because of flood. Therefore, it is essential to prepare a zoning map and determine potential flood areas in basins, especially study basin. As a result, the findings of this research can be used as a road map for executive managers and urban policymakers to manage flood.

Author Contributions

Conceptualization, Ghasemieh. H.; methodology, Lahoutinasab, S.F. and Ghasemieh. H.; software, Lahoutinasab, S.F.; validation, Lahoutinasab, S.F. and Ghasemieh. H.; formal analysis, Lahoutinasab, S.F. and Ghasemieh. H.; investigation, Lahoutinasab, S.F. and Ghasemieh. H.; resources, Lahoutinasab, S.F. and Ghasemieh. H.; data curation, Lahoutinasab, S.F.; writing—original draft preparation, Lahoutinasab, S.F.; writing—review and editing, Ghasemieh. H.; visualization, Ghasemieh. H.; supervision, Ghasemieh. H.; project administration, Ghasemieh. H.; funding acquisition, Ghasemieh. H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Data Availability Statement

Data is available on reasonable request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the reviewers and editor for their critical comments that helped to improve

the paper.

Ethical considerations

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

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

کاربرد DEMATEL-AHP و SVM در شناسایی مناطق مستعد سیلاب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز برزک کاشان)

سیده فائزه لاهوتی نسب^۱ | هدی قاسمیه^۲✉^۱. گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران. رایانامه: fayilahouti76@gmail.com^۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران. رایانامه: h.ghasemieh@kashanu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	سیل، از جمله فراوانترین و پرهزینه ترین حوادث طبیعی محسوب میشود و خسارات مالی و جانی ناشی از آن هر سال گستره‌ای از کشورها به‌ویژه کشور ایران را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. لذا یکی از زمینه‌های پژوهش برای کنترل خطرات سیل، شناسایی نقاط بحرانی منطقه است. به همین دلیل هدف از پژوهش حاضر، شناسایی مناطق مستعد سیل در حوزه آبخیز برزک کاشان با استفاده از مدل‌های DEMATEL-AHP و SVM است. برای این منظور طی بازدیدهای صحرایی صورت گرفته، ۱۰۰ نقطه سیل‌گیر شناسایی و ثبت شدند. در ادامه، ۱۲ عامل مؤثر بر وقوع سیل شامل بارش، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، شیب، تراکم زهکشی، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص زبری توپوگرافی، شاخص قدرت جریان، شماره منحنی و ضریب رواناب به‌منظور تهیه نقشه مناطق مستعد سیل‌خیزی انتخاب شدند و لایه‌های آن‌ها در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS 10.7.1 و SAGA GIS تهیه شدند. نتایج نشان داد که مؤلفه بارش با بیشترین وزن معادل ۰/۲۱۱، مؤثرترین متغیر بر سیل‌خیزی است. همچنین ضریب رواناب، تأثیرپذیرترین عامل است و بیشترین ارتباط را با دیگر عوامل دارد. همچنین با توجه به سطح زیر منحنی (ROC (859/0=AUC)، کارایی مدل AHP بسیار خوب ارزیابی شد. میزان دقت پیش‌بینی مدل SVM نیز در مرحله اعتبارسنجی، خوب (۰/۷۵۱) بوده است. نقشه مناطق مستعد سیل نیز نشان داد که مناطق شمال، شمال غرب و غرب حوزه آبخیز برزک دارای بیشترین پتانسیل در وقوع سیل و سیل‌خیزی هستند. در نتیجه، نتایج پژوهش حاضر می‌تواند به‌عنوان نقشه راهی برای مدیران و سیاست‌گذاران به‌منظور مدیریت سیلاب قرار گیرد.
واژه‌های کلیدی: بارش، برزک، تصمیم‌گیری چندمعیاره، داده‌کاوی، سیلاب.	

استناد: لاهوتی‌نسب، سیده فائزه؛ قاسمیه، هدی (۱۴۰۳). کاربرد DEMATEL-AHP و SVM در شناسایی مناطق مستعد سیلاب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز برزک

کاشان)، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۱۰)، ۱۹۶۰-۱۹۳۹. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.377663.669724>

© نویسنده‌گان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.377663.669724>

مقدمه

از گذشته‌های دور تا کنون، بشر از منابع طبیعی به‌عنوان منابع مهم و ارزشمند در زندگی خود استفاده نموده‌اند (کریمی و کرمی دهکردی، ۱۳۹۳). از این رو تخریب منابع طبیعی، یکی از جدی‌ترین و مهم‌ترین مشکلات و معضلات برای برنامه‌ریزی و مدیریت حوزه‌های آبخیز و مناطق شهری است و تداوم چنین وضعیتی منجر به رخداد پیامدهای منفی مانند بحران‌های زیست‌محیطی و بلایای طبیعی می‌شود (Bouahim, 2010). بلایای طبیعی، ظرفیت محلی جوامع را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند. در واقع، بلایای طبیعی مانند سیل، زلزله، زمین‌لغزش و غیره، اغلب یک رویداد ناگهانی هستند که در همه سال‌ها، باعث آسیب‌های مالی و جانی و رنج انسان می‌شوند. در نتیجه، یکی از اهداف مهم توسعه پایدار سازمان ملل متحد، تمرکز بر تقویت تاب‌آوری و سازگاری با انواع بلایای طبیعی است (Mojaddadi et al., 2017). در بین بلایای گفته شده، سیل به‌عنوان یک رخداد طبیعی و جدی با خسارات جبران‌ناپذیر و زیاد محسوب می‌شود (Youssef et al., 2023) که معمولاً در نتیجه ناتوانی کانال، آبراهه یا رودخانه در انتقال و حرکت طبیعی جریان آب اضافی پس از بارش شدید توسط سیستم زهکشی ایجاد می‌شود و از آن جایی که ظرفیت کانال یا آبراهه برای عبور جریان آب اضافی کافی نیست، آب از کانال اصلی یا آبراهه سرریز می‌کند (Mojaddadi et al., 2017). سیل، از جمله قدیمی‌ترین و مخرب‌ترین خطرات هیدرولوژیکی در سرتاسر دنیا محسوب می‌شود؛ به‌گونه‌ای که این پدیده از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۳ میلادی، حدود ۴۳ درصد از بلایای طبیعی را تشکیل داده و زندگی نزدیک به ۲۰۵ میلیارد انسان را در نقاط مختلف جهان تحت تأثیر خود قرار داده است (Eunice et al., 2015).

کشور ایران نیز از این بلای طبیعی مستثنی نیست. افزایش سیل در سال‌های اخیر نشان می‌دهد بیشتر مناطق ایران در معرض تهاجم سیل‌های ادواری و مخرب قرار دارند و ابعاد خسارت‌ها و تلفات جانی و مالی سیل افزایش یافته است. به‌عنوان مثال در اواخر سال ۱۳۹۷، اوایل سال ۱۳۹۸ و اوایل سال‌های ۱۴۰۲ و ۱۴۰۳، سیلاب‌هایی با خسارات کم تا زیاد در برخی استان‌های کشور مانند فارس، خوزستان، لرستان، اصفهان و استان‌های شمالی رخ داده است. بنابراین ارزیابی جامع خطرات ناشی از سیل و مدل‌سازی این بحران طبیعی برای جامعه بسیار حیاتی و ضروری است تا مردم خطراتی را که با آن مواجه‌اند، دریابند؛ چرا که بی‌توجهی به مناطق حساس و مستعد سیل یک حوزه آبخیز می‌تواند شدت و فراوانی وقوع سیل را افزایش دهد. بنابراین ارزیابی خطر سیل و مشارکت مردم در فرآیندهای تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و اجرا برای مقابله با آن می‌تواند به راه‌حل‌های پایدار بینجامد.

طی تحقیقات صورت گرفته در مناطق مختلف جهان و به‌ویژه ایران، پارامترهای متعددی مانند شیب، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی منطقه، بارش و غیره در وقوع سیل و نیز تولید نقشه مناطق بالقوه سیل‌خیزی نقش دارند (Tehrani et al., 2015) که محققین در اقصی نقاط جهان با توجه به شرایط حوزه آبخیز، تعدادی از آن‌ها را برای تهیه نقشه مذکور استفاده نموده‌اند. این پارامترها را می‌توان در دسته‌های فیزیوگرافیک و توپوگرافیک، اقلیمی، هیدرولوژیکی، ژئولوژیکی و ژئومورفیک، ادفیک، اکولوژیکی، مورفومتریک و انسانی قرار داد. بنابراین در گام اول، تعیین هر یک از پارامترهای مؤثر در بروز سیل در یک منطقه حائز اهمیت است. در کشور ایران متأسفانه سیل‌گرفتنی در بعضی حوزه‌های آبخیز و نیز در مناطق شهری به دلیل بعضی محدودیت‌ها و نبود داده‌های دقیق و کافی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به این موضوع، تصمیم‌گیری در محیط‌های پیچیده، یکی از مسائل بسیار مهم در مدیریت نوین به‌شمار می‌رود. در این موارد، تصمیم‌گیرنده با گزینه‌هایی متفاوت تحت معیارهای مختلفی که از محیط داخلی یا خارجی سیستم متأثر می‌شوند، مواجه است. در چنین شرایطی، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^۱ و مدل‌های داده‌کاوی^۲ به‌عنوان ابزارهای کارا برای تهیه نقشه‌های مناطق بالقوه و مستعد سیل (به‌عنوان یک اقدام غیرساختاری) به‌منظور اخذ تصمیم صحیح و برنامه‌ریزی دقیق، مناسب به‌نظر می‌رسد (فتح‌الله‌زاده و مهدی‌زاده، ۱۳۹۲؛ موسوی و همکاران، ۱۳۹۵).

با توجه به مسائل مطرح شده، هدف اصلی از پژوهش حاضر شناسایی مناطق مستعد سیل در حوزه آبخیز برزک واقع در استان اصفهان است. برای این منظور، ابتدا تلاش گردید متغیرهای مؤثر در وقوع سیل در حوزه آبخیز برزک کاشان مشخص شوند. سپس مناطق مستعد سیل و پهنه‌های آن با کاربرد دو مدل DEMATEL-AHP^۳ (در نرم‌افزارهای Expert Choice و Excel) و SVM^۴ (در نرم‌افزار ModEco) با استفاده از ۱۲ عامل مؤثر در وقوع سیل در حوزه آبخیز برزک کاشان تعیین گردیده و کارایی این دو مدل مورد بررسی قرار گرفته است. شایان ذکر است که حوزه آبخیز برزک به‌عنوان بخشی از حوزه آبریز دریاچه نمک، یکی از حوضه‌هایی است که در سال‌های

1. MCDM: Multi-Criteria Decision-Making

2. Data Mining

3. DEMATEL-AHP: Decision Making Trial And Evaluation- Analytic Hierarchy Process

4. SVM: Support Vector Machine



متممادی با پدیده سیلاب مواجه بوده است. طی بازدیدهای میدانی و مصاحبه با ساکنین محلی، مشخص گردید که این حوزه آبخیز، یک حوضه تقریباً کوهستانی و سیل خیز محسوب می‌شود که عوامل مؤثر در پدیده سیل‌خیزی در این حوضه بررسی نشده و این حوضه، فاقد نقشه مناطق بالقوه سیل‌خیزی است. بنابراین تولید نقشه مناطق سیل‌خیزی در حوزه آبخیز برزک می‌تواند پایه مدیریت و کنترل خطر سیل برای مدیران و برنامه‌ریزان در این مناطق را فراهم آورد (Alfieri et al., 2017)، چرا که برای جلوگیری از آثار زیان‌بار سیل نمی‌توان تغییری در عوامل جوی ایجاد کرد. در نتیجه، هر گونه راه‌حل اصولی را باید در زمین و در حوزه‌های آبخیز جستجو نمود (ملازهی و همکاران، ۱۳۹۹).

پیشینه پژوهش

یکی از زمینه‌های پژوهش برای کنترل خطرات سیل، شناسایی نقاط بحرانی منطقه است؛ زیرا عدم شناخت کافی این نقاط موجب خسارت‌های مالی و جانی سنگین می‌شود. برای این منظور در درجه اول، تعیین مهم‌ترین عوامل و معیارهای مؤثر در وقوع سیل در حوزه آبخیز مطالعاتی و سپس شناسایی مناطق مستعد و آسیب‌پذیر از نظر وقوع سیل در این حوضه، بسیار حائز اهمیت و ضروری است. در واقع تهیه نقشه‌های مناطق سیل‌گیر، پایه و اساس مدیریت و کنترل خطر سیل را برای مدیران و برنامه‌ریزان در این مناطق فراهم می‌آورد (Alfieri et al., 2014؛ Sadeghi-pouya et al., 2017). در مطالعات مختلف، از روش‌های مختلفی مانند روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای پیش‌بینی مناطق مستعد سیلاب، مکان‌یابی و پهنه‌بندی سیلاب استفاده کرده‌اند (شیرانی و چاوشی، ۱۳۹۷؛ امیری و همکاران، ۱۳۹۷؛ فرهادی و همکاران، ۱۴۰۰؛ Costache et al., 2020؛ Chukwuma et al., 2021؛ Kumar et al., 2023؛ Wu؛ Mukhtar et al., 2024؛ et al., 2024). همچنین از روش‌های مختلف برای تعیین وزن‌دهی به عوامل مؤثر بر سیلاب استفاده شده است (قربانی‌نژاد و زینی‌وند، ۱۴۰۱)؛ به‌عنوان مثال در مطالعات متعددی به‌دلیل سهولت و کارایی بالای AHP، این روش به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای وزن‌دهی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر سیلاب و پهنه‌های سیلاب استفاده شده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹؛ شهیری طبرستانی و ذکایی، ۱۳۹۹؛ Karimi et al., 2024؛ Senan et al., 2023). همچنین از روش DEMATEL به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای شناسایی الگوی روابط علی میان متغیرهای مؤثر بر سیلاب استفاده شده است (شفیعی و قنبرزاده، ۱۳۹۷؛ Safaripour & Rezapour Andalibi, 2020؛ Zheng et al., 2023؛ Zheng et al., 2024؛ Xue et al., 2024).

به‌عنوان مثال Nsango و همکاران (۲۰۲۲) طی تحقیقی، حساسیت به خطرات سیل را در حوزه آبخیز مفوندی واقع در فلات جنوبی کامرون با استفاده از عوامل مؤثر در وقوع سیل، شاخص خطر سیلاب (FHI)^۱ و روش AHP در محیط GIS ارزیابی نمودند و به این نتیجه رسیدند که بین ده پارامتر انتخاب شده (شامل پوشش زمین، زمین‌شناسی، ارتفاع، شیب، بارندگی، سطح آب زیرزمینی، هدایت هیدرولیکی، شاخص رطوبت توپوگرافی، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه)، مؤلفه‌های پوشش زمین، ارتفاع و زمین‌شناسی، بیشترین تأثیر را در وقوع سیلاب در منطقه مطالعاتی ایفا می‌کنند. طی تحقیقی دیگر، حبیب‌نژاد و همکاران (۱۴۰۲) برای شناسایی مناطق سیل‌گیر در حوضه کارون از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و صحت‌سنجی آن با شاخص آبی (NDWI)^۲ استخراج شده از تصاویر ماهواره لندست ۸، استفاده نمودند. ایشان در این پژوهش، ابتدا ۱۵ پارامتر مؤثر در وقوع سیلاب از جمله ارتفاع، مقدار و جهت شیب، انحنای زمین، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)^۳، شاخص قدرت جریان (SPI)^۴، بارندگی، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، فاصله از گسل، تراکم گسل، فاصله از جاده، تراکم جاده، لیتولوژی، شماره منحنی (CN)^۵ و کاربری اراضی را انتخاب نمودند. وزن‌دهی این پارامترها براساس روش AHP در محیط نرم‌افزار Expert Choice انجام شد. در نهایت با استفاده از دستور تلفیق لایه‌ها براساس وزن‌دهی روش AHP در محیط نرم‌افزار GIS^۶، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیلاب به‌دست آمد و برای صحت‌سنجی نقشه خطر سیلاب به‌دست آمده، از شاخص آبی NDWI بهره گرفته شد.

1. FHI: Flood Hazard Index
2. NDWI: Normalized Difference Water Index
3. TWI: Topographic Wetness Index
4. SPI: Stream Power Index
5. SPI: Stream Power Index
6. Geographic Information System

همچنین براساس سوابق پژوهش بررسی شده، از مدل‌های مختلف داده‌کاوی مانند ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۱ برای شناسایی مناطق مستعد سیل در نقاط مختلف جهان استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات Han و همکاران (۲۰۰۷)، Costache و همکاران (۲۰۲۰)، Islam و همکاران (۲۰۲۱)، Bera و همکاران (۲۰۲۲)، Ghosh و همکاران (۲۰۲۲)، مجددی ریزه‌ئی و همکاران (۱۳۹۹)، چراغی قلعه‌سری و همکاران (۱۳۹۹) و میرکاظمی و همکاران (۱۴۰۰) اشاره نمود. به‌عنوان مثال Bera و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از مدل‌های ماشین بردار پشتیبان، آنتروپی شانون (SE)^۲ و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) به تهیه نقشه مناطق مستعد سیل در مناطق ساحلی بنگال غربی هند پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که براساس مقادیر سطح زیر منحنی (AUC)^۳ برای منحنی‌های مشخصه عملیاتی گیرنده (ROC)^۴، عملکرد مدل SVM بهتر از دو مدل دیگر بوده است.

مطالعه پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که در مناطق مختلف مطالعاتی با توجه به شرایط حاکم بر منطقه، عوامل متعددی در وقوع سیل نقش داشته‌اند. همچنین در این تحقیقات، از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره و نیز مدل‌های داده‌کاوی به‌منظور شناسایی مناطق مستعد سیل و تهیه نقشه حساسیت‌پذیری سیل استفاده شده است که با توجه به شرایط حوزه آبخیز مطالعاتی، عملکرد و دقت مدل‌ها متفاوت به‌دست آمده است. لذا با قطعیت نمی‌توان مدلی را بر دیگری ارجحیت داد.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز برزک، بخشی از حوزه آبریز دریاچه نمک است که با مساحت ۳۵۲/۳۳ کیلومترمربع در جنوب غربی شهرستان کاشان و در استان اصفهان واقع شده است. این حوزه در مختصات جغرافیایی ۲۸° ۳۳' تا ۳۳° ۴۸' عرض شمالی و ۶° ۳' تا ۵۱° ۷' طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا در این حوزه، به‌ترتیب برابر ۱۷۵۸ و ۳۵۷۹ متر از سطح دریا است. همچنین ایستگاه تبخیرسنجی برزک با ارتفاع ۲۰۸۰ متر از سطح دریا و میانگین بارش سالانه ۲۰۸/۸ میلی‌متر (طی یک دوره ۵۰ ساله) تقریباً در مرکز حوزه مطالعاتی قرار گرفته است. بزرگ‌ترین شهر حوزه آبخیز مطالعاتی، شهر برزک در فاصله ۵۰ کیلومتری از مرکز شهرستان کاشان است که جمعیت آن براساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن صورت گرفته در سال ۱۳۹۵، ۴۵۸۸ نفر است.

پارامترهای مؤثر بر سیلاب

در این تحقیق، داده‌ها و اطلاعاتی شامل داده‌های توپوگرافی، اقلیمی، زمین‌شناسی، آدافیکی، کاربری اراضی، هیدرولوژی و سیل‌خیزی منطقه مورد مطالعه و غیره مورد نیاز است که باید نقشه‌های متناظر آن‌ها تهیه شود. به‌منظور تهیه نقشه‌های مؤلفه‌های مؤثر در وقوع سیل‌خیزی حوزه آبخیز برزک، اطلاعات مورد نیاز از سازمان‌ها و اداره‌های مربوطه مانند سازمان جغرافیایی ارتش، سازمان هواشناسی کل کشور، اداره هواشناسی شهرستان کاشان، سازمان زمین‌شناسی کشور، شرکت آب منطقه‌ای استان اصفهان، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان کاشان، اداره جهاد کشاورزی شهرستان کاشان و نیز از پایگاه‌ها و سایت‌های اطلاعاتی معتبر تهیه شد. برای تهیه نقشه‌های بافت خاک و کاربری اراضی نیز، به‌ترتیب نمونه‌برداری از بافت سطحی خاک در نقاط مختلف حوزه و نیز بازدید صحرایی به‌منظور ثبت مختصات جغرافیایی کاربری‌های مختلف انجام گرفت. در ادامه، ۱۲ متغیر مورد استفاده با جزئیات بیشتر تشریح شده‌اند.

۱- پارامترهای استخراج شده از مدل رقومی ارتفاع (DEM):^۵

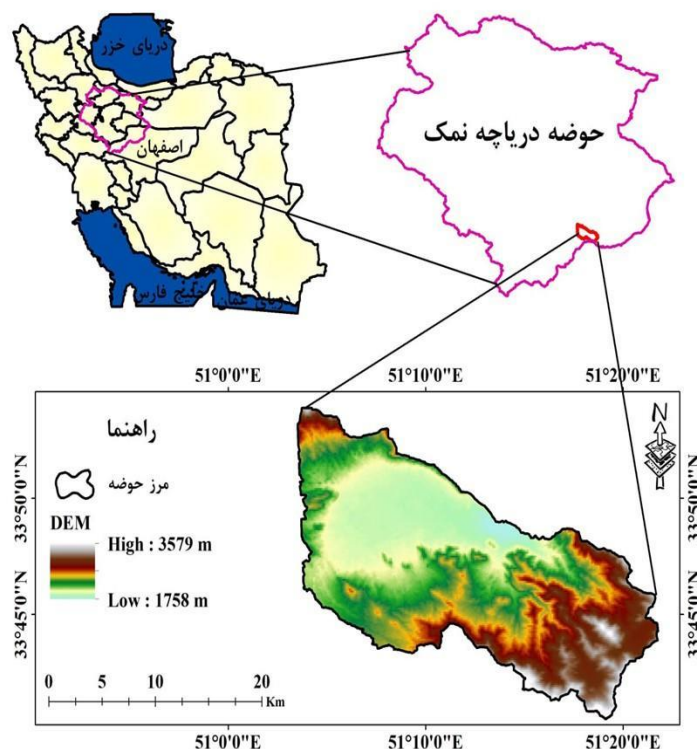
در این تحقیق، ابتدا مدل رقومی ارتفاع حوزه آبخیز برزک از مدل رقومی ارتفاع کل کشور با اندازه سلولی ۳۰×۳۰ متر در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.7.1 استخراج گردید. سپس نقشه شیب براساس مدل رقومی ارتفاع و دستور slope در نرم‌افزار Arc GIS 10.7.1 تهیه گردید. همچنین شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)^۷، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)^۸، شاخص زبری توپوگرافی (TRI)^۸ و شاخص توان

1. SVM: Support Vector Machine
 2. Shanon Entropy
 3. AUC: Area under the ROC Curve
 4. ROC: Receiver Operating Characteristic
 5. DEM: Digital Elevation Model
 6. Cell Size
 7. TPI: Topographic Position Index
 8. TRI: Topographic Roughness Index

آبراهه (SPI) در محیط نرم‌افزار SAGA GIS و براساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) تهیه شدند. پس از تهیه نقشه شبکه آبراهه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، نقشه‌های فاصله از آبراهه و تراکم زهکشی براساس نقشه شبکه آبراهه و به ترتیب با استفاده از دستورهای Euclidean distance و Density در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.7.1 تهیه شدند.

۲- بارش:

در این تحقیق به منظور تهیه نقشه میانگین بارندگی سالانه حوزه آبخیز مطالعاتی، ابتدا از آمار میانگین بارش سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی موجود در داخل و اطراف حوزه آبخیز طی سال‌های آبی ۱۳۷۴-۷۵ الی ۱۳۹۶-۹۷ (دوره مشترک ۲۲ ساله) استفاده شد. سپس براساس معادله رگرسیونی بارش سالانه و ارتفاع ایستگاه‌های مطالعاتی و اعمال رابطه در مدل رقومی ارتفاع حوزه آبخیز بزرگ با استفاده از دستور Raster Calculator، نقشه بارش سالانه منطقه مطالعاتی در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.7.1 به دست آمد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز بزرگ کاشان

۳- زمین‌شناسی:

به منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی حوزه آبخیز بزرگ، از نقشه زمین‌شناسی شیت کاشان با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ (تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور) استفاده شد.

۴- کاربری اراضی:

به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی، تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مورخ ۱۸ خرداد ۱۴۰۰ از سایت USGS^۱ مربوط به سازمان زمین‌شناسی آمریکا دانلود شد. سپس با استفاده از ۱۵۰ نمونه تعلیمی و نقاط ثبت شده در بازدید میدانی، نقشه کاربری اراضی از طریق نرم‌افزار ENVI تهیه شد.

۵- شماره منحنی (CN):

برای تهیه نقشه شماره منحنی، به اطلاعاتی شامل کاربری اراضی، بافت خاک، گروه هیدرولوژیکی خاک و وضعیت هیدرولوژیکی اراضی نیاز است. بدین منظور طی بازدیدهای صحرایی، نمونه‌برداری از بافت خاک سطحی حوزه آبخیز (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) صورت گرفت. شایان

1. USGS: United States Geological Survey

ذکر است که به دلیل صعب‌العبور منطقه و عمق کم خاک در بعضی نقاط حوزه آبخیز، تنها از ۲۵ نقطه نمونه‌برداری صورت گرفت. پس از تعیین بافت خاک هر کدام از نمونه‌ها در آزمایشگاه و تهیه نقشه بافت خاک، از تلفیق نقشه‌های مذکور در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.7.1، نقشه شماره منحنی در حالت رطوبت پیشین II تهیه گردید.

۶- ضریب رواناب:

به‌منظور تهیه نقشه ضریب رواناب، ابتدا ارتفاع رواناب براساس روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و بارش حداکثر ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های مختلف ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه شد. ذکر این نکته ضروری است که در رابطه SCS اگر ارتفاع بارش کمتر از ۰/۲S باشد، فرض می‌شود که رواناب به‌وجود نمی‌آید. به عبارت دیگر، رواناب صفر در نظر گرفته می‌شود. همچنین مقدار بارش حداکثر ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های بزرگ‌تر، بیشتر است. پس از محاسبه ارتفاع رواناب و ضریب رواناب، نقشه‌های ارتفاع رواناب و ضریب رواناب حوزه آبخیز برزک برای کلیه دوره بازگشت‌های مختلف در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.7.1 به‌دست آمدند و در نهایت با توجه به پراکنش و نمایش بهتر ضریب رواناب در دوره بازگشت ۲۰ ساله روی نقشه، تنها نقشه ضریب رواناب در این دوره بازگشت ملاک عمل قرار گرفت. شایان ذکر است که به‌منظور تعیین بارش حداکثر ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های مختلف، ابتدا بارش‌های حداکثر ۲۴ ساعته در دوره آماری ۲۲ ساله برای ایستگاه‌هایی که حوزه آبخیز برزک را پوشش می‌دهند، استخراج گردید. سپس براساس بهترین توزیع آماری برازش یافته روی داده‌های مذکور در نرم‌افزار Easy Fit Professional v5.6، بارش حداکثر ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های مختلف ساله به‌دست آمد.

در جدول ۱، متغیرهای مورد استفاده به همراه کد هر کدام قابل مشاهده است.

جدول ۱. متغیرهای مورد استفاده در پژوهش حاضر

مؤلفه‌ها	بارش	زمین‌شناسی	کاربری اراضی	فاصله از آبراهه	شیب	تراکم زهکشی	شاخص موقعیت توپوگرافی	شاخص رطوبت توپوگرافی	شاخص زبری توپوگرافی	شاخص توان آبراهه	شماره منحنی	ضریب رواناب
کد معیار	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12

مدل DEMATEL

DEMATEL، روابط بین معیار و زیرمعیار را نشان می‌دهد؛ اما معیارها را درجه‌بندی و وزن‌دهی نمی‌کند؛ به همین دلیل در اکثر پژوهش‌ها به‌تنهایی کاربرد ندارد و با روش‌هایی مثل AHP یا ANP^۲ استفاده می‌شود. DEMATEL، یکی از بهترین مدل‌هایی است که برای تأثیرات بین واقعیت‌ها پذیرفته شده است (لاهوتهی، ۱۴۰۲). مراحل این روش در ۵ مرحله به شرح زیر خلاصه می‌شود:

تهیه ماتریس شدت نسبی روابط مستقیم

در این مرحله، گروه متخصصان و کارشناسان مقایسه‌های زوجی بین معیارها را انجام می‌دهند. هر کارشناس باید نظر خود را در رابطه با اثرگذاری عامل i بر عامل j بیان کند. در ماتریس، اثر معیار سطر بر ستون سنجیده می‌شود و ماتریس‌ها جهت‌دار هستند. جهت‌دار بودن ماتریس به این معنا است که شاخصی مانند A بر B اثر دارد؛ ولی شاخص B ، اثری مساوی و معکوس بر A ندارد (ماتریس نامتقارن). این مقایسه بین هر دو عامل با تعیین می‌شود که a عددی صحیح بین صفر به معنای عدم تأثیر و چهار برای تأثیر بسیار زیاد به کار برده می‌شود و از میانگین هندسی نظرات متخصص به‌دست آمده، ایجاد می‌گردد. جدول ۲، مقیاس امتیازدهی در این روش را نشان می‌دهد (شاطریان و همکاران، ۱۳۹۶).



جدول ۲. مقیاس امتیازدهی به روش DEMATEL

امتیاز	۰	۱	۲	۳	۴
مفهوم	عدم تأثیر	تأثیر بسیار کم	تأثیر کم	تأثیر زیاد	تأثیر بسیار زیاد

نرمال‌سازی ماتریس روابط مستقیم

به‌منظور نرمال کردن ماتریس رابطه مستقیم، از رابطه‌های (۱) و (۲) استفاده می‌شود:

رابطه (۱)

رابطه (۲)

محاسبه ماتریس روابط کل

ماتریس رابطه کل (T) از رابطه ۳ محاسبه می‌شود. I نیز ماتریس واحد است. ماتریس واحد، ماتریسی است که قطر آن یک باشد و مابقی اعداد آن صفر است. تعداد ردیف‌ها و ستون‌های ماتریس واحد باید همیشه برابر با ماتریس وارد شده در مرحله اول باشد. (رابطه ۳)

در ادامه، جمع عناصر هر سطر (D) و جمع عناصر ستون (R) و سپس $D+R$ و $D-R$ محاسبه گردید تا تأثیرپذیرترین و تأثیرگذارترین معیار مشخص شود. شایان ذکر است که مقادیر بالای $D+R$ بیان‌گر ارتباط بیشتر یک مؤلفه با سایرین است، درحالی‌که مقادیر بالای $D-R$ بیان‌گر تأثیر بیشتر یک مؤلفه بر سایرین است. همچنین مؤلفه‌ای که کمترین مقدار $D-R$ را دارد، بیشترین تأثیر را از سایر مؤلفه‌ها می‌پذیرد (شاطریان و همکاران، ۱۳۹۶).

تعیین مقدار آستانه

ماتریس T اطلاعاتی را درباره این که یک معیار تا چه حد می‌تواند روی یک عامل تأثیرگذار باشد، به کاربر نشان می‌دهد و لازم است تصمیم‌گیرنده، یک مقدار آستانه برای فیلتر کردن آثار جزئی به‌وجود آورد. برای محاسبه مقدار آستانه روابط کافی است تا میانگین مقادیر ماتریس T محاسبه شود. بعد از آن که مقدار آستانه تعیین شد، تمامی مقادیر ماتریس T که کوچک‌تر از آستانه است؛ صفر می‌شود و مقادیر بزرگ‌تر از آن، خودشان توسط کاربر نوشته می‌شوند. این ماتریس را ماتریس F نام‌گذاری کرده و با استفاده از آن می‌توان به ارتباط بین مؤلفه‌ها و این که هر مؤلفه بر چه مؤلفه‌هایی اثر دارد، پی برد (شاطریان و همکاران، ۱۳۹۶).

اجرا و تحلیل مدل مفهومی ساختاری (دیاگرام علت و معلولی)

دیاگرام علت و معلول می‌تواند طبق ترسیم زوج‌های مرتب ($D+R$ و $D-R$) به‌دست آید که درون‌بینی ارزشمندی برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند (پورخاز و همکاران، ۱۳۹۲). در این تحقیق برای انجام مراحل ۵ گانه مدل DEMATEL از محیط نرم‌افزار Excel استفاده شده است.

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، یکی از کامل‌ترین فرایندهای طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است که توسط ساعتی پیشنهاد و ارائه شد. اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، ساختن نمودار سلسله‌مراتبی است که معمولاً به‌ترتیب در آن هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند و برای ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری، لازم است هر معیار به‌صورت یک لایه نقشه در پایگاه داده‌های مبتنی بر GIS نشان داده شود (Ishizaka et al., 2013). پس از انتخاب لایه‌های مورد نیاز، نوبت به وزن‌دهی لایه‌ها می‌رسد. هدف از وزن‌دهی معیار آن است که بتوان اهمیت هر معیار را نسبت به معیارهای دیگر بیان کرد (بنی‌حیب و لقب‌دوست، ۱۳۹۲). AHP، کاربردی‌ترین شیوه بررسی و قضاوت کارشناسی است. از این روش در ابتدا به‌منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی استفاده می‌شود، به‌طوری‌که تصمیم‌گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به عوامل دیگر در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی تبدیل می‌نماید. در روش AHP برای انجام مقایسه‌های زوجی، از مقیاس ۱ تا ۹ به شرح جدول ۳ استفاده می‌شود (Saaty, 1980; Cimren et al., 2007). در پژوهش حاضر، وزن‌دهی هر یک از معیارهای مؤثر و زیرمعیارهای آن‌ها در

محیط نرم افزار Expert Choice 11.0.0 صورت گرفت. در ادامه، وزن های به دست آمده برای هر معیار در محیط نرم افزار ArcGIS 10.7.1 در لایه های مربوطه اعمال شدند. آن گاه با استفاده از تابع روی هم گذاری^۱، نقشه مناطق مستعد سیل حوزه آبخیز برزک تهیه شد. به منظور ارزیابی دقت مدل AHP در تهیه نقشه سیل خیزی منطقه نیز از نقاط شاهد سیل خیزی و نیز منحنی ROC و سطح زیر منحنی (AUC) و طبقه بندی آن ها به شرح جدول ۴ استفاده گردید.

شایان ذکر است که به منظور تعیین نقاط شاهد، ابتدا از روی تصاویر گوگل ارث، ۱۰۰ نقطه به عنوان نقاط سیل خیزی (مکان های دارای سیل یا شواهد سیل) و ۱۰۰ نقطه به عنوان نقاط فاقد سیل خیزی ثبت گردید. سپس طی بازدیدهای صحرائی، صحت نقاط ثبت شده مورد بررسی قرار گرفت و نقاطی که اشتباه تشخیص داده شده بود، اصلاح گردید. همچنین طی بازدیدهای صحرائی، نقاط دیگری به گفته افراد ساکن در منطقه (که مسیر سیلاب ها بوده است)، مشخص شده و مختصات جغرافیایی آن ها توسط GPS ثبت گردید و مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۳. مقیاس ۹ درجه ساعتی برای مقایسه زوجی گزینه ها در روش AHP

رتبه	معیار
۱	ترجیح یکسان
۳	کمی مرجح
۵	مرجح
۷	خیلی مرجح
۹	کاملاً مرجح
۲، ۴، ۶، ۸	بینابینی

جدول ۴. طبقات کیفی و کمی در روش ROC

طبقات کیفی	عالی	خیلی خوب	خوب	متوسط	ضعیف
طبقات کمی	۰/۹ تا ۱	۰/۸ تا ۰/۹	۰/۷ تا ۰/۸	۰/۶ تا ۰/۷	۰/۵ تا ۰/۶

روش ماشینی بردار پشتیبان

مدل داده کاوی ماشینی بردار پشتیبان (SVM)، یکی از مدل های یادگیری نظارت شده^۲ است که برای تفکیک و گروه بندی داده ها مورد استفاده قرار می گیرد. این مدل، متغیرهای مستقل را به عنوان داده های ورودی و متغیر غیرمستقل را به عنوان داده هدف مشخص می کند و به تجزیه و تحلیل آن ها می پردازد. در واقع مدل مذکور، داده ها را به بخش های جداگانه ای تقسیم می کند. مدل SVM مزیت هایی دارد که عبارتند از: ۱- تقسیم بندی داده های مربوطه با توجه به شرایط محیطی، ۲- تعیین خودکار ساختار بهتر برای تقسیم بندی سازه های تأثیرگذار بر وقوع خطرات گوناگون، ۳- رسیدن به بهترین نقطه و جداسازی داده های مربوط به سازه های تأثیرگذار بر وقوع خطرات مختلف، ۴- امکان مدل کردن داده های غیرخطی سازه های مؤثر بر وقوع لندفرم های گوناگون با استفاده از تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (مجددی ریزه ئی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Confession et al., 2009). SVM یکی از مدل های جدید نادر است که در سال های اخیر نسبت به مدل های قدیمی، کارایی مطلوبی از خود نشان داده است. مبنای کار SVM، گروه بندی خطی است که در این گروه بندی، داده های خطی را انتخاب می کند که حاشیه اطمینان بیشتری دارند (Chen et al., 2017).

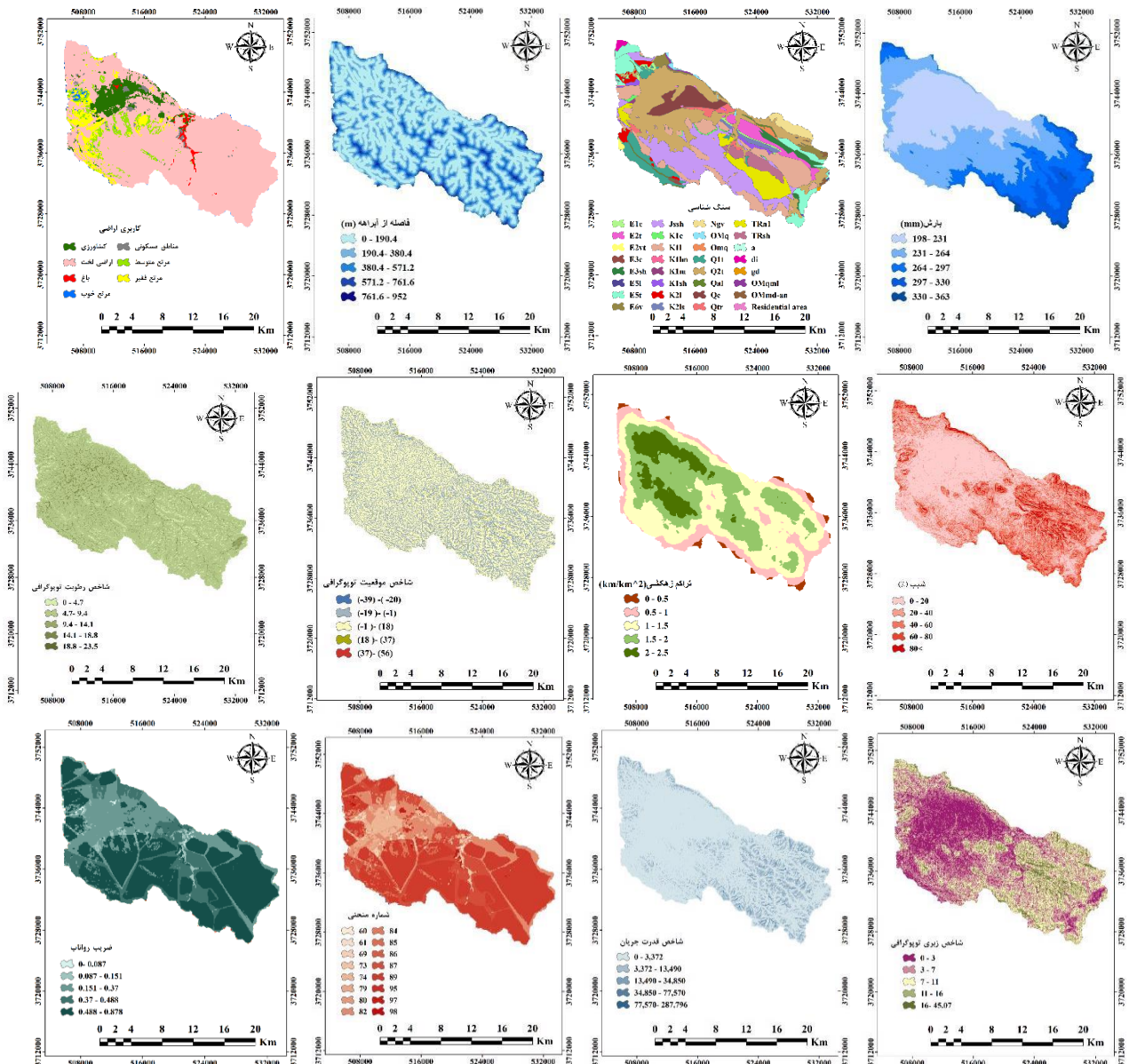
در این تحقیق به منظور تهیه نقشه پتانسیل سیل خیزی با استفاده از مدل ماشینی بردار پشتیبان (SVM) همانند سایر مدل ها از ۱۲ پارامتر مؤثر بر سیلاب شامل بارش، زمین شناسی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، شیب، تراکم زهکشی، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص زبری توپوگرافی، شاخص توان آبراهه (شاخص قدرت جریان)، شماره منحنی و ضریب رواناب استفاده گردید که لایه های مربوط به هر کدام از آن ها با فرمت ASCII به مدل در محیط نرم افزار ModEco داده شد. همچنین به منظور بررسی دقت مدل از همان ۱۰۰ نقطه سیل خیز در بخش AHP استفاده شده است.

یافته‌های پژوهشی

متغیرهای مؤثر در شناسایی مناطق مستعد سیل خیزی

در شکل ۲، تغییرات مکانی هر یک از متغیرهای مورد استفاده در پژوهش قابل مشاهده است.

همان‌طور که در شکل مذکور ملاحظه می‌گردد، طبقات بارش ۲۹۷-۳۳۰ و ۱۹۸-۲۳۱ میلی‌متر، به ترتیب بیشترین و کمترین وسعت حوزه آبخیز بزرگ به میزان ۳۶/۴۲ و ۰/۹۸ درصد را شامل می‌شوند. انواع کاربری‌های موجود در منطقه نیز شامل منطقه مسکونی، اراضی لخت، مرتع فقیر، مرتع متوسط، مرتع خوب، باغ و اراضی کشاورزی است که اراضی لخت، بیشترین مساحت به میزان ۲۸۲۹۲/۱۸ هکتار (۸۰/۳۰ درصد) و کاربری مرتع خوب، کمترین وسعت حوزه آبخیز به میزان ۱۲۹/۴۳ هکتار (۰/۳۷ درصد) را به خود اختصاص داده‌اند. براساس نقشه شیب حوزه آبخیز بزرگ، طبقه شیب بیشتر از ۸۰ درصد بیشترین وسعت به میزان ۴۳/۲۷ درصد و طبقه شیب ۰-۲ درصد، کمترین مساحت منطقه مطالعاتی به میزان ۳/۴۲ درصد را نشان می‌دهند. در نقشه شماره منحنی، کمترین و بیشترین وسعت حوزه آبخیز مطالعاتی به ترتیب مربوط به طبقات ۰-۶۹ و ۶۹-۷۴ به میزان ۱/۱۸ و ۶۸/۲۱ درصد است. مؤلفه ضریب رواناب نیز در ۵ طبقه تنظیم شده است که طبقه ۰/۴۸۸-۰/۳۷۰ شامل بیشترین وسعت (۶۸/۴۶ درصد) و طبقه ۰/۰۸۷-۰ شامل کمترین وسعت حوضه (۰/۳۲ درصد) است. سایر یافته‌ها در مورد پارامترهای به کار گرفته شده در شکل ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲. تغییرات مکانی متغیرهای مؤثر بر سیلاب

مدل DEMATEL

به منظور کاربرد مدل DEMATEL به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در اولین گام، ماتریس DEMATEL تشکیل شد و ۱۲ معیار مؤثر بر وقوع سیلاب تعیین شد. جدول ۵، ماتریس نسبی DEMATEL را نشان می‌دهد. ماتریس تشکیل شده، یک ماتریس ۱۲ در ۱۲ است که قطر اصلی آن، صفر و بین درایه‌ها براساس نظریه لیکرت، عددی بین ۰ تا ۴ قرار گرفته است (شاطریان و همکاران، ۱۳۹۶). به منظور تهیه این ماتریس، پرسش‌نامه‌هایی بین اساتید رشته علوم و مهندسی آبخیزداری، کارشناسان و متخصصان منابع طبیعی و آشنا به روش DEMATEL و نیز حوزه آبخیز مطالعاتی توزیع گردید. سپس نتایج ۱۵ پرسش‌نامه ملاک عمل قرار گرفت. در ادامه، مقادیر امتیاز مربوط به مؤلفه‌های یکسان در پرسش‌نامه‌ها میانگین‌گیری شد تا امکان تشکیل ماتریس نسبی فراهم شود. در نهایت در این ماتریس، مجموع سطرها و ستون‌ها به دست آمد و بزرگ‌ترین عدد در بین مجموع سطرها و ستون‌ها انتخاب شد که برابر عدد ۴۰ و مربوط به مؤلفه ضریب رواناب است.

جدول ۵. ماتریس نسبی DEMATEL

مؤلفه‌ها	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	مجموع
C1	۰	۱	۲	۲	۱	۳	۱	۱	۱	۳	۳	۴	۲۲
C2	۱	۰	۱	۱	۱	۴	۱	۱	۱	۳	۴	۴	۲۲
C3	۱	۱	۰	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۲	۲	۳	۱۷
C4	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۳	۱۴
C5	۱	۱	۲	۱	۰	۲	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۲۷
C6	۱	۲	۳	۱	۱	۰	۲	۲	۲	۳	۴	۴	۲۵
C7	۱	۱	۱	۱	۳	۲	۰	۲	۲	۲	۳	۴	۲۵
C8	۱	۱	۲	۱	۳	۲	۳	۰	۳	۳	۳	۴	۲۶
C9	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۳	۳	۰	۳	۲	۳	۲۱
C10	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۰	۲	۳	۱۵
C11	۱	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۱	۱	۳	۰	۴	۱۸
C12	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱۱
مجموع ستون‌ها	۱۱	۱۲	۱۷	۱۲	۱۷	۲۳	۱۸	۱۷	۱۷	۲۷	۲۹	۴۰	۰

سرانجام پس از نرمال‌سازی ماتریس نسبی، تهیه ماتریس واحد (I)، ماتریس I-N و ماتریکس معکوس I-N، ماتریس کل (T) محاسبه شد. در جدول ۶، نتایج ماتریس کل قابل مشاهده است. در ادامه، مجموع سطرها (D) و مجموع ستون‌های (R) ماتریس کل تعیین گردید. سپس برای تعیین تأثیرگذارترین و تأثیرپذیرترین معیار، D+R و D-R محاسبه شدند (جدول ۷). مقادیر بالای D+R، بیان‌گر ارتباط بیشتر یک مؤلفه با سایرین است، در حالی که مقادیر بالای D-R، بیان‌گر تأثیر بیشتر یک مؤلفه بر سایرین است. همچنین مؤلفه‌ای که کمترین مقدار D-R را دارد، بیشترین تأثیر را از سایر مؤلفه‌ها می‌پذیرد. بنابراین ضریب رواناب با بیشترین مقدار D+R و کمترین مقدار D-R، تأثیرپذیرترین مؤلفه است و در عین حال، بیشترین ارتباط را با سایر مؤلفه‌ها دارد. از سوی دیگر، مؤلفه بارندگی با بیشترین مقدار D-R، بیشترین تأثیر را بر سایر مؤلفه‌ها دارد. همچنین در D-R بیشترین مقدار مثبت، علت و بیشترین مقدار منفی، معلول شناخته می‌شود. از این رو، مؤلفه بارش به عنوان علت و مؤلفه ضریب رواناب، به عنوان معلول شناخته شد.

در نهایت، نمودار موقعیت معیارهای اصلی در رابطه علت و معلولی تعیین شد. در این نمودار، محور طولی نشان‌دهنده مقادیر D+R و محور عرض، براساس D-R است (Chukwuma et al., 2021). مؤلفه‌هایی که بالای محور قرار گرفته‌اند، علت و مؤلفه‌هایی که پایین محور قرار گرفته‌اند، معلول هستند. با توجه به شکل ۳، معیارهای بارش، سنگ‌شناسی، فاصله از آبراهه، شیب، تراکم‌زهکشی، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص زبری توپوگرافی که بالای محور طول قرار گرفته‌اند، علت و معیارهای کاربری اراضی، شاخص توان آبراهه، شماره منحنی و ضریب رواناب که در بخش پایین محور طول قرار گرفتند، معلول نامیده می‌شوند.

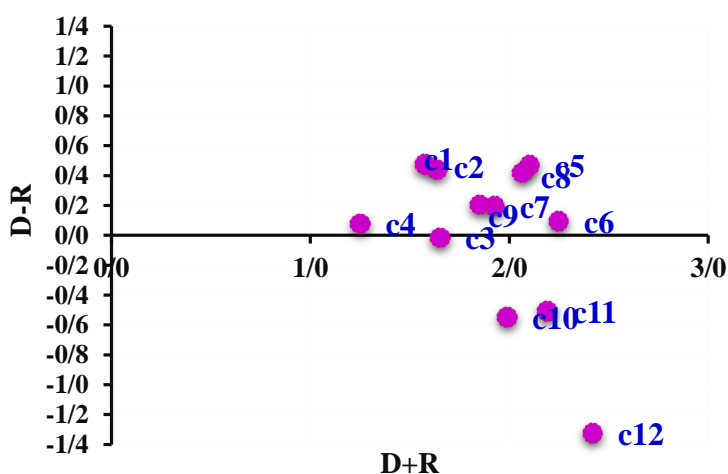


جدول ۶. ماتریس کل (ماریس ارتباطات کل) در روش DEMATEL

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	۰/۰۲۵	۰/۰۵۲	۰/۰۸۶	۰/۰۷۴	۰/۰۵۹	۰/۱۱۷	۰/۰۶۱	۰/۰۶۰	۰/۰۶۰	۰/۱۲۷	۰/۱۲۹	۰/۱۷۶
C2	۰/۰۵۰	۰/۰۲۹	۰/۰۶۵	۰/۰۵۱	۰/۰۵۹	۰/۱۴۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۱۲۸	۰/۱۵۴	۰/۱۷۸
C3	۰/۰۴۴	۰/۰۴۶	۰/۰۳۱	۰/۰۴۵	۰/۰۷۶	۰/۰۸۶	۰/۰۵۵	۰/۰۵۴	۰/۰۵۴	۰/۰۹۳	۰/۰۹۶	۰/۱۳۸
C4	۰/۰۴۱	۰/۰۴۲	۰/۰۴۸	۰/۰۱۷	۰/۰۴۸	۰/۰۵۵	۰/۰۴۹	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۸۳	۰/۰۶۲	۰/۱۲۴
C5	۰/۰۵۶	۰/۰۵۸	۰/۰۹۵	۰/۰۵۷	۰/۰۴۸	۰/۱۰۷	۰/۱۲۱	۰/۱۱۸	۰/۱۱۸	۰/۱۴۱	۰/۱۶۸	۰/۱۹۸
C6	۰/۰۵۳	۰/۰۷۹	۰/۱۱۳	۰/۰۵۴	۰/۰۶۷	۰/۰۵۵	۰/۰۹۱	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸	۰/۱۳۵	۰/۱۶۰	۰/۱۸۹
C7	۰/۰۵۰	۰/۰۵۳	۰/۰۶۴	۰/۰۵۲	۰/۱۰۹	۰/۰۹۶	۰/۰۴۲	۰/۰۸۸	۰/۰۸۸	۰/۱۰۶	۰/۱۳۳	۰/۱۸۰
C8	۰/۰۵۵	۰/۰۵۷	۰/۰۹۳	۰/۰۵۶	۰/۱۱۷	۰/۱۰۵	۰/۰۱۲۰	۰/۰۴۷	۰/۱۱۷	۰/۱۳۸	۰/۱۴۳	۰/۱۹۵
C9	۰/۰۴۹	۰/۰۵۲	۰/۰۶۳	۰/۰۵۱	۰/۰۸۷	۰/۰۹۵	۰/۱۱۲	۰/۱۱۰	۰/۰۴۰	۰/۱۰۵	۰/۱۰۹	۰/۱۵۶
C10	۰/۰۴۲	۰/۰۴۴	۰/۰۵۲	۰/۰۴۳	۰/۰۴۹	۰/۰۸۱	۰/۰۵۱	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰	۰/۰۴۰	۰/۰۹۰	۰/۱۳۰
C11	۰/۰۴۵	۰/۰۴۷	۰/۰۷۸	۰/۰۴۶	۰/۰۵۳	۰/۰۸۶	۰/۰۵۵	۰/۰۵۴	۰/۰۵۴	۰/۱۱۶	۰/۰۴۸	۰/۱۶۱
C12	۰/۰۳۸	۰/۰۳۹	۰/۰۴۵	۰/۰۳۹	۰/۰۴۴	۰/۰۵۱	۰/۰۴۵	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۵۵	۰/۰۵۷	۰/۰۴۶

جدول ۷. نتایج مقادیر D+R و D-R در روش DEMATEL

معیارها	D	R	D+R	D-R
بارش	۱/۰۲۶	۰/۵۴۸	۱/۵۷۳	۰/۴۷۸
سنگ‌شناسی	۱/۰۳۸	۰/۵۹۸	۱/۶۳۷	۰/۴۴۰
کاربری اراضی	۰/۸۱۹	۰/۸۳۳	۱/۶۵۱	-۰/۰۱۴
فاصله از آبراهه	۰/۶۶۵	۰/۵۸۵	۱/۲۵۰	۰/۰۸۰
شیب	۱/۲۸۶	۰/۸۱۶	۲/۱۰۲	۰/۴۶۹
تراکم زهکشی	۱/۱۷۲	۱/۰۷۶	۲/۲۴۸	۰/۰۹۷
شاخص موقعیت توپوگرافی	۱/۰۶۱	۰/۸۶۴	۱/۹۲۶	۰/۱۹۷
شاخص رطوبت توپوگرافی	۱/۲۴۳	۰/۸۲۱	۲/۰۶۴	۰/۴۲۲
شاخص زبری توپوگرافی	۱/۰۲۹	۰/۸۲۱	۱/۸۵۰	۰/۲۰۸
شاخص توان آبراهه	۰/۷۲۱	۱/۲۶۸	۱/۹۸۸	-۰/۵۴۷
شماره منحنی	۰/۸۴۲	۱/۳۴۹	۲/۱۹۱	-۰/۵۰۷
ضریب رواناب	۰/۵۴۸	۱/۸۷۰	۲/۴۱۸	-۱/۳۳۳



شکل ۳. نمودار موقعیت معیارهای اصلی در رابطه علت و معلولی

برای تعیین رابطه بین معیارها نیز، ماتریس F محاسبه شد (جدول ۸) و برای تعیین حد آستانه هر معیار، از کل ماتریس T میانگین‌گیری شد که مقدار آن در این تحقیق، برابر ۰/۰۷۹۵۱ به دست آمد.

جدول ۸. ماتریس F در روش DEMATEL

F	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	.	.	-/۰.۸۶	.	.	/۰.۱۱۷	.	.	.	/۰.۱۲۷	/۰.۱۲۹	-/۰.۱۷۶
C2	/۰.۱۴۲	.	.	.	/۰.۱۲۸	/۰.۱۵۴	-/۰.۱۷۸
C3	/۰.۰۸۶	.	.	.	/۰.۰۹۳	/۰.۰۹۶	-/۰.۱۳۸
C4	/۰.۰۸۳	.	-/۰.۱۲۴
C5	.	.	-/۰.۰۹۵	.	.	/۰.۱۰۷	-/۰.۱۲۱	-/۰.۱۱۸	-/۰.۱۱۸	/۰.۱۴۱	-/۰.۱۶۸	-/۰.۱۹۸
C6	.	.	-/۰.۱۱۳	.	.	.	-/۰.۰۹۱	-/۰.۰۸۸	-/۰.۰۸۸	/۰.۱۳۵	/۰.۱۶۰	-/۰.۱۸۹
C7	-/۰.۱۰۹	/۰.۰۹۶	.	-/۰.۰۸۸	-/۰.۰۸۸	-/۰.۱۰۶	/۰.۱۳۳	-/۰.۱۸۰
C8	.	.	-/۰.۰۹۳	.	-/۰.۱۱۷	/۰.۱۰۵	-/۰.۱۲۰	.	-/۰.۱۱۷	-/۰.۱۳۸	-/۰.۱۴۳	-/۰.۱۹۵
C9	-/۰.۰۸۷	/۰.۰۹۵	-/۰.۱۱۲	-/۰.۱۱۰	.	-/۰.۱۰۵	/۰.۱۰۹	-/۰.۱۵۶
C10	/۰.۰۸۱	/۰.۰۹۰	-/۰.۱۳۰
C11	/۰.۰۸۶	.	.	.	/۰.۱۱۶	.	-/۰.۱۶۱
C12

مدل AHP

توزیع و تکمیل فرم‌های ماتریس مقایسه‌های زوجی روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

در این تحقیق پس از مشخص نمودن پارامترهای مؤثر بر سیلاب (شامل بارش، شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص موقعیت توپوگرافی، شاخص زبری توپوگرافی، شاخص توان آبراهه، شماره منحنی و ضریب رواناب)، فرم‌های مربوط به ماتریس مقایسه‌های زوجی به منظور امتیازدهی مؤلفه‌های مذکور بین همان ۱۵ نفر از متخصصان و کارشناسان آبخیزداری در بخش اجرایی و اساتید دانشگاهی توزیع شد و هر فرم توسط هر کدام از متخصصان تکمیل شد. شایان ذکر است که به‌طور کلی در انتخاب تعداد پرسش‌شوندگان در روش AHP باید بسیار دقت نمود. زیرا افزایش تعداد پرسش‌شوندگان در روش AHP ممکن است موجب گردد که نرخ سازگاری بیشتر از ۰/۱ شود و ناسازگاری قابل قبول نباشد.

محاسبه نرخ ناسازگاری

در این پژوهش، نرخ ناسازگاری در نرم‌افزار Expert Choice برای هر کدام از مؤلفه‌ها به‌دست آمد. شایان ذکر است که اگر نرخ سازگاری کمتر و مساوی ۰/۱ باشد، ناسازگاری قابل قبول است و اگر بیشتر از ۰/۱ باشد، باید پرسش‌نامه به کارشناس برای اصلاح بازگردانده شود. در نهایت پس از اطمینان از سازگاری ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی تکمیل شده توسط کارشناسان و صاحب‌نظران، میان‌گیری از نظرات صورت گرفت. در نهایت، نرخ ناسازگاری برای فرم‌نهایی ماتریس مقایسه‌های زوجی، کمتر از ۰/۱ و برابر ۰/۰۴ به‌دست آمد. بنابراین میزان سازگاری مورد تأیید و قابل قبول است. در جدول ۹، نتایج حاصل از نظرسنجی نهایی از کارشناسان و متخصصان خبره ارائه شده است.

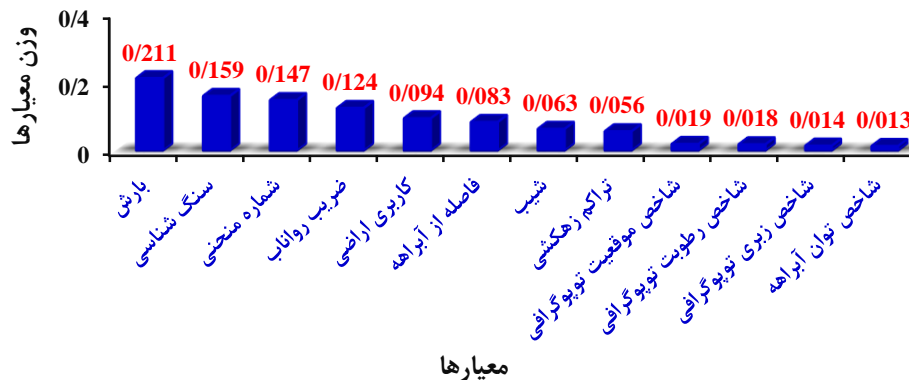
جدول ۹. نتایج حاصل از نظرسنجی نهایی از کارشناسان و متخصصان خبره

مؤلفه‌ها	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
C1	۱	۲	۳	۳	۴	۳	۸	۸	۹	۹	۲	۳
C2		۱	۲	۳	۳	۲	۷	۷	۸	۸	۲	۲
C3			۱	۲	۲	۲	۶	۶	۷	۷	۲	۲
C4				۱	۲	۲	۷	۶	۸	۸	۳	۲
C5					۱	۲	۵	۵	۶	۶	۳	۳
C6						۱	۴	۵	۶	۶	۴	۵
C7							۱	۱	۲	۲	۶	۵
C8								۱	۱	۲	۶	۶
C9									۱	۱	۸	۷
C10										۱	۸	۸
C11											۱	۲
C12												۱

نرخ سازگاری برابر ۰/۰۴

تعیین وزن نهایی مؤلفه‌ها (معیارها) با استفاده از مقایسه‌های زوجی

پس از مشخص شدن امتیاز هر کدام از مؤلفه‌ها، وزن نهایی هر مؤلفه در محیط نرم‌افزار Expert Choice به‌دست آمد که در شکل ۴ ارائه شده است. وزن نهایی هر مؤلفه در AHP از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه‌ها به‌دست آمد. بر این اساس، متغیر بارش با مقدار ۰/۲۱۱ و شاخص توان آبراهه (یا همان شاخص قدرت جریان) با مقدار ۰/۰۱۳ به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن را در بین معیارهای مؤثر بر سیلاب داشته‌اند.



شکل ۴. وزن نهایی هر مؤلفه

تهیه نقشه وزن‌دهی معیارهای مؤثر در سیل

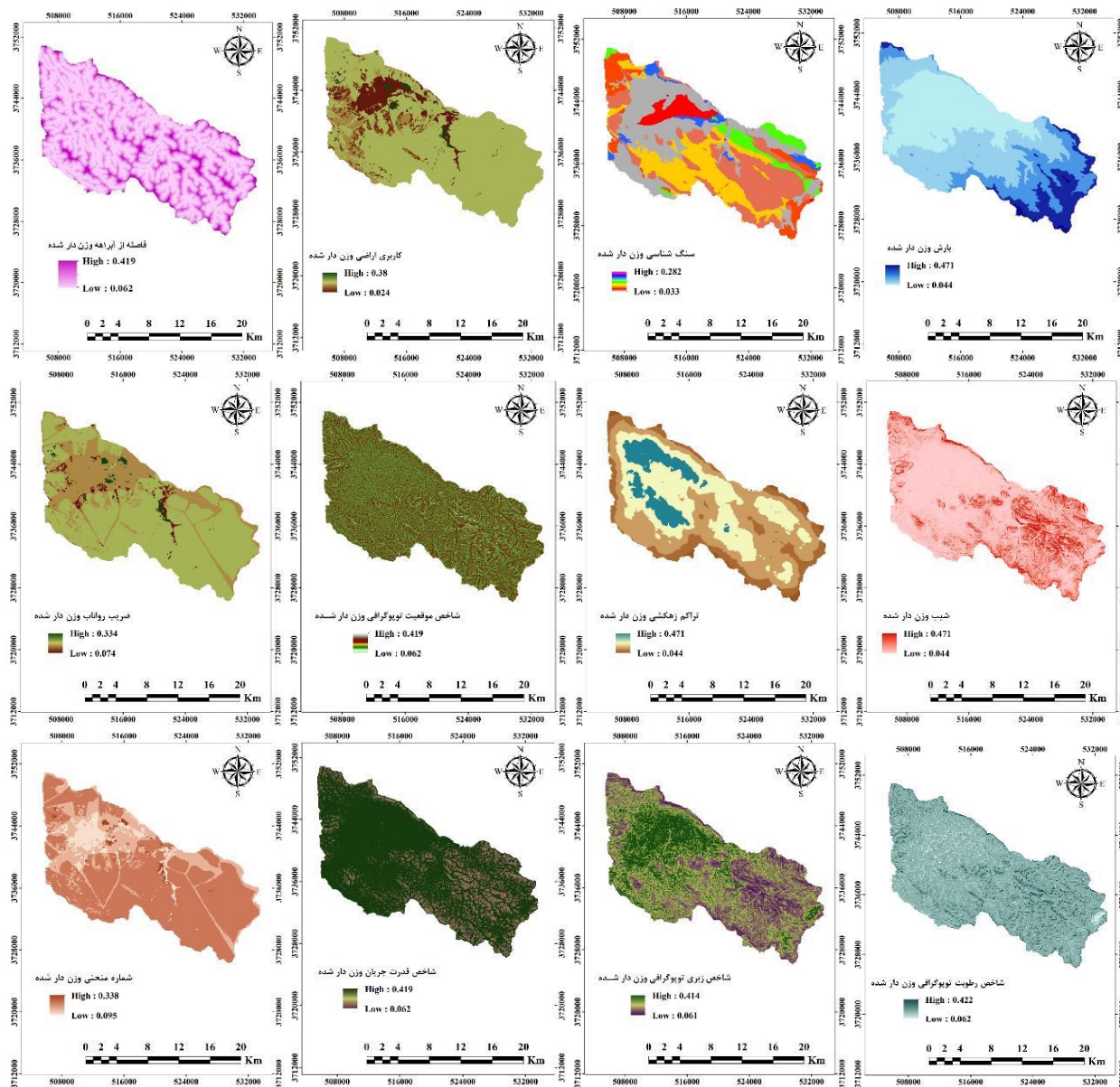
پس از مشخص شدن وزن هر کدام از مؤلفه‌های مؤثر در سیلاب، ماتریس مقایسه‌های زوجی برای طبقات مختلف آن‌ها به همراه وزن‌شان در ایجاد سیل در محیط نرم‌افزار Expert Choice تعیین شد. در نهایت با اعمال وزن‌ها در نقشه‌های اولیه معیارها در محیط نرم-افزار ArcGIS 10.7.1، نقشه‌های وزن‌دهی شده هر کدام از معیارها تهیه شد که نتایج آن در شکل ۵ ارائه شده است.

در این مرحله، هر کدام از معیارها به ۵ طبقه (زیرمعیار) با اولویت‌های ۱ تا ۵ تقسیم شدند که اولویت ۱، نشان‌دهنده بیشترین اهمیت سیل‌خیزی و اولویت ۵، نشان‌دهنده کمترین اهمیت در سیل‌خیزی منطقه مطالعاتی است. به‌عنوان مثال در نقشه بارش سالانه وزن‌دار شده، بیشترین و کمترین مقدار وزن طبقات میانگین بارش سالانه به‌ترتیب برابر ۰/۴۷۱ برای طبقه ۳۶۳-۳۳۰ میلی‌متر و ۰/۰۴۴ برای طبقه ۱۹۸-۲۳۱ میلی‌متر به‌دست آمد. همچنین بیشترین و کمترین وزن مربوط به کاربری‌های مناطق مسکونی و باغ به‌ترتیب برابر ۰/۳۸۰ و ۰/۰۲۴ است. علت این موضوع این است که سطح مناطق مسکونی، غیرقابل نفوذ و یا دارای نفوذپذیری بسیار اندک هستند و در نتیجه، میزان رواناب ناشی از نزولات جوی در آن‌ها بیشتر از سایر کاربری‌ها است و برعکس در کاربری باغ به دلیل ریشه‌های بلند و عمیق، میزان نفوذپذیری از همه کاربری‌ها بیشتر و در نتیجه، مقدار رواناب و سیل‌خیزی از همه کاربری‌ها کمتر است. برای سایر مؤلفه‌ها نیز وزن‌دهی طبقات مختلف توسط کارشناسان صورت گرفته است.

تهیه نقشه پهنه‌بندی (حساسیت‌پذیری) سیل‌خیزی با استفاده از مدل AHP

پس از تهیه نقشه‌های وزن‌دهی شده مؤلفه‌های مؤثر در پتانسیل سیل‌خیزی و تلفیق آن‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.7.1، نقشه پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوزه آبخیز برزک به روش AHP به‌دست آمد که در شکل ۶-الف نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور، این نقشه به ۱۰ طبقه به شرح مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی خیلی کم، خیلی کم با گرایش مثبت، کم با گرایش مثبت، کم با گرایش منفی، متوسط با گرایش منفی، متوسط با گرایش مثبت، زیاد با گرایش منفی، زیاد با گرایش مثبت، خیلی زیاد با گرایش منفی و خیلی زیاد با گرایش مثبت شد. همان‌طور که در شکل مذکور ملاحظه می‌گردد، مناطق شمال، شمال غرب و غرب حوزه آبخیز برزک دارای بیشترین پتانسیل در وقوع سیل و سیل‌خیزی هستند. علت این است که خروجی حوزه آبخیز در بخش شمال قرار گرفته است و آبراهه‌ها در انتهای حوضه به‌هم پیوسته و حجم زیادی رواناب به‌وجود می‌آورند، اما آبراهه‌های درجه ۱ و ۲ با حجم کم آب در بخش‌های بالادست (بخش‌های جنوب، جنوب غربی و جنوب شرقی) حوزه آبخیز قرار گرفته‌اند که دارای حجم رواناب کمی است و همچنین به دلیل شیب بالا در این مناطق، رواناب به سرعت به سمت پایین‌دست جریان می‌یابد. در جدول ۱۰، محدوده و وسعت مربوط به هر کدام از طبقات برحسب هکتار

و درصد محاسبه شده است. براساس داده‌های جدول مذکور، ۷۴/۲۹ درصد از پهنه حوزه آبخیز مطالعاتی دارای پهنه‌بندی سیل متوسط، زیاد و خیلی زیاد است. همچنین طبقه سیل خیزی متوسط با گرایش مثبت دارای بیشترین مساحت معادل ۱۸/۵۷ درصد از سطح حوزه و طبقه خیلی کم، دارای کمترین میزان مساحت برابر ۰/۴۰ درصد از وسعت منطقه مطالعاتی را شامل می‌شوند.



شکل ۵. نقشه‌های وزن‌دار شده عوامل مؤثر بر سیلاب

بررسی دقت مدل AHP براساس شاخص AUC در منحنی ROC

پس از اجرای مدل به منظور بررسی میزان دقت مدل AHP از روش محاسبه منحنی ROC استفاده شد. برای این منظور ابتدا، ۱۰۰ نقطه به‌عنوان نقاط سیل خیزی و ۱۰۰ نقطه به‌عنوان نقاط عدم سیل خیزی براساس شواهد موجود روی تصویر گوگل‌ارث انتخاب شدند. سپس طی بازدیدهای صحرایی، صحت نقاط مشخص گردید و نقاط اشتباه تشخیص داده شده، اصلاح گردید و نیز نقاطی دیگر به گفته ساکنان محلی به‌عنوان نقاط سیل خیز و دارای شواهد سیل در نظر گرفته شدند. آن‌گاه به نقاط سیل خیزی، عدد یک و به نقاط عدم سیل خیزی، عدد صفر داده شد و در نهایت، منحنی ROC در محیط نرم‌افزار MedCalc ترسیم شد. در منحنی ROC، محور طول‌ها (x) نشان‌دهنده مثبت کاذب و محور عرض‌ها (y) نشان‌دهنده مثبت صحیح است. منظور از مثبت کاذب، مکان‌ها و نقاطی است که مدل به اشتباه تشخیص داده که در آن نقاط، سیل رخ داده است، درحالی‌که در واقعیت اشتباه است و نقطه سیل خیزی نیست. منظور از مثبت صحیح نیز، نقاطی است که مدل پیش‌بینی نموده است که در آن نقاط سیل رخ داده و در واقعیت نیز صحیح است.

براساس این منحنی، هرگاه مقادیر مساحت زیر منحنی (AUC) بین ۰/۵ تا ۱ باشد و مقدار AUC به ۱ یک نزدیک‌تر باشد، دقت مدل بیشتر است. در شکل ۷- الف، نتایج محاسبه AUC در مرحله اعتبارسنجی مدل نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور، میزان دقت پیش‌بینی مدل در مرحله اعتبارسنجی به میزان ۰/۸۵۹ برآورد شده است. لذا با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت پیش‌بینی مدل از اعتماد قابل قبولی برخوردار است و مدل از لحاظ کارایی در حوزه آبخیز مطالعاتی در طبقه خیلی خوب (۰/۸-۰/۹) قرار دارد. شایان ذکر است که در مدل AHP، منحنی ROC برای مرحله آموزش وجود ندارد؛ چون مدل AHP آموزش ندیده است و نقشه نهایی براساس نظرات کارشناسان و پرسش‌نامه تنظیم شده است.

مدل SVM

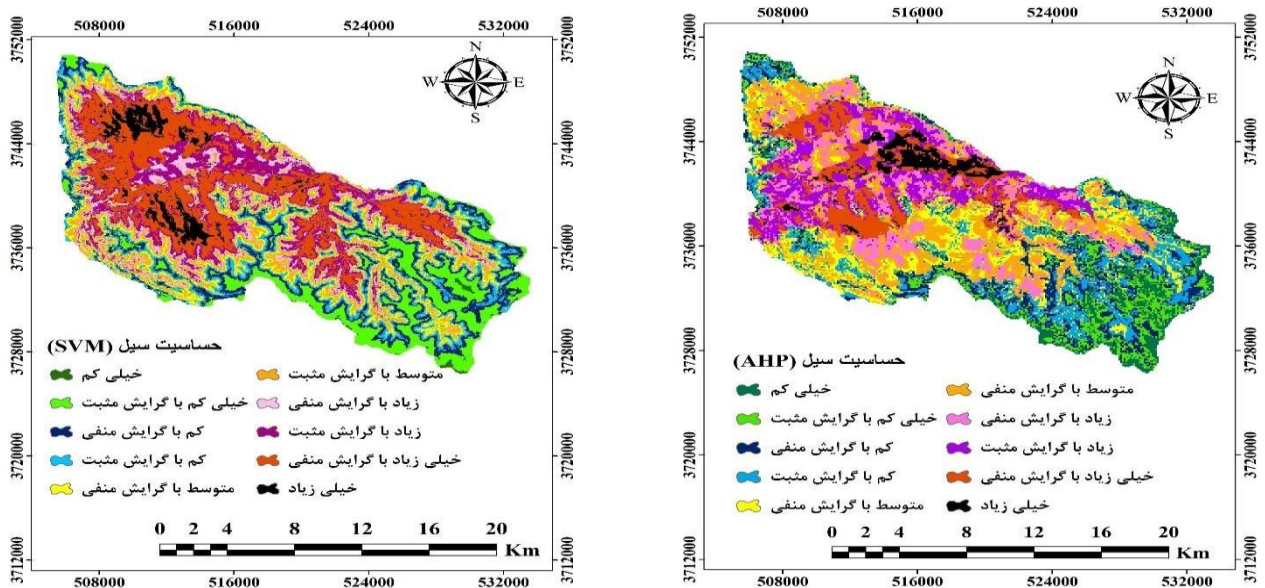
تهیه نقشه پهنه‌بندی (حساسیت‌پذیری) سیل‌خیزی با استفاده از مدل SVM

پس از تهیه لایه‌های مؤثر در وقوع سیل در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.7.1، نقشه نهایی حساسیت‌پذیری سیل در حوزه آبخیز بزرگ با ترکیب لایه‌ها با فرمت ASCII در محیط نرم‌افزار ModEco تحت دستور مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) با مشخص کردن مناطق پرخطر به‌دست آمد. شکل ۶- ب، نقشه نهایی مناطق دارای حساسیت سیل به روش SVM در حوزه آبخیز بزرگ را نشان می‌دهد. همچنین جدول ۱۰، مساحت و درصد مساحت هر یک از طبقات حساسیت سیل را نشان می‌دهد. براساس نقشه و جدول مذکور، ۶۸/۱۴ درصد از وسعت منطقه مطالعاتی دارای پتانسیل حساسیت سیل متوسط، زیاد و خیلی زیاد است. طبقه حساسیت سیل خیلی کم، کمترین مساحت معادل ۰/۳۲ درصد سطح حوضه و طبقه خیلی زیاد با گرایش منفی، بیشترین میزان مساحت معادل ۲۰/۸۷ درصد سطح حوزه آبخیز بزرگ را شامل می‌شوند.

سایر نتایج نشان داد که روند کلی طبقات سیل‌خیزی در نقشه تهیه شده با استفاده از مدل SVM همانند مدل AHP است و مناطق شمال، شمال غرب و غرب حوزه آبخیز بزرگ دارای بیشترین پتانسیل در وقوع سیل‌خیزی هستند؛ هر چند وسعت طبقات در هر دو مدل یکسان نیست.

بررسی دقت مدل SVM براساس شاخص AUC در منحنی ROC

در این مرحله پس از اجرای مدل به‌منظور بررسی میزان دقت مدل SVM در مراحل آموزش و اعتبارسنجی از منحنی ROC در محیط نرم‌افزار ModEco استفاده شد (چراغ قلعه‌سری و همکاران، ۱۳۹۹). در شکل ۷- ب، نتایج محاسبه AUC در دو مرحله آموزش و اعتبارسنجی مدل ارائه شده است. براساس شکل‌های مذکور، میزان دقت پیش‌بینی مدل در مرحله آموزش، خیلی خوب (۰/۸۸۰) و در مرحله اعتبارسنجی مدل خوب (۰/۷۵۱) بوده است. لذا با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان به پیش‌بینی مدل اعتماد کرد.



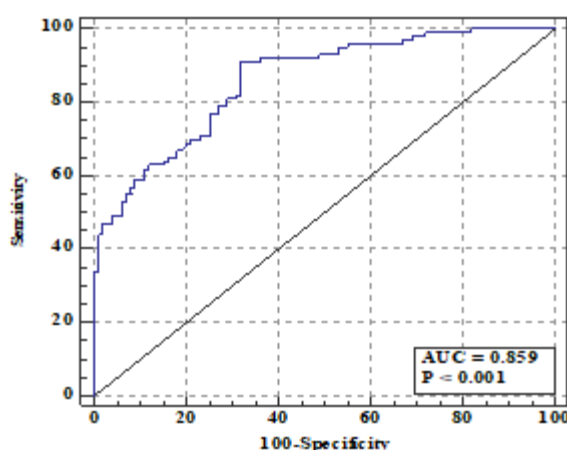
ب- SVM

الف- AHP

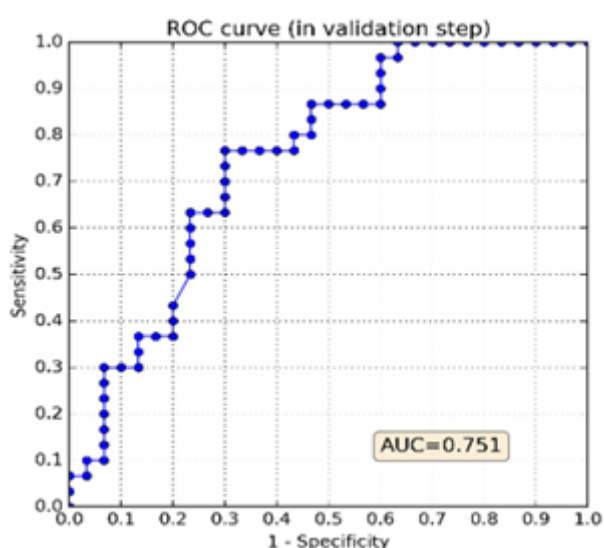
شکل ۶. پهنه‌های مناطق مستعد سیلاب براساس مدل‌های AHP و SVM در حوزه آبخیز بزرگ کاشان

جدول ۱۰. وسعت هر یک از طبقات پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوزه آبخیز بزرگ کاشان با استفاده از مدل‌های AHP و SVM

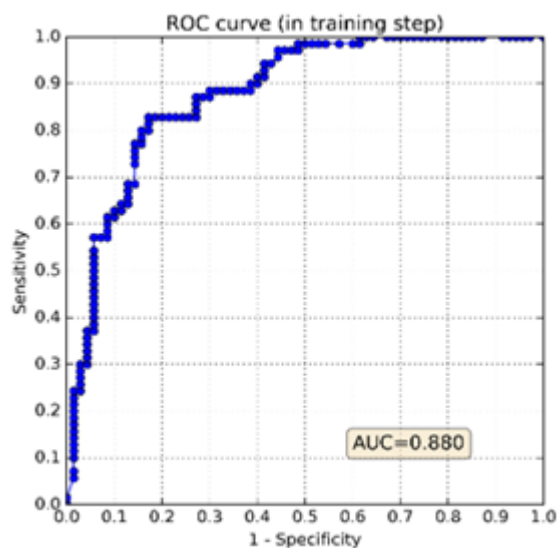
SVM		AHP		طبقات کلی	طبقات جزئی
مساحت به درصد	مساحت به هکتار	مساحت به درصد	مساحت به هکتار		
۱۱/۴۸	۰/۳۲	۱۱۳/۹۲	۰/۴۰	خیلی کم	خیلی کم با گرایش مثبت
۲۰/۳۸	۱۱/۱۵	۳۹۳۰/۱۱	۲/۹۰	کم	کم با گرایش منفی
۱۹/۸۸	۱۰/۶۴	۳۷۴۸/۷۶	۱۰/۹۴	متوسط	کم با گرایش مثبت
۲۳/۷۰	۹/۷۴	۳۴۳۲/۸۳	۱۱/۴۶	زیاد	متوسط با گرایش منفی
۲۴/۵۶	۹/۴۴	۳۳۲۵/۳۳	۱۶/۵۲	خیلی زیاد	متوسط با گرایش مثبت
۱۰۰	۱۰/۴۴	۳۶۷۹/۰۱	۱۸/۵۷	مجموع	زیاد با گرایش منفی
	۹/۸۳	۳۴۶۳/۶۱	۱۱/۸۸		زیاد با گرایش مثبت
	۱۳/۸۷	۴۸۸۷/۴۶	۱۵/۵۹		خیلی زیاد با گرایش منفی
	۲۰/۸۷	۷۳۵۲/۶۵	۱۱/۵۸		خیلی زیاد
	۳/۶۹	۱۲۹۹/۶۶	۰/۱۵		مجموع
	۳۵۳۲۲/۳۴	۱۰۰	۱۰۰		۳۵۳۲۲/۳۴



AHP - الف



ب-۲- منحنی ROC در مرحله اعتبارسنجی SVM



ب-۱- منحنی ROC در مرحله آموزش

شکل ۷. نتایج محاسبه AUC در مرحله اعتبارسنجی مدل‌های AHP و SVM

بحث

همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، DEMATEL مدلی است که ارتباط بین معیارها را مشخص می‌کند. نتایج به‌دست آمده از مدل DEMATEL حاکی از این است که متغیر ضریب رواناب با بیشترین مقدار $D+R$ و کمترین مقدار $D-R$ ، تأثیرپذیرترین مؤلفه است و در عین حال، بیشترین ارتباط را با سایر مؤلفه‌ها دارد. از سوی دیگر، مؤلفه بارندگی با بیشترین مقدار $D-R$ ، بیشترین تأثیر را بر سایر مؤلفه‌ها می‌گذارد. در $D-R$ ، بیشترین مقدار مثبت به‌عنوان علت و بیشترین مقدار منفی، معلول شناخته می‌شود. بنابراین متغیر بارش، مؤثرترین و تأثیرگذارترین پارامتر در بین پارامترهای دیگر است و ضریب رواناب، بیشترین تأثیرپذیری و بیشترین ارتباط را با سایر عوامل دارد.

نتایج به‌دست آمده از اجرای مدل AHP نشان داد که وزن عوامل مؤثر بر سیلاب به‌ترتیب از کمترین به بیشترین عبارتند از شاخص توان آبراهه (۰/۰۱۳)، شاخص زبری توپوگرافی (۰/۰۱۴)، شاخص رطوبت توپوگرافی (۰/۰۱۸)، شاخص موقعیت توپوگرافی (۰/۰۱۹)، تراکم زهکشی (۰/۰۵۶)، شیب (۰/۰۶۳)، فاصله از آبراهه (۰/۰۸۳)، کاربری اراضی (۰/۰۹۴)، ضریب رواناب (۰/۱۲۴)، شماره منحنی (۰/۱۴۷)، زمین‌شناسی (۰/۱۵۹) و بارش (۰/۲۱۱).

بررسی نقشه نهایی پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوزه آبخیز برزک با استفاده از AHP نیز مؤید این موضوع است که بخش‌های جنوبی، جنوب غربی و جنوب شرقی حوزه آبخیز مطالعاتی دارای حساسیت کم و خیلی کم نسبت به سیل هستند و بخش‌های شمالی، شمال غربی و غربی دارای حساسیت متوسط تا خیلی زیاد نسبت به سیل هستند که ۷۴/۲۹ درصد وسعت حوزه آبخیز مطالعاتی را پوشش می‌دهند. بررسی تطبیقی مناطق مختلف نقشه پهنه‌بندی سیل‌خیزی با واقعیت زمینی و نیز مقدار AUC در منحنی ROC (۰/۸۵۹) در مرحله اعتبارسنجی نیز حاکی از این است که روند کلی سیل‌خیزی در نقشه و عرصه با یک‌دیگر تطابق دارند. بنابراین کارایی مدل AHP در شناسایی مناطق مستعد سیل‌خیزی در حوزه آبخیز برزک تأیید می‌شود. یافته‌های این بخش از تحقیق در مورد کارایی مدل AHP با نتایج قاسمی و همکاران (۱۳۹۳)، شهیری طبرستانی و ذکایی (۱۳۹۹)، محمدی و همکاران (۱۳۹۹)، حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۹)، Nsango و همکاران (۲۰۲۲) و نیز Zheng و همکاران (۲۰۲۲) تطابق دارد.

نتایج حاصل از اجرای مدل SVM و بررسی دقت پیش‌بینی مدل در مراحل مختلف آموزش و اعتبارسنجی با استفاده از سطح زیر منحنی ROC نشان داد که دقت مدل مذکور در پیش‌بینی مناطق مستعد سیل در مرحله آموزش، خیلی خوب (۰/۸۸۰) و در مرحله اعتبارسنجی مدل، خوب (۰/۷۵۱) بوده است. بنابراین مدل ماشین بردار پشتیبان نیز، توانایی قابل قبول و خوبی در تعیین مناطق دارای حساسیت سیل در حوزه آبخیز برزک دارد. پژوهش‌های صورت گرفته توسط راستگو و همکاران (۱۳۹۸)، طهماسبی و همکاران (۱۴۰۰)، نتایج به‌دست آمده را تأیید می‌کند. در این پژوهش‌ها نیز، کارایی مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) مناسب تشخیص داده شده است.

سایر یافته‌های اجرای مدل SVM حاکی از این است که ۳۱/۸۶ درصد وسعت حوزه آبخیز دارای پتانسیل حساسیت سیل‌خیزی خیلی کم و کم است و مابقی وسعت حوضه به میزان ۶۸/۱۴ درصد دارای پتانسیل حساسیت سیل‌خیزی متوسط، زیاد و خیلی زیاد است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که طبق پهنه‌های به‌دست آمده از مدل ماشین بردار پشتیبان، مناطق حاشیه جنوبی حوضه مطالعاتی به لحاظ سیل‌خیزی حساسیتی ندارد و در طبقه خیلی کم قرار گرفته است. علت این موضوع این است که بخش کوهستانی حاشیه جنوبی، بالادست حوزه آبخیز است و ابتدای شکل‌گیری آبراهه‌ها می‌باشد و هنوز آبراهه‌ها به هم پیوند نخورده‌اند تا حجم رواناب بالایی را ایجاد کنند و سبب بروز سیلاب شوند. از سوی دیگر، شیب بالا در منطقه کوهستانی خود سبب تخلیه سریع رواناب شده و حجم رواناب را در پایین‌دست افزایش خواهد داد؛ بنابراین به سمت پایین‌دست، حساسیت به سیل افزایش خواهد یافت؛ به‌نحوی که در بخش‌های نزدیک به شمال حوزه آبخیز برزک، حساسیت به سیل به درجه خیلی زیاد با گرایش منفی تغییر پیدا کرده و در بخش کوچکی از مناطق که به لحاظ سازند حساس بوده و از سوی دیگر شرایط برای پیوند آبراهه فراهم شده است، حجم زیادی از رواناب ایجاد می‌شود و حساسیت به سیل در طبقه خیلی زیاد قرار گرفته است. نکته حائز اهمیت دیگر این است که مناطق دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد عمدتاً تحت دخالت انسانی یا سکونتگاه انسان بوده و پوشش گیاهی فقیر دارد که با نتایج چراغی قلعه‌سری و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. لذا در صورت تمرکز سیاست‌ها و مدیریت‌ها روی این بخش به‌خصوص بخش‌هایی که گرایش مثبت داشته، می‌توان حوزه آبخیز را از سیل مصون نگه داشت. براساس نقاط سیل‌خیز برداشت شده و مشاهدات میدانی، پهنه ایجاد شده براساس مدل SVM منطقی بوده و مقارن با چیزی است که انتظار می‌رود.

سایر یافته‌ها براساس جدول ۱۰ حاکی از این است که وسعت طبقات کم و زیاد حساس به سیل در دو مدل AHP و SVM به یکدیگر نزدیک است، اما تفاوت وسعت در طبقات دیگر قابل ملاحظه است. به‌طور کلی مقایسه نتایج مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و داده‌کاوی SVM با توجه به ماهیت و سرشت متفاوت آن‌ها صحیح نیست. هر چند که ممکن است هر دو دسته مدل در یک حوزه

آبخیز، پهنه‌های حساسیت سیل را به‌صورت مشابه نشان دهند.

بررسی سوابق تحقیق نشان می‌دهد که به‌طور کلی، مدل‌های داده‌کاوی بر مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ارجحیت دارد؛ چرا که مدل‌های داده‌کاوی از نقاط مثبت شده واقعی سیل‌گیری برای آموزش مدل استفاده می‌کند، درحالی‌که مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر نظر کارشناسان و ماتریس مقایسه‌های زوجی است. البته در تحقیق حاضر، مقدار AUC برای مدل AHP بیشتر از مدل ROC به‌دست آمده است که عدم وجود مرحله آموزش در ترسیم منحنی ROC در نتایج به‌دست آمده می‌تواند دخیل باشد.

نتیجه‌گیری

سیل یکی از فراوان‌ترین و پرهزینه‌ترین بلایای طبیعی محسوب می‌شود که فراوانی وقوع آن در مناطق مختلف جهان به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، دارای روند افزایشی است. این پدیده، موجب فرسایش، رانش و لغزش خاک شده و اثرات مخربی برای محیط زیست دارد که باید راه‌کاری برای آن پیدا نمود. برای جلوگیری از آثار زیان‌بار سیل نمی‌توان در عوامل و عناصر جوی تغییراتی ایجاد نمود و باید راه‌حل علمی و اصولی در حوزه‌های آبخیز برای آن یافت. یکی از راه‌کارهای کنترل خطرات سیل، شناسایی نقاط بحرانی سیل و لزوم مدیریت کاربری اراضی است؛ چرا که عدم شناخت کافی از نقاط بحرانی سیل منجر به سوء مدیریت و خسارت‌های مالی و جانی سنگین در نتیجه وقوع سیلاب می‌شود. بنابراین تهیه نقشه پهنه‌بندی و مکان‌یابی مناطق بالقوه سیل‌خیزی در حوزه‌های آبخیز به‌ویژه حوزه آبخیز مطالعاتی امری ضروری است و در نتیجه، یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند به‌عنوان نقشه راهی برای مدیران اجرایی و سیاست‌گذاران شهری به‌منظور مدیریت و کنترل سیلاب قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- امیری، مهدیس؛ پورقاسمی، حمیدرضا و عرب‌عامری، علیرضا (۱۳۹۷). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز مهارلو در استان فارس با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مدل تصمیم‌گیری Vikor. *نشریه اکوهیدرولوژی*، ۵(۳)، ۸۱۳-۸۲۷.
- بنی‌حبیب، محمدابراهیم و لقب‌دوست آرانی، ابوالفضل (۱۳۹۲). رتبه‌بندی رویکردهای مدیریت سیلاب با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و ارزیابی داده‌های ترکیبی. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۴(۲)، ۷۲-۸۲.
- پورخبا، حمیدرضا؛ جوانمردی، سعید؛ یآوری، احمدرضا و فرجی سبکبار، حسنعلی (۱۳۹۲). کاربرد روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل تلفیقی ANP-DEMATEL در آنالیز تناسب اراضی کشاورزی (مطالعه موردی: دشت قزوین). *نشریه محیط‌شناسی*، ۳۹(۳)، ۱۵۱-۱۶۴.
- حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ شاهی، کاکا و روشن، سیدحسین (۱۴۰۲). شناسایی و اولویت‌بندی مناطق سیل‌گیر با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی مبتنی بر GIS، مطالعه موردی: حوزه آبخیز کارون. *نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۵(۳)، ۳۶۷-۳۸۵.
- چراغی قلعه سری، علی؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود و روشن، سیدحسین (۱۳۹۹). تهیه نقشه حساسیت سیلاب با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). *نشریه مخاطرات محیط طبیعی*، ۹(۲۵): ۶۱-۷۸.
- حسین‌زاده، محمدمهدی؛ پناهی، رؤیا و تربند، توران (۱۳۹۹). پهنه‌بندی حساسیت سیل در حوزه آبریز سنقر کرمانشاه. *نشریه اکوهیدرولوژی*، ۷(۴)، ۷۳-۸۹.
- راستگو، علی؛ قنبری، عبدالرسول و انصاری لاری، احمد (۱۳۹۸). ارزیابی و پتانسیل‌سنجی خطر وقوع سیل در شهر جناح با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM). *فصل‌نامه جغرافیای طبیعی*، ۱۲(۴۵): ۱۰۷-۱۲۵.
- شاطریان، محسن؛ کیانی سلمی، صدیقه؛ غلامی، یونس و منتصری، زهرا (۱۳۹۶). اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر توسعه طبیعت‌گردی روستاهای بخش برزک- کاشان با تلفیق تکنیک‌های DEMATEL و ANP. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)*، ۱۷(۴۴)، ۱۳۱-۱۵۴.
- شفیعی، مهدی و قنبرزاده لک، مهدی (۱۳۹۷). اولویت‌بندی سناریوها در مدل مکان‌یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی آبخوان جهت بخش سیلاب مبتنی بر فرآیند تحلیل شبکه‌ای ANP (مطالعه موردی: آبخوان دشت خوی). *نشریه تحقیقات منابع آب ایران*، ۴(۴)، ۱۴۷-۱۶۳.
- شهیری طبرستانی، احسان و ذکایی، محمدسعید (۱۳۹۹). ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز استان مازندران با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP). *نشریه محیط زیست و مهندسی آب*، ۶(۴)، ۳۳۱-۳۴۴.
- شیرانی، کورش و چاوشی، ستار (۱۳۹۷). پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه با تأکید بر تحلیل‌های کمی ژئومورفومتریک. *نشریه علوم آب و خاک*، ۲۲(۴)، ۷۲-۵۹.



- طهماسبی، محمدرضا؛ شعبانلو، سعید؛ رجبی، احمد و یوسفوند، فریبرز (۱۴۰۰). پهنه‌بندی احتمال وقوع سیل با استفاده از بررسی مقایسه‌ای دو مدل شناخته جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان. *نشریه علمی مدیریت آب و آبیاری*، ۱۱(۲): ۲۲۳-۲۳۵.
- فتح‌الله‌زاده، سینا و مهدی‌زاده، رسول (۱۳۹۲). مروری بر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره. دومین همایش ملی علوم مدیریت نوین، مؤسسه آموزش عالی غیرانتفاعی حکیم جرجانی، گرگان.
- فرهادی، هادی؛ اسماعیلی، علی و نجف‌زاده، محمد (۱۴۰۰). توسعه یک روش داده‌کاوی درخت تصمیم جهت شناسایی پارامترهای مؤثر در تعیین قدرت تخریب سیل. *نشریه مهندسی عمران امیرکبیر*، ۵۳(۵): ۱۷۶۳-۱۷۸۰.
- قاسمی، علی؛ سلاجقه، علی؛ ملکیان، آرش و اسمعیلی عوری، ابازر (۱۳۹۳). بررسی سیل‌خیزی و تعیین عوامل مؤثر در آن در حوضه رودخانه بالقی‌چای با استفاده از تکنیک GIS، RS و AHP. *نشریه محیط‌شناسی*، ۴۰(۲): ۳۸۹-۴۰۰.
- قربانی‌نژاد، سمیرا و زینی‌وند، حسین (۱۴۰۱). تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر بروز سیل و اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز کاکارضا با استفاده از آنتروپی شانون و روش TOPSIS. *نشریه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۱(۴۲): ۹۵-۱۰۹.
- لاهوئی، فائزه (۱۴۰۲). کاربرد مدل‌های حداکثر آنتروپی، ماشین بردار پشتیبان و DEMATEL-AHP در شناسایی مناطق مستعد سیلاب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز برزک)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ۱۶۷ ص.
- مجددی ریزئی، حمزه؛ حبیب‌نژاد، محمود؛ شاهدی، کاکا و پردهان، بیسواجیت (۱۳۹۹). کارایی مدل ترکیبی نسبت فراوانی - ماشین بردار پشتیبان در شناسایی مناطق مستعد سیل آبخیز کلات، *مجله اکوهیدرولوژی*، ۷(۱): ۷۷-۹۵.
- محمدی، غلامرضا؛ برنا، رضا و اسدیان، فریده. (۱۳۹۹). تحلیل پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبریز قره‌سو در استان کرمانشاه. *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۹(۳۶): ۱-۲۳.
- موسوی، سیده معصومه؛ نگهبان، سعید؛ رخشانی مقدم، حیدر و حسین‌زاده، سیدمحسن (۱۳۹۵). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شهر باغملک). *نشریه مخاطرات محیطی*، ۵(۱۰): ۷۹-۹۸.

REFERENCES

- Alfieri, L., Salamon, P., Bianchi, A., Neal, J., Bates, P., & Feyen, L. (2014). Advances in Pan-European flood hazard mapping. *Hydrological processes*, 28(13), 4067-4077.
- Amiri, M., Pourghasemi, H., & Arabameri, A. (2018). Prioritization of flood inundation sub-watersheds of Maharlo watershed in Fars province using morphometric parameters and VIKOR decision making model. *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(3), 813-827. (In Persian)
- Banihabib, M.E., & Laghabdoost Arani, A. (2014). Flood management options using analytical hierarchy process and Evaluation and Mixed Criteria. *Irrigation and Water Engineering*, 4(2), 72-82. (In Persian)
- Bera, S., Das, A., & Mazumdre, T., (2022). Evaluation of machine learning, information theory and multi-criteria decision analysis methods for flood susceptibility mapping under varying spatial scale of analyses. *Society and Environment*, 25, 100686.
- Bouahim, S., Rhazi, L., Amami, B., Sahib, N., Rhazi, M., Waterkeyn, A., Zouahri, A Mesleard, F., Muller, S.D., & Grillas, P. (2010). Impact of grazing on the species richness of plant communities in Mediterranean temporary pool (western Morocco). Determining appropriate sample size in survey research, *Information Comptes Rendus Bioloies*, 333, 670-679.
- Cheraghi Ghalehsari, A., Habibnejad Roshan, M., & Roshun, S.H. (2020). Flood susceptibility mapping using a Support Vector Machine models (SVM) and Geographic Information System (GIS). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 9(25), 61-80. (In Persian)
- Chukwuma, E.C., Okonkwa, C.C., Ojediran, J.O., Anizoba, D.C., Ubah, J.I., & Nwachukwu, C.P. (2021). A GIS based flood vulnerability modelling of Anambra State using an integrated IVFRN-DEMATEL-ANP model. *Heliyon*, 7(9), 1-13, e08048.
- Cimren, E., Catay, E., & Budak, E. (2007) Development of a machine tool selection system using AHP. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 35(3-4), 363-376.
- Costache, R., Popa, M.C., Bui, D.T., Diaconu, D.C., Ciubotaru, N., Minea, G., & bPham, Q.B. (2020). Spatial predicting of flood potential areas using novel hybridizations of fuzzy decision-making, bivariate statistics, and machine learning. *Journal of Hydrology*, 585, 124808.
- Farhadi, H., Esmaeily, A., & Najafzadeh, M. (2021). Developing a Decision Tree based on data mining method for detecting the influential parameters on the power of flood destruction. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 53(5), 1763-1780. (In Persian)
- Fathollahzadeh, S., & Mehdizadeh, R. (2013). An overview of multi-criteria decision-making methods. *The*

- National Conference on Modern Management Sciences, Hakim Jorjani Institute of Higher Education, Gorgan. (In Persian)
- Ghasemi, A., Salajegheh, A., Malekian, A., & Esmaliouri, A. (2014). Investigation of flooding and causative factors in Balegli Chay watershed by GIS, RS, and AHP techniques. *Journal of Environmental Studies*, 40(2), 389-400. (In Persian)
- Ghorbaninejad, S., & Zeinivand, H. (2022). Identification of the most important parameters influencing flood occurrence and flooding priority in Kakareza watershed using Shannon entropy and TOPSIS method. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 11(42), 95-109. (In Persian)
- Ghosh, S., Saha, S., & Bera, B. (2022). Flood susceptibility zonation using advanced ensemble machine learning models within Himalayan foreland basin. *Natural Hazards Research*, 2(4), 363-374.
- Habibnejad Roshan, M., Shahedi, K., & Roshun, S.H. (2023). Identification and prioritization of flooding areas using GIS-based analytical hierarchy process, Case study: Karun Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 15(3), 367-385. (In Persian)
- Han, D., Chan, L., & Zhu, N. (2007). Flood forecasting using support vector machines. *Journal of hydroinformatics*, 9(4): 267-276.
- Hosseinzadeh, M.M., Panahi, R., & Tarband, T. (2020). Flood susceptibility zoning in the Sanghar basin, Kermanshah province. *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(4), 873-889. (In Persian)
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). A multi-criteria group decision framework for partner grouping when sharing facilities. *Group Decision and Negotiation*, 22, 773-799.
- Karami, M., Abedi Koupai, J., & Gohari, S.A. (2024). Integration of SWAT, SDSM, AHP, and TOPSIS to detect flood-prone areas. *Natural Hazards*, 120(7), 1-19.
- Kumar, V., Sharma, K.V., Caloieero, T., Mehta, D., J., & Singh, K. (2023). Comprehensive overview of flood modeling approaches: A review of recent advances. *Hydrology*, 10(7), 141, 1-32.
- Lahoutinasab, F. (2023). Application of Maximum Entropy, Support Vector Machine and DEMATEL-AHP models in identifying flood-prone areas (Case study: Barzak basin). MSc thesis, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, 167 pp. (In Persian)
- Mohamadi, G., Borna, R., & Asadian, F. (2021). Analysis of flood potential of Ghare-Su basin in Kermanshah province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(4), 1-23. (In Persian)
- Mojaddadi Rizeei, H., Habibnezhad Roshan, M., Shahedi, K., & Pradhan, B. (2020). The efficiency of an ensemble Frequency Ratio-Support Vector Machine model in the detection of flood-prone areas of the Kalat Basin. *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(1), 77-95. (In Persian)
- Mojaddadi, H.R., Pradhan B., Nampak H., Ahmad, N., & Ghazali, A.H.B. (2017). Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi-sensor remote-sensing data and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1080-1102.
- Mosavi, S., Negahban, S., Rakhshaninasab, H., & Hossainzadeh, S. (2016). Assessment and zoning flood risk by using Fuzzy logic TOPSIS in GIS (Case study: Baghmalek urban catchment). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 5(10), 79-98. (In Persian)
- Mukhtar, M.A., Shangguan, D., Ding, Y., Anjum, M.N., Banerjee, A., Butt, A.Q., Yadav, N., Li, D., Yang, Q., Khan, A.A., Muhammad, A., & He, B.B. (2024). Integrated flood risk assessment in Hunza-Nagar, Pakistan: unifying big climate data analytics and multi-criteria decision-making with GIS. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1337081, 1-18.
- Nsangou, D., Kpoumié, A., Mfonka, Z., Ngouh, A.N., Fossi, D.H., Jourdan, C., Mouncherou, O.F., Vandervaere, J.P., & Ngoupayou, J.R.N. (2022). Urban flood susceptibility modelling using AHP and GIS approach: Case of the Mfoundi watershed at Yaoundé in the South-Cameroon plateau. *Scientific African*, 15, e01043, 1-16.
- Pourkhabbaz, H.R., Javanmardi, S., Yavari, A. R., & Faraji Sabokbar, H. (2013). Application of multi criteria decision making method and the integrated ANP- DEMATEL model for agricultural land suitability analysis (Case study: Qazvin plain). *Journal of Environmental Studies*, 39(3), 151-164. (In Persian)
- Rastgou, A., Ghanbari, A., & Ansari Lari, A. (2019). Evaluation and potential measurement of flood risk in Jinnah city using support vector machine (SVM) algorithm. *Quarterly Journal of Physical Geography*, 12(45), 107-125. (In Persian)
- Saaty, T.L., (1980). *The Analytical Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation* New York: McGraw Hill, 287 pp.
- Sadeghi-Pouya, A., Nouri, J., Mansouri, N., & Kia-Lashaki, A. (2017). An indexing approach to assess flood vulnerability in the western coastal cities of Mazandaran, Iran. *Disaster Risk Reduction*, 22, 304-316.
- Safaripour, M., & Rezapour Andabili, N. (2020). Miyandoab flood risk mapping using dematel and SAW



- methods and DPSIR model. *Advances in Environmental Technology*, 6(3), 131-138.
- Senan, C.P., Ajin, R.S., Danumah, J.H., Costache, R., Arabameri, A., Rajaneesh, A., Sajinkumar, K.S., & Kuriakose, S.L. (2023). Flood vulnerability of a few areas in the foothills of the Western Ghats: A comparison of AHP and F-AHP models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 37(2), 527-556.
- Shafiei, M., & Ghanbarzadeh Lak, M. (2018). Prioritizing artificial groundwater nourishing-flood spreading scenarios, Based on Analytical Network Process (ANP) (Case study: Khoy plain aquifer). *Iran-Water Resources Research*, 14(4), 140-159. (In Persian).
- Shahiri Tabarestani, E., & Zokaei, M.S. (2020). Assessment of flood hazard using Analytic Hierarchy Process method (AHP) in Mazandaran province, Iran. *Environment and Water Engineering*, 6(4), 331-344. (In Persian)
- Shaterian, M., Kiani, S., Gholami, Y., & Montaseri, Z. (2017). Prioritize the factors affecting on development of ecotourism villages of Barzok district- Kashan by combining DEMATEL and ANP methods. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 17(44), 131-154. (In Persian)
- Shirani, K., & Chavoshi, S. (2019). Prioritization of catchments prone to flooding by morphometric analysis. *Journal of Water and Soil Science (JWSS)*, 22(4), 59-72. (In Persian)
- Tahmasebi, M.R., Shabanlou, S., Rajabi, A., & Yosefvand, F. (2021). Flood probability zonation using a comparative study of two well-known random forest and support vector machine models in northern Iran. *Water and Irrigation Management*, 11(2), 223-235. (In Persian)
- Tehrany, M.S., Paardhan, B., Mansor, S., Ahmad, N., (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*, 125, 91-101.
- Tempa, K. (2022). District flood vulnerability assessment using analytic hierarchy process (AHP) with historical flood events in Bhutan. *PLoS One*, 17(6), e0270467, 1-20.
- Wu, X., Shen, X., Li, J., & Xie, X. (2024). Determination and projection of flood risk based on multi-criteria decision analysis (MCDA) combining with CA-Markov model in Zhejiang Province, China. *Urban Climate*, 53, 101769, 1-15.
- Xue, P., Huang, S., Xie, K., Sun, Y., & Fei, L. (2024). Identification of the critical factors in flood vulnerability assessment based on an improved DEMATEL method under uncertain environments. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 100, 104217.
- Youssef, A.M., Pourghasemi, H.R., Mahdi, A.M., & Matar, S.S. (2023). Flood vulnerability mapping and urban sprawl suitability using FR, LR, and SVM models. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 16081-16105.
- Zheng, C., Yang, W., Jiang, X., Lian, J., Hu, D., Yan, X., & Yan, L. (2024). A novel integrated Urban flood risk assessment approach coupling GeoDetector-Dematel and clustering method. *Journal of Environmental Management*, 354(3), 120308.
- Zheng, Q. (2023). Method for a new risk assessment of urban inundation: G-DEMATEL–AHP. *MethodsX*, 10, 101997, 1-5.
- Zheng, Q., Shen, S. L., Zhou, A., & Lyu, H. M. (2022). Inundation risk assessment based on G-DEMATEL-AHP and its application to Zhengzhou flooding disaster. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104138.