

Zoning the Potential Flood Hazard and Its Relationship with Hydro-Geomorphological Indices Using the MFFPI Model in the Samian Watershed

Mousa Abedini^{1*} , AmirHesam Pasban² 

¹ Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

² Ph.D. Student, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

Extended Abstract

Introduction

Flash floods claim thousands of lives each year and severely damage infrastructure, particularly in agricultural areas and along riverbanks. Key factors exacerbating the damage include the absence of accurate flood hazard maps, insufficient preventive measures, dense drainage networks, and steep slopes. To mitigate the effects of floods and preserve ecosystems, it is essential to employ flood models that operate at spatial and watershed scales. Hydrological modeling, combined with advanced technologies such as remote sensing and Geographic Information Systems (GIS), serves as a powerful approach in this field. These methods provide precise spatial data and enable the simultaneous analysis of factors such as slope, vegetation, and land use, leading to the creation of more accurate flood hazard maps. Among these approaches, numerical models like the FFPI model, which are based on physiographic parameters, are particularly effective in assessing flash flood risks and managing crises. Numerous studies have demonstrated the efficacy of such models in identifying high-risk areas and predicting flood occurrences. In specific regions such as the Samian watershed in Ardabil Province, characterized by its unique geographic features and the impacts of climate change, accurate flood hazard assessment and mapping are of critical importance. This study leverages the MFFPI model to analyze factors such as slope, soil type, and vegetation to improve flood risk management and minimize potential damages.

Materials and Methods

This study's research methodology, aimed at assessing flood risk in the Samian watershed, is grounded in the analysis of geographical and hydro geomorphological data. Covering an area of 4,200 square kilometers, the Samian watershed is located in Ardabil Province and includes foothill plains. The data utilized in this study comprise 1:25,000 digital maps from the National Cartographic Center, a 30-meter resolution Digital Elevation Model (DEM), monthly and annual rainfall statistics from the Meteorological Organization, Landsat OLI 9 satellite imagery, 1:250,000 soil texture maps, and 1:100,000 geological maps. For data analysis, software such as ArcGIS 10.7, ENVI 5.6, Google Earth, SPSS, and Excel were employed. Hydro geomorphological indices, including slope length, stream power, topographic moisture, slope curvature, and surface curvature, were used to evaluate the topographical and geological features influencing flood occurrence. Among these, slope length and stream power indices were identified as key factors affecting the hydrological response of the watershed. The study also applied the MFFPI model to analyze flash flood risks in the Samian watershed. This model incorporates parameters such as slope, stream density, soil texture, land cover, and land use. To determine the relationship between hydro geomorphological indices and flood events, Pearson's correlation test was performed. Finally, the findings from these analyses were used to evaluate flood potential and identify flood-prone areas within the Samian watershed.

Results and Discussion

This study investigated various physiographic factors influencing flash floods in the Samian watershed. The results indicate that land slope, flow accumulation, soil permeability, slope curvature, land use, lithological features, and vegetation significantly impact flood potential in this region. Land slope, particularly in low-slope areas, is directly associated with water accumulation and an increased likelihood of flood occurrence. Similarly, flow accumulation is higher in areas with dense stream networks, such as main channels, which exhibit greater flood potential. Soil permeability and lithological characteristics also play critical roles in controlling runoff and flooding. Areas with

low-permeability soils and impermeable lithological formations are most prone to flooding. Moreover, vegetation cover and land use, especially in residential and agricultural zones, contribute to increased runoff and reduced permeability, thereby exacerbating flood risk. Correlation analysis reveals that heavy rainfall, represented by the Standardized Precipitation Index (SPI), has the strongest positive relationship with flood risk.

Conclusion

This study highlights the critical role of hydro geomorphological indices in flood hazard zoning for sudden floods in the Samian watershed, utilizing the MFFPI model. This model incorporates factors such as slope, stream density, soil permeability, land use, slope curvature, and soil texture, producing flood hazard maps categorized into five risk levels. The results indicate that areas with gentle slopes, sparse vegetation cover, impermeable soils, and inappropriate land use are the most vulnerable to flooding. Statistical analyses using Spearman and Pearson correlation tests revealed that slope and soil texture had the highest significant positive impacts (0.78 and 0.70, respectively). Additionally, the Standardized Precipitation Index (SPI) emerged as the most influential factor, with a correlation coefficient of 0.64, strongly determining flood severity. The Topographic Wetness Index (TWI) was found to be effective in areas with gentle slopes and high-water retention capacity, while indices such as NDVI and LSF showed no significant impact. The findings also demonstrated that SPI is particularly useful for identifying high-risk areas in steep regions, whereas TWI is better suited for flood assessment in flatter terrains. This study underscores the importance of advanced numerical models like MFFPI in improving flood risk management and mitigating potential damages through the integration of GIS and remote sensing data. It also provides practical recommendations, including enhancing drainage infrastructure, restoring vegetation cover, and implementing early warning systems to reduce flood impacts.

Keywords: flash flood, stream power, vegetation cover, Pearson correlation, Samian.

Article Type: Research Article

Acknowledgement

This study is derived from the research project Type I, with contract number 1403/j/9/21504, which was conducted with the financial support of the University of Mohaghegh Ardabili. We would like to express our gratitude and appreciation for the support provided.

Conflicts of interest

The authors of this article declare that they have no conflicts of interest regarding the writing and publication of the content and results of this research.

Data Availability Statement:

All the information and results are presented in the main text of the article.

Authors' contribution

Mousa Abedini: Guidance, editing and revision of the article and controlling the results.

AmirHesam Pasban: Conceptualization, software/statistical analysis, writing the first version of the article.

*Corresponding Author, E-mail: Mousa Abedini, abedini@uma.ac.ir

Citation: Abedini, M., & Pasban, A.H. (2026). Zoning the Potential Flood Hazard and Its Relationship with Hydro-Geomorphological Indices Using the MFFPI Model in the Samian Watershed. *Water and Soil Management and Modeling*, 6(1), 1-16.

doi: 10.22098/mmws.2025.16491.1537

Received: 05 January 2025, Received in revised form: 26 April 2025, Accepted: 26 April 2025, Published online: 21 March 2026

Water and Soil Management and Modeling, Year 2026, Vol. 6, No. 1, pp. 1-16.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب و ارتباط آن با شاخص‌های هیدروژئومورفولوژی با استفاده از مدل MFFPI در حوزه آبخیز سامیان

موسی عابدینی^{۱*}، امیرحسام پاسبان^۲

^۱ استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۲ دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

هدف از این پژوهش پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب و ارتباط آن با شاخص‌های هیدروژئومورفولوژی با استفاده از مدل توسعه یافته سیلاب ناگهانی (MFFPI) در حوزه آبخیز سامیان در استان اردبیل است. در این راستا ابتدا پس از استخراج لایه‌های شیب، تجمع جریان، کاربری اراضی، نفوذپذیری سنگ، انحنا دامنه و بافت خاک در محیط GIS اقدام به وزن‌دهی این لایه‌ها شد و در گام بعد با هم‌پوشانی این لایه‌ها نقشه پتانسیل سیلاب ناگهانی برای حوزه سامیان استخراج و بر اساس احتمال وقوع سیلاب به پنج دسته خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، به ترتیب ۳۱۴، ۹۲۶، ۷۵۲، ۱۲۵۱ و ۹۹۰ کیلومتر مربع تقسیم‌بندی شد. نتایج نشان داد مناطقی با شیب تند، پوشش گیاهی کم، خاک‌های سفت و کاربری‌های نامناسب مانند شهرها و مزارع، بیش‌ترین خطر وقوع سیلاب را دارند. این مناطق به دلیل نفوذ کم آب در خاک، رواناب زیاد و ظرفیت کم نگهداری آب در زمان بارندگی‌های شدید، مستعد سیل‌گیری هستند. برعکس، مناطقی با شیب ملایم، پوشش گیاهی انبوه، خاک‌های نرم و کاربری‌های مناسب مانند جنگل و مرتع، کم‌ترین خطر وقوع سیلاب را دارند. پوشش گیاهی با جذب باران و کاهش سرعت جریان آب، و خاک‌های نرم با نفوذ بهتر آب به داخل زمین، از وقوع سیلاب جلوگیری می‌کنند. با استفاده از آزمون آماری اسپیرمن میزان هم‌بستگی لایه‌های مدل MFFPI با سیلاب ناگهانی مشخص شد. نتایج نشان داد که لایه‌های شیب و بافت خاک به ترتیب با مقدار ۰/۷۸ و ۰/۷۰ درصد دارای بیش‌ترین هم‌بستگی مثبت معنی‌داری با سیلاب ناگهانی است. همچنین شاخص‌های هیدروژئومورفولوژی شامل توان آبراهه، رطوبت توپوگرافی، پوشش گیاهی و توپوگرافی با استفاده از نقشه‌های پایه در محیط ArcGIS تهیه و استخراج شدند. به منظور بررسی ارتباط و میزان اثرگذاری هر یک از این شاخص‌ها در سیلاب حوزه از آزمون هم‌بستگی پیرسون استفاده شد. نتایج نشان داد شاخص توان آبراهه با ضریب هم‌بستگی مثبت و معنادار ($r = 0.64$) نقش اصلی را در افزایش شدت سیلاب‌های ناگهانی ایفا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سیلاب ناگهانی، توان آبراهه، پوشش گیاهی، هم‌بستگی پیرسون، سامیان.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: موسی عابدینی، abedini@uma.ac.ir

استناد: عابدینی، موسی، و پاسبانی، امیرحسام (۱۴۰۵). پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب و ارتباط آن با شاخص‌های هیدروژئومورفولوژی با استفاده از مدل MFFPI در حوزه آبخیز سامیان. مدل سازی مدیریت آب و خاک، ۱(۱)، ۱-۱۶.

doi: 10.22098/mmws.2025.16491.1537

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۰۱

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۵، دوره ۶، شماره ۱، صفحه ۰۱ تا ۱۶

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

پیش‌بینی وقوع سیلاب و اتخاذ اقدامات پیش‌گیرانه ضروری است. یکی از این مدل‌های پیشرفته، مدل MFFPI است که توسط Smith (2003) برای شناسایی مناطق مستعد سیلاب ناگهانی در ایالات متحده توسعه یافت، از آن زمان در مناطق مختلفی از جمله کلرادو، نیویورک و پنسیلوانیا با موفقیت به کار گرفته شده است. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص ارزیابی و پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل توسعه‌یافته سیلاب ناگهانی در داخل و خارج کشور انجام شده است. برای مثال، Abdel-Fattah et al. (2017) با هدف بررسی رابطه بین تغییرات ویژگی‌های ژئومورفومتری و هیدرولوژیکی پاسخ‌های سیلاب‌های ناگهانی^۱ (MFFPI) در منطقه وادی قنا در شمال شرقی مصر را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین پارامترهای مقیاس و توپوگرافی با شاخص‌های هیدرولوژیکی سیلاب‌های ناگهانی وادی، هم‌بستگی‌های قوی وجود دارد. Bashir and Alsaman (2024) به منظور مطالعه بر روی ویژگی‌های مورفومتری و تحلیل مقایسه‌ای خطر سیلاب در زیرحوزه آبریز وادی‌الیت عربستان با استفاده از روش‌های مورفومتری و الشامی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که زیرحوزه‌های آبخیز sc-2، sc-4، sc-5، sc-6، sc-10، sc-12، sc-13 و sc-15 به‌عنوان مناطق با خطر بالای سیلاب شناسایی شدند، درحالی‌که زیرحوزه‌های sc-1 و sc-9 در دسته خطر متوسط قرار گرفتند. Leeonis et al. (2024) با هدف شناسایی چالش‌های استفاده از GIS در مدیریت سیلاب‌های ناگهانی در شاه عالم مالزی با استفاده از روش مدل چهارگانه پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که چالش‌های اصلی مربوط به مدیریت دولتی است، به‌ویژه در زمینه تأمین تجهیزات و دسترسی به GIS برای تمامی ذی‌نفعان، از جمله عموم مردم. Shawaqfah et al. (2024) به تحلیل پتانسیل سیلاب ناگهانی و ارزیابی شدت آن در وادی مجیب، اردن پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار بهینه عدد منحنی برای وادی مجیب در شرایط رطوبت عادی خاک برابر با ۷۸/۵ است. همچنین بر اساس تحلیل نمودار تجمعی FFPI، آستانه این شاخص در مقدار ۷ تعیین شد که نشان‌دهنده مناطقی با بالاترین پتانسیل وقوع سیلاب است و این نواحی ۱۳/۳۹ درصد از مساحت منطقه مطالعه را شامل می‌شوند. Parvin (2020) با استفاده از مدل‌های درجه خطر و MFFPI، به ارزیابی خطر سیلاب‌های ناگهانی در حوزه آبخیز قصر شیرین پرداخت. براساس نتایج مدل MFFPI، حدود ۶۰ درصد از مساحت در پهنه‌های با خطر زیاد و بسیار زیاد و ۲۰ درصد در پهنه‌های با خطر کم و بسیار کم سیلاب قرار دارد. Rezaei

سیلاب‌های ناگهانی یکی از خطرناک‌ترین پدیده‌های طبیعی در سطح جهان به شمار می‌روند. این سیلاب‌ها به دلیل وقوع سریع و غیرقابل پیش‌بینی بودن، اغلب سامانه‌های آمادگی و واکنش اضطراری را با چالش مواجه می‌کنند و می‌تواند خسارات جانی و مالی قابل‌توجهی به بار آورد به طوری که سالانه هزاران نفر را در سراسر جهان قربانی می‌کنند و خسارات جبران‌ناپذیری به زیرساخت‌ها، خصوصاً در مناطق کشاورزی و حاشیه رودخانه‌ها، وارد می‌کنند (Bashir and Alsaman, 2024; Pham et al., 2020). تغییرات اقلیمی به‌عنوان محرک اصلی، شدت و فراوانی سیلاب‌ها را به‌طور چشم‌گیری افزایش داده است. این پدیده طبیعی که امروزه بسیاری از مناطق جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد، علاوه بر تهدید مستقیم جان انسان‌ها، پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی گسترده‌ای به همراه دارد (Al Kuisi et al., 2024; Abd El-Sadek and Mansour, 2021). برای کاهش اثرات بلایای طبیعی ناشی از سیلاب و حفظ سیستم‌های زیست‌بوم در شرایط مختلف اقلیمی، نیاز به مدل‌های سیلابی با مقیاس مکانی و حوزه‌ای وجود دارد تا تغییرات پوشش زمین و سناریوهای روان‌آب بارندگی ارزیابی شوند (Elsebaie et al., 2023). از این‌رو تهیه نقشه مناطق مستعد سیل، همواره یکی از دغدغه‌های اصلی در مدیریت بحران بوده است. در این زمینه، روش‌های مختلفی از جمله تحلیل‌های مورفومتری و روش‌های مبتنی بر سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تحلیل‌های مورفومتری که عمدتاً بر بررسی ویژگی‌های شکل زمین مانند شیب، ارتفاع و شبکه زهکشی تمرکز دارند، به دلیل عدم در نظرگیری عوامل دینامیکی مانند بارندگی و پوشش گیاهی، جهت پیش‌بینی وقوع سیلاب با محدودیت مواجه هستند (Waqas et al., 2021). در مقابل، روش‌های RS و GIS با فراهم کردن داده‌های مکانی به‌روز از صحت قابل‌قبولی برخوردارند و امکان تحلیل‌های پیچیده و مدل‌سازی‌های پیشرفته را فراهم می‌آورند. این روش‌ها قادرند عوامل مختلف مؤثر بر وقوع سیلاب را به‌صورت همزمان در نظر بگیرند. مطالعات مدل‌سازی اخیر، روش‌های RS و GIS را به‌عنوان ابزاری قدرتمند و مناسب برای پهنه‌بندی نقشه مناطق حساس به خطرات سیلاب ناگهانی به رسمیت شناخته‌اند (Bisht et al., 2018; Yao et al., 2022; Yassin et al., 2023). با توجه به اهمیت مدل‌سازی هیدرولوژیکی در ارزیابی خطر سیلاب و برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران، استفاده از مدل‌های عددی به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای

¹ Modified Flash Flood Potential Index (MFFPI)

داده‌های مکانی، دقت، صحت و جامعیت تحلیل‌ها افزایش یافته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سامیان جزء مجموعه حوزه‌های رودخانه ارس بوده و مساحتی معادل ۴۲۰۰ کیلومتر مربع و در محدوده جغرافیایی بین ۴۷ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). قسمت‌های مرکزی حوزه از واحدهای اراضی دشت‌های دامنه‌ای تشکیل شده که بخشی از فعالیت‌های کشاورزی استان اردبیل در این قسمت متمرکز است. متوسط بارش سالانه و دمای حوزه سامیان نیز به ترتیب ۳۱۲ میلی‌متر و ۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Izadifard et al., 2023). با توجه به شکل ۱ ارتفاع بلندترین نقطه حوزه مورد مطالعه برابر با ۴۸۱۱ متر و پست‌ترین نقطه نیز ۱۲۴۱ متر از سطح دریا می‌باشد.

پژوهش حاضر بر پایه تحلیل داده‌های مختلف جغرافیایی و هیدروژئومورفولوژیکی به منظور ارزیابی خطر سیل‌گیری در حوزه آبخیز سامیان استوار است. داده‌های مورد استفاده شامل لایه‌های رقمی ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان نقشه‌برداری کشور، مدل رقمی ارتفاعی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استر، از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا دریافت شد. تصاویر ماهواره‌ای لندست OLI9، نقشه بافت خاک ۱:۲۵۰۰۰۰ ایران و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ می‌باشد. شاخص‌های هیدروژئومورفولوژی از جمله طول دامنه، توان آبراهه، رطوبت توپوگرافی، انحنا دامنه به‌منظور بررسی ویژگی‌های زمین‌شناختی و توپوگرافی در ارتباط با سیلاب‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همچنین از مدل MFFPI برای تحلیل خطر سیلاب ناگهانی در منطقه مورد استفاده قرار گرفته که در آن‌ها پارامترهایی چون شیب، تراکم جریان، بافت خاک و پوشش زمین نقش اساسی دارند. با توجه به نرمال نبودن توزیع داده‌ها و رتبه‌ای بودن آن‌ها از آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن برای ارزیابی میزان همبستگی بین پارامترها و لایه پتانسیل سیلاب ناگهانی استفاده شد. در این آزمون مقادیر نقاط تصادفی (۵۰۰ نقطه)، استخراج شده از لایه‌های پارامترهای شش‌گانه متغیر مستقل و لایه پتانسیل سیلاب ناگهانی متغیر وابسته در نظر گرفته شده است. در نهایت، به‌منظور بررسی ارتباط بین شاخص‌های هیدروژئومورفولوژی با سیلاب از نرم‌افزار SPSS 26 استفاده شد تا میزان اثرگذاری هر یک از این شاخص‌ها در ارتباط با سیلاب حوزه سامیان بیان شود. مقادیر ضریب همبستگی بیانگر شدت و جهت رابطه خطی بین متغیرهای مستقل (شاخص‌های هیدروژئومورفولوژی) و متغیر وابسته (مدل

Moghaddam et al. (2023) با استفاده از مدل MFFPI، پتانسیل وقوع سیلاب‌های ناگهانی در حوزه آبریز اوجان‌چای را ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مناطق کوهستانی با شیب زیاد، به دلیل محدودیت در تجمع آب، پتانسیل کم‌تری برای وقوع سیلاب دارند. در مقابل، مناطق هموار و اطراف بستر رودخانه اوجان‌چای به دلیل تمرکز جریان آب، در معرض خطر بسیار بالایی قرار دارند. Ghadbeygi et al. (2024) مدیریت ریسک سیلاب شهری را جهت حفاظت از زیست بوم‌ها در شهر اراک مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در بین معیارهای توپوگرافی عامل شیب با وزن ۰/۶۵ و در معیار تراکم عامل جمعیت با وزن ۰/۴۵ و در معیار هیدروژئولوژی عامل فاصله از شبکه رودخانه و آبراهه با وزن ۰/۷۰ اثر بیش‌تری نسبت به سایر زیر معیارها دارند. همچنین ۷۷۷ هکتار از مساحت شهر دارای پتانسیل ریسک بالای سیلاب قرار دارد. Afifi (2024) با هدف تهیه نقشه حساسیت سیلاب و احتمال وقوع آن در حوزه آبخیز رودخانه فیروزآباد انجام داد. نتایج ایشان نشان داد که لایه‌های NDVI (۲/۰۳)، بارندگی (۲)، فاصله از رودخانه (۱/۸۹)، SPI (۱/۳۸)، طبقات ارتفاعی (۰/۹۹)، لیتولوژی (۰/۴۷)، TWI (۰/۳۷)، کاربری اراضی (۰/۲۸)، و جهت شیب (۰/۸۴) به ترتیب دارای بیش‌ترین تا کم‌ترین تاثیر بر وقوع سیل می‌باشند. Abedini et al. (2024) پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوزه آبخیز شفارود در استان گیلان را با استفاده از مدل MFFPI انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی حوزه از پتانسیل خطر خیلی زیاد و زیاد برخوردار بود و در مقابل قسمت‌های مرکزی حوزه نیز از پتانسیل خطر متوسط و کم برخوردار بود. Rezaei Moghaddam and Rahimpour (2024) ارزیابی پتانسیل خطر وقوع سیلاب با استفاده از روش تحلیل آماری دو متغیره در حوزه آبریز آجی‌چای پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیش از ۳۰ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌های زیاد و خیلی زیاد از نظر خطر وقوع سیل قرار دارند. همچنین ارزیابی صحت و دقت مدل براساس منحنی عملیاتی دریافت‌کننده و سطح زیر منحنی نشان داد که صحت مدل از نظر داده‌های آموزشی با ضریب ۰/۸۹ از عملکرد خوبی برخوردار است. حوزه آبخیز سامیان در استان اردبیل به دلیل ویژگی‌های جغرافیایی خاص، تغییرات اقلیمی و دخالت‌های انسانی، یکی از مناطق حساس به وقوع سیلاب محسوب می‌شود. برای کاهش این خطر، ارزیابی و پهنه‌بندی پتانسیل وقوع سیلاب ضروری است. در این پژوهش، برخلاف مطالعات پیشین که بیش‌تر به ارزیابی‌های عمومی یا مدل‌های ساده‌تر پرداخته‌اند، از مدل توسعه‌یافته MFFPI برای تحلیل و پهنه‌بندی خطر وقوع سیل‌گیری استفاده شده است که با ترکیب شاخص‌های هیدروژئومورفولوژی و تلفیق

انحنای دامنه: انحنا دامنه گاه انحنای شیب حوزه زهکشی نیز نامیده می شود، تصویری واضح از فرایندهای فرسایش و رواناب در یک منطقه ارائه می دهد (Esfandiari Darabad et al., 2022). این شاخص عددی، با نشان دادن مورفولوژی توپوگرافی، نشان می دهد که سطح زمین در یک نقطه خاص مقعر رو به بالا (انحنای مثبت)، محدب رو به پایین (انحنای منفی) یا تقریباً صاف (انحنای صفر) است. به عبارت دیگر، انحنای دامنه، با ارائه اطلاعاتی در مورد شکل و جهت شیب زمین، نقش مهمی در درک رفتار آب و خاک در یک منطقه ایفا می کند (Rejith et al., 2019).

برای تخمین و ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی از شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده³، استفاده شد. این شاخص از طریق اندازه گیری میزان بازتاب در ناحیه های طیفی قرمز (RED) و مادون قرمز نزدیک (NIR) محاسبه شد و طبق رابطه 3، به دست آمد (Nikpour et al., 2019).

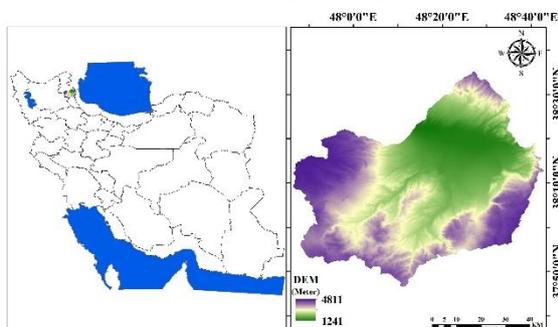
$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad (3)$$

در رابطه فوق R_{NIR} بازتابی از تابش مادون قرمز نزدیک و R_{RED} بازتابی از تابش قرمز مرئی است. از این رو با فراخوانی داده باند NDVI از ماهواره ترا (MODIS Sensor) با کد (MOD13A2.061) در محیط گوگل ارث انجین وضعیت پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه مشخص شد.

2-3- مدل MFFPI

شش پارامتر شیب، تراکم جریان، انحنای دامنه، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ و پوشش زمین/کاربری اراضی به عنوان شاخص های کلیدی برای ارزیابی پتانسیل سیلاب ناگهانی (MFFPI) در نظر گرفته شده است (Tincu et al., 2018). در این مدل، هر یک از پارامترها به پنج کلاس تقسیم بندی شده و به هر کلاس وزن مشخصی اختصاص داده شده است. بدین ترتیب، کلاس 1 کمترین و کلاس 5 بیشترین تأثیر را بر تجمع آب در سطح و در نتیجه وقوع سیلاب (جدول 1) ناگهانی دارند (Tincu et al., 2018). بنابراین پس از تهیه نقشه های اولیه، وزن هر یک از پارامترها در هر یک از زیرپارامترهای پنج گانه ضرب و امتیاز نهایی هر لایه در محیط GIS به کمک ابزار Raster Calculator محاسبه شد.

است. از این رو برخی محققان استفاده از ضریب همبستگی پیرسون را مجاز می دانند (Shogrkhodaei et al., 2023). از دیگر نرم افزارهای مورد استفاده در این پژوهش می توان به ArcGIS 10.7، ENVI 5.6، Google Earth، و Excel اشاره کرد که جهت تحلیل و پردازش داده ها استفاده شد.



شکل 1- موقعیت حوزه آبخیز سامیان در استان اردبیل و ایران
Figure 1- Location of Samian Watershed in Ardabil Province, Iran

2-2- شاخص های هیدروژئومورفولوژی

طول دامنه¹ فاصله عمودی بین بالاترین نقطه و خروجی یک واحد هیدروژئوژیک است که بر پاسخ هیدروژئوژیک حوزه آبخیز تأثیر می گذارد. دامنه های طولانی تر زمان تمرکز بیش تری دارند و می توانند شدت رواناب و خطر سیلاب را افزایش دهند. با این حال، عواملی مانند شیب، نفوذپذیری خاک و کاربری اراضی نیز نقش مهمی دارند. در این پژوهش، با استفاده از داده های شیب و تجمع جریان، لایه طول دامنه تولید شده است و با استفاده از رابطه (1) به دست می آید (Luca et al., 2011).

$$LSF = \left(fa \times \frac{\text{cell size}}{22.3} \right)^{0.4} (\sin \theta / 0.896)^{1.3} \quad (1)$$

در این رابطه LSF؛ فاکتور طول دامنه، fa؛ تجمع جریان می باشد

توان آبراهه² شاخصی برای سنجش انرژی رودخانه است که از شیب بستر و دبی جریان ناشی می شود و بر فرآیندهای هیدروژئوژیک مانند حمل رسوبات تأثیر می گذارد. در شرایط سیلابی، افزایش دبی توان آبراهه را بالا برده و خساراتی چون طغیان و آسیب به زیرساخت ها را در پی دارد (Bizzi and Lerner, 2015). این شاخص به صورت رابطه 2 می باشد.

$$SPI = A_s \tan B \quad (2)$$

³ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

¹ Length of Slope Factor (LSF)

² Stream Power Index (SPI)

جدول ۱- نحوه امتیازدهی پارامترهای مدل MFFPI (Tincu et al., 2018)

پارامتر	وزن پارامتر	طبقه	وزن هر طبقه	امتیاز نهایی
شیب (درجه)	3	10-60	1	3
		8-10	2	6
		6-8	3	9
		3-6	4	12
		0-3	5	15
تراکم جریان	2.5	1-0	1	2.5
		2-1	2	5
		3-2	3	7.5
		4-3	4	10
		5-4	5	12.5
انحناء دامنه	2	(-18) - (-49)	1	2
		(-9) - (-0.5)	2	4
		(-0.5) - (-0.5)	3	6
		-0.1-5.5	4	8
		1.23-5	5	10
بافت خاک	1	ماسه-رسی	1	1
		ماسه‌ای-لومی-رسی	2	2
		بافت‌های مختلف	3	3
		رسی	4	4
		رسی-سیلتی-مواد رس‌دار	5	5
نفوذپذیری سنگ	1	نهشته آبرفتی	1	1
		ماسه سنگ، کنگلومرا	2	2
		مارنی	3	3
		آهکی	4	4
		سنگ‌های آذرین	5	5
پوشش/کاربری زمین	0.5	جنگل	1	0.5
		مراعات متراکم و نیمه متراکم	2	1
		زمین زراعی	3	1.5
		مراعات کم تراکم	4	2
		سطوح آبی	5	2.5

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل عوامل مدل MFFPI

برای ارزیابی نقش شیب در وقوع سیلاب‌های ناگهانی در حوزه آبخیز سامیان، شیب منطقه به پنج کلاس تقسیم‌بندی شد. بنابراین با توجه به جدول (۱)، مناطق با شیب تند (۱۰ تا ۶۰ درجه) به دلیل افزایش سرعت رواناب و کاهش زمان تمرکز، کم‌ترین پتانسیل برای وقوع سیلاب را دارند. این مناطق به دلیل شرایط توپوگرافی، آب را به سرعت از خود عبور می‌دهند. در مقابل، مناطق با شیب ملایم (۰ تا ۳ درجه) به دلیل کاهش سرعت جریان و امکان تجمع آب، بیش‌ترین پتانسیل را برای وقوع سیلاب دارند. مناطق با شیب متوسط (۳ تا ۱۰ درجه) نیز بسته به میزان شیب، پتانسیل متفاوتی برای وقوع سیلاب دارند که در (شکل ۲، الف و ب) ارائه شده است. از این‌رو این موضوع با یافته‌های (Shahabi et al., 2021) که ارتباط بین شیب و رخداد سیلاب‌ها را بررسی کردند هم‌خوانی دارد. همچنین با پژوهش‌های (Rezaei Moghaddam et al., 2023; Parvin, 2019) نیز هم‌سو است.

لایه تجمع جریان نیز به پنج کلاس مختلف (جدول ۱) تقسیم‌بندی شدند. براساس این طبقه‌بندی، آبراهه‌های اصلی که حجم بیش‌تری از آب را در خود جای می‌دهند، بالاترین امتیاز (۵) را به خود اختصاص داده‌اند. در مقابل، آبراهه‌های فرعی و با اهمیت کم‌تر، کم‌ترین امتیاز (۱) را کسب کرده‌اند و با نتایج پژوهش (Parvin, 2019) که پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی را مورد بررسی قرار دادند مطابقت دارد (شکل ۲، پ و ت).

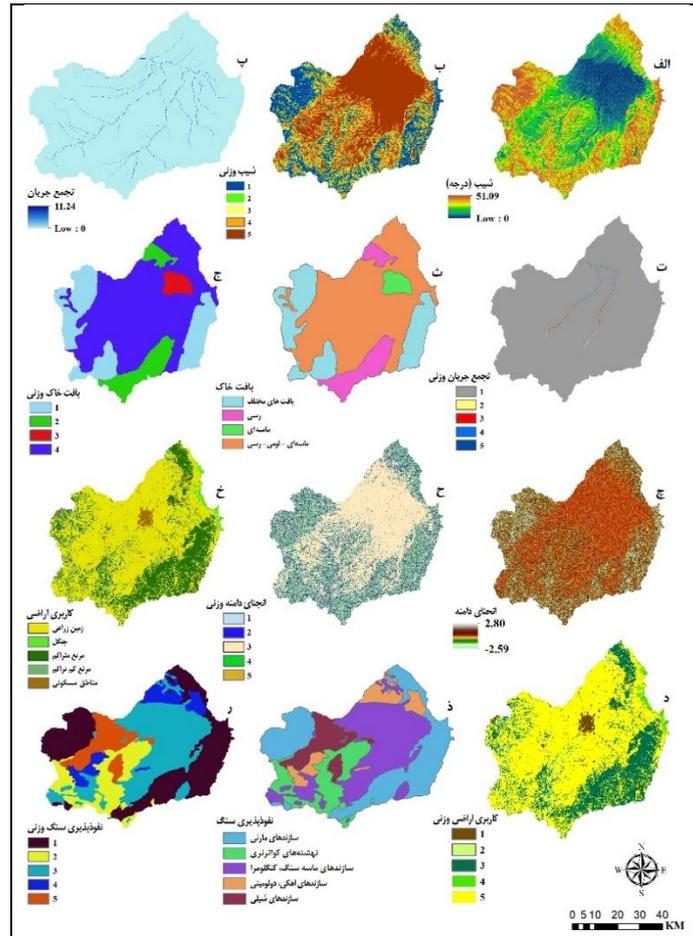
در حوزه آبخیز سامیان، با توجه به تنوع خاک‌ها از جمله خاک‌های قهوه‌ای و انواع رسی و لومی، ظرفیت نفوذپذیری خاک متفاوت است. این تفاوت در نفوذپذیری، مستقیماً بر میزان رواناب سطحی و در نتیجه احتمال وقوع سیلاب تأثیر می‌گذارد، به‌ویژه در بخش جنوبی. بنابراین پس از تهیه این لایه مطابق جدول (۱) امتیازدهی، هر یک از این طبقات در کلاس‌های ۱ تا ۴ قرار می‌گیرند. (شکل ۲، ث و ج). نتایج این موضوع با یافته‌های (Karimi Sangchini et al., 2024) که تأثیر سیلاب بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را در داوودرشد کوه‌دشت مورد بررسی قرار دادند و به این

نتیجه دست یافتند که پخش سیلاب می‌تواند بر میزان نفوذپذیری و در نتیجه بر رواناب سطحی تأثیرگذار باشد هم‌سو است. در حوزه آبخیز سامیان، تغییرات منفی و مثبت انحناء دامنه، به ترتیب نشان‌دهنده وجود دامنه‌های محدب و مقعر است. تحلیل داده‌های مدل رقمی ارتفاع نشان می‌دهد که دامنه تغییرات انحناء دامنه از ۲/۵۸- تا ۲/۸۱ متغیر است که بیانگر تنوع توپوگرافی و وجود همزمان مناطق مستعد سیلاب و مناطق با پتانسیل بالای آبخیزداری است (شکل ۲، چ و ح). به عبارتی دیگر نوع رواناب و میزان تولید آن در حوزه آبخیز سامیان به عوامل متعددی از جمله ویژگی‌های بافت خاک، شیب و انحناء دامنه، پوشش گیاهی و شدت بارش وابسته است. در خاک‌هایی با نفوذپذیری کم، مانند خاک‌های رسی، رواناب سطحی بیش‌تر تولید می‌شود، در حالی که خاک‌های لومی و قهوه‌ای با نفوذپذیری بالاتر، سهم کم‌تری در رواناب دارند. علاوه بر این، دامنه‌های محدب به دلیل هدایت آب به خطوط اصلی جریان، تولید رواناب را افزایش می‌دهند، در حالی که دامنه‌های مقعر به ذخیره‌سازی و نفوذ بیش‌تر آب کمک می‌کنند. در این پژوهش، کاربری اراضی حوزه آبخیز سامیان به پنج کلاس اصلی شامل زمین زراعی، جنگل، مرتع متراکم، مرتع کم تراکم و مناطق مسکونی تقسیم‌بندی شده است. مناطق مسکونی و اراضی زراعی به دلیل نفوذپذیری کم، بیش‌ترین پتانسیل را برای تولید رواناب و وقوع سیلاب دارند در مناطق مسکونی، سطوح غیرقابل نفوذ مانند آسفالت، بتن و ساختمان‌ها مانع از نفوذ آب به داخل خاک می‌شوند و در نتیجه آب باران به جای جذب شدن، به سرعت به صورت رواناب جاری می‌شود. در اراضی زراعی نیز، اگر خاک به دلیل شخم‌زدن‌های مکرر یا فشردگی ناشی از ماشین‌آلات کشاورزی، فشرده و کم‌نفوذ شود، توانایی جذب آب کاهش یافته و رواناب افزایش می‌یابد (شکل ۲، خ و د). هرچه نفوذپذیری سنگ‌ها بیش‌تر باشد، آب راحت‌تر وارد زمین می‌شود و در نتیجه رواناب سطحی و خطر سیل کاهش می‌یابد (Rezaei Moghaddam et al., 2023). حوزه آبخیز سامیان، واقع در بخش غربی سیستم البرز و در منطقه بلندی‌های تالش بغروداغ، از تنوع لیتولوژیکی بالایی برخوردار است. با توجه به این تنوع، نقشه نفوذپذیری سنگ‌ها در این منطقه به پنج کلاس تقسیم‌بندی شده است (جدول ۱). همان‌طور که در (شکل ۲، ذ و ر) نشان داده شده است، نفوذپذیری سنگ‌ها در نقاط مختلف متفاوت است. این تفاوت در نفوذپذیری، نقش مهمی در رفتار هیدرولوژیکی حوزه آبخیز سامیان، از جمله

میزان رواناب، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و احتمال وقوع سیلاب، ایفا می‌کند.

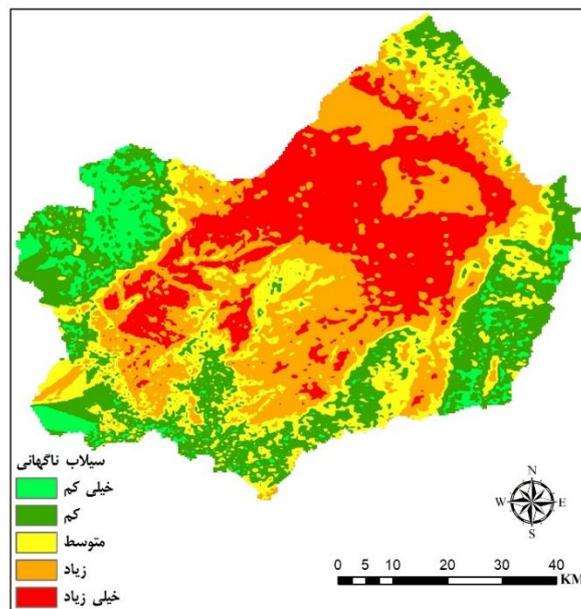
۲-۳- پهنه‌بندی نهایی سیلاب ناگهانی

با توجه به پهنه‌بندی حوزه آبخیز سامیان در پنج پهنه با پتانسیل خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در مناطق با شیب تند، آب باران به سرعت جریان یافته و زمان کمی برای نفوذ به خاک دارد، که منجر به افزایش رواناب و خطر سیل‌گیری می‌شود. در مقابل، مناطق با شیب کم به آب فرصت بیش‌تری برای نفوذ به خاک می‌دهد، رواناب سطحی را کاهش داده و خطر سیل‌گیری را کم می‌کنند. بنابراین، شیب کم برای کنترل سیل‌گیری مطلوب است، در حالی که شیب زیاد (تند) خطر سیل‌گیری را افزایش می‌دهد. این تفاوت به دلیل تأثیر شیب بر سرعت جریان آب و نفوذپذیری خاک است. پوشش گیاهی با کاهش انرژی برخورد قطرات باران، جذب بخشی از نزولات جوی و کاهش سرعت رواناب، نقش مهمی در کنترل جریان سطحی و کاهش خطر وقوع سیلاب ایفا می‌نماید. هم‌چنین، خاک‌های عمیق و نفوذپذیر امکان نفوذ آب را به درون زمین تسهیل کرده و از حجم رواناب سطحی کاسته و شرایط بهتری برای مدیریت منابع آب در سطح حوزه فراهم می‌آورند. مطابق نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب، نواحی با خطر بسیار زیاد و زیاد عمدتاً در قسمت‌های مرکزی و شرقی قرار داشته و ویژگی‌هایی نظیر شیب‌های کم و سطح هموار، خاک‌های کم‌نفوذپذیر و پوشش گیاهی ضعیف در این مناطق مشاهده می‌شود. این مناطق به دلیل افزایش حجم رواناب سطحی در هنگام رخداد بارندگی‌های شدید، مستعد وقوع سیلاب ناگهانی بوده و بیش‌ترین تهدیدات مرتبط با این پدیده را تجربه می‌کنند. در مقابل، بخش‌های غربی و جنوبی حوزه که در طبقات کم‌خطر قرار دارند، با داشتن شیب‌های ملایم‌تر، پوشش گیاهی متراکم‌تر و خاک‌های نفوذپذیرتر، امکان کاهش شدت رواناب را فراهم آورده و نقش مهمی در کنترل سیلاب ایفا می‌نمایند. نتایج این پژوهش هم‌سو با یافته‌هایی است که سایر پژوهشگران از قبیل (Lee and Kim, 2019; Parvin, 2014, Llasat et al., 2019) به آن دست یافتند. در شکل (۳) نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب ناگهانی براساس مدل MFFPI و جدول (۲) مساحت و درصد هریک از این پهنه‌ها ارائه شده است.



شکل ۲- لایه‌های مدل MFFPI، (الف) شیب، (ب) شیب وزنی، (پ) تجمع جریان، (ت) تجمع جریان وزنی، (ث) بافت خاک، (ج) بافت خاک وزنی، (چ) انحنا، دامنه، (ح) انحنا دامنه وزنی، (خ) کاربری اراضی، (د) کاربری اراضی وزنی، (ذ) نفوذپذیری سنگ، (ر) نفوذپذیری سنگ وزنی

Figure 2- Layers of the MFFPI model: (a) Slope, (b) Weighted Slope, (c) Flow Accumulation, (d) Weighted Flow Accumulation, (e) Soil Texture, (f) Weighted Soil Texture, (g) Slope Curvature, (h) Weighted Slope Curvature, (i) Land Use, (j) Weighted Land Use, (k) Rock Permeability, (l) Weighted Rock Permeability



شکل ۳- نقشه نهایی سیلاب ناگهانی حوزه آبخیز سامیان

Figure 3- Final Flash Flood Map of the Samian Watershed

جدول ۲- مساحت و درصد پهنه های سیلابی در حوزه آبخیز سامیان

Table 3- Area and Percentage of Flood-Prone Zones in the Samian Watershed

پهنه سیلاب	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
خیلی کم	314.27	7.48
کم	925.57	22.03
متوسط	752.13	17.90
زیاد	1251	29.78
خیلی زیاد	957.03	22.78

همبستگی منفی بین سیلاب ناگهانی و شیب منطقه نشان داد که در شیب های تندتر، به دلیل افزایش سرعت جریان و کاهش زمان تمرکز، احتمال وقوع سیلاب های با شدت کم تر وجود دارد. این یافته با اصول هیدرولوژی مطابقت دارد و نشان داد که شیب یکی از عوامل مهم در کنترل پاسخ هیدرولوژیکی است. همبستگی مثبت بین سیلاب ناگهانی و کاربری اراضی نیز قابل تامل است. این همبستگی نشان داد که تغییر کاربری اراضی از پوشش گیاهی طبیعی به کاربری های دیگری مانند کشاورزی یا مناطق مسکونی، با کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش رواناب سطحی همراه است و در نتیجه احتمال وقوع سیلاب را افزایش می دهد. این یافته به ویژه در مورد مناطقی که پوشش گیاهی طبیعی آن ها به دلیل عوامل مختلف از بین رفته است، اهمیت بیش تری دارد.

۳-۳- تحلیل تاثیر عوامل شش گانه در پتانسیل سیلاب ناگهانی (MFFPI)

نتایج تحلیل همبستگی غیرپارامتری ارائه شده، تصویر روشنی از روابط پیچیده بین متغیرهای هیدرولوژیکی و فیزیوگرافی حوزه آبخیز سامیان به دست می دهد. این روابط، که با استفاده از ضریب همبستگی اسپیرمن محاسبه شده اند، به درک بهتر از مکانیسم های کنترل کننده وقوع سیلاب های ناگهانی کمک می کند. با توجه به نتایج (جدول ۳) همبستگی مثبت معنی دار بین سیلاب ناگهانی (MFFPI) و نوع بافت خاک نشان داد که خاک های با بافت سبک تر، مانند خاک های شنی، به دلیل ظرفیت نگهداشت پایین و زهکشی سریع، آب بارندگی را به جای ذخیره سازی، به سرعت از خود عبور داده و موجب افزایش رواناب سطحی و احتمال وقوع سیلاب های ناگهانی می شوند. از سوی دیگر،

جدول ۳- نتایج آماری بین عوامل مدل MFFPI با سیلاب ناگهانی حوزه آبخیز سامیان

Table 3- Statistical Results between MFFPI Model Factors and Flash Floods in the Samian Watershed

MFFPI	کاربری اراضی	نفوذپذیری سنگ	بافت خاک	انحناء دامنه	تجمع جریان	شیب
	-0.2	-0.17**	0.70**	-0.05	0.02	0.78**
	* اطمینان در سطح ۹۵ درصد	** اطمینان در سطح ۹۹ درصد				

رطوبت توپوگرافی نشان دهنده تأثیرات چندگانه زمین در فرآیندهای رواناب اضافی اشباع است و با مرتب سازی مواد رسوب معلق مرتبط است. نتایج حاصله حاکی از آن است که توزیع فضایی شاخص رطوبت توپوگرافی در حوزه سامیان به شدت تحت تأثیر عوارض زمین شناسی است. مناطقی که دارای شاخص رطوبت توپوگرافی بالایی (۳/۴۸) هستند، معمولاً در بخش های میانی حوزه با شیب کم و سطح هموار قرار دارند. در این مناطق، آب باران به دلیل شیب کم، مدت زمان بیش تری روی سطح زمین باقی مانده و نفوذ کم تری به درون خاک دارد. در نتیجه، احتمال وقوع رواناب سطحی و سیلاب در این مناطق بسیار بیش تر است. برعکس، مناطقی که دارای شاخص رطوبت توپوگرافی پایینی (۷/۷۴-) هستند، اغلب در قسمت های شیب دار و ناپایدار حوزه واقع شده اند. در این مناطق، آب باران به سرعت روی سطح خاک حرکت کرده و از طریق جریان های سطحی از حوزه خارج می شود (شکل ۴، ب).

۳-۴- تحلیل شاخص های مورد استفاده

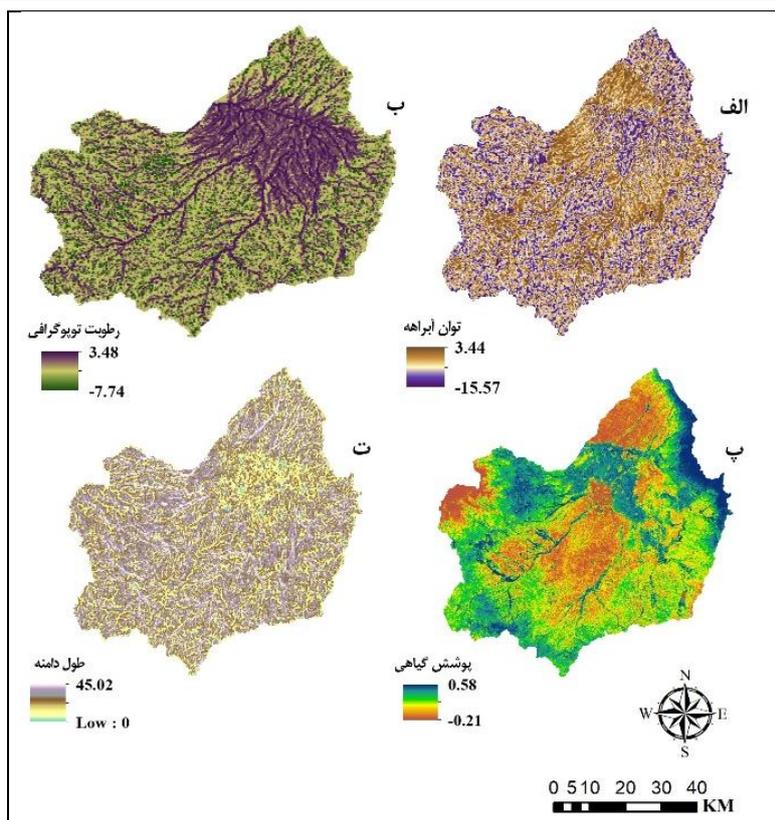
نتایج حاصل از محاسبه شاخص توان آبراهه (دامنه بین ۳/۴۵ تا ۱۵/۵۷-) در حوزه سامیان نشان داد که توزیع مکانی این شاخص به شدت تحت تأثیر عوارض توپوگرافی است. مناطقی که دارای شاخص توان آبراهه بالایی هستند، معمولاً در بخش هایی با شیب زیاد و تمرکز جریان آب قرار دارند. در این مناطق، آب باران با سرعت بیش تری روی سطح زمین حرکت کرده و توانایی بالایی برای حمل رسوب و ایجاد فرسایش دارد. در نتیجه، احتمال وقوع سیلاب و جریان های گل آلود در این مناطق بسیار بیش تر است. برعکس، مناطقی که دارای شاخص توان آبراهه پایینی هستند، اغلب در بخش های هموار و با شیب کم واقع شده اند. در این مناطق، به دلیل سرعت پایین تر جریان آب، احتمال وقوع رواناب و سیلاب های سطحی کاهش می یابد، چرا که آب به راحتی نفوذ می کند و توانایی حمل رسوب کم تر است (شکل ۴، الف). شاخص

ترکیب نتایج حاصل از شاخص NDVI و شاخص توپوگرافی، می‌توان به درک بهتری از عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب در حوزه سامیان دست یافت. مناطقی که هم طول دامنه بالایی دارند و هم پوشش گیاهی ضعیفی دارند، در معرض خطر بسیار بالایی از وقوع سیلاب قرار دارند. در این مناطق، آب باران به دلیل شیب تند و عدم وجود پوشش گیاهی، به سرعت روی سطح خاک حرکت کرده و باعث ایجاد رواناب‌های شدید می‌شود. در مقابل، مناطقی که هم طول دامنه کمی دارند و هم پوشش گیاهی انبوهی دارند، کم‌ترین خطر وقوع سیلاب را دارند. در این مناطق، آب باران توسط پوشش گیاهی جذب‌شده و یا به آرامی به درون خاک نفوذ می‌کند و در نتیجه، رواناب سطحی به حداقل می‌رسد. نتایج تحلیل شاخص‌های مورد استفاده با یافته پژوهش‌های (Esfandiyari, Darabad et al., 2022; Abedini and Pasban, 2024; Ebadi et al., 2024) هم‌سو است.

۳-۵- ارتباط میان شاخص‌های استخراج‌شده با مقادیر سیلاب ناگهانی حوزه آبخیز سامیان

تحلیل نتایج هم‌بستگی پیرسون برای حوزه آبخیز سامیان در استان اردبیل نشان داد که متغیر SPI با ضریب هم‌بستگی ($r = 0.64$) بیش‌ترین ارتباط مثبت و معنادار را با شاخص MFFPI دارد. این یافته با توجه به نقش SPI در نمایش شدت بارش‌ها و تأثیر آن بر وقوع سیلاب منطقی است؛ زیرا بارش‌های شدید، به‌ویژه در مناطقی با زیرساخت‌های نامناسب زهکشی، می‌توانند به‌طور مستقیم باعث افزایش شدت سیلاب‌های ناگهانی شوند. متغیر TWI ($r = 0.40$) نیز رابطه‌ای مثبت و معنادار در سطح 0.01 نشان داد. رطوبت توپوگرافی که بیانگر پتانسیل تجمع آب در سطح زمین است، احتمالاً نقش متوسطی در فرآیندهای هیدرولوژیکی و تغذیه جریان‌های سطحی دارد، اما قدرت آن برای توضیح نوسانات MFFPI محدود است. در مقابل، NDVI ($r = -0.05$) و LSF ($r = 0.03$) روابط ضعیف و غیرمعناداری با MFFPI دارند. رابطه منفی NDVI ممکن است به دلیل کاهش پوشش گیاهی در مناطقی با شیب بالا یا زمین‌های مستعد فرسایش باشد، که می‌تواند نفوذپذیری را کاهش و رواناب سطحی را افزایش دهد، اما این رابطه به تنهایی معنادار نیست. به‌طور کلی، نتایج حاکی از آن است که SPI شاخص اصلی در توضیح MFFPI است، درحالی‌که سایر متغیرها ممکن است اثرات غیرمستقیم یا وابسته‌ای داشته باشند. در جدول (۴) هم‌بستگی شاخص‌های مورد مطالعه با میزان سیلاب ناگهانی در حوزه آبخیز سامیان ارائه شده است.

با مقایسه نتایج حاصل از شاخص توان آبراهه با شاخص رطوبت توپوگرافی، می‌توان به درک بهتری از پتانسیل سیلاب در حوزه سامیان دست یافت. مناطقی که هم دارای شاخص توان آبراهه بالا و هم شاخص رطوبت توپوگرافی بالا هستند، به‌عنوان مناطق با خطر بسیار بالای سیلاب شناسایی می‌شوند. در این مناطق، هم پتانسیل تولید رواناب بالا بوده و هم توانایی جریان آب برای حمل رسوب و ایجاد فرسایش زیاد است. در مقابل، مناطقی که دارای شاخص توان آبراهه و رطوبت توپوگرافی پایین هستند، کم‌ترین پتانسیل وقوع سیلاب را دارند. در این پژوهش شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده به‌عنوان اندازه‌گیری میزان و تراکم پوشش گیاهی در نظر گرفته شد. تصویر شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده برای سال ۱۴۰۲ از داده‌های ماهواره لندست ۹ به‌دست آمد. از این رو مقادیر شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده در حوضه آبخیز سامیان در دامنه بین -0.21 تا 0.58 می‌باشد. نتایج نشان داد که مناطق با NDVI بالا، یعنی مناطقی که پوشش گیاهی انبوه و سالم‌تری دارند، ظرفیت بیشتری برای جذب آب باران و کاهش رواناب سطحی دارند (قسمت‌های شمالی و شمال شرقی). در مقابل، مناطق با NDVI پایین، که معمولاً پوشش گیاهی ضعیف یا بسیار کمی دارند، نفوذپذیری خاک در آن‌ها کاهش یافته (قسمت‌های مرکزی و بخش‌های از شمال غربی)، و احتمال وقوع رواناب سطحی و سیلاب افزایش می‌یابد. این یافته‌ها نشان می‌دهند که پوشش گیاهی به‌عنوان یک عامل کلیدی در کنترل سیلاب عمل می‌کند. همچنین، تغییرات در پوشش گیاهی ناشی از عوامل مختلف مانند تغییر کاربری اراضی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی و تغییرات اقلیمی می‌تواند به‌طور مستقیم بر پتانسیل سیلاب در حوزه تأثیرگذار باشد. نتایج نشان داد که این دو عامل به‌طور مشترک و پیچیده‌ای بر پتانسیل سیلاب در حوزه تأثیر می‌گذارند (شکل ۴، پ). همان‌طور که در شکل (۴، ت) مشاهده شد، شاخص توپوگرافی در حوزه آبخیز سامیان دارای توزیع فضایی متغیری (در دامنه بین ۰ تا $45/02$) است. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که طول دامنه به‌عنوان یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر رواناب سطحی، با پتانسیل سیلاب نیز ارتباط مستقیم دارد. در حوزه سامیان، مناطقی که طول دامنه بالایی دارند، معمولاً در قسمت‌های بالادست حوزه واقع شده‌اند و به دلیل شیب تند و ناهمواری زیاد، آب باران به سرعت روی سطح خاک حرکت کرده و رواناب سطحی را افزایش می‌دهد. این امر به‌ویژه در شرایط بارندگی‌های شدید، احتمال وقوع سیلاب را به شدت افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، با



شکل ۴- شاخص های هیدروژئومورفولوژی، الف) توان آبراهه، ب) رطوبت توپوگرافی، پ) پوشش گیاهی، ت) طول دامنه
Figure 4 - Hydrogeomorphological indices: a) Stream power, b) Topographic wetness, c) Vegetation cover, d) Slope length

جدول ۴- همبستگی مقادیر شاخص های مورد مطالعه با میزان سیلاب ناگهانی در حوزه آبخیز سامیان

Table 4- Correlation of the Studied Index Values with Flash Floods in the Samian Watershed

	TWI	SPI	NDVI	LSF
MFFPI	0.40*	0.64**	-0.52	0.36
	* اطمینان در سطح ۹۵ درصد		** اطمینان در سطح ۹۹ درصد	

۴- نتیجه گیری

پژوهش حاضر بر اهمیت شاخص های هیدروژئومورفولوژیکی در تحلیل و پهنه بندی خطر وقوع سیلاب های ناگهانی در حوزه آبخیز سامیان تأکید دارد. مدل توسعه یافته MFFPI که شامل پارامترهایی همچون: تراکم جریان، کاربری اراضی، نفوذپذیری سنگ، شیب، انحنای دامنه، و نوع بافت خاک است، ابزاری کارآمد برای ارزیابی خطر سیلاب در مناطق مستعد محسوب می شود. این مدل با ترکیب این عوامل کلیدی می تواند تحلیل دقیقی از توزیع مکانی خطر سیلاب ارائه دهد و نقش هر یک از این پارامترها را در افزایش یا کاهش خطر سیلاب مشخص کند. بنابراین با توجه به شش عامل مدل MFFPI نقشه سیلاب ناگهانی حوزه مورد مطالعه در ۵ کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد استخراج و تهیه شد. نتایج حاصل از نقشه سیلاب ناگهانی نشان داد که مناطقی با شیب ملایم، پوشش گیاهی ضعیف، خاک های نفوذناپذیر و کاربری های اراضی نامناسب بیشترین پتانسیل وقوع سیلاب را دارند.

این مناطق به دلیل کاهش ظرفیت نفوذپذیری خاک، افزایش سرعت رواناب، و کاهش قابلیت ذخیره سازی آب در خاک، در زمان بارش های شدید بیش تر مستعد سیلاب هستند. از سوی دیگر، مناطقی با پوشش گیاهی انبوه، خاک های نفوذپذیر و شیب متوسط تا کم، خطر کمتری در وقوع سیلاب دارند. پوشش گیاهی نقش مهمی در کاهش شدت سیلاب ایفا می کند؛ زیرا می تواند بخشی از بارش را جذب کرده و با کاهش سرعت رواناب، به نفوذ آب به درون خاک کمک کند. مدل MFFPI با ترکیب شاخص های نظیر شیب، تراکم جریان، نفوذپذیری خاک، و کاربری اراضی، توانست پهنه بندی بهتری از مناطق پرخطر ارائه دهد. به ویژه، مناطق هموار با تراکم بالای رواناب سطحی به عنوان نقاط بحرانی شناسایی شدند. تحلیل نقشه های پهنه بندی نشان داد که مناطق مسکونی و کشاورزی، به دلیل تغییرات گسترده در کاربری اراضی و افزایش سطوح نفوذناپذیر، بیشترین خطر وقوع سیلاب را دارند. به همین دلیل، اقدامات مدیریتی مانند توسعه زیرساخت های زهکشی،

سپاسگزاری

پژوهش حاضر مستخرج از طرح پژوهشی نوع یکم به شماره قرارداد ۱۴۰۳/د/۹/۲۱۵۰۴ که با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شده است صورت گرفته است. بدین سبب بابت حمایت‌های صورت گرفته تقدیر و تشکر می‌کنیم.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

موسی عابدینی: راهنمایی، کنترل نتایج، ویرایش و بازبینی متن مقاله.

امیرحسام پاسبان: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری و آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله.

منابع:

- اسفندیاری‌درآباد، فریبا، مصطفی‌زاده، رئوف، پاسبان، امیرحسام، و نظافت تکل، بهروز (۱۴۰۱). تلفیق شاخص‌های زمینی و پوشش گیاهی برای برآورد و شناسایی خطر فرسایش خاک در حوزه آبخیز عموقین اردبیل. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۹(۱)، ۷۷-۹۶. doi: 20.1001.1.22519424.1397.7.3.6.4
- ایزدی‌فرد، هادی، رائی نظامی، سعید، مصطفی‌زاده، رئوف، و خاوریان، حسن (۱۴۰۲). ارتباط تغییر ضریب رواناب سطحی با تغییر کاربری/پوشش اراضی حوزه سامیان استان اردبیل. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۵۱(۱۴)، ۲۴-۴۱. doi:10.22034/jargs.2023.373960.0
- پروین، منصور (۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی براساس مدل MFFPI (مطالعه موردی: حوزه اسلام‌آباد غرب). *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۶(۲)، ۱۶۹-۱۸۴. doi:10.22059/jhsci.2019.283544.480
- پروین، منصور (۱۳۹۹). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های ناگهانی براساس عوامل فیزیوگرافی و شاخص‌های مورفومتریک. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۱(۲)، ۹۹-۱۴۴. doi:10.22108/gep.2020.119766.1221
- رضایی‌مقدم، محمدحسین، و رحیم‌پور، توحید (۱۴۰۳). ارزیابی پتانسیل خطر وقوع سیلاب با استفاده از روش تحلیل آماری دو متغیره (مطالعه موردی: حوزه آبریز آجی‌چای). *پژوهش‌های*

بهبود پوشش گیاهی، و تغییر کاربری‌های نامناسب باید در اولویت قرار گیرند. از طرفی تأثیر انحنای دامنه بر توزیع جریان و تجمع آب در حوزه آبخیز سامیان بود. مناطقی با انحنای مثبت (محدب) به دلیل پراکندگی جریان، احتمال کمتری برای وقوع سیلاب دارند، درحالی‌که انحنای منفی (مقعر) با تمرکز جریان و افزایش عمق رواناب مرتبط است. این موضوع نشان می‌دهد که ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی می‌توانند نقش مهمی در مدیریت و کنترل سیلاب ایفا کنند در گام بعد عوامل مدل MFFPI با سیلاب ناگهانی مورد آزمون آماری (همبستگی اسپیرمن) قرار گرفتند. نتایج نشان‌دهنده تأثیر زیاد عامل‌های شیب و بافت خاک با سطح معنی‌داری مثبت (۰/۷۸ درصد) و (۰/۷۰ درصد) قرار دارند. در وهله بعد پس از تهیه نقشه‌های شاخص‌های مورد مطالعه، این شاخص‌ها با سیلاب ناگهانی حوزه مورد آزمون آماری پیرسون قرار گرفتند تا میزان تأثیرگذاری این شاخص‌ها با سیلاب منطقه نیز مشخص گردد. یافته‌ها نشان داد که SPI به‌عنوان تأثیرگذارترین شاخص، با ضریب همبستگی مثبت و معنادار ($r = 0.64$) نقش اصلی را در افزایش شدت سیلاب‌های ناگهانی ایفا می‌کند. زیرا SPI شدت و توزیع بارش‌ها را بازتاب می‌دهد و بارش‌های شدید، به‌ویژه در مناطقی با زیرساخت‌های ناکارآمد زهکشی، باعث افزایش رواناب سطحی و وقوع سیلاب می‌شوند. شاخص TWI نیز با ضریب همبستگی مثبت ($r = 0.40$) نشان‌دهنده ظرفیت تجمع آب در مناطق کم‌شیب است و در تغذیه جریان‌های سطحی و افزایش خطر سیلاب نقش دارد. این در حالی است که شاخص‌های NDVI و LSF به ترتیب با ضرایب همبستگی ($r = -0.05$) و ($r = 0.03$) تأثیر معناداری بر MFFPI نشان ندادند. کاهش NDVI ممکن است به دلیل تخریب پوشش گیاهی در مناطق پرشیب باشد، که منجر به کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش رواناب سطحی می‌شود، اما این اثر به‌تئهایی نمی‌تواند تغییرات MFFPI را به‌طور دقیق توضیح دهد. با استفاده از شاخص‌هایی نظیر توان آبراهه و رطوبت توپوگرافی، مناطق مستعد سیلاب شناسایی شدند SPI بالاتر در مناطق پرشیب و با تمرکز جریان بالا مشاهده شد، درحالی‌که شاخص TWI برای مناطقی با شیب کم‌تر و سطح هموار مناسب‌تر بود. این شاخص‌ها به‌طور مشترک به درک بهتری از رفتار رواناب و توزیع سیلاب در حوزه کمک کردند. به‌طور کلی، این پژوهش اهمیت استفاده از مدل‌های عددی پیشرفته مانند MFFPI را در مدیریت خطر سیلاب و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای تأکید می‌کند. دقت و صحت مدل‌سازی با بهره‌گیری از داده‌های به‌روز سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور می‌تواند به شناسایی مناطق پرخطر و کاهش خسارات انسانی و اقتصادی ناشی از سیلاب کمک کند. در نهایت، توصیه می‌شود که برنامه‌های مدیریتی با تمرکز بر بازبانی پوشش گیاهی، تقویت زیرساخت‌های زهکشی، و توسعه سیستم‌های هشدار سریع طراحی شوند تا از وقوع خسارات ناشی از سیلاب‌های ناگهانی جلوگیری شود.

References

- رئوسمورفولوژی کمی، ۱۲(۴)، ۹۱-۱۰۷. doi:10.22034/gmpj.2024.429929.1473
- رضایی‌مقدم، محمدحسین، کرمی، فریبا، و ابادزی، کلثوم (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی در حوزه آبریز اوجان‌چای با استفاده از مدل MFFFPI. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۰(۳۶)، ۱۴۱-۱۵۷. doi:10.22034/hyd.2023.57462.1701
- شگرخدايي، سیده زینب، فتح‌نیا، امان‌اله، و هاشمی دره‌آبادی، سیروس (۱۴۰۲). بررسی ارتباط آلاینده‌های هوا با شاخص‌های سنجش از دور (NDVI و NDBI، LST، ATI) در شهر تهران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۲(۳)، ۱۲۳-۱۴۴. doi:10.22067/geoh.2023.79729.1305
- عابدینی، موسی، بابایی اولم، طیبه، و پاسبان، امیرحسام (۱۴۰۳). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل MFFFPI (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سفارود، استان گیلان). *جغرافیا و روابط انسانی*، ۷(۱)، ۸۲۱-۸۷۱. doi:10.22034/gahr.2024.466493.2198
- عابدینی، موسی، و پاسبان، امیرحسام (۱۴۰۳). تجزیه و تحلیل و پهنه‌بندی میزان فرسایش خاک و ارتباط آن با شاخص‌های هیدروژئومورفیک و پوشش گیاهی، مطالعه موردی: حوزه آبریز خیاوچای، مشکین‌شهر. *هیدروژئومورفولوژی*، ۳۸(۱۱)، ۴۰-۵۹. doi:10.22034/hyd.2023.58528.1708
- عبادی، الهامه، اسفندیاری‌درآباد، فریبا، اصغری، صیاد، و مصطفی‌زاده، رئوف (۱۴۰۳). ارزیابی پتانسیل فرسایش خاک در سطح حوزه آبریز فیروزآبادچای با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک و منطق فازی. *جغرافیا و روابط انسانی*، ۷(۱)، ۱۷۸-۱۸۵. doi:10.22034/GAHR.2024.430119.2005
- عفیفی، محمدابراهیم (۱۴۰۳). تهیه نقشه حساسیت سیلاب و احتمال وقوع آن با استفاده از مدل آنتروپی شانون (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه فیروزآباد). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۷۵(۲۴)، ۳۷۸-۳۹۱. doi:10.61186/jgs.24.75.2
- قدیگی، محمود، مظاهری، حمید، شفیعی، هما، و مردیان، مهدی (۱۴۰۲). مدیریت ریسک سیلاب شهری، راهکاری بر حفاظت از زیست بومها (مطالعه موردی: شهر اراک). *پژوهش‌های زیست‌قوم‌شناختی و حفاظت*، ۱(۲)، ۳۸-۵۰. doi:10.22091/ethc.2024.10558.1018
- کریمی‌سنگ‌چینی، ابراهیم، یوسفی‌میرهن، ابراهیم، ویس‌کرمی، ایرج، و ویس‌کرمی، فیروزه (۱۴۰۳). بررسی اثر پخش سیلاب بر نفوذپذیری خاک (مطالعه موردی: پخش سیلاب داوودرشد کوه‌دشت). *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۶۶(۱۸)، ۴۹-۵۸. http://jwmsei.ir/article-1-1163-fa.html
- نیک‌پور، نورالله، نگارش، حسین، فتوحی، صمد، حسینی، سید زین‌العابدین، و بهرامی، شهرام (۱۳۹۷). پایش روند تغییرات شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تخریب سرزمین (در استان ایلام). *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۵(۴)، ۲۱-۴۸. doi:10.29252/jsaeh.5.4.21
- Abd El-Sadek, M.S., & Mansour, A.M. (2021). Risk assessment and management of vulnerable areas to flash flood hazards in arid regions using remote sensing and GIS-based knowledge-driven techniques. *Natural Hazards*, 117(3), 1-27. doi:10.1007/s11069-023-05942-x
- Abdel-Fattah, M., Saber, M., Kantoush, S.A., Khalil, M.F., Sumi, T., & Sefelnasr, A.M. (2017). A Hydrological and Geomorphometric Approach to Understanding the Generation of Wadi Flash Floods. *Water*, 9(7), 553. doi:10.3390/w9070553
- Abedini, M., & Pasban, A.H. (2024). Analysis and zoning of soil erosion rate and its relationship with hydrogeomorphic indicators and vegetation (case study: Khiavchai watershed, MeshkinShahr). *Hydrogeomorphology*, 38(11), 59-40 [In Persian]. doi:10.22034/hyd.2023.58528.1708
- Abedini, M., Babaee Olam, T., & Pasban, A.H. (2024). Flood risk assessment and zoning using MFFFPI model (case study: Shafarood watershed, Gilan province). *Geography and Human Relationships*, 7(1), 871-821 [In Persian]. doi:10.22034/gahr.2024.466493.2198
- Affifi, M.E. (2024). Preparation of flood susceptibility map and its occurrence probability using Shannon entropy model (case study of Firoozabad river basin). *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 75(24), 378-391 [In Persian]. doi:10.61186/jgs.24.75.2
- Al Kuisi, M., Al Azzam, N., Hyarat, T., & Farhan, I. (2024). Flood hazard and risk assessment of flash floods for Petra catchment area using hydrological and analytical hierarchy (AHP) modeling. *Water*, 16(16), 2283. doi:10.3390/w16152283
- Bashir, B., & Alsalman, A. (2024). Morphometric characterization and dual analysis for flash flood hazard assessment of wadi Al-Lith Watershed, Saudi Arabia. *Water*, 16(22), 3333. doi:10.3390/w16223333
- Bisht, S., Chaudhry, S., Sharma, S., & Soni, S. (2018). Assessment of flash flood vulnerability zonation through geospatial technique in high Altitude Himalayan Watershed. Himachal Pradesh India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 35-47. doi:10.1016/j.rsase.2018.09.001
- Bizzi, S., & Lerner, D.N. (2015). The use of stream power as an indicator of channel sensitivity to erosion and deposition processes. *River Research and Applications*, 31, 16-27. doi:10.1002/rra.2717
- Ebadi, E., Esfandyari, F., Asgari, S., & Mostafazadeh, R. (2024). Evaluation of Soil Erosion Potential in the Firouzabadchay Catchment Area using Geomorphic Indicators and Fuzzy Logic.

- Geography and Human Relationships*, 7(1), 178-185 [In Persian]. doi:10.22034/gahr.2024.430119.2005
- Elsebaie, I.H., Kawara, A.Q., & Alnahit, A.O. (2023). Mapping and assessment of flood risk in the Wadi Al-Lith Basin, Saudi Arabia. *Water*, 15(5), 902. doi: 10.3390/w15050902
- Esfandiari Darabad, F., Mostafazadeh, R., Pasban, A.H., & Nezafat Takleh, B. (2022). Integrating terrain and vegetation indices to estimate and identify the soil erosion risk Amoughin watershed, Ardabil. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 9(1), 77-96 [In Persian]. doi:20.1001.1.22519424.1397.7.3.6.4
- Ghadbeygi, M., Mazaheri, H., Shafiei, H., & Mardian, M. (2024). Urban flood risk management, a solution for the protection of ecosystems (Case study: Arak City). *Research in Ethnobiology and Conservation*, 1(2), 38-50 [In Persian]. doi:10.22091/ethc.2024.10558.1018
- Izadifard, H., Rasinezami, S., Mostafazadeh, R., & Khavarian, H. (2023). Relationship of surface runoff coefficient with land use/land cover change in Samian watershed, Ardabil province. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 51(14), 41-24 [In Persian]. doi:10.22034/jargs.2023.373960
- Karimi Sangchini, E., Yousefi Mobarhan, E., Vayskarami, I., & Vayskarami, F. (2024). Investigating the effect of floodwater spreading on soil infiltration (Case Study: Davudrashid Kouhdasht Floodwater Spreading Station). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 66(18), 49-58 [In Persian]. <http://jwmsei.ir/article-1-1163-fa.html>
- Lee, B.J., & Kim, S. (2019). Gridded flash flood risk index coupling statistical approaches and TOPLATS land surface model for mountainous areas. *Water*, 11(3), 504. doi:10.3390/w11030504
- Leonis, A.N., Ahmed, M.F., Mokhtar, M.B., Lim, C.K., & Halder, B. (2024). Challenges of Using a Geographic Information System (GIS) in Managing Flash Floods in Shah Alam, Malaysia. *Sustainability*, 16(17), 7528. doi:10.3390/su16177528
- Llasat, M.C., Marcos, R., Botija, M.L., Gilabert, J., Turco, M., & Segui, P.Q. (2014). Flash flood evolution in north-western Mediterranean. *Atmospheric Research*, 149, 230-243. doi: 10.1016/j.atmosres.2014.05.029
- Luca, F., Conforti, M., & Robustelli, G. (2011). Comparison of GISbased gully susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy. *Geomorphology*, 134, 297-308. doi: 10.1016/j.geomorph.2011.07.006
- Nikpour, N., Negaresh, H., Fotoohi, S., Hosseini, S.Z., & Bahrami, S. (2019). Monitoring the trend of vegetation changes one of the most important indicators of land degradation (in Ilam province). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 5(4), 21-48 [In Persian]. doi: 10.29252/jsaeh.5.4.21
- Parvin, M. (2019). Assessment and zoning of flash flood risks based on MFFPI model (Case Study: Islamabad Basin). *Environmental Management Hazards*, 6(2), 169-184 [In Persian]. doi:10.22059/jhsci.2019.283544.480
- Parvin, M. (2020). Assessment and zoning of the risk of flash flooding based on physiographic factors and morphometric indices (Case Study of Qasr-e Shirin Basin). *Geography and Environmental Planning*, 31(2), 89-104 [In Persian]. doi:10.22108/gep.2020.119766.1221
- Pham, T., Avand, M., Janizadeh, S., Phong, T.V., Al-Ansari, N., Ho, L.S., Das, S., Le, H.V., Amini, A., Bozchaloei, S.K., Jafari, F., & Prakash, I. (2020). GIS-based hybrid computational approaches for flash flood susceptibility assessment in Binh. *Water*, 12(3), 683. doi:10.3390/w12030683
- Rejith, R.G., Anirudhan, S., & Sunararajan, M. (2019). Delineation of groundwater potential zones in hard rock terrain using integrated Remote Sensing GIS and MCDM Techniques A Case Study from Vamanapuram River Basin, Kerala, India. *Gis and Geostatistical Techniques for Groundwater science*, 349-364. doi: 10.1016/B978-0-12-815413-7.00025-0
- Rezaei Moghaddam, M.H., Karami, F., & Abazari, K. (2023). Assessment and zoning of flash flood risk in Ojan Chai basin by MFFPI model. *Hydrogeomorphology*, 36(10), 157-138 [In Persian]. doi: 10.22034/hyd.2023.57462.1701
- Rezaei Moghaddam, M.H., & Rahimpour, T. (2024). Evaluating of flood hazard potential using bivariate statistical analysis method (Case study: Aji Chai basin). *Quantitative Geomorphological Research*, 12(4), 91-107 [In Persian]. doi:10.22034/gmpj.2024.429929.1473
- Shahabi, H., Shirzadi, A., Ronoud, S., Asadi, S., Pham, B.T., Mansouripour, F., Geertsema, M., Clague, J.J., & Bui, D.T. (2021). Flash flood susceptibility mapping using a novel deep learning model based on deep belief network, back propagation and genetic algorithm. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101100. doi: 10.1016/j.gsf.2020.10.007
- Shawaqfah, M., Ababneh, Y., Odat, A.S. AlMomani, F., Alomush, A., Abdullah, F., & Almasaeid, H.H. (2024). Flash flood potential analysis and hazard mapping of Wadi Mujib using GIS and Hydrological Modelling Approach. *Water*, 16(13), 1918. doi: 10.3390/w16131918

- Shogrkhodaei, S.Z., Fathnia, A., & Hashemi Darebadami, S. (2023). Investigating the relationship between Air Pollutants and Remote Sensing Indices (NDVI, NDBI, LST, and ATI) in Tehran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(3), 123-144 [In Persian].
doi:10.22067/geoeh.2023.79729.1305
- Smith, G. (2003). Flash flood potential: determining the hydrologic response of FFMP basins to heavy rain by analyzing their physiographic Characteristics, A White Paper available From the NWS Colorado Basin River Forecast Center Web Site at http://www.cbrfc.noaa.gov/papers/ffp_wpap.pdf
- 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), 593–606. doi:10.1515/geo-2018-0047
- Waqas, H., Lu, L., Tariq, A., Li, Q., Baqa, M. F., Xing, J., & Sajjad, A. (2021). Flash flood susceptibility assessment and zonation using an integrating analytic hierarchy process and Frequency Ratio Model for the Chitral District, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Water*, 13(12), 1650. doi: 10.3390/w1312165
- Yao, J., Zhang, X., Luo, W., Liu, Ch., & Ren, L. (2022). Applications of stacking blending ensemble learning approaches for evaluating flash flood susceptibility. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 112, 1-14. doi: 10.1016/j.jag.2022.102932
- Yassin, N.A.M., Adnan, N.A., & Sadek, E.S.S. (2023). Analysis of flash flood potential index (FFPI) and scenarios assessment in Shah Alam using GIS approach. *Journal of The Malaysian Institute of Planners*, 21(2), 1-12. doi:10.21837/pm.v21i26.1255