

## Comparison and evaluation of AHP and IRNAHP methods in flood susceptibility prioritization, case study: Fakhraabad Watershed, Yazd

Ehsan Bazrafshan<sup>1</sup>, Hossein Malekinezhad<sup>2\*</sup>, Seyed Zeynalabedin Hosseini<sup>3</sup> and Mehdi Sepehri<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Candidate in Watershed Science and Engineering, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

<sup>4</sup> Ph.D. in Watershed Science and Engineering, Rangeland Expert, Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), Iran

Received: 11 August 2025

Accepted: 25 October 2025

### Extended abstract

#### Introduction

Flood risk management is one of the most significant environmental and developmental challenges in arid and semi-arid regions of Iran. The Fakhraabad watershed in Yazd is prone to sudden floods due to its unique climatic and topographical characteristics, which can result in substantial economic, social, and environmental damages. Since studies related to natural phenomena are often associated with complexity and uncertainty, employing multi-criteria decision-making methods capable of effectively managing these uncertainties can play a key role in improving the analysis and simulation of natural resource-related phenomena. Ultimately, this approach could lead to a reduction in the economic and human costs resulting from these events. Among these methods, the Analytic Hierarchy Process (AHP) has gained a special position due to its simple structure, transparency, and widespread use in natural resource studies and watershed management. This method provides a systematic way of weighting and prioritizing criteria and has offered reliable results in many studies. However, when data or expert judgments are uncertain, the use of complementary approaches can enhance the accuracy of results. In this regard, the IRNAHP method (Fuzzy Analytic Hierarchy Process with Interval Numbers) has a greater ability to model uncertain conditions and can be used as a complement to AHP. Comparing these two methods, while maintaining the position of AHP as a foundational tool, provides a suitable path for selecting a more precise approach in flood risk management.

#### Materials and methods

In this study, to prioritize the sub-basins of the Fakhraabad watershed in Yazd based on flood susceptibility, eight main criteria were used: Digital Elevation Model (DEM), slope, precipitation, fractal dimension, connectivity, Topographic Wetness Index (TWI), Topographic Control Index, and stream power. Data related to these criteria were extracted from hydrological sources, topographic maps, and climatic data, and processed in a Geographic Information System (GIS) environment. To weight and prioritize the criteria, two multi-criteria decision-making methods, AHP and IRNAHP, were applied. In the AHP method, pairwise comparisons were completed with expert opinions, and the relative weights of the criteria were calculated. In the IRNAHP method, fuzzy logic and interval numbers were used to consider the uncertainty in human judgments. The weights obtained from both methods were integrated in the GIS environment to produce flood susceptibility maps of the sub-basins. Finally, to validate the results obtained from the two methods, the output of the SWAT model was used as a reference for comparison to evaluate the accuracy and reliability of each method.

#### Results and discussion

Comparing the results of the two methods with the SWAT model output showed that both AHP and IRNAHP were able to provide an appropriate flood susceptibility zonation pattern. The AHP method, due to its simplicity, transparency, and widespread application in water resource studies, remains a valuable tool. However, as the number of pairwise comparisons increases and expert judgments become more uncertain, the likelihood of uncertainty in the weighting of the indicators also rises. In contrast, the IRNAHP

\* Corresponding author: hmalekinezhad@yazd.ac.ir

method, utilizing fuzzy logic and interval numbers, was able to better manage this uncertainty and provide more accurate results. Compared to similar studies, the findings of this research also indicated that IRNAHP performed better than AHP in dealing with ambiguous data and environmental complexities.

### Conclusion

This study compared the two methods, AHP and IRNAHP, for analyzing the flood susceptibility of the sub-basins in the Fakhraabad watershed in Yazd. The results showed that in the AHP method, sub-basins 4, 3, 31, 27, and 29 had the highest flood susceptibility, while sub-basins 15, 22, 14, 21, and 6 showed the lowest susceptibility. In the IRNAHP method, sub-basins 4, 3, 31, 27, and 24 had the highest flood susceptibility, while sub-basins 15, 22, 14, 21, and 12 had the lowest. Due to its simple structure and high interpretability, AHP remains a reliable method for prioritizing criteria. However, when the data or expert opinions contain ambiguity and uncertainty, its accuracy decreases. In contrast, the IRNAHP method, by incorporating fuzzy logic and interval numbers, overcomes this limitation and provides more accurate results. Therefore, it can be concluded that IRNAHP, as a complementary approach to AHP, is a more efficient tool for flood risk management in vulnerable areas.

**Keywords:** Analytic Hierarchy Process, Connectivity, Flood risk management, Topographic Wetness Index, Watershed management

Cite this article: Bazrafshan, E., Malekinezhad, H., Hosseini, S.Z., Sepehri, M., 2026. Comparison and evaluation of AHP and IRNAHP methods in flood susceptibility prioritization, case study: Fakhraabad Watershed, Yazd. *Watershed. Water. Eng. Manag.*18(1), 103-119.

© 2026, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



## بررسی و مقایسه روش‌های AHP و IRNAHP در اولویت‌بندی

### سیل خیزی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز فخرآباد یزد

احسان بذرافشان<sup>۱</sup>، حسین ملکی نژاد<sup>۲\*</sup>، سید زین العابدین حسینی<sup>۳</sup> و مهدی سپهری<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری رشته علوم و مهندسی آبخیز گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

<sup>۴</sup> دکتری رشته علوم و مهندسی آبخیز، کارشناس بخش مرتع، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

#### چکیده مبسوط

##### مقدمه

مدیریت ریسک سیلاب از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و توسعه‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران به شمار می‌رود. حوزه آبخیز فخرآباد یزد به دلیل ویژگی‌های اقلیمی و توپوگرافی خاص، مستعد وقوع سیلاب‌های ناگهانی است که می‌تواند خسارت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی قابل توجهی به همراه داشته باشد. از آنجا که مطالعات مرتبط با پدیده‌های طبیعی همواره با پیچیدگی و عدم قطعیت همراه‌اند، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره که توانایی مدیریت مؤثر این عدم قطعیت‌ها را دارند، می‌تواند در بهبود تحلیل و شبیه‌سازی پدیده‌های مرتبط با منابع طبیعی نقش مهمی ایفا کند و در نهایت به کاهش هزینه‌های اقتصادی و انسانی ناشی از این وقایع منجر شود. در این میان، AHP به دلیل ساختار ساده، شفافیت و کاربرد گسترده در مطالعات منابع طبیعی و مدیریت آبخیز جایگاه ویژه‌ای یافته است. این روش امکان وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها را به صورت نظام‌مند فراهم می‌سازد و در بسیاری از پژوهش‌ها نتایج قابل اعتمادی ارائه کرده است. با این حال، هنگامی که داده‌ها یا قضاوت‌های کارشناسی با ابهام همراه باشد، استفاده از رویکردهای تکمیلی می‌تواند دقت نتایج را افزایش دهد. در همین راستا، روش IRNAHP فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی اصلاح‌شده با اعداد بازه‌ای، توانایی بیشتری در مدل‌سازی شرایط مبهم دارد و می‌تواند به عنوان مکملی برای AHP مورد استفاده قرار گیرد. مقایسه این دو روش، ضمن حفظ جایگاه AHP به عنوان یک ابزار پایه، مسیر مناسبی برای انتخاب رویکرد دقیق‌تر در مدیریت ریسک سیلاب فراهم می‌سازد.

#### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز فخرآباد استان یزد از نظر سیل‌خیزی، هشت معیار اصلی شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شیب، بارش، فراکتال، پیوستگی، شاخص اشباعیت توپوگرافی (TWI)، شاخص کنترل توپوگرافی و قدرت جریان مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های مربوط به این معیارها از منابع هیدرولوژیکی، نقشه‌های توپوگرافی و داده‌های اقلیمی استخراج و در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پردازش شدند. سپس به منظور وزن‌دهی و اولویت‌بندی معیارها، دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و IRNAHP به کار گرفته شد. در روش AHP، مقایسات زوجی با نظر کارشناسان تکمیل و وزن نسبی معیارها محاسبه شد. در روش IRNAHP نیز با استفاده از منطق فازی و اعداد بازه‌ای، عدم قطعیت در قضاوت‌های انسانی مدنظر قرار گرفت. وزن‌های به دست آمده از هر دو روش در محیط GIS تلفیق و نقشه‌های پهنه‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها تولید شد. در نهایت، برای صحت‌سنجی نتایج حاصل

از دو روش، خروجی مدل SWAT به‌عنوان مرجع مقایسه به کار گرفته شد تا میزان دقت و قابلیت اعتماد هر یک از روش‌ها ارزیابی شود.

### نتایج و بحث

مقایسه نتایج دو روش با خروجی مدل SWAT نشان داد که هر دو روش AHP و IRNAHP توانسته‌اند الگوی مناسبی از پهنه‌بندی سیل‌خیزی ارائه دهند. روش AHP به‌دلیل سادگی، شفافیت و کاربرد گسترده در مطالعات منابع آب، همچنان ابزاری ارزشمند محسوب می‌شود. با این حال، در شرایطی که تعداد مقایسه‌های زوجی افزایش می‌یابد و قضاوت‌های کارشناسان با ابهام همراه است، احتمال بروز عدم قطعیت در وزن‌دهی شاخص‌ها بیشتر می‌شود. در همین راستا، روش IRNAHP با بهره‌گیری از منطق فازی و اعداد بازه‌ای توانسته است این عدم قطعیت را بهتر مدیریت کرده و نتایج دقیق‌تری را ارائه دهد. در مقایسه با مطالعات مشابه، یافته‌های این پژوهش نیز نشان داد که IRNAHP در مواجهه با داده‌های مبهم و پیچیدگی‌های محیطی عملکرد بهتری نسبت به AHP داشته است.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به مقایسه دو روش AHP و IRNAHP برای تحلیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز فخرآباد استان یزد پرداخته شده است. نتایج نشان داد که در روش AHP، زیرحوضه‌های شماره ۴، ۳، ۳۱، ۲۷ و ۲۹ بالاترین پتانسیل سیل‌خیزی را داشتند، در حالی که زیرحوضه‌های ۱۵، ۲۲، ۱۴، ۲۱ و ۶ پایین‌ترین پتانسیل سیل‌خیزی را نشان دادند. در روش IRNAHP نیز زیرحوضه‌های ۴، ۳، ۳۱، ۲۷ و ۲۴ بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی را داشتند، و زیرحوضه‌های ۱۵، ۲۲، ۱۴، ۲۱ و ۱۲ کمترین پتانسیل را دارا بودند. روش AHP به‌دلیل سادگی ساختار و قابلیت درک بالا، همچنان یک روش معتبر برای اولویت‌بندی معیارها محسوب می‌شود؛ اما در شرایطی که داده‌ها یا نظرات کارشناسان حاوی ابهام و عدم قطعیت باشند، دقت آن کاهش می‌یابد. در مقابل، روش IRNAHP با به‌کارگیری منطق فازی و اعداد بازه‌ای این محدودیت را برطرف کرده و نتایج دقیق‌تری ارائه داده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که IRNAHP به‌عنوان رویکردی تکمیل‌کننده برای AHP، ابزاری کارآمدتر برای مدیریت ریسک سیلاب در مناطق حساس به‌شمار می‌آید.

**واژه‌های کلیدی:** پیوستگی، تحلیل سلسله‌مراتبی، شاخص اشباعیت توپوگرافی، مدیریت آبخیز، مدیریت ریسک سیلاب

### مقدمه

ایران نیز در مناطق با خطر سیلاب واقع شده است. پهنه‌بندی سیلاب یک استراتژی مؤثری برای جلوگیری یا کاهش پیامدهای آتی سیلاب است (Vojtek and Vojteková., 2019; Fernández and Lutz., 2010).

یکی از روش‌های کارآمد و مؤثر در پهنه‌بندی سیلاب استفاده از ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره<sup>۱</sup> و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. بر اساس مرور منابع انجام شده در خصوص استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره روش امروزه، پهنه‌بندی سیل می‌تواند بر اساس بهترین اطلاعات در دسترس و مرور منابع مختلف در خصوص کاربرد انواع روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، AHP<sup>۲</sup> به‌عنوان پرکاربردترین

در میان انواع بلایای طبیعی، سیلاب‌ها از مخرب‌ترین پدیده‌ها به‌شمار می‌آیند که علاوه بر تهدید جدی برای جان انسان‌ها، خسارت‌های گسترده‌ای به دارایی‌ها و زیرساخت‌های عمرانی وارد می‌سازند. پیش‌بینی احتمال وقوع، زمان و شدت سیلاب که تحت عنوان پیش‌بینی سیلاب شناخته می‌شود، بخش حیاتی از مدیریت بحران محسوب می‌شود.

دستیابی به پیش‌بینی‌های دقیق و به‌موقع می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش خسارات ناشی از سیل ایفا کند. این امر زمینه‌ساز ایجاد و توسعه سیستم‌های هشدار سریع، برنامه‌ریزی برای تخلیه اضطراری و اجرای اقدامات پیشگیرانه مؤثر خواهد بود (Refadah., 2025).

<sup>2</sup> Analytic Hierarchy Process

<sup>1</sup> Multiple-Criteria Decision Analysis (MCDA)

و مدیریت مناطق سیل‌خیز مورد استفاده قرار گیرد. این روش با ارزیابی دقیق معیارها و توزیع وزن آن‌ها، قابلیت ارائه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل را دارد و می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیران شهری در تدوین سیاست‌های پیشگیرانه و مدیریت بحران کمک کند.

Debnath et al., (2025) در پژوهشی شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی ریسک سیل، شامل عوامل هیدرولوژیکی، اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی را مورد بررسی قرار داده و توصیه‌هایی برای تحقیقات آینده ارائه کردند تا اثربخشی و کاربردپذیری AHP در ارزیابی ریسک سیل با تأکید بر لزوم همکاری بین‌رشته‌ای و استفاده از تکنیک‌های پیشرفته مدل‌سازی افزایش یابد. یافته‌ها نشان داد که این روش می‌تواند آسیب‌پذیری در برابر سیل را در مناطق مستعد سیل به طور دقیق ارزیابی کند و به تدوین برنامه‌ها و راهبردهای مؤثر برای کاهش اثرات سیلاب کمک نماید. با این حال، ارزیابی دقیق ریسک سیل نباید تنها به محاسبه خطر و تخمین تک‌بعدی آسیب‌پذیری محدود شود؛ ضروری است که سطح مواجهه با خطر سیل و انواع مختلف آسیب‌پذیری نیز در نظر گرفته شوند تا نتایج دقیق‌تری برای مناطق سیل‌خیز خاص و جمعیت تحت تأثیر به دست آید.

Cabrera and Lee, (2020) در یک مطالعه، با استفاده از دو روش AHP و وزن‌دهی آنتروپی، به پهنه‌بندی خطر سیل در یک حوضه شهری در کشور فیلیپین پرداخته شد. در این پژوهش، با بهره‌گیری از این دو روش، وزن‌دهی و ترکیب هفت معیار مؤثر در خطرپذیری سیل شامل شیب، ارتفاع، نوع خاک، بارش، تراکم زهکشی، فاصله از شبکه زهکشی و تراکم جمعیت انجام شد. نتایج مقایسه عملکرد این دو روش با بازدیدهای میدانی نشان داد که دقت روش آنتروپی (حدود ۳۵/۶ درصد) به مراتب بیشتر از روش AHP (حدود ۲۱ درصد) است. این یافته‌ها بر برتری روش آنتروپی در تحلیل و تهیه نقشه‌های دقیق‌تر خطر سیل تأکید دارند. Chazgi et al., (2022) در پژوهشی، مناطق مستعد سیل‌خیزی در منطقه باقران بیرجند با استفاده از روش‌های MCDA (تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره) تعیین کردند. نتایج پژوهش نشان داد که پارامترهای شاخص رطوبت توپوگرافی و فاصله از آبراهه کمترین

روش در مطالعات سیل‌خیزی است. علارغم کارایی روش‌های MCDA در ارزیابی مطالعات سیل‌خیزی یا سیستم‌های پیچیده چند شاخصه باید توجه داشت که عدم قطعیت همراه با خروجی‌های مکانی باید در نظر گرفته شود (Fernández Malekinezhad et al., 2021)؛ (and Lutz., 2010) در پژوهشی (Mahmoud and Gan, 2018) استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و ۱۰ شاخص مؤثر در سیل‌خیزی، مناطق مستعد سیل را شناسایی کردند. این شاخص‌ها شامل عواملی مانند ارتفاع، زمین‌شناسی، و نوع خاک بودند. نتایج مقایسه نقشه پهنه‌بندی سیل حاصل از این مطالعه نشان داد که این نقشه بیشترین تطابق را با رخدادهای سیل تاریخی دارد. این یافته نشان‌دهنده دقت و قابلیت اطمینان روش AHP در تحلیل و شناسایی مناطق حساس به سیل است. Das (2018) در مطالعه‌ای در کشور ویتنام، پژوهشگر اقدام به پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) کرد. برای این منظور، از نه شاخص مؤثر در سیل‌خیزی شامل فاصله از شبکه زهکشی، شیب، ارتفاع، بارش، جریان تجمعی، زمین‌شناسی، شاخص تراکم توپوگرافیکی، کاربری اراضی و منحنی استفاده شد.

در این مطالعه، روش AHP برای امتیازدهی نسبی وزن شاخص‌های مؤثر بر اساس نقش آن‌ها در سیل‌خیزی استفاده شد. سپس، با ترکیب این وزن‌ها، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل تهیه شد. این نقشه توانست مناطق مختلف را بر اساس میزان خطر سیل‌خیزی به طور دقیق دسته‌بندی کند و ابزاری مفید برای مدیریت خطرات سیل ارائه دهد (Sepehri et al., 2017؛ El-Magd et al., 2020؛ Khosravi et al., 2019؛ Haghizadeh et al., 2010). (Fernández and Lutz., 2010) در یک مطالعه، پژوهشگران به بررسی سیل‌خیزی با بهره‌گیری از معیارهای ژئومورفولوژیکی مؤثر در سیل‌خیزی و استفاده از روش آنتروپی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش آنتروپی، به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، در کنار سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد و قدرتمند برای تحلیل

جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و عرض ۳۱ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی قرار دارد. خروجی حوضه مذکور در دشت ابراهیم آباد شهرستان مهریز بوده که آب ناشی ریزش‌های جوی به‌صورت برف و باران در حوضه توسط رودهای فصلی به این دشت می‌ریزد. از خصوصیات فیزیوگرافی حوضه مذکور می‌توان به مساحت ۲۰۷ کیلومتر مربع، متوسط ارتفاع ۲۷۲۰ متر، شیب متوسط ۱۸ درصد و متوسط بارش سالانه ۲۰۵ میلی‌متر پرداخت که روستاهای ده بالا، طرزجان، بنادک سادت و فخرآباد در آن واقع شده است. همچنین رژیم و توزیع بارش‌ها در بخش‌های مختلف حوضه متفاوت که به‌دلیل تغییرات اختلاف ارتفاع حدود ۲۲۷۵ متر در بالا دست حوضه (ده بالا) نسبت به خروجی حوضه در منطقه روستای فخرآباد است (شکل ۱). نوع ریزش جوی در ده بالا بیشتر از نوع برف و متوسط بارش ۳۰۰ میلی‌متر در حالی که در خروجی حوضه (روستای فخرآباد) و بیشتر از نوع باران و تقریباً ۱۰۰ میلی‌متر است.

در این مطالعه به‌منظور اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها بر اساس سیل‌خیزی، ابتدا با توجه به منابع موجود، هشت پارامتر تاثیرگذار در سیل‌خیزی شامل مدل رقومی ارتفاعی، شیب، بارش، فراکتال، پیوستگی، نرخ اشباعیت توپوگرافی، کنترل توپوگرافی و قدرت جریان محاسبه شد. سپس با استفاده از روش‌های AHP و IRNAHP<sup>۱</sup> اقدام به اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها و در نهایت جهت صحت‌سنجی نتایج از خروجی مدل SWAT استفاده شد.

**روش‌ها:** در این پژوهش، برای تعیین اولویت زیرحوضه‌های حوزه آبخیز فخرآباد استان یزد از نظر میزان آسیب‌پذیری در برابر سیل، هشت شاخص کلیدی مورد استفاده قرار گرفت که شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شیب، بارش، فراکتال، پیوستگی، شاخص اشباعیت توپوگرافی (TWI)، شاخص کنترل توپوگرافی و قدرت جریان بود. داده‌های مورد نیاز این شاخص‌ها از منابع هیدرولوژیکی، نقشه‌های توپوگرافی و اطلاعات اقلیمی گردآوری شده و در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پردازش شدند.

امتیاز را در هر دو روش BWM و AHP کسب کرده و پارامتر بارش با اهمیت نسبی ۰/۲۶۵ و ۰/۱۳۷ در روش‌های BWM و AHP به‌ترتیب بیشترین امتیاز را داشته و بیشترین تأثیر را در پهنه‌بندی سیل‌خیزی منطقه داشته است.

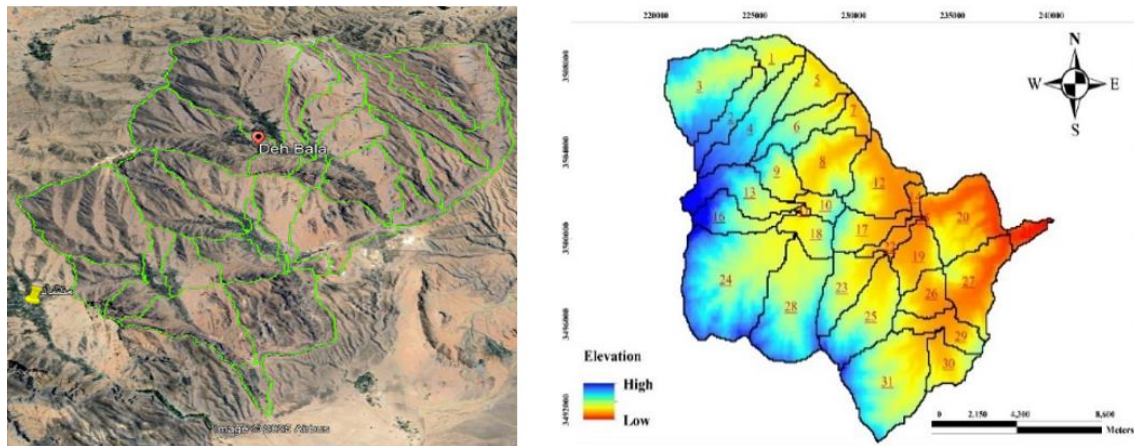
این یافته‌ها تأکید می‌کنند که بارش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در ارزیابی سیل‌خیزی به‌شمار می‌آید و در کنار سایر پارامترها، نقش اساسی در تحلیل خطر سیلاب ایفا می‌کند. حوزه آبخیز فخرآباد یکی از زیرحوضه‌های مهم در استان یزد است که در محدوده شهرستان یزد واقع شده و به‌دلیل شرایط خاص اقلیمی و هیدرولوژیکی خود اهمیت زیادی در مطالعات منابع آب و مدیریت ریسک سیلاب دارد. این حوزه بخشی از حوضه‌های مرکزی ایران به‌شمار می‌رود و دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. این حوزه در ناحیه‌ای کوهپایه‌ای و دشتی قرار دارد و به‌دلیل اختلاف ارتفاع میان بخش‌های بالادست و پایین‌دست، شیب متوسط تا زیاد در برخی قسمت‌ها دیده می‌شود.

ارتفاعات پیرامونی، منبع اصلی رواناب‌های حوزه بوده و جریان‌های سطحی پس از عبور از زیرحوضه‌ها به سمت دشت مرکزی هدایت می‌شوند. زمین‌شناسی منطقه متشکل از سنگ‌های رسوبی، آذرین و نهشته‌های آبرفتی جوان است که نفوذپذیری متفاوتی ایجاد کرده و نقش مهمی در شکل‌گیری سیلاب دارد. حوزه آبخیز فخرآباد به‌دلیل ترکیب شرایط اقلیمی خشک، بارش‌های رگیاری، ساختار زمین‌شناسی متنوع و فشار فعالیت‌های انسانی، نمونه‌ای مناسب برای مطالعات مرتبط با اولویت‌بندی سیل‌خیزی، مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی کاربری اراضی است. بررسی دقیق این حوزه می‌تواند به ارائه راهکارهای عملی برای کاهش خسارات ناشی از سیلاب و بهره‌برداری پایدار از منابع کمک کند.

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** حوزه آبخیز فخرآباد یکی از زیرحوضه‌های دشت یزد- اردکان، که در دامنه شرقی رشته کوه شیرکوه واقع در استان یزد بین طول

<sup>۱</sup> Interval rough numbers



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز فخرآباد در ایران و استان یزد  
 Fig 1. Geographical location of the Fakhrabad watershed in Iran and Yazd province

سیلاب بر اساس بررسی سیستماتیک تحقیقات پیشین، نظرات کارشناسان و در دسترس بودن داده‌های مکانی گردآوری شدند که به شناسایی عوامل مشترک منجر شد. این هشت شاخص شامل مدل رقومی ارتفاعی، شیب، بارش، فراکتال، پیوستگی، نرخ اشباعیت توپوگرافی، کنترل توپوگرافی و قدرت جریان هستند.

شایان ذکر است که از بین این شاخص‌ها، نرخ اشباعیت توپوگرافی و فراکتال می‌توانند به‌طور غیرمستقیم تأثیر نفوذناپذیری سطح بر گسترش سیلاب را نشان دهند. به‌طور کلی، این لایه‌های موضوعی به‌عنوان ویژگی‌های مکانی مورد استفاده قرار گرفتند و پیکسل‌های این لایه‌های رستری به‌عنوان گزینه‌ها در روش‌های MCDA به کار گرفته شدند. در ادامه، توضیحات دقیق‌تری درباره این معیارهای مرتبط با سیلاب ارائه شده است.

**مدل رقومی ارتفاع و شیب:** با توجه به تأثیر ارتفاع و شیب در کنترل جهت جریان آب و عمق سیلاب، این دو شاخص به‌طور معمول به‌عنوان مهم‌ترین معیارهای مرتبط با سیلاب در نظر گرفته می‌شوند (Samanta et al., 2016). با توجه به اینکه رابطه معکوسی بین این معیارها و میزان نفوذپذیری خاک و مدت زمان سیلاب وجود دارد. به‌طوری‌که در مناطق بالادست حوضه با افزایش شیب و ارتفاع، جریان سطحی بیشتر شده و مقدار زیادی آب در این مناطق جمع می‌شود که باعث بروز سیلاب در نواحی پایین دست می‌شود. مدل رقومی ارتفاع (DEM) با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ از اداره کل منابع

برای تعیین اهمیت نسبی هر شاخص و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها، دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌کار گرفته شد AHP و IRNAHP در روش AHP، وزن‌ها از طریق مقایسات زوجی و با نظر کارشناسان تعیین شد، در حالی که IRNAHP با بهره‌گیری از منطق فازی و اعداد بازه‌ای، امکان مدلسازی عدم قطعیت در قضاوت‌های انسانی را فراهم کرد. نتایج به‌دست‌آمده از هر دو روش در محیط GIS تلفیق شد و نقشه‌های پهنه‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها تولید شد. برای ارزیابی دقت و صحت این تحلیل‌ها، خروجی مدل SWAT به‌عنوان مرجع مقایسه مورد استفاده قرار گرفت تا قابلیت اعتماد هر یک از روش‌ها در تعیین اولویت‌ها سنجیده شود. این رویکرد، امکان شناسایی دقیق‌تر مناطق پرخطر و پشتیبانی از تصمیم‌گیری مدیریت منابع آب و کاهش خسارات سیل را فراهم می‌سازد.

دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA)، شامل یک روش جدید و یک روش متداول، برای تهیه نقشه حساسیت به سیلاب بر اساس معیارهای مرتبط با سیلاب استفاده شدند. مراحل اصلی این روش‌ها عبارت‌اند از:

**آماده‌سازی معیارهای مرتبط با سیلاب:** ارزیابی صحیح مخاطرات سیلاب به انتخاب شاخص‌های مناسب مرتبط با سیلاب بستگی دارد. به‌دلیل پیچیدگی پدیده‌های سیلاب، انتخاب این شاخص‌ها همواره مورد بحث بوده است (Samanta et al., 2021؛ Abdullah et al., 2021). در این مطالعه، هشت شاخص مرتبط با

یک چشم‌انداز است (Borselli et al., 2008؛ Heckmann et al., 2018).

شاخص پیوستگی پتانسیل حرکت یک ذره از نقطه‌ای به نقطه دیگر را در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف مشخص می‌کند (Lena et al., 2019؛ Fryirs., 2013؛ Borselli et al., 2008). برای تهیه نقشه‌های دقیق و قابل‌اعتماد از خطر سیل، استفاده از این شاخص‌ها ضروری است. در سال‌های اخیر، چندین شاخص پیوستگی هیدرولوژیکی توسعه یافته‌اند تا میزان پیوستگی در یک چشم‌انداز را ارزیابی کنند (Gay et al., 2016؛ Cavalli et al., 2013؛ Calsamiglia et al., 2018). در این میان، شاخص پیوستگی ارائه‌شده توسط Borselli et al., (2008) که محبوب‌ترین روش محسوب می‌شود، در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. ارتفاع هر پیکسل در سراسر منطقه‌ی مورد مطالعه از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) استخراج شده است. در این پژوهش، مقادیر شاخص پیوستگی با استفاده از ماژول Raster Calculator در نرم‌افزار ArcGIS 10.7 از DEM محاسبه و استخراج شده‌اند.

روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP): در سال 1980، Saaty یک تکنیک چندسطحی و سلسله‌مراتبی ارائه داد که به انسان امکان حل مسائل پیچیده و ذهنی را می‌دهد.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, a_{ij} = 1/a_{ji} \quad (1)$$

در این تکنیک، وزن‌های معیارها و زیرمعیارها توسط مقایسه‌های جفتی تعیین می‌شوند. یک ماتریس مرتبط با معیار یا زیرمعیار تصمیم  $n$  به شکل زیر ایجاد می‌شود:

که،  $a_{ij}$  نمایش دهنده اهمیت نسبی معیارها/زیرمعیارها نسبت به معیار/زیرمعیار  $j$  است. در مرحله بعد، عناصر ماتریس  $A$  باید ترکیب و نرمال شوند تا ماتریس رتبه‌بندی معیارها/زیرمعیارها به دست آید.

$$A' = \begin{bmatrix} a_{11}' & a_{12}' & \dots & a_{1n}' \\ a_{21}' & a_{22}' & \dots & a_{2n}' \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}' & a_{n2}' & \dots & a_{nn}' \end{bmatrix}, a_{ii}' = a_{ij} / \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (2)$$

طبیعی استان یزد دریافت شد. نقشه شیب از DEM با استفاده از ماژول شیب در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 محاسبه شد.

**شاخص اشباعیت توپوگرافی<sup>۱</sup>:** شاخص TWI نقش توپوگرافی در تولید رواناب سطحی و توزیع فضایی آن را به‌طور کمی نشان می‌دهد. به همین دلیل، می‌توان از آن به‌عنوان ابزاری مؤثر برای شناسایی مناطق مستعد سیلاب استفاده کرد. TWI با استفاده از شیب و انباشت جریان در زمین محاسبه می‌شود و می‌تواند برای شناسایی مناطقی با رطوبت خاک بالا یا پایین به کار رود.

**شاخص قدرت جریان<sup>۲</sup>:** این شاخص معمولاً برای اندازه‌گیری قدرت جریان در یک نقطه خاص از حوضه‌های آبخیز استفاده می‌شود. مانند TWI، SPI نیز به مساحت منطقه بالادست و زاویه شیب بستگی دارد. با افزایش این پارامترها، مقدار آب جمع‌شده در بالادست و سرعت جریان بیشتر می‌شود (برای اطلاعات بیشتر به مقاله Khosravi et al., 2019 مراجعه کنید).

**شاخص کنترل توپوگرافی<sup>۳</sup>:** فرورفتگی‌های زمین تأثیر زیادی بر سرعت و جهت حرکت آب دارند. مناطقی که گودی بیشتری دارند و سریع‌تر پر از آب می‌شوند، بیشتر در معرض سیلاب ناشی از بارندگی هستند. یکی از رایج‌ترین شاخص‌هایی که برای شناسایی این مناطق استفاده می‌شود.

**بعد فرکتالی شبکه زهکشی<sup>۴</sup>:** ویژگی‌های شبکه زهکشی حوضه نقش مهمی در وقوع سیلاب، فرسایش و سایر مخاطرات طبیعی دارند. بنابراین، انتخاب یک معیار مناسب برای بررسی این شبکه، دقت مطالعات سیلاب را افزایش می‌دهد (Sepehri et al., 2017؛ Malekinezhad et al., 2021).

**شاخص پیوستگی<sup>۵</sup>:** در مطالعات هیدرولوژیکی و پژوهش‌های پویای مبتنی بر فرایند، مفهوم اتصال برای توصیف ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی به کار می‌رود (Bracken et al., 2015؛ Heckmann et al., 2018؛ Wohl et al., 2019) و نشان‌دهنده میزان ارتباط و پیوستگی بین رسوبات و رواناب در بخش‌های مختلف

<sup>4</sup> Fractal Drainage (FD)

<sup>5</sup> Index Connectivity (IC)

<sup>1</sup> Topographic Wetness Index (TWI)

<sup>2</sup> Stream Power Index (SPI)

<sup>3</sup> Topographic Control Index (TCI)

اگر هر متخصص برای انتخاب دو مقدار از رتبه‌بندی ۹- نقطه‌ای Saaty هرگونه ابهام داشته باشد، در این صورت  $a_{ij}^e \neq a_{ij}^{e'}$  تعیین می‌شود. اگر هیچ ابهامی در انتخاب وجود نداشته باشد، توسط متخصص  $e$  یک مقدار انتخاب می‌شود و در این حالت  $a_{ij}^e = a_{ij}^{e'}$  وجود دارد.

مرحله ۲: محاسبه نرخ سازگاری برای هر متخصص. این مرحله شبیه به AHP خالص است با این تفاوت که دو نرخ سازگاری وجود دارد، یکی از آنها برای تقریب‌های بالایی ( $CR_e$ ) و دیگری برای تقریب‌های پایینی ( $CR_{e'}$ ) نرخ CR نهایی بر اساس  $(CR_e + CR_{e'})/2$  محاسبه می‌شود.

مرحله ۳: محاسبه ادغام ماتریس‌های عدد بازه در مرحله یک برای به‌دست آوردن  $a^{*L}$  و  $a^{*U}$ .

$$a^{*L} = \quad (۶)$$

$$\begin{bmatrix} a_{11}^{1L}, a_{11}^{1L}, \dots, a_{11}^{kL} & a_{12}^{1L}, a_{12}^{1L}, \dots, a_{12}^{kL} & \dots & a_{1n}^{1L}, a_{1n}^{1L}, \dots, a_{1n}^{kL} \\ a_{21}^{1L}, a_{21}^{1L}, \dots, a_{21}^{kL} & a_{22}^{1L}, a_{22}^{1L}, \dots, a_{22}^{kL} & \dots & a_{2n}^{1L}, a_{2n}^{1L}, \dots, a_{2n}^{kL} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}^{1L}, a_{n1}^{1L}, \dots, a_{n1}^{kL} & a_{n2}^{1L}, a_{n2}^{1L}, \dots, a_{n2}^{kL} & \dots & a_{nn}^{1L}, a_{nn}^{1L}, \dots, a_{nn}^{kL} \end{bmatrix}$$

$$a^{*U} = \quad (۷)$$

$$\begin{bmatrix} a_{11}^{1U}, a_{11}^{2U}, \dots, a_{11}^{kU} & a_{12}^{1U}, a_{12}^{2U}, \dots, a_{12}^{kU} & \dots & a_{1n}^{1U}, a_{1n}^{2U}, \dots, a_{1n}^{kU} \\ a_{21}^{1U}, a_{21}^{2U}, \dots, a_{21}^{kU} & a_{22}^{1U}, a_{22}^{2U}, \dots, a_{22}^{kU} & \dots & a_{2n}^{1U}, a_{2n}^{2U}, \dots, a_{2n}^{kU} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}^{1U}, a_{n1}^{2U}, \dots, a_{n1}^{kU} & a_{n2}^{1U}, a_{n2}^{2U}, \dots, a_{n2}^{kU} & \dots & a_{nn}^{1U}, a_{nn}^{2U}, \dots, a_{nn}^{kU} \end{bmatrix}$$

$$a_{n1}^{*U} = \{a_{ij}^{1U}, a_{ij}^{2U}, \dots, a_{ij}^{kU}\} \quad (۸)$$

$$a_{ij}^L = \{a_{ij}^{1L}, a_{ij}^{1L}, \dots, a_{ij}^{kL}\} \text{ and}$$

با استفاده از رابطه‌های (۵) تا (۸)، هر عنصر از ماتریس‌های بالا به ادغام مرز گسسته (RC) منتقل می‌شود.

$$(۹)$$

$$RC(a_{ij}^{kL}) = [\underline{Lim}(a_{ij}^{kL}), \overline{Lim}(a_{ij}^{kL})] \text{ and } RC(a_{ij}^{k'U}) = [\underline{Lim}(a_{ij}^{k'L}), \overline{Lim}(a_{ij}^{k'U})].$$

سپس با استفاده از رابطه‌های (۱۰) تا (۱۱)، ادغام

مرز گسسته (RC) برای  $a^{*L}$  و  $a^{*U}$  محاسبه می‌شود.

$$RC(a_{ij}^L) = RC(a_{ij}^{1L}, a_{ij}^{1L}, \dots, a_{ij}^{eL}) = \quad (۱۰)$$

$$\begin{cases} a_{ij}^L = \frac{1}{m} \sum_{e=1}^m a_{ij}^{eL} \\ a_{ij}^U = \frac{1}{m} \sum_{e=1}^m a_{ij}^{eU} \end{cases}$$

از آنجا که وزن‌دهی معیارها/زیرمعیارها براساس دانش کارشناسان محاسبه می‌شود، بنابراین لازم است که نسبت سازگاری (CR) از ماتریس A با درجه معنی‌داری عدم قطعیت ارزیابی شود که اگر  $is < 0.1$  و  $CR < 0.1$  باشد، می‌توان فرض کرد که ماتریس مذکور دارای کافی‌ترین سازگاری است. نرخ سازگاری به صورت زیر بیان می‌شود.

$$CR = CI/RI \quad (۳)$$

که، RI (شاخص تصادفی) یک شاخص تصادفی است که براساس ایجاد تصادفی ۵۰۰ ماتریس تعیین می‌شود و شاخص سازگاری (CI) براساس بزرگترین مقدار ویژه ( $\lambda_{max}$ ) ماتریس A و n (تعداد معیارها/زیرمعیارها) محاسبه می‌شود.

$$CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) \quad (۴)$$

**روش IRNAHP:** در AHP خالص، هر تصمیم فردی در مورد وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها با ارزش‌های گسسته اعلام می‌شود. در این حالت، تصمیم‌گیرندگان اغلب با معضل تخصیص اهمیت نسبی به معیارها و زیرمعیارهای انتخاب شده مواجه می‌شوند و به‌طور معین، عدم دقت و عدم قطعیت در فرایند تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد. در سال‌های اخیر، مفهوم جدیدی در تئوری اعداد گسسته مبتنی بر IRN برای مقابله با عدم قطعیت و عدم دقت معرفی شده است. به این منظور، ترکیب IRN و AHP خالص به‌عنوان IRNAHP شناخته می‌شود.

**مدل ریاضی عدد بازه (IRNAHP):** برای ادغام IRN و AHP خالص، عناصر ماتریس به شماره بازه  $IRN(a_{ij})$  انتقال داده می‌شود و مراحل بعدی AHP خالص تکرار می‌شود. بنابراین، برای دریافت مدل ریاضی IRNAHP، سه یا پنج مرحله به عنوان زیر تکرار می‌شود.

مرحله ۱: تشکیل ماتریس‌های مقایسه جفتی توسط k متخصص.

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12}^e; a_{12}^{e'} & \dots & a_{1n}^e; a_{1n}^{e'} \\ a_{21}^e; a_{21}^{e'} & 1 & \dots & a_{2n}^e; a_{2n}^{e'} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1}^e; a_{n1}^{e'} & a_{n2}^e; a_{n2}^{e'} & \dots & 1 \end{bmatrix}; 1 \leq \quad (۵)$$

در اینجا،  $a_{ij}^e$  و  $a_{ij}^{e'}$  نمایانگر اهمیت نسبی معیارها/زیرمعیارها i به معیار/زیرمعیار j هستند که بر اساس رتبه‌بندی ۹- نقطه‌ای Saaty انتخاب می‌شوند.

$$IRN_{(w_j)} = \left( \frac{([w_{ij}^L, w_{ij}^U], [w_{ij}^L, w_{ij}^U])}{([\sum_{j=1}^n w_{ij}^L, \sum_{j=1}^n w_{ij}^U], [\sum_{j=1}^n w_{ij}^L, \sum_{j=1}^n w_{ij}^U])} \right) / n$$

$$Subjecto: \begin{cases} 0 \leq w_j^L \leq w_j^U \leq w_j^U \leq w_j^U \leq 1 \\ 1 \end{cases}$$

### بحث و نتایج

#### ارزیابی عملکرد روش‌های MCDA در

#### اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها: در شبیه‌سازی‌های

هیدرولوژیکی/هیدرودینامیکی، مدل‌های توزیع شده فیزیکی می‌توانند به‌عنوان ابزارهای مفیدی برای ارزیابی تطابق نتایج روش‌های MCDA به کار روند. از آنجا که حوزه آبخیز منطقه مطالعه بسیار وسیع و از نظر جغرافیایی و استفاده از اراضی متنوع است، این مطالعه منطقه را به ۳۱ زیرحوضه تقسیم کرد. این کار با استفاده از خطوط هم‌ارتفاع مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و داده‌های DEM با دقت ۳۰ متر انجام شد.

#### خروجی مدل SWAT: پس از تهیه پارامترهای

حساس، مدل SWAT جهت واسنجی به مدت ۱۹۹۱ (سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۱) با استفاده از داده‌های میانگین دبی ماهانه ایستگاه واقع در خروجی حوضه اجرا و پس از اتمام واسنجی، اعتبارسنجی مدل همانند دوره واسنجی با استفاده از دامنه پارامترهای بهینه شده از مرحله واسنجی انجام شد (جدول ۱).

$$RC(a_{ij}^U) = RC(a_{ij}^{1U}, a_{ij}^{2U}, \dots, a_{ij}^{eU}) = \begin{cases} a_{ij}^L = \frac{1}{m} \sum_{e=1}^m a_{ij}^{eL} \\ a_{ij}^U = \frac{1}{m} \sum_{e=1}^m a_{ij}^{eU} \end{cases} \quad (11)$$

سپس با استفاده از  $RC(a_{ij}^L)$  و  $RC(a_{ij}^U)$  حد پایین و حد بالای عدد گسسته بازه‌ای برای  $IRN(a_{ij})$  به این صورت  $IRN(a_{ij}) = [RC(a_{ij}^L), RC(a_{ij}^U)]$  به دست می‌آید. ماتریس  $IRN(a_{ij})$  به عنوان زیر نمایش داده می‌شود.

$$a = \begin{bmatrix} 1 & IRN(a_{12}) & \dots & IRN(a_{1n}) \\ IRN(a_{21}) & 1 & \dots & IRN(a_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ IRN(a_{n1}) & IRN(a_{n2}) & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

مرحله ۴: تعیین رتبه هر معیار (ضریب وزنی عدد گسسته بازه‌ای)،  $IRN(w_j)$  بردار بر اساس رابطه‌های (۱۳) و (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$IRN_{(w_{ij})} = ([w_{ij}^L, w_{ij}^U], [w_{ij}^L, w_{ij}^U]) = \frac{IRN(a_{ij})}{\sum_{j=1}^n IRN(a_{ij})} = \frac{([a_{ij}^L, a_{ij}^U], [a_{ij}^L, a_{ij}^U])}{([\sum_{j=1}^n a_{ij}^L, \sum_{j=1}^n a_{ij}^U], [\sum_{j=1}^n a_{ij}^L, \sum_{j=1}^n a_{ij}^U])} \quad (13)$$

$$W = \begin{bmatrix} ([w_{12}^L, w_{12}^U], [w_{12}^L, w_{12}^U]) & \dots & ([w_{1n}^L, w_{1n}^U], [w_{1n}^L, w_{1n}^U]) \\ 1 & \dots & ([w_{2n}^L, w_{2n}^U], [w_{2n}^L, w_{2n}^U]) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ ([w_{n2}^L, w_{n2}^U], [w_{n2}^L, w_{n2}^U]) & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

در نهایت، (ضریب وزنی عدد گسسته بازه‌ای)،  $IRN(w_j)$  با استفاده از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.

#### جدول ۱- مقادیر پارامترها در مرحله واسنجی

Table 1. Parameter values in the calibration stage

Parameter	Parameter values
v_EPCO.bsn	0.394
r_OV_N.hru	30.46
r_SOL_BD().sol	1.52
v_CH_N2.rte	0.075
v_CH_K2.rte	21.21
v_SFTMP.bsn	6.61
v_ESCO.hru	0.82
v_ALPHA_BNK.rte	0.55
r_SOL_AWC().sol	1.75
r_SOL_ALB().sol	0.01
r_CN2.mgt	-0.099
v_ALPHA_BF.gw	0.071
v_GW_DELAY.gw	339.8
v_GWQMN.gw	286.69
v_SMTMP.bsn	8.16

گرفت که نتایج مطلوبی به دست آمد و خلاصه نتایج در جدول ۲ ارائه شد.

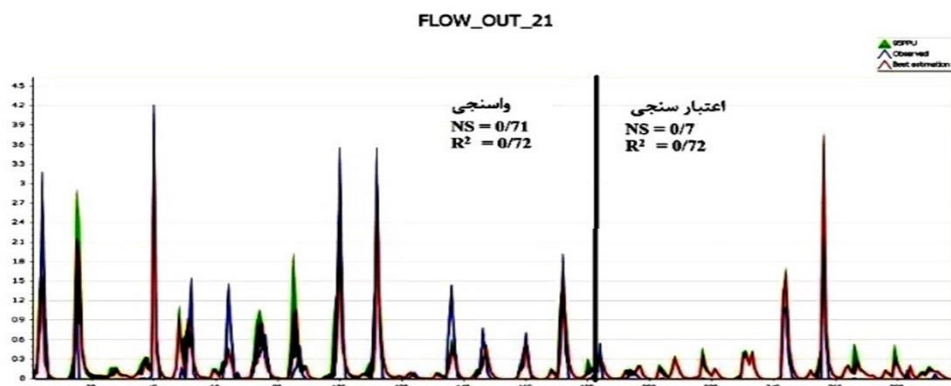
این مرحله با طول دوره آماری هشت سال از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ با استفاده از داده‌های میانگین دبی ماهانه ایستگاه داخل حوضه انجام

جدول ۲- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی میانگین دبی ماهانه ایستگاه

Table 2. Results of calibration and validation of the average monthly discharge of the station

Stage مرحله	NS	R <sup>2</sup>
Calibration واسنجی	0/71	0/72
Validation اعتبارسنجی	0/7	0/72

نمودار میانگین دبی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه به ترتیب در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- نمودار میانگین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه حوضه در مرحله صحت‌سنجی و اعتبارسنجی مدل

Fig. 2. Average observed and simulated discharge diagram of the basin station in the model verification and validation stage

ماهانه ایستگاه انجام گرفت که نتایج به دست آمده در کلاس قابل قبول قرار دارد.

با توجه به نتایج به دست آمده از مرحله صحت‌سنجی و سایر تحقیقات انجام شده مشابه Barati et al., (2019، 2018، Aghakhani et al., 2018، Gorgij, 2018)، دقت مدل شبیه‌سازی قابل قبول و نتایج به دست آمده با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت دارد. در نهایت با توجه به مقادیر به دست آمده نقشه اولویت‌بندی سیل‌خیزی با استفاده از مدل SWAT در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه و در شکل ۳ نمایش داده شده است.

طبق طبقه‌بندی توصیفی ارائه شده توسط Moriasi et al., (2007) مقدار معیار نش ساتکلیف بین ۰/۷۵ تا یک در کلاس خیلی خوب، ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ در کلاس خوب و از ۰/۵ تا ۰/۶۵ در کلاس قابل قبول قرار دارد. که با توجه به نتایج به دست آمده از واسنجی (NS=0/71) معیار نش ساتکلیف در کلاس خوب قرار گرفته است. پس از اتمام واسنجی، اعتبارسنجی مدل با استفاده از دامنه پارامترهای بهینه شده از مرحله واسنجی انجام گردید.

این مرحله با طول دوره آماری هشت سال از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۲ با استفاده از داده‌های میانگین دبی

جدول ۳- خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها  
**Table 3.** Physiographic characteristics of sub-basins

Sub. Basin	Longitude (m)	Latitude (m)	Elevation (m)	Perimeter (km)	Area (ha)
1	225903	3508607	2643	13.5	369.5
2	223746	3505692	3176	18	500.1
3	222536	3507082	3003	19.5	1300.2
4	224916	3505373	3111	22.8	825.9
5	227836	3506958	2576	15.6	549.8
6	227282	3505195	2819	17.3	530.2
7	229910	3505583	2380	10.3	255.8
8	228712	3503582	2491	16	861.1
9	226206	3502981	2747	12.0	433.1
10	228415	3501530	2661	9.6	227.8
11	227468	3501285	2410	2.6	23.8
12	231277	3502585	2316	18.1	884.0
13	224102	3502131	3180	20.8	740.6
14	233121	3501894	2156	6.9	106.0
15	233530	3500930	2049	0.5	1.7
16	223854	3501002	3173	16.9	510.7
17	230495	3500393	2495	13.4	502.7
18	227812	3500193	2616	11.5	390.7
19	233150	3499148	2265	12.8	517.9
20	235515	3500969	2170	18.0	1121.1
21	238747	3500276	1864	8.1	159.1
22	231821	3499860	2218	12.6	200.6
23	229488	3497695	2708	16.0	645.6
24	223710	3498061	3058	24.7	2149.8
25	230595	3496353	2759	19.3	1010.4
26	233699	3497301	2291	10.7	404.3
27	236199	3497983	2184	18.1	899.7
28	226902	3496809	2955	21.5	1467.3
29	235483	3495426	2352	16.3	477.2
30	234700	3494199	2410	12.1	417
31	231794	3493401	2767	22.5	1530.5

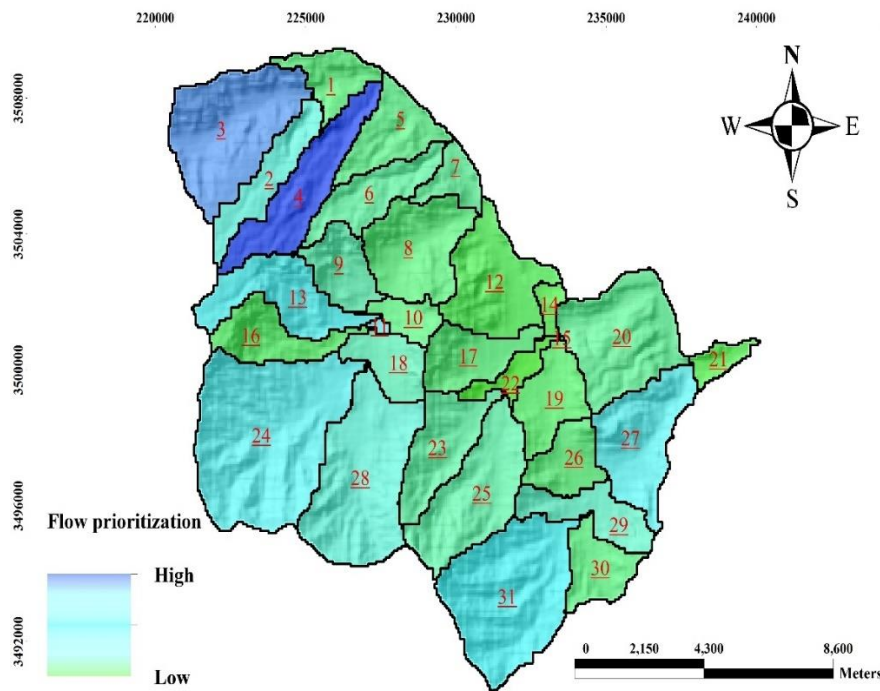
در جدول ۳ خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه نشان داده شده است. کمترین و بیشترین مساحت به ترتیب ۱/۶۹ هکتار و ۲۱۴۹/۸ هکتار است. با توجه به اینکه CN تابعی از مقدار پوشش گیاهی و مقدار شیب منطقه است بنابراین این پارامتر که یکی از پارامترهای حساس برآورد سیل در مدل SWAT است، همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌کنید، به ترتیب زیر حوضه‌های شماره ۴، ۳، ۳۱، ۱۳ و ۲۴ دارای اولویت بالاتری در درجه سیلاب نسبت به سایر زیرحوضه‌ها برخوردار است. همچنین به ترتیب زیرحوضه‌های شماره ۱۵، ۲۲، ۱۴، ۲۱ و ۱۲ دارای اولویت کمتری در درجه سیلاب نسبت به سایر زیرحوضه‌ها برخوردار است.

**تحلیل سلسله مراتبی (AHP):** به منظور تهیه مدل پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل خیزی لازم بود عوامل مؤثر انتخاب شده و ارزش گذاری می‌شدند (Rasooli et al., 2018). با توجه به نتایج به دست آمده، هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی ایجاد شده نسبت به سیل خیزی دارای ارزشی متفاوت هستند. بنابراین لایه‌ها باید نسبت به یکدیگر وزن‌دهی شده و لایه‌های دارای اهمیت بیشتر در اولویت قرار گیرند (Behzadi et al., 2018).

در این مطالعه نیز لایه‌های شاخص پیوستگی، مدل رقومی ارتفاعی، فراکتال، نگهداشت حوضه، شاخص اشباعیت خاک، شیب و بارش با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تلفیقی از نظرات متخصصان و با طراحی فرم‌های پرسشنامه‌ای مخصوص

به‌طور جداگانه در مقابل سایر مشخصه‌ها وزن‌دهی شد. سپس وزن‌های نسبی در ماتریس وارد شده و ضریب اهمیت هر لایه جداگانه محاسبه می‌شود. به همین جهت در این مطالعه اطلاعات لایه‌ها تک تک وارد نرم‌افزار Excel، شده و در آن ضریب اهمیت هر لایه محاسبه شد (جدول ۴).

ارزش‌گذاری انجام شد. معمولی‌ترین روش ارزیابی چندمعیاری، روش وزن‌دهی خطی بوده و یکی از تکنیک‌های وزن‌دهی، روش مقایسه دو به دو است. در این روش به هر مشخصه‌ای وزنی داده می‌شود (Akay et al., 2017). در این مطالعات نیز برای تعیین وزن نسبی هر لایه از روند مقایسه زوجی به روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. در این روش هر لایه



شکل ۳- نقشه اولویت‌بندی سیل‌خیزی حوضه مورد مطالعه با استفاده از مدل SWAT

Fig. 3. Flooding priority map of the study basin using the SWAT model

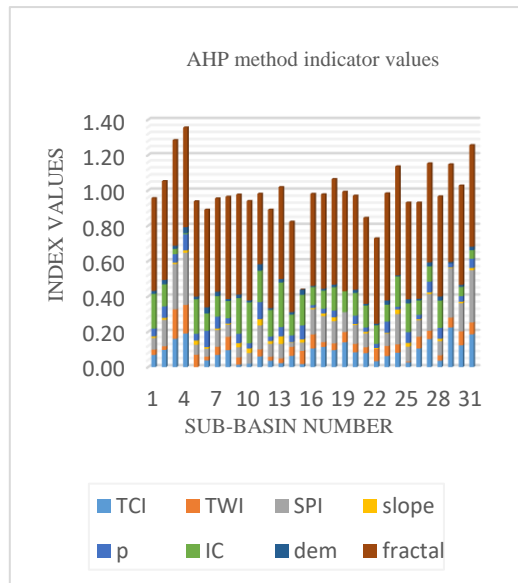
تصمیم‌گیری چندمعیاره به خصوص در روش AHP وجود دارد و وجود تعداد مقایسه‌های زوجی در این روش است. وجود تعداد زیاد مقایسه‌های زوجی باعث می‌شود که کارشناسان دارای خطای خیلی زیادی در تخصیص وزن به شاخص‌های سیل‌خیزی شوند. همچنین دانش محدود که ناشی از تردید و تردید در دانش انسان، باعث می‌شود تصمیمات تحت تأثیر خصوصیات روانشناسی کارشناسان نیز قرار گیرد.

در روش AHP که برای پهنه‌بندی سیل‌خیزی مورد استفاده قرار گرفت، نتایج نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های ۴، ۳، ۳۱، ۲۷ و ۲۹ از سیل‌خیزی بالایی برخوردار هستند در حالی که زیرحوضه‌های ۱۵، ۲۲، ۱۴، ۲۱ و ۶ از درجه سیل‌خیزی خیلی پایین‌تری برخوردار هستند. با مقایسه نتایج خروجی مدل AHP با مدل SWAT نشان می‌دهد که در روش AHP از دقت قابل قبولی برای پهنه‌بندی سیل برخوردار نبوده است. یکی از مهم‌ترین منابع عدم قطعیت در روش‌های

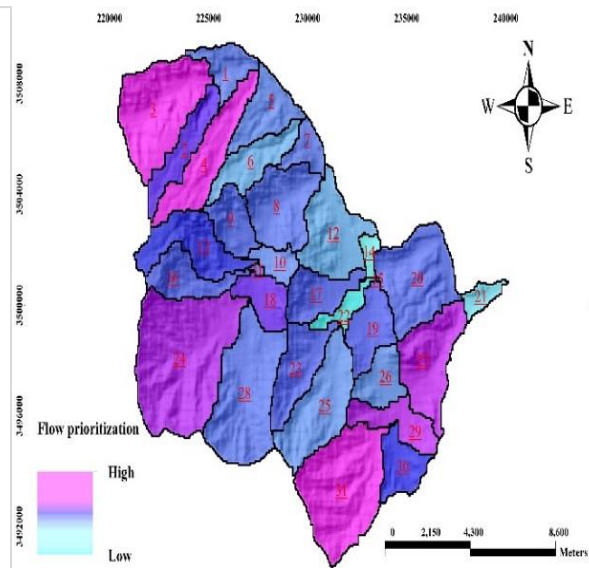
جدول ۴- شاخص‌ها و اوزان مورد استفاده در روش AHP

Table 4. Indicators and weights used in the AHP method

Index	Index weight	Index	Index weight
Tci	0/224	P	0/096
Twi	0/167	Ic	0/252
Spi	0/296	E	0/036
S	0/043	FR	0/617



شکل ۵- مقادیر شاخص‌ها وزن‌دهی شده در روش AHP  
Fig. 4. Basin flood prioritization map using the AHP model

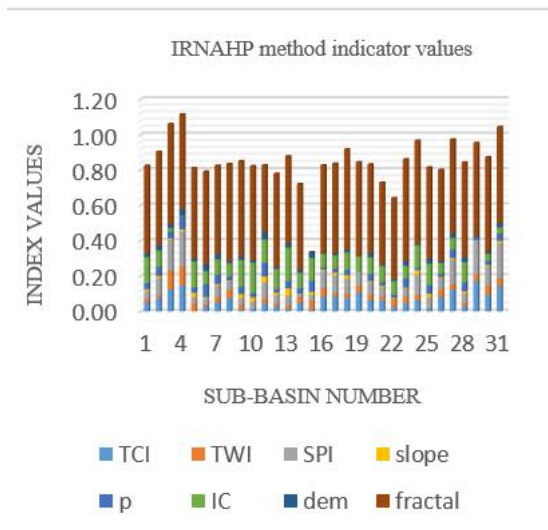


شکل ۴- نقشه اولویت‌بندی سیل‌خیزی حوضه با استفاده از مدل AHP  
Fig. 5. Weighted index values in the AHP method

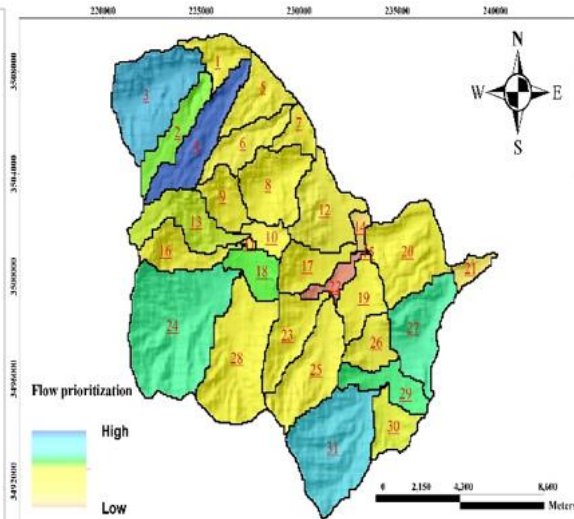
با توجه به اینکه استفاده از اعداد گسسته منفرد در تخصیص وزن‌دهی شاخص‌های سیل‌خیزی باعث می‌شود که کارشناسان دوچار تردید و گمان در انتخاب یک عدد به‌خصوص برای شاخص‌های سیل‌خیزی شوند. به همین دلیل روش IRNAHP این امکان را در اختیار کارشناسان قرار می‌دهد تا وزن شاخص‌های سیل‌خیزی مورد استفاده در مطالعه خود را در یک بازه عددی برای خود انتخاب کنند و همین امر یعنی انتخاب بازه عددی باعث کاهش عدم قطعیت کارشناسان در تخصیص وزن‌دهی شاخص‌ها می‌شود. مقایسه نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعه (Sepehri et al., 2020)، که از چهار روش AHP، FUCCOM، BWM و IRNAHP برای پهنه‌بندی سیل در حوضه ایرانلو استفاده کردند نشان می‌دهد که در این مطالعه نیز روش IRNAHP با توجه به اینکه از الگوریتم پیچیده‌ای برای برآورد پهنه‌بندی سیل‌خیزی داشته، باعث دارا بودن دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها باشد. اگر چه در میان دو روش فوق روش IRNAHP نسبت به روش AHP از دقت بالاتری در پهنه‌بندی سیل برخوردار بوده است.

در این مطالعه که از هشت شاخص سیل‌خیزی برای پهنه‌بندی سیل مورد استفاده قرار گرفت با توجه به ماتریس مقایسه زوجی، هر کارشناس باید به تعداد (۸-۶۴) مقایسه زوجی انجام دهد که قطعاً این تعداد مقایسات زوجی بالا باعث ایجاد عدم قطعیت در خروجی مدل AHP خواهد شد.

روش IRNAHP در آخرین مدل مورد استفاده قرار گرفته شده که IRNAHP است. در این روش زیرحوضه‌های ۴، ۳، ۳۱، ۲۷ و ۲۴ از بالاترین درجه سیل‌خیزی و همچنین زیر حوضه‌های ۱۵، ۲۲، ۱۴، ۲۱ و ۱۲ از پایین‌ترین درجه سیل‌خیزی برخوردار هستند. با مقایسه نتایج روش IRNAHP نسبت به مدل SWAT و روش AHP می‌توان به این نتیجه پی برد که در روش IRNAHP دقت خیلی بالاتری نسبت به روش دیگر یعنی AHP در پهنه‌بندی سیل‌خیزی داشته است. اگرچه در روش IRNAHP تعداد مقایسات بیشتر از روش AHP است ولی باید به این نکته توجه نمود روش AHP کارشناسان باید از اعداد گسسته منفرد برای امتیازدهی شاخص‌های سیل‌خیزی استفاده می‌نمودند.



شکل ۷- مقادیر شاخص‌های وزن‌دهی شده در روش IRNAHP  
 Fig 7. Values of weighted indicators in the IRNAHP metho



شکل ۶- نقشه اولویت‌بندی سیل‌خیزی حوضه با استفاده از مدل IRNAHP  
 Fig 6. Basin flood prioritization map using the IRNAHP model

### نتیجه‌گیری

از روش AHP است، اما تفاوت اصلی آن در نحوه تخصیص وزن‌ها است. در AHP، کارشناسان باید اعداد گسسته و منفرد را برای وزن‌دهی انتخاب کنند که می‌تواند موجب تردید و عدم اطمینان شود. اما در IRNAHP، کارشناسان مجازند که وزن‌ها را در یک بازه عددی مشخص کنند.

این امر باعث کاهش عدم قطعیت در تخصیص وزن شاخص‌ها و افزایش دقت روش می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود که مدیریت منابع آبی و اقدامات پیشگیرانه (مانند احداث سد‌های کنترل سیلاب، سازه‌های آبخیزداری یا سیستم‌های هشدار سریع) در زیرحوضه‌های ۴، ۳، ۳۱ و ۲۷ در اولویت قرار گیرند. همچنین، نقشه‌های تولیدشده از مدل IRNAHP می‌توانند به‌عنوان ابزار مؤثر برای برنامه‌ریزی شهری و روستایی در تعیین مناطق امن برای توسعه مورد استفاده قرار گیرند.

در مطالعات آینده که در زمینه جانمایی منابع آبی انجام خواهد شد، به‌منظور کاهش تعداد مقایسات زوجی، پیشنهاد می‌شود از روش‌های چندمعیاره مبتنی بر بردار (مانند BWM و غیره) استفاده شود. این روش‌ها برخلاف روش‌های مورد استفاده در این مطالعه که تعداد مقایسات زوجی را به حداقل می‌رساند، می‌توانند به کاهش عدم قطعیت در نتایج مطالعه کمک کنند.

در این مطالعه، دو روش AHP و IRNAHP برای پهنه‌بندی سیل‌خیزی مقایسه شدند تا دقت و میزان عدم قطعیت آن‌ها بررسی شود. در روش AHP، نتایج نشان داد که زیرحوضه‌های ۴، ۳، ۳۱، ۲۷ و ۲۹ دارای بیشترین میزان سیل‌خیزی هستند، در حالی که زیرحوضه‌های ۱۵، ۲۲، ۱۴، ۲۱ و ۶ کمترین میزان سیل‌خیزی را دارند. با این حال، دقت این روش پایین بود. یکی از مهم‌ترین دلایل این امر، تعداد زیاد مقایسه‌های زوجی است که باعث افزایش خطای انسانی در تخصیص وزن به شاخص‌های سیل‌خیزی می‌شود. زیرا در روش AHP همچنین دانش محدود که ناشی از تردید و تردید در دانش انسان، باعث می‌شود تصمیمات تحت تأثیر خصوصیات روانشناسی کارشناسان نیز قرار گیرد. در این پژوهش، برای پهنه‌بندی سیل، از هشت شاخص مختلف استفاده شد. بر اساس ماتریس مقایسه زوجی، هر کارشناس باید بین هشت تا ۶۴ مقایسه زوجی انجام دهد که منجر به افزایش عدم قطعیت در خروجی مدل AHP می‌شود. در روش IRNAHP، زیرحوضه‌های ۴، ۳، ۳۱، ۲۷ و ۲۴ دارای بیشترین میزان سیل‌خیزی و زیرحوضه‌های ۱۵، ۲۲، ۱۴، ۲۱ و ۱۲ کمترین میزان سیل‌خیزی را داشتند. با مقایسه IRNAHP با مدل SWAT و روش AHP، مشخص شد که این روش از دقت بالاتری برخوردار است. اگرچه تعداد مقایسات در روش IRNAHP بیشتر

## تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمامی افرادی که در انجام این پژوهش آنها را یاری رسانده‌اند، تشکر می‌نمایند.

## تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مساله مورد تایید همه نویسندگان است.

## منابع مورد استفاده

- Akay, A.E., Erdoğan, A., 2017. A GIS based multi criteria decision analysis for forest fire risk mapping. Remote Sensing and Spatial Information Sciences Conference. 14-15 October. Safranbolu. Karabuk, Turkey
- Aghakhani, M., Nasrabadi, T., Vafainejad, A., 2018. Hydrological simulation of Taleghan watershed using SWAT model of environmental science and technology. *J. Environ. Sci. Technol. (JES)*. 21(9), 147-159
- Abdullah, M.F., Siraj, S., Hodgett, R.E., 2021. An overview of Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) application in managing water-related disaster events: analyzing 20 years of literature for flood and drought events. *Water* 13(10), 1358.
- Borselli, L., Cassi, P., Torri, D., 2008. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: a GIS and field numerical assessment. *Catena* 75(3), 268-277.
- Bracken, L.J., Turnbull, L., Wainwright, J., Bogaart, P., 2015. Sediment connectivity: a framework for understanding sediment transfer at multiple scales. *Earth Surf. Proc. Land* 40(2), 177-188.
- Behzadi, H., Mohtashamya, S., Gharadagi, H., 2018. Rangeland and forest fire risk zoning using Gis and AHP model (case study: Bemo National Park).
- Barati, F., Hosseini, M., Sarmi, A., Mokhtari, A., 2019. Simulation of hydrological balance of Eskandari watershed using SWAT model and SUFI algorithm. *Iran. J. Water. Sci. Engin.* 14(48), 90-99 (in Persian).
- Cavalli, M., Trevisani, S., Comiti, F., Marchi, L., 2013. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. *Geomorphol.* 188, 31-41.
- Calsamiglia, A., Fortesa, J., García-Comendador, J., Lucas-Borja, M.E., Calvo-Cases, A., Estrany, J., 2018. Spatial patterns of sediment connectivity in terraced lands: anthropogenic controls of catchment sensitivity. *Land Degrad. Dev.* 29(4), 1198-1210.
- Cabrera, J.S., Lee, H.S., 2020. Flood risk assessment for davao oriental in the philippines using geographic information system- based multi- criteria analysis and the maximum entropy model. *J. Flood Risk Manage.* 12607
- Chazgi, J., Jahanbakhshi, F., 2022. Determining flood-prone areas using multi-criteria decision-making models in the Bagheran-Birjand region. *Geograph. Environ. Hazard.* 11(42), 1041, 39 (in Persian).
- Das, S., 2018. Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India. *Arab. J. Geosci.* 11, 576
- Debnath, P., Biswas, A., Jeong, G., 2025. Review of the use of the analytical hierarchy process for flood risk assessment in Bangladesh. *Nat. Hazards.* <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07523-6>.
- El-Magd, S.A.A., Amer, R.A., Embaby, A., 2020. Multi-criteria decision-making for the analysis of flash floods: A case study of Awlad Toq-Sherq, Southeast Sohag, Egypt. *J. Afr. Earth Sci.* 162, 103709
- Fernández, D., Lutz, M., 2010. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Eng. Geol.* 111, 90-98.
- Fryirs, K., 2013. (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. *Earth Surf. Proc. Land* 38(1), 30-46.
- Gay, A., Cerdan, O., Mardhel, V., Desmet, M., 2016. Application of an index of sediment connectivity in a lowland area. *J Soils Sediment.* 16(1), 280-293.
- Gorgij, Kh., 2018. Hydrological simulation of Sarbaz watershed using SWAT model. Master's Thesis, Zabol University (in Persian).
- Haghizadeh, A., Siahkamari, S., Haghiahi, A.H., Rahmati, O., 2017. Forecasting flood-prone areas using Shannon's entropy model. *J. Earth Sys. Sci.* 126, 39.
- Heckmann, T., Cavalli, M., Cerdan, O., Foerster, S., Javaux, M., Lode, E., Smetanová, A., Vericat, D., Brardinoni, F., 2018. Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. *Earth Sci. Rev.* 187, 77-108.
- Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B.T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B., Dou, J., Ly, H.B., Gróf, G., Ho, H.L., 2019. A comparative assessment of flood susceptibility modeling using multi-criteria decision-making analysis and machine learning methods. *J. Hydrol.* 573, 311-323.
- Llena, M., Vericat, D., Cavalli, M., Crema, S., Smith, M., 2019. The effects of land use and topographic changes on sediment connectivity in mountain catchments. *Sci. Total Environ.* 660, 899-912.

- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. Asabe.* 50(3), 885-900.
- Mahmoud, S.H., Gan, T.Y., 2018. Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. *J. Clean. Prod.* 196, 216-229.
- Malekinezhad, H., Sepehri, M., Pham, Q.B., Hosseini, S.Z., Meshram, S.G., Vojtek, M., Vojteková, J., 2021. Application of entropy weighting method for urban flood hazard mapping. *Acta Geophys.* 69, 841-854.
- Meshram, S.G., Singh, V.P., Kahya, E., Sepehri, M., Meshram, C., Hasan, M.A., Islam, S., Duc, P.A., 2022. Assessing erosion prone areas in a watershed using interval rough-analytical hierarchy process (IR-AHP) and fuzzy logic (FL). *Stochas. Environ. Res. Risk Assess.* 36, 297-312. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02134-6>
- Rasooli, S.B., Bonyad, A.E., Bavaghar, M., 2018. Forest fire vulnerability using remote sensing data, GIS and AHP analysis (case study: Zarivar Lake map surrounding area). *Caspian J. Environ. Sci.* 16(4), 369-377.
- Refadah, S.S., 2025. Development in flood forecasting: A comprehensive review of complex and machine learning models. *Physic. Chemist. Earth Parts A/B/C*, 139, 103975. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2025>.
- Saaty, T.L., 1980. *The analytic hierarchy process*, Mc Graw Hill Company: New York, NY, USA
- 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). *Hydrol.* 3(3), 29.
- Sepehri, M., Ildoromi, A.R., Malekinezhad, H., Hosseini, S.Z., Talebi, A., Goodarzi, S., 2017. Flood hazard mapping for the gonbad chi region, Iran. *J. Environ. Eng. Sci.* 12, 16-24.
- Sepehri, M., Malekinezhad, H., Jahanbakhshi, F., Ildoromi, A. R., Chezgi, J., Ghorbanzadeh, O., Naghipour, E., 2020. Integration of interval rough AHP and fuzzy logic for assessment of flood prone areas at the regional scale. *Acta Geophys.* 68, 477-493. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00398-9>
- Vojtek, M., Vojteková, J., 2019. Flood susceptibility mapping on a national scale in Slovakia using the analytical hierarchy process. *Water* 11, 364.
- Wohl, E., Brierley, G., Cadol, D., Coulthard, T.J., Covino, T., Fryirs, K.A., Grant, G., Hilton, R.G., Lane, S.N., Magilligan, F.J., 2019. Connectivity as an emergent property of geomorphic systems. *Earth Surf. Proc. Land* 44(1), 4-26.
- Zarezadeh Mehrizi, Sh., Khorani, A., Bazarafshan, J., Bazarafshan, A., 2016. Evaluating the effectiveness of SWAT model in simulating the runoff of Gamasiab watershed. *Pasture and Watershed (Natural Resources of Iran)*. 70(4), 881-893.