

Identification and Zoning of Flood Prone Areas in Germe County

Leila Aghayary¹ | Sayyad Asghari Saraskanrood^{2✉} | Batoul Zeynali³

1. PhD in Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

E-mail: aghayary.leila@yahoo.com

2. Corresponding author, professor of Geomorphology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

E-mail: sayyad.sasghari21@gmail.com

3. professor of Climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

E-mail: zeynali.b@uma.ac.ir

Article Info	ABSTRACT	
Article type: Research Article	Flood is one of the most common natural hazards that causes many human and financial losses all over the world every year. In order to reduce the damages caused by floods and flood management, it is necessary to assess the possibility of danger and prepare maps of possible danger areas. Flood-flooding potential zoning is one of the methods that can be adopted to reduce the risks caused by floods. In recent years, many destructive floods have occurred in Garami county. For this reason, in order to manage floods, reduce damages and use water resources correctly, the flood potential of Germe county has been studied. In this study, 9 factors of slope, slope direction, height, precipitation, distance from the river, density of the river, lithology, distance from the city and village and land use were identified as effective factors for causing floods in the region. Standardization of maps was done using fuzzy method and zoning of prone areas was done with Aras multi-criteria algorithm in Edrisi software environment and according to the results of flood risk zoning; The criteria of lithology, land use, slope, distance from the river are the most important factors involved in creating the risk of subsidence of the study area with the weight coefficient of 0.853, 0.808, 0.674 and 0.4867 respectively, and 189.70 and 189.70 respectively. 20/388 square kilometers of the area has a very high probability of danger	
Article history: Received: 9 February 2024 Revised: 19 April 2024 Accepted: 24 April 2024 Published: 21 June 2025		
Keywords: Flooding, zoning, ARAS, Germe county.		
Cite this article: Aghayary, L., Saraskanrood, S.A., & Zeynali, B. (2025). Identification and zoning of flood prone areas in Germe county. <i>Journal of Geography and Planning</i> , 29 (91), 227-245.		
http://doi.org/10.22034/gp.2024.60493.3235		
 © The Author(s). DOI: http://doi.org/10.22034/gp.2024.60493.3235 Publisher: University of Tabriz.		

Introduction

Flood is one of the dangers that mankind is facing today and every year it leads to many financial and human losses it is known as one of the natural disasters that according to the global report of the United Nations Development Program on the risk of natural disasters, floods along with earthquakes And drought has the highest rank in terms of financial and human losses. Due to the occurrence of these floods, the places with the highest potential for occurrence (sensitive areas) should be identified by flood sensitivity maps before planning, so that human and financial losses caused by future floods are avoided. Reduced. The first step in economic studies of flood management plans or flood control is to have flood maps. According to the flood area in multiple return periods and damage estimation in each zoning, the amount of investment to prevent damage is calculated in the optimal state. Flood zoning means how much the flood covers the region, for this reason, the flood is considered with different return periods to determine what stages should be covered. Iran is considered to be one of the dry and semi-arid countries. However, the annual flood is one of the main threats to human society and the environment, and the severity of this disaster increases every year. It has become more natural. According to the studies, 40 small and large floods occur in different parts of the country every year, and the area of flood-prone areas in the country is estimated to be around 91 million hectares.

Methodology

The current research is of an applied type and its research method is an analysis based on the integration of data analysis, geographic information system, and the use of multi-criteria analysis techniques.

Digital height model: SRTM phase interferogram contains topography effect, orbital error, and atmospheric effects. To obtain the displacement of the earth's surface in a time interval, the orbital errors, topographical effects, and atmospheric noise should be removed from the interferograms. To eliminate the effect of topography, the SRTM digital height model with a spatial resolution of 90 meters has been used. Orbital errors were also modeled by fitting a procedure to the regions that have no displacement and subtracted from the desired interferogram. Atmospheric error can be adjusted with the help of atmospheric information and atmospheric models.

Optical satellite images: Optical satellite images were used in this research to extract the land use map of 2022. ENVI 5.3 software was used for atmospheric and radiometric corrections, and ArcGIS 10.5 software was used to extract relevant maps. To classify land use, the object-oriented classification method was used in ecognition developer64 software. It was also used to obtain the accuracy of Google Earth classification.

The steps of preparing a flood risk zoning map using the ARAS method (assessing the collective ratio)

The ARAS method is based on the argument that the phenomena of the complex world can be understood by using simple relative comparisons. This technique is a powerful method in providing the performance rate and degree of desirability of different options compared to the optimal situation, and it is relatively easy to use. The steps of the Aras implementation algorithm are as follows:

Forming the decision matrix: The decision matrix in this method is in the form of criteria options. That is, a matrix whose columns are problem criteria (Table 1) and the rows are options, and each cell is the score of each option relative to each criterion. 2: Normalization of the decision matrix or standardization: in the implementation of all the algorithms used in the current research and to achieve the spatial zoning pattern of subsidence risk, the standardization step was carried out according to the fuzzy membership function (Table 2). Standardizing data means equalizing the range of data changes between zero and one or another specified range. In fuzzy sets, the highest value, i.e. the value of one, belongs to the maximum membership, and the lowest value, i.e. zero, belongs to the minimum membership in the set.

Results and Discussion

In the study area, the average slope is 40%, and in some mountainous areas, the slope is over 58%. The predominance of steep slopes has significant effects on hydrological variables and flood risk in the studied area. To zone the flood risk, the north, northwest, and west slopes respectively received a high value due to high rainfall, long-term snow retention, and higher humidity.

In this research and the studied area, the distances from the roofs are less in the eastern area and more than other areas are exposed to floods. In Germe county, different lithological units have been spread in the form of internal, external, and sedimentary igneous rocks, and 35% of the igneous rock basin and 27% are composed of shale and marl, which due to the low permeability and high slope of the region. It plays an important role in the occurrence of floods in the region. 46% of the basin is made up of dry, barren lands and poor pastures, which play an important role in the occurrence of floods. Also, urban and rural areas and constructions near the rivers are suitable areas for flood spreading due to the reduction of water absorption and infiltration. According to the map of Germe city, the highest density of cities and villages and construction of Germe county is in the eastern part of this county. Another influential factor in the occurrence of this risk is the distance from the fault, which reduces

the flood risk by moving away from them.

Conclusion

The flood phenomenon is one of the hydroclimatic events and one of the most serious and dangerous natural disasters that threaten human societies. Identification of flood-prone lands is for the implementation of prevention and control methods from the natural resources management program and development and construction projects. In this research, was tried, in the framework of the ARAS model, which is one of the prominent techniques, several features are highlighted, the influence of the components involved in the formation of flood potential was included, and during the operational use of double methods. The geographic information system environment of SUPER DISIONS provides the EC definition of regularity in the determination and zoning of flood potential at the level of the study area (Grami county). According to the final map, the high-risk areas are mainly in the steep and mountainous areas (south and southeast), in the direction of the northwest slope, in the densely populated areas of the village (east of Garimi county) and the urban area (especially in the areas of the city center). Due to the density of constructions and less permeability, they are located in the area of waterways (south and southeast). According to the results of weighting, among the effective factors in causing floods in the study area, lithology factors with a weighting factor (0.853), land use with a weighting factor (0.808), slope with a weighting factor (0.674) and distance From the river with weight (0.486), they are respectively the most important causes of floods in the region.

The results of the study showed that 11.17% and 22.87% of the study area are located in the high-risk and high-risk class, respectively, and the medium-risk class occupies 27.84% of the area. Also, 25.16 and 12.967 percent of the range area have low and very low-risk potential, respectively. The results of the study indicate the high potential of the studied area in terms of creating flood risk, therefore, the lands with a very high probability of risk are the lands that need protection and watershed measures (such as: preventing soil erosion and destruction, reducing the sediment load of water reducing the speed and intensity of runoff, increasing the concentration time of floods, creating opportunities for water to penetrate the lower layers of the basin and feeding the aquifers, cultivating plants suitable for the geographical conditions of the slopes and reviving pastures and creating green spaces) be done in it. The flood risk stratification map extracted from the ARAS model in the current research can be used in determining suitable areas for choosing the right place for construction, in designing projects, environmental management, implementing programs, construction plans, and Any constructions and infrastructure activities in the studied area should be used to choose the right and appropriate strategy and stay away from high-risk areas



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع مخاطره سیلاب در شهرستان گرمی

لیلا آقاییاری^۱، صیاد اصغری سراسکانرود^۲، بتول زینالی^۳

۱. دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: aghayary.leila@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: sayyad.sasghari21@gmail.com
۳. استاد اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: zeynali.b@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱ کلیدواژه‌ها: سیلاب، پهنه‌بندی، ARAS شهرستان گرمی	سیلاب یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی است که سالانه موجب خسارات جانی و مالی فراوانی در سرتاسر جهان می‌گردد. در جهت کاهش خسارات ناشی از سیلاب و مدیریت سیلاب، ارزیابی و بررسی احتمال وقوع خطر و تهیه نقشه‌های مناطق احتمال خطر امری ضروری و لازم می‌باشد. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی یکی از روش‌هایی است که جهت کاهش خطرات ناشی از سیل می‌توان اتخاذ نمود. در سال‌های اخیر در شهرستان گرمی سیل‌هایی مخرب زیادی رخ داده است. به همین دلیل جهت مدیریت سیلاب، کاهش خسارات ناشی از آن و استفاده درست از منابع آبی، پتانسیل وقوع سیل‌خیزی شهرستان گرمی مورد مطالعه قرار گرفته است. شناسایی عوامل موثر در وقوع این پدیده و پهنه‌بندی خطر آن، یکی از روش‌های اساسی و کاربردی جهت دستیابی به راهکارهای پیش‌بینی، کنترل و پایش آن می‌باشد. با استفاده از مطالعات میدانی، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و با مرور پژوهش‌ها و مطالعات صورت گرفته در این زمینه و همچنین بررسی شرایط موجود در منطقه مورد مطالعه ۱۰ عامل طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از راههای ارتباطی، کاربری اراضی، بارش و تراکم رودخانه به عنوان عوامل موثر بر وقوع سیلاب بررسی شد. در این پژوهش نسبت به پهنه‌بندی مناطق مستعد با الگوریتم چند معیاره Aras در محیط نرم افزار Edrisi اقدام گردید ارزش‌گذاری و استانداردسازی لایه‌ها، با استفاده از تابع عضویت فازی و وزن‌دهی معیارها، با بهره‌گیری از روش ANP انجام گردید. در نهایت و با توجه به نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر سیلاب؛ معیارهای لیتولوژی، کاربری اراضی، شیب، فاصله از رودخانه به ترتیب با ضریب وزنی ۰/۸۵۳، ۰/۸۰۸، ۰/۶۷۴ و ۰/۴۸۶۷، مهم‌ترین عوامل دخیل در ایجاد خطر سیلاب محدوده مطالعاتی بوده و به ترتیب ۱۸۹/۷۰ و ۳۸۸/۲۰ کیلومتر مربع از محدوده دارای احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد می‌باشد.

استناد: آقاییاری، لیلا؛ اصغری سراسکانرود صیاد؛ و زینالی، بتول (۱۴۰۴). شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع مخاطره سیلاب در شهرستان گرمی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۹ (۹۱)، ۲۲۷-۲۴۵.



<http://doi.org/10.22034/gp.2024.60493.3235>

© نویسنده‌گان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

سیل جزو بلایای طبیعی فاجعه‌باری هست که زندگی انسان‌ها را به خطر می‌اندازد و سالانه حدود ۶۰ میلیارد دلار خسارت اقتصادی در سراسر جهان به بار می‌گذارد (کانورینتو و همکاران، ۲۰۱۹: ۲۶۱). به طور کلی دو نوع سیلاب وجود دارد: سیلاب رودخانه‌ای و سیلاب ناگهانی (ممون و همکاران، ۲۰۲۲: ۱۰۱). سیلاب‌های ناگهانی زمانی اتفاق می‌افتند که مقدار زیادی آب معمولاً در عرض ۳ الی ۶ ساعت، به دلیل بارندگی بیش از حد، ریزش یخ یا شکست سد به سرعت آزاد می‌شود (طاهری‌زاده و همکاران، ۲۰۲۳: ۲۳۰). شواهد نشان می‌دهد در سال‌های اخیر در سراسر جهان به دنبال تغییرات اقلیمی که به صورت یک شوک اقلیمی عمل کرده و میزان رخداد سیلاب در سطح جهانی را به صورت بالقوه افزایش داده است (رنچلر و همکاران، ۲۰۲۳: ۸۸) و بیش از ۶۰ درصد از سکونتگاه‌ها از روستاها گرفته تا کلان‌شهرها به خصوص در شرق آسیا در معرض خسارات مالی و جانی ناشی از سیلاب قرار داده است. علاوه بر این، تغییر جمعیت‌شناسی، مانند رشد شهرنشینی، بخش بزرگ‌تری از جمعیت را در معرض سیل‌های ناگهانی قرار داده است (هاپورا چیچی و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۰۹). رخداد سیلاب ناگهانی به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است (رن و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۸) و به این نتیجه رسیدند که سیلاب‌های ناگهانی ناشی از بارندگی، توپوگرافی، زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی با در نظر گرفتن انواع عوامل طبیعی و انسانی است.

با اتخاذ رویکرد ارزیابی آسیب‌پذیری جامع، می‌توان مناطقی را که بیشتر مستعد سیلاب هستند را شناسایی کرد و استراتژی‌های مؤثری را برای کاهش خطرات و حفاظت از آن ایجاد کرد (بدراق نژاد و همکاران، ۲۰۱۹: ۷۴۵). همچنین تعیین مناطق مستعد سیل، کنترل آگاهانه سیلاب را تسهیل می‌نماید و به کاهش تلفات جانی و مالی کمک می‌کند. مدیریت جامع حوزه آبخیز نیز مستلزم ایجاد نقشه‌های حساس به سیل است (تهرانی و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۳۹). این نقشه‌ها امکان شناسایی مناطق در معرض خطر مانند شهرها، روستاها، پل‌ها، کارخانه‌ها را فراهم می‌کند. با مقایسه نقشه‌های آسیب‌پذیری با نقشه‌های کاربری اراضی می‌توان اقدامات لازم را برای حفاظت از این مناطق انجام داد. از نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل نیز می‌توان برای مقابله با خطرات احتمالی آینده، تقویت ساختمان‌ها و جلوگیری از ساخت و ساز در مناطق پرخطر استفاده کرد (طاهری‌زاده و همکاران، ۲۰۲۳: ۲۳۳).

به دلیل شرایط اقلیمی متنوع و الگوهای زمانی و مکانی متفاوت بارندگی، بسیاری از مناطق ایران بویژه در شمال کشور دچار سیلاب‌های مکرر و شدید می‌شوند. تهیه نقشه‌های حساسیت به سیل از جمله اقدامات پیشگیرانه انجام شده برای کاهش خطرات سیل است (شهری طبرستانی و افضل‌ی مهر، ۲۰۲۱: ۳). استان اردبیل که در شمال غرب ایران قرار دارد، در سال‌های اخیر شاهد سیلاب‌های شدید در آن هستیم. عواملی چون تغییر اقلیم، موقعیت جغرافیایی، جنگل زدایی، ساخت و سازهای بی‌رویه و وجود رودخانه‌های متعدد در وقوع سیلاب‌های ناگهانی در این استان طی چند سال اخیر نقش داشته است.

پیشینه و مبانی نظری

روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های استفاده از سیل‌سنج، مقایسه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور، با استفاده از مدل‌های مهارت‌های ریاضی و تصمیم‌گیری اشاره کرد (افتخاری و همکاران، ۱۳۸۹: ۹۱). همچنین نرم‌افزار GIS به دلیل توانایی در مدیریت حجم زیادی از داده‌های مکانی و ترکیب مدل‌های مختلف چند معیاره، ریاضی و احتمالی، به عنوان ابزار تحلیل پایه برای مدیریت مکانی و دستکاری داده‌ها استفاده می‌شود همچنین امروزه ترکیب مدل‌های مختلف چند معیاره، ریاضی و احتمالاتی و آمار... با GIS و RS بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است. با توجه به اهمیت موضوع در سال‌های اخیر، مطالعات مختلفی در زمینه سیلاب صورت گرفته است و پیشرفت‌های صورت گرفته در این زمینه سبب شده است تا پایش پدیده سیلاب برخلاف گذشته با دقت و سرعت بالاتری صورت گیرد یکی از روش‌های که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته شده است روش پهنه‌بندی است که دقت بالایی در شناسایی مناطق مستعد و پتانسیل دار از لحاظ احتمال وقوع سیلاب دارد. به همین جهت در این پژوهش از روش ARAS برای پهنه‌بندی سیلاب محدوده مورد مطالعه استفاده شده است. در مورد پهنه‌بندی سیلاب و تهیه

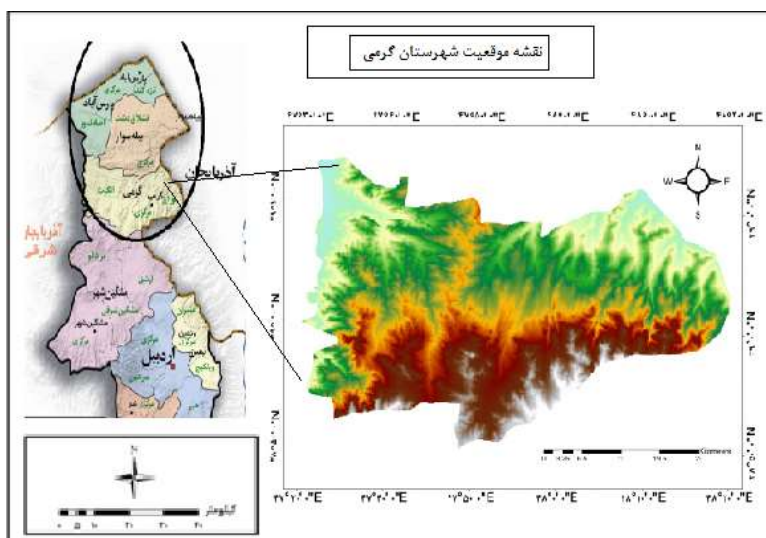
نقشه خطر آن مطالعات زیادی در دنیا و ایران انجام شده است که می‌توان به برخی از آنها اشاره کرد: مددی و همکاران (۱۳۹۷)، در پژوهش پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تلفیق روش‌های WLC-SCS خیابچای مشکین شهر به این نتیجه رسیدند که عوامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب و بارش بیش‌ترین تاثیر را بر ایجاد سیل در حوضه مورد مطالعه داشته و ۴۱/۵۷ کیلومتر مربع از مساحت محدوده مورد مطالعه در طبقه بسیار پرخطر قرار دارد. رجبی و همکاران (۱۳۹۷)، به پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مخاطرات طبیعی و ژئومورفولوژیکی (سیل و زلزله) سکونتگاه‌های روستایی شهرستان سقز پرداختند و یافته‌ها نشان داد که از میان کل روستاهای سقز ۱۴۵ روستا در پهنه خطر نسبتاً بالا، ۱۳۵ روستا در پهنه خطر نسبتاً متوسط قرار دارند. محمدی و همکاران (۱۳۹۸)، به استخراج منحنی فرمان پهنه‌بندی ریسک سیلاب در رودخانه باراندوز چای ارومیه پرداختند که بیش‌ترین مساحت تحت پوشش سیلاب متعلق به دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله به مقدار ۹۷/۳۴ هکتار بوده است. یمانی و همکاران (۱۳۹۹) به طبقه‌بندی ژئومورفیکی آثار سیلاب کاستروفیک رودخانه گادر پرداختند و نتایج نشان داد آشفتگی شدید در نزدیکی بستر اصلی رودخانه رخ داده و با فاصله از بستر اصلی رودخانه و رسیدن به دوره بازگشت سیلاب‌های ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله کاهش یافته است. این سیلاب موجب آشفتگی زیادی در نزدیکی شاخه‌های اصلی رودخانه شده است. اقدامات کنترل‌کننده و تعیین حریم سیل گیر موجب بهبود عملکرد بهتر کناره‌های رودخانه شده و سیستم را قادر می‌سازد تا سریعاً بهبود یابد و به رویدادهای سیلاب آینده مقاوم شود. علمداری (۱۴۰۰) در تحلیل مکانی مخاطره سیلاب در حوضه آبریز قلعه‌چای عجب‌شیر با استفاده از GIS و مدل HEC-HMC بیان داشت که حدود ۷/۷ درصد از سطح حوضه از خطرپذیری بسیار بالایی نسبت به سیلاب برخوردار است که بیشتر منطبق بر بستر سکنی‌گزینی و فعالیت‌های انسانی منطقه می‌باشند. آرخی و همکاران (۱۴۰۰)، به پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی حوضه آبخیز گرگانرود پرداختند و نتایج نشان داد که ۱۹،۹۷ درصد از مساحت منطقه دارای وضعیت با خطر خیلی زیاد قرار دارد و از بین عوامل طبیعی موثر بر وقوع سیلاب، عامل بارش بیش‌ترین تاثیر را در وقوع سیلاب در حوضه آبریز مورد مطالعه را داشته است. کرمی و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی تاب‌آوری نواحی روستایی پیراشهری در برابر سیلاب (مطالعه موردی: برخی روستاهای دهستان میدان‌چای) پرداختند و نتایج تحلیل واریانس (AVOVA) نشان داد، در زمینه میزان تاب‌آوری در برابر سیل، تفاوت معنی‌دار آماری میان روستاهای بررسی شده وجود دارد. میزان تاب‌آوری در مقابل سیلاب در روستای لیلی‌خان با میانگین ۵۴۸/۱ بیشتر و در روستای چاوان با میانگین ۳۷۳/۱ کمتر است. رجبی و همکاران به سنجش پتانسیل سیل‌خیزی زیر حوضه‌ها بر اساس پارامترهای مورفومتری و آزمون همبستگی (مورد: حوضه آبریز زاب تا میرآباد) پرداختند و نتایج حاصل از پارامترهای مورفومتری و همبستگی آماری نشان داد به ترتیب زیر حوضه‌های شین‌آباد و صوفیان با مقادیر ۲۴/۶۷ و ۲۳/۴۶ اولویت‌دارترین زیر حوضه‌ها شناسایی شدند. مقایسه نتایج دو روش با شرایط مورفومتری و ژئومورفولوژی زیر حوضه‌ها نشان می‌دهد نتایجی که با تکیه بر ۱۲ پارامتر مورفومتری حاصل شده است تطبیق بیشتری با شرایط ژئومورفیک حوضه دارد. رضایی مقدم و همکاران (۱۴۰۲)، به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز شهرچای میانه با استفاده از مدل ویکور پرداختند و نتایج شیب، بارندگی و جهت شیب را مهم‌ترین و موثرترین عامل در رخداد سیل در منطقه مورد مطالعه معرفی کرد. حسین‌زاده و همکاران (۱۴۰۲)، پهنه‌بندی حساسیت زیرحوضه‌های حوضه نکارود را مطالعه کردند و نتایج پژوهش نشان داد که در مبحث سیل‌خیزی عوامل ارتفاع و تراکم آبراهه تاثیرگذارترین عوامل در رخداد خطر سیلاب می‌باشد. شیوا شارما و همکاران (۲۰۱۸)، در مطالعه‌ای در حوضه رودخانه کاپیل هند، با استفاده از تکنیک‌های تحلیل چند معیاره و تصاویر ماهواره‌ای، بر پهنه‌بندی خطر سیل با توجه به نتایج مطالعه ۲۴،۸۳۷ هکتار از منطقه (در ۹۵ روستا)، احتمال خطر بسیار بالایی دارد. برهما و میترا (۲۰۱۹)، در حوضه آسام هند، خطر سیل را با استفاده از روش VICOR مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق برای استانداردسازی لایه‌ها از روش فازی و برای وزن‌دهی معیارها از روش AHP استفاده شده است. در نهایت با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، قابلیت روش ویکور در بررسی سیلاب در این تحقیق تایید شده است. در مطالعه دیگری توسط داس (۲۰۲۰)، وی هزینه نقشه برداری فضایی حساسیت سیلاب حوضه Uihاس هند را با استفاده از فرآیند AHP و پاسخ هیدروژئومورفیک به سیل از طریق فرآیند تحلیل زمین‌شناسی و مدل سازی نیروی جریان واحد پرداخت و در پایان با داده‌های به دست آمده در محیط

GIS نقشه خطر سیل را تهیه کردند. مکنون و همکاران^۱ (۲۰۲۳)، به پهنه‌بندی خطر سیل حوضه رودخانه آواش بالایی اتیوپی، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند و نتایج نشان داد که تراکم زهکشی، بارندگی و ارتفاع از اهمیت بالاتری برخوردارند، در حالی که کاربری اراضی و نفوذپذیری خاک تأثیر کمی در فرآیند تولید سیل حوضه دارند. طبق بررسی منابع منتشر شده، تا کنون در شهرستان گرمی با این روش و داده‌های ورودی، پژوهشی آرایه نشده است لذا جهت برآورد دقیق‌تر پتانسیل وقوع سیلاب با روش ARAS لزوم و خلاء انجام تحقیق با این روش کاملاً احساس می‌شود. طاهری‌زاده و همکاران (۲۰۲۳) به پهنه‌بندی مناطق پرخطر سیل در استان گلستان با استفاده از ادغام روش آزمایشگاهی و ارزیابی تصمیم‌گیری مبتنی بر GIS پرداختند و مشخص شد که توپوگرافی بیش‌ترین تأثیر را بر وقوع سیلاب این منطقه داشته است و به دنبال آن هیدروگرافی، خاک و زمین‌شناسی، آب و هوا نیز بر وقوع سیل در منطقه تأثیر می‌گذارد. این مطالعه نشان داد که بخش‌های شمالی و مرکزی منطقه مورد مطالعه در مقایسه با قسمت جنوبی در معرض خطر بیشتری برای سیل هستند.

شهرستان گرمی به لحاظ شرایط خاص منطقه، مانند توپوگرافی، شیب و شرایط اقلیمی (بارش‌های ناگهانی و رگباری بهاری، ذوب برف‌ها، طغیان رودخانه‌ها در بهار)، از پتانسیل بالایی برای وقوع سیلاب برخوردار است. از آن نظر که وقوع سیلاب، موجب خسارات مالی و تلفات جانی در منطقه می‌شود (به عنوان مثال: سیلاب سال ۱۴۰۲ شهرستان گرمی)، لذا سطح‌بندی محدوده از لحاظ حساسیت به وقوع خطر سیلاب بسیار حائز اهمیت است. با توجه به پیشینه تحقیق، از آن نظر که الگوهای تصمیم‌گیری چند معیاره و استفاده از GIS، از استقبال بالایی برخوردار بوده است، در این بررسی نیز در نهایت از روش آراس، که براساس رویکرد برنامه‌ریزی مطلوب و بهینه‌سازی چندمعیاره پایه‌ریزی گردیده است، به عنوان قاعده تصمیم‌گیری چند معیاری، جهت پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی شهرستان گرمی استفاده شده است.

معرفی محدوده مورد مطالعه

شهرستان گرمی دارای ۱۶۹۶/۹۵۴ کیلومتر مربع مساحت است که معادل ۹/۶ درصد مساحت استان اردبیل است (شکل ۱). این شهر بین ۳۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. قابل‌ذکر است که مرکز شهرستان گرمی، شهر گرمی بوده که با پهنه‌ای در حدود ۷ کیلومتر مربع، در شمال شرقی استان اردبیل در مسیر راه اردبیل - پارس‌آباد قرار دارد. این شهرستان از دو شهر گرمی و تازه کند، سه بخش مرکزی، انگوت و موران تشکیل شده است. بخش مرکزی شامل دهستان‌های (اجارودغربی، اجارود مرکزی، اجارود شمالی، انی)، بخش انگوت شامل دهستان‌های (انگوت شرقی، انگوت غربی، پائین برزند) و بخش موران شامل دهستان‌های (اجارود شرقی، آزادلو)، است. این شهرستان در محدوده ارتفاعی ۲۶۷ متر تا ۲۱۹۶ متر از سطح دریا قرار دارد و ارتفاع متوسط شهرستان در حدود ۱۲۳۰ متر است. وسعت شهرستان از جنوب به دامنه کوه‌های صلوات، از شمال به کوه‌های خروسلو، از غرب به دره رود و از شرق به بالگرچای (بالهرود) محدود می‌شود. پست‌ترین نقطه شهر در شمال غربی شهر و در روستای خان محمدلو قرار دارد و بلندترین نقطه شهر کوه‌های سالوات در جنوب است. (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۷). منطقه گرمی به دلیل واقع‌شدن در محدوده کوهستانی با عوارض شدید توپوگرافی و پستی‌وبلندی‌های زیادی همراه است. ولی در خارج از شهر گرمی و به‌سوی شمال استان از شدت ناهمواری‌ها کاسته شده و به سمت دشت مغان مورفولوژی تپه‌ماهوری ظاهر می‌شود.



شکل ۱: نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

منابع داده ها و ابزارها

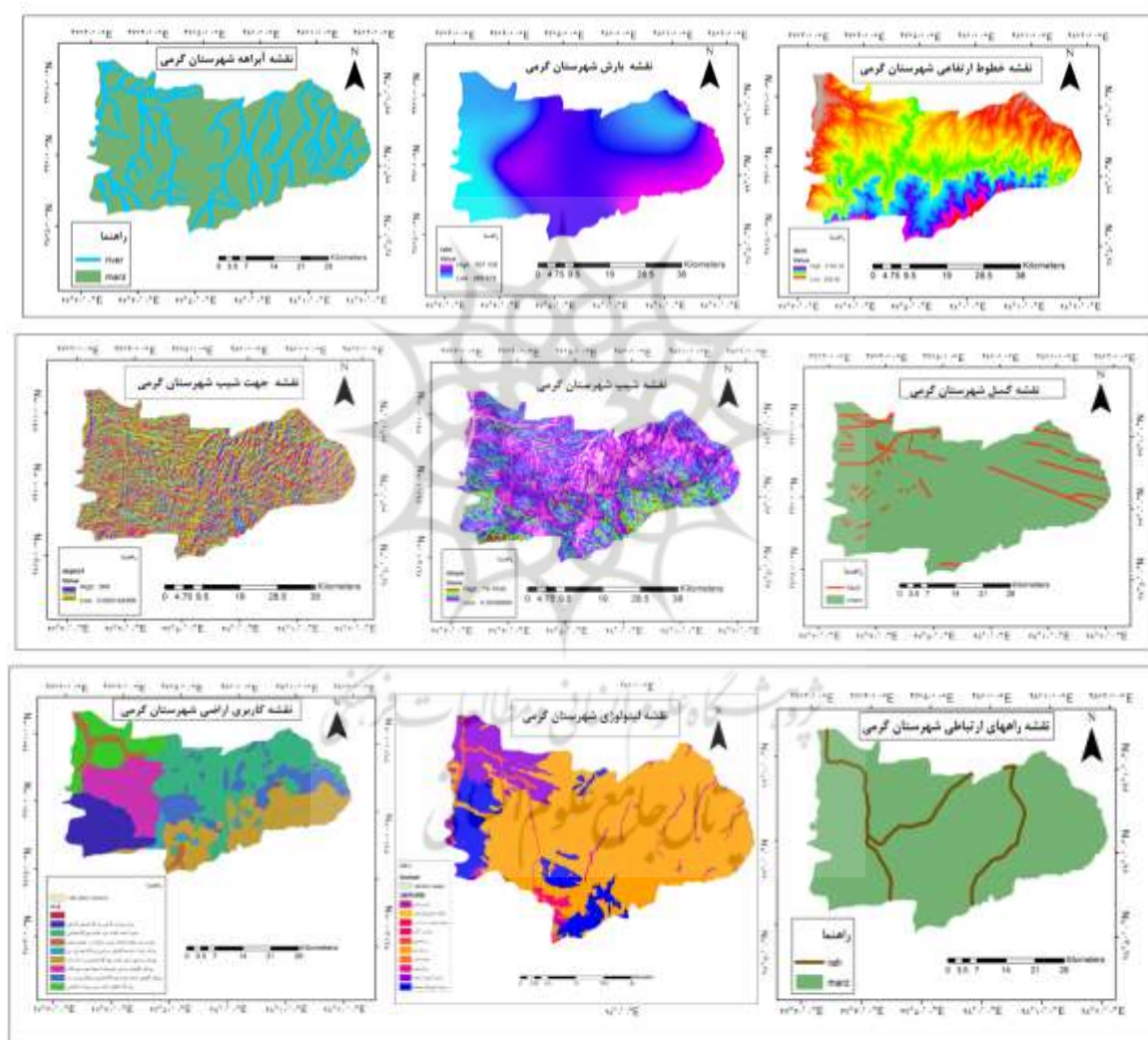
پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و روش تحقیق آن تحلیلی مبتنی بر تلفیق آنالیز داده‌ها، سیستم اطلاعات جغرافیایی و استفاده از فنون تحلیل چند معیاره است.

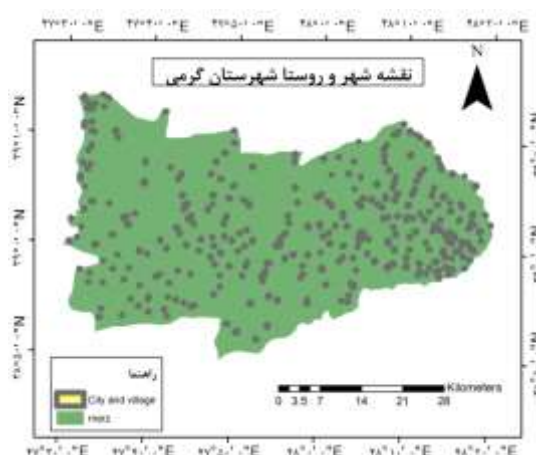
تصاویر ماهواره‌ای اپتیکال: تصویر ماهواره‌ای اپتیکال در این تحقیق به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۲ استفاده شد. به منظور تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی از نرم‌افزار ENVI5.3 و به منظور استخراج نقشه‌های مربوطه از نرم افزار ARCGIS10.5 استفاده شد. برای طبقه‌بندی کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا در نرم‌افزار ecognition developer64 استفاده شد. همچنین به منظور به دست آوردن صحت طبقه‌بندی Google Earth استفاده شد.

در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا، اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام گردیده و پیکسل‌ها براساس شکل، بافت و تن خاکستری در سطح تصویر با مقیاس مشخص، طبقه‌بندی شده و طبقه‌بندی تصویر براساس این قطعه‌ها انجام می‌شود. در قطعه بندی پیکسل‌ها توسط الگوریتم‌های مختلف، با نسبت‌های مختلف طیفی و شکلی طبقه‌بندی و براساس ویژگی‌های طیفی و فضایی در قالب اشیا گوناگون دست‌بندی شده‌اند. طی این فرآیند شیء‌های تصویری متناسب با همگن بودن یا ناهمگن بودن براساس پارامترهای مقیاس، رنگ، شکل، ضریب نرمی و شکل فشردگی ایجاد شد (فیضی‌زاده و هیلالی، ۲۰۱۰: ۷۶). با آزمون و خطا بهترین اندازه که نشان‌دهنده اشیا با ابعاد مختلف می‌باشند تعیین شد. در این پژوهش تصویر طبقه‌بندی شده دارای مقیاس ۴۵، شکل ۰/۵، ضریب فشردگی ۰/۵ انجام گردید. بعد از مشخص کردن تعداد و کلاس‌های موردنظر در طبقه‌بندی تعیین شیء‌های نمونه‌های آموزشی انجام و در نرم‌افزار بر سطح تصویر اعمال گردید. سپس طبقه‌بندی با استفاده از نزدیک‌ترین همسایه و روش درخت تصمیم‌گیری صورت گرفت. لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از صحت و درستی آن است. دقت طبقه‌بندی در سال ۲۰۲۲ با صحت کلی ۹۸ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۶ است.

جهت پهنه‌بندی، خطر سیلاب، در مرحله جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا باید مؤلفه‌های تأثیرگذار مشخص شده و بر مبنای آن‌ها داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز گردآوری و طبقه‌بندی شوند. برای این منظور در این تحقیق ابتدا عوامل موثر (شامل: شیب، جهت شیب، سنگ شناسی، کاربری اراضی، فاصله از شهر و روستا، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و بارندگی، طبقات ارتفاعی، تراکم رودخانه). با توجه به شرایط طبیعی و انسان منطقه شناسایی شد. سپس در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از

عوامل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد (شکل ۲). لایه‌های اطلاعاتی شبکه آبراه با استفاده از نقشه رودخانه استان اردبیل استخراج شد. لایه‌های شیب نیز با استفاده از مدل دیجیتال به ارتفاع ۱۲٫۵ متر که از سایت (vertex.daac.asf.alaska.edu) دانلود شده و لایه‌های اطلاعاتی مربوط به سنگ شناسی (مقاومت سنگ) و گسل‌ها با رقمی‌سازی از سایت تهیه شده است. نقشه زمین‌شناسی استان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ برای استخراج کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه از تصاویر لندست ۸ سنجنده (OLI) به دست آمده از سایت (earthexplorer.usgs.gov) استفاده شده است. در این راستا ابتدا تصحیحات هندسی و جوی بر روی تصاویر با استفاده از روش فلش در نرم افزار Envi انجام شد و سپس با روش شی گرا و الگوریتم نزدیکترین همسایه در نرم افزار Ecognition Developer طبقه بندی انجام شد و نتایج طبقه بندی برنامه‌های کاربردی در پژوهش حاضر، هر دو صورت گرفت. از نظر کاربردهای فردی و از نظر دقت کل و آمار کاپا، از دقت قابل قبولی (بیشتر از ۸۵ درصد) نسبت به اطلاعات تولید شده برخوردار است.





شکل ۲: نقشه عوامل تاثیر گذار بر سیلاب

مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از روش ARAS (ارزیابی نسبت جمعی)

روش ARAS مبتنی بر این استدلال است که پدیده‌های دنیای پیچیده را می‌توان با استفاده از مقایسه‌های نسبی ساده درک کرد. این تکنیک روشی قدرتمند در ارائه نرخ عملکرد و میزان مطلوبیت گزینه‌های مختلف نسبت به وضعیت بهینه است و استفاده از آن نسبتاً آسان است. مراحل اجرای الگوریتم ارس به شرح زیر است:

۱: تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم‌گیری در این روش به صورت معیار-گزینه است. یعنی ماتریسی که ستون‌های آن معیار مسئله هستند (جدول ۱) و سطرها گزینه هستند و هر خانه در واقع امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار است. ۲: عادی سازی ماتریس تصمیم‌گیری یا استانداردسازی: در اجرای کلیه الگوریتم‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر و به منظور دستیابی به مدل پهنه‌بندی فضایی خطر سیل، مرحله استانداردسازی با توجه به تابع عضویت فازی انجام شد (جدول ۲). استانداردسازی داده‌ها به معنای برابر کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک محدود شده مشخص شده است. در مجموعه‌های فازی، بالاترین مقدار، یعنی مقدار یک، به حداکثر عضویت و کمترین مقدار، یعنی صفر، متعلق به حداقل عضویت در مجموعه است.

۲: وزن دهی به ماتریس نرمال: در این تحقیق از روش ANP برای وزن‌دهی عوامل استفاده شد. فرآیند تحلیل شبکه (ANP): روش ANP شکل توسعه یافته‌ای از روش AHP است که قادر است همبستگی و بازخورد بین عناصر موجود در یک تصمیم و تمامی اثرات درونی مولفه‌های موثر در تصمیم‌گیری را مدل کرده و آن را شامل شود. در محاسبات در مدل AHP، تنها معیارها با معیارهای برتر مرتبط بودند. یعنی معیارها به اهداف بستگی داشت، زیرمعیارها به معیارها و گزینه‌ها به زیرمعیارها بستگی داشت، حتی خود معیارها به هم وابسته نبودند. اما در مدل ANP، نه تنها خوشه‌ها بر عناصر و عناصر بر گزینه تأثیر می‌گذارند، گزینه بر عناصر تأثیر می‌گذارد، بلکه حتی عناصر بر خود و سایر خوشه‌ها نیز تأثیر می‌گذارند. به طور کلی روش (ANP) دارای مراحل نیز می‌باشد که شامل ۱- تعیین معیارها و شاخص‌ها ۲- تعیین روابط و ارتباطات بین عناصر و خوشه‌ها می‌باشد: در این مرحله مشکل تصمیم‌گیری به ساختار شبکه A تحلیل می‌شود. ۳- مقایسه زوجی بین عناصر و خوشه‌ها: ماتریس‌های مقایسه دو به دو مشابه روش (AHP) هستند و جفت عناصر تصمیم‌گیری در هر خوشه با توجه به اهمیت شان رتبه‌بندی می‌شوند و برای شرایط کنترلی با هم مقایسه می‌شوند. ۴- تشکیل سوپرماتریس‌ها: الف- تشکیل سوپرماتریس اولیه یا غیروزنی ب- تشکیل سوپرماتریس وزنی ج- تشکیل سوپرماتریس محدود کننده: ابرماتریس وزنی تا زمانی که عناصر ماتریس همگرا شوند و مقادیر ردیف آن با هر یک برابر شود به توان محدود می‌رسد. سایر ۵- نتایج ماتریس خوشه‌ها ۶- نتیجه نهایی عناصر: ضرایب ابرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و در نهایت نتیجه نهایی عناصر و اولویت آنها مشخص می‌شود. فرجی صبار و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۵۲).

۳- محاسبه مطلوبیت کل هر گزینه: برای به دست آوردن تابع بهینگی S_i ، اعداد نرمال شده وزن (x_{ij}) را به صورت سطری با هم جمع می‌کنیم (رابطه ۱). بزرگترین مقدار S_i بهترین است، و کمترین آن بدترین. با توجه به روند محاسبه شده، تابع بهینگی S_i دارای یک رابطه مستقیم و متناسب با مقادیر x_{ij} و وزن‌های w_j از معیارهای بررسی شده و تأثیر نسبی آن‌ها بر روی نتیجه‌ی نهایی است.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \quad (i=0.m.) \quad \text{رابطه ۱}$$

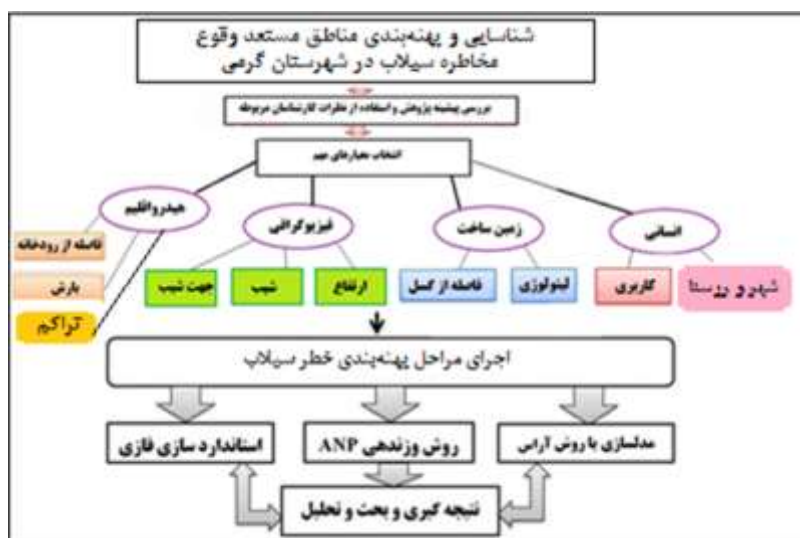
۴- محاسبه مطلوبیت نسبی هر گزینه و رتبه‌بندی گزینه‌ها: درجه‌ی مطلوبیت هر گزینه (آلترناتیو) به وسیله مقایسه متغیری که تجزیه و تحلیل شده است، با حالت ایده آل یعنی S_0 مشخص می‌گردد. معادله مورد استفاده برای محاسبه درجه‌ی مطلوبیت K_i از یک گزینه a_i به صورت رابطه (۲) است (زاوادسکاس و تورسکیس، ۲۰۱۰). روند پژوهش در شکل ۳، قابل مشاهده می‌باشد.

$$K_i = S_i / S_0 \quad ; i=0.m.)$$

رابطه ۲

جدول (۱). نوع توابع فازی ساز لایه‌های موضوعی تأثیرگذار

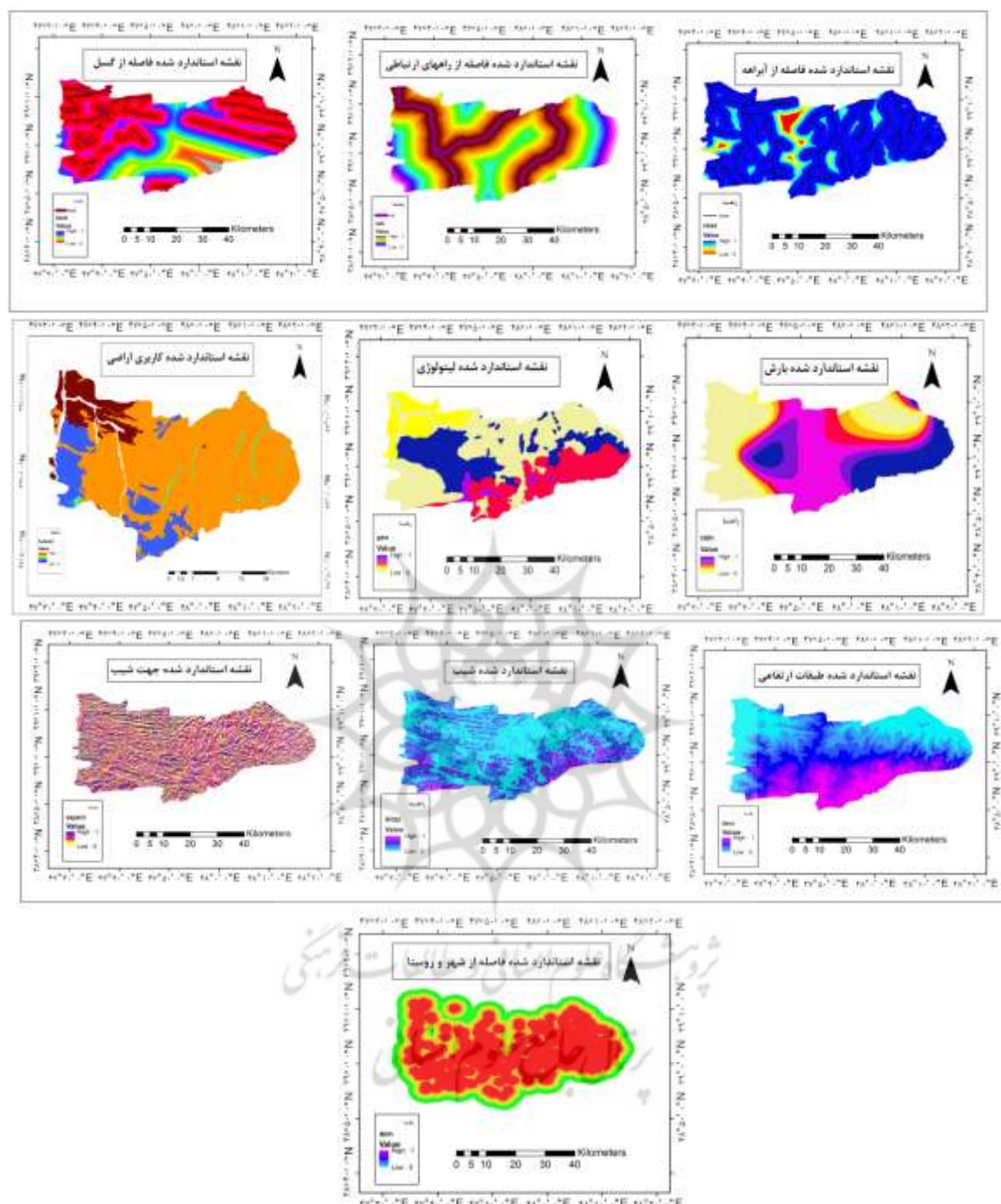
متغیر	توضیحات	نوع تابع فازی
شیب	با کاهش مقدار شیب، خطر سیلاب کاهش می‌یابد.	تابع خطی کاهش
کاربری اراضی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر سیلاب و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از شهر و روستا	در مناطق مجاور از شهر و روستا، پتانسیل وقوع مخاطره سیلاب افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
فاصله از گسل	در مناطق مجاور خطوط گسل، پتانسیل وقوع مخاطره سیلاب افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
لیتولوژی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر سیلاب و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از رودخانه	در مناطق مجاور رودخانه، پتانسیل وقوع سیلاب افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایش
ارتفاع	با افزایش ارتفاع، پتانسیل وقوع سیلاب افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایش
جهت شیب	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر سیلاب و سپس فازی کردن.	تابع نزدیک فازی
بارش	با افزایش میزان بارش، خطر سیلاب افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایش
تراکم رودخانه	در نقاط پرتراکم رودخانه پتانسیل وقوع سیلاب افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایش



شکل (۳). فلوچارت مربوط به فرآیند تحقیق

یافته‌ها

پهنه‌بندی وقوع سیلاب، باهدف ترسیم شدت و امکان وقوع سیلاب انجام می‌گیرد. سیلاب، بر اساس بسیاری از عوامل طبیعی و انسانی به وقوع می‌پیوندد و ساختارها و عوامل محیطی بسیاری به شکل‌گیری و شدت آن کمک می‌کنند. لذا، انتخاب و شناسایی مهمترین عوامل مؤثر در رخداد سیلاب یکی از مراحل بسیار مهم می‌باشد. در این پژوهش به منظور ارزیابی و شناسایی مناطق دارای احتمال وقوع خطر سیلاب، با توجه به ویژگی‌های طبیعی و انسانی شهرستان گرمی، از ۱۰ فاکتور مؤثر، شامل؛ شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم رودخانه، جهت شیب، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از شهر و روستا، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل و بارش استفاده گردیده است. لذا در ادامه عوامل مؤثر و دخیل در شکل‌گیری و آسیب‌پذیری شهرستان گرمی از لحاظ سیلاب، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در پژوهش حاضر، ارزش عضویت بین مقادیر ۰ تا ۱ قرار دارد. نقشه‌های استاندارد شده‌ی مربوط به معیارهای مطرح در مطالعه حاضر در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: نقشه‌های استاندارد شده‌ی فازی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی سیلاب

در تحقیق حاضر عوامل زمین‌شناسی، انسانی، فیزیوگرافی و هیدرواقليمی عبارتند از خوشه‌ها و معیارهای سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از گسل و بارندگی، تراکم رودخانه. فاصله از شهر و روستا عناصر مورد مطالعه است و سپس همانند روش AHP، جفت عناصر تصمیم‌گیری در هر خوشه با توجه به اهمیت آنها از نظر شرایط کنترلی و خود خوشه‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند. همچنین نسبت سهم آنها در هدف به صورت جفت مقایسه شد و ابرماتریس ایجاد شد و نتیجه نهایی عناصر با ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شد و در نهایت نتیجه نهایی عناصر و اولویت آنها مشخص شد.

تشکیل سوپرماتریس اولیه یا غیر وزنی: عناصر ANP با یکدیگر تعامل دارند، این عناصر می‌توانند واحد تصمیم گیرنده، معیارها، زیرمعیارها، نتایج، گزینه‌ها و هر چیز دیگری باشند. وزن نسبی هر ماتریس بر اساس مقایسه زوجی مشابه روش AHP محاسبه می‌شود. وزن‌های حاصل در سوپرماتریس وارد می‌شوند که رابطه متقابل بین عناصر سیستم را نشان می‌دهد. سوپرماتریس به دست آمده در این مرحله سوپرماتریس اولیه معرفی می‌شود که جدول (۲)، آن را نشان می‌دهد.

جدول ۲: سوپرماتریس غیروزنی یا اولیه‌ی مربوط به مدل

خوشه‌ها و عناصر		انسانی		زمین‌ساخت		فیزیوگرافی		هیدرواقليم	
انسانی		فاصله از شهر و روستا	کاربری اراضی	لیتولوژی	گسل	ارتفاع	جهت شیب	شیب	بارش
فاصله از شهر و روستا		۰/۰	۱/۰	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴
کاربری اراضی		۱/۰	۰/۰	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۰
لیتولوژی		۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۰	۱/۰	۱/۰	۰/۸۵	۰/۸۵	۱/۰
گسل		۰/۱۴	۰/۱۴	۱/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۰
ارتفاع		۰/۰	۰/۰	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۰	۱/۰	۰/۸۰	۰/۰
جهت شیب		۰/۰	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۹۸	۰/۱۴	۰/۰	۰/۲۰	۰/۲۰
شیب		۰/۰	۰/۸۵	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۸۵	۰/۰	۰/۰	۰/۸۰
بارش		۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۷۶	۰/۰	۰/۷۳	۰/۰
تراکم آبراهه		۰/۰	۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۳۳	۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۰۸	۱/۰
رودخانه		۰/۰	۰/۸۰	۰/۷۵	۰/۶۶	۰/۱۵	۰/۷۵	۰/۱۷	۰/۰

تشکیل سوپرماتریس وزنی: در واقع ستون‌های سوپرماتریس از چندین بردار خاص تشکیل شده‌اند که مجموع هر کدام برابر با یک است. بنابراین، ممکن است که مجموع هر ستون از سوپرماتریس اولیه بیش از یک باشد (مطابق با بردارهای خاصی که در هر ستون وجود دارد). برای اینکه عناصر ستون را با توجه به وزن نسبی آنها فاکتور بگیریم و مجموع ستون‌ها را برابر با یک کنیم، هر ستون ماتریس استاندارد می‌شود. در نتیجه ماتریس جدیدی به دست می‌آید که جمع هر یک از ستون‌های آن برابر با یک خواهد بود. (جدول ۳).

جدول ۳: سوپرماتریس وزنی

خوشه‌ها و عناصر		انسانی		زمین‌ساخت		فیزیوگرافی		هیدرواقليم	
انسانی		شهر	کاربری	لیتولوژی	گسل	ارتفاع	جهت شیب	شیب	بارش
شهر و روستا		۰/۰	۰/۵۰	۰/۰	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰	۰/۰۱
کاربری		۰/۴۸	۰/۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۹
لیتولوژی		۰/۴۴	۰/۰۴	۰/۰	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۵
گسل		۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰	۰/۰	۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۰
ارتفاع		۰/۰	۰/۰	۰/۰۶	۰/۰	۰/۰	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۰
جهت شیب		۰/۰	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰	۰/۰۳	۰/۰
شیب		۰/۰	۰/۵۵	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰
بارش		۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۰	۰/۴۵	۰/۰
تراکم آبراهه		۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰	۰/۰
رودخانه		۰/۰۴	۰/۴۰	۰/۰۹	۰/۴۵	۰/۱۰	۰/۰	۰/۸۷	۰/۰

محاسبه‌ی بردار وزنی عمومی یا سوپرماتریس حدی: در مرحله‌ی بعد، سوپرماتریس وزنی، به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند. ماتریسی که در نتیجه‌ی به توان رسیدن ماتریس وزنی به دست می‌آید، ماتریس حدی (جدول ۴)، می‌باشد. در این ماتریس، مقادیر هر سطر آن با هم برابر می‌باشد. اگر سوپرماتریس اثر زنجیره‌واری داشته باشد، ممکن است دو یا چند سوپرماتریس داشته باشیم.

جدول ۴: سوپرماتریس حدی

خوشه‌ها و عناصر		انسانی		زمین ساخت		فیزیوگرافی		هیدرواقليم	
انسانی	شهر	کاربری	لیتولوژی	گسل	ارتفاع	جهت شیب	شیب	بارش	تراکم رودخانه
شهر	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
کاربری	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹
لیتولوژی	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸
ساخت	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
فیزیوگرافی	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
شیب	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
شیب	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰
بارش	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱
تراکم رودخانه	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳
رودخانه	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۳

نتایج ماتریس خوشه‌ها: پس از محاسبه ابرماتریس حدی، آخرین مرحله برای تعیین مقدار و ضریب نهایی عناصر، محاسبه نتایج ماتریس خوشه و نرمال سازی ضریب عناصر موجود در ابرماتریس حدی توسط ضریب خوشه است که حاصل مقایسه‌های زوجی بین گروه‌هایی که به آنها جدول اوزان گروه‌ها می‌گویند. در جدول (۵)، آورده شده است.

جدول ۵: ماتریس اوزان گروه‌ها

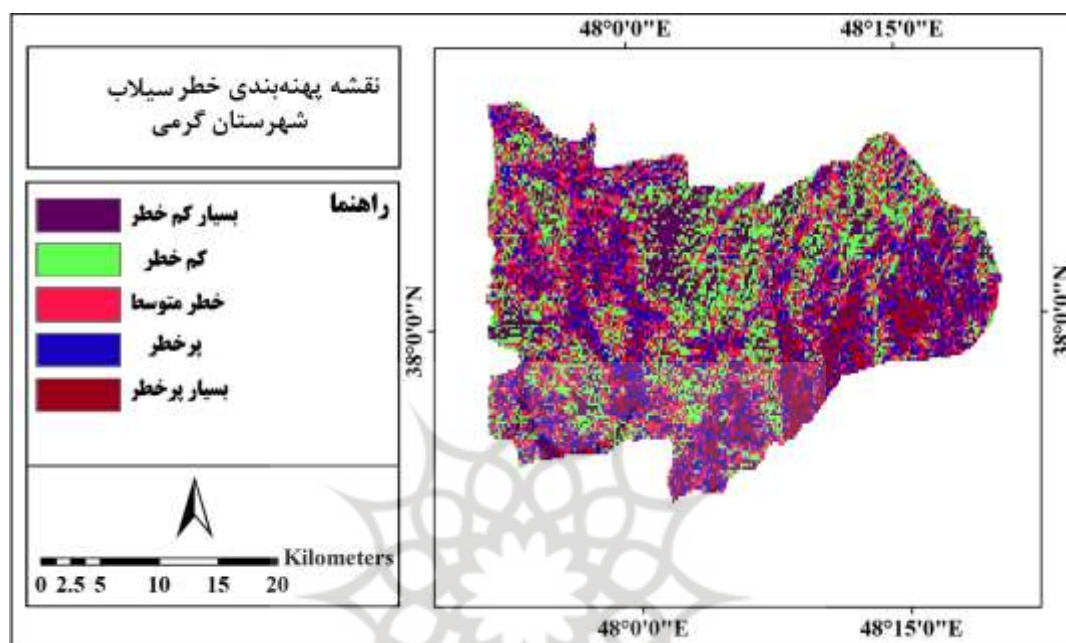
خوشه‌ها	انسانی	زمین ساخت	فیزیوگرافی	هیدرو اقلیمی
انسانی	۰/۰۵۰	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۸۴
زمین ساخت	۰/۰۵۵	۰/۰۸۲	۰/۱۵۹	۰/۰۴۲
فیزیوگرافی	۰/۶۴۷	۰/۲۶۰	۰/۱۸۵	۰/۲۵۵
هیدرو اقلیمی	۰/۲۴۶	۰/۶۱۴	۰/۶۱۲	۰/۶۱۷

نتیجه‌ی نهایی عناصر: ضرایب سوپرماتریس در ضرایب ماتریس خوشه‌ها نرمال شده و در نهایت، نتیجه‌ی نهایی عناصر و اولویت آن‌ها مشخص شد (جدول ۶).

جدول ۶: وزن نهایی حاصل از روش ANP

معیار	فاصله از شهر	کاربری اراضی	جهت شیب	فاصله از گسل	لیتولوژی	شیب طبقات ارتفاعی	بارش	رودخانه	تراکم آبراهه
وزن نهایی	۰/۱۹۱	۰/۸۰۸	۰/۱۷۲	۰/۱۴۶	۰/۸۵۳	۰/۶۷۴	۰/۲۳۳	۰/۴۸۶	۰/۲۸۰

پس از اعمال وزن‌های به دست آمده از روش ANP برای هر یک از نقشه‌های استاندارد شده و اجرای سایر مراحل مدل ARAS، نقشه پهنه‌بندی نهایی سیل در ۵ دسته از خطر بسیار زیاد تا خطر بسیار کم به دست آمد (شکل ۵). بر اساس نتایج به دست آمده، ۱۸۹،۷۰ کیلومتر مربع از مساحت شهر در رده خطر بسیار بالا و ۳۸۸،۲۰ کیلومتر مربع در رده پرخطر قرار دارد. همچنین ۴۷۲/۵۹ کیلومتر مربع از مساحت شهر دارای ریسک متوسط و ۴۲۷/۰۴ کیلومتر مربع و ۲۲۰/۰۴ کیلومتر مربع به ترتیب دارای ریسک بسیار کم و کم خطر هستند (جدول ۷).



شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی سیلاب شهرستان گرمی

جدول ۷. اطلاعات طبقات خطر سیلاب

بسیار پرخطر	پرخطر	خطر متوسط	کم خطر	بسیار کم خطر	طبقه خطر
۱۸۹/۷۰	۳۸۸/۲۰	۴۷۲/۵۹	۴۲۷/۰۴	۲۲۰/۰۴	مساحت به کیلومتر مربع
۱۱/۱۷	۲۲/۸۷	۲۷/۸۴	۲۵/۱۶	۱۲/۹۶	مساحت به درصد

تحلیل عوامل موثر در پهنه‌بندی سیلاب

شیب زمین به دلیل تاثیر مستقیم بر رواناب سطحی، از مهم‌ترین عوامل موثر در وقوع سیلاب بشمار می‌رود. در بررسی شیب یک منطقه توزیع شیب نسبت به سطح آن، در مطالعات توپوگرافی منطقه حائز اهمیت می‌باشد و با افزایش شیب، میزان آسیب پذیری نیز افزایش می‌یابد (غضنفرپور و همکاران، ۱۴۰۲: ۲۷). بنابراین طبقه‌بندی شیب در محدوده مورد مطالعه و ایجاد نقشه شیب انجام شد. مناطق با شیب کم بیشترین ارزش را دارند. زیرا با توجه به شیب، جهت شیب و گرادیان بارش، مناطق واقع در جنوب و جنوب شرقی شهرستان گرمی بیش‌تر از مناطق شمال و شمال شرقی محدوده مورد مطالعه درگیر سیل می‌باشند. در حوضه مورد مطالعه، متوسط مقدار شیب ۴۰ درصد می‌باشد و در برخی نقاط کوهستانی میزان شیب بالای ۵۸ درصد نیز می‌باشد. غلبه شیب تند بر متغیرهای هیدرولوژیکی و خطر سیلاب در سطح محدوده مورد مطالعه اثرات قابل توجهی می‌گذارد. در این رابطه می‌توان به کاهش نفوذپذیری، افزایش آب‌دوی، کاهش زمان تمرکز و کاهش زمان تاخیر در این محدوده اشاره نمود.

در مطالعات حوزه آبخیز تهیه نقشه جهت شیب از نظر تأثیر جهت دامنه‌های حوضه بر نوع فرسایش و همچنین میزان سیلاب ضروری است (علیزاده، ۱۳۹۲: ۵۱۳). به منظور پهنه بندی خطر سیل، دامنه‌های شمالی، شمال غربی و غربی به ترتیب به دلیل بارندگی زیاد، ماندگاری طولانی مدت برف و رطوبت بیشتر ارزش بالایی دریافت کردند.

توپوگرافی حوضه عاملی است که در میزان و نوع خصوصیات جوی، تبخیر و تعرق، پوشش گیاهی، جهت رواناب و میزان تراکم زهکشی نقش بسزایی دارد و بر میزان رطوبت خاک و شیب دامنه‌ها بوده تأثیر بسزایی دارد. و نقش بسیار مهمی در میزان رواناب دارد و در نهایت باعث ایجاد سیلاب می‌شود. پست ترین نقطه شهر در شمال غربی شهر و در روستای خان محمدلو با ارتفاع حدود ۲۴۰ متر از سطح دریا واقع شده است و بلندترین نقطه شهر کوه‌های صلوات در جنوب روستای خان‌کندی است.، که حداکثر ارتفاع آن ۲۲۰۰ متر است. رشته کوه‌های قره داغ، خروسلو، صلوات سمتهای جنوبی، شرقی و غربی این شهرستان را تشکیل می‌دهند. ارتفاع نقاط مختلف شهر گرمی از سطح دریا بسیار متفاوت و از ۱۰۰۰ متر در محله هلال احمر تا ۱۲۰۰ متر در محله چه لک یولی متغیر است. کوه‌های مهم اطراف شهر عبارتند از: آژنا، قاراخان داغی، ایرناواش و سیفار ۸۰ درصد از حوضه ارتفاعی بیش از ۱۱۰۰ متر دارد. نقشه استاندارد - ارتفاع حوضه بر اساس درجه عضویت فازی در محدوده بین ۰-۱۰ است. هر چه به عدد ۱ نزدیک می‌شویم، درجه مطلوبیت ایجاد سیل افزایش می‌یابد و پتانسیل سیل افزایش می‌یابد.

در تمامی نقاط دنیا همیشه شهرها و یا روستاها در کنار و نزدیکی به منابع آبی به وجود آمده‌اند و منابع آبی ضامن ادامه حیات تراکما جمعیتی در یک منطقه می‌باشد. ولی نزدیکی بیش از حد به منابع آبی و ساخت ساز در بستر رودها در زمان مخاطرات طبیعی باعث خسارت‌های جانی و مالی می‌شود (ریاحی و موسوی، ۱۴۰۰: ۱۰). رودهای متعددی در سطح دشت جریان دارند همچنین چهار رودخانه گرمی چای (اجارود)، درین کبود، زنگیر و بالهارود، از این منطقه سرچشمه گرفته و تغذیه می‌شوند. بالهارود نسبت به سه رودخانه دیگر پرآب تر است و در بخشی از مسیر خود مرز ایران و جمهوری آذربایجان را تشکیل می‌دهد. رودخانه دیگر شهرستان، رود برزند می‌باشد که بخشی از آب سد گیلارلو را تأمین می‌نماید. خطر وقوع سیل مربوط به توزیع شبکه زهکشی در یک حوضه است، زمانی که سیل رخ می‌دهد، مناطقی که نزدیک رودخانه هستند به راحتی تحت تأثیر خطر سیل قرار می‌گیرند. در نتیجه هر چه منطقه به رودخانه نزدیکتر باشد آسیب پذیرتر است. به گفته سامانتا، مناطقی که کمتر از ۱۰۰ متر با رودخانه فاصله دارند مستعد سیل هستند و مناطقی با فاصله بیش از ۲۰۰۰ متر کمتر در معرض سیل هستند. در این پژوهش و در محدوده مورد مطالعه در محدوده شرقی فواصل از روخانه‌ها کمتر بوده و بیش از مناطق دیگر در معرض رخداد سیلاب قرار دارند.

از عوامل دیگر تأثیر گذار در وقوع سیلاب عامل تراکم آبراهه می‌باشد رودهای مهم شهرستان عبارتند از: بالهارود (به گویش محلی بالهاری)، دره رود، چلک چایی، برزند چایی، زنگیرچایی، گرمی چایی (اوجارود)، درین کبود چایی. در نقشه استاندارد شده تراکم آبراهه بر مبنای درجه عضویت فازی در حد فاصل بین یک تا صفر هرچه به طرف عدد ۱ نزدیک شویم تراکم آبراهه‌ها افزایش یافته و بر میزان پتانسیل سیل خیزی در آن محدوده افزایش می‌یابد.

میانگین بارش شهرستان گرمی حدود ۴۶۰ میلی‌متر است با این حال این بارش در طی سال‌ها متغیر است. بارش سالانه در شهرستان از شرق به غرب و از جنوب به شمال کاهش می‌یابد، در نتیجه کوهستان‌های جنوب شرقی شهرستان (به علت اتصال به کوهستان‌های تالش و نزدیکی به دریای خزر) از بارش مناسبی در حدود ۶۰۰ میلی‌متر در سال برخوردار است؛ به طوری که میانگین بارندگی در منطقه داش دبی و وان عالیا (شرق شهر) ۷۰۰ میلی‌متر در سال است و پرباران ترین نقطه استان اردبیل است. برف‌هایی که در زمستان می‌بارد، در دامنه‌های شمالی کوهستان‌های این منطقه گاه تا اوایل تیر ماه می‌ماند و قابل مشاهده است. همچنین چهار رودخانه گرمی چای (اوجارود)، درین کبود، زنگیر و بالهارود، از این منطقه سرچشمه گرفته و تغذیه می‌شوند. بالهارود نسبت به سه رودخانه دیگر پرآب تر است و در بخشی از مسیر خود مرز ایران و جمهوری آذربایجان را تشکیل

می‌دهد. در حالی که میانگین بارندگی سالانه منطقه خان محمدلو (در ناحیه شمال غربی شهر) به کمتر از ۲۵۰ میلی متر می‌رسد. به طور کلی میزان بارندگی در شهر از میانگین بارندگی کشور بیشتر است. در منطقه مورد مطالعه، فصل بهار فصل بارندگی‌های ناگهانی، آب شدن برف‌ها، فصل طغیان رودخانه‌ها و سیلاب‌های شدید و مخرب در منطقه است. در نقشه‌ی فازی شده‌ی بارش (شکل ۴)، مناطق با میانگین بارشی زیاد، ارزش بالا دریافت کردند.

ویژگی‌های سنگ‌شناسی به طور غیر مستقیم بر روی مشخصات حوضه تاثیر گذار است (یمانی و عنایتی، ۱۳۸۴: ۴۹). نهشته‌های رسوبی بیش‌ترین برونزدهای منطقه را تشکیل می‌دهند که دارای ساختار چین‌خورده ناودیس و تاقدیسی با راستای تقریباً شمال-غربی- جنوب شرقی می‌باشند. مسن‌ترین سنگ‌های محدوده گرمی با سنگ‌های رسوبی به سن ائوس شروع می‌شود که توسط چینه‌های رسوبی جوانتر به سن الیگوسن- میوسن پوشیده شده است. سازندهای مربوط به زمان ائوسن با یک سری رسوبات نرم‌آواری شامل شیل‌های سیلتی و ماسه سنگی تبدیل می‌شود، سپس روی آن بوسیله یک گدازه آندزیتی-بازالتی پیروکسن دار به رنگ تیره مایل به سبز پوشیده می‌شود و در نهایت تناوبی از ماسه‌سنگ، رس و سیلت‌های گچ‌دار پوشیده می‌شود (ترک‌پور و همکاران، ۱۳۹۲: ۹). در شهرستان گرمی واحدهای سنگ‌شناسی مختلف به صورت سنگ‌های آذرین درونی، بیرونی و رسوبی پخش شده است و ۳۵ درصد حوضه سنگ آذرین و ۲۷ درصد از شیل و مارن تشکیل شده است که به دلیل نفوذپذیری کم و شیب زیاد منطقه نقش نقش مهمی در وقوع سیلاب در منطقه دارد. هرگونه عملیات در حوضه که باعث کاهش ذخیره رطوبت خاک یا کاهش نفوذپذیری شود، بدهی سیل را افزایش می‌دهد. (مهدی‌زاده، ۱۳۹۱: ۹۷).

نوع کاربری اراضی شهرستان گرمی به هشت نوع کاربری کشاورزی مرتع، بوته زار، باغی، رخنمون‌های صخره ای و ... تقسیم می‌شود که ۴۶ درصد حوضه را اراضی خشک، بایر و مراتع فقیر تشکیل می‌دهد که نقش بسزایی دارند. در وقوع سیل در نقشه-های استاندارد شده کاربری اراضی (شکل ۴)، هر چه بیشتر به یک سمت حرکت کنیم (کاربری زمین با رخنمون‌های سنگی، مراتع زراعی)، پتانسیل رواناب و سیل افزایش می‌یابد.

سیلاب به عنوان یکی از مهمترین عوامل انهدامی سکونتگاه‌های شهری و روستایی شناخته شده‌اند و لذا این مراکز جمعیتی از مناطق بسیار آسیب‌پذیر می‌باشند. اما باید در نظر داشت که با توجه به گستردگی مناطق روستائی در کشور به دلیل نیاز آبی برای کشاورزی، حوزه تاثیر اکثر سیلاب‌ها در مناطق روستائی کشور بوده است. از طرف دیگر، سازه‌های روستائی در کشور ما به علت قدمت، ضعف ساخت و ساز، نبود دانش فنی کافی و اجرایی و بهره‌گیری از مصالح کم دوام و نامرغوب، از وضعیت نامطلوب برخوردار است. از این رو اکثر ساختمان‌های مناطق روستائی کشورمان در برابر سیلاب بسیار آسیب‌پذیر می‌باشند. لذا، شناخت و تحلیل ریسک مخاطرات در نواحی روستائی در کاهش خسارات و تلفات آن‌ها، عامل تعیین کننده‌ای است. همچنین مناطق و ساخت و سازهای شهری و روستائی نزدیک رودخانه‌ها به علت کاهش جذب و نفوذ آب مناطق مناسبی برای پخش سیلاب هستند که طبق نقشه شهرستان گرمی بیش‌ترین میزان تراکم شهر و روستا و ساخت و ساز شهرستان گرمی در قسمت شرقی این شهرستان می‌باشد. (شکل ۴).

از دیگر عوامل تاثیرگذار در وقوع این مخاطره فاصله از گسل می‌باشد که با فاصله گرفتن از آن‌ها از مقدار خطر سیلاب کاسته می‌شود. در منطقه مورد بررسی در اثر چین‌خوردگی آلپی گسل‌های متعددی با راستای شمالی- جنوبی و شمال‌غربی- جنوب شرقی به وجود آمده است که از جمله آنها می‌توان به گسل‌های اصلی حمزه‌لو، مازان و گسل هاچاکندی اشاره کرد. بیشتر این گسل‌ها به موازات امتداد محورهای تاقدیس‌ها به وجود آمده‌اند. طولانی‌ترین گسل منطقه، گسلی است که از غرب تا شرق منطقه به طول تقریبی ۱۶ کیلومتر کشیده شده است. در نقشه‌های استاندارد شده فاصله از گسل (شکل ۴)، هرچه به طرف یک حرکت می‌کنیم، میزان ایجاد پتانسیل رواناب و سیل‌خیزی بیشتر می‌شود.



شکل ۶: تصاویر سیل شهرستان گرمی

بحث و نتیجه‌گیری

سیل به عنوان یک رویداد طبیعی و غیرمنتظره به طور مکرر در دهه‌های اخیر رخ داده است (وانگ و همکاران ۲۰۱۵) پدیده سیل یکی از رویدادهای هیدرواقليمی و از عظیم‌ترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی است که جوامع بشری را تهدید می‌کند. در راستای کاهش خسارات ناشی از سیلاب و مدیریت سیلاب، ارزیابی احتمال خطر و تهیه نقشه‌های مناطق احتمال خطر امری لازم و ضروری می‌باشد. شناسایی اراضی مستعد سیل به منظور اجرای روش‌های پیشگیری و کنترل، یکی از ضروریات مدیریت منابع طبیعی و برنامه ریزی توسعه و عمران است. در این تحقیق در چارچوب مدل ARAS که یکی از تکنیک‌های برجسته تحلیل چند معیاره محسوب می‌شود، تاثیر مولفه‌های دخیل در شکل‌گیری پتانسیل سیلاب مورد توجه قرار گرفت و به منظور استفاده عملیاتی از روش مذکور. در سامانه اطلاعات جغرافیایی SUPER DECISIONS باید برای ارائه چارچوبی منظم برای تعیین و پهنه بندی پتانسیل سیل در منطقه مورد مطالعه (شهر گرمی) استفاده شود. بر اساس نقشه نهایی، مناطق پرخطر عمدتاً در نواحی پرشیب و کوهستانی منطقه (جنوب و جنوب شرقی)، در جهت شیب شمال غربی، در مناطق پرجمعیت روستا (شرق شهر گرمی) قرار دارند. در محدوده شهری (به ویژه در نواحی مرکزی به دلیل تراکم ساخت و سازها و نفوذپذیری کمتر، شهر در محدوده آبراهه‌ها (جنوب و جنوب شرقی) واقع شده است. با توجه به نتایج وزن دهی، از جمله عوامل موثر در ایجاد سیلاب در منطقه مورد مطالعه، فاکتورهای سنگ شناسی با ضریب وزنی (۰/۸۵۳)، کاربری اراضی (۰/۸۰۸)، شیب (۰/۶۷۴) و فاصله از رودخانه با وزن (۰/۴۸۶) از مهمترین عوامل ایجاد سیلاب در منطقه هستند.

نتایج مطالعه نشان داد که ۱۱/۱۷ درصد و ۲۲/۸۷ درصد از منطقه مورد مطالعه به ترتیب در کلاس بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند و طبقه خطر متوسط ۲۷/۸۴ درصد از منطقه را به خود اختصاص داده است. همچنین ۲۵،۱۶ و ۹۶۷،۱۲ درصد از مساحت محدوده دارای پتانسیل خطر کم و بسیار کم است. نتایج تحقیق حاکی از پتانسیل بالای منطقه مورد مطالعه از نظر ایجاد خطر سیل است، بنابراین اراضی با احتمال خطر بسیار بالا، اراضی هستند که نیاز به اقدامات حفاظتی و آبخیزداری دارند (مانند: جلوگیری از فرسایش و تخریب خاک، کاهش بار رسوبی آب، کاهش سرعت و شدت رواناب، افزایش زمان تمرکز سیلاب، ایجاد فرصت برای نفوذ آب به لایه‌های زیرین حوضه و تغذیه سفره‌های زیرزمینی، کشت گیاهان مناسب با شرایط جغرافیایی دامنه‌ها و احیای مراتع و ایجاد فضای سبز) در آن انجام شود. نقشه طبقه بندی خطر سیل استخراج شده از مدل ARAS در تحقیق حاضر می‌تواند در تعیین مناطق مناسب برای انتخاب مناسب‌ترین مکان برای ساخت و سازها، در طراحی پروژه‌ها، مدیریت زیست محیطی، اجرای برنامه‌ها، طرح‌های عمرانی و هرگونه ساخت و ساز و فعالیت‌های زیربنایی مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- اصغری مقدم محمدرضا؛ (۱۳۷۸). جغرافیای طبیعی شهر ۲ (هیدرولوژی و سیل‌خیزی شهر)، چاپ اول، انتشارات مسعی، ۲۰۲ صفحه.
- اصغری سراسکانرود صیاد؛ پیروزی، الناز؛ زینالی، بتول؛ (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آق لاقان چای با مدل ویکور، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۳، ۲۳۱-۲۴۵.
- امیدوار کمال؛ (۱۳۹۰)، مخاطرات طبیعی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه یزد، یزد، ۳۱۱ صفحه.
- اوزی، رمضان؛ (۱۳۹۰). جغرافیای مخاطرات (مخاطرات طبیعی و انسانی)، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز، ۴۷۰ صفحه.
- افتخاری، امیرحسین؛ سلاجقه، علی؛ حسینی، سید احمد؛ (۱۳۹۰). ارزیابی پهنه بندی سیل با تغییرات ضریب زبری مطالعه موردی: رودخانه اترک. جغرافیای طبیعی، ۴(۱۲)، ۹۱-۱۰۶.
- ارخی، صالح؛ یاری بیگی حدیث؛ عمادالدین، سمیه؛ (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه-موردی: حوضه آبخیز گرگانرود). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دهم، شماره ۳، ۱۱۰-۸۶.
- ترک پور امیر؛ طلایی رضا؛ ایمانی کله‌سر هوشیار؛ (۱۳۹۲). نگرشی بر وقوع زمین‌لغزش در شهرستان گرمی. هشتمین همایش انجمن زمین-شناسی و محیط زیست ایران، ۱۷ و ۱۸ شهریور، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ثروتی محمدرضا؛ رستمی اکبر؛ خدادادی فاطمه؛ (۱۳۹۳). امکان‌سنجی وقوع سیل در حوضه آبخیز لیلان چای (مراغه) به روش CN، فصلنامه جغرافیای طبیعی، دوره ۷، شماره ۲۵، ۱۳-۲۶.
- ریاحی وحید؛ موسوی مریم. (۱۴۰۰). سنجش میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های روستایی در برابر زلزله (مورد مطالعه: دهستان پیان در شهرستان ایذه)، روستا و توسعه پایدار فضا، ۲ (۱): ۱۹-۱.
- رجبی معصومه؛ حجازی میراسدالله؛ روستایی شهرام؛ عالی نگین؛ (۱۳۹۷). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مخاطرات طبیعی و ژئومورفولوژیکی سکونتگاه‌های روستایی شهرستان سقز، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۲، صفحه ۱۹۵-۱۸۳.
- رضائی مقدم محمدحسین؛ مختاری داوود؛ شفیع مهر مجید؛ (۱۴۰۰). پهنه بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز شهر چای میانه با استفاده از مدل ویکور، مجله هیدروژئومورفولوژی، دوره ۸، شماره ۲۸، ۳۷-۱۹.
- حسین‌زاده محمد مهدی؛ برخورداری نازنین؛ (۱۴۰۰). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری فرسایش کناره‌ای، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۵۳، ۸۷-۲۳.
- حسینی خسرو؛ خیرخواهان مهران؛ (۱۳۹۸). هیدرولوژی و سیلاب دشت، انتشارات دانشگاه سمنان، ۹۵۶-۱.
- عابدینی موسی؛ (۱۳۹۵). هیدروژئومورفولوژی شهری، انتشارات نگین سیلان، ۲۲۴ صفحه.
- علیزاده گرجی غلامرضا؛ روستایی شهرام؛ موسوی رمضان؛ (۱۳۹۶). تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز نکارود با استفاده از مدل *SCS-CN* و *GIS/RS*، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۱، ۱۰۸-۱۱۸.
- علمداری پریچهر؛ (۱۴۰۰). تحلیل مکانی مخاطره سیلاب در حوضه آبریز قلعه چای عجب‌شیر، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دهم، شماره ۱، ۹۳-۱۱۱.
- غضنفرپور حسین؛ حسینی‌خواه حسین؛ کمالی باغراهی اسماعیل. (۱۴۰۲). تحلیل ریسک و آسیب‌پذیری لرزه‌ای سکونتگاه‌های انسانی شهرستان باشت با استفاده از مدل دیماتل فازی و *GIS*، مخاطرات محیط طبیعی، ۱۲ (۳۵): ۳۶-۲۱.
- قنوتی عزت‌الله؛ کرم امیر؛ آقاعلی‌خانی مرضیه؛ (۱۳۹۹). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه‌ی فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی، مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیست و سوم، پیاپی ۴۸، شماره‌ی ۴، ۱۲۱-۱۳۸.
- قهرودی تالی منیژه؛ (۱۳۸۸). کاربرد مدل یکپارچه سیلاب شهری در کلان‌شهرها (مطالعه موردی: شمال‌شرق تهران)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره ۱، پیش شماره پاییز و زمستان، ۱۷۸-۱۶۷.
- کرم امیر؛ صفاری امیر؛ (۱۳۹۴). نقش سیلاب و فرایندهای رودخانه‌ای در وقوع مخاطرات محیطی در حوضه ارنکه رودخانه کرج، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره‌ی ۲، صص ۵۳-۶۸.
- کرمی فربا؛ بیاتی خطیبی مریم؛ رستمی همای علیا نرگس؛ (۱۴۰۱). بررسی تاب‌آوری نواحی روستایی پیراشهری در برابر سیلاب (مطالعه موردی: برخی روستاهای دهستان میدان‌چای)، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۶، شماره ۸۰، مرداد ۱۴۰۱، ۲۵۱-۲۷۱.

- مددی عقیل؛ پیروزی الناز؛ پرستار سمیه؛ (۱۳۹۵). پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه‌ی آبخیز آق لاقان‌چای با استفاده از مدل ANP، طرح پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۵۰ صفحه.
- ولیزاده کامران؛ خلیل جهانبخش سعید؛ زاهدی مجید؛ رضائی بنفشه محمدرضا؛ (۱۳۹۱)، برآورد تبخیر-تعرق واقعی و تحلیل ارتباط آن با کاربری زمین در محیط GIS مطالعه‌ی موردی: شهرستان مشکین شهر، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره‌ی ۳۷، ۳۹-۵۴.
- رجبی معصومه؛ روستایی شهرام؛ برزکار محسن؛ (۱۳۹۹). سنجش پتانسیل سیل خیزی زیر حوضه‌ها بر اساس پارامترهای مورفومتری و آزمون همبستگی (مورد: حوضه آبریز زاب تا میرآباد)، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۶، شماره ۷۹، اردیبهشت ۱۴۰۱، ۱۳۹-۱۲۷.
- یمانی مجتبی؛ عباسی موسی. (۱۳۹۹). طبقه‌بندی ژئومورفیکی آثار سیلاب کاتاستروفیک رودخانه گادر. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۴(۷۳).
doi: 10.22034/gp.2020.10789.۴۳۰-۴۰۵

References

- Asghari Moghadam Mohammad Reza; (1999). Physical Geography of the City 2 (Hydrology and Flooding of the City), First Edition, Masei Publications, 202 pages. [In Persian]
- Asghari Saraskanroud Sayyad; Piroozi, Elnaz; Zeinali, Betoul; (2015). Zoning of Flood Hazard in the Aq Laghan Chay Basin with the VIKOR Model, Journal of Quantitative Geomorphology Research, Year 4, Issue 3, 231-245. [In Persian]
- Omidvar Kamal; (2011), Natural Hazards, First Edition, Yazd University Press, Yazd, 311 pages. [In Persian]
- Ozi, Ramadan; (2011). Geography of Hazards (Natural and Human Hazards), Tabriz University Press, Tabriz, 470 pages. [In Persian]
- Eftekhari, Amir Hossein; Salajqeh, Ali; Hosseini, Seyed Ahmad; (2011). Evaluation of flood zoning with changes in roughness coefficient, case study: Atrak River. Natural Geography, 4(12), 91-106. [In Persian]
- Arkhi, Saleh; Yaribeigi Hadith; Emad al-Din, Somayeh; (1400). Flood Hazard Zoning Using Geographic Information System (Case Study: Gorganrood Watershed). Quantitative Geomorphology Research, Year 10, Issue 3, 86-110. [In Persian]
- Tarkpour Amir; Talaei Reza; Imani Kalhesar Hoshyar; (2013). An Perspective on Landslide Occurrence in Germe County. The 8th Conference of the Iranian Geological and Environmental Society, September 8-10, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian]
- Tharvuti Mohammad Reza; Rostami Akbar; Khodaday Fatemeh; (2014). Feasibility Assessment of Flood Occurrence in Leilan Chay (Maragheh) Watershed by CN Method, Quarterly Journal of Physical Geography, Volume 7, Issue 25, 13-26. [In Persian]
- Riahi Vahid; Mousavi Maryam. (2014). Measuring the Vulnerability of Rural Settlements to Earthquakes (Case Study: Pian Rural District in Izeh County), Village and Sustainable Development of Space, 2 (1): 1-19. [In Persian]
- Rajabi Masoumeh; Hejazi Mirasadollah; Roastee Shahram; Aali Negin; (2018). Vulnerability zoning of natural and geomorphological hazards of rural settlements in Saqqez County, Journal of Quantitative Geomorphology Research, Volume 7, Issue 2, Pages 183-195. [In Persian]
- Rezaei Moghadam Mohammad Hossein; Mokhtari Davood; Shafiei Mehr Majid; (2011). Flood risk zoning in the Chay Mianeh city watershed using the VIKOR model, Journal of Hydrogeomorphology, Volume, 8, Issue, 28, 19-37. [In Persian]
- Hosseinzadeh Mohammad Mehdi; Barkhodhari Nazanin; (2011). Vulnerability zoning of coastal erosion, Natural Geographical Research, Volume 53, 23-87. [In Persian]
- Hosseini Khosrow; Khairkhan Mehran; (2019). Hydrology and Plain Flood, Semnan University Press, 1-956. [In Persian]
- Abedini Musa; (2016). Urban Hydrogeomorphology, Negin Sabalan Press, 224 pages. [In Persian]
- Alizadeh Gorji Gholamreza; Roustaei Shahram; Mousavi Ramezan; (2017). Preparing a flood zoning map of the Nekarood watershed using the SCS-CN and GIS/RS models, Journal of Quantitative Geomorphology Research, Volume 6, Issue 1, 108-118. [In Persian]
- Alamdari Parichehr; (2011). Spatial analysis of flood risk in the Qaleh Chay Ajab-Shir watershed, Quantitative Geomorphology Research, Volume 10, Issue 1, 111-93. [In Persian]

- Ghazanfarpour Hossein; Hosseinikhah Hossein; Kamali Baghbrahi Esmail. (2013). Analysis of seismic risk and vulnerability of human settlements in Basht County using the fuzzy Dematel model and Gis, Hazards Natural Environment, 12 (35): 21-36. [In Persian]
- Qanavati Ezzatollah; Karam Amir; Aghaalikhani Marzieh; (2019). Assessment and Zoning of Flood Risk in Farahzad Basin (Tehran) Using Fuzzy Model, Journal of Geography and Environmental Planning, Year 23, Serial 48, Issue 4, 121-138. [In Persian]
- Ghahrudi Tali Manijeh; (2009). Application of Integrated Urban Flood Model in Metropolises (Case Study: Northeast Tehran), Journal of Geography and Regional Planning, Volume 1, Pre-Issue Autumn and Winter, 167-178. [In Persian]
- Karam Amir; Safari Amir; (2015). The Role of Flood and River Processes in the Occurrence of Environmental Hazards in the Karaj River Basin, Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, Year 2, Issue 2, pp. 53-68. [In Persian]
- Karami Fariba; Bayati Khatibi Maryam; Rostami Homaye Ali Narges; (1401). Study of the resilience of peri-urban rural areas against floods (case study: some villages of Maidan Chay rural district), Geography and Planning, Volume 26, Issue 80, August 1401, , 251-271 [In Persian]
- Madadi Aqil; Piroozi Elnaz; Parast Somayeh; (1395). Zoning of flood risk in the Aq Laghan Chay watershed using the ANP model, Research project of Mohaghegh Ardabili University, 150 pages. [In Persian]
- Valizadeh Kamran; Khalil Jahanbakhsh Saeed; Zahedi Majid; Rezaei Banafsheh Mohammad Reza; (1391), Estimation of actual evapotranspiration and analysis of its relationship with land use in GIS environment, case study: Meshkinshahr County, Scientific and Research Quarterly Journal of Geographic Space, Year 12, Issue 37, 39-54. [In Persian]
- Rajabi Masoumeh; Roustaei Shahram; Barzekar Mohsen; (2020). Assessing the flood potential of sub-basins based on morphometric parameters and correlation test (Case: Zab to Mirabad basin), Geography and Planning, Volume 26, Issue 79, May 1401, 127-139. [In Persian]
- Yamani Mojtaba; Abbasi Musa. (2020). Geomorphic classification of the effects of catastrophic floods of the Gadar River. Geography and Planning, 24(73), 405-430. doi: 10.22034/gp.2020.10789 [In Persian]
- Azizi, A., & Hashim, M., (2014). Change detection of runoff-urban growth relationship in urbanized watershed, 8th International symposium of the Digital Earth, Conf. Series: Earth and Environmental Science 18 012040: PP. 1-6.
- Binh, T., Vromant, N., Hung, N.T., Hens, L., & Boon, E.K., (2005). Land Cover Changes Between 1968 and 2003 In Cai Nuoc, Ca Mau Peninsula, Vietnam, Environment Development and Sustainability, 7(2), 519– 536.
- Badraq Nejad A, Sarli R, Babaii M, Basiri M (2019) Evaluating and analyzing the spatial distribution of rural inhabitants with emphasis on biological and activity risk taking using GIS and SPSS (the area under study: Aq Su rural area). J Stud Human Settlements Plan 14:735–756.
- Brahma, A.k., & Mitra, D.K. (2019). Fuzzy AHP and Fuzzy VIKOR Approach modelling for flood control project selection. International Journal of Applied Engineering Research, 14 (17): 3579-35889.
- Convertino M, Annis A, Nardi F (2019) Information-theoretic portfolio decision model for optimal flood management. Environ Model Softw 119:258–274.
- Das, S., (2019). Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India, Remote Sensing Applications: Society and Environment, 14, 60-74.
- Farish, S., Munawar, S., Siddiqua, A., Alam, N., & Alam, M., (2017). Flood Risk Zonation Using GIS Techniques: District Charsadda, 2010 Floods Pakistan, Environ Risk Assess Remediat, 2 (1), 29-35.
- Chen, L.Y., & Wang, T.C (2009). Optimizing Partners Choice in IS/IT Outsourcing Projects: The Strategic decision of Fuzzy VIKOR, International Journal of Production Economics, 120 (1), 233-242.
- Green, C., Diepernk, G., EK, K., Hegger, D., Pettersson, M., Priest, S., & Tapsell, S., (2014). Flood risk management in Europe: the flood problem and interventions. Star flood. STAR-FLOOD

- receives funding from the EU 7th Framework programme (FP7/2007-2013) under grant agreement 308364
- Taherizadeh, M., Niknam, A., Nguyen-Huy, T. et al (2023). Flash flood-risk areas zoning using integration of decision-making trial and evaluation laboratory, GIS-based analytic network process and satellite-derived information. *Nat Hazards* **118**, 2309–2335.
- Tehrany MS, Pradhan B, Jebur MN (2014b) Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *J Hydrol* 512:332–343.
- Kolawole, O.M., Olayami, A.B., & Ajayi, K.T., (2011): Managing Flood in Nigerian Cities: Risk Analysis and Adaptation Options-Ilorin City as a Case Study. *Scholars Research Library*, 3(1), 17-24.
- Mishra, S.K., Tyagi, J.V., & Singh, R., (2006). SCS-CN-based modeling of sediment yield, *Journal of Hydrology*, 324 (4), 301-322.
- Shivaprasad Sharma, S.V., Parth Sarathi, R., Chakravarthi, V., & Srinivasa Rao, G., (2018); Flood risk assessment using multi-criteria analysis: a case study from Kopili River Basin, Assam, India, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 79-93.
- Shahiri Tabarestani E, Afzalimehr H (2021) Artificial neural network and multi-criteria decision-making models for flood simulation in GIS: Mazandaran Province, Iran. *Stochastic Environ Res Risk Assessment*, pp 1–19.
- Mekonnen, T W, Mitiku, A B, & Woldemichael, A., (2023). Flood Hazard Zoning of Upper Awash River Basin, Ethiopia, Using the Analytical Hierarchy Process (AHP) as Compared to Sensitivity Analysis, *2 Te Scientific World Journal*, 1675634, 1-15.
- Memon AA, Muhammad S, Rahman S, Haq M (2015) Flood monitoring and damage assessment using water indices: A case study of Pakistan flood-2012. *Egyptian J Remote Sens Space Sci* 18:99–106.
- Opricovic, S., & Tzeng, G., (2006). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, *European Journal of Operational Research*, *European Journal of Operational Research*, PP 514-529.
- Rentschler, J., Avner, P., Marconcini, M. et al (2023). Global evidence of rapid urban growth in flood zones since 1985. *Nature* 622, 87–92
- Ronald Clement, A., (2013). An application of Geographic Information Sysem in mapping flood risk zones in a north central city in Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 6, 365-371.
- Ren H, Zou X, Zhang P (2007) An elementary study on causing-factors of Chinese mountain torrents disaster. *China Water Resour* 14:18–20
- Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2010); a new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making, *Technological and Economic Development of Economy*, 16 (2), 159-172.
- Wang, Z., Lai, C., Chen, X., Yang, B., Zhao, S., & Bai, X. (2015). Flood hazard risk assessment model based on random forest, *Journal of Hydrology*, 527, 1130-1141.