



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=fa>

Geography and Environmental Planning

E-ISSN: 2252- 0910

Document Type: Research Paper

Vol. 37, Issue 2, No.102, 2026, pp. 1- 28

Received: 26/08/2025 Accepted: 13/06/2026

Assessment and Evaluation of Flood Risk Factors (Case Study: Dashtiari Watershed)

Samad Fotouhi  *

Associate professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

fotohi@gep.usb.ac.ir

Leili Latifi

Ph.D. student in Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Leila.latifi2922@gmail.com

Masoud Saeedi

Ph.D. student in Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

masoud.saeedi.geo@pgs.usb.ac.ir

Abstract

Given the increasing frequency of floods in many watersheds, there is a growing need to examine the key factors contributing to flood risk in these areas. Assessing these factors is essential for evaluating vulnerability and exposure and provides critical information for effective flood management. In this context, the present study aimed to assess and evaluate the factors influencing flood risk with the Dashtiari Watershed selected as the case study. This research was descriptive-analytical in nature and applied in purpose. Data were collected through both library research and field surveys. Flood hazard zoning and risk assessment were carried out by using 13 parameters—including slope, elevation, and soil texture—and analyzed with ArcGIS software, the IGR index, and the Random Forest (RF) algorithm. The results indicated that approximately 5.40% of the study area fell into the very high-risk, 33.63% high-risk, 37.94% moderate-risk, 18.70% low-risk, and 4.31% very low-risk categories. Notably, about 50% of residential areas were situated within high-risk zones, which, in the event of flooding, could lead to severe human casualties and substantial economic losses.

Keywords: Flood, Natural hazards, Influencing factors, Dashtiari Basin.

*Corresponding Author

Fotoohi, S. , Latifi, L. and Saeedi, M. (2026). Assessment and Evaluation of Flood Risk Factors (Case Study: Dashtiari Watershed). *Geography and Environmental Planning*, 37 (2), 1 - 28 .

2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/gep.2026.144627.1714

Introduction

Natural hazards, particularly floods, present serious challenges to communities around the world. These events often result in the destruction of infrastructure, social and economic disruption, and widespread environmental degradation. The occurrence and severity of floods are governed by a combination of geomorphological, hydrological, and atmospheric factors. Key determinants include land slope, soil type, land use, and rock permeability, all of which influence the magnitude and intensity of flooding. In Iran, certain regions are inherently more susceptible to flooding due to their geographic and geological characteristics. One such area is the Dashtiari watershed located in the southern part of Sistan and Baluchestan Province. This vast floodplain, which includes the Kajoo River and several other flood pathways, has historically experienced alternating periods of severe drought and extreme rainfall. Over time, local communities have developed adaptive strategies to mitigate the impacts of such hydrological extremes. Hydromorphometric analyses have shown that examining the physiographic attributes of drainage basins can provide valuable insights into their hydrological behavior. This understanding is critical for assessing flash flood risks and designing appropriate control measures. In this context, flood hazard zoning maps serve as essential tools for sustainable land-use planning and enhancing community resilience. Furthermore, hydraulic models play a key role in evaluating flow distribution patterns across floodplain areas, thereby supporting the development of effective flood mitigation strategies. Ultimately, sound water resource management and comprehensive hazard mitigation planning are vital for reducing both human casualties and economic losses. Implementation of early warning systems, construction of flood-resilient infrastructure, and timely evacuation of high-risk zones rank among the most effective responses to flood crises. Special attention to the calibration of relevant risk factors—particularly in flood-prone regions like Dashtiari—represents a crucial step toward sustainable development and minimization of flash flood damage.

Materials and Methods

This study integrated diverse datasets from multiple sources to develop a comprehensive flood risk analysis model for the study area. The compiled data encompassed topographic parameters—including slope, elevation, and proximity to river networks—hydrological variables, such as annual precipitation, river discharge, and groundwater levels, as well as geological attributes like soil type, permeability, and lithological structure. In addition, land use and vegetation cover data—including vegetation density, land utilization patterns, and anthropogenic modifications—were incorporated to ensure a holistic representation of watershed characteristics. All spatial data were processed and analyzed within the ArcGIS software environment. For flood hazard modeling, the Random Forest (RF) algorithm, a robust machine learning technique, was employed due to its high predictive performance and ability to handle complex interactions among variables. To further evaluate the relative contribution of each predictor to flood susceptibility, the Information Gain Ratio (IGR) was calculated, providing insight into variable importance. The methodological framework proceeded through several sequential stages: (1) collection and preprocessing of spatial data within a GIS framework; (2) selection of influential variables based on statistical relevance; (3) application of the RF model for flood hazard zoning; (4) validation of model performance using standard statistical metrics, including prediction accuracy, sensitivity, and specificity; and (5) interpretation of the resulting outputs to inform flood management strategies tailored to the region. This systematic approach not only enables precise flood risk assessment, but also supports the development of evidence-based mitigation measures. By integrating advanced modeling techniques with sound spatial analysis, the study contributes to sustainable planning and the design of protective interventions aimed at reducing flood-related damages.

Research Findings

The modeling results revealed a heterogeneous distribution of flood risk across the Dashtiari watershed with varying levels of vulnerability identified among different areas. According to the RF model outputs, approximately 50% of residential and agricultural lands were situated within high- or very high-risk zones, underscoring a significant exposure to potential flood events. Flood hazard zoning further indicated that 5.40% of the total study area was classified as very high risk, predominantly comprising regions adjacent to river channels and areas characterized by gentle slopes. An additional 33.63% of the watershed fell into the high-risk category attributed largely to the dense drainage network and prevalence of impermeable soil types, which together facilitated rapid runoff generation. In contrast, 37.94% of the area was designated as moderate risk, while 18.70% and 4.31% were classified as low and very low risk, respectively. The analysis of contributing factors using the IGR identified annual precipitation as the most influential variable in

promoting surface runoff and triggering flood events. The Topographic Wetness Index (TWI) and land elevation also played critical roles with lower-lying areas and zones of water accumulation demonstrating heightened susceptibility. Proximity to river networks emerged as another key determinant of flood risk. Furthermore, soil characteristics—particularly clay content and low permeability—significantly enhanced runoff potential. Land use and vegetation cover also exerted a direct influence on flood dynamics; irrigated agricultural lands and bare surfaces, in particular, displayed increased sensitivity to flooding. The predictive performance of the RF model proved to be robust, achieving an overall accuracy of 85% and a kappa coefficient of 0.82. These metrics confirm the model's strong capability in delineating flood-prone areas and provide a reliable basis for risk assessment and subsequent planning efforts.

Discussion and Conclusion:

The modeling results indicated that flood risk distribution in the Dashtiari watershed was heterogeneous with varying levels of vulnerability across different areas. According to the RF model, approximately 50% of residential and agricultural lands were situated in high- or very high-risk zones. Flood hazard zoning further revealed that 5.40% of the study area was classified as very high risk, predominantly comprising areas near rivers and regions with gentle slopes. An additional 33.63% fell into the high-risk category, which was attributed to the dense drainage network and impermeable soils that facilitated flooding. In contrast, 37.94% of the area was designated as medium risk, while 18.70% and 4.31% were categorized as low and very low risk, respectively. The analysis of influential factors using the IGR index identified annual precipitation as the most significant driver of surface runoff and flood generation. The TWI and land elevation also played crucial roles as lower elevations and zones of water accumulation would increase flood susceptibility. Proximity to rivers emerged as another key determinant of flood risk. Furthermore, soil type and permeability substantially influenced flood formation with clayey and impermeable soils contributing to heightened surface runoff. Land use and vegetation cover also exerted a direct effect, particularly irrigated agricultural lands and bare areas, which exhibited increased sensitivity to flood events. The RF model demonstrated strong predictive performance, achieving an overall accuracy of 85% and a kappa coefficient of 0.82 and confirming its reliability in delineating flood-prone areas and supporting its applicability for risk assessment and planning purposes.

مقاله پژوهشی

سنجش و ارزیابی عوامل تأثیرگذار در خطر سیلاب (مطالعه موردی: حوضه دشتیاری)

صمد فتوحی * ، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
fotohi@gep.usb.ac.ir

لیلی لطیفی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
leila.latifi2922@gmail.com

مسعود سعیدی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
masoud.saeedi.geo@pgs.usb.ac.ir

چکیده

امروزه با توجه به وقوع سیلاب در بیشتر حوضه‌های آبخیز، به‌ضرورت بررسی عوامل تأثیرگذار در این حوضه‌ها بیش از پیش توجه شده است. ارزیابی عوامل تأثیرگذار در خطر سیلاب به‌منظور بررسی میزان آسیب‌پذیری و مواجهه با خطر، اطلاعات ارزشمندی را برای مدیریت سیلاب فراهم می‌کند. در این راستا هدف از این تحقیق، سنجش و ارزیابی عوامل تأثیرگذار در خطر سیلاب (مطالعه موردی: حوضه دشتیاری) است. تحقیق حاضر از نظر روش تحقیق توصیفی تحلیلی و لحاظ هدف، کاربردی است. روش گردآوری داده‌ها، کتابخانه‌ای و میدانی است. در این تحقیق که با استفاده از ۱۳ عامل (شیب، ارتفاع، بافت خاک و ...) به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر سیلاب در منطقه دشتیاری اقدام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Arc GIS و شاخص IGR و از الگوریتم جنگل تصادفی (Random forest) استفاده شد. طبق نتایج حدود ۵۴۰ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای بیشترین خطر، ۳۳۶۳ درصد در معرض خطر بالاتر، ۳۷۹۴ درصد در معرض خطر متوسط، ۱۸۷۰ درصد در معرض خطر کمتر و ۴۳۱ درصد دارای کمترین خطر هستند. حدود ۵۰ درصد از مناطق مسکونی در مناطق پرخطر واقع شده است که در صورت وقوع سیل منجر به خسارات جانی و مالی شدید می‌شود. واژه‌های کلیدی: سیلاب، مخاطرات طبیعی، عوامل تأثیرگذار، حوضه دشتیاری

*نویسنده مسئول

فتوحی، صمد، لطیفی، لیلی و سعیدی، مسعود. (۱۴۰۵). سنجش و ارزیابی عوامل تأثیرگذار در خطر سیلاب (مطالعه موردی: حوضه دشتیاری)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۷ (۲)، ۲۸-۱.



مقدمه

در عصر حاضر، بلایای طبیعی چالش‌های جدی برای حیات انسان‌ها به وجود آورده‌اند (حیدری‌فر و رضایی، ۱۳۹۶، ص. ۳۸). اینپدیده‌ها رویدادهایی غیرمترقبه و فاجعه‌بار هستند که به‌صورت مداوم در نقاط مختلف جهان رخ می‌دهند و پیامدهای آنها خسارات سنگین جانی و مالی است (حیدری‌فر و همکاران، ۱۳۹۹، ص. ۵۵). اثرات این حوادث گاهی بلندمدت و جبران‌ناپذیر خواهد بود. وقوع بلایای طبیعی موجب دگرگونی‌های زیست‌محیطی می‌شود که این تغییرات به‌نوبه‌خود زندگی روزمره مردم را مختل می‌کند و پیامدهای منفی بر سکونتگاه‌های انسانی بر جای می‌گذارد. همچنین، خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی گسترده‌ای به جوامع وارد می‌کند (عزمی و نوری، ۱۳۹۶، ص. ۷۹). بسیاری از این مخاطرات مرتبط با فرآیندهای ژئومورفولوژیک هستند که ریشه در عوامل زمین‌ریخت‌شناختی، هیدرولوژیکی و جوی دارند (مختاری، ۱۳۸۵، ص. ۵۷).

از شایع‌ترین و مخرب‌ترین انواع بلایای طبیعی، سیل است و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر آن، گامی اساسی در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای محسوب می‌شود (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۲، ص. ۱۱۵). سیل یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی است که در صورت وقوع، خسارات گسترده‌ای به همراه دارد. براساس گزارش سازمان ملل، حدود ۳/۲ میلیارد نفر در سراسر جهان تحت تأثیر پیامدهای آن قرار گرفته‌اند (United Nations Climate., 2015).

یکی از چالش‌های اساسی در مدیریت بحران، نحوه تخلیه مناطق سیل زده در زمان وقوع این حادثه است؛ به همین دلیل، پژوهشگران در کشورهای مختلف توجه ویژه‌ای به این موضوع نشان داده‌اند (Chen et al., 2017, p. 445). سیلاب‌ها از جمله مخرب‌ترین بلایای طبیعی هستند که بسیاری از مناطق جهان، حتی کشورهای پیشرفته، را تحت تأثیر قرار می‌دهند (صفری، ۱۴۰۳، ص. ۱۸۵). در این زمینه باید توجه داشت ویژگی‌های ریخت‌سنجی حوضه‌های آبریز ارتباط تنگاتنگی با پارامترهای هیدرولوژیکی دارد (Mesa, 2006, p. 1236) و امکان پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیکی آنها را فراهم می‌کند. این آگاهی برای ارزیابی واکنش حوضه به بارش‌های شدید، پیش‌بینی احتمال وقوع سیل‌های ناگهانی و طراحی راهکارهای مدیریتی بسیار حائز اهمیت است (Hung, 2000, p. 485). عوامل طبیعی مانند شیب زمین، جنس خاک، نوع پوشش زمین و نفوذپذیری سنگ بستر، باعث تفاوت در واکنش هیدرولوژیکی حوضه‌ها به بارندگی شده و بر شکل‌گیری و شدت سیلاب‌های ناگهانی تأثیر می‌گذارند (Tincu et al., 2018, p. 1235). در واقع، تحلیل هیدرومورفومتریکی حوضه‌های آبریز، روشی مؤثر، سریع و مقرون‌به‌صرفه برای شناسایی مناطق پرخطر در برابر سیل‌های ناگهانی است. تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل، راهکاری مناسب برای برنامه‌ریزی توسعه پایدار و حفاظت از جوامع انسانی محسوب می‌شود (Farhan and Ayed, 2017, p. 761).

کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی، شرایط زمین‌شناختی و ژئومورفولوژیکی و همچنین پیشینه تاریخی آن از نظر اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در زمره کشورهای بلاخیز جهان از جمله سیل است. از جمله این حوزه‌ها در کشور، حوضه‌دشاری جنوب استان سیستان و بلوچستان است. منطقه دشتیاری و باهو و منطقه وسیعی از مظهر رودخانه کاجو و سایر مسیر سیلاب‌هایی از منطقه کوهستانی تا خلیج گواتر است که به‌صورت تقریبی طولی در حدود ۱۵۰ کیلومتر و عمقی حدود صد کیلومتر را شامل می‌شود. این منطقه دشتی وسیع است که ساکنان آن در طول

زمان آموخته‌اند چگونه زیست مبتنی بر مالدار و کشاورزی خود را به گونه‌ای سازماندهی کنند که کمترین آسیب را از هر دو حالت خشکسالی و بارش‌های سیل‌آسا متحمل شوند. بررسی تصاویر ماهواره‌ای مربوط به زمان سیلاب نشان می‌دهد که در محدوده دشت دشتیاری، جریان سیلاب رودخانه کاجو با رودخانه‌های مجاور خود تبادل هیدرولیکی داشته است و با توجه به گستردگی سیلاب دشت و نامشخص بودن الگوی پخش جریان در محدوده دشت، امکان حصول به طرح مناسب کنترل سیلاب با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی یک بعدی عملاً وجود ندارد (هاللات ناصریان و همکاران، ۱۳۹۲ الف، ص. ۱).؛ بنابراین، باید توجه داشت واسنجی عوامل تأثیرگذار در ارزیابی خطر سیلاب، در منطقه دشتیاری به دلیل توسعه سکونتگاه‌های انسانی در حاشیه رودخانه، امری ضروری و مهم در راستای توسعه پایدار است.

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

سیلاب‌ها از جمله بلایای طبیعی هستند که سالانه در مناطق مختلف جهان و ایران خسارات درخور توجهی به صورت مستقیم و غیرمستقیم به جان و مال مردم وارد می‌کنند؛ از این رو، برنامه‌ریزی برای پیش‌بینی، کنترل و کاهش خطر در مناطق مستعد وقوع سیل امری حیاتی محسوب می‌شود (اشتری و همکاران، ۱۴۰۱، ص. ۱). این پدیده تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله ویژگی‌های ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیک، اقلیمی، زمین‌شناختی و الگوی کاربری اراضی قرار دارد (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۳، ص. ۸۷۳). حوضه‌های آبریز به‌عنوان واحدهای بنیادین ژئومورفولوژیک، نقش اساسی در مدیریت منابع آب و توسعه پایدار ایفا می‌کنند (Farhan et al., 2016, p. 56). این حوضه‌ها غالباً شاهد وقوع مخاطراتی همچون سیلاب‌های ناگهانی هستند. سیلاب‌های ناگهانی به جریان‌های خروشان و سریعی اطلاق می‌شود که در پی بارش‌های شدید ایجاد شده و از دبی اوج بالایی برخوردارند (Abrahams, 1984, p. 161). این پدیده حاصل تعاملات پیچیده بین عوامل توپوگرافیک، زمین‌شناختی، ژئومورفولوژیک و هیدرولوژیک است (Abuzied et al., 2016, p. 57). سیلاب‌های ناگهانی از جمله پدیده‌های پیچیده طبیعی محسوب می‌شوند (Cao et al., 2016, p. 948) که می‌توانند موجب خسارات مالی گسترده، تلفات انسانی و فرسایش شدید زمین شوند (Farhan & Ayed, 2017, p. 761). این رویدادها ناشی از تأثیر دو دسته عوامل اصلی هستند: نخست پارامترهای هواشناسی که از نظر مکانی و زمانی متغیرند، و دوم ویژگی‌های ثابت ژئومورفولوژیک و زمین‌شناختی منطقه (Youssef et al., 2011, p. 614). امروزه با توجه به وقوع سیلاب‌های خسارت‌زا در بیشتر حوضه‌های آبخیز کشور، ضرورت ایجاد سامانه‌های پیش‌بینی و پهنه‌بندی در این حوضه‌ها بیش از پیش موردتوجه قرار گرفته است (ذاکری‌نژاد و عیاش، ۱۴۰۳، ص. ۵۱).

درخصوص سیلاب در داخل و خارج کشور تاکنون مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است که در ذیل به تعدادی از آنها اشاره خواهد شد. عبدالله و همکاران به بررسی یک مدل جامع ارزیابی ریسک سیلاب با تلفیق سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداختند. این مدل از ۱۴ معیار مؤثر در دو بخش خطرپذیری طبیعی (۹ عامل) و آسیب‌پذیری اجتماعی-اقتصادی (۵ عامل) بهره می‌برد. نتایج، مناطق پرمخاطره را در پنج طبقه مشخص کرده و اعتبارسنجی نقشه خطر با روش ROC-AUC، مقدار عالی ۰.۹۱۳ را

نشان داد. در نهایت، نقشه‌های آسیب‌پذیری و ریسک کلی نیز در پنج درجه تهیه شدند (Abdullah et al., 2025). لیو و همکاران در یک پژوهش، مدل نوین ارزیابی ریسک سیلاب با ادغام شبکه‌های بیزی (BNs) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ارائه دادند. چارچوب پیشنهادی بر پایه سه شاخص خطر، آسیب‌پذیری و قرارگیری بنا می‌شود و با تلفیق توان استدلال احتمالاتی شبکه‌های بیزی و قابلیت‌های تحلیل مکانی GIS، نمایی جامع از ریسک ارائه می‌دهد. این مدل با استفاده از داده‌های متنوع و تحلیل حساسیت در منطقه یینچوان چین اعتبارسنجی شد و توانایی آن در شناسایی مناطق پرریسک و ارزیابی قابلیت اطمینان برآوردها به‌خوبی نشان داده شد. این رویکرد یک ابزار احتمالاتی و مکانی صریح برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار در اکوسیستم‌های شهری مستعد سیل فراهم می‌کند (Lu et al., 2024). شرستا و همکاران در یک پژوهش با هدف تهیه نقشه‌ی حساسیت سیلاب در شهرستان دیویدسن تنسی، از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده کردند. با به‌کارگیری ده عامل مؤثر و تعیین وزن آنها به روش AHP، نقشه‌ی نهایی با پنج طبقه حساسیت (از بسیار کم تا بسیار زیاد) در محیط ArcGIS Pro تولید شد. صحت‌سنجی نتایج با نقشه‌ی مخاطرات سیل FEMA، دقت و قابلیت اطمینان روش ترکیبی GIS-AHP را در ارزیابی مناطق مستعد سیلاب تأیید کرد (Shrestha et al., 2025, p. 937). احمد و همکاران به بررسی حساسیت دشت سیلابی در منطقه بنگلادش را با استفاده از تقویت عمیق، شبکه عصبی یادگیری عمیق و شبکه عصبی مصنوعی ارزیابی می‌کند. نتایج نشان داد که روش‌های بررسی حساسیت سیل پیشنهادی در ارزیابی دقیق حساسیت به سیل کارآمد هستند و می‌توانند در سایر مناطق آسیب‌دیده از سیل اجرا شوند (Ahmed et al., 2022, p. 8772). فلیشمن در پژوهشی به مدل‌سازی سیل رودخانه‌ای با استفاده از سنجش از دور در برزیل پرداخته است. نتایج مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد متغیرهای فاصله از رودخانه، توپوگرافی و بارش بیشترین تأثیر را در وقوع سیل در برزیل دارند (Fleischmann et al., 2021, p. 61). تینکو و همکاران در حوضه تروتوس رومانیف نشان دادند که با استفاده از پارامترهای مورفومتری و فیزیوگرافی، نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیلاب ناگهانی را در حوضه‌های مدنظر خود تهیه کرده‌اند و نتایج آنها بیان‌کننده‌ی کارایی این مدل‌ها در ارزیابی خطر سیلاب ناگهانی است (Tinco et al., 2018, p. 1237). سومیا و همکاران در مقاله‌ای با عنوان پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سیل شهری در ساحل جنوب غربی هند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ و مدل‌های هیدرولوژیکی از طریق استفاده از ارزیابی چندمعیاره در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با بهره‌گیری از تصاویر سنجش از دور به این نتیجه دست یافتند که در میان مناطق آسیب‌پذیر، مناطق با آسیب‌پذیری بسیار بالا و آسیب‌پذیری بالا جمعاً ۴/۶ درصد از مساحت کل شهر را تشکیل داده‌اند (Sowmya et al., 2015, p. 1273). عابدینی و همکاران (۱۴۰۳)، در پژوهشی به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبخیز شفارود، استان گیلان، پرداخته‌اند. نتایج پهنه‌بندی نهایی سیلاب نشان داد که مناطق بخش‌های جنوب و جنوب غربی حوضه از پتانسیل خطر خیلی زیاد و زیاد برخوردار بود و در مقابل قسمت‌های مرکزی حوضه نیز از پتانسیل خطر متوسط و کم را به‌خود اختصاص داد. نتایج این پژوهش می‌تواند

¹ Geographic Information System

مدیران و مسئولان ذیربط را در جهت شناسایی و مقابله با خطرات احتمالی سیلاب در آینده به خصوص مناطق دارای پتانسیل خطر سیلاب خیلی زیاد یاری کند تا با اتخاذ تصمیمات صحیح مانع خسارات مالی و جانی برای منطقه مورد مطالعه شود. **عابدینی و همکاران (۱۴۰۲)**، در پژوهشی به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تکنیک چند معیاره آراس و هیدروگراف واحد (مطالعه‌ی موردی: حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری پل سلطان مشکین‌شهر)، پرداخته‌اند. نتایج مطالعه نشان داد عوامل شیب، لیتولوژی، کاربری و ارتفاع به ترتیب با مقادیر وزنی؛ ۰/۱۵۶، ۰/۱۱۸ و ۰/۱۱۶ بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در منطقه مطالعاتی دارند. در ضمن نتایج نشان داد زمان لازم برای جریان آب به خروجی از ۰ ثانیه (بارانی که بر خود خروجی می‌بارد) تا ۶۸۰۰۰ ثانیه (در طول ۱۷ ساعت)، متغیر است. در این صورت مناطق صاف و هموار در نزدیکی حوضه با بیشترین زمان و کمترین سرعت و همین‌طور در مراتع در سمت شمال شرقی با کمترین زمان و بیشترین سرعت به نقطه خروجی ابخیز می‌رسد؛ بنابراین، پهنه‌بندی خطر سیلاب، می‌تواند در انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری و مدیریتی این حوضه کمک مؤثری را داشته باشد.

هاللات ناصریان و همکاران (۱۳۹۲ب)، در تحقیقی به بررسی و شبیه‌سازی سیلاب رودخانه کاجو منطقه دشتیاری با هدف بررسی راهکار برای کنترل و کاهش خسارت سیل پرداختند. نتایج مدلسازی هیدرودینامیکی سیلاب رودخانه‌های مشرف به دشت دشتیاری به‌ویژه رودخانه کاجو توسط مدل یک‌بعدی - دوبعدی MIKE FLOOD برای سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله ارائه و طرح مناسب علاج‌بخشی سیل و کاهش خسارت آن در منطقه پیشنهاد شده است. **صفری و همکاران (۱۴۰۳)**، در این پژوهش به شناسایی مناطق سیل‌زده جنوب شرق استان سیستان و بلوچستان و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن پرداخته شده است. براساس نتایج حاصله، مناطق جنوب شرقی شهرستان دشتیاری، بیش‌ترین میزان سیل‌زدگی را داشته است که در بین عوامل مؤثر (به‌جز عوامل اقلیمی)، وضعیت ارتفاعی و شیب بیشترین اثرگذاری را داشته است. همچنین در این پژوهش، مناطق آسیب‌پذیر در برابر مخاطره سیلاب شناسایی شده است. **اشتری و همکاران (۱۴۰۱)**، در پژوهشی به ارزیابی پتانسیل خطر سیلاب و بررسی خسارت ناشی از آن در حوضه آبخیز تالار، پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در سیلاب ۹۴/۴/۲۸، پهنه‌های با عمق کمتر از ۰.۳ متر (طبقه اول) بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند؛ به‌طوری‌که شهر پل سفید با ۶۳.۶ هکتار و شهر زیرآب با ۲۰.۷ هکتار به‌عنوان گسترده‌ترین مناطق سیل‌گیره شناسایی شدند. تحلیل خسارات حاکی از آن است که کاربری‌های مسکونی در مجاورت خروجی حوضه (شهر زیرآب) بیشترین آسیب‌پذیری را داشته‌اند. براساس آزمون‌های آماری، مناطق مسکونی با میانگین عمق ۰.۸۴ متر و منطقه روستایی لرد با میانگین عمق ۱ متر به ترتیب بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی را نشان دادند که این امر بیانگر آسیب‌پذیری بالای سکونتگاه‌های انسانی واقع در خروجی حوضه و نواحی روستایی در برابر سیلاب‌ها است. **زارعی و همکاران (۱۴۰۱)**، در پژوهشی به ارزیابی پتانسیل وقوع سیل با استفاده از مدل‌های داده‌کاوی ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز فریزی)، پرداخته‌اند. یافته‌ها نشان داد عامل ارتفاع نقش کلیدی در کنترل جهت حرکت سیل و عمق سطح آب دارد. در ارتفاع ۲۰۰۰ متر و بیشتر با افزایش ارتفاع پتانسیل سیل‌خیزی در منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد. براساس نتایج در بین کاربری‌های حوضه مورد مطالعه، اراضی آبی و باغی به علت نفوذ بیشتر، رواناب کمتری تولید می‌کنند و کمتر مستعد سیل‌خیزی

هستند. در منطقه مطالعاتی در شیب ۶۰ درجه به دلیل افزایش شیب، زمان تأخیر حوضه کم، میزان نفوذ آب در خاک کم و در نتیجه حجم سیلاب و رواناب سطحی افزایش خواهد یافت. پروین (۱۳۹۹)، در پژوهشی به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی براساس عوامل فیزیوگرافی و شاخص‌های مورفومتریک در حوضه قصر شیرین، پرداخته است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که براساس روش محاسبه درجه خطر، حدود ۹۳ درصد از مساحت حوضه قصر شیرین در طبقات خطر زیاد و شدید سیلاب ناگهانی قرار دارد. در مقابل، مدل MFFPI نشان می‌دهد که ۶۰ درصد از مساحت حوضه دارای پتانسیل خطر زیاد و خیلی زیاد و تنها ۲۰ درصد در طبقات خطر کم و خیلی کم قرار گرفته است. این ناهمگونی در نقشه نهایی مدل MFFPI عمدتاً ناشی از شرایط ژئومورفولوژیک حوضه است؛ به طوری که مناطق کوهستانی عموماً پتانسیل خطر کم و نواحی تپه‌ماهوری و دشت‌های فرسایشی دارای پتانسیل خطر بالایی هستند. در مقایسه دو روش، روش درجه خطر که مبتنی بر پارامترهای مورفومتری است، تنها پتانسیل کلی حوضه را نشان می‌دهد؛ در حالی که مدل MFFPI با در نظر گرفتن پارامترهای فیزیوگرافی مؤثر، قادر به شناسایی دقیق پهنه‌های پرخطر و کم‌خطر در سطح حوضه است. در مجموع، یافته‌ها تأکید می‌کنند که حوضه قصر شیرین از پتانسیل بالایی برای وقوع سیلاب‌های ناگهانی برخوردار است. چراغی قلع‌سری و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی برای شناسایی مناطق حساس به سیل‌گیری با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان در حوضه نکارود به این نتایج دست یافتند که مدل مذکور دقت مناسبی در شناسایی پهنه‌های حساس سیلاب در منطقه مورد مطالعه دارد.

با توجه به مطالعات پیشین، در سطح جهانی و ملی، رویکردهای مختلفی از جمله تلفیق AHP با GIS و RS، ادغام شبکه‌های بیزی با GIS، استفاده از روش‌های داده‌کاوی مانند ماشین بردار پشتیبان، درخت CHAID و جنگل تصادفی و نیز به کارگیری مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرودینامیکی برای پهنه‌بندی خطر و ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب استفاده شده است. اگرچه این مطالعات به‌خوبی مؤثر بودن تکنیک‌های یادشده را در شناسایی مناطق مستعد سیل نشان می‌دهند، پژوهش حاضر با تمرکز بر حوضه دشتیاری و با تلفیق روش جنگل تصادفی با مجموعه‌جمعی از لایه‌های مؤثر طبیعی و انسانی، گامی فراتر می‌نهد. نوآوری اصلی این تحقیق در استفاده از الگوریتم قدرتمند و غیرپارامتریک جنگل تصادفی برای تعیین دقیق اهمیت و اولویت هر یک از عوامل مؤثر در وقوع سیل این حوضه خاص و سپس تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر با دقت بالا است. این رویکرد امکان مدلسازی روابط پیچیده و غیرخطی بین عوامل را فراهم می‌کند و با اعتبارسنجی نتایج براساس رخدادهای واقعی سیل، خروجی‌ای کارآمد و قابل اطمینان برای مدیریت ریسک و برنامه‌ریزی در حوضه‌ای با ویژگی‌های منحصربه‌فرد اکولوژیک و اجتماعی - اقتصادی دشتیاری ارائه می‌دهد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر از نظر روش تحقیق، توصیفی-تحلیلی و لحاظ هدف، کاربردی است. روش گردآوری داده‌ها، کتابخانه‌ای و میدانی است. در روش کتابخانه‌ای از کتب مختلف، نقشه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای و غیره و در روش میدانی مشاهده مناطق آسیب‌پذیر و شناسایی عوامل مؤثر، اساس کار را شکل می‌دهد. ابتدا برای آموزش مدل تعدادی از نقاط سیلابی و غیر سیلابی محدوده انتخاب شدند. در مرحله بعد با توجه به مطالعات و پیشینه تحقیق و همچنین ارزیابی‌های

میدانی عواملی همچون کاربری اراضی، فاصله از رودخانه‌ها، شیب و ارتفاع و شاخص رطوبت، بارش و انحنای زمین، جهت شیب، و خاک بررسی شد و مؤثرترین آنها با استفاده از شاخص IGR انتخاب شدند. سپس نقشه پهنه‌بندی وقوع سیل با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی (Random forest) تهیه شد. در این تحقیق که با استفاده از ۱۳ عامل (شیب، ارتفاع، بافت خاک و غیره) به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر سیلاب در منطقه دشتیاری اقدام شد. در [جدول \(۱\)](#)، شاخص‌های مورد استفاده این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۱: شاخص‌های مورد استفاده این تحقیق

Table 1: Indicators Used in This Study

ردیف	شاخص	نحوه به دست آوردن شاخص
۱	توپوگرافی	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر
۲	شیب	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر
۳	جهت شیب	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر
۴	مسیل‌های شهر	نقشه توپوگرافی از سازمان نقشه برداری
۵	تراکم آبراهه	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر
۶	فاصله از دشت‌های سیلابی	نقشه توپوگرافی از سازمان نقشه‌برداری
۷	کاربری اراضی	نقشه آماده کاربری اراضی تصاویر سنتینل ۲
۸	زمین‌شناسی (مقیاس: ۱/۱۰۰۰۰۰)	نقشه زمین‌شناسی از سازمان نقشه‌برداری
۹	شاخص رطوبت توپوگرافی	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر
۱۰	شاخص انحنای زمین	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر
۱۱	شاخص نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی	تصاویر سنتینل ۲
۱۲	بارش (داده‌های روزانه و دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴)	داده‌های سازمان هواشناسی کل کشور (ایستگاه دشتیاری، چابهار، راسک و قصرقند)
۱۳	بافت خاک	تصاویر سنتینل ۲

(منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳)

Source: Research Results, 2024

روش کار

روش طبقه‌بندی برای کاربری اراضی (روش حداکثر احتمال)

از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال تاکنون به عنوان دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش‌ها شناخته شده است (Richards, 2022). در این روش، طبقه‌بندی براساس واریانس و کوواریانس انجام می‌شود. در روش مذکور فرض بر این است که همه مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال هستند. درحقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند؛ بنابراین، تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره پیوسته قرار گیرد. در طبقه‌بندی حداکثر احتمال، پیکسل مدنظر به کلاسی نسبت داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد.

شاخص‌های پوشش گیاهی^۱

شاخص‌های گیاهی تبدیلات محاسباتی هستند که براساس رفتار طیفی گیاهان تعریف می‌شوند و برای بررسی و ارزیابی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌ای چند طیفی طراحی شده‌اند. بیشترین باندهای که در محاسبات شاخص‌های گیاهی استفاده می‌شود، در محدوده باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک هستند. دلیل این امر خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگدانه‌های موجود در کروفیل (که باعث می‌شود گیاهان انعکاس کمتری در این باند داشته باشند) و انعکاس شدید در بخش مادون قرمز طیف الکترومغناطیس است. در **جدول (۲)**، شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده در این تحقیق آورده شده است.

جدول ۲: شاخص پوشش گیاهی مورد استفاده در این پژوهش

Table 2: Vegetation Index Used in This Study

مخفف	شاخص طیفی	فرمول	رفرنس
NDVI	Normalized Differential Vegetation Index	$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$	هویت، ۱۹۹۸

در روابط بالا: NIR: باند مادون قرمز نزدیک، R: باند قرمز

In the above relationships: NIR: Near-Infrared Band, R: Red Band

شاخص رطوبت توپوگرافی^۲ TWI

این شاخص ترکیب پستی و بلندی است که نسبت بین شیب‌ها را در حوضه به نمایش می‌گذارد و به شاخص خیزی نیز معروف است. شاخص مذکور با استفاده از مدل رقومی ارتفاع طبق رابطه ۲ و در نرم‌افزار GIS-SAGA محاسبه می‌شود.

$$TWI = \ln(A_s / \tan(\beta))$$

رابطه ۲:

که در آن؛ A_s مساحت حوضه آبخیز و β : گرادیان شیب بر حسب درجه است.

انحنای زمین^۳

ناهمواری زمین تعریف‌های مختلفی مثل ناهمواری توپوگرافی، شکستگی، یا صخره‌ای و شیب‌دار بودن دارد. به‌طور کلی خصوصیات قوس ژئومتری سطح، پارامترهای زبری سطح نامیده می‌شود. نمایش گرافیکی شاخص ناهمواری زمین با محاسبه اختلاف ارتفاع یک پیکسل با هشت پیکسل اطراف خود و ناهمواری سطح زمین LSRI با استفاده از چگالی خطوط کانتور در یک منطقه نشان داده شده است. شاخص ناهمواری زمین با استفاده از نقشه DEM و از طریق رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$TRT = \sqrt{\sum_{p=1}^8 ZMd}$$

رابطه ۳:

P تعداد پیکسل اطراف و ZMd میانگین تفاضل ۸ پیکسل اطراف هر پیکسل است.

¹ Vegetation indices

² Topographic Wetness Index

³ Terrain Ruggedness Index

شاخص IGR^۱

کوویلین در سال ۱۹۹۳ نخستین بار این شاخص را معرفی کرد. این شاخص برای تشخیص قابلیت پیش بینی کمی عوامل مؤثر استفاده می شود. مقادیر IGR بالاتر نشان دهنده توانایی پیش بینی بالاتر آن عامل مؤثر برای مدلسازی است. برای مدلسازی پهنه بندی وقوع سیل از عوامل مختلف از شاخص IGR استفاده شد.

اگر S داده های آموزشی و n نمونه ورودی و $n(L, S)$ تعداد نمونه در داده های آموزشی S متعلق به کلاس L_i در این صورت رابطه زیر را داریم:

$$Info(S) = - \sum_{i=1}^2 \frac{n(L_i, S)}{|S|} \log_2 \frac{n(L_i, S)}{|S|} \quad \text{رابطه ۴:}$$

با توجه به عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب مقدار اطلاعات مورد نیاز برای تقسیم S به مجموعه های S_1, S_2, S_n از رابطه زیر برآورد شد:

$$Info(S, A) = \sum_{j=1}^m \frac{|S_j|}{|S|} Info(S) \quad \text{رابطه ۵:}$$

شاخص IGR برای تأثیر عوامل از رابطه زیر برآورد می شود:

$$Information\ Gain\ Ratio(S, A) = \frac{Info(S) - Info(S, A)}{SplitInfo(S, A)} \quad \text{رابطه ۶:}$$

در این رابطه $SplitInfo$ نشان دهنده اطلاعات تولید شده توسط تقسیم S داده های آموزشی m زیر مجموعه $SplitInfo$ است.

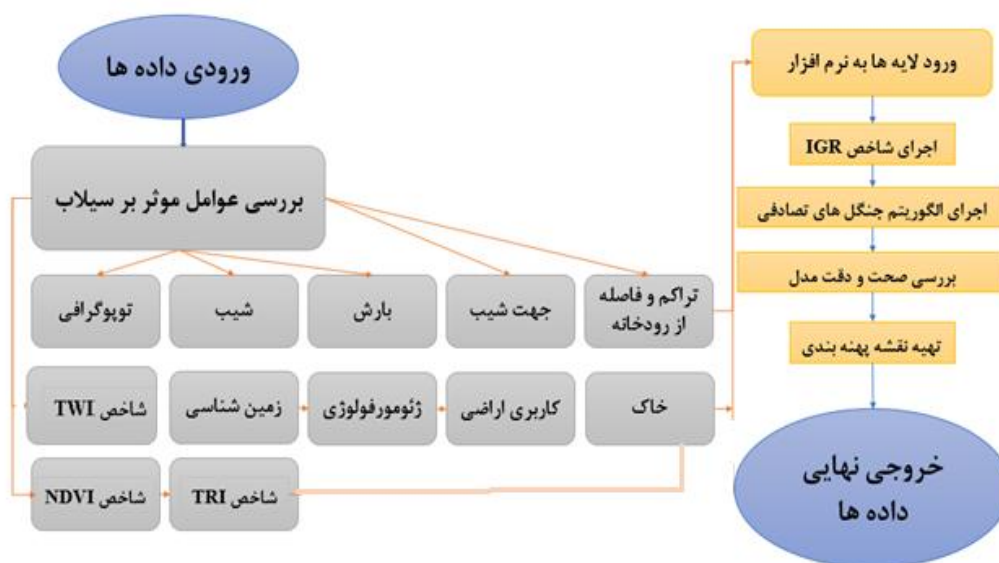
$$SplitInfo(S, A) = - \sum_{j=1}^m \frac{|S_j|}{|S|} \log_2 \frac{|S_j|}{|S|} \quad \text{رابطه ۷:}$$

مدل جنگل تصادفی

مدل جنگل تصادفی برای بسیاری از مجموعه داده ها، دسته بندی را با سرعت بالایی انجام می دهد. این الگوریتم از جمله دسته بندی هایی است که روش Bagging را به کار می گیرد. این روش ترکیبی از چند درخت تصمیم است که در ساخت آن چندین نمونه بوت استرپ از داده ها شرکت دارند. در ساخت هر درخت به طور تصادفی تعدادی از متغیرهای ورودی شرکت می کنند. با استفاده از روش بوتاسترپ تعداد زیادی نمونه n تایی از مجموعه داده های مشاهداتی اولیه، نمونه برداری می شوند. هدف از اجرای بوت استرپ پیدا کردن خطای واریانس برآوردگر با استفاده از تکرار مراحل نمونه گیری و برآوردیابی است. در هر بار تکرار براساس یک و عمل باز نمونه گیری از داده ها، برآوردگر مدنظر محاسبه شود. در طی فرآیند ساخت درخت در هر شاخه، از بین تمام M متغیر مستقل به صورت تصادفی m متغیر

¹ Information Gain Ratio

برای تقسیم‌شدن انتخاب می‌شوند. برای حالت رگرسیونی نسبت $\frac{m}{M}$ برابر با یک سوم است و برای کلاس‌بندی برابر با $m = \sqrt{M}$ پیشنهاد شده است. پس از ساخت تمام درخت داده‌های تست به تعداد درخت‌ها برای بردار ورودی به درخت معرفی می‌شود و یک خروجی به دست می‌آید. با میانگین‌گیری این خروجی‌ها، خروجی نهایی مدل و با در نظر گرفتن توزیع تجربی خروجی‌ها مقادیر صدکها و دامنه عدم قطعیت محاسبه می‌شود (شکل ۱).

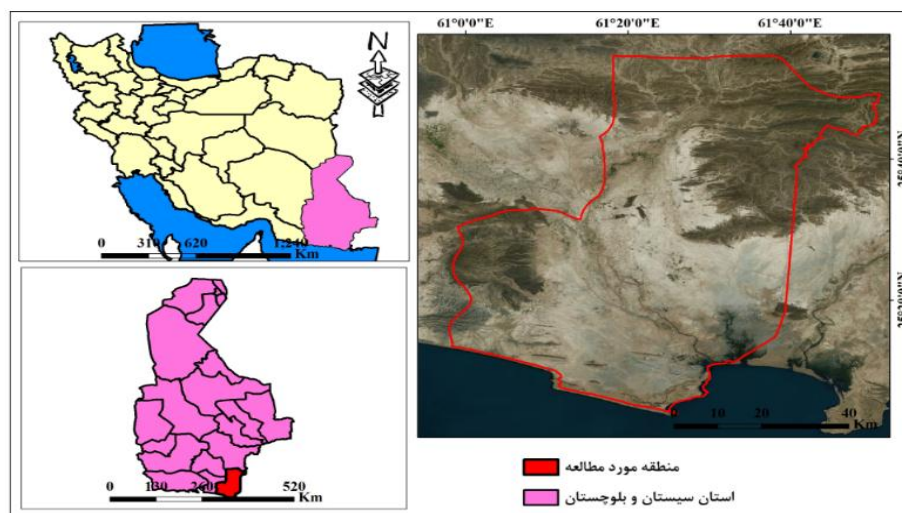


شکل ۱: فلوچارت مراحل اجرای کار، (منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳)

Figure 1: Flowchart of Work Implementation Steps (Source: Research Results, 2024)

منطقه مورد مطالعه

شهرستان دشتیاری در منتهی‌الیه جنوب شرقی ایران قرار گرفته است. از نظر موقعیت مختصات جغرافیایی در ۲۵ درجه و ۴ دقیقه تا ۲۶ درجه و ۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی واقع شده است. این شهرستان با مدار راس السرطان تنها یک درجه و ۳۷ دقیقه فاصله دارد که قراردادن در چنین موقعیتی، شرایط خاص جغرافیایی و اقلیمی به‌ویژه بالابودن دما و میزان کم بارندگی را سبب شده است (شکل ۲). شهرستان دشتیاری از طرف شمال به شهرستان راسک از غرب به شهرستان چابهار از شمال غرب به شهرستان قصرقند از شرق به کشور پاکستان و از جنوب به آب‌های آزاد دریای عمان ختم می‌شود؛ به‌طوری‌که ۸۵ کیلومتر خط ساحلی با دریای عمان و ۱۳۲ کیلومتر مرز خشکی با پاکستان دارد؛ به این ترتیب، امکان دسترسی به آب‌های آزاد از این طریق برای شهرستان دشتیاری جایگاه ویژه‌ای را به وجود آورده است. مساحت شهرستان دشتیاری حدود ۶ هزار کیلومتر مربع است (سالنامه استانداری سیستان و بلوچستان، ۱۴۰۲).



شکل ۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه، (منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳)

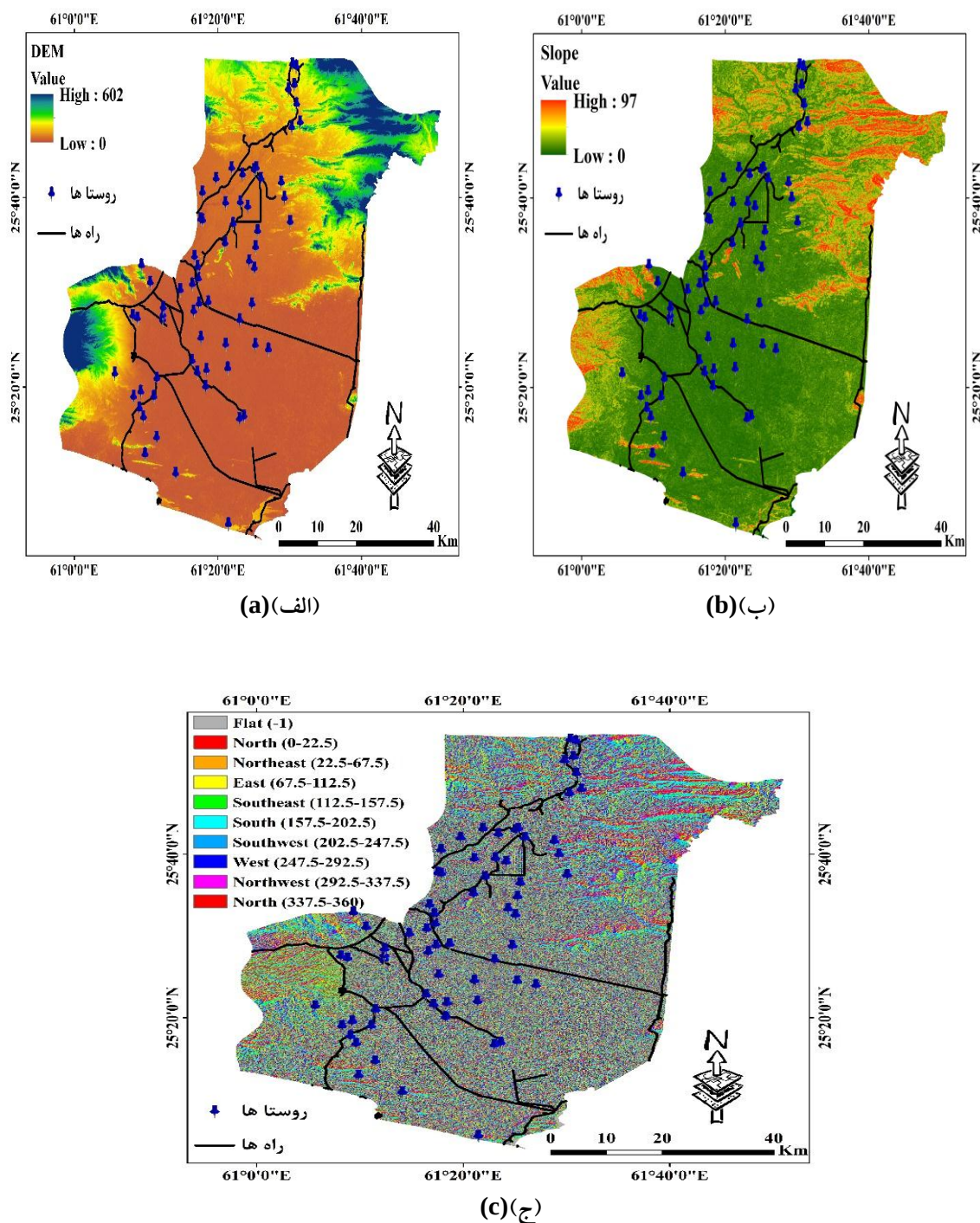
Figure 2: Location of the Study Area (Source: Research Results, 2024)

نتایج

عوامل تأثیرگذار در سیلاب (شهرستان دشتیاری)

مناطق کم ارتفاع معمولاً به عنوان مسیرهای زهکشی طبیعی عمل می کنند و آنها را در برابر سیل و ریزش در هنگام بارندگی مستعدتر می کند. به طور کلی بین سیل گیری و ارتفاع رابطه معکوس وجود دارد. درباره خطر سیل، نقاطی که ارتفاع بالاتری دارند، نسبت به سایر نقاط با ارتفاع کم کمتر در معرض خطر هستند. در منطقه مورد مطالعه ارتفاع منطقه براساس مدل رقومی ارتفاع بین ۰ متر تا ۶۰۲ متر از سطح دریا متغیر دارد. بیشترین ارتفاع منطقه در شمال و کمترین ارتفاع نیز در جنوب و مناطق مرکزی منطقه واقع شده است. بیشتر منطقه در ارتفاع بین ۰ تا ۲۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. در منطقه مورد مطالعه همان طور که ذکر شد ارتفاعات بالا دارای ریسک کمتری برای سیلاب است؛ اما مناطق پایین دست و هموار منطقه که بخش زیادی را نیز تشکیل داده دارای ریسک زیادی برای وقوع سیلاب است. سیل به طور مستقیم با شیب منطقه ارتباط دارد و ویژگی فیزیوگرافی مهم است. این شاخص میزان تغییرات توپوگرافی را نشان می دهد. مناطق کوهستانی به طور کلی دارای شیب های شدید هستند که مانع از جمع آوری آب می شوند؛ در حالی که مناطق پست یا هموار دارای شیب ملایمی هستند که منعکس کننده خطر دائمی سیل است. برای منطقه مورد مطالعه مقادیر شیب بین ۰ تا ۹۷ درصد است. هرچه شیب کمتر باشد، خطر سیل گیری بیشتر می شود. در زیر همان طور که مشاهده می شود بیشتر منطقه دارای شیب کمتر از ۱۷ درصد هستند. همانند ارتفاع بیشترین مقدار شیب در شمال و کمترین مقدار آن نیز در جنوب منطقه مواقع شده است. جهت شیب به عنوان جهت حداکثر شیب سطح زمین تعریف می شود که در بیشتر مطالعات سیلاب به عنوان یک پارامتر مهم حساسیت به سیل در نظر گرفته شده است. این شاخص همچنین مشتقی از مدل رقومی ارتفاع است که جهت پیکسل ها را در واحد درجه تعیین میکند و منجر به تصمیم گیری های دقیق تری در نقشه برداری خطر سیل می شود. در زیر نقشه های عوامل مؤثر در

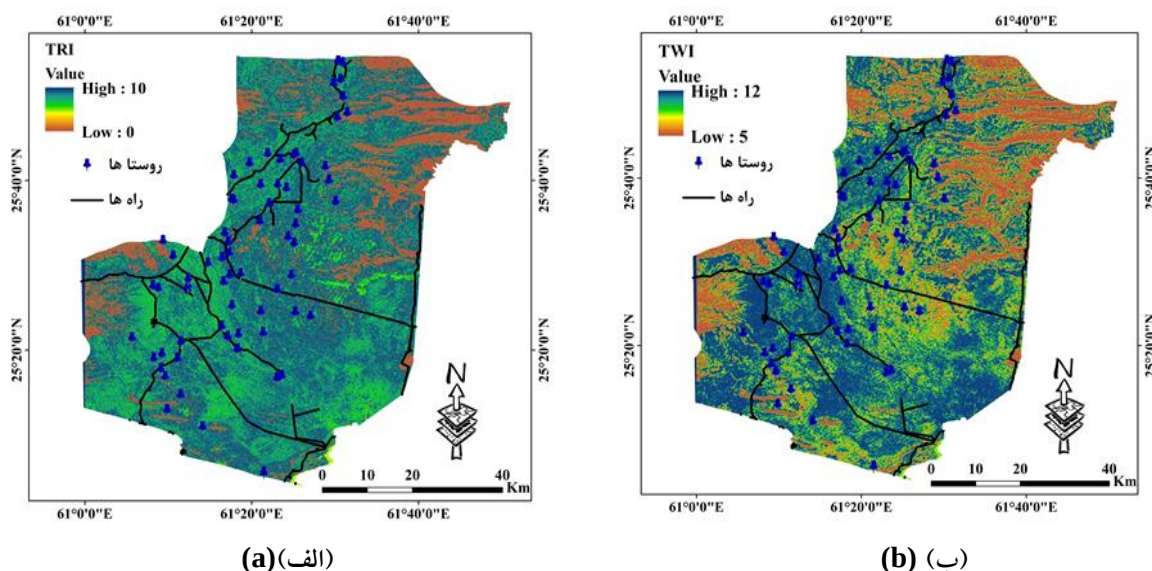
سیلاب (ب: شیب، ج: جهت شیب)، شهرستان دشتیاری نشان می‌دهد طبقه این نقشه بیشتر شیب منطقه دارای جهت جنوب است (شکل ۳).



شکل ۳: عوامل مؤثر در سیلاب (الف: مدل رقومی ارتفاع، ب: شیب، ج: جهت شیب)، (منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳)

Figure 3: Factors Influencing Floods (a: Digital Elevation Model, b: Slope, c: Slope Aspect)
(Source: Research Results, 2024)

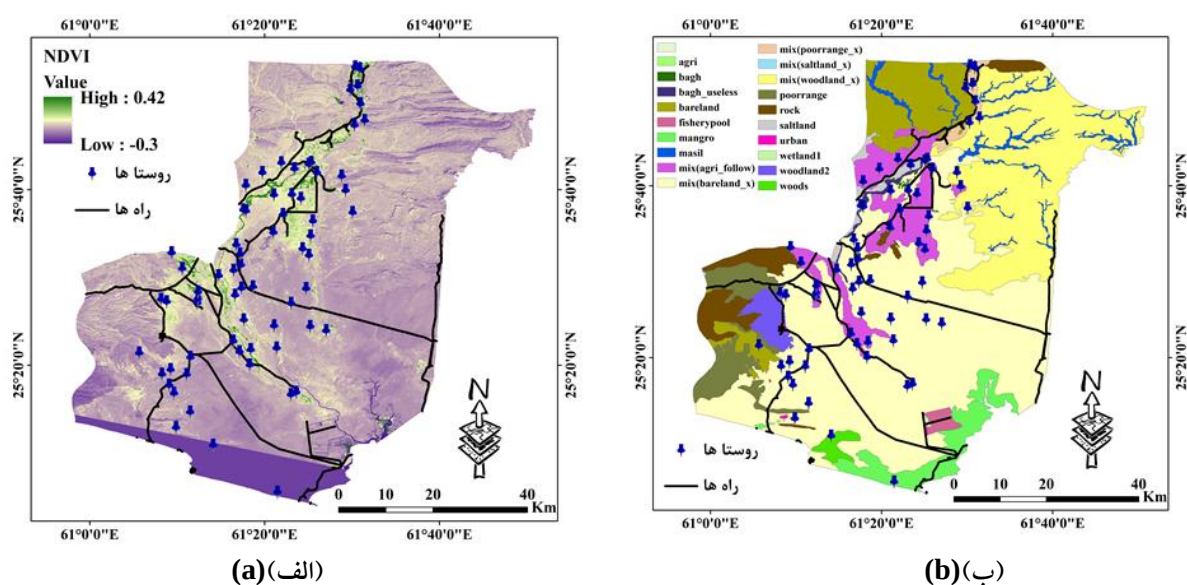
از عوامل دیگر مهم در وقوع سیلاب تغییرات مکانی رطوبت در یک حوضه است. این پارامتر نشان‌دهنده تغییرات مکانی رطوبت در یک حوضه است. به عبارت دیگر، این شاخص میزان تجمع آب را در هر اندازه پیکسلی از حوضه نشان می‌دهد. TWI در محیط SAGA GIS محاسبه شد. این شاخص را می‌توان به‌طور کلی برای اندازه‌گیری تعداد کنترل‌های توپوگرافی در رویدادهای هیدرولوژیکی به کار برد. TWI در ارتباط نزدیک با شیب و بالادست است و به‌ازای هر واحد عرض، مساحتی را ایجاد می‌کند که همسو با جهت جریان است. در مطالعه حاضر، مقادیر TWI بین ۵ و ۱۲ متفاوت است. انحنای به‌عنوان یکی دیگر از پارامترهای شرطی تأثیرگذار، تعیین و از نقشه DEM در SAGA GIS استخراج شد. انحنای سه‌دسته تشکیل شده است: سطح مقعر، محدب و صاف و عامل مهمی در جریان روان است و می‌تواند در تشخیص حساسیت به سیل مفید باشد (شکل ۴).



شکل ۴: عوامل مؤثر در سیلاب (الف: شاخص انحنا، ب: رطوبت توپوگرافی)، (منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳)
Figure 4: Factors Influencing Floods (a: Terrain Curvature Index, b: Topographic Moisture)
(Source: Research Results, 2024)

عوامل دیگر وقوع سیلاب کاربری اراضی است. کاربری اراضی نقش بسزایی در سرعت رواناب، رهگیری، نفوذ و انتقال تبخیر دارد. نقشه کاربری اراضی برای تعیین مناطق مستعد سیل ضروری است. وقوع سیل در مناطق با ویژگی‌های متفاوت عملکرد متفاوتی را نشان می‌دهد؛ برای مثال، مکانیسم سیل در مناطق شهری، مناطق دارای پوشش گیاهی و مناطقی با بافت خاک و سنگ بسیار متفاوت است؛ بنابراین، هر یک از ویژگی‌ها نقش مهمی در نقشه‌برداری خطر سیل خواهد داشت. در مطالعه حاضر، منطقه مورد مطالعه دارای کاربری‌های متفاوتی از جمله، آب، زمین‌های زارعی، مرتع و غیره است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشتر منطقه را مرتع و بعد از آن اراضی بایر و مناطق کوهستانی تشکیل داده‌اند. طبق این نقشه فقط درصد کمی منطقه دارای پوشش گیاهی متراکم شامل مناطق جنگلی و باغات است. شاخص شاخص تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی است. این شاخص بین منفی یک و یک متغیر است؛

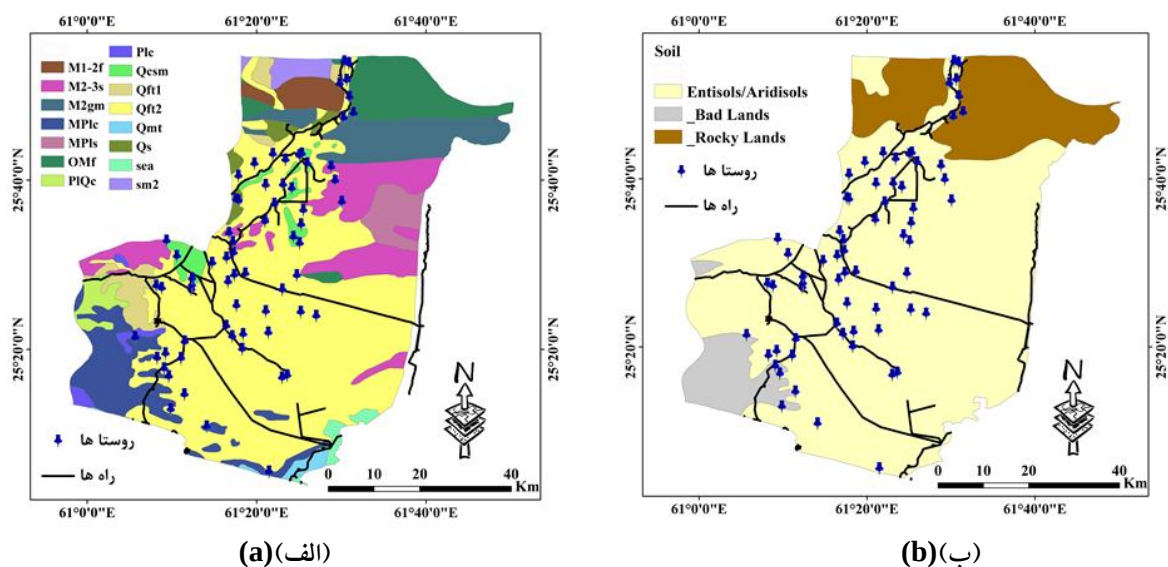
برای مثال، وقتی مقادیر منفی وجود دارد، به احتمال زیاد آب و یخ در منطقه وجود دارد. از طرف دیگر، اگر مقدار NDVI نزدیک به ۱ باشد، احتمال اینکه برگ‌های سبز متراکم باشد، زیاد است؛ اما وقتی NDVI نزدیک به صفر است، احتمالاً هیچ برگ سبزی وجود ندارد و حتی می‌تواند یک منطقه شهری باشد. به‌طور کلی، NDVI یک روش استاندارد برای اندازه‌گیری پوشش گیاهی سالم است. وقتی مقادیر بالای NDVI دارید، پوشش گیاهی سالم‌تری خواهید داشت (شکل ۵).



شکل ۵: عوامل مؤثر در سیلاب (الف: شاخص پوشش گیاهی، ب: کاربری اراضی)، (منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳)

Figure 5: Factors Influencing Floods (a: Vegetation Index, b: Land Use) (Source: Research Results, 2024)

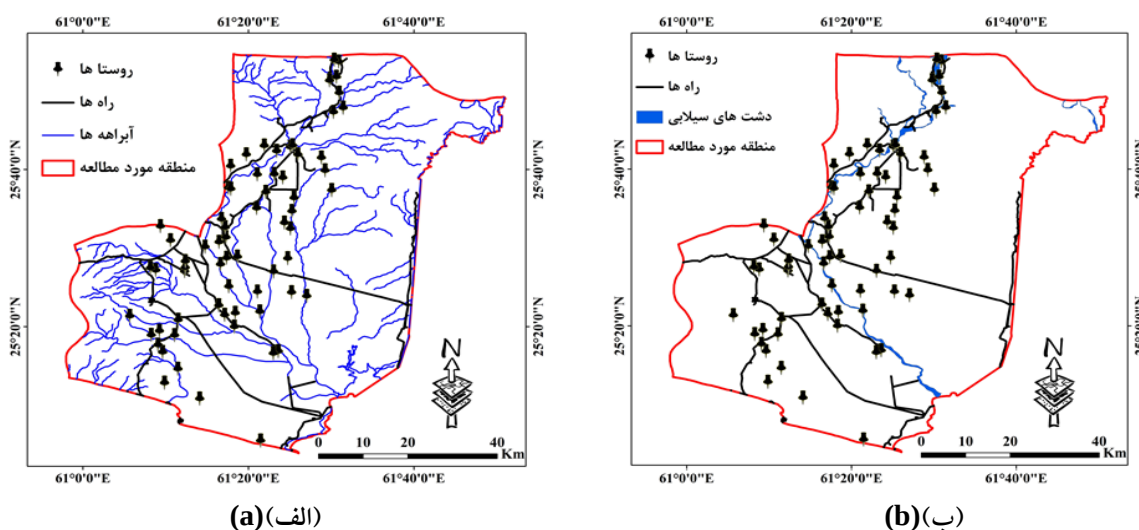
وضعیت زمین‌شناسی به دلیل تأثیر مستقیم بر میزان نفوذپذیری و رواناب سطحی، یکی از عوامل مهم در پدیده سیل حوضه‌های آبخیز است. این شاخص که تأثیر مهمی در وقوع سیل دارد، نشان‌دهنده نوع خصوصیات ذرات خاک است. سنگ‌شناسی تأثیر قابل توجهی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی در یک حوضه آبخیز دارد. واحدهای سنگ‌شناسی مختلف حساسیت‌های متفاوتی نسبت به سیل دارند. یکی دیگر از عواملی که می‌تواند در سیل و رخداد آن تأثیرگذار باشد، انواع خاک‌های مختلف است؛ زیرا انواع خاک‌ها می‌تواند با توجه به نفوذپذیری در رخداد سیلاب اثرگذار باشند. در شکل (۶) خاک‌های مختلف منطقه را نشان می‌دهد که به‌طور مثال اینسپتی سول‌ها خاک‌های جانی هستند که در سرتاسر جهان گسترش یافته‌اند. تفسیر خاک‌های اینسپتی سول برای استفاده‌های کشاورزی و غیرکشاورزی به‌ضرورت گسترده است.

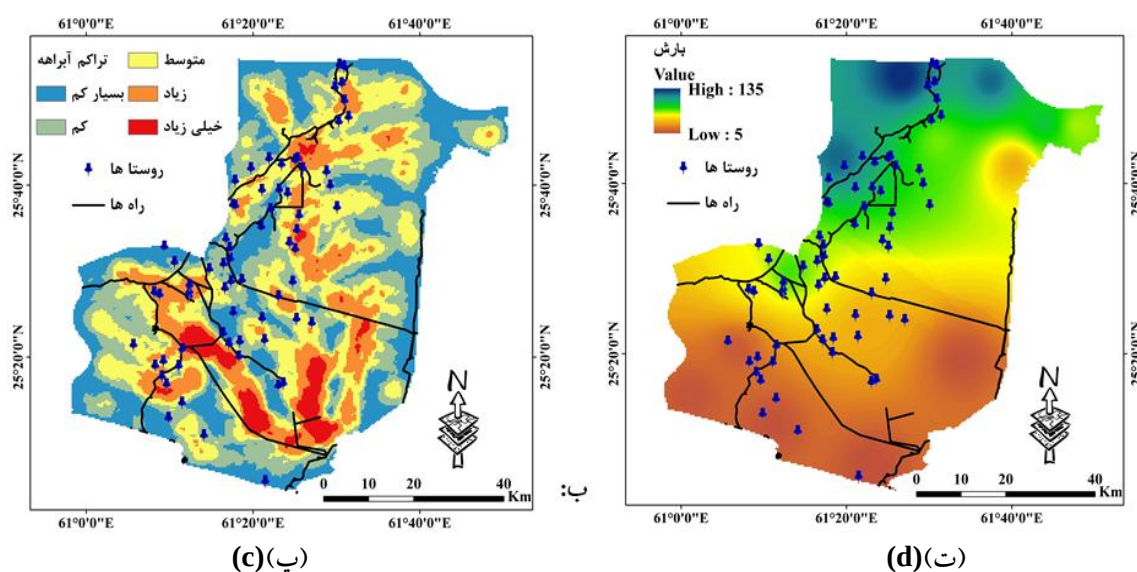


شکل ۶: عوامل مؤثر در سیلاب (الف: زمین شناسی، ب: خاک)، (منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳)

Figure 6: Factors Influencing Floods (a: Geology, b: Soil) (Source: Research Results, 2024)

بارندگی به عنوان یک عامل ضروری انتخاب شد؛ زیرا سیل ها اغلب توسط طوفان های شدید و کوتاه و باران های رگباری ایجاد می شوند. بین بارندگی و وقوع سیلاب رابطه قوی وجود دارد؛ به این معنی زمانی که بارندگی شدید و زیادی رخ می دهد، باعث ایجاد سیلاب در یک منطقه می شود. بارش سطح منطقه را نشان می دهد، این نقشه با استفاده از یک سری زمانی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ رسم شده است. طبق این نقشه بارش منطقه بین ۵ تا ۱۳۵ میلیمتر به طور میانگین در سطح این منطقه بوده است. بیشترین میزان بارش در شمال منطقه مورد مطالعه رخ داده است. نزدیکی به رودخانه ها از مهم ترین عوامل مؤثر بر آسیب پذیری ناشی از سیلاب ها است؛ زیرا در فصول پربارش، با طغیان رودخانه ها جریان های آب جاری شده پهنه های آغازین وقوع سیلاب ها هستند. در سه شکل زیر تراکم و فاصله از رودخانه که حریم ۷۰۰ متر هست را نشان می دهد. بررسی و تعیین این حریم ۷۰۰ متر براساس نظر کارشناسان مربوطه بوده است (شکل ۷).





شکل ۷: عوامل مؤثر در سیلاب (الف: آبراهه‌ها، ب: دشت‌های سیلابی، پ: تراکم آبراهه، ت: بارش)، (منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳)
Figure 7: Factors Influencing Floods (a: Waterways, b: Floodplains, c: Drainage Density, d: Precipitation)
(Source: Research Results, 2024)

نقاط سیلابی و غیر سیلابی

جمع‌آوری داده‌های نمونه هنگام نقشه‌برداری خطر سیل برای ارزیابی عملکرد مجموعه‌های آزمایشی و آموزشی اهمیت زیادی دارد است که تأثیر چشمگیری بر کیفیت و قابلیت اطمینان نقشه خروجی دارد. در مطالعه حاضر، با توجه به سیل‌های اخیر رخ داده در منطقه مورد مطالعه، ۵۰۰ داده نمونه از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا و داده‌های مشاهدات میدانی برای توسعه مدل RF جمع‌آوری شد. این نمونه‌ها از مناطق سیل زده و مناطق غیر سیلابی گرفته شده است. متغیر خروجی دارای دو برچسب است: مناطق غیر سیل گیر (۰) و مناطق سیل گیر (۱). درواقع، ۱۰۰۰ داده نمونه به‌طور مساوی از منطقه انتخاب شدند. از کل داده‌های نمونه، ۷۰ و ۳۰ درصد از داده‌های نمونه به‌ترتیب برای مراحل آموزشی و تست در نظر گرفته شد.

عوامل مؤثر در سیلاب

برای تعیین میزان اهمیت هر کدام از عوامل از شاخص IGR استفاده شد. جدول (۳)، نتایج شاخص را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول (۳)، مشاهده می‌شود. طبق این نتایج تأثیرگذارترین شاخص ارتفاع، بارش و کاربری اراضی و کم‌تأثیرترین شاخص جهت است.

جدول ۳: ارزش هر کدام از شاخص‌ها در مدل RF

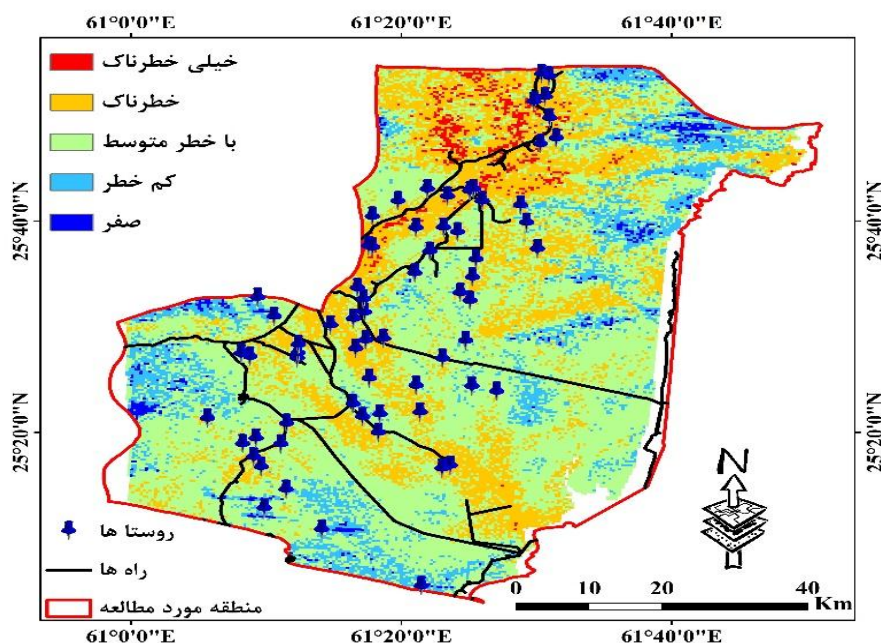
Table 3: Value of Each Index in the RF Model

ردیف	شاخص	ارزش
۱	توپوگرافی	۰.۶۵
۲	شیب	۰.۴۵
۳	جهت شیب	۰.۰۷
۴	مسیل های شهر	۰.۲۸
۵	تراکم آبراهه	۰.۳
۶	فاصله از دشت های سیلابی	۰.۴۱
۷	کاربری اراضی	۰.۵۵
۸	زمین شناسی	۰.۳۵
۹	شاخص رطوبت توپوگرافی	۰.۲۸
۱۰	شاخص انحنای زمین	۰.۲۵
۱۱	شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی	۰.۲۷
۱۲	بارش	۰.۶۰۵
۱۳	بافت خاک	۰.۱

(منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳) (Source: Research Results, 2024)

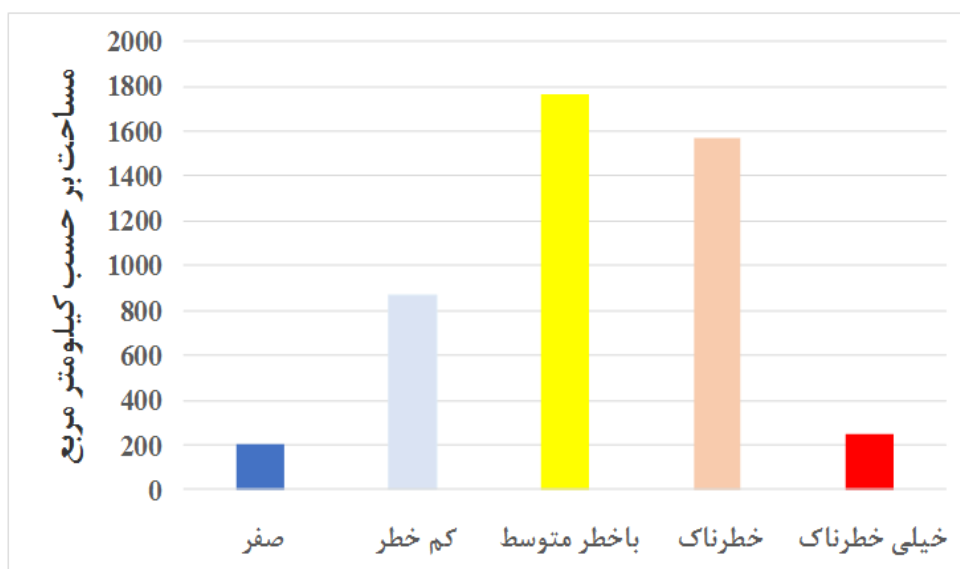
مدل‌سازی سیلاب شهرستان دشتیاری

طبقه‌بندی مناطق سیل خیز براساس نتایج حاصل از الگوریتم جنگل تصادفی، در قالب نقشه نهایی خطر سیلاب ارائه شده است که در شکل (۸) قابل مشاهده است و در نهایت بیشترین و کمترین مناطق خطر مشخص شد. بی‌خطر (۰)، کم‌خطر (۰-۰.۴)، با خطر متوسط (۰.۴-۰.۶)، خطرناک (۰.۶-۰.۸) خیلی خطرناک (۰.۸-۱.۰). طبق نتایج بیشترین میزان خطر در شمال و متمایل به مرکز شهرستان دشتیاری قرار دارد. طبق نتایج این مناطق که درصد بالای خطر را دارند دارای ارتفاع کم و مسیل‌ها و دشت‌های سیلابی و مناطق مسکونی هستند. با توجه به نقشه‌برداری خطر سیل و توزیع کلاس خطر، مناطقی که نزدیک به رودخانه هستند و دارای ارتفاعات کم با پوشش گیاهی کم هستند، بیشترین خطر سیل و آب‌گرفتگی را دارند. کم‌خطرترین مناطق، مقادیر کم بارندگی، ارتفاع زیاد، بافت خاک با نفوذ زیاد هستند. طبق نتایج حدود ۵.۴۰ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای بیشترین خطر، ۳۳.۶۳ درصد در معرض خطر بالاتر، ۳۷.۹۴ درصد در معرض خطر متوسط، ۱۸.۷۰ درصد در معرض خطر کمتر و ۴.۳۱ درصد دارای کمترین خطر هستند. حدود ۵۰ درصد از مناطق مسکونی در مناطق پرخطر واقع شده است که در صورت وقوع سیل منجر به خسارات جانی و مالی شدید می‌شود (شکل ۹).



شکل ۸: نقشه خطر سیل در شهرستان دشتیاری، منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳

Figure 8: Flood Hazard Map in Dashtiari County (Source: Research Results, 2024)



شکل ۹: درصد اراضی با ریسک کم تا زیاد سیلاب، (منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳)

Figure 9: Percentage of Lands with Low to High Flood Risk (Source: Research Results, 2024)

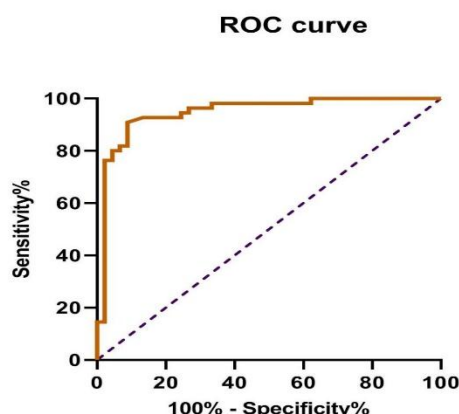
ارزیابی عملکرد RF

همان‌طور که در جدول (۴)، مشاهده می‌شود طبق این نتایج خروجی و نتایج دارای دقت خوبی بود است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب کاپا در مرحله آموزشی ۰.۹۲ و مرحله تست برابر با ۰.۹۳ بوده است. همه این نتایج حاکی از دقت خوب خروجی کار است (شکل ۱۰).

جدول ۴: دقت در مدل RF

Table 4: Accuracy in the RF Model

ردیف	عامل ارزیابی	میزان دقت آموزشی	میزان دقت تست
۱	kappa	۰.۹۲	۰.۹۳
۲	MAE	۰.۰۶	۰.۰۵
۳	RMSE	۰.۱۴	۰.۱۲
۴	ROC Area	۰.۹۳	۰.۹۵



شکل ۱۰: منحنی ROC. (منبع: نتایج تحقیق، ۱۴۰۳)

Figure 10: ROC Curve (Source: Research Results, 2024)

بحث و نتیجه‌گیری

سیلاب یکی از رایج‌ترین مخاطرات طبیعی جهان قلمداد می‌شود که سالانه موجب خسارات جانی و مالی فراوانی در سراسر جهان می‌شود؛ از این رو، توسعه مدل‌های پهنه‌بندی و پیش‌بینی وقوع سیلاب برای اتخاذ تصمیمات بهینه پیش از وقوع سیلاب و پس از آن و نیز مدیریت آن بسیار مهم و ضروری است. هدف از این پژوهش، تعیین پهنه‌های خطر وقوع سیلاب، در حوضه دشتیاری با استفاده از الگوریتم جنگل‌های تصادفی است. طبق نتایج مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در سیل در شهرستان دشتیاری ارتفاع، بارش و کاربری اراضی هستند. نتایج مشخص کرد که بیشتر مناطق مسکونی در وضعیت سیل‌گیری قرار دارند. در بررسی دقت و صحت مدل مشخص شد که مدل دارای کارایی بسیار خوبی در منطقه مورد مطالعه است. نتایج نشان داد که حدود ۲۲۰ کیلومتر مربع از منطقه مورد مطالعه دارای کمترین خطر، ۸۷۹ کیلومتر مربع در معرض خطر کمتر، ۱۷۷۵ کیلومتر مربع در معرض خطر متوسط، ۱۵۸۸ کیلومتر مربع در معرض خطر بالاتر، ۲۶۹ کیلومتر مربع دارای بیشترین خطر هستند. همان‌گونه که نقشه پهنه‌بندی سیل نشان می‌دهد مناطق پست مرکزی حوضه دارای بیشترین پتانسیل برای سیل‌گیری هستند و عمدتاً با زمین‌های پست کناره، رودخانه، پرشیب، سازندهایی با نفوذپذیری کم تراکم زهکشی بالا و پوشش گیاهی تنک مشخص می‌شوند. با توجه به نتایج بیش از ۶ درصد از سطح حوضه دارای سیل خیزی بسیار زیاد و حدود ۳۵ درصد از سطح حوضه در کلاس زیاد است که بیشتر در قسمت‌هایی از پایین دست حوضه واقع شده است.

با توجه به موضوع بررسی عوامل مؤثر بر سیلاب، مدل‌سازی سیلاب و سیلاب در شهرستان دشتیاری، پس ویژگی‌های توپوگرافی و ژئومورفولوژیکی شهرستان دشتیاری به همراه سایر ویژگی‌های طبیعی و انسانی منطقه سبب شده است هر ساله و در فصول مختلفی از سال با سیلاب‌هایی در منطقه مورد مطالعه مواجهه شویم. به نظر می‌رسد مشخص کردن بستر و حریم رودخانه‌ها و محاسبه دوره‌های مختلف بازگشت سیلاب به‌منظور پیش‌بینی وقوع سیلاب‌های منطقه در جهت مدیریت سیلاب منطقه می‌تواند تا حدی از میزان خسارت‌های سیلاب جلوگیری کند. مکان‌یابی مناسب سازه‌های مقابله با سیل با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه در کنار درخت‌کاری و ایجاد پوشش گیاهی مناسب در مناطقی که به‌واسطه فعالیت‌های انسانی پوشش گیاهی آنها آسیب دیده است نیز می‌تواند راهکار دیگری در جهت کم کردن میزان خطر باشد.

منابع

- استاندارداری سیستان و بلوچستان (۱۴۰۲). *سالنامه استاندارداری سیستان و بلوچستان*.
- <https://form.sbportal.ir/default.aspx?id=1&PGS=1>
- اشتری، نفیسه، گورابی، ابوالقاسم، رحمتی، مریم، و دربان آستانه، علیرضا (۱۴۰۱). ارزیابی پتانسیل خطر سیلاب و بررسی خسارت ناشی از آن در حوضه آبخیز تالار. *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۱۲ (۴)، ۱-۲۵.
- <https://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-708-fa.html>
- پروین، منصور (۱۳۹۹). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی براساس عوامل فیزیوگرافی و شاخص‌های مورفومتریک (مطالعه موردی حوضه‌ی قصرشیرین). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۱ (۲)، ۸۹-۱۰۴.
- <https://doi.org/10.22108/gep.2020.119766.1221>
- چراغی قلعه‌سری، علی، حبیب‌نژاد روشن، محمود، و روشن، سید حسین (۱۳۹۹). تهیه نقشه حساسیت سیلاب با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان (SVM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۹ (۲۵)، ۶۱-۸۰.
- <https://doi.org/10.22111/jneh.2020.31018.1547>
- حیدری‌فر، محمد رئوف، و رضایی، ناصر (۱۳۹۶). ضرورت توجه به مخاطرات محیطی از رهیافت امنیت ملی (با تأکید بر امنیت زیست‌محیطی). *دوفصلنامه حقوق محیط زیست*، ۲ (۱)، ۳۸-۴۹.
- https://enlaw.journals.pnu.ac.ir/article_4227.html
- حیدری‌فر، محمد رئوف، سلیمانی‌راد، اسماعیل، و حسینی سیاه‌گلی، مهناز (۱۳۹۹). بررسی نقش مخاطرات طبیعی و مدیریت بحران در آمایش سرزمین (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). *فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای*، ۱ (۱)، ۷۶-۵۵.
- https://enlaw.journals.pnu.ac.ir/article_4227.html
- ذاکری‌نژاد، رضا، و عیاش، کمال (۱۴۰۳). ارزیابی خطر سیل و عوامل مؤثر بر آن در حوضه آبخیز زهر - جراحی در جنوب غرب ایران با استفاده از روش سلسله‌مراتبی فازی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۶ (۲)، ۵۱-۶۹.
- <https://doi.org/10.22059/jphgr.2024.376692.1007829>
- زارعی، مهدی، زندی، رحمان، و ناعمی‌تبار، مهناز (۱۴۰۱). ارزیابی پتانسیل وقوع سیل با استفاده از مدل‌های داده‌کاوی ماشین بردار پشتیبان، چاید و جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز فریزی). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱۳ (۲۵)، ۱۳۳-۱۴۵.
- <http://dx.doi.org/10.52547/jwmr.13.25.133>

صفری، مهدی، گنجائیان، حمید، نصرتی، مژگان، و محمدیان، کثوم (۱۴۰۳). شناسایی مناطق سیل زده و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن (مطالعه موردی: جنوب شرق استان سیستان و بلوچستان). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۳(۲)، ۱۸۱-۱۹۴. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_202025.html

عابدینی، موسی، بابایی اولم، طیبه، و پاسبان، امیرحسام (۱۴۰۳). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل MFFPI (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شفارود، استان گیلان). جغرافیا و روابط انسانی، ۷(۱)، ۸۲۱-۸۷۱.

<https://doi.org/10.22034/gahr.2024.466493.2198>

عابدینی، موسی، فعال نذیری، مهدی، و پیروزی، الناز (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تکنیک چندمعیاره آراس و هیدروگراف واحد (مطالعه‌ی موردی: حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری پل سلطان مشکین شهر). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۲(۳۵)، ۱۱۵-۱۳۸.

<https://doi.org/10.22111/jneh.2022.40684.1863>

عزمی، آئیژ و نوری، مجتبی (۱۳۹۶). نقش سرمایه اجتماعی در مدیریت مخاطرات طبیعی در سکونتگاه‌های روستایی (مطالعه موردی: بخش ماهیدشت کرمانشاه). فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۷(۲۶)، ۷۷-۸۹.

https://www.jgeoqeshm.ir/article_49635.html

مختاری، داود (۱۳۸۵). جایگاه ژئومورفولوژی در ارزیابی بلایای طبیعی و مقابله با آنها در ایران. جغرافیای سرزمین، ۳(۱)، ۵۳-۶۷.

<https://sanad.iau.ir/Journal/sarzamin/Article/823818>

هلالات ناصریان، حسین، صادقی، محمد عامل، واعظی پور، حسین علی، و سیف، سامان (۱۳۹۲). مدل‌سازی جامع سیلاب منطقه دشتیاری شهرستان چابهار و ارائه طرح علاج‌بخشی سیل در منطقه. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

<https://civilica.com/doc/216082/>

هلالات ناصریان، حسین، صادقی، محمد عامل، واعظی پور، حسین علی، و سیف، سامان (۱۳۹۲). مدل‌سازی جامع سیلاب منطقه دشتیاری شهرستان چابهار توسط MIKE FLOOD و ارائه طرح علاج‌بخشی سیل در منطقه. دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

<https://civilica.com/doc/379260>

References

- Abdullah, A. S., Moussa, O. M., Hassan, A. A., & Tarek, M. (2025). Geographic information system-based flood risk assessment comprehensive model utilizing multi-criteria decision analysis technique. *Smart and Sustainable Built Environment*. <https://doi.org/10.1108/SASBE-09-2024-0402>
- Abedini, M., Babaee Olam, T., & Pasban, A. (2024). Flood risk assessment and zoning using MFFPI model (case study: Shafarood watershed, Gilan province). *Quarterly Journal of Urban and Regional Sustainable Development Studies*, 7(1), 821-871. <https://doi.org/10.22034/gahr.2024.466493.2198> [In Persian]
- Abedini, M., Faal Naziri, M., & Pirooz, E. (2024). Evaluation and zoning of flood risk using ARAS multi-criteria technique and unit hydrograph (case study: upstream basin of the hydrometric station of Pol Sultan Mashkin city). *Quarterly Journal of Urban and Regional Sustainable Development Studies*, 12(35), 115-138. <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.40684.1863> [In Persian]
- Abrahams, A. D. (1984). Channel networks: A geomorphological perspective. *Water Resources Research*, 20(2), 161-188. <https://doi.org/10.1029/WR020i002p00161>

- Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M., & Saleem, T. (2016). Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt. *Journal of Arid Environments*, 133, 54-72.
<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.06.004>
- Ahmed, N., Hoque, M. A. A., Arabameri, A., Pal, S. C., Chakraborty, R., & Jui, J. (2022). Flood susceptibility mapping in Brahmaputra floodplain of Bangladesh using deep boost, deep learning neural network, and artificial neural network. *Geocarto International*, 37(25), 8770-8791.
<https://doi.org/10.1080/10106049.2021.2005698>
- Ashteri, N., Gorabi, A., Rahmati, M., & Derban Astaneh, A. (2022). Assessment of flood hazard potential and analysis of damage in the Talar watershed. *Environmental Erosion Researches*, 12(4), 1-25. <https://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-708-fa.html> [In Persian]
- Azmi, A., & Nouri, M. (2024). The role of social capital in the management of natural hazards in rural settlements (Case study: Kermanshah Mahidasht). *Quarterly Journal of Urban and Regional Sustainable Development Studies*, 7(1), 77-89. https://www.jgeoqeshm.ir/article_49635.html [In Persian]
- Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L., & Niu, C. (2016). Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coal mine subsidence areas. *Sustainability*, 8(9), 948. <https://doi.org/10.3390/su8090948>
- Chen, W., Zhai, G., Fan, C., Jin, W., & Xie, Y. (2017). A planning framework based on system theory and GIS for urban emergency shelter system: A case of Guangzhou, China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23(3), 441-456.
<https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1185692>
- Cheraghi Ghalehsari, A., Habibnejad Roshan, M., & Roshun, S. H. (2020). Flood susceptibility mapping using a support vector machine (SVM) model and geographic information system (GIS). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 9(25), 61-80.
<https://doi.org/10.22111/jneh.2020.31018.1547> [In Persian]
- Farhan, Y., & Ayed, A. (2017). Assessment of flash-flood hazard in arid watersheds of Jordan. *Journal of Geographic Information System*, 9(6), 761-793. <https://doi.org/10.4236/jgis.2017.96045>
- Farhan, Y., Anaba, O., & Salim, A. (2016). Morphometric analysis and flash floods assessment for drainage basins of the Ras En Naqb area, South Jordan using GIS. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4(6), 59-72. <http://dx.doi.org/10.4236/gep.2016.46002>
- Fleischmann, A. S., Brêda, J. P. F., Rudorff, C., de Paiva, R. C. D., Collischonn, W., Papa, F., & Ravello, M. M. (2021). River flood modeling and remote sensing across scales: Lessons from Brazil. *Earth Observation for Flood Applications Progress and Perspectives*, 61-103.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819412-6.00004-3>
- Halalat Naserian, H., Sadeghi, M. A., Vaezi Pour, H. A., & Seif, S. (2013b). *Comprehensive flood modeling of Dashtiari region of Chabahar city and presentation of flood remediation plan in the region*. 7th National Civil Engineering Congress, Department of Irrigation and Development Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran.
<https://civilica.com/doc/216082/> [In Persian]
- Halalat Nasirian, H., Sadeghi, M. A., Vaezi Pour, H. A., & Seif, S. (2013a). *Comprehensive flood modeling of Dashtiari region of Chabahar city by MIKE FLOOD and presentation of flood remediation plan in the region*. 12th Iranian Hydraulic Conference, Department of Irrigation and Development Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran.
<https://civilica.com/doc/379260> [In Persian]
- Heydarifar, M. R., & Rezaei, N. (2017). The necessity of attention to environmental hazards from the perspective of national security (with emphasis on environmental security). *Environmental Law Journal*, 2(1), 38-49. <https://reg.irantvto.ir/Register/personalinfo/5163420/0/0/0> [In Persian]
- Heydarifar, M. R., Solimani Rad, E., & Hosseiniashgoli, M. (2020). Investigating the Role of Natural Hazards and Crisis Management in Land Management: Case Study of Kermanshah Province. *Quarterly Journal of Urban and Regional Sustainable Development Studies*, 1(1), 55-76.
https://enlaw.journals.pnu.ac.ir/article_4227.html [In Persian]

- Hungr, O. (2000). Analysis of debris flow surges using the theory of uniformly progressive flow. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25(5), 483-495.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(200005\)25:5%3C483::AID-ESP76%3E3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(200005)25:5%3C483::AID-ESP76%3E3.0.CO;2-Z)
- Lu, Y., Zhai, G., & Zhou, S. (2024). An integrated Bayesian networks and geographic information system (BNs-GIS) approach for flood disaster risk assessment: A case study of Yinchuan, China. *Ecological Indicators*, 166, 112322. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112322>
- Mesa, L. M. (2006). Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucumán, Argentina). *Environmental Geology*, 50(7), 1235-1242. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0297-y>
- Mokhtari, D. (2005). The position of geomorphology in evaluating natural hazards and combating them in Iran. *Quarterly Journal of Urban and Regional Sustainable Development Studies*, 3(9), 53-67.
<https://sanad.iau.ir/Journal/sarzamin/Article/823818> [In Persian]
- Parvin, M. (2020). Assessing and Zoning the Risk of Flash Floods Based on Physiographic Factors and Morphometric Indices (Case Study: Qasr Shirin Basin). *Journal of Geography and Environmental Planning*, 31(2), 89-104. <https://doi.org/10.22108/gep.2020.119766.1221> [In Persian]
- Richards, J. A. (2022). Supervised classification techniques. In *Remote sensing digital image analysis* (pp. 263–367). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82327-6_8
- Safari, M., Ganjaeian, H., Nosrati, M., & Mohammadian, K. (2014). Identification of flooded areas and analysis of factors affecting their occurrence (Case study: Southeast of Sistan and Baluchestan Province). *Quantitative Geomorphology Research*, 13(2), 181-194.
https://www.geomorphologyjournal.ir/article_202025.html [In Persian]
- Shrestha, S., Dahal, D., Poudel, B., Banjara, M., & Kalra, A. (2025). Flood susceptibility analysis with integrated geographic information system and analytical hierarchy process: A multi-criteria framework for risk assessment and mitigation. *Water*, 17(7), 937.
<https://doi.org/10.3390/w17070937>
- Sistan and Baluchestan Governorate (2023). *Sistan and Baluchestan Governorate Yearbook*.
<https://form.sbportal.ir/default.aspx?id=1&PGS=1>
- Sowmya, K., John, C. M., & Shrivasthava, N. K. (2015). Urban flood vulnerability zoning of Cochin City, southwest coast of India, using remote sensing and GIS. *Natural Hazards*, 75(1), 1271-1286.
<https://doi.org/10.1007/s11069-014-1372-4>
- Tincu, R., Lazar, G., & Lazar, I. (2018). Modified flash flood potential index in order to estimate areas with predisposition to water accumulation. *Open Geosciences*, 10(1), 1234-1253.
<https://doi.org/10.1515/geo-2018-0047>
- United Nations Climate. (2015). *The human cost of weather-related disasters 1995-2015*.
<https://www.undrr.org/publication/human-cost-weather-related-disasters-1995-2015>
- Youssef, A. M., Pradhan, B., & Hassan, A. M. (2011). Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environmental Earth Sciences*, 62(1), 611-623. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0551-1>
- Zakari Nejad, R., & Ayash, K. (2024). Evaluating flood risk and influencing factors in the Zaher-Jarrahi watershed in southwestern Iran using the fuzzy hierarchical method. *Research in Physical Geography*, 56(2), 51-69. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2024.376692.1007829> [In Persian]
- Zarei, M., Zandi, R., & Naemitabar, M. (2022). Assessment of flood occurrence potential using data mining models of support vector machine, CHAID, and random forest (case study: Frizi watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 13(25), 133-144.
<http://dx.doi.org/10.52547/jwmr.13.25.133> [In Persian]

