



Identification and Zoning of Flood-Prone Areas in Khalkhal County

E. Piroozi¹, S. Asghari Saraskanrood^{2*}, and B. Zeinali³

Abstract

Flood is one of the natural disasters that causes the highest number of casualties and economic damage every year in different parts of the world and the country. Khalkhal County is not an exception to this rule and the occurrence of this destructive phenomenon during the past few years has destroyed some communication roads and bridges and damaged some residential area, agricultural lands, and orchards located in this county. Therefore, considering the importance of the subject; the main goal of this research is to produce a flood hazard map in Khalkhal County. To this end, firstly the digital layers of the effective parameters, including slope, aspect, DEM, geology, land use, distance from city and village, rainfall, distance from the river, and density of the river were prepared. Then standardization of the maps was done using the fuzzy membership function and the weight of each criterion was determined based on its importance in the occurrence of floods according to the CRITIC method. Finally, using the MARCOS multi-criteria analysis method, a five-story zoning map was prepared. The results of the study showed that the slope, lithology, land use, and precipitation are the most important causes of floods in Khalkhal County with respective weight coefficients of 0.163, 0.155, 0.144, and 0.135. In addition, 25.12% and 14.58% of the range area are in the very high- hazard class, respectively, which indicates the potential of this county for floods. In addition, according to the use of the ROC curve method and the sub-curve level (0.79), the accuracy of the MARCOS method is good in identifying and zoning areas prone to flood hazard in Khalkhal County. The results of the current research, as a valuable input for decision-makers, can play a key role in the process of identifying flood-producing areas and prioritizing them for watershed measures and resource, and capital management.

Keywords: Hazard, Flood, GIS, MCDM.

Received: January 23, 2024

Accepted: May 29, 2024

شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع خطر سیلاب در سطح شهرستان خلخال

الناز پیروزی^۱، صیاد اصغری سراسکانرود^{۲*} و بتول زینالی^۳

چکیده

سیلاب یکی از بلایای طبیعی است که هر ساله در نقاط مختلف جهان و کشور، بیشترین تعداد تلفات و خسارت اقتصادی را رقم می‌زند. شهرستان خلخال نیز، از این قاعده مستثنی نیست. به طوری که رخداد این پدیده مخرب در طی چند سال گذشته باعث تخریب برخی از راه‌های ارتباطی، پل‌ها، آسیب به برخی مناطق مسکونی، اراضی زراعی و باغات واقع در این شهرستان شده است. لذا، با توجه به اهمیت موضوع؛ هدف اصلی این پژوهش، تولید نقشه خطر سیلاب، در شهرستان خلخال، می‌باشد. در این تحقیق پس از تهیه لایه‌های رقمی پارامترهای مؤثر (شامل: شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از شهر و روستا، بارش، فاصله از رودخانه و تراکم رودخانه)، استانداردسازی نقشه‌های معیار، با استفاده از تابع عضویت فازی انجام شد و وزن هر معیار براساس میزان اهمیت آن در بروز سیلاب، با توجه به روش کریتیک تعیین شد. در نهایت با بهره‌گیری از روش تحلیل چند معیاره مارکوس، نقشه پهنه‌بندی در پنج طبقه تهیه شد. نتایج مطالعه نشان داد: شیب، لیتولوژی، کاربری و بارش به ترتیب؛ با ضرایب وزنی ۰/۱۶۳، ۰/۱۵۵، ۰/۱۴۴ و ۰/۱۳۵، مهمترین عوامل ایجاد سیلاب در شهرستان خلخال هستند. به علاوه به ترتیب ۲۵/۱۲ و ۱۴/۵۸ درصد از مساحت محدوده، در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارد که نشانگر پتانسیل این شهرستان، برای وقوع سیلاب است. همچنین، با توجه به بهره‌گیری از روش منحنی راک و سطح زیرمنحنی (۰/۷۹)، دقت روش مارکوس، در شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع خطر سیلاب شهرستان خلخال خوب است. انتظار می‌رود که نتایج حاصل از پژوهش حاضر، به عنوان ورودی ارزشمندی برای تصمیم‌گیرندگان در فرآیند شناسایی مناطق تولید سیل و اولویت‌بندی آن‌ها برای اقدامات آب‌خیزداری، مدیریت منابع و سرمایه نقش اساسی داشته باشد.

کلمات کلیدی: مخاطره، سیل، GIS، MCDM.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۳/۹

1- Postdoctoral Researcher, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: e.piroozi@uma.ac.ir

2- Professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: s.asghari@uma.ac.ir

3- Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: zeynali.b@uma.ac.ir

*- Corresponding Author

Doi: [10.22034/IWRR.2024.437377.2739](https://doi.org/10.22034/IWRR.2024.437377.2739)

۱- پژوهشگر پسادکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۴۰۳ امکانپذیر است.



سیل، جریان آبی است با تراز نسبتاً بالای رودخانه که در نتیجه آن، آب از اراضی پست اطراف رودخانه تجاوز کرده و به غرقابی شدن آن منجر می‌شود (Ghanavati et al., 2022). برخی از علل وقوع انواع سیل را می‌توان؛ ریزش باران شدید یا طولانی، ذوب برف، شکستن سد و لغزش زمین، امواج مرتفع، بستن کانال، شدت بارندگی، نوع بارندگی، زمان و حجم بارندگی، زهکشی حوضه، کاربری‌های نامناسب و قطع درختان جنگلی در سرچشمه رودها عنوان کرد (Kolawole, 2011). بدون تردید سیل یکی از فاجعه‌بارترین حادثه‌های طبیعی است که صدمات جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست، زندگی انسان و زیرساخت‌ها مانند جاده‌ها و پل‌ها وارد می‌کند (Mirkazemi et al., 2022; Feizollahi and Javadnia, 2023). به طوری که بر اساس برآوردها، سیل از نظر تعداد وقوع، دومین مخاطره طبیعی است که حدود ۱۰ درصد مرگ و میر، ۳۶ درصد آسیب‌های جسمی، ۷۱ درصد افراد بی‌خانمان و ۴۳ درصد خسارت مالی سالانه ناشی از وقوع مخاطرات، در جهان را به خود اختصاص داده است (Vejdani Nozar and Givehchi, 2023) و طبق گزارش ارائه شده توسط یونسکو پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ میلادی، به دلیل تغییرات اقلیمی، رشد بیابان‌زایی، نابودی تالاب‌ها و رشد شهرنشینی در مناطق با خطا بالای وقوع سیل، جمعیت آسیب‌پذیر از خطر سیل به دو میلیارد نفر برسد (Zibarzani et al., 2023). موقعیت جغرافیایی ایران و وضعیت هیدروژئومورفولوژی آن نیز، سبب شده است تا بخش‌های زیادی از کشور در معرض مخاطره سیلاب باشد (Asadi et al., 2022). به طوری که؛ در اغلب سال‌های گذشته، حدود ۱۴ درصد اعتبارات سالانه طرح کاهش اثرهای بلایای طبیعی و ستاد حوادث غیرمترقبه صرف جبران خسارات ناشی از سیلاب شده است (Saffari et al., 2023).

باتوجه به گستردگی تبعات اقتصادی-اجتماعی سیلاب، به رویکردی برای مدیریت پایدار و اثربخش سیلاب نیاز است و از گام‌های بسیار مهم در جهت کاهش آثار زیان بار ناشی از سیل، شناخت مناطق دارای پتانسیل و پهنه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر است (Saedi and Asiaei, 2023). با توجه به اینکه، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره امکان تعیین مقدار اهمیت کلیه معیارها و ادغام آن‌ها در یک شاخص ترکیبی را فراهم می‌کند تا تصمیم‌گیرندگان قادر به شناسایی بهترین گزینه باشند (Zhu and Liu, 2021). در چند دهه اخیر، به طور گسترده در یکپارچه‌سازی، شناسایی یا رتبه‌بندی عوامل تأثیرگذار و به ویژه در تجزیه و تحلیل مخاطرات طبیعی به کار گرفته شده‌اند (Mahmoody-Vanolya et al., 2021). از سوی دیگر، استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS^۱)، به منظور مدیریت، تفسیر

و آماده‌سازی داده‌های فضایی برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی، فرصت‌ها و چالش‌های زیادی را برای مدل‌سازان هیدرولوژیکی فراهم می‌کند (Chen, 2021). لذا، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با یک رویکرد تلفیقی، می‌تواند به برنامه‌ریزی سریع و مدیریت خطرات احتمالی منجر شود (Asghari Saraskanroud and Pirooz, 2022). مطالعات متعددی در نقاط مختلف جهان نیز انجام شده و توانایی تحلیل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب نشان داده است. به عنوان مثال: (Asghari saraskanroud et al., 2016) با استفاده از مدل ویکور، خطر سیلاب در حوضه آق‌لاقان‌چای را مطالعه کردند. طبق نتایج به‌دست آمده عوامل شیب، ارتفاع و فاصله از شبکه آبراهه، بیش‌ترین تأثیر را بر ایجاد سیل در حوضه آق‌لاقان‌چای دارند و این حوضه دارای توان بسیار بالا از لحاظ رخداد سیلاب است. (Abedini et al., 2018) خطر سیلاب در حوضه خیابوچای مشکین‌شهر را با استفاده از مدل ویکور مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد عوامل ارتفاع، لیتولوژی، بارش و شیب بیش‌ترین تأثیر را بر ایجاد سیل در منطقه مطالعاتی دارند و به ترتیب ۲۳/۳۷ و ۵۲/۵۰ کیلومتر مربع از مساحت محدوده، در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند. (Shivaprasad Sharma et al., 2018) در حوضه رودخانه کپییل هندوستان با استفاده از فنون تحلیل چندمعیاره و تصاویر ماهواره‌ای به پهنه‌بندی خطر سیلاب پرداختند. طبق نتایج حاصل از مطالعه ۲۴/۸۳۷ هکتار از محدوده که شامل ۹۵ روستا است، دارای احتمال خطر بسیار زیاد است. (Nafarzadegan et al., 2019) با استفاده از مدل‌های فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و ویکور، به مطالعه و ارزیابی سیلاب در حوضه آبخیز دهبار در استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج حاصل در اولویت‌بندی به روش ویکور نشان داد؛ زیرحوضه یک، دو و سه به ترتیب بیش‌ترین پتانسیل خطر سیلاب را در حوضه دارند و در نتیجه از لحاظ ضرورت انجام اقدامات مدیریتی در اولویت هستند. (Khourshidi et al., 2021) اولویت‌بندی پتانسیل سیل خیزی در حوضه آبخیز حاجی‌بختیار، استان ایلام را با کاربرد روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و ویکور مطالعه کردند. باتوجه به نتایج مطالعه، ۵۳ درصد از مساحت منطقه در پتانسیل سیل خیزی زیاد و ۱۶ درصد در پتانسیل خیلی زیاد واقع شده است و زیرحوضه H12-2 به علت موقعیت توپوگرافی و بارش زیاد دارای بیشترین احتمال وقوع سیلاب در حوضه مطالعاتی است. (Zhu et al., 2021) با توجه به روش‌های چندمعیاره تاپسیس و ویکور، به بررسی مقاومت دلتای رودخانه یانگ تسه چین در برابر سیلاب شهری پرداخته‌اند. نتایج مطالعه نشان داد درحالی‌که کل منطقه سطح متوسطی از مقاومت در برابر سیل شهری را نشان می‌دهد، ولی شهر ناتجینگ پتانسیل بالاتری دارد. (Naderi, 2022) ایلام با استفاده از مدل الکترو به پهنه‌بندی

خطر سیل در حوضه آبخیز گنجوان ایلام پرداختند. نقشه پهنه‌بندی خطر سیل نشان داد که زیرحوضه گنجوان با بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی در اولویت اول و زیرحوضه سرتنگ بیجار در اولویت دوم جهت اجرای طرح‌های آبخیزداری مقابله با سیل قرار دارند و دلیل بالا بودن خطر سیل‌خیزی این زیرحوضه‌ها، ساختار زمین‌شناسی منطقه است. (Chen et al. (2022) پهنه‌بندی خطر سیل با ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های تحلیل چندمعیاره AHP، TOPSIS و OWA مورد مطالعه قرار داده است. پس از تجزیه و تحلیل دقیق مجموعه معیارهای ارزیابی، به ترتیب؛ شاخص خشکسالی، ارتفاع و پوشش گیاهی به عنوان مهم‌ترین عوامل دخیل معرفی شدند. به علاوه، نتایج نشان داد که نقشه‌های خطر سیل حاصل از مطالعه علمی، منطقی و مطابق با واقعیت میدانی هستند. (Abedini et al. (2023) با بهره‌گیری از تکنیک چندمعیاره آراس و هیدروگراف واحد به ارزیابی خطر سیلاب در حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری پل سلطان مشکین‌شهر پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد، عوامل شیب، لیتولوژی، کاربری و ارتفاع به ترتیب با مقادیر وزنی؛ ۰/۱۶۴، ۰/۱۵۶، ۰/۱۱۸ و ۰/۱۱۶ بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در منطقه مطالعاتی دارند. همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده به ترتیب ۲۰/۴۶ و ۳۲/۰۲ کیلومترمربع از مساحت محدوده، در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند که نشانگر پتانسیل بالای این حوضه برای وقوع سیلاب می‌باشد. (Mekonne et al. (2023) با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به پهنه‌بندی خطر سیل حوضه رودخانه آواش بالایی اتیوپی پرداختند و نتایج نشان داد که تراکم زهکشی، بارندگی و ارتفاع از اهمیت بالاتری برخوردارند، در حالی که کاربری‌اراضی و نفوذپذیری خاک تأثیر کمی در فرآیند تولید سیل حوضه دارند.

شهرستان خلخال به لحاظ شرایط خاص منطقه، مانند؛ توپوگرافی پرشیب، وجود سازندهای با نفوذپذیری کم، ساختار لیتولوژیکی فرسایشی در نواحی خاکدار و شرایط اقلیمی، از پتانسیل بالایی برای وقوع سیلاب برخوردار است و رخداد این پدیده مخرب در طی چند سال گذشته باعث تخریب برخی از راه‌های ارتباطی، آسیب به برخی مناطق مسکونی، تخریب پل و ابنیه فنی، آسیب به اراضی زراعی و باغات واقع در این شهرستان شده است. به عنوان مثال؛ سیل در ۲ مرداد ۱۳۸۱، موجب مرگ ۶ نفر در روستاهای منطقه خلخال شده و در منطقه بیلاقی آق بلاغ مربوط به اهالی روستای غفورآباد، تجمع گله‌های گوسفند در مسیر سیل، بندی را ایجاد و باعث انحراف آب به‌طرف خانه‌های مسکونی شد که از ۴۸ باب منزل مسکونی، ۱۵ باب آن نسبتاً تخریب شده و بقیه نیز تماماً ویران شده بود به‌طوری‌که اثری از آن‌ها مشاهده نشده است. در شهریور ۱۳۸۷، جاری شدن سیل در

شهرستان خلخال با تخریب راه ۱۰ روستا در بخش‌های مرکزی، شاهرود و خورش رستم خلخال و صدمه به پل‌ها و بخشی از مزارع کشاورزی و باغی، ۲ میلیارد ریال خسارت برجا گذاشت. در تیر ۱۳۹۹، سیل موجب تخریب ۴۰ واحد مسکونی در روستای مصطفی‌لو از توابع بخش مرکزی خلخال شد و به ۳۵ واحد مسکونی در حال احداث در این روستا و نیز مزارع روستاییان، خسارتی وارد کرد. در ۶ اردیبهشت ۱۴۰۱، جاری شدن سیل در روستاهای برندق، نسا، منامن، کزج، دم‌دل، نوده، ویو، نمپیل در بخش خورش‌رستم و همچنین روستاهای تیل، کهل، گلوزان، فرج‌آباد در بخش شاهرود و روستاهای بفرآجر، آق‌بلاغ کرد، یوزناب، کلستان‌علیا و سفلی و مورستان در بخش مرکزی این شهرستان علاوه بر تخریب راه ارتباطی این روستاها موجب تلف شدن دام روستائیان و از بین رفتن بخش مهمی از محصولات زراعی و باغی، در این مناطق شده است و به واحدهای مسکونی، بندهای انحراف آب کشاورزی نیز خسارت وارد کرد (سایت خلخالیم، سایت خبری ایرنا). نمونه تصاویری از سیلاب‌های ناگهانی و تخریب ناشی از آن در سطح شهرستان خلخال در شکل ۱، نمایش داده شده است. لذا با نظر به اهمیت موضوع و با توجه به اینکه، روش‌های تصمیم‌گیری در چند دهه اخیر، در زمینه پهنه‌بندی خطر سیلاب بسیار مورد استقبال قرار گرفته است و روش مارکوس از برجسته‌ترین و جدیدترین روش‌های چندمعیاره است. هدف پژوهش حاضر شناسایی مناطق دارای پتانسیل وقوع شهرستان خلخال در برابر مخاطره سیلاب، با استفاده از داده‌های مکانی و توصیفی است. انتظار می‌رود با شناسایی مناطق اولویت‌دار از نظر خطر سیلاب، اقدامات لازم جهت کنترل اثرات منفی سیلاب، عملیات اجرایی و اصلاحی و برنامه‌ریزی بهره‌برداري بهینه از منابع در سطح شهرستان، توسط سازمان‌های ذی‌ربط به عمل آید. از سوی دیگر، پژوهش حاضر؛ با توجه به استفاده از روش تحلیل چندمعیاره مارکوس، در امر انتخاب روش مناسب بررسی و پهنه‌بندی خطر سیلاب در مناطقی با شرایط محیطی مشابه با محدوده شهرستان خلخال، می‌تواند بسیار مفید بوده و مورد توجه پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران در راستای مطالعه خطر سیلاب، قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

شهرستان خلخال با وسعت ۲۶۶۴ کیلومتر مربع، در جنوب استان اردبیل، بین ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۲). این شهرستان، از طرف شمال با شهرستان کوثر، از شرق با استان گیلان، از جنوب با استان زنجان و از غرب با شهرستان میانه آذربایجان شرقی هم مرز است.



Fig. 1- Sample images of flood flows and erosion, destruction, and accumulation of mud caused in Khalkhal County

شکل ۱- نمونه تصاویری از جریان‌های سیلاب‌ها و فرسایش، تخریب و انباشت گل و لای ناشی از این جریان‌ها در سطح شهرستان خلخال

مطالعه منابع و بررسی پیشینه پژوهشی، با نظر به شرایط طبیعی و انسانی منطقه و مشورت با کارشناسان، شناسایی شد. سپس، نسبت به تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوطه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام شد. در این راستا، لایه رودخانه، با استفاده از نقشه رودخانه‌های استان اردبیل، استخراج شد و با توجه به این لایه، دو نقشه فاصله از رودخانه و تراکم زهکشی تهیه شد. با توجه به نقشه فاصله از رودخانه و تراکم زهکشی می‌توان بیان داشت که فاصله از آبراهه در سطح محدوده بین صفر تا ۷۰۰۰ متر است و تراکم زهکشی بین صفر تا ۱/۰۲ کیلومتر بر کیلومتر مربع است.

نقشه مدل رقمی ارتفاع با قدرت تفکیک (۱۲/۵×۱۲/۵ متر) از سایت دانشگاه آلاسکا دریافت و محدوده مورد مطالعه استخراج شد و لایه‌های شیب و جهت شیب نیز با استفاده از مدل رقمی ارتفاعی در Arc map تهیه شد. بررسی معیار ارتفاع در سطح شهرستان نشان می‌دهد، شهرستان خلخال در ارتفاع ۵۲۰ تا ۳۳۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است و ارتفاع متوسط شهرستان، حدود ۱۹۰۰ متر است و به طور کلی؛ ۱۲۸/۱۷۳ کیلومتر مربع از مساحت محدوده، در طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر قرار دارد. طبقات ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۲۵۰۰ متر، به ترتیب؛ ۶۳۴/۱۹۸، ۹۴۹/۶۹۵ و ۷۹۰/۶۵۸ کیلومتر مربع از مساحت محدوده مورد مطالعه را پوشش می‌دهند. همچنین؛ به ترتیب ۱۵۶/۴۷۸ و ۴/۷۹۸ کیلومتر مربع، از مساحت محدوده دارای ارتفاع ۲۵۰۰-۳۰۰۰ و ۳۰۰۰-۳۵۰۰ متر، است.

ارتفاع بلندترین نقطه شهرستان ۳۳۰۰ متر (قله آق داغ) و پست‌ترین نقطه ۵۲۰ متر (در حاشیه رودخانه قزل‌اوزن) است. قله آق داغ با ارتفاع ۳۳۰۹ متر، بعد از سیلان، دومین قله مرتفع استان محسوب می‌شود و تقریباً در جنوب شهرستان خلخال واقع شده است. قله عجم نیز در قسمت شمالی شهرستان واقع شده است و با ارتفاع ۳۰۰۹ متر، دومین قله بلند شهرستان خلخال محسوب می‌شود. از دیگر ارتفاعات شهرستان می‌توان به پلنگان، اوجقاز، آلوچه‌داغ و ازناو به ترتیب، با ارتفاعات ۲۶۴۰، ۲۵۵۰، ۲۱۹۰ و ۱۹۵۰ متر اشاره کرد. از لحاظ زمین‌ساختی، محدوده شهرستان، در زون البرز (زیر پهنه البرز غربی و آذربایجان)، قرار دارد. در شهرستان خلخال، رود قزل‌اوزن و شاخه‌های آن مانند ازنوچایی، نور علی چایی، قنر باخان‌چایی، هیروچایی، آریچایی، شاهرود جریان دارد. منطقه مورد مطالعه از نظر آب و هوایی، دارای هوای سرد در زمستان و هوای نسبتاً معتدل در تابستان است. نوع اقلیم منطقه طبق فرمول دومارتن و سلیمانینوف، نیمه‌خشک است. میانگین بارش سالانه این شهرستان، ۳۰۰ میلی‌متر است و به ترتیب؛ بهمن و مرداد ماه، سردترین و گرمترین ماه هستند.

۲-۲- تشریح معیارهای مورد بررسی

با توجه به این که وقوع سیلاب تحت تأثیر عوامل بسیار متعددی هست، انتخاب و شناسایی عوامل مؤثر در رخداد سیلاب، از مراحل بسیار مهم است. لذا، ابتدا عوامل مؤثر در ایجاد خطر سیلاب شهرستان خلخال (شامل: شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از شهر و روستا، بارش، فاصله از رودخانه و تراکم رودخانه)، با

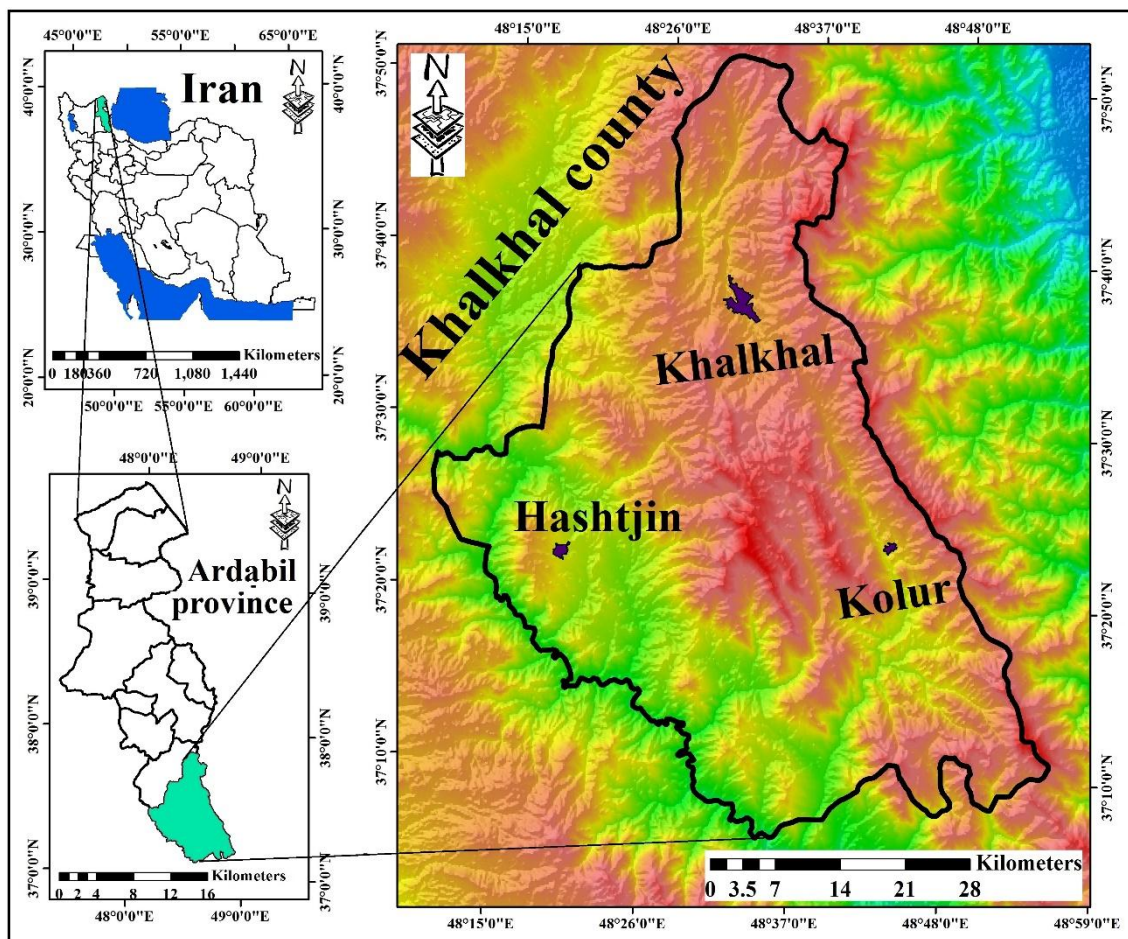


Fig. 2- Location of the study area
 شکل ۲- نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه، با استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۹ (تاریخ: ۲۰۲۲/۰۸/۵) و طبقه‌بندی شیء‌گرا استخراج شد. انواع کاربری‌ها، در شهرستان خلخال، به صورت زراعت دیم و آبی (به ترتیب با پوشش ۱۶۹/۸۹ و ۹۶/۰۱ کیلومتر مربع از مساحت محدوده)، باغات (با ۲۲/۶۱ کیلومتر مربع)، اراضی بایر (با ۱۵۱/۵۰ کیلومتر مربع)، مناطق مسکونی شهری و روستایی (۲۱/۰۳ کیلومتر مربع)، مراتع فقیر، متوسط، خوب (به ترتیب: با ۱۵۲۳/۲۲، ۵۸۷/۷۰ و ۸۷/۱۱ کیلومتر مربع)، اراضی پوشیده از آب (با مساحت ۴/۹۳ کیلومتر مربع)، است. لایه اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها)، با توجه به نقشه زمین‌شناسی استان؛ با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شد. بر اساس بررسی نقش، زمین‌شناسی شهرستان، واحد Eav (آندزیت ولکانیکی)، با مساحت ۱۳۳۵/۴۵۳ کیلومتر مربع، بیشترین سطح شهرستان را پوشانده است و II (آهکی توده‌ای و گچی نازک و خاکستری روشن)، با مساحت ۳۲/۰۳۹ کیلومتر مربع و Od.av (داسیت و آندزیت آتشفشانی)، با مساحت ۴۲/۷۱۴ کیلومتر مربع، کم‌ترین مقدار از مساحت شهرستان را به خود اختصاص داده‌اند. از لحاظ مقاومت

در محدوده مورد پژوهش، مقدار شیب بین ۰ تا ۹۶ درصد است. ۹۴/۳۲۹ کیلومتر مربع از مساحت شهرستان دارای شیب ۰-۵ درصد است و طبقات شیب ۵-۱۰ و ۱۰-۲۰، به ترتیب: ۳۲۳/۶۲۳ و ۸۲۷/۵۶۳ کیلومتر مربع از سطح محدوده را شامل می‌شوند. همچنین، به ترتیب: ۱۰۹۴/۴۹۲، ۳۰۲/۷۳۱، ۲۰/۸۱۸ و ۰/۴۴۴ کیلومتر مربع از سطح محدوده، در طبقات شیب ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰ و ۸۰-۹۶، قرار گرفته است. در شهرستان خلخال، ۳۸۰/۷۲ کیلومتر مربع از مساحت محدوده در جهت شیب جنوب، ۲۹۸/۱۸ کیلومتر مربع در جهت جنوب‌شرقی و ۳۵۹/۰۶ کیلومتر مربع در جهت جنوب‌غربی قرار گرفته است. همچنین، به ترتیب ۳۶۵/۴۴، ۳۰۷/۷۷ و ۳۴۰/۹۸ کیلومتر مربع از مساحت محدوده را جهات شمال، شمال‌غرب و شمال‌شرق پوشش می‌دهد. به علاوه، ۲۹۶/۸۱ و ۳۱۳/۴۲ کیلومتر مربع از مساحت محدوده به ترتیب دارای جهت شیب شرقی و غربی است و اراضی صاف و هموار، ۱/۶۲ کیلومتر مربع از مساحت شهرستان را تشکیل می‌دهد.

در سال ۲۰۲۰ معرفی شده است و براساس روابط تعریف شده، توابع سودمندی مربوط به هر گزینه محاسبه شده و رتبه‌بندی سازشی بر اساس رابطه هر گزینه ایده‌آل و ضد ایده‌آل انجام می‌شود. اولویت‌های تصمیم‌گیری بر اساس تابع سودمندی تعریف می‌شوند. توابع سودمندی، موقعیت هر گزینه در مقایسه با گزینه ایده‌آل و ضد ایده‌آل را نشان می‌دهد (Stević et al, 2020). روش مارکوس طی مراحل زیر انجام می‌شود.

مرحله اول- اولین گام در این روش تعیین عوامل و گزینه‌های پژوهش و تشکیل ماتریسی است که ستون‌های آن نشان‌دهنده معیارهای مسأله و سطرها نیز نشانگر گزینه‌ها هستند. مرحله دوم- تعیین ایده‌آل و ضد ایده‌آل: در این بخش بر اساس روابط ۱ و ۲، مقادیر ایده‌آل (AI) و ضد ایده‌آل (AAI) مشخص می‌شود. در روابط زیر، عبارت B به معنی معیارهایی که جنبه سود و عبارت C به معنی معیارهای که جنبه هزینه دارند (با توجه به هدف پژوهش حاضر، جنبه سود و هزینه در رابطه با نقش معیارها، در وقوع خطر سیلاب می‌باشد).

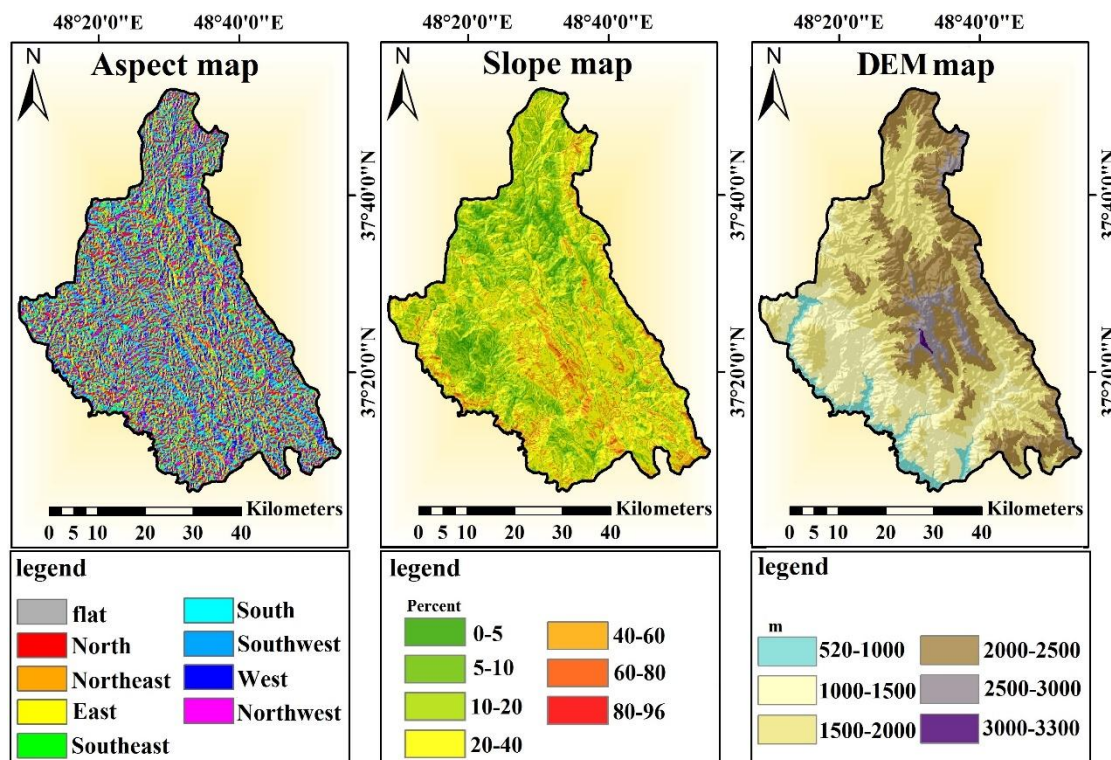
$$AI = \max x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \min x_{ij} \text{ if } j \in C \quad (1)$$

$$AAI = \min x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \max x_{ij} \text{ if } j \in C \quad (2)$$

سازندهای محدوده به ۵ طبقه، از مقاومت بسیار کم تا مقاومت بسیار زیاد، تقسیم شده است. به ترتیب ۱۶۶/۶۲ و ۵۹۹/۸۲ کیلومتر مربع از مساحت محدوده دارای مقاومت بسیار کم و کم هستند. ۱۳۴/۵۱ کیلومتر مربع از سطح محدوده را سازندهای با مقاومت متوسط (نیمه مقاوم)، پوشانده است و به ترتیب سازندهایی با لیتولوژی مقاوم و بسیار مقاوم با نفوذپذیری کم، ۲۷۷/۵۲ و ۱۴۸۵/۵۳ کیلومتر مربع از مساحت محدوده را تشکیل داده است. نقشه بارش شهرستان نیز، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی (خلخال، مجره، هشتجین، برندق، هل‌آباد، آریاچایی، میان‌رودان، گیوی علیا، خانقاه سادات، قره قشلاق، پردتسلو و کلور)، مربوط به بازه زمانی ۱۳۸۱-۱۴۰۱ و با بهره‌گیری از معادله گرادیان بارش ($P=0/1029(H+218.15)$ ، ترسیم شد که با توجه به این نقشه، حداقل بارش محدوده ۲۷۰ و حداکثر آن ۵۶۰ میلی‌متر است. در شکل ۳، نقشه معیارهای مطرح در پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان خلخال، نمایش داده شده است.

۳-۲- مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی با استفاده از روش مارکوس^۲ (MARCOS)

روش مارکوس مبتنی بر تعریف رابطه بین گزینه‌ها و مقادیر مرجع (گزینه ایده‌آل و ضد ایده‌آل) است. این روش توسط استویچ و همکاران



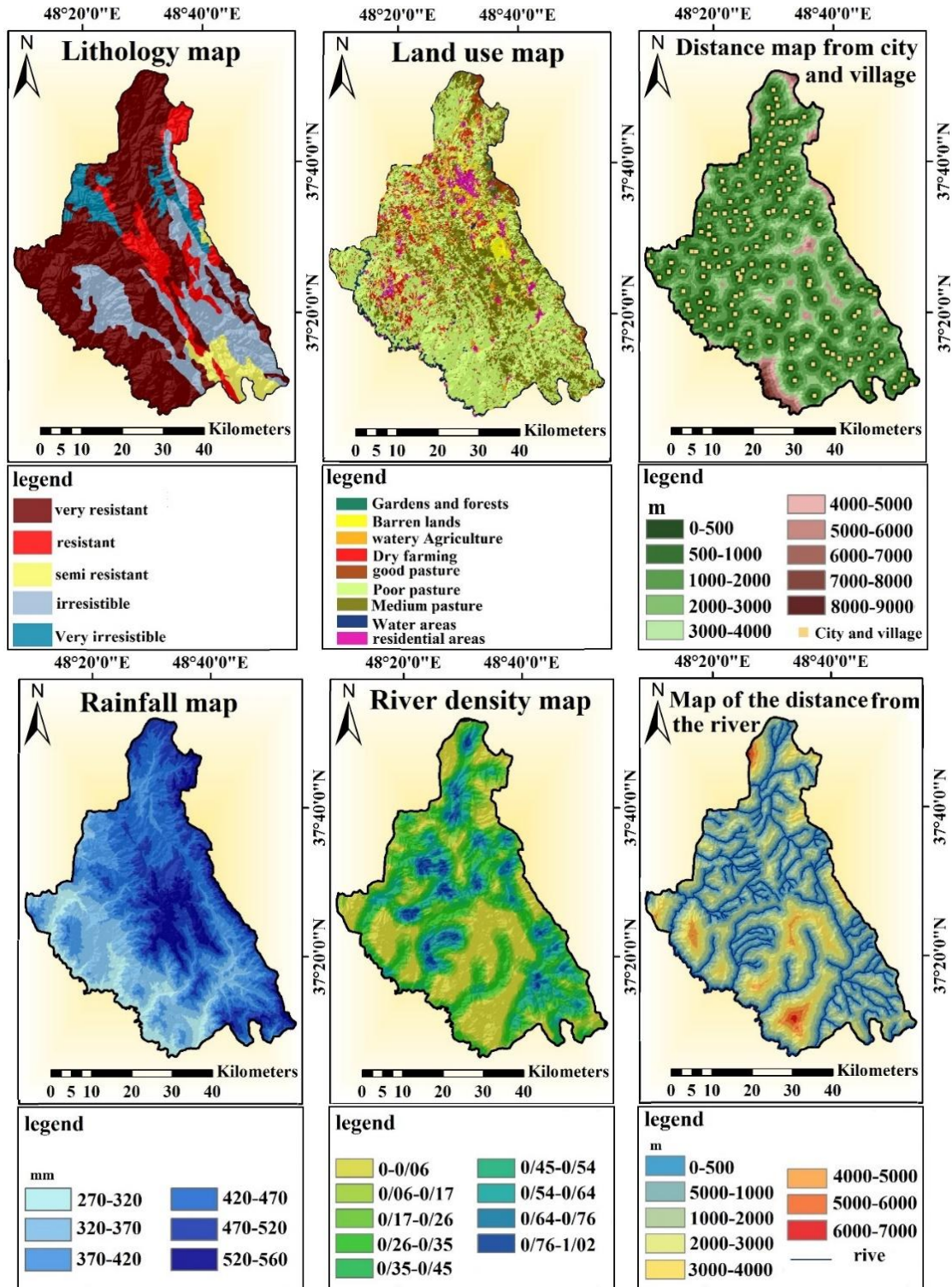


Fig. 3- The map of the proposed criteria in flood hazard zoning of Khalkhal County

شکل ۳- نقشه معیارهای مطرح در پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان خلخال

مرحله سوم- استانداردسازی: مرحله استانداردسازی، با توجه به تابع فازی، به حداکثر عضویت، مقدار یک و به حداقل عضویت، مقدار عضویت مجموعه فازی انجام شده است (جدول ۱). در مجموعه‌های عددی صفر، تعلق می‌گیرد (Zhang et al., 2023).

Table 1- The type of fuzzy functions of thematic layers affecting the flood hazard in Khalkhal County

جدول ۱- نوع توابع فازی لایه‌های موضوعی تأثیرگذار بر خطر سیلاب شهرستان خلخال

Variable	Description	Fuzzy function type
DEM	As the height decreases, the flood hazard increases	Decreasing linear function
Slope	As the slope increases, the hazard of flooding increases	Increasing linear function
Apect	Reclassifying and assigning codes based on their importance in flooding and fuzzing	Large fuzzy function
Land use	Allocation of codes based on its importance in the occurrence of flood hazard and then create a fuzzy map	Large fuzzy function
Distance from city and village	In the areas adjacent to cities and villages, the potential for flood hazard increases	Close fuzzy function
Lithology	Allocation of codes based on its importance in the occurrence of flood hazard and then create a fuzzy map	Large fuzzy function
Distance from the river	In the areas near the river, the potential for flood hazard increases	Close fuzzy function
River density	With the increase in river density, the hazard of flooding increases	Increasing linear function
Rain	As the amount of rainfall increases, the hazard of flooding increases.	Increasing linear function

مرحله پنجم- محاسبه مطلوبیت هر گزینه: در این مرحله، بر اساس روابط ۳ و ۴، درجه مطلوبیت ایده‌آل K_+ و ضد ایده‌آل K_- گزینه‌ها محاسبه می‌شود.

$$K_{i+} = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad (3)$$

$$K_{i-} = \frac{S_i}{S_{aai}} \quad (4)$$

در روابط فوق، $S_i = (i=1,2,3,..m)$ جمع مقایر هر سطر در ماتریس وزن‌دار است که از رابطه ۵، به‌دست می‌آید:

$$S_i = \sum_{j:1}^n v_{ij} \quad (5)$$

مرحله ششم- تعیین عملکرد نهایی و رتبه‌بندی گزینه‌ها: در این بخش با استفاده از رابطه ۶، عملکرد مطلوب هر گزینه محاسبه می‌شود.

$$f(k_i) = \frac{k_i^+ + k_i^-}{1 + \frac{1 - f(k_i^+)}{f(k_i^+)} + \frac{1 - f(k_i^-)}{f(k_i^-)}} \quad (6)$$

در رابطه فوق‌الذکر $f(k_-)$ عملکرد مطلوبیت ضد ایده‌آل و $f(k_+)$ عملکرد مطلوب ایده‌آل برای هر گزینه است که از روابط ۷ و ۸ محاسبه می‌شود. سپس بر اساس اعداد به‌دست آمده از $f(k)$ هر گزینه رتبه‌بندی انجام می‌شود. هر کدام از گزینه‌ها که مقدار $f(k)$ بزرگتری داشته باشد، رتبه بهتری دارد (Stević et al, 2020; Jafarzadeh, 2023). باید در نظر داشت که فرمول‌های و روابط ارائه شده، به صورت اجرای عملیات ریاضی بر روی لایه‌ها با استفاده از تابع raster calculator، عملیاتی می‌شوند و در نهایت بعد از استخراج نقشه نهایی حاصل از مدل، با توجه به دامنه ارزشی موجود

مرحله چهارم- به صورت وزن‌دار نمودن ماتریس استاندارد شده است. در این پژوهش، مرحله وزن‌دهی عوامل با استفاده از روش کرتیک (CRITIC³)، انجام شده است. در این روش، داده‌ها بر اساس میزان تداخل و تضاد بین معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و نظرکارشناس دخیل نیست (Alinezhad & Khalili, 2019). به‌منظور پیاده‌سازی این روش بایستی در اکسل یک ماتریس متقارنی باتوجه به تعداد معیارهای مورد بررسی، تحت عنوان ماتریس همبستگی (ماتریس ۹ در ۹)، ایجاد شد. در مرحله بعد مقدار همبستگی معیارها نسبت به همدیگر در ادیسی به‌دست آمده و در جدول مربوطه در اکسل یادداشت شد. بعد از تکمیل ماتریس همبستگی، در مرحله بعد ماتریس تضاد معیارها با تفریق همبستگی هر یک از معیارها در عدد یک محاسبه می‌شود. بعد از محاسبه ماتریس تضاد، در مرحله بعد مجموع تضادهای هر معیار با معیارهای دیگر را به دست می‌آید. بدین منظور از هر ستون از ماتریس تضاد، مجموع گرفته می‌شود و در مرحله بعدی، میزان اطلاعات هر معیار محاسبه می‌شود. به منظور اجرای این مرحله اول بایستی مقدار انحراف هر معیار مشخص شده باشد که این مقدار نیز با استفاده از تابع REGRESS و با مقایسه دویه‌دو معیارها در محیط نرم‌افزار ادیسی، به دست می‌آید. سپس به منظور محاسبه میزان اطلاعات هر معیار، انحراف معیار هر یک از معیارها در مجموع تضاد آن ضرب می‌شود. در نهایت از کل میزان اطلاعات نیز یک مجموع به دست می‌آید. در مرحله آخر به منظور محاسبه وزن نهایی هر معیار، میزان اطلاعات هر معیار را بر مجموع کل میزان اطلاعات تقسیم می‌شود.

از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل (به عنوان نقشه مرجع سیلاب)، با استفاده از این روش انجام شده است. در این راستا، با استفاده از دستور ROC در نرم‌افزار ادریسی، لایه نقشه نهایی پهنه‌بندی به عنوان ورودی، نقشه پهنه‌های سیلابی به عنوان نقشه مرجع یا رفرنس و لایه مرز محدوده به عنوان نقشه ماسک یا برش معرفی می‌شود. در نهایت، نتیجه حاصل از محاسبه که به صورت جدول اطلاعاتی است در اکسل فراخوانی شده و سپس نسبت به ترسیم منحنی اقدام می‌شود. در ادامه با نظر به اینکه، در دهه‌های اخیر به دلیل سهولت اجرا و همچنین صحت نتایج به دست آمده از شاخص‌های استخراج آب، توجه محققان به طور عمده به استخراج پهنه‌های آبی با استفاده از این شاخص‌ها، معطوف بوده است (Jiang et al., 2014). لذا در ادامه به منظور بررسی بیشتر صحت نتایج حاصل از به‌کارگیری روش مارکوس در شناسایی پهنه‌های بسیار پرخطر و پرخطر از نظر وقوع خطر سیلاب، شاخص MNDWI با اعمال رابطه ۹ بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست، برای دو تاریخ پس از سیلاب ۱۶ اردیبهشت سال ۱۴۰۱ (تاریخ تصویر مورد استفاده: ۲۰۲۲/۰۵/۰۱) و پس از سیلاب ۲۳ تیر سال ۱۳۹۸ (تاریخ تصویر مورد استفاده: ۲۰۲۰/۰۷/۲۲)، استخراج شد و نسبت به مقایسه شاخص MNDWI با نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب حاصل از پژوهش، اقدام شده است. فلوجارت کلی مربوط به فرآیند پژوهش، در شکل ۴، نمایش داده شده است.

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR} \quad (9)$$

که بین صفر تا ۱ است، لایه مربوطه با استفاده از دستور Reclassify، در صورت Natural Breaks، در ۵ کلاس، طبقه‌بندی می‌شود.

$$f(k_i^-) = \frac{k_i^+}{k_i^+ + k_i^-} \quad (7)$$

$$f(k_i^+) = \frac{k_i^-}{k_i^+ + k_i^-} \quad (8)$$

۴-۲- صحت‌سنجی نتایج

پس از استخراج نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان خلخال، لازم است تا صحت نتایج حاصل از پژوهش، مورد بررسی قرار گیرد. منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC^4)، از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در پیش‌بینی و تعیین دقت مدل‌سازی است (Silakhori et al., 2023). درحقیقت منحنی ROC یک نمایش تصویری از موازنه بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از نقاط برش (یا همان مقادیر مربوط به رده‌های خطر) است. مقدار سطح زیرمنحنی (AUC^5)، دامنه‌ای بین ۰/۵ تا ۱ را دارد که نشان از دقت ضعیف تا عالی مدل برای پیش‌بینی است. به طوری که، طبقه‌بندی ارائه شده برای سطح زیرمنحنی (AUC)، به صورت ۰/۹-۱: عالی، ۰/۸-۰/۹: خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸: خوب، ۰/۶-۰/۷: متوسط، ۰/۵-۰/۶: ضعیف، است و مدلی که بیشترین مقدار AUC را دارا باشد، دارای عملکرد نسبی بالاتری است (Chen et al., 2018). لذا، در این پژوهش نیز صحت نتایج، با توجه به پهنه‌های سیلابی شهرستان خلخال، اخذ شده

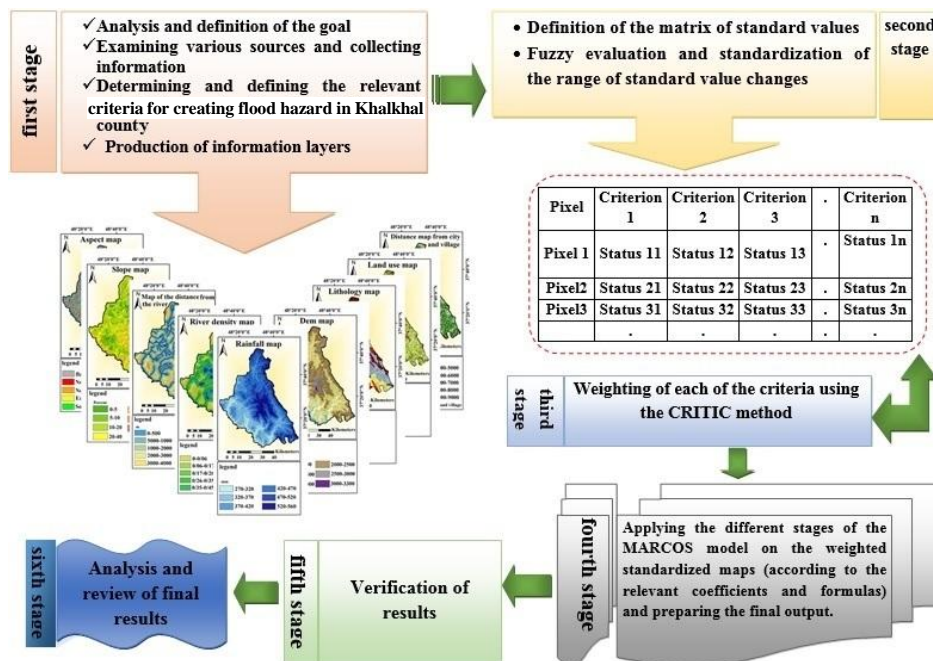


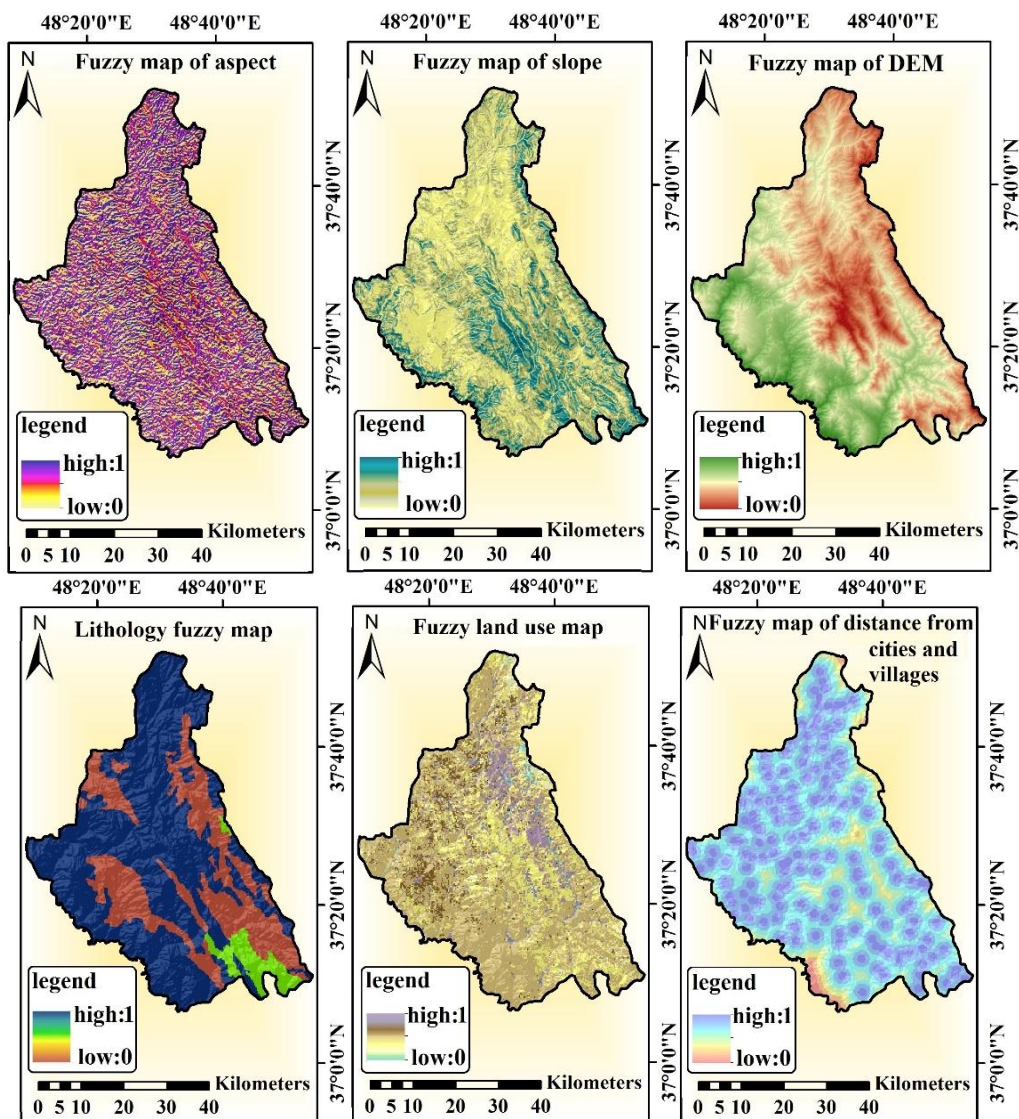
Fig. 4- Flowchart related to the research process

شکل ۴- فلوجارت مربوط به فرآیند تحقیق

۳- نتایج و بحث

شهرستان، دارای پتانسیل خطر متوسط و به ترتیب $۶۰۷/۷۲$ و $۳۰۴/۳۳$ کیلومترمربع دارای پتانسیل خطر کم و بسیار کم هستند (جدول ۶). موقعیت مناطق شهری و روستایی در ارتباط با پهنه‌بندی خطر سیلاب نیز نشان می‌دهد، شهر کلور و خلخال به همراه ۴۶ روستا (معادل $۱/۶۷$ درصد از روستاهای شهرستان)، از جمله؛ روستاهای مصطفی‌لو، برندق، بفرآجر، چناران، علی‌آباد، کلی، تزتق، سوسه‌باب، ونن، داوودخانی، مورستان، لنبر، کلستان علیا و سفلی، ترازوج و دیز، در پهنه بسیار خطر قرار گرفته‌اند. به علاوه، با توجه به نتایج حاصله، شهر هشتجین و ۵۰ روستا (معادل $۳۳/۳۳$ درصد از مجموع روستاهای شهرستان)، نیز در طبقه پرخطر واقع شده‌اند که از روستاهایی جای گرفته در این طبقه، می‌توان به آق‌یلاق، پیرانلو، قره‌آغاج، اندبیل، خمس، اردبیلق، منزل‌آباد، شمس‌آباد، نمهیل، کشاب، دم‌دل، الکش، کزج، ونن و قوسه‌جین اشاره داشت.

در راستای دستیابی به اهداف پژوهش، پس از تعیین معیارهای مؤثر در پهنه‌بندی و استخراج نقشه‌های استاندارد شده هر یک از معیارهای مطرح (شکل ۵)، به منظور تعیین شاخص‌های مؤثر در تعیین پهنه‌های مختلف خطر، میزان اهمیت هر یک از معیارها (جدول ۲ تا ۴)، به دست آمد و با اعمال کردن وزن‌های مربوطه در لایه‌های فازی شده، و با اجرای دیگر مراحل به صورت عملیات ریاضی با توجه به روابط مربوطه بر روی لایه‌های استاندارد شده وزنی، نقشه خروجی نهایی در ۵ طبقه بسیار پرخطر تا بسیار کم خطر، به دست آمد (شکل ۶). با توجه به خروجی حاصل از روش مارکوس، $۳۸۸/۴۵$ کیلومترمربع از مساحت شهرستان در طبقه بسیار پرخطر و $۶۶۹/۰۹$ کیلومترمربع، در طبقه پرخطر قرار دارد. همچنین، $۶۹۴/۴۱$ کیلومترمربع از مساحت



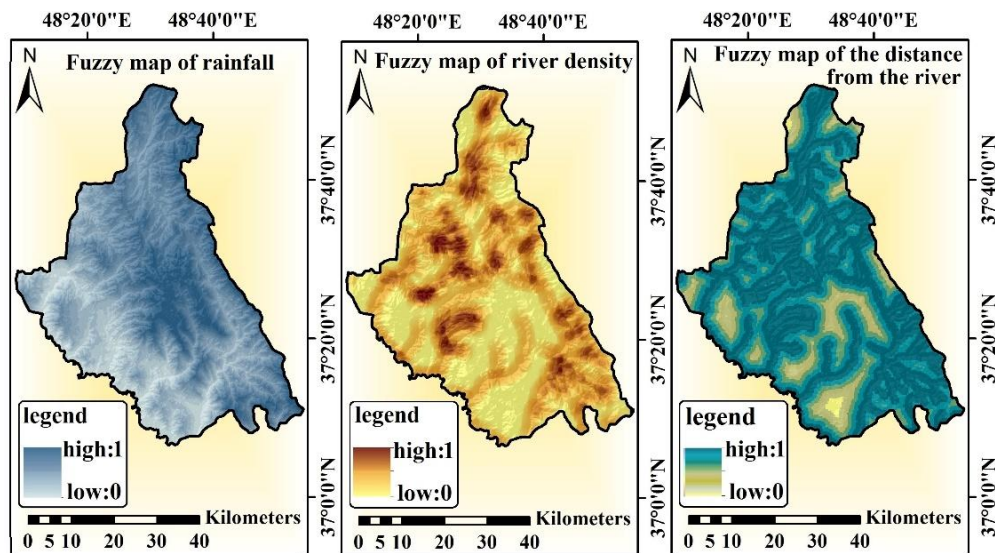


Fig. 5- Fuzzy standardized maps of the associated criteria in flood potential zoning of Khalkhal County
 شکل ۵- نقشه‌های استاندارد شده فازی معیارهای مطرح در بهینه‌بندی پتانسیل سیلاب شهرستان خلخال

Table 2- Correlation matrix of criteria associated in flood zoning of Khalkhal County

جدول ۲- ماتریس همبستگی معیارهای مطرح در بهینه‌بندی سیلاب شهرستان خلخال

Criterion	Slope	Aspect	DEM	Landuse	City and village	Lithology	River density	Dis from the river	Rain
Slope	1	0.065	-0.421	0.076	0.078	0.435	-0.124	-0.032	-0.289
Aspect	0.065	1	0.063	0.045	0.067	0.041	0.031	0.083	-0.545
Dem	-0.421	0.063	1	-0.014	-0.454	-0.062	0.032	0.082	0.923
Landuse	0.076	0.045	-0.014	1	0.234	0.213	0.032	0.053	-0.024
City and village	0.078	0.067	-0.454	0.234	1	0.431	0.024	0.213	-0.563
Lithology	0.435	0.041	-0.062	0.213	0.431	1	-0.057	-0.046	-0.547
River density	-0.124	0.031	0.032	0.032	0.024	-0.057	1	0.132	0.021
Dis from the river	-0.032	0.083	0.082	0.053	0.213	-0.046	0.132	1	0.313
Rain	-0.289	-0.545	0.923	-0.024	-0.563	-0.547	0.021	0.313	1

Table 3- The contrast matrix of the associated criteria in flood zoning of Khalkhal County

جدول ۳- ماتریس تضاد معیارهای مطرح در بهینه‌بندی سیلاب شهرستان خلخال

Criterion	Slope	Aspect	DEM	Landuse	City and village	Lithology	River density	Dis from the river	Rain
Slope	0	0.934	1.421	0.923	0.922	0.565	1.124	1.032	1.289
Aspect	0.934	0	0.937	0.955	0.933	0.959	0.969	0.917	1.545
Dem	1.421	0.937	0	1.014	1.454	1.062	0.968	0.918	0.077
Landuse	0.923	0.955	1.014	0	0.776	0.787	0.968	0.947	1.024
City and village	0.922	0.933	1.454	0.776	0	0.569	0.976	0.787	1.563
Lithology	0.565	0.959	1.062	0.787	0.569	0	1.057	1.046	1.547
River density	1.124	0.969	0.968	0.968	0.976	1.057	0	0.868	0.979
Dis from the river	1.032	0.917	0.918	0.947	0.787	1.046	0.868	0	0.687
Rain	1.289	1.545	0.077	1.024	1.563	1.547	0.979	0.687	0

Table 4- Total contrast, standard deviation, amount of information and final weight of the criteria

جدول ۴- مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارها

Criterion	Slope	Aspect	DEM	Landuse	City and village	Lithology	River density	Dis from the river	Rain
Total contrast	8.211	8.149	7.851	7.384	7.970	7.592	7.909	7.202	8.711
Standard deviation	0.367	0.165	0.241	0.361	0.201	0.378	0.175	0.168	0.287
Amount of information	3.013	1.344	1.892	2.665	1.601	2.869	1.384	1.209	2.500
Final weight	0.163	0.072	0.102	0.144	0.086	0.155	0.074	0.065	0.135

بسیار مهم و تأثیرگذار در تحلیل رفتار حوضه‌های آبخیز، شیب دامنه‌هاست و براساس مطالعات پیشین انجام شده، مانند: Naderi et al. (2022) و Hosseinzadeh et al. (2023)، می‌توان بیان داشت که شیب بر میزان سرعت و میزان آب، مقدار نفوذ، شدت سیلاب‌ها و میزان فرسایش، بسیار مؤثر است.

تحلیل فضایی خطر سیلاب شهرستان خلخال، نشان می‌دهد، طبقه متوسط ۳۶ روستا (معادل ۲۴ درصد از روستاهای شهرستان)، از جمله: روستاهای طهرستان، کشاپ، خوشنامه، زاهوان، اسکستان، خوجین، فرج‌آباد، نسا، ارچلیک و مزجین، را پوشش می‌دهد. همچنین، به ترتیب؛ ۱۰ روستا (معادل ۶/۶۷ درصد از مجموع روستاهای شهرستان) و ۸ روستا (معادل ۵/۳۳ درصد از مجموع روستاهای شهرستان) در طبقه کم خطر بسیار کم خطر قرار دارد.

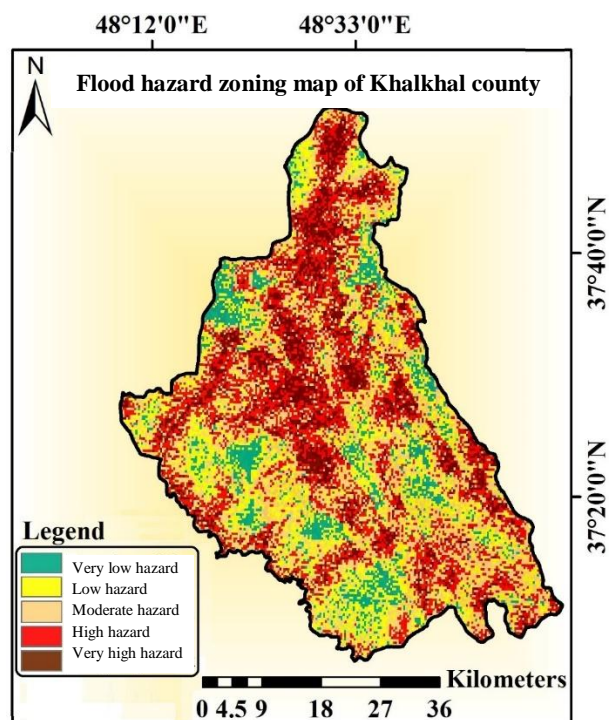


Fig. 6- Flood hazard zoning map of Khalkhal County

شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان خلخال

جهت بررسی وضعیت طبقات بسیار پرخطر و پرخطر از لحاظ هر یک از معیارهای مطرح در پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان خلخال، سعی شده است، با مقایسه پهنه‌های معرفی شده به عنوان نقاط دارای پتانسیل احتمال وقوع خطر بالای سیلاب، به بررسی مورد به مورد ویژگی‌های این پهنه‌ها، به لحاظ معیارهای تعیین شده پرداخته شود. همانگونه که NoredinMosa et al. (2023) و Yeganeh and Sabri (2014) نیز در پژوهش‌های خود بیان داشته‌اند، ارتفاع بر عناصر اقلیمی (بارندگی، درجه حرارت، تبخیر و تعرق)، نوع و تراکم پوشش گیاهی، تشکیل و تکامل خاک، ضریب رواناب و در نهایت بر شدت، اندازه و جهت جریان سیل تأثیر می‌گذارد. بررسی مقایسه‌ای نقشه ارتفاع شهرستان با نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب، نشان می‌دهد، مناطق پرخطر و بسیار پرخطر در طبقات ارتفاعی ۵۲۰ تا ۳۰۰۰ متر گسترده شده‌اند. دامنه‌های ارتفاعی بالاتر به جهت دریافت بارش‌های بیشتر، زمینه‌ساز سرازیر شدن رواناب‌ها به سمت مناطق پایین هستند و به عبارت دیگر اراضی پرشیب کوهستانی، به عنوان پهنه‌های سیل خیز عمل می‌کنند و اراضی واقع در نواحی کم ارتفاع و در امتداد آبراه‌های اصلی، به عنوان اراضی سیل گیر هستند. از دیگر پارامترهای

Table 5- The area related to each of the hazard classes

جدول ۵- مساحت مربوط به هر یک از طبقات خطر

Hazard classes	Very low hazard	Low hazard	Moderate hazard	High hazard	Very high hazard
Area (km²)	304.33	607.72	694.41	669.09	388.45
Area (%)	11.42	22.81	26.07	25.12	14.58

از نظر معیار شیب، مناطق با احتمال خطر زیاد و بسیار زیاد، به طور عمده بین شیب ۱۰ تا ۶۰ درصد، قرار دارند. به طوری که، به ترتیب ۱۰۸/۱۵ کیلومترمربع از طبقه بسیار پرخطر در محدوده شیبی ۱۰ تا ۲۰ درصد، ۱۵۰/۳۱ کیلومترمربع در شیب ۲۰ تا ۴۰ درصد و ۸۴/۱۸ کیلومترمربع بین شیب ۴۰ تا ۶۰ کیلومترمربع، قرار دارد. بررسی پهنه پرخطر نیز نشان می‌دهد، محدوده شیب ۱۰ تا ۲۰ درصد ۱۸۹/۱۷ کیلومتر مربع، شیب ۲۰ تا ۴۰ درصد ۲۸۶/۵۱ کیلومترمربع و شیب ۴۰ تا ۶۰ درصد ۱۱۱/۲۵ کیلومترمربع از طبقه پرخطر را پوشش می‌دهند. عامل جهت شیب نیز از نظر تأثیر بر بعضی فرایندهای هیدرولوژیک از جمله؛ ذوب برف‌ها و تنوع پوشش گیاهی، نوع فرسایش و همچنین میزان سیلاب حائز اهمیت است. مقایسه دو نقشه معیار جهت‌شیب و پتانسیل سنجی خطر سیلاب شهرستان همانند نتایج حاصل پژوهش (Madadi et al., 2020)، بیانگر این موضوع است که دامنه‌های پشت به آفتاب (جهت شمالی، غربی و شمال‌غربی) به دلیل دریافت بارش زیاد و داشتن رطوبت بالا، بیشتر مستعد وقوع خطر سیلاب هستند.

نوع کاربری زمین در کاهش و یا افزایش شدت رواناب نقش مهمی دارد. (Naderi et al. (2022) و Asadi et al. (2022) نیز اشاره داشته‌اند، هرگونه فعالیتی که به کاهش ذخیره رطوبت خاک و یا کاهش نفوذپذیری منجر شود (مانند؛ از بین بردن پوشش گیاهی و یا تغییر در نوع و نحوه کشت، چرای مفرد دام و فشردگی خاک)، افزایش حجم جریان و فزونی بده سیلاب را به دنبال دارد. با بررسی نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان خلخال می‌توان به این نتیجه دست یافت که مناطق با پوشش مرتعی ضعیف و متوسط به ترتیب با ۱۷۵/۲۰ و ۶۷/۴۵ کیلومترمربع، اراضی بایر با ۵۱/۹۸ کیلومترمربع، زمین‌های زراعی دیم و آبی به ترتیب با ۳۴/۲۹ و ۳۲/۹۰ کیلومترمربع و مناطق مسکونی با ۱۵/۵۵ کیلومترمربع، بیشترین مساحت از مناطق بسیار پرخطر را پوشش می‌دهند. نتیجه مقایسه پهنه پرخطر با نوع کاربری اراضی نیز بیانگر این موضوع است که به ترتیب؛ ۳۳۴/۶۷، ۱۳۰/۵۵، ۴۲/۵۶، ۲۳/۱۷ و ۱۳/۴۷ کیلومترمربع از مناطق پرخطر دارای نوع کاربری مرتع ضعیف، مرتع متوسط، زراعت دیم، اراضی بایر، زراعت آبی و نواحی مسکونی است. لذا در محدوده مورد مطالعه، مناطقی که دارای پوشش جنگلی و مرتعی مناسب هستند، به دلیل کاهش سرعت رواناب و افزایش نفوذپذیری، پتانسیل سیل‌خیزی کمتری دارند و بالطبع مناطق با کاربری مراتع ضعیف، کشاورزی و زمین‌های فاقد پوشش در خطر وقوع سیلاب بیشتری هستند. به علاوه؛ در مراکز جمعیتی (به ویژه شهرها)، به دلیل ساخت‌وسازهای داخل شهری و استفاده از مصالح و موادی همچون آسفالت و سیمان و غیره، میزان نفوذپذیری کاهش می‌یابد و به تبع مقدار تولید رواناب افزایش پیدا

می‌کند. لذا با توجه به دخالت انسان در طبیعت و تخریب محیط‌زیست توسط آن، می‌توان بیان کرد که نواحی نزدیک به شهر و روستاها دارای پتانسیل شکل‌گیری سیلاب بیشتری هستند. با توجه به نقشه فاصله از شهر و روستاهای شهرستان خلخال، مشاهده می‌شود که فاصله از این مراکز جمعیتی، از بین صفر تا ۷۰۰ متر است و مناطق پرخطر و بسیار پرخطر در فواصل صفر تا حداکثر ۲۰۰۰ متری از این مراکز جمعیتی قرار دارند.

بررسی عامل نوع زمین‌شناسی در هر منطقه به منظور بررسی پتانسیل خطر سیلاب از اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا بین میزان نفوذپذیری یک سازند و میزان رواناب ارتباط قوی وجود دارد و ممکن است درجه وقوع سیل را افزایش یا کاهش دهد. (Ramazani et al. (2021 و Dass (2019) نیز ادعان داشته‌اند که در سازندهای نفوذپذیر با نفوذ آب، جریان به نفع آب‌های زیرزمینی خواهد بود و برعکس سنگ‌های نفوذناپذیر باعث افزایش رواناب سطحی می‌شود. بررسی نقشه سازندهای زمین‌شناسی مبین این امر هست که سازندهای Pz1a.bv (آندزیت-بازالت)، Eav (آندزیت ولکانی)، Od.av (داسیت و آندزیت) با خاصیت فاقد نفوذپذیری و Ku (سنگ‌های نامتجانس)، Jshl.s (سنگ‌های آهکی ماسه‌ای و سیلتی و سنگ‌های آهکی گچ‌دار)، با نفوذپذیری کم، دارای پتانسیل سیل‌خیزی زیاد هستند. قطعاً یکی از تأثیرگذارترین عوامل در وقوع سیل عامل فاصله از رودخانه است. غالباً طغیان از بستر رودخانه‌ها سرچشمه می‌گیرد و در اطراف گسترش می‌یابد (Argaz et al., 2019). از لحاظ معیار فاصله از رودخانه، می‌توان نتیجه گرفت، مناطق بسیارپرخطر و پرخطر حداکثر تا فاصله ۲۰۰۰ متری از رودخانه‌ها قرار گرفته‌اند و مناطقی که در مجاورت رودخانه قرار دارند، خطر سیلابی بالایی دارند و سرریز آب در حین وقوع سیل، ناحیه مجاور را بسیار آسیب‌پذیرتر می‌کند. از سوی دیگر همانطور که (Naderi et al. (2022) بیان داشته‌اند، هرچه تراکم شبکه زهکشی بیشتر باشد، نفوذپذیری کاهش و سرعت جریان‌های سطحی افزایش می‌یابد. طبقات بسیار پرخطر و پرخطر در محدوده‌هایی با تراکم زهکشی ۰/۴۵ تا ۱/۰۲ کیلومتر برکیلومترمربع، قرار گرفته‌اند. بارندگی مهمترین عاملی است که به طور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد و اگر بارندگی اتفاق نیفتد، سیل ایجاد نمی‌شود. پس ایجاد سیل در درجه اول به بارش وابسته است. حداقل بارش محدوده ۲۷۰ و حداکثر آن ۵۶۰ میلی‌متر است. چهار ماه خرداد، تیر، مرداد و شهریور، کم‌بارش‌ترین ماه‌های سال و ماه‌های فروردین و اردیبهشت پر باران‌ترین ماه‌های سال در محدوده مورد مطالعه، هستند و به ایجاد جریان‌های سیلابی و طغیانی در سطح شهرستان، منجر می‌شوند.

مقایسه پهنه‌های سیلابی شهرستان خلخال، اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل، که به عنوان نقشه مرجع سیلاب در این مطالعه استفاده شده است با پهنه‌های بسیار پرخطر و پرخطر حاصل از نتایج مطالعه حاضر، نشان داده است که کل مساحت پهنه‌های سیل‌گیر، شهرستان خلخال برابر با ۲۳/۱۲ کیلومترمربع است و طبقه بسیار پرخطر و پرخطر ارائه شده توسط نتایج پژوهش حاضر، به ترتیب: ۹/۱۱ کیلومتر (معادل ۳۹/۴۰ درصد) و ۱۱/۰۴ کیلومتر مربع (معادل ۴۷/۷۵ درصد)، از این پهنه‌های سیلابی را پوشش می‌دهد.

در ادامه به منظور بررسی بیشتر صحت نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، نسبت به مقایسه شاخص MNDWI با نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب اقدام شده است. در این راستا شاخص MNDWI برای دو تاریخ پس از سیلاب ۱۶ اردیبهشت سال ۱۴۰۱ (شکل ۹) و ۲۳ تیر سال ۱۳۹۸ (شکل ۱۰)، استخراج شده است. بررسی مقایسه‌ای نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب شهرستان خلخال با نقشه‌های حاصل از اعمال شاخص MNDWI، بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست، نشان‌دهنده انطباق بالایی طبقات بسیار پرخطر و پرخطر حاصل از به کارگیری روش مارکوس با پهنه‌های آبی محدوده (به ویژه پهنه‌های سیلابی اطراف رودخانه‌های اصلی)، است و لذا با نظر به این مقایسه نیز، صحت نتایج مطالعه مورد تأیید قرار می‌گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

در راستای کاهش خسارات ناشی از سیلاب و مدیریت آن، ارزیابی احتمال خطر و تعیین مناطق پرخطر و مولد سیل، امری ضروری می‌باشد. با توجه به اهمیت موضوع؛ در پژوهش حاضر، پهنه‌بندی و شناسایی نواحی در معرض وقوع مخاطره سیلاب در شهرستان خلخال مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. یافته‌های حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که عوامل شیب، لیتولوژی، کاربری و بارش مهمترین متغیرهای تأثیرگذار در وقوع سیلاب در شهرستان خلخال هستند و با نظر به پوشش ۱۰۵۷/۵۴ کیلومترمربعی پهنه‌های بسیار پرخطر و پرخطر از کل مساحت شهرستان، این شهرستان بسیار مستعد وقوع خطر سیلاب است. به طوری که با تجزیه و تحلیل‌های نتایج مطالعه، مشخص شد که عمدتاً نواحی کوهستانی و پرشیب با لیتولوژی نفوذناپذیر که به صورت کاربری مراتع فقیر یا زراعت دیم هستند و محدوده‌های نزدیک به رودخانه‌ها (حریم و بستر رودها) که اکثراً یا به دلیل وجود خاک آبرفتی و بستر مناسب روخانه‌ها، زیر کشت انواع محصولات زراعی (به ویژه؛ گندم، جو، برنج) و انواع محصولات باغی (به خصوص؛ سیب، به و گردو) هستند و یا به صورت کاربری مسکونی (شهری و روستایی) و یا ساخت‌وسازهای مختلف توسط افراد بومی، اشغال شده‌اند، از لحاظ احتمال وقوع خطر سیلاب دارای اهمیت هستند. لذا با توجه به معرفی متغیرهای کنترل‌کننده سیلاب و با نظر به شناسایی پهنه‌های با پتانسیل خطر زیاد در سطح شهرستان، بایستی روش‌های کنترلی و ساختاری در مقابل سیلاب (از جمله؛ ایجاد سیل‌بندها، تراس‌بندی و سکوبندی در ارتفاعات و دامنه‌های پرشیب، بازسازی مجاری رود، ایجاد کانال‌های فرعی و کمکی) و روش‌های مدیریتی و آبخیزداری (مانند؛ مدیریت کاربری ارضی و جلوگیری از ساخت‌وسازهای غیرمجاز در حاشیه رودخانه‌ها، جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی، تقویت پوشش گیاهی و احیای مراتع)، مورد توجه

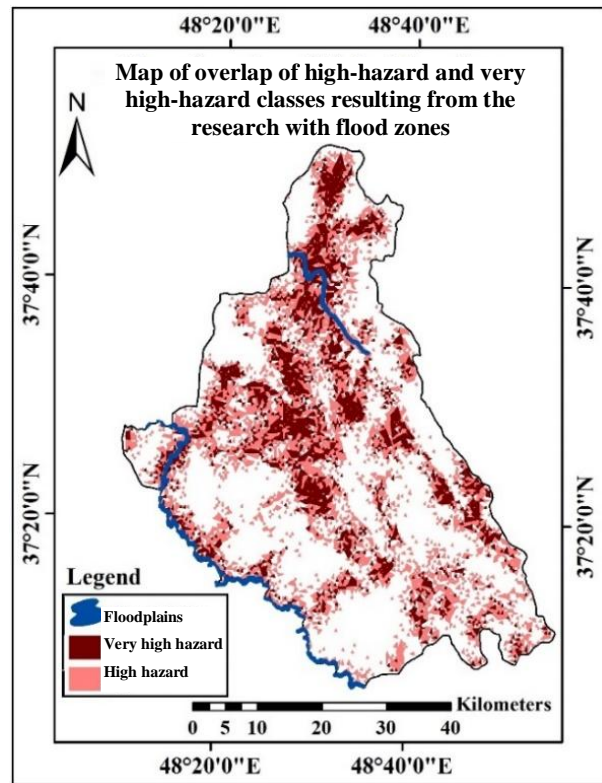


Fig. 7- Overlap of high- hazard and very high-hazard classes resulting from the research with flood zones of the county

شکل ۷- نقشه همپوشانی طبقات پرخطر و بسیار پرخطر حاصل از پژوهش با پهنه‌های سیلابی شهرستان

به منظور مستندسازی، اعتبار نقشه پهنه‌بندی سیلاب در سطح شهرستان خلخال با استفاده از منحنی راک مورد ارزیابی قرار گرفته است. براساس نتایج به دست آمده، مقدار سطح زیر منحنی در مدل مارکوس (۰/۷۹) است و با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده برای سطح زیر منحنی، دقت این روش در تشخیص مناطق دارای احتمال وقوع خطر سیلاب شهرستان خلخال، در طبقه خوب قرار دارد (شکل ۸).

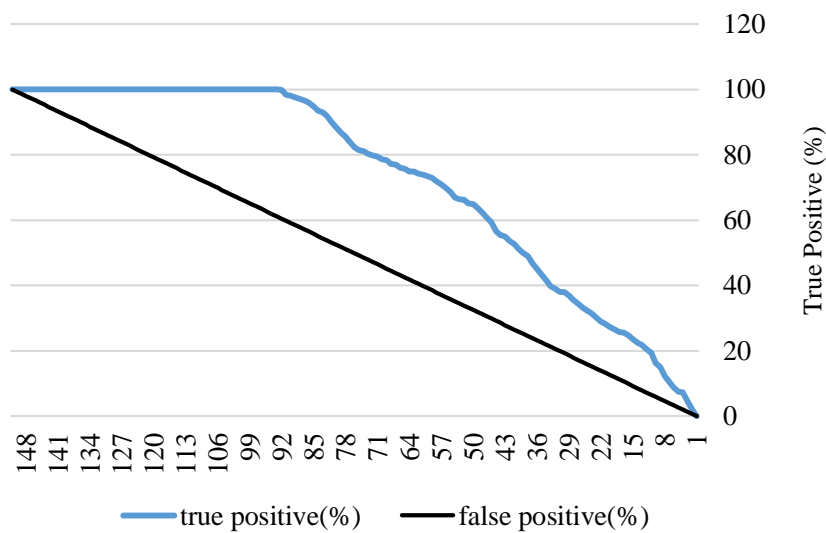


Fig. 8- The relative performance detection curve and the area under the curve related to the flood hazard zoning map

شکل ۸- منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی مربوط به نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب

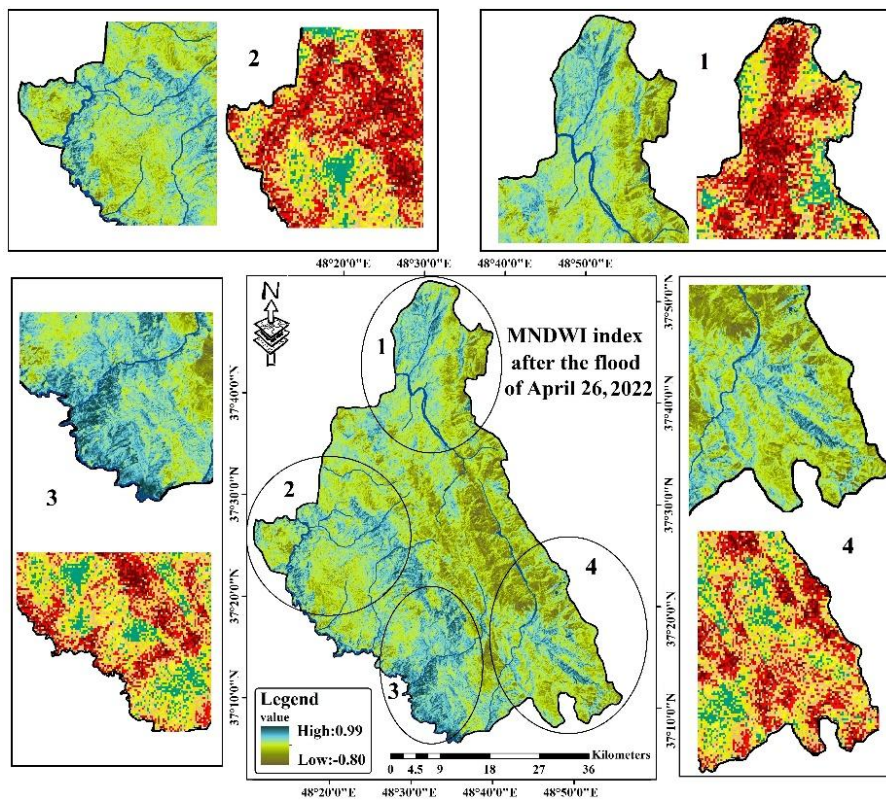


Fig. 9- Comparison of the MNDWI index after the flood of April 26, 2022 with the flood hazard zoning map

شکل ۹- مقایسه شاخص MNDWI پس از سیلاب ۶ اردیبهشت ۱۴۰۱ با نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب

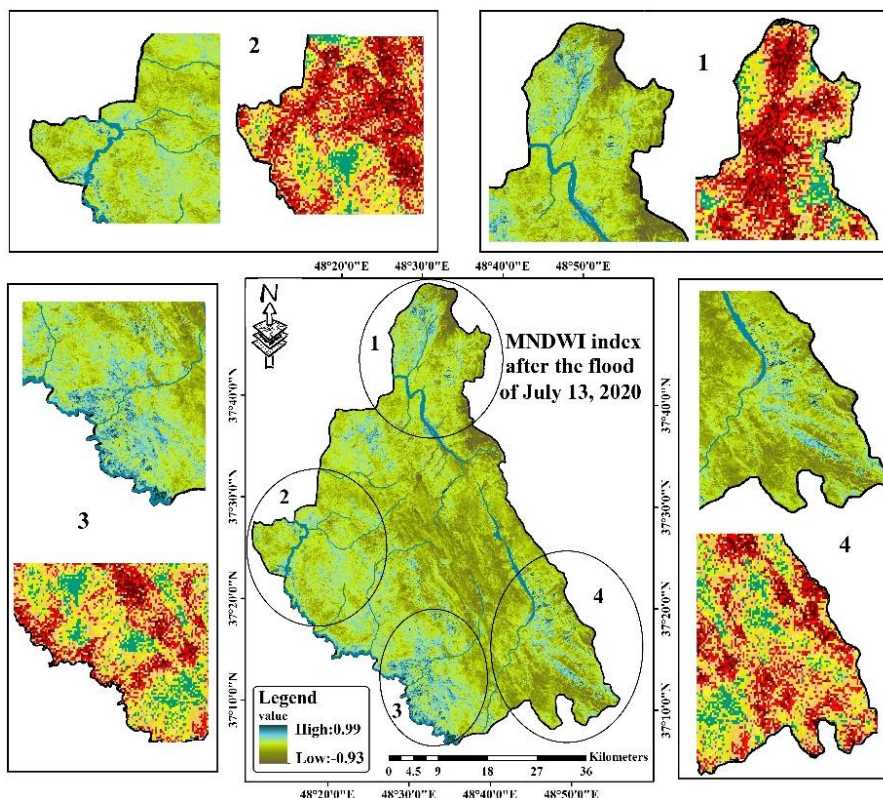


Fig. 10- Comparison of the MNDWI index after the flood of July 13, 2020 with the flood hazard zoning map
 شکل ۱۰- مقایسه شاخص MNDWI پس از سیلاب ۲۳ تیر ۱۳۹۸ با نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب

۵- تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح دوره پسادکتری است که با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شده است. از این‌رو تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌داریم.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Geographic Information System
- 2- Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution
- 3- Criteria Importance Through Intercriteria Correlation
- 4- Receiver Operating Characteristic
- 5- Area under the Curve

سازمان‌های متولی از جمله اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، اداره کل راه‌وشهرسازی، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای قرار گیرد.

در نهایت، می‌توان اذعان داشت که نتایج مطالعه حاضر به‌طور کلی با نتایج مطالعات؛ (Abedini, Asghari saraskanroud et al. (2016), Shivarasad Sharma et al. (2018), et al. (2018), Khoureshidi et al. (2021), Nafarzadegan et al. (2019), Chen et al. (2022), Naderi (2022), Zhu et al. (2021), Abedini et al. (2023) و Mekonne et al. (2023) مبنی بر توانایی و عملکرد خوب رویکرد تلفیقی سیستم اطلاعات جغرافیایی و فنون تحلیل چندمعیاره، به منظور ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل و به عنوان مرجعی برای مدیریت کارآمدتر سیل و به‌طور اخص با نتایج (Abedini et al. (2018), Asghari saraskanroud et al. (2016) و (Abedini et al. (2023) از این نظر که استفاده از روش کرتیک، در وزن‌دهی معیارها می‌تواند گامی در جهت حل معضل استقلال صفات از یکدیگر باشد که به هنگام مقایسه زوجی در چارچوب روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و فرایند تحلیل شبکه‌ای و در شرایط عدم تحقق همبستگی بین صفات، عینیت می‌یابد، تطابق دارد.

۶- مراجع

- Abedini M, Piroozi E, Aghayary L, Ostadi E (2018) Flood hazard zonation in the Meshkinshar Township using by VIKOR model. *Geography of the Land* 14(56):21-34 (In Persian)
- Abedini M, Faal Naziri M, Piroozi A (2023) Flood risk assessment and zoning using multi-criteria Aras technique and single hydrograph (Case Study: Upstream Basin of Soltan Meshkinshahr Bridge Hydrometric Station). *Journal of Natural Environmental Hazards* 12(35):115-138 (In Persian)
- Alinezhad A, Khalili J (2019) New methods and applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM). *International Series in Operations Research & Management Science* 277, 231P
- Argaz A, Ouahman B, Darkaou A, Lazaar R, Hassna B, Ayouch E, Lazaar R (2019) Flood hazard mapping using remote sensing and GIS Tools: A case study of Souss Watershed. *Journal of Materials and Environmental Science* 10(2):170-181
- Asadi M, Haidary Z, Emami K (2022) Assessing the physical development trend of Poldokhtar City towards flood-prone areas. *Journal of Geography and Environmental Hazards* 11(2):159-174 (In Persian)
- Asghari Saraskanroud S, Piroozi E (2022) Comparative evaluation of WLC, OWA, VIKOR, and MABAC multi-criteria decision-making methods in landslide risk zoning Case study: Givi-chay watershed of Ardabil province. *Physical Geography Research* 54(1):65-94 (In Persian)
- Asghari Saraskanroud S, Piroozi E, Zeinali B (2016) Flood hazard zonation in the Aghlaghan chay watershed using by VIKOR model. *Quantitative Geomorphological Research* 4(3):231-245 (In Persian)
- Chen Y (2022) Flood hazard zone mapping incorporating geographic information system (GIS) and multi-criteria analysis (MCA) techniques. *Journal of Hydrology* 612(C):1-16
- Chen Y, Ye Z, Liu H, Chen R, Liu Z, Liu HA (2021) GIS-based approach for flood risk zoning by combining social vulnerability and flood susceptibility: A case study of Nanjing, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(21):1-17
- Chen W, Zhang S, Li R, Shahabi H (2018) Performance evaluation of the GIS-based data mining techniques of best-first decision tree, random forest, and naïve bayes tree for landslide susceptibility modeling. *Science of the Total Environment* 644:1006-1018
- Dass S (2019) Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 14:60-74
- Feizollahi A, Javadnia E (2023) Investigating of floods monitoring using GRACE and TRMM observations in the West and South West of Iran. *Iran-Water Resources Research* 19(1):1-21(In Persian)
- Ghanavati E, Saffari A, Ahmadabadi A, Varasteh S (2022) Risk analysis and management of urban floods with geomorphological approach (Karaj Metropolis). *Environmental Erosion Research* 12(4):26-53 (In Persian)
- Hosseinzadeh MM, Salehi Milani AR, Rezaian Zarandini F (2023) Zoning of the sensitivity of the sub-basins of Nekarood basin to flooding, Neka-Mazandaran. *Hydrogeomorphology* 10(34):100-75 (In Persian)
- Jafarzadeh Ghoushchi S, Shaffiee Haghshenas S, Memarpour Ghiaci A, Guido G, Vitale A (2023) Road safety assessment and risks prioritization using an integrated SWARA and MARCOS approach under spherical fuzzy environment. *Neural Computing & Applications* 35:4549-4567
- Jiang H, Feng M, Zhu Y, Lu N, Huang J, Xiao T (2014) An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat Imagery. *Remote Sensing* 6(6):5067-5089
- Khourshidi S, Rostami N, Salehpourjam A (2021) Prioritizing flood producing potential in ungauged watersheds using the AHP-VIKOR method (Case study: Haji-Bakhtiar Watershed, Ilam). *Environmental Erosion Research* 11(2):66-92 (In Persian)
- Kolawole OM, Olayami AB, Ajayi KT (2011) Managing flood in Nigerian Cities: Risk analysis and adaptation options-Ilorin City as a case study. *Scholars Research Library* 3(1):17-24
- Madadi A, Piroozi E, Parastar S (2020) Flood hazard zonation in the Aghlaghan Chay Watershed using by ANP Model. *Environmental Researches* 10(20):21-34 (In Persian)
- Mahmoody Vanolya N, Argany M, Jelokhani Niaraki M (2021) Multi-hazard potential mapping of Mazandaran province using multi-criteria spatial decision analysis. *Environmental Management Hazards* 8(4):395-411 (In Persian)
- Mekonnen TW, Mitiku AB, Tadesse Woldemichael A (2023) Flood hazard zoning of upper Awash River Basin, Ethiopia, using the Analytical Hierarchy Process (AHP) as compared to sensitivity analysis. *The Scientific World Journal* 23(2):1-15

- Mirkazemi S, Jalal Kamali N, Irandoost M (2022) Flood susceptibility mapping using optimized SVM Algorithm. *Iran-Water Resources Research* 17(4):35-49 (In Persian)
- Naderi F, Naseri B, Khanmohamadian Y, Salamat E, Kosha M (2022) Prioritization of flood risk in ganjvan watershed of Ilam Province using ELECTRE Model. *Journal of Geography and Environmental Hazards* 11(3):1-21 (In Persian)
- Nafarzadegan AR, Mohammadifar AA, Vagharfard H, Foruzanfard M (2019) Combination of multi-criteria decision-making models and regional flood analysis technique to prioritize sub-watersheds for flood control (Case study: Dehbar Watershed of Khorasan). *Journal of Geography and Environmental Hazards* 8(2):27-45 (In Persian)
- NoredinMosa F, Mahmodi R, Emami K (2023) Evaluating the process of physical development of residential areas towards flood prone areas (Case study: Sanandaj city). *Geography and Human Relationships* 5(4):653-654 (In Persian)
- Ramazani M E, Khodapanah K, Majnoui Toutakhaneh A (2021) Investigation and analysis of human and environmental factors affecting the vulnerability of rural settlements to floods in 2017 in Ajabshir County. *Environmental Erosion Research* 11(4):52-70 (In Persian)
- Saeedi S, Asiaei M (2023) Flood risk zoning in Fariman City using fuzzy logic. *Journal of Studies of Human Settlements Planning* 18(1):283-294 (In Persian)
- Saffari A, Mohammadi S, Ahmadabadi A, Darabi S (2023) Adaptive flood zoning in Cheshmekile watershed, Tenkabon. *Hydrogeomorphology* 9(33):127-147 (In Persian)
- Shivaprasad Sharma, SV, Parth Sarathi R, Chakravarthi V, Srinivasa Rao G (2018) Flood risk assessment using multi-criteria analysis: A case study fromKopili River Basin, Assam, India. *Geomatics Natural Hazards and Risk* 9(1):79-93
- Silakhori Z, vahabzadekebriya G, poorghasemi H (2023) Landslide susceptibility mapping using Bayesian Model: A case study of some regions of Talar Watershed, Mazandaran Province. *Environmental Erosion Research* 13(2):122-140 (In Persian)
- Stevic´ Z, Pamučar D, Puška A, Chatterjee P (2020) Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COMpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering* 140(10623):1-29
- Vejdani Nozar A, Givehchi S (2023) Presenting a flood hazard assessment model in Hamedan Province to classify vulnerability and possible consequences in population centers. *Housing and Village Environment* 42(181):119-132 (In Persian)
- Yeganeh N, Sabri S (2014) Flood vulnerability assessment in iskandar malaysia using multicriteria evaluation and fuzzy logic. *Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 8(16):1794-1806
- Zhang Y, Zhang J, Dong L (2023) Fuzzy logic regional landslide susceptibility multi-field information map representation analysis method constrained by spatial characteristics of mining factors in mining areas. *Processes* 11(985):1-33
- Zhu S, Li D, Huang G, Chhipi-Shrestha G, Nahiduzzaman KM, Hewage K, Sadiq R (2020) Enhancing urban flood resilience: a holistic framework incorporating historicworst flood to Yangtze River Delta, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 61(102355):1-52
- Zhu H, Liu F (2021) A group-decision-making framework for evaluating urban flood resilience: A case study in yangtze river. *Sustain* 13(2):1-16
- Zibarzani M, Firouzi M, Hessari B, Nekooie M A (2023) A social network analysis based multi-criteria decision making for assessment of flood risk management alternatives. *Emergency Management* 11(2):1-11 (In Persian)