

Research Paper

Flood Risk Zoning Using the Flood Hazard Index: Case Study of Lowmar Sub-watershed of Seymareh, Ilam Province, Iran



Esmaeil Najafi¹ , *Farzaneh Gholami² , Azam Gholami³ 

1. Department of Geomorphology, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran.

2. Department of Geomorphology, Faculty of Geography and Planning, Isfahan University, Isfahan, Iran.

3. Department of Sociology, Faculty of Literature and Humanities, Kharazmi University, Tehran, Iran.

Use your device to scan
and read the article online



Citation Najafi, E., Gholami, F., & Gholami, A. (2025). Flood Risk Zoning Using the Flood Hazard Index: Case Study of Lowmar Sub-watershed of Seymareh, Ilam Province, Iran. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(3):266-291. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.3.292.2>

 <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.3.292.2>

ABSTRACT

Background and Objective Floods, as one of the most devastating natural disasters, can affect human life, infrastructure, environment, and economies. The Lowmar sub-watershed of Seymareh, located in Ilam Province, southwestern Iran, is one of the areas vulnerable to floods due to its specific geographical location and climatic conditions. This study aims to identify flood-prone areas within this sub-watershed and propose strategies to reduce flood-related risks.

Method This is a descriptive-analytical study. Flood-prone areas in the Lowmar sub-watershed were assessed using the flood hazard index (FHI), considering eight hydro-geomorphological and climatic parameters: Slope, drainage network density, distance from rivers, land use, lithology, elevation, rainfall, and normalized difference vegetation index (NDVI). The analytical hierarchy process (AHP) model was used to analyze the data and determine the weight of each parameter. The required data were prepared from satellite images, digital elevation models, and meteorological data, and processed in a geographic information system (GIS) environment. After integrating the maps of various parameters, a final flood zoning map was produced, categorizing the area into five risk severity levels: Very high, high, moderate, low, and very low.

Results The most critical factors influencing flood risk in the study area were slope, rainfall, vegetation cover, and land use type. Over 60% of the Sub-Watershed area falls within a flood risk range from moderate to very high, especially in the central and western areas. Additionally, 40.5% of the villages in this area, as well as three towns—Lowmar, Sarab-Kalan, and Siah-Siah—were located in regions with high and very high flood risk. Roads in the western part of the Sub-Watershed were also exposed to flood hazards, which require preventive and managerial actions.

Conclusion The findings highlight the importance of urban planning, preventive measures, and flood risk management in the Lowmar sub-watershed. The preventive measures include strengthening infrastructure, improving land-use planning, increasing vegetation cover, and educating local communities for flood preparedness.

Keywords Flood zoning, Hydro-geomorphological parameters, Geographic information system (GIS), Analytical hierarchy process (AHP), Lowmar sub-watershed of Seymareh

Article Info:

Received: 09 Dec 2024

Accepted: 15 Feb 2025

Available Online: 01 Oct 2025

* Corresponding Author:

Farzaneh Gholami

Address: Department of Geomorphology, Faculty of Geography and Planning, Isfahan University, Isfahan, Iran.

Tel: +98 (993) 0602052

E-mail: gholami.fff@gmail.com



Copyright © 2025 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

English Version

Introduction

Floods are the most common type of natural disaster worldwide, causing significant environmental and socio-economic consequences (Heidari, 2014), increasingly affecting many people and their activities.

In recent decades, the world has been affected by severe floods (Pinos & Quesada-Román, 2022). Some of the deadliest floods have occurred in China (1935, 1931, 1887), Guatemala (1949), Bangladesh (1974), Venezuela (1999), Iran (1954), India (2013), Japan (1953), and Peru (1941) (Milliman & Farnsworth, 2011). Flood caused by heavy rainfall is one of the most challenging types (Aslani & Mehdipour, 2015). These natural disasters can be properly monitored using modern technologies and information systems (Giordan et al., 2018), including geographic Information Systems (GIS), remote sensing, and multi-criteria decision analysis (MCDA) (Pahlavani et al., 2017).

A flood is a sudden increase in water levels that exceeds the capacity of the river channel. This sudden increase causes the water to move out and flow into floodplains and surrounding lands, resulting in damage to residential areas and agricultural lands and endangering people's health (Rezaei-Moghaddam et al., 2015). Flood risk zoning is an important process in water resource management and flood damage prevention. This process involves identifying flood-prone areas and assessing the associated risks so that appropriate planning can be made to reduce damage and increase community resilience. The Flood Hazard Index (FHI) is a practical and systematic parameter for assessing and managing flood risks. This index helps decision-makers to identify areas with high flood risk and design appropriate preventive and management measures.

Various studies have been conducted to identify flood-prone areas in Iran (Abedini & Fathi, 2015; Ghorbanzadeh et al., 2017; Azizi et al., 2021; Esfandiari Darabad et al., 2021; Mirzaei et al., 2025). Hatami Nejad et al. (2017) used the analytic hierarchy process (AHP) method and 11 indicators, including aquifers, climate, vegetation cover, elevation, soil, distance from the waterway network, geological formations, land use, evaporation, rainfall, and temperature, to zone flood risk in Izeh County, Iran, using a GIS. Their results showed that approximately 60% of the study area was at a very high or high risk of flooding.

Najafi and Karimi Kordabadi (2019) assessed and zoned flood risk in district one of the Tehran metropolitan area using a hybrid AHP-FUZZY model with an emphasis on urban security. They identified very low, low, and medium risk zones in the north and center of the study area, as well as very high and high risk zones in the outlets and within urban areas. Hosseini (2021) used the AHP and flood-affecting indicators, including slope, curve number, distance from the river, watercourse erosion potential, elevation-slope-wetness index, slope direction, rainfall, and elevation, to zone flood risk in the Amughin watershed, Ardabil Province, Iran. Their results showed that 64% of the area was at high flood risk. In another study, Habibnejad Roshan et al. (2023) used the AHP model and flood-affecting indicators to identify areas with high flood risk in the Karun River watershed. Their results showed that about 10% of the watershed was located in the area with high and very high flood risk.

Hosseini et al. (2023) evaluated flood risks in the Hamoon-Jazmurian watershed using a fuzzy model and AHP and 13 flood-affecting indices, including height, slope, slope direction, topographic curvature, drainage density, distance from the watercourse, geology, vegetation, land use, rainfall, topographic wetness index, stream power index, and soil type. Their results showed that the risky areas were located near the main watercourses. Daneshparvar et al. (2021) used the AHP and the analytic network process (ANP) to zone flood risks in the Sabalan Dam watershed in Ardabil Province. Their results showed that in both methods, the elevation and slope factors had the greatest impact, while the number of curves and distance to the river had the least impact. Hassanloo et al. (2019) also conducted flood risk zoning in Maneh and Samalghan counties in northern Khorasan province.

There are also several related studies conducted in other countries. Nyarko (2000) integrated a hydrological model (modified rational model) in GIS software by the arithmetic overlay operation method to determine flood risk zones in Accra, Ghana, and its environs. Their results showed that the high flood risk zone covered 35.66% of the study area, while the low risk zone covered 26.85%. Samanta et al. (2016) used an MCDA to analyze flood risk in the Markham River, Morobe Province, Papua New Guinea. They suggested that the use of MCDA in GIS techniques is very useful for accurate and reliable flood risk analysis and mapping. Seejata et al. (2017) employed spatial analysis in a GIS environment, utilizing the AHP, to assess flood risk zones in Sukhothai Province, Thailand. The results showed that the Muang, Kongkrait, Khirimat, and Sisamrong districts were flood-prone areas.

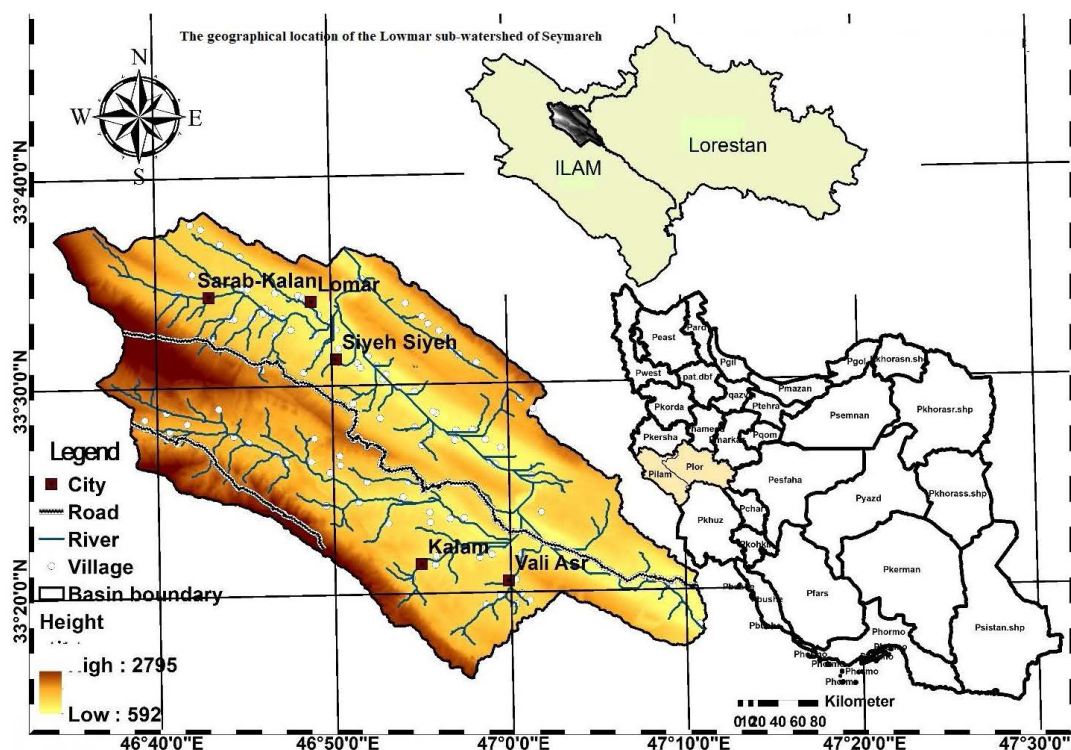


Figure 1. The geographical location of the Lowmar sub-watershed of Seymareh

Echogdali et al. (2018) used the watershed modeling system (WMS) and FHI models to map the floodplain of the El Maleh basin located in southeastern Morocco. The use of the WMS model allowed for the accurate mapping of the flood risk areas with precise flood heights at different levels. However, this method was only applicable for a small portion of the basin located downstream of the hydrological station. Swain et al. (2020) conducted a study using AHP, GIS, remote sensing, and Google Earth Engine software to investigate the flood-prone area of Bihar, India. The results showed that the highest and lowest flood susceptibility indices were attributed to hydrological (0.497) and human (0.037) factors, respectively. Also, about 12% of the region had very low flood susceptibility, and about 40.36% had high to very high flood susceptibility.

Karymbalis et al. (2021) used GIS-based MCDA to zone flood risks in the Megalo Rhema river watershed in eastern Attica. Their results indicate that about 22.7% of the total catchment area belonged to the high-risk flood zone, and about 15% was at very high flood risk. Ikiri et al. (2022) performed flood risk zoning using the FHI method in a GIS environment based on MCDA and considering seven parameters in the Taguenit Wadi water-

shed, southern Morocco. The results showed that about 28.67% were located in high and very high risk areas, and about 40% in low and very low risk areas. The aforementioned studies confirm the use of the AHP, MCDA, and GIS methods in identifying flood-prone areas. These studies generally emphasize the importance of creating flood risk maps for managing and reducing flood damage.

The Seymareh river watershed, located in Ilam province, southwest of Iran, is vulnerable to heavy rainfall and is a flood-prone area. This watershed was flooded in 2015, 2016, 2018, and 2019, causing extensive damage to infrastructure and rural residential areas. As part of the Seymourh watershed, Lowmar has faced climate challenges including heavy rainfall and rising temperatures. These changes could have significant impacts on the lives of local residents, agriculture, and infrastructure. Therefore, planning to manage water resources and reduce the risks of flash floods in this region is essential. In this regard, this study aims to identify areas prone to floods in the Lowmar sub-watershed of Seymareh and present a comprehensive flood hazard map, using the FHI and MCDA methods. This is the first study that combines FHI with MCDA. This research, covers the specific needs

of Lowmar sub-watershed and addresses practical applications and appropriate results in the field of flood risk management.

Materials and Methods

Study area

The Seymareh watershed is one of the headwaters of the Karkheh River, located in the southwest of Iran and in the Zagros Mountain Range. Among the important areas in this region are the towns of Valiasr, Lowmar, and Kolm. The study area, with an area of 1131 km², is part of the Seymareh watershed, which starts from the confluence of the Seymareh and Cherdavel rivers in the north of Lowmar town in Ilam province and ends in the south at the Seymareh Dam (Figure 1). The long-term average annual rainfall and temperature at Lowmar station are 412.8 mm and 20.9°C, respectively.

Flood risk assessment

The FHI was used to identify areas vulnerable to flood risk. It is based on the MCDA of the AHP which considers eight hydrogeomorphic-climatic parameters including elevation, rainfall, slope, drainage network density (DND), distance from river (DFR), normalized difference vegetation index (NDVI), land use, and lithology (Abedini & Fathi, 2015). The selection of these factors was theoretically based on their relationship to flood risk. Each of the eight factors was classified based on the degree of impact on flood risk. The final flood risk map is prepared based on a combination of climatic and physical factors and elements (Esfandiari Darabad et al., 2021). Figure 2 presents a diagram of the steps involved in flood risk assessment.

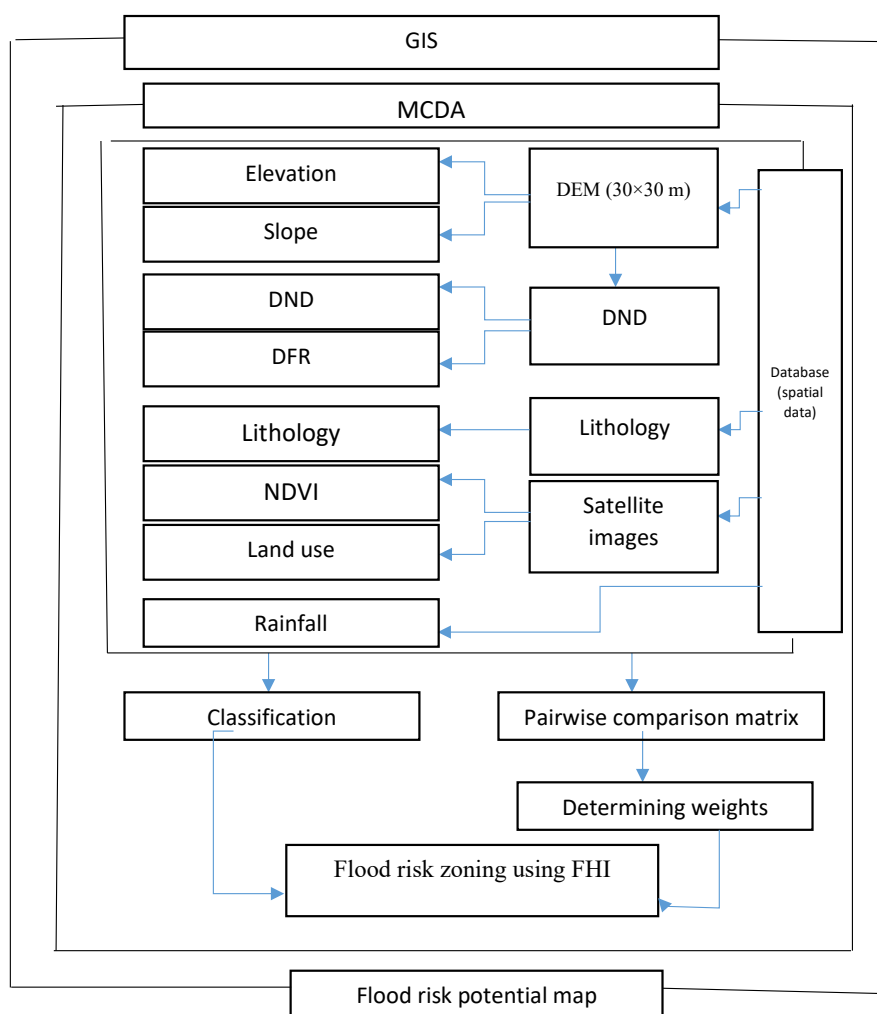


Figure 2. Schematic diagram of the steps involved in flood risk zoning

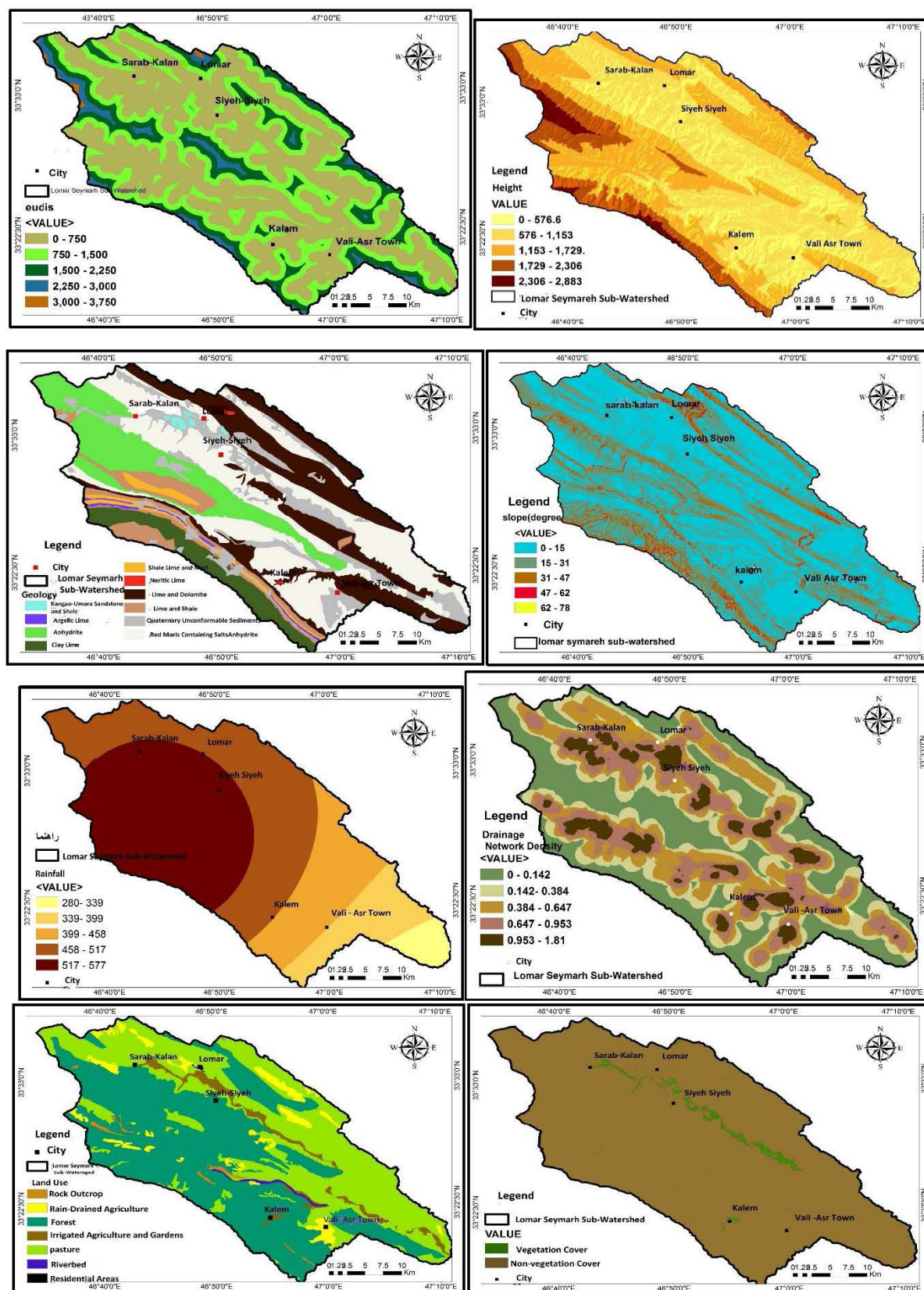


Figure 3. Spatial distribution of flood risk zoning factors

Distance from the river

The areas that are close to rivers are more prone to flooding in both normal and flash floods in the river basin, because water flows from higher elevations and accumulates at lower elevations. The areas close to other terrestrial water bodies, such as ponds, dams, and lakes, are also likely to be flooded in the event of heavy rains (Reager, 2014). The classification of DFR was estimated and performed using the Euclidean distance tool in the ArcGIS 10.3 environment and using a 1:50,000 scale topographic map (Figure 3).

Elevation

Elevation plays an important role in the spread and depth of floods in the downstream basin (Stieglitz et al., 1997). The elevation map of the study area was estimated from a digital elevation model (DEM) with a resolution of 30×30 m in the ArcGIS environment. The map is plotted in Figure 3, which shows that the highest elevation was in the northwest of the region.

Slope

Slope is an important indicator of a surface area that is highly susceptible to flooding (Regmi et al., 2010). A steeper slope indicates the influence of topography on flooding (Cai et al., 2021). Water flows from higher elevations to lower areas, so slope affects the amount of

surface runoff and infiltration (Rezaei Termehe et al., 2018). In this study, the slope map was prepared from the DEM. The map is shown in Figure 3, indicating that the highest slope was in the west of the area.

Land use

Land use directly or indirectly affects some hydrological factors such as runoff production, infiltration, and evapotranspiration (Rahmati et al., 2016). In other words, it can cause flooding in the basin by increasing the levels of barren land and similar uses, resulting in more water consumption and infiltration by increasing the levels of garden and similar uses, and plays an effective role in reducing discharge (Esfandiari Darabad et al., 2021; quoted by Rezaei Moghadam et al., 2014). In this study, land use maps were obtained from Landsat 8 satellite images (for 2021) using ArcGIS software (Figure 3) and supervised classification. For this study, land use types were divided into five different categories depending on the type of use.

Vegetation

Using Landsat 8 satellite images, a vegetation map was prepared in the ArcGIS environment (Figure 3), which was classified into areas with vegetation and without vegetation.

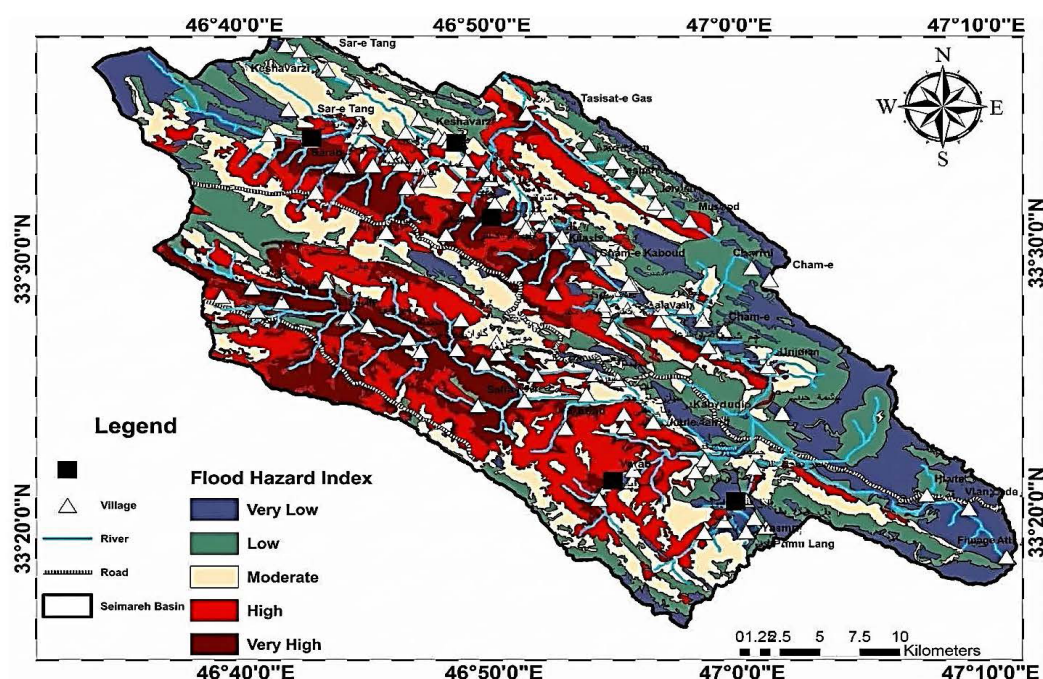


Figure 4. Flood risk map of the Lowmar sub-watershed

Table 1. Pairwise comparison matrix of flood risk zoning factors for AHP

Factors	Rainfall	Slope	Land Use	Lithology	DND	DFR	NDVI	Elevation
Rainfall	1	1.14	1.21	2.28	1.86	1.70	1	8.21
Slope	8.77	1	1.06	2	1.64	1.50	0.88	7.21
Land use	0.826	0.94	1	1.89	1.55	1.41	0.83	6.80
Lithology	0.439	0.50	0.53	1	0.82	0.75	0.44	3.60
DND	0.538	0.61	0.65	1.22	1	0.91	0.54	4.4
DFR	0.588	0.67	0.71	1.33	1.10	1	0.59	4.82
NDVI	1	14/1	1.21	2.27	1.85	1.70	1	8.21
Elevation	0.122	0.139	0.147	0.278	0.227	0.207	0.122	1

Table 2. Normalized pairwise comparison matrix of flood risk zoning factors

Factors	Rainfall	Slope	Land use	Lithology	DND	DFR	NDVI	Elevation
Rainfall	0.075	0.186	0.186	0.186	0.185	0.185	0.185	0.186
Slope	0.660	0.163	0.163	0.163	0.163	0.163	0.1630	0.163
Land use	0.062	0.153	0.154	0.154	0.154	0.154	0.154	0.154
Lithology	0.033	0.081	0.081	0.082	0.082	0.082	0.081	0.081
DND	0.041	0.099	0.099	0.099	0.100	0.099	0.100	0.099
DFR	0.044	0.109	0.109	0.108	0.109	0.109	0.109	0.109
NDVI	0.075	0.186	0.185	0.185	0.184	0.185	0.185	0.186
Elevation	0.009	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023

Rainfall

Rainfall is one of the most important factors affecting flood intensity (Adiat et al., 2012). Rainfall is the main source of surface runoff. The intensity and volume of channel discharge are largely controlled by rainfall (Hadrian et al., 2022). In this study, the rainfall map was prepared by using the meteorological data for a period of 20 years (2002-2022) obtained from the Sarabeleh and Lowmar synoptic stations. The map is shown in Figure 3, indicating that the highest rainfall occurred in the western part of the region.

DND

Flood runoff varies directly with the square of the DND. In other words, the higher the DND, the greater the flood runoff (Carlston, 1963). DND is defined as the ratio of the length of the drainage network (in kilometers) to the

catchment area (in square kilometers). In this study, the DND map was obtained from a 1:50,000 scale topographic map of the National Mapping Organization (Azadtab et al., 2019). For this study, DND types were divided into five different classes that correspond to drainage networks and their adjacent areas.

Lithology

In this study, the lithology map was prepared from the 1:50,000 scale lithology map of the Geological Survey of Iran data. The geology of the region was classified into 10 classes according to the characteristics of the region. The score of each class was evaluated based on expert opinion.

Relative weight assessment

The weight of the factors applied for flood risk zoning in the Lowmar sub-watershed was determined using the

Table 3. The RI and n values for calculating the CR

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Table 4. Percentage and area of flood risk zones in the Lowmar sub-watershed

Flood Risk	Area (km ²)	%
Very high	180.62	15.53
High	244.12	21.15
Moderate	26862.	25.48
Low	257.10	22.30
Very low	180.61	15.15
Total	1131.07	100

determine the weights of the main criteria and sub-criteria. This method helps all decision makers to weigh their opinions and rank complex criteria (Ikram et al., 2020).

The eight factors were hierarchically constructed in Table 1. The applied matrix was 8x8 and the diagonal elements were equal to 1. The normalized weights for flood risk factors are presented in Table 2. Rainfall, vegetation, slope, and land use were identified as the most relevant factors in the FHI.

There are two main AHP consistency tests: Consistency index (CI) and consistency ratio (CR). The CI is obtained as: $(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$; the closer the $\lambda_{\max}$ (maximum value of the comparison matrix) is to n, the better the consis-

AHP model. The AHP is one of the most comprehensive systems designed for decision-making with multiple criteria, because this technique allows the problem to be formulated hierarchically and considers various quantitative and qualitative criteria in the problem (Ghorbanzadeh et al., 2017). This technique analyzes and weights parameters and helps researchers make better decisions about flood management. This method is based on pairwise comparisons and allows for relative evaluation and prioritization of options (Kamaruzzaman et al., 2018; Chen, 2016). The steps of AHP include: problem and goal definition, hierarchy construction, pairwise comparisons, weight calculation, consistency analysis, and best decision selection (decisions with the highest weight). The AHP pairwise comparison method is often used to

Table 5. Areas prone to flooding and the recommended strategies

Areas with Flood Risk	Name of Areas	Strategies
Areas with very low flood risk	Villages : Cham Jangal, Ghazi Khan-e Olya, Kolm-e Payin, Cheshme Mahi Bala, Cheshme Mahi Payin, Darbid, Shahrake Valiasr, Shileh, Imamzadeh Jaber, Pir Michael, Meleh Che Shureh, Hasan Gavdari, Ramavand Bord Ghabale, Ramavand, Cham Cheragh; Kolm town	Strengthening infrastructure (such as hydrological stations and communication routes), restrictions on building in flood-prone areas, education and increasing awareness, research and development
Areas with high flood risk	Villages: Sarab-Kalan, Lorini Olya, Lorini Sefli, Chegeni, Lala, Heyvand, Panzdah-e Khordad, Abbas Abad, Fatemiyeh, Kureh Vand, Darvishan, Vargach, Sarkan, Shourab Khanali, Buzhan, Kakavand, Abzar, Torshak, Mian Rah-e Jaber, Pelk-e Shabab, Ganjeh, Meyl Ali, Mazraei Bord Sorkh, Sarab-Kolm, Chaman Gol, Zifal, Chalsar; Sarab-Kalan town, Lowmar town	Preventing the construction of communication roads in high-risk areas, restrictions on building in flood-prone areas, increasing vegetation cover, and strengthening land use planning
Areas with very high flood risk	Villages: Gurab-e Sefli, Negel, Gurab-e Olya, Baghleh, Sarab-e Gur Tuti, Dogar, Gavan, Talkhab, Khosh Ghadam, Kroza, Anar Har, Barik Ab, Cham Kabud, Pacol Gorab, Reza Abad, Chanar Bashi, Gahvareh, Darheleh; Sazbon dam facilities, and Siah-Siah town	Flood risk zoning, equipping hydrological and hydraulic infrastructure; regular monitoring of water flow, and estimating economic losses

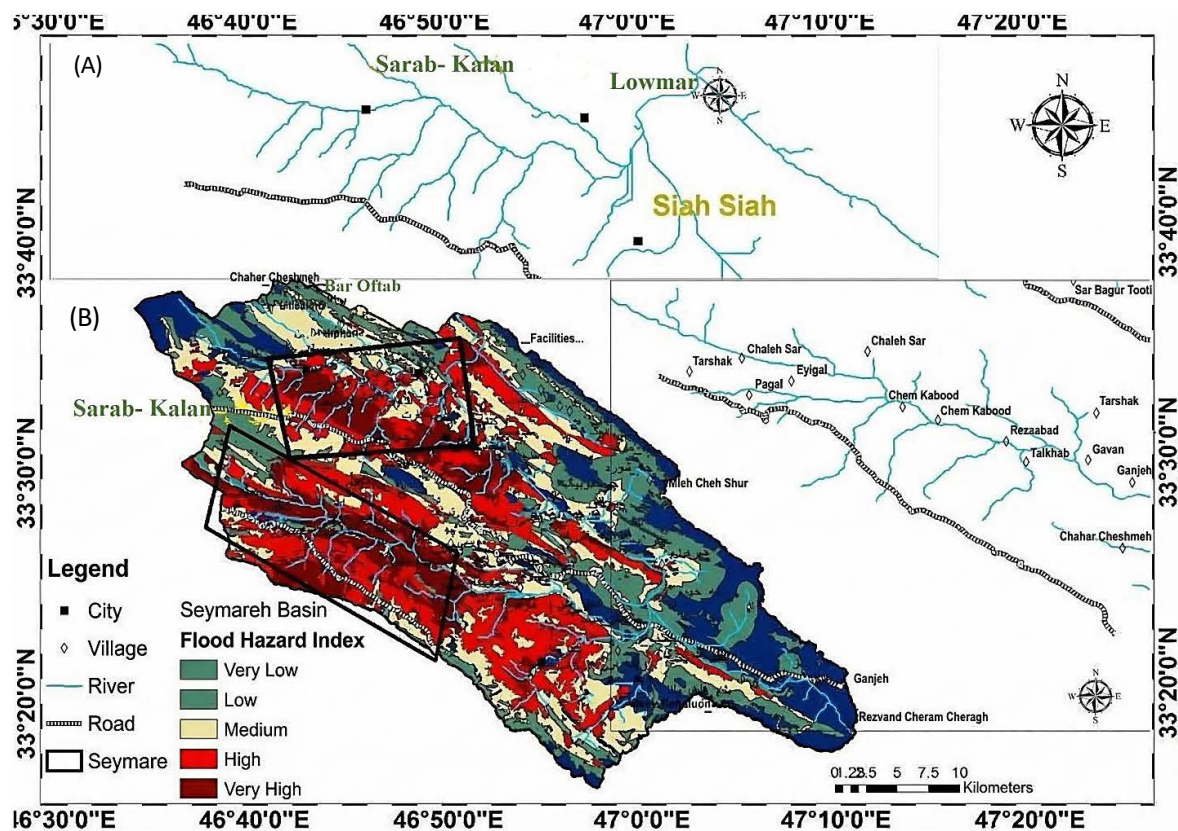


Figure 5. A) Map of Sarab-Kalan, Lowmar, and Siah-Siah towns that are at high and very high food risk, B) Roads in the western part of the Seymareh watershed, located in a high-flood risk area

15.53% at very low risk. The names of the different areas within each flood risk zone, along with the proposed measures, are listed in Table 5. Most of the flood-prone areas were located in the western part of the sub-watershed. in the Seymareh watershed, 45 of 111 villages (40.5%) and 3 towns were located in areas at high and very high flood risk, and roads in the western part of the watershed were located in areas with high flood risk (Figure 5). The results of this study are consistent with the findings of Eguaroje et al. (2018), given that important factors (average slope, annual rainfall, vegetation, and land use) had the greatest impact on flood risk severity.

Discussion

This study examined flood risk zoning in the Lowmar sub-watershed of Seymareh river by a combination of FHI and AHP methods in the GIS environment. More than 60% of the sub-watershed area had moderate to very high susceptibility to flooding, which is consistent with the results of other studies. Hatami Nejad et al. (2017) also reported that about 60% of the study area in Izeh County was at very high and high flood risk. This consistency indicates a common pattern of vulner-

tency and the smaller the CI value. The CR is obtained as CI/RI , where RI is the consistency index of a random matrix that randomly generates a cross-correlation matrix and is dependent on the order. When the order of n is larger, the value increases. When the CR value is ≤ 0.1 , the consistency of the matrix is acceptable (Chen, 2020). Table 3 provides the RI and n values used to calculate the CR. For eight factors, the λ_{max} was 8.897 and RI was 1.41. The CR was obtained as 0.09, which is less than 0.1; therefore, the consistency of the matrix was acceptable. The FHI was then calculated as Equation 1 :

$$1. \text{ FHI} = [0.172 \times (\text{rainfall})] + [0.224 \times (\text{slope})] + [0.142 \times (\text{land use})] + [0.075 \times (\text{Lithology})] + [0.092 \times (\text{DND})] + [0.101 \times (\text{DFR})] + [0.171 \times (\text{NDVI})] + [0.021 \times (\text{elevation})]$$

Results

Figure 4 shows the flood risk map of the Lowmar sub-watershed. The map illustrates five distinct classes of FHI, ranging from very low to very high, based on the AHP model. Based on the results presented in Table 4, 15.53% of the study area was at very high risk, 21.15% at high risk, 25.48% at moderate risk, 22.30% at low risk, and

ability in the Zagros mountainous regions, which are due to similar topographic, climatic, and hydrological characteristics. Rainfall, slope, lack of vegetation, and land use were the most important factors affecting flood risk in the region. These results are consistent with the findings of [Eguaroje et al. \(2015\)](#) who confirmed the key role of slope, rainfall, and vegetation in increasing flood risk. [Hosseini \(2021\)](#) also reached similar results in the Amughin watershed. The high weight of the slope parameter in our study is considerable because steep slopes in the western and central regions of the sub-watershed increase runoff velocity and reduce concentration time. [Cai et al. \(2021\)](#) also emphasized that elevation and steep slope indicate a strong influence of topography on flood occurrence. The concentration of high-risk areas in the western and central parts of the sub-watershed is consistent with the rainfall pattern, topography, and DND. Consistent with our results, the study by [Karymbalis et al. \(2021\)](#) and [Hosseini et al. \(2023\)](#)'s study in the Hamoon-Jazmurian watershed, showed that high-risk areas are located near the main waterways. The location of 40.5% of villages and three towns (Lowmar, Sarab-Kalan, and Siah-Siah) in high and very high risk areas indicates serious vulnerability of human settlements. This result is consistent with the findings of [Swain et al. \(2020\)](#) in Bihar, India, who reported 40.36% of the area was at high to very high flood risk.

The high weight of vegetation and land use in our study demonstrates the importance of land management in reducing flood risk. [Rezaei-Moghaddam et al. \(2015\)](#) also showed that changes in land use and land cover have a direct impact on the hydrological regime of the basin. Reduction in vegetation cover and increase in barren areas cause increased surface runoff and flooding. [Rahmati et al. \(2016\)](#) emphasized that land use directly or indirectly affects hydrological factors such as runoff production, infiltration, and evapotranspiration. Therefore, proper land use planning and increasing vegetation cover can play an important role in reducing flood risk. The increase in the frequency and severity of floods in recent years (2015, 2016, 2017, and 2018) in the Lowmar region is consistent with the global trend of climate change. [Pinos and Quesada-Román \(2022\)](#) reported that climate change has increased the occurrence of extreme rainfall events worldwide. The average annual rainfall of 412.8 mm at Lowmar station, along with the steep topography, provides favorable conditions for flash floods.

[Ikirri et al. \(2022\)](#) also used the FHI method for flood risk zoning in the Taguenit Wadi watershed, southern

Morocco, and suggested that this method is an efficient tool for flood risk zoning in case of lack of hydrometric data. However, it requires datasets with high resolution and accuracy, which may not be readily available. Additionally, this model does not consider social, economic, and cultural factors. However, information obtained from this model can help increase public awareness of flood risks and how to manage them. Therefore, it is advisable to utilize alternative models for flood risk zoning in watersheds. [Najafi and Karimi Kordabadi \(2020\)](#) used a hybrid AHP-FUZZY model that allows for consideration of uncertainty. [Habibnejad Roshan et al. \(2023\)](#) also used the AHP model, which better models the interrelationships between criteria. However, the simplicity and applicability of the FHI method in data-poor conditions make it a suitable tool for initial evaluation. Combining the FHI method with AHP in a GIS environment, as used in our study, is also an efficient method for flood risk zoning in data-poor conditions. However, to improve the accuracy and comprehensiveness of the assessment, future studies are recommended to use combined methods, hydraulic models, and hydrometric data, and that consider socio-economic factors.

Conclusion

In this study, flood risk zoning in the Lowmar sub-watershed within the Seymareh watershed in Illam Province, Iran, was performed using the FHI-MCDA method to determine the extent of flood-prone areas that should be considered in future land use plans. More than 60% of the sub-watershed area had moderate to very high susceptibility to flooding, especially in the central and western parts. Additionally, 45(40.5%) villages and three towns in the Seymareh watershed were found to be located in areas with high or very high flood risk. The roads in the western part of the Seymareh watershed were located in an area with high flood risk. Approximately 37% of the watershed area was classified as having a very low to low flood risk, primarily located in the southeast and north. The factors that most significantly affected flood risk severity were rainfall, slope, lack of vegetation, and land use. Topography could also be effective, considering the condition of the valleys and their effect on the spread of floods in the watershed.

The following recommendations are provided for reducing potential flood risks in the study area:

- Hydrometric data collection: Establishing hydrometric stations to collect accurate and up-to-date data that helps improve the accuracy of the FHI model



- Strengthening land use planning: Using the results of this study in land use design and planning, especially in areas at risk, to reduce damage

- Increasing vegetation cover: Implementing programs to increase vegetation cover can help reduce the negative effects of rainfall and floods

- Education: Conducting educational courses for local communities about flood risks and preventive measures to increase their awareness

- Research and development: Invest in further research to improve flood prediction models and better understand the factors affecting their occurrence

Economic loss estimation: Accurate assessment of economic losses caused by floods for better planning and damage reduction.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered in this study.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.



مقاله پژوهشی

پهنه‌بندی خطر سیل در زیر حوزه آبریز لومار سیمره با استفاده از روش شاخص خطر سیل (FHI)

اسماعیل نجفی^۱، فرزانه غلامی^۲، اعظم غلامی^۳

۱. گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران.

۲. گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

۳. گروه جامعه‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

**Citation** Najafi, E., Gholami, F., & Gholami, A. (2025). Flood Risk Zoning Using the Flood Hazard Index: Case Study of Lowmar Sub-watershed of Seymareh, Ilam Province, Iran. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 15(3):266-291. <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.3.292.2> <https://doi.org/10.32598/DMKP.15.3.292.2>

چکیده

زمینه و هدف: در دهه اخیر، تغییرات اقلیمی باعث افزایش وقوع رویدادهای شدید بارندگی در سراسر جهان شده است که به سیلاب‌های ناگهانی و مخرب منجر شده‌اند. سی، به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی، تأثیرات گسترده‌ای بر زندگی انسان‌ها، زیرساخت‌ها، محیط زیست و اقتصاد جوامع دارد. زیرحوزه آبریز لومار سیمره، واقع در جنوب غربی ایران و در مرز استان‌های لرستان و ایلام، به‌دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خاص، به‌عنوان یکی از مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیلاب‌ها شناخته می‌شود. این پژوهش با هدف شناسایی پهنه‌ها و مناطق سیل‌خیز در این زیرحوزه و ارائه راهکارهایی برای کاهش خطرات ناشی از سیلاب انجام شده است.

روش: این پژوهش از نوع کاربردی و با رویکرد توصیفی-تحلیلی انجام شده است. پهنه‌های سیلابی زیرحوزه لومار سیمره با استفاده از روش شاخص خطر سیل (FHI) و با در نظر گرفتن هشت پارامتر هیدروژئومورفو-اقلیمی مؤثر شامل ارتفاع، شیب، تراکم شبکه زهکشی، فاصله از رودخانه‌ها، کاربری زمین، زمین‌شناسی، بارش و پوشش گیاهی، مورد بررسی قرار گرفته است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تعیین وزن هریک از پارامترها، از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. داده‌های موردنیاز از طریق تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و داده‌های هواشناسی جمع‌آوری و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پردازش شده‌اند.

یافته‌ها: مهم‌ترین عوامل مؤثر بر خطر سیلاب در این حوزه شامل شیب، بارش، پوشش گیاهی و نوع کاربری اراضی هستند. پس از ترکیب نقشه پارامترهای مختلف، نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب تهیه و در پنج دسته ریسک بسیار زیاد، زیاد، متوسط، پایین و بسیار پایین طبقه‌بندی شد. نتایج نشان می‌دهد بیش از ۶۰ درصد از سطح حوزه در محدوده حساسیت متوسط تا بسیار بالا نسبت به سیلاب قرار دارد که با بخش‌های مرکزی و غربی حوزه مطابقت دارد. همچنین، ۴۰/۵ درصد از روستاهای این ناحیه و شهرهای لومار، سراب کلان و سیه‌سیه در مناطق با ریسک سیل‌خیزی بالا و بسیار بالا واقع شده‌اند. جاده‌های بخش غربی حوزه نیز در معرض خطر سیلاب قرار دارند و نیازمند اقدامات پیشگیرانه و مدیریتی هستند.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش بر لزوم برنامه‌ریزی شهری و مدیریت ریسک سیلاب در زیرحوزه لومار سیمره تأکید می‌کند. با توجه به اینکه بیش از ۶۰ درصد از سطح حوزه در معرض خطر سیلاب متوسط تا بسیار بالا قرار دارد، ضروری است که اقدامات پیشگیرانه و مدیریتی در این مناطق به‌طور جدی پیگیری شود. این اقدامات شامل تقویت زیرساخت‌ها، بهبود برنامه‌ریزی کاربری اراضی، افزایش پوشش گیاهی و آموزش جوامع محلی برای مقابله با سیلاب است. همچنین نتایج این مطالعه می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای علمی برای تصمیم‌گیری‌های آینده در راستای کاهش خطرات و خسارات ناشی از سیلاب‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی سیلاب، پارامترهای هیدروژئومورفو-اقلیمی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، زیرحوضه لومار سیمره

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۹ آذر ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۲۷ بهمن ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۰۹ مهر ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

فرزانه غلامی

نشانی: اصفهان، دانشگاه اصفهان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، گروه ژئومورفولوژی.

تلفن: ۰۶۰۲۰۵۲ (۹۹۳) +۹۸

پست الکترونیکی: gholami.fff@gmail.com

Copyright © 2025 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه

طی دهه‌های گذشته سیل به‌عنوان شایع‌ترین بلای طبیعی در سراسر جهان در نظر گرفته می‌شود که پیامدهای زیست محیطی و اجتماعی-اقتصادی زیادی را در دشت سیل زده به همراه داشته است (حیدری، ۱۳۹۲) که به‌طور فزاینده‌ای بر زندگی مردم و فعالیت‌های آن‌ها تأثیر می‌گذارد. در دهه‌های اخیر، جهان تحت تأثیر سیل‌های شدید قرار گرفته است (پینوس و کسادا-رومان، ۲۰۲۲). برخی از مرگبارترین سیل‌ها در چین (۱۸۸۷، ۱۹۳۱، ۱۹۳۵)، گواتمالا (۱۹۴۹)، بنگلادش (۱۹۷۴)، ونزوئلا (۱۹۹۹)، ایران (۱۹۵۴)، هند (۲۰۱۳)، ژاپن (۱۹۵۳)، و پرو (۱۹۴۱) رخ داده است (میلیم و فارنزورث، ۲۰۱۱).

براساس جغرافیای طبیعی کشور ایران، عدم توجه به اثرات سوء ناشی از سیلاب، می‌تواند خسارات جانی و مالی جبران‌ناپذیری را بر جای گذارد که در این میان رخداد سیلاب ناشی از بارش، یکی از چالش‌برانگیزترین موضوعات است (اصلاتی و مهدی‌پور، ۱۳۹۴). این بلایای طبیعی را می‌توان با استفاده از فناوری‌های مدرن و سیستم‌های اطلاعاتی به‌درستی رصد کرد (جوردان و همکاران، ۲۰۱۸). سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS)، سنجش از دور^۲ (RS) و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، تکنیک‌ها و روش‌هایی را برای حل مسائل پیچیده پیشنهاد می‌کنند که معیارهای آن‌ها اغلب قابل مقایسه نیستند (پهلوانی و همکاران، ۲۰۱۷).

سیل به‌عنوان یک مخاطره ژئومورفیک، افزایش ناگهانی در میزان آب است که مقدار آن بیش از ظرفیت کانال رودخانه است. این افزایش ناگهانی در مقدار آب، طغیانی شدن رودخانه را به دنبال دارد که باعث می‌شود آب از بستر اصلی خود خارج شده و در دشت‌های سیلابی و زمین‌های اطراف رودخانه جریان پیدا کند. خروج آب از بستر اصلی و جریان یافتن آن در زمین‌های اطراف باعث وارد آمدن خسارات زیادی به مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی شده و سلامت مردم را به خطر می‌اندازد (رضائی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). پهنه‌بندی خطر سیل یک فرآیند مهم در مدیریت منابع آب و پیشگیری از آسیب‌های ناشی از سیل است. این فرآیند شامل شناسایی مناطق مستعد سیل و ارزیابی خطرات مرتبط با آن می‌شود تا بتوان برنامه‌ریزی‌های مناسب برای کاهش آسیب‌ها و افزایش تاب‌آوری جوامع انجام داد. روش شاخص خطر سیل (FHI)^۳ یک ابزار کاربردی و سیستماتیک برای ارزیابی و مدیریت خطرات ناشی از سیل است. این روش به تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا مناطق با ریسک بالای سیل را شناسایی کنند و اقدامات پیشگیرانه و مدیریتی مناسب را طراحی کنند.

در ارتباط با موضوع و روش پژوهش، تحقیقات مرتبط در ایران انجام شده است که می‌توان پژوهش‌های (عابدینی و فتحی، ۱۳۹۴؛ قربان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ عزیزی و همکاران، ۱۴۰۰؛ اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۴۰۰؛ میرزایی و همکاران، ۱۴۰۴) را نام برد.

حاتمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۴ (AHP) و ۱۱ شاخص شامل آبخوان‌ها، اقلیم، پوشش گیاهی، ارتفاع، خاک‌شناسی، فاصله از شبکه آبراهه‌ها، سازندهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تبخیر، بارش و دما، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به پهنه‌بندی ریسک سیل در شهرستان ایزد پرداختند. نتایج نشان داد حدود ۶۰ درصد از منطقه مورد مطالعه در خطر سیل خیلی زیاد و زیاد واقع شده است. **نجفی و کریمی‌کردآبادی (۱۳۹۹)**، به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY با تأکید بر امنیت شهری پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد پهنه‌های خطر خیلی کم، خطر کم و متوسط در شمال و مرکز محدوده مورد مطالعه قرار دارند و پهنه‌های خطر خیلی زیاد و زیاد، منطبق بر نقاط خروجی حوزه‌ها و در محدوده شهری منطقه قرار دارند.

حسینی (۱۴۰۰) با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و شاخص‌های مؤثر بر سیلاب شامل شیب، شماره منحنی، فاصله از رودخانه، توان فرسایش آبراه، شاخص رطوبت پستی‌بلندی، جهت شیب، بارندگی و ارتفاع به پهنه‌بندی سیلاب در آبریز عموقین، استان اردبیل پرداخته شد. نتایج آن نشان داد ۶۴ درصد از منطقه سیل‌خیزی بالایی دارد. در تحقیقی دیگر **حبیب نژاد روشن و همکاران (۱۴۰۲)** با مدل AHP و شاخص‌های مؤثر بر سیلاب به شناسایی مناطق با سیل‌خیزی بالا در حوزه آبریز کارون پرداختند. نتایج نشان داد حدود ۱۰ درصد از حوزه در منطقه با سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد واقع شده است.

حسینی و همکاران (۱۴۰۲) در حوضه آبریز هامون- جازموریان با مدل فازی و AHP و ۱۳ شاخص مؤثر بر سیل شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای توپوگرافی، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، بارندگی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت جریان و نوع خاک به ارزیابی مخازرات سیل پرداختند. نتایج تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد مناطق مخاطره‌آمیز در نزدیک آبره‌های اصلی واقع شده است.

دانش‌پرو و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فرآیند شبکه تحلیلی^۵ (ANP) به پهنه‌بندی

1. Geographic Information System (GIS)
2. Remote Sensing (RS)
3. Flood Hazard Index (FHI)

4. Analytical Hierarchy Process (AHP)
5. Analytic Network Process (ANP)

بسیار زیاد بوده است.

کاریمبالیس و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) و سیستم اطلاعات جغرافیایی به پهنه‌بندی خطرات سیل در حوزه آبریز مگالو رما^{۱۶} واقع در شرق آتیکا^{۱۷} پرداختند. نتایج حاکی از آن است حدود ۲۲/۷ درصد از کل مساحت حوزه آبریز متعلق به منطقه پرخطر سیل و حدود ۱۵ درصد از حوزه، در معرض خطر سیل بسیار زیاد واقع شده بود. **ایگیری و همکاران (۲۰۲۲)** به پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از روش شاخص خطر سیل (FHI) در محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی GIS براساس تحلیل چند معیاره و با در نظر گرفتن هفت پارامتر در حوزه تاگنیت^{۱۸}، واقع در جنوب مراکش پرداختند. نتایج نشان داد حدود ۲۸/۶۷ درصد در مناطق با ریسک بسیار زیاد، زیاد و حدود ۴۰ درصد در مناطق ریسک پایین‌تر و بسیار پایین‌تر واقع شده‌اند. مطالعات مذکور، مؤید استفاده و به‌کارگیری روش (AHP) و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شناسایی مناطق مستعد سیل را نشان می‌دهند. این مطالعات به‌طور کلی اهمیت ایجاد نقشه‌های خطر سیلاب برای مدیریت و کاهش خسارات سیلابی را تأکید می‌کنند.

حوزه آبریز سیمره در جنوب غربی کشور واقع شده است و به‌صورت متناوب درگیر بارش‌های شدید است و از لحاظ توپوگرافی هم از نواحی مستعد سیل است. این حوزه در استان ایلام در سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ دچار سیل شد. خسارت زیادی به زیرساخت‌ها و مناطق مسکونی روستایی وارد شد. لومار به‌عنوان بخشی از حوزه آبریز سیمره، با چالش‌های اقلیمی از جمله بارش‌های شدید و افزایش دما مواجه است. این تغییرات می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر زندگی ساکنان محلی، کشاورزی و زیرساخت‌ها داشته باشد. بنابراین برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب و کاهش خطرات ناشی از سیل‌های ناگهانی در این منطقه ضروری است. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در زیرحوزه آبریز لومار سیمره و ارائه یک نقشه خطر سیلابی جامع است که از روش شاخص خطر سیلاب (FHI) و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولین بار در این حوزه استفاده شده است، زیرا ترکیب FHI با MCDA برای شرایط جغرافیایی و اقلیمی خاص منطقه طراحی شده است. تاریخچه سیل‌های شدید در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ که خسارات فراوانی را به همراه داشتند، نشان‌دهنده اهمیت این پژوهش است. این پژوهش با تأکید بر حوزه آبریز لومار، نیازهای خاص این منطقه را پوشش می‌دهد و به کاربردهای عملی و نتایج مناسبی در زمینه مدیریت خطر سیل می‌پردازد.

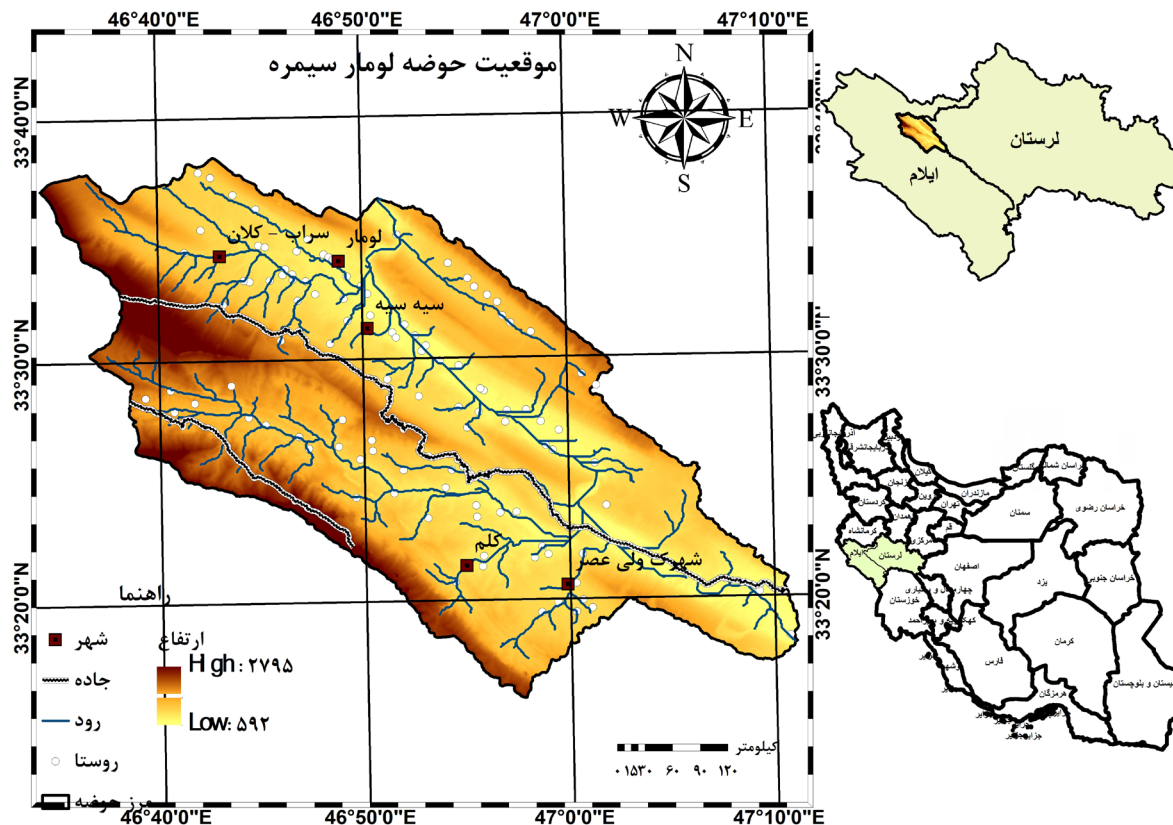
خطرات سیل حوزه سد سبلان^۶ در استان اردبیل^۷ پرداختند. نتایج نشان داد در هر دو روش عوامل ارتفاع و شیب بیشترین تأثیر و تعداد منحنی و فاصله تا عوامل رودخانه کمترین اثر داشت. همچنین **حسن‌لو و همکاران (۲۰۱۹)** در شهرستان مانه و سملقان^۸ در استان خراسان شمالی به پهنه‌بندی خطر سیلاب پرداختند.

نیارکو (۲۰۰۰) جهت تعیین مناطق خطر سیل در آکرا و اطراف آن (از بوتیانور تا ساکومو و جیمز تاون تا اوپاریفا امتداد دارد)، یک مدل هیدرولوژیکی (مدل منطقی اصلاح‌شده) با روش عملیات همپوشانی حساسی در نرم‌افزار GIS ادغام کرد. نتایج نشان داد منطقه پرخطر سیل ۳۵/۶۶ درصد و منطقه کم‌خطر ۲۶/۸۵ درصد را دربر گرفت. **سامانتا و همکاران (۲۰۱۶)** با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) به تجزیه و تحلیل خطر سیل در بخش پایینی رودخانه مارکهام^۹ در استان موروب^{۱۰}، پاپوا گینه نو^{۱۱} پرداختند. نتایج نشان داد MCDA در تکنیک‌های GIS در تجزیه و تحلیل دقیق و قابل اعتماد خطر سیل و نقشه‌برداری بسیار مفید است. **سیجتا و همکاران (۲۰۱۷)** با استفاده از تحلیل مکانی در محیط GIS با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به ارزیابی مناطق مخاطره‌آمیز سیل در استان سوکوتای تایلند پرداختند. نتایج آن نشان داد مناطق موانگ، کنگکریلات، خریمت و سیسامرونک^{۱۲} به‌عنوان مناطق پرخطر سیل شناخته شدند.

اکوگدالی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل WMS و FHI به نقشه‌برداری سیل حوزه الماله^{۱۳} واقع در جنوب شرقی مراکش^{۱۴} پرداختند. نتایج آن نشان داد مدل WMS به ما این امکان را می‌دهد تا مناطق خطر سیل را با ارتفاع دقیق سیل در سطوح مختلف به‌طور دقیق نقشه‌برداری کنیم، تنها برای بخش کوچکی از حوزه واقع در پایین دست ایستگاه هیدرولوژیکی قابل استفاده بود. **اسوین و همکاران (۲۰۲۰)** در تحقیقی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از راه دور (RS) و نرم‌افزار Google Earth Engine به بررسی منطقه سیل خیز بیهار، هند^{۱۵} پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین شاخص سیل‌زایی به ترتیب عوامل هیدرولوژیکی (۰/۴۹۷) و انسانی (۰/۰۳۷) تعلق گرفت و حدود ۱۲ درصد از منطقه دارای حساسیت سیلابی بسیار پایینی و حدود ۴۰/۳۶ درصد از منطقه دارای حساسیت به سیل زیاد تا

6. Sabalan
7. Ardabil
8. Maneh and Samalghan
9. Markham
10. Morobe
11. Papua New Guinea
12. Muang, Kongkraitat, Khirimat and Sisamrong
13. El Male
14. Morocco
15. Bihar, India.

16. Megalo Rema
17. Attica
18. Taguenit



تصویر ۱. موقعیت جغرافیایی زیر حوزه لومار سیمره

روش

معرفی محدوده مورد مطالعه

(تصویر شماره ۲). نقشه نهایی خطر سیل خیزی بر پایه ترکیبی از عوامل و عناصر اقلیمی و فیزیکی تهیه شد (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۴۰۰).

فاصله از رودخانه

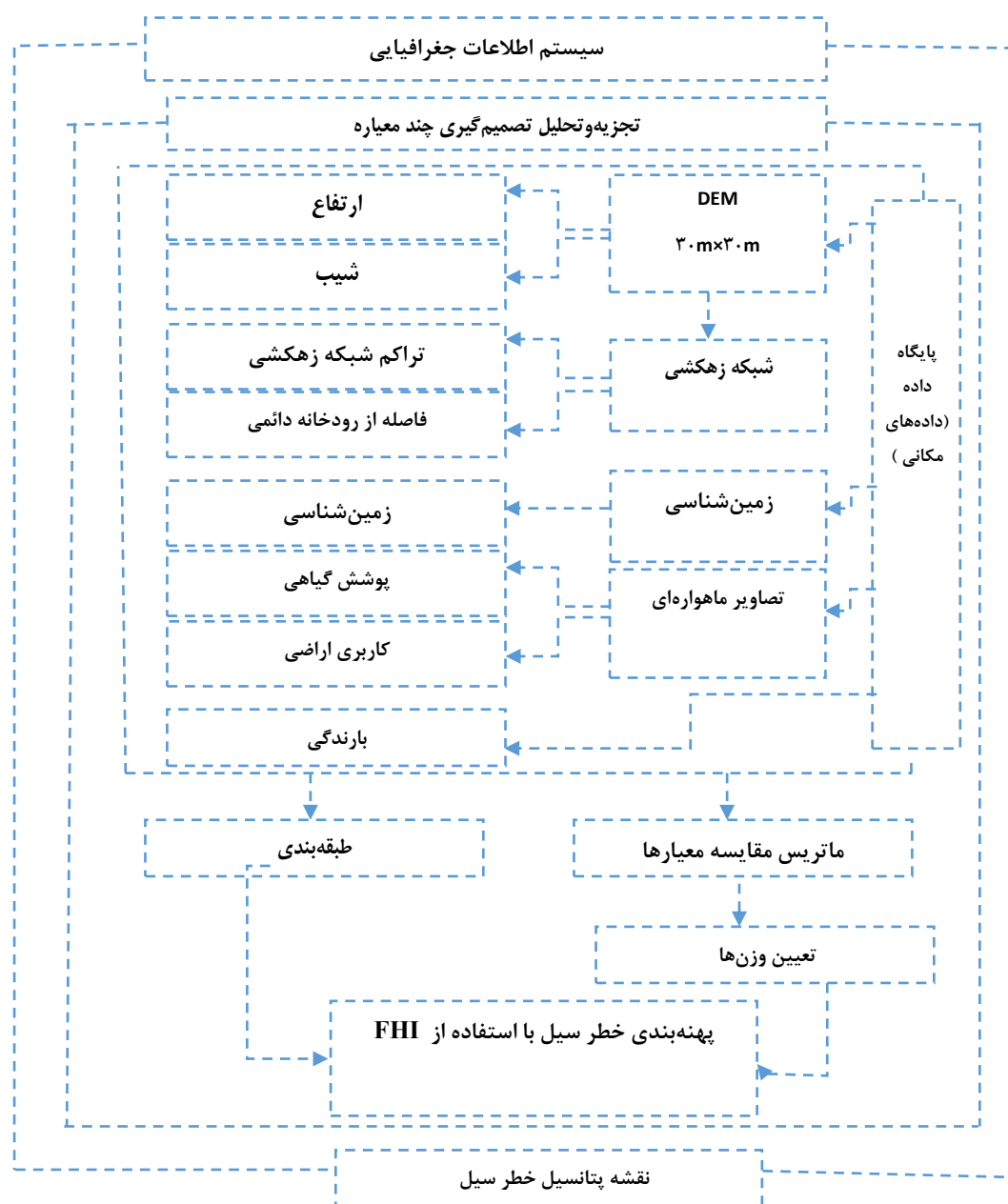
به طور کلی، منطقه‌ای که نزدیک به رودخانه‌ها است، در هر دو حالت سیل معمولی و سیلاب ناگهانی در حوزه رودخانه بیشتر مستعد سیل است، زیرا آب از ارتفاعات بالاتر جریان می‌یابد و در ارتفاعات پایین‌تر تجمع می‌یابد. نواحی نزدیک به سایر آب‌های زمینی مانند حوضچه‌ها، سدها و دریاچه‌ها نیز احتمالاً در صورت بارندگی‌های شدید دچار سیل می‌شوند (ریجر، ۲۰۱۴). طبقه‌بندی «فاصله از رودخانه‌ها» با استفاده از ابزار «فاصله اقلیدسی» در محیط نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۵۰۰۰۰ برآورد و انجام شد. در تصویر شماره ۳ نقشه آن نمایش داده شده است.

ارتفاع

ارتفاع نقش مؤثری در گسترش و عمق سیل در حوزه پایین دست دارد (استیگلیتز و همکاران، ۱۹۹۷). نقشه ارتفاعی منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با وضوح ۳۰ متر × ۳۰ متر در محیط نرم‌افزار ArcGIS برآورد شد. در تصویر

حوزه آبریز سیمره یکی از سرشاخه‌های پایاب رودخانه کرخه است که در جنوب غرب کشور و در سلسله جبال زاگرس واقع شده است. از مناطق مهم منطقه مورد مطالعه، می‌توان شهرک ولیعصر، شهرک لومار و کلم نام برد. منطقه مورد مطالعه به مساحت ۱۱۳۱ کیلومتر مربع بخشی از حوزه آبریز سیمره است که از نقطه تلاقی رودخانه سیمره و چرداول در شمال شهرک لومار آغاز شده و در جنوب به سد سیمره منتهی می‌شود (تصویر شماره ۱). میانگین بارندگی و دمای بلندمدت سالانه ایستگاه لومار به ترتیب ۴۱۲/۸ میلی‌متر و ۲۰/۹ سانتی‌گراد است.

شاخص خطر سیل (FHI) برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر خطر سیل در نظر گرفته شده است. (FHI) براساس تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است که سهم وزن ۸ پارامتر هیدروژئومورفواقلیمی را در نظر می‌گیرد. عواملی مانند ارتفاع، بارندگی، شیب، تراکم شبکه زهکشی (DND)، فاصله از رودخانه‌ها (DFR)، پوشش گیاهی، کاربری زمین و زمین‌شناسی (عابدینی و فتحی، ۱۳۹۴). انتخاب این عوامل از لحاظ نظری براساس ارتباط آن‌ها با خطر سیل است



تصویر ۲. نمودار شماتیک مراحل انجام پهنه‌بندی خطر سیل در زیر حوزه آبریز لومار سیمره

رضوی ترمه و همکاران، (۱۳۹۶). نقشه شیب به‌صورت درجه با استفاده از DEM منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. در تصویر شماره ۳ نقشه آن نمایش داده شده است و بیشترین میزان شیب در غرب منطقه است.

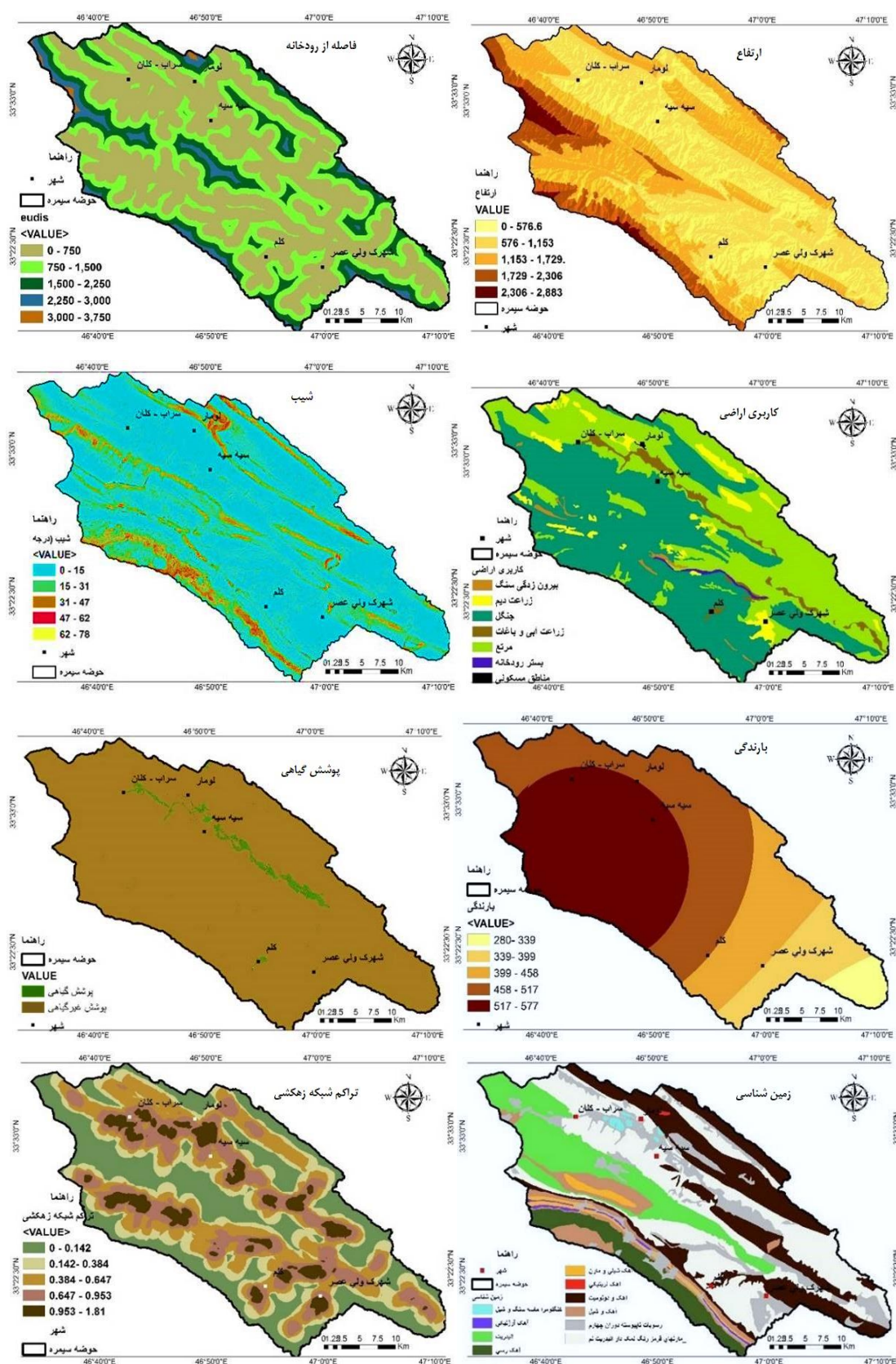
کاربری زمین

کاربری اراضی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر برخی عوامل هیدرولوژیکی مانند تولید رواناب، نفوذ و تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۴). تغییرات کاربری

شماره ۳ نقشه آن نمایش داده شده است و بیشترین ارتفاع در شمال غربی منطقه است.

شیب

شیب یک شاخص مهم از یک ناحیه سطحی است که به‌شدت مستعد سیل است (رگمی و همکاران، ۲۰۱۰). ارتفاع و شیب تندتر نشان‌دهنده تأثیر توپوگرافی بر سیل است (کای و همکاران، ۲۰۲۱). آب از ارتفاعات به سمت مناطق پایین‌تر جریان می‌یابد، بنابراین شیب بر میزان رواناب سطحی و نفوذ تأثیر می‌گذارد



تصویر ۴. توزیع مکانی عوامل ارزیابی سیل در حوزه لومار: فاصله از رودخانه (شبکه زهکشی)، ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، بارندگی، تراکم شبکه زهکشی، زمین شناسی

کارشناسان ارزیابی شد. هریک از هشت عامل براساس میزان تأثیر بر خطر سیل، طبقه‌بندی شدند. مقادیر هر طبقه براساس نظرات کارشناسان تعیین شد.

وزن نسبی عوامل

وزن عوامل اعمال شده در زیر حوزه لومار سیمره با استفاده از مدل AHP تعیین شد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد (قربانزاده و همکاران، ۱۳۹۶). این تکنیک به تجزیه و تحلیل و وزن دهی به پارامترها می‌پردازد و به پژوهشگران کمک می‌کند تا تصمیم‌گیری‌های بهتری در هنگام مدیریت سیل انجام دهند. این روش مبتنی بر مقایسه‌های زوجی است و امکان ارزیابی نسبی و اولویت‌بندی گزینه‌ها را فراهم می‌کند (کاماروزمان و همکاران، ۲۰۱۸؛ چن، ۲۰۱۶). مراحل AHP شامل موارد تعریف مشکل و هدف، ساخت سلسله مراتب، مقایسات زوجی، محاسبه وزن‌ها، تحلیل سازگاری و در نهایت، گزینه با بالاترین امتیاز براساس وزن‌ها (انتخاب بهترین گزینه) انتخاب می‌شود. اساساً از روش مقایسه زوجی AHP برای تعیین وزن معیارها و زیرمعیارهای اصلی استفاده می‌شود. این روش به همه تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا نظرات خود را بررسی و معیارهای پیچیده را رتبه‌بندی کنند (اکرام و همکاران، ۲۰۲۰).

ماتریس اعمال شده به ابعاد $n \times n$ است و عناصر مورب برابر با ۱ هستند. فاکتورها به صورت سلسله مراتبی در جدول شماره ۱ ساختار یافته‌اند. وزن‌های نرمال شده برای عوامل سیل در جدول شماره ۲ ارائه شده است. میانگین ردیف‌های ماتریس نرمال شده نشان‌دهنده وزن مربوطه هر عامل است. بارش و پوشش گیاهی و شیب و کاربری اراضی به ترتیب به عنوان مرتبط‌ترین عامل در شاخص FHI شناخته شدند.

دو آزمون اصلی سازگاری AHP وجود دارد: یکی آزمون شاخص سازگاری (CI) و دیگری آزمون نسبت سازگاری (CR).

(۱) تست CI

CI به معنای $(\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ است که هرچه مقدار λ_{max} به n نزدیک‌تر باشد، قوام بهتر و مقدار CI کوچک‌تر است.

(۲) تست CR

CR به معنای CI / RI است که در آن RI یک شاخص سازگاری و تصادفی است که به طور تصادفی یک ماتریس متقابل ایجاد می‌کند و تحت تأثیر ترتیب قرار می‌گیرد. وقتی مرتبه n بزرگ‌تر باشد، مقدار افزایش می‌یابد. زمانی که مقدار CR برابر یا کمتر از

و پوشش اراضی تأثیر مستقیمی بر تغییر رژیم هیدرولوژیکی حوضه دارد. به عبارتی می‌تواند با افزایش سطوح زمین‌های بایر و کاربری‌های مشابه آن باعث سیل‌خیزی حوضه شده، با افزایش سطوح کاربری باغ و کاربری‌های مشابه آن باعث مصرف و نفوذ بیشتر آب شود و بر کاهش دبی، نقش مؤثری داشته باشد (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۴۰۰) به نقل از (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۳) در این پژوهش برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (در سال ۲۰۲۱) با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و طبقه‌بندی نظارت‌شده استخراج شده است. برای این مطالعه انواع کاربری زمین بسته به نوع کاربری به پنج دسته مختلف تقسیم شدند.

پوشش گیاهی

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ نقشه پوشش گیاهی در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد که به مناطق پوشش گیاهی و غیرپوشش گیاهی طبقه‌بندی شد.

بارندگی

بارندگی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شدت سیل است (آدیات و همکاران، ۲۰۱۲). بارندگی منبع اصلی رواناب سطحی است. شدت و حجم تخلیه کانال تا حد زیادی توسط بارندگی کنترل می‌شود (هادیان و همکاران، ۱۴۰۰). در این مطالعه از داده‌های هواشناسی ۲۰ ساله (۱۳۸۱-۱۴۰۱) از ایستگاه‌های سینوپتیک سرابله و لومار استفاده شد. در تصویر شماره ۳ نقشه آن نمایش داده شده و بیشترین بارندگی در غرب منطقه است.

فاصله از شبکه زهکشی

رابطه بین تراکم زهکشی و رواناب سیلاب نشان می‌دهد رواناب سیلاب به طور مستقیم با مربع تراکم زهکشی تغییر می‌کند. تراکم زهکشی به عنوان نسبت طول شبکه زهکشی (برحسب کیلومتر) به مساحت حوزه (برحسب کیلومتر مربع) تعریف می‌شود. به عبارت دیگر، هرچه تراکم زهکشی بیشتر باشد، میزان رواناب سیلاب نیز به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد (کارلستون، ۱۹۶۳). نقشه تراکم شبکه زهکشی با استفاده از نقشه توپوگرافی رقومی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه گردید (آزاد طلب و همکاران، ۱۳۹۹). برای این مطالعه انواع تراکم زهکشی به پنج دسته مختلف تقسیم شد که منطبق بر شبکه‌های زهکشی و مناطق مجاور آن‌ها است.

زمین‌شناسی

از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده گردید. زمین‌شناسی منطقه با توجه به ویژگی‌های منطقه به ۱۰ کلاس طبقه‌بندی شد که امتیاز هر کلاس براساس نظر



جدول ۱. ماتریس مقایسه زوجی عوامل مؤثر بر سیل برای λ_{max} PHA حداکثر مقدار ماتریس مقایسه، IR شاخص های تصادفی، RC نسبت سازگاری (منبع: یافته‌های پژوهش)

عوامل	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
بارش	۱	۱/۱۴	۱/۲۱	۲/۲۸	۱/۸۶	۱/۷۰	۱	۸/۲۱
شیب	۸/۷۷	۱/۰۰	۱/۰۶	۲	۱/۶۴	۱/۵۰	۰/۸۸	۷/۲۱
کاربری ارضی	۰/۸۲۶	۰/۹۴	۱	۱/۸۹	۱/۵۵	۱/۴۱	۰/۸۳	۶/۸۰
زمین شناسی	۰/۴۳۹	۰/۵۰	۰/۵۳	۱	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۴۴	۳/۶۰
تراکم زهکشی	۰/۵۳۸	۰/۶۱	۰/۶۵	۱/۲۲	۱	۰/۹۱	۰/۵۴	۴/۴
فاصله از رودخانه	۰/۵۸۸	۰/۶۷	۰/۷۱	۱/۳۳	۱/۱۰	۱	۰/۵۹	۴/۸۲
پوشش گیاهی	۱	۱/۱۴	۱/۲۱	۲/۲۷	۱/۸۵	۱/۷۰	۱	۸/۲۱
ارتفاع	۰/۱۲۲	۰/۱۳۹	۰/۱۴۷	۰/۲۷۸	۰/۲۲۷	۰/۲۰۷	۰/۱۲۲	۱

۰/۱ باشد، ثبات این ماتریس قابل قبول است (جدول شماره ۳)
(چن، ۲۰۲۰).

برای هشت عامل، حداکثر مقدار ماتریس مقایسه (λ_{max}) ۸/۸۹۷ و نسبت سازگاری ۰/۰۹، شاخص تصادفی ۱/۴۱ است. از آنجایی که مقدار $CR=0.09$ که کمتر از آستانه (۰/۱) است، ثبات وزن‌ها ثابت است هشت عامل انتخاب شده به صورت خطی با وزن آن‌ها روی هم قرار گرفتند قبلاً محاسبه شده است. شاخص خطر سیل با استفاده از فرمول شماره ۱ محاسبه شد.

۱.

$FHI = (0.172 \times \text{بارش}) + (0.224 \times \text{شیب}) + (0.142 \times \text{کاربری ارضی}) + (0.075 \times \text{زمین شناسی}) + (0.092 \times \text{تراکم شبکه}$

جدول ۲. ماتریس نرمال مقایسه زوجی (منبع: یافته‌های پژوهش)

عوامل	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
بارش	۱	۰/۷۵	۰/۱۸۶	۰/۱۸۶	۰/۱۸۶	۰/۱۸۵	۰/۱۸۵	۰/۱۸۶
شیب	۰/۶۶۰	۱	۰/۱۶۳	۰/۱۶۳	۰/۱۶۳	۰/۱۶۳	۰/۱۶۳	۰/۱۶۳
کاربری ارضی	۰/۰۶۲	۰/۱۵۳	۱	۰/۱۵۴	۰/۱۵۴	۰/۱۵۴	۰/۱۵۴	۰/۱۵۴
زمین شناسی	۰/۰۳۳	۰/۰۸۱	۰/۰۸۱	۱	۰/۰۸۲	۰/۰۸۲	۰/۰۸۲	۰/۰۸۱
تراکم زهکشی	۰/۰۴۱	۰/۰۹۹	۰/۰۹۹	۰/۰۹۹	۱	۰/۰۹۹	۰/۱۰۰	۰/۰۹۹
فاصله از رودخانه	۰/۰۴۴	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۸	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹	۰/۱۰۹
پوشش گیاهی	۰/۰۷۵	۰/۱۸۶	۰/۱۸۵	۰/۱۸۵	۰/۱۸۴	۰/۱۸۵	۰/۱۸۵	۰/۱۸۶
ارتفاع	۰/۰۰۹	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳

در ادامه در تصویر شماره ۴ نقشه خطر سیل در زیر حوزه لومار سیمره آورده شده است. نقشه خطر سیلاب زیر حوزه لومار سیمره به پنج کلاس متفاوت از خیلی کم تا خیلی زیاد (تصویر شماره ۴) تعریف شد. زیرحوزه لومار به درجات مختلف خطر سیل از ۱۵/۵۳ درصد (خطر بسیار بالا)، ۲۱/۱۵ درصد (خطر زیاد)، ۲۵/۴۸ درصد (خطر متوسط)، ۲۲/۳۰ درصد (خطر کم) و

جدول ۳. شاخص‌های تصادفی (RI) مورد استفاده برای محاسبه نسبت سازگاری (CR) و n تعداد عوامل انتخاب شده (منبع: یافته‌های پژوهش)

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

جدول ۴. درصد و مساحت خطر سیل در حوزه آبریز لومار (منبع: یافته‌های پژوهش)

درصد	مساحت (km ^۲)	خطر سیل
۱۵/۵۳	۱۸۰/۶۲	بسیار بالا
۲۱/۱۵	۲۴۴/۱۲	بالا
۲۵/۴۸	۲۶۸/۶۲	متوسط
۲۲/۳۰	۲۵۷/۱۰	کم
۱۵/۵۳	۱۸۰/۶۱	خیلی کم
۱۰۰	۱۱۳۱/۰۷	جمع

این مطالعه با استفاده از تلفیق شاخص خطر سیل (FHI) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط GIS، به پهنه‌بندی خطر سیل در زیرحوزه لومار سیمره پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد بیش از ۶۰ درصد از سطح زیرحوزه لومار سیمره در کلاس‌های خطر متوسط تا بسیار بالا قرار دارد که این یافته با نتایج مطالعات مشابه در سایر نقاط ایران و جهان همخوانی دارد. **حاتمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶)** در شهرستان ایزه نیز گزارش کردند که حدود ۶۰ درصد از منطقه مورد مطالعه در خطر سیل‌گیری خیلی زیاد و زیاد واقع شده است. این تشابه نشان‌دهنده الگوی مشترک آسیب‌پذیری در مناطق کوهستانی زاگرس است که ناشی از ویژگی‌های توپوگرافی، اقلیمی و هیدرولوژیکی مشابه هستند.

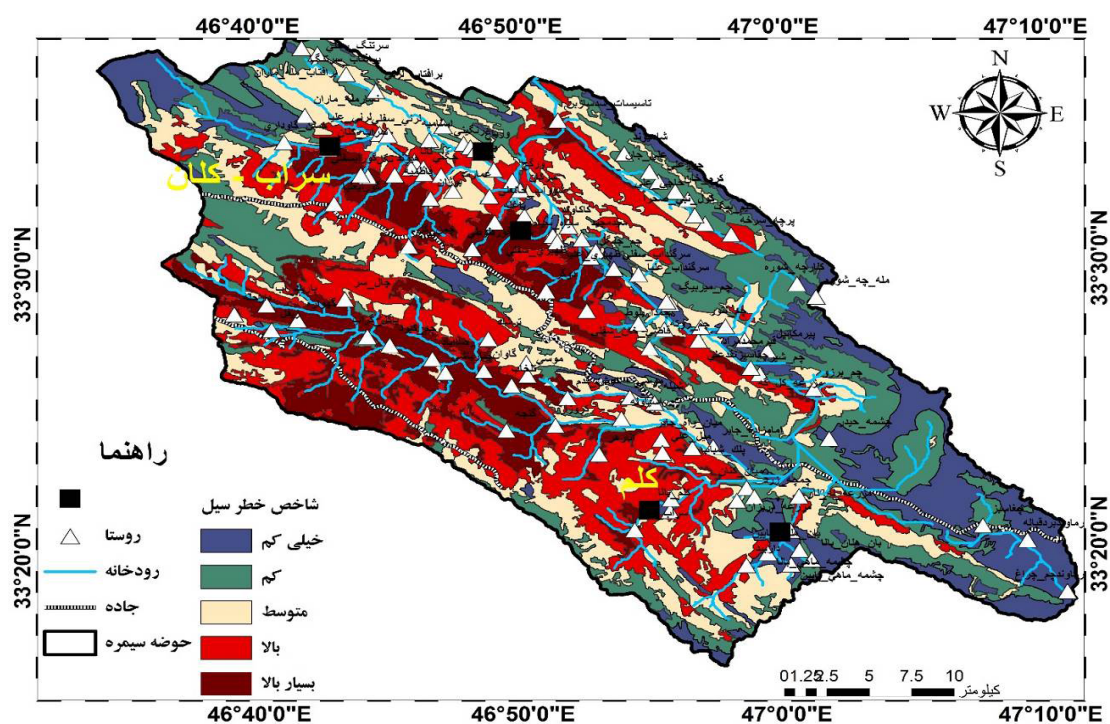
یافته‌های این مطالعه نشان داد بارش، شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی به ترتیب مهم‌ترین عوامل مؤثر بر خطر سیلاب در منطقه هستند. این نتایج با یافته‌های **اگواروجه و همکاران**

درصد (خطر بسیار کم) براساس مدل AHP طبقه‌بندی شد (**جدول شماره ۴، ۵**). بیشتر مناطق سیل‌خیز در سمت غرب حوزه واقع شده است. از ۱۱۱ روستای موجود در حوزه سیمره ۴۵ (۴۰/۵ درصد) روستا و ۳ شهر در مناطق با ریسک سیل‌خیزی بالا و خیلی بالا واقع شده‌اند و جاده‌ها در بخش غربی حوزه در منطقه با خطر سیل‌خیزی بالا واقع شده‌اند و جاده‌ها در بخش غربی حوزه در منطقه با خطر سیل‌خیزی بالا واقع شده‌اند و اقدامات پیشنهادی برای آن‌ها ارائه گردید (**تصویر شماره ۵**). نتایج این مطالعه با توجه به اینکه، عوامل مهم (میانگین شیب، بارندگی سالانه، پوشش گیاهی و کاربری اراضی) بیشترین تأثیر را بر شدت سیل داشته باشند، با یافته‌های **اگواروجه و همکاران** هم‌راستا و تأیید می‌شود (**اگواروجه و همکاران، ۲۰۱۸**).

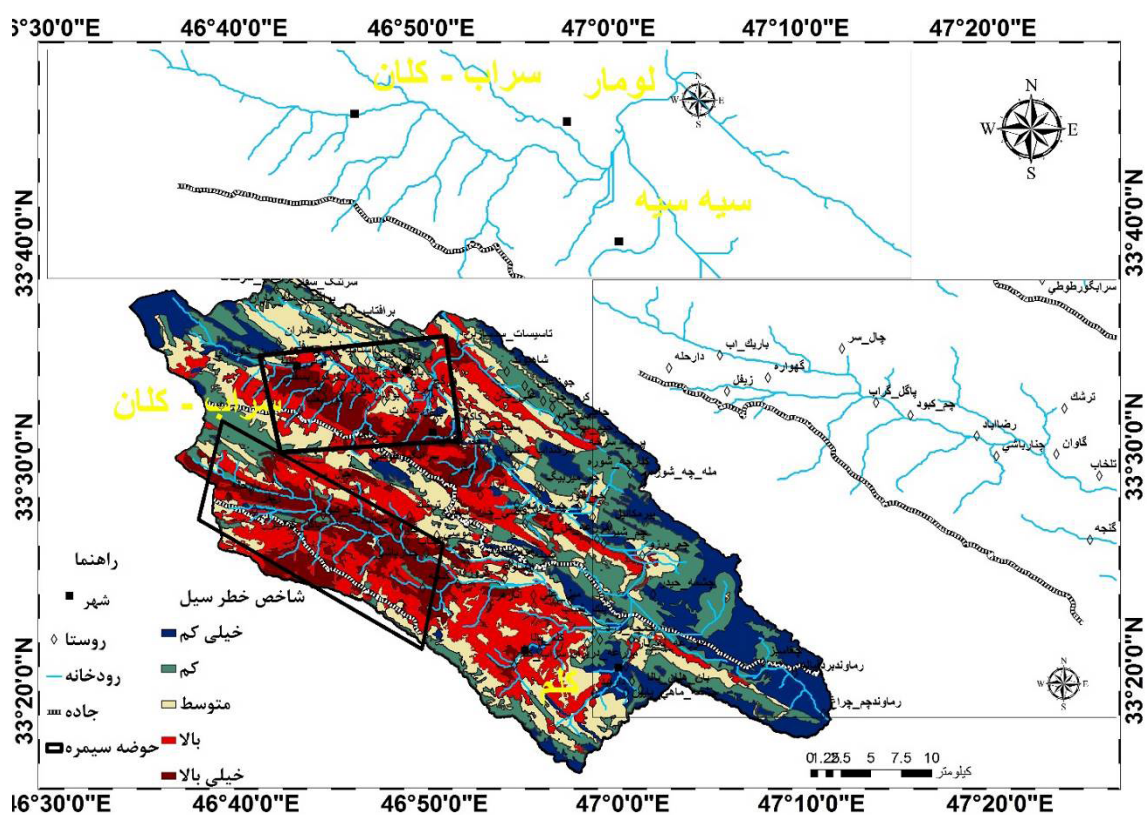
بحث

جدول ۵. مناطق در معرض سیل‌خیزی و اقدامات پیشنهادی برای آن‌ها (منبع: یافته‌های پژوهش)

پهنه‌های سیل	نام مناطق	اقدامات پیشنهادی
پهنه‌های با سیل‌خیزی خیلی پایین	روستاهای چم جنگل، قاضی خان علیا، کلم پایین، چشمه ماهی بالا، چشمه ماهی پایین، داربید، شهرک ولی عصر سرتنگ بهرام خانی، شیله، امامزاده جابر، پیرمکائیل، مله چه شوره، حسن گاوداری، راموند برد قبالة، راموندچم چراغ و شهر کلم	تقویت زیرساخت‌ها (مانند ایستگاه‌های هیدرولوژیکی و راه‌های ارتباطی)؛ ممنوع کردن ساخت و ساز جدید در مناطق سیل‌خیز، آموزش و آگاهی‌بخشی، تحقیق و توسعه
پهنه‌های با سیل‌خیزی بالا	روستاهای سراب کلان، لرنی علیا، لرنی سفلی، چگنی، لالا، هیوند، پانزده خرداد، عباس آباد، فاطمیه، کوره وند، درویشان، ورگچ، سرکان، شوراب خانعلی، پوژان، کاکاوند، ایزار، ترشک، میان راه جابر، پلک شیب، گنجه، میل علی، مزرعه برد سرخ، سراب کلم، چمن گل، ریفل، چال سر و شهر سراب کلان و لومار	جلوگیری از ساخت راه‌های ارتباطی در مناطق خطر زیاد، ممنوع کردن ساخت و سازهای جدید در مناطق سیل‌خیز، افزایش پوشش گیاهی، تقویت برنامه‌ریزی کاربری اراضی
پهنه‌های با سیل‌خیزی خیلی بالا	روستاهای گوراب سفلی، نکل، گوراب علیا، باغله، سراب گور طوطی، دوگر، گاوان، تلخاب، خوش قدم، کروزا، انارهر، باریک آب، چم کبود، پاگل گراب، رضاآباد، چنارباشی، گهواره، دارحله، تأسیسات سد سازینو شهر سیه سیه	پهنه‌بندی خطر سیلاب، تجهیز زیرساخت‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی؛ نظارت منظم بر جریان آب، برآورد خسارت‌های اقتصادی



تصویر ۴. نقشه خطر سیل در زیر حوزه لومار سیمره



تصویر ۵. اقدامات پیشنهادی برای اعمال در زیر حوزه لومار سیمره: (۱) شهر سراب - کلان، لومار، وسیه سیه که در منطقه با سیل خیزی خیلی بالا و بالا (۲) جاده‌ها در بخش غربی حوزه سیمره که در منطقه با ریسک بالای سیل

مجموعه داده‌ها با وضوح و دقت بالا که ممکن است در دسترس نباشند. همچنین بررسی عوامل اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی در ارزیابی خطر در این مدل وجود ندارد. باوجوداین، اطلاعات به‌دست‌آمده از این مدل می‌تواند به افزایش آگاهی عمومی در مورد خطرات سیل و نحوه مقابله با آن کمک کند. بنابراین بهتر است از مدل‌های مختلف دیگر، در پهنه‌بندی خطر سیل در حوزه‌های آبریز نیز استفاده کرد.

نجفی و کریمی‌کردآبادی (۱۳۹۹) از مدل ترکیبی AHP-FUZZY استفاده کردند که امکان در نظر گرفتن عدم قطعیت را فراهم می‌کند. **حبیب‌نژاد روشن و همکاران (۱۴۰۲)** نیز از مدل AHP استفاده کردند که روابط متقابل بین معیارها را بهتر مدل‌سازی می‌کند. با این حال، سادگی و قابلیت اجرای روش FHI در شرایط کمبود داده، آن را به ابزاری مناسب برای ارزیابی اولیه تبدیل می‌کند. ترکیب روش FHI با AHP در محیط GIS، ابزاری کارآمد برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در شرایط کمبود داده است. با این حال، برای بهبود دقت و جامعیت ارزیابی، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از روش‌های ترکیبی، مدل‌های هیدرولیکی و داده‌های هیدرومتری استفاده شود و عوامل اجتماعی-اقتصادی نیز در نظر گرفته شود.

نتیجه‌گیری

پهنه‌بندی خطرات سیل در زیر حوزه لومار سیمره با استفاده از روش تحلیل چند معیاره شاخص خطر سیل (FHI)، تعیین محدوده مناطق در معرض خطر سیل را امکان‌پذیر کرده است که باید در برنامه‌های کاربری اراضی آینده مورد توجه قرار گیرد. بیش از ۶۰ درصد از سطح زیر حوزه به‌عنوان منطقه‌ای با حساسیت متوسط تا بسیار بالا به سیل در نظر گرفته می‌شود، به‌ویژه در قسمت‌های مرکزی و غرب حوزه که در معرض تهدید سیل واقع شده است و ۴۵ (۴۰/۵ درصد) روستا و ۳ شهر در مناطق با ریسک سیل خیزی بالا و خیلی بالا واقع شده‌اند و جاده‌های بخش غربی حوزه در منطقه با خطر سیل خیزی بالا واقع شده است. حدود ۳۷ درصد از سطح حوزه با سیل خیزی خیلی پایین و پایین که بیشتر جنوب شرقی و شمال حوزه را دربر می‌گیرد. عواملی که بیشتر بر این سیلاب‌ها تأثیر می‌گذارد، بارندگی و شیب زیاد و همچنین نبود پوشش گیاهی و کاربری اراضی است. همچنین می‌توان به عامل توپوگرافی باتوجه‌به وضعیت دره‌ها و تأثیر آن‌ها در گسترش سیلاب‌های حوزه اشاره کرد.

راهکارهای پیشنهادی

اجرای این راهکارها می‌تواند با کاهش خطرات احتمالی ناشی از سیلاب، به حفاظت از جوامع محلی و زیرساخت‌ها کمک کند.

(۲۰۱۸) که نقش کلیدی شیب، بارندگی و پوشش گیاهی را در افزایش پتانسیل سیل‌خیزی تأیید کردند، همسو است. همچنین **حسینی (۱۴۰۰)** نیز در حوزه آبریز عموقین به نتایج مشابهی دست یافته است. وزن بالای پارامتر شیب در این مطالعه قابل توجه است، زیرا شیب‌های تند در مناطق غربی و مرکزی حوزه باعث افزایش سرعت رواناب و کاهش زمان تمرکز می‌شود. **کای و همکاران (۲۰۲۱)** نیز تأکید کردند که ارتفاع و شیب تندتر نشان‌دهنده تأثیر قوی توپوگرافی بر وقوع سیل است.

تمرکز مناطق پرخطر در بخش‌های غربی و مرکزی حوزه با الگوی بارش، توپوگرافی و تراکم شبکه زهکشی مطابقت دارد. این یافته با نتایج **کاریمبالیس و همکاران (۲۰۲۱)** و همچنین پژوهش **حسینی و همکاران (۱۴۰۲)** در حوزه آبریز هامون-جازموریان که نشان دادند مناطق مخاطره‌آمیز در نزدیکی آبراهه‌های اصلی واقع شده‌اند، همخوانی دارد. واقع شدن ۴۰/۵ درصد از روستاها و سه شهر (لومار، سراب کلان و سیه‌سیه) در مناطق با ریسک بالا و بسیار بالا، نشان‌دهنده آسیب‌پذیری جدی سکونتگاه‌های انسانی است. این وضعیت با یافته‌های **اسوین و همکاران (۲۰۲۰)** در بیهار هند که ۴۰/۳۶ درصد از منطقه را دارای حساسیت سیلابی زیاد تا بسیار زیاد گزارش کردند، قابل مقایسه است. وزن قابل توجه پوشش گیاهی و کاربری اراضی در این مطالعه، اهمیت مدیریت اراضی را در کاهش خطر سیلاب نشان می‌دهد.

رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۳) نیز نشان دادند تغییرات کاربری و پوشش اراضی تأثیر مستقیمی بر تغییر رژیم هیدرولوژیکی حوزه دارد. کاهش پوشش گیاهی و افزایش سطوح بایر باعث افزایش رواناب و سیل‌خیزی می‌شود. **رحمتی و همکاران (۲۰۱۶)** تأکید کردند که کاربری اراضی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر عوامل هیدرولوژیکی مانند تولید رواناب، نفوذ و تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد. بنابراین، برنامه‌ریزی صحیح کاربری اراضی و افزایش پوشش گیاهی می‌تواند نقش مهمی در کاهش خطر سیلاب ایفا کند. افزایش فراوانی و شدت سیلاب‌ها در سال‌های اخیر (۱۳۹۴، ۱۳۹۵، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸) در منطقه لومار، با روند جهانی تغییرات اقلیمی همخوانی دارد.

پینوس و کسادا-رومان (۲۰۲۲) گزارش کردند تغییرات اقلیمی باعث افزایش وقوع رویدادهای شدید بارندگی در سراسر جهان شده است. میانگین بارندگی سالانه ۸/۴۱۲ میلی‌متر در ایستگاه لومار، همراه با توپوگرافی پرشیب، شرایط مساعدی برای وقوع سیلاب‌های ناگهانی فراهم می‌کند.

ایکیری و همکاران (۲۰۲۲) در حوزه تاگنیت مراکش نیز از روش FHI استفاده کردند و نشان دادند این روش در شرایط کمبود داده‌های هیدرومتری، ابزاری کارآمد برای پهنه‌بندی خطر سیلاب است. اگرچه این مدل دارای محدودیت‌هایی است از جمله، نیاز به



جمع‌آوری داده‌های هیدرومتری

ایجاد ایستگاه‌های هیدرومتری برای جمع‌آوری داده‌های دقیق و به‌روز که به بهبود دقت مدل FHI کمک می‌کند.

تقویت برنامه‌ریزی کاربری اراضی

استفاده از نتایج این مطالعه در طراحی و برنامه‌ریزی کاربری اراضی به‌ویژه در نواحی در معرض خطر به‌منظور کاهش آسیب‌ها.

افزایش پوشش گیاهی

اجرای برنامه‌هایی برای افزایش پوشش گیاهی که می‌تواند به کاهش اثرات منفی بارش‌ها و سیلاب‌ها کمک کند.

آموزش و آگاهی‌بخشی

برگزاری دوره‌های آموزشی برای جوامع محلی درباره خطرات سیل و تدابیر پیشگیرانه.

تحقیق و توسعه

سرمایه‌گذاری در تحقیقات بیشتر برای بهبود مدل‌های پیش‌بینی سیل و درک بهتر عوامل مؤثر بر رخداد آن.

برآورد خسارت‌های اقتصادی

ارزیابی دقیق خسارت‌های اقتصادی ناشی از سیلاب‌ها برای برنامه‌ریزی بهتر و کاهش آسیب‌ها.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همه اصول اخلاقی پژوهش در این مقاله رعایت شده است.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت‌نویسندگان

همه نویسندگان به‌طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش‌نویس مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

References

- Abedini, M., & Fathi, M. H. (2015). [Flood Risk Mapping and Evaluation by using the Analytic Network Process Case Study: (Khiav Chai Catchment) (Persian)]. *Journal of Hydrogeomorphology*, 2(3), 99-120. [Link]
- Adiat, K. A. N., Nawawi, M. N. M., & Abdullah, K. (2012). Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool-a case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of Hydrology*, 440-441, 75-89. [DOI:10.1016/j.jhydrol.2012.03.028]
- Anonymus, A. (2007). *Handbook on good practices for flood mapping in Europe*. Excimap (European exchange circle on flood mapping). [Link]
- Aslani, F., & MehdiPour, H. (2015). [Planning for flood risk reduction by using GIS Technique in Tehran Province (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 5(3), 173-185. [Link]
- Azadtalab, M., Shahabi, H., Shirzadi, A. and Chapi, K. (2020). [Flood hazard mapping in Sanandaj using combined models of statistical index and evidential belief function (Persian)]. *Motaleate Shahri*, 9(36), 27-40. [Link]
- Azizi, E., Mostafazadeh, R., Hazbavi, Z., Esmali Ouri, A., & Mirzaei S. (2021). [Introducing the Flood Vulnerability Index (FVI) as a flood crisis management tool (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 11 (2), 158-165. [Link]
- Cai, S., Fan, J., & Yang, W. (2021). Flooding risk assessment and analysis based on GIS and the TFN-AHP method: A case study of Chongqing, China. *Atmosphere*, 12(5), 623. [DOI:10.3390/atmos12050623]
- Carlston, C. W. (1963). *Drainage density and streamflow*. Washington, D.C: US Government Printing Office. [DOI:10.3133/pp422C]
- Chen, C. H. (2016). Evaluative model of projects of landscape ecological planning-application of AHP method. *Journal of Architecture and Planning*, 17, 117-136. [Link]
- Chen, C. H. (2020). A Novel Multi-Criteria Decision-Making Model for Building Material Supplier Selection Based on Entropy-AHP Weighted TOPSIS. *Entropy (Basel, Switzerland)*, 22(2), 259. [DOI:10.3390/e22020259] [PMID]
- Daneshparvar, B., Rasi Nezami, S., Feizi, A., & Aghlmand, R. (2022). Comparison of results of flood hazard zoning using AHP and ANP methods in GIS environment: A case study in Ardabil province, Iran. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 9(1), 1-7. [DOI:10.22126/arww.2022.6667.1218]
- Echogdali, F. Z., Boutaleb, S., Elmouden, A., & Ouchchen, M. (2018). Assessing flood hazard at river basin scale: Comparison between HECRAS-WMS and flood hazard index (FHI) methods applied to el maleh basin, Morocco. *Journal of Water Resource and Protection*, 10(9), 957-977. [DOI:10.4236/jwarp.2018.109056]
- Eguaroje, O., Alaga, T., Ogbale, J., Omolere, S., Alwaddood, J., & Kolawole, I., et al. (2015). Flood vulnerability assessment of Ibadan city, Oyo state, Nigeria. *World Environment*, 5(4), 149-159. [Link]
- Esfandiary Darabad, F., Layeghi, S., Mostafazadeh, R., & Haji, K. (2021). [The zoning of flood risk potential in the Ghotorchay watershed with ANP and WLC multi-criteria decision making methods (Persian)]. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 8(2), 135-150. [Link]
- Ghorbanzade, M., Azarakhshi, M., Mosaedi, A., & Rostami Khalaj, M. (2017). [Evaluation of the efficiency of Analytic Hierarchy Process (AHP) to specify the areas with urban flood risk potential, case study: the central part of Torbat Heydarieh (Persian)]. *Physical Geography Research*, 49(4), 645-656. [DOI:10.22059/jph-gr.2018.231371.1007037]
- Giordan, D., Notti, D., Villa, A., Zucca, F., Calò, F., & Pepe, A., et al. (2018). Low cost, multiscale and multi-sensor application for flooded area mapping. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(5), 1493-1516. [Link]
- Habibnejad Roshan, M., Shahedi, K., & Roshun, S. H. (2023). [Identification and prioritization of flooding areas using GIS-based analytical hierarchy process, case study: Karun Watershed (Persian)]. *Watershed Engineering and Management*, 15(3), 367-385. [DOI:10.22092/ijwmse.2022.356749.1929]
- Hadian, S., Afzalimehr, H., Soltani, N., Tabarestani, E. S., Karakouzian, M., & Nazari-Sharabian, M. (2022). Determining flood zonation maps, using new ensembles of multi-criteria decision-making, bivariate statistics, and artificial neural network. *Water*, 14(11), 1721. [DOI:10.3390/w14111721]
- Hasanloo, M., Pahlavani, P., & Bigdeli, B. (2019). Flood risk zonation using a multi-criterion spatial group fuzzy-AHP decision making and fuzzy overlay analysis. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 455-460. [Link]
- Hatami Nejad, H., Atashafrooz, N., & Arvin M. (2017). [Flood hazard zonation using multi-criteria analysis and GIS (case study: Izeh Township) (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 7(2), 44-57. [Link]
- Heidari, A. (2014). Flood vulnerability of the Karun River System and short-term mitigation measures. *Journal of Flood Risk Management*, 7(1), 65-80. [DOI:10.1111/jfr3.12032]
- Hosseini, S. M., Mohamadi, S., Hassanzadeh, R., & Honarmand, M. (2023). [Assessment of flood risk using GIS and RS in the south of Kerman province (case study: Hamoon- Jazmoorian catchment) (Persian)]. *Journal of Ecohydrology*, 10(1), 33-47. [DOI:10.22059/jje.2023.354747.1712]
- Hoseini, Y. (2021). [Assessing the flooding susceptibility in the amuqin watershed using the analytical hierarchy process method (Persian)]. *Watershed Management Research*, 34(2), 108-123. [DOI: 10.22092/wmej.2021.128834.1295]
- Ikirri, M., Faik, F., Echogdali, F. Z., Antunes, I. M. H. R., Abioui, M., & Abdelrahman, K., et al. (2022). Flood hazard index application in arid catchments: Case of the taguenit wadi watershed, Lakhassas, Morocco. *Land*, 11(8), 1178. [DOI:10.3390/land11081178]
- Ikram, M., Zhang, Q., & Sroufe, R. (2020). Developing integrated management systems using an AHP-Fuzzy VIKOR approach. *Business Strategy and the Environment*, 29(6), 2265-2283. [DOI:10.1002/bse.2501]
- Kamaruzzaman, S. N., Lou, E. C. W., Wong, P. F., Wood, R., & Che-Ani, A. I. (2018). Developing weighting system for refurbishment building assessment scheme in Malaysia through analytic hierarchy process (AHP) approach. *Energy Policy*, 112, 280-290. [DOI:10.1016/j.enpol.2017.10.023]
- Karymbalis, E., Andreou, M., Batzakis, D. V., Tsanakas, K., & Karalis, S. (2021). Integration of GIS-based multicriteria decision analysis and analytic hierarchy process for flood-hazard assessment in the megalo rema river catchment (East Attica, Greece). *Sustainability*, 13(18), 10232. [DOI:10.3390/su131810232]



- Milliman, J. D., & Farnsworth, K. L. (2011). Appendices. Global river data base. In: *River Discharge to the Coastal Ocean: A Global Synthesis*. Cambridge: Cambridge University Press; 2011. [DOI:10.1017/CBO9780511781247.006]
- Mirzaei, S., Sadoddin, A., Bahremand, A., Ownegh, M., & Mostafazadeh, R. (2025). [Direct-tangible costs in flood zones simulated using the HEC-RAS 2-D hydraulic model – the Arazkuseh River, Golestan Province (Persian)]. *Water and Soil Management and Modelling*, 5(1), 57-74. [DOI:10.22098/mmws.2024.14501.1410]
- Najafi, E., & Karimi Kerdabadi, M. (2020). [Flood Risk Evaluation and Zoning using with AHP-Fuzzy Combined Model with Emphasis on Urban Safety (Case Study: Region 1 of Tehran Municipality) (Persian)]. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(2), 43-60. [DOI:10.22067/geo.v9i2.86110]
- Nyarko, B. K. (2000). Flood risk zoning of Ghana: Accra experience. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXX-III, 1039-1050. [Link]
- Pahlavani, P., Sheikhan, H., & Bigdeli, B. (2017). Assessment of an air pollution monitoring network to generate urban air pollution maps using Shannon information index, fuzzy overlay, and Dempster-Shafer theory, A case study: Tehran, Iran. *Atmospheric Environment*, 167, 254-269. [DOI:10.1016/j.atmosenv.2017.08.039]
- Pinos, J., & Quesada-Román, A. (2022). Flood risk-related research trends in Latin America and the Caribbean. *Water*, 14(1), 10. [DOI:10.3390/w14010010]
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golestan Province, Iran. *Geocarto International*, 31(1), 42-70. [DOI:10.1080/10106049.2015.1041559]
- Razavi Termeh, S. V., Kornejady, A., Pourghasemi, H. R., & Keesstra, S. (2018). Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. *The Science of The Total Environment*, 615, 438-451. [DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.09.262] [PMID]
- Reager, J. T., Thomas, B. F., & Famiglietti, J. S. (2014). River basin flood potential inferred using GRACE gravity observations at several months lead time. *Nature Geoscience*, 7(8), 588-592. [DOI:10.1038/ngeo2203]
- Regmi, N. R., Giardino, J. R., & Vitek, J. D. (2010). Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*, 115(1-2), 172-187. [DOI:10.1016/j.geomorph.2009.10.002]
- Rezayi Moghadam, M., Andaryani, S., Almaspour, F., Valizade, Kh., & Mokhtari, A. (2015). [Investigation Effects of Landuse and Land Cover Changes on Flooding and Runoff Disc Harge (Case Study: Alavyan Dam Basin) (Persian)]. *Journal of Hydrogeomorphology*, 1(1), 41-57. [Link]
- Rezayi Moghadam, M. H., & Rahimpour, T. (2024). [Evaluating of Flood hazard potential using bivariate statistical analysis method (Case study: Aji Chai basin) (Persian)]. *Quantitative Geomorphological Research*, 12(4), 91-107. [Link]
- Samanta, S., Koloa, C., Kumar Pal, D., & Palsamanta, B. (2016). Flood risk analysis in lower part of Markham River based on a multi-criteria decision approach (MCDA). *Hydrology*, 3(3), 29. [DOI:10.3390/hydrology3030029]
- Seejata, K., Yodying, A., Wongthadam, T., Mahavik, N., & Tantane, S. (2018). Assessment of flood hazard areas using analytical hierarchy process over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province. *Procedia Engineering*, 212, 340-347. [DOI:10.1016/j.proeng.2018.01.044]
- Stieglitz, M., Rind, D., Famiglietti, J., & Rosenzweig, C. (1997). An efficient approach to modeling the topographic control of surface hydrology for regional and global climate modeling. *Journal of Climate*, 10(1), 118-137. [DOI:10.1175/1520-0442(1997)010<0118:AEA TMT>2.0.CO;2]
- Swain, K. C., Singha, C., & Nayak, L. (2020). Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 720. [DOI:10.3390/ijgi9120720]

This Page Intentionally Left Blank