



## Investigating the Potential of Flood Risk in the Kerman City Watershed Using Fuzzy Techniques and Radar Data Processing

Ali Mehrabi<sup>1\*</sup> , Ali Asghar Abdollahi<sup>2</sup> , Hadis Attari<sup>3</sup>

1. Corresponding author, Associat Professor, Department of Geography, Faculty of Literature, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.. E-mail: [Mehrabi@uk.ac.ir](mailto:Mehrabi@uk.ac.ir)
2. Associat Professor, Department of Geography, Faculty of Literature, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: [Aliabdollahi@uk.ac.ir](mailto:Aliabdollahi@uk.ac.ir)
3. MSc Student of Natural Hazard. Department of Geography, Faculty of Literature, Shahid Bahonar University of Kerman. Kerman, Iran. E-mail: [hadis906@yahoo.com](mailto:hadis906@yahoo.com)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 23 December 2024

Received: 8 February 2025

Accepted: 12 December 2025

Published: 16 December 2025

#### Keywords:

Flood analysis,

Sentinel 1,

Multi-criteria decision-making method,

Satellite image processing.

### ABSTRACT

**Objective:** Nowadays, due to climate change, the flood problem is one of the most important problems in arid and semi-arid regions. Kerman Plain is one of these regions that has suffered extensive damage in infrastructure and agriculture. The purpose of this research is to analyze the flooding of the Kerman watershed and to zone the flood risk using radar data processing and fuzzy techniques.

**Methods:** In this regard, eight factors were used: cumulative flow, discharge capacity, distance from the watercourse, runoff rate, land cover, land elevation, slope and geology. Pairwise comparison matrices for the aforementioned factors were prepared using the fuzzy-hierarchical method, weighted and integrated in GIS. Then, a flood risk map was drawn using the flood risk index.

**Results:** The results showed that about 16 percent of the study area is at very high risk (81,184 hectares), 22 percent at high risk (111,628 hectares), 35 percent at medium risk (177,590 hectares), 18 percent at low risk (91,332 hectares) and 9 percent at very low risk (45,666 hectares). The results showed that in addition to agricultural gardens, many residential areas are at risk of flooding. In addition, By processing radar images, the flood that occurred on August 8, 1401 in the study area was mapped and used to validate the flood hazard map.

**Conclusions:** the present study shows that many areas of the Kerman Plain are at high flood risk and should be specifically considered..

**Cite this article:** Mehrabi, A.; Abdollahi, A.A & Attari, H. (2026). Investigating the Potential of Flood Risk in the Kerman City Watershed Using Fuzzy Techniques and Radar Data Processing. *Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 5(17), 17-33. <http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.65134.1117>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.65134.1117>

Publisher: University of Tabriz.



## Extended Abstract

### Introduction

Today, one of the important and fundamental factors that causes irreparable damage and losses to human-made structures and the living environment every year is the issue of flooding. The main reason for this environmental hazard is human interference in the natural balance of watersheds and their disruption in order to create and intensify floods. Today, climate change and rainfall intensity, land use change, rapid urbanization, encroachment and house building in the river area, and destruction of vegetation and soil and land conversion can be considered as influential factors in creating and intensifying floods (Mirmousavi and Esmaili, 1400). There are important rivers in Kerman city that are generally seasonal (Soleimani et al., 1400). The direction of flow of these rivers is towards the Kerman plain, and this is an important factor in the occurrence of floods in this place. On the other hand, Kerman is exposed to many floods due to the type of soil, climatically, severe temperature differences, monsoon winds, lack of rainfall, and poor vegetation. In these circumstances, surveying flood-prone areas can play a key role in spatial prediction of floods and help protect the lives and property of indigenous people in these areas. In this research, an attempt has been made to create, weight, and combine maps of various factors affecting flooding using Sentinel 1 radar data analysis and the Fuzzy-AHP method, and as a result, identify areas at risk of flooding.

### Materials and Methods

The flooding of the area depends on different geomorphological and hydrological factors (Dash and Sar, 2022 Mirmousavi and Esmaili, 1400), therefore, in this study, eight effective factors were used including the criteria of elevation, cumulative flow, land cover, drainage capacity, distance from the watercourse, lithology, slope and runoff rate. The threshold technique involves separating the image into different gray scale parts based on histogram peaks (Deshmukh and Shinde, 2005). This method is often based on the fact that the spectral reflectance rate by the flooded area in radar images is very low and, as a result, if you select pixels that are below a certain threshold value, flooded areas are identified.

### Results

In order to identify and prepare the flood risk layer, the factors affecting flooding were analyzed and mapped. In order to achieve the flood risk map, in the fuzzy hierarchical method, each criterion must be weighted and combined accordingly. The binary comparison matrix of the criteria is shown in Table 2. In this table, the factors are examined and compared based on the fuzzy numbers in Table 1, and the final weight of each criterion is calculated. Accordingly, the height factor with a weight of 0.043 has the least impact and the cumulative fractional factor with a weight of 0.436 has the most impact on flooding. Given that each of the aforementioned factors is also composed of sub-criteria and each of them has different impacts on flooding, they must be compared and weighted binary. Therefore, a binary comparison matrix was prepared separately for all factors (Tables 3 to 10). The fuzzy maps related to each of the factors are also seen in Figure 4. Among the various factors, the cumulative flow factor is considered to be the most important criterion, which is presented in Figure 3a. As can be seen in this figure, the studied area is divided into 5 classes in terms of cumulative flow. The accumulation of water flow increases with the increase in the cumulative flow rate. In the binary comparison matrix related to the cumulative flow criterion, the first-class subfactor has a weight of 0.126 and the last-class subfactor has a weight of 0.258 (Table 3). Another factor affecting flooding is the discharge capability criterion, as areas with low elevation and lower watercourse density have low discharge capability and high susceptibility to flooding. While areas with high elevation and high watercourse density have good discharge capability and are protected from flooding. As shown in map b4, the studied area is divided into five categories in terms of drainage capacity, with the class with very low drainage capacity having a weight of 0.332 and the class with very high drainage capacity having a weight of 0.035 (Table 4). Other criteria affecting flooding were also classified and weighted in the same way, as presented in tables 5 to 10. The weights of the criteria, sub-criteria and the final weight of each criterion are given in table 11. The final weight of each criterion was obtained by multiplying the weight of the sub-factor by the weight of the main factor of each sub-factor. In order to prepare the flood risk index, all the prepared and weighted maps were combined. The aforementioned map was classified using the quantitative classification method. The flood



hazard map is shown in Figure 5. As can be seen in this figure, the study area is classified into 5 flood hazard classes: very low, low, medium, high, and very high. About 16 percent of the study area is at very high risk (81,184 hectares), 22 percent at high risk (111,628 hectares), 35 percent at medium risk (177,590 hectares), 18 percent at low risk (91,332 hectares), and 9 percent at very low risk (45,666 hectares). The high and very high risk areas are mostly located in alluvial fan and plain areas.

## Conclusion

Flood risk in the study area was potentialized by combining the factors effective in causing floods. Based on the results obtained, about 16 percent of the study area is at very high risk (81,184 hectares), 22 percent at high risk (111,628 hectares), 35 percent at medium risk (177,590 hectares), 18 percent at low risk (91,332 hectares) and 9 percent at very low risk (45,666 hectares). Areas with very high and high risk are mostly located in alluvial fan and plain areas. The results obtained showed that in addition to agricultural gardens, many residential areas, especially villages, are at risk of flooding. Applying the threshold method to Sentinel 1 radar data revealed that these data have a good ability to detect floods. Considering the ability of radar waves to penetrate clouds, they can be used in cloudy and rainy weather conditions for flood monitoring. The results obtained from the validation of the fuzzy hierarchical method indicate the efficiency of this method in determining flood risk, while it is a relatively accurate method in decision-making. Therefore, it can be concluded that an index-based approach derived from the integration of important factors can always be a valid solution in assessing flood risk. Also, given the increasing incidence of floods in the study area, areas identified with very high and high flood risk can be considered by the authorities to plan and provide flood management solutions and reduce the damage caused by it.

## References

- Ahmed, I., Das, N., Debnath, J., Bhowmik, M., & Bhattacharjee, S. (2024). Flood hazard zonation using GIS-based multi-parametric Analytical Hierarchy Process. *Geosystems and Geoenvironment*, 3(2): 100250. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2023.100250>
- Andualem, T.G., & Demeke, G.G. (2019). Groundwater potential assessment using GIS and remote sensing: A case study of Guna tana landscape, upper blue Nile Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 24, 100610. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100610>.
- Ashtari, N., Goorabi, A., Rahmati, M., & Darban Astaneh, A. (2022). Evaluation of Flood Hazard Potential and Investigation of Damage Caused by it in Talar Drainage Watershed. *E.E.R.* 12 (4) :1-25. (In Persian). URL: <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-708-fa.html>
- Azadikhah, A., Bouzari, S., Yassaghi, A., & Emami, M.H. (2015). Formation of Extensional Basin in Internal Part of the Zag-Ros Orogeny in West of Sirjan, Iran. *Open Journal of Geology*, 5, 821-827. <https://doi.org/10.4236/ojg.2015.511070>
- Baharvand, S., Rahnamarad, J., & Soori, S. (2016). Delineation of groundwater recharge potential zones using weighted linear combination method (case study: Kuhdasht plain, Iran). *Journal of Geotechnical Geology*, 12(2): 119-125. <https://www.sid.ir/paper/691618/en>
- Bates, P.D., Anderson, M.G., Baird, L., Walling, D.E., & Simm, D. (2009). Modelling floodplain flow with a two dimensional finite element scheme. *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, 575-588. <https://doi.org/10.1002/esp.3290170604>
- Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *Eur J Oper Res.*, 95, 649-655. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- Das, S. (2019). Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 60-74. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.006>
- Dash, P., & Sar, J. (2020). Identification and validation of potential flood hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index. *J Flood Hazard Management*. 13, 12620. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12620>.



- Deshmukh, K.S., & Shinde, G., (2005). An adaptive color image segmentation electron. *Electron Lett Computer Vis Image Anal*, 5(4):12–23. <https://doi.org/10.5565/rev/elcvi.a.115>.
- Esfandyari, F., Abedini, M., fakheripour, N., & Nezafat takle, B. (2023). Flood Risk Zoning Using Hec\_Ras Hydrodynamic Model (Case Study: Qarahsou Basin, Kermanshah Province). *Journal of Environmental Science Studies*, 8(3), 6952-6961. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/jess.2022.344023.1795>
- Jenifer, M.A., & Jha, M.K., (2017). Comparison of Analytic Hierarchy process, Catastrophe and Entropy techniques for evaluating groundwater prospect of hard-rock aquifer systems. *J. Hydrol. (Amst)*, 548, 605–624. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.023>
- Kazakis, N., Kougiass, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and analytical hierarchy process: Application in Rhodope-Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>.
- Khedmatzadeh, A., & Najafzadeh, A. (2020). Flood Susceptibility Mapping and Risk Area Using GIS-Based Analytic Network Process (Case Study: Ghasemlou Hydrometric Station Basin). *Journal of Science and Engineering Elites*, 5(1): 6-12. (In Persian). <https://www.sid.ir/paper/363369/en>.
- Mind'je, R., Li, L., Amanambu, A. C., Nahayo, L., Nsengiyumva, J. B., Gasirabo, A., & Mindje, M. (2019). Flood susceptibility modeling and hazard perception in Rwanda. *International Journal of Disaster Hazard Reduction*, 10, 1211. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101211>
- Mir Mosavi, S., & Esmaeili, H. (2021). Zoning of Flood-prone Areas Using Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS), (Case Study: Darab City). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(27): 21-46. doi: <https://doi.org/10.22111/jneh.2020.32986.1613>. (In Persian).
- Mitra, R., Saha, P., & Das, J. (2022). Assessment of the performance of GIS-based analytical hierarchical process (AHP) approach for flood modelling in Uttar Dinajpur district of West Bengal, India. *Geomatics. Nat Hazards Risk*, 13(1): 2183–2226 <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2112094>
- Mohammad Doust, A., & Shamsnia, S.A. (2023). Identification and Zoning of Flood-Prone Areas Using AHP - GIS (Case Study: Dayyer County, Bushehr Province). *Journal of Geography and Environmental Studies*, 47,152-167. (In Persian). [Dor: 20.1001.1.20087845.1402.12.47.9.5](https://doi.org/10.1001.1.20087845.1402.12.47.9.5)
- Osman, S.A., & Das, J. (2023). GIS-based flood risk assessment using multi-criteria decision analysis of Shebelle River Basin in southern Somalia. *SN Appl. Sci.*, 5, 134. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05360-5>
- Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban flood vulnerability and hazard mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment. *Water*, 6 (6): 1515–1545. <https://doi.org/10.3390/w6061515>
- Pappenberger, F., Frodsham, K., Beven, K., Romanowicz, R., & Matgen, P. (2007). Fuzzy set approach to calibrating distributed flood inundation models using remote sensing observations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 739–752, <https://doi.org/10.5194/hess-11-739-2007>, 2007.
- Poddar, I., Alam, J., Basak, A., Mitra, R., & Das, J. (2023). Application of a geospatial-based subjective MCDM Method for Flood susceptibility modeling in Teesta River Basin, West Bengal, India. Monitoring and managing multi-hazards. *Springer, Cham*, pp 135–152. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-15377-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-15377-8_10)
- Rajasekhar, M., Raju, G.S., Sreenivasulu, Y., & Raju, R.S. (2019). Delineation of groundwater potential zones in semi-arid region of Jilledubanderu river basin, Anantapur District, Andhra Pradesh, India using fuzzy logic, AHP and integrated fuzzy-AHP approaches. *HydroResearch*, 2, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.-2019.11.006>.
- Samela, C., Albano, R., Sole, A., & Manfreda, S., (2018). A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas, *Computers. Environment and Urban Systems*, 70, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.01.013>
- Soleimani Sardoo, F., Rafiei Sarooi, E., Mesbahzadeh, T., & Azareh, A. (2021). Utilizing Sentinel 1 Images for Monitoring Damage of Flood Event in March 2020, the South of Kerman Province Based on Random Forest Algorithm, *jwmseir*. 15(53): 23-32. (In Persian). <http://jwmseir.ir/article-1-976-fa.html>



- Tseng, M.L., Lin, Y.H., Chiu, A.S.F., & Chen, C.Y. (2008). Fuzzy AHP approach to TQM strategy evaluation. *IEMS* 7(1): 34–43. <http://www.iemsjl.org/journal/article.php>
- Valizadeh, K., Delire R., & Azari, K. (2019). Flood zoning and its impact on land use in the surrounding area using unmanned aerial vehicles (UAV) images and GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(3): 59-75. (In Persian). <https://www.sid.ir/paper/189492/fa>
- Viglione, A., Merz, R., & Blöschl, G. (2009). On the role of the runoff coefficient in the mapping of rainfall to flood return periods, *Hydrology and Earth System Sciences*. 13(5): 577–593. <http://hdl.handle.net/20.500.12708/166187>
- Wu, Y., Zhong, P. A., Zhang, Y., Xu, B., Ma, B., & Yan, K. (2015). Integrated flood hazard assessment and zonation method: A case study in Huaihe River basin, China. *Natural Hazards*, 78(1): 635–651. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1737-3>
- Xiao, JF., Li, J., & Moody, A. (2003). A detail-preserving and flexible adaptive filter for speckle suppression in SAR imagery. *Int J Remote Sens.*, 24(12): 2451–2465. <https://doi.org/10.1080/01431160210154885>.



## بررسی پتانسیل خطر سیلاب در حوضه آبریز شهرستان کرمان با استفاده از تکنیک فازی و پردازش داده‌های راداری

علی مهرابی<sup>۱\*</sup>، علی اصغر عبداللہی<sup>۲</sup>، حدیث عطاری<sup>۳</sup>

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: [Mehrabi@uk.ac.ir](mailto:Mehrabi@uk.ac.ir)

۲. دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: [Aliabdollahi@uk.ac.ir](mailto:Aliabdollahi@uk.ac.ir)

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.  
رایانامه: [hadis906@yahoo.com](mailto:hadis906@yahoo.com)

| اطلاعات مقاله                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>نوع مقاله:</b><br/>مقاله پژوهشی</p> <p><b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۳/۱۰/۰۳</p> <p><b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۳/۱۱/۲۰</p> <p><b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۴/۰۹/۲۱</p> <p><b>تاریخ انتشار:</b> ۱۴۰۴/۰۹/۲۵</p> <p><b>کلیدواژه‌ها:</b><br/>تحلیل سیل خیزی،<br/>سنجش از دور،<br/>روش تصمیم‌گیری چند معیاره،<br/>پردازش تصاویر ماهواره‌ای.</p> | <p>امروزه به سبب تغییرات آب و هوایی مسئله سیلاب یکی از مهمترین معضلات مناطق خشک و نیمه‌خشک است. دشت کرمان از جمله این مناطق است که تا کنون دچار خسارت‌های زیادی در حوزه‌های زیربنایی و کشاورزی شده است. هدف از این پژوهش تحلیل سیل‌خیزی حوضه آبریز کرمان و پهنه‌بندی خطر سیلاب، با استفاده از پردازش داده‌های راداری و تکنیک فازی است. در این جهت از هشت عامل جریان تجمعی، قابلیت تخلیه، فاصله از آبراهه، میزان رواناب، پوشش زمین، ارتفاع سطح زمین، شیب و لیتولوژی استفاده شد. ماتریس مقایسات زوجی برای عوامل مذکور با استفاده از روش فازی- سلسله مراتبی، تهیه و در GIS وزن‌دهی و مورد تلفیق قرار گرفتند ؟؟؟؟. سپس با استفاده از شاخص خطر سیلاب، نقشه خطر سیلاب ترسیم شد. نتایج حاصله نشان داد که در حدود ۱۶ درصد از منطقه مورد مطالعه در خطر بسیار بالا (۱۱۸۴ هکتار)، ۲۲ درصد در خطر بالا (۱۱۱۶۲۸ هکتار)، ۳۵ درصد در خطر متوسط (۱۷۷۵۹۰ هکتار)، ۱۸ درصد در خطر کم (۹۱۳۳۲ هکتار) و ۹ درصد در خطر بسیار کم (۴۵۶۶۶ هکتار)، قرار دارد. نتایج حاصله نشان داد که علاوه بر باغات کشاورزی بسیاری از مناطق مسکونی در معرض خطر سیلاب هستند. با پردازش تصاویر راداری، سیلاب ۸ مرداد ماه ۱۴۰۱ رخ داده در محدوده مورد مطالعه، نقشه‌برداری و از آن در راستای اعتبارسنجی نقشه خطر سیلاب، استفاده شد. بنابراین پژوهش حاضر نشان می‌دهد که بسیاری از مناطق دشت کرمان در معرض خطر سیلاب بالا قرار دارند و بایستی به طور ویژه مورد نظر باشند.</p> |

**استاد:** مهرابی، علی؛ عبداللہی، علی اصغر و عطاری، حدیث (۱۴۰۴). بررسی پتانسیل خطر سیلاب در حوضه آبریز شهرستان کرمان با استفاده از تکنیک فازی و پردازش داده‌های راداری. *کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی*، ۵ (۱۷)، ۳۳-۱۷.

<http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.65134.1117>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

## مقدمه

امروزه یکی از عوامل مهم و اساسی که هر ساله موجب صدمات و خسارات جبران ناپذیری به ساختارهای انسان ساز و محیط زندگی می‌شود، مسئله سیلاب است. دلیل عمده این مخاطره محیطی، دخالت بشر در تعادل طبیعی حوضه‌های آبریز و بهم زدن آنها در راستای ایجاد و تشدید سیلاب‌ها است. امروزه تغییر اقلیم و شدت بارندگی‌ها، تغییر کاربری زمین‌ها، گسترش سریع شهرنشینی، تجاوز و خانه سازی در حریم رودخانه، و تخریب پوشش گیاهی و خاک و تبدیل اراضی را می‌توان از عوامل تاثیرگذار در ایجاد و تشدید سیلاب‌ها دانست (میرموسوی و اسماعیلی، ۱۴۰۰).

از جمله اقداماتی که اخیراً در جهت کاهش خسارت‌های احتمالی، مورد توجه دانشمندان و پژوهشگران حوزه سیلاب قرار گرفته است، تعیین پهنه‌های سیلابی و پیش‌بینی رفتار هیدرولیکی حوضه‌ها است. تاکنون در این راستا روش‌های متفاوتی بکار رفته است، به مانند استفاده از مدل‌های هیدرولیکی (دیمیر و کیسی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۶؛ میندج و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۹) و روش طبقه‌بندی (یوسف و هکاپ<sup>۳</sup>، ۲۰۱۹). یکی از روش‌های موثر و قابل اعتماد برای تلفیق عناصر متفاوت در راستای اهداف مشخص، روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA<sup>۴</sup>) است (جنیفر و جا<sup>۵</sup>، ۲۰۱۷؛ میترا و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۲۲؛ عثمان و داس<sup>۷</sup>، ۲۰۲۳). در این زمینه پژوهشگران زیادی به مطالعه پرداخته‌اند که در ادامه به چندی از آنها اشاره می‌شود. خدمت‌زاده و نجف‌زاده (۱۳۹۹)، در تحقیقی با موضوع پهنه‌بندی ریسک و احتمال سیل‌پذیری در حوضه آبریز ایستگاه هیدرومتری قاسملو با استفاده از مدل ANP به این نتایج دست یافته‌اند که عامل بارش با ۴۹۶۶۵/۰ درصد، پوشش گیاهی با ۱۷۹۵۶/۰ درصد و فاصله از رودخانه با ۲۰۵۱۶/۰ درصد در وقوع سیلاب دارای بیشترین تاثیر بوده و عوامل شیب و کاربری اراضی دارای کمترین اثرگذاری هستند. میرموسوی و اسماعیلی (۱۴۰۰)، در تحقیقی با موضوع ارزیابی نواحی سیل‌خیز با استفاده از سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، اقدام به استخراج نقشه‌های خطر سیلاب شهرستان داراب کرده‌اند. اشتری و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهش خود برای ارزیابی پتانسیل خطر سیلاب، از سیستم مدل‌سازی حوضه‌های آبخیز استفاده کردند. نتایج این تحقیق منجر به شناسایی پهنه‌های خطر سیل در حوضه آبخیز تالار البرز مرکزی شد. محمد دوست و شمس‌نیا (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای تحت عنوان شناسایی و پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز با استفاده از AHP شهرستان دیر استان بوشهر، نشان داده‌اند که بیش از ۵۰ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه دارای خطر پتانسیل سیل‌خیزی متوسط تا زیاد است. اسفندیاری و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیق خود از مدل هیدرودینامیکی Hec-Ras جهت پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبخیز قره‌سو استان کرمانشاه استفاده کردند. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که ساخت و ساز بی‌رویه در مسیر حریم رودخانه یکی از دلایل اصلی وقوع سیلاب‌ها در حوضه قره‌سو است.

پاپنبرگر و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۷) در پژوهشی با استفاده از مدل‌های سیل‌خیزی و سنجش از دور پارامتر پستی و بلندی کانال رودخانه را مورد بررسی قرار دادند. این پژوهش نشان داد که می‌توان ساختار مدل را طوری شبیه‌سازی کرد که در مقیاس منطقه‌ای بتواند به خوبی پیش‌بینی سیلاب‌های آینده را انجام دهد. باتس و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۹)، در پژوهشی تلاش کردند تا مشخص کنند که تصاویر تکی حاصل از هر سیلاب چگونه برای ایجاد مدل‌های پیش‌بینی سیلاب تاثیرگذار است. این پژوهش نشان داد که عوامل مطلوب مدل به ویژگی تصاویر ماهواره‌ای مربوط است که در ارزیابی آن مدل به کار گرفته شده است و از همین طریق

<sup>۱</sup> Dimiri & Kisi

<sup>۲</sup> Mindje et al.

<sup>۳</sup> Yousef & Hekab

<sup>۴</sup> Multi Criteria Decision Analysis (MCDA)

<sup>۵</sup> Jenifer et al.

<sup>۶</sup> Mitra et al.

<sup>۷</sup> Osman & Das

<sup>۸</sup> Pappenberger et al.

<sup>۹</sup> Bates et al.

می‌توان نقشه سیلاب را ایجاد نمود. ساملا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۸) با به‌کارگیری GIS مناطق مستعد سیل را ترسیم کردند، پژوهش مذکور نشان داد که این سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزاری مناسب و دقیق در تهیه نقشه‌های سیلاب است. داس<sup>۲</sup> (۲۰۱۹) نیز در تحقیق خود بر روی حوضه اولهاس هند، به بررسی قابلیت سیل خیزی و جواب هیدروژئومورفیک به سیلاب پرداختند و نشان دادند که در اولویت‌بندی عوامل موثر در سیلاب، برای سوابق سیلابی می‌بایست تاثیر بیشتری در نظر گرفته شود. پودار و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۲۳) در حوضه رودخانه تیساهند، با استفاده از روش AHP عوامل مختلف موثر در سیل‌خیزی را مورد بررسی قرار داده که از میان عوامل مختلف، فاکتور ارتفاع، شیب و تراکم زهکشی بیشترین تاثیر را دارند. عثمان و داس<sup>۴</sup> (۲۰۲۳) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره به تجزیه و تحلیل خطر سیلاب در حوضه شبله کشور سومالی پرداختند، نتایج پژوهش مذکور نشان داد که هفت عامل ارتفاع، شیب، تراکم زهکشی، فاصله تا رودخانه، بارندگی، خاک و زمین‌شناسی از مهمترین فاکتورهای موثر در رخداد سیلاب در منطقه مذکور بوده است. احمد و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۲۴) از ماتریس مقایسات زوجی مربوط به ۹ پارامتر موضوعی، برای پتانسیل‌یابی سیلاب در منطقه دهالی هند استفاده کردند، نتایج پژوهش مذکور نشان داد که مناطق کشاورزی و پس از آن مناطق مسکونی بیشترین خطرپذیری در صورت رخداد سیلاب را دارند. آنچه که در مجموع توضیحات ذکر شده در پیشینه به دست می‌آید این است که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های نقشه برداری زمینی از روش‌های متداول در بررسی سیلاب‌های مناطق مختلف جهان بوده است. این در حالی است که در پژوهش حاضر از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چند معیاره و پردازش داده‌های راداری در این راستا استفاده شده و دریچه جدیدی در این جهت می‌گشاید.

شهرستان کرمان به دلیل برخی از ویژگی‌های خاص جغرافیایی و اقلیمی، مستعد رخداد سیلاب‌هایی می‌باشد. در این راستا باید به ویژگی کلی استان کرمان اشاره نمود که جزء مناطق کم آب و خشک کشور بوده و در نتیجه فرسایش در آن بالا بوده و در نتیجه مستعد سیل‌خیزی است. اگرچه متوسط بارندگی سالانه در استان کرمان در حدود ۱۵۰ میلیمتر است، اما این بارش‌ها از پراکندگی مکانی و زمانی نامناسبی برخوردار است. قاعدتا شهرستان کرمان نیز از این اصل مستثنی نیست و گاهی همه سهم بارش سالانه خود را طی فقط چند ساعت دریافت می‌کند و این به مفهوم ایجاد پتانسیل قوی برای وقوع سیل است. در شهرستان کرمان رودخانه‌های مهمی وجود دارد که عموماً فصلی هستند (سلیمانی و همکاران، ۱۴۰۰). جهت جریان این رودخانه‌ها به سمت دشت کرمان است و این عامل مهمی در وقوع سیلاب‌ها در این مکان است. از طرفی کرمان به علت جنس خاک، به لحاظ اقلیمی، اختلاف شدید درجه حرارت، بادهای موسمی، کمبود ریزش باران و پوشش گیاهی فقیر در معرض سیلاب‌های زیادی قرار دارد. در این شرایط، بررسی نواحی سیل‌خیز، می‌تواند نقش کلیدی در پیش‌بینی مکانی سیلاب‌ها و کمک در حفظ جان و مال مردمان بومی این مناطق داشته باشد. بنابراین با توجه به ضرورت بررسی سیل‌خیزی در دشت کرمان به عنوان یک منطقه مستعد، و با نظر به اینکه هیچ‌گونه پژوهشی تاکنون در این زمینه در منطقه مذکور انجام نگرفته است، در این پژوهش سعی شده است تا به کمک آنالیز داده‌های راداری سنتینل ۱ و روش Fuzzy-AHP، نقشه عوامل مختلف تاثیرگذار در سیل‌خیزی ایجاد، وزن‌دهی و ترکیب شوند و در نتیجه محدوده‌های در خطر سیلاب شناخته شوند.

## مواد و روش تحقیق

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کرمان در مختصات جغرافیایی ۳۰° و ۵۶° تا ۳۰° و ۵۷° طول شرقی و ۴۸° و ۲۹° تا ۳۰° و ۳۰° عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). از سمت شمال به دشت زرنه، از سمت غرب به دشت رفسنجان، از سمت جنوب به دشت بردسیر و از سمت

۱ Samela et al.

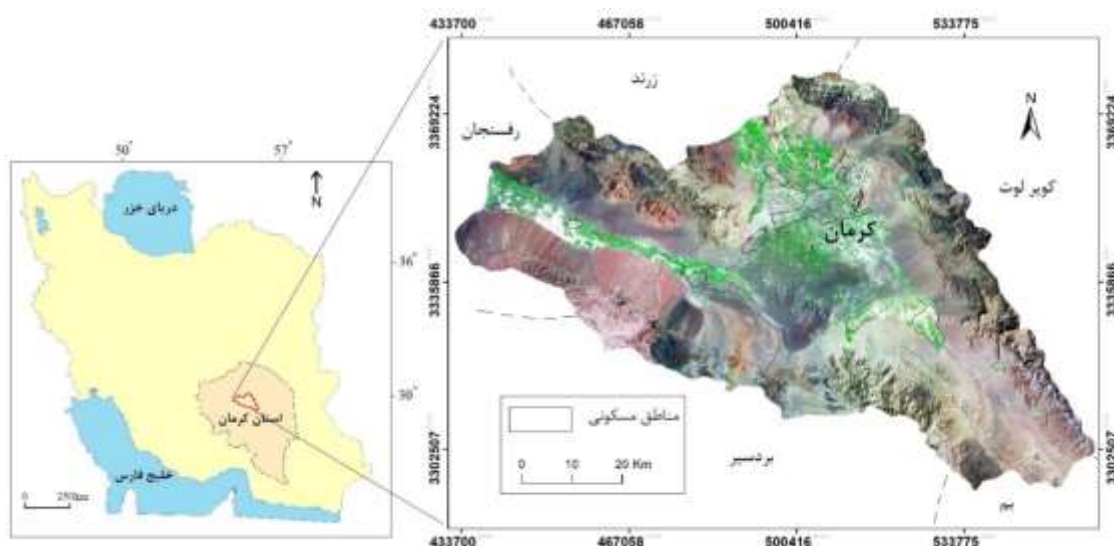
۲ Das

۳ Poddar et al.

۴ Osman & Das

۵ Ahmed et al.

شرق به کویر لوت منتهی می‌شود. با توجه به اینکه اقتصاد منطقه مذکور بر پایه فعالیت کشاورزی استوار است، بخش عمده‌ای از حجم آب برداشتی از منابع آب زیرزمینی در فعالیت های کشاورزی مصرف می‌شود. دشت کرمان از آنجایی که جزء مناطق خشک و کم آب کشور محسوب می‌شود در نتیجه فرسایش در آن بالا است و اگر چه متوسط بارندگی سالانه آن در حدود ۱۴۵ میلیمتر می‌باشد، اما این بارش‌ها از پراکنش زمانی و مکانی بسیار نامناسبی برخوردار بوده و طی چند بارندگی حادث می‌شوند و به همین جهت از مناطق مستعد سیل خیز کشور است، به طوری که آخرین سیلاب مخرب رخ داده در منطقه در تاریخ ۸ مرداد سال ۱۴۰۱ به وقوع پیوست که در نتیجه آن، خسارت‌های زیادی به بخش کشاورزی و مناطق روستایی وارد شد.



شکل ۱. نقشه حوضه آبریز کرمان  
Fig. 1. Map of Kerman watershed

### داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از تلفیقی از مجموعه داده‌های چند طیفی و راداری، نقشه‌های توپوگرافی و زمین شناسی در راستای رسیدن به اهداف مورد نظر استفاده شد. در این تحقیق از یک سین تصویر ماهواره‌ای سنجنده Sentinel 2 و یک سین داده‌های راداری سنجنده Sentinel 1، با پلاریزاسیون VV و فرمت GRD، استفاده شد. داده‌های چند طیفی مورد استفاده شامل تصاویر سنجنده سنتینل ۲ می‌شود، این تصاویر دارای ۱۱ باند طیفی هستند و رزولوشن مکانی آن ۱۰ متر است. زمان این تصاویر مربوط به تیر ماه سال ۱۴۰۱ است. همه تصاویر قبل از پردازش مورد پیش‌پردازش قرار گرفته و تصحیحات اتمسفری بر روی آنها انجام می‌پذیرد. پردازش‌های صورت گرفته توسط نرم‌افزارهای SNAP 8 و ENVI انجام گرفت. مدل ارتفاع رقومی ۳۰ متری SRTM استفاده شد. سیل‌خیزی منطقه به فاکتورهای متفاوت ژئومورفولوژی و هیدرولوژی بستگی دارد (داش و سار، ۲۰۲۰؛ میرموسوی و اسماعیلی، ۱۴۰۰)، بنابراین در این تحقیق از هشت فاکتور موثر شامل معیار ارتفاع، جریان تجمعی، پوشش زمین، قابلیت تخلیه، فاصله از آبراهه، لیتولوژی، شیب و میزان رواناب استفاده شد (داش و سار، ۲۰۲۰) که در بخش‌های بعدی به ویژگی و چگونگی تهیه هر لایه اشاره شده است.

### قابلیت تخلیه

به توانایی زهکشی زمین و ظرفیت عبور آب در سیستم آبراهه‌ای قابلیت تخلیه گفته می‌شود (وو و همکاران، ۲۰۱۵). فاکتور مذکور

<sup>۱</sup> Dash & Sar

<sup>۲</sup> Wu et al.

از ترکیب لایه ارتفاع و لایه تراکم آبراهه حاصل می‌شود. در نتیجه قابلیت تخلیه کم مربوط به مناطق کم ارتفاع با تراکم آبراهه‌ای کم است و این مناطق بیشترین پتانسیل در سیل‌خیزی را دارند. ولیکن مناطق دارای تراکم آبراهه‌ای بالا و مرتفع، قابلیت تخلیه مناسب‌تری داشته و از سیلاب در امان هستند. لایه تراکم آبراهه‌ای با کمک ابزار Line Density و از ترکیب نقشه ارتفاع و تراکم آبراهه‌ای نقشه فاکتور قابلیت تخلیه در محیط GIS تهیه شد.

### جریان تجمعی

جریان تجمعی یکی از مهمترین فاکتورها در سیل‌خیزی است (وو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۵). مقادیر جریان تجمعی با افزایش تجمع جریان آب در پایین دست حوضه، افزایش می‌یابد. در نتیجه نواحی پایین دست حوضه مستعد سیلاب بیشتری است. در این راستا ابتدا از روی نقشه توپوگرافی ۲۵۰۰۰، شبکه آبراهه‌ها ترسیم و پس از آن لایه جهت جریان در GIS استخراج و از این لایه، نقشه جریان تجمعی به دست آمد.

### میزان رواناب

معیاری که میزان رواناب مستقیم ناشی بارندگی رخ داده در حوضه آبریز را نشان می‌دهد، این عامل غالباً نشانگر تاثیر کاربری زمین، شیب و لیتولوژی برای تولید رواناب است. برای تهیه این لایه، نقشه لیتولوژی، پوشش زمین و شیب با هم تلفیق شده‌اند.

### ارتفاع

یکی از مهمترین فاکتورها در توان سیل‌خیزی یک دشت سیلابی، عامل ارتفاع است. همواره مناطق کم ارتفاع از مناطق مرتفع‌تر آسیب‌پذیرتر هستند (اوما و تاتیشی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴). فاکتور مذکور با استفاده از مدل ارتفاع رقومی ۳۰ متری به دست آمد.

### فاصله از آبراهه

احتمال سیل‌خیزی در محدوده‌های نزدیک به شبکه آبراهه نسبت به مناطق دور از آن همواره بیشتر است (ویگلیون و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹). لایه فاصله از آبراهه با انجام عملیات Buffering بر روی لایه آبراهه‌ها تهیه شد.

### پوشش زمین

همواره فرایندهای هیدرولوژیکی توسط نوع پوشش زمین کنترل می‌شود. به طوری که زمین‌های بیابانی و خشک و کاربری‌های مسکونی به ایجاد سیل کمک کرده و پوشش گیاهی منجر به نفوذ آب و از ایجاد سیلاب جلوگیری می‌کند (کازاکیس و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۵). لایه پوشش زمین از روش طبقه‌بندی تصاویر سنتینل ۲ تهیه شد.

### لیتولوژی

خصوصیت تخلخل و بافت سنگ، نقش ویژه‌ای در نفوذپذیری و مقدار جریان آب سطحی و در پی آن ظرفیت نفوذ و میزان رواناب یک محدوده دارد. به طوری که همواره آبرفت نفوذپذیری مناسب‌تری نسبت به ماسه سنگ دارد (بهاروند و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۶). در این تحقیق لایه لیتولوژی از روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمان تهیه شد.

### شیب

یکی از عوامل مهم در نفوذپذیری و عامل کنترل‌کننده سیل‌خیزی در هر مکانی، شیب زمین است. انباشتگی و سرعت جریان آب

<sup>۱</sup> Wu et al.

<sup>۲</sup> Ouma & Tateishi

<sup>۳</sup> Viglione et al.

<sup>۴</sup> Kazakis et al.

<sup>۵</sup> Baharvand et al.

توسط شیب کنترل می‌شود. شیب زیاد باعث تخلیه سریع آب شده و شیب کم منجر به تجمع آب و در نتیجه جاری شدن سیل می‌شود (آندولم و دمکه؛ ۲۰۱۹). برای تهیه لایه شیب از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری استفاده شد.

### تکنیک حد آستانه در شناسایی سیلاب

تکنیک حد آستانه مشمول جدایش تصویر به بخش‌های مختلف مقیاس خاکستری بر مبنای پیک‌های هیستوگرام است (دشموخ<sup>۲</sup> و شینده، ۲۰۰۵). این روش غالباً بر این اساس استوار است که نرخ بازتاب طیفی توسط منطقه سیل‌زده در تصاویر راداری خیلی کم است و در نتیجه، اگر پیکسل‌هایی که زیر یک مقدار آستانه مشخص هستند را انتخاب کنید، مناطق سیل زده شناسایی می‌شوند. بنابراین تشخیص حد آستانه مناسب تاثیر ویژه‌ای در نتایج دارد. پیکسل‌های مربوط به سیل از روی واریانس روشنایی اندازه‌گیری می‌شوند. از رابطه زیر پیکسل‌های سیل زده مشخص می‌شوند:

$$PD = (\{\mu [D]\} - kf * \{\sigma [D]\}) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن  $\mu$  میانگین پیکسل‌ها،  $PD$  پیکسل‌های سیل زده و  $\sigma$  انحراف استاندارد این پیکسل‌ها است. مقدار بهینه  $kf$  (حد آستانه) برای منطقه مورد نظر بر مبنای چندین تکرار ۱,۷ مشخص شد. بسیاری از فاکتورها در زمان کالیبراسیون مقدار  $kf$ ، از جمله تمایز انواع ویژگی سیل (مثل نزدیکی به رودخانه‌ها و طغیان بسترهای خشک) و مقدار نویز باقیمانده و پوشش آن، آزمایش می‌شوند.

تصاویر رادار در مرحله پیش پردازش، به صورت رادیومتری کالیبره شده و پس از آن به منظور کاهش نویز فیلتر می‌شوند. با اعمال فیلتر لی  $3 \times 3$  بر روی تصویر خام، داده‌های Sigma Naught در واحد دسی بل (dB) ایجاد می‌شود. همچنین از مراحل ضروری پس پردازش، حذف اثر سایه است. اثر سایه در نتیجه نرسیدن موج رادار به سطح زمین ایجاد شده و باعث شده تا بازتاب تصویر شبیه به بازتاب مناطق آبی شود، در نتیجه نواحی کاذب سیلاب ایجاد شود. برای این هدف از مدل رقومی ارتفاع استفاده شد، به طوری که نواحی که در نقشه سیلاب مقادیر شیب بیش از ۱۵ درجه دارند، سایه فرض شده و از نتایج حذف شوند. جهت اعتبارسنجی روش Fuzzy-AHP از تصاویر سنتینل ۱ استفاده شد. بطوری که با اعمال تکنیک حد آستانه روی تصاویر سنتینل ۱ مربوط به مناطق مورد مطالعه، نواحی سیل‌زده در منطقه، شناسایی و با لایه پتانسیل سیلاب حاصل از روش مذکور مقایسه می‌شود.

### روش فازی – سلسله مراتبی

اولین بار چانگ<sup>۳</sup> (۱۹۹۶) روش Fuzzy-AHP ارائه کرد. وزن‌دهی در این روش به صورت فازی انجام گرفته و به صورت ماتریس مقایسات دودویی، ارائه می‌شود. مقیاس‌های فازی مورد استفاده در روش Fuzzy-AHP در جدول شماره ۱ آمده است. بنابراین در این روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی، با استفاده از مفاهیم پایه نظریه مجموعه‌های فازی، به فضای فازی توسعه داده می‌شود (رجاسخار و همکاران؛ ۲۰۱۹). مراحل انجام روش مذکور در پژوهش حاضر در زیر آمده است. و در حقیقت از این روش در وزن‌دهی پارامترها جهت تلفیق آنها استفاده شد.

جدول ۱. طریقه وزن‌دهی معیارها در روش Fuzzy-AHP (سنگ و همکاران، ۲۰۰۸)  
Table 1. Criteria weighting method in Fuzzy-AHP method (Seng et al., 2008)

| مقیاس زبانی برای وزن‌دهی | اعداد فازی                           | معکوس اعداد فازی                     |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| عیناً یکسان              | (1, 1, 1)                            | (1, 1, 1)                            |
| اهمیت برابر یا عدم ترجیح | ( $\frac{1}{2}$ , 1, $\frac{3}{2}$ ) | ( $\frac{3}{2}$ , 1, $\frac{1}{2}$ ) |
| نسبتاً مهم‌تر            | (1, $\frac{3}{2}$ , 2)               | ( $\frac{1}{2}$ , $\frac{2}{3}$ , 1) |

<sup>۱</sup> Andualem & Demeke

<sup>۲</sup> Deshmukh & Shinde

<sup>۳</sup> Chang

<sup>۴</sup> Rajasekhar et al.

|                                           |                                 |               |
|-------------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| $(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$ | $(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ | مهم‌تر        |
| $(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2})$ | $(2, \frac{5}{2}, 3)$           | خیلی مهم‌تر   |
| $(\frac{2}{7}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5})$ | $(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$ | کاملاً مهم‌تر |

۱- ایجاد، ساماندهی و سازماندهی پایگاه داده‌های فضایی در قالب مدل‌های برداری و رستری

۲- استخراج نقشه‌های مربوطه، از لایه‌های متفاوت.

۳- تهیه ماتریس مقایسه زوجی: ماتریس مقایسه زوجی، با نظر کارشناسان تشکیل می‌شود. در این راستا، از ۴۰ متخصص نظرسنجی شد. به طوری که عوامل دو به دو مقایسه شده و بر اساس اعداد فازی جدول شماره ۱، وزن نهایی هر عامل محاسبه می‌شود.

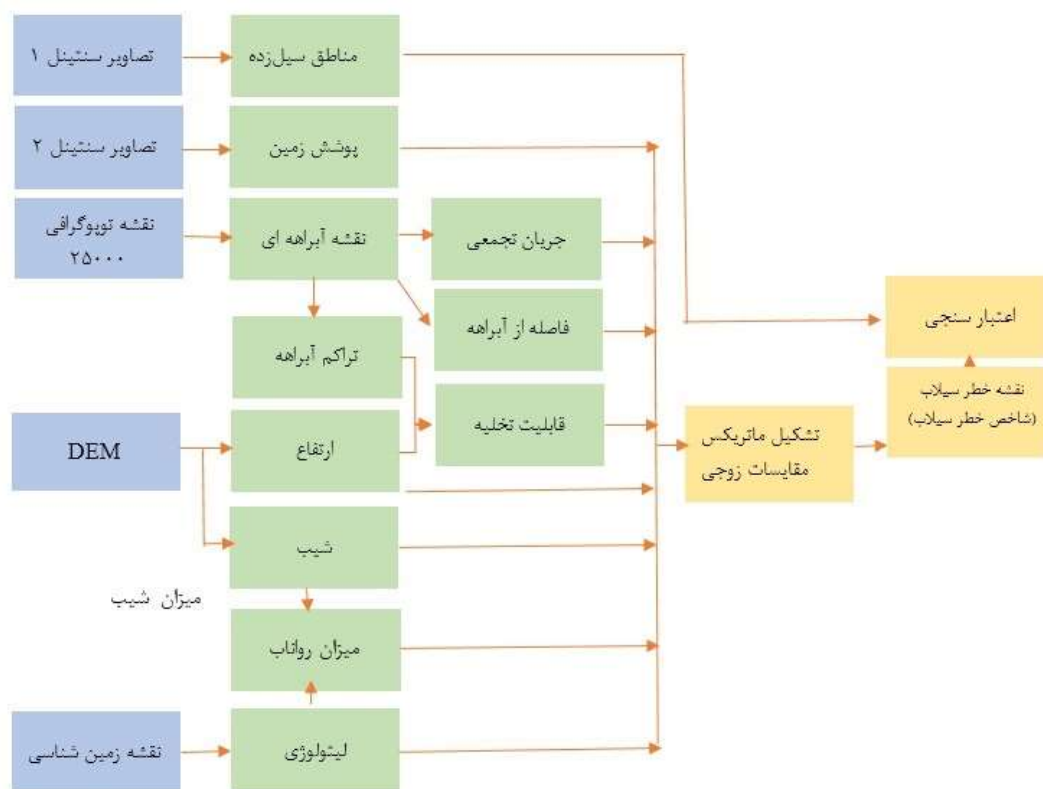
۴- محاسبه وزن عوامل مختلف در ماتریس‌های مقایسه زوجی و تعیین وزن نهایی.

### شاخص خطر سیلاب

به دنبال محاسبه وزن و رتبه‌بندی هر عامل، برای تهیه شاخص خطر سیل (FHI) از رابطه زیر استفاده شد (داش و سار، ۲۰۲۰).

$$FHI = \sum_{i=1}^{j=1 \text{ to } 5} r_{ij} \cdot w_i \quad (\text{رابطه ۲})$$

جایی که  $n$  تعداد پارامترها،  $w_i$  وزن پارامتر  $i$  ام و  $r_{ij}$  رتبه بندی پارامتر  $i$  ام برای دسته  $j$  ام، است که از طریق روش فازی به دست می‌آید. در آخر، مقادیر لایه رستری FHI به منظور تهیه مناطق خطر، به پنج طبقه کلاسه بندی می‌شود. شکل شماره ۲ فلوچارت روش تحقیق را نمایش می‌دهد.

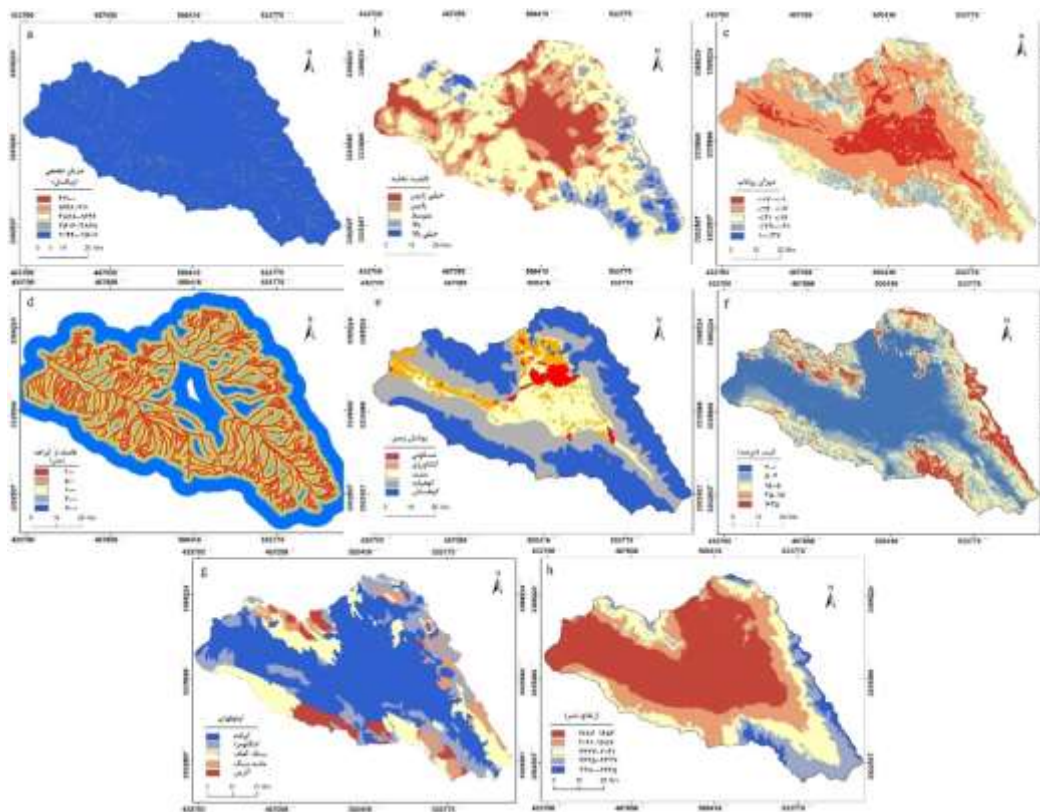


شکل ۲. فلوچارت روش تحقیق  
Fig. 2. Research methodology flowchart

## نتایج و بحث

### نقشه فاکتورهای موثر در سیل خیزی

به منظور شناسایی و تهیه لایه خطر سیلاب، فاکتورهای موثر در سیل خیزی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و به نقشه در آمدند. نقشه ۸ فاکتور تاثیرگذار در سیل خیزی در شکل شماره ۳ ارائه شده است. در شکل a<sup>۳</sup> پارامتر جریان تجمعی در چهار کلاس مختلف ترسیم شده که نشان دهنده افزایش انباشتگی آب در قسمت‌های مختلف حوضه آبریز است، جریان تجمعی در مناطق قرمز رنگ بیشتر از محدوده‌های آبی رنگ است. شکل b<sup>۳</sup> گنجایش انتقال آب در سیستم زهکشی و توانایی زهکشی حوضه آبریز در نقشه قابلیت تخلیه را نشان می‌دهد. در شکل c<sup>۳</sup> نقشه میزان رواناب مشاهده می‌شود که نشانگر میزان رواناب شکل گرفته در نتیجه بارش رخ داده در حوضه آبریز است. نقشه فاصله از آبراهه (شکل d<sup>۳</sup>) نشانگر مقدار فاصله از آبراهه است به طوری محدوده‌هایی که در فاصله بیشتری قرار دارند نسبت به محدوده‌هایی که در فاصله کمتری از شبکه آبراهه قرار دارند کمتر در معرض خطر سیلاب هستند. شکل e<sup>۳</sup> نشان دهنده کاربری‌های متفاوت اراضی است که تاثیرات مختلفی بر روی مخاطره سیلاب دارند، شکل f<sup>۳</sup> پارامتر شیب زمین را ترسیم کرده است. این فاکتور عامل بسیار تاثیرگذاری در نفوذپذیری آب و در نتیجه کنترل سیل خیزی دارد، همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود مناطق با شیب کم از خطر بالاتر سیل خیزی برخوردارند. لیتولوژی‌های متفاوت (شکل g<sup>۳</sup>)، تاثیرات مختلفی بر روی سیل خیزی دارند، زیرا خصوصیات مربوط به سنگ‌ها، مانند بافت و تخلخل سنگ، نقش با اهمیتی در نفوذپذیری آب و در نتیجه مقدار جریان آب سطحی دارد. همواره به علت ورود آب از مناطق بالاتر به مناطق پایین دست، به لحاظ سیل خیزی، مناطق کم ارتفاع در معرض آسیب‌پذیری بیشتری هستند (شکل h<sup>۳</sup>). از بین پارامترهای مذکور به ترتیب فاکتورهای جریان تجمعی، قابلیت تخلیه، میزان رواناب، فاصله از آبراهه، پوشش زمین، شیب، لیتولوژی و ارتفاع در امر سیل خیزی از اهمیت ویژه‌تری برخوردارند.



شکل ۳. نقشه فاکتورهای مختلف تاثیرگذار در سیل خیزی، a: نقشه جریان تجمعی، b: نقشه قابلیت تخلیه، c: نقشه میزان رواناب، d: نقشه فاصله از آبراهه، e: نقشه پوشش زمین، f: نقشه شیب، g: لیتولوژی، h: ارتفاع

Fig. 3. Map of various factors affecting flooding, a: Cumulative flow map, b: Drainability map, c: Runoff rate map, d: Distance from watercourse map, e: Land cover map, f: Slope map, g: Lithology, h: Elevation

### نقشه‌های فازی و ماتریس مقایسات دودویی فاکتورها

به منظور رسیدن به نقشه خطر سیلاب، در روش سلسله مراتبی فازی، باید تک تک معیارها وزن‌دهی شده و بر اساس آن ترکیب انجام گیرد. ماتریس مقایسه دودویی معیارها در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. در این جدول فاکتورها بر مبنای اعداد فازی جدول شماره ۱، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته و وزن نهایی هر معیار محاسبه شده است. بر این اساس، فاکتور ارتفاع با وزن ۰/۴۳ کمترین تاثیر و فاکتور جریان تجمعی با وزن ۰/۴۳۶ بیشترین تاثیر را در سیل خیزی دارد.

با توجه به اینکه هر یک از فاکتورهای مذکور نیز در بین خود از زیر معیارهایی تشکیل شده‌اند و آنها نیز هر یک تاثیرات متفاوتی در سیل خیزی دارند می‌بایست به صورت دودویی مورد مقایسه قرار گرفته و وزن‌دهی شوند. بنابراین برای همه فاکتورها ماتریس مقایسه دودویی به صورت جداگانه تهیه شد (جدول ۳). نقشه‌های فازی مربوط به هر یک از فاکتورها نیز در شکل شماره ۴ مشاهده می‌شود.

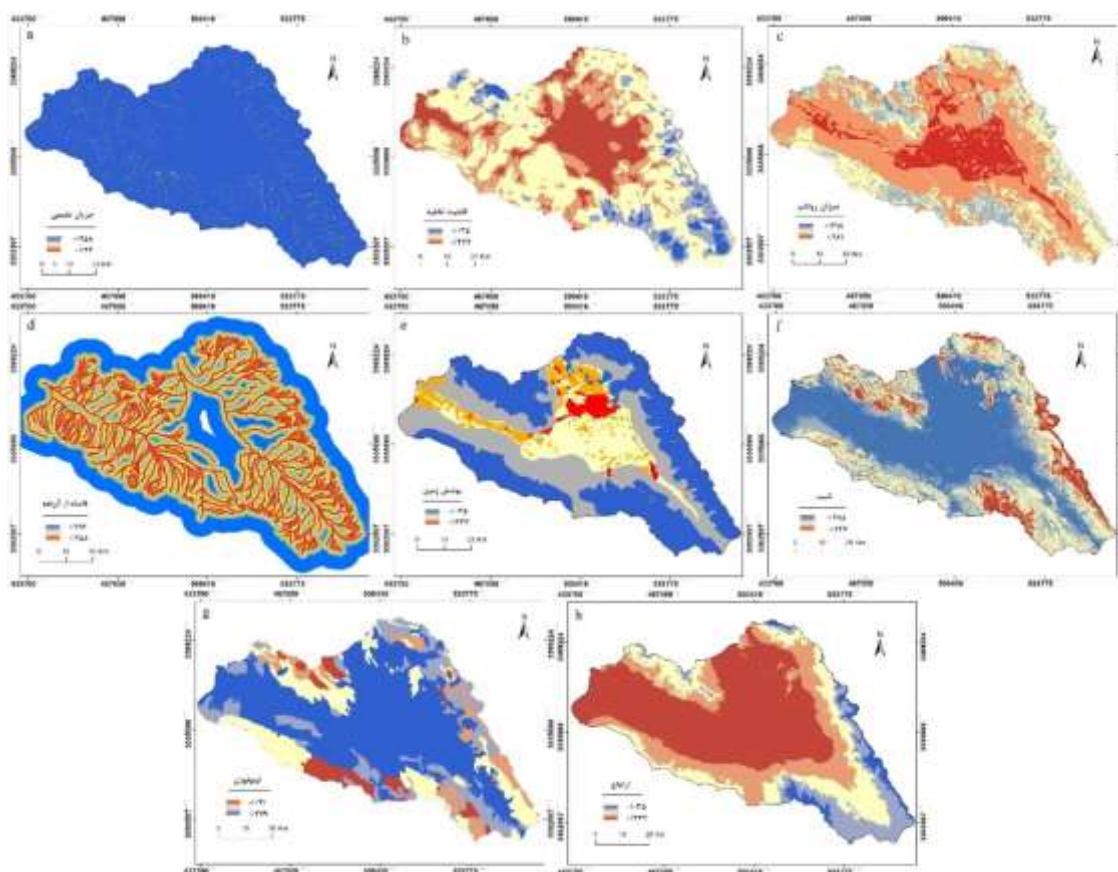
جدول ۲. ماتریس مقایسه دودویی فاکتورها

Table 2. Binary comparison matrix of factors

| فاکتور   | ارتفاع                                    | لیتولوژی                        | شیب                             | پوشش زمین                       | فاصله از آبراهه                 | میزان رواناب                    | قابلیت تخلیه                    | جریان تجمعی                     | وزن نهایی |
|----------|-------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------|
| ارتفاع   | (1, 1, 1)                                 | $(1, \frac{3}{2}, 2)$           | $(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ | $(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ | $(2, \frac{5}{2}, 3)$           | $(2, \frac{5}{2}, 3)$           | $(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$ | $(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$ | ۰/۰۶۲     |
| لیتولوژی | $(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$           | (1, 1, 1)                       | $(1, \frac{3}{2}, 2)$           | $(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ | $(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ | $(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ | $(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$ | $(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$ | ۰/۰۸۷     |
| شیب      | $(\frac{2}{5}, \frac{1}{3}, \frac{2}{3})$ | $(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$ | (1, 1, 1)                       | $(1, \frac{3}{2}, 2)$           | $(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ | $(2, \frac{5}{2}, 3)$           | $(2, \frac{5}{2}, 3)$           | $(2, \frac{5}{2}, 3)$           | ۰/۱۴۲     |

|       |                                 |                                 |                                 |                                           |                                           |                                           |                                           |                                           |                 |
|-------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|
| ۰/۱۸۵ | $(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ | $(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ | $(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ | $(1, \frac{3}{2}, 2)$                     | $(1, 1, 1)$                               | $(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$           | $(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$ | $(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$ | پوشش زمین       |
| ۰/۳۴۴ | $(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$ | $(1, \frac{3}{2}, 2)$           | $(1, \frac{3}{2}, 2)$           | $(1, 1, 1)$                               | $(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$           | $(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$           | $(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$ | $(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2})$ | فاصله از آبراهه |
| ۰/۳۷۳ | $(1, \frac{3}{2}, 2)$           | $(1, \frac{3}{2}, 2)$           | $(1, 1, 1)$                     | $(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$           | $(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$ | $(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2})$ | $(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$ | $(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2})$ | میزان رواناب    |
| ۰/۴۵۶ | $(1, \frac{3}{2}, 2)$           | $(1, 1, 1)$                     | $(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$ | $(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$           | $(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$ | $(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2})$ | $(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$ | $(\frac{2}{7}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5})$ | قابلیت تخلیه    |
| ۰/۴۷۲ | $(1, 1, 1)$                     | $(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$ | $(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$ | $(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$ | $(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$ | $(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2})$ | $(\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3})$ | $(\frac{2}{7}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5})$ | جریان تجمعی     |

فاکتور جریان تجمعی، از بین فاکتورهای مختلف به عنوان مهمترین معیار، محسوب می‌شود که در شکل ۳a ارائه شده است. آن طوری که در این شکل نمایان است منطقه مورد بررسی از لحاظ جریان تجمعی به ۵ کلاس تقسیم شده است. انباشتگی جریان آب با افزایش میزان جریان تجمعی، افزایش می‌یابد. در ماتریس مقایسه دودویی مربوط به معیار جریان تجمعی زیرفاکتور طبقه اول وزن ۰/۱۲۶ و زیرفاکتور طبقه آخر وزن ۰/۲۵۸ به آن متعلق می‌شود. برای بقیه معیارها نیز به همین صورت وزن‌دهی صورت پذیرفته است (جدول ۳). اوزان داده شده در مقیاس فازی بین صفر و یک متغیر هستند. هرچه عدد به یک نزدیکتر باشد یعنی دارای وزن بیشتر و تاثیر بیشتری در امر سیل‌خیزی دارد.



شکل ۴. نقشه‌های فازی شده فاکتورهای مختلف، a: نقشه جریان تجمعی، b: نقشه قابلیت تخلیه، c: نقشه میزان رواناب، d: نقشه فاصله از آبراهه، e: نقشه پوشش زمین، f: نقشه شیب، g: لیتولوژی، h: ارتفاع

Fig. 4. Fuzzy maps of different factors, a: Cumulative flow map, b: Drainability map, c: Runoff rate map, d: Distance from watercourse map, e: Land cover map, f: Slope map, g: Lithology, h: Elevation

یکی دیگر از عوامل موثر در سیل‌خیزی، معیار قابلیت تخلیه به حساب می‌آید، آنچنان که مناطق با ارتفاع کم و تراکم آبراهه‌ای کمتر، دارای قابلیت تخلیه کم و استعداد بالایی در سیل‌خیزی هستند. در حالی که مناطق با ارتفاع بالا و تراکم آبراهه‌ای زیاد، دارای قابلیت تخلیه خوب بوده و مصون از سیلاب می‌باشند. همان گونه که در نقشه شماره ۴b نمایان است محدوده مورد بررسی از لحاظ

قابلیت تخلیه به پنج دسته تقسیم شده است که کلاس با توانایی تخلیه خیلی کم دارای وزن  $0/332$  و کلاس با توانایی تخلیه خیلی زیاد وزن  $0/035$  می‌گیرد.

### نقشه خطر سیلاب

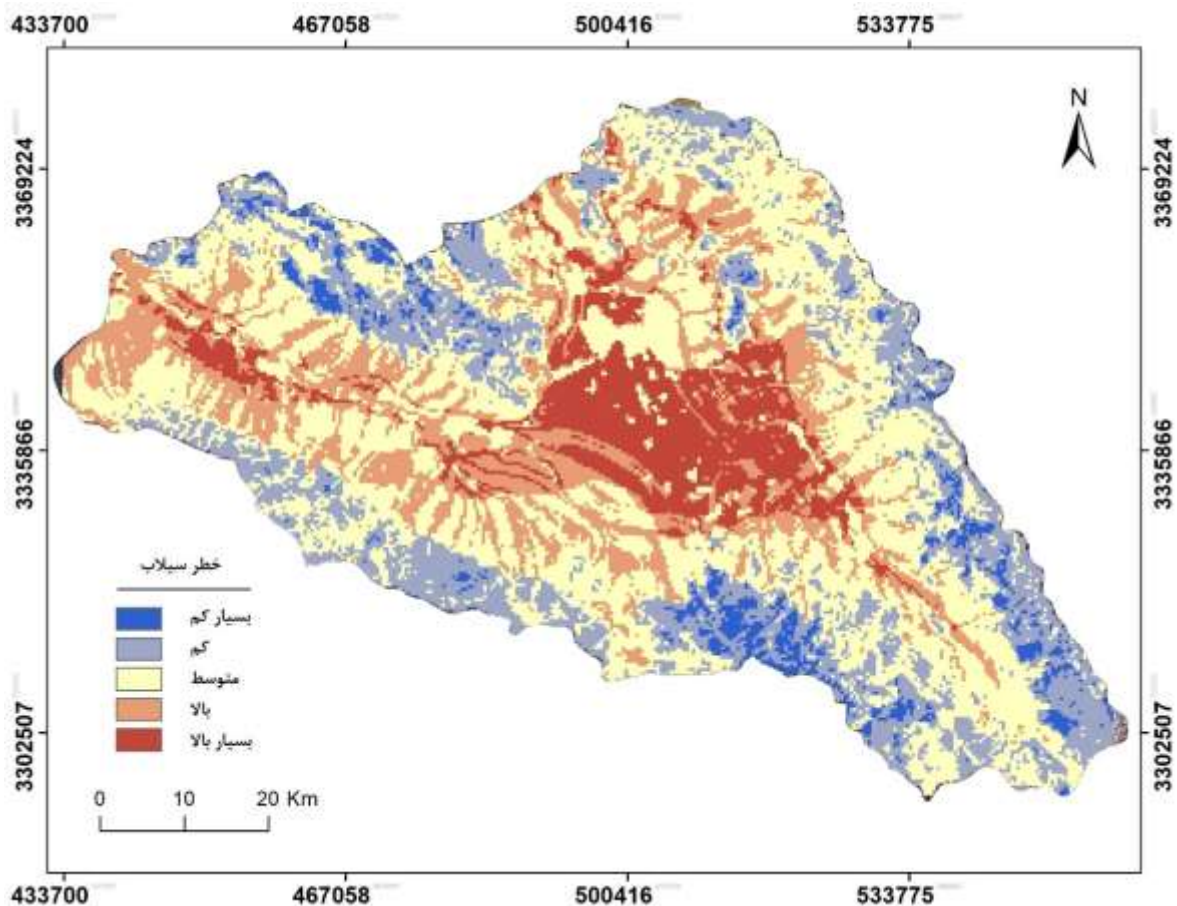
وزن معیارها، زیرمعیارها و وزن نهایی هر یک از معیارها در جدول شماره ۳ آمده است. وزن نهایی هر معیار از طریق ضرب وزن زیر فاکتور در وزن فاکتور اصلی هر یک از زیرفاکتورها، به دست آمده است. به منظور تهیه شاخص خطر سیلاب، همه نقشه‌های تهیه شده و وزن دهی شده تلفیق شد. نقشه مذکور به کمک روش طبقه‌بندی کمی مورد دسته‌بندی قرار گرفت. نقشه خطر سیلاب در شکل شماره ۵ نشان داده شده است، به طوری که در این شکل نمایان است، منطقه مورد مطالعه به لحاظ خطر سیلاب به ۵ کلاس خطر بسیار کم، کم، متوسط، بالا و بسیار بالا طبقه‌بندی می‌شود. در حدود ۱۶ درصد از منطقه مورد مطالعه در خطر بسیار بالا ( $81184$  هکتار)، ۲۲ درصد در خطر بالا ( $111628$  هکتار)، ۳۵ درصد در خطر متوسط ( $177590$  هکتار)، ۱۸ درصد در خطر کم ( $91332$  هکتار) و ۹ درصد در خطر بسیار کم ( $45666$  هکتار)، قرار دارد. مناطق با خطر بالا و خیلی بالا غالباً در مناطق مخروط افکنه‌ای و دشت قرار گرفته است.

جدول ۳. وزن فاکتورها و زیرفاکتورها و وزن نهایی

Table 3. Weight of factors and subfactors and final weight

| Fuzzy-AHP |                |            | فاکتور    | زیر فاکتور    | Fuzzy-AHP |                |            | زیر فاکتور      | فاکتور             |
|-----------|----------------|------------|-----------|---------------|-----------|----------------|------------|-----------------|--------------------|
| وزن نهایی | وزن زیر فاکتور | وزن فاکتور |           |               | وزن نهایی | وزن زیر فاکتور | وزن فاکتور |                 |                    |
| $0/007$   | $0/039$        | $0/185$    | پوشش زمین | کوهستان       | $0/062$   | $0/132$        | $0/472$    | $0 - 453$       | جریان<br>تجمعی     |
| $0/032$   | $0/174$        |            |           | کوهپایه       | $0/086$   | $0/184$        |            | $453 - 1732$    |                    |
| $0/044$   | $0/239$        |            |           | دشت           | $0/099$   | $0/211$        |            | $1732 - 3269$   |                    |
| $0/054$   | $0/293$        |            |           | مناطق کشاورزی | $0/117$   | $0/248$        |            | $3269 - 12764$  |                    |
| $0/065$   | $0/351$        |            |           | مناطق مسکونی  | $0/123$   | $0/261$        |            | $12764 - 21854$ |                    |
| $0/018$   | $0/128$        | $0/142$    | شیب       | $> 35$        | $0/013$   | $0/029$        | $0/456$    | خیلی بالا       | قابلیت تخلیه       |
| $0/026$   | $0/183$        |            |           | $15 - 35$     | $0/054$   | $0/118$        |            | بالا            |                    |
| $0/029$   | $0/207$        |            |           | $5 - 15$      | $0/124$   | $0/272$        |            | متوسط           |                    |
| $0/036$   | $0/251$        |            |           | $2 - 5$       | $0/127$   | $0/279$        |            | پایین           |                    |
| $0/041$   | $0/286$        |            |           | $0 - 2$       | $0/158$   | $0/347$        |            | خیلی پایین      |                    |
| $0/007$   | $0/087$        | $0/087$    | لیتولوژی  | آبرفت         | $0/065$   | $0/176$        | $0/373$    | $0/01 - 0/08$   | میزان<br>رواناب    |
| $0/015$   | $0/172$        |            |           | کنگومرا       | $0/084$   | $0/227$        |            | $0/08 - 0/16$   |                    |
| $0/017$   | $0/195$        |            |           | سنگ آهک       | $0/091$   | $0/245$        |            | $0/16 - 0/24$   |                    |
| $0/019$   | $0/213$        |            |           | ماسه سنگ      | $0/113$   | $0/302$        |            | $0/24 - 0/41$   |                    |
| $0/025$   | $0/286$        |            |           | آذرین         | $0/129$   | $0/347$        |            | $0/41 - 1$      |                    |
| $0/003$   | $0/047$        | $0/062$    | ارتفاع    | $2932 - 4181$ | $0/028$   | $0/117$        | $0/244$    | $7000$          | فاصله از<br>آبراهه |
| $0/007$   | $0/108$        |            |           | $2641 - 2932$ | $0/040$   | $0/166$        |            | $2000$          |                    |
| $0/012$   | $0/199$        |            |           | $2197 - 2641$ | $0/048$   | $0/198$        |            | $1000$          |                    |

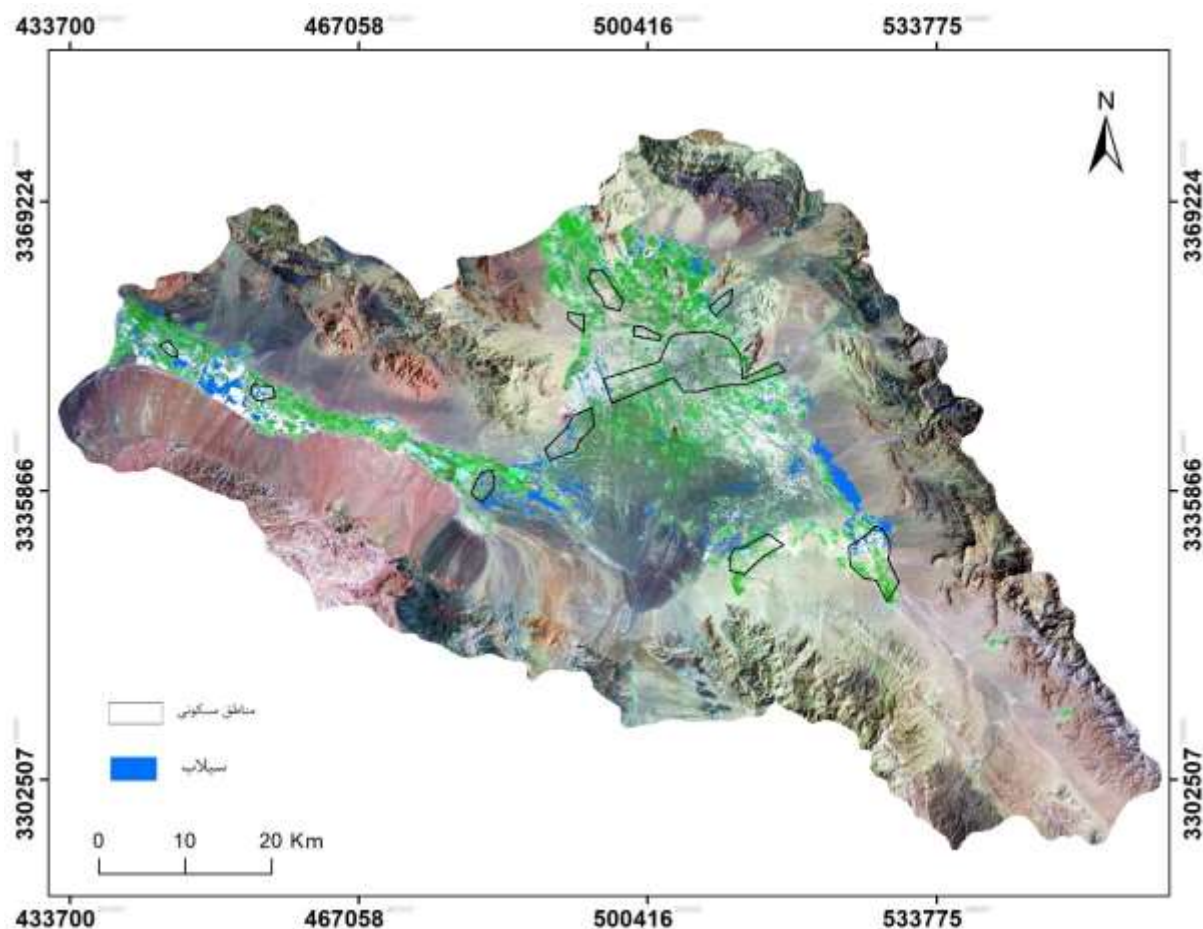
|       |       |  |             |  |       |       |  |     |  |
|-------|-------|--|-------------|--|-------|-------|--|-----|--|
| ۰/۰۱۷ | ۰/۲۷۵ |  | ۱۸۵۲ - ۲۱۹۷ |  | ۰/۰۵۳ | ۰/۲۱۹ |  | ۵۰۰ |  |
| ۰/۰۲۱ | ۰/۳۴۴ |  | ۱۶۰۴ - ۱۸۵۲ |  | ۰/۰۶۰ | ۰/۲۴۷ |  | ۲۰۰ |  |



شکل ۵. نقشه مخاطره سیلاب  
Fig. 5. Flood hazard map

#### اعتبارسنجی نقشه مخاطره سیلاب

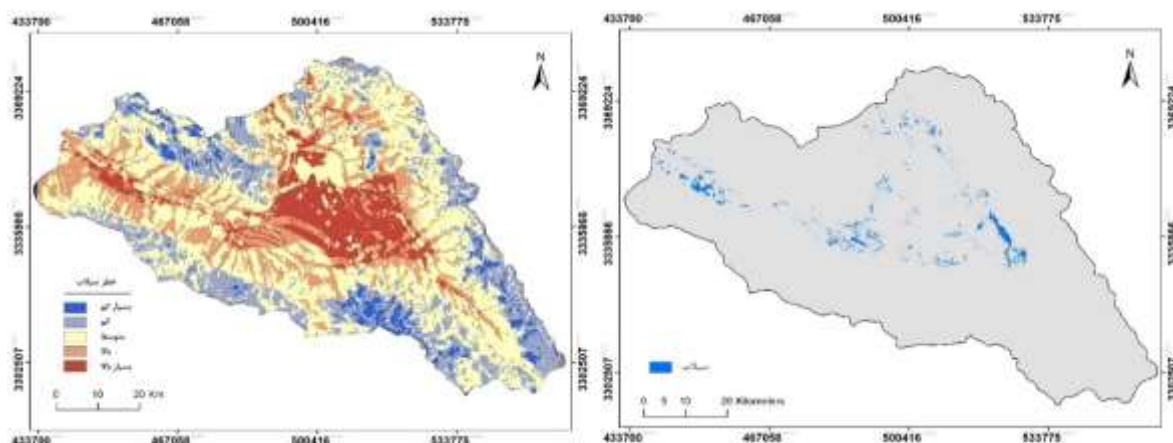
برای اعتبارسنجی نقشه مخاطره سیلاب تهیه شده است از روش سلسله مراتبی فازی از داده‌های راداری سنتینل ۱ مربوط به سیلاب ۸ مرداد ماه ۱۴۰۱ رخ داده در محدوده مورد مطالعه، استفاده شد، با اعمال روش حد آستانه بر روی تصویر راداری مذکور، نقشه محدوده‌های سیل‌زده استخراج شد. شکل شماره ۶ مناطق سیلابی را نشان می‌دهد. مساحتی بالغ بر ۴۰۰۰ هکتار از منطقه مورد مطالعه از سیلاب متاثر شده است.



شکل ۶. نقشه محدوده‌های سیل‌زده

Fig. 6. Map of flooded areas

در راستای اعتبارسنجی نقشه خطر سیلاب، لایه مذکور با نقشه مناطق سیل‌زده مورد مقایسه قرار گرفت. با مقایسه این دو نقشه مشخص شد که حدود ۴۵ و ۳۷ درصد از مساحت کل محدوده‌های سیل‌زده به ترتیب در کلاس با خطر بالا و خطر بسیار بالا قرار دارد. و تنها حدود ۷ و ۹ درصد از مساحت آبرگرفتنی به ترتیب در کلاس با خطر کم و خطر متوسط قرار گرفته است و ۲ درصد از محدوده آبرگرفته در طبقه بسیار کم خطر قرار دارد (شکل ۷). همچنین به منظور ارزیابی کمی اعتبار نقشه خطر سیلاب، ۴۰ نقطه از محدوده مورد مطالعه انتخاب و ماتریس خطای آن توسط نرم‌افزار محاسبه شد، که بر این اساس ضریب کاپا ۰/۸۷ و دقت کل ۸۸ درصد به دست آمد. با بررسی توزیع مکانی انواع پوشش زمین مرتبط با نقشه خطر سیلاب و نقشه مناطق سیل‌زده مشخص می‌شود که مناطق کشاورزی در هر دو حالت آسیب پذیرترین مکان‌ها در ارتباط با پدیده سیلاب هستند. در کل، بررسی‌ها نشان داد که برآورد محدوده‌های خطر مبتنی بر شاخص، بسیار واقع بینانه است و با رویداد طغیان سیل مطابقت خوبی دارد.



شکل ۷. مقایسه نقشه مخاطره سیلاب با نقشه محدوده‌های سیل‌زده

Fig. 7. Comparison of flood hazard map with flood affected areas map

بنابراین با عنایت به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان چنین بیان کرد که روش آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره، نظیر روش سلسله مراتبی فازی ابزاری پشتیبان و انعطاف‌پذیر در شناسایی مناطق سیل‌خیز است. همچنین مقایسه نتایج به دست آمده از این تحقیق با پژوهش‌های مشابه بیانگر تایید و هماهنگی بین این نتایج است به طور مثال در پژوهش ساملا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۸) سیستم اطلاعات جغرافیایی را ابزاری قوی در ارتباط با پهنه‌بندی سیلاب در نظر می‌گیرد، که با نتایج حاصل از این پژوهش مطابقت دارد. همچنین نتایج به دست آمده از تحقیقاتی نظیر میرموسوی و اسماعیلی (۲۰۲۱) و داتا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۳) نیز به مانند تحقیق حاضر بر کارایی داده‌های راداری در ارتباط با پایش و بررسی سیلاب‌ها اتفاق نظر دارند ساملا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۸).

## نتیجه‌گیری

خطر سیلاب در محدوده مورد مطالعه با تلفیق فاکتورهای موثر در ایجاد سیلاب، پتانسیل‌یابی شد. بر اساس نتایج به دست آمده در حدود ۱۶ درصد از منطقه مورد مطالعه در خطر بسیار بالا (۸۱۱۸۴ هکتار)، ۲۲ درصد در خطر بالا (۱۱۱۶۲۸ هکتار)، ۳۵ درصد در خطر متوسط (۱۷۷۵۹۰ هکتار)، ۱۸ درصد در خطر کم (۹۱۳۳۲ هکتار) و ۹ درصد در خطر بسیار کم (۴۵۶۶۶ هکتار)، قرار دارد. محدوده‌های با خطر خیلی بالا و بالا غالباً در مناطق مخروط افکنه‌ای و دشت واقع شده‌اند. نتایج به دست آمده نشان داد که علاوه بر باغات کشاورزی بسیاری از محدوده‌های مسکونی مخصوصاً روستاها در خطر سیلاب قرار دارند. اعمال روش حد آستانه بر داده‌های راداری سنتینل ۱ مشخص کرد که این داده‌ها قابلیت مناسبی در شناسایی سیلاب دارند. با توجه به قابلیت نفوذ امواج راداری در ابر می‌توان از آنها در شرایط آب و هوای ابری و بارانی در پایش سیلاب استفاده کرد. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که از بین عوامل مختلف، پارامترهای جریان تجمعی، قابلیت تخلیه، میزان رواناب به ترتیب اثرگذارترین عوامل و پارامترهای ارتفاع، لیتولوژی و شیب زمین از تاثیرگذاری کمتری در امر سیل‌خیزی برخوردارند. بر همین اساس می‌توان چنین برداشت کرد که سیل‌خیزی منطقه بسیار به نوع بارش‌های رخ داده در سطح حوضه آبریز مرتبط است تا شکل و ویژگی‌های زمین شناسی و مورفولوژی حوضه، به طوری که باران‌های ناگهانی و شدید به سرعت قابلیت ایجاد سیلاب دارند. علاوه بر این وجود باغات زیاد پسته در محدوده دشت می‌تواند دلیل کاهش شدید قابلیت تخلیه در سطح دشت و افزایش خطر سیلاب در این مناطق شده باشد.

نتایج به دست آمده از صحت سنجی روش سلسله مراتبی فازی نشان دهنده کارایی این روش در تعیین خطر سیلاب بوده

<sup>۱</sup> Samela et al.

<sup>۲</sup> Dutta et al.

<sup>۳</sup> Samela et al.

ضمن اینکه یک روش نسبتاً دقیق در امر تصمیم‌گیری است. پس می‌توان اینچنین برداشت کرد که همواره رویکرد مبتنی بر شاخص برآمده از تلفیق فاکتورهای مهم می‌تواند راه حل معتبری در ارزیابی خطر سیلاب باشد. همچنین با عنایت به افزایش روزافزون رخداد سیلاب در محدوده مورد مطالعه، مناطق شناسایی شده با خطر خیلی بالای و بالای سیلاب، جهت برنامه‌ریزی و ارائه راهکارهای مدیریت سیلاب و کاهش صدمات ناشی از آن می‌تواند مورد توجه مسئولین قرار گیرد. در آخر آنچه که به عنوان جمع‌بندی می‌شود به آن اشاره کرد، این است که استفاده از داده‌های راداری می‌تواند در شناسایی سیلاب‌ها بسیار کارگشا باشد، و همواره با بررسی فاکتورهای موثر در ایجاد سیلاب‌ها در هر مکان و تلفیق این فاکتورها، به کمک روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌توان محدوده‌های پرخطر را با دقت زیادی شناسایی کرد و در جهت کاهش مخاطرات ناشی از این پدیده در آینده تصمیم‌های ویژه‌ای برای آن مکان‌ها اتخاذ کرد. در روش سلسله مراتبی فازی در بررسی سیلاب، هر چه محدوده مورد بررسی کوچکتر تعیین شود، نتایج دقیق‌تر و بهتری به دست می‌آید، چون با کاهش محدوده، امکان دستیابی به داده‌های موثر دقیق‌تری در این زمینه، فراهم شده و این امر در نتیجه نهایی می‌تواند موثر باشد.

### مشارکت نویسندگان

جمع‌آوری داده‌ها: علی مهرابی، علی اصغر عبداللهی؛ تهیه گزارش پژوهش: حدیث عطاری؛ تحلیل داده‌ها: علی مهرابی، علی اصغر عبداللهی؛ تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج: علی مهرابی، حدیث عطاری.

### تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

### References

- Ahmed, I., Das, N., Debnath, J., Bhowmik, M., & Bhattacharjee, S. (2024). Flood hazard zonation using GIS-based multi-parametric Analytical Hierarchy Process. *Geosystems and Geoenvironment*, 3(2): 100250. <https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2023.100250>
- Andualem, T.G., & Demeke, G.G. (2019). Groundwater potential assessment using GIS and remote sensing: A case study of Guna tana landscape, upper blue Nile Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 24, 100610. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100610>.
- Ashtari, N., Goorabi, A., Rahmati, M., & Darban Astanah, A. (2022). Evaluation of Flood Hazard Potential and Investigation of Damage Caused by it in Talar Drainage Watershed. *E.E.R.* 12 (4) :1-25. (In Persian). URL: <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-708-fa.html>
- Azadikhah, A., Bouzari, S., Yassaghi, A., & Emami, M.H. (2015). Formation of Extensional Basin in Internal Part of the Zag-Ros Orogeny in West of Sirjan, Iran. *Open Journal of Geology*, 5, 821-827. <https://doi.org/10.4236/ojg.2015.511070>
- Baharvand, S., Rahnamarad, J., & Soori, S. (2016). Delineation of groundwater recharge potential zones using weighted linear combination method (case study: Kuhdasht plain, Iran). *Journal of Geotechnical Geology*, 12(2): 119-125. <https://www.sid.ir/paper/691618/en>
- Bates, P.D., Anderson, M.G., Baird, L., Walling, D.E., & Simm, D. (2009). Modelling floodplain flow with a two dimensional finite element scheme. *Earth Surface Processes and Landforms*, 17, 575-588. <https://doi.org/10.1002/esp.3290170604>
- Chang, D.Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *Eur J Oper Res.*, 95, 649-655. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- Das, S. (2019). Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 60-74.

- <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.006>
- Dash, P., & Sar, J. (2020). Identification and validation of potential flood hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index. *J Flood Hazard Management*, 13, 12620. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12620>.
- Deshmukh, K.S., & Shinde, G., (2005). An adaptive color image segmentation electron. *Electron Lett Computer Vis Image Anal*, 5(4):12–23. <https://doi.org/10.5565/rev/elcvi.a.115>.
- Esfandyari, F., Abedini, M., fakheripour, N., & Nezafat takle, B. (2023). Flood Risk Zoning Using Hec\_Ras Hydrodynamic Model (Case Study: Qarahsou Basin, Kermanshah Province). *Journal of Environmental Science Studies*, 8(3), 6952-6961. (In Persian). <https://doi.org/10.22034/jess.2022.344023.1795>
- Jenifer, M.A., & Jha, M.K., (2017). Comparison of Analytic Hierarchy process, Catastrophe and Entropy techniques for evaluating groundwater prospect of hard-rock aquifer systems. *J. Hydrol. (Amst)*, 548, 605–624. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.023>
- Kazakis, N., Kougiass, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and analytical hierarchy process: Application in Rhodope-Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555–563. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>.
- Khedmatzadeh, A., & Najafzadeh, A. (2020). Flood Susceptibility Mapping and Risk Area Using GIS-Based Analytic Network Process (Case Study: Ghasemlou Hydrometric Station Basin). *Journal of Science and Engineering Elites*, 5(1): 6-12. (In Persian). <https://www.sid.ir/paper/363369/en>.
- Mind'je, R., Li, L., Amanambu, A. C., Nahayo, L., Nsengiyumva, J. B., Gasirabo, A., & Mindje, M. (2019). Flood susceptibility modeling and hazard perception in Rwanda. *International Journal of Disaster Hazard Reduction*, 10, 1211. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101211>
- Mir Mosavi, S., & Esmaeili, H. (2021). Zoning of Flood-prone Areas Using Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS), (Case Study: Darab City). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(27): 21-46. doi: <https://doi.org/10.22111/jneh.2020.32986.1613>. (In Persian).
- Mitra, R., Saha, P., & Das, J. (2022). Assessment of the performance of GIS-based analytical hierarchical process (AHP) approach for flood modelling in Uttar Dinajpur district of West Bengal, India. *Geomatics. Nat Hazards Risk*, 13(1): 2183–2226 <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2112094>
- Mohammad Doust, A., & Shamsnia, S.A. (2023). Identification and Zoning of Flood-Prone Areas Using AHP - GIS (Case Study: Dayyer County, Bushehr Province). *Journal of Geography and Environmental Studies*, 47,152-167. (In Persian). [Dor: 20.1001.1.20087845.1402.12.47.9.5](https://doi.org/10.1001.1.20087845.1402.12.47.9.5)
- Osman, S.A., & Das, J. (2023). GIS-based flood risk assessment using multi-criteria decision analysis of Shebelle River Basin in southern Somalia. *SN Appl. Sci.*, 5, 134. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05360-5>
- Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban flood vulnerability and hazard mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment. *Water*, 6 (6): 1515–1545. <https://doi.org/10.3390/w6061515>
- Pappenberger, F., Frodsham, K., Beven, K., Romanowicz, R., & Matgen, P. (2007). Fuzzy set approach to calibrating distributed flood inundation models using remote sensing observations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 739–752, <https://doi.org/10.5194/hess-11-739-2007>, 2007.
- Poddar, I., Alam, J., Basak, A., Mitra, R., & Das, J. (2023). Application of a geospatial-based subjective MCDM Method for Flood susceptibility modeling in Teesta River Basin, West Bengal, India. Monitoring and managing multi-hazards. *Springer, Cham*, pp 135–152. <https://doi.org/10.1007/978->

[3-031-15377-8\\_10](#)

- Rajasekhar, M., Raju, G.S., Sreenivasulu, Y., & Raju, R.S. (2019). Delineation of groundwater potential zones in semi-arid region of Jilledubanderu river basin, Anantapur District, Andhra Pradesh, India using fuzzy logic, AHP and integrated fuzzy-AHP approaches. *HydroResearch*, 2, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2019.11.006>.
- Samela, C., Albano, R., Sole, A., & Manfreda, S., (2018). A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas, Computers. *Environment and Urban Systems*, 70, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.01.013>
- Soleimani Sardoo, F., Rafiei Sarooi, E., Mesbahzadeh, T., & Azareh, A. (2021). Utilizing Sentinel 1 Images for Monitoring Damage of Flood Event in March 2020, the South of Kerman Province Based on Random Forest Algorithm, *jwmseir*. 15(53): 23-32. (In Persian). <http://jwmsei.ir/article-1-976-fa.html>
- Tseng, M.L., Lin, Y.H., Chiu, A.S.F., & Chen, C.Y. (2008). Fuzzy AHP approach to TQM strategy evaluation. *IEMS* 7(1): 34–43. <http://www.iemsjl.org/journal/article.php>
- Valizadeh, K., Delire R., & Azari, K. (2019). Flood zoning and its impact on land use in the surrounding area using unmanned aerial vehicles (UAV) images and GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(3): 59-75. (In Persian). <https://www.sid.ir/paper/189492/fa>
- Viglione, A., Merz, R., & Blöschl, G. (2009). On the role of the runoff coefficient in the mapping of rainfall to flood return periods, *Hydrology and Earth System Sciences*. 13(5): 577–593. <http://hdl.handle.net/20.500.12708/166187>
- Wu, Y., Zhong, P. A., Zhang, Y., Xu, B., Ma, B., & Yan, K. (2015). Integrated flood hazard assessment and zonation method: A case study in Huaihe River basin, China. *Natural Hazards*, 78(1): 635–651. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1737-3>
- Xiao, JF., Li, J., & Moody, A. (2003). A detail-preserving and flexible adaptive filter for speckle suppression in SAR imagery. *Int J Remote Sens.*, 24(12): 2451–2465. <https://doi.org/10.1080/0143160210154885>.