

## Analysis of Flood Risk and Influencing Factors in Zohr-Jarhari Basin in Zohr-Jarhari in Southwest of Iran using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Approach

Reza Zakerinejad <sup>1</sup>✉, Kamal Ayash <sup>2</sup>

1. (Corresponding Author) *Department of Physical Geography, Faculty of Geography Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran*

Email: [r.zakerinejad@geo.ui.ac.ir](mailto:r.zakerinejad@geo.ui.ac.ir)

2. *Department of Physical Geography, Faculty of Geography Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan*

Email: [kamalmohammedayish@gmail.com](mailto:kamalmohammedayish@gmail.com)

### Article Info

**Article type:**  
[Research Article](#)

**Article History:**

**Received:**

28 March 2024

**Received in revised form:**

27 May 2024

**Accepted:**

7 July 2024

**Available online:**

21 August 2024

**Keywords:**

*Flooding,*

*Flood Risk,*

*Fuzzy Analytic Hierarchy*

*Process,*

*Zohreh-Jarhari Watershed.*

### ABSTRACT

Iran has experienced many extreme flood events in the last century. The necessity of creating prediction and zoning systems in most of the watersheds of this country has been given more attention than ever before. The purpose of the study focused on flood risk mapping and the risk index assessment based on the GIS-FAHP-multi-criteria decision-making process. Thirteen risk-relevant variables, including both quantitative (such as precipitation, elevation, slope, plan curvature, NDVI, distance from the river, drainage density, SPI, TWI, and CN) and qualitative factors (such as land use, landform, and geology). The raster maps of the investigated variables were prepared using ESRI ArcGIS software. The fuzzy overlay function (AND, OR AND GAMMA) has been applied after each layer for fuzzification with proper fuzzy function in ArcGIS10.8. The result of different fuzzy operations indicates that gamma 0.9 showed more accuracy when compared to the flood events than other fuzzy overlapping operators in the region. The resulting map showed that mountain areas and areas with high slopes in the north and northwest of the study area were very susceptible to flooding and were classified in the high flash flood susceptibility class.

**Cite this article:** Zakerinejad, R., & Ayash, K. (2024). Analysis of Flood Risk and Influencing Factors in Zohr-Jarhari Basin in Zohr-Jarhari in Southwest of Iran using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Approach. *Physical Geography Research Quarterly*, 56 (2), 51-69.  
<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2024.376692.1007829>



© The Author(s).

**Publisher:** University of Tehran Press

## **Extended Abstract**

### **Introduction**

Floods are the most frequent type of natural disaster and occur when an overflow of water submerges land that is usually dry. Floods have the most significant damage potential of all-natural disasters worldwide and affect the greatest number of people. Flood risk management has proven successful at reducing the threat of some flooding in order to reduce and control these damages. A flood can occur when water enters the watershed too quickly for the land to absorb; on the other hand, a flood is the maximum water flow of a watershed. Extreme flooding events are not relegated to the least developed nations but can devastate and ravage the most economically advanced and industrialized nations. Floods harmfully affected crops and their production in many areas of the world. Flooding and heavy rain have caused problems for people across parts of Iran. Our study area is located southwest of Iran and has been affected by several flood events in recent decades. This area has a complex topography, dry climate, and poor vegetation that causes it to be more susceptible to flood risk. One Keelung city of Taiwan research study applied a geographic information system (GIS) and artificial neural network (GANN) model for flood susceptibility assessment. Various factors were used, including elevation, slope angle, slope aspect, flow accumulation, flow direction, topographic wetness index (TWI), drainage density, rainfall, and normalized difference vegetation index. The results show that nearly 3.5% of the study area, including the core district of the city and an exceedingly populated area, including the city's financial center, can be categorized as high to very high flood susceptibility zones. This article aims to analyze flood risk and influencing factors in the Zohr-Jarhari Basin in the Southwest of Iran using the Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach.

### **Methodology**

The Zohr-Jarhari Basin (Southwest of Iran) is very susceptible to floods. This catchment drains into the Persian Gulf and was selected as a study area because of its high population density and resulting exposition to hazards.

This region is situated in the southwest of Iran, ranging from 48°16' to 52°16' N and 29°46' to 31°40' E, and covers an approximate area of 41.014 km<sup>2</sup>. The area is located at the interface between the over-thrust and the folded Zagros, following the over-thrust Zagros structurally. The altitude of the area varies from 0 to 3639 m a.s.l., with the Zohreh-Jarahi catchment comprising 24 sub-catchments. Although most of the sub-catchments are located in Khuzestan province in southwest Iran, some parts of the study area are also found in Fars, Kohgiluyeh, and Boyer-Ahmad provinces. Therefore, the present study focused on flood risk mapping and the risk index assessment based on the GIS-FAHP-multi-criteria decision-making process. Thirteen risk-relevant variables, including both quantitative (such as precipitation, elevation, slope, plan curvature, NDVI, distance from the river, drainage density, SPI, TWI, and CN) and qualitative factors (such as land use, landform, and geology). The raster maps of the investigated variables were prepared using ESRI ArcGIS software. The fuzzy overlay function (AND, OR AND GAMMA) has been applied after each layer for fuzzification with proper fuzzy function in ArcGIS10.8.

### **Results and Discussion**

This study created Flash flood susceptibility maps using the effective factors in flood susceptibility and the FAHP (Fuzzification and Criteria Weights (%)) algorithms. After weighting the criteria and sub-criteria examined in the research in order to zone the flood potential in the watershed, the sub-criteria layers of the research using fuzzy operators Gamma 0.5, Gamma 0.7, Gamma 0.5, AND, Sum Algebra (OR) have been used. The result of different fuzzy operations indicates that gamma 0.9 showed more accuracy when compared to the flood events than other fuzzy overlapping operators in the region. The resulting map showed that mountain areas and areas with high slopes in the north and northwest of the study area were very susceptible to flooding and were classified in the high flash flood susceptibility class. The analysis of the final weights of the FAHP shows that the Stream Power Index variables with correlation

coefficient, NDVI, rainfall and geology have the greatest impact on the flood potential in the study area.

### **Conclusion**

Meanwhile, the use of modern technologies and new methods of water resources management and a better understanding of the climatic condition of the region can improve the situation for the society and the environment. This study combined Fuzzy and AHP algorithms to create a flash flood susceptibility map using flash flood conditioning factors. The study shows the important role of GIS in the decision-making process. The maps in the current study indicated that mountain heights in the east and southeast of the basin are vulnerable to flooding and must be a preference for management to stop alleviating flash flooding. These flash flood susceptibility maps could be used to reduce the future harm made by flash floods, to help the disaster management processes in the future, to improve greater methods for preservation, to extend the research, and to develop flash flood predictions and precaution systems. Meanwhile, the use of modern technologies and new methods of water resources management and a better understanding of the climatic condition of the region can improve the situation for the society and the environment.

### **Funding**

There is no funding support.

### **Authors' Contribution**

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

### **Conflict of Interest**

Authors declared no conflict of interest.

### **Acknowledgments**

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

## ارزیابی خطر سیل و عوامل مؤثر بر آن در حوضه آبخیز زهر-جراحی در جنوب غرب ایران با استفاده از روش سلسله‌مراتبی فازی

رضا ذاکری نژاد<sup>۱</sup>✉، کمال عیاش<sup>۲</sup>

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: [r.zakerinejad@geo.ui.ac.ir](mailto:r.zakerinejad@geo.ui.ac.ir)

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: [kamal Mohammedayish@gmail.com](mailto:kamal Mohammedayish@gmail.com)

### چکیده

با توجه به وقوع سیلاب‌های خسارت‌زا در اکثر حوضه‌های آبخیز کشور، ضرورت ایجاد سامانه‌های پیش‌بینی و پهنه‌بندی در این حوضه‌ها بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش، خطر سیل‌خیزی در حوضه آبریز زهره - جراحی با استفاده از روش سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) و در بازه زمانی ۱۳۸۶-۱۳۹۸ مورد بررسی قرار گرفته است. در پهنه‌بندی سیلاب در این حوضه از شاخص‌های کاربری اراضی، شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، زمین‌شناسی، بارندگی، منحنی رواناب، شاخص قدرت جریان، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، نوع شکل زمین، انحنای طولی شیب، ارتفاع و شیب استفاده شده است. پس از مراحل مختلف اجرای روش فازی هر یک از لایه‌ها با توجه به نوع روابط آن‌ها با پدیده سیل‌خیزی و بر اساس توابع تعیین شده مقدار عضویت آن‌ها مشخص گردید. پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیلاب در حوضه مورد مطالعه بر اساس وزن‌ها و ارزش‌های نهایی هر یک از متغیرها انجام گرفت. نتایج این پژوهش، نشان داد، که گامای ۰/۹ نسبت به سایر عملگرهای همپوشانی فازی (گامای ۰/۷، ۰/۵، AND و OR) در منطقه شباهت بیشتری را با واقعیت دارد. نتایج این تحقیق نشان داد، که متغیرهای شاخص قدرت جریان، NDVI، بارندگی و زمین‌شناسی بیشترین تأثیر را بر پتانسیل سیل‌خیزی در زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه دارند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، حدود ۶/۸۶ درصد از مساحت منطقه در کلاس بسیار پرخطر قرار دارند که، عمدتاً در ارتفاعات بلند کوهستانی شرق و جنوب حوضه قرار دارند.

### اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۱/۰۹

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۴/۱۷

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۵/۳۱

واژگان کلیدی:

سیلاب،

سیل‌خیزی،

روش سلسله‌مراتبی فازی،

حوضه آبخیز زهره - جراحی.

**استناد:** ذاکری نژاد، رضا و عیاش، کمال. (۱۴۰۳). ارزیابی خطر سیل و عوامل مؤثر بر آن در حوضه آبخیز زهر-جراحی در جنوب غرب ایران با استفاده از روش سلسله‌مراتبی فازی. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۶ (۲)، ۵۱-۶۹.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2024.376692.1007829>

## مقدمه

سیلاب را می‌توان جز مهم‌ترین بلایای طبیعی دانست، که سالانه خسارات زیادی را به مناطق زیادی وارد می‌کند. برای کاهش و کنترل این خسارات نیاز به مدیریت سیلاب می‌باشد، که در جهت این امر باید در ابتدا عوامل ایجاد و تولید سیلاب در مناطق سیل‌خیز شناسایی شود. سیلاب حداکثر آبدهی یک حوضه بوده که این حداکثر آبدهی از یک حوضه زمانی اتفاق می‌افتد، که تمامی حوضه در ایجاد رواناب شرکت داشته باشد. افزایش سطوح نفوذناپذیر حاصل از شهرسازی و همچنین افزایش سطوح زیر کشت و باغات سبب شده است، که از سطوح نفوذپذیر کاسته شده و حوضه‌ها قادر به جذب بخشی از بارندگی نباشند و بر حجم رواناب افزوده گردد (طاهری بهبهانی و بزرگ‌زاده، ۱۳۷۲: ۲). سیل شایع‌ترین و پرهزینه‌ترین بلای طبیعی در جهان است، که معمولاً محلی و کوتاه‌مدت با هشدار کمی یا بدون هشدار همراه است. هنگامی که خطرات ناشی از سیل از توانایی‌های مقابله با جمعیت آسیب‌دیده فراتر رود، به فاجعه تبدیل می‌شود (Tripath, 2015). از این رو داده‌کاوی، روش سازی و توسعه الگوریتم‌های قوی و دقیق توجه بیشتری را به‌ویژه برای مدیریت بلایای طبیعی و برنامه‌ریزی شهری جلب می‌کند. در این زمینه، ادغام فناوری‌های سنجنش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با چالش‌های مکانی، زمانی و منطقه‌ای فرآیندهای سیلاب مقابله می‌کند (Kalantar, 2021). روش‌های پیش‌بینی سیل از اهمیت قابل‌توجهی برای ارزیابی خطر و مدیریت رویدادهای شدید برخوردار هستند. پهنه‌بندی و شناسایی مناطق پر خطر از منظر سیل‌خیزی یکی از نیازهای بسیاری از حوضه‌ها آبخیز محسوب می‌گردد. در این زمینه مطالعات فراوانی در پهنه‌بندی مناطق پر خطر سیل از جنبه سیل‌گیری و یا سیل‌خیزی صورت گرفته است (بدری و همکاران، ۱۳۹۵؛ آوند و همکاران، ۱۳۹۹؛ زیاری و همکاران، ۱۳۹۹؛ اسماعیلی و طاهری، ۱۴۰۱؛ حجازی و لقمان نیا ۱۴۰۲؛ Sugianto et al, 2020؛ Yaseen et al, 2022). در یک پژوهش به‌منظور پهنه‌بندی خطر سیل شهری کرج، ۵ معیار شامل: شبکه زهکشی، تجمع جریان، شیب، ارتفاع و اراضی ساخته‌شده را، با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، موردبررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد، که آبراه‌ها و حریم آن‌ها، همچنین نواحی مرکزی تا جنوب شهر بیشترین پتانسیل را برای سیل‌خیزی دارند (قنواتی، ۱۳۹۲). زیاری و همکاران (۱۳۹۹) برای پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب در شهر ایلام، با استفاده از روش سلسله‌مراتبی و روش فازی نشان دادند، که نواحی شمال و شمال غربی این محدوده مطالعاتی دارای بیشترین ظرفیت در برابر خطر سیلاب است. قهرمان و زنگنه اسدی (۱۴۰۱) در پژوهشی با استفاده از تصاویر راداری ماهواره سنتینل-۱ و روش آستانه‌گذاری Otsu، مناطق سیل‌زده و مستعد سیلاب را در محدوده رودخانه کشکان موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان این بررسی نیز نشان داد، که حفظ حریم رودخانه و عدم فعالیت انسانی در مناطق مستعد، می‌تواند حجم خسارات ناشی از سیلاب را کاهش دهد. تصاویر ماهوره‌ای، می‌توانند به‌عنوان ابزاری مفید جهت تعیین مناطق سیل‌زده و بررسی‌های سریع و نزدیک به زمان وقوع پدیده استفاده شوند. در تحقیقی دیگر با هدف، تهیه نقشه مناطق مستعد سیل با استفاده از روش فازی در پایین‌دست حوضه رودخانه نکا در شرق مازندران انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که، روش‌های گامای ۰/۹، ۰/۸، ۰/۷ به ترتیب بیشترین دقت را داشته است. بر اساس نقشه نهایی گامای ۰/۹، ۱۵/۷ درصد از مساحت منطقه در محدوده خطر بسیار زیاد و زیاد قرار دارد (اسماعیلی و طاهری، ۱۴۰۱). پارسیان<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۱)، نیز جهت بررسی سیل‌خیزی حوضه آبخیز پل‌دختر از ترکیب روش‌های فازی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و شاخص‌های شیب، بارندگی، فاصله از رودخانه‌های اصلی، شاخص رطوبت توپوگرافی، نقشه‌های کاربری، نوع خاک، پوشش گیاهی و نرخ فرسایش استفاده کردند-نتایج این تحقیق نشان داد، که ۹۵/۱۶ درصد از مناطق

سیل زده واقعی به عنوان کلاس‌های خطر سیل بسیار زیاد و زیاد طبقه‌بندی شده‌اند. ها و کانگ<sup>۱</sup> (۲۰۲۲) نیز تغییرات اقلیمی را مهم‌ترین عامل در افزایش خطر سیلاب در مناطق شهری می‌دانند. در این مطالعه، با استفاده از چندین روش داده‌کاوی، سیل‌خیزی شهر متروپولیتن بوسان<sup>۲</sup> را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد، که سیل با بارندگی کمتری نسبت به دوره بازگشت ۱۰ ساله رخ دهد. تانیم<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۲) نیز از طریق وارد کردن تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 با روش‌های مختلف ماشین یادگیری تحت نظارت و بدون نظارت از جمله RF, SVM, MLC به شناسایی مناطق سیل‌خیزی شهر سن دیگو، کالیفرنیا، ایالات متحده<sup>۴</sup> پرداختند. که نتایج آن‌ها نشان داد، روش طبقه‌بندی، عملکرد بهتری را جهت تهیه نقشه خطر سیلاب ارائه می‌دهد. در بسیاری از مطالعات داخلی نیز به ارزیابی و استفاده از روش‌های فازی و یا روش‌های آماری با استفاده از روش‌های داده‌کاوی به بررسی خطر سیل پرداخته شده است. لذا با توجه به اهمیت موضوع مدیریت سیل‌های سالیانه و مطالعات اندک در حوضه مورد مطالعه زهره-جراحی در جنوب غرب ایران به عنوان یکی از کلان حوضه‌های آبریز که به دلیل شرایط خاص اقلیمی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی دارای پتانسیل بالایی از جنبه سیل‌خیزی می‌باشد. لذا هدف این مطالعه ضمن پهنه‌بندی مناطق پر خطر جهت مدیریت بهینه سیلاب‌ها با استفاده از روش سلسله‌مراتب فازی و استفاده از داده‌های سنجش از دور، به شناسایی شاخص‌های مؤثر در رخداد سیل‌خیزی نیز در حوضه مورد مطالعه می‌پردازد.

### روش پژوهش

در این پژوهش برای پیش‌بینی خطر سیل، از روش وزن‌دار شده فازی (FAHP) در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 استفاده شده است. این روش در بررسی پتانسیل سیل‌خیزی مناطق، استفاده شده است. این روش در واقع، یک روش پیش‌بینی است که با استفاده از منطق فازی و قواعد دانش فازی، به تحلیل داده‌های پیشین و پیش‌بینی آینده می‌پردازد. در این روش، با توجه به توزیع‌های احتمالی داده‌ها و نیز شرایط محیطی، اطلاعاتی در مورد پتانسیل مناطق برای وقوع سیلاب در آینده به دست می‌آید. در تحقیق حاضر برای اجرای روش فازی، ابتدا برای تعیین معیارها و زیر معیارهای مؤثر بر سیلاب، باید یک لیست از معیارهای احتمالی بر اساس مطالعات پیشین جمع‌آوری شود (Shirani & Zakerinejad, 2021; Parsian et al., 2021; Ha & Kang, 2022). این معیارها می‌توانند شامل عواملی مانند بارش باران، سرعت باد، دمای هوا، شیب سطح زمین، نوع خاک و غیره باشند. در پژوهش حاضر ۴ معیار پوشش زمین، هیدرو اقلیم، زمین‌شناسی و توپوگرافی در نظر گرفته شدند، سپس برای هر معیار، چندین زیر معیار مرتبط با آن تعیین می‌شود (شکل ۲). جدول ۱ شاخص‌ها و منابع تهیه داده‌های مورد نیاز برای هر یک از آن‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه حوضه مورد مطالعه یکی از کلان حوضه‌های آبریز در جنوب غرب ایران بوده که در انتخاب معیارها و زیر معیارها در درجه اول با توجه به اهمیت و همچنین در دسترس بودن داده‌ها و بر اساس مطالعات قبلی و نظرات کارشناسان صورت گرفت. در این روش، ورودی‌ها و خروجی‌ها به صورت متغیرهای فازی در نظر گرفته می‌شوند و به جای استفاده از توابع قطعی، از توابع عضویت فازی برای تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌ها استفاده می‌شود. برای فازی سازی لایه‌های رقومی، ابتدا باید توابع عضویت فازی را برای متغیرهای ورودی و خروجی تعریف کرد. سپس با استفاده از این توابع، عملیات‌های ریاضی مانند جمع، ضرب و تفریق بر

1. Ha& Kang

2. Busan

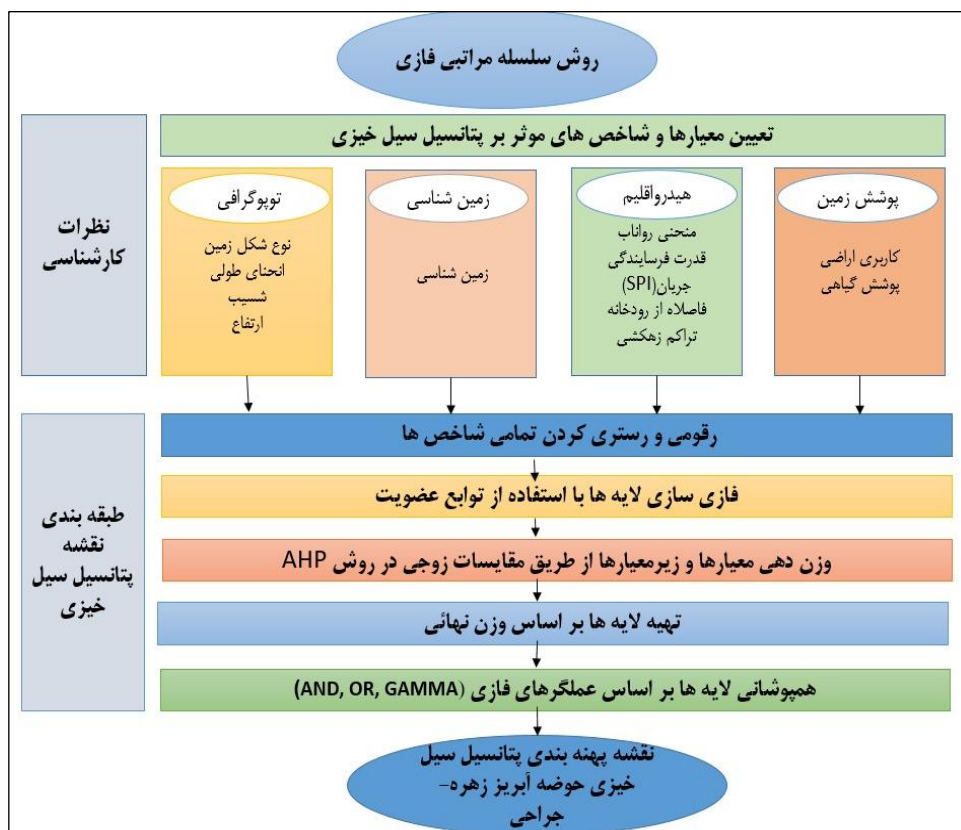
3. Tanim

4. San Diego, CA, USA

روی متغیرهای فازی انجام می‌شود تا به خروجی موردنظر دست پیدا کنیم. در این مطالعه ۱۵ نفر از متخصصین و کارشناسان در زمینه مرتبط با هیدرولوژی و سیلاب جهت وزن دهی و تکمیل پرسشنامه مقایسات زوجی انتخاب گردید.

### وزن دهی معیارها و زیر معیارها از طریق مقایسه زوجی در روش تحلیل سلسله‌مراتبی

در روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، برای وزن دهی به معیارها و زیرمعیارها از مقایسه زوجی استفاده می‌شود. در واقع در ارزیابی چند معیاره، وزن دهی باعث می‌شود، که لایه‌های مختلف ارزش‌های متفاوتی پیدا کنند و از این طریق تجزیه و تحلیل‌ها با دقت بیشتری صورت گیرد (Mokarram & Hojjati., 2017).



شکل ۱. مراحل اجرای روش فازی در شناسایی مناطق دارای پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز زهره - جراحی

در این روش، ابتدا باید هر معیار و زیرمعیار را با دیگر معیارها و زیرمعیارها مقایسه کرد و نسبت اهمیت و وزن آن‌ها را تعیین کرد. برای این منظور، با استفاده از یک ماتریس مقایسه زوجی، باید نسبت اهمیت بین دو معیار یا دو زیرمعیار را از ۱ تا ۹ برای هر زوج مقایسه کرد. عدد ۱ به معنای برابری دو معیار-زیرمعیار است، و عدد ۹ به معنای اینکه یک معیار-زیرمعیار نسبت به دیگری بسیار مهم‌تر است. مرحله دوم شامل تکمیل ماتریس امتیازهای مدل می‌باشد. مرحله سوم نرمال‌سازی است که برای اینکه مجموع وزن معیارهای انتخاب‌شده برابر با یک شود، این فرآیند نرمال‌سازی بر روی ماتریس مقایسه زوجی اعمال شد و تعیین وزن با تقسیم مقدار هر معیار از ستون با مجموع ستون مربوطه محاسبه شد (Abtahee et al,2022; Acharya et al,2023). در انتها با توجه به وزن دهی معیارها و اهمیت نسبی معیارها و زیرمعیار (شاخص‌ها) از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به دست می‌آید.

## تهیه لایه‌ها بر اساس وزن نهایی

در روش فازی برای پیش‌بینی سیلاب، می‌توان با استفاده از وزن‌های نهایی که از روش تحلیل سلسله‌مراتبی به دست می‌آید، لایه‌های مختلفی از پیش‌بینی سیلاب تهیه کرد. برای تهیه این لایه‌ها، می‌توان از الگوریتم‌های مختلفی مانند الگوریتم فازی استفاده کرد. با استفاده از الگوریتم فازی و با در نظر گرفتن وزن‌های تخصیص داده شده به هر یک از عوامل، لایه‌های پیش‌بینی برای هر یک از عوامل تهیه می‌شود. سپس با ترکیب این لایه‌ها، پیش‌بینی کلی برای سیلاب به دست می‌آید. لایه‌های تهیه شده برای هر یک از عوامل ممکن است، شامل مقادیر مختلفی باشد که می‌توان از آن‌ها برای پیش‌بینی سطح سیلاب استفاده کرد. با استفاده از عملگرهای فازی (AND, OR, GAMMA) و با در نظر گرفتن وزن‌های تخصیص داده شده به هر یک از عوامل، لایه‌های پیش‌بینی برای هر یک از عوامل تهیه می‌شود. سپس با ترکیب این لایه‌ها، پیش‌بینی کلی برای سیلاب به دست می‌آید.

جدول ۱. شاخص‌های مورداستفاده در پهنه‌بندی خطر سیل حوضه آبخیز زهره-جراحی

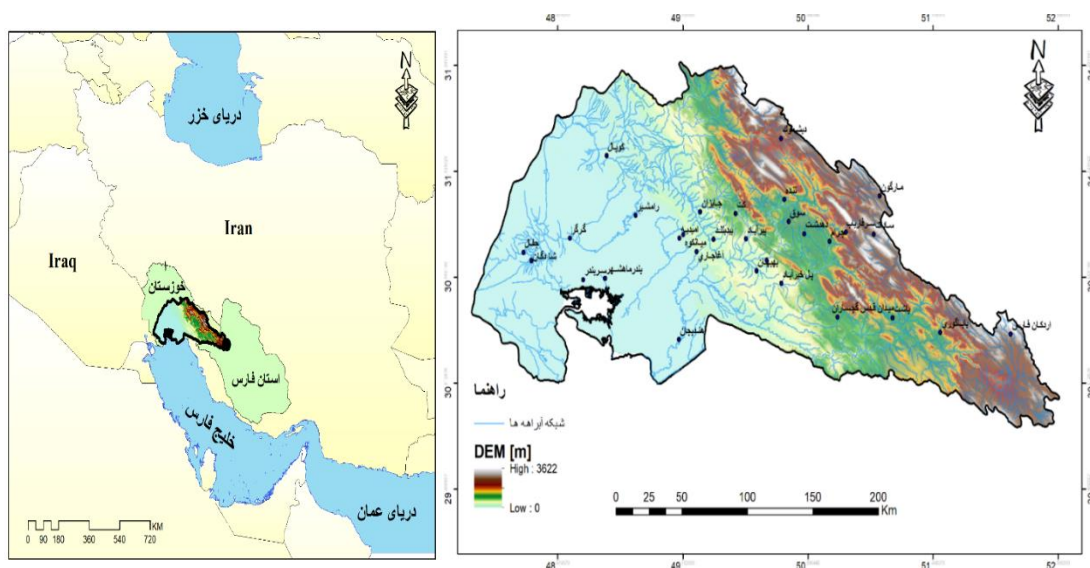
ردیف	نام لایه اطلاعاتی	منبع
۱	نقشه رقمی ارتفاع	تصاویر دانلود شده از ماهواره لندست ۸، <a href="https://earthexplorer.usgs.gov">https://earthexplorer.usgs.gov</a>
۲	شیب	استخراج از نقشه رقمی ارتفاع
۳	تراکم زهکشی	استخراج از نقشه رقمی ارتفاع
۴	فاصله از رودخانه	استخراج از نقشه تراکم زهکشی
۵	قدرت جریان (SPI)	استخراج از نقشه رقمی ارتفاع
۶	رطوبت توپوگرافی (TWI)	استخراج از نقشه رقمی ارتفاع
۷	شاخص استاندارد پوشش گیاهی (NDVI)	تصاویر دانلود شده از ماهواره لندست ۸، <a href="https://earthexplorer.usgs.gov">https://earthexplorer.usgs.gov</a>
۸	بارش	سازمان آب و هواشناسی کشور
۹	دما	سازمان آب و هواشناسی کشور
۱۰	کاربری اراضی	سازمان منابع طبیعی
۱۱	نوع شکل زمین	سازمان منابع طبیعی
۱۲	زمین‌شناسی	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات کشور
۱۳	منحنی رواناب	GCN250m: Global Hydrologic Curve Number Explorer
۱۴	بافت خاک	<a href="https://www.Fao.org">https://www.Fao.org</a>
۱۵	رده‌بندی خاک	<a href="https://www.Fao.org">https://www.Fao.org</a>

## منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه زهره-جراحی از برجسته‌ترین حوضه‌های نفتی در زاگرس است. این حوضه با وسعت ۴۰۷۸۷ کیلومتر مربع بین عرض جغرافیایی "۲۹°۳۹'۴۴" تا "۳۱°۴۵'۳۸" شمالی و طول جغرافیایی "۴۸°۱۲'۲۶" تا "۵۳°۱۹' شرقی" واقع شده است. از گسل‌های منطقه می‌توان به گسل‌های آغاچاری، میشان و بخش‌هایی از گسل‌های کازرون، رگ سفید، اهواز و گسل فروافتادگی دزفول اشاره کرد (قنوتی و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۲۵). حوضه آبخیز رودخانه‌های زهره-جراحی یکی از حوضه‌های آبخیز درجه‌دو کشور و بخشی از حوضه آبخیز خلیج فارس و دریای عمان است. حدود ۶۰ درصد از حوضه در استان خوزستان و به ترتیب ۲۶/۸ و ۱۳/۳ درصد از آن، در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و فارس و بخش‌های بسیار کوچکی در حدود ۰/۱ درصد از آن در استان بوشهر و استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است (شکل ۱). از نظر اقلیمی، حوضه آبخیز رودخانه زهره-جراحی از محدوده بیابانی گرم تا مرطوب سرد متغیر است، که بیشترین میزان بارش



در قسمت‌های شرقی حوضه و در ارتفاعات این منطقه با میانگین ۱۰۰۰-۷۵۰ میلی‌متر می‌باشد. کمترین میزان بارندگی را در مناطق پست جلگه خوزستان با میانگین ۵۰-۲۵۰ میلی‌متر است. به‌طور کلی بر اساس داده‌های بارش (۱۳۸۶-۱۳۹۸) میانگین مقدار بارندگی از غرب به شرق حوضه آبخیز افزایش می‌یابد (زندى فر و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۱۲). درجه حرارت حوضه آبخیز زهره - جراحی بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی برای دوره زمانی مورد مطالعه (۱۳۸۶-۱۳۹۸) نشان می‌دهد که به‌طور میانگین دمای محیط در قسمت‌های شرق و شمال شرق با اقلیم نیمه‌خشک به‌طور میانگین بین ۱۲-۶ درجه سانتی‌گراد است. در قسمت‌های شمال شرق به‌طرف مرکز حوضه میانگین دما بین ۱۲-۱۸ درجه، قسمت‌های مرکزی نیز میانگین ۲۴-۱۸ درجه می‌باشد. این کلان حوضه آبریز دارای رخدادهای سیل فراوانی در دهه‌های گذشته بوده است (شیرانی و ذاکری نژاد، ۲۰۲۰).



شکل ۲. حوضه آبخیز مورد مطالعه (زهره-جراحی)

## یافته‌ها

همان‌طور که ذکر شد، جهت تهیه نقشه پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز مورد مطالعه بعد از تهیه لایه‌های شاخص‌های مورد مطالعه اقدام به فازی سازی هر یک از شاخص‌های مورد مطالعه گردید، که در شکل ۳ نقشه‌های فازی سازی این لایه آورده شده است (شکل ۳).

## لایه رقومی ارتفاع

ارتفاع زمین (Elevation) یکی از عوامل مؤثر در شدت و حجم سیلاب‌های رودخانه‌ای است. این امر به دلیل تأثیر آن بر شیب سطح زمین و نیز میزان جذب و نفوذ آب در بافت خاکی است. ارتفاع زمین در صورتی که بالاتر باشد، می‌تواند منجر به شیب بیشتر سطح زمین شده و علاوه بر این، خاک در مناطق مرتفع نفوذپذیری کمتری دارد. در پژوهش حاضر لایه رستری ارتفاع نشان‌دهنده سطح توپوگرافی زمین بایر به‌استثنای درختان، ساختمان‌ها و سایر اشیاء سطحی است. تهیه این لایه برای حوضه آبخیز مورد مطالعه با استفاده از تصاویر داندلود شده از ماهواره لندست ۸ موجود در سایت <https://earthexplorer.usgs.gov> با قدرت تفکیک ۱۲ متر انجام شد. رابطه فازی خطی افزایشده (Linear) جهت تعیین عضویت این لایه استفاده شده است. ارتفاع متوسط حوضه‌های آبریز مورد مطالعه از سراب حوضه (نواحی جنوب شرقی)

به طرف پایاب حوضه (نواحی جنوب غرب) کاهش می‌یابد. ارتفاع متوسط حوضه آبریز ۷۰۶/۶۸ متر است. بیشترین ارتفاع حوضه آبریز رودخانه‌های هندیجان- جراحی ۳۷۱۸ متر از سطح دریا در شرق حوضه در کوه رنج و پست‌ترین نقطه در پایاب رودخانه‌های زهره- جراحی هم‌تراز با سطح خلیج فارس می‌باشد. ۵۶/۸ درصد از مساحت حوضه را ارتفاعات و ۴۳/۲ درصد از دشت تشکیل شده است. میزان ارتفاع از مناطق غرب به سمت شرق منطقه دارای شیب افزایشی است (شکل ۳- الف).

#### لایه شیب

شیب (Slope) حوضه آبریز رودخانه‌های اصلی تا ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه آبریز رودخانه‌های زهره-جراحی بین ۴/۰ تا ۴۶/۲ درصد متغیر است. شیب رودخانه‌های زهره و جراحی که دو رودخانه اصلی این حوضه می‌باشند معادل ۰/۳ درصد بوده و همچنین شیب متوسط حوضه آبریز رودخانه جراحی تا ایستگاه رامشیر ۲۱ درصد و در حوضه آبریز رودخانه زهره تا ایستگاه ده‌ملا ۱۹/۹ درصد محاسبه شده است. از نظر تراکم و الگوی آبراهه‌ها، در محدوده ارتفاعات و مناطق مرتفع آبراهه‌ها به صورت موازی و در مناطق نیمه مرتفع و کوهپایه‌ها و تپه‌ماهوری به صورت شاخه درختی و در دشت‌ها و محدوده‌های کم شیب به صورت بادبزی است، که آب‌های سطحی و زیرزمینی را زهکشی می‌نمایند. با توجه به رابطه مستقیم این پارامتر با سیل‌خیزی از یک رابطه خطی افزایشده (Linear) با در نظر گرفتن مقادیر زیر جهت تعیین عضویت این لایه استفاده شده است. با افزایش شیب تا ۷۰ درصد پتانسیل وقوع سیلاب افزایش می‌یابد و از شیب ۷۰ درصد به بالا روند افزایشی ثابت می‌شود (شکل ۳-ب).

#### لایه تراکم زهکشی (Drainage density)

تراکم زهکشی عبارت است از طول کلی آبراهه در هر واحد سطح حوضه آبخیز موردنظر که به عواملی نظیر لیتولوژی، نفوذپذیری، پوشش گیاهی، طول شاخه‌ها در آبراهه بستگی دارد. با وجود اینکه آبراهه‌ها بخش مهم و پویای محیط طبیعی هستند، عامل فرسایش، حمل رسوب و انتقال آب از بخش‌های مرتفع به نواحی پست می‌باشد. تراکم زهکشی تعادل بین نیروهای فرسایش و مقاومت مواد تشکیل‌دهنده سطح زمین را نشان می‌دهد (علیزاده، ۱۳۸۷: ۷۸۹). این لایه با استفاده از نقشه پایه طول آبراهه‌های بیش از ۳۰۰۰ متر و رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

$$\mu = \frac{\sum Li}{A} \quad \text{رابطه ۱}$$

$\mu$  = تراکم شبکه زهکشی برحسب کیلومتر بر کیلومتر مربع.

$Li$  = طول آبراهه‌ها (دائمی و موقتی) برحسب کیلومتر.

$A$  = مساحت حوضه برحسب کیلومتر مربع. (علیزاده، ۱۳۸۷: ۷۹۰).

این پارامتر با سیل‌خیزی رابطه معکوس دارد (علیزاده، ۱۳۸۷: ۷۸۸)، بنابراین از رابطه معکوس و کاهنده (Small) در تعیین عضویت این لایه استفاده شد، بنابراین از رابطه معکوس و کاهنده (Small) در تعیین عضویت این لایه استفاده می‌شود. روش کمینه Small در مکان‌یابی با عملگر فازی زمانی استفاده می‌شود، که پیکسل‌های با ارزش کوچک‌تر اهمیت داشته باشند، در نتیجه پیکسل‌های با ارزش کمتر از درجه عضویت بهتری برخوردار خواهند بود. همان‌طور که شکل ۳-پ نشان می‌دهد، در قسمت‌های مرکزی و غرب و شمال غربی تراکم زهکشی بیشتری دیده می‌شود و قسمت‌های شرق و جنوب حوضه تراکم زهکشی کمتری نسبت به سایر قسمت‌های حوضه را نشان می‌دهد.

### لایه بارش

بارش (Perception) شدید می‌تواند تأثیر قابل توجهی در وقوع سیلاب در مناطق سیل‌گیر و سیل‌خیز داشته باشد. به‌طور کلی، بیش از ۷۰٪ سیلاب‌ها ناشی از بارش شدید هستند. در واقع، وقوع سیلاب به دلیل افزایش جریان آب در رودخانه‌ها و سایر مسیرهای آبی است (علیزاده، ۱۳۸۷: ۷۸۳). برای تهیه این لایه از داده‌های متوسط بارندگی سالانه سازمان هواشناسی برای دوره زمانی ۱۳۸۶-۱۳۹۸ استفاده گردید، که لایه رستری نیز با استفاده از رگرسیون ارتفاع-متوسط بارندگی سالانه تهیه گردید. پس برای فازی سازی نقشه بارش از عملگر فازی (Large) خطی و افزایش یافته استفاده شده است. عملگر Large برعکس عملگر Small زمانی استفاده می‌شود، که پیکسل‌های بارش‌های بزرگ‌تر از اهمیت بالاتری برخوردار باشند. بیشترین میزان بارش در قسمت‌های شرقی حوضه و در ارتفاعات این منطقه با میانگین ۱۰۰۰-۷۵۰ میلی متر می‌باشد و کمترین میزان بارندگی را در مناطق پست جلگه خوزستان با میانگین ۵۰-۲۵۰ میلی‌متر است. به‌طور کلی بر اساس داده‌های بارش دوره زمانی (۱۳۸۶-۱۳۹۸)، میانگین مقدار بارندگی از غرب به شرق حوضه آبخیز افزایش می‌یابد. در منطقه مورد بررسی کمترین میزان بارش ۱۵۰ میلی‌متر و بیشترین میزان آن ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد، میزان بارندگی از غرب به شرق حوضه افزایش می‌یابد (شکل ۳-ت).

### فاصله از رودخانه

آستانه فاصله از رودخانه (Distance from river) به‌عنوان یک مرز فاصله بین رودخانه و سایر مناطق، به‌منظور جلوگیری از فروپاشی سواحل و نفوذ آب به مناطق اطراف رودخانه تعیین می‌شود. با تعیین آستانه حریم رودخانه، احتمال بروز سیلاب در مناطق سکونت پذیر کنترل شده و زمین‌های کشاورزی و شهری از تخریب و خسارت‌های ناشی از سیلاب محافظت می‌شوند (Lane, 2017). رابطه بین فاصله از رودخانه و پتانسیل وقوع سیلاب یک رابطه معکوس می‌باشد، به این معنی که هر چه از رودخانه‌ها فاصله می‌گیریم، پتانسیل وقوع سیلاب کاهش می‌یابد. به همین منظور برای فازی سازی نقشه فاصله از رودخانه از تابع منحنی Linear کاهشی استفاده می‌کنیم (سهام عمده رواناب در محدوده مورد مطالعه در قسمت‌های مرکزی، غربی و جنوبی تخلیه می‌شود و بیشترین ارزش فازی (۱ تا ۰/۷۵) مربوط به مناطق با فاصله ۵۰ متر می‌باشد. یعنی مناطقی که در بسترهای سیلابی قرار دارند و بیشترین پتانسیل وقوع سیل در این حریم‌ها می‌باشد (شکل ۳-ت).

### پوشش تفاضل نرمال گیاهی

وقوع سیل رابطه معکوس با تراکم پوشش گیاهی (NDVI) دارد. بدین صورت که هرچه پوشش گیاهی پرتراکم‌تر باشد شدت رواناب کاهش یافته و در نتیجه پتانسیل سیل‌خیزی کاهش می‌یابد (Nguyen, 2022: 2798). بالعکس در مناطقی که فاقد پوشش گیاهی و یا تراکم کم پوشش گیاهی دارند شدت رواناب افزایش یافته و در نهایت موجب افزایش احتمال سیل‌خیزی در منطقه می‌شود. بنابراین می‌توان بیان کرد که، شاخص پوشش گیاهی یکی از عوامل مهم در سیل‌خیزی منطقه است. به همین منظور با استفاده از تصاویر ماهواره (OLI) لندست ۸ (دسامبر ۲۰۲۲) نقشه NDVI منطقه تهیه شد. پس از انجام پیش‌پردازش، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از رابطه ۲ به دست آمد.

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R}$$

رابطه ۲

در این رابطه IR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵) و R باند قرمز (باند ۴) و NDVI شاخص تفاضل شده پوشش گیاهی است (ذاکری نژاد، ۱۳۹۹). نقشه NDVI منطقه نشان می‌دهد که در مناطق شمال، جنوب غرب و مرکز حوضه پوشش گیاهی ضعیف و در مناطق کوهستانی شرق، غرب و جنوب غرب منطقه پوشش گیاهی مناسبی داریم (شکل ۳-ج).

### شاخص قدرت جریان آبراهه

شاخص قدرت جریان آبراهه (Stram Power Index) جهت اندازه‌گیری قدرت فرسایشی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص بر اساس شیب و مساحت حوضه آبخیز محاسبه می‌شود. این شاخص مکان‌هایی را مشخص می‌کند که ممکن است در آن‌ها خندق به چشم بخورد (Siam, 2022:5). برای فازی سازی نقشه شاخص قدرت جریان از عملگر Large بر اساس پارامترهای زیر استفاده شد. نقشه فازی شده شاخص قدرت جریان نشان می‌دهد که بیشترین قدرت فرسایش جریان را در قسمت‌های شرقی، جنوبی و مرکزی حوضه می‌توان مشاهده کرد (شکل ۳-چ).

### شاخص رطوبت توپوگرافی

این شاخص که به عنوان شاخص توپوگرافی مرکب (CTI) نیز شناخته می‌شود، یک شاخص رطوبت پایدار است. معمولاً برای تعیین کمی کنترل توپوگرافی روی فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. شاخص تابعی از شیب و مساحت بالادست است و با استفاده از نقشه DEM منطقه تهیه شده است. شاخص رطوبت توپوگرافی با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$TWI = \ln\left(\frac{As}{\tan(\beta)}\right) \quad \text{رابطه ۳}$$

As = مساحت حوضه

(β) = گرادیان شیب بر حسب درجه (Meles, 2020).

برای فازی سازی نقشه شاخص قدرت جریان از عملگر Linear بر اساس پارامترهای زیر استفاده شد. نقشه فازی شده شاخص رطوبت توپوگرافی نشان می‌دهد که بیشترین میزان این شاخص در قسمت غربی و شمال غربی حوضه و کمترین مقدار آن در قسمت مرتفع و پرشیب منطقه (شرق، مرکز و جنوب) مشاهده می‌شود (شکل ۳-ح).

### منحنی رواناب

عدد منحنی رواناب (Curve Number) (به اختصار CN نامیده می‌شود) یک پارامتر تجربی است، که در هیدرولوژی برای پیش‌بینی رواناب مستقیم یا مقدار نفوذ حاصل از ملازاد بارش استفاده می‌شود. روش عدد منحنی توسط سازمان حفاظت منابع طبیعی USDA<sup>۲</sup> ارائه شده است که قبلاً سازمان حفاظت خاک یا (SCS<sup>۳</sup>) نامیده می‌شده است. برای تهیه این لایه اطلاعاتی از نقشه کاربری اراضی، پوشش گیاهی و خاک استفاده شده است. در این تحقیق از داده‌های عدد منحنی با دقت ۲۵۰ متر که به صورت جهانی و رایگان می‌باشد استفاده گردید (Jaafar et al., 2019). مقدار رواناب تولیدی با سیل‌خیزی رابطه مستقیمی دارد و صرف‌نظر از سایر فاکتورها هر چه در منطقه‌ای تولید رواناب بیشتر باشد احتمال سیل‌خیزی افزایش می‌یابد. عملگر Small برعکس عملگر Large زمانی استفاده می‌شود که پیکسل‌های بارزش‌های کوچک‌تر از اهمیت بالاتری برخوردار باشند. نقشه فازی منحنی رواناب حوضه نشان می‌دهد بیشترین مقدار رواناب در شمال، مرکز و غرب

1. Compound Topographic Index

2. United States Department of Agriculture

3. Soil Conservation Service

منطقه هستند که نفوذپذیری خاک در این مناطق پایین بوده و اکثر بارندگی که در ارتفاعات منطقه اتفاق می‌افتد در مناطق ذکر شده به صورت رواناب جاری می‌شود. برای تهیه نقشه فازی از عملگر فازی Small بر اساس پارامترهای زیر استفاده شده است (شکل ۳-خ).

### انحنای طولی

انحنای طولی (Longitudinal curvature) شیب به درجه خمیدگی و یا انحنای سطح زمین اشاره دارد، معمولاً در نقشه‌های زمین‌شناسی نشان داده می‌شود. این مفهوم در تحلیل‌های جغرافیایی و مدل‌سازی محیط‌زیستی به کار می‌رود تا درک بهتری از اینکه چگونه شکل‌دهی زمین در طول زمان اتفاق می‌افتد و چگونه می‌تواند فرایندهای طبیعی مختلفی مانند جریان آب، فرسایش و حمل رسوب را تحت تأثیر قرار دهد. میزان انحنای طولی شیب می‌تواند سرعت و چگونگی جریان آب روی سطوح طبیعی زمین تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه خطر سیل‌خیزی را در برخی مناطق افزایش دهد. به‌عنوان مثال، شیب‌های مقعر با انحنای طولی پس از بارش شدید ریزشی، جریان آب می‌تواند با سرعت زیادی به سمت پایین حرکت کند و خطر سیلاب را افزایش دهد. شیب‌های صاف و محدب با انحنای طولی کم به‌عنوان مناطق سیل‌گیر شناخته می‌شوند (Costache, 2019).

رابطه این پارامتر با سیل‌گیری مستقیم می‌باشد، بنابراین از رابطه‌ای خطی و افزایش‌دهنده عملگر فازی Linear در تعیین عضویت لایه انحنای طولی استفاده شده است. نقشه انحنای طولی منطقه نشان می‌دهد بیشترین انحنای طولی در قسمت‌های شرقی، مرکزی و جنوبی حوضه آبخیز به دلیل شیب کوهستان‌ها می‌باشد (شکل ۳-د).

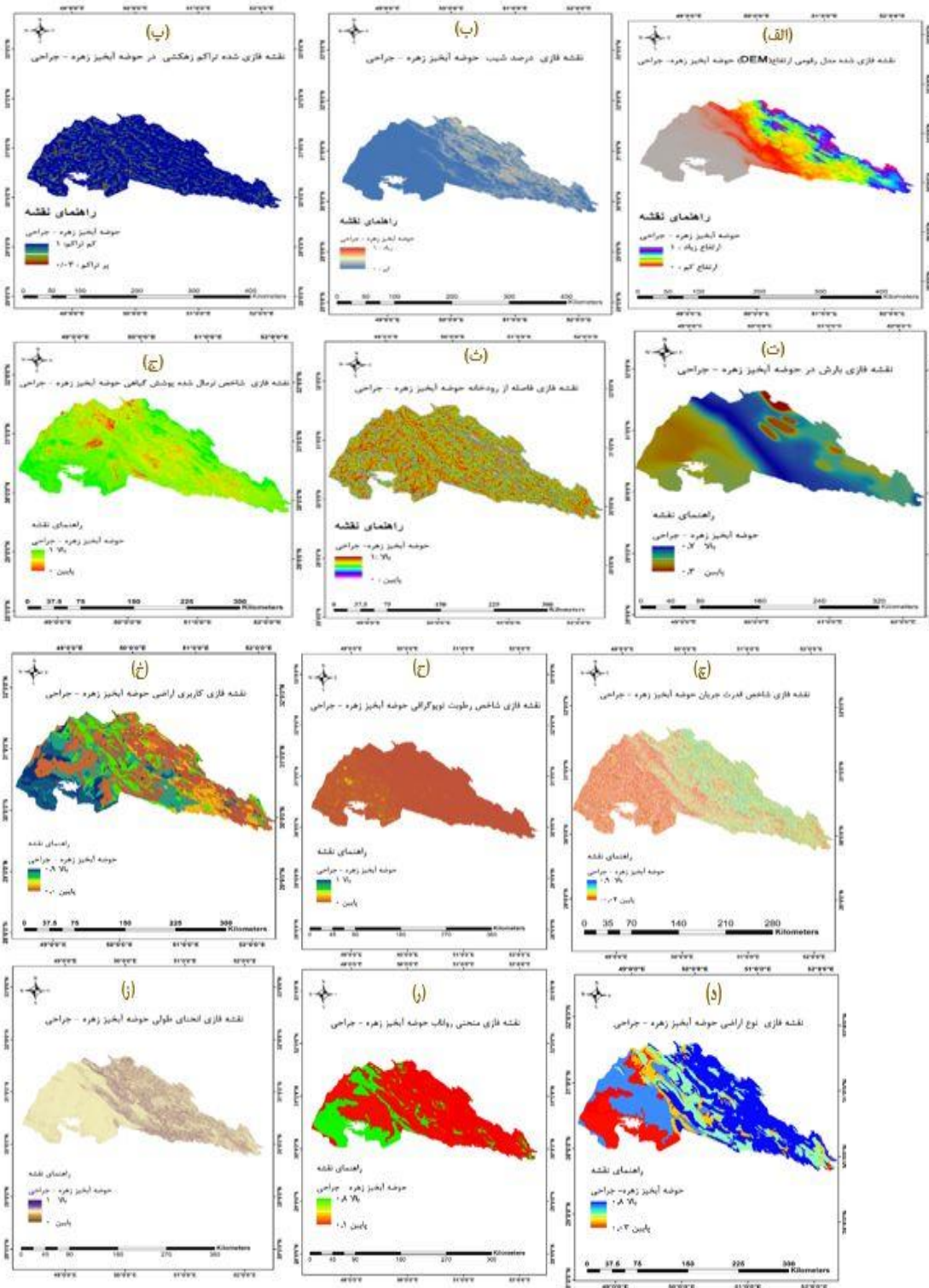
### کاربری اراضی

قسمت زیادی از حوضه مورد مطالعه در مناطق کوهستانی اراضی مخلوط پوشانده است، در این مناطق سکونت‌گاه‌های روستایی به صورت متراکم پراکنده شده‌اند که، شامل قسمت‌هایی از مرکز، شمال شرق، شرق و جنوب شرق حوضه می‌شود. قسمت‌های غربی حوضه اراضی پست و دشت‌های آبرفتی و رودخانه‌ای قرار دارند (زمین‌های کشاورزی مرغوب و مراتع بیشتر در قسمت‌های دشت‌های آبرفتی قرار دارند). در منطقه مورد مطالعه ۹ نوع کاربری اراضی تعیین شده است (سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، ۱۳۹۸). (جدول ۲). همان‌طور که نقشه فازی شده نشان می‌دهد که، قسمت‌های مرکزی و غربی منطقه بیشترین و مناطق شرقی کمترین پتانسیل از نظر سیل‌خیزی را دارند (شکل ۳-ر).

### نوع شکل اراضی و زمین‌شناسی منطقه

لندفرم‌های شکل طبیعی زمین، از جمله کوهستان‌ها، دشت‌ها، رودخانه‌ها و سواحل، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر وقوع سیلاب در مناطق سیل‌گیر و سیل‌خیز دارند. این تأثیرات به دلیل ایجاد تغییرات موضعی در شدت و مدت‌زمان بارندگی و نیز هدایت آب‌های سطحی و زیرزمینی به سمت حوضه آبریزها و رودخانه‌ها است. وجود جنگل‌ها، مراتع و زمین‌های کشاورزی در منطقه سبب کاهش شدت سیلاب و افزایش زمان پاسخگویی حوضه‌های آبریز به بارش‌های شدید می‌شود. همچنین، استفاده از سدها و تأسیسات آبیاری در بالادست رودخانه‌ها می‌تواند سبب افزایش شدت سیلاب و خطرات مرتبط با آن شود (Poff et al., 2006). همان‌طور که نقشه ۳-ز نشان می‌دهد، بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی در مناطق شرقی و مرکزی که تیپ اراضی آن‌ها از نوع کوهستان و آبرفت‌های بادبزی است دیده می‌شود. در منطقه مورد مطالعه برای تهیه نقشه فازی زمین‌شناسی امتیازدهی به واحدهای زمین‌شناسی بر اساس چگونگی نفوذپذیری آن‌ها انجام شده است و در ۸ کلاس

تقسیم‌بندی شدند (حسنوند و همکاران ۱۴۰۰؛ احمدی ۱۳۷۸)، به‌گونه‌ای که به واحدهای با نفوذپذیری بیشتری امتیاز کمتر و به واحدهایی با نفوذپذیری کمتری امتیاز بیشتری برای داشتن پتانسیل سیل‌خیزی داده‌شده است (یمانی، ۱۳۸۴: ۴۹). (جدول ۴ و شکل ۳-۳).



شکل ۳. نقشه شاخص‌های فازی سازی لایه‌های مورد استفاده

جدول ۲. ارزش فازی و مساحت نوع اراضی در حوضه آبخیز زهره - جراحی

نوع تپ اراضی	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)	وزن فازی
هور و تالاب، اراضی باتلاقی، آبخوان و رخنمون سنگی	۷۰/۸۴۵	۴/۹۱	۰/۹
محدوده شهر	۲۳۳/۳۵۰	۱۶/۱۸	۰/۸
اراضی شور، فاقد پوشش گیاهی و بوته‌زار	۳۰۸/۸۱۹	۲۱/۴۲	۰/۷
مراتع فقیر و اراضی آیش	۱۳۷/۰۷۱	۹/۵۰	۰/۶
مراتع متوسط	۲۱۰/۹۸۰	۱۴/۶۳	۰/۵
جنگل‌های با پوشش خیلی کم	۲۳۳/۹۳۲	۱۶/۲۲	۰/۴
زمین‌های زراعی آبی و دیم	۱۵۷/۶۱۸	۱۰/۹۳	۰/۳
مراتع متوسط و خوب	۶/۹۵۳	۰/۴۸	۰/۲
اراضی باغی و جنگل‌های دست کاشت	۸۲/۰۴۰	۵/۶۹	۰/۱

جدول ۳. ارزش فازی و مساحت نوع شکل اراضی در حوضه آبخیز زهره - جراحی

کاربری اراضی	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)	وزن فازی
کوه	۵۱۳/۴۸۸	۳۵/۵۹	۰/۹
آبرفت‌ها و واریزه‌های بابزنی شکل	۳۰/۵۷۴	۲/۱۱	۰/۸
دشت‌های آبرفتی و رودخانه‌ای	۲۷۵/۱۶۸	۱۹/۰۷	۰/۷
تپه	۲۴۹/۱۶۵	۱۷/۲۷	۰/۶
فلات و تراس‌های فوقانی، دشت‌های دامن‌هایی	۱۲۱/۲۷۳	۸/۴۰	۰/۵
دشت سیلابی و اراضی پست	۱۹۵/۸۸۳	۱۳/۵۷	۰/۴
اراضی متفرقه، مخلوط و مناطق مسکونی	۵۷/۱۰۸	۳/۹۵	۰/۳

جدول ۴. میزان نفوذپذیری و مساحت سازندهای زمین‌شناسی تشکیل‌دهنده حوضه آبخیز زهره - جراحی

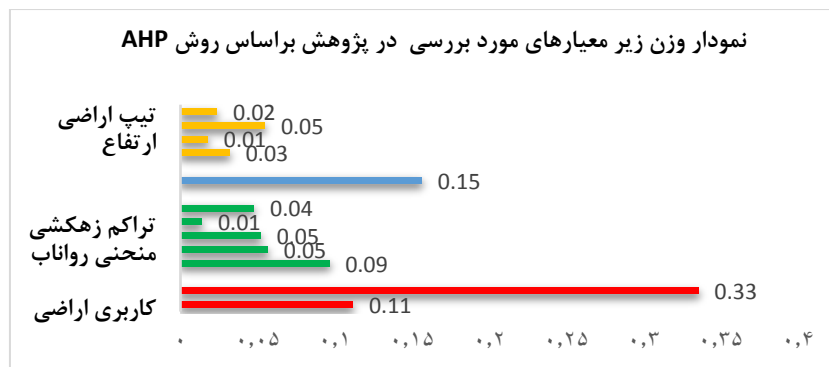
وزن فازی	مساحت (کیلومتر مربع)	میزان نفوذپذیری	نام سازند
۰/۹	۳۷۶/۳۴	غیرقابل نفوذ	گوربی پایده
۰/۸	۳۱۷/۸۹	نفوذپذیری ضعیف	گچساران آغاچازی رادیولاریت کرمان
۰/۷	۲۵۸/۲۶	نفوذپذیری نسبتاً ضعیف	خامی بنگستان تارپور آسماری
۰/۶	۴۴/۰۶	نفوذپذیری نسبتاً متوسط	میشان
۰/۵	۶۹۱/۹۲	نفوذپذیری متوسط	ماسه سنگ پادگانه‌های آبرفتی کژدمی
۰/۴	۰/۶۸	نفوذپذیری نسبتاً خوب	فهلپیان رازک
۰/۳	۸/۴۳	نفوذپذیری خوب	آسماری چهارم چهرم (Eja)
۰/۲	۶۳/۴	نفوذپذیری بسیار عالی	بختیاری (Pibk)

وزن دهی لایه‌های فازی

پس از فازی سازی نقشه‌های رقومی، وزن دهی معیارها و زیر معیارهای پژوهش بر اساس روش AHP، شامل بررسی ۴ معیار توپوگرافی (شیب، ارتفاع، انحنای طولی، نوع شکل اراضی)، هیدرو اقلیم (بارندگی، منحنی رواناب، شاخص قدرت جریان، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه)، زمین‌شناسی و پوشش زمین (کاربری اراضی، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی) صورت پذیرفت (شکل ۴ و جدول ۵).

جدول ۵. معیارها و وزن محاسبه شده بر اساس روش AHP از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی

معیارها	توپوگرافی	هیدرو اقلیم	زمین‌شناسی	پوشش زمین	میانگین (وزن)
توپوگرافی	۱/۰۰	۰/۳۳	۱/۰۰	۰/۳۳	۰/۱۲۸
هیدرو اقلیم	۳/۰۰	۱/۰۰	۲/۰۰	۰/۳۳	۰/۲۶۷
زمین‌شناسی	۱/۰۰	۰/۵	۱/۰۰	۰/۵۰	۰/۱۵۶
پوشش زمین	۳/۰۰	۳/۰۰	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۴۴۷



شکل ۴. وزن دهی زیر معیارهای مورد بررسی در پژوهش بر اساس روش AHP

محاسبه همبستگی لایه‌ها و اجرای روش

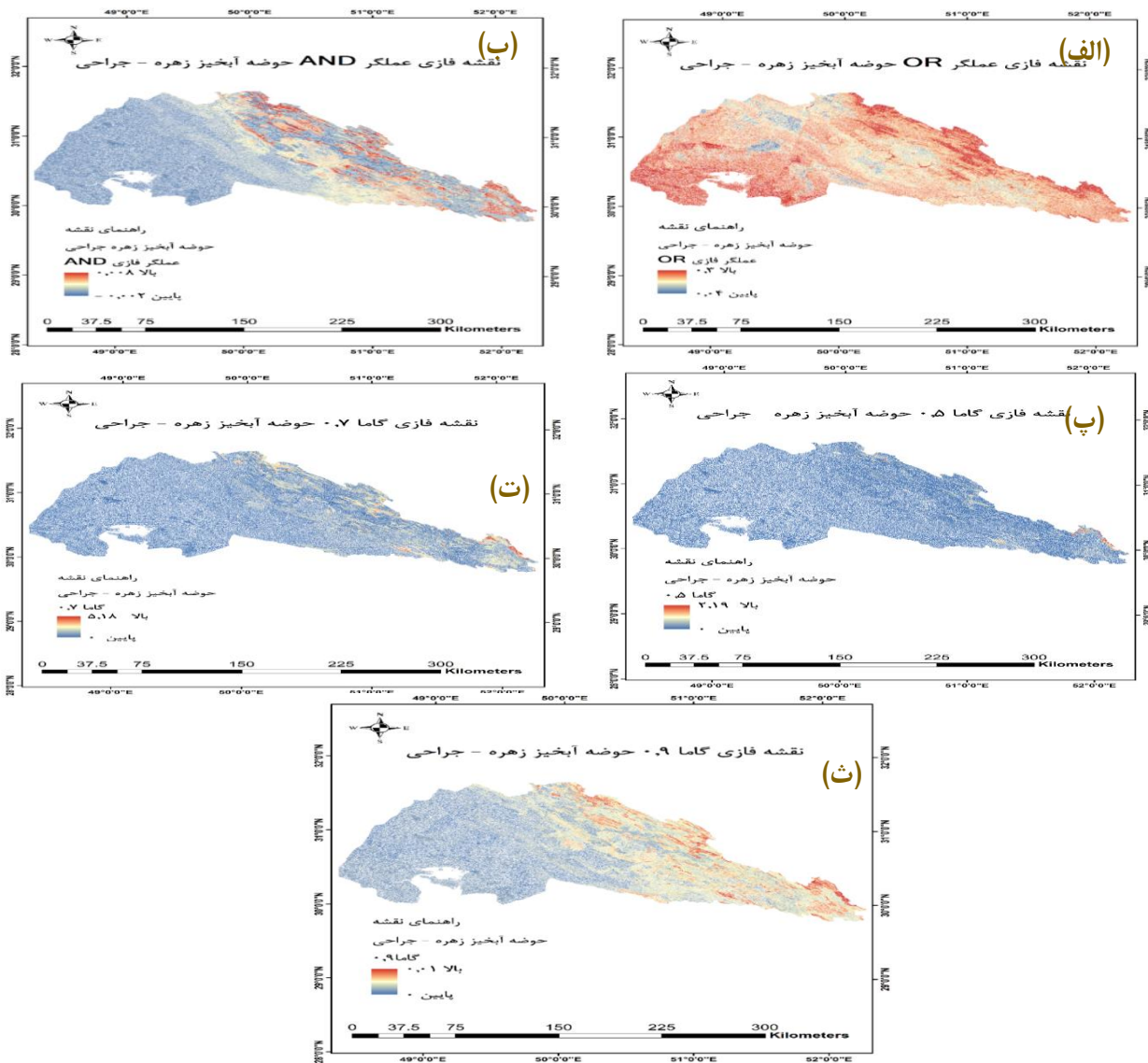
پس از وزن دهی به معیارها و زیر معیارهای مورد بررسی در پژوهش به منظور پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی در حوضه آبخیز لایه‌های زیر معیارهای پژوهش با استفاده از عملگرهای فازی اشتراک (AND) (شکل ۵-الف)، جمع جبری (OR) (شکل ۵-ب) و گاما (۰/۵، ۰/۷، ۰/۹) (شکل ۵-پ، ت و ث) استفاده شد. جدول ضریب همبستگی لایه‌های وزن دهی شده با نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی استفاده از دستور<sup>۱</sup> OLS نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد (جدول ۶). با توجه به داده‌های جدول ۷ نقشه گامای ۰/۹ بالاترین مقدار همبستگی را با لایه‌های اولیه (نقشه پراکنندگی پهنه‌های سیل حوضه) داشته است. اعداد جدول مذکور در واقع میزان همپوشانی بالای بسیاری از شاخص‌های مورد ارزیابی (شاخص نرمال پوشش گیاهی؛ شاخص قدرت جریان و غیره) را نسبت به دیگر عملگرها نمایش می‌دهد. بنابراین نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی منطقه بر اساس عملگر فازی ۰/۹ در ۵ سطح خطر (بسیار کم‌خطر، کم‌خطر، خطر متوسط، پرخطر و بسیار پرخطر) طبقه‌بندی شد (شکل ۶ و جدول ۷). بر اساس اطلاعات شکل ۶ زیر حوضه‌های سیدون، باغملک، حیدرآباد، اروکان و بهبهان مناطق بسیار پرخطر را از نظر پتانسیل سیل خیزی در سطح حوضه آبخیز زهره-جراحی دارند. زیر حوضه‌های شادگان، شاول، امیدیه و هندیجان کمترین پتانسیل خطر را از نظر سیل خیزی در سطح حوضه دارند.

1. Ordinary Least Squares



جدول ۶. نتایج همپوشانی هر یک از لایه‌ها با نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی عملگرهای فازی

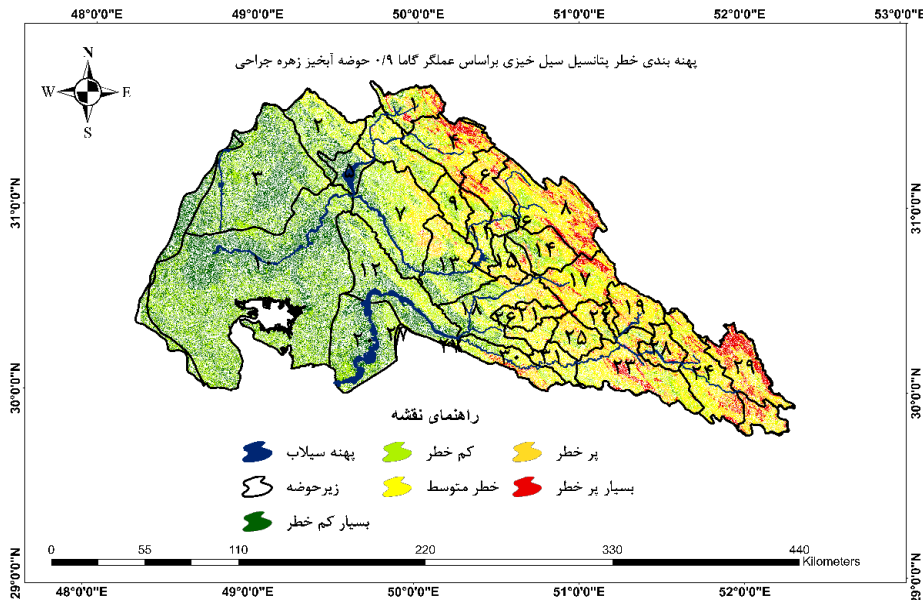
عملگر فازی	عملگر فازی	عملگر فازی	عملگر فازی	عملگر فازی	زیر معیار فازی
OR	AND	Gamma 0.9	Gamma 0.7	Gamma 0.5	
۰/۴۲	۰/۴۲	۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۳۹	فاصله از رودخانه
-	-	-	-	-	انحنای طولی
-	-	-	-	-	منحنی رواناب
-	-	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	تراکم زهکشی
-	-	-	-	-	ارتفاع
۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۳۸	۰/۴۳	۰/۴۳	بارندگی
-۰/۴۰	-۰/۴۰	-۰/۰۷	-۰/۳۹	-۰/۳۹	شیب
۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۵۸	شاخص قدرت جریان
-۰/۱۳	-۰/۱۳	-۰/۳۴	-۰/۱۱	-۰/۱۱	زمین‌شناسی
۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۳	کاربری اراضی
-	-	-	-	-	نوع شکل زمین
۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	-۰/۴۴	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	شاخص نرمال پوشش گیاهی



شکل ۵. نقشه همپوشانی لایه‌ها در پیش‌بینی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه بر اساس عملگرها

جدول ۷. مساحت و درصد پوشش مساحت خطر پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز زهره -جراحی

سطح‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب					روش فازی
بسیار کم خطر	کم خطر	خطر متوسط	پرخطر	بسیار پرخطر	
۵۵۳۵۹۳۰	۷۱۷۰۷۵۰	۵۴۷۲۴۰	۳۶۶۱۷۸	۱۶۱۰۵۵۰	مساحت هر سطح خطر (کیلومتر مربع)
۲۳/۶۰	۳۰/۵۷	۲۳/۳۳	۱۵/۶۱	۶/۸۶	درصد مساحت هر سطح خطر سیلاب
					نسبت به مساحت کل حوضه آبخیز



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز زهره - جراحی بر اساس عملگر فازی گاما ۰.۹

توضیحات: ۱- باغملک، ۲- هفتکل، ۳- شاه، ۴- سیدون، ۵- رامهرمز، ۶- قلعه ریسی، ۷- جایزن، ۸- حیدرآباد، ۹- چم تار، ۱۰- شادگان، ۱۱- تخت دراز، ۱۲- امیدیه، ۱۳- بهبهان، ۱۴- چورام، ۱۵- بیمنجان، ۱۶- دهدشت، ۱۷- شاه بهرام، ۱۸- تپله کوه، ۱۹- دشت رستم، ۲۰- هندیجان، ۲۱- لیستر، ۲۲- باشت، ۲۳- ممسنی، ۲۴- سرنجیلک، ۲۵- آبکنارون، ۲۶- دوگنبدان، ۲۷- بندر ایلام، ۲۸- فهلیان، ۲۹- اروکان، ۳۰- بنه پیر، ۳۱- زهره.

## بحث

سیل خیزی حوضه علاوه بر فرسایش خاک، تجمع رواناب در آبراهه‌های اصلی، احتمال تشدید فرسایش خندقی و وقوع سیلاب در پایین دست حوضه را افزایش می‌دهد. در این مطالعه همان‌طور که در اشاره گردید، تأکید بر وضعیت پتانسیل سیل خیزی حوضه می‌باشد، که شاخص‌های استفاده‌شده نیز بر این اساس امتیازبندی شده‌اند. در واقع سیل خیزی حوضه علاوه بر فرسایش خاک، تجمع رواناب در آبراهه‌های اصلی، احتمال تشدید فرسایش خندقی و وقوع سیلاب در پایین دست حوضه را افزایش می‌دهد. نقشه تهیه‌شده برای پیش‌بینی سیلاب می‌تواند جهت طراحی و اجرای سازه‌های مهندسی مناسب، مهار سیلاب‌های منطقه و استفاده از رواناب در مناطق با پتانسیل بالا مورد استفاده قرار گیرد. اجرای طرح‌های آبخیزداری در زمینه حفاظت خاک و کنترل فرسایش در مناطق با پتانسیل بالای سیل خیزی از دیگر کاربردهای این نقشه است. وجود جلگه حاصلخیز در قسمت غرب حوضه سبب ایجاد و گسترش نقاط سکونت‌گاهی در این مناطق شده است، به طوری که الگوی استقرار فضایی سکونتگاه‌ها در این مناطق نشان می‌دهد، بسیاری از نقاط سکونت‌گاهی در مجاورت رودخانه‌های اصلی و سرشاخه‌های آن‌ها قرار دارد. بنابراین با توجه به تراکم بالای جمعیتی و گسترش ساخت‌وساز در مجاورت رودخانه‌ها در بسیاری از موارد منجر به تجاوز به حریم رودخانه شده است. در نتیجه موجب افزایش خطرات و خسارات ناشی از وقوع سیلاب شده است. در نتیجه باید با اجرای اقدامات مناسب چه سازه‌ای و چه غیر سازه‌ای تا حد امکان مانع وقوع سیلاب

شد و یا دست‌کم خسارات ناشی از آن را کاهش داد. یکی از کاستی‌های این تحقیق به دلیل وسیع بودن حوضه امکان بسیاری از شاخص‌های مؤثر در ارزیابی و پهنه‌بندی سیلاب در دسترس نمی‌باشد. همچنین بزرگ‌مقیاس بودن بعضی از لایه‌ها مانند زمین‌شناسی می‌تواند موجب کاهش دقت نقشه‌های پهنه‌بندی شود که لازم هست. به‌طور کلی می‌توان بیان داشت که استفاده از داده‌های سنجش‌از‌دور در تهیه بسیاری از شاخص از جمله نقشه کاربری اراضی، شاخص نرمال پوشش گیاهی و همچنین سیستم اطلاعات جغرافیایی در روی هم گذاری لایه‌ها از ابزارهای مفید جهت تهیه نقشه‌های خطر سیلاب محسوب می‌شوند. وقوع سیلاب نه تنها می‌تواند خساراتی را برای افراد و جوامع داشته باشد، بلکه می‌تواند به‌طور قابل توجهی تأثیرات منفی بر روی محیط‌زیست نیز داشته باشد. در این راستا، برای کاهش خطرات و اثرات سیلاب، لازم است که راهکارهایی پیشگیرانه و کاهش ابداع شود. در این میان، استفاده از فناوری‌های مدرن و روش‌های نوین مدیریت منابع آب و شناخت بهتر وضعیت اقلیمی منطقه می‌تواند بهبود وضعیت برای جامعه و محیط‌زیست فراهم کند.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی پتانسیل خطر سیل حوضه زهره - جراحی در جنوب غرب ایران با استفاده از روش سلسله‌مراتب فازی و با عملگرهای همپوشانی فازی (گامای ۵/، ۰/۷، AND و OR) پرداخته شد. پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیلاب در حوضه مورد مطالعه بر اساس دخالت وزن‌ها و ارزش‌های نهایی هر یک از متغیرها انجام گرفت، که گامای ۰/۹ نسبت به سایر عملگرهای همپوشانی فازی در منطقه شباهت بیشتری را با واقعیت نشان داد. نتایج تحلیل وزن‌های نهایی منتج از روش AHP و همپوشانی گامای ۰/۹ در سطح حوضه مورد مطالعه نشان داد که، متغیرهای شاخص قدرت جریان بارندگی و زمین‌شناسی بیشترین تأثیر را بر پتانسیل سیل‌خیزی در زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه دارند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده زیر حوضه‌های سیدون، باغملک، حیدر آباد، اروکان و بهبهان در کلاس بسیار پر خطر پتانسیل وقوع سیلاب قرار دارند. زیر حوضه‌های شادگان، شاهو، امیدیه و هندیجان کمترین پتانسیل وقوع سیلاب را دارند. در حوضه مورد مطالعه، حدود ۶/۸۶ درصد از مساحت منطقه در کلاس بسیار پرخطر قرار دارد. به‌طور کلی نواحی دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالا عمدتاً در ارتفاعات بلند کوهستانی شرق و جنوب حوضه دیده می‌شود، نواحی که در آن بارش بیشتر، شیب تندتر و پوشش عمدتاً از نوع سنگی و مناطق مسکونی روستایی است. در پژوهشی در زمینه سیل‌خیزی در حوضه آبخیز زهره - جراحی با استفاده از پارامترهای تراکم زهکشی، شکل حوضه، ضریب زبری، نفوذ بارش، میانگین شیب و غیره بر مبنای مدل تاپسیس انجام شد. که نتایج این بررسی نیز نشان داد، زیر حوضه‌های سیدون، امامزاده جعفر و تخت درزا در مقایسه با سایر زیرحوضه‌ها دارای خطر بالایی از خطر وقوع سیلاب هستند (شیرانی و ذاکری نژاد، ۲۰۲۱). نتایج این بررسی با نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از مدل فازی در زمینه پهنه‌بندی سیل‌خیزی در حوضه مورد مطالعه تطابق دارد. در واقع، با استفاده از پارامترهای مورفومتریکی، می‌توانیم به اولویت‌بندی حوضه آبخیز بپردازیم تا برای هر زیر حوضه، برنامه‌های حفاظتی با هزینه و زمان کمتری انجام شود (Aher et al, 20014). شایان‌ذکر هست که نواحی کم ارتفاع و کم شیب حوضه مورد مطالعه که بیشتر در نواحی غرب و جنوب غرب به دلیل تجمع آب حاصل از به هم پیوستن زیرشاخه‌ها دارای خطر سیل‌خیزی بالاتری نسبت به سایر نواحی می‌باشند.

### حامی مالی

بر اساس اظهار نویسندگان این مقاله حامی مالی نداشته است.

### سهام نویسندگان

در پژوهش نویسندگان در تمامی مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشته‌اند.

### تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در ارتباط با نویسندگی یا انتشار مقاله ندارند.

### تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی کسانی که در انجام پژوهش حاضر یاری رسانده بوده‌اند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقاله را عهده‌دار بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

### منابع

- احمدی، حسن. (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول، فرسایش آبی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- اسماعیلی، رضا و طاهری، محمد. (۱۴۰۱). ارزیابی مناطق مستعد خطر سیلاب با نگرش فازی، مطالعه موردی: پایین دست حوضه آبریز نکا-استان مازندران. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*. ۱۱(۳۴)، ۱۵۸-۱۴۵. DOI:10.22111/JNEH.2022.39817.1842
- آوند، محمدتقی؛ سعید، جانی زاده و جعفری، فائزه. (۱۳۹۹). ارزیابی روش‌های یادگیری ماشین در تهیه نقشه احتمال خطر سیل. *تخریب و احیاء اراضی طبیعی*، سال اول، شماره ۱، ۳۲-۱۹. DOI: 20.1001.1.27174425.1399.1.1.4.3
- بدری، بهرام؛ زارع بیدکی، رفعت؛ هنربخش، افشین و آتشخوار، فاطمه. (۱۳۹۵). اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد از نظر پتانسیل سیل‌خیزی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۴۸ (۱)، ۱۵۸-۱۴۳. DOI: 10.22059/jphgr.2016.57032
- حسنوند، شکوفه؛ سپه‌وند، علیرضا؛ ترنیا، فرج‌اله و سپهاک، پروین. (۱۴۰۰). ارزیابی مدل‌های نفوذپذیری در خاک سطحی سازندهای زمین‌شناسی در آبخیز الشتر، استان لرستان. *پژوهش‌های آبخیزداری*، ۳۴(۴)، ۱۶۴-۱۵۰. DOI:10.22092/WMRJ.2021.354035.1398
- حجازی، سید اسدالله و لقمان‌نیا، کوثر. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی زمانی و مکانی خطر سیل‌خیزی در حوضه آبریز گرگانرود با استفاده از مدل AWBM و روش 'Fuzzy-ANP'. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۵۵ (۳)، ۷۱-۸۸. DOI: 10.22059/jphgr.2023.361608.1007778
- ذاکری نژاد، رضا. (۱۳۹۹). ارزیابی روش‌های رقومی ارتفاع جهت تهیه نقشه پتانسیل فرسایش خندقی با استفاده از روش مکسنت و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سمیرم، جنوب استان اصفهان). *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۱(۳)، ۱۰۶-۱۲۲. DOI:10.30495/GIRS.2020.674955
- زیاری، کرامت‌الله؛ رجایی، سیدعباس و داراب‌خانی، رسول. (۱۳۹۹). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی در محیط GIS نمونه موردی: شهر ایلام. *دو فصلنامه مدیریت بحران*. ۱۹، ۳۰-۲۱. DOI: 20.1001.1.20085656.1401.15.58.2.0
- طاهری بهبهانی، محمد طاهر و بزرگ‌زاده، مصطفی. (۱۳۷۵). *سیلاب‌های شهری*. انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.
- علیزاده، امین. (۱۳۸۷). *اصول هیدرولوژی کاربردی*. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
- قنوتی، عزت‌اله. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی خطر سیلاب شهر کرج با استفاده از منطق فازی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۲(۸)، ۱۱۳-۱۳۲.
- یمانی، مجتبی. (۱۳۸۴). ارتباط ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی (تجزیه و تحلیل داده‌های سیل از طریق مقایسه ژئومورفولوژیک حوضه فشنه و بهجت‌آباد). *مجله پژوهش‌های جغرافیایی*. ۳۸ (۳)، ۵۷-۴۷.

## References

- Ahmadi, H. (2011). *Applied Geomorphology. Water Erosion*. 3rd Edition, Tehran University Press, Tehran. [In Persian].
- Alizadeh, A. (2013). The Principles of Applied Hydrology. 36th Edition, Imam Reza (AS) University, Mashhad. [In Persian].
- Avand, M., Janizadeh, S., & Jafari, F. (2020). Evaluating the Efficiency of Machine Learning Models in Preparing Flood Probability Mapping. *Degrad Rehabil Nat Land*, 1 (1), 19-32. DOI: 20.1001.1.27174425.1399.1.1.4.3. [In Persian]
- Aher, P. D., Adinarayana, J., & Gorantiwar, S. D. (2014). Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: a remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology*, 511, 850-860. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.02.028.
- Abtahee, M., Islam, A. A., Haque, M. N., Zonaed, H., Ritu, S. M., Islam, S. M. I., & Zaman, A. (2023). Mapping Ecotourism Potential in Bangladesh: The Integration of an Analytical Hierarchy Algorithm and Geospatial Data. *Sustainability*, 15(15), 11522. doi:10.3390/su151511522
- Acharya, A., Mondal, B. K., Bhadra, T., Abdelrahman, K., Mishra, P. K., Tiwari, A., & Das, R. (2022). Geospatial analysis of geo-ecotourism site suitability using AHP and GIS for sustainable and resilient tourism planning in West Bengal, India. *Sustainability*, 14(4), 2422. doi:10.3390/su14042422.
- Badri, B., Zare Bidaki, R., Honarbakhsh, A., & Atashkhar, F. (2016). Prioritization of Flooding Potential in Beheshtabad Subbasins. *Physical Geography Research*. 48(1): 143-158. doi: 10.22059/jphgr.2016.57032. [In Persian].
- Costache, R. (2019). Flood susceptibility assessment by using bivariate statistics and machine learning models-a useful tool for flood risk management. *Water Resources Management*, 33(9), 3239-3256. doi: org/10.1007/s11269-019-02301-z.
- Esmaili, R., & Taheri, M. (2022). Evaluation of flood hazards areas with fuzzy approach, Case study: Downstream of Neka catchment, Mazandaran province. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 11, 34(4):145-158. [In Persian]. doi:10.22111/JNEH.2022.39817.1842.
- Ghanavati, E. (2020). Flood Risk Zonation for Karaj City Using Fuzzy Logic. *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 2(4):113-132. [In Persian].
- Ha, J., & Kang, J. (2022). Assessment of flood-risk areas using random forest techniques: Busan Metropolitan City. *Nat Hazards*.
- Lohani, A. K., Goel, N. K., & Bhatia, K. K. S. (2014). Improving real time flood forecasting using fuzzy inference system. *Journal of hydrology*, 509, 25-41. doi: org/10.1007/s11069-021-05142-5.
- Hasanvand, S., Sepahvand, A., Tarnian, F., & Sihag, P. (2022). An Assessment of Infiltration Models in the Surface Soil of Geological Formations in Aleshtar Watershed, the Province of Lorestan. *Watershed Management Research Journal*. 34, 4 133: 150-164. (In Persian) doi:10.22092/WMRJ.2021.354035.1398.
- Hejazi, S. A., & Loghmannia, K. (2023). Temporal and spatial zoning of flood risk in Karganrood catchment using AWBM model and Fuzzy-ANP method. *Physical Geography Research*, 55(3):71-88. doi: 10.22059/jphgr.2023.361608.1007778. [In Persian]
- Lane, S. N. (2017). Natural flood management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4(3), e1211.
- Jaafar, H. H., Ahmad, F. A., & El Beyrouthy, N. (2019). GCN250, new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design. *Scientific data*, 6(1), 1-9.
- Kalantar, B., Ueda, N., Saedi, V., Janizadeh, S., Shabani, F., Ahmadi, K., & Shabani, F. (2021). Deep neural network utilizing remote sensing datasets for flood hazard susceptibility mapping in Brisbane, Australia. *Remote Sensing*, 13(13), 2638. doi.org/10.3390/rs13132638.
- Khoirunisa, N., Ku, C. Y., & Liu, C. Y. (2021). A GIS-based artificial neural network model for flood susceptibility assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1072. doi: 10.3390/ijerph18031072
- Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B. T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B., ... & Prakash, I. (2019). A comparative assessment of flood susceptibility modeling using multi-criteria

- decision-making analysis and machine learning methods. *Journal of Hydrology*, 573, 311-323. doi:10.1016/j.jhydrol.2019.03.073.
- Mokarram, M., & Hojati, M. (2017). Using ordered weight average (OWA) aggregation for multi-criteria soil fertility evaluation by GIS (case study: southwest Iran). *Computers and electronics in agriculture*, 132, 1-13. doi.org/10.1016/j.compag.2016.11.005.
- Meles, M. B., Younger, S. E., Jackson, C. R., Du, E., & Drover, D. (2020). Wetness index based on landscape position and topography (WILT): Modifying TWI to reflect landscape position. *Journal of environmental management*, 255, 109863. doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109863
- Nguyen, H. T., & Sugeno, M. (Eds.). (2012). *Fuzzy systems: modeling and control, 2*. Springer Science & Business Media.
- Parsian, S., Amani, M., Moghimi, A., Ghorbanian, A., & Mahdavi, S. (2021). Flood Hazard Mapping Using Fuzzy Logic, Analytical Hierarchy Process, and Multi-Source Geospatial Datasets. *Remote sensing*, 13 (47761), 1-22. doi:10.3390/rs13234761.
- Poff, N. L., Bledsoe, B. P., & Cuhaciyan, C. O. (2006). Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems. *Geomorphology*, 79(3-4), 264-285. doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.032.
- Shirani, K., & Zakerinejad, R. (2021). Watershed prioritization for the identification of spatial hotspots of flood risk using the combined TOPSIS-GIS based approach: a case study of the Jarahi-Zohre catchment in Southwest Iran. *AUC Geographica* 56(1), 120-128. doi:10.14712/23361980.2021.6
- Sugianto, S., Deli, A., Miswar, E., Rusdi, M., & Irham, M. (2022). The Effect of Land Use and Land Cover Changes on Flood Occurrence in Teunom Watershed, Aceh Jaya. *Land*, 11(8), 1271. doi:10.3390/land11081271.
- Tanim, A. H., McRae, C. B., Tavakol-Davani, H., & Goharian, E. (2022). Flood Detection in Urban Areas Using Satellite Imagery and Machine Learning. *Water*, 14(7), 1140. doi.org/10.3390/w14071140.
- Tripathi, P. (2015). Flood disaster in India: an analysis of trend and preparedness. *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research*, 2(4), 91-98.
- Taheri Behbahani, M.T., & Bozurzadeh, M. (1996). *Urban floods*. Publications of Iran's Urban Planning and Architecture Studies and Research Center,
- Yaseen, A., Lu, J., & Chen, X. (2022). Flood susceptibility mapping in an arid region of Pakistan through ensemble machine learning model. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(10), 3041-3061. doi.org/10.1007/s00477-022-02179-1.
- Zakerinejad, R. (2020). Evaluation of DEMs to the modeling of the potential of gully erosion using Maxent model (Case study: Semirom catchment in the south of Isfahan Province, Iran). *journal of rs and GIS for natural resources (journal of applied rs and gis techniques in natural resource science)*, 11(3 (40):106-122. [In Persian]. doi:10.30495/GIRS.2020.674955.
- Ziari, K., Rajai, S.A., & Darabkhani, R. (2022). Flood Zoning Using Hierarchical Analysis and Fuzzy Logic in GIS Case Study: Ilam City. *Journal of Emergency Management* 10(1) 19. DOI: 20.1001.1.20085656.1401.15.58.2.0. [In Persian].