Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Flood potential zoning with fuzzy network analysis in Aharchai watershed

Morteza Eyvazi[1], Alireza Moghaddam Nia[2*], Arash Malekian[3], Farkhondeh Khorashdizadeh[4]

1. Ph.D. Student, Department of Arid and Mountainous Region Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: eyvazi.m@ut.ac.ir
2. Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: a.mogaddamnia@ut.ac.ir
3. Professor, Department of Arid and Mountainous Region Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: malekian@ut.ac.ir
4. Assistant Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran, Email: khorashdi@sharif.edu

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Received: 27 September 2024
Revised: 14 November 2024
Accepted: 17 November 2024
Published online: 31 December 2024

Keywords:
Aharchai watershed, fuzzy logic, flood zoning, pairwise comparisons.

ABSTRACT

The mountainous areas in the northwest of the country are prone to floods due to their special topography and adequate rainfall throughout the year, especially in spring. The current research was carried out to prepare a flood potential zoning map in the Ahrchai watershed. To prepare a flood potential zoning map, 9 factors affecting the occurrence of this phenomenon, which are rainfall and runoff with return periods of 2.25 and 50 years, distance from waterways, slope, curve number, drainage density, land use, geology, NDVI index, and land capability, were used. To weigh the criteria, the network analysis method was used in the Super Decisions environment. The results showed that the highest weights of the criteria related to runoff, distance from the waterway, and curve number were 0.244, 0.171, and 0.140, respectively, with a total inconsistency rate of 0.09. The weight of sub-watershed 3 with a value of 0.272 and sub-watershed 2 with a value of 0.114 respectively had the highest and lowest weight of flood potential. Also, the criteria of curve number and runoff were identified as the most sensitive factors. Finally, by integrating these layers according to their weight in the Arc GIS environment, flood potential zoning maps were obtained in a fuzzy manner with return periods of 2, 25, and 50 years. In the 2-year return period, the results showed that 6.45% of the watershed has a high to very high flood risk, and 56.57% is in a very low or stable category. With a return period of 50 years, 22.53% of the area has very high flood potential, and 52.77% of the watershed area has very low flood potential.

Citation: Eyvazi, M., Mogaddamnia, A., Malekian, A., & Khorashadizadeh, F. (2024). Flood potential zoning with fuzzy network analysis in Aharchai watershed. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(4), 87-108.
DOR:

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

* **Corresponding author:** Alireza Moghaddam Nia
Address: Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran.
Tel: 09151441381
Email: a.mogaddamnia@ut.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Flood potential zoning with fuzzy network analysis in Aharchai watershed

Morteza Eyvazi[1], Alireza Moghaddam Nia[2*], Arash Malekian[3], Farkhondeh Khorashdizadeh[4]

1. Ph.D. Student, Department of Arid and Mountainous Region Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: eyvazi.m@ut.ac.ir
2. Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran, Email: a.mogaddamnia@ut.ac.ir
3. Professor, Department of Arid and Mountainous Region Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: malekian@ut.ac.ir
4. Assistant Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran, Email: khorashdi@sharif.edu

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Flood is one of the most important natural hazards that has increased in recent years, especially in Iran, and has caused a lot of human and financial losses. Human factors such as construction in flood plains, non-respect of river boundaries, and climate changes have contributed to the aggravation of these damages. Ahrchai watershed, due to its importance in supplying agricultural products and drinking water, requires careful management of flooding during floods. Therefore, zoning and identifying vulnerable areas is necessary to take appropriate measures.

Methodology: In the present study, after determining the control layer or the target of the study, which in the present study is the flood potential of the Ahrchai watershed, in the next step, the target criteria were determined, and in the present study, 12 criteria are among the factors affecting the phenomenon of flooding, including drainage density, slope, CN, NDVI, land use, precipitation and runoff with different return periods, land capability, distance from waterways, geology were considered. In the following, different watershed sub-watersheds that are proposed as options in the present study were selected to weigh the criteria and options using network analysis and hierarchical analysis in the environment of Super Decisions software version 3.2, a decision support software, was employed. In the following, to check the potential of flooding in the position of each pixel in the watershed, the operator and fuzzy functions were used.

Results and Discussion: The current research investigated the risk of flooding in the Ahrchai watershed. In this study, nine factors affecting flooding were identified and evaluated by weighing the criteria using the network analysis method. This method, unlike the hierarchical analysis of the criteria or options, was also compared to each other for That is why the results of network analysis are preferable. In the present study, the results show that the runoff and the distance from the waterway are known as the main factors affecting the flood potential, although the runoff factor does not have such an effect in the return period of 2 or 10 years, but in the period of higher returns, this factor has a significant effect, which in this research The average face is mentioned. Also, sub-watersheds 3 and 5 were identified as the most risky areas because these sub-watershed s are dependent, meaning they include the upstream runoff. In addition, the sensitivity analysis showed that the runoff parameters and curve number have the greatest effect on the model output. Because in these two criteria, different effective factors of flooding are involved. In the continuation of the research, taking into account different return periods, 45.6% of the watershed has high to very high flood risk. Also, as the return period increases, the risk of flooding increases. The results of this research emphasize the effect of various factors on floods and the threats caused by them, and the fuzzy network analysis model shows the potential of floods in this area.

Conclusion: he results showed that the highest weights of the criteria related to runoff, distance from the waterway, and curve number were 0.244, 0.171, and 0.140, respectively, with a total inconsistency rate of 0.09. The weight of sub-watershed 3 with a value of 0.272 and sub-watershed 2 with a value of 0.114 respectively had the highest and lowest weight of flood potential. Besides, the criteria of curve number and runoff were identified as the most sensitive factors. Finally, by integrating these layers according to their weight in the Arc GIS environment, flood potential zoning maps were obtained in a fuzzy manner with return periods of 2, 25, and 50 years. In the 2-year return period, the results showed that 6.45% of the watershed has a high to very high flood risk, and 56.57% is in a very low or stable category. With a return period of 50 years, 22.53% of the area has very high flood potential, and 52.77% of the watershed area has very low flood potential.

Ethical Considerations

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.
Funding: This research is taken from a part of the senior thesis and was financially supported by the University of Tehran.
Authors' contribution: Morteza Eyouzi as the author of various parts of the article and under the guidance of Dr. Alireza Moghadamnia, Dr. Arash Malekian from Tehran University and Dr. Farkhande Khorashadizadeh from Sharif University of Technology.
Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.
Acknowledgment: The authors of this article sincerely thank and appreciate the Vice Chancellor of Research, Technology and Innovation of Tehran University, Faculty of Agriculture and Natural Resources located in Karaj for the financial support of this research.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب با تحلیل شبکه‌ای فازی در حوزه آبخیز اهرچای

مرتضی عیوضی[۱]، علیرضا مقدم‌نیا[۲*]، آرش ملکیان[۳]، فرخنده خراشادی‌زاده[۴]

۱. دانشجوی دکتری، گروه احیاء و مناطق خشک کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، eyvazi.m@ut.ac.ir

۲. استاد، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست (علوم فناوری‌های محیطی)، دانشکدگان علوم و فناوری میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران، a.maghaddamnia@ut.ac.ir

۳. استاد، گروه احیاء و مناطق خشک کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، malekian@ut.ac.ir

۴. استادیار، گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، khorashdi@sharif.edu

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۰۶ مهر ۱۴۰۳
بازنگری: ۲۴ آبان ۱۴۰۳
پذیرش: ۲۷ آبان ۱۴۰۳
انتشار برخط: ۱۱ دی ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
پهنه‌بندی سیلاب، منطق فازی، مقایسات زوجی، حوزه آبخیز اهرچای.

چکیده

مناطق کوهستانی شمال غرب کشور به‌دلیل توپوگرافی خاص خود و بارش تقریباً مناسب در طول سال و به‌خصوص در فصل بهار، ازجمله مناطق مستعد وقوع سیل هستند. تحقیق حاضر با هدف تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب تحت یک مطالعه موردی در حوزه آبخیز اهرچای انجام‌گرفته است. برای تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب از ۹ عامل مؤثر در وقوع این پدیده استفاده شده که عبارتند از: بارش و رواناب با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۵۰ ساله، فاصله از آبراهه، درصد شیب، شماره منحنی، تراکم زهکشی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، NDVI و قابلیت اراضی حوزه آبخیز است. به‌منظور وزن‌دهی معیارها از روش تحلیل شبکه‌ای در محیط نرم‌افزار Super Decisions استفاده شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین وزن معیارها مربوط به رواناب، فاصله از آبراهه و شماره منحنی به‌ترتیب ۰/۲۴۴، ۰/۱۷۱، ۰/۱۴۰ و با نرخ ناسازگاری کلی ۰/۰۹ به‌دست آمد و زیرحوزه آبخیز ۳ به مقدار ۰/۲۷۲ و زیرحوزه آبخیز ۲ به مقدار ۰/۱۱۴ به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین وزن پتانسیل سیلاب را داشتند. هم‌چنین معیارهای شماره منحنی و رواناب به‌عنوان حساس‌ترین عوامل شناسایی شدند. در نهایت، با تلفیق این لایه‌ها با توجه به وزن آن‌ها در محیط Arc GIS، نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب به‌صورت فازی با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۵۰ ساله به‌دست آمد. برای دوره بازگشت ۲ ساله نتایج نشان داد که ۶/۴۵ درصد حوزه آبخیز دارای خطر سیل‌خیزی زیاد تا خیلی زیاد و ۵۶/۵۷ درصد در طبقه خطر خیلی کم‌تری یا پایدار قرار گرفته است درحالی‌که با دوره بازگشت ۵۰ ساله ۲۲/۵۳ درصد منطقه دارای سیل‌خیزی زیاد تا خیلی زیاد و ۵۲/۷۷ درصد مساحت حوزه آبخیز هم دارای پتانسیل سیل‌خیزی خیلی کم نشان داد هم‌چنین نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش دوره بازگشت سیلاب، به‌ویژه در بازه ۲ تا ۲۵ ساله، تأثیر قابل‌توجه‌تری بر میزان و گستره سیل‌خیزی نسبت به بازه ۲۵ تا ۵۰ ساله دارد. این روند حاکی از آن است که در مراحل اولیه افزایش دوره بازگشت، شدت و توزیع سیلاب با نرخ بیش‌تری تغییر می‌کند، درحالی‌که در دوره‌های بازگشت طولانی‌تر، این تغییرات با شیب ملایم‌تری رخ می‌دهد. یافته‌های پژوهش می‌توانند در طراحی سازه‌های مهار سیلاب و مدیریت منابع آب برای کاهش خسارات سیلاب مؤثر باشند.

استناد: عیوضی، مرتضی، مقدم‌نیا، آرش، ملکیان، و خراشادی‌زاده، فرخنده. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب با تحلیل شبکه‌ای فازی در حوزه آبخیز اهرچای. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۲(۴)، ۸۷-۱۰۸.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.3.8.5

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** علیرضا مقدم‌نیا
نشانی: استاد گروه انرژی‌های نو و محیط زیست (علوم فناوری‌های محیطی)، دانشکدگان علوم و فناوری میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران
تلفن: ۰۹۱۵۱۴۴۱۳۸۱
پست الکترونیکی: a.maghaddamnia@ut.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

مقدمه

بدون تردید سیل یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی است که فراوانی وقوع آن در سال‌های اخیر در سراسر جهان و به‌خصوص کشور ایران روند صعودی داشته و خسارات مالی و جانی جبران‌ناپذیر ناشی از آن همه ساله بخش اعظمی از کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ساسان‌پور و محبی، ۱۴۰۰). از طرفی افزایش ساخت‌وساز و سکونت در سیلاب‌دشت‌ها (ایلانلو، ۱۳۹۴)، عدم رعایت حریم در رودخانه‌ها و فعالیت‌های مخرب انسانی در طبیعت (Fohrer et al., 2005)، عدم رعایت تناسب اراضی با کاربری اراضی (Eyvazi et al., 2023)، هم‌چنین گرمایش جهانی و تغییر اقلیم (Hezara et al., 2017) و (علیپور و همکاران، ۱۴۰۱) روند افزایشی خسارات سیلاب را مضاعف کرده است. حوزه آبخیز اهرچای هم به سبب این‌که قطب اصلی تامین محصولات کشاورزی در استان آذربایجان شرقی و هم‌چنین تامین آب شرب، صنعت و معدن یک حوزه آبخیز تقریبا راهبردی محسوب می‌شود، از طرفی به علت این‌که اکثر باغات در سیلاب دشت حوزه آبخیز قرار گرفته است، بنابراین پهنه‌بندی و مشخص کردن آبگرفتگی در حین سیلاب یک امر ضروری به حساب می‌آید تا اقدامات لازم از جمله تجدید نظر در مدیریت، احیای بیولوژیک و یا اقدامات بیومکانیکی صورت گیرد.

مطالعات بسیاری در زمینه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی انجام‌شده است، Willtt & Sharda, (1991) برای بررسی امکان استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در پروژه‌های مهار سیلاب رودخانه گرند[1]و تار[2]در اوکلاهامای آمریکا، مناطق مستعد سیلاب را شناسایی کردند. Pappenberger et al. (2005) برای مناطق مستعد وقوع سیلاب و Yang et al. (2006)، برای تعیین دشت‌های سیلابی در حوزه آبخیز رودخانه جنوبی واقع در شرق اتاوا از مدل HEC-RAS وGIS[3] استفاده کردند. Sahu et al. (2010)، نقشه پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر را هنگام رخداد سیل را با استفاده از مدل SCS-CN از ۷۶ حوزه آبخیز کشاورزی کوچک در کشور آمریکا ارائه دادند. هم‌چنین Danumah et al. (2016) برای ارزیابی و پهنه‌بندی ریسک سیل در منطقه ساحل عاج و Abhishek & Shymal, (2018) در منطقه مالدا[4]هند، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. هم‌چنین، Samanata et al. (2016, 2018) با استفاده از سنجش از دور و GIS وقوع سیل را در ایالت موروبه در گینه‌نو با استفاده از شش عامل ژئومورفولوژیک و هیدرولوژیک مؤثر در وقوع سیل مدل‌سازی نمودند. در ادامه، Ogato et al. (2020) در کشور اتیوپی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان دادند که خطر آب‌گرفتگی در حوزه آبخیز شهر اموا با احتمال وقوع ۴۱ درصد یکی از مناطق مستعد سیلاب است.

عیوضی و ملکیان (۱۴۰۰) در یک حوزه آبخیز شهری پس از شناسایی عوامل مؤثر در سیل‌خیزی، به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه به روش تحلیل سلسله مراتبی فازی پرداختند. چزگی و همکاران (۱۳۹۶) برای مکانیابی احداث سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز سد طرق از مدل تحلیل شبکه‌ای استفاده کردند. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۰)، با استفاده از تحلیل شبکه[5]و ترکیب خطی وزنی[6]در حوزه آبخیز قطور چای با استفاده از لایه‌های کاربری اراضی، شیب، قابلیت اراضی، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی اقدام به پهنه‌بندی سیلاب کردند و نتایج نشان داد که سازند Qal و واحد تیپ‌های اراضی خاک ۵، ۶ و ۷ و هم‌چنین فقر پوشش گیاهی در حوزه آبخیز عامل اصلی پهنه‌های سیل‌گیر هستند. در حوزه آبخیز گرگان رود برای ارزیابی و پهنه‌بندی سیلاب پس از شناسایی نه عامل اصلی سیلاب از مدل تحلیل شبکه استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که بخش شرقی و شمال شرقی حوزه آبخیز گرگان‌رود از سیل‌خیزی بالایی برخوردار است (سید اسحاق جلالیان، ۱۴۰۰). هم‌چنین در حوزه آبخیز وازرود استان مازندران با استفاده از تحلیل شبکه‌ای به شش معیار اصلی وقوع سیلاب پرداخته شد که نتایج تحقیق نشان داد که معیار شماره منحنی و شیب به‌ترتیب در اولویت اول و دوم خطر وقوع سیل بودند (سلیمانی و محسنی، ۱۴۰۲). در ادامه برای تهیه نقشه پهنه‌های سیل‌گیر شهر مراغه از روش تحلیل شبکه‌ای به‌کار گرفته شد که نتایج نشان داد که به‌ترتیب عامل آبراهه بیش‌ترین و عامل کاربری اراضی کم‌ترین ارزش را برای تولید سیلاب شهری داشتند هم‌چنین در ادامه برای پهنه‌بندی سیلاب بعد از این‌که لایه‌ها فازی‌سازی شد با مدل تحلیل شبکه تلفیق شدند و مطالعات پیشین را در تعیین مناطق با ریسک بالای سیلاب را خیلی خوب تایید کردند (سامی و عبادی، ۱۴۰۳). هم‌چنین سایر محققان با استفاده از این الگوریتم، خطر سیلاب را تخمین زدند و نشان دادند که تحلیل شبکه‌ای فازی مطمئن‌ترین نتایج را برای پهنه‌بندی و مکان‌یابی ارائه می‌دهد.

با توجه به این‌که حوزه آبخیز اهرچای به‌دلیل موقعیت جغرافیایی و وجود رودخانه اهرچای به لحاظ کشاورزی و باغداری یک حوزه راهبردی در سطح استان آذربایجان شرقی محسوب می‌شود و با بررسی مطالعات پیشین همواره در معرض خطر سیل قرار گرفته است که شامل عوامل متعددی است. برای مدیریت و مهار سیلاب در این منطقه، ضروری است که پهنه‌بندی خطر سیلاب به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرد. این کار می‌تواند به شناسایی مناطق مستعد سیلاب کمک کند و در نهایت به کاهش خسارات ناشی از سیلاب در شرایط مختلف

[1] Grand
[2] Tar
[3] Geographic Information System
[4] Malda
[5] Analytical Network Process (ANP)
[6] Weighted Linear Composition (WLC)

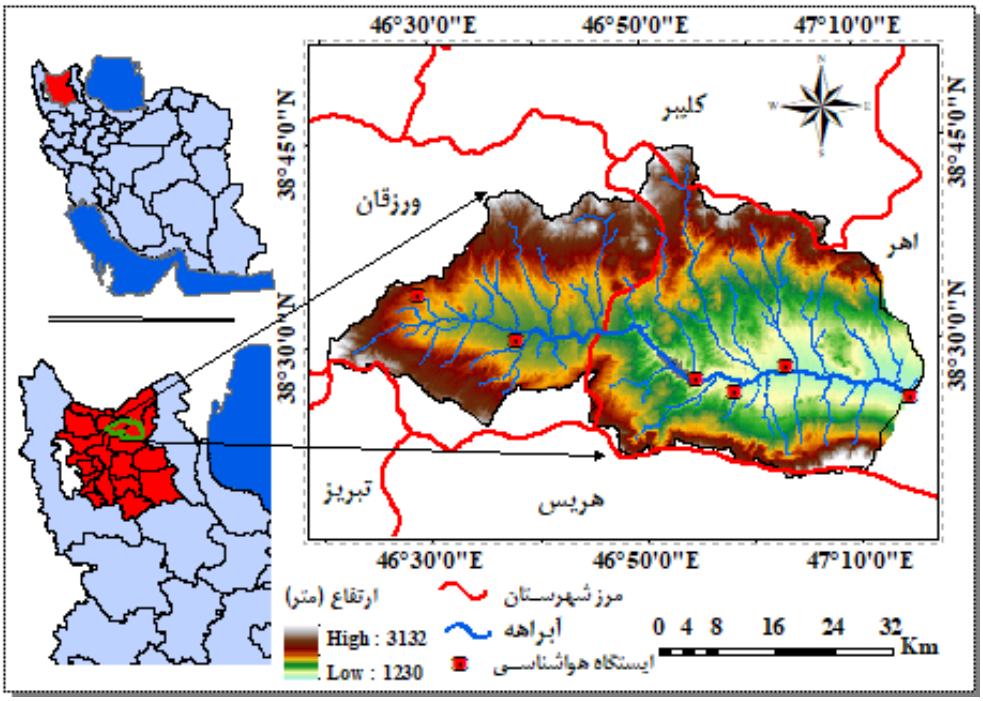
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

اقتصادی و اجتماعی منجر شود. هدف اصلی از این مطالعه تعیین مناطق مستعد سیلاب با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۵۰ ساله با استفاده از روش‌های تحلیل شبکه‌ای و تحلیل شبکه‌ای فازی است که خلاء اصلی مطالعات پیشین را پر کرده است. علاوه‌براین، عوامل یا متغیرهای حساس حوزه آبخیز اهرچای برای وقوع سیلاب شناسایی می‌شود.

مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز اهرچای در ناحیه شمال غربی کشور و در محدوده بالادست شهرستان اهر با مساحتی برابر با ۲۰۶۵/۸۵ کیلومترمربع در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی ′۲۰ °۴۶ تا ′۱۹ °۴۷ طول شرقی و ′۱۹ °۳۸ تا ′۴۴ °۳۸ عرض شمالی و در محدوده تقسیمات سیاسی استان آذربایجان شرقی قرارگرفته است. حوزه آبخیز مورد مطالعه زهکش اصلی بخش‌هایی از کوه‌های قره داغ و قوشا داغ است که جزئی از سیستم زهکشی رودخانه ارس محسوب می‌شود. بر اساس بررسی آمار بلندمدت داده‌های موجود در ایستگاه‌های هواشناسی حوزه آبخیز اهرچای، میانگین بارندگی سالیانه منطقه مورد مطالعه ۲۹۱/۱ میلی‌متر است که بیش‌ترین مقدار آن مربوط به فصل بهار است و دمای متوسط سالیانه حوزه آبخیز ۱۱/۲ درجه سانتی‌گراد است. رودخانه اهرچای از سمت غرب به شرق در جریان است و طول آبراهه اصلی آن ۱۰۱/۶۰۶۳ کیلومتر است و حوزه آبخیز را به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم کرده است. بر اساس طبقه‌بندی مدل رقومی ارتفاعی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی کم‌ترین و بیش‌ترین ارتفاع منطقه به‌ترتیب برابر ۱۲۱۲ و ۳۱۳۲ متر و شیب متوسط وزنی حوزه آبخیز ۱۷ درصد است. براساس بازدیدهای میدانی صورت گرفته در طول مطالعه منطقه، قسمت قابل‌توجهی بالادست حوزه آبخیز را پوشش گیاهی مرتعی ازجمله شبدر سفید[1] آویشن[2] علف پشمکی[3] گونه‌های گون[4] و انواع گونه‌های پهن‌برگ و خوش‌خوراک و غیره و در پایین‌دست زراعت دیم و آبی به‌صورت کشت مستقیم، مکانیزه و سنتی شامل می‌شود و منطقه مورد مطالعه به لحاظ فیزیوگرافی نسبتاً کشیده است و بر اساس داده‌های ایستگاه آب‌سنجی موجود در خروجی حوزه آبخیز (ایستگاه تازه‌کند) متوسط دبی سالانه ۳/۴ متر مکعب در ثانیه است. شکل (۱) موقعیت حوزه آبخیز مطالعاتی را در تقسیمات سیاسی کشور، استان و شهرستان نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study region

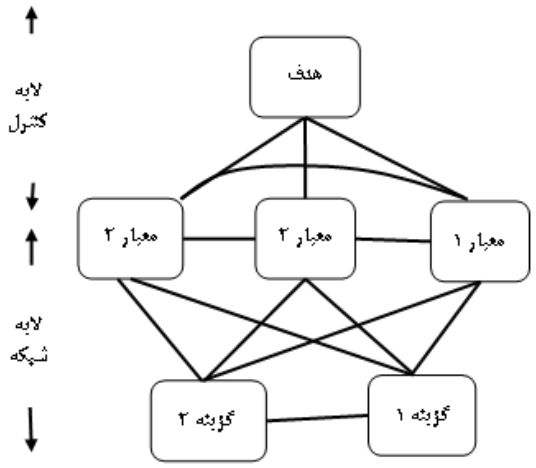
[1] *Trifolium repens*
[2] *Thymus vulgaris*
[3] *Bromus tectorum*
[4] *Astragalus Sp.*

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

روش تحقیق

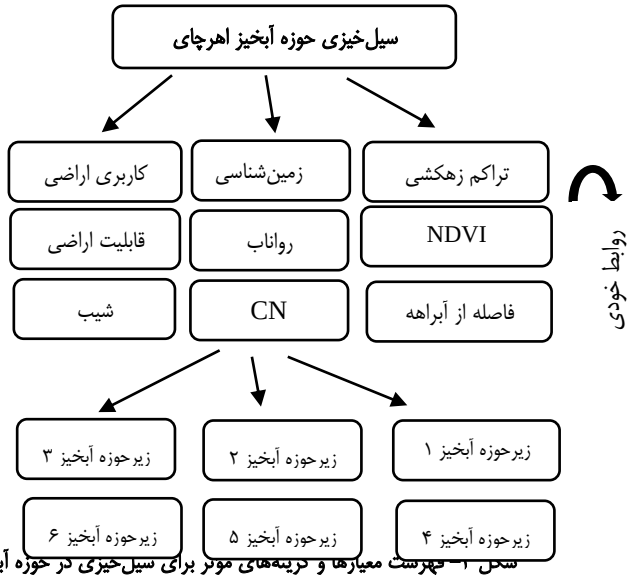
فرایند تحلیل شبکه ای (ANP)

فرایند تحلیل شبکه‌ای یکی از مهم‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری توسعه یافته است که توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ پیشنهاد شده است که با ساختار سلسله مراتبی غیرمستقل سازگار است (Aghasafari et al., 2020). فرآیند تحلیلی شبکه، روابط بین هر شاخص در سیستم را بیان می‌کند و نشان می‌دهد که چگونه شاخص‌های لایه شبکه (معیارها) که ارتباط داخلی دارند و یا این‌که چگونه ارتباط بین عناصر خوشه‌های مختلف (ارتباط خارجی) بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند (Sipahi & Timor, 2010). ANP برخلاف یک ساختار سلسله مراتبی ساده، ارتباطات بین شاخص‌ها/ عناصر را به‌طور دقیق توصیف می‌کند (Toth et al., 2022)، برای این منظور در تحقیق حاضر از این روش استفاده شد. ANP یک سیستم نشانگر را به دو لایه تقسیم می‌کند: لایه بالایی یک لایه کنترل است، درحالی‌که لایه پایین یک‌لایه شبکه است. به‌طورکلی، لایه کنترل شامل اهداف و اصول است و لایه شبکه شامل معیارها و گزینه‌ها هستند که هرکدام خوشه جداگانه دارد. لایه کنترل بر خوشه‌ها و نشانگرها در لایه شبکه تسلط دارد (Brody et al., 2007). خوشه‌ها و شاخص‌های داخلی بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند که ساختار شبکه را تشکیل می‌دهد (شکل ۲). شایان‌ذکر است که اجزای اساسی ساختار ANP یک "هدف"، دو یا چند "معیار" و "گزینه‌ها" است (Brody et al., 2007). فرآیند محاسبه ANP به‌دلیل این‌که برای عملیات هایپرماتریس طراحی‌شده است، پیچیده است. از این‌رو، نرم‌افزار Super Decisions نسخه ۳,۲ یک نرم‌افزار پشتیبانی تصمیم، فرایندهای AHP و ANP را پیاده‌سازی می‌کند. در این مطالعه برای کمک به محاسبات تحقیق حاضر، تولید ماتریس و به دست آوردن اولویت معیارها و گزینه‌ها به کار گرفته شد (شکل ۳).



شکل ۲- چارچوب ساده فرایند ANP (ساعتی و همکاران، ۲۰۰۶)

Figure 2- ANP process framework (Saaty et al., 2006)



شکل ۳- فهرست معیارها و گزینه‌های موثر برای سیل‌خیزی در حوزه آبخیز اهرچای

Figure 3- List of criteria and effective alternatives for flooding in Ahrchai watershed

تشریح معیارهای مؤثر بر سیل‌خیزی

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

از آن‌جایی‌که عوامل متعددی برای تعیین مناطق مستعد سیلاب وجود دارد و انتخاب تمام عوامل برای انجام یک تحقیق بسیار مشکل است؛ بنابراین در پژوهش حاضر با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه پهنه‌بندی سیلاب سعی بر این شد که عوامل مهم شامل ۹ لایه (شکل ۴) به شرح زیر به‌کار گرفته شود.

کاربری اراضی: فراوانی سیل یک منطقه به‌شدت می‌تواند تحت تأثیر الگوی کاربری اراضی و تکامل زمانی باشد (Benito et al., 2010). محققان نشان دادند که تغییرات در کاربری اراضی می‌تواند بر احتمال وقوع سیل تأثیرگذار باشد (Beckers et al., 2013). در این مطالعه برای تهیه نقشه کاربری اراضی ابتدا از تصاویر رقومی ماهواره‌ای لندست ۷ سنجنده TM + با پردازش در محیط نرم‌افزار ENVI از نوع طبقه‌بندی احتمال حداکثری[1]استفاده شد. در ادامه، نقشه کاربری اراضی به شش طبقه در قالب مرتع، پیکره آبی، کشاورزی آبی و دیم، مناطق مسکونی و اراضی باغی استخراج شد.

شاخص پوشش گیاهی: NDVI یک شاخص مهم و منعکس‌کننده شاخص پوشش گیاهی است در مطالعه حاضر از تصویر لندست ۹ با دقت مکانی ۳۰ در ۳۰ متر استفاده شد که در آن NIR، باند مادون قرمز نزدیک و RED باند قرمز است. پوشش گیاهی در حالت نرمال، امواج باند مادون‌قرمز نزدیک را به‌خوبی منعکس می‌کند که در این شاخص مقدار عددی هر پیکسل بین ۱+ و ۱− تغییر می‌کند (حسینی و همکاران، ۱۴۰۲).

رابطه (۱) $$NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)$$

قابلیت اراضی: ارزیابی قابلیت اراضی از لحاظ کشاورزی و منابع طبیعی حائز اهمیت فراوان است و ضامن تولید پایدار و حفظ منابع ارزشمند خاک و آب در هر کشوری است و توجه به آن ضرورتی انکارناپذیر در جهت مدیریت پایدار منابع آب و خاک است (اسمعلی و عبدالهی، ۱۳۹۰). در مطالعه حاضر از نقشه مطالعات ارزیابی منابع و قابلیت اراضی با مقیاس ۲۵۰۰۰۰: ۱ تهیه شده از موسسه تحقیقات خاک و آب استان آذربایجان شرقی استفاده شد.

شیب: شیب را از دیدگاه مدل رقومی ارتفاع به‌عنوان زاویه‌ی سطح مماس بر هر نقطه مدل رقومی ارتفاع با سطح افق شناخته می‌شود. از دیدگاه هیدرولوژی ثابت‌شده است که شیب حوزه آبخیز، نقش اساسی در میزان رواناب، دبی اوج سیلاب، مقدار نفوذ، تلفات بارش و مقدار فرسایش دارد (Das & Pardes, 2018; Lee et al., 2012; Tehrany et al., 2013). در مطالعه حاضر، برای دستیابی به نقشه درصد شیب مستقیما از مدل رقومی ارتفاعی[2]با اندازه پیکسل ۳۰ متر در محیط نرم‌افزار Arc Map به تعداد ۵ طبقه تهیه شد.

زمین‌شناسی: زمین‌شناسی یک منطقه می‌تواند اطلاعات مهمی درباره وقوع حوادث سیل ارائه دهد .(Reneau, 2000) بین نفوذپذیری سنگ‌ها و وسعت نفوذ رابطه تنگاتنگی وجود دارد؛ به‌طوری‌که سنگ‌های نفوذناپذیر معمولاً تولید رواناب بالایی دارند (Kazakis, 2015). در این مطالعه، نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه و با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS سازندهای زمین‌شناسی استخراج شد.

تراکم زهکشی: تراکم زهکشی[3]به نسبت مجموع طول کل آبراهه‌های حوزه آبخیز از جمله اصلی و فرعی به مساحت آن را گویند که این نسبت با دبی‌های حداکثر حوزه آبخیز رابطه همبستگی دارد (Kazakis, 2015). و عامل مهمی در بروز سیل‌های ناگهانی در یک منطقه است (Brody et al., 2007). محققان نشان دادند که رواناب سطحی بالاتر، بیش‌تر در مناطقی اتفاق می‌افتد که تراکم زهکشی بیش‌تری دارند (Brody, 2007). در پژوهش حاضر تراکم زهکشی حوزه آبخیز اهرچای از نقشه شبکه زهکشی با استفاده از دستور تراکم خط در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد.

فاصله از آبراهه: همواره رخداد و گسترش سیلاب‌های مهیب بستگی به فاصله یک منطقه از شبکه زهکشی دارد (Aghasafari et al., 2020) و مناطقی که در نزدیکی آبراهه قرار می‌گیرند، معمولاً بیش‌تر تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرند. در پژوهش حاضر نقشه فاصله از آبراهه با استفاده از دستور فاصله اقلیدسی از روی نقشه آبراهه در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد.

شماره منحنی: شماره منحنی بر اساس لایه کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیک خاک، شرایط رطوبتی پنج روز قبل خاک محاسبه می‌شود دامنه تغییرات آن‌که یک عدد بدون بعد است بین صفر تا صد متغیر است. افزایش شماره منحنی نشان‌دهنده پتانسیل بالای تولید رواناب در حوزه آبخیز است (Ranjan, 2022). در این مطالعه، نقشه شماره منحنی حوزه آبخیز اهرچای با تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک در محیط Arc GIS به‌دست آمد.

رابطه (۲) $$\overline{CN}=\frac{\sum(a_i\times CN_i)}{\sum A_i}$$

که در آن $\overline{CN}$، شماره منحنی متوسط وزنی هر کاربری بر مساحت آن a، مساحت اختصاص‌یافته برای هر کاربری، A مساحت کل زیر حوضه i، نمایه زیرحوزه‌های آبخیز با نوع خاک و کاربری زمین یکنواخت و CN_i، مقدار شماره منحنی هر طبقه است.

[1] Maximum Liklihod
[2] Digital Elevation Model (DEM)
[3] Drainage density

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

رواناب: برای تهیه نقشه رواناب از فرمول سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS-CN) استفاده شد که مؤلفه‌های اصلی این فرمول شماره منحنی، نفوذ و میزان بارش است (مهدوی، ۱۳۹۲) که در زیر تشریح شده است:

نفوذ حداکثری حوزه آبخیز: بعد از تهیه نقشه CN، نفوذ حداکثری بارش در منطقه مطالعاتی تهیه شد که این لایه در واقع مقدار بارانی است که در زمین نفوذ کرده است و از طریق رابطه (۳) در محیط نرم‌افزار Arc GIS به‌دست می‌آید.

رابطه(۳)

$$S = 25.4\ (\frac{1000}{CN} - 10)$$

بارش و رواناب برای دوره‌های بازگشت مختلف: برای بررسی بارش با دوره‌های بازگشت مختلف، ابتدا پهنه‌های بارشی با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۵۰ ساله از روی داده‌های مربوط به حداکثر بارش روزانه تهیه شد. دلیل انتخاب این دوره‌های بازگشت این است که در آبخیزداری و حفاظت آب و خاک معمولا سازه‌های مکانیکی بر اساس این دوره‌های بازگشت محاسبه یا طراحی می‌شوند. برای تهیه این لایه از آمار شش ایستگاه اقلیم‌شناسی موجود در منطقه مورد مطالعه با ۲۰ سال (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹ هجری شمسی) دوره آماری مشترک استفاده شد که در ادامه برای بررسی صحت و همگنی داده‌ها از آزمون جرم مضاعف استفاده شد و هم‌چنین برای کفایت داده‌ها از آزمون ماکوس رابطه (۵) استفاده شد (مهدوی، ۱۳۹۲). در ادامه، برای تعیین مقادیر بارش با دوره‌های بازگشت مورد نظر از توزیع پیرسون نوع سوم در محیط نرم‌افزار Easyfit استفاده شد و در نهایت با استفاده از رابطه رگرسیونی بین نقاط ارتفاعی ایستگاه‌های هواشناسی و مقادیر متوسط بارش ایستگاه‌های موجود حوزه آبخیز اهرچای با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۵۰ درون‌یابی انجام شد و نقشه هم‌باران با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۵۰ ساله، برای حوزه آبخیز اهرچای تهیه شد. برای این‌که بتوان مقدار رواناب تولیدشده در هر بخش از حوزه آبخیز برای دوره‌های بازگشت مختلف را محاسبه نمود از رابطه (۴) استفاده شد (مهدوی، ۱۳۹۲).

رابطه (۴)

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

که در آن P بارش با دوره بازگشت مد نظر به میلی‌متر، S مقدار نفوذ به میلی‌متر و Q مقدار رواناب با دوره بازگشت متناظر با دوره بازگشت بارش به میلی‌متر را نشان می‌دهد.

رابطه (۵)

$$N = (4.3t\ log\ R)^2 + 6$$

که در آن N: حداقل تعداد داده‌های لازم، t: مقدار t استیودنت بوده و به‌ازای درجه آزادی برابر (N= 6) به‌دست می‌آید.

R: نسبت مقدار عددی متغیر مورد نظر مثلا بارش با دوره بازگشت ۵۰ ساله، به مقدار مربوط به دوره بازگشت ۲ ساله است.

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت در مدل‌سازی به بررسی تأثیر تغییرات پارامترهای ورودی بر خروجی‌های مدل می‌پردازد و به کاربران کمک می‌کند تا بهترین مقادیر پارامترها را برای دستیابی به نتایج بهینه انتخاب کنند به‌طورکلی، در تحلیل حساسیت، با تغییر یک پارامتر ورودی، تأثیر آن بر روی خروجی مدل بررسی می‌شود. هرچه مدل پیچیده‌تر باشد، تحلیل حساسیت بیش‌تری نیاز دارد (ساسان پور و همکاران، ۱۴۰۰). با تغییر هر پارامتر ورودی، تأثیر آن بر خروجی مدل بررسی می‌شود و این تحلیل به‌ویژه در مدل‌های پیچیده اهمیت بیش‌تری دارد. این فرایند به کاربران امکان می‌دهد تا با تنظیم پارامترها، نتایج خروجی را بهینه‌سازی کنند (Yeste et al., 2020).

عملگر جمع فازی

در عملگر جمع فازی رابطهٔ (۶) ابتدا هر کدام از لایه‌های فازی شده منهای یک می‌شوند، سپس نتایج با هم‌دیگر ضرب می‌شوند و در نهایت نتیجه به‌دست آمده منهای یک می‌شود (Ghanavati et al., 2015). که در آن، نتیجه همیشه بزرگ‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین مقدار عضویت مجموعه فازی است. بنابراین به‌دلیل اثر افزایشی[1]جمع جبری فازی، بیش‌ترین افزایش ریسک را دارد (قابل نظام و همکاران، ۱۴۰۱).

رابطه (۶)

$$\mu c(X) = 1 \prod_{(I=1)}^{n} (1 - \mu i)$$

عملگر گامای فازی

این عملگر بر حسب حاصل‌ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی بر پایه رابطه‌های ۷ و ۸ تعریف می‌شود (Ghanavati et al., 2015).

رابطه (۷)

$$\mu c = \left(\prod_{i=1}^{n} \mu(X)\right)^{r} \times \left(1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - \mu(X))\right)^{1-r}$$

رابطه (۸)

$$\mu c = (\text{sum fuzzy})^{r} \times (\text{PF})^{1-r}$$

[1] Increasive

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

در این روابط المان r متغیر تعیین شده در محدودهٔ صفر و یک (مثلاً ۰/۹) است. هنگامی‌که r برابر یک باشد ترکیب، همان جمع جبری فازی و زمانی‌که r برابر صفر باشد ترکیب، برابر ضرب جبری فازی است. انتخاب درست متغیر r مقادیری در خروجی ایجاد می‌کند که با اثر افزایشی جمع جبری و کاهشی ضرب جبری فازی، سازگاری دارد. به‌گونه‌ای که r انتخاب شده، نشان‌دهنده کارایی آن برای تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی است.

توابع عضویت فازی

تابع گوسین: این تابع از فرمول‌های گوسی پیروی می‌کند و بیش‌تر در پدیده‌های طبیعی به کار گرفته می‌شود. این تابع مقادیر اولیه را به توزیع نرمال تبدیل می‌کند. نقطه مرکزی توزیع نرمال، تعریف ایده‌آل برای مجموعه را تعیین می‌کند که همان مقدار عضویت فازی بیشینه با عدد ۱ است درحالی‌که مقدار ورودی باقی‌مانده در عضویت کاهش می‌یابد تا در طرفین دامنه ورودی به مقدار عضویت صفر برسد (سعیدی مفرد و همکاران، ۱۴۰۱) این تابع به شکل زنگوله‌ای است و برای هر مقدار x یک درجه عضویت بین ۰ و ۱ تولید می‌کند، فرمول تابع فازی گوسین به صورت رابطه (۹) است (Souverville et al., 2015).

رابطه (۹)
$$f(x) = e^{\frac{-(x-\mu)^2}{\sigma}}$$

که در آن $f(x)$ درجه عضویت برای مقدار ورودی x است، μ میانگین (مرکز منحنی) است و σ انحراف معیار (گسترش منحنی) است.

تابع خطی: این روش از توابع خطی برای تعیین درجه عضویت استفاده می‌کند، به‌طوری‌که مقادیر کم‌تر از کمینه فاقد عضویت و مقادیر بالای بیشینه کاملاً عضویت (درجه ۱) دارند. تابع عضویت فازی به دو نوع خطی صعودی و نزولی تقسیم می‌شود؛ در نوع صعودی، مقادیر زیر کمینه فاقد عضویت و در نوع نزولی، مقادیر بالای بیشینه فاقد عضویت هستند. رابطه (۱۰). تابع عضویت فازی از نوع خطی صعودی و رابطه (۱۱) تابع عضویت فازی از نوع خطی نزولی را نشان می‌دهد (Klir & Yuan, 1995) این توابع به‌راحتی قابل درک و پیاده‌سازی هستند و از نقاط مرزی a و b برای تعیین درجه عضویت عناصر استفاده می‌کنند. توابع خطی هم‌چنین پیوسته و بدون ناهمواری هستند.

رابطه (۱۰)
$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & if\ x \le a \\ \frac{x-a}{b-a} & if\ a < x < b \\ 1 & if\ x \ge b \end{cases}$$

رابطه (۱۱)
$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & if\ x \le a \\ \frac{b-x}{b-a} & if\ a < x < b \\ 0 & if\ x \ge b \end{cases}$$

در روابط فوق a و b نقاطی است که تابع در آن‌ها تغییر می‌کند، x مقدار ورودی است. در مطالعه حاضر با استفاده از معیارهای مورد نظر از عضویت‌دهی فازی جدول ۱ استفاده شد.

جدول ۱- نتایج عضویت‌دهی فازی معیارهای مورد مطالعه

Table 1- The results of fuzzy membership of the studied criteria

نوع معیار	نوع رابطه با وقوع سیل	نوع توابع مورد استفاده
NDVI	معکوس	کاهشی
تراکم زهکشی	معکوس و کاهنده	کاهشی
بارش	خطی و افزاینده (مستقیم)	افزایشی
کاربری اراضی	وابسته به نوع کاربری	افزایشی
زمین‌شناسی	وابسته به سازند زمین‌شناسی	کاهشی
ارتفاع	رابطه خطی کاهنده	خطی
فاصله از آبراهه	رابطه معکوس	خطی
شماره منحنی (CN)	رابطه معکوس	گوسین
رواناب	رابطه خطی و افزاینده (مستقیم)	افزایشی
نفوذ پذیری	رابطه خطی کاهنده	خطی
قابلیت اراضی	وابسته به نوع کاربری	افزایشی

فازی‌سازی نقشه‌ها

واژه فازی در فرهنگ لغت اکسفورد به‌صورت (مبهم، گنگ، نادقیق و نامشخص) تعریف شده است. در تئوری کلاسیک عضویت عناصر از یک الگوی صفر و یک تبعیت می‌کند؛ اما تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را بسط می‌دهد و عضویت درجه‌بندی شده را مطرح

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

می‌کند. به این صورت که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی و نه کاملاً، عضو یک مجموعه باشد. درواقع یک مجموعه فازی A، مجموعه است که درجه عضویت اعضای آن می‌تواند به‌طور پیوسته از I= [0,1] اختیار شود. عضویت فازی یک، به معنی عضویت کامل در آن مجموعه و عضویت فازی صفر نشانه عدم تعلق به آن مجموعه است (Azareh et al., 2021).

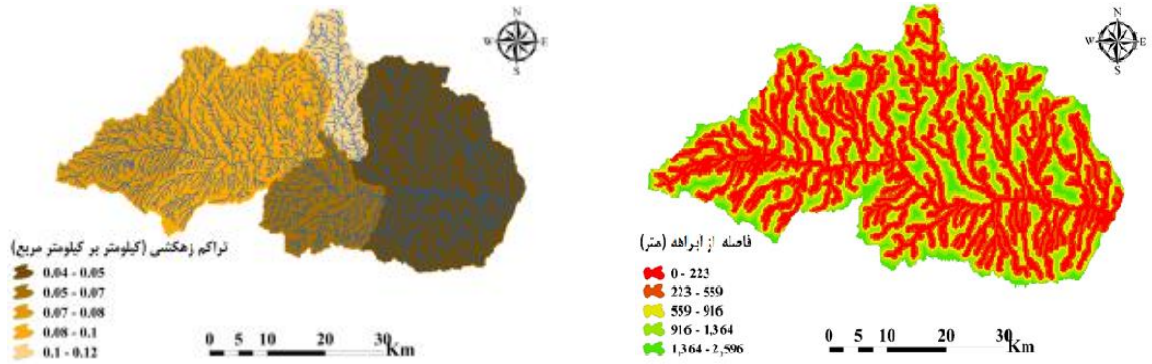
در مطالعه حاضر، برای فازی‌سازی نقشه‌های سیلاب، ابتدا معیارهای مربوط به شرایط مختلف سیلاب تعیین شد. سپس، تمامی معیارها به‌صورت رستری استخراج شدند، به‌جز معیارهایی که از ابتدا به شکل رستر بوده‌اند. در این مرحله، هر یک از لایه‌های رستری، شامل لایه‌های کمی و لایه‌هایی مانند کاربری اراضی، زمین‌شناسی و قابلیت اراضی که در ابتدا به‌صورت کیفی بودند، با توجه به هدف تحقیق، با امتیازدهی، به لایه‌های کمی تبدیل شدند در ادامه در محیط نرم‌افزار Arc GIS با توجه به هدف موردنظر بر اساس توابع عضویت فازی مختلف از نوع گوسین[1]، خطی افزایشی و کاهشی جهت مطلوبیت یا عدم مطلوبیت در بازه ارزشی بین صفر تا ۱ فازی‌سازی شدند که در بخش نتایج (شکل ۸) قابل مشاهده است در واقع تعریف میزان عضویت فازی، همان استانداردسازی معیارها است با استفاده از منطق فازی و قوانینی که برای هر معیار تعریف می‌شوند، مقادیر فازی نهایی برای هر معیار واحد تحلیلی محاسبه می‌شوند. این مقادیر فازی می‌توانند اطلاعاتی را درباره شرایط سیلاب‌ها در هر نقطه از نقشه ارائه دهند.

نتایج

تحلیل شبکه‌ای و تهیه نقشه خطر سیل

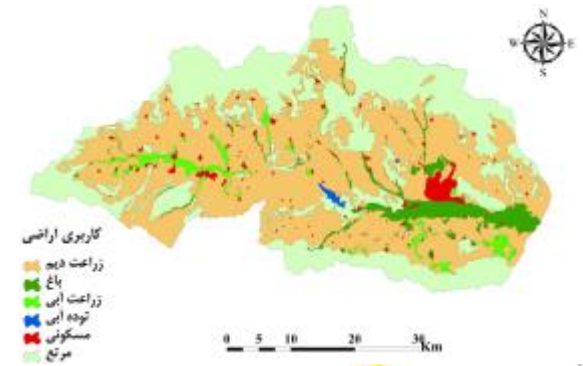
برای تعیین و انتخاب نیروهای محرکه که بر سیلاب حوزه آبخیز مورد مطالعه تأثیرگذار هستند، از روش تحلیل شبکه‌ای استفاده شد. در این روش، با بررسی و مطالعه مستندات علمی و معتبر و در نظر گرفتن شرایط منطقه، از نظرسنجی کارشناسان اجرایی و صاحب نظران دانشگاهی برای تحلیل و انتخاب نیروهای محرکه استفاده شد. در این فرآیند، با در نظر گرفتن ارتباطات شبکه‌ای بین خوشه‌ها و زیرمعیارها و نیز ارتباطات درونی آن‌ها با یکدیگر، ماتریس‌های مربوط به مقایسات زوجی تهیه شد. با توجه به حجم بالای محاسبات و مقایسات بین عناصر شبکه و به‌منظور راحتی و افزایش دقت در به دست آوردن بردار اهمیت معیارها و سوپرماتریس‌ها، از Super Decisions استفاده شد.

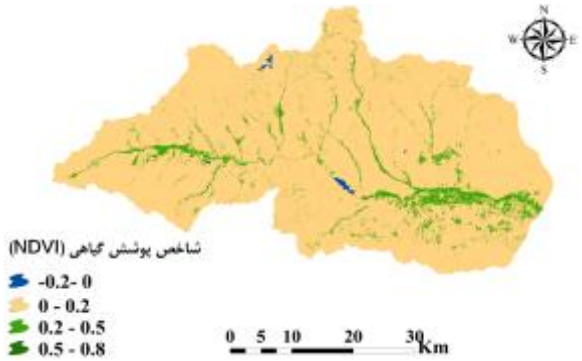
فرآیند ANP یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که برای رتبه‌بندی و تعیین اهمیت عوامل کاربرد دارد (Kazakis et al., 2015). این مدل تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد که اثرات متقابل و هم‌زمان بسیاری از وضعیت‌های پیچیده و غیرقطعی را تعیین کنند. این فرایند با استفاده از مقایسات زوجی گزینه‌ها به اولویت‌بندی هر یک از معیارها می‌پردازد به این صورت که اجازه می‌دهد ارائه واضحی از ارزیابی معیارها بیان شود. در این روش، برای انجام مقایسات زوجی از مقیاس ۱ تا ۹ استفاده شد که در آن مقیاس یک یعنی ترجیح یا اهمیت و یا مطلوبیت یکسان و مقیاس ۹ یعنی کاملا مرجع یا کاملا مهم‌تر و یا کاملا مطلوب‌تر بوده است به‌طوری‌که بعد از تهیه ۲۵ پرسشنامه به چیدمان مقایسات زوجی عناصر برای قضاوت پرسشنامه بین اساتید و دانشجویان رشته‌های علوم منابع طبیعی توزیع شد و در نهایت پس از بررسی پاسخ‌نامه‌ها یک پاسخ نامه با میانگین وزنی ۲۵ پرسشنامه تهیه شد که وارد مدل Super Decisions شد. روش تحلیل شبکه‌ای با وجود مزایای بسیار زیاد، دارای نواقصی هم است (Chang, 2011). به علت ماهیت فازی مقایسات زوجی تصمیم‌گیرندگان اغلب قادر به بیان صراحت نظرشان در مورد برتری و اهمیت معیارها نیستند به همین دلیل در قضاوت‌هایشان ارائه یک بازه را به جای یک عدد ثابت ترجیح می‌دهند (عطایی، ۱۳۹۴).

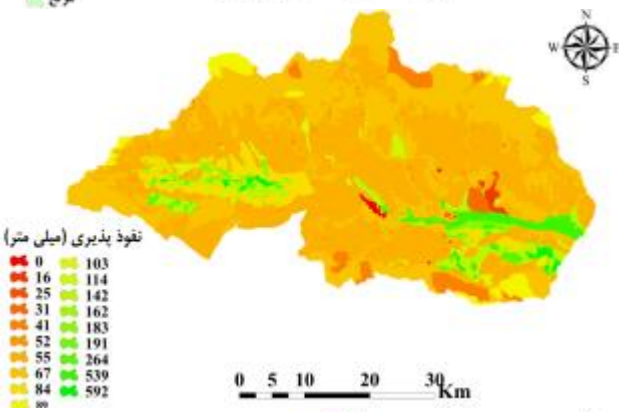


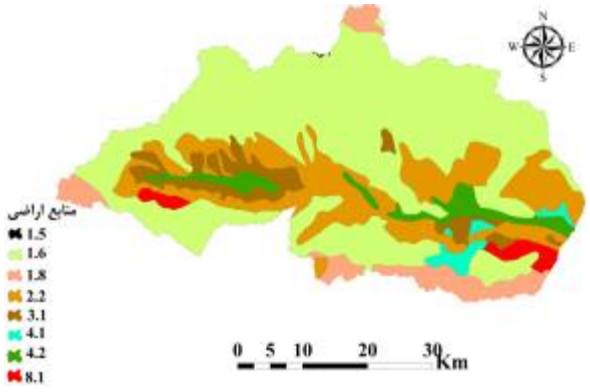
[1] Gaussian

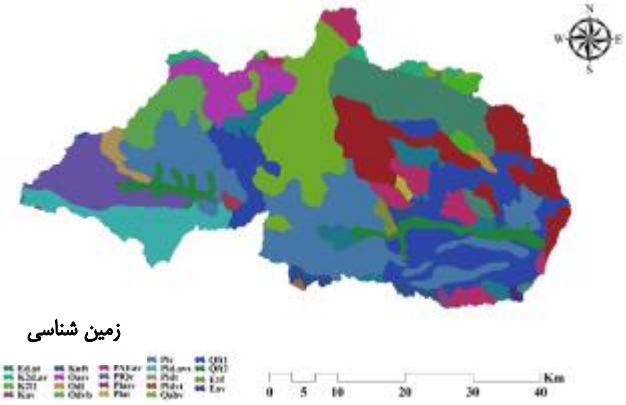
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

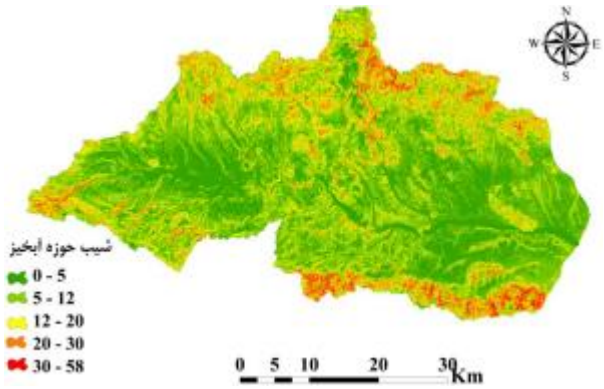


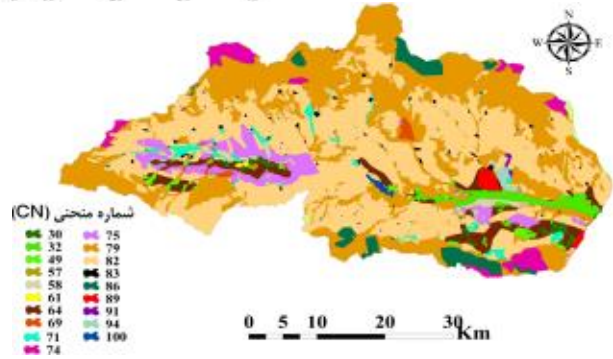






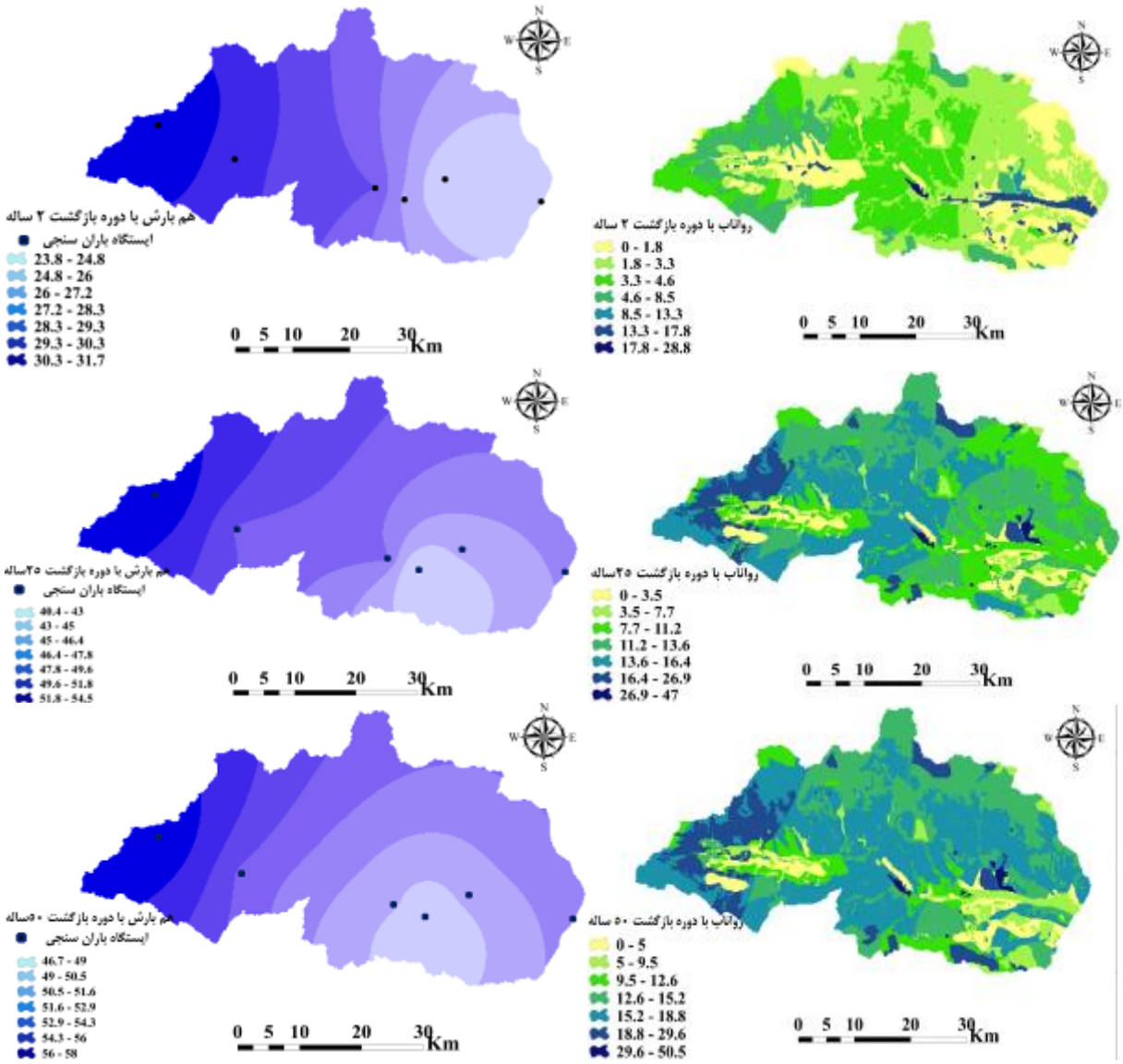






[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]



شکل ۴- لایه معیارهای لازم برای سیل‌خیزی در حوزه آبخیز مورد مطالعه

Figure 4- The layer of necessary criteria for flooding in the study watershed

در مطالعه حاضر، پس از تجزیه و تحلیل و نرمال کردن وزن‌های معیارها، خروجی نرم‌افزار با استفاده از نرخ ناسازگاری ۰/۰۹ صحت مقایسات زوجی و تعیین وزن نهایی را تایید می‌کند. در این نرم‌افزار، نرخ ناسازگاری بین ماتریس‌های مقایسه زوجی مختلف به طور معمول باید کم‌تر ۰/۱ (یا ۱۰ درصد) باشد. با این وجود، برای حفظ صحت و قابل اعتمادی که در مدل Super Decisions برقرار است، توصیه می‌شود که این مقدار حداکثر برابر با ۰/۱ باشد. این مقدار حداکثر برای نرخ ناسازگاری به منظور حفظ صحت و قابل اعتمادی توصیه می‌شود (Toth et al., 2022)، که مقدار آن در جدول ۲ آمده است. در فرایند تحلیل شبکه، لایه‌ای که بیش‌ترین تأثیر را در تعیین هدف دارد بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص می‌دهد که در مطالعه حاضر بیش‌ترین وزن نرمال شده مربوط به معیار رواناب و فاصله از آبراهه به‌ترتیب با مقادیر ۰/۲۱۴ و ۰/۱۷ به‌عنوان پارامترهای محرک و تأثیرگذار در این مخاطره بودند (جدول ۲) و معیارهای شاخص پوشش گیاهی و قابلیت اراضی که هر دو با مقدار ۰/۰۳ کم‌ترین وزن نرمال شده داشتند یعنی بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز تأثیری نداشتند و مانع تولید رواناب در حوزه آبخیز بودند به‌عنوان پارامترهای غیر محرک شناسایی شد. با توجه به جدول ۲ وزن نرمال شده از نسبت مجموع وزن‌های اولیه (وزن خام) معیارها به وزن هر معیار به‌دست می‌آید و مجموع وزن نرمال شده هم باید یک باشد.

جدول ۲- ماتریس دوبه‌دو، وزن معیارها و نسبت نرخ ناسازگاری

Table 2- Pairwise matrix, weights and compatibility rate ratio

نرخ ناسازگاری ۰/۰۹۰										
وزن نرمال شده	شیب	رواناب	NDVI	کاربری اراضی	قابلیت اراضی	زمین‌شناسی	تراکم زهکشی	فاصله از آبراهه	شماره منحنی	معیارها

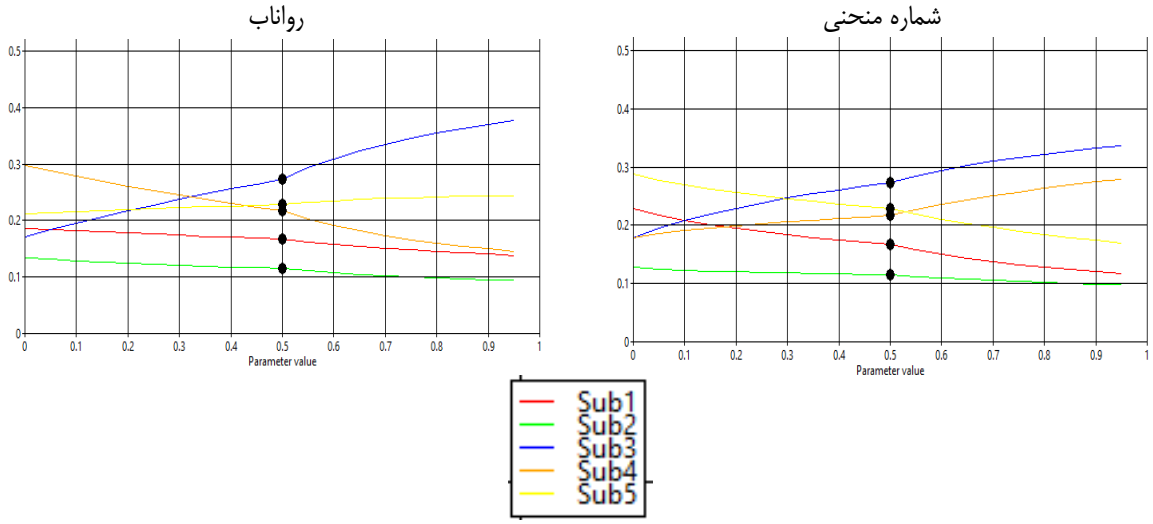
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

شماره منحنی	1.00	0.33	3.00	5.00	4.00	4.00	4.00	0.25	0.50	0.14
فاصله از آبراهه	3.00	1.00	1.00	4.00	4.00	4.00	3.00	0.33	2.00	0.17
تراکم زهکشی	0.33	1.00	1.00	5.00	4.00	5.00	4.00	0.50	0.50	0.13
زمین‌شناسی	0.20	0.25	0.20	1.00	3.00	0.50	3.00	0.25	0.33	0.05
قابلیت اراضی	0.25	0.25	0.25	0.33	1.00	0.50	0.50	0.20	0.25	0.03
کاربری اراضی	0.25	0.25	0.20	2.00	2.00	1.00	3.00	0.25	0.47	0.05
شاخص NDVI	0.25	0.33	0.25	0.33	2.00	0.33	1.00	0.20	0.33	0.03
رواناب	4.00	3.00	2.00	4.00	5.00	4.00	5.00	1.00	1.00	0.24
شیب	2.00	0.50	2.00	3.00	4.00	2.13	3.00	1.00	1.00	0.15

تحلیل حساسیت پارامترها

در پژوهش حاضر برای تحلیل حساسیت پارامترها از روش افزودنی[1] بهره گرفته شد. با هر بار اضافه کردن یک معیار اثر خود را بر روند سایر معیارها نشان می‌دهد این روش تحلیل حساسیت بر پایه "چه می‌شود – اگر" است که این امکان را می‌دهد تا هر ترکیب مستقل انتخاب شود. در پژوهش حاضر، تحلیل حساسیت نه معیار منتخب در محیط نرم‌افزار Super Decisions بررسی شد. با توجه به شکل ۶ نتایج نشان داد که معیار شماره منحنی (CN) و رواناب حوزه آبخیز از حساسیت بالا و بقیه پارامترها از حساسیت کمتر تا متوسط برخوردار هستند.



شکل ۶– تحلیل حساسیت پارامترهای مدل

Figure 6- Sensitivity analysis of model parameters

تهیه نقشه خطر سیلاب

با ترکیب و هم‌پوشانی وزن معیارها، وزن نرمال شده گزینه‌ها یا وزن زیرحوزه‌های آبخیز به‌صورت (جدول ۳) استخراج شد که وزن زیرحوزه آبخیز سه با توجه به معیارهای تعریف‌شده از اهمیت سیل‌خیزی بالایی برخوردار است و زیرحوزه آبخیز ۲ تقریباً پایدار است. در ادامه برای نمایش ساده و قابل فهم بهتر وزن‌های نرمال به بانک اطلاعاتی Arc GIS وارد شد و سپس نقشه ANP شکل (۷) تهیه شد که رنگ قرمز نشان‌دهنده زیرحوزه آبخیزی است که از اهمیت سیلاب بالا و رنگ سبز از اهمیت سیلاب کم‌تر یا بدون سیلاب در زمان رخداد بارشی برخوردار است.

جدول ۳– وزن نرمال شده زیرحوزه‌های آبخیز اهرچای

Table 3- The normalized weight of Aharchai sub-watersheds

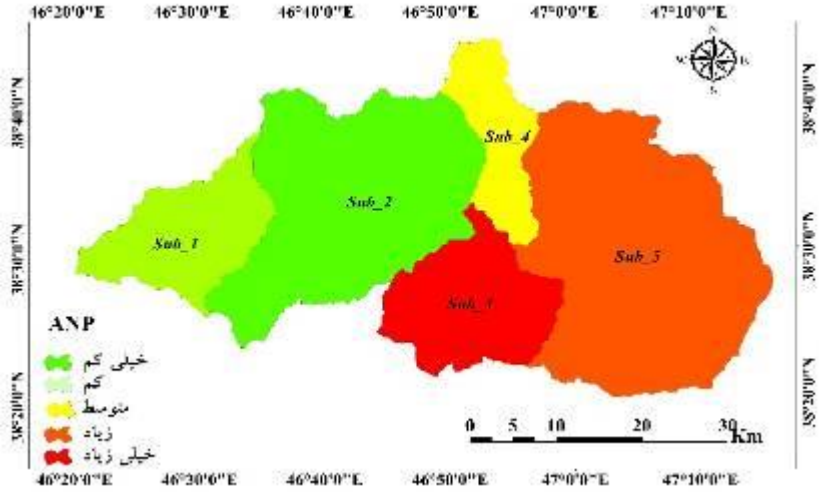
نام زیر حوزه	وزن اولیه	وزن نرمال	وزن ایده‌آل

[1] Additive formula method

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

زیرحوزه آبخیز یک	0.104	0.166	0.610
زیرحوزه آبخیز دو	0.072	0.114	0.421
زیرحوزه آبخیز سه	0.171	0.272	1
زیرحوزه آبخیز چهار	0.136	0.217	0.795
زیرحوزه آبخیز پنج	0.143	0.228	0.837
وزن سلول / بیش‌ترین وزن اولیه در ستون = **وزن ایده‌آل**			
وزن سلول / مجموع ستون وزن اولیه = **وزن نرمال**			



شکل ۷- اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز به روش تحلیل شبکه‌ای

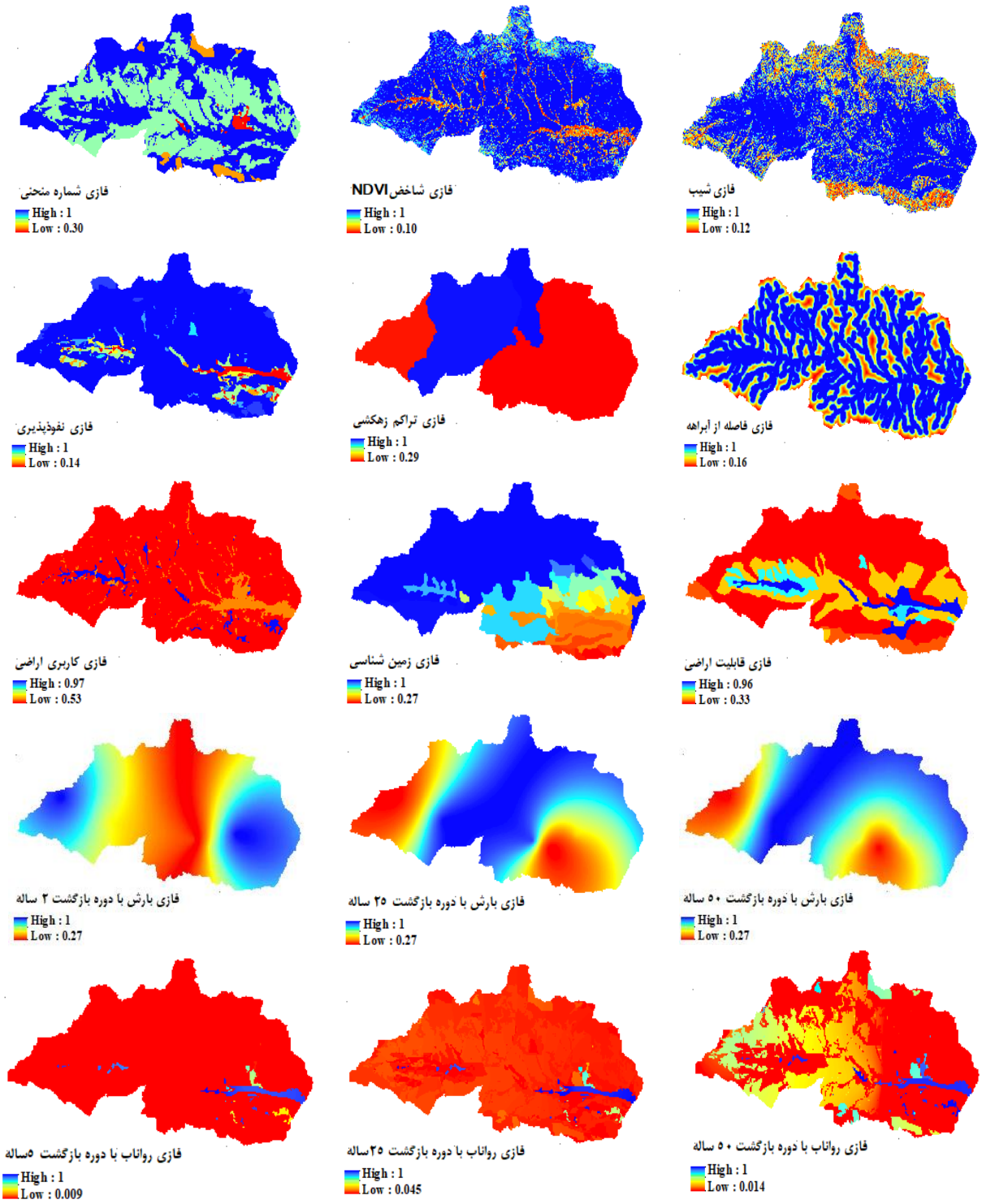
Figure 7- Prioritization of sub-watersheds by the method of network analysis

فازی‌سازی نقشه‌ها

فازی‌سازی نقشه‌های سیلاب روشی است که در آن از منطق فازی برای مدل‌سازی و تحلیل سیلاب‌ها استفاده می‌شود. سیلاب پدیده‌ای پویا و پیچیده هستند که معمولاً به‌صورت غیرقطعی و ناپیش‌بینی پذیر رخ می‌دهد. در این موارد، استفاده از روش‌های سنتی برای مدل‌سازی سیلاب‌ها ممکن است با مشکلاتی مواجه شود. منطق فازی یک رویکرد ریاضی است که برای برخورد با عدم قطعیت و تعاملات پیچیده میان معیارها استفاده می‌شود. این روش به امکان نمایش و تحلیل اطلاعات غیردقیق و ناقص کمک می‌کند و از اعداد فازی استفاده می‌کند که مقادیر بین حداقل و حداکثر ممکن را در نظر می‌گیرد (Bogardi et al., 2004). برای فازی‌سازی نقشه‌های سیلاب، با توجه به هدف موردنظر، از توابع عضویت فازی مختلف شامل گوسی، خطی افزایشی و خطی کاهشی استفاده شد. این توابع میزان مطلوبیت یا عدم‌مطلوبیت هر نقطه را در بازه‌ای بین صفر تا یک نشان می‌دهند (شکل ۸).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]



شکل ۸– فازی‌سازی لایه‌های منطقه مورد مطالعه

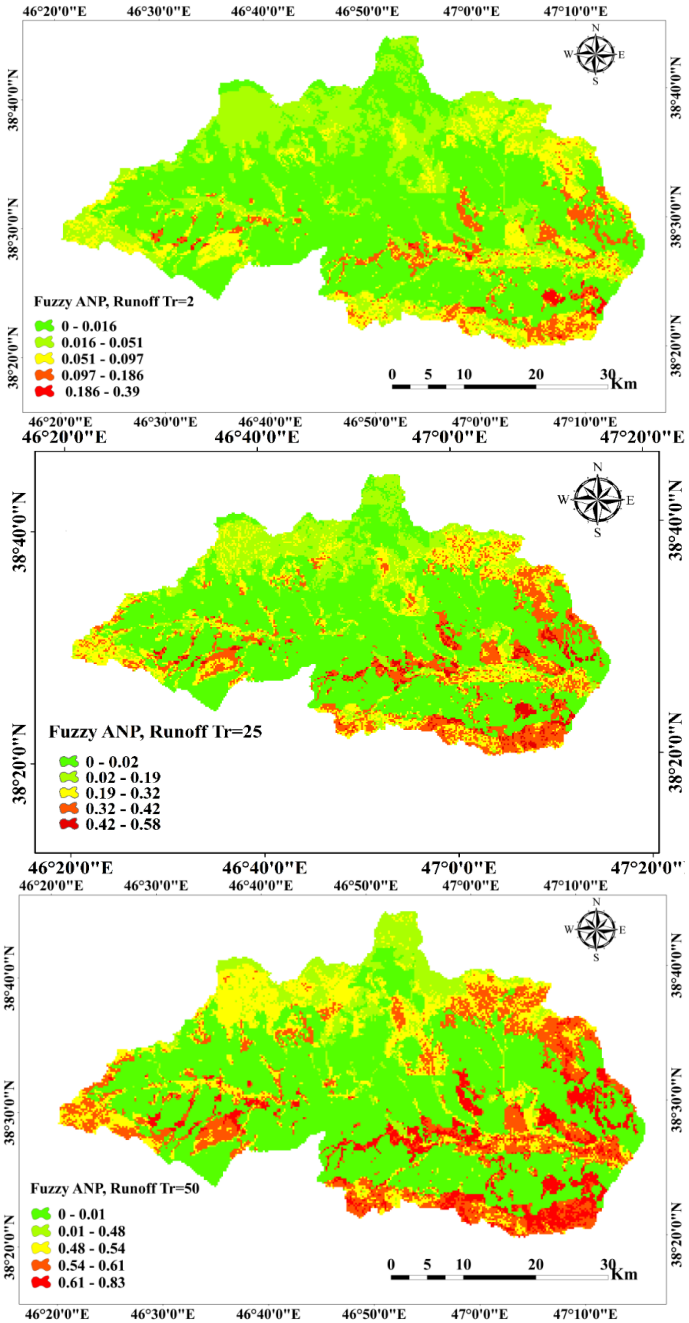
Figure 8- Fuzzification of the layers of the study region

مقادیر فازی به‌دست‌آمده اطلاعات مهمی درباره شرایط سیلاب در هر نقطه از نقشه ارائه می‌کنند. پس از فازی‌سازی، وزن معیارهای تعیین‌شده در مدل ANP محاسبه شده بود، بر نقشه فازی مربوط به هر معیار اعمال شد. این کار برای تمامی معیارها به‌صورت جداگانه انجام گرفت. در نهایت، لایه‌های فازی معیارهای مختلف با استفاده از عملگر جمع فازی (SUM) در محیط نرم‌افزار ArcGIS تلفیق شدند. با ترکیب مقادیر فازی گوناگون، نقشه‌های سیلاب مبتنی بر تحلیل شبکه فازی (FANP) برای دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۵۰ ساله تهیه شد (شکل ۹). این دوره‌های بازگشت به‌دلیل کاربرد گسترده آن‌ها در پروژه‌های آبخیزداری و مطالعات مرتبط انتخاب شدند. نقشه‌های حاصل می‌توانند ابزاری مؤثر برای تحلیل و پیش‌بینی رفتار سیلاب‌ها بوده و در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی برای مواجهه با خطر سیل مورد استفاده قرار گیرند. به‌طور معمول، نقشه‌های سیلاب فازی به‌صورت تصاویر رنگی نمایش داده می‌شوند که در آن هر رنگ نشان‌دهنده

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

مقدار فازی خاصی است. در این مطالعه، رنگ قرمز بیانگر شرایط خطرناک سیلاب بوده، در حالی‌که رنگ سبز نشان‌دهنده شرایط کم‌خطر یا بدون ریسک سیلاب است. در این تحقیق، ۸ معیار اصلی به همراه معیار رواناب برای دوره بازگشت ۲ ساله مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ۰/۶۱ درصد از مساحت منطقه دارای خطر سیل‌خیزی بسیار زیاد است، درحالی‌که ۵۶/۵۷ درصد از حوزه آبخیز در معرض سیل‌خیزی بسیار کم قرار دارد. در شرایطی که معیارهای ذکر شده و معیار رواناب برای دوره بازگشت ۵۰ ساله در نظر گرفته شد، مشخص شد که ۷/۱۸ درصد از منطقه دارای سیل‌خیزی بسیار زیاد و ۵۲/۷۷ درصد از مساحت حوزه آبخیز دارای پتانسیل سیل‌خیزی بسیار کم است. هم‌چنین، بررسی دوره بازگشت ۲۵ ساله نشان داد که این دوره وضعیت بینابینی میان دوره‌های ۲ و ۵۰ ساله دارد. تنها در طبقه سیل‌خیزی بسیار زیاد افزایش قابل‌توجهی مشاهده شد، به‌طوری‌که این مقدار از ۰/۶۱ درصد در دوره ۲ ساله به ۴/۶۹ درصد در دوره ۲۵ ساله افزایش یافت. نتایج نشان داد که افزایش دوره بازگشت، به‌ویژه از ۲ به ۲۵ ساله، تغییرات معناداری در میزان سیل‌خیزی ایجاد می‌کند. این موضوع می‌تواند در طراحی سازه‌های مهار سیلاب و مدیریت منابع آب مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۹- پهنه‌بندی سیلاب با دوره‌های بازگشت ۲، ۲۵ و ۵۰ ساله

Figure 9- Flood zoning with return periods of 2, 25 and 50 years

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر برای تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب در حوزه آبخیز اهرچای واقع در استان آذربایجان شرقی و با استفاده از مدل تحلیل شبکه و با بهره‌گیری از نرم‌افزار Arc GIS انجام گرفته است. در این تحقیق ۹ عامل مؤثر بر وقوع پدیده سیل که از طریق تجربه کارشناسی و با بهره‌گیری از مطالعاتی که در زمینه پهنه‌بندی و مکان‌یابی صورت گرفته است شامل کاربری اراضی، فاصله اقلیدسی، شماره منحنی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، قابلیت اراضی، شیب، بارش و رواناب با دوره بازگشت‌های مختلف و تراکم زهکشی حوزه آبخیز شناسایی و انتخاب شدند در ادامه برای وزن‌دهی این عوامل از ANP استفاده شد. نتایج وزن‌دهی عوامل استفاده شده نشان می‌دهد که دو عامل رواناب و فاصله از آبراهه به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۲۱۴ و ۰/۱۷ به‌ترتیب در اولویت اول و دوم در تولید رواناب و به عنوان پارامترهای محرک و تأثیرگذار در پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز اهرچای محسوب می‌شوند که مطالعه حاضر مرتبط با مطالعه سیلاب شهری دو محقق سامی و عبادی (۱۴۰۳) در شهرستان مراغه را دارد که عامل آبراهه را به‌عنوان بیش‌ترین وزن عامل سیل‌خیزی نشان دادند ولی با تحقیق مختاری و همکاران (۱۳۹۹) که عامل بارش، لیتولوژی و کاربری اراضی را که به‌عنوان عوامل اصلی تولید رواناب و افزایش پتانسیل سیل نشان دادند هم‌خوانی ندارد که این اختلاف نتایج بستگی به تعداد لایه‌ها و شرایط حاکم بر منطقه مورد مطالعه دارد.

برای تحلیل حساست پارامترها عامل رواناب و شماره منحنی با استفاده از روش افزودنی به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر مدل انتخاب شد یعنی با کم و زیاد کردن آن‌ها نتایج و خروجی مدل به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد و نشان می‌دهد که این پارامترها به‌عنوان پارامتر شاخص حوزه آبخیز اهرچای در تولید رواناب است زیرا عامل شماره منحنی متشکل از کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک است که شاکله اصلی یک حوزه آبخیز را تشکیل می‌دهند و عامل بارش که در غیاب آن سیل و رواناب معنایی ندارد که این آنالیز حساسیت پارامترها پتانسیل سیل در سایر مطالعات بررسی شده صورت نگرفته بود. هم‌چنین نتایج وزن‌دهی در مدل تحلیل شبکه‌ای از بین زیرحوزه‌های آبخیز انتخاب شده که به‌عنوان گزینه‌های مدل مطرح بوده است، پس از تجزیه و تحلیل معیارها نتایج نشان داد که زیرحوزه‌های آبخیز ۳ و ۵ به‌ترتیب به مقدار ۰/۲۷۲ و ۰/۲۲۸ به‌عنوان زیرحوزه‌های آبخیز پرخطر و با خطر زیاد به لحاظ سیل‌خیزی انتخاب شدند. در این مطالعه علاوه‌بر میزان وزن پارامترها به میزان وزن هر زیرحوزه آبخیز پرداخته شده است.

برای تحلیل نتایج به روش منطق فازی تحلیل شبکه‌ای (FANP) از عملگرهای جمع جبری استفاده شد و با در نظر گرفتن هشت معیار به علاوه ۲ معیار بارش و رواناب با دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰ و ۵۰ ساله در محیط نرم افزار Arc GIS با پنج کلاس طبقه‌بندی شد هم‌چنین نتایج پژوهش حاضر با در نظر گرفتن هشت معیار به‌علاوه معیار رواناب با دوره بازگشت ۲ ساله نشان داد که ۶/۴۵ درصد مساحت حوزه آبخیز اهرچای دارای خطر سیل‌خیزی زیاد تا خیلی زیاد است و ۵۶/۵۷ درصد مساحت حوزه آبخیز دارای سیل‌خیزی خیلی کم‌تری دارد. با در نظر گرفتن معیار رواناب با دوره بازگشت ۲۵ ساله نتایج نشان داد که ۱۵/۰۸ درصد منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل سیل‌خیزی زیاد تا خیلی زیاد و ۵۴/۵۴ درصد هم پتانسیل سیل‌خیزی خیلی کم دارد. درحالی‌که با در نظر گرفتن معیار رواناب با دوره بازگشت ۵۰ ساله نتایج نشان داد که ۲۲/۵۳ درصد منطقه دارای سیل‌خیزی خیلی زیاد است که این مقدار قابل‌توجه نسبت به رواناب با دوره بازگشت ۲ ساله ۳/۴۹ درصد افزایش یافته است که این مقدار اثر بارش و نفوذپذیری را با دوره‌های بازگشت بلندمدت را به خوبی در تولید رواناب منعکس می‌کند و ۵۲/۷۷ درصد مساحت حوزه آبخیز هم دارای پتانسیل سیل‌خیزی خیلی کم است که نسبت به رواناب با دوره بازگشت ۲ ساله ۳/۸ درصد کاهش‌یافته است که این با مطالعات سامی و عبادی (۱۴۰۰) هم‌خوانی دارد. هم‌چنین با بررسی رواناب با دوره بازگشت ۲ و ۵۰ ساله می‌توان دریافت که وقتی سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله مدنظر است طبقات با خطر سیل‌خیزی کم به‌صورت قابل توجه کاهش و طبقات با خطر سیل‌خیزی زیاد افزایش می‌یابد؛ بنابراین به‌خوبی می‌توان نتیجه گرفت که با بالا رفتن دوره بازگشت رواناب طبقات با پتانسیل سیل‌خیزی متوسط به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. و با توجه به این‌که کشور ما از این قاعده مستثنا نیست و هر سال سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های بالایی را تجربه می‌کند و عملا مناطقی با پتانسیل سیلاب متوسط جایگزین سیلاب‌های بزرگی می‌شود بنابراین این یک تهدید جدی برای ساکنان این نواحی تلقی می‌شود. در ادامه با توجه به نقشه‌های فازی تهیه شده در منطقه مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که مناطقی که نزدیک خروجی حوزه آبخیز است با توجه به این‌که کل مساحت حوزه آبخیز را زهکشی می‌کند از پتانسیل سیل بالایی برخوردار است هم‌چنین به سبب این‌که در قسمت جنوب شرق و جنوب غرب حوزه آبخیز متشکل از سازندهای سست است و جزء اراضی بدخیم حوزه آبخیز محسوب می‌شود و هم‌چنین با داشتن شیب، شماره منحنی و تراکم زهکشی بالا و پوشش گیاهی ضعیف و صخره‌ایی در این ناحیه از حوزه آبخیز مانع نفوذ بارش شده و در نهایت با تولید رواناب بالایی برخوردار است. بنابراین مدل تحلیل شبکه‌ای فازی (FANP) با توجه به سیلاب‌های مشاهداتی حوزه آبخیز مورد مطالعه را به خوبی نشان می‌دهد که با سایر مطالعات (Samanta et al., 2016; Hazara et al., 2017) مطابقت دارد که کارکرد مدل تحلیل شبکه‌ای فازی (FANP) را تایید می‌کردند.

این تحقیق نشان داد که ترکیب تحلیل شبکه‌ای و فازی‌سازی داده‌های محیطی در ArcGIS، می‌تواند رویکردی دقیق‌تر و منعطف‌تر برای پیش‌بینی مناطق سیل‌خیز ارائه دهد. این روش در مقایسه با مدل‌های سنتی، دقت بالاتری در شناسایی مناطق پرخطر دارد و می‌تواند مبنایی برای توسعه مدل‌های هوشمند پیش‌بینی سیلاب در آینده باشد. هم‌چنین نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش دوره بازگشت سیلاب، به‌ویژه در بازه ۲ تا ۲۵ ساله، تأثیر قابل‌توجه‌تری بر میزان و گستره سیل‌خیزی نسبت به بازه ۲۵ تا ۵۰ ساله دارد. این روند حاکی از

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

آن است که در مراحل اولیه افزایش دوره بازگشت، شدت و توزیع سیلاب با نرخ بیش‌تری تغییر می‌کند، درحالی‌که در دوره‌های بازگشت طولانی‌تر، این تغییرات با شیب ملایم‌تری رخ می‌دهد. این یافته می‌تواند در طراحی سازه‌های مهار سیلاب، برنامه‌ریزی منابع آب، و تدوین راهبردهای مدیریت ریسک سیلاب نقش کلیدی ایفا کرده و به تصمیم‌گیری بهینه در جهت کاهش خسارات ناشی از سیلاب کمک کند هم‌چنین بررسی میزان سیل‌خیزی در مناطق مختلف نشان داد که برخی مناطق، حتی در دوره بازگشت کوتاه‌مدت (۲ ساله)، در معرض خطر بالایی قرار دارند. این اطلاعات می‌تواند برای مدیریت اولویت‌بندی اقدامات پیشگیرانه مانند احداث سیل‌بند، اصلاح کاربری اراضی، و بهبود سیستم‌های زهکشی مورد استفاده قرار گیرد.

پیشنهادها

با توجه به نتایج پژوهش پیشنهاد می‌شود محققان و هیدرولوژیست‌ها که در این زمینه مطالعه می‌کنند می‌توانند این مدل را با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و یادگیری ماشین ترکیب کرد تا یک سامانه هوشمند هشدار سیلاب توسعه یابد که در لحظه، مناطق پرخطر را شناسایی و هشدارهای لازم را ارائه کند. با توجه به نوسانات اقلیمی و تغییرات بارش در دهه‌های آینده، پیشنهاد می‌شود که مدل ارائه‌شده در این تحقیق با داده‌های شبیه‌سازی‌شده تغییرات اقلیمی ترکیب شود. این کار می‌تواند به برآورد بهتر اثرات تغییرات اقلیمی بر خطر سیلاب کمک کند و برنامه‌ریزی بلندمدت را برای مناطق حساس به سیلاب بهینه‌سازی نماید. در بخش اجرایی توصیه می‌شود اقدامات آبخیزداری از قبیل احیای بیولوژیک و احداث بندهای آبخیزداری در آبراهه‌های مهم سیلابی و زیرحوزه‌های آبخیز سیل‌خیز صورت گیرد و هم‌چنین با توجه به این‌که تغییرات کاربری اراضی در پایین‌دست (زیرحوزه آبخیز ۵) و معدن‌کاری در قسمت بالادست (زیرحوزه آبخیز ۳) که این مخاطره را تشدید می‌بخشد راه‌کارهایی اندیشیده شود.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: این پژوهش برگرفته شده از قسمتی پایان نامه ارشد است و حمایت مالی از طرف دانشگاه تهران شده است.

مشارکت نویسندگان: مرتضی عیوضی به‌عنوان نویسنده بخش‌های مختلف بوده و مقاله تحت راهنمای علیرضا مقدم‌نیا، آرش ملکیان و فرخنده خراشادی‌زاده انجام و نگاشته شده است.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: نویسندگان این مقاله، از معاونت پژوهشی، فناوری و نوآوری دانشگاه تهران، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی واقع در شهر برای حمایت مالی از این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

۱. اسفندیاری درآبادی، فریبا، لایقی، صدیقه، مصطفی‌زاده، رئوف، حاجی، خدیجه. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز قطورچای با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP و WLC. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳۰(۸)، ۱۵۰-۱۳۵. **http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3191-fa.html**

۲. اسمعلی، اباذر، عبداللهی، خدایار. (۱۳۹۰). آبخیزداری و حفاظت خاک. *انتشارات محقق اردبیلی*. ۵۷۴ ص.

۳. ایلانلو، مریم. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر وقوع سیل با استفاده از منطق فازی (منطقه مورد مطالعه: محور ارتباطی شیراز –فیروزآباد). *کنفرانس بین‌المللی پژوهش در مهندسی، علوم و تکنولوژی*. **http://sid.ir/paper/85748/fa**

۴. جلالیان، سید، اسحاق. (۱۴۰۰). ارزیابی و پهنه بندی سیل خیزی در مقیاس زمانی و مکانی مطالعه موردی: حوضهٔ آبخیز گرگان‌رود استان گلستان. *آمایش جغرافیایی فضا*. ۱۱(۴۲)، ۱۶۲-۱۴۳. **doi: 10.30488/gps.2020.213834.3157**

۵. چزگی، جواد، سهیلی، اسماعیل، نیازی، یعقوب و جهانبخشی، فرشید. (۱۳۹۶). مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مناسب برای احداث سدهای اصلاحی توری سنگی با استفاده مدل ANP (منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز سد طرق). *ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۵(۱۹)، ۱۱-۱۷ . **https://www.wmji.ir/article_696794.html**

۶. حسینی، سید محمد، محمدی، صدیقه، حسن زاده، رضا، هنرمند، مهدی. (۱۴۰۲). ارزیابی مخاطرهٔ سیل با کاربرد GIS و RS در جنوب استان کرمان (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز هامون– جازموریان). *اکوهیدرولوژی*، ۱۰(۱)، ۳۳-۴۷ **doi: 10.22059/ije.2023.354747.1712**

۷. ساسان‌پور، فرزانه، محبی، فاطمه و کاظم، امیرحسین. (۱۴۰۰). تحلیل و پهنه‌بندی مخاطره سیل–مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان. *اطلاعات جغرافیایی*، ۳۰(۱۱۹)، ۱۵۹-۱۷۳. **https://www.noormags.ir/view/en/articlepage**

۸. ساسان‌پور، فرزانه و محبی، فاطمه. (۱۴۰۰). تحلیل و پهنه‌بندی مخاطره سیل– مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان. *اطلاعات جغرافیایی سپهر*، 30 (119) 159-17. **doi: https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.247892**

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

۹. سامی، ابراهیم، و عبادی، مریم. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از تحلیل شبکهٔ (ANP) و منطق فازی، مطالعه موردی: شهر مراغه. *پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، ۱۵(۱)، ۱۷۱-۱۸۶. **doi: 10.30473/grup.2024.55316.2554**

۱۰. سعیدی مفرد، ساناز، آسیایی، مهدی، و هرخواه، فاطمه. (۱۴۰۱). پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در شهرستان تربت حیدریه با استفاده از عملگرهای فازی. *جغرافیا و توسعه*، ۲۰(۶۶)، ۱۰۶-۸۱. https://doi.org/10.22111/j10.22111.2022.6714

۱۱. سلیمانی،کریم، و محسنی، بهروز. (۱۴۰۳). ارزیابی معیارهای مؤثر بر خطر سیل خیزی مبتنی بر فرآیند تحلیل شبکه‌ای و GIS در حوضهٔ وازرود استان مازندران. *اکوهیدرولوژی*، ۱(۱۰)، ۷۵-۶۱. **doi: 10.22059/ije.2023.353903.1708**

۱۲. عطایی، محمد. (۱۳۹۴)، تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۲۳۴ ص. **https://www.gisoom.com/book**

۱۳. علی‌پور، حسن، سلاجقه، علی، مقدم‌نیا، علیرضا، و خلیقی سیگارودی، شهرام. (۱۴۰۱). تحلیل فراوانی و شدت وقوع سیل تحت سناریوهای تغییر اقلیم در حوزهٔ معرف امامه. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۱۱(۳۴)، ۱۴۱-۱۲۷. **doi: 10.22052/deej.2021.11.34.59**

۱۴. عیوضی، مرتضی، ملکیان، آرش. (۱۴۰۰) الویت بندی سیل خیزی زیرحوضه های شهری با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل سلسله مراتبی فازی، *دوازدهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز*. **https://civilica.com/doc/1450917**

۱۵. قابل‌نظام، ائلناز، بابائی، لیلا، علائی، نازیلا، حزباوی، زینب. (۲۰۲۲). توسعه مدل PSR-Fuzzy به‌منظور ارزیابی سلامت آبخیز کوزه‌تپراقی. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، (۴)۳، ۱۶۷-۱۵۲. **doi: 10.22098/mmws.2022.11379.1125**

۱۶. مختاری، داود، رضایی مقدم، محمد حسین، رحیم پور، توحید، و معزز، سمیه. (۱۳۹۹). تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز گمناب چای با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS. *اکوهیدرولوژی*، ۷(۲)، ۴۹۷-۵۰۹. **doi: 10.22059/ije.2020.298759.1298**

۱۷. مهدوی، محمد. (۱۳۹۲)، کتاب هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران. **https://ajansbook.ir**

References

1. Abhishek, G., & Shymal, K. K. (2018), Application of analytical hierarchy process (AHP) for flood risk assessment: a case study in Malda district of West Bengal, India. *Natural Hazards*, 94, 349-368, doi:10.1007/s11069-018-3392-y
2. Aghasafari, H., Karbasi, A., Mohammadi, H., & Calisti, R. (2020). Determination of the best strategies for development of organic farming: A SWOT–Fuzzy Analytic Network Process approach. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124039. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124039.
3. Alipour, H., Selajgeh, A., Moghadamnia, A., & Khaliki Sigarodi. (2022). Analysis of flood frequency and intensity under climate change scenarios in Moaref Imamah. *Desert Ecosystem Engineering*, 11 (34), 127-141. doi: 10.22052/deej.2021.11.34.59. [In Persian]
4. Atai. M. (2010). Fuzzy multi- criteria decision making. Shahroud: Shahroud University of Technology. 234 page. https://www.gisoom.com/book. [In Persian]
5. Azareh, A., Rafiei Sardooi, E., Choubin, B., Barkhori, S., Shahdadi, A., Adamowski, J., & Shamshirband, S. (2021). Incorporating multi-criteria decision-making and fuzzy-value functions for flood susceptibility assessment. Geocarto International, 36(20), 2345-2365. http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2019.1695958
6. Bogardi, I., Bardossy, A., Duckstein, L., & Pongracz, R. (2004). Fuzzy logic in hydrology and water resources. In fuzzy logic in geology (pp. 153-187). *Academic Press*. https://doi.org/10.1016/B978-012415146-8/50009-3
7. Brody, S. D., Zahran, S., Maghelal, P., Grover, H., & Highfield, W. E. (2007). The rising costs of floods: Examining the impact of planning and development decisions on property damage in Florida. *Journal of the American Planning Association*, *73*(3), 330-345. https://doi.org/10.1080/01944360708977981
8. Chang, C. T. (2008). Revised multi-choice goal programming. *Applied Mathematical Modelling*, 32(12), 2587-2595. https://doi.org/10.1016/j.apm.2007.09.008
9. Chazegi, J., Sohaili, A., Niazi, Y., & Jahanbakhshi, F. (2016). Locating and prioritizing suitable areas for the construction of stone mesh dams using the ANP model (the study area of Targ watershed). Extension and Development of Watershed Management, 5(19), 11-17. https://www.wmji.ir/article_696794.html [In Persian]
10. Danumah, J. H., Odai, S. N., Saley, B. M., Szarzynski, J., Thiel, M., Kwaku, A., & Akpa, L. Y. (2016). Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques (coted'ivoire). *Geoenvironmental Disasters*, *3*, 1-13. https://doi.org/10.1186/s40677-016-0044-y
11. Das, S., & Pardeshi, S. D. (2018). Integration of different influencing factors in GIS to delineate groundwater potential areas using IF and FR techniques: a study of Pravara basin, Maharashtra, India. *Applied Water Science*, 8(7), 197. https://doi.org/10.1007/s13201-018-0848-x
12. Esfandiari Darabad, F., Laighi. S., Mostafazadeh, R., & Haji, Kh. (2021). Flood risk zoning of Qoturchai watershed with multi-criteria decision making methods of ANP and WLC. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 8(2), 135, -150 http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3191-fa.html [In Persian]

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

13. Eyvazi, M., & Malekian, A. (2021). Flood prioritization of urban sub-basins using hierarchical analysis process and fuzzy hierarchy analysis. *12th International Engineering Seminar*, Ahvaz, https://civilica.com/doc/1450917. [In Persian]
14. Eyvazi, M., Nazari Samani, A. A., & Parvizi, S. (2023). Investigating suitability of land use based on land capability Lake Urmia basin area. *Journal of Nature and Spatial Sciences (JONASS)*, 3(2), 25-39. 10.30495/jonass.2023.1974883.1062
15. Fohrer, N., Haverkamp, S., & Frede, H. G. (2005). Assessment of the effects of land use patterns on hydrologic landscape functions: development of sustainable land use concepts for low mountain range areas. Hydrological Processes: *An International Journal*, 19(3), 659-672. https://doi.org/10.1002/hyp.5623
16. Ghabelnezam, E., Babaei, L., Alaei, N., & Hazbavi, Z. (2023). Development of an incorporative PSR-Fuzzy approach for health assessment of KoozehTopraghi Watershed. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(4), 152-167. doi: 10.22098/mmws.2022.11379.1125 [In Persian]
17. Ghanavati, E., Karam, A., & Taghavi Moghadam, E. (2015). Fuzzy logic application in identifying and mapping of landslide hazard: A case study: Taleghan watershed. *Engineering and Environmental Geology*, 24 (94): 9-16. https://doi.org/10.22071/gsj.2015.42988
18. Hezara, V., Bakharzai Ghazalhasar, M., (2017). Urban flood risk zoning in zone 9 of Mashhad. *Geography and Human Relationships*, 1(2), 1140-1158. doi: 20.1001.1.26453851.1397.1.2.69.2
19. Hosseini, S.M., Mohammadi, S. Hassanzadeh, R., Honarmand, M. (2022). Flood risk using GIS and RS in the south of Kerman province (case study: Hamon-Jazmurian watershed). *Ecohydrology*, 10(1), 33-47., doi: 10.22059/ije.2023.354747.1712 [In Persian]
20. Ialnlo, M. (2016). Flood risk zoning using fuzzy logic (Study area: Shiraz-Firoozabad communication axis), on Research in Engineering, Science and Technology, http://sid.ir/paper/85748/fa. [In Persian]
21. Jalaliyan, S. I. (2022). Evaluating and zoning flooding on a temporal and spatial scale (Study Area: Gorgan River Watershed in Golestan Province). *Geographical Planning of Space*, *11*(42), 143-162. doi: 10.30488/gps.2020.213834.3157. [In Persian]
22. Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, *538*, 555-563. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055
23. Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and analytical hierarchy process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555-563. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055
24. Klir, G., & Yuan, B. (1995). Fuzzy sets and fuzzy logic (Vol. 4, pp. 1-12). New Jersey: Prentice hall.
25. Lee, M. J., Kang, J. E., & Jeon, S. (2012, July). Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. In *2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 895-898). IEEE. https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6351414
26. Mahdavi, M. (2012), Applied hydrology. Second Volume, Eighth Edition, Tehran University, https://ajansbook. [In Persian]
27. Mokhtari, D., Rezaei Moghadam, M. H., Rahimpour, T., & Moazhez, S. (2019). Preparation of flood risk map in Gomanab Chai catchment area using ANP model and GIS technique, *Eco-Hydrology Journal*, 7(2), 509-497, doi: 10.22059/ije.2020.298759.1298 [In Persian]
28. Ogato, G. S., Bantider, A., Abebe, K., & Geneletti, D. (2020). Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West Shoa Zone, Oromia Regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100659. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100659
29. Pappenberger, F., Beven, K., Horritt, M., & Blazkova, S. J. J. O. H. (2005). Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. *Journal of Hydrology*, *302*(1-4), 46-69. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.06.036
30. Predick, K. I., & Turner, M. G. (2008). Landscape configuration and flood frequency influence invasive shrubs in floodplain forests of the Wisconsin River (USA). *Journal of Ecology*, *96*(1), 91-102. https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01329.x
31. Reneau, S. L. (2000). Stream incision and terrace development in Frijoles Canyon, Bandelier National Monument, New Mexico, and the influence of lithology and climate. *Geomorphology*, *32*(1-2), 171-193. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00094-X
32. Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2006). *Decision making with the analytic network process* (Vol. 282). Berlin, Germany: Springer Science+ Business Media, LLC.
33. Saeedi Mofrad, S., Asiaei, M., & Goharkhah, F. (2022). Flood Risk Zoning in Torbat-e Heydarieh Using Fuzzy Logic. *Geography and Development*, 20 (66), 81-106.doi: 10.22111/j10.22111.2022.6714 [In Persian]

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]

34. Sahu, R. K., Mishra, S. K., & Eldho, T. I. (2010). Comparative evaluation of SCS-CN-inspired models in applications to classified datasets. *Agricultural Water Management*, *97*(5), 749-756. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.005
35. Samanta, S, Kumar, D., & Babita, P. (2018). Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Applied Water Science*, 66(8), 1-14.
36. Samanta, S., Koloa, C., Kumar Pal, D., & Palsamanta, B. (2016). Flood risk analysis in lower part of Markham River based on multi-criteria decision approach (MCDA). *Hydrology*, *3*(3), 29. https://doi.org/10.3390/hydrology3030029
37. Sami, I., & Ebadi, M. (2023). Urban flood risk zoning using network analysis (ANP) and fuzzy logic, case study: Maragheh city. Scientific Quarterly Journal of Urban Ecology Research, 15(No. 1 (34 consecutive), 171-186- doi: 10.30473/grup.2024.55316.2554. [In Persian]
38. Sasanpour, F., Mohebi, F., & Kazem, A. H. (2021). Flood risk analysis and zoning - case study: Taleghan watershed. *Geographic Information*, 30(119), 159-173., https://www.noormags.ir/view/en/articlepage. [In Persian]
39. Sipahi, S., & Timor, M. (2010). The analytic hierarchy process and analytic network process: an overview of applications. *Management Decision*, *48*(5), 775-808. https://doi.org/10.1108/00251741011043920
40. Smaili, A., Abdullahi, Kh. (2018). Watershed management and soil protection. University of Mohaghegh Ardabili Press, 574 p. [In Persian]
41. Soleimani, K., & Mohseni, B. (2023). Evaluation of effective criteria on flood risk based on network analysis process and GIS in Vazroud basin of Mazandaran province. Ecohydrology, (10)1-75-61, doi: 10.22059/ije.2023.353903.1708 [In Persian]
42. Souverville, S., Rosales, J. A., Funes, F. J. G., Dehesa, M., Hernández, I. V., & Lozano, L. V. (2015). Fuzzy Logic Applied to Improvement of Image Resolution using Gaussian Membership Functions. *Research in Computing Science*, *102*(1), 77-88.
43. Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2013). Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Journal of Hydrology*, *504*, 69-79. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.034
44. Toth, W., Vacik, H., Pülzl, H., & Carlsen, H. (2022). Deepening our understanding of which policy advice to expect from prioritizing SDG targets: Introducing the analytic network process in a multi-method setting. *Sustainability Science*, 17, 1473–1488. https://doi.org/10.1007/s11625-021-01009-7
45. Willett, K., & Sharda, R. (1991). Using the analytic hierarchy process in water resources planning: Selection of flood control projects. *Socio-Economic Planning Sciences*, 25(2), 103-112. https://doi.org/10.1016/0038-0121(91)90008-F
46. Yang, J., Townsend, R. D., & Daneshfar, B. (2006). Applying the HEC-RAS model and GIS techniques in river network floodplain delineation. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *33*(1), 19-28.https://doi.org/10.1139/l05-102
47. Yeste, P., Ojeda, M. G. V., Gámiz-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2020). Integrated sensitivity analysis of a macroscale hydrologic model in the north of the Iberian Peninsula. *Journal of Hydrology*, *590*, 125230. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125230

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.4.8.7]