Original Article

Journal of Aquifer and Qanat

Spring And Summer 2024, Vol. 5, No. 1, pp 101-124

10.22077/jaaq.2025.8580.1084

Investigating the Impact of Watershed Plans on Flood Risk Zoning Using Fuzzy Operators (Case Study: Darmian Study Area)

Hannan Hanafi[1]✉ | **Hosein khozeymehnezhad**[2] | **Mohammad Fouladi Nasrabad**[1]

1. PhD student in Water Resources, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
✉Corresponding Author: Hannan.hanafi77@gmail.com

Received:
15 November 2024

Accepted:
22 January 2024

Published:
20 December 2024

Keywords:

watershed management, flood risk, fuzzy logic, zoning, ArcGIS, Analytical Hierarchy Process (AHP), flood susceptibility

Extended abstract

Introduction

Flooding is one of the most dangerous natural disasters, encompassing many global hazards (Das, 2020). Among these disasters, according to the statistics published by the United Nations, floods and storms caused the highest damages in the 2000-2010 decade, amounting to $21 billion and $18 billion, respectively, in human casualties (AmirAhmadi et al., 2011). The factors contributing to floods can be divided into three main categories: climatic, regional characteristics, and human activities (Lotfi and Jafari, 2012). Flood risk zoning maps effectively manage flood, land use control, developmental programs, and environmental protection (Hassanzadeh and Khajebafghi, 2017; Büchele et al., 2006). Numerous studies have been conducted on flood-prone areas and the prioritization of factors influencing flood occurrence in different regions.

In 2020, a study analyzed potential flood risks in Allahabad, India, using multi-criteria analysis.

Cite this article: Hanafi, H., Khozeymehnezhad, H. & Fouladi Nasrabad, M. (2024). Investigating the impact of watershed plans on flood risk zoning using fuzzy operators (case study: Darmian study area), *Journal of Aquifer and Qanat Title*, 5 (1), 101-124. DOI: http//doi.org/10.22077/10.22077/jaaq.2025.8580.1084

Copyright: © 2024 by the authors. Licensee Journal of Aquifer and Qanat. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

This study considered seven criteria—stream accumulation, drainage capacity, groundwater level, land use, runoff, slope, and geology—to assess flood damage risk. The findings indicated that 81% of the agricultural lands in the region were located in flood-prone areas (Dash and Sar, 2020). In 2019, a study modeled urban flood susceptibility based on the Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS), focusing on the flood risk of the city of Xingguozhai, China. The results showed that the city center was more vulnerable to flooding than other areas (Wu et al., 2019). In 2015, a study used AHP and GIS to assess flood risk potential in the Heiyai River Basin, finding that the AHP method was consistent and effective in flood risk zoning for the years 1960–2010 (Nikolova and Zlateva, 2017). In 2019, a study investigated flood susceptibility in the Ajorlou Chai watershed using fuzzy logic. The results revealed that most of the watershed's area was classified as having low, very low, and medium flood risk (Esfandiary Darabad et al., 2019). In 2018, a study in Sari used fuzzy logic to prepare a flood risk zoning map for the city. Multi-criteria decision-making (MCDM) methods were applied to the flood risk zoning, with the results showing severe flood susceptibility in the center and south of the city. The final flood risk zoning map indicated that 12.24% of the areas were in the very high-risk zone, and 37.05% were in the very low-risk zone (Mahmoudzadeh and Bakoi, 2018).

Reviewing these studies reveals that flood risk zoning using GIS and AHP methods has been significantly effective in identifying flood-prone regions. This research, using fuzzy operators as an innovative method, focuses on flood risk zoning and assesses the impact of watershed management plans on flood risk. The use of fuzzy models, especially in areas with limited data, significantly increases the accuracy and predictive capacity of the model. Moreover, for the first time, this study investigates the effects of watershed management plans on flood risk zoning in the Darmiyan region.

Materials and Methods

Study Area

The study area, Darmian-Asadabad, is located between 59°28' to 60°47' eastern longitude and 32°32' to 33°21' northern latitude. It is part of the second-order drainage basins of the Dagh-Petergan and Khaf regions, located to the south of this drainage basin. The area covers 3073 square kilometers, representing approximately 9% of the area of the second-order Dagh-Petergan and Khaf basin.

Politically, this study area is within the plains of South Khorasan province. The Darmian study area is bordered to the north by the Sadeh and Esfden plains, to the east by the Birjand and Sarbishah plains, to the south by the Hosseinabad and Khushab plains, and to the west by the Gazik and Avaaz plains (The update report of the water balance of the study area of Darmian, 2016).

Data

In this study, the flood risk zoning map was generated using several criteria, including topography, land cover, river morphology, hydroclimate, geology, and human activities. These criteria include sub-criteria, as listed in Table 1, with their respective raster data and maps used for the zoning process. The following introduces each sub-criterion:

Criteria & Sub-Criteria	Description
Topography	Elevation, Slope, Landform
Land Cover	Vegetation cover, Land use
River Morphology	Waterway density, Distance to waterway
Hydroclimate	Precipitation
Geology	Geological characteristics
Human Activities	Watershed management plans

- **Elevation Layer**: This layer directly relates to flooding and was derived from the Digital Elevation Model (DEM) with a 30x30m resolution.
- **Slope Layer**: The slope layer determines the speed and direction of water movement, derived from the DEM.
- **Land Form Layer**: Differentiates mountainous and elevated areas from plains and lowlands.
- **Geology Layer**: Directly influences flooding and was obtained from the 1:100,000 geological map of the Geological Organization.
- **Distance to Waterway Layer**: One of the major factors influencing flood damage is the improper use of waterway buffers. This layer was also derived from the DEM.

- **Land Use Layer**: Land use influences floods in various ways. Any activity that reduces soil moisture and permeability increases flood risk. The land use map was obtained from the Department of Natural Resources of South Khorasan at a 1:50,000 scale.
- **Vegetation Cover Layer**: This layer classifies vegetation based on type and density, obtained from the Department of Natural Resources of South Khorasan.
- **Precipitation Layer**: The most important factor in the hydrological cycle. The precipitation data was obtained from the local meteorological organization for the area, using 30 years of rainfall data to generate an annual average precipitation map.
- **Drainage Density Layer**: This layer is inversely related to flood risk and was derived from the DEM.
- **Human Activities Layer**: This layer includes the locations of watershed management projects (such as stone-mortar structures, gabions, earthen dams, and spillways). The location coordinates of these projects were processed using buffer zones and then converted into raster layers.

Weighting Method

Evaluating the various criteria involved in flood risk zoning is part of decision-making. For this, a multi-criteria decision analysis (MCDA) approach was used, which includes various methods such as the Analytic Hierarchy Process (AHP), Analytic Network Process (ANP), fuzzy methods, and combinations of different techniques. This study applied a hybrid AHP-fuzzy method, initially proposed by Chang in 1996. The key difference between this method and traditional AHP is the way weights are assigned to criteria and options.

For determining the weights of the specified criteria in this study, a questionnaire was employed. The criteria and sub-criteria were first identified through field studies and a review of previous research. Then, a questionnaire was designed to compare the criteria with each other and the sub-criteria within each category.

In AHP questionnaires, unlike typical SPSS questionnaires (which often use a 5-point Likert scale), there is no reliability index (e.g., Cronbach's alpha). Instead, the concept of inconsistency is used. The inconsistency ratio indicates contradictions and discrepancies in the pairwise comparison matrix. According to Saaty (2012), if the inconsistency ratio is less than 0.1, the matrix is considered consistent and acceptable. After completing the questionnaires by experts, the validity and reliability of the survey were verified using the inconsistency ratio in the Expert Choice software, yielding a value of 0.04, which is acceptable as it is less than 0.1.

Framework for Design and Implementation

This study aims to provide an appropriate assessment of flood susceptibility for the Darmian study area. To achieve this, the factors affecting flood occurrence in the region were identified, and a system expert approach was used, including field studies (questionnaire surveys) with specialists from various fields such as water engineering, civil engineering, geography, geology, environmental science, rangeland management, and watershed management. In total, 25 experts participated in the survey. Moreover, to address uncertainties and standardize information, crisis management guidelines, field studies, historical data, and related research were consulted (Behrouz, Ali-Mohammadi & Attari, 2019; Malazahi et al., 2019).

Results and Discussion

Flood occurrence depends on various factors. In this study, raster layers of elevation, slope, landform, vegetation cover, land use, precipitation, waterway density, distance from waterways, geology, and watershed plans were used within six main criteria categories: elevation, land cover, hydro-climatic factors, river morphology, geology, and human activities. The weighting of these main criteria and sub-criteria for each category was carried out using the Analytic Hierarchy Process (AHP) in Expert Choice software. The final weights for each factor and their hierarchy are shown in Table 2.

Table 2: Final Weight of Factors Used

Number	Sub-criteria	Final Weight
1	Waterway density	0.288
2	Land cover	0.205
3	Watershed plans	0.146
4	Land use	0.103
5	Precipitation	0.103
6	Distance from waterway	0.072
7	Landform	0.034
8	Slope	0.021
9	Geology	0.021
10	Elevation	0.007

According to Table 2 and the results from the AHP analysis, the waterway density criterion (0.288), land cover (0.205), and watershed plans (0.146) were found to have the highest importance in flood susceptibility in the study area.

Since raster maps of elevation and slope were already available, no changes were needed. To create raster maps for landforms, vegetation cover, land use, geology, and watershed plans, each factor was assigned a rank based on its importance in flood risk. These layers were then converted into raster maps using the "Feature to Raster" function. The waterway density map was generated using the "Density" tool from the river layer, showing the waterway density for each pixel. Additionally, the distance from the waterways map was extracted using the "Distance" tool from the river layer. For the watershed plans map, the impact area of each structure was determined based on type and disaster management standards. The area of the large earthen dams was considered larger than other structures. Then, using the "Distance" tool, pixel values were assigned, increasing as the distance from the influence area increased.

After creating the raster maps, to normalize the pixel values, they were fuzzified using the "Fuzzy Membership" tool. It should be noted that while some criteria have a direct relationship with flood risk (the higher the pixel value, the higher the flood risk), others have an inverse relationship (the lower the pixel value, the higher the flood risk). The maps for elevation, slope, landform, land use, geology, precipitation, waterway density, and vegetation cover were fuzzified using a direct relationship, while the distance from the waterways map was fuzzified using an inverse relationship.

Next, the weights obtained from the AHP method in Expert Choice, through questionnaires, were applied to the fuzzified maps using the "Raster Calculator" tool. To assess the effect of watershed plans on flood risk, two series of weighted maps were created. In the first series, the human activities (watershed plans) factor was included in the flood risk zoning process. In the second series, the human activities factor was excluded, and its weight was applied to the two most important factors, precipitation and waterway density.

Finally, to create the final flood risk zoning map, a fuzzy overlay operation was performed on all the fuzzified maps using the "Fuzzy Overlay" function. Two flood risk zoning maps were generated: 1-considering the effect of watershed plans and 2-the other without. Figure 1 shows the flood risk zoning maps for the study area.

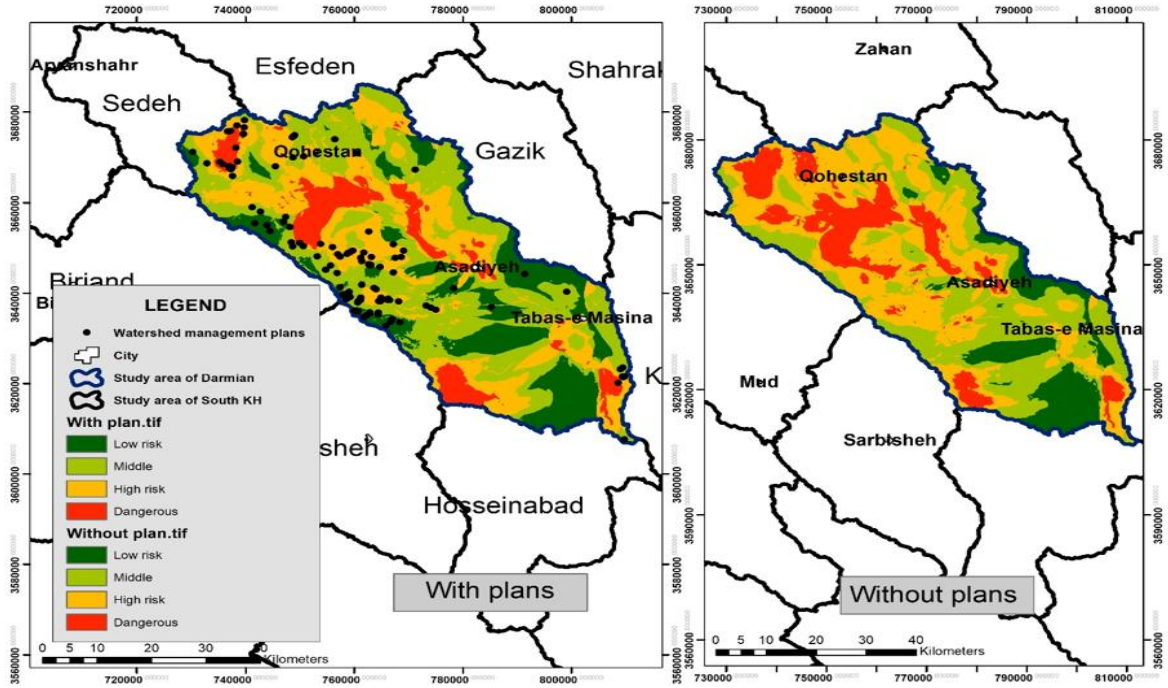


Figure 1: The final flood risk zoning map with watershed management plans and without.

Comparing the flood risk zoning maps with and without considering watershed plans indicates that the western and northwestern regions, where earthen dam structures are most used, show a significant reduction in flood risk due to the larger reservoirs of these dams compared to other watershed structures. In these areas, with the removal of these structures from the zoning process, regions with low-density pastures, relatively high precipitation, short distances from waterways, and dense waterways transition from low-risk to medium and high-risk zones.

In the central regions, due to the dense waterways, short distances from waterways, and weak vegetation cover, and in the northwestern regions due to dense waterway coverage and elevated distance from waterways, the flood risk is notably higher. The southwestern regions, due to high precipitation, elevation, weak vegetation cover, absence of watershed plans, and dense waterways, and the southeastern regions due to waterway presence and poor vegetation cover, are also in the high-risk flood zones.

Moreover, the cities of Darmian and Tabas Mesina, due to being located in the red (high-risk) zones, are at significant flood risk and require appropriate infrastructure and facility placement to mitigate the risk.

Conclusion

Flooding is one of the most destructive natural events. Flood risk zoning is one of the most effective methods for controlling this natural phenomenon and identifying appropriate management strategies to mitigate its impacts. This study, by integrating fuzzy models and AHP, not only determined the effect of flood-triggering factors but also assessed the impact of watershed plans on reducing flood risk. The results showed that waterway density and vegetation cover had the highest importance, while elevation had the least effect on flood occurrence in the study area. Flood risk zoning maps indicated that the western and northwestern regions, with watershed plans in place, became low-risk zones. Removing these plans shifted these areas to high-risk zones, emphasizing the effectiveness of watershed plans in reducing flood risk. The study also found that the southern region of Darmian was safe from flooding due to its land cover and geological characteristics. However, the cities of Darmian and Tabas Mesina are located in high-risk zones, requiring careful planning for infrastructure development. Future studies could explore the effect of reservoir volume on watershed structures and the potential for artificial recharge of groundwater in the area.

مقاله پژوهشی

مجله
آبخوان و قنات

دوره پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۳، صفحات ۱۲۴-۱۰۱

10.22077/jaaq.2025.8580.1084

بررسی تأثیر طرح‌های آبخیزداری در پهنه‌بندی خطر وقوع سیل با استفاده از عملگرهای فازی (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی درمیان)

حنان حنفی ✉[۱]| حسین خزیمه‌نژاد [۲]| محمد فولادی نصر آباد [۱]

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
✉نویسنده مسئول: Hannan.hanafi77@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۳۰

کلیدواژه‌ها:
عملیات آبخیزداری، خطر سیلاب، منطق فازی، پهنه‌بندی، ArcGIS، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، سیل‌خیزی.

چکیده

سیل رویدادی ناگهانی است که در بروز آن عوامل متعددی دخالت دارند. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر طرح‌های آبخیزداری در کاهش خطر سیل‌خیزی در محدوده مطالعاتی درمیان انجام شده است. در این پژوهش از شش معیار اصلی: توپوگرافی، پوشش زمین، مورفولوژی رودخانه، هیدرو اقلیم، زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی و ۱۰ زیر معیار: ارتفاع، شیب، فرم زمین، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، تراکم آبراهه، فاصله از آبراهه، بارش، زمین‌شناسی و صرفاً وجود یا عدم وجود طرح‌های آبخیزداری استفاده شده است. همچنین به‌منظور تعیین وزن هر زیرمعیار در تعیین عوامل تأثیرگذار در وقوع سیل از روش پرسشنامه‌ای و تحلیل سلسله مراتبی AHP در نرم‌افزار Expert choice استفاده شده است. سپس با استفاده از منطق فازی، پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در دو حالت: ۱- وجود طرح‌های آبخیزداری و ۲- عدم وجود طرح‌های آبخیزداری در محیط ArcGIS صورت گرفته است. نتایج نشان داد؛ زیر معیار تراکم آبراهه و پوشش گیاهی به‌ترتیب با اوزان ۰/۲۸۸ و ۰/۲۰۵ دارای بیشترین اهمیت و زیرمعیار ارتفاع با وزن ۰/۰۰۷ دارای کمترین اهمیت در وقوع سیل در محدوده مورد مطالعه مشخص شده‌اند. همچنین نتایج نشان داد مساحت مناطق با خیلی زیاد از ۴۹۵۶۷/۵۵ به ۶۰۶۰۶/۸۲ و مناطق با خطر زیاد از ۱۱۶۹۷۶/۴۲ به ۸۸۸۲۴/۳۸ هکتار کاهش پیدا کرده و مساحت مناطق با خطر متوسط از ۱۰۱۴۴۹/۷۱ به ۱۲۳۲۶۰/۳ و مناطق با خطر کم از ۳۹۱۲۶/۱۸ به ۶۴۴۲۸/۰۱ هکتار افزایش پیدا کرده است.

مقدمه

یکی از خطرناک‌ترین بلایای طبیعی سیل است که بخش اعظمی از خطرات جهانی را شامل می‌شود (Das, 2020). در بین این بلایا طبق آمار منتشرشده از سازمان ملل، سیل و طوفان در دهه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، بیشترین خسارت را به میزان ۲۱ میلیارد دلار و ۱۸ میلیارد دلار به‌ترتیب به زندگی بشر وارد کرده است (AmirAhmadi et al., 2011). عوامل به وجود آورنده سیلاب به سه دستی اصلی: اقلیمی، خصوصیات منطقه‌ای و فعالیت‌های انسانی تقسیم‌بندی می‌شود (Lotfi and Jafari, 2012). نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل در مدیریت سیل، کنترل و مدیریت کاربری اراضی، برنامه‌های توسعه‌ای و حفاظت محیط‌زیست ابزاری مؤثر می‌باشد (Hassanzadeh and Khajebafghi, 2017; Büchele et al., 2006). مطالعات زیادی در زمینه پهنه بندی مناطق سیل‌خیز و اولویت‌بندی عوامل تأثیرگذار در ایجاد سیل هر منطقه انجام شده است.

سال ۲۰۲۰ در مطالعه‌ای به مناطق بالقوه خطر سیل از طریق تجزیه تحلیل چندمعیاره در اطراف الله‌آباد هند پرداخته شده است. در این پژوهش با استفاده از تجزیه و تحلیل هفت معیار: تجمع جریان، قابلیت تخلیه، تراز آب زیرزمینی، کاربری زمین، رواناب، شیب و زمین‌شناسی بررسی احتمال آسیب سیل بررسی شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که ۸۱ درصد زمین‌های کشاورزی آن منطقه، در محدوده سیل‌خیز قرار گرفته‌اند (Dash and Sar, 2020). سال ۲۰۱۹ در پژوهشی، خطر سیل‌پذیری شهری، بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[1] (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی[2] (GIS) مدل شده است و خطر سیلاب شهر زینگوژای چین را مورد بررسی و مطالعه قرار داده‌اند. نتایج حاصله حاکی از آن است که مرکز شهر ژینگژو نسبت به سایر مناطق شهر در برابر سیل، آسیب‌پذیرتر است (Wu et al., 2019). سال ۲۰۱۵ در حوضه رودخانه هیائی، به کمک روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پتانسیل سیل‌خیزی حوضه مورد مطالعه بررسی شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه برای سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ سازگار و کارآمد بوده است (Nikolova and Zlateva, 2017). سال ۲۰۱۹ در پژوهشی سیل‌خیزی حوضه آبخیز آجرلوچای به کمک منطق فازی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج پژوهش گویای قرارگیری اکثر مساحت حوضه در پتانسیل سیل‌خیزی کم، خیلی کم و متوسط است (EsfandiaryDarabad et al., 2019). سال ۲۰۱۸ در پژوهشی تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از منطق فازی برای شهر ساری انجام شده است. در این پژوهش روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره[3] (MCDM) برای پهنه‌بندی سیلاب مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج پژوهش، سیل‌خیزی شدید در مرکز و جنوب شهر ساری را نشان می‌دهد. نقشه نهایی پهنه بندی خطر سیل، ۲۴/۱۲ درصد مناطق را در پهنه‌بندی خطر خیلی زیاد و ۳۷/۰۵ درصد مناطق را در پهنه‌بندی خطر خیلی کم نشان می‌دهد (Mahmoudzadeh and Bakoi, 2018).

بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که عملیات پهنه بندی توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در مشخص کردن مناطق سیل‌خیز به طور قابل ملاحظه‌ای مؤثر بوده است. این تحقیق با استفاده از عملگرهای فازی به‌عنوان روشی نوین به پهنه‌بندی خطر سیلاب و ارزیابی تأثیر طرح‌های آبخیزداری بر این خطر پرداخته است. استفاده از مدل‌های فازی، به‌ویژه در مناطق با داده‌های محدود، دقت و توان پیش‌بینی مدل را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد. علاوه بر این، در این پژوهش برای اولین‌بار تأثیرات طرح‌های آبخیزداری بر پهنه‌بندی خطر سیلاب در منطقه درمیان بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

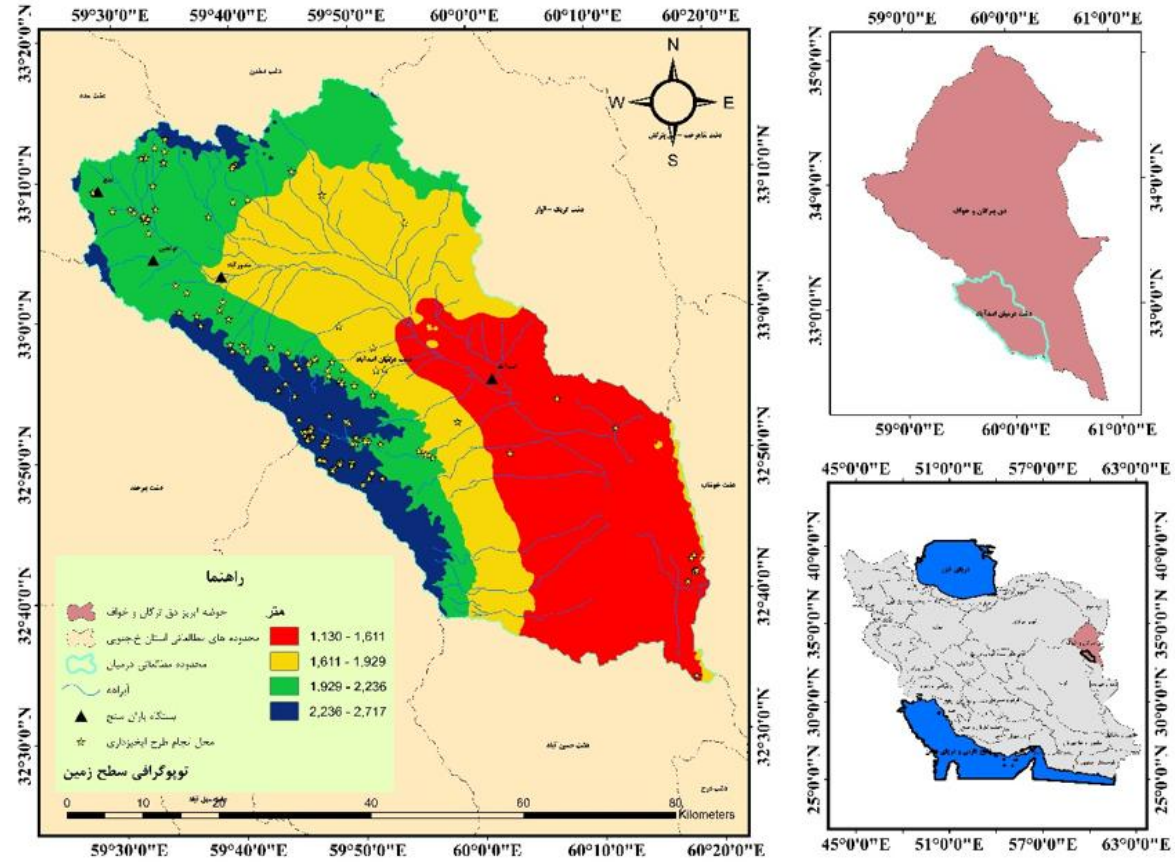
محدوده مطالعاتی درجه ۳ درمیان- اسدآباد در موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۱

[1] Analytical Hierarchy Process
[2] Geographic Information System
[3] Multi Criteria Decision Making

دقیقه عرض شمالی قرار گرفته و از محدوده‌های حوضه آبریز درجه ۲ دق پترگان و خواف که در جنوب این حوضه آبریز قرار گرفته است، محسوب می‌شود. مساحت این محدوده مطالعاتی ۳۰۷۳ کیلومتر مربع است. تقریباً نه درصد مساحت حوضه آبریز درجه ۲ دق پترگان و خواف را شامل می‌شود.

از لحاظ تقسیمات سیاسی این محدوده مطالعاتی جز محدوده (دشت) های استان خراسان جنوبی است. محدوده مطالعاتی درمیان از شمال توسط دشت‌های (محدوده مطالعاتی) سده و اسفدن، از شرق توسط دشت‌های بیرجند و سربیشه، از جنوب توسط دشت حسین‌آباد و دشت خوشاب و از قسمت شرق توسط دشت گزیک و آواز احاطه شده است (Rouhollahi etall., 2011). شکل شماره (۱) محدوده منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

منابع آب سطحی منطقه مورد مطالعه عموماً شامل رودخانه‌های فصلی است که تنها در زمان وقوع بارندگی، سیلاب در آن‌ها جریان دارد. رودخانه فخرود طولانی‌ترین رود محدوده درمیان به‌شمار می‌رود که سیلاب‌های فصلی را از سرشاخه‌های ارتفاعات غربی و جنوبی جمع‌آوری و به سمت شرق و افغانستان هدایت می‌کند. رودخانه گزیک نیز که بخشی از حوزه آبریز آن در محدوده قائنات قرار دارد، در همین جهت غربی شرقی رواناب نزولات ارتفاعات شمالی محدوده را پس از عبور از دشت‌های پدخل و گزیک به افغانستان هدایت می‌نماید. به‌منظور استفاده از این منابع دو سازه آبی شامل سد دهانه رزه و بند انحرافی گاویج طراحی و اجرایی شده که با بهره‌برداری از آن‌ها امکان استفاده از میلیون‌ها مترمکعب آب که همه ساله از دسترس خارج می‌گردید فراهم شده است. این سازه‌ها قادر به جمع آوری ۲۷ میلیون متر مکعب آب در سال هستند. بررسی‌های آماری انجام شده بر روی دبی رودخانه‌های مسیر نشان می‌دهد که بهره برداری از این سازه‌ها ده درصد منابع آب قابل بهره‌برداری دشت را افزایش خواهد داد.



شکل ۱ – موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در کشور و استان خراسان جنوبی

Figure 1. Map of the location of the studied area in South Khorasan province & Iran Country.

داده‌ها

در این پژوهش به‌منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطرپذیری سیل در منطقه مورد مطالعه، از معیارهای توپوگرافی، پوشش زمین، مورفولوژی رودخانه، هیدرو اقلیم، زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی استفاده شده است. این معیارها شامل زیر معیارهایی است (جدول ۱) که از داده‌ها و نقشه‌های رستری آن‌ها در پهنه‌بندی استفاده شده است. در ادامه به معرفی هریک از زیرمعیارها پرداخته می‌شود.

جدول ۱ – معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار در پهنه‌بندی سیل

Table 1. Effective Criteria and Sub-Criteria in Flood Zoning

معیارها و زیر معیارها **Criteria & Sub-Criteria**	
توپوگرافی Topography	ارتفاع Elevation
	شیب Slope
	فرم زمین Landform
پوشش زمین Land cover	پوشش گیاهی Land cover
	کاربری اراضی Land use
مورفولوژی رودخانه River morphology	تراکم آبراهه Waterway density
	فاصله از آبراهه Distance of waterway
هیدرواقلیم Hydro climate	بارش Precipitation
شناسی‌زمین Geology	شناسی‌زمین Geology
هاى انسانی‌فعالیت Human activities	داری‌های آبخیزداری و آبخوان‌طرح Watershed plans

لایه رقومی ارتفاع: این لایه با سیلاب رابطه مستقیم دارد و از نقشه رقومی ارتفاع[1] (Dem) با قدرت تفکیک‌پذیری ۳۰×۳۰ متر به‌دست آمده است.

لایه شیب: شیب تعیین‌کننده میزان و سرعت حرکت آب است. این لایه از نقشه رقومی ارتفاع (Dem) به‌دست آمده است.

لایه فرم زمین: این لایه تعیین‌کننده مناطق کوهستانی و مرتفع نسبت به دشت‌ها و مناطق پست می‌باشد که این دو را از هم تفکیک می‌کند.

لایه زمین‌شناسی: این لایه به طور مستقیم در سیل تأثیرگذار است و از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی گرفته شده است.

لایه فاصله از آبراهه: از مهم‌ترین عوامل افزایش خسارت سیل، استفاده نامناسب از حریم مسیل‌ها است. این لایه نیز از نقشه رقومی ارتفاع (Dem) به‌دست آمده است.

لایه کاربری اراضی: کاربری اراضی به شیوه‌های گوناگون در بروز سیلاب تأثیر گذار است. هرگونه اقدامی که باعث کاهش رطوبت خاک و کاهش نفوذپذیری شود، افزایش سیلاب را به همراه خواهد داشت. نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از اداره کل منابع طبیعی استان تهیه شده است.

[1] Digital Elevation Model

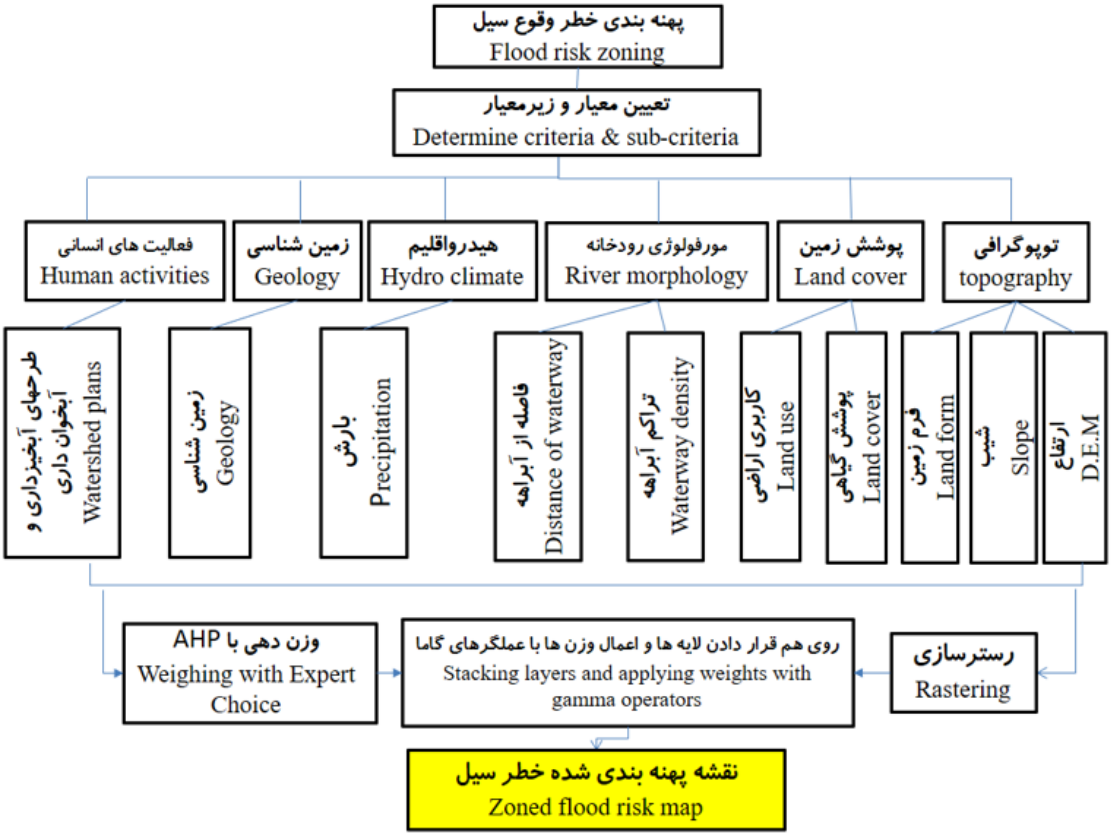
لایه پوشش گیاهی: در این لایه پوشش گیاهی سطح زمین از نظر جنس و تراکم به طبقه‌های مرتع کم‌تراکم و پرتراکم، جنگل، زراعت بوته‌زار و غیره تقسیم بندی شده است. این لایه از اداره کل منابع طبیعی استان تهیه شده است.

لایه بارش: بارش مهم‌ترین عامل در چرخه هیدرولوژی است. این لایه از داده‌های بارش سازمان هواشناسی استان تهیه شده است. برای دخالت دادن این لایه در محاسبات، از بارش سالانه منطقه که خود از داده‌های بارندگی ۳۰ ساله اخیر مستخرج و میانگین گرفته شده، به‌دست آمده است و نقشه بارش رستری منطقه، از بارش متوسط سالانه نشئت می‌گیرد.

لایه تراکم زهکشی: این لایه با سیل‌خیزی رابطه عکس دارد و از نقشه رقومی ارتفاع (Dem) با قدرت تفکیک‌پذیری ۳۰×۳۰ متر به‌دست آمده است.

لایه فعالیت‌های انسانی: در این لایه از موقعیت قرارگیری طرح‌های آبخیزداری (سازه‌های سنگ و ملات، گابیون، بند خاکی و سرریز ملاتی) استفاده شده است. لایه نقطه‌ای مختصات محل ایجاد طرح‌های آبخیزداری، حریم بندی (buffer) و سپس به لایه رستری تبدیل شده است.

شکل شماره(۲) گردش کار مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی خطرپذیری سیل و همچنین معیارهای اصلی و زیرمعیارها را نشان می‌دهد.



شکل ۲ – گردش کار مراحل و معیارها و زیرمعیارهای تأثیرگذار در پهنه بندی سیل در این پژوهش

Figure 2. study steps, criteria & sub-criteria been used in flood zoning

روش وزن‌دهی

بررسی معیارهای مختلف، درگیر و مؤثر در موضوعات مختلف یکی از روش‌های تصمیم‌گیری است. به این منظور روشی به نام تکنیک آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره طراحی شده است. این روش خود شامل زیرمجموعه‌ای از روش‌های مختلف می‌باشد؛ مانند روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، روش تحلیل شبکه‌ای[1] (ANP)، روش فازی و ترکیب روش‌های مختلف است. در این پژوهش از تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی و فازی استفاده شده است. روش فازی-AHP را نخستین‌بار در سال ۱۹۹۶ ارائه شده است (chang, 1996).

[1] Analytical Network Process

تفاوت اساسی این روش با روش AHP، نحوه وزن‌دهی معیارها و گزینه‌هاست.

برای پژوهش حاضر و رسیدن به اوزان معیارهای مشخص‌شده، از روش پرسشنامه بهره گرفته شده است. ابتدا معیارها و زیرمعیارها با مطالعات میدانی و بررسی پژوهش‌های گذشته تعیین شده است، سپس پرسشنامه ای در جهت مقایسه معیارها با هم و زیرمعیارهای هر دسته با خودش، تدوین شده است.

در پرسشنامه‌های تحلیل سلسله مراتبی یا روش AHP موضوعی به نام پایایی، آن‌طوری که در پرسشنامه‌های معمول نرم افزار SPSS (که معمولاً گزینه‌های ۵ تایی طیف لیکرت دارد) مطرح است، وجود ندارد. این وضعیت در خصوص پرسشنامه‌های روش ANP و AHP فازی، نیز صدق می‌کند. یعنی برای پرسشنامه مقایسه زوجی شاخص سنجش پایایی یا روایی، به مانند ضریب پایایی آلفای کرونباخ وجودندارد. بلکه به جای مفهوم پایایی در پرسشنامه های AHP، از مفهوم نرخ ناسازگاری[1] استفاده می‌شود. نرخ ناسازگاری شاخصی است که مقدار آن نشان دهنده تناقضات و ناسازگاری‌های احتمالی در ماتریس مقایسات زوجی است. بنابر نظر آقای ساعتی بنیان‌گذار روش AHP، چنانچه نرخ ناسازگاری کمتر از ۰.۱ باشد، سازگاری ماتریس مقایسات مورد تایید بوده و قابل قبول می‌باشند (Saaty, 2012). منظور از پایایی یک پرسشنامه این است که اگر خصیصه مورد سنجش را با همان پرسشنامه و در شرایط مشابه، مجدداً اندازه گیری شود، نتایج تا چه اندازه مشابه به‌دست آید. به‌عبارت دیگر این پرسشنامه تا چه میزان، قابل اعتماد می‌باشد. روایی پرسشنامه دلالت بر این دارد که پرسشنامه تا چه حد رواست، یعنی آیا دقیقاً همان موضوع و خصیصه‌ای که مد نظر است را اندازه گیری می‌کند یا خیر. با توجه به اینکه پرسش‌نامه روش AHP به تایید خبرگان موضوع می‌رسد، لذا روایی آن مورد تایید می‌باشد. پس از تکمیل پرسشنامه ها توسط متخصصین و صاحب‌نظران، روایایی و پایایی پرسشنامه با ضریب ناسازگاری در نرم‌افزار Expert choice بررسی شده و مقدار ۰/۰۴ که کمتر از ۰/۱ و قابل قبول است، به‌دست آمد.

چارچوب طراحی و پیاده‌سازی

در مطالعه حاضر سعی شده است ارزیابی مناسبی از شرایط سیل‌خیزی برای محدوده مطالعاتی درمیان ارائه شود. بدین‌منظور، عوامل مؤثر و محرک در رخداد سیل برای منطقه شناسایی شده و با رویکرد سیستم خبره و مطالعه میدانی (پرسشنامه‌ای) از بین متخصصان مهندسی آب، عمران- آب، جغرافیا، زمین‌شناسی، محیط زیست، مرتع و آبخیزداری و اساتید دانشگاه که ۲۵ نفر بودند، به روش توصیفی-پیمایشی بهره گرفته شده است. علاوه بر این، به‌منظور یکنواخت‌سازی اطلاعات، از دستورالعمل‌ها و استانداردهای مدیریت بحران، مطالعات میدانی (مکانی)، اطلاعات تاریخی، مطالعات پژوهش‌های انجام شده‌ی مرتبط بهره گرفته شده است (Mollazehi et all., 2020).

نتایج و بحث

وقوع سیلاب به عوامل مختلفی بستگی دارد. در این پژوهش از لایه‌های اطلاعاتی رستری ارتفاع، شیب، فرم زمین، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، بارش، تراکم آبراهه، فاصله از آبراهه، زمین‌شناسی و طرح‌های آبخیزداری در شش دسته معیار اصلی ارتفاع، پوشش زمین، هیدرواقلیم، مورفولوژی رودخانه، زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی استفاده شده است. وزن‌دهی معیارهای اصلی و زیرمعیارهای هر دسته، با تحلیل سلسله مراتبی AHP در نرم‌افزار Expert Choice انجام شده که وزن‌های نهایی هر عامل و سلسله مراتب آن در جدول(۲) نشان داده شده است.

[1] Inconsistency

جدول ۲- وزن نهایی زیرمعیارها و فاکتورهای مورد استفاده

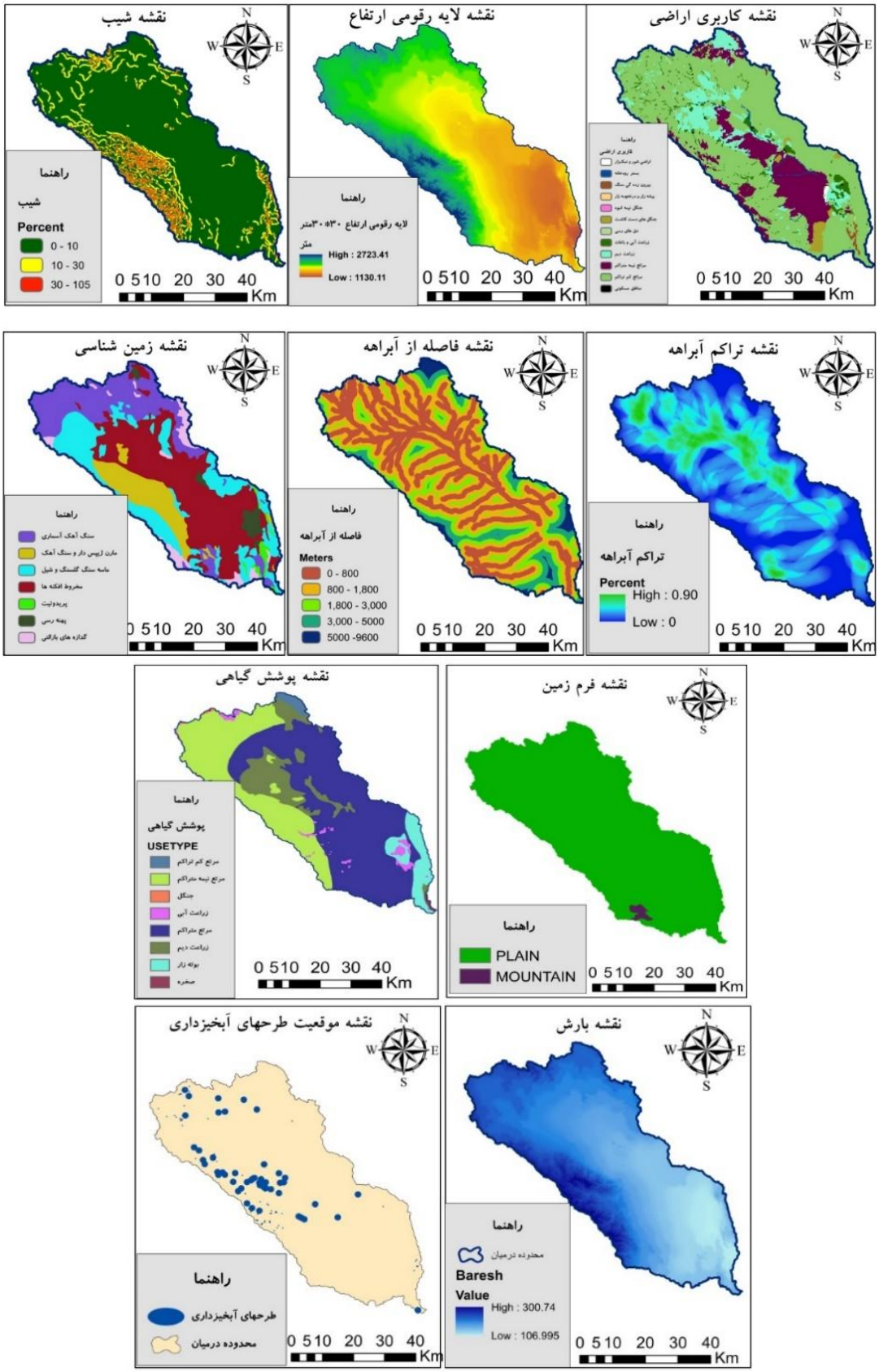
Table 2. the final weight of factors used.

شماره number	زیرمعیار Sub-criteria	وزن نهایی Final weight
۱	تراکم آبراهه Waterway density	۰/۲۸۸
۲	پوشش گیاهی Land cover	۰/۲۰۵
۳	های آبخیزداری‌طرح Watershed plans	۰/۱۴۶
۴	کاربری اراضی Land use	۰/۱۰۳
۵	بارش Precipitation	۰/۱۰۳
۶	فاصله از آبراهه Distance of waterway	۰/۰۷۲
۷	فرم زمین Land form	۰/۰۳۴
۸	شیب Slope	۰/۰۲۱
۹	شناسی‌زمین Geology	۰/۰۲۱
۱۰	ارتفاع Elevation	۰/۰۰۷

با توجه به جدول شماره ۲ و نتایج حاصل از تحلیل سلسله مراتبی، به‌ترتیب معیار تراکم آبراهه با وزن ۰/۲۸۸، پوشش گیاهی با وزن ۰/۲۰۵ و طرح‌های آبخیزداری با وزن ۰/۱۴۶ بیشترین اهمیت را در سیل‌خیزی محدوده مورد مطالعه به خود اختصاص داده‌اند.

از آن‌جایی که برای اعمال وزن‌ها و انجام محاسبات و تهیه نقشه پهنه‌بندی به نقشه رستری هر یک از عوامل مذکور نیاز است، طی مراحل زیر نقشه رستری هریک از معیارها به‌دست آمد:

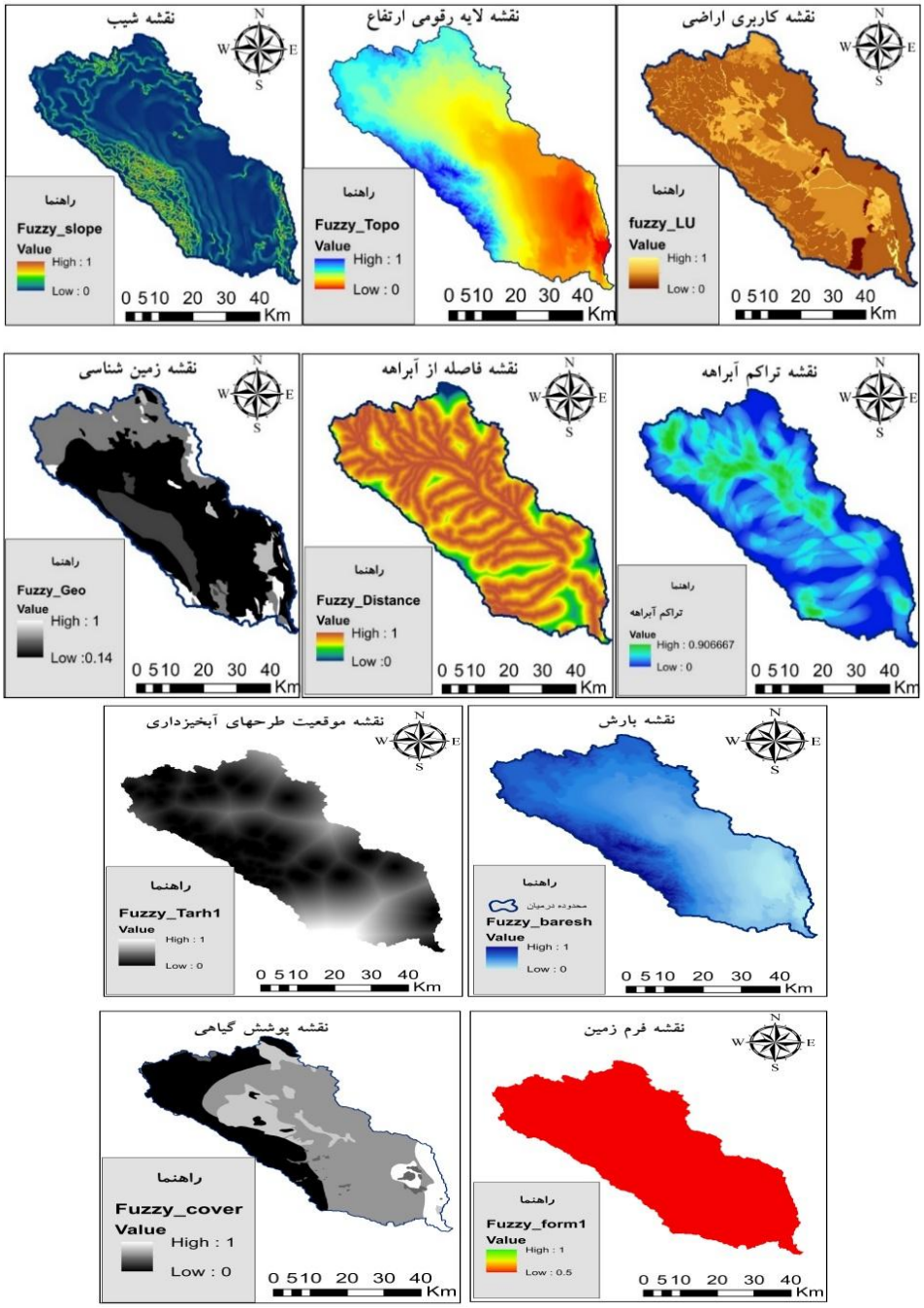
نقشه‌های ارتفاع و شیب منطقه مطالعاتی به‌صورت رس‌تر بوده است و نیازی به اعمال تغییرات نداشتند. به‌منظور ایجاد نقشه‌های رستری برای فرم زمین، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی و طرح‌های آبخیزداری، ابتدا به هر فاکتور براساس اهمیت آن در خطرپذیری سیل، رتبه‌ای اختصاص داده شد. سپس این لایه‌ها با استفاده از دستور Feature to Raster به نقشه‌های رستری تبدیل شدند. نقشه تراکم آبراهه با دستور Density از لایه رودخانه‌ها تولید شده که درصد تراکم آبراهه را برای هر پیکسل نشان می‌دهد. همچنین نقشه فاصله از آبراهه با دستور Distance از لایه رودخانه‌ها استخراج شد. برای نقشه طرح‌های آبخیزداری، محدوده اثر هر سازه بر اساس نوع آن و استانداردهای مدیریت بحران مشخص شد. محدوده سازه‌های بند خاکی بزرگ‌تر از سایر سازه‌ها در نظر گرفته شد. سپس با دستور Distance به هر پیکسل مقداردهی شد، به‌طوری که با افزایش فاصله از محدوده اثر، ارزش پیکسل نیز افزایش یابد. شکل شماره (۳) نقشه رس‌تر شده هریک از زیرمعیارها را نشان می‌دهد.



شکل ۳- نقشه رس‌تر شده هریک از زیرمعیارهای مورد استفاده در پژوهش

Figure 3. Rasterized map of each of the sub-criteria used in this study.

در ادامه پس از تهیه نقشه‌های رستری، به‌منظور نرمال‌سازی مقادیر پیکسل‌های هریک از نقشه‌های رستری، اقدام به فازی کردن آنها با دستور Fuzzy membership شده است. لازم به ذکر است، از آنجایی که برخی از معیارها با خطر سیل‌خیزی رابطه مستقیم (هرچه ارزش پیکسل‌ها بیشتر باشد خطرپذیری سیل بالاتر است) و برخی رابطه عکس (هرچه ارزش پیکسل‌ها کمتر باشد، خطرپذیری سیل بالاتر است) دارند، برای فازی کردن نقشه‌های ارتفاع، شیب، فرم زمین، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، بارش، تراکم آبراهه و پوشش گیاهی از رابطه مستقیم، و برای فازی‌سازی نقشه فاصله از آبراهه از رابطه معکوس استفاده شده است. نقشه‌های فازی‌سازی شده هریک از زیرمعیارها در شکل شماره(۴) نشان داده شده است.



شکل ۴- نقشه فازی سازی شده هریک از زیرمعیارها

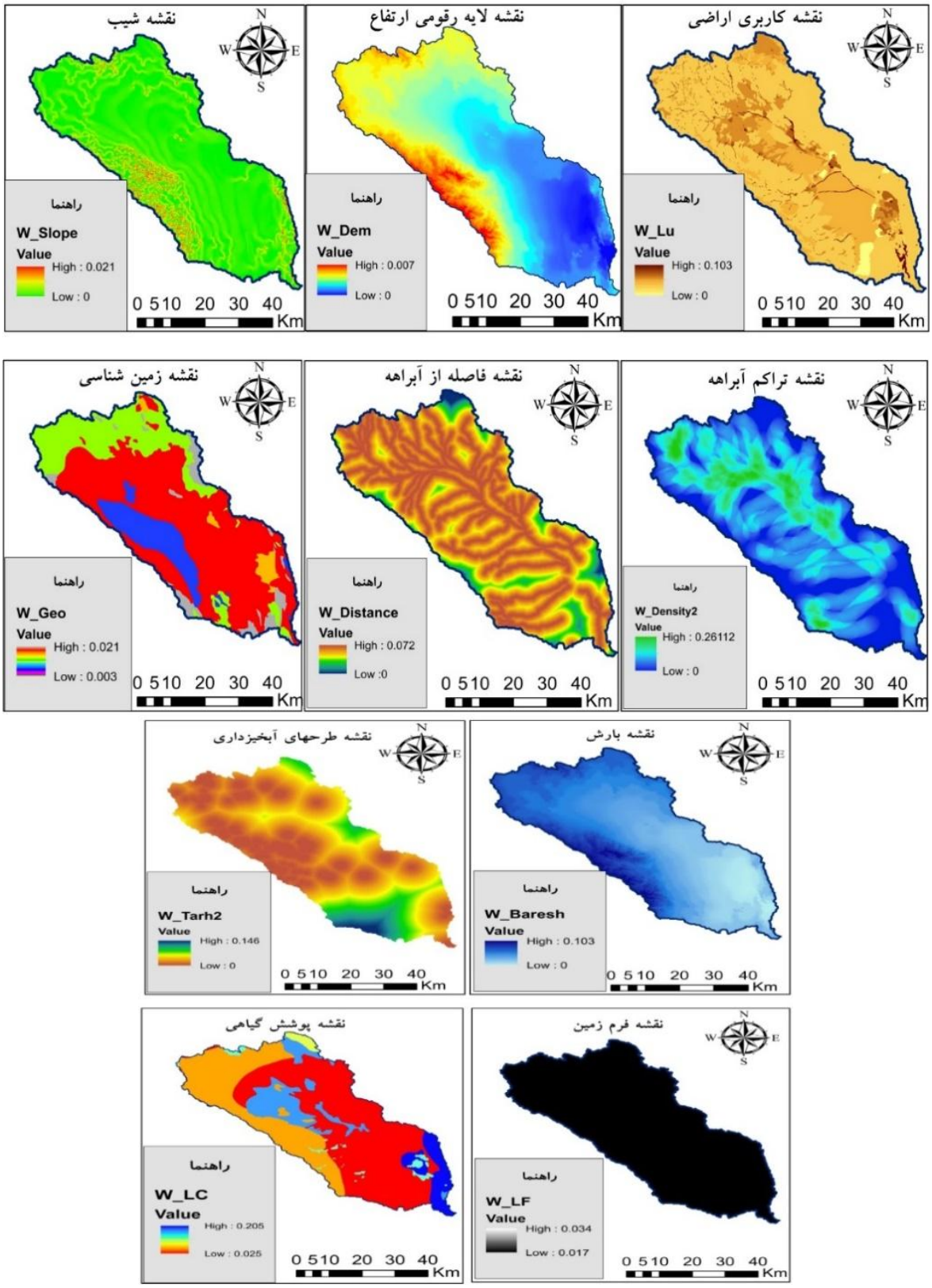
Figure 4. Fuzzified map of each sub-criterion.

باتوجه به شکل شماره(۴)، در تمامی نقشه‌ها هرچه ارزش هر پیکسل بیشتر باشد، خطر وقوع سیل در آن پیکسل بیشتر می‌باشد. در گام بعد اوزان برآورد شده از روش AHP در نرم‌افزار Expert Choice با کمک پرسشنامه ها، با استفاده از ابزار Raster calculator روی نقشه‌های فازی شده اعمال گردید. لازم به ذکر است به‌جهت مشاهده نتایج اجرای طرح‌های آبخیزداری بر روی خطرپذیری سیل، دو سری نقشه وزن دهی شده تهیه گردید که در سری اول عامل فعالیت‌های انسانی (طرح‌های آبخیزداری) در فرآیند تهیه نقشه پهنه‌بندی اثر داده شده و در سری دوم عامل فعالیت انسانی اثر داده نشده است و وزن مربوط به این عامل بر روی دو عامل مهم دیگر یعنی لایه بارش و لایه تراکم آبراهه (بر اساس وزن‌های بالایی که در AHP اختصاص داده بودند) اثر داده شده است. شکل شماره (۵) نقشه وزن دهی شده سری اول (اثر هر ۱۰ عامل در تهیه نقشه پهنه‌بندی) و شکل شماره (۶) نقشه وزن دهی شده دو لایه بارش و تراکم آبراهه (با اوزان تغییر یافته) را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل شماره ۵، وزن هر معیار در نقشه فازی شده آن معیار، اثر داده شده است. به‌طوری که ارزش پیکسل‌ها در نقشه‌های شیب در بازه ۰ تا ۰/۰۲۱، لایه رقومی ارتفاع بین ۰ تا ۰/۰۰۷، کاربری اراضی بین ۰ تا ۰/۱۰۳، زمین‌شناسی بین ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۲۱، فاصله از آبراهه بین ۰ تا ۰/۰۷۲، تراکم آبراهه بین ۰ تا ۰/۲۶۱۱۲، طرح‌های آبخیزداری بین ۰ تا ۰/۱۴۶، بارش بین ۰ تا ۰/۱۰۳، پوشش گیاهی بین ۰/۰۲۵ تا ۰/۲۰۵ و فرم زمین بین ۰/۰۱۷ تا ۰/۰۳۴ متغیر است و هرچه ارزش پیکسل در این نقشه‌ها بیشتر باشد، آن پیکسل از نظر خطر وقوع سیلاب در وضعیت خطرناک‌تری قرار دارد. لازم به ذکر است، پس از حذف معیار فعالیت‌های انسانی و اعمال وزن این معیار بر روی دو معیار بارش و تراکم آبراهه، ارزش پیکسل‌های نقشه این دو معیار به‌ترتیب در بازه ۰ تا ۰/۱۷۶ و ۰ تا ۰/۳۲۷۳۰۷ قرار گرفت.

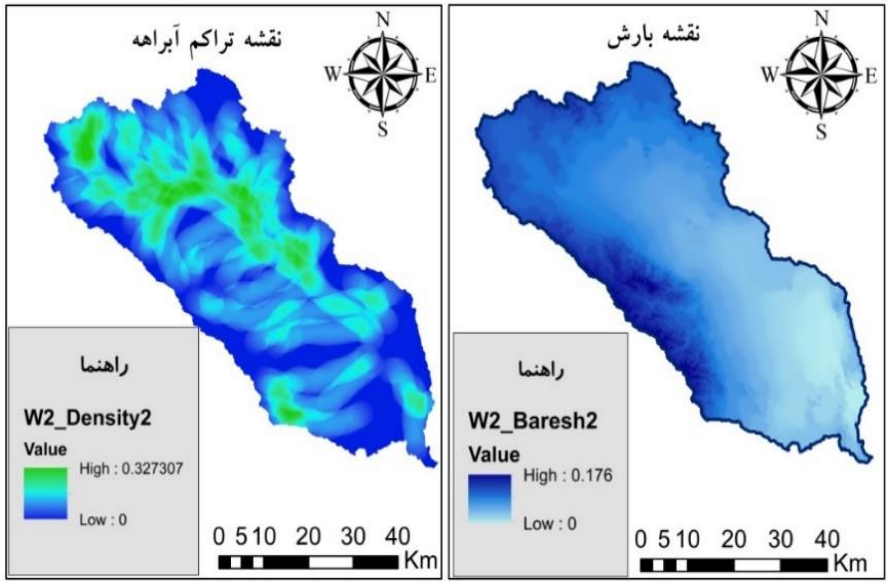
در انتها به‌منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی نهایی، روی تمامی نقشه‌های فازی شده، با استفاده از دستور Fuzzy Overlay عمل جمع فازی صورت پذیرفت و دو نقشه پهنه‌بندی خطرپذیری سیل (اثر دادن عامل فعالیت انسانی و حذف نقش عامل انسانی) تهیه گردیده است. شکل شماره ۷ و ۸ نقشه‌های پهنه بندی خطر وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل شماره ۷ و ۸، بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی خطرپذیری سیل با در نظر گرفتن طرح‌های آبخیزداری و بدون در نظر گرفتن طرح‌های آبخیزداری نشان می‌دهد که محدوده غربی و شمال غربی منطقه مورد مطالعه که بیشتر از سازه‌های بند خاکی استفاده شده است، به‌دلیل حجم بیشتر مخازن این نوع سازه‌ها نسبت به سایر سازه‌های آبخیزداری خطر وقوع سیل به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرده است. به‌طوری که با حذف این سازه‌ها از عملیات پهنه‌بندی مناطق مذکور به‌دلیل وجود مراتع کم‌تراکم، میزان بارش نسبتاً بالا، کم بودن فاصله از آبراهه و متراکم بودن آبراهه‌ها در آن مناطق از حالت کم‌خطر به متوسط و پرخطر تبدیل می‌شوند. همچنین با بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی تولید شده می‌توان گفت نواحی مرکزی به‌دلیل متراکم بودن آبراهه‌ها، کم بودن فاصله از آبراهه و ضعف پوشش گیاهی، نواحی شمال غربی به‌دلیل تراکم آبراهه‌ها، فاصله از آبراهه مرتفع بوده‌اند. نواحی جنوب غربی به‌دلیل بارش بالا، مرتفع بودن، ضعف در پوشش گیاهی، نبود طرح‌های آبخیزداری، تراکم زیاد آبراهه و نواحی جنوب شرقی به‌دلیل وجود آبراهه و ضعف شدید پوشش گیاهی در نواحی خطرناک از نظر خطر وقوع سیل قرار دارند. همچنین دو شهرستان درمیان و طبس مسینا به‌علت قرارگیری در محل‌های قرمز رنگ (پرخطر) به‌ترتیب در نواحی خطرناک و پرخطر قرار می‌گیرند.



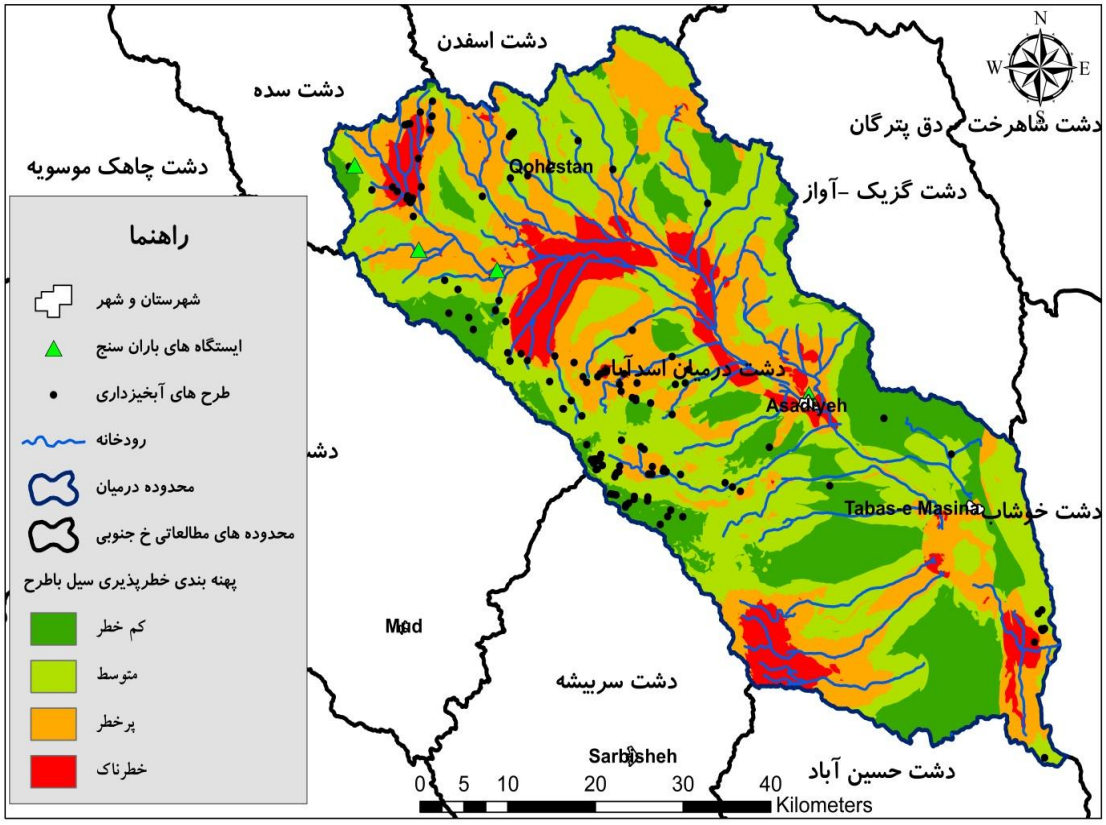
شکل ۵- نقشه وزن دهی شده سری اول

Figure 5. Weighted map of the first series



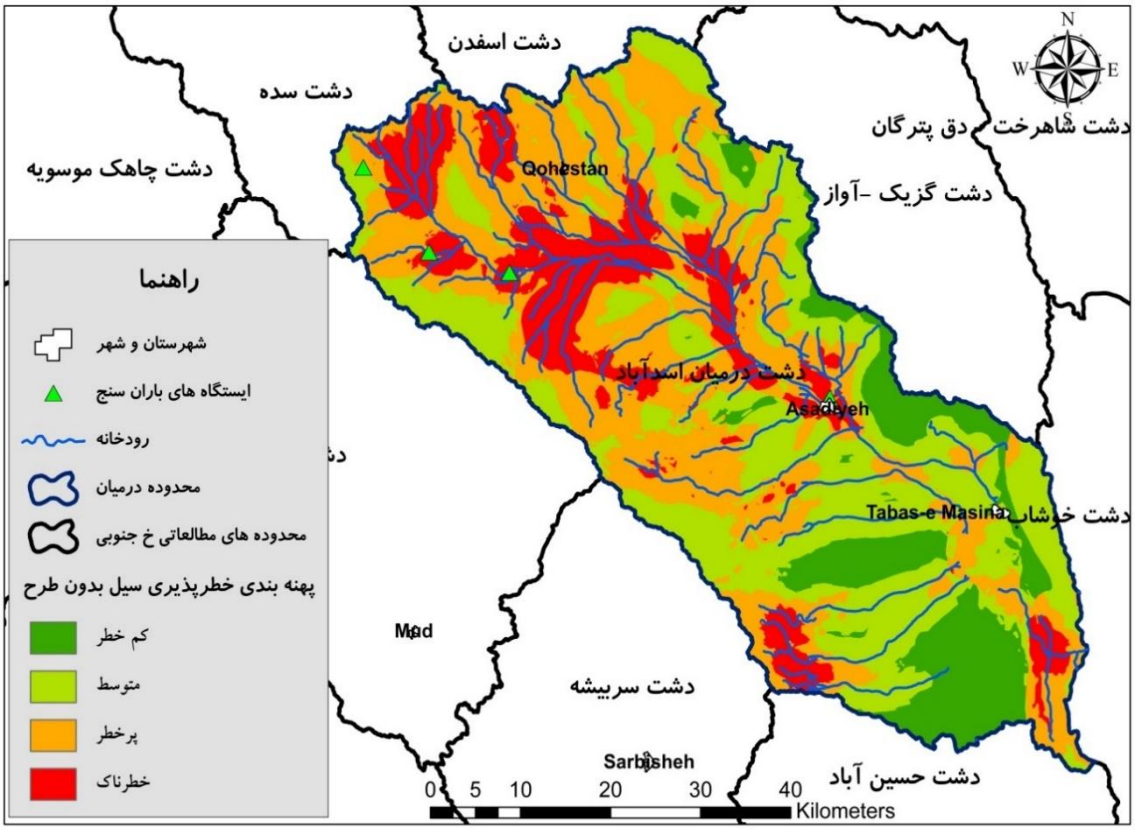
شکل ۶- نقشه وزن دهی شده لایه بارش و تراکم آبراهه با اوزان تغییر یافته

Figure 6. Weighted map of the second series.



شکل ۷- نقشه پهنه بندی خطر وقوع سیل با درنظر گرفتن اثر طرح‌های آبخیزداری

Figure 7. Flood risk zoning map considering the effect of watershed plans.



شکل ۸- نقشه پهنه بندی خطر وقوع سیل بدون درنظر گرفتن اثر طرح‌های آبخیزداری

Figure 8. Flood risk zoning map without considering the effect of watershed plans.

نتیجه‌گیری

سیلاب از مخرب‌ترین وقایع طبیعی شناخته شده است. پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل یکی از کارآمدترین روش‌هایی است که برای کنترل این پدیده طبیعی و شناخت راهکارهای مدیریتی مناسب در جهت مقابله با آن می‌باشد. تحقیقات بسیاری در خصوص تعیین عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از روش فازی و AHP در محیط GIS صورت گرفته است. در همین راستا پژوهش حاضر با استفاده از تلفیق مدل‌های فازی و AHP علاوه بر تعیین میزان اثرگذاری عوامل مؤثر در وقوع سیلاب، به بررسی اثر طرح‌های آبخیزداری در کاهش خطر وقوع سیل پرداخته است. نتایج نشان داد زیر معیارهای تراکم آبراهه و پوشش گیاهی به‌ترتیب با وزن‌های ۰/۲۸۸ و ۰/۲۰۵ دارای بیشترین اهمیت و زیرمعیار ارتفاع با وزن ۰/۰۰۷ دارای کمترین اثرگذاری در وقوع سیلاب در محدوده مطالعاتی مذکور می‌باشند. همچنین بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی تولید شده نشان داد که در مناطق غرب و شمال غرب محدوده مورد مطالعه، وجود طرح‌های آبخیزداری سبب قرار گرفتن این مناطق در بازه کم‌خطر شده است، اما با حذف اثر طرح‌های آبخیزداری این مناطق در منطقه پرخطر و خطرناک قرار می‌گیرند که نشان دهنده اثرگذاری طرح‌های آبخیزداری در کاهش خطر سیلاب بوده است. لازم به ذکر است در مناطق مذکور طرح‌های آبخیز داری به کار رفته از نوع بند خاکی می‌باشد که سازه‌ای مخزنی است و باعث مهار سیلاب می‌شود. همچنین نتایج نشان داد مساحت مناطق با خیلی زیاد از ۴۹۵۶۷/۵۵ به ۶۰۶۰۶/۸۲ و مناطق با خطر زیاد از ۱۱۶۹۷۶/۴۲ به ۸۸۸۲۴/۳۸هکتار کاهش پیدا کرده و مساحت مناطق با خطر متوسط از ۱۰۱۴۴۹/۷۱ به ۱۲۳۲۶۰/۳ و مناطق با خطر کم از ۳۹۱۲۶/۱۸ به ۶۴۴۲۸/۰۱ هکتار افزایش پیدا کرده است. همچنین نتایج نشان داد؛ منطقه جنوبی محدوده درمیان از لحاظ خطرپذیری سیلاب در منطقه‌ای امن واقع شده است، چرا که نوع پوشش گیاهی در آن منطقه مرتع، نوع سازند زمین‌شناسی آن مخروط افکنه‌ای و مقدار بارندگی و درصد تراکم آبراهه کم می‌باشد. لازم به ذکر است شهر در میان و طبس مسینا به‌ترتیب در محدوده خطرناک و پر خطر قرار دارند و بایستی در این شهرها نسبت به جانمایی مناسب

زیرساخت‌ها و تأسیسات اقدامات لازم انجام شود. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات بعدی تأثیر حجم مخزن سازه‌های آبخیزداری بررسی گردد. همچنین می‌توان تأثیر مناطق مناسب جهت تغذیه مصنوعی آبخوان‌های محدوده را مورد مطالعه قرار داد و موقعیت مکانی مناسب آن را تعیین کرد.

منابع

Mehrabi, A., Karimi, S. and Safipour, M. (2021). Groundwater Potential Assessment Using Sentinel 1 Radar Data Processing and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) Technique (Case Study: the Sirjan Catchment), *Geography and Environmental Planning, 31(2)*, 1-24. 10.22108/GEP.2020.122611.1292

AmirAhmadi, A., Behniafar, A., and Ebrahimi, M. (2011). Flood hazard zonation for Sabzevar urban sustainable development. *Geographical Journal of Environmental Planning, 16*, 33-17. 10.47176/jwss.23.4.38301

Büchele, B., Kreibich, H., Kron, A., Thieken, A., Ihringer, J., Oberle, P., and Nestmann, F. (2006). Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 6(4)*, 485-503. 10.5194/nhess-6-485-2006

Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research, 95(3)*, 649-655. 10.1016/0377-2217(95)00300-2

Das, S. (2020). Flood susceptibility mapping of the Western Ghat coastal belt using multi-source geospatial data and analytical hierarchy process (AHP). *Remote Sensing Applications: Society and Environment, 20*, 100379. 10.1016/j.rsase.2020.100379

Dash, P., and Sar, J. (2020). Identification and validation of potential flood hazard areas using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index. *Journal of Flood Risk Management, 13(3)*, e12620. 10.1111/jfr3.12620

EsfandiaryDarabad, F., Rahimi, M., and Pourmortaza, Gh. (2019). Flood zonation of Agerloo Cay Basin using the L-THIA method and fuzzy logic, *quantitative geomorphological researches, 8(2)*, 155-171.

Mahmoudzadeh, H., and Bakoi, M. (2018). Flood zoning using fuzzy analysis (case study: Sari city), *Journal of Natural Environment Hazards, 7(18)*, 51-68. 10.22111/jneh.2018.19885.1238

Lotfi, H., and Jafari, M. (2012). Urban Immunization Process with the Purpose of Tackling with Natural Disasters of Floods (The Case Study of Tehran), *Geographic Space, 11(36)*, 283.

Hassanzadeh Nafooti, M., and Khajebafghi, H. (2017). Flood Hazard Zoning Using Multiple Criteria Decision Analysis System (Case Study: Sheytoor Watershed in Bafgh), *Journal of Watershed Management Research, 7(14)*, 29-37. 10.22126/arww.2022.6667.1218

Nikolova, V., and Zlateva, P. (2017). *Assessment of flood vulnerability using fuzzy logic and geographical information systems. In Information Technology in Disaster Risk Reduction*. First IFIP TC 5 DCITDRR International Conference, ITDRR 2016, Sofia, Bulgaria, November 16–18, 2016, Revised Selected Papers 1 (pp. 254-265). Springer International Publishing.10.1504/IJSSCI.2008.017590

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, *1*(1), 83-98.

Shao, Z., Huq, M. E., Cai, B., Altan, O., & Li, Y. (2020). Integrated remote sensing and GIS approach using Fuzzy-AHP to delineate and identify groundwater potential zones in semi-arid Shanxi Province, China. *Environmental Modelling & Software, 134*, 104868. 10.1016/j.envsoft.2020.104868

Wu, Y., Zhong, P. A., Zhang, Y., Xu, B., Ma, B., & Yan, K. (2015). Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China. *Natural Hazards, 78*, 635-651. 10.1007/s11069-015-1737-3

Wu, Z., Shen, Y., & Wang, H. (2019). Assessing urban areas' vulnerability to flood disaster based on text data: A case study in Zhengzhou city. *Sustainability, 11(17)*, 4548. 10.3390/su11174548

Rouhollahi, A., Shahidi, A., Akbarpour, A., & E'tebari, B. (2011). *Zoning of groundwater quality parameters: A case study in Asadabad region, South Khorasan Province.* In Proceedings of the 4th Iran Water Resources Management Conference (Tehran). Retrieved from https://civilica.com/doc/117445.

Mollazehi A, Pudineh M, Khosravi M, Armesh M, Dehvari A. (2020). Assessment of the Potential Flood Risk in Sarbaz Drainage Basin. *Jgs*. *20*(58), 241-260. 10.29252/jgs.20.58.241.

پیوست

در این قسمت پرسش نامه استفاده شده در پژوهش قرار داده شده است.

بسمه تعالی

صاحب‌نظر گرامی

با سلام؛

ضمن عرض تشکر از همکاری شما، مدت زمان تقریبی برای تکمیل این پرسش نامه ۳ دقیقه می‌باشد. خواهشمندم که برای نتیجه هرچه بهتر پژوهش، بنده را یاری کنید.

پرسش نامه‌ای که در دست دارید به‌منظور انجام پژوهشی با عنوان «پهنه بندی خطر وقوع سیل با استفاده از عملگرهای فازی (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی درمیان)» می‌باشد. اطلاعات شخصی پاسخنامه‌های شما صرفاً به‌منظور انجام تحقیق استفاده خواهد شد و در اختیار هیچ فرد، گروه یا سازمانی قرار داده نخواهد شد. به‌منظور انجام این تحقیق نیاز به مشارکت صاحب‌نظران در تخصص‌های مختلف می‌باشد.

۱. محقق جهت طراحی پرسش نامه فعلی (تعیین فهرست اولیه معیارها) ابتدا معیارها را از طریق بررسی تجربیات و مطالعات بین المللی و داخلی و بررسی ویژگی‌های طرح‌های برتر انتخاب شده برای اجرای پهنه بندی مختلف در گذشته انتخاب نموده است.

۲. هدف از طرح این پرسش نامه شناسایی میزان اهمیت هر کدام از این معیارها و زیرمعیارها نسبت بر دیگری بر «تأثیر هر معیار بر پهنه بندی مناطق مستعد سیلاب و تأثیر هر زیرمعیار در خوشه خود» می‌باشد.

۳. استحضار دارند که افزایش تعداد شاخص‌ها معمولاً نقشی در مفید بودن آنها در ارزیابی یک مسئله و تصمیم گیری ندارد بلکه آنچه در ارزیابی یک مسئله اهمیت دارد این است که اجتماع چندین شاخص بتواند تصویر روشنی از مسئله ارائه کند و کاربر را در درک مسئله مورد بررسی یاری دهد. بنابراین تعیین چندین معیار که امکان تأمین اطلاعات دقیق یا نسبتاً دقیق برای آنها فراهم بوده نتایج بهتری در تصمیم گیری ایجاد خواهد کرد.

۴. محقق در نظر دارد با تهیه این پرسشنامه به این هدف نائل آید: به‌دست آوردن درجه اهمیت معیارها و زیرمعیارها (در خوشه خود) از دیدگاه محققان و پژوهشگران با توجه به دانش فنی و تجربیات ارزنده صاحب‌نظران.

۵. پس از مشخص شدن معیار و وزن آن توسط این پرسشنامه، با استفاده از روش AHP نسبت به تعیین وزن معیار اقدام گردد.

از عنایت، دقت نظر و بردباری شما در تکمیل این پرسشنامه کمال تشکر را دارم.

حنان حنفی و محمد فولادی نصرآباد، دانشجویان دکتری علوم و مهندسی آب- منابع آب دانشگاه بیرجند

اگر در روند پاسخ دهی ابهامی وجود داشت به ایمیل اینجانبان پیام بفرستید.

hannan.hanafi@birjand.ac.ir

mohamadfouladi-nsrbd@birjand.ac.ir

پرسش‌نامه

در تکمیل این پرسش نامه به موارد زیر توجه فرمائید:

۱. کلیه مقایسه‌ها به‌صورت زوجی انجام می‌گیرد با این تفاوت که ابتدا معیارها با هم مقایسه زوجی می‌شوند، سپس زیرمعیارهای هر دسته درون خوشه خود با هم مقایسه خواهند شد. به طور مثال اگر بخواهیم معیارها را بررسی کنیم، ابتدا معیار توپوگرافی را با پوشش زمین مقایسه کرده و سپس این مقایسه را درمورد توپوگرافی با هیدرواقلیم و... انجام می‌دهیم. در مرحله بعد زیرمعیارهای هر معیار با همدیگر مقایسه می‌شوند مثلاً ابتدا زیرمعیارهای توپوگرافی با هم مقایسه شده و سپس زیرمعیارهای پوشش زمین با هم و... مقایسه می‌شوند .

۲. در این مقایسه‌ها از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهد شد، به‌گونه‌ای که اگر عنصر i با عنصر j مقایسه شود، تصمیم گیرنده اهمیت عناصر را بر یکدیگر طبق جدول ۹ کمیتی تکمیل کند.

۳. در مقایسه معیار i با j اگر اهمیت هر دو معیار یکسان بود عدد ۱ را علامت بزنید. اگر معیار سمت راست مهم‌تر بود به همان اندازه که با اهمیت‌تر است عدد سمت راست انتخاب شود. مثلاً اگر معیار سمت راست سه درجه مهمتر بود عدد ۳ سمت راست را علامت بزنید اما اگر سمت چپ مهمتر بود عدد سمت چپ را علامت بزنید. دقت کنید فقط عدد یک سمت یعنی سمت معیاری که مهم‌تر است را علامت بزنید.

نحوه ارزش گذاری ارجحیت در ماتریس مقایسه زوجی

مقدار عددی	قضاوت شفاهی
۱	اهمیت یکسان
۲	اهمیت ناچیز یا ضعیف
۳	اهمیت متوسط
٤	اهمیت متوسط بیشتر
٥	اهمیت قوی
٦	اهمیت بیشتر قوی
۷	اهمیت خیلی قوی
۸	اهمیت خیلی خیلی قوی
۹	حداکثر اهمیت

معیارها و زیر معیارها	
توپوگرافی	ارتفاع
	شیب
	فرم زمین
پوشش زمین	پوشش گیاهی
	کاربری اراضی
مورفولوژی رودخانه	تراکم آبراهه
	فاصله از آبراهه
هیدرواقلیم	بارش
زمین‌شناسی	زمین‌شناسی
فعالیت‌های انسانی	طرح‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری

در زیر توضیحاتی از زیرمعیارها جهت رفع ابهامات احتمالی، ارائه شده است:

- ارتفاع: برای این زیرمعیار از لایه مدل رقومی ارتفاع منطقه استفاده می‌شود. مدل رقومی ارتفاع یا همان مدل رقومی زمین را می‌توان یک نقشه رقومی رستری دانست، که حاوی اطلاعات ارتفاعی تمامی نقاط یک محدوده است. اگر یک DEM از محدوده مورد مطالعه خود در اختیار داشته

باشید، در نرم‌افزار ArcGIS روی هر نقطه‌ای کلیک کنید، ارتفاع آن نقطه را خواهید دید.

- شیب: تابع شیب حداکثر مقدار تغییراتی که ارتفاع یک سلول نسبت به مقدار ارتفاع ۸ سلول مجاور خود دارد را محاسبه می‌کند. برای مثال در یک کاربرد آبی شیب‌دارترین زاویه حرکت به سمت پایین آب را از موقعیت یک سلول ارتفاعی به سمت یک سلول مجاور که دارای کمترین ارتفاع در بین ۸ سلول مجاور می‌باشد را تعیین می‌کند. برای این کار از روی لایه DEM، نقشه Slope منطقه تهیه می‌گردد .

- فرم زمین: نقشه شکل زمین ورودی بسیاری از مدل‌ها است بنابراین این نوع نقشه ترکیبی از سه نقشه طبقه بندی ارتفاعی، شیب زمین و جهت شیب می باشد که برای این منظور از لایه Land form استفاده می‌شود.

- پوشش گیاهی: به کلیه رستنی‌های سطح هر منطقه شامل درخت، درختچه، گونه‌های مرتعی که در زیستگاه‌های طبیعی و مصنوعی وجود دارد. به تعبیری دیگر پوشش گیاهی شامل کلیه گونه‌های گیاهی یک ناحیه و نحوه پراکنش مکانی و زمانی آنهاست. لایه‌ای است (Land cover) که پوشش گیاهی منطقه را دسته بندی می‌کند و پس از رستری کردن آن، پوشش گیاهی هر سلول مشخص می‌شود.

- کاربری اراضی: کاربری زمین یا کاربری اراضی، نحوه استفاده از زمین است. در واقع برنامه ریزی کاربری زمین تعیین نوع فعالیت قابل استقرار روی زمین و چگونگی اجرای آن فعالیت را مشخص می‌سازد. این معیار تحت لایه Land use استفاده می‌شود.

- تراکم آبراهه: نسبت طول کل شبکه هیدروگرافی شامل کلیه آبراهه ها) فرعی و اصلی (به مساحت حوضه، تراکم زهکشی را نشان می‌دهد. این خصوصیت بیانگر وضعیت رواناب و فرسایش در قسمت‌های مختلف آن می‌باشد.

- فاصله از آبراهه: نشان دهنده فاصله تا رودخانه می‌باشد، در GIS می‌توان از روش‌ها و ابزارهای مختلفی استفاده نمود. اما اصولی‌ترین روشی که می‌توان برای ایجاد چنین نقشه‌ای در نرم‌افزار GIS اجرا کرد، به‌کارگیری ابزار فاصله اقلیدسی است. این ابزار فاصله تک تک نقاط منطقه تا نزدیک‌ترین رودخانه و آبراهه را نشان می‌دهد. ابزار Euclidean Distance در بین ابزارهای توابع مختلف مجاورت محسوب می‌شود. چنین نقشه‌ای معمولاً در مطالعات و پژوهش‌های مرتبط با مکان یابی یا پهنه بندی به کار گرفته می‌شود.

- بارش: این معیار از میانگین بارندگی طولانی مدت ایستگاه‌های باران سنجی منطقه حاصل می‌شود. برای این نقشه، به هر ایستگاه یک میانگین بارش نسبت داده شده و سپس برای کل منطقه درون‌یابی می‌شود و رس‌تر خروجی آن دارای مقدار بارش برای هر سلول از منطقه است.

- زمین‌شناسی: نوعی نقشه تخصصی است که برای نمایش پدیده‌های زمین‌شناسی به‌کار می‌رود. این نقشه‌ها واحدهای سنگ و چینه را در جایی که در سطح زمین رخنمون می‌یابند، با استفاده از رنگ‌ها و علائم نشان می‌دهد.

- طرح‌های آبخیزداری و آبخوان‌داری: راهکارهای پیشگیرانه کنترل و بهره‌برداری از رواناب‌ها و سیلاب‌ها در بخش‌های مختلف حوزه‌های آبخیز است که می‌تواند با جلوگیری و کاهش خسارات سیل، تهدید این نعمت الهی را به فرصت تبدیل کند. اجرای این طرح‌ها با هدف کنترل سیلاب، جلوگیری از فرسایش خاک و تغذیه سفره‌های آب‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد. به‌عنوان مثال: ایجاد بندهای گابیونی در طول مسیل ها، ایجاد بسترهای جاذب برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، ایجاد بندهای خاکی در مسیر سیلاب‌ها و غیره.

*در جداول زیر میزان اهمیت هر یک از معیارها و زیرمعیارها را نسبت به هم دیگر تعیین نمایید: (در کادرهای زیر گزینه موردنظر را علامت بزنید).

معیار i	اولویت																	معیار j
پوشش زمین	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	توپوگرافی
هیدرواقلیم	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	توپوگرافی
زمین شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	توپوگرافی
فعالیت انسانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	توپوگرافی
مورفولوژی رودخانه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	توپوگرافی
هیدرواقلیم	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پوشش زمین
زمین شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۳	۵	۶	۷	۸	۹	پوشش زمین
فعالیت انسانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پوشش زمین
مورفولوژی رودخانه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پوشش زمین
مورفولوژی رودخانه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هیدرواقلیم
زمین شناسی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هیدرواقلیم
فعالیت انسانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	هیدرواقلیم
مورفولوژی رودخانه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	زمین شناسی
فعالیت انسانی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	زمین شناسی
موروفولوژی رودخانه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	فعالیت انسانی

- حال مقایسه زوجی زیرمعیارهای هر معیار در خوشه خود را امتیازدهی کنید.

زیرمعیار i	اولویت																	زیرمعیار j
شیب	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ارتفاع
فرم زمین	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ارتفاع
فرم زمین	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	شیب

زیرمعیار i	اولویت																	زیرمعیار j
کاربری اراضی	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	پوشش گیاهی

زیرمعیار i	اولویت																	زیرمعیار j
فاصله از آبراهه	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تراکم آبراهه

- معیارهایی(هیدرواقلیم، زمین شناسی و فعالیت های انسانی) که فقط یک زیرمعیار داشته اند، مقایسه زوجی ندارند و وزن زیرمعیار برابر یک است، لذا آورده نشده اند.

در انتها ممنون و سپاسگزارم از وقتی که گذاشتید و ما را با دانش، تخصص و اظهار نظر خود در انجام این پژوهش یاری رساندید.