Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.14, Issue 44, June 2025

Utilization of Environmental Risk Indices for Site Selection in the Construction of River Floodwalls in Southern Kerman Province

Saeedeh Shahreki[1], Malihe Erfani[2*], Fatemeh Jahanishakib[3], Fatemeh Einollahi Peer[4]

1. Former M.Sc. Student, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran
2. *Corresponding Author*, Associate Professor , Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran
3. Assistant Professor of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran
4. Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 22 June 2024
Revised: 10 December 2024
Accepted: 01 January 2025

Keywords:
Environmental Capability Assessment, Land Management, Flood Risk, Flood Sensitivity, Kerman Province.

ABSTRACT

The increasing frequency and severity of flood hazards in recent years have necessitated greater attention to the strategic implementation of both biological and physical flood control measures. This study focuses on physical interventions, specifically river floodwalls, as a short-term solution to mitigate flood damage. The study area encompasses the southern region of Kerman Province, including the seven counties of Faryab, Kohnoorj, Jiroft, Manujan, Anbarabad, Qaleh Ganj, and Rudbar Jonoob, which are predominantly high-risk zones for river overflow-induced flooding. To determine optimal sites for river floodwall construction, environmental risk indices were employed, comprising two key layers: flood hazard and flood susceptibility. The flood hazard assessment incorporated ecological criteria, including water availability (precipitation and runoff accumulation), permeability (surface roughness, soil type, and NDVI), and landform characteristics (slope). Meanwhile, socio-economic flood susceptibility was evaluated based on proximity to transportation networks, residential areas, tourist sites, and agricultural land. The criteria for flood hazard indices were standardized, and a hierarchical weighting method was applied. The hazard indices were calculated by combining the ecological criteria using the linear weighted combination (WLC) method. The resultant flood hazard index was then intersected with each socio-economic susceptibility criterion to identify high-risk and vulnerable areas for each category. The findings reveal that 56% of agricultural land and 48% of built-up areas fall within flood risk zones. Moreover, 24% of the transportation network lies in these zones, while none of the assessed tourist sites are situated within high-risk areas. Additionally, 182 kilometers of the province's rivers-accounting for 2% of the total river length—were identified as requiring floodwall construction to mitigate risks in sensitive socio-economic zones. The outcomes of this study provide valuable insights for decision-makers aiming to reduce environmental and socio-economic damages caused by floods. Furthermore, the methodology employed offers a replicable framework for similar studies in other regions.

Shahreki, S. . &. , Erfani, M. , Jahanishakib, F. and Einollahi Peer, F. (2025). Utilization of Environmental Risk Indices for Site Selection in the Construction of River Floodwalls in Southern Kerman Province. Journal of Natural Environmental Hazards, 14(44), 127-146. DOI: 10.22111/jneh.2025.49125.2055

© Malihe Erfani*
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2025.49125.2055

* Corresponding Author Email: maliheerfani@uoz.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۴۴، تیر ۱۴۰۴

بکارگیری نمایه‌های ریسک محیط‌زیستی در مکان‌یابی مناطق استقرار دیوارهای سیل‌بند رودخانه‌ای در جنوب استان کرمان

سعیده شهرکی[۱]، ملیحه عرفانی[۲*]، فاطمه جهانی شکیب[۳]، فاطمه عین الهی پیر[۴]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل
۲. دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل (نویسنده مسئول)
۳. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند
۴. استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۱۰/۱۲

واژه‌های کلیدی:
ارزیابی توان محیط زیست، مدیریت سرزمین، ریسک سیلاب، حساسیت به وقوع سیلاب، استان کرمان.

چکیده

افزایش مخاطرات و خسارت‌های ناشی از سیلاب در سال‌های اخیر لزوم توجه به مکان‌یابی روش‌های زیستی و فیزیکی کنترل سیلاب‌ها را غیرقابل‌اجتناب کرده است. بنابراین، روش‌های فیزیکی مانند سیل‌بند رودخانه‌ای که در کوتاه‌مدت می‌توانند از خسارت‌های ناشی از سیلاب‌ها بکاهند، مورد توجه این پژوهش است. منطقه مورد مطالعه بخش جنوبی استان کرمان شامل هفت شهرستان فاریاب، کهنوج، جیرفت، منوجان، عنبرآباد، قلعه‌گنج و رودبارجنوب است که اغلب آنها با خطر بالای سیلاب‌های ناشی از طغیان رودخانه‌ای مواجهند. ازاین‌رو مکان‌یابی سیل‌بند رودخانه‌ای با کمک نمایه‌های ریسک محیط‌زیستی در قالب دو لایه خطر و حساسیت به وقوع سیلاب انجام شد. معیارهای خطر سیلاب، بوم‌شناختی بوده و شامل سه معیار مهیایی آب (بارندگی، تجمع رواناب)، نفوذپذیری (زبری سطح، نوع خاک و NDVI) و شکل زمین (شیب) است. معیارهای حساسیت به وقوع سیلاب، اقتصادی-اجتماعی بوده و شامل شبکه‌های حمل‌ونقل، مناطق مسکونی، مناطق نمونه گردشگری و اراضی کشاورزی است. ابتدا معیارهای نمایه‌های خطر سیلاب استانداردسازی و روش تحلیل سلسله-مراتبی وزن‌دهی شد. از تلفیق معیارهای یادشده به روش ترکیب وزنی خطی (WLC)، نمایه‌های خطر به‌دست آمد. در نهایت نمایه خطر سیلاب با هر یک از معیارهای حساسیت به وقوع سیلاب تقاطع داده شد تا مکان‌های پرخطر و حساس یا مناطقی با ریسک بالای سیلاب برای هر یک از معیارهای حساسیت به وقوع سیلاب به‌دست آید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده ۵۶ درصد از اراضی کشاورزی و ۴۸ درصد از مناطق ساخت‌وسازشده در منطقه ریسک سیلاب قرار دارند. همچنین، ۲۴ درصد از طول شبکه حمل‌ونقل نیز در این محدوده قرار دارد، اما هیچ یک از مناطق نمونه گردشگری در مناطق با خطر سیلاب واقع نشده‌اند. علاوه بر این ۱۸۲ کیلومتر از طول رودخانه‌های استان که معادل ۲ درصد آنهاست، نیاز به احداث دیواره‌های سیل‌بند جهت جلوگیری از خطر سیلاب در مناطق حساس اقتصادی - اجتماعی دارند. نتایج این مطالعه می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی جهت کاهش خسارت‌های محیط‌زیستی سیلاب کاربرد داشته باشد و روش کار آن نیز در مطالعات مشابه در مناطق دیگر به‌کار رود.

استناد: شهرکی, سعیده , عرفانی, ملیحه , جهانی شکیب, فاطمه و عین الهی پیر, فاطمه . (۱۴۰۴). بکارگیری نمایه‌های ریسک محیط‌زیستی در مکانیابی مناطق استقرار دیوارهای سیل‌بند رودخانه‌ای در جنوب استان کرمان. مخاطرات محیط طبیعی, ۱۴(۴۴)، ۱۴۶-۱۲۷.
DOI: 10.22111/jneh.2025.49125.2055

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان © سعیده شهرکی، ملیحه عرفانی*، فاطمه جهانی شکیب، فاطمه عین الهی پیر.

*- ملیحه عرفانی (نویسنده مسئول) Email: maliheerfani@uoz.ac.ir

مقدمه

ارزیابی توان محیط زیست به برآورد استفاده ممکن انسان از سرزمین برای کاربری‌های مختلف می‌پردازد که در جهت تامین یک نیاز و یا حل یک مساله است (Masoudi et al., 2021; مخدوم،۱۳۹۳). یکی از مسائلی که روز به روز بر وخامت آن افزوده می‌شود، وقوع سیلاب است. سیلاب نیز به طغیان آب که منجر به زیرآب رفتن زمین‌های پست می‌شود، گفته می‌شود (Patel et al., 2013). سیلاب از مخرب‌ترین بلایای آب‌وهوایی است که به‌طور فزاینده‌ای با تغییرات اقلیم در ارتباط است (Sánchez-García and Francos, 2022)، به‌نحوی‌که در برخی مناطق در سال‌های اخیر افزایش سه برابری وقوع آن ثبت شده است (Tempa et al., 2022). سیلاب که به‌عنوان فاجعه طبیعی از آن یاد می‌شود، تخریب گسترده بوم‌شناختی و اجتماعی - اقتصادی را به‌همراه دارد (Pathan et al., 2022a; Penki et al., 2023)، هرچند مدیریت صحیح آن می‌تواند منبع بزرگی جهت تامین نیازهای آبی یک منطقه باشد. براساس برآوردهای انجام‌شده، افزایش تعداد وقایع سیلاب و متعاقب آن روند صعودی خسارت سیلاب در آینده شدیدتر خواهد بود، درحالی‌که ظرفیت انطباق جوامع نسبت به‌سرعت این تغییر جهانی، پایین‌تر است (Sánchez-García and Francos, 2022). از طرفی آسیب‌پذیری نسبت به وقوع سیل به‌دلیل افزایش شهرنشینی، صنعتی‌شدن و افزایش جمعیت در حال تشدید است (Pathan et al., 2022b) و تأثیرات ناگوار زیادی بر فقیرترین و آسیب‌پذیرترین قشرها دارد. بیش از نیمی از جمعیت جهان اکنون در شهرها زندگی می‌کنند که بسیاری از آنها در کنار رودخانه‌ها و اطراف دشت‌های سیلابی واقع شده‌اند. در مقیاس جهانی، روند شهرنشینی در مناطق سیلابی به‌ویژه در آسیا، آفریقا و اروپا افزایشی بوده و همچنان در حال افزایش است (Winsemius et al., 2016; Jongman et al., 2012; Paprotny, 2018). به‌نحوی‌که سرعت گسترش مناطق شهری در معرض سیل در اروپا را در طول ۱۵۰ سال گذشته ۱۰۰۰٪ برآورد شده است (Paprotny, 2018). این موضوع نه‌تنها بدان معناست که سرمایه‌های انسانی هرچه بیشتر در مسیر سیلاب قرار می‌گیرند، بلکه شهرنشینی با افزایش سطوح غیرقابل‌نفوذ که باعث افزایش رواناب می‌شود و همچنین حذف زهکش‌های طبیعی، مسائل سیل‌خیزی اضافه‌تری را ایجاد می‌کند که قبلاً وجود نداشته است (Jongman, 2018; Belmonte and García, 2012). عدم‌توجه به ویژگی‌های بوم‌شناختی رودخانه‌ها ازجمله شرایط هیدرولوژیک آنها در گسترش شهرنشینی نیز مزید بر علت شده است، چنانکه اکثر سکونتگاه‌های انسانی در خروجی حوزه‌های آبخیز بنا شده‌اند (Sánchez-García and Francos, 2022). به‌عبارتی می‌توان گفت توسعه سکونتگاه‌های انسانی در مناطق پرخطر سیلاب بدون توجه به ملاحظات آمایش سرزمین در اکثر نقاط رخ داده است (عبدالله‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). ازاین‌رو، اتخاذ راهبردهای سازگارِ مؤثر جهت مهار اثرات مخرب بوم‌شناختی و اقتصادی - اجتماعی سیلاب بر اساس راه‌حل‌های مبتنی بر ویژگی‌های طبیعت ضروری است.

کنترل مخاطرات سیلاب ازطریق روش‌های فیزیکی (مانند احداث سازه‌های مختلف سد و سیل‌بند) با اثربخشی سریع و روش‌های زمان‌بر زیستی (مانند توسعه پوشش گیاهی در بالادست حوزه‌های آبخیز) امکان‌پذیر است. بنابراین، برای حل مشکلات رو به افزایش سیلاب در کوتاه‌مدت، روش‌های مبتنی بر سازه گریزناپذیر است. یکی از متداول‌ترین روش‌های سازه‌ای کنترل سیلاب، استقرار دیوارهای سیل‌بند است که علاوه‌بر مهار سیلاب، مانع فرسایش دیواره‌های رودخانه نیز می‌شود (دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، ۱۳۸۹). به‌طور همزمان اصلاح پوشش گیاهی نیاز به سیل‌بند را در آینده مرتفع ساخته و می‌توان سیل‌بند را حذف کرد.

بزرگی تلفات ناشی از سیل، محققان را بر آن داشته است تا بیشتر بر روی رویکردهای مدل‌سازی قوی و جامع برای کاهش خسارت‌های سیل تمرکز کنند (Pathan et al., 2022 a, b). با این وجود، تجزیه‌وتحلیل خطر سیل پیچیده است؛ زیرا نیاز به درک عوامل بیوفیزیکی و اجتماعی- اقتصادی مختلف، مانند بارش، شرایط توپوگرافی و شبکه‌های زهکشی و توزیع فضایی عوامل اقتصادی دارد (Jenkins et al., 2017).

ریسک سیلاب به خطر و حساسیت و یا آسیب‌پذیری انسان و سیستم‌های بوم‌شناختی نسبت به وقوع سیلاب اشاره دارد (Pham et al., 2021). خطر سیلاب متمرکز بر روی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گرفتگی مناطق بوده که جهت سنجش آن از متغیرهای بوم‌شناختی استفاده می‌شود و حساسیت به وقوع سیلاب، به میزان آسیب‌پذیری متغیرهای اقتصادی - اجتماعی وابسته است (Reisinger, 2020). اگر چه در برخی مطالعات نیز از این واژه‌ها بدون تعریف مشخص و یا به جای واژه کلی ریسک سیلاب استفاده شده است (محمود زاده و باکوئی، ۱۳۹۶؛ شهابی، ۱۴۰۰).

در میان روش‌های مختلف تجزیه‌وتحلیل خطر سیل، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM[1]) به‌طور گسترده‌ای در فرآیند تصمیم‌گیری مشارکتی، منطقی‌تر و کارآمدتر استفاده می‌شوند (Pathan et al., 2022 a, b). به‌طور نمونه، Patel و همکاران (۲۰۱۳) در بخشی از مطالعه خود درخصوص پهنه‌بندی سیلاب منطقه سورات، گجرات، هند از فن‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS[2]) استفاده کردند تا آسیب‌پذیرترین مناطق ازنظر آب‌گرفتگی را شناسایی کند. آنها همچنین اقدامات اصلاحی مختلفی برای کاهش درجه خطر ناشی از حوادث سیل آینده پیشنهاد دادند. Rincón و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود با استفاده از MCDM و AHP[3] خطر و آسیب‌پذیری اجتماعی و اقتصادی سیلاب را در رودخانه دان منطقه تورنتو تحت سناریوهای مختلف بررسی کردند. Dano و همکاران (۲۰۱۹) حساسیت به وقوع سیلاب پرلیس کشور مالزی را با استفاده از MCDM و فرآیند شبکه تحلیلی (ANP[4]) بررسی کردند. معیارهای مورد استفاده آنها بارندگی، شیب، کاربری اراضی و مناطق با سابقه سیلاب بوده و نتایج آنها نشان داد که بیش از نیمی از منطقه موردمطالعه بسیار مستعد سیلاب بود. Hammami و همکاران (۲۰۱۹) نیز اقدام به تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در شهر تونس از طریق MCDM با استفاده از معیارهای شبکه رودخانه، مرز حوزه، ارتفاع، شیب، خاک، تراکم زهکشی، بارندگی، سطح آب زیرزمینی کردند. نتایج آنها مبنایی برای محدود کردن اثرات سیل و حفاظت از منطقه شهری در برابر آبگرفتگی بود.

خطر و آسیب‌پذیری سیلاب شهری در موانگ سوخوتای که شدیدترین سیل شهری تایلند در آن رخ داده است، مورد توجه Kongmuang و همکاران (۲۰۲۰) قرار گرفت. آنها نقشه خطر سیلاب را به روش MCDM و متکی بر پارامترهای فیزیکی، اجتماعی و فنی به‌دست آوردند و با استفاده از نقشه خطر سیلاب، واکنش‌های اضطراری به وقوع سیلاب و اولویت‌بندی تخصیص بودجه برای سیستم سیل را پیشنهاد دادند. همچنین، Souissi و همکاران (۲۰۲۰) برای تهیه نقشه حساسیت خطر سیل از منطقه گابس در جنوب‌شرقی تونس با روش MCDM و معیارهای ارتفاع، کاربری زمین/پوشش زمین، سنگ‌شناسی، شدت بارندگی، زهکشی تراکم، فاصله از شبکه زهکشی، شیب و عمق آب زیرزمینی) استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد ۷۵ درصد از مناطق سیلابی دارای حساسیت زیاد به وقوع سیلاب

1 - Multi-Criteria Decision-Making
2 - Geographical Information System
3 - Analytical Hierarchical Process
4 - Analytic Network Process

هستند. Kittipongvises و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه خود خطر سیل را در نزدیکی سایت میراث جهانی یونسکو در جزیره آیوتایای تایلند بررسی کردند. طبق گزارش تحلیلی AHP، تقریباً نیمی از کل منطقه جامعه (۵۲/۶۳٪) و سایت میراث جهانی (۴۴/۸٪) در معرض خطر بالای سیل بودند و پراتوچای، پرجمعیت‌ترین منطقه در بالاترین سطح خطر سیل قرار دارند. Cai و Yang (۲۰۲۱) ارزیابی خطر سیل را در منطقه کوهستانی چونگ کینگ با کمک یازده شاخص موثر بر سیل انجام دادند و نقاط داغ خطر محلی را معرفی کردند. در نقاط دیگری از دنیا نیز مانند ویتنام (Pham., 2021)، منطقه دودوما، مرکز تانزانیا (Msabi et a;l., 2021) و شهر ناوساری در گجرات، هند (Pathan et al., 2022a,b) نیز مطالعاتی جهت پهنه‌بندی حساسیت به وقوع سیلاب انجام شده است که از معیارهایی مانند ارتفاع، شیب، زمین‌شناسی، تراکم زهکشی، تجمع جریان، کاربری زمین و پوشش خاک در فرایند MCDM استفاده کرده‌اند. همچنین، این مطالعات پتاسیل سیل‌خیزی بالای مناطق مورد مطالعه را نشان دادند (Pham., 2021; Msabi et a;l., 2021; Pathan et al., 2022a; Pathan et al., 2022b). در داخل ایران نیز محمودزاده و باکوئی (۱۳۹۶) جهت پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ارومیه، نجفی و کریمی کردآبادی (۱۳۹۹) در بخشی از کلان‌شهر تهران، رحمتی و همکاران (۲۰۱۶) در شهر یاسوج، عیسی‌زاده و علی‌بیگی (۱۴۰۰) در حوزه آبخیز زولاچای در شهرستان سلماس، شهابی (۱۴۰۰) در حوزه آبخیز هراز و دانش‌پرور و همکاران (۲۰۲۲) در حوزه آبخیز سد پایین‌دست سبلان اقدام به پهنه‌بندی خطر سیلاب و بررسی حساسیت به وقوع سیلاب کردند.

با توجه به مرور منابع انجام‌شده، اگرچه در سال‌های اخیر، تغییر اقلیم و افزایش پدیده سیلاب در نقاط مختلف کره زمین منجر به افزایش تعداد مطالعات مربوط به مخاطرات و آسیب‌پذیری سیل شده است؛ اما نتایج این مطالعات تاکنون جهت مکان‌یابی روش‌های سریع کنترل سیلاب مانند مکان‌یابی محل مناسب برای استقرار سیل‌بندها انجام نشده است. از طرفی، خطرات ناشی از بارندگی‌های سیل‌آسا در بسیاری از مناطق ایران ازجمله مناطق جنوبی استان کرمان رایج است، به‌نحوی‌که منجر به آب‌گرفتگی مناطق وسیعی از اراضی مسکونی و مراتع شهرستان‌های جنوبی این استان در اطراف رودخانه‌ها شده است (سلیمانی و همکاران، ۱۴۰۰). ازاین‌رو در این پژوهش، استفاده از نتایج نمایه‌های ریسک سیلاب (خطر سیلاب و حساسیت به وقوع سیلاب) در مکان‌یابی مناطق پیشنهادی جهت استقرار سیل‌بند رودخانه‌ای به‌عنوان راه‌کاری با اثربخشی سریع جهت جلوگیری از خسارت‌های شدید مالی، جانی و سایر مخاطرات اقتصادی اجتماعی و بوم‌شناختی سیلاب در یکی از سیل‌خیزترین مناطق کشور مورد توجه است. بدین منظور، از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و فن‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی در قالب MCDM برای تولید نمایه‌های خطر و حساسیت به وقوع سیلاب استفاده شده است. نمایه خطر سیلاب، میزان سیل‌خیزی منطقه را نشان می‌دهد و حساسیت به وقوع سیلاب، نشان‌دهنده میزان آسیب احتمالی به فاکتورهای اقتصادی اجتماعی است. در مناطق حاصل از تقاطع این دو نمایه، مسیرهای رودخانه‌ای نیازمند سیل‌بند رودخانه‌ای به‌دست آمده است.

داده‌ها و روش‌ها

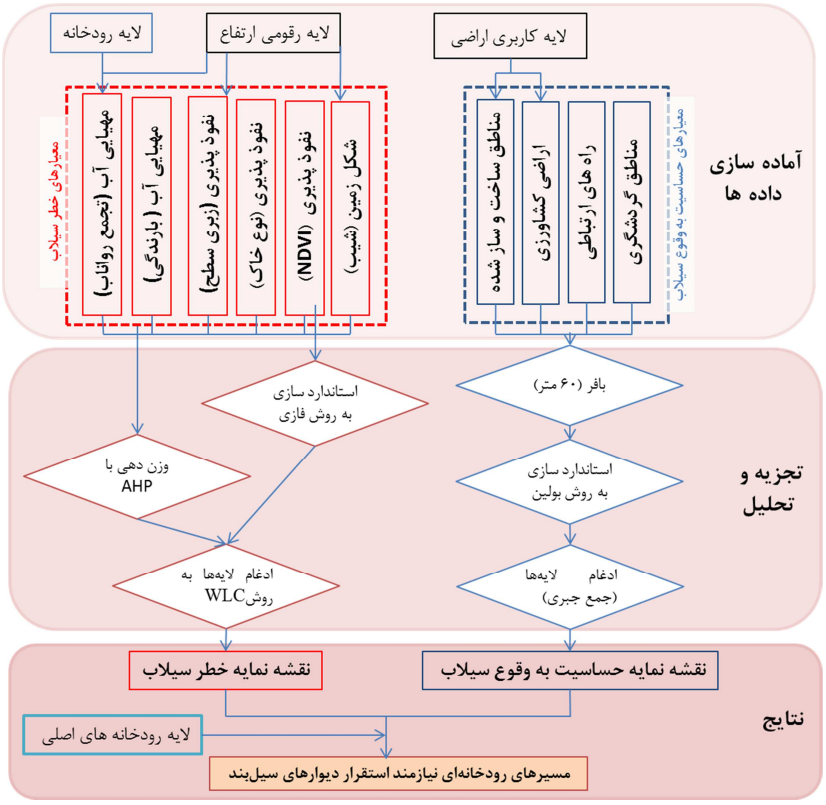
منطقه مورد مطالعه بخش جنوبی استان کرمان شامل هفت شهرستان فاریاب، کهنوج، جیرفت، منوجان، عنبرآباد، قلعه‌گنج و رودبارجنوب است که اغلب آنها با خطر بالای سیلاب‌های ناشی از طغیان رودخانه‌ای مواجه هستند (شکل ۱). دامنه ارتفاعی محدوده مورد مطالعه بین ۲۰۸ تا ۴۳۷۳ متر از سطح دریا بوده که از میانگین ارتفاعی تقریباً

۱۰۰۰ متر برخوردار است. مراتع و اراضی بایر بیشترین مساحت را در منطقه مورد مطالعه دارد و بعد از آن مساحت اراضی کشاورزی نسبت به سایر کاربری‌ها بیشتر و حائز اهمیت است (عرفانی و همکاران، ۱۴۰۲). استان کرمان با در برگرفتن بیش از ۱۱٪ از وسعت ایران با حدود ۱۸۳۱۹۳ کیلومتر مربع نخستین استان پهناور ایران است که در جنوب شرقی ایران قرار گرفته است. جمعیت آن برابر با ۳٬۱۶۴٬۷۱۸ نفر بوده و نهمین استان پرجمعیت کشور نیز محسوب می‌شود. متوسط مقدار باران در طول سال در کرمان معادل ۱۳۲/۴ میلی‌متر و اقلیم شهر کرمان نیمه کویری است (نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۵، جمعیت تا سطح آبادی برحسب سواد).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و موقعیت آن در ایران. ***منبع: یافته‌های پژوهش***

بر اساس مطالعات انجام‌شده، مناطق قلعه‌گنج و رودبارجنوب (سلیمانی و همکاران، ۱۴۰۰) و فاریاب و کهنوج با خطر بالای سیلاب مواجه هستند. با توجه به خسارت‌های اقتصادی- اجتماعی و بوم‌شناختی شدید سیلاب، به‌عنوان راه-کاری فوری، استقرار دیوارهای سیل‌بند رودخانه‌ای (علاوه بر سایر روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای و اصلاح پوشش اراضی به روش‌های زیستی) ضروری است. ازاین‌رو، در این پژوهش مکان‌یابی استقرار این دیواره‌ها بر اساس معیارهای مختلف انجام شد. ریسک محیط‌زیستی به‌عنوان نمایه‌های سیلاب به روش MCDM و در قالب دو لایه خطر و حساسیت به وقوع سیلاب به‌منظور مکان‌یابی مسیرهای رودخانه‌ای نیازمند استقرار دیوارهای سیل‌بند مورد توجه قرار گرفت. معیارهای خطر سیلاب بوم‌شناختی و معیارهای حساسیت به وقوع سیلاب اقتصادی- اجتماعی بوده و تلاقی نمایه‌های یادشده، مکان‌های پیشنهادی برای احداث سیل‌بند رودخانه‌ای را نشان می‌دهد. فلوچارت ارائه‌شده در شکل ۲ مراحل کار را نشان می‌دهد.



شکل ۲: فلوچارت مراحل انجام پژوهش. *منبع: یافته‌های پژوهش*

نمایه خطر سیلاب

در این پژوهش، معیارهای خطر سیلاب بوم‌شناختی بوده و شامل سه دسته کلی مهیایی آب، نفوذپذیری و شکل زمین می‌شود. هر کدام از معیارهای نامبرده نیز دارای زیر معیارهایی هستند که جدول ۱ آنها را نشان می‌دهد. همه لایه‌ها با سیستم مختصات ایران لامبرت و با اندازه پیکسل ۳۰ متر تهیه شدند. لایه‌های فازی تهیه‌شده نیز همه در بازه صفر تا ۲۵۵ استاندارد شدند (جدول ۱). نرم‌افزارهای مورد استفاده نیز TerrSet، SAGA GIS و Arcgis بوده که آماده‌سازی داده‌ها در Arcgis وSAGA و استانداردسازی داده‌ها، AHP و تلفیق آنها در TerrSet انجام شد.

جهت تطابق اندازه پیکسل لایه میانگین بارندگی (BIO12 = Annual Precipitation) (Fick and Hijmans, 2017) با سایر لایه‌های خطر سیلاب، اندازه پیکسل آن از یک کیلومتر به ۳۰ متر تغییر یافت. از لایه رقومی ارتفاع (DEM[1]) مربوط به ماهواره SRTM (SRTM 1 Arc-Second Global) (Yue et al., 2017)، لایه شیب و زبری سطح استخراج گردید. لایه شیب در محیط نرم‌افزاری TerrSet با کمک ماژول Surface Analysis (Slope) به‌دست آمد. زبری سطح با کمک ماژول Terrain Ruggedness Index (TRI) در محیط نرم‌افزاری نرم‌افزار SAGA GIS (Conrad et al., 2015) به‌دست آمد. برای اجرای این ماژول نیاز به لایه DEM بوده و ناهمگنی توپوگرافی از مجموع اختلاف ارتفاع در

[1] - Dijital Elevation Model

یک پنجره متحرک ۳×۳ به‌دست می‌آید (Riley et al., 1999). همچنین، لایه شبکه رودخانه‌های اصلی نیز از لایه DEm در محیط Arcgis به روش استراهلر استخراج گردید. به‌منظور تهیه لایه تجمع جریان از ماژول Flow accumulation و لایه‌های DEM و رودخانه‌های اصلی در نرم‌افزار SAGA GIS استفاده شد. در لایه حاصل از اجرای این ماژول اعداد بزرگ‌تر نشان‌دهنده تجمع جریان بیشتراند. این الگوریتم جریان را در هر پیکسل DEM ردیابی می‌کند تا اینکه جریان به خارج از محدوده لایه DEM برسد و یا اینکه به یک مخزن[1] برسد (Costa-Cabral & Burges, 1994).

لایه خاک تهیه‌شده از سازمان حفاظت محیط‌زیست استان کرمان براساس بافت، عمق، میزان سنگلاخی‌بودن و محتوای سنگریزه دوباره طبقه‌بندی شد. کدهای این لایه جدید در بازه صفر تا ۲۵۵ بوده که ۲۵۵ بالاترین قابلیت نفوذ آب در خاک و عدد صفر کمترین میزان آن را نشان می‌دهد. لایه شاخص پوشش گیاهی (NDVI[2]) از سایت https://earthexplorer.usgs.gov/ دانلود شد. این لایه مستخرج از تصاویر مادیس ۱۱ سپتامبر ۲۰۲۰ و با شناسه eModis NDVI V6 است (Tan et al., 2013). این لایه نیز مطابق با سایر لایه‌های نمایه خطر سیلاب در بازه ۰ تا ۲۵۵ با استفاده از تابع فازی افزایشی استاندارد شد (جدول ۱).

جدول ۱: معیارها و زیرمعیارهای نمایه خطر سیل، نحوه نقشه‌سازی و استانداردسازی آنها

معیار	زیرمعیار	روش استاندارد کردن		منابع
مهیابی آب	بارندگی	فازی (خطی- افزایشی)		Wang et al., 2013; Criss, 2018; Dano et al., 2019; Hammami et al., 2019; Souissi et al., 2020 شهابی (۱۴۰۰)
	فاصله تا رودخانه‌های اصلی	فازی (خطی-کاهشی)	c=150, d=3000	Pathan et al., 2022a محمودزاده و باکوئی (۱۳۹۶)، نجفی و کریمی کردآبادی (۱۳۹۹)؛ رحمتی و همکاران (۲۰۱۶)؛ شهابی (۱۴۰۰)؛ دانش‌پرور و همکاران (۲۰۲۲)
	تجمع رواناب	فازی (خطی-افزایشی)		Pham., 2021; Pathan et al., 2022a; Pathan et al., 2022b
نفوذپذیری	زبری سطح	فازی (خطی کاهشی)		Pham., 2021; Pathan et al., 2022a رحمتی و همکاران (۲۰۱۶)
	نوع خاک	تعریف کاربر		et al., 2019; Hammami Hammami et al., 2019 Pathan et al., 2022a عیسی‌زاده و علی‌بیگی (۱۴۰۰)؛ شهابی (۱۴۰۰)
	NDVI	فازی (خطی کاهشی)		محمودزاده و باکوئی (۱۳۹۶)؛ شهابی (۱۴۰۰) Pham., 2021
شکل زمین	شیب	فازی (خطی افزایشی)		Pham., 2021; Pathan et al.,

1 - Sink
2 - Normalized Difference Vegetation Index

	2022a; Pathan et al., 2022b
	Dano et al., 2019; Hammami et al., 2019; Souissi et al., 2020
	محمودزاده و باکوئی (۱۳۹۶)؛ عیسی‌زاده و علی‌بیگی (۱۴۰۰)؛ شهابی (۱۴۰۰)؛ دانش‌پرور و همکاران (۲۰۲۲)

نمایه حساسیت به وقوع سیلاب

معیارهای حساسیت به وقوع سیلاب شامل چهار مورد بوده که شامل: ۱- مناطق ساخت‌وسازشده: شامل مناطق سکونتگاهی شهری و روستایی و مناطق صنعتی، ۲- راه‌های ارتباطی: شامل انواع مختلف جاده‌ها، خطوط راه‌آهن و فرودگاه، ۳- مناطق نمونه گردشگری و ۴- اراضی کشاورزی است.

مناطق ساخت‌وسازشده و اراضی کشاورزی از لایه کاربری اراضی استخراج شدند. این لایه با استفاده از ادغام داده‌های کاربری اراضی/ پوشش اراضی به‌دست‌آمده از سازمان جنگل‌ها و مراتع و لایه کاربری اراضی/ پوشش اراضی ۱۰ متری مستخرج از ماهواره سنتینل ۲ و لایه NDVI یادشده در قبل به‌دست آمده است که در ادامه با تصاویر گوگل ارث تطابق داده شده و از صحت بالای آن برای منطقه مورد مطالعه اطمینان حاصل گردیده است (عرفانی و همکاران، ۱۴۰۲). لایه کاربری اراضی/ پوشش اراضی ۱۰ متری مستخرج از ماهواره سنتینل ۲ با درجه تفکیک ده متر و با دقت بالاتر از ۸۵٪ مربوط به سال ۲۰۲۰ بوده که با کمک مدل‌های یادگیری عمیق آموزش‌دیده طبقه‌بندی شده است (Karra, et al., 2021) و ادغام این دو با هم لایه نهایی کاربری اراضی/ پوشش اراضی تهیه شده است. لایه مناطق نمونه گردشگری و راه‌های ارتباطی نیز از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان کرمان (۱۳۹۹) تهیه شد. جهت اطمینان از فاصله مناسب از مخاطره سیلاب بافر ۶۰ متری از تمام لایه‌های این نمایه تهیه شد و در ادامه تمام لایه‌های این نمایه به روش بولین استانداردسازی شد و جهت رسیدن به نمایه حساسیت به وقوع سیلاب با توجه به نوع داده‌ها که بولین هستند، از جمع جبری استفاده شد.

وزن‌دهی به معیارها به روش AHP

تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، یکی از روش‌های متداول جهت تصمیم‌گیری چندمعیاره است که مسئله تصمیم‌گیری را به سطوح مختلف سلسله‌مراتبی تفکیک می‌کند (Saaty, 1990). در این روش نرخ سازگاری جهت سنجش اعتبار پاسخ پرسش‌شوندگان در مقایسات زوجی نیز انجام می‌شود (ماهینی و کامیاب، ۱۳۸۸). نرخ سازگاری با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۱):$$

CR بیانگر نرخ سازگاری، مقادیر RI در جدول استاندارد مشخص شده است و CI، اندازه سازگار است.

با کمک نظرات کارشناسان در حوزه محیط‌زیست و آبخیزداری پرسشنامه AHP تکمیل گردید و از مُد نظرات آنها جهت وزن‌دهی نهایی استفاده شد. اگر چه هیچ معادله‌ای برای تعیین تعداد متخصصین مورد نیاز در روش AHP وجود ندارد (Baby, 2013; Melillo & Pecchia, 2016). اما جهت اطمینان در این مطالعه از نظرات ۱۰ کارشناس خبره استفاده شد که ملاک انتخاب آنها داشتن تجربه کار و پژوهش مرتبط با موضوع مورد مطالعه است. در این روش، مقایسه زوجی بر اساس ۹ طیف ساعتی انجام می‌شود، به نحوی که اگر دو معیار اهمیت یکسان داشته باشند

عدد ۱ و اگر یکی بر دیگری بسیار ارجح باشد عدد ۹ انتخاب می‌شود که با رعایت شرط معکوسی که از قوانین این روش است، پرسشنامه تکمیل می‌شود. بدیهی است برای نشان دادن شدت ارجحیت‌ها می‌توان از اعداد متخلف در این بازه استفاده کرد (حبیبی و آفریدی، ۱۴۰۱).

ادغام معیارها و زیرمعیارها جهت به‌دست آوردن نمایه‌های خطر سیلاب و حساسیت به وقوع سیلاب

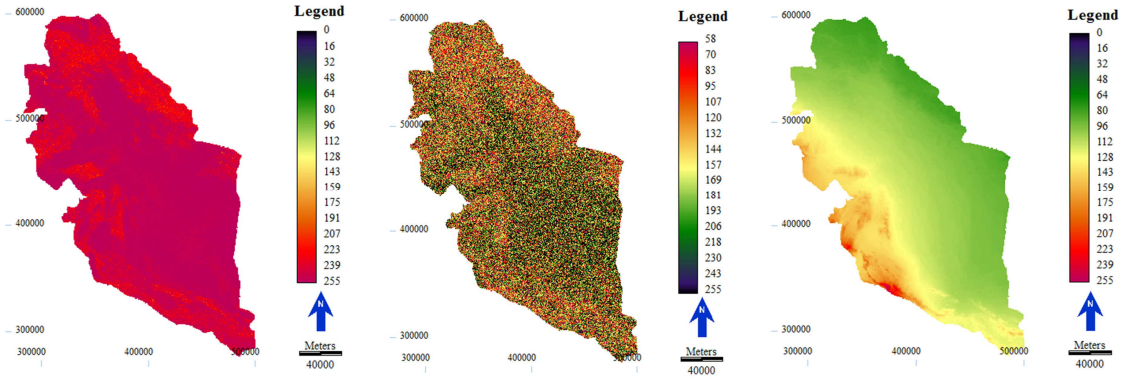
ادغام لایه‌های هر نمایه به روش WLC در نرم‌افزار TerrSet انجام شد. در ادامه تقاطع نمایه‌های خطر و حساسیت به وقوع سیلاب، ریسک سیلاب را نشان می‌دهد. بر این اساس، مناطق پرخطر و حساس شناسایی‌شده و جهت تعیین مسیرهای رودخانه‌ای پیشنهادی جهت احداث سیل‌بند معرفی شدند.

اعتبارسنجی نتایج مدل‌سازی

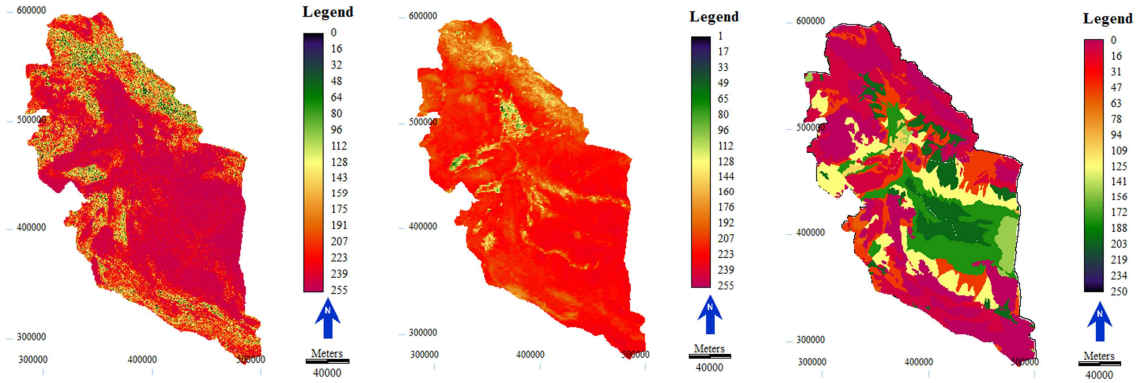
اعتبارسنجی خروجی مدل با بررسی سابقه وقوع سیلاب و مناطق سیل‌گرفته، بر اساس مطالعات و منابع موجود مطابق با شیوه به‌کاررفته در مطالعه Pathan و همکاران (۲۰۲۲ب) انجام شد.

یافته‌ها

مطابق با روش پژوهش، ابتدا نقشه‌های زیرمعیارهای خطر سیلاب به‌صورتی که در شکل ۳ (الف-ج) نشان داده شده است، استانداردسازی گردید. همه نقشه‌ها در بازه صفر تا ۲۵۵ استاندارد شده و اعداد نزدیک به ۲۵۵ خطر بالای سیلاب و اعداد نزدیک به صفر، خطر کم سیلاب را برای هر زیرمعیارها نمایندگی می‌کنند.



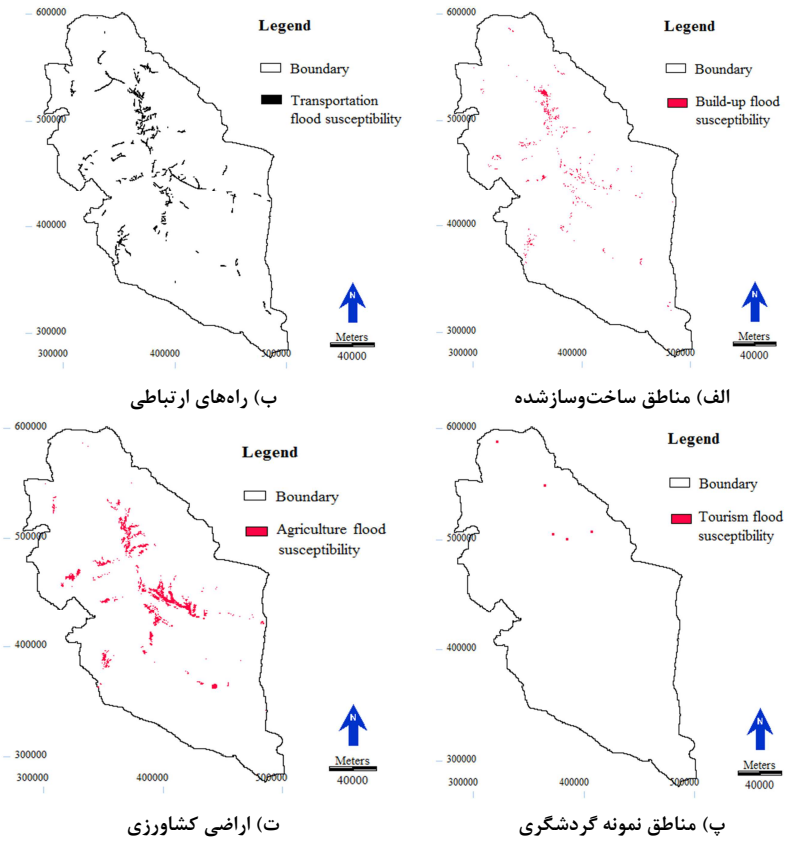
الف) بارندگی ب) تجمع رواناب پ) نقشه زبری سطح



ج) نقشه شیب ث) نقشه NDVI ت) نقشه خاک

شکل ۳: نقشه‌های زیرمعیارهای خطر سیلاب استانداردشده. *منبع: یافته‌های پژوهش*

همچنین نقشه‌های استانداردشده معیارهای حساسیت به وقوع سیلاب به‌صورت شکل ۴ (الف- ت) به‌دست آمد.



ب) راه‌های ارتباطی الف) مناطق ساخت‌وسازشده

ت) اراضی کشاورزی پ) مناطق نمونه گردشگری

شکل ۴: نقشه‌های استانداردشده معیارهای حساسیت به وقوع سیلاب. *منبع: یافته‌های پژوهش*

نتایج استفاده از روش بردار ویژه در AHP، وزن‌های معیارها و زیرمعیارهای نمایه‌های مورد بررسی را آشکار نمود. مقایسات زوجی برای وزن معیارهای خطر سیلاب و زیرمعیارهای مهیایی آب و نفوذپذیری خاک انجام شد. جدول ۲ اهمیت نسبی معیارها یا وزن محاسبه‌شده برای هر یک از معیارها و یا زیرمعیارهای یادشده را نشان می‌دهد. نرخ

سازگاری در همه مقایسه‌ها کوچک‌تر از ۰/۰۷ بود، بنابراین، مقایسه‌ها قابل‌اعتماد هستند. وزن نهایی زیرمعیارهای خطر سیلاب که از حاصل‌ضرب وزن معیار در وزن زیرمعیار سلسله مراتب مربوطه به‌دست آمده است، در جدول ۳ نشان داده شده است.

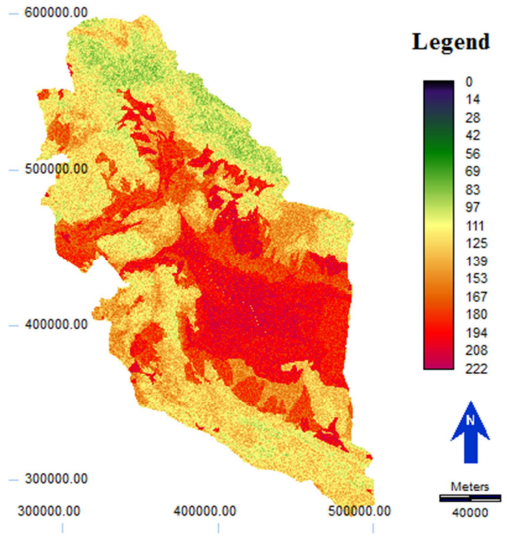
جدول ۲: نتیجه مقایسات زوجی به روش AHP

معیار/ زیرمعیار	زیرمعیار	وزن	نرخ ناسازگاری
خطر سیلاب	مهیایی آب	۰/۲۶	۰/۰۳
	نفوذپذیری	۰/۶۴	
	شکل زمین	۰/۱۰	
مهیایی آب	بارندگی	۰/۴	۰/۰۰
	تجمع رواناب	۰/۶	
نفوذپذیری	زبری سطح	۰/۵۴	۰/۰۱
	خاک	۰/۱۶	
	NDVI	۰/۲۹۷	

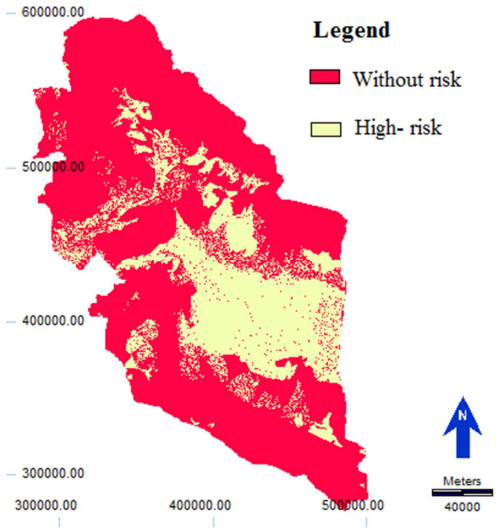
جدول ۳: وزن نهایی زیر معیارهای خطر سیلاب

زیرمعیار	بارندگی	تجمع رواناب	زبری سطح	نوع خاک	NDVI	شیب
وزن	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۱۰

بر اساس روش WLC وزن زیرمعیارها در نقشه استانداردشده آنها ضرب شد و حاصل‌جمع آنها به‌عنوان نقشه WLC در شکل ۵ ارائه شد. در این شکل، مناطق مجاور رودخانه‌های اصلی، بالاترین احتمال سیلاب رودخانه‌ای را دارا هستند. شکل ۶ نیز نقشه طبقه‌بندی‌شده‌ی نمایه خطر سیلاب را بر اساس آستانه ۱۷۸ (۸۰٪ مطلوبیت منطقه جهت وقوع سیلاب رودخانه‌ای) نشان می‌دهد.

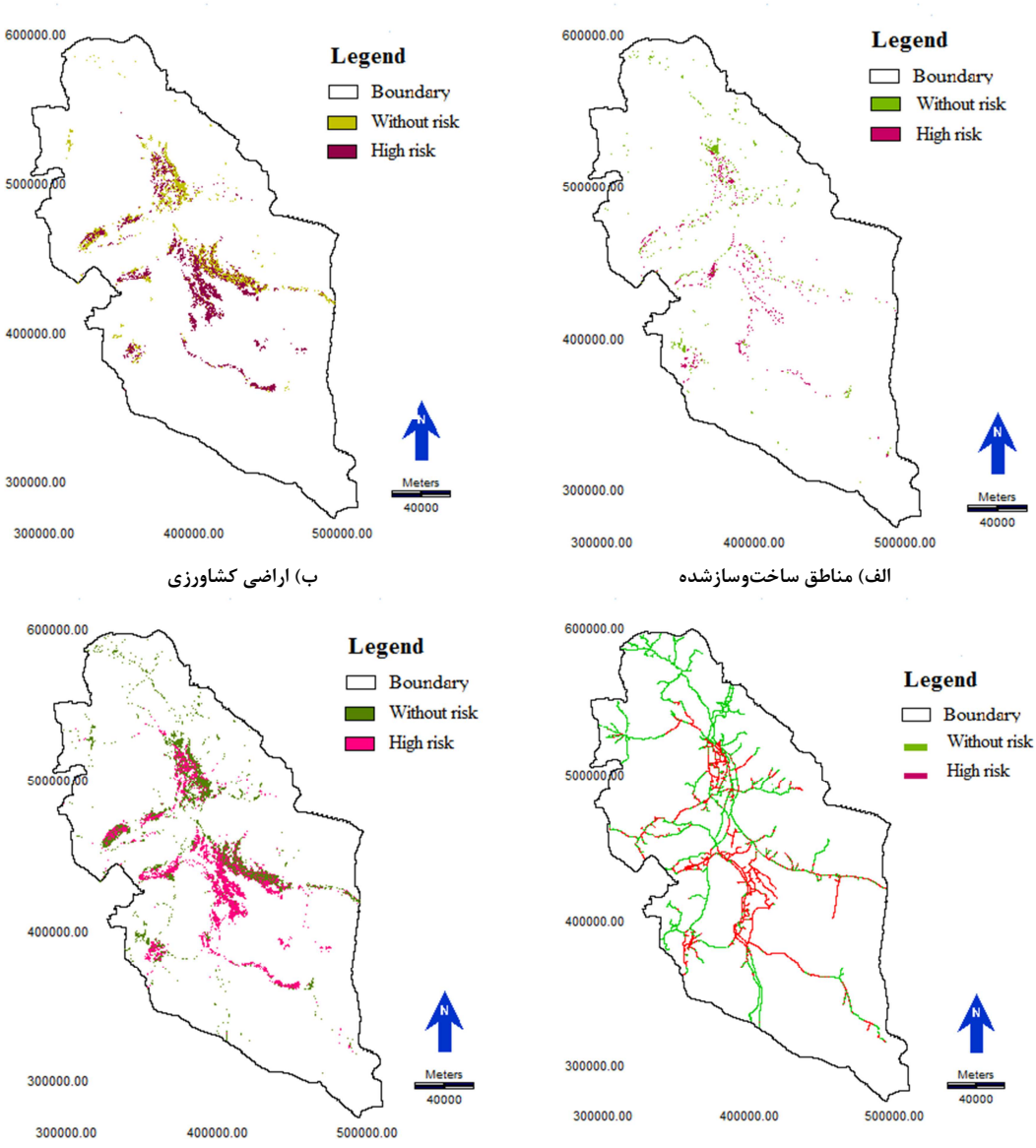


شکل ۵: نقشه نمایه خطر سیلاب به روش WLC. *منبع: یافته‌های پژوهش*



شکل ۶: نقشه طبقه‌بندی شده نمایه خطر سیلاب. *منبع: یافته‌های پژوهش*

در نهایت، شناسایی نواحی با ریسک بالای سیلاب ازطریق تلاقی نقشه‌های حساسیت به وقوع سیلاب و نمایه خطر سیلاب به تفکیک نوع حساسیت در شکل ۷ (الف- پ) نشان داده شده است. ازآنجایی‌که مناطق پرخطر نسبت به وقوع سیلاب با مناطق نمونه گردشگری تلاقی نداشتند، هیچ ریسکی متوجه این مناطق نیست؛ اما مناطق حساس پر خطر برای سایر کاربری‌ها شامل اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و راه‌های ارتباطی وجود داشته که در شکل ۷ ارائه شده است. شکل ۷ (ت) نیز کل مناطق حساس و در خطر سیلاب را نشان می‌دهد. در شکل ۷ نواحی مشخص‌شده با ریسک بالا، شامل مناطقی است که همزمان حساسیت به وقوع سیلاب داشته و در خطر سیلاب نیز هستند و مناطق مشخص‌شده به‌عنوان حساس، در خطر سیلاب قرار ندارند.



الف) مناطق ساخت‌وسازشده

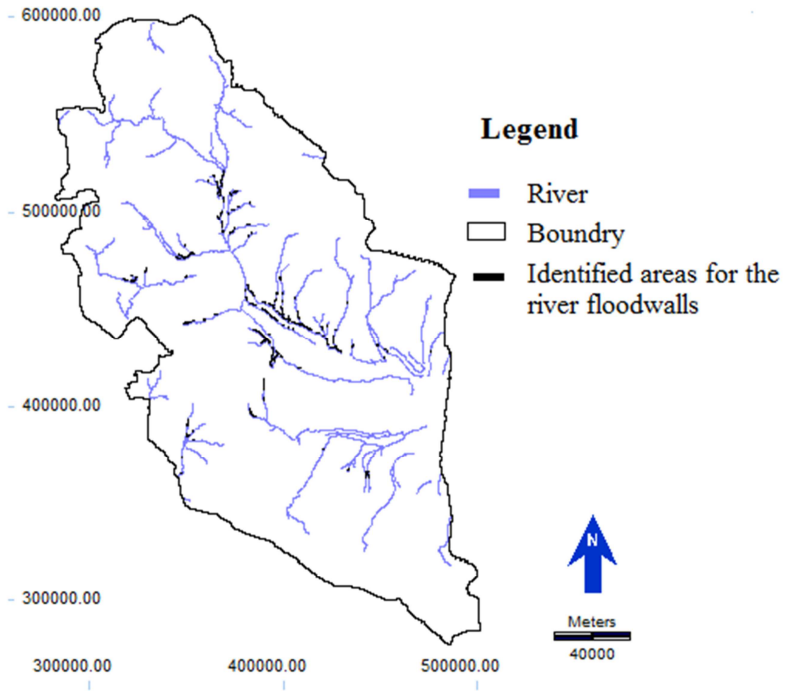
ب) اراضی کشاورزی

پ) راه‌های ارتباطی

ت) کل مناطق حساس و در خطر سیل

شکل ۷: نواحی با ریسک بالا در وقوع سیلاب به تفکیک نوع حساسیت. ***منبع: یافته‌های پژوهش***

در ادامه مناطق مناسب جهت استقرار دیوارهای سیل‌بند رودخانه‌ای بر اساس تلاقی لایه رودخانه‌های اصلی با لایه طبقه‌بندی‌شده نمایه خطر سیلاب و حساسیت به وقوع سیلاب آشکار گردید (شکل ۸). بر این اساس، ۱۸۲ کیلومتر از طول رودخانه‌های استان که معادل ۲ درصد آنهاست، نیاز به احداث سیل‌بند جهت جلوگیری از خطر سیلاب در مناطق حساس اقتصادی - اجتماعی دارد.



شکل ۸: مناطق مناسب جهت استقرار دیوارهای سیل‌بند رودخانه‌ای. ***منبع: یافته‌های پژوهش***

جدول ۴، مساحت مناطق حساس به وقوع سیلاب را در مناطق با خطر سیلاب نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین مساحت با ریسک بالای سیلاب مربوط به اراضی کشاورزی با ۵۶ درصد است. مناطق ساخت‌وسازشده ۴۸ درصد و شبکه حمل‌ونقل ۲۴ درصد است و همانگونه که قبلا اشاره شد مناطق نمونه گردشگری در مناطق با خطر سیلاب واقع نشده‌اند.

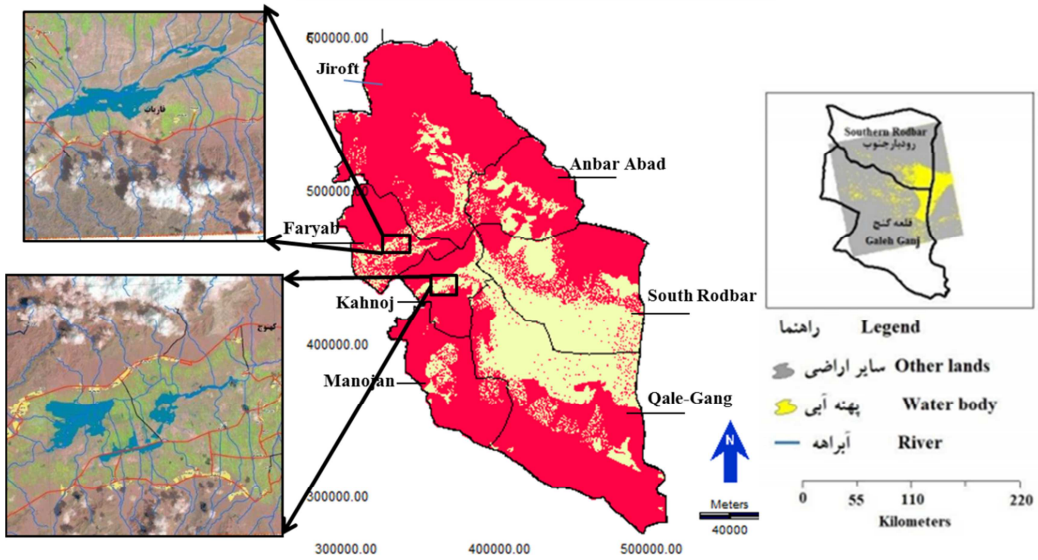
جدول ۴: مساحت/طول نواحی با ریسک بالای سیلاب به تفکیک نوع حساسیت

	مساحت(هکتار)/طول (کیلومتر)		درصد مناطق حساس که در
	کل	مناطق حساس و پر خطر سیلاب	محدوده پر خطر قرار دارند
مناطق ساخت‌وسازشده	۵۹۲۴۷/۲۷	۲۸۴۷۸/۷	۴۸
راه‌های ارتباطی	۴۵۰۲/۵	۱۱۰۵/۵	۲۴
اراضی کشاورزی	۱۹۶۳۸۴/۸	۱۱۵۵۳۲	۵۶

نتایج اعتبارسنجی مدل

با توجه به داده‌های تاریخی مطالعات و اطلاعات موجود درخصوص سیل‌گرفتگی، مطابق با شکل ۹ اعتبارسنجی نتایج مدل‌سازی خطر سیلاب انجام شد. مناطق سیل‌گرفته رودبار جنوب و قلعه گنج بر اساس تصاویر سنتینل ۱ در فروردین ۱۳۹۹ (سلیمانی ساردو،۱۴۰۰) در سمت راست شکل و مناطق سیل‌گرفته فاریاب و کهنوج بر اساس

تصاویر لندست در پنجم فروردین ۱۳۹۹ (استانداری استان کرمان، ۱۳۹۹) در سمت چپ شکل با نقشه خطر سیلاب به‌دست‌آمده در این مطالعه (مرکز شکل) تطابق بالایی داشته و بنابراین اعتبار مدل‌سازی خطر سیلاب مورد تایید قرار گرفت.



شکل۹: مناطق سیل‌گرفته در شهرستان‌های جنوب کرمان در سال‌های گذشته. ***منبع: یافته‌های پژوهش***

تجزیه‌وتحلیل

میزان بارندگی عامل مهمی در خطر طغیان رودخانه است (Wang et al., 2013; Criss, 2018). بارندگی شدید می‌تواند منجر به افزایش خطرات سیل شود، به‌ویژه زمانی‌که در یک بازه زمانی خاص رخ دهد (Jiwon and Seungho, 2014). در نواحی پایین‌دست رودخانه‌ها، میزان خسارت سیل به‌طور قابل‌توجهی با متغیرهای بارندگی همبستگی دارد (Şen, 2018). علاوه‌بر این، زمانی که سیستم آب نتواند بارندگی اضافی را تحمل کند، رویدادهای بارندگی شدید می‌توانند باعث آب‌گرفتگی شوند (Tian et al., 2019). نادیده گرفتن تعامل بین بارندگی و سایر عوامل سیل، مانند سطح آب رودخانه، می‌تواند منجر به دست‌کم گرفتن خطرات سیل شود. بنابراین، توجه به میزان بارندگی در ارزیابی و کاهش خطر طغیان رودخانه ضروری است.

علاوه‌براین، شیب زمین یکی از عواملی است که در ارزیابی آسیب‌پذیری سیل مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. مشخص شده است که مناطق با شیب بیشتر مستعد سیل هستند (Dong et al., 2022). شیب زمین نیز در طبقه‌بندی مناطق سیل‌خیز درنظر گرفته شده است. در حوضه رودخانه Deoha، شیب یکی از پارامترهایی است که برای تعیین حساسیت یک منطقه به سیل susceptibility of an area to flooding استفاده می‌شود (Kura et al., 2023). علاوه‌براین، در ترسیم مناطق مستعد سیل در حوضه آبریز Iliua، شیب به‌عنوان یکی از شاخص‌هایی که بیشترین تأثیر را بر احتمال سیل دارد، شناسایی شد (Kumar et al., 2022). بنابراین، شیب زمین عامل مهمی برای ارزیابی

خطر طغیان رودخانه است. در نتایج این پژوهش نیز مشخص گردید، شیب به‌عنوان دومین عامل اثرگذار در خطر سیلاب در محدوده مطالعه است.

بافت و عمق خاک نقش بسزایی در خطر طغیان رودخانه دارد. انواع مختلف خاک توانایی‌های متفاوتی برای جذب آب دارند، به‌طوری‌که زمین‌های باز و بدون پوشش گیاهی بیشتر مستعد فرسایش و افزایش رواناب سطحی هستند (El EI Hourani et al., 2023). بنابراین، درک بافت و عمق خاک در ارزیابی و مدیریت خطر طغیان رودخانه بسیار مهم است (Alaoui et al., 2018). پوشش گیاهی نقش مهمی در کاهش خطر طغیان رودخانه‌ها دارد. زبری را افزایش می‌دهد، سرعت جریان را کاهش می‌دهد و پروفایل سرعت جریان را در مقطع رودخانه تغییر می‌دهد. به‌طورکلی، پوشش گیاهی از طریق تأثیر آن بر دینامیک جریان، حفاظت در برابر سیل و خدمات اکوسیستم نقش مهمی در کاهش خطر طغیان رودخانه ایفا می‌کند (Gigović et al., 2018).

در مطالعات مربوط به ریسک سیلاب، نقش فاصله از رودخانه در خطر طغیان رودخانه عامل مهمی است که باید درنظر گرفته شود. مطالعات نشان داده‌اند که درک خطر سیل تحت تأثیر نزدیکی به رودخانه است و در برخی موارد، مناطق نزدیک به رودخانه در هنگام سیل خطرناک‌تر تلقی می‌شوند (Ehsan et al., 2013). ازاین‌رو، در این مطالعه از لایه رودخانه‌های اصلی به‌طور غیرمستقیم و در لایه تجمع جریان استفاده شد که شیوه‌ای متفاوت از سایر مطالعات است و از لایه فاصله تا رودخانه اصلی به‌طور مستقیم استفاده کرده‌اند (Souissi et al., Pathan et al., 2022 a,b 2020؛ محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۶؛ رحمتی و همکاران، ۲۰۱۶؛ عیسی‌زاده و علی‌بیگی، ۱۴۰۰). دلیل این تفاوت اهداف نهایی متفاوت این مطالعه نسبت به سایر مطالعات است. با توجه به اینکه هدف این مطالعه تنها به‌دست آوردن مکان‌های پر خطر و حساس نسبت به وقوع سیلاب نبوده، بلکه استفاده از این اطلاعات به‌عنوان نمایه‌هایی جهت مکان‌یابی محل‌های پیشنهای برای استقرار دیواره‌های سیل‌بند رودخانه‌ای است، از تقاطع لایه رودخانه‌های اصلی با لایه‌های نمایه خطر سیل و حساسیت به وقوع سیلاب استفاده شده است. بدیهی است که مناطق حساس زیادی وجود دارند که در معرض خطر نیستند و همین‌طور مناطقی وجود دارند که در معرض خطر سیلاب قرار دارند؛ اما به لحاظ فاکتورهای اقتصادی - اجتماعی بررسی‌شده در این مطالعه حساس نیستند (فاقد این فاکتورها هستند). همچنین، اجرای مدل‌سازی با لایه فاصله از رودخانه‌های اصلی، با توجه به وزن بالای آن، نتایج مدل‌سازی را تحت تاثیر قرار داده و ممکن است کل اراضی اطراف رودخانه‌ها را به‌عنوان پرخطر شناسایی کند.

روش ارزیابی چندمتغیره مورد استفاده در این پژوهش، در میان روش‌های مختلف تجزیه‌وتحلیل خطر سیل، به‌طور گسترده‌ای در فرآیند تصمیم‌گیری استفاده شده‌اند. مطالعات Rincón و همکاران (۲۰۱۸) ، Dano و همکاران (۲۰۱۹)، Kongmuan و همکاران (۲۰۲۰)، Msabi و همکاران (۲۰۲۱)، Penki و همکاران (۲۰۲۳) بر کارآمد بودن روش MCDM تاکید دارند که مطابق با نتایج این مطالعه می‌باشد.

بیشترین مساحت پهنه‌های حساس به وقوع سیلاب مربوط به اراضی کشاورزی به‌دست آمد؛ سپس مناطق ساخت-وسازشده شامل مناطق سکونتگاهی شهری و روستایی و مناطق صنعتی دارای حساسیت به وقوع سیلاب است. شبکه حمل‌ونقل نیز کمترین سهم مساحت و میزان حساسیت را دارند. از طرفی تغییرات کاربری زمین مانند متراکم شدن خاک توسط کشاورزی و شهرنشینی بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر سیل رودخانه‌ها دارند (Blöschl, 2022). مطابق با نتایج پژوهش یادشده در حوزه‌های آبخیز کوچک، این تغییرات نفوذپذیری خاک بر خطرات سیل موثر بوده

و نقش مهمی در نفوذ آب بازی می‌کند. ولی در حوضه‌های بزرگ‌تر، مهم‌ترین عامل کنترل در تولید سیلاب، مناطق اشباع خاک است که کمتر به نفوذپذیری خاک وابسته است. بنابراین، درحالی‌که کاربری زمین عامل مهمی در مخاطرات سیل است، اما تاثیر آن در حوزه‌های آبخیز کوچکتر نسبت به سیلاب‌های منطقه‌ای بارزتر است. نتایج این پژوهش نیز بیانگر آن است که اراضی کشاورزی بیشتری، در معرض خطر سیلاب قرار دارند که با نتایج پژوهش Blöschl (۲۰۲۲) مطابقت دارد. از طرفی نوع خاک در مقایسه با متغیر بارندگی از اهمیت نسبتاً کمتری برخوردار است که این نتیجه نیز مطابق با تغییرپذیری اثر کاربری زمین و درنتیجه نفوذپذیری خاک در حوزه‌های کوچک تا بزرگ است.

مرادی و همکاران (۲۰۱۳) که در مطالعه خود به کارایی فن‌های منطق بولین، شاخص پوشش و خوشه‌بندی فازی برای تحلیل فضایی مناطق بالقوه برای پخش سیلاب پرداخته بودند. با اعتبارسنجی نتایج خود، مناسب‌ترین مناطق پخش سیلاب را به‌صورت درصد مشخص نمودند. معیارهای به‌کاررفته (شیب، نرخ نفوذ) در پژوهش یادشده، مشابه این پژوهش بود. در نهایت فن‌های تحلیل فضایی را به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای انتخاب مناسب‌ترین مناطق برای پخش سیلاب معرفی نمودند.

نتایج پژوهش Bello و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد آسیب‌پذیرترین مناطق در برابر طغیان رودخانه در مطالعات متعدد، در حوضه رودخانه سوکوتو ریما در نیجریه، مناطق کشاورزی و تالاب‌ها، مناطق ساخته‌شده و مناطق جنگلی هستند. این پژوهش نیز درصد زیادی از خطر سیل را در زمین‌های کشاورزی شناسایی نموده است. نتایج پژوهش Aydin و Sevgi Birincioğlu (۲۰۲۲) که خطر وقوع سیلاب را در استان بیتلیس ترکیه نیز شبیه‌سازی و تجزیه-وتحلیل کرده بودند، نیز نشان داد مناطق در معرض خطر بالای سیلاب بیشتر به‌دلیل تراکم و بارندگی، شیب زیاد و طبیعت ناهموار منطقه، به مجاورت نهرهای کم‌ارتفاع و مناطق پرجمعیت محدود شده است. در این پژوهش نیز عمده مناطق با ریسک بالا در مناطق کم‌ارتفاع و مجاورت رودخانه‌ها شناسایی شدند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نمایه‌های ریسک محیط‌زیستی شامل خطر وقوع سیلاب و حساسیت به وقوع سیلاب، برای یافتن مکان‌های مناسب استقرار دیوارهای سیل‌بند رودخانه‌ای در جنوب استان کرمان، مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد، نقش خاک در خطر طغیان رودخانه‌ها عامل مهمی است و ۵۶ درصد از اراضی کشاورزی و ۴۸ درصد از مناطق ساخت‌وسازشده در منطقه ریسک سیلاب قرار دارند. همچنین، ۲۴ درصد از طول شبکه حمل‌ونقل نیز در این محدوده قرار دارد؛ اما هیچ یک از مناطق نمونه گردشگری در مناطق با خطر سیلاب واقع نشده‌اند. علاوه بر این، ۱۸۲ کیلومتر از طول رودخانه‌های استان که معادل ۲ درصد آنهاست، نیاز به احداث دیواره‌های سیل‌بند جهت جلوگیری از خطر سیلاب در مناطق حساس اقتصادی - اجتماعی دارند. نتایج این مطالعه می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی جهت کاهش خسارت‌های محیط‌زیستی سیلاب کاربرد داشته باشد. این گونه مکان یابی‌ها با پشتوانه منطقی و به-کارگیری نمایه‌های ریسک محیط‌زیستی، می‌توانند در جهت مدیریت سرزمینی، عملکرد بهتری نسبت به روند سنتی داشته باشند. نتایج حاصله می‌تواند واحدهای دولتی محلی را در توسعه برنامه‌های مدیریت سریع سیل، اقدامات

کاهش سیل، آمادگی و بهبود استراتژی‌های پاسخ برای کاهش خطر سیل و آسیب‌پذیری به جمعیت محدوده مطالعه راهنمایی نماید. همچنین، به‌کارگیری روش کار این پژوهش نیز در مطالعات مشابه در مناطق دیگر در کنار فن‌ها و روش‌های دیگر با ترکیبی از معیارهای مختلف پیشنهاد می‌شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله، مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است و بخشی از آن با حمایت مالی دانشگاه زابل و کد پژوهانهٔ IR-UOZ-GR-4956 به انجام رسیده است که بدین‌وسیله از حمایت دانشگاه زابل سپاسگزاری به عمل می‌آید.

منابع

استانداری استان کرمان. ۱۳۹۹. نقشه مناطق سیل‌زده استان کرمان، کهنوج و فاریاب، پنجم فروردین، ۱۳۹۹.

حبیبی، آرش؛ آفریدی، صنم. (۱۴۰۱). تصمیم‌گیری چندشاخصه (قطعی و فازی)، تهران: انتشارات نارون. ص ۲۷۲.

دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفای وزارت نیرو. (۱۳۸۹). راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری دیوارهای سیل‌بند (نشریه شماره ۵۱۸).

سلیمانی ساردو، فرشاد؛ رفیعی ساردوئی، الهام؛ مصباح زاده، طیبه؛ آذره، علی. (۱۴۰۰). استفاده از تصاویر سنتینل-۱ جهت پایش خسارت سیلاب فروردین ۱۳۹۹، جنوب استان کرمان براساس الگوریتم جنگل تصادفی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۵(۵۳)، ۳۲-۲۳. http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089554.1400.15.53.4.8

شهابی، هیمن. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی حساسیت وقوع سیل در مناطق شمالی ایران با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته داده‌کاوی (منطقه مورد مطالعه: حوزه آبخیز هراز. برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۱۱(۴۱)، ۱۸۲-۱۶۵. https://doi.org/10.30495/jzpm.2021.4246

عبدالله‌زاده، علی؛ اونق، مجید؛ اسعدالدین، امین؛ مصطفی‌زاده، رئوف. (۱۳۹۵). گزارش فنی: محدودیت توسعه کاربری سکونتگاهی ناشی از سیلاب و ضریب رواناب در چارچوب آمایش سرزمین، مطالعه موردی: حوزه آبخیز زیارت گرگان. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۸ (۲)، ۲۲۱-۲۳۵. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.106462

عرفانی، ملیحه؛ جورابیان شوشتری، شریف؛ اردکانی، طاهره؛ جهانی شکیب، فاطمه. (۱۴۰۲). مدلسازی گرادیان مکانی خدمت اکوسیستمی تولید آب با InVEST در زیرحوزه‌های شمالی استان کرمان. مدیریت آب و آبیاری، ۱۳(۱)، ۶۳-۸۱. doi:10.22059/jwim.2023.349742.1024

عیسی زاده، وحید؛ علی بیگی، زهرا. (۱۴۰۰). شبیه‌سازی مناطق مستعد سیلاب با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون و سیستم اطلاعات جغرافیایی (منطقه موردمطالعه: حوزه آبخیز زولاچای، شهرستان سلماس. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۲۴ (۱۲)، ۱۰۸-۹۷. http://dx.doi.org/10.52547/jwmr.12.24.97

محمودزاده، حسن؛ یاری، فاطمه؛ واحدی، علی. (۱۳۹۶). کاربرد تکنیک‌های دورسنجی و GIS برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر ارومیه با رویکرد تحلیل چندمعیاره. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۹ (۴)، ۷۳۰-۷۱۹. https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.210916.1006894

مخدوم، مجید. (۱۳۹۳). شالوده آمایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۰۴ ص.

نجفی، اسماعیل؛ کریمی کردابادی، مرتضی. (۱۳۹۹). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY با تأکید بر امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان‌شهر تهران). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۹ (۲)، ۶۰-۴۳. https://doi.org/10.22067/geo.v9i2.86110

Alaoui, A., Rogger, M., Peth, S., & Blöschl, G. (2018). Does soil compaction increase floods? A review. Journal of Hydrology, 557, 631-642.

Aydin, M. C., & Sevgi Birincioğlu, E. (2022). Flood risk analysis using gis-based analytical hierarchy process: a case study of Bitlis Province. Applied Water Science, 12(6), 122.

Baby, S. (2013). AHP modeling for multicriteria decision-making and to optimize strategies for protecting coastal landscape resources. International Journal of Innovation, Management and Technology, 4(2), 218.
Bello, A. A., Abua, M. A., Yelwa, S. A., Undiyaundeye, F. A., Iwara, A. I., Abutunghe, M. A., Bassey, B. J., Egbonyi, D. E., & Owalom, S. O. (2022). Geospatial Mapping of Areas at Risk to Flood along Sokoto-Rima River Basin, Sokoto Nigeria. Environment and Ecology Research. Doi: 10.13189/eer.2022.100615.
Belmonte, C., & García, S. (2012). Flood risk assessment and mapping in peri-urban Mediterranean environments using hydrogeomorphology. Application to ephemeral streams in the Valencia region (eastern Spain), Landscape and Urban Planning, 104(5): 189– 200.
Cai, S., Fan, J., & Yang, W. (2021). Flooding risk assessment and analysis based on GIS and the TFN-AHP method: a case study of Chongqing, China. Atmosphere, 12(5), 623.
Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., & Böhner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015. DOI: 10.5194/gmd-8-1991-2015.
Costa-Cabral, M., & Burges, S.J. (1994). Digital Elevation Model Networks (DEMON): a model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. Water Resources Research, 30:1681-1692.
Criss, R. E. (2018). The theoretical link between rainfall and flood magnitude. Hydrological Processes, 32(11), 1607-1615.
Daneshparvar, B., Rasi Nezami, S., Feizi, A., & Aghlmand, R. (2022). Comparison of results of flood hazard zoning using AHP and ANP methods in GIS environment: A case study in Ardabil province, Iran. Journal of Applied Research in Water and Wastewater, 9(1), 1-7.
Dano, U. L., Balogun, A. L., Matori, A. N., Wan Yusouf, K., Abubakar, I. R., Said Mohamed, M. A., ... & Pradhan, B. (2019). Flood susceptibility mapping using GIS-based analytic network process: A case study of Perlis, Malaysia. Water, 11(3), 615.
Dong, An., Wooyeol, Jeon., & Hyun-Ki, Ko. (2022). Analysis of Flooding Patterns in River Terraces. Han-gukbangjaehakoenonmunjip, doi: 10.9798/kosham.2022.22.5.219.
Ehsan, S., Marx, W., & Wieprecht, S. (2013). Importance of Flood Severity Estimation for Flood Plain Management in a River Valley. Journal of River Engineering, SCIJOUR-Scientific Journals Publisher, 1(1).
Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International journal of climatology, 37(12), 4302-4315.
Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., & Drobnjak, S. (2017). Application of GIS-interval rough AHP methodology for flood hazard mapping in urban areas. Water, 9(6), 360.
Hammami, S., Zouhri, L., Souissi, D., Souei, A., Zghibi, A., Marzougui, A., & Dlala, M. (2019). Application of the GIS-based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in flood susceptibility mapping (Tunisia). Arabian Journal of Geosciences, 12, 1-16.
Jenkins, K., Hall, J., Glenis, V., & Kilsby, C. (2018). A probabilistic analysis of surface water flood risk in London, Risk Analysis, 38(6): 1169-1182.
Jiwon, Jang., & Seungho, Lee. (2014). Relationships between Rainfall and Flooding Disaster in the Downstream Areas of Han River. China Review International, doi: 10.14383/CRI.2014.9.3.207
Jongman, B. (2018). Effective adaptation to rising flood risk. Nature communications, 9(1), 1986.
Jongman, B., Ward, P. J., & Aerts, J. C. J. H. (2012). Global exposure to river and coastal flooding: long term trends and changes. Global Environmental Change, 22 (4): 823–835.
Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J.C., Mathis, M., & Brumby, S.P. (2021). Global land use/land cover with sentinel 2 and deep learning; IEEE: Manhattan, NY, USA: pp. 4704–4707.
Kittipongvises, S., Phetrak, A., Rattanapun, P., Brundiers, K., Buizer, J. L., & Melnick, R. (2020). AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities near the world heritage site on Ayutthaya Island, Thailand. International Journal of Disaster Risk Reduction, 48, 101612.
Kongmuang, C., Tantanee, S., & Seejata, K. (2020). Urban flood hazard map using gis of Muang Sukhothai district, Thailand. Geographia Technica, 15(1): 143-152.
Kumar, G. P., & Sen, S. D. (2022). Flood hazard and risk assessment of Deoha River Basin, Central Ganga Plain, India: An GIS approach. Disaster Advances, 15 (10), 42-51, doi: 10.25303/1510da042051
Kura, N. U., Usman, S. U., & Khalil, M. S. (2023). Flood Vulnerability Assessment of A Semi-Arid Region: A Case Study of Dutse in Jigawa State, Nigeria. Journal of Environmental Issues and Climate Change, 2(1), 20-29.
El Hourani, M., & Broll, G. (2021). Soil protection in floodplains—A review. Land, 10(2), 149. doi: 10.3390/LAND10020149.
Masoudi, M., Centeri, C., Jakab, G., Nel, L., & Mojtahedi, M. (2021). GIS-Based Multi-Criteria and Multi-Objective Evaluation for Sustainable Land-Use Planning (Case Study: Qaleh Ganj County, Iran), International Journal of Environmental Research, 15: 457–474.
Msabi, M. M., & Makonyo, M. (2021). Flood susceptibility mapping using GIS and multi-criteria decision analysis: A case of Dodoma region, central Tanzania. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 21: 100445.

Melillo, P., & Pecchia, L. (2016, August). What is the appropriate sample size to run the analytic hierarchy process in survey-based research? In Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process (pp. 4-8).
Paprotny, D., Sebastian, A., Morales-Napoles, O. & Jonkman, S. (2018). Trends in flood losses in Europe over the past 150 years, Nature Communications, 9(1): 1-12.
Patel, D.P., & Srivastava, P.K. (2013). Flood Hazards Mitigation Analysis Using Remote Sensing and GIS: Correspondence with Town Planning Scheme. Water Resour Manage, 27, 2353–2368.
Pathan, A.I., Agnihotri, P.G., Said, S., Patel, D., Prieto, C., Mohsini, U., Patidar, N., Gandhi, P., Jariwala, K., Đurin, B., Azimi, M.Y., Rasuli, J., Dummu, K., Raaj, S., Shaikh, A.A., & Salihi, M. (2022a). Flood risk mapping using multi-criteria analysis (TOPSIS) model through geospatial techniques case study of the Navsari city, Gujarat, India, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022. (No. EGU22-2418). Copernicus Meetings, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-2418, 2022.
Pathan, A.I., Girish Agnihotri, P., Said, S., & Patel, D. (2022b). AHP and TOPSIS based flood risk assessment- a case study of the Navsari City, Gujarat, India, Environmental Monitoring and Assessment, 194(7): 509.
Penki, R., Basina, S. S., & Tanniru, S. R. (2023). Application of geographical information system-based analytical hierarchy process modeling for flood susceptibility mapping of Krishna District in Andhra Pradesh. Environmental Science and Pollution Research, 30(44), 99062-99075. https://doi.org/10.1007/s11356-022-22924-x
Pham, B. T., Luu, C., Van Dao, D., Van Phong, T., Nguyen, H. D., Van Le, H., ... & Prakash, I. (2021). Flood risk assessment using deep learning integrated with multi-criteria decision analysis. Knowledge-based systems, 219, 106899.
Rahmati, O., Zeinivand, H., & Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 7(3), 1000-1017.
Reisinger, A., Howden, M., Vera, C., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibiehl, S., ... & Ranasinghe, R. (2020). The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A summary of cross-working group discussions. Intergovernmental Panel on Climate Change, 15, 130.
Riley, S. J., De Gloria, S. D., & Elliot, R. (1999). A Terrain Ruggedness Index That Quantifies Topographic Heterogeneity. Intermountain Journal of Sciences, 5, 23–27.
Rincón, D., Khan, U. T., & Armenakis, C. (2018). Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A greater Toronto area case study. Geosciences, 8(8), 275.
Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. European journal of operational research, 48(1), 9-26.
Sánchez-García, C., Francos, M. (2022). Human-environmental interaction with extreme hydrological events and climate change scenarios as background. Geography and Sustainability, 3(3): 232-236.
Şen, Z. (2018). Flood modeling, prediction, and mitigation (p. 431). Cham, Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52356-9_2
Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A., & Dlala, M. (2020). GIS-based MCDM–AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. Geocarto International, 35(9), 991-1017.
Tan, Z., Liu, S., Wylie, B. K., Jenkerson, C. B., Oeding, J., Rover, J., & Young, C. (2013). MODIS-informed greenness responses to daytime land surface temperature fluctuations and wildfire disturbances in the Alaskan Yukon River Basin. International journal of remote sensing, 34(6), 2187-2199.
Tempa, K. (2022). District flood vulnerability assessment using analytic hierarchy process (AHP) with historical flood events in Bhutan, PLoS One,17(6): e0270467.
Tian, X., Schleiss, M., Bouwens, C., & van de Giesen, N. (2019). Critical rainfall thresholds for urban pluvial flooding inferred from citizen observations. Science of the total environment, 689, 258-268.
Wang, X., Xia, J., Zhou, M., Deng, S., & Li, Q. (2022). Assessment of the joint impact of rainfall and river water level on urban flooding in Wuhan City, China. Journal of Hydrology, 613, 128419.
Winsemius, H.C., Aerts, J.C., Van Beek, L.P., Bierkens, M.F., Bouwman, A., Jongman, B., Kwadijk, J.C., Ligtvoet, W., Lucas, P.L., Van Vuuren, D.P., & Ward, P.J. (2016). Global drivers of future river flood risk. Nature Climate Change, 6(4): 381-385.
Yue, L., Shen, H., Zhang, L., Zheng, X., Zhang, F., & Yuan, Q. (2017). High-quality seamless DEM generation blending SRTM-1, ASTER GDEM v2, and ICESat/GLAS observations. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 123, 20-34. doi:10.1016/j.isprsjprs.2016.11.0.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Abdollahzadeh, A., Ownegh, M., Sadoddin, A., & Mostafazadeh, R. (2016). Technical Note: Constraints to residential land use development arising from flood and runoff coefficient in a land use planning framework, case study: Ziarat Watershed, Golestan Province. Watershed Engineering and Management, 8(2), 221-235. doi: 10.22092/ijwmse.2016.106462. [In Persian]
Erfani, M., Joorabian Shooshtari, S., Ardakani, T., & Jahanishakib, F. (2023). Spatial gradient modeling of water yield service using InVEST in northern sub-basins of Kerman province. Water and Irrigation Management, 13(1), 63-81. doi: 10.22059/jwim.2023.349742.1024. [In Persian]
Habibi, A., & Afridi, S., (2022). Multi-criteria decision making (deterministic and fuzzy), Tehran: Naroon Publications. P. 272. [In Persian]
Isazade, V.,& Aliegigy, Z. (2021). Simulation of Flood Prone Areas using Perceptron Neural Network and GIS (Study Area: Zolachai watershed, Salmas City). J Watershed Manage Res. 12(24), 97-108. doi:10.52547/jwmr.12.24.97. [In Persian]
Kerman Province Governorate, 2010. Map of flooded areas of Kerman Province, Kahnouj and Faryab, 2010.
Mahmoudzadeh, H. , Yari, F. , & Vahedi, A. (2017). The Application of Remote Sensing and GIS Techniques for Flood Risk Zoning Multi-Criteria Approach, Urmia, Iran. Physical Geography Research, 49(4), 719-730. doi: 10.22059/jphgr.2018.210916.1006894. [In Persian]
Makhdoom, M. (2016). Fundamental of Land Use Planning. Tehran University Press. P 304. [In Persian]
Najafi, E. , & Karimi Kerdabadi, M. (2020). Flood Risk Evaluation and Zoning using with AHP-Fuzzy Combined Model with Emphasis on Urban Safety (Case Study: Region 1 of Tehran Municipality). Journal of Geography and Environmental Hazards, 9(2), 43-60. doi: 10.22067/geo.v9i2.86110. [In Persian]
Office of Engineering and Technical Standards for Water and Water Resources, Ministry of Energy. (2010). Guide to the design, construction, and maintenance of flood walls (Publication No. 518). [In Persian]
Shahabi, H. (2021). Flood susceptibility mapping in northern regions of Iran using advanced data mining algorithms (Case study: Haraz watershed). Regional Planning, 11(41), 165-182. doi: 10.30495/jzpm.2021.4246. [In Persian]
Soleimani Sardoo, F., Rafiei Sarooi, E., Mesbahzadeh, T., & Azareh, A. (2021). Utilizing Sentinel 1 Images for Monitoring Damage of Flood Event in March 2020, the South of Kerman Province Based on Random Forest Algorithm. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering,15 (53),23-32, http://jwmsei.ir/article-1-976-fa.html. [In Persian]

References (in English)

Alaoui, A., Rogger, M., Peth, S., & Blöschl, G. (2018). Does soil compaction increase floods? A review. Journal of Hydrology, 557, 631-642.
Aydin, M. C., & Sevgi Birincioğlu, E. (2022). Flood risk analysis using gis-based analytical hierarchy process: a case study of Bitlis Province. Applied Water Science, 12(6), 122.
Baby, S. (2013). AHP modeling for multicriteria decision-making and to optimize strategies for protecting coastal landscape resources. International Journal of Innovation, Management and Technology, 4(2), 218.
Bello, A. A., Abua, M. A., Yelwa, S. A., Undiyaundeye, F. A., Iwara, A. I., Abutunghe, M. A., Bassey, B. J., Egbonyi, D. E., & Owalom, S. O. (2022). Geospatial Mapping of Areas at Risk to Flood along Sokoto-Rima River Basin, Sokoto Nigeria. Environment and Ecology Research. Doi: 10.13189/eer.2022.100615.
Belmonte, C., & García, S. (2012). Flood risk assessment and mapping in peri-urban Mediterranean environments using hydrogeomorphology. Application to ephemeral streams in the Valencia region (eastern Spain), Landscape and Urban Planning, 104(5): 189– 200.
Cai, S., Fan, J., & Yang, W. (2021). Flooding risk assessment and analysis based on GIS and the TFN-AHP method: a case study of Chongqing, China. Atmosphere, 12(5), 623.
Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., & Böhner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015. DOI: 10.5194/gmd-8-1991-2015.
Costa-Cabral, M., & Burges, S.J. (1994). Digital Elevation Model Networks (DEMON): a model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. Water Resources Research, 30:1681-1692.
Criss, R. E. (2018). The theoretical link between rainfall and flood magnitude. Hydrological Processes, 32(11), 1607-1615.
Daneshparvar, B., Rasi Nezami, S., Feizi, A., & Aghlmand, R. (2022). Comparison of results of flood hazard zoning using AHP and ANP methods in GIS environment: A case study in Ardabil province, Iran. Journal of Applied Research in Water and Wastewater, 9(1), 1-7.
Dano, U. L., Balogun, A. L., Matori, A. N., Wan Yusouf, K., Abubakar, I. R., Said Mohamed, M. A., ... & Pradhan, B. (2019). Flood susceptibility mapping using GIS-based analytic network process: A case study of Perlis, Malaysia. Water, 11(3), 615.
Dong, An., Wooyeol, Jeon., & Hyun-Ki, Ko. (2022). Analysis of Flooding Patterns in River Terraces. Han-gukbangjaehakoenonmunjip, doi: 10.9798/kosham.2022.22.5.219.

Ehsan, S., Marx, W., & Wieprecht, S. (2013). Importance of Flood Severity Estimation for Flood Plain Management in a River Valley. Journal of River Engineering, SCIJOUR-Scientific Journals Publisher, 1(1).
Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International journal of climatology, 37(12), 4302-4315.
Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., & Drobnjak, S. (2017). Application of GIS-interval rough AHP methodology for flood hazard mapping in urban areas. Water, 9(6), 360.
Hammami, S., Zouhri, L., Souissi, D., Souei, A., Zghibi, A., Marzougui, A., & Dlala, M. (2019). Application of the GIS-based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in flood susceptibility mapping (Tunisia). Arabian Journal of Geosciences, 12, 1-16.
Jenkins, K., Hall, J., Glenis, V., & Kilsby, C. (2018). A probabilistic analysis of surface water flood risk in London, Risk Analysis, 38(6): 1169-1182.
Jiwon, Jang., & Seungho, Lee. (2014). Relationships between Rainfall and Flooding Disaster in the Downstream Areas of Han River. China Review International, doi: 10.14383/CRI.2014.9.3.207
Jongman, B. (2018). Effective adaptation to rising flood risk. Nature communications, 9(1), 1986.
Jongman, B., Ward, P. J., & Aerts, J. C. J. H. (2012). Global exposure to river and coastal flooding: long term trends and changes. Global Environmental Change, 22 (4): 823–835.
Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J.C., Mathis, M., & Brumby, S.P. (2021). Global land use/land cover with sentinel 2 and deep learning; IEEE: Manhattan, NY, USA: pp. 4704–4707.
Kittipongvises, S., Phetrak, A., Rattanapun, P., Brundiers, K., Buizer, J. L., & Melnick, R. (2020). AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities near the world heritage site on Ayutthaya Island, Thailand. International Journal of Disaster Risk Reduction, 48, 101612.
Kongmuang, C., Tantanee, S., & Seejata, K. (2020). Urban flood hazard map using gis of Muang Sukhothai district, Thailand. Geographia Technica, 15(1): 143-152.
Kumar, G. P., & Sen, S. D. (2022). Flood hazard and risk assessment of Deoha River Basin, Central Ganga Plain, India: An GIS approach. Disaster Advances, 15 (10), 42-51, doi: 10.25303/1510da042051
Kura, N. U., Usman, S. U., & Khalil, M. S. (2023). Flood Vulnerability Assessment of A Semi-Arid Region: A Case Study of Dutse in Jigawa State, Nigeria. Journal of Environmental Issues and Climate Change, 2(1), 20-29.
El Hourani, M., & Broll, G. (2021). Soil protection in floodplains—A review. Land, 10(2), 149. doi: 10.3390/LAND10020149.
Masoudi, M., Centeri, C., Jakab, G., Nel, L., & Mojtahedi, M. (2021). GIS-Based Multi-Criteria and Multi-Objective Evaluation for Sustainable Land-Use Planning (Case Study: Qaleh Ganj County, Iran), International Journal of Environmental Research, 15: 457–474.
Msabi, M. M., & Makonyo, M. (2021). Flood susceptibility mapping using GIS and multi-criteria decision analysis: A case of Dodoma region, central Tanzania. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 21: 100445.
Melillo, P., & Pecchia, L. (2016, August). What is the appropriate sample size to run the analytic hierarchy process in survey-based research? In Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process (pp. 4-8).
Paprotny, D., Sebastian, A., Morales-Napoles, O. & Jonkman, S. (2018). Trends in flood losses in Europe over the past 150 years, Nature Communications, 9(1): 1-12.
Patel, D.P., & Srivastava, P.K. (2013). Flood Hazards Mitigation Analysis Using Remote Sensing and GIS: Correspondence with Town Planning Scheme. Water Resour Manage, 27, 2353–2368.
Pathan, A.I., Agnihotri, P.G., Said, S., Patel, D., Prieto, C., Mohsini, U., Patidar, N., Gandhi, P., Jariwala, K., Đurin, B., Azimi, M.Y., Rasuli, J., Dummu, K., Raaj, S., Shaikh, A.A., & Salihi, M. (2022a). Flood risk mapping using multi-criteria analysis (TOPSIS) model through geospatial techniques case study of the Navsari city, Gujarat, India, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022. (No. EGU22-2418). Copernicus Meetings, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-2418, 2022.
Pathan, A.I., Girish Agnihotri, P., Said, S., & Patel, D. (2022b). AHP and TOPSIS based flood risk assessment- a case study of the Navsari City, Gujarat, India, Environmental Monitoring and Assessment, 194(7): 509.
Penki, R., Basina, S. S., & Tanniru, S. R. (2023). Application of geographical information system-based analytical hierarchy process modeling for flood susceptibility mapping of Krishna District in Andhra Pradesh. Environmental Science and Pollution Research, 30(44), 99062-99075. https://doi.org/10.1007/s11356-022-22924-x
Pham, B. T., Luu, C., Van Dao, D., Van Phong, T., Nguyen, H. D., Van Le, H., ... & Prakash, I. (2021). Flood risk assessment using deep learning integrated with multi-criteria decision analysis. Knowledge-based systems, 219, 106899.
Rahmati, O., Zeinivand, H., & Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 7(3), 1000-1017.
Reisinger, A., Howden, M., Vera, C., Garschagen, M., Hurlbert, M., Kreibiehl, S., ... & Ranasinghe, R. (2020). The concept of risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A summary of cross-working group discussions. Intergovernmental Panel on Climate Change, 15, 130.
Riley, S. J., De Gloria, S. D., & Elliot, R. (1999). A Terrain Ruggedness Index That Quantifies Topographic Heterogeneity. Intermountain Journal of Sciences, 5, 23–27.
Rincón, D., Khan, U. T., & Armenakis, C. (2018). Flood risk mapping using GIS and multi-criteria analysis: A greater Toronto area case study. Geosciences, 8(8), 275.

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. European journal of operational research, 48(1), 9-26.
Sánchez-García, C., Francos, M. (2022). Human-environmental interaction with extreme hydrological events and climate change scenarios as background. Geography and Sustainability, 3(3): 232-236.
Şen, Z. (2018). Flood modeling, prediction, and mitigation (p. 431). Cham, Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52356-9_2
Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A., & Dlala, M. (2020). GIS-based MCDM–AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. Geocarto International, 35(9), 991-1017.
Tan, Z., Liu, S., Wylie, B. K., Jenkerson, C. B., Oeding, J., Rover, J., & Young, C. (2013). MODIS-informed greenness responses to daytime land surface temperature fluctuations and wildfire disturbances in the Alaskan Yukon River Basin. International journal of remote sensing, 34(6), 2187-2199.
Tempa, K. (2022). District flood vulnerability assessment using analytic hierarchy process (AHP) with historical flood events in Bhutan, PLoS One,17(6): e0270467.
Tian, X., Schleiss, M., Bouwens, C., & van de Giesen, N. (2019). Critical rainfall thresholds for urban pluvial flooding inferred from citizen observations. Science of the total environment, 689, 258-268.
Wang, X., Xia, J., Zhou, M., Deng, S., & Li, Q. (2022). Assessment of the joint impact of rainfall and river water level on urban flooding in Wuhan City, China. Journal of Hydrology, 613, 128419.
Winsemius, H.C., Aerts, J.C., Van Beek, L.P., Bierkens, M.F., Bouwman, A., Jongman, B., Kwadijk, J.C., Ligtvoet, W., Lucas, P.L., Van Vuuren, D.P., & Ward, P.J. (2016). Global drivers of future river flood risk. Nature Climate Change, 6(4): 381-385.
Yue, L., Shen, H., Zhang, L., Zheng, X., Zhang, F., & Yuan, Q. (2017). High-quality seamless DEM generation blending SRTM-1, ASTER GDEM v2, and ICESat/GLAS observations. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 123, 20-34. doi:10.1016/j.isprsjprs.2016.11.0.