

Preparation of Flood Hazard Potential Map using EBF Statistical Method: The case study of Azarshahr Chai Basin

Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam¹✉, Davoud Mokhtari², Tohid Rahimpour³,
Vahideh Taghizadeh Teimourloei⁴

1. (Corresponding Author) Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Email: rezmogh@tabrizu.ac.ir

2. Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Email: d_mokhtari@tabrizu.ac.ir

3. Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Email: rahimpour1990@gmail.com

4. Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Email: v.taghizadeh1993@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article History:

Received:

28 March 2024

Received in revised form:

27 May 2024

Accepted:

7 July 2024

Available online:

21 August 2024

Keywords:

Zoning,
Azarshahrchai Basin Area,
EBF Method,
Flood.

ABSTRACT

Azarshahrchai basin, located on the western slope of Sahand Mountain, is one of the flood-prone basins that every year, with the onset of spring rains, water flows in the valleys and floods occur in this basin. Thus, investigating and identifying flood-prone areas is a fundamental step to managing and reducing flood damage in this basin. The main goal of this research is to determine the effectiveness of the two-variable statistical method EBF (witness-belief function) by using the effective variables in flood occurrence and geographic information systems (GIS). In order to achieve this goal, 82 floodgates were first prepared, of which 57 points were randomly used for model training and 25 points for validation. In the next step, 14 parameters effective in the occurrence of floods, including elevation, slope, aspect, slope curvature, distance to river, distance to road, river density, TWI (Topographic Wetness Index), lithology, soil type, Stream Power Index (SPI), rainfall, Land-use, and NDVI were selected to prepare flood risk map. The results of the analysis of the parameters showed that the height classes of 1289-1500 meters, areas with a slope of 0-15 degrees, flat slope direction, areas with slopes with concave curvature, and areas near waterways and roads have a high potential for flooding. The evaluation of the accuracy of the research model using the ROC curve and the area under the curve (AUC) showed that the EBF model, with a value of 0.973, had an excellent performance in preparing the flood risk potential map in the study area. Therefore, the prepared map can be a reference framework for planners to improve and reduce flood risks along with flood risk management activities in this basin.

Cite this article: Rezaei Moghaddam, M. H., Mokhtari, Da., Rahimpour, T., & Taghizadeh Teimourloei, V. (2024) Preparation of Flood Hazard Potential Map using EBF Statistical Method: The case study of Azarshahr Chai Basin. *Physical Geography Research Quarterly*, 56 (2), 33-49.
<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2024.374985.1007825>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended abstract

Introduction

Floods are the most common natural hazards that occur all over the world and are the product of runoff production and confluence processes in watersheds. Its formation process is complex and mainly influenced by precipitation, vegetation, topography, and soil factors. It is difficult to define a flood. In general, a flood is a relatively large flow that exceeds the capacity of the river channel. While normal currents occur within the channel, periodic strong currents pass over the banks of the channel and spill over the surrounding flood plains. Considering that floods are natural phenomena, and although they cannot be completely controlled, their risks can be minimized. Flood risk reduction planning requires mapping, modeling and predicting flood events at different spatial and temporal scales. Many researchers have considered flood risk mapping as one of the most efficient tools for prevention and mitigation. A flood risk map visualizes the spatial distribution of flood risk, and flood vulnerability assessment is recognized as a preventive measure for risk management and planning and helps planners and decision-makers identify highly vulnerable areas or communities.

Materials and methods

In this research, among the 14 factors of elevation, slope, aspect, slope curvature, distance to river, distance to road, river density, TWI (Topographic Wetness Index), lithology, soil type, Stream Power Index (SPI), rainfall, Land-use, and NDVI has been used to investigate the watershed in terms of flood potential. Using LANDSAT8 satellite images of the OLI sensor, the position of 82 flood points in the Azarshahrchai catchment area was determined; 57 flood points were randomly used for training data and 25 points for validation data. Then, using a digital elevation model (DEM) with a spatial resolution of 12.5 meters and GIS and ENVI software, the required information layers were extracted and using the EBF model, the basin was zoned in terms of flood risk and final maps were extracted. The EBF model or witness-belief function, which is also called Dempster-Shafer theory, includes 4 functions degree of confidence (BEL), uncertainty (DIS), uncertainty (UNC) and degree of plausibility (PLS), and its values are between

-1 0 and its greatest advantage is the flexibility resulting from accepting uncertainty and combining many sources of belief. ROC curve is used to evaluate the accuracy of the model. A popular method for visualizing the discriminative accuracy of binary classification models is the area under the curve (AUC), which is a common measure of its accuracy.

Results and discussion

Elevation: The highest BEL or degree of confidence was recorded for the heights of 1289-1500, with a number of 0.736, which indicates the high probability of flooding in these areas. Altitudes of 1500-2000 and 2000-2500 have a lower probability of flooding than heights of less than 1500 meters, with confidence levels of 0.236 and 0.027, respectively. Confidence level 0 for heights higher than 2500 meters depicts the impossibility of flooding in these areas.

Slope: Areas with a slope of 0-15 degrees with a confidence level of 0.865 and slopes above 30 degrees with a confidence level of 0 have the highest and lowest probability of flooding and injury from this hazard, respectively.

Aspect: The highest degree of confidence was recorded for flat slopes with a value of 0.228, for east-facing slopes with a value of 0.132, for northwest slopes with a value of 0.131, and for a northeast-facing slope with a value of 0.115.

Lithology: The highest degree of confidence was recorded for the lake salt formation with a value of 0.388, deposits of high-level pediments and valley terraces with a value of 0.220, and semi-volcanic rocks from rhyolite to rhyodacite with a value of 0.186. These formations with a high degree of certainty have the possibility of aggravating the risk of flooding.

Soil type: The degree of reliability of Aridosol soil with a value of 0.768 is very high compared to the other two types of soil in the basin. Aridosols are followed by inceptisols and stone outcrops with confidence levels of 0.135 and 0.096, respectively.

Distance to the river: 200 meters from the river, one of the basin's most vulnerable areas, with a confidence level of 0.564. Distances of more than 800 meters from rivers with a confidence level of 0.205 have

taken the second rank of vulnerable areas in this index.

Distance to road: the highest level of confidence with a number of 0.319 is assigned to distances of 0-200 meters from roads and the lowest level of confidence with a value of 0.069 is assigned to distances of more than 800 meters. Distances 200-400, 600-800 and 400-600 are next in terms of flood vulnerability with confidence levels of 0.296, 0.168 and 0.146, respectively.

River density: In the sections where the river density is more than 0.8 square kilometers per square kilometer, the highest degree of confidence has been recorded with a value of 0.321. After that, in the places where the density of the river is 0.4-0.2 square kilometers per square kilometer, the lowest level of confidence with the number 0.045 has been assigned to it.

Topographic wetness index: In this basin, TWI 7-10-94, with the highest score of 0.400, is the most vulnerable area against floods. The regions with TWI 3.7-2.5, with a confidence level of 0.032, are the least vulnerable to flood risk.

Precipitation: The areas with more than 500 mm of rainfall, with a confidence level of 0.652, and the areas with 273-330 mm of rainfall are the most vulnerable areas against floods.

The normalized index of vegetation difference (NDVI): the areas with high vegetation difference with a confidence level of 0.597 and the areas without vegetation with a confidence value of 0 have the highest and lowest vulnerability.

Land use: From the point of view of riverbed land use, with a confidence value of 0.680, garden agriculture with a confidence level of 0.145, water-agriculture with a confidence value of 0.095, residential areas with a confidence value of 0.042, agriculture-garden with a confidence level of 0.027, rainfed areas with a confidence level of 0.006, and pasture use with a confidence level of 0.001, these areas are highly vulnerable to flood risk.

SPI: The most vulnerable areas in this index are the river's power in distances of 0-1500 meters, with a confidence level of 0.437.

ROC curve was used for the overall evaluation of the model. which with a number of 0.973 indicates the good performance of this model in the basin in terms of flood vulnerability.

Conclusion

In this research, using the EBF model, flood-sensitive areas were zoned based on 14 factors affecting their occurrence, using 57 flood-prone and 25 flood-free points. Based on the results obtained from this research, 12.7% of the basin is in the high class, 20.6% is in the very high vulnerability class, and the height factors are 1289-1500 meters, areas with a slope of 0-15 degrees, flat slope direction, Areas with slopes with concave curvature, flat slopes, lake salt formation, Aridosol soil, distances of 200 meters from rivers and roads, river density in areas greater than 0.8 square kilometers per square kilometer, Topographic Wetness Index (TWI) 10.94 - 7 areas with Precipitation more than 500 mm, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), River Bed, Erosion and Stream Power Index (SPI) at distances of 1500 kilometers from the river with weights of 0.736, 0.865, 0.228, and 703. 0, 0.388, 0.768, 0.564, 0.319, 0.321, 0.400, 0.652, 0.597, 0.680, and 0.432 are the most vulnerable areas of the basin and need more attention. The evaluation of the obtained result using the ROC curve with a value of 0.973 depicts the good performance of this model for basin zoning. The prepared flood susceptibility map of the Azarshahrchai watershed provides important information on vulnerable areas and can be a reference framework for planners to improve and reduce flood risks along with flood risk management activities in this basin. Therefore, in order to reduce the damage caused by floods in the coming years, careful planning should be done for high-risk areas.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از روش آماری EBF مطالعه موردی: حوضه آبریز آذرشهر چای

محمدحسین رضائی مقدم^۱ , داود مختاری^۲ , توحید رحیم‌پور^۳, وحیده تقی زاده تیمورلویی^۴

- ۱- نویسنده مسئول، گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: rezmogh@tabrizu.ac.ir
۲- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: d_mokhtari@tabrizu.ac.ir
۳- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: Rahimpour1990@gmail.com
۴- گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: v.taghizadeh1993@yahoo.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۱/۰۹

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۴/۱۷

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۵/۳۱

واژگان کلیدی:

پهنه‌بندی،
حوضه آبریز آذرشهر چای،
روش EBF،
سیل.

حوضه آبریز آذرشهر چای واقع در دامنه غربی کوهستان سهند، یکی از حوضه‌های مستعد وقوع سیل است که همه‌ساله با شروع بارش‌های بهاری شاهد جاری شدن آب در دره‌ها و وقوع سیل در این حوضه می‌باشد. لذا بررسی و شناسایی مناطق مستعد سیل، گامی اساسی جهت مدیریت و کاهش خسارات سیل در این حوضه می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش تعیین اثربخشی روش آماری دو متغیره EBF (عملکرد شاهد- باور) با استفاده از متغیرهای مؤثر در وقوع سیل و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. جهت دستیابی به این هدف ابتدا موقعیت ۸۲ نقطه سیل گیر تهیه گردید که از این تعداد به‌طور تصادفی ۵۷ نقطه جهت آموزش مدل و ۲۵ نقطه جهت اعتبارسنجی استفاده گردید. در گام بعد ۱۴ پارامتر مؤثر در وقوع سیل شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای شیب، لیتولوژی، جنس خاک، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، تراکم رودخانه، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، بارش، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، کاربری اراضی و شاخص توان آبراهه (SPI) جهت تهیه نقشه خطر وقوع سیل انتخاب شدند. نتایج بررسی پارامترها نشان داد که طبقات ارتفاعی ۱۵۰۰-۱۲۸۹ متر، مناطق دارای شیب ۱۵-۰ درجه، جهت شیب مسطح، مناطق دارای شیب‌هایی با انحنای مقعر، مناطق نزدیک آبراهه‌ها و جاده‌ها از پتانسیل بالایی جهت وقوع سیل برخوردارند. ارزیابی دقت مدل تحقیق با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی (AUC) نشان داد که مدل EBF با مقدار ۰/۹۷۳ عملکرد عالی در تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه داشته است. لذا نقشه تهیه‌شده می‌تواند یک چهارچوب مرجع برای بهبود و کاهش خطرات سیل برای برنامه‌ریزان همراه با فعالیت‌های مدیریتی خطر سیل در این حوضه باشد.

استناد: رضائی مقدم، محمدحسین؛ مختاری، داود؛ رحیم‌پور، توحید و تقی‌زاده تیمورلویی، وحیده. (۱۴۰۳). تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از روش آماری EBF مطالعه موردی: حوضه آبریز آذرشهر چای. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۶ (۲)، ۳۳-۴۹.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2024.374985.1007825>

مقدمه

سیل رایج‌ترین مخاطره طبیعی است که در سرتاسر جهان رخ می‌دهد (Razali et al., 2020) و محصول تولید رواناب و فرآیندهای تلاقی در یک حوضه آبخیز است و فرآیند تشکیل آن پیچیده است و عمدتاً تحت تأثیر عواملی مانند بارش، پوشش گیاهی، توپوگرافی و خاک است (Sheng et al., 2022). با شروع فصل بهار سیلاب‌ها به‌عنوان مهم‌ترین مخاطره ژئومورفیک در سطح کشور مطرح می‌شوند که خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را به بار می‌آورند (رحیم‌پور و همکاران، ۱۴۰۲). ارائه تعریفی از سیل کار دشواری است. به‌صورت کلی، سیل عبارت است از جریان نسبتاً زیادی که بیش از ظرفیت کانال رودخانه است. درحالی‌که جریان‌های عادی درون کانال اتفاق می‌افتد، جریان‌های تند دوره‌ای از سواحل کانال جریان می‌گذرند و روی دشت‌های سیلابی اطراف می‌ریزند (رضایی‌مقدم و ثقفی، ۱۳۹۶). با توجه به اینکه سیل یک پدیده طبیعی است و باوجوداینکه نمی‌توان آن را به‌طور کامل کنترل کرد، می‌توان خطر آن را به حداقل رساند (Mishra & Sinha, 2020). برنامه‌ریزی کاهش خطر سیل مستلزم نقشه‌برداری، مدل‌سازی و پیش‌بینی رویدادهای سیل در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف است (Schumann & Moller, 2015; Ahmed et al., 2018). بسیاری از محققان نقشه‌برداری خطر سیل را به‌عنوان یکی از کارآمدترین ابزارها برای پیشگیری تا کاهش در نظر گرفته‌اند (Sapa et al., 2020). نقشه خطر سیل توزیع فضایی خطر سیل را مجسم می‌کند (Maranzo, 2022)، و ارزیابی آسیب‌پذیری سیل به‌عنوان یک اقدام پیشگیرانه برای مدیریت و برنامه‌ریزی خطر شناخته می‌شود (Mergalita & Adugna, 2023) و به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا مناطق یا جوامع بسیار آسیب‌پذیر را شناسایی کنند، نقاط ضعف سیستمی را بهتر درک کنند، تغییرات آسیب‌پذیری را نظارت کنند و خطمشی را آسیب‌پذیری برای عموم توجیه کنند (Tao, 2021).

در ارتباط با پهنه‌بندی خطر وقوع سیل، پژوهش‌های زیادی در جهان و ایران انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: آزادی و همکاران (۱۳۹۹) پهنه‌بندی حساسیت خطر سیل در حوضه آبخیز رودخانه کشکان را با استفاده از دو مدل WOE^1 و EBF^2 موردبررسی و کارایی مدل تابع شواهد قطعی (EBF^3) در شناسایی مناطق دارای پتانسیل سیل‌خیزی کارآمدتر از مدل WOE در این حوضه بیان کردند. شهابی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از مدل‌های ترکیبی شاخص آماری (SI^3) و تابع شواهد قطعی (EBF)، مناطق دارای پتانسیل وقوع سیل شهر سهند را شناسایی و ادعا کردند تراکم ساختمانی و معابر شهری عوامل اصلی وقوع سیل این شهر هستند. رستمی‌خلج و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی (EBF)، پتانسیل‌یابی خطر آب‌گرفتگی شهری در شهرک امام‌علی مشهد را بررسی و بیان کردند مدل تابع شواهد قطعی برای پتانسیل خطر آب‌گرفتگی شهری در منطقه مورد مطالعه از دقت قابل قبولی برخوردار است. شهابی (۱۴۰۰) با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN^4)، نسبت فراوانی (FR^5) و تابع شواهد قطعی (EBF)، نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوضه آبخیز هراز در استان مازندران را به تصویر کشید و با توجه به اعتبارسنجی با منحنی ROC^6 بیان کرد که تکنیک نسبت فراوانی با مقدار ۰/۹۷، تابع شواهد قطعی با مقدار ۰/۶۴ و شبکه عصبی مصنوعی با مقدار ۰/۸۷ به ترتیب اولویت، دارای بیشترین دقت در پیش‌بینی وقوع سیل این حوضه هستند. داوند و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از روش تابع شواهد قطعی، مناطق شرق و شمال شرقی شهر ایلام را در

1. Weight of Evidence
2. Evidential Belief Function
3. Statistical Index
4. Artificial Neural Networks
5. Frequency Ratio
6. Receiver operating characteristic

محدوده کم‌خطر از نظر پتانسیل سیل‌خیزی قرار دادند و عوامل شیب زیاد و تغییر کاربری اراضی را عوامل اصلی در سیل‌خیزی این شهر بیان کردند. رضائی‌مقدم و رحیم‌پور (۱۴۰۲) با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و شاخص آماری، نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل را برای حوضه آبریز آجی چای تهیه کردند. نتایج این تحقیق نشان که هر دو مدل عملکرد خوبی در تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل داشته‌اند. عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۹) جهت شناسایی مناطق سیل‌خیز حوضه آبخیز کیاسر از روش‌های تابع شواهد قطعی (EBF)، نسبت فرکانس (FR)، الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره (TOPSIS^۱) و روش تصمیم‌گیری چند شاخصه مبتنی بر ماتریس (VIKOR^۲) استفاده و بیان کردند شیب، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی از اهمیت کلیدی در وقوع سیل در این حوضه برخوردار است. همچنین بر اساس اعتبارسنجی با منحنی ROC مدل EBF با مقدار ۰/۹۸۷ از دقت پیش‌بینی موفقیت‌آمیزی نسبت به ۳ روش دیگر در این حوضه برخوردار است. چوده‌وری و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از روش‌های تابع شواهد قطعی (EBF)، رگرسیون لجستیک (LR^۳) و مجموعه مدل (EBF-LR) مناطق دارای پتانسیل سیل رودخانه کویا در شرق هند را بررسی و با استفاده از اعتبارسنجی انجام‌شده، ادعا کردند روش تابع شواهد قطعی از دقت کمتری در پیش‌بینی مناطق سیل‌خیز نسبت به رگرسیون لجستیک در این حوضه برخوردار می‌باشد. رامش و اقبال (۲۰۲۰) با استفاده از مدل‌های مبتنی بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تابع شواهد قطعی (EBF)، نسبت فرکانس (FR) و عملگر گامای فازی (FGO^۴) مناطق سیل‌خیزی بمبئی در هند را مطالعه و عامل کاربری اراضی ساخته‌شده و نزدیکی به تأسیسات زهکشی مصنوعی را عامل اصلی حساسیت مناطق به سیل‌خیزی دانستند. همچنین بر اساس پژوهش‌های آن‌ها دقت پیش‌بینی مدل EBF نسبت به FGO کمتر و از FR در این شهر بالاتر است. میکائیل و حمد (۲۰۲۳) مناطق مستعد سیل رودخانه رزان در عراق را با استفاده از روش‌های تابع شواهد قطعی (EBF) و روش تحلیل سلسه‌مراتبی ((AHP^۵) موردپژوهش قرار دادند. بر این اساس ۳۲ درصد از محدوده مورد مطالعه در کلاس بسیار زیاد تا پرخطر از منظر سیل‌خیزی قرار داشت و بر اساس اعتبارسنجی با منحنی ROC مدل EBF با مقدار ۰/۸۶۹ نسبت به روش AHP از دقت بالاتری جهت بررسی و پیش‌بینی مناطق مستعد وقوع سیل در این حوضه برخوردار است. در این پژوهش به بررسی روش تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل در حوضه آبریز آذرشهر چای با استفاده از روش آماری تابع شواهد قطعی (EBF) پرداخته می‌شود. این حوضه آبریز از اهمیت بسزایی برخوردار است و تهیه نقشه پتانسیل خطر سیل در این حوضه می‌تواند به بهبود مدیریت بحران و پیش‌بینی وقوع سیل کمک بسزایی کند. درواقع به بررسی میزان خطر سیل در حوضه، اهمیت اطلاعات آماری در تحلیل پتانسیل خطر سیل پرداخته و به تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از این روش را می‌پردازیم. هدف اصلی از این پژوهش تهیه نقشه پتانسیل خطر سیل در حوضه است که با استفاده از آن مناطق دارای پتانسیل سیل‌خیزی مشخص شده و روشی مناسب برای پیش‌بینی و مدیریت بهتر بحران سیل در این حوضه ایجاد می‌شود.

1. technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution
2. VlseKriterijumska Optimizacija Kompromisno Resenje
3. Logistic regression
4. Functional Genomics Models
5. Analytical Hierarchy process

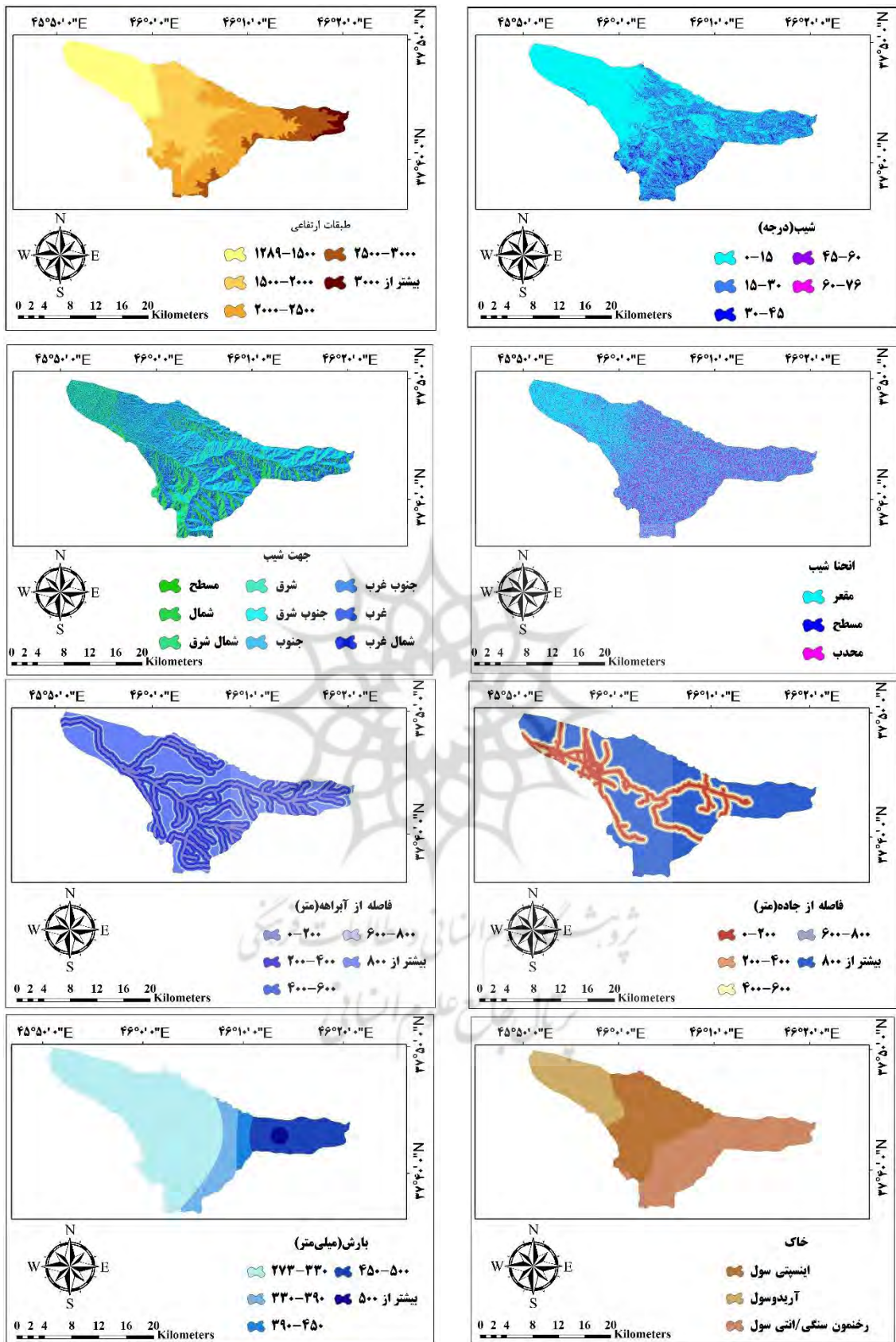
روش پژوهش

در این پژوهش از ۱۴ عامل ارتفاع، شیب، انحنای شیب، جهت شیب، لیتولوژی، خاک، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، تراکم رودخانه، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI^1)، بارش، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی ($NDVI^2$)، کاربری اراضی و شاخص توان آبراهه (SPI^3) جهت بررسی حوضه آبریز از نظر پتانسیل خطر وقوع سیل استفاده شده است. نحوه تهیه هر یک از نقشه‌ها به این صورت بوده است: نقشه طبقات ارتفاعی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ALOS PALSAR (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲٫۵ متر و ابزار Reclassify در ۵ کلاس تهیه شد. جهت تهیه نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲٫۵ متر و ابزار Slope در محیط نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید. سپس با استفاده از ابزار Aspect نقشه جهت شیب تهیه شد. نقشه انحنای شیب نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲٫۵ متر و ابزار curvature در سه کلاس سطوح مقعر، مسطح و محدب تهیه شد. جهت تهیه نقشه لیتولوژی منطقه از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (برگه‌های آذرشهر و اسکو) استفاده شده و پس از رقومی سازی نقشه‌های مزبور در محیط نرم‌افزار ArcGIS، نقشه لیتولوژی به فرمت رستری تهیه گردید. جهت تهیه نقشه‌های فاصله از آبراهه و فاصله از جاده از ابزار Euclidean distance (فاصله اقلیدسی) استفاده گردید. نقشه تراکم رودخانه نیز با استفاده از ابزار تراکم خطی (line density) در ۵ کلاس تهیه شد. در ادامه با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی گنبرف، قرمزی‌گل و آذرشهر برای دوره ۲۰ ساله (از سال آبی ۹۹-۸۰) و روش درون‌یابی معکوس وزنی فاصله‌ای (IDW)، نقشه بارش حوضه تهیه گردید. به منظور تهیه نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به تاریخ ۲۷ فروردین ۱۳۹۶ بوده است که یک روز بعد از وقوع سیل بزرگ در منطقه تصویربرداری شده بود. در فروردین‌ماه ۱۳۹۶ در پی افزایش بی‌سابقه بارش به ۴۵ میلی‌متر و به دنبال آن افزایش ناگهانی دبی رودخانه آذرشهر چای به ۱۵۰ مترمکعب بر ثانیه، سیلاب بزرگی در این حوضه به وقوع پیوست که موجب وارد آمدن تلفات و خسارات زیادی شد (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۶). در ادامه برای استخراج پهنه‌های سیلابی از طریق تصویر لندست از شاخص تفاوت نرمال شده آب ($NDWI^4$) استفاده شد. این شاخص توسط مک فیترز در سال ۱۹۹۶ ارائه شده است. در این شاخص از باند مادون قرمز نزدیک و سبز جهت استخراج پیکسل‌های آب استفاده می‌شود.

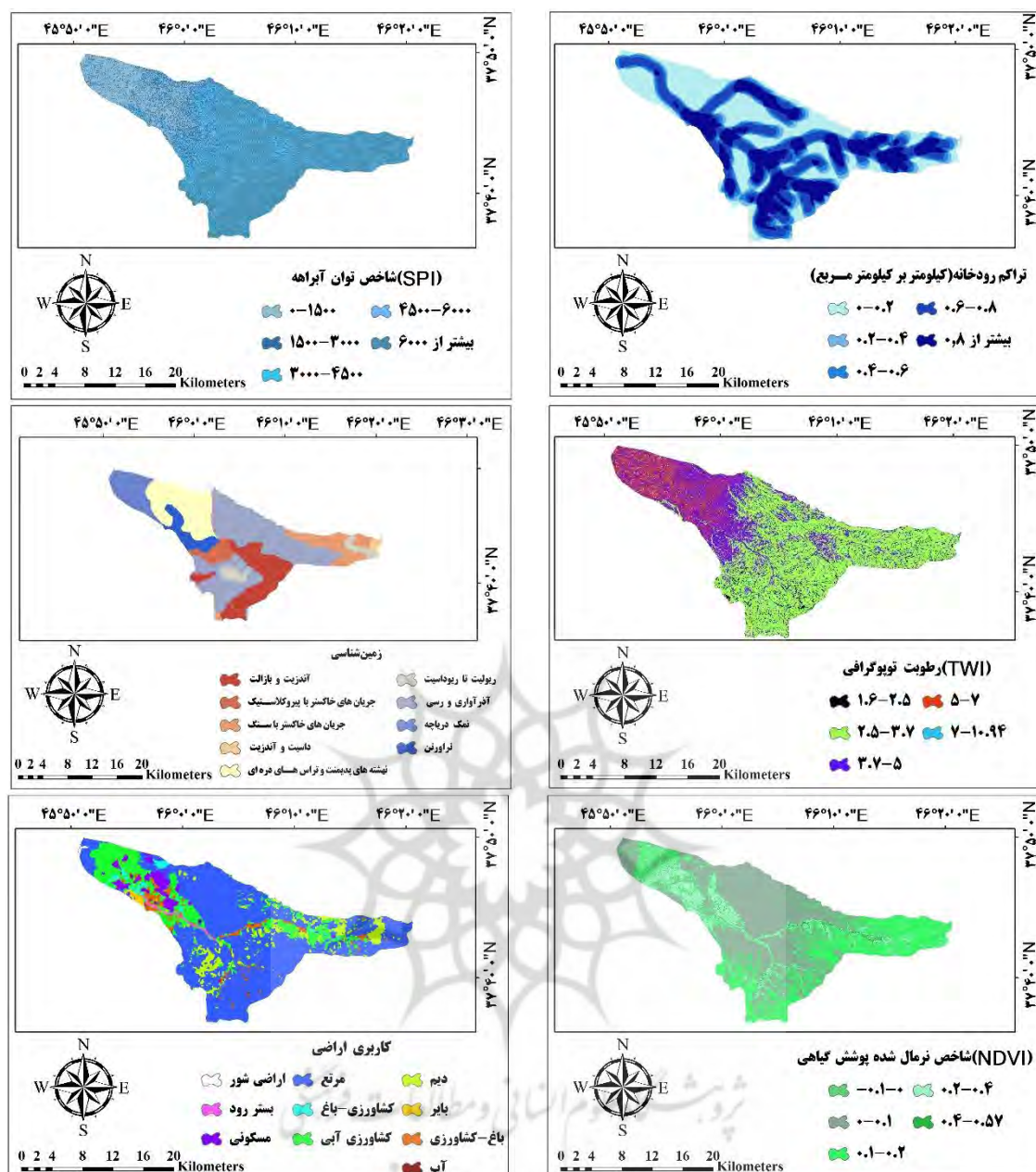
$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad \text{رابطه ۱}$$

مقادیر مثبت در این شاخص نشان‌دهنده آب و مقادیر منفی نشان‌دهنده سطوح غیرآبی می‌باشد. در نهایت موقعیت ۸۲ نقطه سیل‌گیر حوضه آبریز آذرشهر چای مشخص شد که به‌طور تصادفی از ۵۷ نقطه سیل برای داده‌های آموزشی و ۲۵ نقطه برای داده‌های اعتبارسنجی استفاده گردید.

1. Topographic wetness index
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. stream power index
4. Normalized Difference Water Index



شکل ۱. نقشه پارامترهای مورد استفاده در پژوهش



ادامه شکل ۱. نقشه پارامترهای مورد استفاده در پژوهش

مدل EBF

مدل EBF یا عملکرد شاهد-باور که به عنوان نظریه دمپستر-شفر نیز نامیده می‌شود (Roy et al., 2023) شامل ۴ تابع درجه اطمینان (BEL)، عدم اطمینان (DIS)، عدم قطعیت (UNC) و درجه معقولیت (PLS) می‌باشد و مقادیر آن میان ۱-۰ است (Ghosh et al., 2010) و بزرگ‌ترین مزیت آن انعطاف‌پذیری ناشی از پذیرش عدم قطعیت و ترکیب بسیاری از منابع باور است (Joo oh et al., 2017).

در عملکرد شاهد-باور، توابع BEL و PLS تدابیر ناخوشایند و خوش‌بینانه از ارتباط سیل با عوامل فضایی را فراهم می‌کنند و درواقع بیانگر احتمالات پایین و بالای شواهدی را نشان می‌دهند که فرضیه را پشتیبانی می‌کند و مقدار BEL همیشه کمتر یا معادل مقدار PLS است. UNC تردید شواهد موجود در فرضیه را به تصویر می‌کشد و تفاوت میان BEL

و PLS است. تابع DIS، باوری است بر پایه شواهد که فرضیه نادرست است و با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Belcf}_{ab} = \frac{Wcf_{ab}D}{\sum_{a=1}^n Wcf_{ab}D} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$Wcf_{ab}D = \frac{\left[\frac{N(C_{ab} \cap D)}{N(D)} \right]}{\left[\frac{N(C_{ab}) - N(C_{ab} \cap D)}{N(T) - N(D)} \right]} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\text{Discf}_{ab} = \frac{Wcf_{ab}\bar{D}}{\sum_{a=1}^n Wcf_{ab}\bar{D}} \quad \text{رابطه ۴}$$

$$Wcf_{ab}\bar{D} = \frac{\left[\frac{N(D) - N(C_{ab} \cap D)}{N(D)} \right]}{\left[\frac{N(T) - N(D) - N(C_{ab}) + N(C_{ab} \cap D)}{N(T) - N(D)} \right]} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$\text{UNCcf}_{ab} = 1 - \text{Belcf}_{ab} - \text{Discf}_{ab} \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\text{Plscf}_{ab} = \text{Belcf}_{ab} + \text{UNCcf}_{ab} \quad \text{رابطه ۷}$$

$N(C_{ab} \cap D)$ نقاط سیل در هر طبقه، $N(D)$ تعداد کل نقاط سیل، $N(C_{ab})$ تعداد پیکسل‌ها در هر طبقه، $N(T)$ تعداد کل پیکسل‌ها (Arora, 2022).

اعتبارسنجی مدل تحقیق

جهت ارزیابی دقت مدل از منحنی ROC استفاده شده است. یک روش محبوب برای تجسم دقت تبعیض‌آمیز مدل‌های طبقه‌بندی باینری است و مساحت زیر این منحنی (AUC) معیار رایج ارزیابی دقیق آن است (Gajowniczek & Ząbkowski, 2014).

به منظور ارزیابی نقشه حساسیت خطر وقوع سیل به دست آمده از مدل مورد استفاده، از منحنی مشخصه عملیاتی دریافت‌کننده یا منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC) و سطح زیر منحنی (AUC) استفاده شده است. در منحنی ROC روی محور X مقدار تشخیص پذیری یا ویژگی (Specificity) نسبت پیکسل‌های بدون سیل که به درستی به عنوان بدون سیل طبقه‌بندی شده‌اند و روی محور Y مقدار حساسیت (Sensitivity) نسبت پیکسل‌های سیل که به درستی به عنوان سیل طبقه‌بندی شده‌اند، مشخص می‌باشد. مقادیر Specificity و Sensitivity با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\text{specificity} = \text{TN} / (\text{FP} + \text{TN}) \quad \text{رابطه ۸}$$

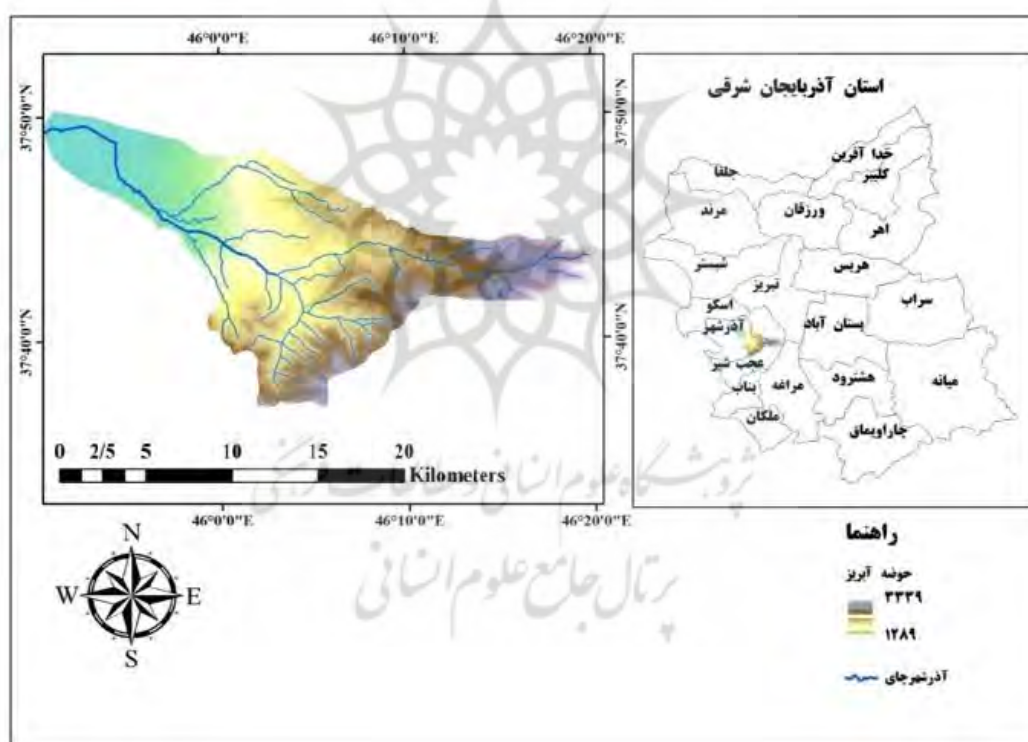
$$\text{sensitivity} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}) \quad \text{رابطه ۹}$$

که در آن TN تعداد مناطق بدون سیل که درست تشخیص داده شده‌اند؛ FP تعداد نقاط سیل که اشتباه تشخیص داده شده‌اند؛ TP تعداد نقاط سیل که درست تشخیص داده شده‌اند و FN تعداد نقاط بدون سیل که اشتباه تشخیص داده شده‌اند. همچنین جهت ارزیابی عملکرد مدل تحقیق از شاخص آماری صحت (Accuracy) نیز استفاده شده است. این شاخص نسبت نقاط سیل گیر و بدون سیل که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند را نشان می‌دهد (رحیم‌پور، ۱۴۰۰):

$$\text{Accuracy} = (\text{TP} + \text{TN}) / (\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}) \quad \text{رابطه ۱۰}$$

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز آذرشهر چای در ۳۶' و ۳۷° الی ۴۹' و ۳۷° عرض شمالی، ۲۰' و ۴۴° الی ۴۹' و ۴۵° طول شرقی واقع شده است. در دامنه‌های غربی توده کوهستانی سهند، در شرق دریاچه ارومیه و در جنوب غرب محدوده شهرستان تبریز واقع شده است. این حوضه حدود ۳۹۸ کیلومترمربع وسعت دارد. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه نیز به ترتیب ۱۲۸۹ و ۳۳۳۹ متر ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. میانگین بارش منطقه نیز طبق اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی موجود در منطقه حدود ۴۸۶ میلی‌متر می‌باشد. این حوضه از سمت شمال با حوضه آبریز اُسکو از جنوب با حوضه‌های قلعه‌چای و عجب‌شیر در دامنه جنوبی دارای خط‌الرأس مشترک، از سمت شرق با ارتفاعات کوهستان سهند و از غرب به دریاچه ارومیه محدود می‌شود. حوضه آذرشهر چای شامل دو دره گُنبر و آلمالو است که در بخش کوهستانی عمیق و پریچ‌وخم دار و در انتهای توپوگرافی کوهستانی دارای شیب ملایم هستند. این حوضه از اتصال شاخ آب‌های متعدد جاری در دره‌های عمیق تشکیل شده است که اصلی‌ترین شاخه آن گُنبرچای از ارتفاعات قُلل قرمیش‌داغ و میدان‌داغی سرچشمه گرفته و در نزدیکی روستای گواهیر با آلمالوچای و امیردیزچای ادغام و شاخه آذرشهر چای تشکیل شده و در نهایت به سمت دریاچه ارومیه جریان پیدا می‌کند. طبق اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه، میانگین دبی ماهانه آذرشهر چای برای سال‌های آبی ۹۸-۷۹، $0/702 \text{ m}^3/\text{s}$ بوده است.



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

یافته‌ها

در پژوهش حاضر ۱۴ پارامتر مؤثر در وقوع سیل به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل در حوضه آبریز آذرشهر چای انتخاب و بر اساس مدل آماری EBF موردبررسی قرار گرفتند. نتایج بررسی ارتباط احتمالی بین متغیرهای وابسته و

مستقل و همچنین ضرایب وزنی هر یک از کلاس‌های مربوط به لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از روش EBF در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. نتایج نهایی مدل EBF

پارامتر	کلاس	BEL	DIS	UNC	PLS
ارتفاع (متر)	۱۵۰۰-۱۲۸۹	0/736	0/119	0/143	0/880
	۲۰۰۰-۱۵۰۰	0/236	0/184	0/579	0/815
	۲۵۰۰-۲۰۰۰	0/027	0/227	0/744	0/772
	۳۰۰۰-۲۵۰۰	0	0/234	0/765	0/765
	3000-3500	0	0/234	0/765	0/765
شیب (درجه)	0-15	0/865	0/078	0/056	0/921
	15-30	0/134	0/205	0/659	0/794
	30-45	0	0/212	0/787	0/787
	45-60	0	0/238	0/761	0/761
	60-76	0	0/238	0/761	0/761
انحنای شیب	مقعر	0/703	0/195	0/100	0/804
	مسطح	0	0/468	0/531	0/531
	محدب	0/296	0/335	0/368	0/664

ادامه جدول ۱. نتایج نهایی مدل EBF

پارامتر	کلاس	BEL	DIS	UNC	PLS
لیتولوژی	نهشته‌های پدیمت های سطح بالا و تراس‌های دره‌ای	0/220	0/099	0/679	0/900
	نمک دریاچه	0/388	0/078	0/532	0/921
	سنگ‌های آذرآواری و رسی با بقایای جانداران مهره‌دار	0/049	0/116	0/833	0/883
	سنگ‌های داسیت و آندزیت نیمه آتش‌فشانی	0	0/122	0/877	0/877
	تراورتن	0/070	0/102	0/826	0/897
	جریان‌های خاکستر همراه با سنگ	0	0/122	0/877	0/877
	جریان‌های خاکستر همراه با سنگ‌های پیروکلاستیک، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل	0/048	0/116	0/834	0/883
	سنگ‌های آتش‌فشانی آندزیت و بازالت	0/035	0/118	0/846	0/881
	سنگ‌های نیمه آتش‌فشانی ریولیت تا ریوداسیت	0/186	0/102	0/710	0/897
	اینسیتی سول	0/135	0/382	0/482	0/617
جنس خاک	آریدوسول	0/768	0/220	0/011	0/779
	برون زدهای سنگی	0/096	0/397	0/506	0/602
	۰ - ۲۰۰	0/564	0/142	0/292	0/857
	۲۰۰ - ۴۰۰	0/059	0/224	0/716	0/775
	۴۰۰ - ۶۰۰	0/071	0/221	0/706	0/778
	۶۰۰ - ۸۰۰	0/099	0/216	0/684	0/783
	> ۸۰۰	0/205	0/194	0/600	0/805
	۰ - ۲۰۰	0/319	0/179	0/500	0/820
	۲۰۰ - ۴۰۰	0/296	0/183	0/520	0/816
	۴۰۰ - ۶۰۰	0/146	0/209	0/644	0/790
فاصله از جاده (متر)	۶۰۰ - ۸۰۰	0/168	0/204	0/627	0/795
	> ۸۰۰	0/069	0/223	0/706	0/776

ادامه جدول ۱. نتایج نهایی مدل EBF

پارامتر	کلاس	BEL	DIS	UNC	PLS
تراکم رودخانه (KM/KM^2)	0-0/2	0/209	0/196	0/593	0/803
	0/2-0/4	0/045	0/191	0/762	0/808
	0/4-0/6	0/124	0/177	0/697	0/822
	0/6-0/8	0/298	0/150	0/550	0/849
	> ۰/۸	0/321	0/147	0/531	0/852
شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) (M^3/S)	1/6-2/5	0/065	0/223	0/711	0/776
	2/5-3/7	0/032	0/230	0/737	0/769
	3/7-5	0/164	0/203	0/632	0/796
	5-7	0/337	0/175	0/486	0/824
	7-10/94	0/400	0/167	0/432	0/832
بارش (میلی‌متر)	273-330	0/347	0/163	0/489	0/836
	330-390	0	0/234	0/765	0/765
	390-450	0	0/234	0/765	0/765
	450-500	0	0/234	0/765	0/765
	> ۵۰۰	0/652	0/131	0/215	0/868
NDVI	-0/1 - 0	0	0/234	0/765	0/765
	0-0/1	0/038	0/225	0/736	0/774
	0/1-0/2	0/075	0/217	0/707	0/782
	0/2-0/4	0/288	0/180	0/531	0/819
	0/44-0/57	0/597	0/143	0/258	0/856
SPI	0-1500	0/437	0/161	0/401	0/838
	1500-3000	0/176	0/202	0/621	0/797
	3000-4500	0/157	0/205	0/636	0/794
	4500-6000	0/195	0/199	0/605	0/800
	> ۶۰۰۰	0/033	0/231	0/735	0/768

ادامه جدول ۱. نتایج نهایی مدل EBF

پارامتر	کلاس	BEL	DIS	UNC	PLS
کاربری اراضی	مسکونی	0/042	0/103	0/854	0/896
	کشاورزی آبی	0/095	0/098	0/806	0/901
	باغ-کشاورزی	0/145	0/093	0/761	0/906
	کشاورزی-باغ	0/027	0/104	0/867	0/895
	آب	0	0/107	0/892	0/892
	بستر رود	0/680	0/063	0/255	0/936
	مرتفع	0/001	0/107	0/891	0/892
	دیم	0/006	0/106	0/886	0/893
	بایر	0	0/107	0/892	0/892
	اراضی شور	0	0/107	0/892	0/892
جهت شیب	مسطح	0/228	0/089	0/682	0/910
	شمال	0/071	0/102	0/825	0/897
	شمال شرقی	0/115	0/089	0/794	0/910
	شرقی	0/132	0/088	0/779	0/911
	جنوب شرقی	0/085	0/091	0/822	0/908

0/906	0/838	0/093	0/068	جنوب
0/905	0/851	0/094	0/053	جنوب غربی
29				
0/903	0/865	0/096	0/038	غرب
0/911	0/780	0/088	0/131	شمال غربی
0/906	0/833	0/093	0/073	شمال

بحث

نتایج بررسی اهمیت هر یک از پارامترها در وقوع سیل در سطح حوضه آبریز آذرشهر چای به این صورت می‌باشد. **ارتفاع:** بیشترین مقدار BEL یا درجه اطمینان برای ارتفاعات ۱۵۰۰-۱۲۸۹ با عدد ۰/۷۳۶ به ثبت رسیده است که بیانگر احتمال وقوع زیاد سیل در این مناطق هستند. ارتفاعات ۲۰۰۰-۱۵۰۰ و ۲۵۰۰-۲۰۰۰ به ترتیب با درجه اطمینان ۰/۲۳۶ و ۰/۰۲۷ دارای احتمال وقوع سیل کمتری نسبت با ارتفاعات کمتر از ۱۵۰۰ متر هستند. درجه اطمینان ۰ برای ارتفاعات بیشتر از ۲۵۰۰ متر، عدم امکان وقوع سیل در این مناطق را به تصویر می‌کشد.

شیب: مناطق دارای شیب ۱۵-۰ درجه با درجه اطمینان ۰/۸۶۵ و شیب‌های بالاتر از ۳۰ درجه با درجه اطمینان ۰، به ترتیب بیشترین و کمترین احتمال بروز سیل و آسیب‌دیدگی از این مخاطره را دارند. مناطق دارای شیب ۱۵-۳۰ درجه اطمینان ۰/۱۳۴ هم از آسیب ناشی از سیل در امان نیستند و احتمال بروز این مخاطره در این مناطق هرچند کمتر نسبت به شیب ۱۵-۰ درجه، هست.

انحنای شیب: درجه اطمینان ۰/۷۰۳ برای سطوح مقعر و ۰/۲۹۶ برای سطوح محدب را می‌توان برای تأیید یافته‌های حاصل از پارامترهای ارتفاع و شیب دانست که در آن‌ها برای ارتفاعات پایین و برای مناطق محدب تا شیب ۳۰ درجه بیشترین مقدار درجه اطمینان به ثبت رسیده است. برای سطوح مسطح با درجه اطمینان ۰، احتمال رخداد سیل در این مناطق وجود ندارد.

جهت شیب: بیشترین مقدار درجه اطمینان برای دامنه‌های مسطح با عدد ۰/۲۲۸، برای دامنه‌های رو به شرق با مقدار ۰/۱۳۲، برای دامنه‌های شمال غربی ۰/۱۳۱ و برای دامنه‌های رو به شمال شرقی با مقدار ۰/۱۱۵ ثبت شده است. دامنه‌های رو به جنوب شرق با درجه اطمینان ۰/۰۸۵، دامنه‌های رو به شمال با مقدار ۰/۰۷۲، و دامنه‌های رو به جنوب، جنوب غربی و غرب با مقادیر درجه اطمینان به ترتیب ۰/۰۶۸، ۰/۰۵۳ و ۰/۰۳۸ احتمالاً کمتر در معرض بروز سیل قرار گیرند.

لیتولوژی: بیشترین مقدار درجه اطمینان برای سازند نمک دریاچه با عدد ۰/۳۸۸، نهشته‌های پدیمت‌های سطح بالا و تراس‌های دره‌ای با مقدار ۰/۲۲۰ و سنگ‌های نیمه آتش‌فشانی ریولیت تا ریوداسیت با مقدار ۰/۱۸۶ به ثبت رسیده است. این سازندها با درجه اطمینان بالا احتمال تشدید مخاطره سیل را دارند. تراورتن با مقدار ۰/۰۷۰، سنگ‌های آذرآواری و رسی با بقایای جانداران مهره‌دار با مقدار درجه اطمینان ۰/۰۴۹، جریان‌های خاکستر همراه با سنگ‌های پیروکلاستیک، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل با درجه اطمینان ۰/۰۴۸ و سنگ‌های آتش‌فشانی آندزیت و بازالت با درجه اطمینان ۰/۰۳۵ نسبت به ۴ سازند که بالاتر ذکر شد، احتمال کمتری برای در معرض بروز سیل قرار گرفتن دارند و سنگ‌های داسیت و آندزیت نیمه آتش‌فشانی و جریان‌های خاکستر همراه با سنگ با درجه اطمینان ۰، امکان بروز سیل در این دو سازند وجود ندارد.

جنس خاک: درجه اطمینان خاک آریدوسول با مقدار $0/768$ نسبت به دو نوع دیگر خاک حوضه خیلی بالا می‌باشد. آریدوسول‌ها پس از آن اینسپتی سول و برون زدهای سنگی به ترتیب با درجه اطمینان $0/135$ و $0/096$ قرار دارند.

فاصله از آبراهه: فاصله 200 متری از آبراهه، یکی آسیب‌پذیرترین مناطق حوضه با مقدار $0/564$ درجه اطمینان هست. فواصل بیش از 800 متر از آبراهه با درجه اطمینان $0/205$ ، رتبه دوم مناطق آسیب‌پذیر را در این شاخص به خود اختصاص داده است. بعد از آن مناطق با فواصل $600-800$ متر با درجه اطمینان $0/099$ ، $400-600$ متر با مقدار اطمینان $0/071$ و فواصل $200-400$ متر با مقدار اطمینان $0/059$ کمترین مقدار اطمینان را به خود اختصاص داده‌اند.

فاصله از جاده: بیشترین مقدار درجه اطمینان با عدد $0/319$ با فواصلی $200-$ متر از جاده‌ها و کمترین مقدار اطمینان با مقدار $0/069$ به فواصل بیش از 800 متر اختصاص یافته است. فواصل $200-400$ ، $400-600$ و $600-800$ متر از جاده‌ها و کمترین مقدار اطمینان به ترتیب $0/296$ ، $0/168$ و $0/146$ قرار دارند.

تراکم رودخانه: در بخش‌هایی که تراکم رودخانه بیشتر از $0/8$ کیلومتر مربع بر کیلومتر مربع است، بالاترین درجه اطمینان با مقدار $0/321$ به ثبت رسیده است. پس از آن در جاهایی که تراکم رودخانه $0/4-0/2$ کیلومتر مربع بر کیلومتر مربع است، کمترین میزان درجه اطمینان با عدد $0/045$ را به خود اختصاص داده است. این دو به ترتیب بیشترین و کمترین میزان آسیب‌پذیری را در این شاخص در حوضه به خود اختصاص داده‌اند. پس از آن تراکم‌های $0/6-0/8$ ، $0/2-0/4$ ، $0/6-0/8$ به ترتیب میزان آسیب‌پذیری از سیل بالایی دارند.

شاخص رطوبت توپوگرافی: در این حوضه TWI $10/94-7$ با بالاترین امتیاز $0/400$ آسیب‌پذیرترین مناطق در مقابل سیل هست. و مناطق با TWI $3/7-2/5$ با درجه اطمینان $0/032$ کمترین آسیب‌پذیری را در مقابل مخاطره سیل دارند.

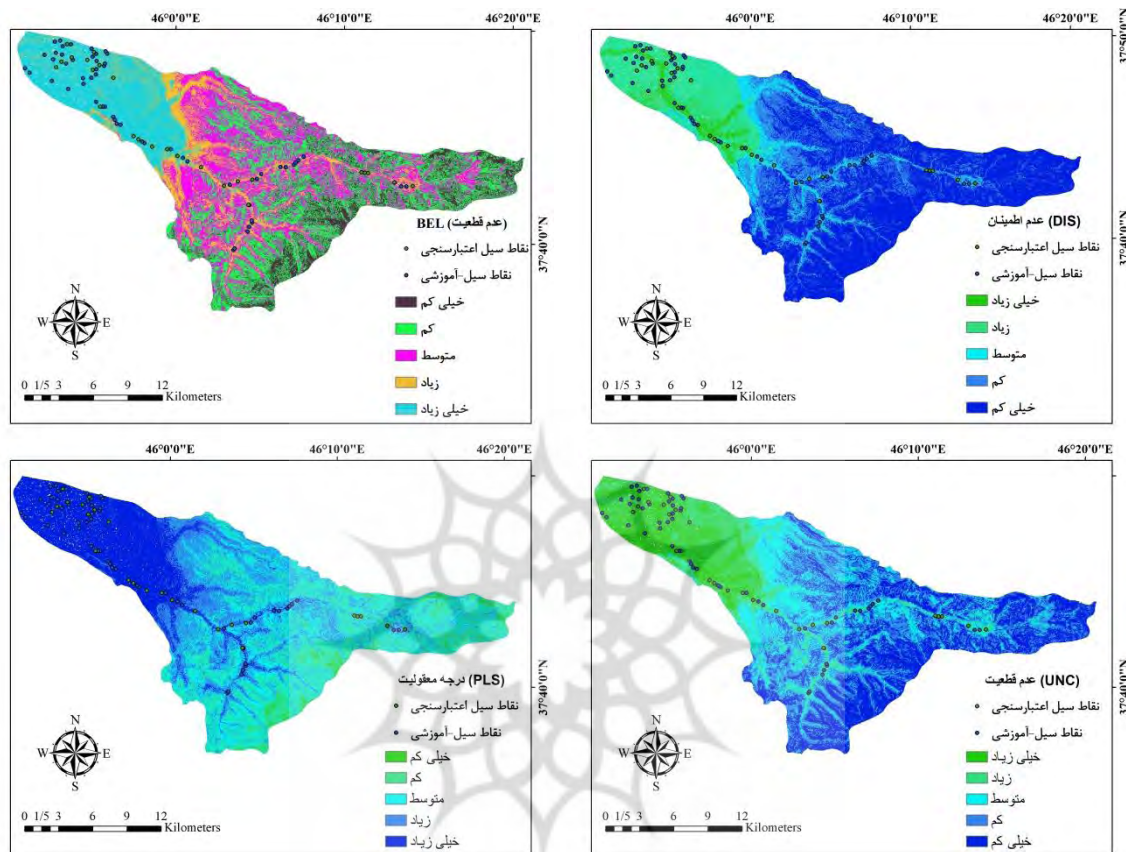
بارش: مناطق با میزان بارش بیشتر از 500 میلی‌متر با درجه اطمینان $0/652$ و پس آن مناطق دارای بارش $330-273$ میلی‌متر آسیب‌پذیرترین مناطق در برابر سیل می‌باشد. مناطق دارای بارش 330 الی 500 میلی‌متر با درجه اطمینان 0 از تهدیدات سیل در امان هستند.

شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی: مناطقی که دارای تفاوت پوشش گیاهی بالایی هستند با درجه اطمینان $0/597$ و مناطق که بدون پوشش گیاهی هستند با مقدار اطمینان 0 ، بالاترین و پایین‌ترین آسیب‌پذیری را دارند. و پس از آن مناطق با $NDVI$ $0/4-0/2$ ، $0/2-0/1$ ، $0/1-0$ به ترتیب با درجات اطمینان $0/288$ ، $0/075$ و $0/038$ در رتبه بعدی از نظر آسیب‌پذیری خطر سیل هستند.

کاربری اراضی: از منظر کاربری اراضی بستر رود با مقدار اطمینان $0/680$ ، باغ-کشاورزی با درجه اطمینان $0/145$ ، کشاورزی_آبی با مقدار اطمینان $0/095$ ، مناطق مسکونی با عدد اطمینان $0/042$ ، کشاورزی-باغ با $0/027$ ، مناطق دیم با عدد اطمینان $0/006$ و کاربری مرتع با درجه اطمینان $0/001$ دارای آسیب‌پذیری بالایی در برابر مخاطره سیل هستند. مناطقی که دارای آب هستند، اراضی و شور و بایر با درجه اطمینان 0 به دور از تهدیدات سیل در این حوضه می‌باشند.

SPI: شاخص SPI قدرت تخلیه و فرسایش بخش خاصی از حوضه را نشان می‌دهد (پودیال و همکاران، ۲۰۱۰). توان رودخانه در فواصل $1500-$ متر با درجه اطمینان $0/437$ آسیب‌پذیرترین مناطق در این شاخص است. پس از آن $6000-4500$ ، $3000-1500$ و $3000-4500$ به ترتیب با درجات اطمینان $0/195$ ، $0/176$ ، $0/157$ در رتبه‌های بعدی از نظر آسیب‌پذیری قرار دارند. و بیشتر از 6000 کمترین میزان اطمینان با عدد $0/033$ به ثبت رسیده است.

نتایج نهایی حاصل از بررسی مدل EBF در شکل شماره ۳ قابل مشاهده است. نقشه حاصله جهت سهولت در بررسی در ۵ طبقه تحت عنوان خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه بندی شد. طبقه ۲ با آسیب پذیری کم ۲۸/۸۶ درصد، بیشترین مساحت حوضه را از به خود اختصاص داده است درحالی که طبقه خیلی کم ۹/۲ درصد از حوضه را پوشانده است. طبقات متوسط ۲۸/۴، طبقه زیاد ۱۲/۷ و طبقه خیلی زیاد ۲۰/۶ درصد از حوضه را پوشش داده اند.

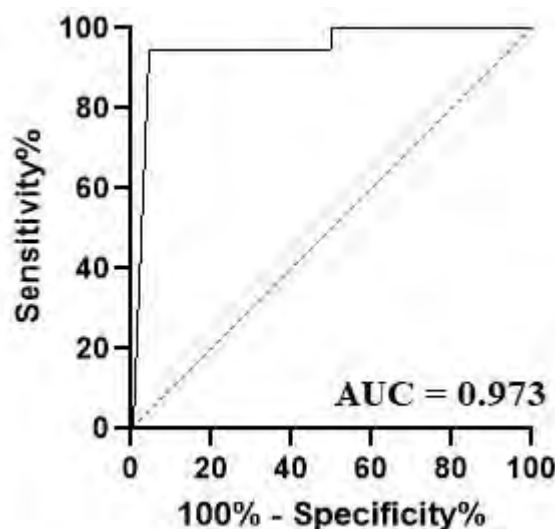


شکل ۳. نقشه های نهایی پتانسیل خطر وقوع سیل در حوضه آبریز آذرشهر چای

جهت ارزیابی کلی مدل از منحنی ROC استفاده شد. که با عدد 0/973 بیانگر عملکرد خوب این مدل در حوضه از لحاظ آسیب پذیری سیل است.

جدول ۲. نتایج نهایی روابط sensitivity و specificity و Accuracy

نوع داده	TP	FP	TN	FN	Specificity	sensitivity	Accuracy
داده های آموزشی	۵۴	۳	۵۶	۱	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۹۶
اعتبارسنجی	۲۲	۳	۲۴	۱	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۹۲



شکل ۴. منحنی ROC بر اساس داده‌های آموزشی

نتیجه‌گیری

سیل یکی از مخرب‌ترین پدیده‌ها در سراسر جهان می‌باشد که همه‌ساله خسارت‌های زیادی به دارایی و جان انسان‌های وارد می‌کند. لذا در پژوهش حاضر تلاش گردید تا نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل در سطح حوضه آبریز آذرشهر جای تهیه شود. بدین منظور با استفاده از مدل EBF، مناطق حساس به سیل بر پایه ۱۴ عامل مؤثر در وقوع آن و با استفاده از ۵۷ نقطه سیل گیر و ۲۵ نقطه بدون سیل، پهنه‌بندی شد. بر پایه نتایج حاصل‌شده از این پژوهش، ۱۲/۷ درصد از حوضه در طبقه زیاد و ۲۰/۶ درصد در طبقه با آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارد و فاکتورهای ارتفاعات ۱۵۰۰-۱۲۸۹ متر، مناطق دارای شیب ۱۵-۰ درجه، جهت شیب مسطح، مناطق دارای شیب‌هایی با انحنای مقعر، دامنه‌های مسطح، سازند نمک دریاچه، خاک آریدوسول، فواصل ۲۰۰ متری از آبراهه و جاده، تراکم رودخانه در مناطق بیشتر از ۰/۸ کیلومترمربع بر کیلومترمربع، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) ۱۰/۹۴ - ۷ مناطق با بارش بیش از ۵۰۰ میلی‌متر، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، بستر رود، قدرت فرسایش و تخلیه آب (SPI) در فواصل ۱۵۰۰ کیلومتری از رودخانه آسیب‌پذیرترین مناطق حوضه هستند و نیازمند توجه بیشتر در برنامه‌های مدیریتی می‌باشند. بررسی نقشه‌های نهایی نشان داد که مناطق پایین‌دست حوضه و اراضی اطراف رودخانه‌ها از پتانسیل بالایی نسبت به وقوع سیل برخوردار هستند. ارزیابی نتیجه به‌دست‌آمده با استفاده از منحنی ROC با مقدار ۰/۹۷۳ عملکرد خوب این مدل جهت پهنه‌بندی حوضه را به تصویر می‌کشد. با استفاده از نتایج حاصل از این پژوهش مناطق مستعد وقوع سیل شناسایی و نیاز به تهیه و تدوین طرح‌های اضطراری و مدیریت بحران این مناطق و زیرساخت‌هایی که در آن‌ها قرار دارند، آگاه‌سازی ساکنان و مسئولان محلی این مناطق از خطرات سیل و راه‌های پیش‌گیری از آسیب دیدن از این پدیده، بیش‌ازپیش احساس می‌شود و با ارائه اطلاعات به بانک‌های اطلاعاتی محلی و منطقه‌ای می‌توان در تحلیل‌های آتی از نتایج این پژوهش استفاده کرد. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر می‌تواند به‌عنوان یک چهارچوب مرجع برای بهبود و کاهش خطرات سیل برای برنامه‌ریزان همراه با فعالیت‌های مدیریتی خطر سیل جهت ارائه برنامه‌ریزی‌های دقیق در این حوضه باشد.

حامی مالی

بر اساس اظهار نویسندگان این مقاله حامی مالی نداشته است.

سهیم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمامی مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشته‌اند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در ارتباط با نویسندگی یا انتشار مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از تمامی کسانی که در انجام پژوهش حاضر یاری‌رسان بوده‌اند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقاله را عهده‌دار بوده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- آزادطلب، مهناز، شهابی، هیمین؛ شیرزادی، عطاله؛ چپی، کامران (۱۳۹۹). پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر سنندج با استفاده از مدل های ترکیبی شاخص آماری و تابع شواهد قطعی، مطالعات شهری، ۳۶، ۴۰-۲۷. doi: 10.34785/J011.2021.801
- آزادی، فهیمه؛ صدوق، سیدحسن؛ قهرودی، منیژه؛ شهابی، هیمین (۱۳۹۹). پهنه‌بندی حساسیت خطر سیل در حوضه آبخیز رودخانه کشکان با استفاده از دو مدل WOE و EBF، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳۳، ۶۰-۴۵. doi: 10.22067/geo.v9i1.83090
- داوند، خدیجه؛ شهابی، هیمین؛ سالاری، ممد (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ایلام با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۳۸، ۲۰-۱. doi: 10.22067/geoh.2021.67947.1007
- رحیم‌پور، توحید؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سید اسدالله؛ ولیزاده کامران، خلیل (۱۴۰۲). مدل‌سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الندچای بر پایه یک رویکرد طبقه‌بندی ترکیبی نوین (FURIA-GA-LogitBoost). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۱۲(۱)، ۱-۲۴. doi: 10.22067/geoh.2022.74170.1141
- رحیم‌پور، توحید (۱۴۰۰). تحلیل تغییرات فضایی حساسیت خطر سیل و فرسایش خاک بر پایه رویکردهای هیدروژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه آبریز الندچای، شمال غرب ایران)، پایان‌نامه دوره دکتری، استاد راهنما (دکتر محمدحسین رضائی مقدم)، دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، رشته ژئومورفولوژی.
- رستمی خلیج محمد؛ رحمتی، امید؛ رشیدپور، مصطفی؛ سلمانی، حسین (۱۳۹۹). پتانسیل‌یابی خطر آب‌گرفتگی شهری با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی (EBF) (مطالعه موردی: شهرک امام علی (ع) شهر مشهد)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۱(۲۲)، ۱-۲۲. doi: 10.52547/jwmr.11.22.1
- رضائی مقدم، محمدحسین و تقی مهدی (۱۳۹۶). مبانی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، چاپ اول. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
- رضائی مقدم، محمدحسین؛ رحیم‌پور، توحید (۱۴۰۲). تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و شاخص آماری (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی‌چای). مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۰(۴)، ۳۰۸-۲۹۱. doi: 10.22059/jhsci.2024.369163.803
- شهابی، هیمین (۱۴۰۰). کاربرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، نسبت فراوانی و تابع شواهد قطعی در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز: الگویی برای مطالعات مخاطرات سیلاب شهری، پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۴۵، ۲۰۲-۱۸۱. <https://doi.org/10.30495/jupm.2021.4245>

قاسمی، احمدرضا و محمدی، یوسف (۱۳۹۶). گزارش مقدماتی رخداد سیل در شمال غرب کشور، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، دفتر بررسی مخاطرات زمین‌شناختی، زیست‌محیطی و مهندسی.

References

- Ahmad, T., Pandey, A.C., Kumar, A. (2018). Flood hazard vulnerability assessment in Kashmir Valley, India using geospatial approach. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 105, 59-71.
- Arabameri, A., Rezaei, K.H., Cedra, A., Conoscenti, C.H., Kalantari, Z. (2019). A comparison of statistical methods and multi-criteria decision making to map flood hazard susceptibility in Northern Iran. *Sci Total Environ*, 10(16), 443-453.
- Arora, A. (2022). Flood susceptibility prediction using multi criteria decision analysis and bivariate statistical models: a case study of Lower Kosi River Basin, Ganga River Basin, India. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 37(1), 1855-1877.
- Azadi, F., Sadough, S. H., Ghahroudi, M., & Shahabi, H. (2020). Zoning of Flood Risk in Kashkan River basin using Two Models WOE and EBF. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(1), 45-60. doi: 10.22067/geo.v9i1.83090 [In Persian].
- Azadtalab, M., Shahabi, H., Shirzadi, A., & Chapi, K. (2020). Flood hazard mapping in Sanandaj using combined models of statistical index and evidential belief function. *Motaleate Shahri*, 9(36), 27-40. doi: 10.34785/J011.2021.801 [In Persian].
- Chowdhuri, I., Chandra Pal, S., Chakraborty, R. (2020). Flood susceptibility mapping by ensemble evidential belief function and binomial logistic regression model on river basin of eastern India. *Advances in Space Research*, 65, 1466-1489.
- Davand, K., Shahabi, H., & Salari, M. (2021). Flood hazard mapping in Ilam city using evidential belief function model. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(2), 1-20. doi: 10.22067/geoh.2021.67947.1007 [In Persian].
- Gajowniczek, K.f, Ząbkowski, T. (2014). Estimating The Roc Curve And Its Significance For Classification Models' Assessment. *Quantitative Methods In Economics*, 2, 382 – 391.
- Ghasemi, A., & Mohammadi, Y. (2017). The preliminary report of the flood incident in the northwest of Iran, *the Geological and Mineral Exploration Organization of the country*, Geological, Environmental and Engineering Hazard Investigation Office. [In Persian].
- Ghosh, S., Carranza, E.J.M. (2010). Spatial analysis of mutual fault/fracture and slope controls on rocksliding in Darjeeling Himalaya, India. *Geomorphology*, 122, 1-24.
- Joo Oh, H., Kadavi, P.R., Lee, C.W., Lee, S. (2017). Evaluation of landslide susceptibility mapping by evidential belief function, logistic regression and support vector machine models. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 1053-1070.
- Maranzoni, A., D'Oria, M., Rizzo, C. (2022). Quantitative flood hazard assessment methods: A review. *Flood Risk Management*, 16(1), doi.org/10.1111/jfr3.12855.
- MergaLeta, B., Adugna, D. (2023). Characterizing the level of urban Flood vulnerability using the social-ecological-technological systems framework, the case of Adama city, Ethiopia. *Helion*, 9(10). doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20723.
- Mikail, A.Q., Hamad, R. (2023). Mapping Flood Vulnerability by Applying EBF And AHP Methods, in the Iraqi Mountain Region. *Science Journal of University of Zakho*, 11(1), 1-10.
- Mishra, K., Sinha, RS. (2020). Flood risk assessment in the Kosi megafan using multi-criteria decision analysis: A hydro-geomorphic approach. *Geomorphology*, 350, doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106861.

- Poudyal, C.P., Chang, C., Oh, H.J., Lee, S. (2010). Landslide susceptibility maps comparing frequency ratio and artificial neural networks: a case study from the Nepal Himalaya. *Environ Earth Sci*, 61, 1049–1064.
- Rahimpour, T., Rezaei Moghaddam, M. H., Hejazi, S. A., & Valizadeh Kamran, K. (2023). Flood susceptibility modeling in the Aland Chai Basin based on a new ensemble classification approach (FURIA-GA-LogitBoost). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1), 1-24. <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.74170.1141> [In Persian].
- Rahimpur, T. (2022). *Spatial Variations Analysis of Flood hazard Susceptibility and Soil Erosion Based on Hydrogeomorphic Approaches (Case Study: Aland Chai Basin, North West of Iran)*. PhD thesis, Tabriz University, Faculty of Planning and Environmental Sciences. [In Persian].
- Ramesh, V., Iqbal, S.S. (2020). Urban flood susceptibility zonation mapping using evidential belief function, frequency ratio and fuzzy gamma operator models in GIS: a case study of Greater Mumbai, Maharashtra, India. *Geocarto International*, 37(2), 581-606.
- Razali, N., Mustapha, A., Shuhaida, I. (2020). Machine learning approach for flood risks prediction. *International Journal of Artificial Intelligence*, 73, 73-80.
- Rezaei Moghaddam, M. H., Saghafi, Mahdi. (2016). *Fundamental of geomorphology*. first edition. Organization for studying and compiling humanities books of universities (Samt). [In Persian].
- Rezaei Moghaddam, M. H., & Rahimpour, T. (2024). Preparation of flood hazard potential map using two methods: Frequency Ratio and Statistical Index (Case study: Aji Chai Basin). *Environmental Management Hazards*, 10(4), 291-308. doi: 10.22059/jhsci.2024.369163.803 [In Persian].
- Rostami Khalaj M, Rahmati O, Rashid poor M, Salmani H. (2020). Urban Inundation Hazard Potential using Evidential Belief Function model (EBF) (Case study: Emam Ali town, Mashhad city). *J Watershed Manage Res*. 11(22), 1-10. doi:10.52547/jwmr.11.22.1 [In Persian].
- Roy, D., Sarkar, A., Kundu ,P., Paul, S., Chandra Sarkar ,B .(2023) .An ensemble of evidence belief function (EBF) with frequency ratio (FR) using geospatial data for landslide prediction in Darjeeling Himalayan region of India. *Quaternary Science Advances*, 11, doi.org/10.1016/j.qsa.2023.100092.
- Schumann, G.J.P., Moller, D.K. (2015). Microwave remote sensing of flood inundation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 83–84, 84-95.
- Shahabi, H. (2021). Application of artificial neural network models, frequency ratio and definite evidence function in preparation of flood susceptibility map in Haraz watershed: a model for urban flood risk studies. *Urban Research and Planning*, 45, 181-202. <https://doi.org/10.30495/jupm.2021.4245> [In Persian].
- Sheng, F., Liu, S., Zhang, T., Liu, G., Liu, Zhao. (2022). Quantitative assessment of the impact of precipitation and vegetation variation on flooding under discrete and continuous rainstorm conditions. *Ecological Indicators*, 144(9), doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109477.
- Tao, W. (2021). Quantifying coastal flood vulnerability for climate adaptation policy using principal component analysis. *Ecological Indicators*, 129, doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108006.
- Thapa, S., Shrestha, A., Lamichhane, S., Adhikar, R., & Gautam, D .(2020). Catchment-scale flood hazard mapping and flood vulnerability analysis of residential buildings: The case of Khando River in eastern Nepal. *Journal of Hydrology, Regional Studies*, 30, doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100704.