Sustainable Urban & Regional Development Studies Quarterly

Volume 6, Issue 3 - Serial Number 21, Fall 2025 **Online ISSN: 2783-0764**
Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_216866.html?lang=en

Flood Potential Assessment in the KozehTopraghi Watershed Sub-basins Using the Extended Flash Flood Model[1]

Aghil Madadi[1*], AmirHesam Pasban[2], Behrouz Nezafat Takle[3]
1. Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. Ph.D Student, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3. Ph.D Student, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Received Date: 30 December 2024 **Accepted Date:** 06 March 2025

Abstract

Background and Objective: In recent years, with the increase in the frequency and intensity of flash floods, zoning the risk of this phenomenon has become essential. The Extended Flash Flood Model (MFFPI) is one of the modern and effective methods for assessing and zoning flash flood risk in watersheds. The aim of this study is to assess the flood potential in the KozehTopraghi Watershed Sub-basins using the Extended Flash Flood Model.

Methodology: In this regard, first, information layers including slope, flow accumulation, land use, rock permeability, slope curvature, and soil texture were extracted in the GIS environment using base maps, and in the next step, all these parameters were weighted and weighted maps were produced using the Raster Calculator tool. Then, by overlapping these layers, the flash flood potential map for the Kozeh Topraghi watershed was divided and extracted into five risk categories: very low (55 km2), low (126.10 km2), medium (266.15 km2), high (219.50 km2), and very high (138.03 km2).

Results and Findings: The results show that the northern and central parts of the basin are mainly in the low to medium risk range, while the southern and western areas experience the highest flood risk. The distribution pattern of these areas can be affected by geomorphological parameters such as slope, elevation, and drainage density, as well as hydrological and land use characteristics. In particular, areas with steep slopes, low permeability, and runoff-sensitive land uses are susceptible to flash floods. On the other hand, low-slope areas, which are mainly located in the middle areas, can become critical points in the development of floods due to the accumulation of incoming runoff from upstream areas. The results also showed that sub-basins 2 and 3 with areas of 0.02 and 0.15 km2, and in contrast, sub-basins 14 and 17 with areas of 29.27 and 14.98 km2, are located in very low and very high flood risk zones, respectively.

Conclusion: As a result, flood management in this basin requires adopting solutions appropriate to the topographic conditions. In steep areas, implementing watershed management operations such as constructing sedimentation dams and developing vegetation cover can help reduce runoff velocity and increase permeability. Also, in low-slope areas, creating flood control reservoirs and appropriate drainage can play an effective role in reducing flood risks.

Keywords: MFFPI, vegetation cover, land use, KozehTopraghi Watershed.

[1] This article is extracted from a research project titled "Investigation and Zoning of flooding in the Kouzeh-Topraghi Watershed Sub-basins Using an Advanced Flash Flood Modell "at University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran conducted. Project Manager: Aghil Madadi and Main Project Collaborators: AmirHesam Pasban and Behrouz Nezafat Takle.

[*] **Correspong Author Email:** aghil48madadi@yahoo.com

Cite this article: Madadi, A,. Pasban, A. and Nezafat Taklhe, B. (2025). Flood Potential Assessment in the Kuzet-Topraqi Watershed Sub-basins Using the Extended Flash Flood Model. Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 6(3), 154-167.

فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای

دوره ۶، شماره ۳، شماره پیاپی ۲۱، پاییز ۱۴۰۴ شاپا:۰۷۶۴-۲۷۸۳

Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_216866.html?lang=fa

ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی در زیرحوضه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی با استفاده از مدل توسعه‌یافته سیلاب ناگهانی[۱]

عقیل مددی*[۱]، امیرحسام پاسبان[۲]، بهروز نظافت تکله[۳]

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.

۳. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: در سال‌های اخیر، با افزایش فراوانی و شدت سیلاب‌های ناگهانی، پهنه‌بندی خطر وقوع این پدیده به امری ضروری تبدیل شده است. مدل توسعه یافته سیلاب ناگهانی (MFFPI) یکی از روش‌های نوین و مؤثر برای ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی در حوضه‌های آبخیز است. هدف از این پژوهش ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی در زیرحوضه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی با استفاده از مدل توسعه‌یافته سیلاب ناگهانی می‌باشد.

روش‌شناسی: در همین راستا ابتدا لایه‌های اطلاعاتی شامل شیب، تجمع جریان، کاربری اراضی، نفوذپذیری سنگ، انحنا دامنه و بافت خاک در محیط GIS و با استفاده از نقشه‌های پایه استخراج و در گام بعد با استفاده از ابزار Raster Calculator همه این پارامترها وزن‌دهی و نقشه‌های وزنی تولید شدند. سپس با همپوشانی این لایه‌ها، نقشه پتانسیل سیلاب ناگهانی برای حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی در پنج دسته خطر خیلی کم (۵۵ کیلومترمربع)، کم (۱۲۶/۱۰ کیلومترمربع)، متوسط (۲۶۶/۱۵ کیلومترمربع)، زیاد (۲۱۹/۵۰ کیلومترمربع)، و خیلی زیاد (۱۳۸/۰۳ کیلومترمربع) تقسیم‌بندی و استخراج گردید.

نتایج و یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که بخش‌های شمالی و مرکزی حوضه عمدتاً در محدوده خطر کم تا متوسط قرار دارند، در حالی که نواحی جنوبی و غربی بیش‌ترین میزان خطر سیلاب را تجربه می‌کنند. الگوی توزیع این پهنه‌ها می‌تواند متأثر از پارامترهای ژئومورفولوژیکی نظیر شیب، ارتفاع، و تراکم زهکشی، همچنین ویژگی‌های هیدرولوژیکی و کاربری اراضی باشد. به‌ویژه، مناطق با شیب‌های تند، نفوذپذیری کم و کاربری‌های حساس به رواناب، مستعد وقوع سیلاب‌های ناگهانی هستند. از سوی دیگر، مناطق با شیب کم که عمدتاً در نواحی میانی قرار دارند، به دلیل انباشت رواناب ورودی از نواحی بالادست، می‌توانند به نقاط بحرانی در توسعه سیلاب تبدیل شوند. همچنین نتایج نشان داد که زیرحوضه‌های ۲ و ۳ با مساحت ۰/۰۲ و ۰/۱۵ کیلومترمربع و در مقابل زیرحوضه‌های ۱۴ و ۱۷ با مساحت ۲۹/۲۷ و ۱۴/۹۸ کیلومترمربع به‌ترتیب در پهنه‌های خطر وقوع سیلاب خیلی کم و خیلی زیاد قرار دارند.

نتیجه‌گیری: در نتیجه، مدیریت سیلاب در این حوضه نیازمند اتخاذ راهکارهای متناسب با شرایط توپوگرافی است. در نواحی شیب‌دار، اجرای عملیات آبخیزداری مانند احداث بندهای رسوب‌گیر و توسعه پوشش گیاهی می‌تواند به کاهش سرعت رواناب و افزایش نفوذپذیری کمک کند. همچنین، در مناطق کم‌شیب، ایجاد مخازن کنترل سیلاب و زهکشی مناسب می‌تواند نقش مؤثری در کاهش خطرات سیلاب ایفا کند.

واژه‌های کلیدی: MFFPI، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، زیرحوضه‌های کوزه‌توپراقی.

---

[۱] - این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی تحت عنوان (بررسی و پهنه بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی با استفاده از مدل توسعه‌یافته سیلاب ناگهانی) است که با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی،اردبیل، ایران انجام شده است. مجری طرح: عقیل مددی و همکاران اصلی طرح: امیرحسام پاسبان و بهروز نظافت تکله.

* **نویسنده مسئول:** aghil48madadi@yahoo.com

ارجاع به این مقاله: مددی, عقیل , پاسبان, امیرحسام و نظافت تکله, بهروز . (۱۴۰۴). ۱۲.ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی در زیرحوضه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی با استفاده از مدل توسعه‌یافته سیلاب ناگهانی. فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۶(۳), ۱۵۴-۱۶۷.

مقدمه و بیان مسأله

سیل به عنوان یک پدیده جهانی، همواره خسارات اقتصادی سنگین و تلفات انسانی بسیاری را به دنبال داشته است. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که حجم آب نا شی از سیلاب‌های ناگهانی و شدید از ظرفیت ب ستر رودخانه فراتر رود و مناطق اطراف را زیر آب بگیرد. علاوه بر این، افزایش سطح آب‌های زیرزمینی و یا ا شباع بیش از حد سی ستم‌های زهک شی نیز می‌توانند از عوامل دیگر وقوع سیل با شند. به طور کلی، عوامل متعددی از جمله بارش شدید باران، ذوب برف، طغیان رودخانه‌ها و حتی شک ستن سدها و بندها می‌توانند منجر به وقوع سیل شوند. این پدیده می‌تواند آ سیب‌های جبران‌ناپذیری به زیر ساخت‌ها، خانه‌ها، زمین‌های ک شاورزی و... وارد کند و زندگی ان سان‌ها را در معرض خطر قرار دهد به‌طوری که قریبا یک سوم خ سارات اقت صادی در اروپا نا شی از این پدیده است. (رضایی مقدم و همکاران، ۱۴۰۳؛ Tincu et al., 2018; Yassin et al., 2023).

در حالی که عامل اصلی وقوع سیل، بارندگی به عنوان یک عامل اقلیمی و پاسخ هیدرولوژیکی نا شی از آن است، میزان خسارات و آ سیب‌پذیری مناطق مختلف در برابر سیل، به ویژگی‌های فیزیوگرافی آن منطقه نیز بستگی دارد. این ویژگی‌ها شامل شیب زمین، بافت خاک، پو شش گیاهی، میزان نفوذپذیری سنگ‌ها و انحنای نیمرخ زمین می شوند. به عبارت دیگر، حتی اگر میزان بارندگی در دو منطقه یک سان با شد، منطقه‌ای که دارای شیب تندتر، خاک نفوذناپذیرتر و پو شش گیاهی کمتری ا ست، بی شتر در معرض خطر سیل قرار دارد. آمارهای جهانی ن شان می‌دهند که خطر وقوع سیل در طول زمان افزایش یافته ا ست. بر ا ساس داده‌های پایگاه داده حوادث ا ضطراری (EM-DAT)، سیلاب‌ها ۴۴/۲۸ در صد از کل رویدادهای فاجعه‌بار جهان را در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ ت شکیل می‌دهند (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۴). این سیلاب‌ها خسارات اقتصادی بالغ بر ۲/۹۷ تریلیون دلار آمریکا به بار آورده و جان ۷ میلیون نفر را گرفته‌اند. این آمارها گویای افزایش چ شمگیر خسارات و تلفات نا شی از سیل در سطح جهان هستند و ضرورت توجه جدی به مدیریت و پیشگیری از این پدیده طبیعی را بیش از پیش نمایان می‌سازند (Wang et al., 2023). این مبلغ می‌تواند تا سال ۲۰۵۰ به یک تریلیون دلار خسارت در هر سال بر سد. در میان انواع سیلاب‌ها، سیل‌های ناگهانی به دلیل بارندگی شدید و تجمع و انت شار ناگهانی رواناب از بالاد ست به پایین‌د ست به وجود می‌آیند. وقوع این نوع سیلاب‌ها معمولاً در ف صل‌های بهار و تاب ستان و به دلیل برهم‌کنش سریع هیدرولیکی حوضه آبخیز با بارندگی شدید رخ می‌دهد. منشأ بسیاری از این سیلاب‌ها، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، رگبارهای با شدت زیاد و تداوم نسبتاً کوتاه است. از طرف دیگر، تعامل ویژگی‌های توپوگرافی، ژئومورفولوژی و زمین شنا سی نیز در وقوع این سیلاب‌ها نقش دارد. به عبارت دیگر، عواملی مانند شیب زمین، شکل و ساختار زمین، و نوع خاک و سنگ‌ها همگی می‌توانند در شدت و میزان خسارات سیل‌های ناگهانی مؤثر باشند (بدری و همکاران، ۱۳۹۵؛ Abuzied et al., 2016).

آمار سیل‌های ناگهانی نشان می‌دهد که بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰، ۶۹۵ مورد سیل ناگهانی در سراسر جهان رخ داده است. این سیلاب‌ها منجر به مرگ ۵۷۰۰ نفر و خسارت اقتصادی بالغ بر ۶۶/۹ میلیارد دلار شده‌اند. این آمارها نشان‌دهنده خسارات جانی و مالی قابل توجهی است که سیل‌های ناگهانی در طول این مدت زمان به بار آورده‌اند (Yao et al., 2016). بنابراین، آنچه اهمیت وقوع سیلاب را بیشتر می‌کند، قرار گرفتن مراکز انسانی در محدوده‌های سیلابی است. وجود چنین مراکزی در حوضه‌های سیلابی، علاوه بر افزایش تولید رواناب سطحی، خطرات زیادی را نیز به همراه دارد. خسارت سیل زمانی می‌تواند به عنوان یک مشکل طبیعی به حداقل بر سد که قبل از وقوع آن، اقدامات ا سا سی و برنامه‌ریزی شده برای پیشگیری و کنترل آن انجام شود (مرادی و همکاران، ۱۴۰۲). به عبارت دیگر، به جای واکنش نشان دادن پس از وقوع سیل، باید با انجام اقدامات پیشگیرانه و مدیریت صحیح منابع و محیط، از وقوع آن جلوگیری کرده یا خسارات آن را به حداقل رساند.

از این‌رو ا سمیت (۲۰۰۳) روش FFPI را برای شنا سایی مناطق با پتان سیل انتقال سیلاب‌های ناگهانی، تو سعه داده و در پروژه سیلاب ناگهانی در منطقه غربی ایالات متحده آمریکا آغاز و برای مطالعات سایر مناطق در ایالات متحده به کار برد. هدف از مدل FFPI توصیف کمی خطر سیل ناگهانی برای یک منطقه معین بر اساس ویژگی‌های فیزیوگرافی آن مانند شیب، پوشش زمین، کاربری زمین و نوع بافت خاک منطقه مورد مطالعه است. بنابراین مدل FFPI به کاربر این امکان را می‌دهد تا ببیند کدام زیرحوضه‌ها ن سبت به سایرین م ستعد سیل ناگهانی هستند. بنابراین، FFPI را می‌توان به ابزارهای آگاهی موقعیتی ا ضافه کرد که می‌تواند برای

ارزیابی خطر سیل ناگهانی استفاده شود (Waqas et al., 2021).

پیشینه پژوهش

تاکنون مطالعات زیادی در خصوص پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل MFFPI در خارج و داخل کشور انجام شده است که در زیر به چند مورد آن اشار شده است.

Minea و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی با هدف بررسی سیلاب حوضه آبریز باسکا در رومانی به وسیله FFPI به این نتیجه رسید که خطر سیلاب در قسمت‌های پایین‌دست حوضه با تراکم جمعیت بالا بیشتر است. در پژوهشی دیگر در حوضه آبریز مولدوا، Popa و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از روش FFPI نشان دادند که مناطقی که کاربری اراضی آنها تغییر کرده و به ویژه جنگل‌زدایی در آنها صورت گرفته، بیش‌ترین خطر سیلاب ناگهانی را دارند. Bashir and Alsalman (۲۰۲۴) در پژوهشی به بررسی ویژگی‌های مورفومتریک و تحلیل مقایسه‌ای خطر سیلاب در حوزه آبریز وادی‌اللیت عربستان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که، زیرحوزه‌های sc-2، sc-4، sc-5، sc-6، sc-10، sc-12، sc-13 و sc-15 به‌عنوان مناطق با خطر سیلاب بالا شناسایی شدند، در حالی که زیرحوزه‌های sc-1و sc-9 در گروه مناطق با خطر متوسط طبقه‌بندی گردیدند.

Leonis و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای با هدف شناسایی چالش‌های به‌کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی در مدیریت سیلاب‌های ناگهانی در منطقه شاه عالم مالزی، از روش مدل چهارگانه استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که عمده‌ترین چالش‌ها به مدیریت دولتی مرتبط است، به‌ویژه در زمینه تأمین تجهیزات لازم و دسترسی عادلانه به GIS برای تمامی ذی‌نفعان، از جمله عموم مردم. همچنین، کمبود تخصص و پژوهش در دانشگاه‌های مالزی در حوزه مدیریت سیلاب‌های ناگهانی به عنوان یکی دیگر از عوامل تشدیدکننده این مشکلات شناسایی شد. Shawaqfah و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی به تحلیل پتانسیل سیلاب‌های ناگهانی و ارزیابی شدت آن‌ها در منطقه وادی مجیب اردن پرداختند. آن‌ها از مدل FFPI و مدل‌سازی هیدرولوژیکی برای این مطالعه استفاده کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که مقدار بهینه عدد منحنی برای وادی مجیب در شرایط رطوبت معمولی خاک، ۷۸/۵ است. همچنین، بر اساس تحلیل نمودار تجمعی FFPI، آستانه این شاخص در مقدار ۷ تعیین شد که بیانگر مناطق با بیشترین پتانسیل وقوع سیلاب است. این مناطق، که بالاترین خطر سیلاب را دارند، حدود ۱۳/۳۹ درصد از مساحت کل منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند.

مددی و همکاران (۱۳۹۷) پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه خیاوچای مشکین‌شهر را با استفاده از مدل‌های SCS-CN و WLC مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر این بود که عوامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب با ضریب وزنی ۰/۱۷۳، ۰/۱۶۳، ۰/۱۳۹ و ۰/۱۳۳، بیش‌ترین تأثیر را بر ایجاد سیل در حوضه مطالعاتی دارند. همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده به ترتیب ۴۱/۴۵۷ و ۷۵/۸۷۵ کیلومترمربع از مساحت محدوده، در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند. یمانی و عباسی (۱۳۹۹) با هدف ارزیابی سیل‌خیزی زیر حوضه‌های آبریز گادر، بر اساس پارامترهای مورفومتری و همبستگی آماری انجام دادند. نتایج نشان داد که زیر حوضه‌های شیخان‌چای و صوفیان‌چای دارای پتانسیل زیاد سیل‌خیزی، زیر حوضه چشمه دول دارای پتانسیل متوسط و زیر حوضه‌های گدارچای و نهر نلیوان پتانسیل کمی برای سیل‌خیزی دارند. مددی و همکاران (۱۳۹۹) پهنه‌بندی حوضه خیاوچای را از لحاظ پتانسیل وقوع سیلاب مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد، عوامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب با ضریب وزنی ۰/۱۷۳، ۰/۱۶۳، ۰/۱۳۹ و ۰/۱۳۳، بیش‌ترین تاثیر را بر ایجاد سیل در حوضه‌ی مطالعاتی دارند. همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده به ترتیب ۱۱/۳۷، ۴۸/۷۶ و ۵۷/۵۴ کیلومترمربع از مساحت محدوده، در طبقات لکه داغ، با ضریب اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد، قرار دارند. مناطق پرخطر (مناطق لکه داغ، با ضریب اطمینان ۹۹ درصد)، به طور عمده در محدوده‌ی شهری مشکین‌شهر و سپس در مناطق پرشیب و کوهستانی منطقه قرار دارد.

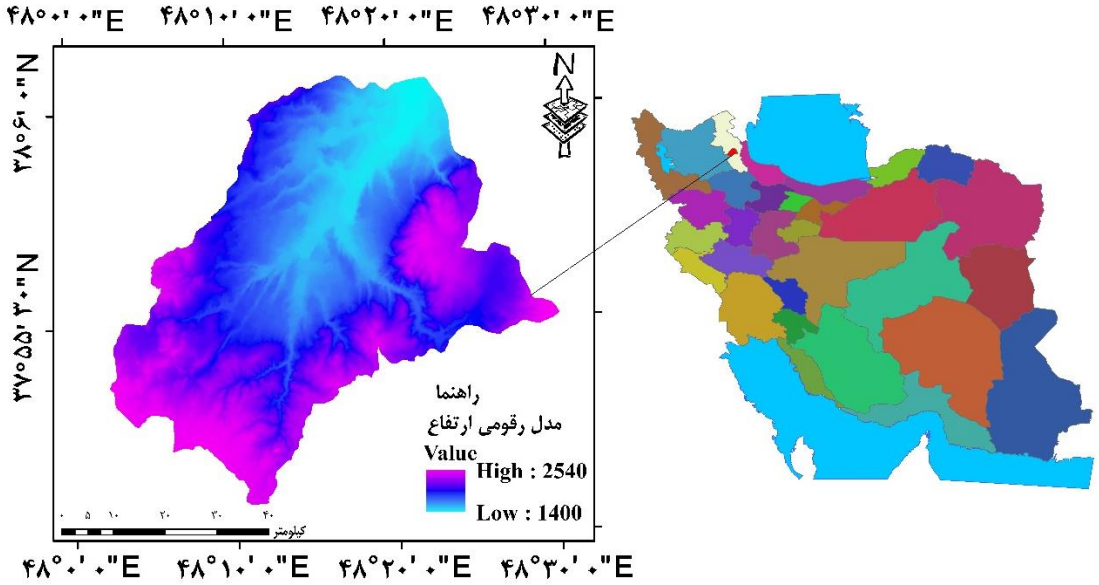
داوند و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی به پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ایلام پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که عوامل محیطی مانند شیب زیاد و تغییر کاربری اراضی از جمله دلایل اصلی سیل‌خیزی در این شهر هستند.در پژوهشی

که توسط رضایی‌مقدم و همکاران (۱۴۰۲) انجام شد، خطر سیلاب ناگهانی در حوضه آبریز اوجان‌چای با استفاده از مدل MFFPI مورد ارزیابی و پهنه‌بندی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که مناطق کوهستانی به دلیل شیب زیاد و عدم امکان تجمع آب، از پتانسیل خطر سیلاب کم و خیلی کمی برخوردارند. در مقابل، مناطق هموار و حاشیه رودخانه اوجان‌چای به دلیل شرایط مناسب برای تجمع آب، در معرض خطر سیلاب زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. این یافته‌ها بر اهمیت توجه به ویژگی‌های توپوگرافی در مدیریت و پیش‌بینی سیلاب تاکید دارند.

در پژوهشی که توسط عابدینی و همکاران (۱۴۰۳) انجام شد، خطر وقوع سیلاب در حوضه آبخیز شفارود واقع در استان گیلان با استفاده از مدل MFFPI مورد ارزیابی و پهنه‌بندی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که بخش‌های جنوبی و جنوب غربی این حوضه، دارای پتانسیل خطر سیلاب بسیار زیاد و زیاد هستند. در مقابل، نواحی مرکزی حوضه، پتانسیل خطر متوسط و کمی را نشان دادند. رضایی‌مقدم و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی به منظور ارزیابی خطر وقوع سیلاب در حوزه آبریز آجی‌چای، از روش تحلیل آماری دو متغیره استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیش از ۳۰ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌های با خطر سیلاب زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. همچنین، با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی، دقت مدل در داده‌های آموزشی ۰٫۸۹۸ ارزیابی شد که نشان از عملکرد خوب مدل دارد. از این رو هدف از این پژوهش ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی در زیرحوضه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی با استفاده از مدل توسعه‌یافته سیلاب ناگهانی می‌باشد.

منطقهٔ مورد مطالعه

حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی با مساحت ۸۰۵ کیلومترمربع و محیط ۱۴۸/۹۸ کیلومتر واقع در قسمت جنوبی استان اردبیل و قسمت شمالی شهرستان کوثر، در شمال غربی کشور ایران جای گرفته است. مختصات جغرافیایی حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی در طول جغرافیایی ۴۸ درجه ۱۰ دقیقه و ۱ثانیه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه و ۲۸ ثانیه شمالی واقع شده است. بلندترین قسمت حوضه با ارتفاع ۲۵۴۰ متر و پایین‌ترین قسمت با ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح دریا می باشد. حداکثر و حداقل بارش در منطقه مورد مطالعه نیز به‌ترتیب برابر با ۱۳۷۸ و ۳۱۸ میلی‌متر، حداکثر و حداقل دمای هوا بین ۹/۴ و ۴/۳ درجه سانتی‌گراد بوده است (قربانی و همکاران، ۱۳۹۹). در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه در سطح استان و ایران ارائه شده است.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی در سطح ایران و استان اردبیل

مواد و روش‌ها

روش پژوهش حاضر از نوع کاربردی و بر پایه روش تحلیلی – توصیفی می‌باشد. در این راستا ابتدا داده‌های مورد استفاده شامل مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با تفکیک ۳۰ متر استر، تصاویر ماهواره‌ای لندست 9 OLI مربوط به سال ۲۰۲۳ (اخذ شده از سازمان زمین‌شناسی آمریکا USGS)، نقشه بافت خاک با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ اخذ شده از سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ می‌باشد. همچنین جهت تحلیل، تولید نقشه‌ها و پردازش داده‌ها از نرم‌افزارهای مختلفی مانند ArcGIS 10.7، ENVI 5.3، Google Earth، SPSS و Excel استفاده شده است.

مدل توسعه‌یافته سیلاب ناگهانی که توسط اسمیت به منظور شناسایی نواحی مستعد سیلاب‌های ناگهانی در ایالات متحده طراحی شد، از آن زمان در نقاط مختلفی مانند کلرادو، نیویورک و پنسیلوانیا با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است (Smith, 2003). هدف مدل FFPI، ارزیابی کمی خطر سیلاب در یک حوضه خاص بر اساس ویژگی‌های طبیعی زمین مانند شیب، نوع پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ترکیب خاک یا بافت آن است به عبارت دیگر، FFPI تلاش می‌کند تا با تحلیل این عوامل فیزیکی، میزان آسیب‌پذیری یک منطقه در برابر سیلاب را به صورت کمی تعیین کند (Tincu et al., 2018). اسمیت، به منظور ارزیابی پتانسیل سیلاب ناگهانی، چهار پارامتر اصلی را در مدل خود MFFPI مورد استفاده قرار داد: شیب زمین، نوع پوشش و کاربری اراضی، بافت خاک و درصد پوشش گیاهی. هر یک از این پارامترها به ده کلاس مختلف تقسیم شدند که از کلاس ۱ به عنوان کمترین تأثیر در وقوع سیلاب ناگهانی تا کلاس ۱۰ به عنوان بیشترین تأثیر در این پدیده طبقه‌بندی شدند که معادله (۱) را ارائه کرد.

$$FFPI=(1.5M+L+S+V)/4.5 \quad (۱)$$

در فرمول مذکور، M شیب، L کاربری اراضی، S بافت خاک، V میزان پوشش گیاهی است. بعدها بروستر (۲۰۰۹) به پارامتر پوشش گیاهی ضریب ۰/۵ را افزود اما کروزدلو و سئرو (۲۰۱۰) برای همه پارامترها وزن یکسان (کلاس ۱ تا ۱۰) را در نظرگرفتند. سپس سئرو (۲۰۱۲) با در نظر گرفتن ضریب ۲ برای پارامترهای شیب و کاربری اراضی، اصلاحاتی به معادله اولیه مدل FFPI افزود که این تغییرات در جدول (۱) قابل مشاهده است.

جدول ۱- معادلات مدل FFPI (Tincu et al., 2018).

مدل	معادله مورد استفاده
(Brewster, 2009)	(1.5M+ L+S+ 0.5V) /4
(Kruzdlo & Ceru, 2010)	(M+L+S+V) /4
(Ceru, 2012)	(2M+ 2L+S+V) /6

تینکو و همکارانش در سال ۲۰۱۸ تغییراتی را در مدل MFFPI ایجاد کردند و آن را بهبود بخشیدند. در نسخه جدید، شش پارامتر به عنوان عوامل کلیدی برای ارزیابی احتمال وقوع سیلاب ناگهانی در نظر گرفته شد. این پارامترها عبارتند از: شیب زمین، تراکم جریان آب، میزان انحنای دامنه، نوع بافت خاک، میزان نفوذپذیری سنگ‌ها و نوع پوشش گیاهی و کاربری زمین. هر کدام از این پارامترها به پنج دسته تقسیم شدند و برای هر دسته، میزان اهمیت آن در ایجاد سیلاب مشخص شد. به این ترتیب، دسته‌ای که کمترین تأثیر را داشت، عدد ۱ و دسته‌ای که بیشترین تأثیر را در جمع‌آوری آب و وقوع سیلاب ناگهانی داشت، عدد ۵ را به خود اختصاص داد (جدول ۲) (Tincu et al., 2018). در نهایت جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی پارامترهای شش‌گانه شیب، تراکم جریان، انحناء دامنه، بافت خاک، نفوذپذیری سنگ و کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های پایه استفاده خواهد شد. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، وزن هر یک از پارامترها در هر یک از زیرپارامترهای پنج‌گانه ضرب می‌شود. سپس امتیاز نهایی هر لایه با استفاده از ابزار

Raster Calculatorدر محیط GIS محاسبه می‌شود. در نهایت، با ترکیب لایه‌های اطلاعاتی و اعمال وزن‌های مربوطه، نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی اصلاح‌شده تهیه می‌شود.

جدول ۲- نحوه امتیازدهی پارامترهای مدل MFFPI (Tincu et al., 2018)

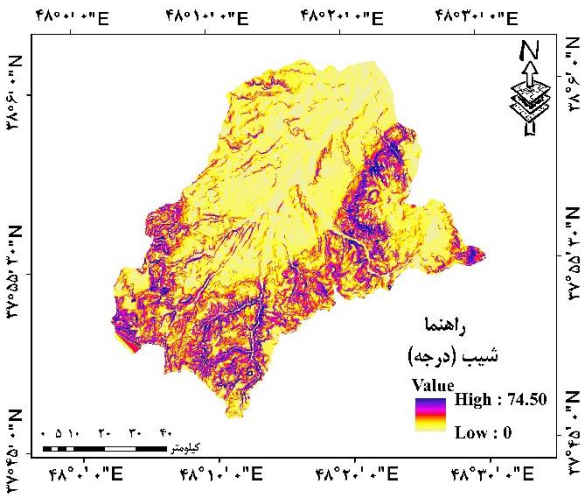
پارامتر	وزن پارامتر	طبقه	وزن هر طبقه	امتیاز نهایی
شیب (درجه)	3	10-60	1	3
		8-10	2	6
		6-8	3	9
		3-6	4	12
		0-3	5	15
تراکم جریان	2.5	1-0	1	2.5
		2-1	2	5
		3-2	3	7.5
		4-3	4	10
		5-4	5	12.5
انحناء دامنه	2	(-18)-(-49)	1	2
		(-9)-(-0.5)	2	4
		(-0.5)-(-0.5)	3	6
		-0.1-5.5	4	8
		1.23-5	5	10
بافت خاک	1	ماسه-رس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

زمین زراعی	3	1.5
مراتع کم تراکم	4	2
سطوح آبی	5	2.5

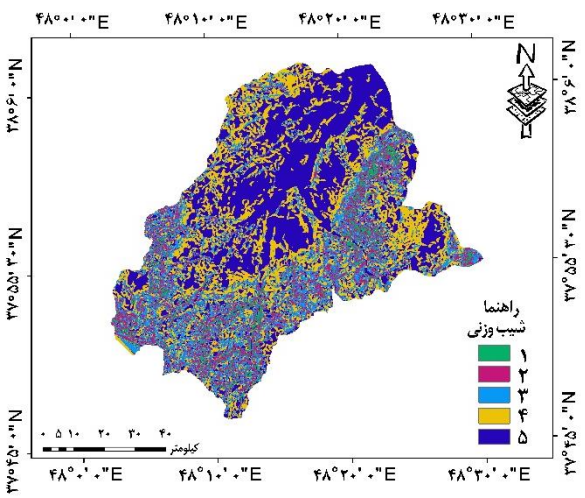
یافته ها

در وقوع سیلاب‌های ناگهانی، شیب زمین نقشی تعیین‌کننده دارد. سرعت رواناب سطحی در مناطق شیب‌دار بسیار بالاست و همین امر، احتمال وقوع سیل را افزایش می‌دهد. آب باران در این نواحی به سرعت جمع شده و با شدت به سمت پایین حرکت می‌کند. برعکس، در مناطق مسطح و کم‌شیب، سرعت جریان آب کمتر است و در نتیجه، آب در یک نقطه جمع شده و احتمال سیلاب را بالا می‌برد. به عبارت دیگر، شیب کمتر زمین، خطر سیلاب را افزایش می‌دهد. این پدیده به خوبی نشان می‌دهد که شیب زمین و توپوگرافی منطقه، از عوامل حیاتی در تعیین میزان آسیب‌پذیری در برابر سیلاب‌های ناگهانی هستند (AlTanni et al., 2023). برای ارزیابی نقش شیب در وقوع سیلاب‌های ناگهانی در حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی، از مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۳۰ متر (استر) استفاده شد. با استفاده از این مدل، شیب منطقه به پنج کلاس تقسیم‌بندی شد. بنابراین با توجه به جدول (۲)، مناطق با شیب تند به دلیل سرعت بالای رواناب، آب را به سرعت از خود عبور می‌دهند و در نگاه اول، احتمال وقوع سیلاب در این مناطق کاهش می‌یابد. با این حال، نباید از نقش این مناطق در تشدید سیلاب غافل شد، زیرا سرعت بالای جریان آب می‌تواند حجم زیادی از آب را به سرعت به مناطق پایین‌دست منتقل کند و در صورت وجود عوامل دیگر، به تشدید سیلاب منجر شود. در مقابل، مناطق با شیب ملایم به دلیل کاهش سرعت جریان آب، مستعد تجمع آب هستند و احتمال وقوع سیلاب در این مناطق افزایش می‌یابد. اما تجمع آب به تنهایی نمی‌تواند منجر به سیلاب شود و عواملی مانند میزان بارش، نوع خاک و پوشش گیاهی نیز در این امر نقش دارند. مناطق با شیب متوسط نیز وضعیتی بینابین دارند و احتمال وقوع سیلاب در این مناطق به عوامل دیگری مانند میزان بارش و نوع خاک بستگی دارد. که در (شکل ۲ و ۳) ارائه شده است.

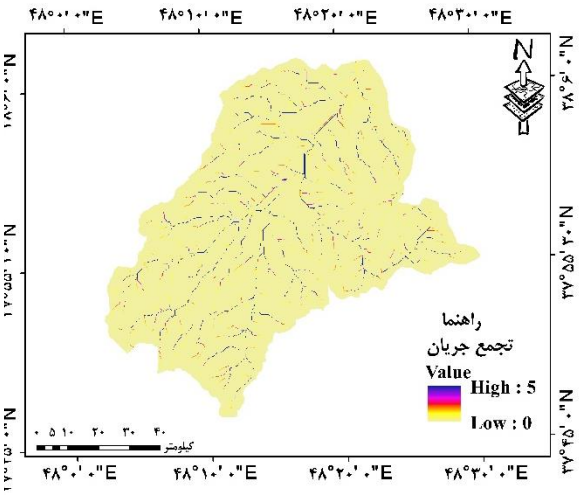
تجمع جریان، به عنوان یکی از پارامترهای کلیدی در این پژوهش، نقش مهمی در درک پتانسیل سیلاب ناگهانی در حوضه آبخیز کوزه‌تپراقی ایفا می‌کند. این پارامتر، که نشان‌دهنده میزان تجمع آب در هر واحد سطح و شدت جریان آب در یک منطقه خاص است، به ما کمک می‌کند تا چگونگی حرکت و تجمع آب در سطح حوضه را بررسی کنیم. در واقع، تجمع جریان، توانایی یک سلول در جمع‌آوری آب از سلول‌های مجاور را نشان می‌دهد. سلول‌هایی که تراکم جریان بالایی دارند، به عنوان کانال‌ها و شبکه اصلی رودخانه عمل کرده و ظرفیت بالاتری برای انتقال آب دارند. برای محاسبه تجمع جریان در این پژوهش، از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) و جهت جریان حوضه استفاده شده است. سپس، نتایج حاصل به پنج کلاس مختلف تقسیم‌بندی شده‌اند. بر اساس این طبقه‌بندی، آبراهه‌های اصلی که حجم بیشتری از آب را در خود جای می‌دهند، بالاترین امتیاز تراکم جریان (۵) را به خود اختصاص داده‌اند. در مقابل، آبراهه‌های فرعی و با اهمیت کمتر، کمترین امتیاز (۱) را کسب کرده‌اند. تجمع جریان بالا در یک منطقه، نشان‌دهنده پتانسیل بالای آن منطقه برای تجمع آب و در نتیجه، افزایش خطر سیلاب است. آبراهه‌های اصلی با تراکم جریان بالا، می‌توانند حجم زیادی از آب را به سرعت به مناطق پایین‌دست منتقل کنند و در صورت وجود عوامل دیگر مانند بارش شدید، به وقوع سیلاب ناگهانی منجر شوند. تحلیل تجمع جریان در حوضه آبخیز کوزه‌تپراقی، اطلاعات ارزشمندی را در خصوص نحوه حرکت و تجمع آب در سطح حوضه ارائه می‌دهد. این اطلاعات می‌تواند در شناسایی مناطق مستعد سیلاب و اتخاذ تدابیر پیشگیرانه برای کاهش خسارات ناشی از آن مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۴ و ۵).



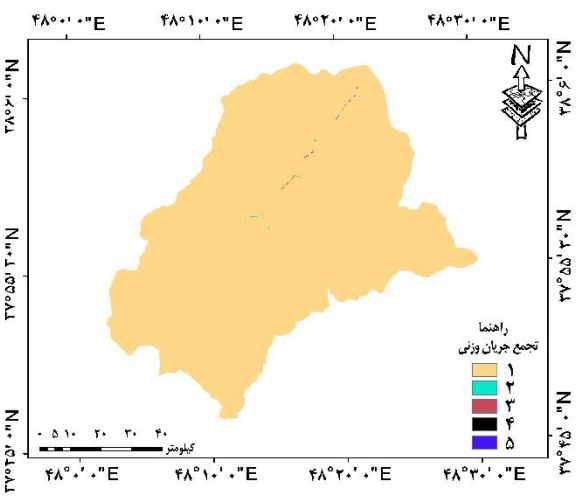
شکل ۲: نقشه شیب حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی



شکل ۳: نقشه شیب وزنی حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی



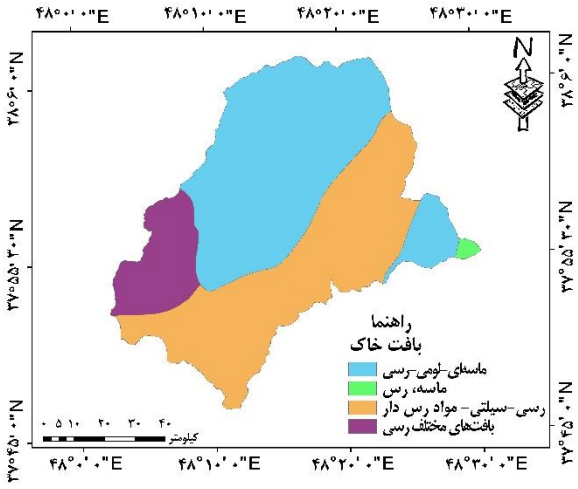
شکل ۴: نقشه تجمع جریان حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی



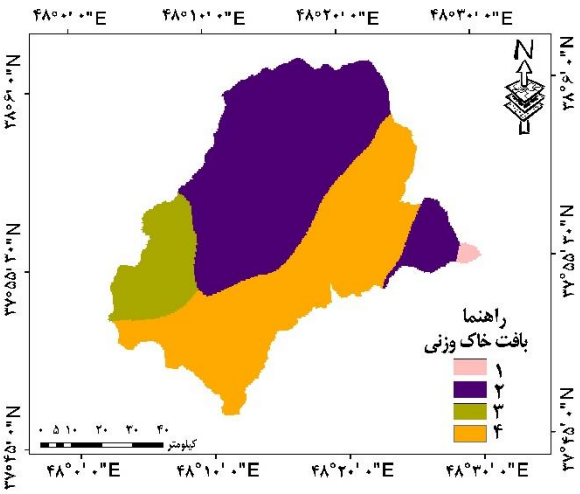
شکل ۵: نقشه تجمع جریان وزنی حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی

در حوضه آبخیز کوزه‌تپراقی، سرعت و میزان نفوذ آب در خاک، به عنوان یکی از عوامل کلیدی در پیش‌بینی وقوع سیلاب‌های ناگهانی مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به تنوع خاک‌ها از جمله خاک‌های قهوه‌ای و انواع رسی و لومی، ظرفیت نفوذپذیری خاک در این حوضه متفاوت است. این تفاوت در نفوذپذیری، به ویژه در بخش جنوبی حوضه، به طور مستقیم بر میزان رواناب سطحی و در نتیجه احتمال وقوع سیلاب تأثیر می‌گذارد. خاک‌های با نفوذپذیری بالا، مانند خاک‌های شنی، آب باران را به سرعت جذب می‌کنند و از رواناب سطحی می‌کاهند، در حالی که خاک‌های رسی با نفوذپذیری پایین، آب را به سختی جذب می‌کنند و باعث افزایش رواناب سطحی می‌شوند که می‌تواند منجر به سیلاب شود. برای بررسی دقیق‌تر تأثیر نوع خاک بر سیلاب، از نقشه‌های بافت خاک تهیه‌شده توسط منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل استفاده شده است. این نقشه‌ها، خاک‌های منطقه را به چهار طبقه اصلی تقسیم‌بندی کرده‌اند و هر یک از این طبقات، با توجه به میزان نفوذپذیری خود، در کلاس‌های ۱ تا ۴ قرار می‌گیرند. با استفاده از جدول امتیازدهی، می‌توان به هر یک از طبقات خاک، امتیازی بین ۱ تا ۴ اختصاص داد. خاک‌هایی که نفوذپذیری بالاتری دارند، امتیاز کمتری (۱) و خاک‌هایی که نفوذپذیری کم‌تری دارند، امتیاز بیش‌تری (۴) دریافت می‌کنند. این امتیازدهی، به ما کمک می‌کند تا میزان خطر سیلاب در هر منطقه را با توجه به نوع خاک آن منطقه، ارزیابی کنیم (شکل ۶ و ۷). بنابراین، بافت خاک در این منطقه به‌عنوان یکی از عوامل موثر در وقوع سیلاب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و در مطالعات هیدرولوژیکی باید مورد توجه قرار گیرد.

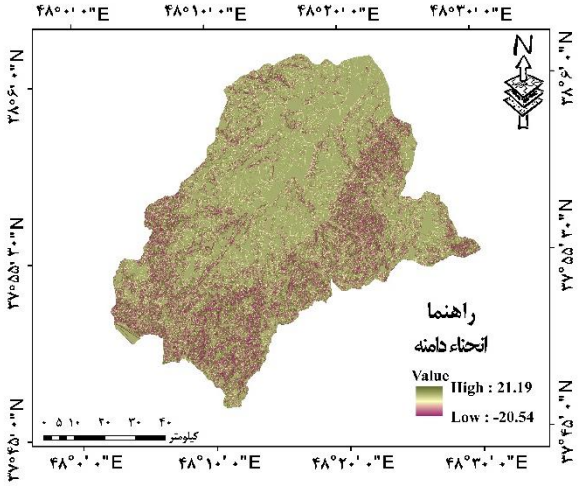
انحناء دامنه، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل ژئومورفولوژیکی، نقش تعیین‌کننده‌ای در رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز ایفا می‌کند. در حوضه کوزه‌توپراقی، تغییرات منفی و مثبت انحناء دامنه، به ترتیب نشان‌دهنده وجود دامنه‌های محدب و مقعر است. دامنه‌های محدب با تمرکز جریان رواناب در خطوط تالوگ، احتمال وقوع سیلاب را افزایش می‌دهند. در مقابل، دامنه‌های مقعر با ایجاد مناطق تجمعی آب، می‌توانند نقش مؤثری در کاهش سرعت رواناب و افزایش نفوذ آب به درون خاک ایفا کنند. تحلیل داده‌های مدل رقومی ارتفاع در این حوضه نشان می‌دهد که دامنه تغییرات انحناء دامنه از ۲۰/۵۴- تا ۲۱/۱۹ متغیر است که بیانگر تنوع توپوگرافی و وجود همزمان مناطق مستعد سیلاب و مناطق با پتانسیل بالای آبخیزداری است (شکل ۸ و ۹).



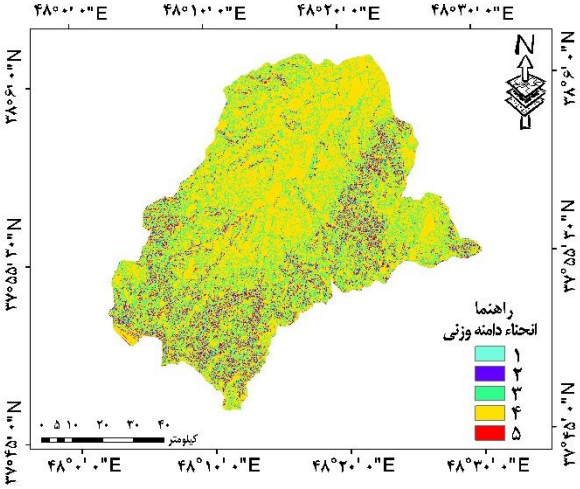
شکل ۶: نقشه بافت خاک حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی



شکل ۷: نقشه بافت خاک وزنی حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی



شکل ۸: نقشه انحناء دامنه حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی

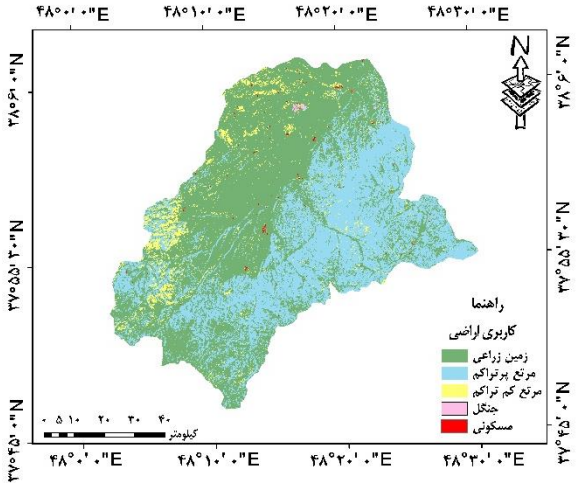


شکل ۹: نقشه انحناء دامنه وزنی حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی

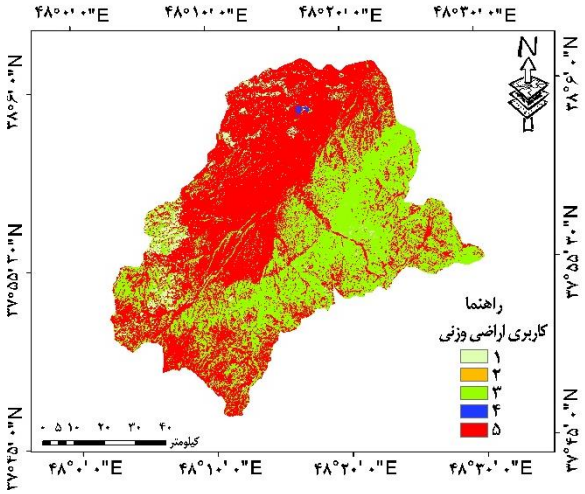
کاربری اراضی در حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در وقوع سیلاب شناخته می‌شود. تغییر کاربری اراضی از حالت طبیعی به سمت کاربری‌های انسانی مانند شهری و کشاورزی، به طور قابل‌توجهی بر الگوی رواناب و خطر سیلاب تأثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال، گسترش مناطق مسکونی با افزایش سطوح نفوذناپذیر، موجب افزایش رواناب سطحی و تشدید مشکلات سیلاب می‌شود. در این پژوهش، کاربری اراضی حوضه کوزه‌توپراقی به پنج کلاس اصلی شامل زمین زراعی، جنگل، مرتع متراکم، مرتع

کم تراکم و مناطق مسکونی تقسیم‌بندی شده است. نتایج نشان می‌دهد که کاربری‌های زمین زراعی (۵۵/۶۹ درصد)، مرتع متراکم (۳۹/۲۰ درصد)، به‌ترتیب بیش‌ترین درصد مساحت حوضه پوشش گیاهی غالب را تشکیل می‌دهند. در مقابل کاربری‌های مرتع کم‌تراکم (۴/۸۶ درصد)، جنگل (۰/۰۹ درصد) و مناطق مسکونی با (۰/۱۶ درصد) سهم کمی از مساحت حوضه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. با این حال، حتی سهم کم این کاربری‌ها نیز می‌تواند بر روی رفتار هیدرولوژیکی حوضه تأثیر قابل‌توجهی داشته باشد. برای ارزیابی تأثیر هر یک از کلاس‌های کاربری بر روی وقوع سیلاب، به هر کلاس امتیازی متناسب طبق (جدول ۲) اختصاص داده شده است. با استفاده از این امتیازات، نقشه وزنی کاربری اراضی تهیه شده است که نشان می‌دهد مناطق مسکونی و اراضی زراعی به‌دلیل نفوذپذیری کم، بیش‌ترین پتانسیل را برای تولید رواناب و وقوع سیلاب دارند (شکل ۱۰ و ۱۱).

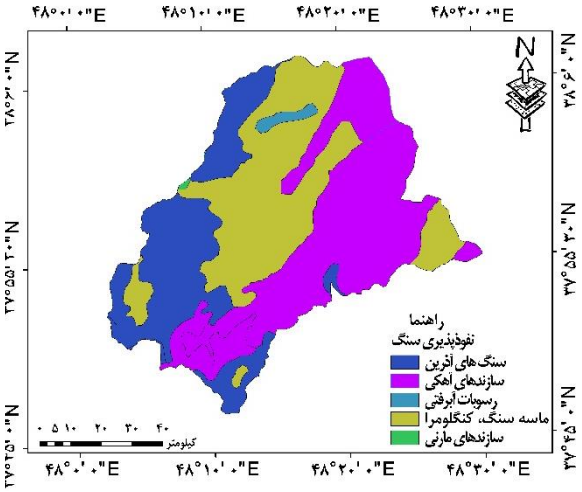
ویژگی‌های سنگ‌شناسی حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی تأثیر زیادی بر نفوذپذیری آب در خاک و در نتیجه بر جریان رودخانه و وقوع سیلاب‌ها دارد. به‌طور ساده‌تر، هرچه نفوذپذیری سنگ‌ها بیشتر باشد، آب به راحتی وارد خاک می‌شود و به تبع آن، رواناب سطحی و خطر سیلاب کاهش می‌یابد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۴۰۳). در این حوضه، نقشه نفوذپذیری سنگ‌ها به پنج کلاس مختلف تقسیم‌بندی شده است (طبق جدول ۲) که نشان‌دهنده تفاوت‌های چشمگیر در نفوذپذیری سنگ‌ها در نواحی مختلف حوضه است. این تفاوت در نفوذپذیری تأثیر مستقیم بر رفتار هیدرولوژیکی حوضه، نظیر میزان رواناب، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و احتمال بروز سیلاب‌ها دارد. لذا در مطالعات هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب این حوضه، توجه به ویژگی‌های نفوذپذیری سنگ‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است شکل (۱۲ و ۱۳).



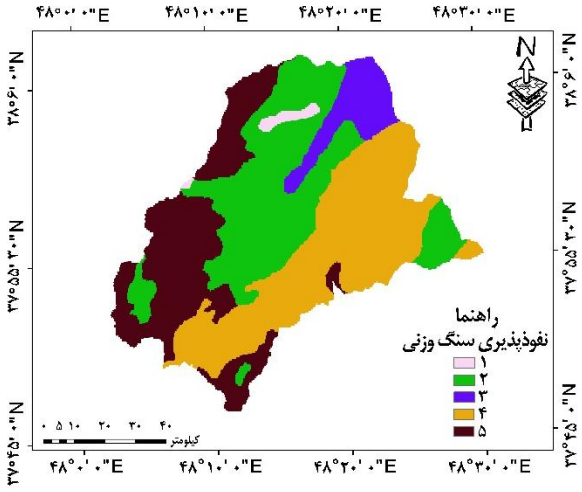
شکل ۱۰: نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی



شکل ۱۱: نقشه کاربری اراضی وزنی حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی



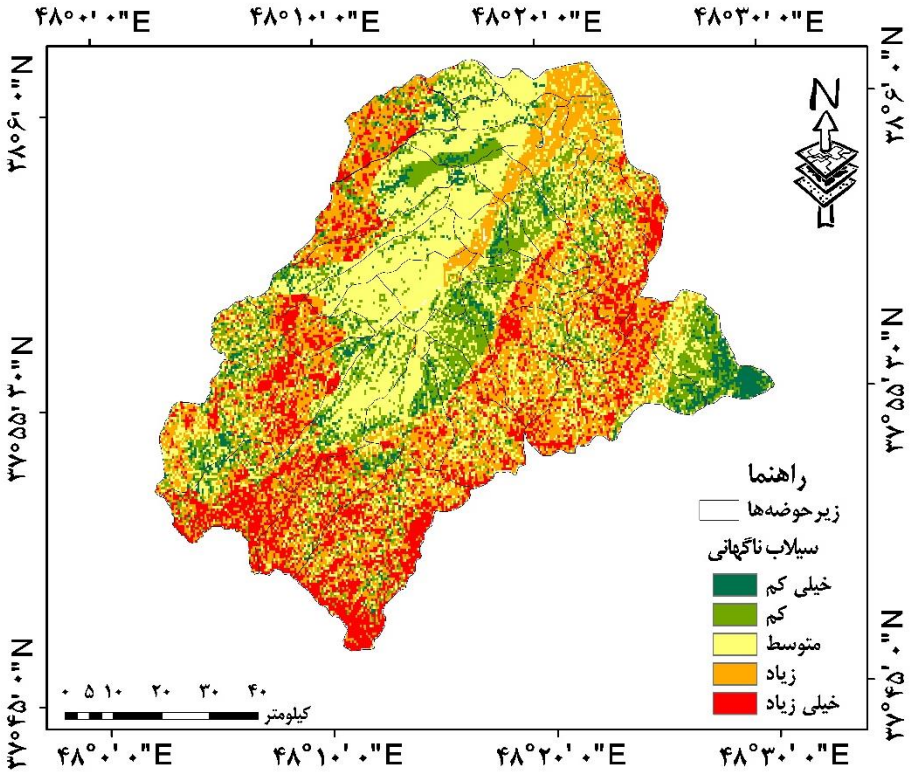
شکل ۱۲: نقشه نفوذپذیری سنگ حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی



شکل ۱۳: نقشه نفوذپذیری سنگ وزنی حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی

پهنه‌بندی نهایی سیلاب ناگهانی

جهت پهنه‌بندی نهایی سیلاب ناگهانی با استفاده از مدل MFFPI پس از این که تمامی لایه‌ها (لایه تراکم جریان، کاربری اراضی، انحناء دامنه، ساندهای زمین شناسی، بافت خاک، شیب) در محیط GIS تولید و وزندهی شدند (طبق جدول ۲). در گام بعد با همپوشانی این لایه‌ها در محیط ArcMap نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب ناگهانی در پنج دسته شامل مناطق با خطر سیلاب "خیلی کم"، "کم"، "متوسط"، "زیاد" و "خیلی زیاد" تقسیم‌بندی شده است که به ترتیب با مساحت‌های ۵۵، ۱۲۶/۱۰، ۲۶۶/۱۵، ۲۱۹/۵۰ و ۱۳۸/۰۳ کیلومترمربع از کل مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳). همچنین در گام بعد حوضه مورد مطالعه به ۳۶ زیرحوضه در محیط ArcMap تقسیم شدند و طبق نتایج به‌دست آمده زیرحوضه‌های ۱۴ با مساحت ۲۹/۲۷ کیلومترمربع و ۱۷ با مساحت ۹۸۱۴ در پهنه خطر زیاد و زیرحوضه‌های ۲ و ۳ نیز به‌ترتیب با مساحت‌های ۰/۰۲ و ۰/۱۵ کیلومترمربع در پهنه خیلی کم قرار دارند. با توجه به شکل (۱۴) و نتایج به‌دست آمده عواملی چون شیب زمین، نوع پوشش گیاهی، جنس خاک و نحوه کاربری اراضی، نقش بسزایی در رخداد سیلاب‌های ناگهانی ایفا می‌کنند. به طور خاص، مناطقی که دارای شیب تند، پوشش گیاهی اندک، خاک نفوذناپذیر و کاربری نامناسب (مانند مناطق مسکونی و کشاورزی) هستند، بیش‌ترین پتانسیل خطر سیلاب را دارا می‌باشند. در این نواحی، به دلیل کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش میزان رواناب سطحی، به ویژه در زمان بارش‌های شدید، احتمال وقوع سیلاب افزایش می‌یابد. خاک‌های نفوذناپذیر به دلیل عدم توانایی در جذب آب، موجب افزایش رواناب و کاهش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شوند. در مقابل، مناطقی با شیب ملایم، پوشش گیاهی متراکم، خاک‌های عمیق و نفوذپذیر و کاربری مناسب (مانند جنگل‌ها و مراتع)، کم‌ترین میزان خطر سیلاب را تجربه می‌کنند. پوشش گیاهی با جذب بخشی از بارش و کاهش سرعت رواناب سطحی، نقش مهمی در پیش‌گیری از سیلاب ایفا می‌کند. همچنین، خاک‌های عمیق و نفوذپذیر به طور موثر آب باران را جذب کرده و از ایجاد رواناب سطحی جلوگیری می‌کنند. یافته‌های این پژوهش بر اهمیت توجه به ویژگی‌های فیزیوگرافی در پیش‌بینی و مدیریت سیلاب تاکید دارد. نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب و تحلیل‌های مرتبط با آن می‌تواند ابزاری کارآمد در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های آینده به منظور کاهش خطرات سیلاب، به ویژه در مناطق پرخطر، باشد. در شکل (۱۴) و جدول (۳) نقشه پهنه‌بندی سیلاب ناگهانی و مساحت و درصد پهنه‌های حوضه موردمطالعه ارائه شده است.



شکل ۱۴: نقشه پهنه‌بندی نهایی سیلاب ناگهانی (MFFPI) حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی

جدل ۳: مساحت و درصد پهنه‌های سیلابی در حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی

پهنه‌های سیلاب	مساحت (کیلومترمربع)	درصد
خیلی کم	۵۵	۵/۵۴
کم	۱۲۶/۱۰	۱۵/۸۸
متوسط	۲۶۶/۱۵	۳۳/۵۴
زیاد	۲۱۹/۵۰	۲۷/۶۴
خیلی زیاد	۱۳۸/۰۳	۱۷/۴۰
مجموع	۸۰۵	۱۰۰

نتیجه‌گیری

سیلاب‌ها از جمله مهم‌ترین و فراوان‌ترین مخاطرات محیطی هستند که همه‌ساله باعث خسارت‌های مالی و جانی زیادی را در سرتاسر جهان برجای می‌گذارند. در پژوهش حاضر سعی شد تا با استفاده از مدل توسعه یافته سیلاب ناگهانی (MFFPI) نقشه پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه آبخیز کوزه‌توپراقی در استان اردبیل تهیه گردد. به همین منظور از شش پارامتر مدل MFFPI شامل تراکم جریان، انحناء دامنه، سازندهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، بافت خاک استفاده گردید. لایه‌های اطلاعاتی همه پارامترها با فرمت رستری در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه و استخراج شدند. سپس در گام بعد طبق جدول (۲) به همه پارامترها وزن مخصوص خود با استفاده از ابزار Raster Calculator داده شد و نقشه‌های نهایی وزن‌دهی‌شده همه پارامترها تهیه شدند. در وهله بعد با همپوشانی پارامترها نقشه نهایی سیلاب ناگهانی حوضه مورد در ۵ پهنه خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی و تهیه شد. به طور خاص، مناطقی که دارای شیب تند، پوشش گیاهی اندک، خاک نفوذناپذیر و کاربری نامناسب (مانند مناطق

مسکونی و کشاورزی) هستند، بیش‌ترین پتانسیل خطر سیلاب را دارا می‌باشند. در این نواحی، به دلیل کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش میزان رواناب سطحی، به ویژه در زمان بارش‌های شدید، احتمال وقوع سیلاب افزایش می‌یابد.

خاک‌های نفوذناپذیر به دلیل عدم توانایی در جذب آب، موجب افزایش رواناب و کاهش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شوند. در مقابل، مناطقی با شیب ملایم، پوشش گیاهی متراکم، خاک‌های عمیق و نفوذپذیر و کاربری مناسب (مانند جنگل‌ها و مراتع)، کم‌ترین میزان خطر سیلاب را تجربه می‌کنند. همچنین محاسبه مساحت هریک از کلاس‌های خطر نشان داد که ۴۵ درصد از مساحت منطقه در طبقات زیاد و خیلی زیاد، ۳۳/۵۴ درصد در طبقه متوسط و بیش از ۲۱ درصد در طبقه کم و خیلی کم از نظر خطر وقوع سیل قرار دارند. همچنین در بین ۳۶ زیرحوضه منطقه مورد مطالعه، کم‌ترین و بیش‌ترین خطر وقوع سیل مربوطه به زیرحوضه‌های ۲ و ۴ با مساحت ۰/۰۲ و ۰/۱۵ کیلومترمربع در پهنه خطر خیلی کم و زیر حوضه‌های ۱۴ و ۱۷ نیز به ترتیب با مساحت ۲۹/۲۷ و ۱۴/۹۸ کیلومترمربع از کل مساحت حوضه را دربر می‌گیرند. یافته‌های این پژوهش با مطالعات سایر پژوهشگران همچون مددی و همکاران (۱۳۹۹)، رضایی‌مقدم و همکاران (۱۴۰۳). از این‌رو، پیشنهاد می‌شود جهت کاهش مخاطرات، راهکارهای مدیریتی نظیر اصلاح الگوی کاربری اراضی، افزایش پوشش گیاهی، احداث سامانه‌های کنترل سیلاب و بهره‌گیری از مدل‌های پیش‌بینی دقیق‌تر مورد توجه قرار گیرد.

منابع و مأخذ

داوند، خ.، شهابی، ه.، سالاری، م. ۱۴۰۰. پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ایلام با استفاده از مدل تابع شواهد قطعی، **جغرافیا و مخاطرات محیطی**، ۳۷: ۲۰-۱.

رضایی مقدم، محمدحسین، و رحیم پور، توحید (۱۴۰۳). ارزیابی پتانسیل خطر وقوع سیلاب با استفاده از روش تحلیل آماری دو متغیره (مطالعه موردی: حوزه آبریز آجی چای). **پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی**، ۱۲(۴)، ۹۱-۱۰۷.

رضایی مقدم، محمدحسین، و رحیم پور، توحید (۱۴۰۳). ارزیابی پتانسیل خطر وقوع سیلاب با استفاده از روش تحلیل آماری دو متغیره (مطالعه موردی: حوزه آبریز آجی چای). **پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی**، ۱۲(۴)، ۹۱-۱۰۷.

رضایی‌مقدم، محمدحسین، کرمی، فریبا، و اباذری، کلثوم (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب ناگهانی در حوزه آبریز اوجان چای با استفاده از مدل MFFPI. **هیدروژئومورفولوژی**، ۱۰(۳۶)، ۱۵۷-۱۴۱.

سمیعی، محمد، سیدیان، سیدمرتضی، فتح آبادی، ابوالحسن، جهانتیغ، نصرالدین (۱۴۰۲). مدل‌سازی و بررسی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب حوزه آبخیز گرگانرود. **رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست**، ۲(۲): ۱۲۳-۱۳۶.

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

مددی، عقیل، پیروزی، الناز، و آقایاری، لیلا (۱۳۹۷). پهنه بندی خطر سیلاب با استفاده از تلفیق روش‌های SCS-CN و WLC (مطالعه موردی: حوضه خیاوچای مشکین شهر). **هیدروژئومورفولوژی**، ۵(۱۷)، ۱۰۲-۸۵.

مددی، عقیل، پیروزی، الناز، شکرزاده فرد، الهام (۱۳۹۹). بررسی تحلیل فضایی خطر سیلاب در حوضه آبخیز خیاوچای. **پژوهش‌های محیط زیست**، ۱۱(۲۱)، ۲۶-۱۷.

یمانی، م.، عباسی، م. ۱۳۹۹. ارزیابی سیل‌خیزی زیر حوضه‌های آبریز گادر بر اساس پارامترهای مورفومتری و همبستگی آماری، **آمایش سرزمین**، ۱۲(۱): ۲۲۴-۲۰۵.

عابدینی، موسی، صبوری، حمیرا و پاسبان، امیرحسام (۱۴۰۴). پهنه‌بندی خطر سیلاب و ارتباط آن با کاربری اراضی با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رضی‌چای، استان اردبیل). **مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای**، ۶(۲)، ۶۸-۸۴.

مرادی، نادر، شیدایی مجد، نسرین و حاتمی، حمیده (۱۴۰۲). تاثیرتغییرات اقلیم وعوامل موثرجغرافیایی درسیلاب های شهری مورد مطالعه استان یزد. **مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای**، ۴(۴)، ۶۷-۷۷.

Minea, Gabriel. (2013). Assessment of the flash flood potential of Bâsca River Catchment (Romania) based on physiographic factors". Open Geosciences, 5(3), 344-353.

Popa, C.M., Simion, A.G., Peptenatu, D., Dima, C., Draghici, C.C., Florescu, M.S., Dobrea, C.R., Diaconu, D.C.(2020). Spatial Assessment of Flash Flood Vulnerability In The Moldova River Catchment(N Romania) Using The FFPI, Journal of Flood Risk Management, 16(12):1-10.

AlTanni, A., Al-Husban, Y., Ayan, A.(2023). Assessment Of Potential Flash Flood Hazards Concerning Land Use/ Land Cover in Aqaba Governorate,Jordan, Using A Multi-Criteria Technique, The Egyption Journal Of Remote Sensing And Space Sci, Society And Environment,14(5): 202-221.

Tincu, Roxana; Lazar, Gabril; Lazar, Iuliana (2018). Modified flash flood potential index in order to estimate areas with predisposition to water accumulation. Open Geosciences, 10(1): 593-606.

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 Forcast Center Web Site at http:// www.cbrfc.noaa.gov/papers/ffp_wpap.pdf

Leeonis, 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.

Shawaqfah, M., Ababneh, Y., Odat, A. -S. A., 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.

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.

Tincu, Roxana; Lazar, Gabril; Lazar, Iuliana (2018). Modified flash flood potential index in order to estimate areas with predisposition to water accumulation. Open Geosciences, 10(1): 593-606.

Yassin, N.A.M., Adnan, N.A., Md Sadek, E.S.S.(2023). Analysis of Flash Flood Potential Index (FFPI) And Secnarios Assessment In Shah Alam Using GIS Approach, Journal of The Malaysian Institute of Planners, 21(2): 1-12.

Yao, J., Zhang, X., Luo, W., Liu, Ch., Ren, L. (2022). Applications Of Stacking /Blending Ensemble. 125-132.