



University of  
Sistan and Baluchestan



Association of Geography  
and Planning  
of Border Areas of Iran

## A Novel Framework for Flood Risk Assessment: Integrating the Analytical Hierarchy Process and Sensitivity Analysis in Hamidiyeh City

Saeed Maleki<sup>1✉</sup>, Mahmud Abiyat<sup>2</sup>

1. Professor, Department of Geography and Urban Planning, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. PhD Student in Geography and Urban Planning, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

E-mail: Mahmud.abiyat@gmail.com



**How to Cite:** Maleki, S & Abiyat, M. (2025). A Novel Framework for Flood Risk Assessment: Integrating the Analytical Hierarchy Process and Sensitivity Analysis in Hamidiyeh City. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 15 (57), 169-182.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.22111/GAJ.2025.51272.3270>

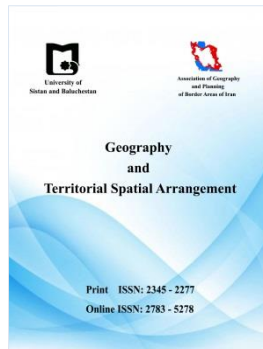
**Article type:**  
Research Article

**Received:**  
27/02/2025

**Received in revised form:**  
31/08/2025

**Accepted:**  
13/10/2025

**Publisher online:**  
15/10/2025



### **ABSTRACT**

The study of resilience in riparian cities like Hamidiyeh, which are directly exposed to the risk of river overflow, is vital due to the intensification of floods resulting from urbanization and climate change. This research aims to enhance the city's capacity to cope with and mitigate the negative impacts of flooding by conducting a flood risk assessment in Hamidiyeh County. To this end, a novel framework was developed, integrating a GIS-based Analytical Hierarchy Process (AHP) multi-criteria decision-making model with an analysis of indicator collinearity, weight sensitivity analysis, and multivariate correlation analysis. Within this approach, fifteen independent (non-collinear) indicators were combined to identify potential areas of flood hazard, vulnerability, and risk. The results indicate that over 25% of the total county area is classified under high and very high flood hazard. Furthermore, 80% of Hamidiyeh City's urban fabric falls into the medium to very high-risk zone. The flood hazard map demonstrated high accuracy and reliability, with a ROC-AUC (Receiver Operating Characteristic - Area Under Curve) exceeding 90% and MSE (Mean Squared Error) and RMSE (Root Mean Square Error) values below 40%. The sensitivity analysis performed in this study revealed the significant role of the indicators and provides a basis for future research. This robust and validated model offers reliable results that contribute to sustainable flood management, and its strategies are transferable to similar regions.

### **Keywords:**

Vulnerability; Flood;  
Urbanization; Sensitivity  
Analysis; ROC-AUC.



© the Author(s).

**Publisher:** University of Sistan and Baluchestan

## Extended Abstract

### Introduction

Flooding, a devastating natural hazard, is causing increasing global damage, exacerbated by urbanization and climate change. Flood risk assessment is essential for urban protection, yet current approaches are often not comprehensive. Modern technologies such as remote sensing and GIS offer effective tools for flood risk analysis. This study aims to evaluate flood risk in Hamidiyeh city, located in Khuzestan province, which is vulnerable to flooding due to its proximity to the Karkheh River. The present research employs the Analytical Hierarchy Process-Multi-Criteria Decision Making (AHP-MCDM) model, integrated with GIS and incorporating sensitivity analysis techniques, to develop accurate flood hazard maps and identify vulnerable areas in Hamidiyeh city. The ultimate objective of this research is to provide solutions for sustainable flood management and the reduction of its negative impacts in this region and similar areas. Furthermore, this study provides an overview of various flood risk assessment models and emphasizes the importance of sensitivity analysis in enhancing the accuracy and reliability of these models.

### Study Area

Hamidiyeh County (81,978 ha, 53,762 pop.), located in central Khuzestan, faces significant flood hazards. Despite a low elevation of 20 meters, the primary cause is its peninsular location along the Karkheh River (Iran's third-largest river), which historically supported the city's agriculture. This flood vulnerability is intensified during rainy seasons by the river's extensive meandering and, crucially, by changes in land use near the city. This research aims to comprehensively understand these flood risks within the Hamidiyeh area.

### Material and Methods

The present research is applied in nature and employs a descriptive-analytical methodology. Data were collected through library studies and questionnaires administered to 40 experts in fields pertinent to Hamidiyeh city. Expert selection was conducted using a purposive sampling method, based on their specialization in the topic of urban vulnerability to flooding. This study examined factors influencing flood risk, multicollinearity testing, flood hazard map validation, and sensitivity analysis. Multicollinearity-free indicators were integrated within GIS software, and quantitative thematic layers were classified using Jenks' natural breaks optimization method. The research methodology was based on the Multi-Criteria Decision Making - Analytical Hierarchy Process (MCDM-AHP) model.

### Result and Discussion

Hamidiyeh city has experienced significant flood damage due to low urban resilience. To mitigate the impacts of flooding, assessing resilient and vulnerable areas is essential, yet adequate measures appear to be lacking. This research was conducted to map flood hazard zones in Hamidiyeh using the MCDM-AHP model and GIS, aiming to establish a database for sustainable flood management. In this study, various topographic, hydrological, environmental, demographic, and infrastructural factors were considered and weighted. The results indicate that low elevation, flat slopes, and high drainage density signify very high flood hazard areas, while demographic and infrastructural indices play a significant role in determining vulnerability. Although the MCDM-AHP model may have limitations due to data constraints and criteria selection, sensitivity analysis was employed to ensure the correlation between model input and output. Single-parameter sensitivity analysis and map removal revealed minor changes in the sensitivity index. Model accuracy was validated using ROC-AUC, MSE, and RMSE. This model provides accurate and reliable outputs and is recommended for future research in flood-prone areas. Despite the high accuracy of MCDM-AHP, utilizing high-resolution datasets and other MCDM and machine learning methods could yield improved results. By providing a precise assessment of flood hazard zones, this research contributes to enhancing information and offering practical solutions for sustainable flood management in Hamidiyeh.

### Conclusion

This study was undertaken to map flood-prone areas (FRZ) within Hamidiyeh County, with a specific emphasis on the flood vulnerability of Hamidiyeh City. The research employed the Geographic Information System-Analytical Hierarchy Process (GIS-AHP) methodology, complemented by sensitivity analysis, to identify high-risk and vulnerable zones. Key findings indicate that 10.57% of the region's total area is categorized as having very high vulnerability, while 5.5% is classified as under very high flood risk. Elevation emerged as the most significant determinant of flood hazard, whereas drainage density was found to be the least influential factor.

Sensitivity analysis demonstrated that alterations in criteria weights and the removal of thematic maps can influence the outcomes; nevertheless, the AHP model exhibited robust performance in identifying flood-prone areas, achieving an accuracy exceeding 90%. Model validation, utilizing Receiver Operating Characteristic Area Under the Curve (ROC-AUC), Mean Squared Error (MSE), and Root Mean Squared Error (RMSE) indices, further substantiated its accuracy and reliability. Despite inherent limitations associated with the GIS-AHP method and challenges pertaining to the selection of indicators and datasets, this research has yielded valuable insights. These findings are poised to assist policymakers and stakeholders in the formulation of sustainable flood management strategies and the mitigation of adverse impacts in the Hamidiyeh region and analogous areas. The study's outcomes are of particular relevance for the development of resilient flood defense infrastructure and the implementation of urban protection approaches. Furthermore, this research establishes a robust framework for future investigations leveraging more advanced methodologies and exploring multifaceted dimensions of comprehensive flood management within the region. Ultimately, this study emphasizes the critical importance of precise flood risk assessment and its indispensable role in safeguarding cities and communities against this devastating natural hazard.

**Key words:** Vulnerability; Flood; Flooding; Urbanization; Sensitivity Analysis; Multicollinearity; ROC-AUC.

## References

Agapiou, A. (2021). UNESCO World Heritage properties in changing and dynamic environments: change detection methods using optical and radar satellite data. *Heritage Science*, 9, 64.

<https://doi.org/10.1186/s40494-021-00542-z>

Agapiou, A., & Lysandrou, V. (2022). Remote sensing studies on monitoring natural hazards over cultural heritage sites in Cyprus. In M. M. Al Saud (Ed.), *Applications of Space Techniques on the Natural Hazards in the MENA Region* (pp. 167–194). Springer International Publishing.

[https://doi.org/10.1007/978-3-030-88874-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-88874-9_8)

Ahmad, M., Al Mehedi, M. A., Yazdan, M. M. S., & Kumar, R. (2022). Development of machine learning flood model using artificial neural network (ANN) at Var River. *Liquids*, 2(3), 147-160.

<https://doi.org/10.3390/liquids2030010>

Ahmadlou, M., Al-Fugara, A., Al-Shabeeb, A. R., Arora, A., Al-Adamat, R., Pham, Q. B., Al-Ansari, N., Linh, N. T. T., & Sajedi, H. (2021). Flood susceptibility mapping and assessment using a novel deep learning model combining multilayer perceptron and autoencoder neural networks. *Journal of Flood Risk Management*, 14(1), 1–22.

<https://doi.org/10.1111/jfr3.12683>

Ahmed, I. A., Talukdar, S., Shahfahad, Parvez, A., Rihan, M., Baig, M. R. I., & Rahman, A. (2022). Flood susceptibility modeling in the urban watershed of Guwahati using improved metaheuristic-based ensemble machine learning algorithms. *Geocarto International*, 37(26), 12238–12266.

<https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2066200>

Ali, S. A., Parvin, F., Pham, Q. B., Vojtek, M., Vojtekova, J., Costache, R., Linh, N. T. T., Nguyen, H. Q., Ahmad, A., & Ghorbani, M. A. (2020). GIS-based comparative assessment of flood susceptibility mapping using hybrid multi-criteria decision-making approach, naïve Bayes tree, bivariate statistics and logistic regression: a case of Topľa basin, Slovakia. *Ecological Indicators*, 117, 106620.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106620>

Altaf, F., Meraj, G., & Romshoo, S. A. (2013). Morphometric analysis to infer hydrological behaviour of liddar watershed, Western Himalaya, India. *Geographical Journal*, 1–14.

<https://doi.org/10.1155/2013/178021>

Arora, A., Pandey, M., Siddiqui, M. A., Hong, H., & Mishra, V. N. (2021). Spatial flood susceptibility prediction in Middle Ganga Plain: comparison of frequency ratio and Shannon's entropy models. *Geocarto International*, 36(18), 2085–2116.

<https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1764619>

Arrighi, C. (2021). A global scale analysis of river flood risk of UNESCO World Heritage Sites. *Frontiers in Water*, 3, 764459.

<https://doi.org/10.3389/frwa.2021.764459>

Arrighi, C., Brugioni, M., Castelli, F., Franceschini, S., & Mazzanti, B. (2018). Flood risk assessment in art cities: the exemplary case of Florence (Italy). *Journal of Flood Risk Management*, 11, S616–S631.

<https://doi.org/10.1111/jfr3.12226>

Arnous, M. O., El-Rayes, A. E., El-Nady, H., & Helmy, A. M. (2022). Flash flooding hazard assessment, modeling, and management in the coastal zone of Ras Ghareb City, Gulf of Suez, Egypt. *Journal of Coastal Conservation*, 26(6).

<https://doi.org/10.1007/s11852-022-00916-w>

Aryal, S. K., Mein, R. G., & O'Loughlin, E. M. (2003). The concept of effective length in hillslopes: assessing the influence of climate and topography on the contributing areas of catchments. *Hydrological Processes*, 17(1), 131–151.

<https://doi.org/10.1002/hyp.1137>

Baalousha, H. M., Younes, A., & Yassin, M. A., & Fahs, M. (2023). Comparison of the fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) and fuzzy logic for flood exposure risk assessment in arid regions. *Hydrology*, 10(7).

<https://doi.org/10.3390/hydrology10070136>

Bakhtiari, M., & Jahantab, Z. (2022). Spatial modeling of floods using artificial neural network (ANN) and analyst functions of GIS. *Climate Research*, 13(49), 177-194. (*In Persian*)

[https://clima.irimo.ir/article\\_120109.html](https://clima.irimo.ir/article_120109.html)

Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modele a base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43–69.

<https://doi.org/10.1080/02626667909491834>

Bhuyan, M. J., Deka, N., & Saikia, A. (2023). Micro-spatial flood risk assessment in Nagaon district, Assam (India) using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA) and analytical hierarchy process (AHP). *Risk Analysis*, 1–16.

<https://doi.org/10.1111/risa.14191>

Bui, D. T., Hoang, N. D., Pham, T. D., Ngo, P. T. T., Hoa, P. V., Minh, N. Q., et al. (2019). A new intelligence approach based on GIS-based Multivariate Adaptive Regression Splines and metaheuristic optimization for predicting flash flood susceptible areas at high-frequency tropical typhoon area. *Journal of Hydrology*, 575, 314–326.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.023>

Bunmi Mudashiru, R., Sabtu, N., Abdullah, R., & Saleh, A., & Abustan, I. (2022). Optimality of flood influencing factors for flood hazard mapping: an evaluation of two multicriteria decision-making methods. *Journal of Hydrology*, 612, 128055.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128055>

Caruso, G. D. (2017). The legacy of natural disasters: The intergenerational impact of 100 years of disasters in Latin America. *Journal of Development Economics*, 127, 209–233.

<https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2017.06.002>

Chakraborty, S., & Mukhopadhyay, S. (2019). Assessing flood risk using analytical hierarchy process (AHP) and geographical information system (GIS): application in Coochbehar district of West Bengal, India. *Natural Hazards*, 99(1), 247–274.

<https://doi.org/10.1007/s11069-019-03737-7>

Chapi, K., Singh, V. P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D. T., Pham, B. T., & Khosravi, K. (2017). A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. *Environmental Modelling & Software*, 95, 229–245.

<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.012>

Chen, F., Zhou, W., Tang, Y., Li, R., Lin, H., Balz, T., Luo, J., Shi, P., Zhu, M., & Fang, C. (2022). Remote sensing-based deformation monitoring of pagodas at the Bagan cultural heritage site, Myanmar. *International Journal of Digital Earth*, 15, 770–788.

<https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2062466>

Chen, W., Cutter, S. L., & Emrich, C. T. (2013). Measuring social vulnerability to natural hazards in the Yangtze River Delta region, China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 4(4), 169–181.

<https://doi.org/10.1007/s13753-013-0018-6>

Chen, Y. (2022). Flood hazard zone mapping incorporating geographic information system (GIS) and multi-criteria analysis (MCA) techniques. *Journal of Hydrology*, 612(PC), 128268.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128268>

Chen, Y. R., Yeh, C. H., & Yu, B. (2011). Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan. *Natural Hazards*, 59(3), 1261–1276.

<https://doi.org/10.1007/s11069-011-9831-7>

Costache, R., Popa, M. C., Tien Bui, D., Diaconu, D. C., Ciubotaru, N., Minea, G., & Pham, Q. B. (2020). Spatial predicting of flood potential areas using novel hybridizations of fuzzy decision-making, bivariate statistics, and machine learning. *Journal of Hydrology*, 585(March), 124808.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124808>

Cunha, L. K., Krajewski, W. F., Mantilla, R., & Cunha, L. (2011). A framework for flood risk assessment under nonstationary conditions or in the absence of historical data. *Journal of Flood Risk Management*, 4(1), 3–22.

<https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2010.01085.x>

Dandapat, K., & Panda, G. K. (2017). Flood vulnerability analysis and risk assessment using analytical hierarchy process. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(4), 1627–1646.

<https://doi.org/10.1007/s40808-017-0388-7>

Darabi, H., Choubin, B., Rahmati, O., Torabi Haghighi, A., Pradhan, B., & Kløve, B. (2019). Urban flood risk mapping using the GARP and QUEST models: a comparative study of machine learning techniques. *Journal of Hydrology*, 569(December 2018), 142–154.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.002>

Das, S., & Gupta, A. (2021). Multi-criteria decision based geospatial mapping of flood susceptibility and temporal hydro-geomorphic changes in the Subarnarekha basin, India. *Geoscience Frontiers*, 12(5), 101206.

<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101206>

De Brito, M. M., & Evers, M. (2016). Multi-criteria decision-making for flood risk management: a survey of the current state of the art. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(4), 1019–1033.

<https://doi.org/10.5194/nhess-16-1019-2016>

Debnath, J., Meraj, G., Pan, N. Das, Chand, K., Debbarma, S., Sahariah, D., Gualtieri, C., Kanga, S., Singh, S. K., Farooq, M., Sahu, N., & Kumar, P. (2022). Integrated remote sensing and field-based approach to assess the temporal evolution and future projection of meanders: a case study on River Manu in North-Eastern India. *PLoS ONE*, 17(Issue 7 July).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271190>

Debnath, J., Sahariah, D., Lahon, D., Nath, N., Islam, M. N., Meraj, G., Hashimoto, S., Kumar, P., Singh, S. K., Kanga, S., Chand, K., & Saikia, A. (2023). Modelling on assessment of flood risk susceptibility at the Jia Bharali River basin in Eastern Himalayas by integrating multicollinearity tests and geospatial techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1–27.

<https://doi.org/10.1007/s41748-023-00378-6>

Debnath, J., Sahariah, D., Mazumdar, M., Lahon, D., Meraj, G., Hashimoto, S., Kumar, P., Singh, S. K., Kanga, S., Chand, K., & Saikia, A. (2023). Evaluating flood susceptibility in the Brahmaputra River basin: an insight into Asia's eastern Himalayan floodplains using machine learning and multi-criteria decision-making. *Earth Systems and Environment*, 7(4), 733–760.

<https://doi.org/10.1007/s41748-023-00358-w>

Degiorgis, M., Gnecco, G., Gorni, S., Roth, G., Sanguineti, M., & Taramasso, A. C. (2012). Classifiers for the detection of flood-prone areas using remote sensed elevation data. *Journal of Hydrology*, 470–471, 302–315.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.006>

Edamo, M. L., Ukumo, T. Y., Lohani, T. K., Ayana, M. T., Ayele, M. A., Mada, Z. M., & Abdi, D. M. (2022). A comparative assessment of multi-criteria decision-making analysis and machine learning methods for flood susceptibility mapping and socio-economic impacts on flood risk in Abela-Abaya floodplain of Ethiopia. *Environmental Challenges*.

<https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100629>

Eghtesadifard, M., Afkhami, P., & Bazayr, A. (2020). An integrated approach to the selection of municipal solid waste landfills through GIS, K-Means and multi-criteria decision analysis. *Environmental Research*, 185, 109348.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109348>

Farhadi, H., Esmaily, A., & Najafzadeh, M. (2022). Flood monitoring by integration of remote sensing technique and multi-criteria decision-making method. *Computers & Geosciences*, 160, 105045.

<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2022.105045>

Fenta, A. A., Kifle, A., Gebreyohannes, T., & Hailu, G. (2015). Spatial analysis of groundwater potential using remote sensing and GIS-based multi-criteria evaluation in Raya Valley, northern Ethiopia. *Hydrogeology Journal*, 23(1), 195–206.

<https://doi.org/10.1007/s10040-014-1198-x>

Fernandez, D. S., & Lutz, M. A. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, 111(1–4), 90–98.

<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.09.011>

Figueiredo, R., Romão, X., & Paupério, E. (2020). Flood risk assessment of cultural heritage at large spatial scales: framework and application to mainland Portugal. *Journal of Cultural Heritage*, 43, 163–174.

<https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.11.007>

Agapiou, A. (2021). UNESCO World Heritage properties in changing and dynamic environments: change detection methods using optical and radar satellite data. *Heritage Science*, 9, 64.

<https://doi.org/10.1186/s40494-021-00542-z>

Gerster, J., Boret, S. P., Morimoto, R., Gordon, A., & Shibayama, A. (2022). The potential of disaster digital archives in disaster education: the case of the Japan disasters digital archive (JDA) and its geo-location functions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, 103085.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103085>

Ghawana, T., Pashova, L., & Zlatanova, S. (2021). Geospatial data utilisation in national disaster management frameworks and the priorities of multilateral disaster management frameworks: case studies of India and Bulgaria. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10, 610.

<https://doi.org/10.3390/ijgi10090610>

Ghosh, A., Chatterjee, U., Pal, S. C., Towfiqul Islam, A. R. M., Alam, E., & Islam, M. K. (2023). Flood hazard mapping using GIS-based statistical model in vulnerable riparian regions of sub-tropical environment. *Geocarto International*, 38(1).

<https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2285355>

Ghosh, A., & Dey, P. (2021). Flood severity assessment of the coastal tract situated between Muriganga and Saptamukhi estuaries of Sundarban delta of India using frequency ratio (FR), fuzzy logic (FL), logistic regression (LR) and random forest (RF) models. *Regional Studies in Marine Science*, 42, 101624.

<https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101624>

Ghosh, A., & Kar, S. K. (2018). Application of analytical hierarchy process (AHP) for flood risk assessment: a case study in Malda district of West Bengal, India. *Natural Hazards*, 94(1), 349–368.

<https://doi.org/10.1007/s11069-018-3392-y>

Glenn, E. P., Morino, K., Nagler, P. L., Murray, R. S., Pearlstein, S., & Hultine, K. R. (2012). Roles of saltcedar (*Tamarix* spp.) and capillary rise in salinizing a non-flooding terrace on a flow-regulated desert river. *Journal of Arid Environments*, 79, 56–65.

<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.025>

Gupta, L., & Dixit, J. (2022). A GIS-based flood risk mapping of Assam, India, using the MCDA-AHP approach at the regional and administrative level. *Geocarto International*, 37(26), 11867–11899.

<https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2060329>

Hadjimitsis, D., Agapiou, A., Alexakis, D., & Sarris, A. (2013). Exploring natural and anthropogenic risk for cultural heritage in Cyprus using remote sensing and GIS. *International Journal of Digital Earth*, 6, 115–142.

<https://doi.org/10.1080/17538947.2011.602119>

Hammami, S., Zouhri, L., Souissi, D., Souei, A., Zghibi, A., Marzougui, A., & Dlala, M. (2019). Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 12(21).

<https://doi.org/10.1007/s12517-019-4754-9>

Hasan, M. M., Mondol Nilay, M. S., Jibon, N. H., & Rahman, R. M. (2023). LULC changes to riverine flooding: a case study on the Jamuna River, Bangladesh using the multilayer perceptron model. *Results in Engineering*, 18(September 2022), 101079.

<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101079>

Hishe, S., Bewket, W., Nyssen, J., & Lyimo, J. (2020). Analysing past land use land cover change and CA-Markov-based future modelling in the Middle Suluh Valley, Northern Ethiopia. *Geocarto International*, 35(3), 225–255.

<https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1516241>

Iranmanesh, F., Maghsoudi, M., Moghimi, E., & Yamani, M. (2013). The role of paleo-morphodynamics of the Karkheh River in the manifestation of the spatial structure of Dasht-e Azadegan. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 2(8). ( In Persian)

Jahan, C. S., Rahaman, M. F., Arefin, R., Ali, M. S., & Mazumder, Q. H. (2019). Delineation of groundwater potential zones of Atrai–Sib River basin in north-west Bangladesh using remote sensing and GIS techniques. *Sustainable Water Resources Management*, 5(2), 689–702.

<https://doi.org/10.1007/s40899-018-0240-x>

Jahangir, M. H., Mousavi Reineh, S. M., & Abolghasemi, M. (2019). Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Basin, Iran, using artificial neural network algorithm. *Weather and Climate Extremes*, 25(June), 100215.

<https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100215>

Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186–190.

Jong, H. K. (2019). Multicollinearity and misleading statistical result. *Korean Journal of Anesthesiology*, 0, 2–31.

<https://doi.org/10.4097/kja.d.18.00212>

Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: application in Rhodope-Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555–563.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>

Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., & Pourghasemi, H. R. (2016). A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. *Natural Hazards*, 83(2), 947–987.

<https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2>

Khosravi, K., Pham, B. T., Chapi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Revhaug, I., Prakash, I., & Tien Bui, D. (2018). A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. *Science of the Total Environment*, 627, 744–755.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.266>

Kittipongvises, S., Phetrak, A., Rattanapun, P., Brundiers, K., Buizer, J. L., & Melnick, R. (2020). AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities nearby the world heritage site on Ayutthaya Island, Thailand. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48(November 2019), 101612.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101612>

Kotecha, M. J., Tripathi, G., Singh, S. K., Kanga, S., Sajan, B., Meraj, G., & Misra, R. K. (2020). Geospatial modelling for identification of ground water potential zones in Luni River Basin, Rajasthan. In *River Conservation and Water Resource Management* (pp. 315–338). Springer Nature Singapore.

[https://doi.org/10.1007/978-981-15-1011-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1011-1_15)

Kumar, S., Snehani, Srivastava, P. K., Gore, A., & Singh, M. K. (2016). Fuzzy–frequency ratio model for avalanche susceptibility mapping. *International Journal of Digital Earth*, 9(12), 1168–1184.

<https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1157140>

Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., Bouwer, L. M., Arnell, N., & Mach, K., et al. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 1–28.

<https://doi.org/10.1080/02626667.2013.856213>

Lahon, D., Sahariah, D., Debnath, J., Nath, N., Meraj, G., Kumar, P., et al. (2023). Assessment of ecosystem service value in response to LULC changes using geospatial techniques: a case study in the merbil wetland of the Brahmaputra valley, Assam, India. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(4), 165.

<https://doi.org/10.3390/ijgi12040165>

Li, W., Lin, K., Zhao, T., Lan, T., Chen, X., Du, H., & Chen, H. (2019). Risk assessment and sensitivity analysis of flash floods in ungauged basins using coupled hydrologic and hydrodynamic models. *Journal of Hydrology*, 572(February), 108–120.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.002>

- Lin, J. M., & Billa, L. (2021). Spatial prediction of flood-prone areas using geographically weighted regression. *Environmental Advances*, 6, 100118.  
<https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100118>
- Mahmoud, S. H., & Gan, T. Y. (2018). Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. *Journal of Cleaner Production*, 196, 216–229.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.047>
- Mangini, W., Viglione, A., Hall, J., Hundecha, Y., Ceola, S., Montanari, A., Rogger, M., Salinas, J. L., Borzì, I., & Parajka, J. (2018). Detection of trends in magnitude and frequency of flood peaks across Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 63(4), 493–512.  
<https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1444122>
- Mekonnen, T. M., Mitiku, A. B., & Woldemichael, A. T. (2023). Flood hazard zoning of upper Awash River basin, Ethiopia, using the analytical hierarchy process (AHP) as compared to sensitivity analysis. *The Scientific World Journal*, 15.  
<https://doi.org/10.1155/2023/1675634>
- Mishra, K., & Sinha, R. (2020). Flood risk assessment in the Kosi megafan using multi- criteria decision analysis: a hydro-geomorphic approach. *Geomorphology*, 350, 106861.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106861>
- Mitra, R., & Das, J. (2023). A comparative assessment of flood susceptibility modelling of GIS-based TOPSIS, VIKOR, and EDAS techniques in the Sub-Himalayan foothills' region of Eastern India. *Environmental Science and Pollution Research Series*, 30(6), 16036–16067.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-23377-5>
- 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, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 2183–2226.  
<https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2112094>
- Moise, C., Dana Negula, I., Mihalache, C. E., Lazar, A. M., Dedulescu, A. L., Rustoiu, G. T., Inel, I. C., & Badea, A. (2021). Remote sensing for cultural heritage assessment and monitoring: the case study of Alba Iulia. *Sustainability*, 13, 1406.  
<https://doi.org/10.3390/su13031406>
- Mojaddadi, H., Pradhan, B., Nampak, H., Ahmad, N., & Ghazali, A. H. bin. (2017). Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi- sensor remote-sensing data and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1080–1102.  
<https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1294113>
- Mukherjee, I., & Singh, U. K. (2020). Delineation of groundwater potential zones in a drought-prone semi-arid region of east India using GIS and analytical hierarchical process techniques. *Catena*, 194(December 2019), 104681.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104681>
- Onușluel Gül, G. (2013). Estimating flood exposure potentials in Turkish catchments through index-based flood mapping. *Natural Hazards*, 69(1), 403–423.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-013-0717-8>
- Pan, W., Yan, M., Zhao, Z., & Gulzar, M. A. (2022). Flood risk assessment and management in urban communities: the case of communities in Wuhan. *Land*, 12(1), 112.  
<https://doi.org/10.3390/land12010112>

- Pathan, A. I., Girish Agnihotri, P., Said, S., & Patel, D. (2022). AHP and TOPSIS based flood risk assessment- a case study of the Navsari City, Gujarat, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(7), 509.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-022-10116-2>
- Peng, J., & Zhang, J. (2022). Urban flooding risk assessment based on GIS- game theory combination weight: a case study of Zhengzhou City. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77(January), 103080.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103080>
- Pham, B. T., Jaafari, A., Phong, T. Van, Yen, H. P. H., Tuyen, T. T., Luong, V. Van, Nguyen, H. D., Le, H. Van, & Foong, L. K. (2021). Improved flood susceptibility mapping using a best first decision tree integrated with ensemble learning techniques. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101105.  
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.11.003>
- Pham, V.-M., Van Nghiem, S., Van Pham, C., & Luu, M. P. T. (2021). Urbanization impact on landscape patterns in cultural heritage preservation sites: a case study of the complex of Huế Monuments, Vietnam. *Landscape Ecology*, 36, 1235–1260.  
<https://doi.org/10.1007/s10980-020-01189-0>
- Pourmohammadi, B. (1996). Morpho-tectonics of the Karkheh River. Paper presented at the 4th River Engineering Conference, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (*In Persian*)
- Pradhan, B., & Lee, S. (2010). Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. *Environmental Earth Sciences*, 60(5), 1037–1054.  
<https://doi.org/10.1007/s12665-009-0245-8>
- Pradhan, B., & Youssef, A. M. (2010). Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models. *Arabian Journal of Geosciences*, 3(3), 319–326.  
<https://doi.org/10.1007/s12517-009-0089-2>
- Radwan, F., Alazba, A. A., & Mossad, A. (2019). Flood risk assessment and mapping using AHP in arid and semiarid regions. *Acta Geophysica*, 67(1), 215–229.  
<https://doi.org/10.1007/s11600-018-0233-z>
- Rahman, M., Ningsheng, C., Islam, M. M., Dewan, A., Iqbal, J., Washakh, R. M. A., & Shufeng, T. (2019). Flood susceptibility assessment in Bangladesh using machine learning and multi-criteria decision analysis. *Earth Systems and Environment*, 3(3), 585–601.  
<https://doi.org/10.1007/s41748-019-00123-y>
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International*, 31(1), 42–70.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1041559>
- Rahmati, O., Zeinivand, H., & Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(3), 1000–1017.  
<https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1045043>
- Rajabizadeh, Y., Ayobzadeh, S. A., & Ghomshi, M. (2012). Investigation of floods in Khuzestan province during the water year 2010-2019 and presentation of solutions for its control and management in the future. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 6(4), 1069-1084. (*In Persian*)  
<https://sid.ir/paper/254149/fa>
- Ramsht, M. H. (2003). Quaternary lakes, the basis for the crystallization and expansion of civilization in Iran. *Journal of Humanities*, University of Isfahan, 15, 13-38. (*In Persian*)  
<https://ensani.ir/file/download/article/20120514170225-9183-37.pdf>

- Rather, M. A., Meraj, G., Farooq, M., Shiekh, B. A., Kumar, P., Kanga, S., et al. (2022). Identifying the potential dam Sites to avert the risk of catastrophic floods in the Jhelum basin, Kashmir, NW Himalaya, India. *Remote Sensing*, 14(7), 1538.  
<https://doi.org/10.3390/rs14071538>
- Rosser, J. F., Leibovici, D. G., & Jackson, M. J. (2017). Rapid flood inundation mapping using social media, remote sensing and topographic data. *Natural Hazards*, 87(1), 103–120.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-017-2751-2>
- Roszkowska, E. (2013). Rank ordering criteria weighting methods—a comparative overview. *Optimum. Studia Ekonomiczne*, 5(65), 14–33.
- Roy, S., Bose, A., & Chowdhury, I. R. (2021). Flood risk assessment using geospatial data and multi-criteria decision approach: a study from historically active flood-prone region of Himalayan foothill, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(11).  
<https://doi.org/10.1007/s12517-021-07324-8>
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281.  
[https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation*. McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1988). What Is the Analytic Hierarchy Process? In *Analytic Hierarchy Process* (pp. 109–121). Springer Berlin Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-83501-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-83501-2_6)
- Saber, M., Boulmaiz, T., Guermoui, M., Abdrabo, K. I., Kantoush, S. A., Sumi, T., Boutaghane, H., Nohara, D., & Mabrouk, E. (2022). Examining LightGBM and CatBoost models for wadi flash flood susceptibility prediction. *Geocarto International*, 37(25), 7462–7487.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1974959>
- Sadouni, Y., & Ilanlou, M. (2017). Causes and effective factors in the formation of Hamidieh city and its spatial development. Paper presented at the 5th National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management, Tehran, Iran. (*In Persian*)
- Sahana, M., & Patel, P. P. (2019). A comparison of frequency ratio and fuzzy logic models for flood susceptibility assessment of the lower Kosi River Basin in India. *Environmental Earth Sciences*, 78(10), 1–27.  
<https://doi.org/10.1007/s12665-019-8285-1>
- Sahariah, D., Debnath, J., Nath, N., Saikia, A., Lahon, D., & Meraj, G., Kumar, P., et al. (2023). Assessment of ecosystem service value in response to LULC changes using geospatial techniques: a case study in the merbil wetland of the Brahmaputra valley, Assam, India. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(4), 165.  
<https://doi.org/10.3390/ijgi12040165>
- Salahshouri, P., & Vafaei Nezhad, A. R. (2012). Change detection of Karkheh River floodplains of the Karkheh dam reservoir using remote sensing and GIS. *Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resources Science*, 3(3), 85–99.
- Salajegheh, A., Moghaddam Nia, A., Salajegheh, A., Ghaderi, K., Talebpour Asl, D., Al-Ansari, N., et al. (2023). Flood susceptibility mapping using support vector regression and hyper-parameter optimization. *Journal of Flood Risk Management*, 16(4), e12920.  
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12920>
- Salvati, A., Moghaddam Nia, A., Salajegheh, A., Ghaderi, K., Talebpour Asl, D., Al-Ansari, N., et al. (2023). Flood susceptibility mapping using support vector regression and hyper-parameter optimization. *Journal of*

- Flood Risk Management, 16(4), e12920. (This appears to be a duplicate of 105, keeping for completeness but acknowledging it's the same DOI)
- Sanyal, J., Densmore, A. L., & Carbonneau, P. (2014). Analysing the effect of land-use/cover changes at sub-catchment levels on downstream flood peaks: a semi-distributed modelling approach with sparse data. *Catena*, 118, 28–40.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.01.015>
- Sanyal, J., & Lu, X. X. (2005). Remote sensing and GIS-based flood vulnerability assessment of human settlements: a case study of Gangetic West Bengal, India. *Hydrological Processes*, 19(18), 3699–3716.  
<https://doi.org/10.1002/hyp.5852>
- Sarigöl, M., & Nur Yesilyurt, S. (2022). Flood routing calculation with ANN, SVM, GPR, and RTE methods. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(6), 5221–5228.  
<https://doi.org/10.15244/pjoes/152345>
- Sarkar, D., & Mondal, P. (2020). Flood vulnerability mapping using frequency ratio (FR) model: a case study on Kulik river basin, Indo-Bangladesh Barind region. *Applied Water Science*, 10(1), 1–13.  
<https://doi.org/10.1007/s13201-019-1102-x>
- Sarkar, D., Saha, S., & Mondal, P. (2022). GIS-based frequency ratio and Shannon's entropy techniques for flood vulnerability assessment in Patna district, Central Bihar, India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(9), 8911–8932.  
<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03627-1>
- Sazehpardazi Iran Consulting Engineers Company. (2023). Documents of technical and engineering standards for safety and protection of roads, dams and oil facilities of West Karun oil fields against floods in the field of flood and pipelines. Vice Presidency of Engineering, Research and Technology, General Directorate of Technical and Executive System and Project Evaluation, Ministry of Petroleum. (*In Persian*)
- Shahabi, H. (2021). Application of artificial neural network, frequency ratio, and evidential belief function models in preparing of flood susceptibility map in Haraz watershed: A plan for urban flood risk studies *Research and Urban Planning*, 12(45), 181–202. (*In Persian*)  
<https://www.sid.ir/paper/1000163/fa>
- Shahri, A. A., Spross, J., Johansson, F., & Larsson, S. (2019). Landslide susceptibility hazard map in southwest Sweden using artificial neural network. *Catena*, 183, 104225.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104225>
- Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A., & Dlala, M. (2020). GIS- based MCDM–AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. *Geocarto International*, 35(9), 991–1017.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1566405>
- Statistical Center of Iran. (2016). Results of the General Population and Housing Census of 2016. (*In Persian*)
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285–1293.  
<https://doi.org/10.1126/science.3287615>
- Tapsell, S. M., Penning-Rowsell, E. C., Tunstall, S. M., & Wilson, T. L. (2002). Vulnerability to flooding : health. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1511–1525.  
<https://doi.org/10.1098/rsta.2002.1092>
- Termeh, S. V. R., Kornejady, A., Pourghasemi, H. R., & Keesstra, S. (2018). Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. *Science of the Total Environment*, 615, 438–451.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.205>

- Toosi, A. S., Calbimonte, G. H., Nouri, H., & Alaghmand, S. (2019). River basin-scale flood hazard assessment using a modified multi-criteria decision analysis approach: a case study. *Journal of Hydrology*, 574, 660–671.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.006>
- Trizio, F., Torrijo, F. J., Mileto, C., & Vegas, F. (2021). Flood risk in a heritage city: Alzira as a case study. *Water (Switzerland)*, 13(9).  
<https://doi.org/10.3390/w13091138>
- United Nations. (2023). Office for Outer Space Affairs, United Nations Platform for Spacebased Information for Disaster Management and Emergency Response, Disaster Risk Management.  
<https://www.un-spider.org/risks-and-disasters/disaster-risk-management>
- Vegad, U., Pokhrel, Y., & Mishra, V. (2023). Flood risk assessment for Indian sub-continental river basins. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–27.  
<https://doi.org/10.5194/hess-2023-149>
- Vignesh, K. S., Anandakumar, I., Ranjan, R., & Borah, D. (2021). Flood vulnerability assessment using an integrated approach of multi-criteria decision-making model and geospatial techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7, 767–781.  
<https://doi.org/10.1007/s40808-020-00898-1>
- Vivekananda, G. N., & Swathi, R., & Sujith, A. V. L. N. (2021). Multi-temporal image analysis for LULC classification and change detection. *European Journal of Remote Sensing*, 54(Suppl. 2), 189–199.  
<https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1771215>
- Vojinovic, Z., Hammond, M., Golub, D., Hirunsalee, S., Weesakul, S., Meesuk, V., Medina, N., Sanchez, A., Kumara, S., & Abbott, M. (2016). Holistic approach to flood risk assessment in areas with cultural heritage: a practical application in Ayutthaya, Thailand. *Natural Hazards*, 81, 589–616.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-015-2098-7>
- Wang, J.-J. (2015). Flood risk maps to cultural heritage: measures and process. *Journal of Cultural Heritage*, 16, 210–220.  
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.03.002>
- Zadeh, S. M., Burn, D. H., & O'Brien, N. (2020). Detection of trends in flood magnitude and frequency in Canada. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 28, 100673.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100673>
- Zanganeh Asadi, M. A., & Amir Ahmadi, A., & Naemitabar, M. (2021). Efficiency evaluation of the VIKOR, L-THIA, and Artificial Neural Network (ANN) models in flood zone analysis (case study: Khorasan Razavi Province) *Iranian Journal of Ecohydrology*, 8(1), 89-108. (*In Persian*)  
[https://ije.ut.ac.ir/article\\_80220.html](https://ije.ut.ac.ir/article_80220.html)
- Zhang, K., Shalehy, M. H., Ezaz, G. T., Chakraborty, A., Mohib, K. M., & Liu, L. (2022). An integrated flood risk assessment approach based on coupled hydrological-hydraulic modeling and bottom-up hazard vulnerability analysis. *Environmental Modelling & Software*, 148, 105279.  
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105279>



## چهار چوبی نوین جهت ارزیابی ریسک سیل: تلفیق فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و تحلیل حساسیت در شهر حمیدیه

سعید ملکی<sup>۱\*</sup>، محمود عبیات<sup>۲</sup>

### مقاله پژوهشی

#### چکیده

مطالعه تاب‌آوری شهرهای حاشیه رودخانه نظیر حمیدیه که مستقیماً در معرض خطر طغیان قرار دارند، به دلیل تشدید سیلاب‌ها ناشی از شهرنشینی و تغییرات اقلیمی، حیاتی است. این پژوهش با هدف افزایش ظرفیت شهر در مقابله با سیل و کاهش اثرات منفی آن، به ارزیابی ریسک سیل در شهرستان حمیدیه می‌پردازد. بدین منظور، یک چهارچوب نوین با تلفیق مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP مبتنی بر GIS با تحلیل هم‌خطی شاخص‌ها، تحلیل حساسیت وزن‌ها و تحلیل همبستگی چندمتغیره توسعه یافت. در این رویکرد، ۱۵ شاخص مستقل (بدون چندخطی) برای شناسایی مناطق بالقوه خطر، آسیب‌پذیری و ریسک سیل ترکیب شدند. نتایج نشان داد که بیش از ۲۵ درصد از کل مساحت شهرستان در سطح خطر سیل بالا و بسیار بالا قرار دارد. همچنین، ۸۰ درصد بافت شهری حمیدیه در ناحیه ریسک متوسط تا بسیار بالا طبقه‌بندی می‌شود. نقشه مناطق با خطر سیل با ROC-AUC بالای ۹۰ درصد و مقادیر RMSE و MSE کمتر از ۴۰ درصد، دقت و قابلیت اطمینان بالایی را نشان می‌دهد. تحلیل حساسیت در این پژوهش، نقش مهم شاخص‌ها را آشکار ساخته و زمینه را برای تحقیقات آتی فراهم می‌کند. این مدل قوی و معتبر، نتایج قابل اتکایی ارائه می‌دهد که به مدیریت پایدار سیل کمک کرده و استراتژی‌های آن در مناطق مشابه قابل استفاده است.

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای  
 زمستان ۱۴۰۴، سال ۱۵، شماره ۵۷  
 تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۹  
 تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۹  
 تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۱  
 انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳  
 صفحات: ۲۲۴-۱۶۹



واژه‌های کلیدی:

ریسک، آسیب‌پذیری، سیل، سیلاب، تحلیل حساسیت، چندخطی «ROC-AUC».

#### مقدمه

سیل به‌عنوان یکی از فاجعه‌بارترین سوانح طبیعی شناخته می‌شود که در سطح جهانی، پیامدهای ناگواری از جمله آسیب‌های جانی و مرگومیر، خسارات گسترده به زیرساخت‌ها، زیان‌های اقتصادی چشمگیر و گسست‌های اجتماعی را به‌دنبال دارد (Rosser et al., 2017; Termeh et al., 2018). افزایش این خسارات ناشی از سیل در سال‌های اخیر در بسیاری از کشورها، عمدتاً به تغییرات آب‌وهوایی، تخریب محیط‌زیست ناشی از توسعه‌ی شتابان شهری و مدیریت ناکارآمد کاربری اراضی نسبت داده می‌شود (Kundzewicz et al., 2014; Caruso, 2017; Mangini et al., 2018; Zadeh et al., 2020). ارزیابی و پیش‌بینی ریسک سیل، با تمرکز بر تحلیل و پیش‌بینی میزان قرارگیری در معرض سیل و آسیب‌پذیری در برابر آن، نقشی حیاتی در کاهش خطرات و حفاظت از شهرها ایفا می‌کند (Arrighi, 2021; Figueiredo et al., 2020; Vojinovic et al., 2016; Wang, 2015). با این وجود،

<sup>۱</sup> - استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. (نویسنده مسئول)

maleki@scu.ac.ir  
 Mahmud.abiyat@gmail.com

<sup>۲</sup> - دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

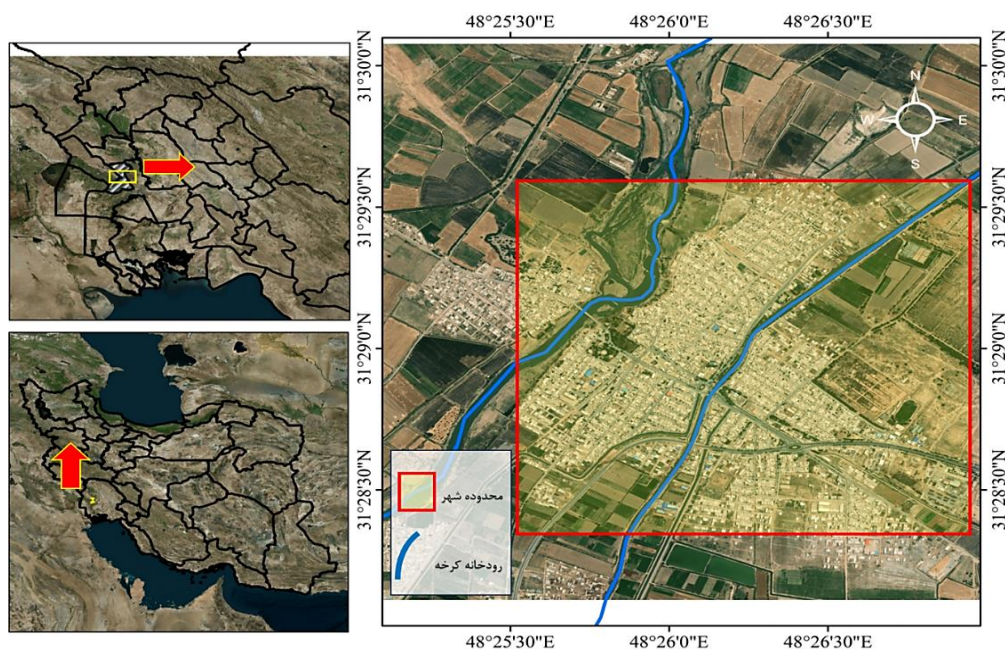
برنامه‌ها و سیاست‌های حفاظتی موجود در سطح جهانی، اغلب تحلیل جامع و ترکیبی از ریسک سیل را به‌عنوان مجموعه‌ای از مخاطره میزان فرارگیری و آسیب‌پذیری به‌طور دقیق در نظر نگرفته‌اند (United Nations, 2023). این رویکرد ناکافی می‌تواند منجر به برنامه‌ریزی‌های غیرمؤثر و افزایش خسارات در آینده شود. وقوع بلایای طبیعی، به‌ویژه بلایای هواشناسی و هیدرولوژیکی، تهدیدی جدی برای شهرها محسوب می‌شود؛ از این‌رو استفاده از روش‌های نوین برای تحلیل ریسک و آسیب‌پذیری شهرها از اهمیت بالایی برخوردار است. فناوری‌های سنجش‌از‌دور و حسگرهای جدید، ابزاری قدرتمند برای مشاهده و تحلیل بلایا و همچنین ارزیابی ریسک به‌شمار می‌روند. این فناوری‌ها به‌همراه مدل‌های هیدرولوژیکی یکپارچه، در مطالعات متعددی برای درک بهتر پدیده‌های طبیعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Gerster et al., 2022; Ghawana et al., 2021; Zhang et al., 2022). جغرافی‌دانان و پژوهشگران با بهره‌گیری از داده‌های مکانی متنوع، تجربیات و سوابق بلایا، به اولویت‌بندی مکان‌ها، اجرای اقدامات پیشگیرانه و تعیین اولویت‌های حفاظتی و سازگاری می‌پردازند. هدف از این اقدامات، به‌حداقل رساندن هزینه‌ها، زمان و خطرات ناشی از بلایا، به‌ویژه سیل، است. ادغام سنجش‌از‌دور با سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر (GIS-MCDM) GIS نیز به تخمین ارزش تغییرات محیطی و کاربری اراضی کمک می‌کند (Bunmi Mudashiru et al., 2022; Eghtesadifard et al., 2020; Farhadi et al., 2022; Souissi et al., 2020). یکی از چالش‌های موجود در بسیاری از روش‌های تحلیل ریسک، عدم توجه کافی به احتمال وقوع سیل و میزان فرارگیری در معرض آن، به‌همراه آسیب‌پذیری‌های محیطی است. این در حالی است که شناسایی و توصیف ویژگی‌های خطرناک با استفاده از فناوری‌های سنجش‌از‌دور زمینی و هوایی و تصاویر ماهواره‌ای امکان‌پذیر است (Agapiou, 2021; Agapiou and Lysandrou, 2022; Chen et al., 2022; Hadjimitsis et al., 2013; Moise et al., 2021). نظارت بر تأثیرات بلایا و پیش‌بینی روندهای آینده، نیاز به سوابق تاریخی و نقشه حساسیت به سیل‌گیری وجود دارد. این نقشه‌ها، وضعیت فعلی ویژگی‌های جغرافیایی را نشان داده و ابزارهایی برای تخمین روندهای توسعه آتی ارائه می‌دهند (Lin and Billa, 2021; Pham et al., 2021). این اطلاعات، نقش حیاتی در آمادگی، پاسخ و بازیابی در برابر بلایا ایفا می‌کنند. در صورت عدم وجود چنین نقشه‌هایی، شهرها در برابر تهدیدات قریب‌الوقوع بلایا آسیب‌پذیر خواهند بود. نقشه و ارزیابی حساسیت، اطلاعات مکانی ارزشمندی را در طول عملیات امداد و نجات پس از وقوع حادثه فراهم می‌کند. با توجه به افزایش شدت بلایای هواشناسی و هیدرولوژیکی و چالش‌های حفاظت از شهرها، اهمیت تحلیل و نقشه حساسیت بیش‌از‌پیش نمایان شده است. رودخانه کرخه، که پس از کارون و دز، سومین رودخانه پرآب ایران و پس از کارون و سفیدرود، سومین رود بلند کشور است، در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان قرار دارد و مساحت حوضه آن به حدود ۵۰,۷۲۷ کیلومتر مربع می‌رسد. سرشاخه‌های این رودخانه، آب مناطق وسیعی از استان‌های ایلام، کرمانشاه، لرستان، همدان و بخش‌هایی از کردستان و خوزستان را به سمت هورالعظیم زهکشی می‌کنند. ویژگی مهم این رودخانه، تغییر مسیرهای مکرر آن به‌دلیل رسوبات مداوم بستر است، به‌گونه‌ای که در خط‌الرأس دشت جریان دارد (رامشت، ۱۳۸۲). جریان رودخانه در مناطق کوهستانی از سرعت و قدرت تخریبی بالایی برخوردار است اما از شهر حمیدیه تا تالاب هویزه، در زمین‌های پست و هموار با شیب کم، جاری می‌شود که این شرایط، مناطق پایین‌دست را به‌شدت در معرض خطر سیل قرار می‌دهد. تجربه سیل ویرانگر فروردین ۱۳۹۸، که ناشی از افزایش دبی رودخانه و عدم مدیریت صحیح رهاسازی آب از سد کرخه بود، اهمیت ارزیابی دقیق خطر سیل را دوچندان ساخت (رجبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). برای مدیریت پایدار سیلاب‌ها،

شناسایی مناطق مستعد سیل امری حیاتی است (Salahshouri et al., 2012). محققان از رویکردهای متعددی برای این منظور استفاده می‌کنند که اغلب شامل روش‌های چندمعیاره (MCDA)، تحلیل دومتغیره و الگوریتم‌های یادگیری ماشین (ML) در ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) هستند (Pradhan and Lee, 2010). هر یک از این مدل‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند و در شرایط گوناگون به کار می‌روند: مدل‌های دو متغیره: مانند وزن شواهد (WoE) و نسبت فراوانی (FR) که براساس رابطه آماری بین عوامل و وقوع سیل کار می‌کنند. این مدل‌ها به داده‌های تاریخی سیلاب نیاز دارند (Khosravi et al., 2016; Sarkar et al., 2022). مدل‌های یادگیری ماشین: شامل رگرسیون لجستیک (LR)، درخت تصمیم (DT)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین بردار پشتیبان (SVR). این مدل‌ها از داده‌های آموزشی برای شناسایی الگوهای پیچیده استفاده می‌کنند و دقت بالایی دارند. مطالعات نشان داده است که مدل ANN در حوضه آبخیز کن (بختیاری و همکاران، ۱۴۰۱) و مدل SVR با بهینه‌سازی هایپرپارامتر در تهران (سلواتی و همکاران، ۲۰۲۳) کارایی بالایی در پیش‌بینی سیل دارند. مدل‌های چندمعیاره (MCDM): مانند فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، VIKOR و TOPSIS. این مدل‌ها برای تصمیم‌گیری بر اساس چندین معیار به کار می‌روند. AHP به‌ویژه به دلیل توانایی در ترکیب داده‌های کمی و کیفی و نظرات کارشناسان، برای پهنه‌بندی خطر سیل بسیار محبوب است (Mekonnen et al., 2023). شهبابی (۲۰۲۱) در حوضه آبخیز هراز: با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، نسبت فراوانی (FR) و تابع شواهد قطعی (CER)، به این نتیجه رسید که این مدل‌ها برای پیش‌بینی خطر سیل قابل اعتماد هستند. زنگنه، اسدی و همکاران (۱۴۰۰) در استان خراسان رضوی: برای پیش‌بینی سیلاب از مدل‌های ویکور (VIKOR)، L-THIA و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل هیدرولوژیکی سنتی تر L-THIA دقت بالاتری نسبت به دو مدل دیگر داشت، که نشان‌دهنده اهمیت انتخاب مدل مناسب بر اساس شرایط منطقه است. سلواتی و همکاران (۲۰۲۳) در تهران: با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVR) و بهینه‌سازی هایپرپارامتر، دریافتند که شیب و فاصله از رودخانه مهم‌ترین عوامل وقوع سیل هستند. این مطالعه نشان می‌دهد که بهینه‌سازی می‌تواند عملکرد مدل‌های یادگیری ماشین را به‌شدت بهبود بخشد. با وجود کارایی مدل AHP، کاربرد آن در مطالعات پیشین اغلب با چالش‌هایی همراه بوده است. این چالش‌ها شامل هم‌خطی (Collinearity) بین شاخص‌ها و نبود تحلیل حساسیت (Sensitivity Analysis) هستند. هم‌خطی به وابستگی بالای دو یا چند شاخص به یکدیگر اشاره دارد که می‌تواند به وزن‌دهی نادرست و کاهش اعتبار نتایج منجر شود. تحلیل حساسیت نیز برای بررسی پایداری نتایج و اطمینان از این‌که تغییرات کوچک در نظرات کارشناسان یا داده‌های ورودی، نتایج مدل را به‌شدت تحت تأثیر قرار نمی‌دهند، ضروری است (Li et al., 2019). پژوهش حاضر با هدف غلبه بر این محدودیت‌ها، یک چهارچوب نوین برای ارزیابی ریسک سیل ارائه می‌دهد. این چهارچوب، مدل MCDM-AHP را با تحلیل هم‌خطی شاخص‌ها، تحلیل حساسیت وزن‌ها و تحلیل همبستگی چندمتغیره تلفیق می‌کند. این رویکرد یکپارچه، نه‌تنها دقت و پایداری تخصیص وزن‌ها را بهبود می‌بخشد بلکه درک عمیق‌تری از پویایی عوامل مؤثر بر ریسک سیل فراهم می‌آورد و نتایج واقع‌بینانه‌تر و قابل اعتمادتری نسبت به مدل AHP کلاسیک ارائه می‌دهد (Roszkowska, 2013; Mitra et al., 2022). هدف اصلی این تحقیق، تهیه نقشه‌های خطر، آسیب‌پذیری و ریسک سیل برای شهرستان حمیدیه با استفاده از این رویکرد پیشرفته است.

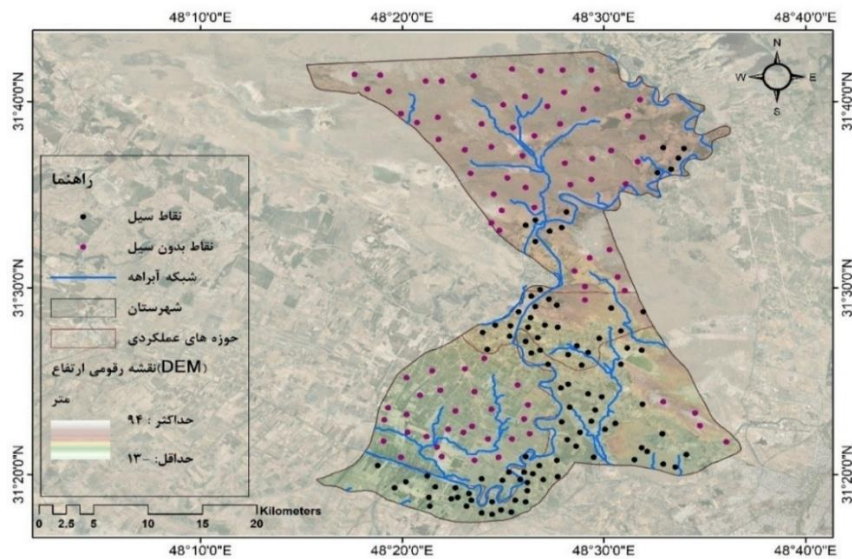
## داده و روش تحقیق

## منطقه مورد مطالعه

شهرستان حمیدیه با وسعت ۸۱،۹۷۸ هکتار در مرکز استان خوزستان قرار دارد و از سال ۱۳۹۱ به یک شهرستان مستقل تبدیل شده است (سعدونی و ایلانلو، ۱۳۹۶: ۲). بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، جمعیت این شهرستان ۵۳،۷۶۲ نفر و ارتفاع آن از سطح دریا ۲۰ متر است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). شهر حمیدیه، مرکز این شهرستان، در کنار رودخانه کرخه بنا شده است. کرخه، سومین رود بزرگ ایران، از کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته و به تالاب هورالعظیم می‌ریزد. در دشت آزادگان، این رودخانه پیچ‌وخم‌های زیادی دارد و در نزدیکی حمیدیه به دو شاخه تقسیم می‌شود (پورمحمدی، ۱۳۷۵: ۵۵۳). با توجه به تاریخچه آن، اهالی شهر به کشاورزی می‌پرداختند و زمین‌های حاصلخیز منطقه باعث رشد آن شده است (سعدونی و ایلانلو، ۱۳۹۶: ۲). این پژوهش با تمرکز بر شهر حمیدیه، عوامل مؤثر در سطح شهرستان را نیز بررسی می‌کند تا درک جامع‌تری از مخاطرات سیل به‌دست‌آید.



تصویر ۱: موقعیت جغرافیایی شهرستان حمیدیه در استان خوزستان و موقعیت شهر حمیدیه



تصویر ۲: نقشه رخداد‌های سیل  
(منبع: سازمان آب‌وبرق خوزستان و ترسیم نگارنده)

موقعیت شبه‌جزیره‌ای حمیدیه و عبور رودخانه کرخه از آن، شهر را در برابر مخاطرات طبیعی، به‌ویژه سیل، آسیب‌پذیر ساخته است. این تهدید، عمدتاً در فصول بارانی و به‌دلیل تغییر کاربری اراضی در شهر و مناطق اطراف آن، تشدید می‌شود.

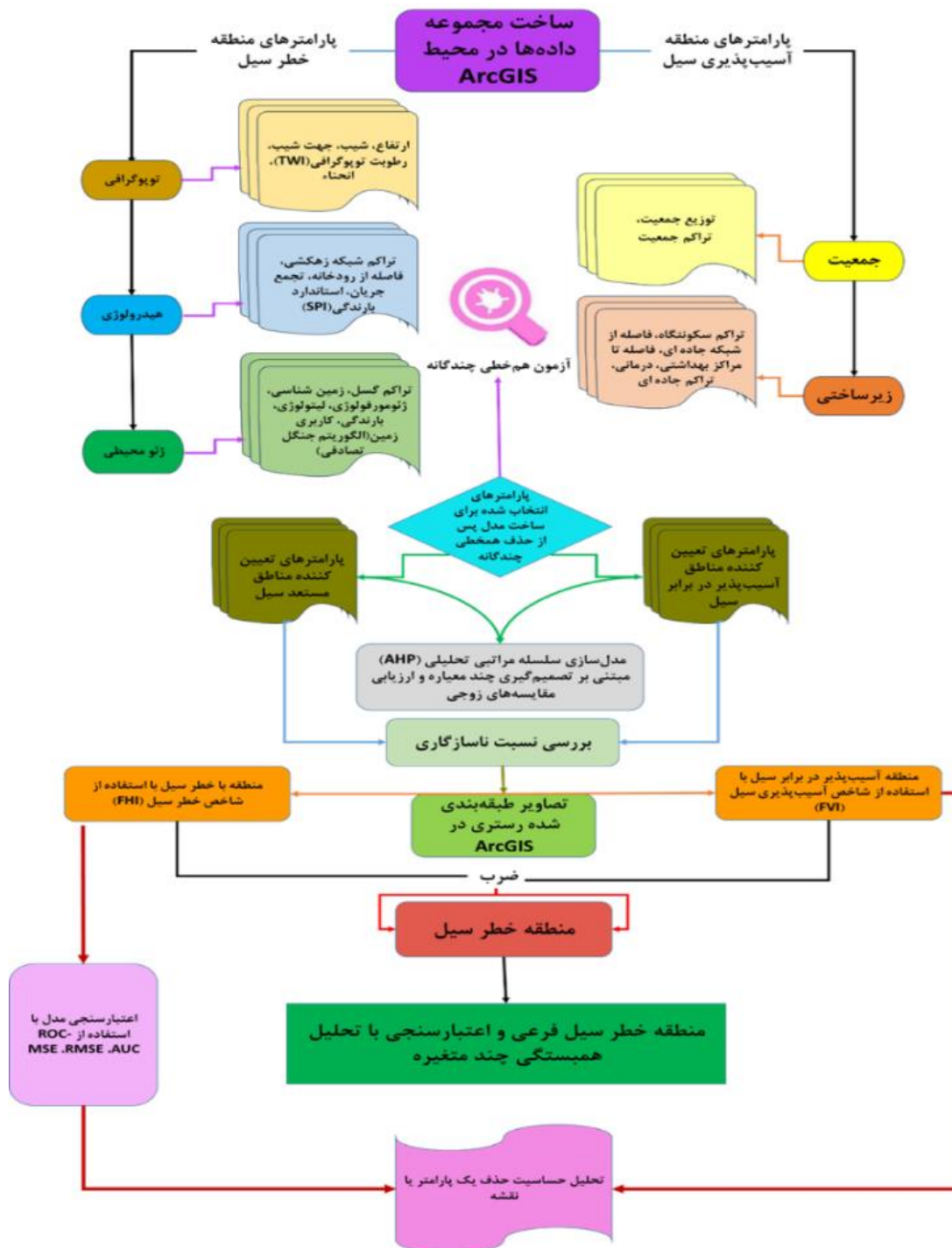
### شیوه اجرای پژوهش

تحقیق حاضر از نوع کاربردی و با روش توصیفی-تحلیلی انجام شده است. گردآوری اطلاعات بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای و پرسش‌نامه صورت گرفته است. جامعه آماری پژوهش، کارشناسان مرتبط با حوزه‌های شهرسازی، منابع طبیعی، آب‌وفاضلاب، محیط‌زیست و سایر نهادهای رسمی مرتبط با شهرستان حمیدیه می‌باشند. در این تحقیق، برای اجتناب از تأثیر نظرات شخصی و خطاهای سلیقه‌ای، تعیین و وزن معیارها با استفاده از نظرات متخصصین انجام شده است. انتخاب شاخص‌ها در این پژوهش بر مبنای مطالعات گسترده و معتبر در حوزه ارزیابی ریسک و آسیب‌پذیری سیل صورت گرفته است. این شاخص‌ها به دو دسته اصلی عوامل فیزیکی و عوامل اجتماعی-اقتصادی تقسیم می‌شوند. هر یک از این شاخص‌ها بر اساس نقش و تأثیرشان در افزایش یا کاهش خطر سیل‌خیزی و آسیب‌پذیری در برابر سیل انتخاب شده‌اند. عوامل فیزیکی، این دسته از شاخص‌ها به ویژگی‌های طبیعی و توپوگرافی منطقه مربوط می‌شوند که به‌طور مستقیم بر دینامیک، شدت و گسترش سیلاب تأثیر می‌گذارند که شامل: ارتفاع، ارتفاع یک عامل اساسی در تعیین خطر سیل است. مناطق با ارتفاع کمتر، به‌دلیل تجمع آب و جریان‌های سطحی، بیشتر در معرض سیل قرار دارند (Ahmed et al., 2022; Gupta and Dixit, 2022)، شیب، شیب زمین سرعت و حجم جریان رواناب را کنترل می‌کند. مناطق با شیب کمتر، به‌دلیل کندی جریان آب، بیشتر مستعد سیلاب هستند (Debnath et al., 2023)، تراکم زهکشی، این شاخص توانایی یک حوضه آبریز را در تخلیه رواناب نشان می‌دهد. مناطق با تراکم زهکشی پایین‌تر، پتانسیل بیشتری برای تجمع آب و وقوع سیل دارند

(Onus, Iuel Gül, 2013; Kumar et al., 2016)، فاصله از رودخانه، نزدیکی به رودخانه‌ها به‌طور مستقیم با خطر سیل مرتبط است. هرچه فاصله از رودخانه کمتر باشد، احتمال طغیان و وقوع سیل افزایش می‌یابد (Chapi et al., 2017; Saber et al., 2022)، شاخص رطوبت توپوگرافی، این شاخص پتانسیل تجمع آب در یک نقطه را نشان می‌دهد. مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده مناطق اشباع‌شده و مستعد سیل است (Beven and Kirkby, 1979; Rahmati et al., 2016)، بارندگی، بارندگی، اصلی‌ترین محرک هیدرولوژیکی وقوع سیلاب است و به‌عنوان یک عامل مستقیم در مدل‌سازی خطر سیل گنجانده می‌شود (Gupta and Dixit, 2022)، انحنای زمین، انحنای مقعر و صاف توپوگرافی می‌تواند باعث تجمع جریان سطحی شود و به همین دلیل پتانسیل سیل را افزایش می‌دهد (Ahmed et al., 2022; Debnath et al., 2022)، تراکم خطواره، وجود شکستگی‌ها و خطواره‌ها می‌تواند بر نفوذپذیری زمین تأثیر بگذارد و در شرایط بارش شدید، موجب افزایش رواناب سطحی و سیل‌خیزی شود (Jahan et al., 2019; Arnous et al., 2022)، جهت شیب، این شاخص جهت حرکت رواناب را مشخص می‌کند. سطوح با جهت شیب صاف یا مسطح، پتانسیل بیشتری برای تجمع آب و وقوع سیلاب دارند (Aryal et al., 2003; Bui et al., 2019)، کاربری زمین و پوشش زمین، نوع کاربری زمین (مانند مناطق شهری، جنگل‌ها، زمین‌های کشاورزی) بر نفوذپذیری خاک و سرعت رواناب تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، مناطق شهری به‌دلیل وجود سطوح نفوذناپذیر، خطر سیل بالاتری دارند (Lahon et al., 2023). درخصوص عوامل اجتماعی و اقتصادی، این شاخص‌ها میزان تأثیر سیل بر جوامع انسانی، زیرساخت‌ها و دارایی‌ها را منعکس می‌کنند که شامل تراکم جمعیت، مناطق پرجمعیت به‌دلیل تمرکز بالای انسان‌ها، سازه‌ها و دارایی‌ها، بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر سیل دارند (Tapsell et al., 2002; Roy et al., 2021)، تراکم سکونتگاه‌ها، مشابه تراکم جمعیت، تراکم بالای سکونتگاه‌ها نشان‌دهنده تمرکز زیرساخت‌ها است که در صورت وقوع سیل، خسارات مالی و جانی بیشتری را به‌دنبال دارد. فاصله از شبکه راه‌ها و مراکز بهداشتی و درمانی، نزدیکی به این زیرساخت‌های حیاتی، قابلیت دسترسی به امداد رسانی و خدمات اورژانسی را در شرایط سیل بهبود می‌بخشد و آسیب‌پذیری را کاهش می‌دهد (Chen et al., 2013; Mitra et al., 2022) و تراکم راه‌ها، تراکم بالاتر راه‌ها به معنای دسترسی بهتر و امکان تخلیه سریع‌تر مناطق در معرض خطر است که نقش مهمی در کاهش آسیب‌پذیری دارد (Kittipongvises et al., 2020). انتخاب تمامی شاخص‌های ذکرشده، بر اساس نقش تأییدشده آن‌ها در ادبیات علمی و همخوانی با ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، صورت گرفته است. این رویکرد تضمین می‌کند که تمامی عوامل کلیدی دخیل در خطر و آسیب‌پذیری سیل به‌صورت جامع مورد ارزیابی قرار گیرند. در ادامه کار عوامل خطر سیل و آسیب‌پذیری به‌صورت زوجی در قالب پرسش‌نامه‌ای بین کارشناسان توزیع شدند که نتایج عوامل غالب و ماتریس زوج به زوج زیرمجموعه‌های آن‌ها، رتبه‌بندی و ضریب سازگاری (CR) مربوطه در (جدول ۵) شرح داده شده است. در این تحقیق، عوامل مؤثر بر مخاطرات و آسیب‌پذیری سیل، آزمون هم‌خطی چندگانه، اعتبارسنجی و ارزیابی دقت نقشه خطر سیل بررسی و تحلیل می‌شوند. سپس تمامی شاخص‌های بدون هم‌خطی چندگانه که برای مناطق با خطر سیل (FHZ) و مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیل (FVZ) حیاتی هستند، با دقت در نرم‌افزار GIS تلفیق می‌شوند. لایه‌های موضوعی کمی با استفاده از روش شکست طبیعی جنکس<sup>۱</sup> طبقه‌بندی می‌شوند، به استثنای پارامترهای کیفی (Jenks, 1967; Pathan et al., 2022; Debnath et al., 2023). در این مطالعه، تنها عواملی که مشکل هم‌خطی چندگانه ندارند، مورد استفاده قرار می‌گیرند و در بخش‌های بعدی

<sup>1</sup> Jenks natural breaks optimization

به تفصیل توضیح داده می‌شوند. علاوه بر این، تحلیل حساسیت برای عوامل تعیین‌کننده خطر و آسیب‌پذیری سیل انجام شده است. روش‌شناسی مبتنی بر MCDM-AHP (تصمیم‌گیری چندمعیاره-فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی) به-کار رفته در این مطالعه در نگاره ۳ نشان‌دهنده شده است.



تصویر ۳. مدل مفهومی پژوهش (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

روش‌های تعیین مناطق با خطر سیل<sup>۱</sup> (FRZ): رویکرد MCDM-AHP مبتنی بر GIS برای تعیین مناطق بالقوه با خطر سیل در شهرستان حمیدیه استفاده شده است. این مطالعه به‌طور گسترده دو ارزیابی کلیدی را در نظر گرفته است: پارامترهای مؤثر بر خطر سیل و پارامترهای مؤثر بر آسیب‌پذیری سیل. پارامترهای این کار از مطالعات علمی قبل استفاده شده است (Gupta and Dixit, 2022; Mitra et al., 2022; Debnath et al., 2023).

\* رویکردهای تدوین پارامترهای منطقه با خطر سیل<sup>۲</sup> (FHZ): لایه‌های موضوعی آماده‌شده مربوط به عوامل مختلف شامل: ارتفاع<sup>۳</sup> (EL)، شیب<sup>۴</sup> (SL)، مجموعه داده‌های SRTM (ماموریت توپوگرافی راداری شاتل) با وضوح فضایی ۳۰ متر از DEM (مدل رقومی ارتفاع) برای ایجاد نقشه ارتفاع و شیب منطقه مورد استفاده قرار گرفت که به ترتیب در نگاره (۴-الف و ۴-ب) نشان داده شده است. تراکم زهکشی<sup>۵</sup> (DD) جهت تهیه این نقشه با تقسیم کل طول رودخانه‌ها در یک سلول بر مساحت آن سلول خاص در نرم افزار ArcGIS 10.8 تهیه شد (نگاره ۴-پ) (Altaf et al., 2013; Debnath et al., 2023; Kotecha et al., 2023). فاصله از رودخانه<sup>۶</sup> (DFR) نقشه فاصله از رودخانه منطقه از طریق رویکرد تراکم خطی توسعه داده شد (نگاره ۴-ت). شاخص رطوبت توپوگرافی<sup>۷</sup> (TWI) منطقه مورد مطالعه در نگاره (۴-ث) نشان داده شده و با استفاده از معادله زیر (معادله ۱) محاسبه و توسط مور و همکاران (۱۹۹۱) استفاده شده است:

$$TWI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan \beta}\right) \quad (1)$$

در اینجا،  $A$  و  $\beta$  به ترتیب حوزه آبریز منطقه و زاویه شیب منطقه اشاره دارند. هرچه مقدار این شاخص (TWI) پایین تر باشد، خطر سیل کمتر است. کاربری زمین و پوشش زمین<sup>۸</sup> (LULC) برای مطالعه حاضر با استفاده از طبقه‌بندی جنگل تصادفی (الگوریتم یادگیری ماشین) در محیط ArcGIS 10.8 تهیه شده و به پنج دسته طبقه‌بندی شده است (نگاره ۴-ج). برای تهیه نقشه، از تصاویر Landsat-8 OLI با وضوح فضایی ۳۰ متر برای سال ۲۰۲۴ استفاده شده است. ماهیت پویای LULC به‌طور مداوم بر پاسخ‌های هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارد و منجر به وقوع سیل می‌شود (Sanyal et al., 2014; Mojaddadi et al., 2017; Das and Gupta, 2021). از تصویر Google Earth نیز در فرآیند ارزیابی دقت نقشه استفاده شده است (Hishe et al., 2020; Vivekananda et al., 2021; Saber et al., 2020). دقت کلی این نقشه ۸۱/۳۳ درصد است. مقادیر دقت برای این نقشه با استفاده از معادلات زیر (معادلات ۲ تا ۵) به ترتیب محاسبه می‌شوند.

$$User\ accuracy(\%) = \ln\left(\frac{x_{kk}}{x_{k+}}\right) \times 100 \quad (2)$$

$$Producer\ accuracy(\%) = \ln\left(\frac{x_{kk}}{x_{k+}}\right) \times 100 \quad (3)$$

$$Overall\ accuracy(OA) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^r n_i \quad (4)$$

<sup>1</sup> Flood risk zone

<sup>2</sup> Flood hazard zone

<sup>3</sup> Elevation

<sup>4</sup> Slope

<sup>5</sup> Drainage density

<sup>6</sup> Distance from river

<sup>7</sup> Topographic Wetness Index

<sup>8</sup> Land Use/ Land Cover

$$Kappa\ coefficient(K) = \frac{N \sum_{k=1}^r x_{kk} - \sum_{k=1}^r (x_k + x_{+k})}{N^2 - \sum_{k=1}^r (x_k + x_{+k})} \quad (5)$$

که در اینجا،  $N$  نشان دهنده تعداد کل پیکسل‌ها است؛  $r$  تعداد کلاس‌ها و  $x_{kk}$  مجموع پیکسل‌ها در سطرهای " $k$ " و ستون‌های " $k$ " است، به ترتیب. در ماتریس خطا، کل نمونه‌ها در ستون " $k$ " با اشتراک  $x_{+k}$  نشان داده می‌شوند، در حالی که کل نمونه‌ها در سطر " $k$ " با  $x_{k+}$  نشان داده می‌شوند.

میانگین بارندگی<sup>۱</sup> (RF): روش وزن‌دهی معکوس فاصله‌ای<sup>۲</sup> (IDW) با تولید یک سطح پیوسته (هموار) بارش از یک نقطه هدف، به بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری یاری می‌رساند. این روش درون‌یابی، با فرض کاهش تأثیر نقاط دورتر بر مقدار تخمینی در نقطه هدف، مقادیر بارش را بر اساس وزن‌دهی معکوس فاصله‌ای نقاط معلوم مجاور، درون‌یابی می‌کند. جهت تهیه نقشه بارندگی منطقه مورد مطالعه، از اطلاعات بارندگی سالانه ۳ ایستگاه هواشناسی اطراف منطقه مورد مطالعه استفاده شد. (سازمان هواشناسی استان خوزستان). توزیع میانگین بارندگی (RF) منطقه از ۲۶۶ تا ۳۴۷ میلی متر متغیر است (نگاره ۴-چ). انحنای زمین<sup>۳</sup> (CU) (نگاره ۴-ح) نقشه انحنای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. تراکم خطواره<sup>۴</sup> (LD) این لایه با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS) تولید شد. داده‌های حاصل از سازمان زمین‌شناسی در محدوده مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت. (نگاره ۴-خ). جهت شیب<sup>۵</sup> (AS) که در این بخش نیز از مدل رقومی ارتفاع (SRTM-DEM) برای منطقه مطالعاتی استفاده شد (نگاره ۴-د).

#### \* رویکردهای تدوین پارامترهای منطقه آسیب‌پذیر در برابر سیل (FVZ)

ارزیابی آسیب‌پذیری سیل شامل در نظر گرفتن طیف وسیعی از عوامل اجتماعی-اقتصادی و زیرساختی است که به ایجاد خطر در یک منطقه کمک می‌کند (Gupta and Dixit, 2022; Bhuyan et al., 2023). تراکم جمعیت<sup>۶</sup> (PD) جهت تهیه این نقشه از آخرین اطلاعات سرشماری در سال ۱۳۹۵ تا سطح روستا استفاده (نگاره ۵-الف) و با استفاده از معادله زیر (معادله ۶) محاسبه شده است:

$$PD = \frac{N}{A} \quad (6)$$

که در آن PD: تراکم جمعیت، N: تعداد کل جمعیت و A: مساحت کل. تراکم سکونتگاه‌ها<sup>۷</sup> (SD) جهت ایجاد این نقشه از تابع تراکم کرنل<sup>۸</sup> در نرم‌افزار GIS سکونتگاه‌های انسانی منطقه مورد مطالعه استفاده شده است (نگاره ۵-ب). فاصله از شبکه راه‌ها<sup>۹</sup> (DFRN) و مراکز بهداشتی و درمانی<sup>۱۱</sup> )

<sup>1</sup> Rainfall

<sup>2</sup> Inverse distance weight

<sup>3</sup> Curvature

<sup>4</sup> lineament density

<sup>5</sup> Aspect

<sup>6</sup> Flood vulnerability zone

<sup>7</sup> Population density

<sup>8</sup> Settlement density

<sup>9</sup> Kernel density

<sup>10</sup> Distance from road network

<sup>11</sup> Distance to health & clinic

(DTHC) داده‌های مربوط به فاصله از شبکه جاده‌ای و فاصله تا مراکز بهداشتی و درمانی برای منطقه مورد مطالعه از سایت OpenStreetMap جمع‌آوری و جهت صحت‌سنجی این اطلاعات با داده‌های دریافتی از ادار کل راه و شهرسازی (برای شبکه راه‌های موجود) و اطلاعات دریافتی از دانشگاه جندی شاپور اهواز (از موقعیت مراکز بهداشتی و درمانی استان) استفاده شد. جهت تهیه لایه‌های مربوطه با استفاده از روش فاصله اقلیدسی<sup>۱</sup> در نرم‌افزار ArcGIS به ترتیب آماده شدند (Chen et al., 2013; Mitra et al., 2022; Peng and Zhang, 2022) و به پنج طبقه دسته‌بندی شدند (نگاره ۵-پ و ۵-ت) و تراکم راه‌ها<sup>۲</sup> (RD) که جهت ایجاد این نقشه از تابع تراکم کرنل<sup>۳</sup> در نرم‌افزار ArcGIS برای راه‌های منطقه مورد مطالعه تهیه شده است (نگاره ۵-ث).

### روش تشخیص همبستگی خطی چندگانه<sup>۴</sup> برای عوامل خطر و آسیب‌پذیری سیل

همبستگی خطی چندگانه به همبستگی خطی بین متغیرهای مستقل اشاره دارد و وجود آن نتایج مبهمی را به همراه دارد (Jong, 2019) روش‌های مختلفی برای تشخیص همبستگی خطی چندگانه قبل از اجرای یک مدل خاص در مطالعات سیل وجود دارد (Ahmed et al., 2022; Saber et al., 2022). در این مطالعه، از روش‌های تحمل<sup>۵</sup> و ضریب تورم واریانس<sup>۶</sup> (VIF) برای بررسی همبستگی خطی چندگانه بین ۱۰ عامل مؤثر بر خطر سیل و ۵ عامل مؤثر بر آسیب‌پذیری سیل استفاده شده است (Mitra et al., 2022; Debnath et al., 2023). مقادیر VIF بزرگتر از ۹ و سطوح تحمل کمتر از ۰/۱ برای هر یک از متغیرهای مؤثر بر سیلاب، حاوی مسائل هم‌خطی چندگانه هستند (Khosravi et al., 2018)؛ بنابراین حذف همه عوامل دارای مشکلات همبستگی خطی چندگانه قبل از مدل‌سازی توصیه می‌شود (Mitra et al., 2022; Debnath et al., 2023). مقادیر تحمل و VIF برای عوامل انتخاب شده خطر و آسیب‌پذیری سیل با استفاده از معادلات زیر (معادلات ۷ و ۸) محاسبه شده است:

$$T_i = 1 - R_i^2 \quad (7)$$

$$VIF_i = \frac{1}{T_i} \quad (8)$$

در اینجا،  $T_i$  نشان‌دهنده مقدار تحمل متغیر پیش‌بینی‌کننده  $i$ ام،  $VIF_i$  نشان‌دهنده ضریب تورم واریانس برای متغیر پیش‌بینی‌کننده  $i$ ام و  $R_i^2$  ضریب تعیین برای مدل رگرسیون را تعریف می‌کند.

### برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی MCDM-AHP<sup>۷</sup>

اهمیت این روش در ارزیابی حساسیت، آسیب‌پذیری و پهنه‌بندی خطر سیل افزایش یافته و به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش به‌عنوان چهارچوبی برای تعیین وزن و رتبه‌بندی پارامترها عمل می‌کند (Saaty, 1980; Gupta and Dixit, 2022; Mitra et al., 2022; Debnath et al., 2023). در این مطالعه، از روش MCDM-AHP برای ادغام لایه‌های موضوعی انتخاب‌شده برای خطر سیل و آسیب‌پذیری استفاده شده است (Mitra et al., 2023).

<sup>1</sup> Euclidian distance

<sup>2</sup> Road density

<sup>3</sup> Kernel density

<sup>4</sup> Multicollinearity

<sup>5</sup> Tolerance

<sup>6</sup> Variance Inflation Factor

<sup>7</sup> Multi-Criteria Decision Making - Analytic Hierarchy Process

(2022)؛ بنابراین وزن‌های نسبی هر لایه موضوعی به صورت تکی و زیرمجموعه‌های آن‌ها برای عوامل خطر و آسیب‌پذیری سیل از طریق ماتریس‌های مقایسه زوجی<sup>۱</sup> اختصاص داده شده است. وزن‌های نسبی بر اساس مقیاس ساعتی (Saaty, 1980) محاسبه شده است که از ۱ تا ۹ متغیر است و در جدول ۱ نشان داده شده است. علاوه بر این، این روش به عنوان یک رویکرد مبتنی بر دانش شناخته می‌شود (Mukherjee and Singh, 2020; Mitra et al., 2022). نویسندگان با جمع‌آوری اطلاعات از منابع مختلف ادبیات و توصیه‌های کارشناسان، وزن‌ها را برای هر پارامتر اختصاص دادند (Gupta and Dixit, 2022; Mitra et al., 2022; Debnath et al., 2023). در تکنیک AHP، یک ماتریس مربعی  $A = (a_{ij})$  برای مقایسه زوجی  $n$  معیار از پارامترهای خطر و آسیب‌پذیری سیل تهیه می‌شود. برای تخمین  $a_{ij}$  عناصر ماتریس، از معادله زیر (معادله ۹) استفاده می‌شود:

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (9)$$

ماتریس‌های مقایسه زوجی نقش مهمی در ارزیابی ریاضی ایفا می‌کند که در آن معکوس هر مقدار پارامتر باید در نظر گرفته شود. در اینجا،  $a_{ij}$  از یکنواختی پیروی می‌کند، یعنی  $a_{ij} = \frac{P_i}{P_j}$ ؛ که در آن  $P_i$  نشان‌دهنده انتخاب جایگزین مربوطه  $i$  است، همان‌طور که در معادله ۱۰ ذکر شده است.

$$A = \begin{pmatrix} \frac{P_1}{P_1} & \dots & \frac{P_1}{P_j} & \dots & \frac{P_1}{P_n} & \dots \\ \frac{P_i}{P_1} & 1 & \dots & 1 & \dots & \frac{P_i}{P_n} \\ \frac{P_n}{P_1} & \dots & \dots & \frac{P_n}{P_j} & \dots & \frac{P_n}{P_n} \end{pmatrix} \quad (10)$$

ماتریس مقایسه زوجی عوامل مؤثر بر خطر سیل و آسیب‌پذیری در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. مراحل مختلفی برای اختصاص وزن‌های نسبی یا رتبه‌بندی به هر پارامتر از ماتریس مقایسه زوجی دنبال شده است.

گام ۱. محاسبه مجموع تمام پارامترها برای ستون  $j$  در ماتریس  $A$  با استفاده از معادله (معادله ۱۱).

$$\frac{P_1}{P_j} + \dots + \frac{P_i}{P_j} + \dots + \frac{P_n}{P_j} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{P_j} \quad (11)$$

گام ۲. برآورد مقدار نرمالیزه؛ یعنی  $a_{ij} = P_i/P_j$  برای عوامل مؤثر با استفاده از فرمول (معادله ۱۲).

$$\frac{\frac{P_i}{P_j}}{\frac{\sum_{i=1}^n P_i}{P_j}} = \frac{P_i}{P_j} \times \frac{P_j}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (12)$$

گام ۳. اختصاص وزن یا رتبه ( $W_i$ ) به هر سطر با استفاده از میانگین پارامترها، با استفاده از معادله (معادله ۱۳) محاسبه می‌شود.

$$W_i = \left( \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} + \dots + \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \right) \times \frac{1}{n} \quad (13)$$

<sup>1</sup> Pair-wise comparison matrices

برای اطمینان از دقت و توانایی دیدگاه‌های منطقی کارشناسان در ماتریس مقایسه زوجی، محاسبه CR (نسبت سازگاری)<sup>۱</sup> از اهمیت بالایی برخوردار است (Mitra et al., 2022; Debnath et al., 2023). قبل از محاسبه CR، باید شاخص سازگاری (CI) و شاخص تصادفی<sup>۲</sup> (RI) را محاسبه کرد. CI با استفاده از معادله (معادله ۱۴) محاسبه شد.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (14)$$

که در آن  $\lambda_{max}$  به بزرگترین مقدار ویژه اشاره دارد؛  $n$  تعداد شاخص‌های انتخاب شده است و با استفاده از معادله زیر (معادله ۱۵) محاسبه می‌شود.

$$l_{max} = \sum_{i=1}^n (w_i \times \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}) \quad (15)$$

نسبت سازگاری (CR) برای هر زیر پارامتر و پارامتر با استفاده از معادله (معادله ۱۶) ارزیابی شد و باید کمتر از ۰/۱۰ باشد (Saaty, 1980; Gupta and Dixit, 2022). در غیر این صورت، کل مراحل ریاضی برای حفظ سازگاری در نتیجه باید تجدیدنظر شود (Debnath et al., 2023).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (16)$$

که در آن CR نشان‌دهنده نسبت سازگاری، CI نشان‌دهنده شاخص سازگاری و RI نشان‌دهنده شاخص سازگاری تصادفی است (Saaty, 1988). که مقادیر ثابتی را ارائه می‌دهد.

### تکنیک‌های تهیه و تعیین مناطق و پهنه‌های خطر، آسیب‌پذیری و ریسک سیل

نسبت سازگاری کلی برای نقشه مناطق با خطر سیل و مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیل برای منطقه مورد مطالعه، همان‌طور که در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است، قابل قبول و معتبر در نظر گرفته شد، بر اساس تصمیمات کارشناسان برای هر عامل انتخاب‌شده در مدل AHP تمام تصاویر طبقه‌بندی شده پارامترهای انتخاب‌شده با اندازه سلول شبکه  $30 \times 30$  متر در نظر گرفته شدند (Chakraborty and Mukhopadhyay, 2019; Ghosh et al., 2023). پس از محاسبه وزن‌ها و رتبه‌بندی برای پارامترها و زیرپارامترهای انتخاب شده، مناطق با خطر سیل، مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیل و مناطق با ریسک سیل در محیط GIS 10.8 با اجرای محاسبه‌گر رستری<sup>۳</sup> با معادلات زیر به ترتیب ایجاد شدند (معادلات ۱۷، ۱۸ و ۱۹).

$$FHZ = \sum_{i=1}^n W_i^H * S_i^H \quad (17)$$

که در آن FHZ به منطقه‌بندی خطر سیل اشاره دارد؛  $W_i^H$  نشان‌دهنده وزن تجمعی پارامترهای خطر و  $S_i^H$  نشان‌دهنده وزن زیرپارامترهای خطر است.

$$FVZ = \sum_{i=1}^n W_i^V * S_i^V \quad (18)$$

که در آن FVZ به منطقه‌بندی آسیب‌پذیری سیل اشاره دارد؛  $W_i^V$  نشان‌دهنده وزن تجمعی پارامترهای آسیب‌پذیری و  $S_i^V$  نشان‌دهنده وزن زیرپارامترهای آسیب‌پذیری است. نقشه نهایی منطقه با خطر سیل با ضرب نقشه‌های خطر سیل و آسیب‌پذیری سیل به صورت زیر تهیه می‌شود:

$$FRZ = FHZ * FVZ \quad (19)$$

<sup>1</sup> Consistency Ratio

<sup>2</sup> Random Consistency Index

<sup>3</sup> Raster calculator

### روش‌های تحلیل حساسیت

از آن جایی که تخصیص وزن‌ها به معیارها در مدل AHP می‌تواند تا حدی تحت تأثیر قضاوت‌های ذهنی قرار گیرد، تحلیل حساسیت به منظور ارزیابی پایداری نتایج مدل در برابر تغییرات احتمالی در وزن‌های ورودی و نیز درک نقش هر شاخص در خروجی نهایی، ضروری است. در این پژوهش، از دو رویکرد اصلی تحلیل حساسیت؛ یعنی تحلیل حساسیت تک پارامتری<sup>۱</sup> (SPS) و تحلیل حساسیت حذف نقشه<sup>۲</sup> (MRS)، برای اعتبارسنجی و بهبود مدل خطر و آسیب‌پذیری سیل استفاده شده است (Fenta et al., 2015; Mukherjee and Singh, 2020).

### رویکرد تحلیل حساسیت تک پارامتری

برای هر یک از شاخص‌های تعیین‌کننده خطر و آسیب‌پذیری سیل، وزن اختصاص داده شده (وزن تجربی) به صورت سیستماتیک و با درصدهای مشخصی افزایش و کاهش داده شد. در هر مرحله از تغییر وزن یک شاخص، وزن‌های سایر شاخص‌ها به تناسب مجدداً نرمال‌سازی شدند تا مجموع کل وزن‌ها همچنان ۱۰۰ درصد باقی بماند. پس از هر تغییر، فرآیند AHP مجدداً اجرا شده و نقشه‌های FHZ و FVZ بازسازی شدند. سپس، وزن مؤثر<sup>۳</sup> (EW) هر شاخص با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه شد:

$$EW = \frac{P_r P_w}{FHZ} \times 100 \quad (19)$$

$$EW = \frac{P_r P_w}{FVZ} \times 100 \quad (20)$$

که در آن EW وزن مؤثر است؛  $P_r$  و  $P_w$  به ترتیب رتبه و وزن پارامترها هستند؛ و FHZ و FVZ نقشه‌های منطقه‌بندی خروجی مربوطه را نشان می‌دهند. مقدار "کاهش" یا "افزایش" بین وزن تجربی و وزن مؤثر، نشان‌دهنده میزان حساسیت مدل به تغییرات وزن آن شاخص خاص بود. هر چه این تفاوت بیشتر باشد، نشان‌دهنده حساسیت بالاتر مدل به آن شاخص است. (همان).

### تحلیل حساسیت حذف نقشه

این روش حذف یک پارامتر موضوعی واحد و اجرای مجدد روش‌های AHP را برای بازسازی FHZ و FVZ، بدون در نظر گرفتن آن پارامترهای خاص، تسهیل می‌کند. در این رویکرد، هر یک از شاخص‌های ورودی مدل (مانند شیب، فاصله از رودخانه، پوشش اراضی و غیره) به صورت مجزا و تکی از مجموعه داده‌ها حذف شدند. پس از حذف هر شاخص، مدل MCDM-AHP مجدداً با استفاده از شاخص‌های باقی‌مانده اجرا شده و نقشه‌های جدید FHZ و FVZ (با حذف آن شاخص خاص) تولید شدند. سپس، میزان تغییر در پهنه‌بندی مناطق خطر و آسیب‌پذیری سیل نسبت به نقشه‌های اولیه (که شامل تمامی شاخص‌ها بودند) با استفاده از شاخص حساسیت<sup>۴</sup> (SI) محاسبه گردید: شاخص حساسیت حذف نقشه برای FHZ و FVZ با استفاده از معادلات زیر (معادلات ۲۲ و ۲۳) محاسبه شد.

$$SI = \frac{\left| \left( \frac{FHZ}{N} \right) - \left( \frac{FHZ}{n} \right) \right|}{FHZ} \times 100 \quad (22)$$

<sup>1</sup> Single parameter sensitivity

<sup>2</sup> Map removal sensitivity

<sup>3</sup> Effective Weight

<sup>4</sup> Sensitivity Index

$$SI = \frac{\left| \left( \frac{FVZ}{N} \right) - \left( \frac{FVZ}{n} \right) \right|}{FVZ} \times 100 \quad (23)$$

که در آن FHZ و FVZ نشان‌دهنده منطقه خطر سیل و منطقه آسیب‌پذیری سیل قبلی است؛ FHZ و FVZ منطقه خطر سیل و منطقه آسیب‌پذیری سیل جدید را که با حذف یک لایه واحد ایجاد شده‌اند، نشان می‌دهند. شاخص حساسیت نشان‌دهنده درصد تغییرات در هر یک از کلاس‌های خطر و آسیب‌پذیری (از بسیار کم تا بسیار زیاد) پس از حذف یک لایه بود. تغییرات کوچک در SI به معنای پایداری بالای مدل و نقش جزئی آن لایه خاص در تعیین خروجی نهایی است در حالی که تغییرات بزرگ نشان‌دهنده تأثیرگذاری قابل توجه آن لایه بر نتایج مدل می‌باشد. این تحلیل به ما اطمینان داد که حتی با حذف برخی از لایه‌ها، ساختار کلی پهنه‌بندی خطر و آسیب‌پذیری سیل پایدار می‌ماند که نشان‌دهنده اعتبار و قابلیت اطمینان بالای مدل پیشنهادی است.

### رویکردهای اعتبارسنجی

از روش‌های متداول ROC-AUC، RMSE و MSE برای اعتبارسنجی نقشه FHZ منطقه استفاده شده است. نمودار ROC-AUC برای FHZ منطقه با استفاده از نقاط سیلابی و غیرسیلابی و با استفاده از معادلات زیر ۲۴ و ۲۵ و به دنبال آن (Swets, 1988) اعتبارسنجی شد.

$$x = 1 - \text{Specificity} = 1 - \left[ \frac{TN}{(TN+FP)} \right] \quad (24)$$

$$y = \text{Sensitivity} = \left[ \frac{TN}{(TP+FN)} \right] \quad (25)$$

در این معادلات، TN نشان‌دهنده موارد منفی صحیح، FP نشان‌دهنده موارد مثبت کاذب، TP نشان‌دهنده موارد مثبت صحیح و FN نشان‌دهنده موارد منفی کاذب است. علاوه بر این، برای درک بهتر دقت پیش‌بینی و برآزش مدل FHZ، از معادلات RMSE و MSE نیز استفاده شده است (معادلات ۲۶ و ۲۷).

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n} \quad (26)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (27)$$

در این معادلات،  $n$  تعداد کل نقاط داده،  $X_i$  مقدار مشاهده‌شده و  $Y_i$  مقدار پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد.

### یافته‌های تحقیق

#### ارزیابی همبستگی خطی چندگانه

ارزیابی چندخطی بودن از نقاط نمونه‌گیری تصادفی برای تشخیص درجه چندخطی بودن بین خطرات سیل و عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری سیل استفاده شد. در مجموع از کل نقاط نمونه برای ارزیابی از روش‌های تحمل و ضریب تورم واریانس (VIF) که هر دو عامل مؤثر هستند استفاده شد. آمار استنباط شده نشان داد که ۵ عامل خطر سیل دارای مسائل چندخطی هستند، از جمله تجمع جریان، شاخص توان جریان، لیتولوژی، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی

(جدول ۳). با نگاهی به عوامل آسیب‌پذیری سیل، دو پارامتر در مسئله چندخطی بودن: توزیع جمعیت و جمعیت زیر ۶ ساله باقی می‌ماند(همان‌طور که در جدول ۴ نشان‌داده شده است مقادیر VIF و تحمل این پارامترها به ترتیب بزرگ‌تر از ۹ و کمتر از ۰/۱ است) که برای مدل AHP در نظر گرفته نشدند.

جدول ۱- ماتریس تصمیم‌گیری زوجی عوامل مؤثر بر خطر سیل

| پارامترها            | ارتفاع | شیب  | تراکم زهکشی | فاصله از رودخانه | شاخص رطوبت توپوگرافی | کاربری زمین | بارندگی | انحنا | تراکم خطواره | جهت شیب | CR    |
|----------------------|--------|------|-------------|------------------|----------------------|-------------|---------|-------|--------------|---------|-------|
| ارتفاع               | ۱      | ۲    | ۳           | ۳                | ۳                    | ۳           | ۴       | ۷     | ۷            | ۸       | ۰/۰۶۹ |
| شیب                  | ۱/۲    | ۱    | ۲           | ۳                | ۳                    | ۳           | ۴       | ۷     | ۷            | ۸       |       |
| تراکم زهکشی          | ۱/۳    | ۱/۲  | ۱           | ۲                | ۳                    | ۳           | ۴       | ۷     | ۷            | ۸       |       |
| فاصله از رودخانه     | ۱/۳    | ۱/۳  | ۱/۲         | ۱                | ۲                    | ۲           | ۳       | ۶     | ۶            | ۷       |       |
| شاخص رطوبت توپوگرافی | ۱/۳    | ۱/۳  | ۱/۳         | ۱/۲              | ۱                    | ۲           | ۳       | ۶     | ۶            | ۷       |       |
| کاربری زمین          | ۱/۳    | ۱/۳  | ۱/۳         | ۱/۲              | ۱/۲                  | ۱           | ۳       | ۵     | ۶            | ۷       |       |
| بارندگی              | ۱/۴    | ۱/۴  | ۱/۴         | ۱/۳              | ۱/۳                  | ۱/۳         | ۱       | ۵     | ۵            | ۶       |       |
| انحنا                | ۱/۷    | ۱/۷  | ۱/۷         | ۱/۶              | ۱/۶                  | ۱/۵         | ۱/۵     | ۱     | ۳            | ۴       |       |
| تراکم خطواره         | ۱/۷    | ۱/۷  | ۱/۷         | ۱/۶              | ۱/۶                  | ۱/۶         | ۱/۵     | ۱/۳   | ۱            | ۲       |       |
| جهت شیب              | ۱/۸    | ۱/۸  | ۱/۸         | ۱/۷              | ۱/۷                  | ۱/۷         | ۱/۶     | ۱/۴   | ۱/۲          | ۱       |       |
| مجموع                | ۳/۴۹   | ۵/۱۶ | ۷/۸۳        | ۱۰/۸۱            | ۱۳/۳۱                | ۱۴/۸۴       | ۲۲/۵۷   | ۴۴/۵۸ | ۴۸/۵۰        | ۵۸      |       |

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

جدول ۲- ماتریس تصمیم‌گیری زوجی عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری در برابر سیل

| پارامترها                       | تراکم جمعیت | تراکم سکونتگاه | فاصله از شبکه راهها | فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی | تراکم راه | CR    | مجموع  |
|---------------------------------|-------------|----------------|---------------------|---------------------------------|-----------|-------|--------|
| تراکم جمعیت                     | ۱           | ۲              | ۵                   | ۵                               | ۷         |       | ۲/۱۸۶  |
| تراکم سکونتگاه                  | ۱/۲         | ۱              | ۳                   | ۵                               | ۷         |       | ۳/۸۷۶  |
| فاصله از شبکه راهها             | ۱/۵         | ۱/۳            | ۱                   | ۳                               | ۶         | ۰/۰۵۲ | ۹/۸۳۳  |
| فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی | ۱/۵         | ۱/۵            | ۱/۳                 | ۱                               | ۳         |       | ۱۴/۸۳۳ |
| تراکم راه                       | ۱/۷         | ۱/۷            | ۱/۶                 | ۱/۳                             | ۱         |       | ۲۷     |

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

جدول ۳: آماره‌های چندخطی (میزان تحمل و عامل تورم واریانس) شاخص‌های مؤثر بر خطر سیل

| پارامترها            | Tolerance | VIF   |
|----------------------|-----------|-------|
| ارتفاع               | ۰/۳۷      | ۲/۷۴  |
| شیب                  | ۰/۱۷      | ۵/۸۲  |
| تراکم زهکشی          | ۰/۸۳      | ۱/۲۱  |
| فاصله از رودخانه     | ۰/۸۲      | ۱/۲۲  |
| تجمع جریان           | ۰         | ۹۲/۱  |
| شاخص توان جریان      | ۰         | ۷۰/۰۷ |
| شاخص رطوبت توپوگرافی | ۰/۱۶      | ۶/۱۱  |
| کاربری زمین          | ۰/۴۴      | ۲/۲۹  |
| بارندگی              | ۰/۸۷      | ۱/۱۵  |
| لینتولوژی            | ۰         | ۹۹/۱۲ |
| ژئومورفولوژی         | ۰         | ۴۳/۷۶ |
| زمین‌شناسی           | ۰         | ۵۲/۰۵ |
| انحنای               | ۰/۹       | ۱/۱۱  |
| تراکم راه            | ۰/۸۷      | ۱/۱۴  |
| جهت شیب              | ۰/۸۱      | ۱/۲۳  |

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

جدول ۴: آماره‌های چندخطی (میزان تحمل و عامل تورم واریانس) شاخص‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری سیل

| تراکم جاده | فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی | تراکم سکونتگاه | فاصله از شبکه جاده‌ای | تراکم جمعیت | گروه‌های جمعیتی ۶-۰ ساله | توزیع جمعیت | پارامترها |
|------------|---------------------------------|----------------|-----------------------|-------------|--------------------------|-------------|-----------|
| ۰/۵۰       | ۰/۷۵                            | ۰/۵۰           | ۰/۴۵                  | ۰/۴۴        | ۰/۰۰                     | ۰/۰۰        | Tolerance |
| ۱/۹۹       | ۱/۳۳                            | ۲/۰۱           | ۲/۲۲                  | ۲/۲۸        | ۱۰۳/۶۴                   | ۹۷/۰۵       | VIF       |

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

### اهمیت و گستره فضایی شاخص‌های خطر سیل و آسیب‌پذیری

عوامل خطر سیل و آسیب‌پذیری دارای الگوی فضایی قابل توجهی هستند و تأثیر زیادی بر تنوع ریسک سیل دارند. این شاخص‌ها به دسته‌های بسیار کم تا بسیار زیاد طبقه‌بندی شده و برای سهولت تجزیه و تحلیل به اعداد ۱ تا ۵ اختصاص داده می‌شوند. در این مطالعه، همه پارامترهای در نظر گرفته شده نقش مهمی در ایجاد نقشه مناطق با خطر سیل (FHZ) منطقه با وزن‌های مختلف بر اساس تصمیمات تعیین شده داشته‌اند. ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه، بارندگی، انحنای توپوگرافی و جهت شیب بیشترین وسعت را در مناطق با سطح خطر سیل بسیار بالا در منطقه به خود اختصاص داده‌اند. برعکس، تراکم زهکشی، شاخص توپوگرافی، کاربری اراضی و تراکم خطواره به‌طور نسبی مساحت کمتری را در زیر منطقه با خطر سیل بسیار بالا تشکیل می‌دهند. توضیح دقیق در مورد گستره فضایی پارامترهای خطر سیل در جدول ۵ ارائه شده است. تنوع مکانی مناطق مختلف سطح سیل عوامل غالب و ماتریس زوج به زوج زیرمجموعه‌های آن‌ها، رتبه‌بندی و ضریب سازگاری (CR) مربوطه در (جدول ۵) شرح داده شده است. در این مطالعه، تراکم جمعیت آسیب‌پذیری در برابر سیل را افزایش می‌دهد؛ بنابراین به تراکم جمعیت بالا وزن بیشتری نسبت داده شده است و بالعکس. ارزیابی دقیق‌تر مکانی شاخص‌های آسیب‌پذیری سیل در جدول ۶ شرح داده شده است. همه عوامل در نظر گرفته شده و زیرویژگی‌های آن‌ها سطوح خاصی از مناطق آسیب‌پذیری را در داخل منطقه اشغال کرده‌اند. الگوی فضایی چنین عواملی به‌همراه زیرمجموعه‌های آن‌ها، با برجسته کردن نرخ‌های استاندارد شده CR در (جدول ۶) شرح داده شده است.

جدول ۵: پارامترهای انتخاب شده خطر سیل در منطقه مورد مطالعه

| شاخص                        | وزن   | طبقه             | میزان خطر  | ارزش هر کلاس | رتبه بندی | CR    |
|-----------------------------|-------|------------------|------------|--------------|-----------|-------|
| ارتفاع (متر)                | ۰.۲۳۸ | ۱۸-۱۳            | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۴۵۹     | ۰/۰۳۰ |
|                             |       | ۲۵-۱۸            | زیاد       | ۴            | ۰/۲۸۹     |       |
|                             |       | ۳۲-۲۵            | متوسط      | ۳            | ۰/۱۴۸     |       |
|                             |       | ۴۱-۳۲            | کم         | ۲            | ۰/۰۶۳     |       |
|                             |       | ۹۴-۴۱            | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۴۱     |       |
| شیب (درجه)                  | ۰.۱۹۱ | ۱.۳-۰            | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۴۶۵     | ۰/۰۴۲ |
|                             |       | ۲.۷-۱.۳          | زیاد       | ۴            | ۰/۲۸۵     |       |
|                             |       | ۴.۶-۲.۷          | متوسط      | ۳            | ۰/۱۴۳     |       |
|                             |       | ۸.۲-۴.۶          | کم         | ۲            | ۰/۰۶۳     |       |
|                             |       | ۳۱-۸.۲           | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۴۲     |       |
| تراکم زهکشی (کیلومتر مربع)  | ۰.۱۵۵ | ۶.۱-۴.۹          | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۴۵۸     | ۰/۰۳۳ |
|                             |       | ۴.۹-۳.۷          | زیاد       | ۴            | ۰/۲۹۶     |       |
|                             |       | ۳.۷-۲.۴          | متوسط      | ۳            | ۰/۱۳۴     |       |
|                             |       | ۲.۴-۱.۲          | کم         | ۲            | ۰/۰۷۵     |       |
|                             |       | ۱.۲-۰            | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۳۷     |       |
| فاصله از رودخانه (متر)      | ۰.۱۱۱ | ۱۷۰۰-۰           | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۵۱۱     | ۰/۰۲۷ |
|                             |       | ۳۴۰۰-۱۷۰۰        | زیاد       | ۴            | ۰/۲۶۵     |       |
|                             |       | ۵۱۰۰-۳۴۰۰        | متوسط      | ۳            | ۰/۱۱۳     |       |
|                             |       | ۶۷۰۰-۵۱۰۰        | کم         | ۲            | ۰/۰۶۷     |       |
|                             |       | ۸۴۰۰-۶۷۰۰        | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۴۴     |       |
| شاخص رطوبت توپوگرافی        | ۰.۰۹۷ | -۷.۷-۴.۱         | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۵۱      | ۰/۰۳۷ |
|                             |       | -۴.۱-۲.۶         | زیاد       | ۴            | ۰/۲۴      |       |
|                             |       | -۲.۶-۰.۶۹        | متوسط      | ۳            | ۰/۱۵      |       |
|                             |       | -۰.۶۹-۲.۱        | کم         | ۲            | ۰/۰۶      |       |
|                             |       | ۲.۱-۱۱           | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۴      |       |
| کاربری زمین                 | ۰.۰۸۴ | پهنه آبی         | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۴۳۵     | ۰/۰۱۹ |
|                             |       | زمین بایر        | زیاد       | ۴            | ۰/۲۸۳     |       |
|                             |       | کشاورزی          | متوسط      | ۳            | ۰/۱۷۷     |       |
|                             |       | ساخته شده        | کم         | ۲            | ۰/۰۶۶     |       |
|                             |       | پوشش گیاهی       | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۳۹     |       |
| بارندگی (میلی متر)          | ۰.۰۵۹ | ۲۰۵-۲۱۸          | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۴۷۷     | ۰/۰۱۵ |
|                             |       | ۲۱۸-۲۳۱          | زیاد       | ۴            | ۰/۲۶۹     |       |
|                             |       | ۲۴۴-۲۳۱          | متوسط      | ۳            | ۰/۱۲۹     |       |
|                             |       | ۲۴۴-۲۵۶          | کم         | ۲            | ۰/۰۷۷     |       |
|                             |       | ۲۶۹-۲۵۶          | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۴۸     |       |
| انحنای توپوگرافی            | ۰.۰۲۹ | ۰.۳-۰.۵ (مسطح)   | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۷۱      | ۰/۰۸۱ |
|                             |       | ۳۰.۲۶-۰.۵ (محدب) | متوسط      | ۳            | ۰/۲۰      |       |
|                             |       | ۰.۳-۳۱.۸۵ (مقعر) | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۲      |       |
| تراکم خطواره (کیلومتر مربع) | ۰.۰۲۰ | ۱.۱-۰.۸۶         | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۴۹۱     | ۰/۰۵۹ |
|                             |       | ۰.۸۶-۰.۶۴        | زیاد       | ۴            | ۰/۲۶۹     |       |
|                             |       | ۰.۶۴-۰.۴۳        | متوسط      | ۳            | ۰/۱۴۴     |       |
|                             |       | ۰.۴۳-۰.۲۱        | کم         | ۲            | ۰/۰۵۷     |       |
|                             |       | ۰.۲۱-۰           | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۳۸     |       |
| جهت شیب                     | ۰.۰۱۵ | ۶۸-۰             | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۵۱۶     | ۰/۰۲۴ |
|                             |       | ۶۸-۱۴۲           | زیاد       | ۴            | ۰/۲۵۵     |       |
|                             |       | ۱۴۲-۲۱۳          | متوسط      | ۳            | ۰/۱۱۴     |       |
|                             |       | ۲۱۳-۲۸۳          | کم         | ۲            | ۰/۰۷۰     |       |
|                             |       | ۲۸۳-۳۵۹          | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۴۵     |       |

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

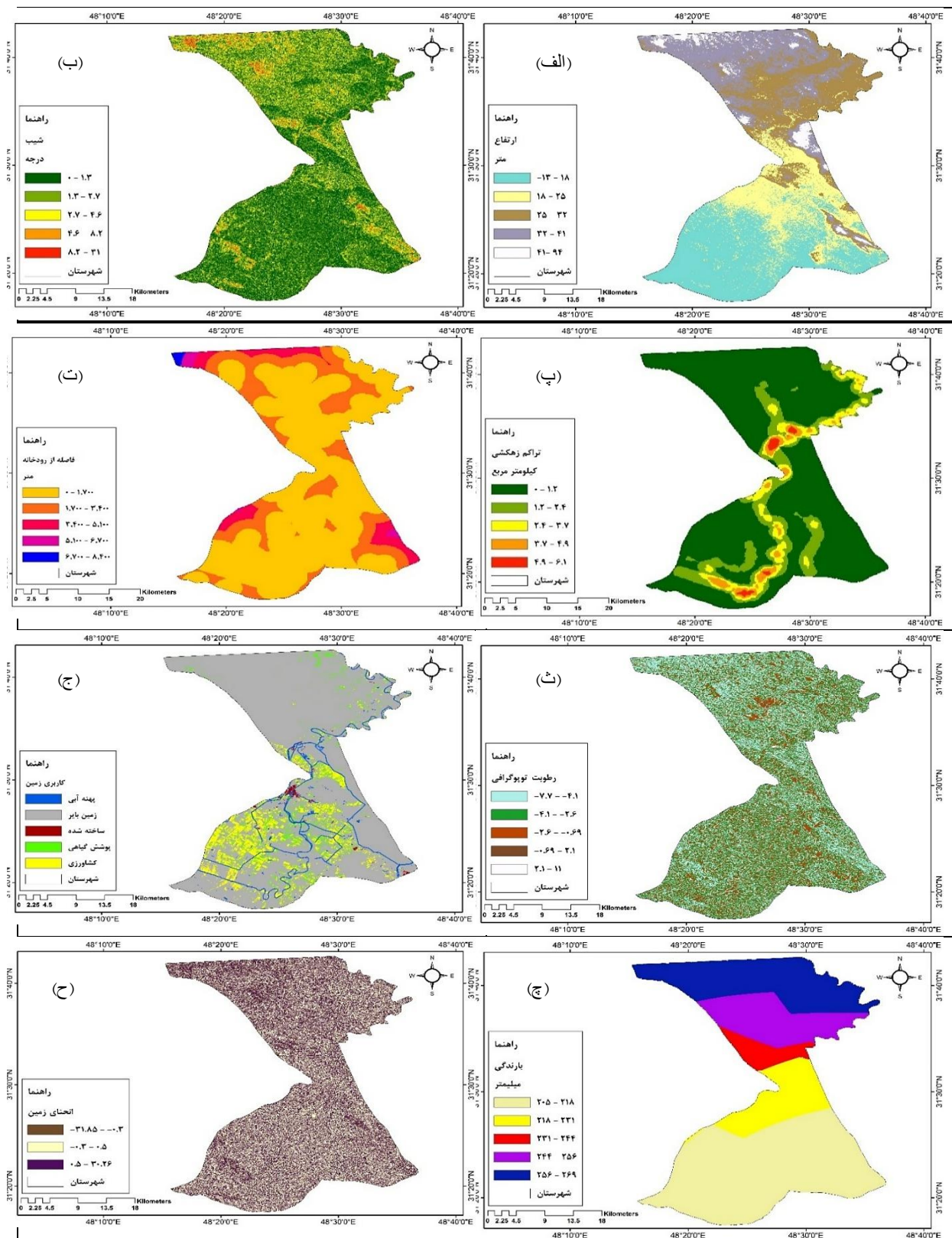
جدول ۶: پارامترهای انتخاب‌شده آسیب‌پذیری سیل در منطقه مورد مطالعه

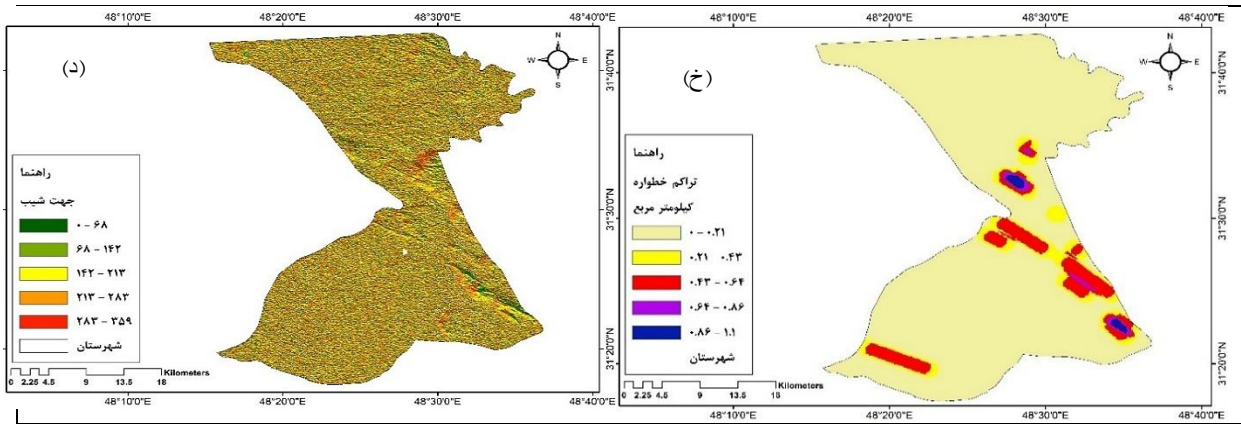
| شاخص   | وزن   | طبقه      | میزان خطر  | ارزش هر کلاس | رتبه بندی | CR    |
|--|-------|-----------|------------|--------------|-----------|-------|
| تراکم جمعیت<br>(کیلومتر مربع)                | ۰.۴۱۰ | ۴۴۰-۴۴    | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۴۶۰     | ۰/۰۵۷ |
|  |       | ۴۴-۳۱     | زیاد       | ۴            | ۰/۲۸۳     |       |
|  |       | ۳۱-۲۲     | متوسط      | ۳            | ۰/۱۵۳     |       |
|  |       | ۲۲-۰      | کم         | ۲            | ۰/۰۵۹     |       |
|  |       | ۰         | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۴۵     |       |
| تراکم سکونتگاه<br>(کیلومتر مربع)             | ۰.۲۷۷ | ۰.۲۴-۰.۲۰ | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۴۲۷     | ۰/۰۲۰ |
|  |       | ۰.۲۰-۰.۱۵ | زیاد       | ۴            | ۰/۲۷۵     |       |
|  |       | ۰.۱۵-۰.۰۹ | متوسط      | ۳            | ۰/۱۷۹     |       |
|  |       | ۰.۰۹-۰.۰۴ | کم         | ۲            | ۰/۰۷۵     |       |
|  |       | ۰.۰۴-۰    | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۴۵     |       |
| فاصله از شبکه راهها<br>(متر)                 | ۰.۱۴۵ | ۹۰۰۰-۷۲۰۰ | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۵۰۱     | ۰/۰۴۱ |
|  |       | ۷۲۰۰-۵۴۰۰ | زیاد       | ۴            | ۰/۲۶۷     |       |
|  |       | ۵۴۰۰-۳۶۰۰ | متوسط      | ۳            | ۰/۱۳۰     |       |
|  |       | ۳۶۰۰-۱۸۰۰ | کم         | ۲            | ۰/۰۶۲     |       |
|  |       | ۱۸۰۰-۰    | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۴۰     |       |
| فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی<br>(کیلومتر) | ۰.۰۷۷ | ۲۸.۹-۲۳.۱ | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۴۷۲     | ۰/۰۲۸ |
|  |       | ۲۳.۱-۱۷.۳ | زیاد       | ۴            | ۰/۲۹۲     |       |
|  |       | ۱۷.۳-۱۱.۵ | متوسط      | ۳            | ۰/۱۳۲     |       |
|  |       | ۱۱.۵-۵.۷  | کم         | ۲            | ۰/۰۶۳     |       |
|  |       | ۵.۷-۰     | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۴۱     |       |
| تراکم راه<br>(کیلومتر مربع)                  | ۰.۰۳۳ | ۰.۱۶-۰    | بسیار زیاد | ۵            | ۰/۴۳۳     | ۰/۰۱۶ |
|  |       | ۰.۳۲-۰.۱۶ | زیاد       | ۴            | ۰/۲۵۵     |       |
|  |       | ۰.۴۸-۰.۳۲ | متوسط      | ۳            | ۰/۱۷۴     |       |
|  |       | ۰.۶۴-۰.۴۸ | کم         | ۲            | ۰/۰۹۱     |       |
|  |       | ۰.۸-۰.۶۴  | بسیار کم   | ۱            | ۰/۰۴۶     |       |

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

### الگوهای جغرافیایی FRZ و FVZ ، FHZ

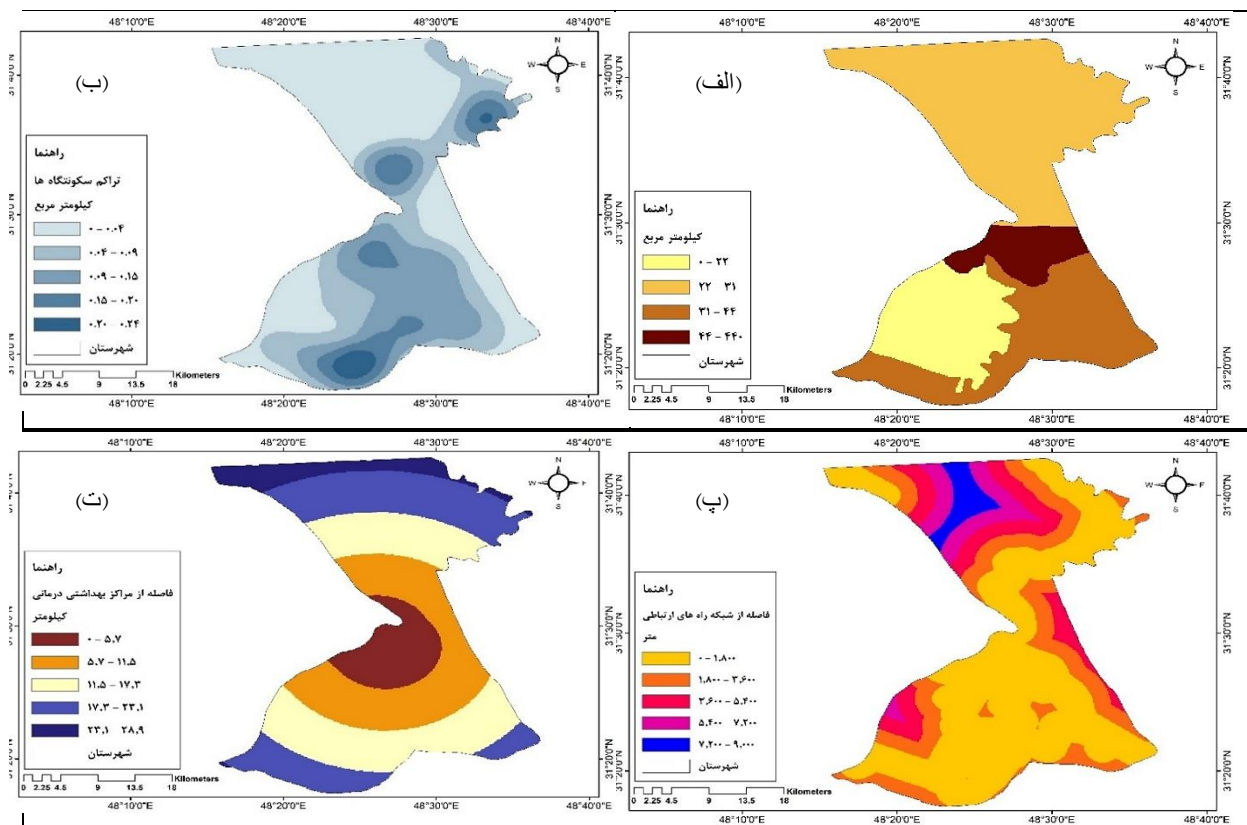
مدل خروجی، الگوی فضایی متنوعی از نقشه‌های: منطقه با خطر سیل، منطقه آسیب‌پذیر در برابر سیل و منطقه با ریسک سیل را نشان می‌دهد که با عنوان بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی شده است (نگاره ۶- الف، ب و پ). با توجه به نقشه منطقه با خطر سیل، مناطق مستعد سیل با شدت بالا و بسیار بالا در نزدیکی مسیرهای رودخانه‌ای و مناطق مجاور آنها یافت می‌شوند. آخرین مرحله این مطالعه ترکیب FRZ و FVZ برای ارزیابی منطقه است. که نشان می‌دهد که ۵/۵٪ و ۲۲/۹٪ از کل مساحت منطقه در مناطق با خطر سیل بسیار بالا و بسیار پایین قرار دارند. شرح جامعی در مورد تغییرات مکانی FRZ ، FVZ و FHZ منطقه در جدول ۷ نشان- داده شده است.

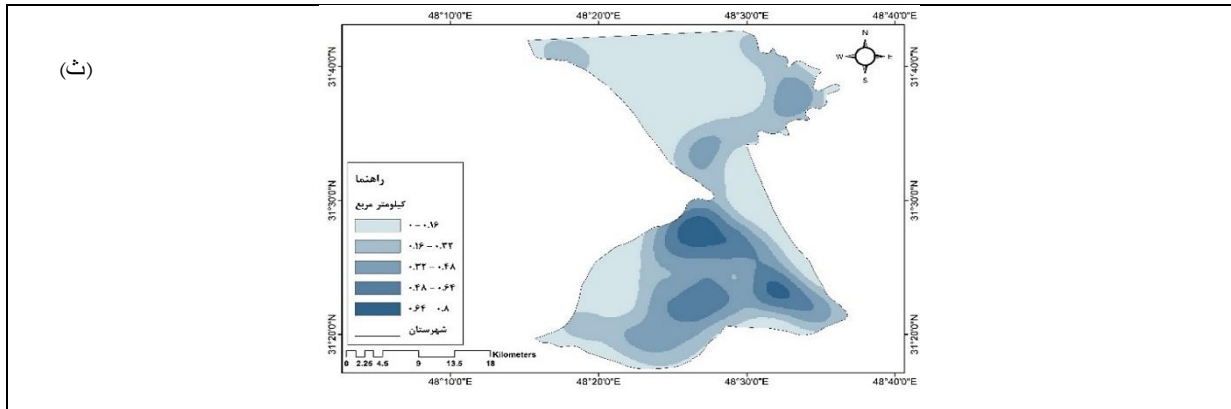




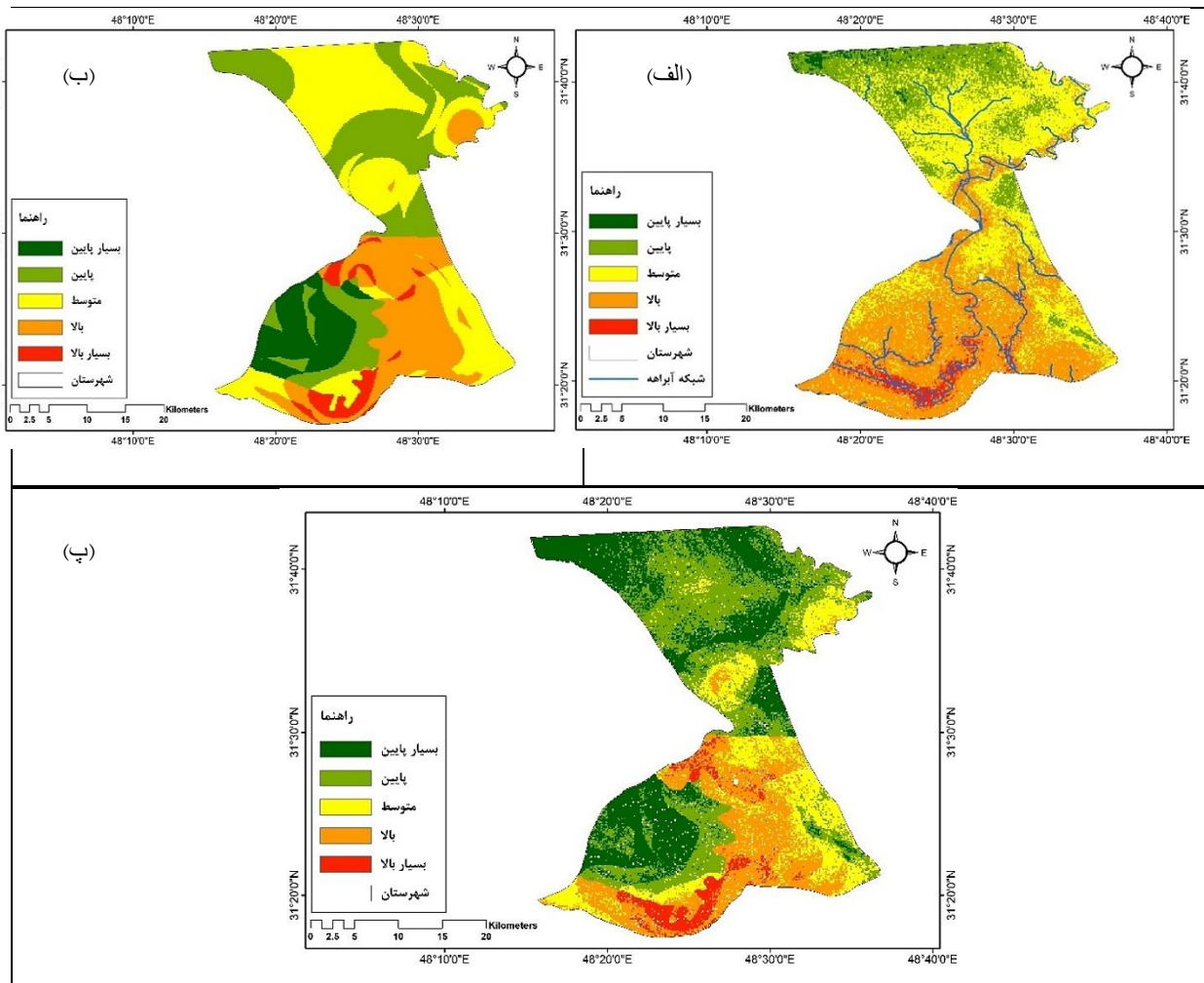
نصیر ۴- عوامل مؤثر بر خطر سیل: (الف) ارتفاع؛ (ب) شیب؛ (پ) تراکم آبراهه‌ها/زهکشی؛ (ت) فاصله از رودخانه؛ (ث) رطوبت توپوگرافی؛ (ج) کاربری اراض؛ (چ) بارش؛ (ح) تحدب/تقعر (انحنای زمین)؛ (خ) تراکم گسل/چین خوردگی (تراکم خطواره)؛ (د) جهت شیب.

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)





تصویر ۵: عوامل مؤثر بر آسیب پذیری سیل: (الف) تراکم جمعیت؛ (ب) تراکم سکونتگاه؛ (پ) فاصله از شبکه راه‌ها؛ (ت) فاصله از مراکز بهداشتی - درمانی؛ (ث) تراکم راه.  
(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)



تصویر ۶: (الف) منطقه با خطر سیل؛ (ب) منطقه آسیب پذیر در برابر سیل؛ (پ) منطقه با ریسک سیل شهرستان حمیدیه  
(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

جدول ۷- توزیع فضایی مناطق با خطر سیل، آسیب پذیری سیل و ریسک سیل در منطقه

| میزان خطر/آسیب پذیری /ریسک | منطقه با خطر سیل<br>FHZ |        | منطقه آسیب پذیر در برابر<br>سیل<br>FVZ |        | منطقه با ریسک سیل<br>FRZ |        |
|----------------------------|-------------------------|--------|--|--------|--------------------------|--------|
|                            | مساحت                   |        | مساحت                                  |        | مساحت                    |        |
|                            | (هکتار)                 | (درصد) | (هکتار)                                | (درصد) | (هکتار)                  | (درصد) |
| بسیار پایین                | ۷۹۹۵                    | ۹/۸    | ۱۲۷۱۰                                  | ۱۵/۵   | ۲۲۸۳۶                    | ۲۷/۹   |
| پایین                      | ۱۷۴۶۵                   | ۲۱/۳   | ۱۸۳۵۶                                  | ۲۲/۴   | ۲۵۲۵۳                    | ۳۰/۸   |
| متوسط                      | ۱۷۴۲۱                   | ۲۱/۳   | ۲۵۲۷۴                                  | ۳۰/۸   | ۱۳۲۸۰                    | ۱۶/۲   |
| بالا                       | ۲۳۰۵۹                   | ۲۸/۱   | ۱۷۰۴۷                                  | ۲۰/۸   | ۱۶۰۹۵                    | ۱۹/۶   |
| بسیار بالا                 | ۱۶۰۳۷                   | ۱۹/۶   | ۸۵۸۸                                   | ۱۰/۵   | ۴۵۱۰                     | ۵/۵    |

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

### بهبود عملکرد روش AHP با تحلیل حساسیت

در ادامه پژوهش، تحلیل حساسیت بر روی نقشه‌های FHZ و مناطق FVZ انجام شد. هدف از این تحلیل، بررسی و درک چگونگی تأثیر وزن و رتبه لایه‌های موضوعی بر خروجی نهایی نقشه‌ها است.

### ارزیابی تحلیل حساسیت تک پارامتری (SPS) برای FHZ و FVZ

خروجی آماری نشان می‌دهد که وزن مؤثر میانگین برای شیب، فاصله از رودخانه و انحنای توپوگرافی بیشتر از وزن‌های تجربی اختصاص داده شده است. کمترین وزن مؤثر میانگین برای تراکم خطواره (۰/۹۶٪) یافت شد. کمترین تغییر بین وزن تجربی و وزن مؤثر میانگین برای کاربری زمین و بارندگی و جهت شیب محاسبه شد. در میان عوامل آسیب‌پذیری سیل، بیشترین وزن به تراکم جمعیت (۰/۴۳٪) اختصاص داده شد اما کاهش ارزش بین وزن تجربی و وزن مؤثر میانگین (۰/۳۷/۲۹٪) را نشان می‌دهد. به‌طور مشابه، تراکم سکونتگاه نیز با وزن مؤثر میانگین (۰/۲۵/۶۶٪) کاهش یافت. فاصله از شبکه راه‌ها (۰/۱۷/۴۵٪)، فاصله تا مراکز بهداشتی و درمانی (۰/۱۱/۳۲٪) و تراکم راه (۰/۸/۲۸٪) به ترتیب وزن مؤثر میانگین بیشتری نسبت به وزن تجربی اختصاص داده شده به دست آوردند (جدول ۹). اگرچه تراکم جمعیت و تراکم سکونتگاه همچنان به ترتیب بالاترین وزن مؤثر میانگین را دارند.

جدول ۸- توصیف آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری برای شاخص‌های مناطق با خطر سیل

| شاخص‌ها                | وزن تجربی<br>(درصد) | وزن‌های مؤثر شاخص (درصد) |        |         |              |
|------------------------|---------------------|--------------------------|--------|---------|--------------|
|                        |                     | حداقل                    | حداکثر | میانگین | انحراف معیار |
| ارتفاع                 | ۲۴                  | ۸/۶۲                     | ۵۴/۷۴  | ۳۱/۹۶   | ۳/۶۹         |
| شیب                    | ۱۹                  | ۵/۶۵                     | ۴۴/۷۷  | ۲۲/۹۲   | ۳/۵۳         |
| تراکم زهکشی            | ۱۵                  | ۳/۵۸                     | ۲۹/۷۵  | ۸/۵۹    | ۴/۲۲         |
| فاصله از رودخانه       | ۱۱                  | ۳/۰۸                     | ۲۹/۲۹  | ۱۲/۲۱   | ۲/۷۸         |
| رطوبت توپوگرافی        | ۱۰                  | ۲/۲۱                     | ۲۱/۲۳  | ۶/۹۱    | ۲/۳۰         |
| کاربری اراضی/پوشش زمین | ۸                   | ۱/۸۴                     | ۲۳/۴۲  | ۶/۲۶    | ۲/۱۹         |
| بارش                   | ۶                   | ۱/۳۵                     | ۲۱/۹۲  | ۵/۵۴    | ۲/۳۶         |

|                  |   |      |       |      |      |
|------------------|---|------|-------|------|------|
| انحنای توپوگرافی | ۳ | ۰/۶۰ | ۱۱/۲۸ | ۳/۳۶ | ۱/۲۹ |
| تراکم خطواره     | ۲ | ۰/۴۱ | ۶/۸۷  | ۰/۹۶ | ۰/۶۷ |
| جهت شیب          | ۲ | ۰/۳۱ | ۵/۸۲  | ۱/۲۸ | ۰/۶۳ |

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

جدول ۹- توصیف آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری برای شاخص‌های مناطق با آسیب‌پذیری سیل

| شاخص‌ها                         | وزن تجربی (درصد) | وزن‌های مؤثر شاخص (درصد) |        |         |              |
|---------------------------------|------------------|--------------------------|--------|---------|--------------|
|                                 |                  | حداقل                    | حداکثر | میانگین | انحراف معیار |
| تراکم جمعیت                     | ۴۳               | ۱۸/۲۱                    | ۷۰/۶۶  | ۳۷/۲۹   | ۹/۴۶         |
| تراکم سکونتگاه                  | ۲۹               | ۷/۱۲                     | ۶۵/۷۰  | ۲۵/۶۶   | ۱۰/۲۱        |
| فاصله از شبکه راه‌ها            | ۱۵               | ۴/۲۶                     | ۳۹/۶۶  | ۱۷/۴۵   | ۸/۲۴         |
| فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی | ۹                | ۲/۲۶                     | ۲۵/۰۲  | ۱۱/۳۲   | ۵/۲۹         |
| تراکم جاده‌ای                   | ۴                | ۱/۰۳                     | ۱۴/۵۸  | ۸/۲۸    | ۲/۶۹         |

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

### ارزیابی حساسیت حذف نقشه (MRS) برای FHZ و FVZ

با حذف هر لایه، نتیجه نشان‌دهنده تغییرات ناچیز در میانگین شاخص حساسیت بود که این موضوع نشان‌دهنده حساسیت کمتر در تعیین عوامل خطر سیل و عوامل منطقه‌بندی آسیب‌پذیری سیل است (Mitra et al., 2022). تفاوت کلی بین بالاترین و پایین‌ترین شاخص حساسیت تقریباً ۱٪ برای شاخص‌های مناطق با خطر سیل است. حداکثر مقدار تغییر شاخص حساسیت (میانگین  $SI=0.096$  درصد) با حذف لایه ارتفاع مشاهده شد در حالی که حداقل مقدار تغییر (میانگین  $SI=0.096$  درصد) با حذف لایه انحنای توپوگرافی مشاهده شد (جدول ۱۰). شاخص حساسیت حذف نقشه هر شاخص برای مناطق با خطر سیل ترسیم شده است (نگاره ۴). برعکس، بیشترین تغییر شاخص حساسیت (میانگین  $SI=2.645$  درصد) پس از حذف تراکم جمعیت مشاهده شد، در حالی که کمترین تغییر (میانگین  $SI=0.822$  درصد) پس از حذف فاصله تا مراکز بهداشتی و درمانی در بین ۵ عامل منطقه‌بندی آسیب‌پذیری سیل رخ داد (جدول ۱۱) و (نگاره ۵).

نتایج نشان می‌دهد که با حذف هر لایه از هر دو شاخص FHZ و FVZ، تغییر قابل توجهی در مساحت بالقوه ایجاد می‌شود. بیشترین نرخ افزایش در مناطق با خطر سیل بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد با حذف لایه‌های موضوعی ارتفاع (+۱۵/۱۲٪)، شیب (+۶۷/۸۶٪)، انحنای توپوگرافی (+۲/۱۳٪)، تراکم زهکشی (+۳۸/۳۰٪) و جهت شیب (+۲۹/۸۸٪) به ترتیب قابل مشاهده است. برعکس، بیشترین نرخ کاهش در مناطق با خطر سیل بسیار کم، کم و متوسط با حذف تراکم زهکشی مشاهده می‌شود که به ترتیب (-۳۱/۸۸٪، -۶۱/۴۴٪ و -۱۵/۵۹٪) را شامل می‌شود، در حالی که با حذف شاخص ارتفاع، کاهش (-۱۴/۸۶٪ و -۲۷/۴۳٪) در مناطق با خطر سیل زیاد و بسیار زیاد مشاهده شده است (جدول ۱۲). در این پژوهش، با حذف تک‌تک لایه‌های موضوعی، اقدام به تولید نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل منطقه گردید. تغییرات قابل توجهی در درصد مساحت مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیل با حذف هر لایه و انجام آمار حساسیت حذف نقشه مشاهده شد، همان‌طور که در جدول ۱۳ نشان داده شده به‌طور

مشابه، بیشترین نرخ افزایش در مناطق با آسیب‌پذیری بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار بالا برای FVZ با حذف تراکم جاده‌ای (۳۳/۶۴٪)، فاصله تا مراکز بهداشتی و درمانی (۶/۱۲٪)، تراکم جمعیت (۲۴/۲۹٪، ۵/۴۲٪) و (۳۹/۱۶٪) مشاهده شد. برعکس، بیشترین درصد کاهش مساحت مناطق با آسیب‌پذیری بالا پس از حذف تراکم جمعیت (۳۷/۹۱٪)، تراکم راه‌ها (۱۲/۱۷٪)، تراکم سکونتگاه (۱۰/۰۶٪)، فاصله تا مراکز بهداشتی و درمانی (۳۶/۵۹٪ و ۴۸/۹۲٪) به ترتیب در مناطق با آسیب‌پذیری بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار بالا مشاهده شد.

جدول ۱۰- توصیف آماری تحلیل حساسیت حذف نقشه برای شاخص‌های FHZ

| شاخص‌های حذف‌شده | تغییرات شاخص حساسیت (درصد) |        |         |              |
|------------------|----------------------------|--------|---------|--------------|
|                  | حداقل                      | حداکثر | میانگین | انحراف معیار |
| ارتفاع           | ۳/۷۷                       | ۴/۰۷۶  | ۱/۰۳۲   | ۰/۴۴۴        |
| شیب              | ۰                          | ۳/۱۴۰  | -۰/۶۲۳  | ۰/۳۵۵        |
| تراکم زهکشی      | ۶/۳۲                       | ۱/۶۸۳  | -۰/۷۸۹  | ۰/۴۰۹        |
| فاصله از رودخانه | ۱/۱۳۷۵                     | ۲/۰۶۷  | -۰/۳۰۰  | ۰/۲۱۱        |
| رطوبت توپوگرافی  | ۰                          | ۱/۲۹۶  | ۰/۳۴۳   | ۰/۲۰۳        |
| کاربری اراضی     | ۰/۰۰۰۳۲۱۶                  | ۱/۵۵۴  | ۰/۳۰۳   | ۰/۲۱۴        |
| بارش             | ۰/۰۱۱۷۶۴۳۷۴                | ۱/۶۹۶  | ۰/۲۱۴   | ۰/۱۷۱        |
| انحنای توپوگرافی | ۰/۰۰۰۰۵۲۱۸                 | ۰/۹۲۱  | ۰/۰۹۶   | ۰/۰۹۰        |
| تراکم خطواره     | ۰                          | ۰/۶۸۷  | ۰/۱۶۰   | ۰/۰۷۰        |
| جهت شیب          | ۰                          | ۰/۵۵۳  | ۰/۱۲۰   | ۰/۰۶۶        |

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

جدول ۱۱- توصیف آماری تحلیل حساسیت حذف نقشه برای شاخص‌های FVZ

| شاخص‌های حذف‌شده                | تغییرات شاخص حساسیت (درصد) |        |         |              |
|---------------------------------|----------------------------|--------|---------|--------------|
|                                 | حداقل                      | حداکثر | میانگین | انحراف معیار |
| تراکم جمعیت                     | ۰/۰۰۱۵۷۲۴۷                 | ۸/۵۰۶  | ۲/۶۴۵   | ۱/۶۰۶        |
| تراکم سکونتگاه                  | ۰/۰۰۶۶۶۶۷۸                 | ۸/۷۶۳  | ۲/۲۳۴   | ۱/۳۷۷        |
| فاصله از شبکه راه‌ها            | ۱/۴۷                       | ۴/۶۴۳  | ۱/۲۸۵   | ۰/۷۸۱        |
| فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی | ۱/۸۱                       | ۳/۱۱۷  | ۰/۸۲۲   | ۰/۶۳۴        |
| تراکم راه‌ها                    | ۰                          | ۲/۰۴۸  | ۱/۰۰۵   | ۰/۶۰۰        |

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

جدول ۱۲- درصد تغییر مساحت مناطق با خطر سیل بالا پس از حذف هر لایه

| شاخص‌های حذف‌شده | مناطق با خطر سیل (درصد) |        |        |        |            |
|------------------|-------------------------|--------|--------|--------|------------|
|                  | بسیار پایین             | پایین  | متوسط  | بالا   | بسیار بالا |
| ارتفاع           | +۱۵/۱۲                  | +۵۹/۷۲ | +۰/۴۸  | -۱۴/۸۶ | -۲۷/۴۳     |
| شیب              | -۱۶/۳۷                  | +۶۷/۸۶ | -۶/۵۵  | -۹/۱۹  | -۱۸/۸۴     |
| تراکم زهکشی      | -۳۱/۸۸                  | -۴۴/۶۱ | -۱۵/۵۹ | +۳۸/۳۰ | +۲۰/۹۱     |
| فاصله از رودخانه | -۳۱/۲۷                  | -۶۰/۷۷ | -۱/۱۲  | +۲۸/۸۷ | +۸/۲۴      |
| رطوبت توپوگرافی  | ۰                       | +۸/۶۳  | +۰/۰۲  | -۵/۱۹  | +۳/۱۴      |
| کاربری اراضی     | -۷/۵۱                   | +۹/۸۶  | -۲/۵۸  | -۳/۰۱  | +۸/۱۱      |
| بارش             | -۲۵/۴۳                  | -۵۷/۷۳ | -۲/۴۱  | +۲۰/۹۳ | +۲۱/۵۰     |
| انحنای توپوگرافی | +۴/۲۶                   | +۲۵/۸۱ | +۲/۱۳  | -۶/۶۹  | -۱۴/۶۰     |
| تراکم خطواره     | +۵/۶۴                   | +۲۱/۲۷ | +۲/۱۰  | -۶/۰۴  | -۱۲/۵۰     |
| جهت شیب          | -۲۱/۷۸                  | -۵۳/۳۲ | -۴/۳۲  | +۱۶/۲۸ | +۲۹/۸۸     |

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

جدول ۱۳- درصد تغییر مساحت مناطق با آسیب‌پذیری (FVZ) بالا پس از حذف هر لایه

| شاخص‌های حذف‌شده                | مناطق با آسیب‌پذیری در برابر سیل (درصد) |        |        |        |            |
|---------------------------------|---|--------|--------|--------|------------|
|                                 | بسیار پایین                             | پایین  | متوسط  | بالا   | بسیار بالا |
| تراکم جمعیت                     | -۳۷/۹۱                                  | -۱/۳۹  | +۲۴/۲۹ | +۵/۴۲  | +۳۹/۱۶     |
| تراکم سکونتگاه                  | -۵/۷۶                                   | +۸/۵۱  | -۱۰/۰۶ | +۳/۶۹  | +۷/۷۴      |
| فاصله از شبکه راه‌ها            | +۲۹/۲۱                                  | -۱/۹۷  | -۱/۴۹  | -۳۱/۲۲ | +۵/۶۱      |
| فاصله از مراکز بهداشتی و درمانی | +۳۲/۱۶                                  | +۶/۱۲  | +۳/۸۶  | ۳۶/۵۹  | -۴۸/۹۲     |
| تراکم راه‌ها                    | +۳۳/۶۴                                  | -۱۲/۱۷ | +۴/۵۶  | -۲۷/۶۵ | +۳/۲۶      |

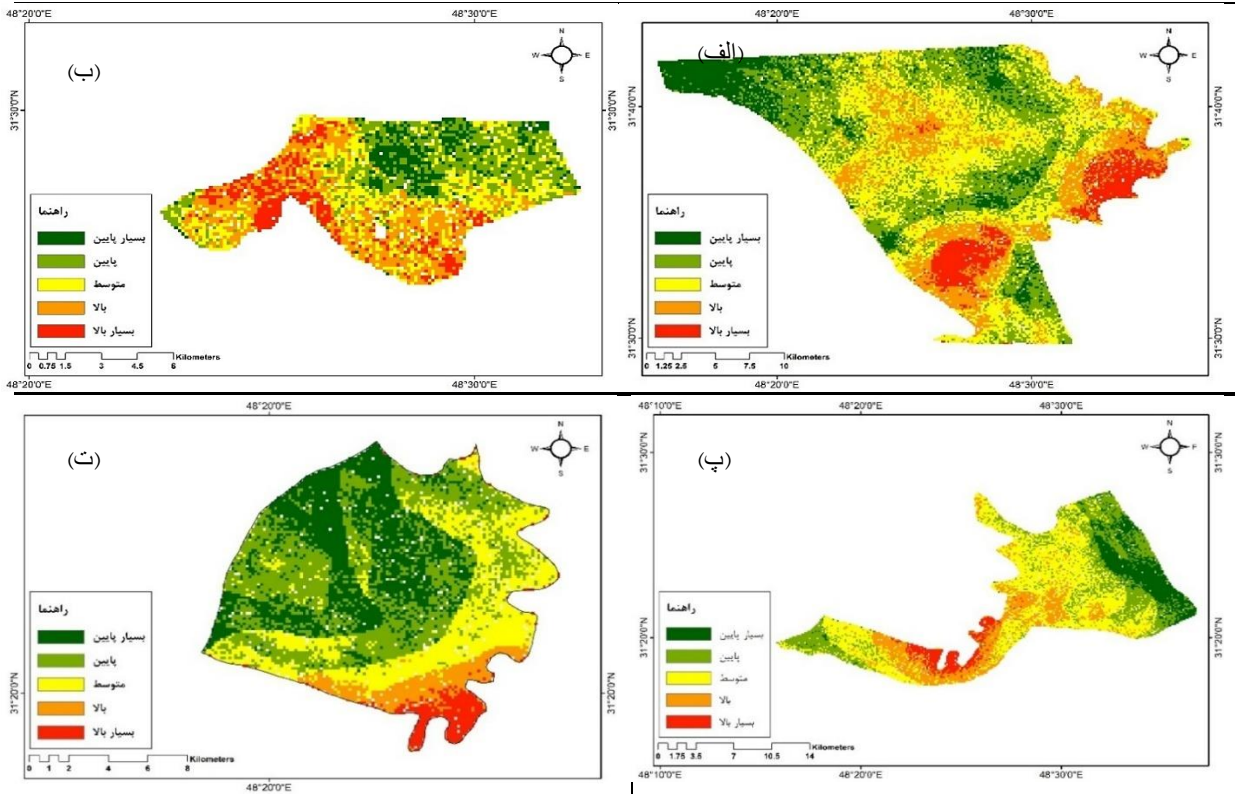
(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

### ارزیابی ریسک سیل در سطح کوچکتر حوزه‌های عملکردی

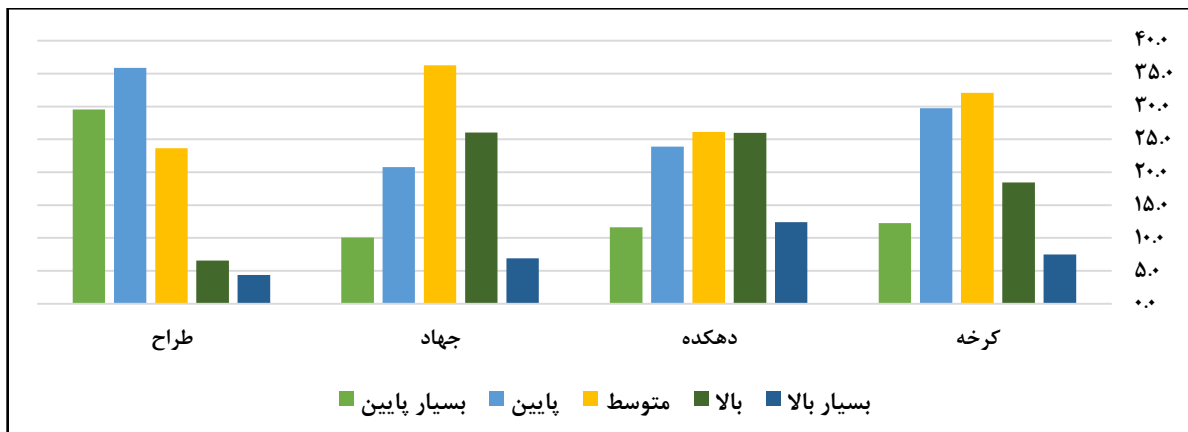
تحلیل ریسک سیل در سطح خرد اثرات جمعی مخاطرات و آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد. تغییرات مکانی مناطق با خطر سیل، آسیب‌پذیری و ریسک سیل برای حوزه‌های عملکردی یکنواخت نیست (جدول ۸ تا ۱۰).

با توجه نقشه نهایی مناطق با ریسک سیل (FRZ) در سطح کوچکتر حوزه‌های عملکردی (دهستان)، توزیع درصدی FRZ برای حوزه‌های عملکردی مختلف در نگاره ۶ نشان داده شده است. حوزه عملکردی کرخه در شهرستان حمیدیه دارای بالاترین FRZ است که مساحت کل ۳۷۸ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد؛ پس از آن جهاد با ۲۱۷ کیلومتر مربع، طراح با ۱۵۷ کیلومتر مربع و دهکده با ۶۷ کیلومتر مربع حوزه‌های عملکردی شهرستان حمیدیه را نگاره می‌دهند. در ادامه حوزه‌های عملکردی شهرستان حمیدیه در نگاره ۷ نشان داده شده است. همچنین نگاره ۷، موقعیت شهر حمیدیه را بر روی نقشه مناطق با ریسک سیل (FRZ) نمایش می‌دهد که ۸۰ درصد این بافت، در

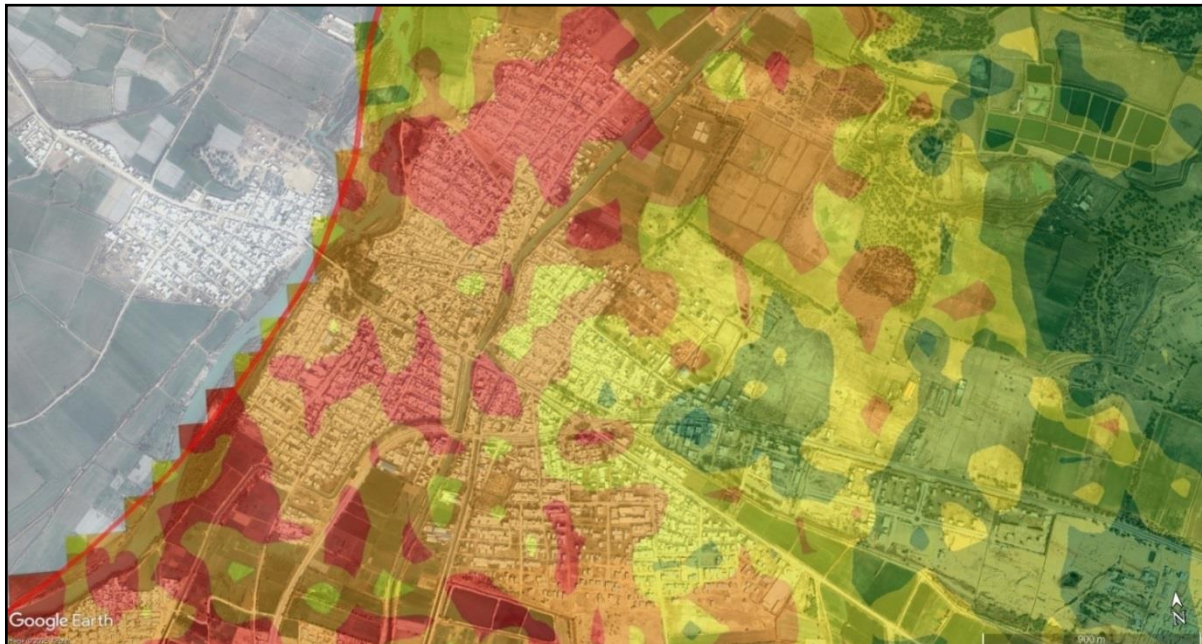
ناحیه با ریسک متوسط تا بسیار بالا طبقه‌بندی می‌شود. این موضوع، با توجه به عبور رودخانه کرخه از میان شهر حمیدیه، از اهمیت بسزایی جهت برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و مدیریت بحران برای این منطقه برخوردار است.



تصویر ۶. مناطق با ریسک سیل (FRZ) در سطح کوچکتر حوزه‌های عملکردی (دهستان)، (الف) کرخه؛ (ب) دهکده؛ (پ) جهاد؛ (ت) طراح (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)



نگاره ۷- درصد مناطق با ریسک سیل (FRZ) در حوزه‌های عملکردی مختلف در شهرستان حمیدیه (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

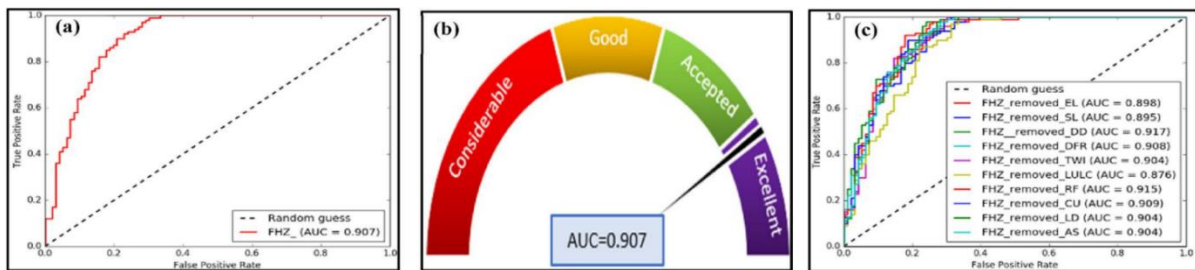


تصویر ۸- موقعیت شهر حمیدیه بر روی نقشه مناطق با ریسک سیل (FRZ)  
(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳)

### دقت و قابلیت اطمینان مدل

این مطالعه همچنین به ارزیابی کمی مدل AHP برای تهیه نقشه خطر سیل با استفاده از نقشه‌های رخدادهای سیل (نگاره ۲) و معیارهای آماری ROC-AUC، RMSE و MSE پرداخته شد. نقشه FHZ مبتنی بر مدل AHP با استفاده از جعبه ابزار "ArcSDM" در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 تهیه شد. برای رسم منحنی ROC و محاسبه مقدار AUC، نقشه FHZ با نقاط اعتبارسنجی (از نقشه‌های موجودی سیل و داده‌های مشاهده‌ای استخراج شده) همبستگی داده شد. منحنی ROC-AUC حاصل در نگاره ۹-الف نمایش داده شده است. سطح عملکرد ROC-AUC به چهار دسته طبقه‌بندی می‌شود: ضعیف (۰/۵-۰/۷)، خوب (۰/۷-۰/۸)، بسیار خوب (۰/۸-۰/۹) و عالی (۰/۹-). مقدار AUC محاسبه شده برای این مطالعه ۰/۹۰۷ (۰/۹۰۷) است که نشان‌دهنده عملکرد عالی مدل AHP در تهیه نقشه FHZ است (نگاره ۹-ب). این نتیجه نشان می‌دهد که مدل AHP برای تولید FHZ در این مطالعه مناسب و قابل اجرا است.

به منظور بررسی حساسیت مدل و تأثیر هر پارامتر، مقدار ROC-AUC پس از حذف هر یک از پارامترهای مؤثر در تهیه نقشه FHZ محاسبه شد. بالاترین مقدار AUC (۰/۹۱۷) پس از حذف شاخص (تراکم زهکشی) و پایین‌ترین مقدار AUC (۰/۸۷۶) پس از حذف شاخص (کاربری زمین) به دست آمد (نگاره ۹-پ). این تحلیل همچنین نشان می‌دهد که شاخص‌های "تراکم زهکشی" و "کاربری زمین" بیشترین تأثیر را در دقت مدل داشته‌اند. علاوه بر این، مقادیر MSE و RMSE به ترتیب ۰/۱۲۶ و ۰/۳۵ محاسبه شدند که نشان‌دهنده خطای پایین و دقت بالای نقشه FHZ تولید شده است. این مقادیر پایین خطا، اعتبار و صحت نتایج مدل AHP را تأیید می‌کند.



تصویر ۹. الف) نمودار ROC-AUC FHZ: سرعت سنج نشان‌دهنده مقدار FHZ AUC: (ب) نمودار ROC-AUC حذف هر نقشه (منبع: نگارنگان، ۱۴۰۳)

### تحلیل نتایج

سیلاب به‌عنوان یکی از مخاطرات طبیعی، همواره خسارات زیادی را در شهرهای مختلف جهان به بار آورده است. شهر حمیدیه نیز از این قاعده مستثنی نبوده و در سال‌های اخیر، به‌دلیل پایین‌بودن تاب‌آوری شهری، خسارات زیادی از سیلاب را تجربه کرده است.

با توجه به این‌که نمی‌توان از وقوع سیلاب به‌طور کامل جلوگیری کرد، می‌توان با ارزیابی نقاط تاب‌آور و آسیب‌پذیر در برابر خطرات احتمالی، تا حد زیادی اثرات ناشی از آن‌را کاهش داد. این در حالی است که به‌نظر می‌رسد در شهر حمیدیه نیز مانند بسیاری از شهرهای دیگر، در زمینه تقویت و افزایش تاب‌آوری در برابر سیلاب، اقدامات علمی و عملی کافی صورت نگرفته است؛ بنابراین اتخاذ استراتژی مناسب برای مقابله با سیل و سایر بلایای طبیعی برای به-حداقل‌رساندن اثرات بالقوه در مناطق مستعد خطر منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. در نتیجه مدیریت پایدار سیل از اهمیت بالایی برخوردار است و عمدتاً به شناسایی مخاطرات بالقوه، آسیب‌پذیری‌ها و مناطق پرخطر به‌عنوان یک گام ضروری متکی است؛ بنابراین کار تحقیقاتی فعلی از یک رویکرد جامع برای ترسیم مناطق با خطر سیل در منطقه مورد مطالعه استفاده می‌کند. هدف این مطالعه ایجاد یک پایگاه داده دقیق است که می‌تواند به توسعه استراتژی‌های مدیریت سیل پایدار برای منطقه کمک کند. در این مطالعه، به‌طور هماهنگ مناطق خطر سیل و آسیب‌پذیری را که از طریق مدل MCDM-AHP تهیه شده‌اند، ترکیب شده است تا مناطق با خطر سیل را برای افزایش ظرفیت تاب‌آوری سیل پیش‌بینی شود. فاکتورهای خطر سیل و آسیب‌پذیر بدون چندخطی، توانایی تعیین بخش‌های با ریسک سیل را در منطقه تحقیق فعلی به‌وضوح نشان می‌دهند. روش AHP مبتنی بر MCDM به‌طور گسترده توسط محققان استفاده شده است و در پیش‌بینی FHZ، FVZ و FRZ قابل اعتمادتر، دقیق‌تر است زیرا انعطاف‌پذیری رتبه‌بندی شاخص‌ها توسط کارشناسان را فراهم می‌کند (Sarkar and Mondal, 2020; Das and Gupta, 2021; Debnath et al., 2023). برای پیش‌بینی منطقه خطر سیل در منطقه، طیف وسیعی از عوامل توپوگرافی، هیدرولوژی، ژئومحیطی، جمعیتی و زیرساختی را در نظر گرفتیم و وزن‌های مختلفی به متغیرها اختصاص دادیم، مانند وزن‌های بالاتر به ارتفاع، شیب، تراکم زهکشی و فاصله از رودخانه.

نتایج به‌دست‌آمده از عملکرد زیرمجموعه‌های شاخص‌ها جهت تولید شاخص خطر سیل<sup>۱</sup> (FHI) نشان می‌دهد: به-عنوان مثال، ارتفاع کم با شیب مسطح‌تر و شبکه زهکشی بزرگ‌تر مناطق سیلابی بسیار بالا را نشان می‌دهد و غیره.

<sup>۱</sup> Flood hazard index

به‌طور مشابه، شاخص‌های جمعیتی و زیرساختی مانند تراکم جمعیت، تراکم سکونتگاه و فاصله از شبکه جاده‌ای نقش اصلی را در محاسبه (FVI) با بیش از ۷۰ درصد از وزن‌های تجمعی ایفا می‌کنند. نتایج مطالعه انجام‌شده با مطالعات گوپتا و دیکسیت<sup>۱</sup> ۲۰۲۲ و بهینا<sup>۲</sup> و همکاران ۲۰۲۳ مطالعه کاملاً سازگار است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که استفاده از شاخص‌ها و مقادیر وزنی از مکانی به مکان دیگر متفاوت است (Sarkar and Mondal, 2020). شایان ذکر است که نتایج همچنین نشان‌داد که تفاوت‌هایی در گستره فضایی مناطق با خطر سیل، آسیب‌پذیری و ریسک سیل در حوزه‌های عملکردی وجود دارد. تغییرات مکانی در این معیارها به این معنی است که مناطق با خطر سیل بالا ممکن است در معرض خطر سیل بالا نباشند و بالعکس. اگرچه روش MCDM-AHP نقش مهمی در تعیین رفتار مدل دارد اما معمولاً به دلایل مختلف، دارای نواقص قابل توجهی در رتبه‌بندی و وزن‌دهی است. عدم دسترسی به داده‌ها، انتخاب معیارها و عدم آگاهی از ترجیحات تصمیم‌گیرندگان ممکن است به ایجاد نقص در نتیجه مدل منجر شود (Mitra et al., 2022)؛ بنابراین تحلیل حساسیت برای اطمینان از ارتباط بین اطلاعات ورودی و نتیجه خروجی مدل AHP، با نگاه به نقش عوامل، بسیار توصیه می‌شود (Chen et al., 2013; Mukherjee and Sing, 2020). تحقیق حاضر دو نوع تحلیل حساسیت مدل AHP را برای افزایش عملکرد آن ادغام کرده است. کاهش قابل توجهی بین وزن تجربی و وزن مؤثر در ارزیابی حساسیت تک پارامتری FHZ و FVZ مشاهده شده است. به‌طور مشابه، تحلیل حساسیت حذف نقشه، تغییر جزئی در شاخص حساسیت (SI) را بین شاخص‌های در نظر گرفته‌شده برای هر دو FVZ و FHZ تحت تأثیر اختصاص وزن‌ها، رتبه‌ها و حذف لایه‌ها نشان‌داد (Fenta et al., 2022; Mitra et al., 2022). دقت مدل و اعتبارسنجی با استفاده از ROC-AUC، MSE و RMSE به‌طور قابل توجهی اثربخشی مدل MCDM-AHP را در نقشه‌های منطقه‌بندی خطر سیل برجسته شده است (Pathan et al., 2022). این مدل همچنین خروجی دقیق و قابل اعتمادی را برای تحقق هدف تولید کرد و کاربرد بیشتر روش‌شناسی‌ها را برای تحقیقات آینده در مناطق مختلف مستعد سیل در سراسر جهان توصیه می‌کند. این مطالعه محدودیت‌های عمده‌ای نداشت، اگرچه MCDM-AHP دقت بالایی داشت اما می‌توان با استفاده از مجموعه‌داده‌های با وضوح بالا، سایر روش‌های MCDM و یادگیری ماشین (ML) و تکنیک‌های حساسیت دیگر نیز ممکن است به نتایج بهتری دست یافت. در این تحقیق ما فرض کردیم که مدل MCDM-AHP برای مناطق با کمبود داده بهترین است. سیل یکی از ویرانگرترین بلایای طبیعی جهان است که به‌طور قابل توجهی با خسارات بالقوه ناشی از پدیده‌های طبیعی و انسانی مرتبط است؛ بنابراین ارزیابی دقیق منطقه با خطر سیل، از سطح جهانی تا خرد، برای کمک به اقدامات کاهش اثرات منفی ضروری است. همراه با کاربرد گسترده روش‌های پیشنهادی در این تحقیق، این امر به بهبود اطلاعات در مورد مخاطرات، آسیب‌پذیری و ریسک سیل کمک خواهد کرد. علاوه بر این، این مطالعه نه تنها بحث‌های علمی را تکمیل می‌کند بلکه راه‌حل‌های عملی برای تدوین بهتر سیاست‌های مدیریت سیل پایدار و پیامدهای آن ارائه می‌دهد. با یافته‌های خود، تحقیق فعلی گستره وسیعی از بینش‌ها را در مورد خطر سیل در شهرستان حمیدیه به‌ویژه شهر حمیدیه ارائه خواهد کرد.

<sup>1</sup> Gupta and Dixit

<sup>2</sup> Bhuyan

## نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف اصلی تهیه نقشه‌های خطر، آسیب‌پذیری و ریسک سیل (FRZ) در شهرستان حمیدیه، از یک چهارچوب تحلیلی نوآورانه با تلفیق مدل GIS-AHP، تحلیل هم‌خطی و تحلیل حساسیت بهره‌گرفت. این رویکرد، در مقایسه با روش‌های کلاسیک AHP، نتایجی دقیق‌تر، پایدارتر و قابل اعتمادتر ارائه کرد که برای مدیریت و کاهش ریسک سیل در منطقه حمیدیه بسیار حیاتی است. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که بخش‌های قابل توجهی از منطقه مورد مطالعه در معرض ریسک سیل بالا قرار دارند ۱۰/۵۷ درصد از مساحت منطقه در دسته آسیب‌پذیری بسیار بالا (FVZ) و ۵/۵ درصد در دسته ریسک بسیار بالای سیل (FRZ) طبقه‌بندی می‌شوند. در مقابل، ۱۵/۵ درصد در دسته آسیب‌پذیری بسیار پایین و ۲۷/۹ درصد در دسته ریسک بسیار پایین قرار دارند. این ارزیابی‌های فضایی، بینش‌های ارزشمندی را برای برنامه‌ریزی شهری و مدیریت بحران فراهم می‌کند. تحلیل‌ها نشان داد که در میان عوامل مؤثر، ارتفاع با ۳۱/۹۶ درصد بیشترین تأثیر را بر شاخص خطر سیل (FHI) دارد که این امر بر اهمیت ویژگی‌های فیزیکی زمین در وقوع سیل تأکید می‌کند. در مقابل، تراکم خطواره با تنها ۰/۹۶ درصد، کمترین تأثیر را داشت. این نتایج به تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا منابع و اقدامات خود را بر روی عوامل کلیدی متمرکز سازند. یکی از ویژگی‌های مهم این پژوهش، نوآوری در روش‌شناسی آن است. با افزودن تحلیل هم‌خطی، اطمینان حاصل شد که شاخص‌های ورودی مدل AHP مستقل هستند و نتایج از سوءگیری ناشی از همبستگی‌های پنهان در امان می‌مانند. این گام فراتر از رویکردهای سنتی AHP است که ممکن است به نتایج نامطمئن منجر شوند. علاوه بر این، تحلیل حساسیت مدل AHP، نه تنها اعتبار آن را تأیید کرد بلکه به درک بهتر تأثیر هر شاخص بر نتایج نهایی نیز کمک کرد. این سطح از شفافیت و اعتبارسنجی، اعتماد به نقشه‌های ریسک سیل تولیدشده را افزایش می‌دهد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل AHP عملکردی مؤثر در شناسایی مناطق مستعد سیل داشته است به طوری که امتیاز ROC-AUC بالای ۹۰ درصد و مقادیر MSE و RMSE کمتر از ۴۰ درصد به دست آمده است. این پایداری در نتایج تحلیل حساسیت، نشان‌دهنده قدرت مدل در مواجهه با تغییرات احتمالی ورودی‌ها یا نظرات کارشناسان است. نقشه‌های ریسک سیل تولیدشده در این مطالعه، به دلیل دقت و پایداری بالای مدل، می‌توانند به عنوان یک ابزار راهنما برای سیاست‌گذاران و ذی‌نفعان محلی در تدوین سیاست‌های کاهش ریسک سیل و طرح‌های مقاوم‌سازی زیرساخت‌ها با رویکرد حفاظت از شهرها مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، تحلیل همبستگی چندمتغیره، رابطه مثبتی بین مناطق پرخطر و اثرات واقعی سیل را تأیید کرد و ارتباط منطقی بین عوامل مؤثر و نتایج مدل AHP را تقویت نمود. با وجود موفقیت و قابلیت اطمینان مدل حاضر، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد. این مدل ذاتاً وابسته به داده‌های مکانی و دانش تخصصی است و ممکن است با عدم قطعیت‌ها همراه باشد. به منظور افزایش دقت و جامعیت مدل‌سازی در پژوهش‌های آتی، توصیه می‌شود از روش‌های نوین‌تر مانند یادگیری ماشین و مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، به‌ویژه در مناطق با داده‌های بیشتر، استفاده شود. مقایسه این روش‌ها و تحلیل محدودیت‌های مدل فعلی در برابر آن‌ها، می‌تواند موضوعی ارزشمند برای تحقیقات آینده باشد و به غنای علمی این حوزه کمک کند. در نهایت، این پژوهش راهنمایی جامع و قابل اعتمادی برای مدیریت خطر سیل در شهرستان حمیدیه فراهم می‌آورد و اهمیت توجه به عوامل محلی و ارزیابی دقیق ریسک را برای حفاظت از جوامع شهری برجسته می‌سازد.

## تشکر و سپاسگزاری

از کارشناسان محترم شهرداری حمیدیه، منابع طبیعی، آب و فاضلاب، محیط زیست و سایر نهادهای مرتبط با شهرستان حمیدیه که ما را در انجام و ارتقای کیفی این تحقیق یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

## منابع

بختیاری، محسن؛ جهانتاب، زهرا. (۱۴۰۱). مدل سازی مکانی سیلاب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و توابع تحلیل گر GIS. پژوهش های اقلیمی، سازمان هواشناسی کشور - پژوهشکده اقلیم شناسی، ۱۳(۴۹)، ۱۷۷-۱۹۴.

[https://clima.irimo.ir/article\\_120109.html](https://clima.irimo.ir/article_120109.html)

پورمحمدی، بهنام. (۱۳۷۵). مورفوتکتونیک رودخانه کرخه. چهارمین کنفرانس مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز، صص. ۵۶۴-۵۵۳.

سعدونی، یعقوب؛ ایلانلو، مریم (۱۳۹۶). علل و عوامل مؤثر در شکل گیری شهر حمیدیه و گسترش فضایی آن. پنجمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران.

شهابی، هیمن. (۱۴۰۰). کاربرد مدل های شبکه عصبی مصنوعی، نسبت فراوانی و تابع شواهد قطعی در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز: الگویی برای مطالعات مخاطرات سیلاب شهری، پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۱۲(۴۵)، ۱۸۱-۲۰۲.

<https://www.sid.ir/paper/1000163/fa>

مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵.

ایران منش و همکاران. (۱۳۹۲). نقش مورفودینامیک دیرینه رودخانه کرخه در تجلی ساختار فضایی دشت آزادگان.

زنگنه اسدی، محمد علی؛ امیر احمدی، ابوالقاسم؛ ناعمی تبار، مهناز (۱۴۰۰). ارزیابی کارایی مدل های ویکور، L-THIA و شبکه عصبی مصنوعی در تحلیل منطقه ای سیلاب (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، نشریه اکوهیدرولوژی، دانشگاه تهران، سال ۸، شماره ۱، صص ۸۹-۱۰۸.

[https://ije.ut.ac.ir/article\\_80220.html](https://ije.ut.ac.ir/article_80220.html)

رامشت، محمد حسین. (۱۳۸۲). دریاچه های دوران چهارم بستر تبلور و گسترش مدنیت در ایران. نشریه علوم انسانی، دانشگاه اصفهان، شماره ۱۵، صص ۳۸-۱۳.

<https://ensani.ir/file/download/article/20120514170225-9183-37.pdf>

شرکت مهندسی مشاور سازه پردازی ایران. (۱۴۰۲). مستندات ضابطه فنی و مهندسی ایمنی و حفاظت جاده ها، سدها و تأسیسات نفتی میادین نفتی غرب کارون در برابر سیلاب در حوزه سیلاب و خطوط لوله، معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری اداره کل نظام فنی و اجرایی و ارزشیابی طرح ها، وزارت نفت.

رجبی زاده، یوسف؛ ایوب زاده، سید علی؛ قمشی، مهدی. (۱۳۹۱). بررسی سیل استان خوزستان طی سال آبی ۱۳۸۹-۱۳۹۸ و ارائه راهکارهای کنترل و مدیریت آن در آینده. مجله مهندسی آبیاری و آب ایران، ۶(۴)، ۱۰۶۹-۱۰۸۴.

<https://sid.ir/paper/254149/fa>

## References

- Agapiou, A. (2021). UNESCO World Heritage properties in changing and dynamic environments: change detection methods using optical and radar satellite data. *Heritage Science*, 9, 64.  
<https://doi.org/10.1186/s40494-021-00542-z>
- Agapiou, A., & Lysandrou, V. (2022). Remote sensing studies on monitoring natural hazards over cultural heritage sites in Cyprus. In M. M. Al Saud (Ed.), *Applications of Space Techniques on the Natural Hazards in the MENA Region* (pp. 167–194). Springer International Publishing.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-88874-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-88874-9_8)
- Ahmad, M., Al Mehedi, M. A., Yazdan, M. M. S., & Kumar, R. (2022). Development of machine learning flood model using artificial neural network (ANN) at Var River. *Liquids*, 2(3), 147-160.  
<https://doi.org/10.3390/liquids2030010>
- Ahmadlou, M., Al-Fugara, A., Al-Shabeeb, A. R., Arora, A., Al-Adamat, R., Pham, Q. B., Al-Ansari, N., Linh, N. T. T., & Sajedi, H. (2021). Flood susceptibility mapping and assessment using a novel deep learning model combining multilayer perceptron and autoencoder neural networks. *Journal of Flood Risk Management*, 14(1), 1–22.  
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12683>
- Ahmed, I. A., Talukdar, S., Shahfahad, Parvez, A., Rihan, M., Baig, M. R. I., & Rahman, A. (2022). Flood susceptibility modeling in the urban watershed of Guwahati using improved metaheuristic-based ensemble machine learning algorithms. *Geocarto International*, 37(26), 12238–12266.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2066200>
- Ali, S. A., Parvin, F., Pham, Q. B., Vojtek, M., Vojtekova, J., Costache, R., Linh, N. T. T., Nguyen, H. Q., Ahmad, A., & Ghorbani, M. A. (2020). GIS-based comparative assessment of flood susceptibility mapping using hybrid multi-criteria decision-making approach, naïve Bayes tree, bivariate statistics and logistic regression: a case of Topľa basin, Slovakia. *Ecological Indicators*, 117, 106620.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106620>
- Altaf, F., Meraj, G., & Romshoo, S. A. (2013). Morphometric analysis to infer hydrological behaviour of lidder watershed, Western Himalaya, India. *Geographical Journal*, 1–14.  
<https://doi.org/10.1155/2013/178021>
- Arora, A., Pandey, M., Siddiqui, M. A., Hong, H., & Mishra, V. N. (2021). Spatial flood susceptibility prediction in Middle Ganga Plain: comparison of frequency ratio and Shannon's entropy models. *Geocarto International*, 36(18), 2085–2116.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1764619>
- Arrighi, C. (2021). A global scale analysis of river flood risk of UNESCO World Heritage Sites. *Frontiers in Water*, 3, 764459.  
<https://doi.org/10.3389/frwa.2021.764459>
- Arrighi, C., Brugioni, M., Castelli, F., Franceschini, S., & Mazzanti, B. (2018). Flood risk assessment in art cities: the exemplary case of Florence (Italy). *Journal of Flood Risk Management*, 11, S616–S631.  
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12226>
- Arnous, M. O., El-Rayes, A. E., El-Nady, H., & Helmy, A. M. (2022). Flash flooding hazard assessment, modeling, and management in the coastal zone of Ras Ghareb City, Gulf of Suez, Egypt. *Journal of Coastal Conservation*, 26(6).  
<https://doi.org/10.1007/s11852-022-00916-w>

- Aryal, S. K., Mein, R. G., & O'Loughlin, E. M. (2003). The concept of effective length in hillslopes: assessing the influence of climate and topography on the contributing areas of catchments. *Hydrological Processes*, 17(1), 131–151.  
<https://doi.org/10.1002/hyp.1137>
- Baalousha, H. M., Younes, A., & Yassin, M. A., & Fahs, M. (2023). Comparison of the fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) and fuzzy logic for flood exposure risk assessment in arid regions. *Hydrology*, 10(7).  
<https://doi.org/10.3390/hydrology10070136>
- Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modele a base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43–69.  
<https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- Bhuyan, M. J., Deka, N., & Saikia, A. (2023). Micro-spatial flood risk assessment in Nagaon district, Assam (India) using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA) and analytical hierarchy process (AHP). *Risk Analysis*, 1–16.  
<https://doi.org/10.1111/risa.14191>
- Bui, D. T., Hoang, N. D., Pham, T. D., Ngo, P. T. T., Hoa, P. V., Minh, N. Q., et al. (2019). A new intelligence approach based on GIS-based Multivariate Adaptive Regression Splines and metaheuristic optimization for predicting flash flood susceptible areas at high-frequency tropical typhoon area. *Journal of Hydrology*, 575, 314–326.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.023>
- Bunmi Mudashiru, R., Sabtu, N., Abdullah, R., & Saleh, A., & Abustan, I. (2022). Optimality of flood influencing factors for flood hazard mapping: an evaluation of two multicriteria decision-making methods. *Journal of Hydrology*, 612, 128055.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128055>
- Caruso, G. D. (2017). The legacy of natural disasters: The intergenerational impact of 100 years of disasters in Latin America. *Journal of Development Economics*, 127, 209–233.  
<https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2017.06.002>
- Chakraborty, S., & Mukhopadhyay, S. (2019). Assessing flood risk using analytical hierarchy process (AHP) and geographical information system (GIS): application in Coochbehar district of West Bengal, India. *Natural Hazards*, 99(1), 247–274.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-019-03737-7>
- Chapi, K., Singh, V. P., Shirzadi, A., Shahabi, H., Bui, D. T., Pham, B. T., & Khosravi, K. (2017). A novel hybrid artificial intelligence approach for flood susceptibility assessment. *Environmental Modelling & Software*, 95, 229–245.  
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.012>
- Chen, F., Zhou, W., Tang, Y., Li, R., Lin, H., Balz, T., Luo, J., Shi, P., Zhu, M., & Fang, C. (2022). Remote sensing-based deformation monitoring of pagodas at the Bagan cultural heritage site, Myanmar. *International Journal of Digital Earth*, 15, 770–788.  
<https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2062466>
- Chen, W., Cutter, S. L., & Emrich, C. T. (2013). Measuring social vulnerability to natural hazards in the Yangtze River Delta region, China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 4(4), 169–181.  
<https://doi.org/10.1007/s13753-013-0018-6>
- Chen, Y. (2022). Flood hazard zone mapping incorporating geographic information system (GIS) and multi-criteria analysis (MCA) techniques. *Journal of Hydrology*, 612(PC), 128268.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128268>

Chen, Y. R., Yeh, C. H., & Yu, B. (2011). Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan. *Natural Hazards*, 59(3), 1261–1276.

<https://doi.org/10.1007/s11069-011-9831-7>

Costache, R., Popa, M. C., Tien Bui, D., Diaconu, D. C., Ciubotaru, N., Minea, G., & Pham, Q. B. (2020). Spatial predicting of flood potential areas using novel hybridizations of fuzzy decision-making, bivariate statistics, and machine learning. *Journal of Hydrology*, 585(March), 124808.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124808>

Cunha, L. K., Krajewski, W. F., Mantilla, R., & Cunha, L. (2011). A framework for flood risk assessment under nonstationary conditions or in the absence of historical data. *Journal of Flood Risk Management*, 4(1), 3–22.

<https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2010.01085.x>

Dandapat, K., & Panda, G. K. (2017). Flood vulnerability analysis and risk assessment using analytical hierarchy process. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(4), 1627–1646.

<https://doi.org/10.1007/s40808-017-0388-7>

Darabi, H., Choubin, B., Rahmati, O., Torabi Haghighi, A., Pradhan, B., & Kløve, B. (2019). Urban flood risk mapping using the GARP and QUEST models: a comparative study of machine learning techniques. *Journal of Hydrology*, 569(December 2018), 142–154.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.002>

Das, S., & Gupta, A. (2021). Multi-criteria decision based geospatial mapping of flood susceptibility and temporal hydro-geomorphic changes in the Subarnarekha basin, India. *Geoscience Frontiers*, 12(5), 101206.

<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101206>

De Brito, M. M., & Evers, M. (2016). Multi-criteria decision-making for flood risk management: a survey of the current state of the art. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(4), 1019–1033.

<https://doi.org/10.5194/nhess-16-1019-2016>

Debnath, J., Meraj, G., Pan, N. Das, Chand, K., Debbarma, S., Sahariah, D., Gualtieri, C., Kanga, S., Singh, S. K., Farooq, M., Sahu, N., & Kumar, P. (2022). Integrated remote sensing and field-based approach to assess the temporal evolution and future projection of meanders: a case study on River Manu in North-Eastern India. *PLoS ONE*, 17(Issue 7 July).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271190>

Debnath, J., Sahariah, D., Lahon, D., Nath, N., Islam, M. N., Meraj, G., Hashimoto, S., Kumar, P., Singh, S. K., Kanga, S., Chand, K., & Saikia, A. (2023). Modelling on assessment of flood risk susceptibility at the Jia Bharali River basin in Eastern Himalayas by integrating multicollinearity tests and geospatial techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1–27.

<https://doi.org/10.1007/s41748-023-00378-6>

Debnath, J., Sahariah, D., Mazumdar, M., Lahon, D., Meraj, G., Hashimoto, S., Kumar, P., Singh, S. K., Kanga, S., Chand, K., & Saikia, A. (2023). Evaluating flood susceptibility in the Brahmaputra River basin: an insight into Asia's eastern Himalayan floodplains using machine learning and multi-criteria decision-making. *Earth Systems and Environment*, 7(4), 733–760.

<https://doi.org/10.1007/s41748-023-00358-w>

Degiorgis, M., Gnecco, G., Gorni, S., Roth, G., Sanguineti, M., & Taramasso, A. C. (2012). Classifiers for the detection of flood-prone areas using remote sensed elevation data. *Journal of Hydrology*, 470–471, 302–315.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.006>

- Edamo, M. L., Ukumo, T. Y., Lohani, T. K., Ayana, M. T., Ayele, M. A., Mada, Z. M., & Abdi, D. M. (2022). A comparative assessment of multi-criteria decision-making analysis and machine learning methods for flood susceptibility mapping and socio-economic impacts on flood risk in Abela-Abaya floodplain of Ethiopia. *Environmental Challenges*.
- <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100629>
- Eghtesadifard, M., Afkhami, P., & Bazyar, A. (2020). An integrated approach to the selection of municipal solid waste landfills through GIS, K-Means and multi-criteria decision analysis. *Environmental Research*, 185, 109348.
- <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109348>
- Farhadi, H., Esmaily, A., & Najafzadeh, M. (2022). Flood monitoring by integration of remote sensing technique and multi-criteria decision-making method. *Computers & Geosciences*, 160, 105045.
- <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2022.105045>
- Fenta, A. A., Kifle, A., Gebreyohannes, T., & Hailu, G. (2015). Spatial analysis of groundwater potential using remote sensing and GIS-based multi-criteria evaluation in Raya Valley, northern Ethiopia. *Hydrogeology Journal*, 23(1), 195–206.
- <https://doi.org/10.1007/s10040-014-1198-x>
- Fernandez, D. S., & Lutz, M. A. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, 111(1–4), 90–98.
- <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.09.011>
- Figueiredo, R., Romão, X., & Paupério, E. (2020). Flood risk assessment of cultural heritage at large spatial scales: framework and application to mainland Portugal. *Journal of Cultural Heritage*, 43, 163–174.
- <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.11.007>
- Agapiou, A. (2021). UNESCO World Heritage properties in changing and dynamic environments: change detection methods using optical and radar satellite data. *Heritage Science*, 9, 64.
- <https://doi.org/10.1186/s40494-021-00542-z>
- Gerster, J., Boret, S. P., Morimoto, R., Gordon, A., & Shibayama, A. (2022). The potential of disaster digital archives in disaster education: the case of the Japan disasters digital archive (JDA) and its geo-location functions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77, 103085.
- <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103085>
- Ghawana, T., Pashova, L., & Zlatanova, S. (2021). Geospatial data utilisation in national disaster management frameworks and the priorities of multilateral disaster management frameworks: case studies of India and Bulgaria. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10, 610.
- <https://doi.org/10.3390/ijgi10090610>
- Ghosh, A., Chatterjee, U., Pal, S. C., Towfiqul Islam, A. R. M., Alam, E., & Islam, M. K. (2023). Flood hazard mapping using GIS-based statistical model in vulnerable riparian regions of sub-tropical environment. *Geocarto International*, 38(1).
- <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2285355>
- Ghosh, A., & Dey, P. (2021). Flood severity assessment of the coastal tract situated between Muriganga and Saptamukhi estuaries of Sundarban delta of India using frequency ratio (FR), fuzzy logic (FL), logistic regression (LR) and random forest (RF) models. *Regional Studies in Marine Science*, 42, 101624.
- <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101624>
- Ghosh, A., & Kar, S. K. (2018). Application of analytical hierarchy process (AHP) for flood risk assessment: a case study in Malda district of West Bengal, India. *Natural Hazards*, 94(1), 349–368.
- <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3392-y>

- Glenn, E. P., Morino, K., Nagler, P. L., Murray, R. S., Pearlstein, S., & Hultine, K. R. (2012). Roles of saltcedar (*Tamarix* spp.) and capillary rise in salinizing a non-flooding terrace on a flow-regulated desert river. *Journal of Arid Environments*, 79, 56–65.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.025>
- Gupta, L., & Dixit, J. (2022). A GIS-based flood risk mapping of Assam, India, using the MCDA-AHP approach at the regional and administrative level. *Geocarto International*, 37(26), 11867–11899.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2060329>
- Hadjimitsis, D., Agapiou, A., Alexakis, D., & Sarris, A. (2013). Exploring natural and anthropogenic risk for cultural heritage in Cyprus using remote sensing and GIS. *International Journal of Digital Earth*, 6, 115–142.  
<https://doi.org/10.1080/17538947.2011.602119>
- Hammami, S., Zouhri, L., Souissi, D., Souei, A., Zghibi, A., Marzougui, A., & Dlala, M. (2019). Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 12(21).  
<https://doi.org/10.1007/s12517-019-4754-9>
- Hasan, M. M., Mondol Nilay, M. S., Jibon, N. H., & Rahman, R. M. (2023). LULC changes to riverine flooding: a case study on the Jamuna River, Bangladesh using the multilayer perceptron model. *Results in Engineering*, 18(September 2022), 101079.  
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101079>
- Hishe, S., Bewket, W., Nyssen, J., & Lyimo, J. (2020). Analysing past land use land cover change and CA-Markov-based future modelling in the Middle Suluh Valley, Northern Ethiopia. *Geocarto International*, 35(3), 225–255.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2018.1516241>
- Jahan, C. S., Rahaman, M. F., Arefin, R., Ali, M. S., & Mazumder, Q. H. (2019). Delineation of groundwater potential zones of Atrai-Sib River basin in north-west Bangladesh using remote sensing and GIS techniques. *Sustainable Water Resources Management*, 5(2), 689–702.  
<https://doi.org/10.1007/s40899-018-0240-x>
- Jahangir, M. H., Mousavi Reineh, S. M., & Abolghasemi, M. (2019). Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Basin, Iran, using artificial neural network algorithm. *Weather and Climate Extremes*, 25(June), 100215.  
<https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100215>
- Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186–190.
- Jong, H. K. (2019). Multicollinearity and misleading statistical result. *Korean Journal of Anesthesiology*, 0, 2–31.  
<https://doi.org/10.4097/kja.d.18.00212>
- Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: application in Rhodope-Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538, 555–563.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>
- Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., & Pourghasemi, H. R. (2016). A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. *Natural Hazards*, 83(2), 947–987.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2>
- Khosravi, K., Pham, B. T., Chapi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Revhaug, I., Prakash, I., & Tien Bui, D. (2018). A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. *Science of the Total Environment*, 627, 744–755.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.266>

Kittipongvises, S., Phetrak, A., Rattanapun, P., Brundiars, K., Buizer, J. L., & Melnick, R. (2020). AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities nearby the world heritage site on Ayutthaya Island, Thailand. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48(November 2019), 101612.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101612>

Kotecha, M. J., Tripathi, G., Singh, S. K., Kanga, S., Sajan, B., Meraj, G., & Misra, R. K. (2020). Geospatial modelling for identification of ground water potential zones in Luni River Basin, Rajasthan. In *River Conservation and Water Resource Management* (pp. 315–338). Springer Nature Singapore.

[https://doi.org/10.1007/978-981-15-1011-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1011-1_15)

Kumar, S., Snehmani, Srivastava, P. K., Gore, A., & Singh, M. K. (2016). Fuzzy–frequency ratio model for avalanche susceptibility mapping. *International Journal of Digital Earth*, 9(12), 1168–1184.

<https://doi.org/10.1080/17538947.2016.1157140>

Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., Bower, L. M., Arnell, N., & Mach, K., et al. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 1–28.

<https://doi.org/10.1080/02626667.2013.856213>

Lahon, D., Sahariah, D., Debnath, J., Nath, N., Meraj, G., Kumar, P., et al. (2023). Assessment of ecosystem service value in response to LULC changes using geospatial techniques: a case study in the merbil wetland of the Brahmaputra valley, Assam, India. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(4), 165.

<https://doi.org/10.3390/ijgi12040165>

Li, W., Lin, K., Zhao, T., Lan, T., Chen, X., Du, H., & Chen, H. (2019). Risk assessment and sensitivity analysis of flash floods in ungauged basins using coupled hydrologic and hydrodynamic models. *Journal of Hydrology*, 572(February), 108–120.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.002>

Lin, J. M., & Billa, L. (2021). Spatial prediction of flood-prone areas using geographically weighted regression. *Environmental Advances*, 6, 100118.

<https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100118>

Mahmoud, S. H., & Gan, T. Y. (2018). Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. *Journal of Cleaner Production*, 196, 216–229.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.047>

Mangini, W., Viglione, A., Hall, J., Hundecha, Y., Ceola, S., Montanari, A., Rogger, M., Salinas, J. L., Borzì, I., & Parajka, J. (2018). Detection of trends in magnitude and frequency of flood peaks across Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 63(4), 493–512.

<https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1444122>

Mekonnen, T. M., Mitiku, A. B., & Woldemichael, A. T. (2023). Flood hazard zoning of upper Awash River basin, Ethiopia, using the analytical hierarchy process (AHP) as compared to sensitivity analysis. *The Scientific World Journal*, 15.

<https://doi.org/10.1155/2023/1675634>

Mishra, K., & Sinha, R. (2020). Flood risk assessment in the Kosi megafan using multi- criteria decision analysis: a hydro-geomorphic approach. *Geomorphology*, 350, 106861.

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106861>

Mitra, R., & Das, J. (2023). A comparative assessment of flood susceptibility modelling of GIS-based TOPSIS, VIKOR, and EDAS techniques in the Sub-Himalayan foothills' region of Eastern India. *Environmental Science and Pollution Research Series*, 30(6), 16036–16067.

<https://doi.org/10.1007/s11356-022-23377-5>

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, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 2183–2226.

<https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2112094>

Moise, C., Dana Negula, I., Mihalache, C. E., Lazar, A. M., Dedulescu, A. L., Rustoiu, G. T., Inel, I. C., & Badea, A. (2021). Remote sensing for cultural heritage assessment and monitoring: the case study of Alba Iulia. *Sustainability*, 13, 1406.

<https://doi.org/10.3390/su13031406>

Mojaddadi, H., Pradhan, B., Nampak, H., Ahmad, N., & Ghazali, A. H. bin. (2017). Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi-sensor remote-sensing data and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1080–1102.

<https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1294113>

Mukherjee, I., & Singh, U. K. (2020). Delineation of groundwater potential zones in a drought-prone semi-arid region of east India using GIS and analytical hierarchical process techniques. *Catena*, 194(December 2019), 104681.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104681>

Onuşluel Gül, G. (2013). Estimating flood exposure potentials in Turkish catchments through index-based flood mapping. *Natural Hazards*, 69(1), 403–423.

<https://doi.org/10.1007/s11069-013-0717-8>

Pan, W., Yan, M., Zhao, Z., & Gulzar, M. A. (2022). Flood risk assessment and management in urban communities: the case of communities in Wuhan. *Land*, 12(1), 112.

<https://doi.org/10.3390/land12010112>

Pathan, A. I., Girish Agnihotri, P., Said, S., & Patel, D. (2022). AHP and TOPSIS based flood risk assessment- a case study of the Navsari City, Gujarat, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(7), 509.

<https://doi.org/10.1007/s10661-022-10116-2>

Peng, J., & Zhang, J. (2022). Urban flooding risk assessment based on GIS- game theory combination weight: a case study of Zhengzhou City. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77(January), 103080.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103080>

Pham, B. T., Jaafari, A., Phong, T. Van, Yen, H. P. H., Tuyen, T. T., Luong, V. Van, Nguyen, H. D., Le, H. Van, & Foong, L. K. (2021). Improved flood susceptibility mapping using a best first decision tree integrated with ensemble learning techniques. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101105.

<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.11.003>

Pham, V.-M., Van Nghiem, S., Van Pham, C., & Luu, M. P. T. (2021). Urbanization impact on landscape patterns in cultural heritage preservation sites: a case study of the complex of Huế Monuments, Vietnam. *Landscape Ecology*, 36, 1235–1260.

<https://doi.org/10.1007/s10980-020-01189-0>

Pradhan, B., & Lee, S. (2010). Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. *Environmental Earth Sciences*, 60(5), 1037–1054.

<https://doi.org/10.1007/s12665-009-0245-8>

Pradhan, B., & Youssef, A. M. (2010). Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models. *Arabian Journal of Geosciences*, 3(3), 319–326.

<https://doi.org/10.1007/s12517-009-0089-2>

- Radwan, F., Alazba, A. A., & Mossad, A. (2019). Flood risk assessment and mapping using AHP in arid and semiarid regions. *Acta Geophysica*, 67(1), 215–229.  
<https://doi.org/10.1007/s11600-018-0233-z>
- Rahman, M., Ningsheng, C., Islam, M. M., Dewan, A., Iqbal, J., Washakh, R. M. A., & Shufeng, T. (2019). Flood susceptibility assessment in Bangladesh using machine learning and multi-criteria decision analysis. *Earth Systems and Environment*, 3(3), 585–601.  
<https://doi.org/10.1007/s41748-019-00123-y>
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International*, 31(1), 42–70.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1041559>
- Rahmati, O., Zeinivand, H., & Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(3), 1000–1017.  
<https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1045043>
- Rather, M. A., Meraj, G., Farooq, M., Shiekh, B. A., Kumar, P., Kanga, S., et al. (2022). Identifying the potential dam Sites to avert the risk of catastrophic floods in the Jhelum basin, Kashmir, NW Himalaya, India. *Remote Sensing*, 14(7), 1538.  
<https://doi.org/10.3390/rs14071538>
- Rosser, J. F., Leibovici, D. G., & Jackson, M. J. (2017). Rapid flood inundation mapping using social media, remote sensing and topographic data. *Natural Hazards*, 87(1), 103–120.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-017-2751-2>
- Roszkowska, E. (2013). Rank ordering criteria weighting methods—a comparative overview. *Optimum. Studia Ekonomiczne*, 5(65), 14–33.
- Roy, S., Bose, A., & Chowdhury, I. R. (2021). Flood risk assessment using geospatial data and multi-criteria decision approach: a study from historically active flood-prone region of Himalayan foothill, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(11).  
<https://doi.org/10.1007/s12517-021-07324-8>
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281.  
[https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation*. McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (1988). What Is the Analytic Hierarchy Process? In *Analytic Hierarchy Process* (pp. 109–121). Springer Berlin Heidelberg.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-83501-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-83501-2_6)
- Saber, M., Boulmaiz, T., Guermoui, M., Abdrabo, K. I., Kantoush, S. A., Sumi, T., Boutaghane, H., Nohara, D., & Mabrouk, E. (2022). Examining LightGBM and CatBoost models for wadi flash flood susceptibility prediction. *Geocarto International*, 37(25), 7462–7487.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2021.1974959>
- Sahana, M., & Patel, P. P. (2019). A comparison of frequency ratio and fuzzy logic models for flood susceptibility assessment of the lower Kosi River Basin in India. *Environmental Earth Sciences*, 78(10), 1–27.  
<https://doi.org/10.1007/s12665-019-8285-1>

- Sahariah, D., Debnath, J., Nath, N., Saikia, A., Lahon, D., & Meraj, G., Kumar, P., et al. (2023). Assessment of ecosystem service value in response to LULC changes using geospatial techniques: a case study in the merbil wetland of the Brahmaputra valley, Assam, India. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 12(4), 165.  
<https://doi.org/10.3390/ijgi12040165>
- Salahshouri, P., & Vafaei Nezhad, A. R. (2012). Change detection of Karkheh River floodplains of the Karkheh dam reservoir using remote sensing and GIS. *Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resources Science*, 3(3), 85-99.
- Salajegheh, A., Moghaddam Nia, A., Salajegheh, A., Ghaderi, K., Talebpour Asl, D., Al-Ansari, N., et al. (2023). Flood susceptibility mapping using support vector regression and hyper-parameter optimization. *Journal of Flood Risk Management*, 16(4), e12920.  
<https://doi.org/10.1111/jfr3.12920>
- Salvati, A., Moghaddam Nia, A., Salajegheh, A., Ghaderi, K., Talebpour Asl, D., Al-Ansari, N., et al. (2023). Flood susceptibility mapping using support vector regression and hyper-parameter optimization. *Journal of Flood Risk Management*, 16(4), e12920. (This appears to be a duplicate of 105, keeping for completeness but acknowledging it's the same DOI)
- Sanyal, J., Densmore, A. L., & Carbonneau, P. (2014). Analysing the effect of land-use/cover changes at sub-catchment levels on downstream flood peaks: a semi-distributed modelling approach with sparse data. *Catena*, 118, 28-40.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.01.015>
- Sanyal, J., & Lu, X. X. (2005). Remote sensing and GIS-based flood vulnerability assessment of human settlements: a case study of Gangetic West Bengal, India. *Hydrological Processes*, 19(18), 3699-3716.  
<https://doi.org/10.1002/hyp.5852>
- Sarigöl, M., & Nur Yesilyurt, S. (2022). Flood routing calculation with ANN, SVM, GPR, and RTE methods. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(6), 5221-5228.  
<https://doi.org/10.15244/pjoes/152345>
- Sarkar, D., & Mondal, P. (2020). Flood vulnerability mapping using frequency ratio (FR) model: a case study on Kulik river basin, Indo-Bangladesh Barind region. *Applied Water Science*, 10(1), 1-13.  
<https://doi.org/10.1007/s13201-019-1102-x>
- Sarkar, D., Saha, S., & Mondal, P. (2022). GIS-based frequency ratio and Shannon's entropy techniques for flood vulnerability assessment in Patna district, Central Bihar, India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(9), 8911-8932.  
<https://doi.org/10.1007/s13762-021-03627-1>
- Shahri, A. A., Spross, J., Johansson, F., & Larsson, S. (2019). Landslide susceptibility hazard map in southwest Sweden using artificial neural network. *Catena*, 183, 104225.  
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104225>
- Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A., & Dlala, M. (2020). GIS- based MCDM-AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. *Geocarto International*, 35(9), 991-1017.  
<https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1566405>
- Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240(4857), 1285-1293.  
<https://doi.org/10.1126/science.3287615>
- Tapsell, S. M., Penning-Rowsell, E. C., Tunstall, S. M., & Wilson, T. L. (2002). Vulnerability to flooding : health. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1511-1525.  
<https://doi.org/10.1098/rsta.2002.1092>

- Termeh, S. V. R., Kornejady, A., Pourghasemi, H. R., & Keesstra, S. (2018). Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. *Science of the Total Environment*, 615, 438–451.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.205>
- Toosi, A. S., Calbimonte, G. H., Nouri, H., & Alaghmand, S. (2019). River basin-scale flood hazard assessment using a modified multi-criteria decision analysis approach: a case study. *Journal of Hydrology*, 574, 660–671.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.006>
- Trizio, F., Torrijo, F. J., Mileto, C., & Vegas, F. (2021). Flood risk in a heritage city: Alzira as a case study. *Water (Switzerland)*, 13(9).  
<https://doi.org/10.3390/w13091138>
- United Nations. (2023). Office for Outer Space Affairs, United Nations Platform for Spacebased Information for Disaster Management and Emergency Response, Disaster Risk Management.  
<https://www.un-spider.org/risks-and-disasters/disaster-risk-management>
- Vegad, U., Pokhrel, Y., & Mishra, V. (2023). Flood risk assessment for Indian sub-continental river basins. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–27.  
<https://doi.org/10.5194/hess-2023-149>
- Vignesh, K. S., Anandakumar, I., Ranjan, R., & Borah, D. (2021). Flood vulnerability assessment using an integrated approach of multi-criteria decision-making model and geospatial techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7, 767–781.  
<https://doi.org/10.1007/s40808-020-00898-1>
- Vivekananda, G. N., & Swathi, R., & Sujith, A. V. L. N. (2021). Multi-temporal image analysis for LULC classification and change detection. *European Journal of Remote Sensing*, 54(Suppl. 2), 189–199.  
<https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1771215>
- Vojinovic, Z., Hammond, M., Golub, D., Hirunsalee, S., Weesakul, S., Meesuk, V., Medina, N., Sanchez, A., Kumara, S., & Abbott, M. (2016). Holistic approach to flood risk assessment in areas with cultural heritage: a practical application in Ayutthaya, Thailand. *Natural Hazards*, 81, 589–616.  
<https://doi.org/10.1007/s11069-015-2098-7>
- Wang, J.-J. (2015). Flood risk maps to cultural heritage: measures and process. *Journal of Cultural Heritage*, 16, 210–220.  
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.03.002>
- Zadeh, S. M., Burn, D. H., & O'Brien, N. (2020). Detection of trends in flood magnitude and frequency in Canada. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 28, 100673.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100673>
- Zhang, K., Shalehy, M. H., Ezaz, G. T., Chakraborty, A., Mohib, K. M., & Liu, L. (2022). An integrated flood risk assessment approach based on coupled hydrological-hydraulic modeling and bottom-up hazard vulnerability analysis. *Environmental Modelling & Software*, 148, 105279.  
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105279>

