

Analysis and Zoning of Flood Risk with Emphasis on Hydrogeomorphological Parameters in the Rahimabad-e Fasa Watershed

Omidvar, K.¹  | Banna, M.² | Kheirrolomour, R.³ 

1. Professor of Climatology and Faculty Member, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran.
2. Graduate of Master's degree in Climatology, Yazd University, Yazd, Iran., Yazd University, Yazd, Iran.
3. Ph.D. student of Climatology, Yazd University, Yazd, Iran.

Corresponding Author E-mail: komidvar@yazd.ac.ir

Abstract

Flood hazard zoning is one of the fundamental tools for natural hazard management and for reducing human and economic losses in watershed systems. The Rahim-Abad watershed in Fasa County, Fars Province, is considered a flood-prone area due to its specific hydro-geomorphological conditions and the frequent occurrence of flood events. This study adopts a descriptive-analytical approach to identify, weight, and prioritize the factors influencing flood susceptibility and to produce a flood hazard zoning map for the watershed. Hydrometric, synoptic, rainfall, and evaporation data from 16 stations with a 30-year statistical period (1989–2019), along with 1:5,000 topographic maps and 1:100,000 geological maps, were used in the analysis. Relevant flood-conditioning factors were identified using the Delphi method based on the opinions of 12 experts, and their relative importance was determined using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The final criteria included curve number (CN), runoff depth, distance from waterways, slope and basin shape, drainage network, vegetation cover, soil type, and land use. The results indicate that hydrological factors play a dominant role in controlling flood susceptibility, with a final weight of 0.731. Among these, the curve number (CN) was identified as the most influential factor (weight = 0.559), followed by runoff depth (weight = 0.371). Spatial analysis revealed that the southern and downstream parts of the watershed are mainly classified as very high flood hazard zones, whereas the northern areas predominantly fall within the very low hazard class. Overall, the findings demonstrate that flood susceptibility in the Rahim-Abad watershed is not solely governed by topographic characteristics but results from the complex interaction of hydrological factors, land use patterns, and soil physical properties. The results can provide valuable support for watershed management, flood risk reduction, and land-use planning.

Keywords: Zoning, Flood Risk, Analytic Hierarchy Process (AHP), Rahimabad-e Fasa Watershed

Cite this article: Omidvar, K., Banna, M., & Kheirrolomour, R. (2026). Assessment and Flood Hazard Zonation Based on Hydro-geomorphological Indicators in the Rahimabad Watershed. *Nivar*, ??(??-??), ??-??. doi: 10.30467/nivar.2026.561418.1361

E-mail: (2) marjanbana860@gmail.com (3) r.kheirrolomour@gmail.com



تحلیل و پهنه‌بندی مخاطره سیلاب با تأکید بر پارامترهای هیدرو ژئومورفولوژیکی در حوضه آبخیز رحیم‌آباد فسا

کمال امیدوار^۱ | مرجان بنا^۲ | راحله خیرالامور^۳

۱. استاد اقلیم‌شناسی و عضو هیئت علمی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد آب و هواشناسی گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۳. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه یزد، یزد، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: a-dadashi@um.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۴، بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۳۱، پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۵، انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۵/۰۵)

چکیده

پهنه‌بندی مخاطره سیلاب یکی از ابزارهای اساسی در مدیریت مخاطرات طبیعی و کاهش خسارات جانی و مالی در حوضه‌های آبخیز است. حوضه آبخیز رحیم‌آباد فسا به دلیل شرایط خاص هیدرو ژئومورفولوژیکی و وقوع مکرر سیلاب، از جمله حوضه‌های مستعد خطر سیل در استان فارس به شمار می‌رود. پژوهش حاضر با ماهیت توصیفی-تحلیلی و باهدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی، به تحلیل و پهنه‌بندی مخاطره سیلاب در این حوضه پرداخته است. در این مطالعه از داده‌های هیدرومتری، سینوپتیک، باران‌سنجی و تبخیرسنجی ۱۶ ایستگاه با دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۸)، به همراه نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد. شناسایی معیارها با روش دلفی و نظر ۱۲ نفر از خبرگان انجام گرفت و وزن‌دهی آن‌ها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) صورت پذیرفت. معیارهای نهایی شامل شماره منحنی (CN)، ارتفاع رواناب، فاصله از آبراهه، شیب و شکل حوضه، شبکه زهکشی، پوشش گیاهی، نوع خاک و کاربری اراضی بودند. نتایج نشان داد که عوامل هیدروژئولوژیکی با وزن نهایی ۰/۷۳۱ نقش غالبی در تبیین سیل‌خیزی حوضه دارند و در این میان، شماره منحنی (CN) با وزن ۰/۵۵۹ مهم‌ترین عامل مؤثر شناسایی شد. همچنین، ارتفاع رواناب با وزن ۰/۳۷۱ در رتبه دوم اهمیت قرار گرفت. نتایج مکانی بیانگر آن است که بخش‌های جنوبی و پایین‌دست حوضه عمدتاً در پهنه خطر بسیار زیاد و نواحی شمالی در طبقه خطر بسیار کم قرار دارند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که سیل‌خیزی حوضه رحیم‌آباد بیش از آن‌که صرفاً متأثر از ویژگی‌های توپوگرافی باشد، حاصل برهم‌کنش عوامل هیدروژئولوژیکی، کاربری اراضی و ویژگی‌های فیزیکی خاک است. نتایج این پژوهش می‌تواند در مدیریت حوضه آبخیز و کاهش خطر سیلاب مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، مخاطره سیلاب، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، حوضه آبخیز رحیم‌آباد فسا

۱. مقدمه

سیلاب‌ها از مخرب‌ترین، شایع‌ترین و گسترده‌ترین بلایای طبیعی در سطح جهان به شمار می‌روند و خسارات اقتصادی و محیط‌زیستی و تأثیرات ویرانگری بر معیشت مردم دارند (مونای^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). تقریباً ۴۷ درصد بلایای مرتبط با شرایط جوی ناشی از سیلاب‌ها هستند (ویشوانات و توماشفسکی^۲، ۲۰۱۸). مطالعات نشان می‌دهد که در سه دهه

¹ Munyai et al.

² Vishwanath and Tomaszewski

استناد: امیدوار، کمال، بنا، مرجان، و خیرالامور، راحله. (۱۴۰۵). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب مبتنی بر شاخص‌های هیدروژئومورفولوژیکی در حوضه آبخیز رحیم‌آباد فسا.

نیوار، ۴۴(۰۰۰-۰۰)، ۰۰۰-۰۰. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2026.561418.1361>

رایانامه: (۲) marjanbana860@gmail.com (۳) r.kheiroulomour@gmail.com

لوتر^۷ (۲۰۱۰) با تلفیق GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری را در آرژانتین انجام دادند. اوزتورک و باتوک^۸ (۲۰۱۱) نیز با توسعه نرم‌افزار MCDA-GIS، حوضه آبریز دریای مرمره در ترکیه را پهنه‌بندی کردند. مطالعات ترکیبی AHP، سنجش از دور و GIS در محیط‌هایی مانند Google Earth Engine امکان تولید نقشه‌های خطر با وضوح بالا را فراهم ساخته‌اند (سواين و همکاران^۹، ۲۰۲۰؛ ناتاراجان و همکاران^{۱۰}، ۲۰۲۱). ایکری و همکاران^{۱۱} (۲۰۲۲) نیز از GIS و AHP برای تحلیل مناطق سیلابی حوضه وادی تاگنیت، لکساس، مراکش استفاده کرده و هفت پارامتر مؤثر بر سیلاب سنگین را بررسی نمودند. در ایران پژوهش‌های متعددی با استفاده از روش‌های چندمعیاره انجام شده است. ویژگی‌های هندسی و فیزیوگرافی حوضه‌های آبخیز، به‌ویژه در مناطق فاقد آمار، نقش کلیدی در برآورد سیلاب دارند؛ چنانکه امیدوار و همکاران (۱۳۸۹)، با محاسبه ۲۸ پارامتر برای زیرحوضه‌های کنجانچم و استفاده از تحلیل عاملی، مشخص کردند که عامل "شکل" حوضه با مقدار ویژه ۹/۷۵ مهم‌ترین عامل در سیل‌خیزی منطقه است و در نهایت نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی آن ترسیم گردید. پژوهشگران با استفاده از مدل AHP و هفت معیار مؤثر، پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری در شهر تربت‌حیدریه را انجام دادند که نتایج نشان داد فاصله از کانال‌ها بیشترین وزن را داشته و بیشترین مساحت شهر در پهنه خطر کم قرار دارد (قربان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). حاتمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶) نیز در شهرستان ایزه با بررسی یازده معیار، نشان دادند که حدود ۶۰٪ از منطقه در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد سیلاب قرار دارد. پژوهشی با هدف تحلیل سیل‌خیزی حوضه مارون، با استفاده از تحلیل فراوانی سیلاب و انتخاب ۱۸ شاخص

اخیر، فراوانی و شدت سیلاب‌ها در سطح جهانی افزایش چشمگیری داشته است که این روند عمده‌تاً تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، رشد سریع جمعیت، توسعه شهری بی‌ضابطه، تخریب پوشش گیاهی و تغییرات کاربری اراضی بوده است (کورگیالاس و کاراتزاس^۳، ۲۰۱۱؛ منظور و همکاران، ۲۰۲۲). سکونت‌گاه‌های غیرمجاز در دشت‌های سیلابی، تجاوز به حریم رودخانه‌ها و عدم رعایت اصول توسعه پایدار از مهم‌ترین عوامل تشدیدکننده خطر سیلاب در ایران محسوب می‌شوند (عیوضی و همکاران، ۱۴۰۳). ویژگی‌های اقلیمی خاص ایران از جمله استقرار پرفشار جنب‌حاره‌ای و وقوع بارش‌های شدید و کوتاه‌مدت، شرایط مساعدی برای شکل‌گیری سیلاب‌های مخرب فراهم می‌کند (امیدوار، ۱۳۹۰). از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی با افزایش شدت و فراوانی بارش‌های حدی، نقش مهمی در تشدید خطر سیلاب ایفا می‌نماید (فوهرر و همکاران^۴، ۲۰۰۵). رویکردهای ارزیابی خطر سیلاب در دهه‌های اخیر تحولات چشمگیری داشته‌اند (تهرانی و همکاران، ۲۰۱۷). شرستا و همکاران^۵ (۲۰۲۵) معتقدند که ترکیب فنون سنجش از دور و GIS همراه با فرایند سلسله‌مراتبی تحلیلی^۶ (AHP) بهترین روش‌ها برای ارزیابی ریسک و آسیب‌پذیری سیلاب هستند، به‌ویژه در مناطقی که داده‌ها محدود یا قدیمی هستند. هیچ روش منحصر بفردی برای انتخاب معیارهای مورد استفاده جهت پهنه‌بندی خطر سیلاب وجود ندارد (رینکون و همکاران، ۲۰۱۸)؛ با این حال، مطالعات متعددی از معیارهای مختلفی استفاده کرده‌اند که بر خطر سیلاب تأثیرگذار هستند، از جمله شیب زمین، کاربری زمین، فاصله از رودخانه‌ها، شبکه زهکشی، شدت بارش، ارتفاع، انحنای واحدهای زمین‌شناسی و خاک (رستمی و کاظمی، ۱۳۹۸). مطالعات متعددی در سطح جهانی اثربخشی این روش‌ها را تأیید کرده‌اند. به عنوان مثال، فرناندز و

⁷ Fernández and Lutz

⁸ Ozturk and Batuk

⁹ Swain et al.

¹⁰ Natarajan et al.

¹¹ Ikirri et al.

³ Kourgialas & Karatzas

⁴ Fohrer et al.

⁵ Shrestha et al.

⁶ Analytic Hierarchy Process

در پهنه‌های خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد. در پژوهشی با استفاده از مدل AHP در محیط GIS، مناطق مستعد سیلاب و پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی شهرستان دیر در استان بوشهر شناسایی شد (محمد دوست و شمس نیا، ۱۴۰۳) که نتایج نشان داد بیش از نیمی از مساحت منطقه در پهنه‌های خطر متوسط تا زیاد قرار دارد و نواحی با خطر بسیار زیاد نیز سهم قابل توجهی دارند.

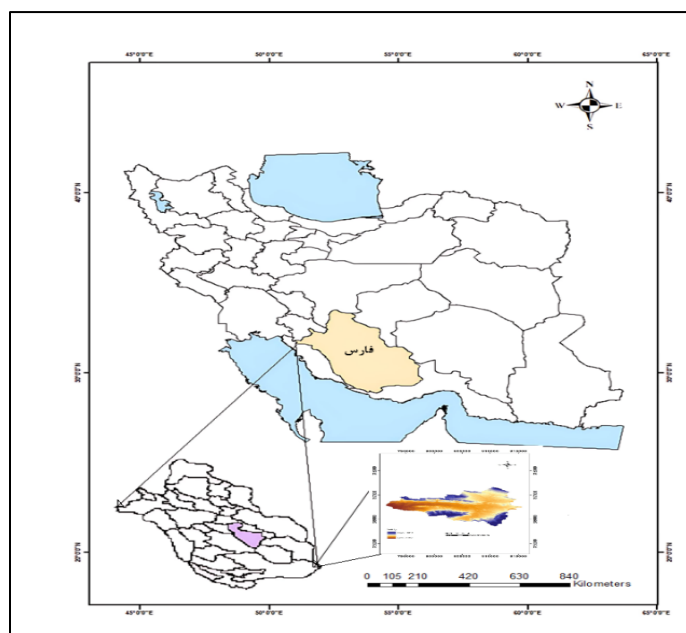
باتوجه به مرور مطالعات پیشین و خلأهای پژوهشی موجود، این مطالعه باهدف تحلیل جامع مخاطره سیلاب در حوضه آبخیز رحیم‌آباد فسا طراحی شده است؛ حوضه‌ای که به دلیل شرایط خاص توپوگرافی، شیب‌های تند دامنه‌ای، ضعف پوشش گیاهی، ویژگی‌های خاک و الگوی بارش‌های رگباری کوتاه‌مدت، از پتانسیل بالایی برای وقوع سیلاب‌های مخرب برخوردار است. پژوهش حاضر با تأکید بر شاخص‌های هیدرو ژئومورفولوژیکی و با به‌کارگیری فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، و با در نظر گرفتن پارامترهای کلیدی شامل ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و پوشش زمین، به پهنه‌بندی خطر سیلاب در این حوضه می‌پردازد. انتخاب این رویکرد مبتنی بر توانمندی آن در تلفیق داده‌های کمی و کیفی، انعطاف‌پذیری در شرایط کمبود داده و قابلیت وزن‌دهی نظام‌مند شاخص‌ها متناسب با شرایط بومی منطقه است. باتوجه به تواتر وقوع سیلاب‌ها در حوضه رحیم‌آباد که سالانه خسارات قابل توجهی به اراضی کشاورزی، سکونتگاه‌های انسانی و زیرساخت‌های مرتبط وارد می‌سازد، نتایج این تحقیق می‌تواند ضمن شناسایی پهنه‌های پرخطر و نقاط بحرانی شبکه زهکشی طبیعی، مبنای علمی مناسبی برای برنامه‌ریزی مدیریت ریسک سیلاب و تدوین راهبردهای توسعه پایدار در مقیاس حوضه و سطوح منطقه‌ای و محلی فراهم آورد.

۲. مواد و روش‌ها

هیدروژئومورفولوژیکی انجام شد که پس از تعیین مناطق همگن با روش خوشه‌ای و تدوین مدل‌های رگرسیونی، زیرحوضه‌ها را در چهار کلاس از "بسیار زیاد" تا "کم" رتبه‌بندی شدند (شریفی پیچون و همکاران، ۱۳۹۸). محمودزاده و باکویی (۱۳۹۷) با به‌کارگیری مدل AHP به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ساری استان مازندران پرداختند. یافته‌ها نشان داد نواحی مرکزی و جنوبی شهر بیشترین میزان خطرپذیری سیلاب را داشته و توجه به آن در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری ضروری است. در مطالعه‌ای برای شهر بیرجند (صابری فر و شکری، ۱۳۹۸)، با استفاده از مدل AHP و GIS و متغیرهایی مانند کاربری اراضی، شیب و مسیل‌ها، پهنه‌بندی خطر سیلاب انجام شد و نتایج نشان داد کل شهر در معرض خطر بوده و نواحی جنوبی و جنوب شرقی بیشترین خطرپذیری را دارند. عقیلی و همکاران (۱۳۹۹) در حوضه آبخیز گلورد نکا با استفاده از روش AHP و GIS و بررسی هشت معیار مؤثر، نشان دادند که شیب با وزن ۰/۳۰۴ بیشترین تأثیر را در وقوع سیلاب دارد. نتایج بیانگر آن بود که ۱۸/۴۷٪ و ۱۲/۵۴٪ از منطقه به ترتیب در پهنه‌های خطر خیلی زیاد و زیاد قرار دارند. گنجی و همکاران (۱۴۰۰) در شهرستان آق‌قلا با به‌کارگیری روش AHP روی پنج معیار کلی و هجده زیرمعیار، دریافتند که توپوگرافی و مورفولوژی با وزن ۳/۳۳ بیشترین نقش را در سیل‌خیزی منطقه دارند. در پژوهشی باهدف تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان کرمانشاه، از هفت پارامتر مؤثر و مدل AHP و عملگر فازی گاما استفاده شد. نتایج، سطوح مختلف خطر سیلاب را در منطقه مشخص کرد که می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های پیشگیرانه و مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد (قنبری و همکاران، ۱۴۰۲). نامی و رستمی (۱۴۰۲) با بهره‌گیری از مدل AHP و نرم‌افزار ArcGIS Pro، نقشه حساسیت‌پذیری سیلاب را در حوزه آبخیز الموت‌رود تهیه کردند. در این پژوهش، چهار عامل فاصله از رودخانه، بارندگی سالانه، شیب و کاربری اراضی به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی در پهنه‌بندی خطر سیلاب استفاده شد و نتایج نشان داد بخش قابل توجهی از حوضه

یک مرتبه در معرض سیل قرار می‌گیرد. این سیل‌ها از کوه‌های اطراف جاری و ایجاد خسارت می‌کند. دشت‌های منطقه از نظر خاک‌شناسی نسبتاً مسطح و دارای پستی‌وبلندی چندان زیادی نیست؛ ولی چون در اطراف دشت‌ها تپه‌ماهور و کوه‌های پرشیب و بدون پوشش گیاهی است و از طرف دیگر معمولاً بارندگی به‌صورت رگبارهای تند و کوتاهی انجام می‌گیرد؛ لذا در هر بارش، سیل از اطراف جاری شده و به دلیل سبکی بافت خاک در شیب دامنه‌ها، فرسایش افزایش یافته و موجب پستی‌وبلندی اراضی می‌گردد (زرین و همکاران، ۱۳۸۷).

منطقه مورد مطالعه در شهرستان فسا واقع در استان فارس، زیرحوضه رحیم‌آباد با مساحت ۱۹۷۵۴ هکتار، بخشی از حوضه‌های آبخیز چاه قوچ، شور جهرم و سد قیر است و در محدوده مختصات $30^{\circ}58'30''$ تا $13^{\circ}54'$ طول شرقی و $38^{\circ}28'30''$ تا $28^{\circ}39'28''$ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). میانگین بارش سالانه در حوضه آبخیز رحیم‌آباد فسا ۲۵۴-۳۸۸ میلی‌متر است. دمای متوسط سالانه حدود 19°C (دامنه: ۱۲- تا 49°C) با کاهش 4°C به‌ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع و رطوبت نسبی متوسط ۴۸٪ گزارش شده است که نشان‌دهنده رژیم حرارتی ترمیک و رژیم رطوبتی زیریک می‌باشد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۲؛ علیزاده چوبری، ۱۳۹۶). منطقه فسا اصولاً سیل‌گیر است و قریب یک‌چهارم آن هر چند سال



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز رحیم‌آباد فسا

دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۸) از سازمان هواشناسی استان فارس و سازمان آب منطقه‌ای تأمین شد. نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰ برای تعیین مرز و تفکیک زیرحوضه‌ها و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰'۰۰۰ از سازمان زمین‌شناسی کشور نیز به‌منظور استخراج شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناختی مورد استفاده قرار گرفتند.

در این پژوهش که از لحاظ ماهیت توصیفی-تحلیلی و باهدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز رحیم‌آباد فسا طراحی شده است، آمار و مشاهدات هیدرومتری، سینوپتیک، باران‌سنجی و تبخیرسنجی (۱۶ ایستگاه شامل ۱ ایستگاه سینوپتیک، ۵ ایستگاه باران‌سنجی و ۱۰ ایستگاه تبخیرسنجی) با

می‌شود (شلتون و همکاران^{۱۳}، ۲۰۱۸؛ ایمانی، ۱۳۷۹). بر اساس نتایج مرحله اول دلفی، در گام دوم پرسش‌نامه‌ای ساختاریافته در قالب مقایسه‌های زوجی طراحی شد. هدف از این مرحله، تعیین اهمیت نسبی معیارهای مؤثر بر سیل‌خیزی و وزن‌دهی آنها در فرایند پهنه‌بندی مخاطره سیلاب بود. معیارهای نهایی انتخاب‌شده شامل پارامترهای هیدرو ژئومورفولوژیکی نظیر ارتفاع رواناب، شماره منحنی (CN)، فاصله از آبراهه، شیب و شکل حوضه، شبکه زهکشی، پوشش گیاهی، نوع خاک و کاربری اراضی بودند (جدول ۱) که در پژوهش‌های پیشین نیز به‌عنوان عوامل کلیدی سیل‌خیزی معرفی شده‌اند (یوسف^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۱).

جدول ۱. معیارها و زیر معیارهای منتخب

معیار اصلی	زیر معیار	نوع داده
عوامل هیدرولوژی	ارتفاع رواناب	کمی
	شماره منحنی	کمی
	فاصله از آبراهه	کمی
عوامل فیزیوگرافی	شکل حوضه	کمی
	شبکه زهکشی	کمی
	شیب	کمی
عوامل زمین‌شناسی	پوشش گیاهی	کیفی
	خاک	کیفی
	کاربری اراضی	کیفی

تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. این نرم‌افزار علاوه بر محاسبه وزن‌ها، قابلیت طراحی نمودار سلسله‌مراتبی و تحلیل حساسیت تصمیم‌گیری را نیز دارد (قدسی‌پور، ۱۳۹۰). سپس، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از معیارهای منتخب در محیط ArcGIS تهیه و پس از استانداردسازی، با استفاده از وزن‌های به‌دست‌آمده از مدل AHP تلفیق شدند. تلفیق لایه‌ها از طریق روش همپوشانی وزنی^{۱۵} انجام گرفت که یکی از روش‌های متداول در تحلیل‌های مکانی و پهنه‌بندی خطر سیلاب محسوب

جهت شناسایی عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی منطقه، نخست از روش دلفی^{۱۲} استفاده شد. بدین منظور، گروهی متشکل از ۱۲ نفر از اساتید دانشگاه و دانشجویان تحصیلات تکمیلی (کارشناسی‌ارشد و دکتری) آشنا با ویژگی‌های طبیعی و هیدرو ژئومورفولوژیکی منطقه انتخاب شدند. در این مرحله، پرسش‌نامه‌ای شامل سؤالات باز در اختیار خبرگان قرار گرفت تا دیدگاه‌های تخصصی آنان درباره عوامل مؤثر بر بروز سیلاب جمع‌آوری شود. پس از گردآوری پاسخ‌ها، نظرات ارائه‌شده مورد بررسی، تلخیص و دسته‌بندی قرار گرفت و موارد تکراری حذف شد؛ این رویکرد در مطالعات تصمیم‌گیری محیطی به‌عنوان روشی کارآمد برای استخراج دانش خبرگان شناخته

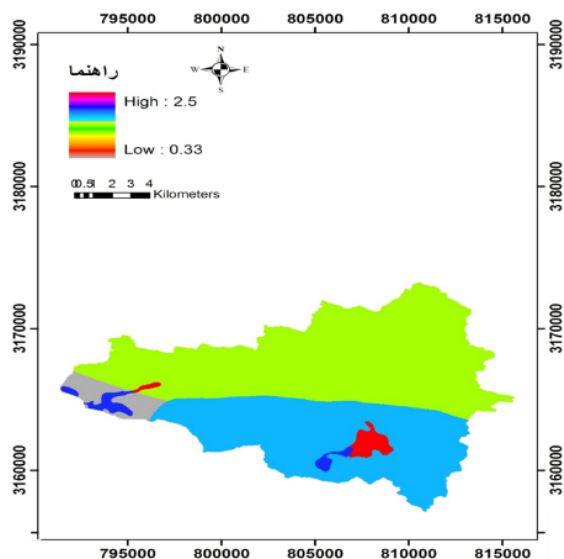
روش تحلیل سلسله‌مراتبی با ساختاربندی مسئله تصمیم‌گیری به‌صورت سلسله‌مراتبی شامل هدف، معیارها و گزینه‌ها و انجام مقایسات زوجی، امکان تعیین وزن نسبی معیارها و ارزیابی نرخ سازگاری قضاوت‌ها را فراهم می‌سازد این ویژگی سبب شده است که AHP به‌طور گسترده در پهنه‌بندی مخاطرات طبیعی، به‌ویژه سیلاب، مورد استفاده قرار گیرد (چن و همکاران، ۲۰۱۶). به‌منظور تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره و محاسبه وزن معیارها، از نرم‌افزار Expert Choice مبتنی بر روش فرایند

¹⁵ Weighted Overlay

¹² Delphi method

¹³ Shelton et al.

¹⁴ Yussef et al.



شکل ۲. نقشه ارتفاع رواناب حوضه رحیم‌آباد فسا

۳-۱-۲. شماره منحنی

شماره منحنی رواناب^{۱۶} یکی از متغیرهای هیدرولوژیکی مهم و پرکاربرد در مطالعات منابع آب به شمار می‌رود و نقش مؤثری در پیش‌بینی و برآورد رواناب سطحی دارد (مهدوی، ۱۳۸۴). بر اساس نقشه شماره منحنی (CN) حوضه رحیم‌آباد فسا (شکل ۳) که مقادیری از ۶۶ تا ۱۰۰ را نشان می‌دهد، می‌توان دریافت که مناطق با CN بالا (نزدیک به ۱۰۰) عموماً مربوط به پهنه‌هایی با نفوذپذیری بسیار کم هستند که پتانسیل تولید رواناب سطحی در آنها بسیار بالاست و در نتیجه خطر وقوع سیلاب را تشدید می‌کنند. در مقابل، مناطق با CN پایین (حدود ۶۶ تا ۷۷) معمولاً نشان‌دهنده اراضی با نفوذپذیری مناسب، پوشش گیاهی مطلوب یا خاک‌های با بافت درشت‌تر هستند که باعث کاهش تولید رواناب و تعدیل خطر سیل می‌شوند.

می‌شود (حیدری و همکاران، ۱۴۰۰). در نهایت، نقشه نهایی پهنه‌بندی مخاطره سیلاب در پنج طبقه «بسیار کم»، «کم»، «متوسط»، «زیاد» و «بسیار زیاد» تهیه و تحلیل گردید.

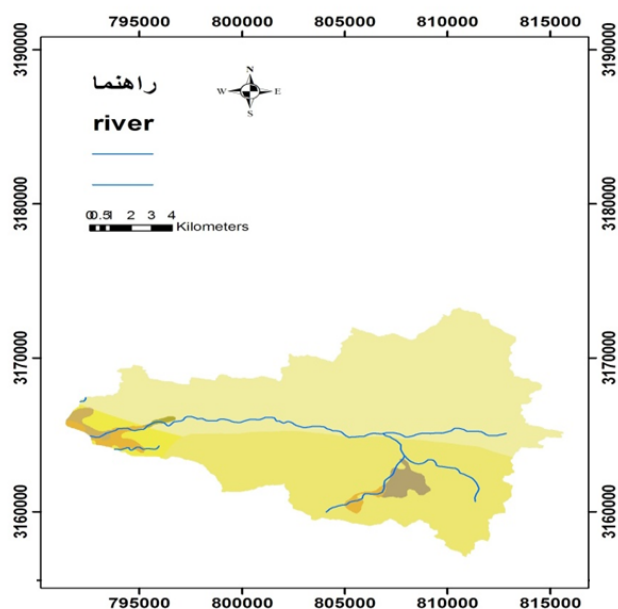
۳- یافته‌ها

در این پژوهش، به منظور تحلیل فضایی مخاطره سیلاب در حوضه آبخیز مورد مطالعه، کلیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز تهیه و پردازش گردید. هر یک از این لایه‌ها پس از استانداردسازی، به صورت مستقل مورد بررسی قرار گرفت تا میزان و نحوه تأثیر آنها بر وقوع و شدت سیلاب مشخص شود. این تحلیل‌ها مبنای تلفیق نهایی لایه‌ها و تهیه نقشه پهنه‌بندی مخاطره سیلاب در مراحل بعدی پژوهش را تشکیل می‌دهند.

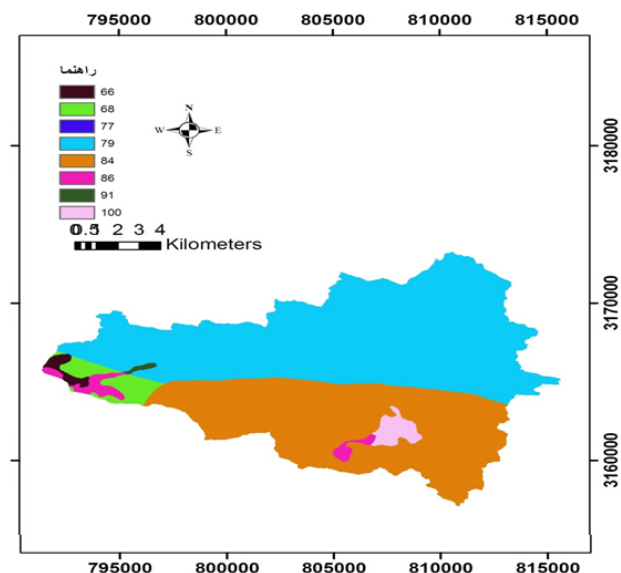
۳-۱-۳. تهیه لایه‌های اطلاعاتی

۳-۱-۱. ارتفاع رواناب

رواناب یکی از متغیرهای هیدرولوژیکی بسیار مهم و مورد استفاده در اکثر کاربردهای منابع آب است. یکی از این روش‌های محاسبه این پارامتر، روش سازمان حفاظت خاک آمریکا SCS است. شکل ۲، نقشه ارتفاع رواناب حوضه رحیم‌آباد فسا (با دامنه‌ای از ۰/۳۳ تا ۲/۵ واحد) را نشان می‌دهد که بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی حوضه عمدتاً در طبقات با مقادیر متوسط تا بالا قرار گرفته‌اند که این امر بیانگر پتانسیل بالاتر تولید رواناب و افزایش خطر سیلاب در این نواحی است. در این بخش‌ها شرایط فیزیوگرافی، نفوذپذیری خاک و یا نوع کاربری اراضی به گونه‌ای است که امکان جذب آب کاهش یافته و رواناب سطحی افزایش می‌یابد.



شکل ۴. نقشه فاصله از آبراهه حوضه رحیم آباد فسا



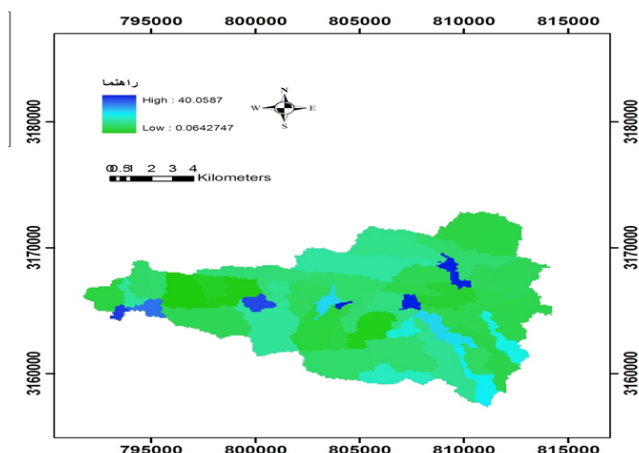
شکل ۳. نقشه شماره منحنی CN حوضه رحیم آباد فسا

۳-۱-۳. فاصله از آبراهه اصلی

حوضه آبخیز رحیم آباد دارای یک آبراهه اصلی به طول ۳۲ کیلومتر است که از ارتفاعات چنگ چاه فرهاد شروع و پس از زهکشی دشت‌ها و ارتفاعات اطراف در نزدیکی روستای احمدآباد از حوضه خارج می‌شود. بر اساس نقشه ارائه شده در شکل ۴، نواحی نزدیک به آبراهه‌های اصلی و فرعی که عمدتاً در امتداد محور مرکزی حوضه مشاهده می‌شوند، کمترین فاصله از آبراهه را دارند. این مناطق به دلیل تمرکز جریان، ظرفیت محدود عبور سیلاب و احتمال طغیان رودخانه، از پتانسیل بالاتری برای وقوع سیلاب برخوردار هستند. در مقابل، بخش‌هایی که در فواصل دورتری از آبراهه‌ها قرار گرفته‌اند، عمدتاً در نواحی مرتفع‌تر و حاشیه‌ای حوضه واقع شده و از خطر سیلاب خیزی کمتری برخوردارند.

۳-۱-۴. شکل حوضه

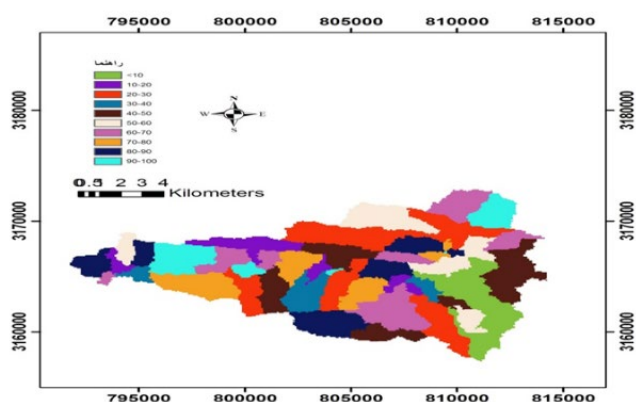
به منظور بررسی اثر شکل حوضه بر رفتار هیدرولوژیکی و سیل‌خیزی، از ضریب فشردگی یا گراولیوس استفاده شد؛ زیرا حوضه‌های باریک و طولیل با نسبت انشعاب بالا معمولاً هیدروگرافی با پیک پایین اما پایدار ایجاد می‌کنند، درحالی‌که حوضه‌های گرد با نسبت انشعاب کمتر، مستعد تولید هیدروگراف‌های تیز و سیلابی هستند. با توجه به رابطه معکوس بین مقدار ضریب فشردگی و میزان سیل‌خیزی، لایه شکل حوضه مجدداً طبقه‌بندی گردید. شکل ۵ نشان می‌دهد که زیرحوضه‌هایی با مقادیر کمتر ضریب گراولیوس، به دلیل تمرکز سریع رواناب، از خطر سیل‌خیزی بیشتری برخوردارند که در نقشه با رنگ قهوه‌ای مشخص شده‌اند.



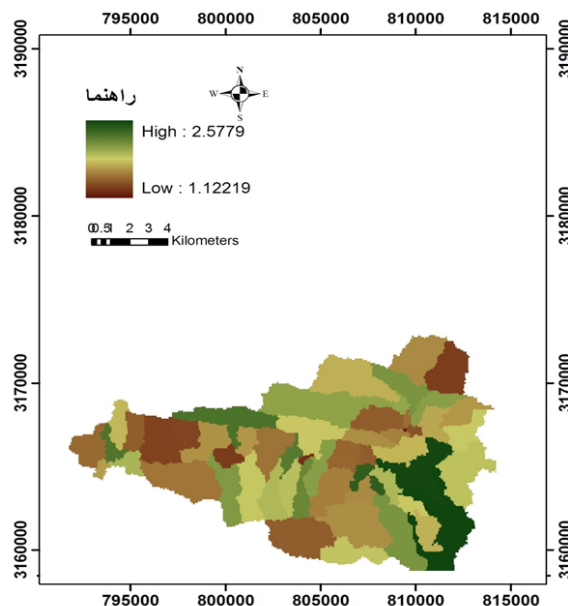
شکل ۶. نقشه شبکه زهکشی حوضه رحیم‌آباد فسا

۳-۱-۶. شیب حوضه

شیب حوضه آبریز به دلیل ارتباط مستقیم و نسبتاً پیچیده‌ای که با نفوذپذیری، جریان سطحی و رطوبت خاک دارد، نقش مهمی در شکل‌گیری جریان‌های تند و سیلابی ایفا می‌کند (یمانی و عنایتی، ۱۳۸۶). با افزایش شیب عمومی حوضه، فرصت نفوذ آب کاهش یافته و در نتیجه زمان تمرکز جریان کوتاه‌تر می‌شود که این امر می‌تواند به افزایش شدت سیلاب منجر گردد. بر اساس نقشه شیب حوضه (شکل ۷)، بخش‌های بالادست حوضه مورد مطالعه دارای شیب بیشتری نسبت به سایر نواحی بوده و از پتانسیل بالاتری برای تولید رواناب سریع برخوردار هستند.



شکل ۷. نقشه شیب حوضه رحیم‌آباد فسا



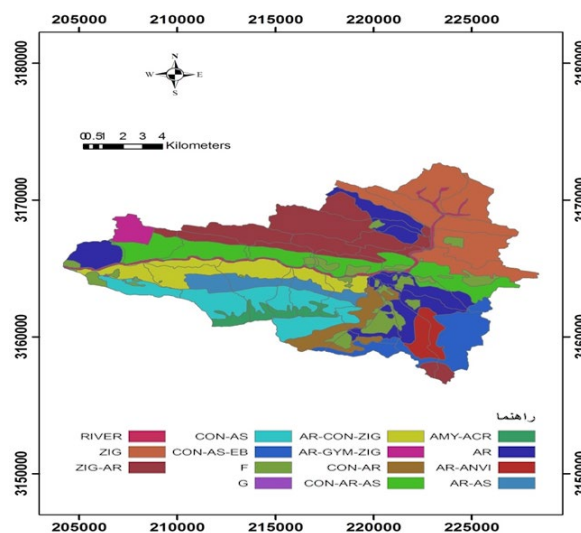
شکل ۵. نقشه شکل حوضه رحیم‌آباد فسا

۳-۱-۵. شبکه زهکشی

شبکه یا تراکم زهکشی به عنوان یکی از شاخص‌های مهم هیدرو ژئومورفولوژیکی، از نسبت مجموع طول آبراهه‌ها و رودخانه‌های حوضه به مساحت آن محاسبه می‌شود و بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع بیان می‌گردد (مهدوی، ۱۳۸۴). بر اساس شکل ۵، مناطق با تراکم زهکشی بالا (مقادیر نزدیک به ۴۰) عموماً مربوط به بخش‌هایی با زمان تمرکز کوتاه‌تر و پاسخ هیدرولوژیکی سریع‌تر هستند که در نتیجه احتمال وقوع سیلاب‌های ناگهانی را افزایش می‌دهند. این تراکم بالا معمولاً در ارتباط با زمین‌های با نفوذپذیری کم، شیب نسبتاً زیاد و بارندگی مؤثر بیشتر است که باعث تولید رواناب سطحی بیشتر می‌شود. در مقابل، مناطق با تراکم زهکشی پایین (نزدیک به ۰/۰۶) اغلب در نواحی با نفوذپذیری بالاتر، توپوگرافی ملایم‌تر یا پوشش گیاهی مناسب قرار دارند و نقش کاهش‌دهنده در شدت سیل ایفا می‌کنند.

۷-۱-۳. پوشش گیاهی

پوشش گیاهی در سطح حوضه‌های آبخیز، به دلیل تأثیر مستقیم بر مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژیک، یکی از عوامل کلیدی در کاهش قابلیت سیل‌خیزی حوضه محسوب می‌شود. بر اساس راهنمای شکل ۸، پوشش گیاهی منطقه عمدتاً از مراتع تشکیل شده و فاقد جنگل به معنای متعارف است. در این محدوده، ۱۱ تیپ مرتعی در قالب ۱۵ ناحیه شناسایی شده است. تنها یکی از این تیپ‌ها به صورت مرتع مشجر وجود دارد که در آن گونه‌های درختی و درختچه‌ای از قبیل بادام کوهی، کنار، کیکم، بنه و کلخنگ به صورت پراکنده، لکه‌ای یا تک‌درخت دیده می‌شوند. همچنین در مجاورت مسیل فصلی چاه قوچ (زهکش اصلی حوضه)، تک‌درختان گونه‌هایی نظیر پده، لیسوم، کنار و رملک قابل مشاهده هستند.

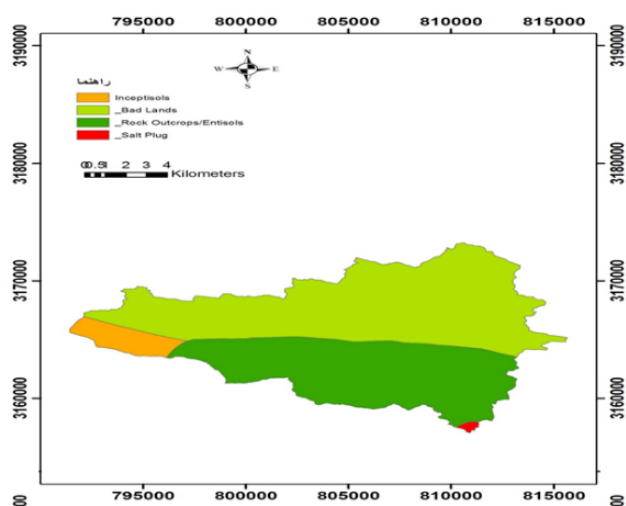


شکل ۸. نقشه پوشش گیاهی حوضه آبخیز رحیم‌آباد فسا

۸-۱-۳. خاک

خاک‌های منطقه فسا را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم کرد: خاک‌های کالوویال و خاک‌های رسوبی. بر اساس نقشه خاک حوضه آبخیز رحیم‌آباد فسا (شکل ۹)، واحدهای خاکی غالب شامل اینسپتی‌سل‌ها، برون‌زدهای سنگی، اراضی بدبوم و لکه‌های محدود شوره‌زار است. گسترش اینسپتی‌سل‌ها در بخش‌های مرکزی و شمالی حوضه و حضور خاک‌های

کم‌عمق و سنگی در بخش‌های جنوبی و پایین‌دست، بیانگر نفوذپذیری کم تا متوسط و پتانسیل بالای تولید رواناب در بخش وسیعی از حوضه است. اراضی بدبوم واقع در بخش‌های غربی به دلیل فرسایش شدید و ظرفیت نفوذ پایین، نقش مهمی در تشدید دبی اوج سیلاب دارند. در مجموع، پراکنش این واحدهای خاکی نشان می‌دهد که عامل خاک سهم قابل توجهی در افزایش مخاطره سیلاب حوضه داشته و به عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی در پهنه‌بندی خطر سیلاب مورد استفاده قرار گرفته است.

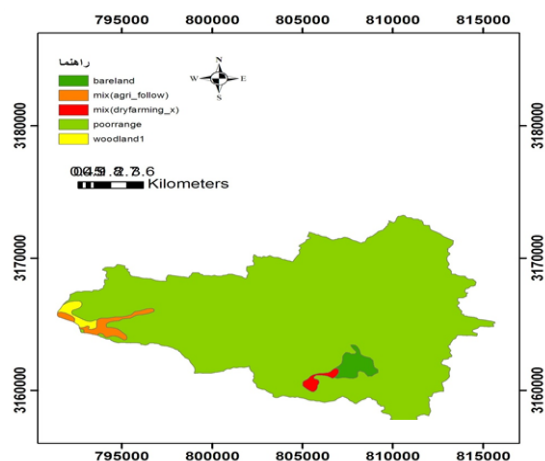


شکل ۹. نقشه خاک حوضه رحیم‌آباد فسا

۹-۱-۳. کاربری اراضی

کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی تأثیر مستقیم بر جریان رودخانه و شدت سیلاب دارند؛ کاهش پوشش گیاهی، تغییر در کشت و کاهش نفوذپذیری خاک، دبی سیلاب را افزایش می‌دهد، در حالی که احداث مخازن تأخیری و تعدیلی می‌تواند آن را کاهش دهد. نقشه کاربری اراضی منطقه (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که بیشترین وسعت منطقه را اراضی بایر و کم‌بهره تشکیل می‌دهد. بخش‌های محدودی به کشاورزی در غرب و جنوب و چراگاه‌های فقیر در جنوب شرق اختصاص یافته است. همچنین پوشش جنگلی یا درختی بسیار اندک و تنها در محدوده‌ای کوچک در شمال غرب قابل مشاهده است. این

پراکندگی و غلبه زمین‌های فاقد پوشش گیاهی انبوه، می‌تواند پیامدهای مهمی در مدیریت منابع آب، کنترل سیلاب و تعادل چرای دام در منطقه داشته باشد.



شکل ۱۰. نقشه کاربری اراضی حوزه رحیم‌آباد فسا



شکل ۱۱. نمونه‌ای از وزن دهی معیارها و زیر معیارها در محیط Expert Choice

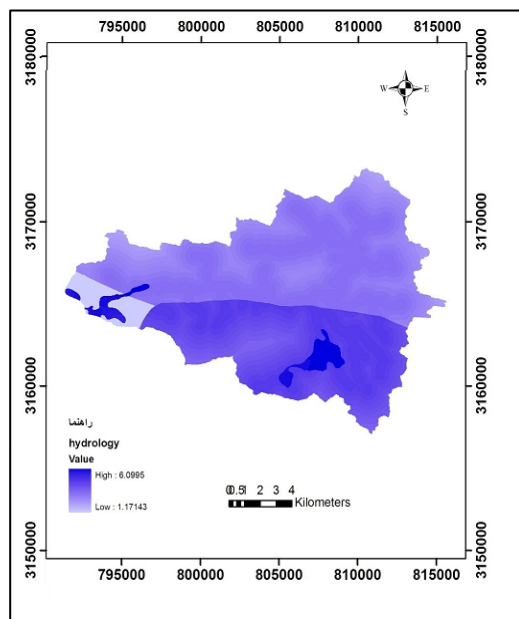
معیارهای اصلی بیانگر اهمیت هر گروه و وزن زیرمعیارها نشان‌دهنده سهم نسبی آن‌ها در بروز سیلاب است.

جدول ۲، وزن نسبی معیارهای اصلی و زیرمعیارهای مؤثر بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز رحیم‌آباد فسا را نشان می‌دهد. وزن

جدول ۲. وزن معیارها و زیر معیارها

وزن زیر معیار	زیر معیار	وزن معیار اصلی	معیار اصلی
۰/۳۷۱	ارتفاع رواناب	۰/۷۳۱	عوامل هیدرولوژی
۰/۵۵۹	شماره منحنی		
۰/۰۷۰	فاصله از آبراهه		
۰/۰۸۱	شکل حوضه	۰/۰۸۱	عوامل فیزیوگرافی
۰/۳۴۲	شبکه زهکشی		
۰/۵۷۷	شیب		
۰/۰۷۲	پوشش گیاهی	۰/۱۸۸	عوامل زمین‌شناسی
۰/۲۷۹	خاک		
۰/۶۴۹	کاربری اراضی		

آبراهه‌ها هستند، در لایه نهایی هیدرولوژی از مقادیر عددی بالاتری برخوردارند و در زمره مناطق مستعد سیل‌خیزی قرار می‌گیرند. این نواحی در نقشه مربوطه با رنگ آبی مشخص شده‌اند. به‌طور کلی، افزایش مقدار عددی در این لایه و نزدیک شدن آن به مقدار ۱۰ بیانگر افزایش سطح خطر سیل‌خیزی از دیدگاه عوامل هیدرولوژیکی است (شکل ۱۲).



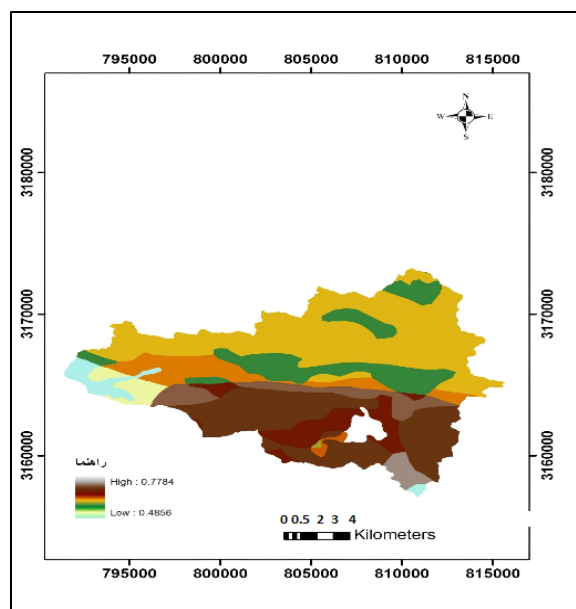
شکل ۱۲. نقشه روی هم گذاری شده عوامل هیدرولوژی حوضه رحیم‌آباد

بر اساس نتایج لایه نهایی عوامل فیزیوگرافی نشان داده شده در شکل ۱۳، نواحی دارای مقادیر بالاتر این لایه که با رنگ‌های سفید و قهوه‌ای مشخص شده‌اند، عمدتاً در پایین دست حوضه و بخش‌های حاشیه‌ای دو طرف حوضه تمرکز دارند؛ علاوه بر این، بخش‌هایی از این مناطق در بالادست حوضه نیز مشاهده می‌شود که بیانگر تأثیر هم‌زمان ویژگی‌های مورفومتریک بر پتانسیل سیل‌خیزی این نواحی است.

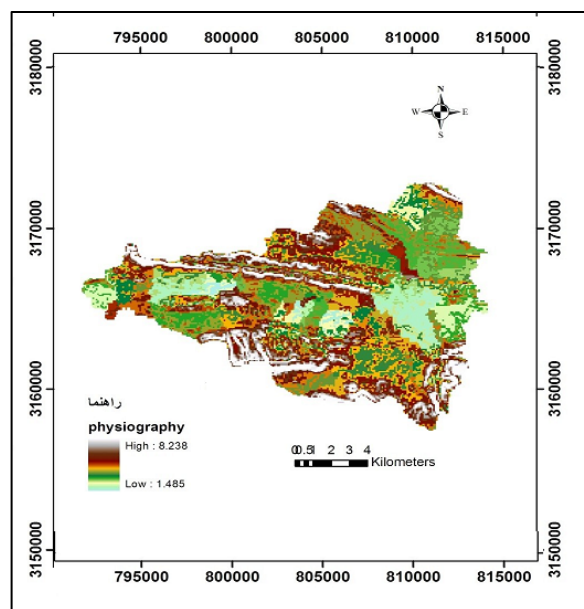
بر اساس نتایج به‌دست آمده، عوامل هیدرولوژیکی با وزن نهایی ۰/۷۳۱ بیشترین سهم را در بروز سیلاب در حوضه مورد مطالعه به خود اختصاص داده‌اند. این امر نشان‌دهنده نقش غالب فرایندهای تولید رواناب و ویژگی‌های هیدرولوژیکی سطح زمین در کنترل پاسخ حوضه به بارش‌های شدید است. در میان زیرمعیارهای این گروه، شماره منحنی (CN) با وزن ۰/۵۵۹ به‌عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی شد که بیانگر تأثیر مستقیم نفوذپذیری خاک، پوشش سطحی و کاربری اراضی بر میزان رواناب سطحی و تشدید سیلاب است. پس از آن، ارتفاع رواناب با وزن ۰/۳۷۱ در رتبه دوم قرار گرفت که اهمیت حجم و شدت رواناب تولیدی در حوضه را تأیید می‌کند. در مقابل، فاصله از آبراهه با وزن ۰/۰۷۰ کمترین نقش را در این گروه داشته است که نشان می‌دهد اگرچه نزدیکی به آبراهه‌ها در گسترش سیلاب مؤثر است، اما در مقایسه با فرایندهای تولید رواناب، اهمیت کمتری دارد. در رتبه دوم، سایر عوامل شامل ویژگی‌های زمین‌شناسی و کاربری اراضی با وزن ۰/۱۸۸ قرار دارند. در این گروه، کاربری اراضی با وزن ۰/۶۴۹ بیشترین تأثیر را نشان می‌دهد که نقش فعالیت‌های انسانی و تغییرات کاربری در افزایش سیل‌خیزی حوضه را برجسته می‌سازد. پس از آن، نوع خاک با وزن ۰/۲۷۹ و سنگ‌شناسی با وزن ۰/۰۷۲ قرار گرفته‌اند که بیانگر تأثیر خصوصیات فیزیکی و بافت زمین بر نفوذپذیری و تولید رواناب است. عوامل فیزیوگرافی با وزن ۰/۰۸۱ کمترین سهم را در بین معیارهای اصلی به خود اختصاص داده‌اند. در این گروه، شیب با وزن ۰/۵۷۷ مهم‌ترین زیرمعیار محسوب می‌شود که نقش آن در افزایش سرعت جریان و تمرکز رواناب قابل توجه است. شبکه زهکشی با وزن ۰/۳۴۲ در رتبه بعدی قرار دارد، در حالی که شکل حوضه با وزن ۰/۰۸۱ کمترین تأثیر را نشان می‌دهد.

۳-۳. تلفیق و هم‌پوشانی لایه‌ها

نتایج هم‌پوشانی زیرمعیارهای عوامل هیدرولوژیکی نشان می‌دهد که بخش‌هایی از حوضه آبخیز رحیم‌آباد فضا که دارای ارتفاع رواناب بیشتر، شماره منحنی بالاتر و فاصله کمتر از



شکل ۱۴. نقشه روی هم گذاری شده عوامل زمین شناسی حوضه رحیم‌آباد

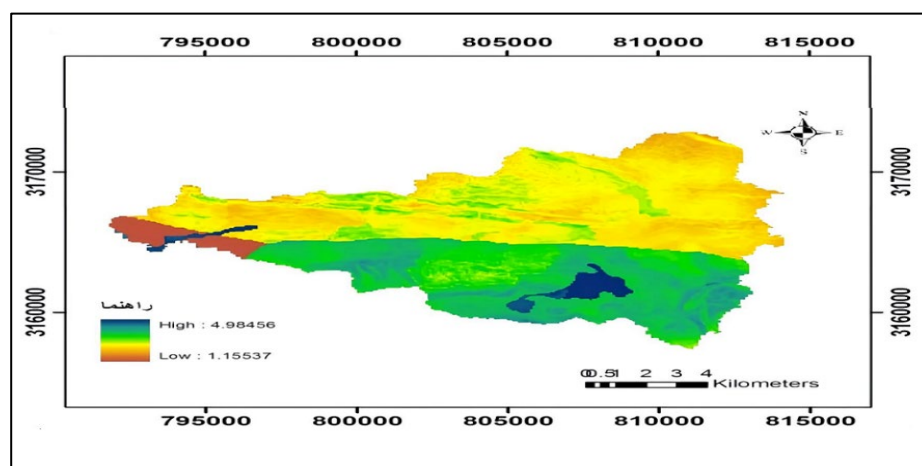


شکل ۱۳. نقشه روی هم گذاری شده عوامل فیزیوگرافی حوضه رحیم‌آباد

«زیاد» و «بسیار زیاد» عمدتاً در بخش‌های پایین دست و حاشیه‌ای حوضه قرار دارند. بررسی کاربری اراضی این پهنه‌ها نشان می‌دهد که اغلب دارای مراتع فقیر یا مناطق سنگی فاقد پوشش گیاهی مؤثر هستند. این شرایط موجب کاهش نفوذپذیری خاک و در نتیجه افزایش رواناب سطحی شده که در نهایت منجر به تشدید پتانسیل سیل خیزی در این نواحی می‌شود.

نتایج هم‌پوشانی زیرمعیارهای عوامل زمین‌شناسی نشان می‌دهد که در نواحی‌ای که از نظر پوشش گیاهی و جنس خاک دارای نفوذپذیری پایین بوده و هم‌زمان نوع کاربری اراضی آنها پتانسیل بالایی برای تولید رواناب دارد، خطر وقوع سیلاب به طور محسوسی افزایش می‌یابد (شکل ۱۴).

در حوضه آبخیز رحیم‌آباد، با تلفیق سه معیار اصلی حاصل از مراحل پیشین، نقشه‌ای جدید از پهنه‌بندی خطر سیل خیزی تولید شد (شکل ۱۵). بر اساس این نقشه، نواحی با خطر سیل خیزی



شکل ۱۵. نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه رحیم‌آباد

۴. بحث و نتیجه گیری

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که مخاطره سیلاب در حوضه آبخیز رحیم‌آباد فسا بیش از هر چیز تحت تأثیر عوامل هیدرولوژیکی قرار دارد؛ به گونه‌ای که این گروه از معیارها با وزن نهایی ۰/۷۳۱ نقش غالبی در تبیین سیل‌خیزی حوضه ایفا می‌کنند. این نتیجه با چارچوب نظری حاکم بر مطالعات هیدرولوژی سیلاب هم‌خوانی دارد؛ زیرا فرایندهای تولید رواناب، نفوذ، ذخیره سطحی و پاسخ هیدرولوژیکی حوضه، مستقیماً شدت و گستره سیلاب را کنترل می‌کنند. نتایج به‌دست‌آمده با یافته‌های فوهرر و همکاران (۲۰۰۵)، کورگیالاس و کاراتزاس (۲۰۱۱) و همچنین مطالعات اخیر مبتنی بر GIS و AHP در حوضه‌های نیمه‌خشک سازگار است که نقش تعیین‌کننده مؤلفه‌های هیدرولوژیکی را در بروز سیلاب‌های مخرب تأیید کرده‌اند. در میان زیرمعیارهای هیدرولوژیکی، شماره منحنی (CN) با وزن ۰/۵۵۹ به‌عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی شد. این امر بیانگر آن است که ویژگی‌های نفوذپذیری خاک، نوع کاربری اراضی و وضعیت پوشش سطحی نقش کلیدی در تولید رواناب سطحی و تشدید سیلاب در حوضه رحیم‌آباد دارند. غالب‌بودن CN در این پژوهش با نتایج مطالعاتی چون عقیلی و همکاران (۱۳۹۹)، نامی و رستمی (۱۴۰۲) و محمد دوست و شمس‌نیا (۱۴۰۳) هم‌راستا است که در آن‌ها نیز شاخص‌های مرتبط بانفوذ و رواناب سطحی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. از منظر فیزیکی، ضعف پوشش گیاهی، فشردگی خاک و گسترش کاربری‌های کم نفوذپذیر در بخش‌هایی از حوضه موجب کاهش نفوذ و افزایش حجم رواناب شده و پاسخ سریع حوضه به بارش‌های رگباری کوتاه‌مدت را تشدید کرده است. زیرمعیار ارتفاع رواناب با وزن ۰/۳۷۱ در رتبه دوم اهمیت قرار گرفت که نشان‌دهنده نقش حجم و شدت جریان سطحی در گسترش سیلاب است. این نتیجه به‌ویژه در حوضه‌هایی با شیب‌های نسبتاً تند و بارش‌های حدی کوتاه‌مدت اهمیت می‌یابد، زیرا افزایش ارتفاع رواناب مستقیماً با توان تخریبی

جریان و وسعت پهنه‌های سیلابی ارتباط دارد. چنین یافته‌ای با نتایج فرناندز و لوتز (۲۰۱۰) و ایگری و همکاران (۲۰۲۲) هم‌خوان است که افزایش حجم رواناب را یکی از شاخص‌های اصلی سیلاب‌های شدید معرفی کرده‌اند. در مقابل، وزن پایین فاصله از آبراهه نشان می‌دهد که اگرچه نزدیکی به شبکه زهکشی طبیعی در آسیب‌پذیری موضعی مؤثر است، اما در مقیاس کل حوضه، فرایندهای تولید رواناب نقش تعیین‌کننده‌تری نسبت به موقعیت مکانی نسبت به آبراهه‌ها دارند. گروه معیارهای مرتبط با ویژگی‌های زمین‌شناسی و کاربری اراضی با وزن ۰/۱۸۸ در رتبه دوم قرار گرفتند. در این میان، کاربری اراضی با وزن ۰/۶۴۹ بیشترین تأثیر را نشان داد که اهمیت مداخلات انسانی در تشدید سیل‌خیزی حوضه را برجسته می‌سازد. گسترش اراضی کشاورزی، تغییر پوشش طبیعی و بهره‌برداری ناپایدار از زمین موجب افزایش سطوح کم‌نفوذ و کاهش ظرفیت ذخیره آب در خاک شده است. این نتیجه با یافته‌های اکبرپور و همکاران (۱۳۹۳)، محمودزاده و باکویی (۱۳۹۷) و گنجی و همکاران (۱۴۰۰) هم‌خوانی دارد که تغییر کاربری اراضی را یکی از عوامل اصلی افزایش خطر سیلاب در حوضه‌های شهری و روستایی ایران معرفی کرده‌اند. شیب زیاد دامنه‌ها باعث افزایش سرعت جریان، کاهش زمان تمرکز و تشدید پاسخ سریع حوضه به بارش می‌شود که این موضوع در حوضه رحیم‌آباد نیز صادق است. این یافته با نتایج عقیلی و همکاران (۱۳۹۹) و حاتمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶) هم‌راستا است. باین‌حال، وزن نسبتاً پایین این گروه در مقایسه با عوامل هیدرولوژیکی نشان می‌دهد که شیب و شکل حوضه به‌تنهایی عامل تعیین‌کننده سیلاب نیستند، بلکه در تعامل با شرایط نفوذ، پوشش سطحی و الگوی بارش عمل می‌کنند. در مجموع، نتایج این پژوهش تأکید می‌کند که سیل‌خیزی حوضه آبخیز رحیم‌آباد فسا بیش از آن‌که ناشی از ویژگی‌های صرفاً توپوگرافی باشد، حاصل برهم‌کنش پیچیده عوامل هیدرولوژیکی، کاربری اراضی و ویژگی‌های فیزیکی خاک است. این امر اهمیت رویکردهای تلفیقی مبتنی بر GIS و AHP

- Hydrological Processes, 19(3), p. 659–672. <https://doi.org/10.1002/hyp.5623>
7. Ganji, K., Gharehchelo, S., and Ahmadi, A., 2021. Determination of effective factors on flood potential of Gorganrud River and micro-zonation of flood hazard in Aqqala County using AHP. *Geography and Environmental Hazards*, 40(10), p. 25–46. [In Persian]
 8. Ghanbari, A., Amirian, S., and Amirian, Y., 2023. Flood risk zoning using the FAHP method (Case study: Kermanshah County). *Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 3(9), p. 105–131. <https://doi.org/10.22034/rsg.2024.60665.1064> [In Persian]
 9. Ghorbanzadeh, M., Azarakhshi, M., Mosaedi, A., and Rostami Khalaj, M., 2017. Evaluation of the efficiency of analytic hierarchy process (AHP) in identifying areas with urban flood risk potential: Case study of the central part of Torbat Heydarieh. *Physical Geography Research*, 49(4), p. 645–656. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.231371.1007037> [In Persian]
 10. Hataminejad, H., Atashafrooz, N., and Arvin, M., 2017. Flood hazard zonation using multi-criteria analysis and GIS: Case study of Izeh County. *Journal of Prevention and Crisis Management*, 7(2), p. 44–57. [In Persian]
 11. Heidari Jame Bozorgi, M., Abbasnejad, A., and Hassanzadeh, R., 2021. Flood hazard zonation using AHP and fuzzy logic (Case study: Sakanj watershed, southeast of Kerman Plain). *Proceedings of the 8th Comprehensive Conference on Flood Management and Engineering*, Tehran. [In Persian]
 12. Ikirri, M., Faik, F., Echogdali, F.Z., Antunes, I.M.H.R., Abioui, M., Abdelrahman, K., and Quesada-Román, A., 2022. Flood hazard index application in arid catchments: Case of the Taguenit Wadi watershed, Morocco. *Land*, 11(8), 1178.
 13. Imani Jajarmi, H., (n.d.). Introduction to the Delphi method and its application in decision making. *Scientific Information Database (Virtual)*, 1(1), 0–0. <https://sid.ir/paper/458036/fa> [In Persian]
 14. Iran Meteorological Organization, (2023). Long-term statistical report of Fasa meteorological stations. [In Persian]

را در تحلیل مخاطره سیلاب، به‌ویژه در مناطق کم‌داده و نیمه‌خشک، برجسته می‌سازد. نقشه‌های پهنه‌بندی به‌دست‌آمده می‌توانند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای شناسایی پهنه‌های پرخطر، اولویت‌بندی اقدامات کنترلی، مدیریت کاربری اراضی، حفاظت خاک و برنامه‌ریزی توسعه پایدار در مقیاس حوضه مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، تمرکز بر کاهش CN از طریق بهبود پوشش گیاهی، اصلاح الگوی بهره‌برداری از زمین و مدیریت رواناب سطحی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش خطر سیلاب‌های آتی در این حوضه ایفا کند.

منابع

1. Aghili, S.N., Lashkaripour, Gh., and Hafezi Moghaddas, N., 2020. Landslide hazard zonation using GIS and bivariate statistical models of information value and surface density in Galord Neka watershed, Mazandaran. *Iran Water and Irrigation Engineering Journal*, 11(1), p. 102–117. [In Persian]
2. Alizadeh-Choobari, O., 2017. Climate classification of Iran using multivariate statistical methods. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(3–4), p. 856–875. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1928-1>
3. Chen, Y., Yu, J., and Khan, S., 2016. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling & Software*, 25(12), p. 1582–1591. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.06.001>
4. Eyvazi, M., Moghadamnia, A., Malekian, A., and Kharashadi-Zadeh, F., 2024. Flood potential zonation using fuzzy network analysis in Ahar-Chay watershed. *Rainwater Catchment Systems*, 12(4), p. 97–108. [In Persian]
5. Fernández, D.S. and Lutz, M.A., 2010. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, 111(1–4), p. 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.12.006>
6. Fohrer, N., Haverkamp, S., and Frede, H.G., 2005. Assessment of the effects of land use patterns on hydrologic landscape functions.

24. Ozturk, D. and Batuk, F., 2011. Implementation of GIS-based multicriteria decision analysis with VB in ArcGIS. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 10(6), p. 1023–1042.
<https://doi.org/10.1142/S0219622011004713>
25. Qodsi-Pour, H., 2005. Analytic hierarchy process (AHP). 4th ed. Tehran: Amirkabir University of Technology Press (Tehran Polytechnic). [In Persian]
26. Rahimzadeh, Z. and Alaei Taleghani, M., 2011. Simulation of landslide probability using AHP model in Javanrud watershed. *Geography and Environmental Planning*, 22(4), p. 53–72. [In Persian]
27. Rincón, D., Khan, U.T., and Armenakis, C., 2018. Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: Greater Toronto Area case study. *Geosciences*, 8(8), 275.
28. Rostami, N. and Kazemi, Y., 2019. Flood hazard zonation in Ilam City using AHP and GIS. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 6(1), p. 179–192. [In Persian]
29. Saberi-Far, R., 2012. Physical development of Birjand City based on environmental hazard criteria. *Urban Ecology Research Quarterly*, 3(6), p. 93–102. [In Persian]
30. Sharifi Paichoon, M., Omidvar, K., and Motazaker, K., 2019. Assessment of flooding using cluster analysis and multivariable regression methods with emphasis on hydro-geomorphological parameters (Case study: Maroon catchment). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(21), p. 75–92.
<https://doi.org/10.22111/jneh.2018.22519.1336> [In Persian]
31. Shelton, K., Haynes, C. A., & Creggan, K. A. (2018). Fundamentals of Delphi research methodology. In *Handbook of research on innovative techniques, trends, and analysis for optimized research methods* (pp. 233-257). IGI Global Scientific Publishing.
32. Shrestha, S., Dahal, D., Poudel, B., Banjara, M., and Kalra, A., 2025. Flood susceptibility analysis with integrated GIS and AHP. *Water*, 17(7), 937.
<https://doi.org/10.3390/w17070937>
33. Swain, K.C., Singha, C., and Nayak, L., 2020. Flood susceptibility mapping through GIS-AHP technique using cloud. *ISPRS*
15. Kourgialas, N.N. and Karatzas, G.P., 2011. Flood management and GIS modelling method to assess flood hazard areas. *Hydrological Sciences Journal*, 56(2), p. 212–225.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836>
16. Mahdavi, M., 2005. *Applied Hydrology*. University of Tehran Press. [In Persian]
17. Manzoor, Z., Ehsan, M., Khan, M. B., Manzoor, A., Akhter, M. M., Sohail, M. T. Abioui, M. (2022). Floods and flood management and its socio-economic impact on Pakistan: A review of the empirical literature. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1021862.
<https://doi:10.3389/fenvs.2022.1021862>
18. Mohammad-Doust, A. and Shamsnia, S.A., 2023. Identification and zonation of flood-prone areas using GIS-AHP (Case study: Dayyer County, Bushehr Province). *Geography and Environmental Studies*, 12(47), p. 152–167. [In Persian]
19. Munyai, R.B., Nethengwe, N.S., and Musyoki, A., 2019. Assessment of flood vulnerability and adaptation. *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies*, 11(2), p. 1–8.
20. Nami, M. and Rostami, M., 2023. Flood susceptibility mapping using GIS-AHP approach: Case study of Alamut-Rud watershed. *Housing and Rural Environment*, 42(182), p. 125–138.
<https://doi.org/10.22034/42.182.125> [In Persian]
21. Natarajan, L., Usha, T., Gowrappan, M., Palpanabhan Kasthuri, B., Moorthy, P. and Chokkalingam, L. (2021). Flood susceptibility analysis in Chennai Corporation using frequency ratio model. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(7), 1533–1543. <https://doi:10.1007/s12524-021-01332-7>
22. Omidvar, K., 2011. *Natural Hazards*. First edition. Yazd University Press. [In Persian]
23. Omidvar, K., Kianfar, A., and Askari, S., 2010. Flood potential zonation of Kanjancham watershed. *Physical Geography Research*, 42(72). [In Persian]

- International Journal of Geo-Information, 9(12), 720.
<https://doi.org/10.3390/ijgi9120720>
34. Tehrany, M.S., Shabani, F., Jebur, M.N., Hong, H., Chen, W., and Xie, X., 2017. GIS-based spatial prediction of flood-prone areas. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), p. 1538–1561.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1362038>
35. Vishwanath, V. H., & Tomaszewski, B. M. (2018, May). Flood Hazard, Vulnerability, Risk Assessment for Uttarakhand State in India. In ISCRAM.
36. Yemani, M., and Enayati, M., 2007. Relationship between geomorphological characteristics of watersheds and flood potential (Analysis of flood data through geomorphological comparison of Fashand and Behjatabad watersheds). *Geographical Research*, 38(3). [In Persian]
37. Youssef, A.M., Pradhan, B., and Hassan, A.M., 2011. Flash flood risk estimation using GIS-based morphometry. *Environmental Earth Sciences*, 62(3), p. 611–623.
<https://doi.org/10.1007/s12665-010-0551-1>
38. Zarin, H., Shammohammadi, Z., and Mohammadi, H., (2008). Necessity of integrated water and soil resources management in the country's watersheds. *International Water Crisis Conference*.
<https://sid.ir/paper/814426/fa> [In Persian]