ASPI | Afarand Scholarly Publishing Institute; Turkey
ISSN: 2538-4384; Geographical Research. 2024;39(2):117-127 10.58209/geores.39.2.117

Strategies for Mitigating Vulnerability of Critical Urban Arteries to Flooding within Bojnurd City

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Mobasheri M.[1]* *PhD*
Miri Gh.R.[1] *PhD*
Sharifinia Z.[2] *PhD*

How to cite this article
Mobasheri M, Miri GhR, Sharifinia Z. Strategies for Mitigating Vulnerability of Critical Urban Arteries to Flooding within Bojnurd City. Geographical Research. 2024;39(2):117-127.

[1]Department of Geography and Urban Planning, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran
[2]Department of Geography and Tourism Planning, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

***Correspondence**
Address: Department of Geography and Urban Planning, Islamic Azad University, Zahedan Branch, University Street, Zahedan, Iran. Postal Code: 9816743545
Phone: +98 (54) 33443600
Fax: +98 (54) 33443600
mobasherimehdi90@gmail.com

Article History
Received: January 14, 2024
Accepted: March 14, 2024
ePublished: June 5, 2024

ABSTRACT

Aims The fundamental pillars and structures crucial to any community are the vital arteries or infrastructures, encompassing all essential facilities and utilities. If these are disrupted or damaged, it will have a significant impact on the health, safety, security, and economy of the society. The objective of this study was to evaluate the flood risk and analyze the critical arteries of Bojnurd city.

Methodology A research of applied nature was carried out in 2022 within Bojnurd city. The Random Forest algorithm was employed to propose strategies for reducing the susceptibility of city arteries to floods. Through the research, 100 locations prone to flooding and 100 maps free from flooding were identified. Fourteen factors influencing flooding were considered, such as elevation, slope, direction, precipitation, geology, river density, population density, residential density, distance from floodplains, land use, vegetation cover index, topographic land slope index, and moisture index. The significance of each factor was determined by calculating the information gain ratio.

Findings The variables of elevation, precipitation, and land utilization exerted a notable influence on the occurrence of flooding within the urban area of Bojnurd. Moreover, an analysis encompassing an area of 676 hectares pinpointed the regions characterized by the most elevated susceptibility to floods, while 852 hectares were recognized as exhibiting the least vulnerability. It was observed that a considerable portion of the residential zones face a heightened likelihood of being affected by flood events.

Conclusion The interconnected nature of street networks, meticulous consideration of street surfacing materials, strategic positioning of buildings, smaller block dimensions, and the implementation of a grid layout featuring regular intersections play a crucial role in mitigating the effects of flooding.

Keywords Flood; Vital Arteries; Random Forest Algorithm; Bojnurd City

CITATION LINKS

[Abedini & Khoshkhovi Delshad, 2016] Investigating the factors affecting the occurrence of floods ...; [Ahmed *et al.*, 2022] Flood susceptibility mapping in Brahmaputra floodplain of Bangladesh ...; [Blaikie *et al.*, 2010] At risk: Natural hazards, people's ...; [Bostani & Javani, 2013] Investigation and recognition of natural hazards (earthquake and ...; [Chen *et al.*, 2017] A planning framework based on system theory and GIS for urban ...; [Cheraghi Ghalehsari *et al.*, 2020] Flood susceptibility mapping using a Support Vector Machine ...; [Fleischmann *et al.*, 2021] River flood modeling and remote sensing across scales: Lessons ...; [Ghobadi *et al.*, 2019] Comparison of uniform rainfall method and alternative block method in ...; [Hosseini *et al.*, 2020] Flash-flood hazard assessment using ensembles and Bayesian-based ...; [Lee *et al.*, 2017] Spatial prediction of flood susceptibility using random-forest ...; [Leta *et al.*, 2024] Comprehensive investigation of flood-resilient neighborhoods: The ...; [Mabrouk *et al.*, 2024] Spatial congruency or discrepancy? Exploring the spatiotemporal ...; [Omidvarfar *et al.*, 2021] Zoning and flood risk assessment in Tabriz city using Fuzzy AHP ...; [Pahlavan Rad *et al.*, 2014] Updating soil survey maps using random forest and conditioned ...; [Poortaheri, 2010] Analysis of the effectiveness of urban development plans in housing development ...; [Poortaheri *et al.*, 2014] Physical vulnerability assessment of rural habitats against ...; [Saffari *et al.*, 2020] Flood risk analysis based on the WMS model in urban catchments (case ...; [Salvo *et al.*, 2024] Enhancing urban resilience: Managing ...; [Sanaifard *et al.*, 2023] Reducing the vulnerability of vital arteries to flood (case ...; [Sowmya *et al.*, 2015] Urban flood vulnerability zoning of Cochin City, southwest ...; [Statistical Yearbook of Bojnurd Governorate, 2022] Bojnurd: North Khorasan Standard ...; [Taherkhani *et al.*, 2012] Comparative assessment of ranking methods for natural disasters in ...; [Tehrany *et al.*, 2019] Identifying the essential flood conditioning factors for flood prone ...; [UNDRR, 2015] The human cost of weather-related ...; [Wang *et al.*, 2024] Building green infrastructure for mitigating urban flood risk in ...;

Copyright© 2024, the Authors | Publishing Rights, ASPI. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی شهرها در برابر سیل در شهر بجنورد

مهدی مباشری* PhD
گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران
غلامرضا میری PhD
گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران
زهرا شریفی‌نیا PhD
گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی گردشگری، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

چکیده

اهداف: شریان‌های حیاتی یا همان زیرساخت‌ها جزء بنیان‌های اصلی و چارچوب‌های پایه‌ای هر جامعه به شمار می‌آیند که دربرگیرنده تمامی تاسیسات و تسهیلات مورد نیاز آن جامعه‌اند و اگر منقطع یا تخریب شوند بر سلامتی، ایمنی، امنیت و اقتصاد جامعه تاثیر جدی خواهند گذاشت. هدف از این پژوهش بررسی میزان خطر سیل و ارزیابی شریان‌های حیاتی شهر بجنورد با استفاده از الگوریتم جنگل‌های تصادفی بود.

روش‌شناسی: این پژوهش از نوع کاربردی بوده در سال ۱۴۰۲ در شهر بجنورد به انجام رسید. برای ارایه راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی شهر در برابر سیل از الگوریتم جنگل‌های تصادفی استفاده شد. پس از بررسی‌های انجام‌شده ۱۰۰ نقطه سیل‌گیر و ۱۰۰ نقشه بدون سیل شناسایی شده و از ۱۴ عامل موثر در وقوع سیلاب شامل ارتفاع، شیب، جهت، بارش، زمین‌شناسی، تراکم آبراهه، تراکم مسکونی، تراکم جمعیت، مسیل‌ها، فاصله از دشت‌های سیلابی، کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی، شاخص انحنای زمین و شاخص رطوبت توپوگرافی استفاده شد. برای محاسبه درجه اهمیت هر شاخص از شاخص نسبت افزایش اطلاعات استفاده شد.

یافته‌ها: ارتفاع، بارش و کاربری اراضی اصلی‌ترین عوامل تاثیرگذار بر وقوع سیل در شهر بجنورد بودند. همچنین ۶۷۶ هکتار از منطقه مورد مطالعه در وضعیت بیشترین خطر سیل و ۸۵۲ هکتار نیز در معرض کمترین خطر بودند. مساحت قابل توجهی از مناطق مسکونی دارای ریسک بالایی در مقابل سیلاب بودند.

نتیجه‌گیری: شبکه‌های خیابانی متصل، انتخاب دقیق مصالح سطح خیابان، قرارگیری ساختمان‌های استراتژیک، اندازه بلوک‌های کوتاه‌تر و الگوی شبکه‌ای با تقاطع‌های مکرر در کاهش تاثیر سیل حایز اهمیت هستند.

کلیدواژگان: سیلاب، شریان‌های حیاتی، الگوریتم جنگل‌های تصادفی، شهر بجنورد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۴

*نویسنده مسئول: mobasherimehdi90@gmail.com

مقدمه

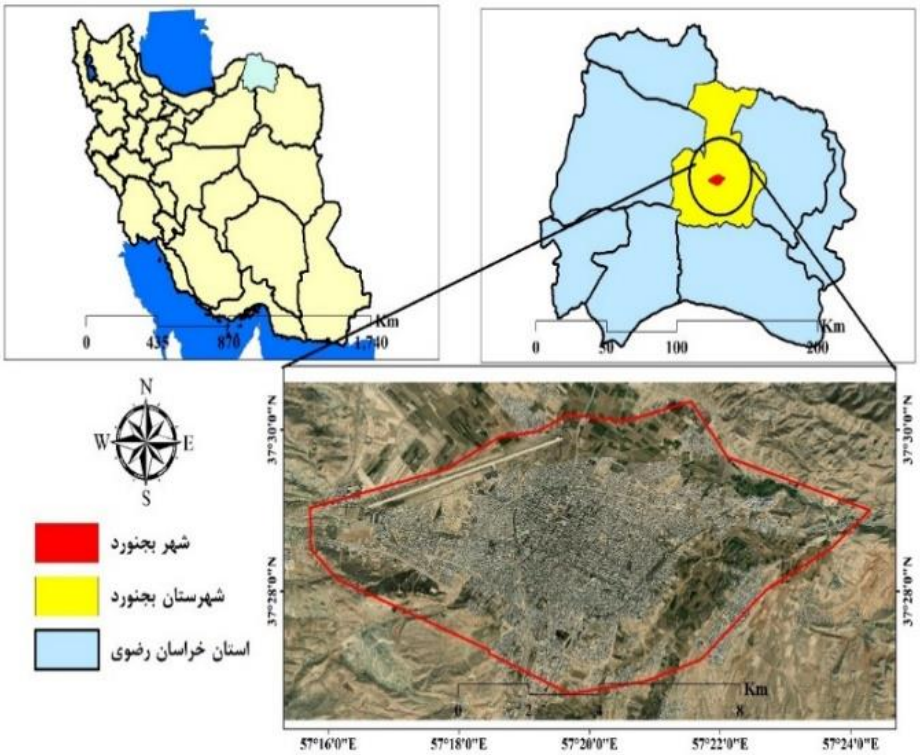
مخاطرات طبیعی با انواع گوناگون و گستره نفوذشان، به عنوان پدیده‌هایی تکرارشدنی و مخرب، همواره در طول حیات کره زمین وجود داشته‌اند و پس از پیدایش بشر نیز همیشه خطری جدی برای انسان بوده‌اند [Poortaheri, 2010]. مخاطرات طبیعی حوادثی ویرانگر و ناگهانی‌اند که هر لحظه در جهان امکان وقوع دارند و برآیند آن خسارات جانی و مالی عمده است. عواقب آن ممکن است درازمدت و حتی برگشت‌ناپذیر باشد. هیچ جامعه‌ای نمی‌تواند ادعای مصونیت از مخاطرات طبیعی را داشته باشد و انسان‌ها همواره با تاثیرات ذهنی و عینی زیان‌بار آن مواجه‌اند. وقوع مخاطرات طبیعی منجر به بروز تغییرات در شرایط زیست‌محیطی می‌شود که این نیز به نوبه خود به گسسته‌شدن روند زندگی عادی مردم و بروز تاثیرات مخرب بر سکونتگاه‌های آنها می‌انجامد و خسارت‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی گسترده‌ای را بر جوامع تحمیل می‌کند [Blaikie *et al.*, 2010]. مخاطرات طبیعی به عنوان تهدیدی در حال رشد در ارتباط با رفاه و توسعه جوامع روستایی مطرح‌اند و خسارت‌های ناشی از مخاطرات طبیعی، هم از دیدگاه تکرار و هم از نظر صدماتی که به بار می‌آورند، بر جامعه روستایی اثر می‌گذارند [Poortaheri *et al.*, 2014]. بخش عمده مخاطرات طبیعی مرتبط با فرآیندهای ژئومورفولوژیکی ناشی از خطرات ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و اتمسفری است. در این میان، پدیده سیل جزء ویرانگرترین مخاطرات طبیعی مرتبط با عوامل ژئومورفولوژیکی به شمار می‌آید [Bostani & Javani, 2013].

سیل از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی است که در صورت وقوع، منجر به خسارت‌های فراوانی می‌شود. براساس آمار سازمان ملل در حدود ۲/۳ میلیارد نفر در جهان تحت تاثیر آثار ناشی از آن هستند [UNDRR, 2015]. به طوری که خسارات وارده از سیل به انسان نسبت به سایر بلایا نظیر خشک‌سالی بیشتر است. در یک تعریف سیل رویدادی ناگهانی است که در آن جریان رودخانه و سطح آب به صورت غیرمنتظره افزایش پیدا کرده و باعث خسارات جانی و مالی می‌شود [Taherkhani *et al.*, 2012]. یکی از مسایل حیاتی برای امنیت عمومی این است که چگونه در طی وقوع سیل، مناطق در معرض آن را تخلیه کرد. به همین دلیل، بسیاری از محققان کشورهای مختلف نگرانی‌ها و علاقه خود را در این زمینه نشان داده‌اند [Chen *et al.*, 2017]. جاری‌شدن سیل یکی از مخاطرات مهم طبیعی است که بسیاری از نقاط جهان از جمله کشورهای توسعه‌یافته را تحت تاثیر قرار داده است [Saffari *et al.*, 2020]. چندین پژوهش گزارش می‌داده‌اند که سیل سالانه حدود ۲۰۰ میلیون نفر را در مقیاس جهانی تحت تاثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این، با توجه به پیش‌بینی تغییرات آب و هوا، تغییر الگوی کاربری زمین و افزایش جمعیت، پیش‌بینی می‌شود که میزان وقوع و شدت سیلاب به احتمال زیاد تشدید می‌شود. با توجه به افزایش شهرنشینی و آثار آن و همچنین تغییرات آب و هوایی، خطر سیل در سراسر جهان در حال افزایش است. امروزه سیل فاجعه طبیعی مکرر و پرهزینه در جهان از نظر خسارت است. با درنظرگرفتن افزایش خطر سیل در سراسر جهان، مزایای سرمایه‌گذاری در مقاوم‌سازی در برابر بلایا باید مورد کاوش قرار گیرد. اگرچه نمی‌توان از وقوع سیل جلوگیری کرد، اما می‌توان تاثیر آن را با ارزیابی میزان تاب‌آوری مناطق آسیب‌پذیر در برابر بلایای احتمالی تا حد زیادی کاهش داد [Ghobadi *et al.*, 2019].

به دلیل اهمیت مخاطره سیلاب در کشور، تاکنون مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است. *سومیا* و همکاران [Sowmya *et al.*, 2015]، در مقاله خود به این نتیجه دست یافته‌اند که در میان مناطق آسیب‌پذیر، مناطق با آسیب‌پذیری بسیار بالا و آسیب‌پذیری

بالا جمعاً ۴/۶٪ از مساحت کل شهر را تشکیل داده‌اند. *عابدینی* و *خوشنودی دلشاد* [Abedini & Khoshkhovi Delshad, 2016]، نشان داده‌اند که فاکتورهای شیب، میزان نفوذپذیری، سرعت جریان، فرسایش، زمان تمرکز، قدرت حمل آب‌های جاری و عامل سنگ‌شناسی بر میزان رواناب تاثیر دارند و از بیشترین میزان اهمیت در خطر وقوع سیلاب برخوردارند. *چراغی قلعه‌سری* و همکاران [Cheraghi Ghalehsari *et al.*, 2020]، دریافته‌اند که مدل ماشین بردار پشتیبان در حوضه نکارود دقت مناسبی در شناسایی پهنه‌های حساس سیلاب دارد. بر اساس مطالعه *امیدوارفر* و همکاران [Omidvarfar *et al.*, 2021]، نواحی مرکزی شهر تبریز در برابر سیلاب آسیب‌پذیری بالایی دارند و با نزدیک‌شدن به قسمت‌های حاشیه شهر آسیب‌پذیری به‌تدریج کمتر می‌شود. *فلیشمن* و همکاران [Fleischmann *et al.*, 2021] نشان داده‌اند که متغیرهای فاصله از رودخانه، توپوگرافی و بارش بیشترین تاثیر را در وقوع سیل در برزیل دارند. *احمد* و همکاران [Ahmed *et al.*, 2022] بیان داشته‌اند که استفاده از تقویت عمیق، شبکه عصبی یادگیری عمیق و شبکه عصبی مصنوعی در ارزیابی دقیق حساسیت به سیل کارآمد هستند و می‌توانند در سایر مناطق آسیب‌دیده از سیل اجرا شوند. مطالعه *سنایی فرد* و همکاران [Sanaifard *et al.*, 2023] نشان داده است که سیل‌بندهای ضلع شمال شهر با مسیل‌های موجود در شهر سبزوار منطبق نیست؛ به طوری که شبکه معابر شهری بیش از شبکه مسیل‌ها سبزوار در هدایت سیلاب شهری نقش دارند، پس نیاز است مسیل‌های مناسب به منظور هدایت آب‌های جاری و سیلاب‌ها در شهرستان سبزوار ایجاد شود تا نقش مسیل‌ها در هدایت سیل بیشتر از معابر شهری شود. *مبروک* و همکاران [Mabrouk *et al.*, 2024] نشان داده‌اند که در مساحت ساخته‌شده در شهر ساحلی اسکندریه مصر ۳۲/۳۰٪ از کل مساحت شهر تا سال ۲۰۲۳ احتمال وجود سیلاب با ریسک بالا وجود دارد. پیکربندی شهری مبتنی بر تخلخل و توزیع فضایی لکه‌های ساخته‌شده در هماهنگی با راه حل‌های مبتنی بر طبیعت برای شکل‌دهی برنامه‌ریزی شهری مقاوم در برابر سیل و موثر توصیه می‌شود. نتایج مطالعه *لتا* و همکاران [Leta *et al.*, 2024] نشان داده است که تجزیه و تحلیل نحو فضایی با اتصال فضایی بالا و پایین در دو محله شناسایی‌شده در شهر آداما (اتیوپی) بینش‌های مهمی را در مورد انعطاف‌پذیری سیل نشان می‌دهد. محله‌های با اتصال بالا، سیستم‌های خیابانی به‌هم‌پیوسته با فاصله خیابان‌های قابل مدیریت را به نمایش گذاشتند که جریان رواناب کارآمد و مدیریت موثر سیل را در طول رویدادهای سیل تسهیل می‌کرد. مناطق دارای پوشش گیاهی تا حد زیادی می‌تواند از آسیب‌پذیری بیشتر به مناطق مسکونی جلوگیری کند [Wang *et al.*, 2024]. نتایج یک مطالعه انجام‌شده در شهر پالرمو برای توسعه سناریوهای واکنش اضطراری برای بارندگی شدید ارایه شده است [Salvo *et al.*, 2024]. در نتیجه، این پژوهش پویایی پیچیده مدیریت جریان ترافیک را در میان تهدید فزاینده سیل نشان داده و بینش‌های ارزشمندی را برای رسیدگی به چالش‌های ناشی از بلایای ناشی از آب و هوا ارایه داد.

پژوهش حاضر با هدف شناسایی مسیر ورود آب‌های سطحی به داخل شهر و نقش معابر در هدایت آب‌های سطحی، شناسایی و بررسی نقاط آسیب‌پذیر شهر در مقابل سیل با استفاده از مدل RF و در نهایت شناسایی شریان‌های حیاتی آسیب‌پذیر در مواقع سیلاب انجام شد.



شکل ۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش‌شناسی

این پژوهش کاربردی در سال ۱۴۰۲ با مطالعه موردی شهر بجنورد به انجام رسید. شهر بجنورد با ۱۰۰ کیلومتر مربع وسعت در مرکز استان خراسان شمالی واقع شده است. طبق تقسیمات جدید کشوری در سال ۱۳۸۳ استان خراسان به سه استان خراسان رضوی، خراسان شمالی و خراسان جنوبی تقسیم شد. بجنورد از سمت شمال به جمهوری ترکمنستان، از شرق به شهرستان شیروان، از غرب به شهرستان مانه و سملقان و از جنوب شرق به شهرستان اسفراین و از جنوب غرب به شهرستان جاجرم محدود است. شهر بجنورد در طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه در جنوب رشته‌کوه کپه‌داغ و شرق رشته‌کوه آلاداغ و شمال رشته‌کوه البرز واقع شده است. ارتفاع بجنورد از سطح دریا ۱۰۷۰ متر و فاصله آن تا تهران ۸۲۱ کیلومتر است (شکل ۱) [Statistical Yearbook of Bojnurd Governorate, 2022].

جدول ۱) شاخص‌های مورد استفاده پژوهش حاضر

شاخص	نحوه به‌دست‌آوردن شاخص
توپوگرافی	مدل رقومی ارتفاع ۳۰متری ماهواره استر
شیب	مدل رقومی ارتفاع ۳۰متری ماهواره استر
جهت شیب	مدل رقومی ارتفاع ۳۰متری ماهواره استر
مسیل‌های شهر	نقشه توپوگرافی از سازمان نقشه‌برداری
تراکم آبراهه	مدل رقومی ارتفاع ۳۰متری ماهواره استر
فاصله از دشت‌های سیلابی	نقشه توپوگرافی از سازمان نقشه‌برداری
کاربری اراضی	نقشه آماده کاربری اراضی تصاویر سنتینل ۲
زمین‌شناسی	نقشه زمین‌شناسی از سازمان نقشه‌برداری
شاخص رطوبت توپوگرافی	مدل رقومی ارتفاع ۳۰متری ماهواره استر
شاخص انحنای زمین	مدل رقومی ارتفاع ۳۰متری ماهواره استر
شاخص اختلاف نرمال‌شده پوشش گیاهی	تصاویر سنتینل ۲
تراکم جمعیت	نقشه شهرداری بجنورد
تراکم مسکونی	نقشه شهرداری بجنورد
بارش	داده‌های سازمان هواشناسی کل کشور

داده‌های مورد استفاده در مطالعه حاضر به روش کتابخانه‌ای و اسنادی جمع‌آوری شد. در این پژوهش، ۱۴ شاخص برای بررسی میزان آسیب‌پذیری سیل در شهر بجنورد مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). به منظور ارایه راهکارهایی برای کاهش آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی شهر در برابر سیل از الگوریتم جنگل‌های تصادفی استفاده شد. مدل جنگل تصادفی دسته‌بندی را برای بسیاری از مجموعه داده‌ها با سرعت بالایی انجام می‌دهد. این الگوریتم از جمله دسته‌بندی‌هایی است که روش Bagging را به کار می‌گیرد. این روش ترکیبی از چند درخت تصمیم است که در ساخت آن چندین نمونه بوت استرپ از داده‌ها شرکت دارند. در ساخت هر درخت به طور تصادفی تعدادی از متغیرهای ورودی شرکت می‌کنند. با استفاده از روش بوت استرپ تعداد زیادی نمونه nتایی از مجموعه داده‌های مشاهداتی اولیه، نمونه‌برداری می‌شوند. هدف از اجرای بوت استرپ پیداکردن خطای واریانس برآوردگر با استفاده از تکرار مراحل نمونه‌گیری و برآوردیابی است. در هر بار تکرار بر اساس یک عمل باز، نمونه‌گیری از داده‌های مورد نظر دوباره محاسبه شود. در طی فرآیند ساخت درخت در هر شاخه، از بین تمام M متغیر مستقل به صورت تصادفی m متغیر برای تقسیم‌شدن انتخاب می‌شوند. برای حالت رگرسیونی نسبت m/M برابر با یک سوم است و برای کلاس‌بندی برابر با $m = \sqrt{M}$ پیشنهاد شده است. پس از ساخت تمام درخت داده‌های تست به تعداد درخت‌ها برای بردار ورودی به درخت معرفی شده و یک خروجی به‌دست می‌آید. با میانگین‌گیری این خروجی‌ها، خروجی نهایی مدل و با درنظرگرفتن توزیع تجربی خروجی‌ها مقادیر صدک‌ها و دامنه عدم قطعیت محاسبه می‌شود [Pahlavan Rad *et al.*, 2014].

شاخص IGR (Information Gain Ratio)

این شاخص اولین‌بار توسط کوویلین، ۱۹۹۳ برای تشخیص قابلیت پیش‌بینی کمّی عوامل موثر، پیشنهاد شد. مقادیر IGR بالاتر نشان‌دهنده توانایی پیش‌بینی بالاتر آن عامل موثر برای مدل‌سازی است. به منظور مدل‌سازی پهنه‌بندی وقوع سیل از عوامل مختلف از شاخص IGR استفاده شد.

اگر S داده‌های آموزشی و n نمونه ورودی و $n(L,S)$ تعداد نمونه در داده‌های آموزشی S متعلق به کلاس Li باشد در این صورت رابطه زیر را داریم (رابطه ۱):

$$Info(S) = -\sum_{i=1}^{2} \frac{n(L_i,S)}{|S|} log_2 \frac{n(L,S)}{|S|}$$ **رابطه ۱)**

با توجه به عوامل موثر بر وقوع سیلاب مقدار اطلاعات مورد نیاز برای تقسیم S به مجموعه S1، S2، Sn از رابطه ۲ برآورد شد:

$$Info(S,A) = \sum_{j=1}^{m} \frac{S_j}{|S|} Info(S)$$ **رابطه ۲)**

شاخص IGR برای تاثیر عوامل از رابطه ۳ برآورد می‌شود:

$$Information\ Gain\ Ratio\ (S,A) = \frac{Info(S) - Info(S,A)}{SplitInfo(S,A)}$$ **رابطه ۳)**

در این رابطه $SplitInfo$ نشان‌دهنده اطلاعات تولیدشده توسط تقسیم S داده‌های آموزشی m بر مجموعه $SplitInfo$ است (رابطه ۴) [Hosseini *et al.*, 2020].

$$SplitInfo(S,A) = -\sum_{j=1}^{m} \frac{S_j}{|S|} log_2 \frac{|S_j|}{|S|}$$ **رابطه ۴)**

یافته‌ها

عوامل تاثیرگذار در سیلاب

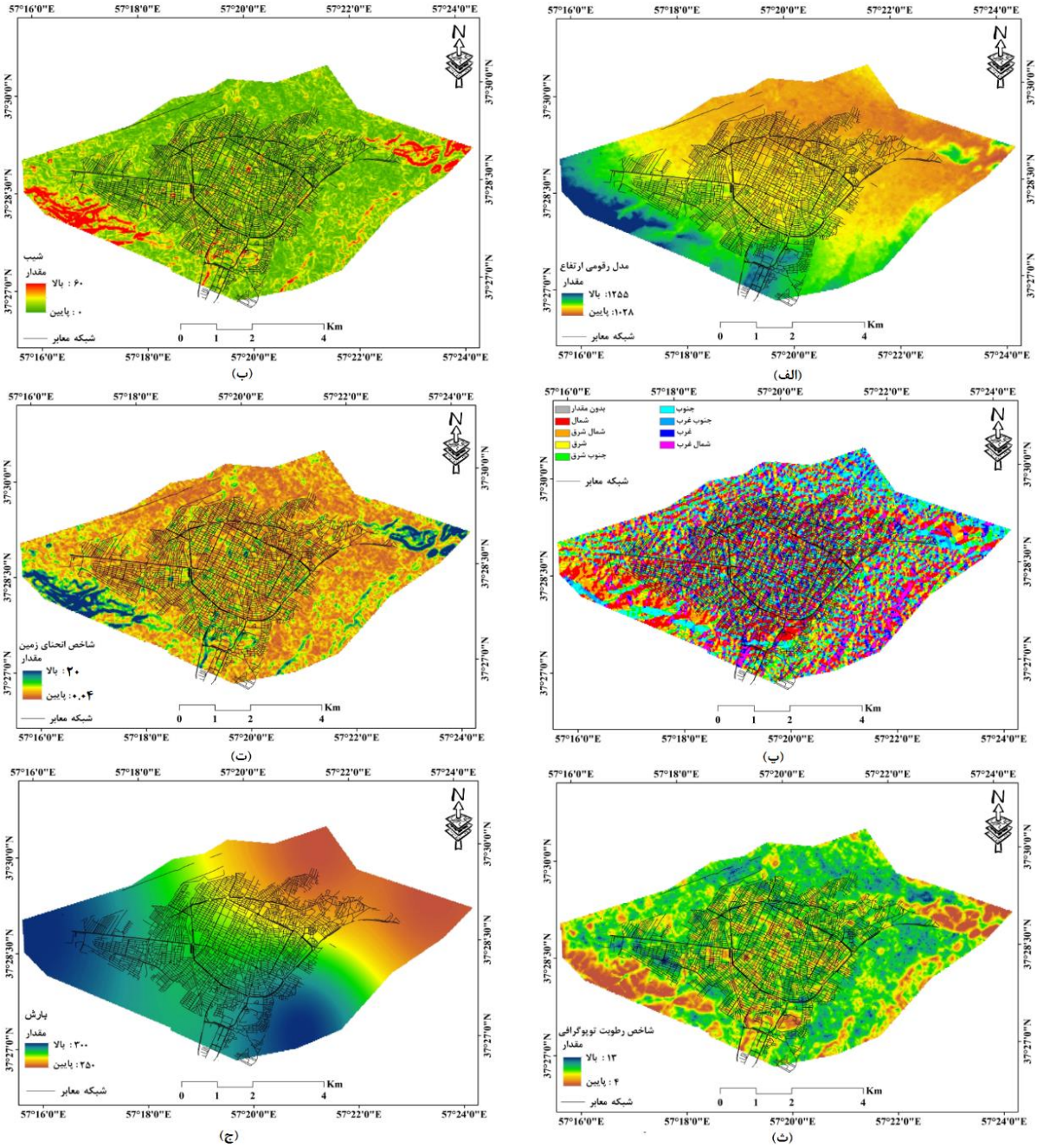
در مورد خطر سیل، نقاطی که ارتفاع بالاتری دارند نسبت به سایر نقاط با ارتفاع کم، کمتر در معرض خطر سیل‌گیری هستند. ارتفاع منطقه براساس مدل رقومی ارتفاع ۳۰متری ماهواره استر بین ۱۰۲۸ متر تا ۱۲۵۵ متر از سطح دریا متغیر بود. بیشترین ارتفاع منطقه در غرب و متمایل به جنوب و کمترین ارتفاع نیز در شمال و شرق محدوده

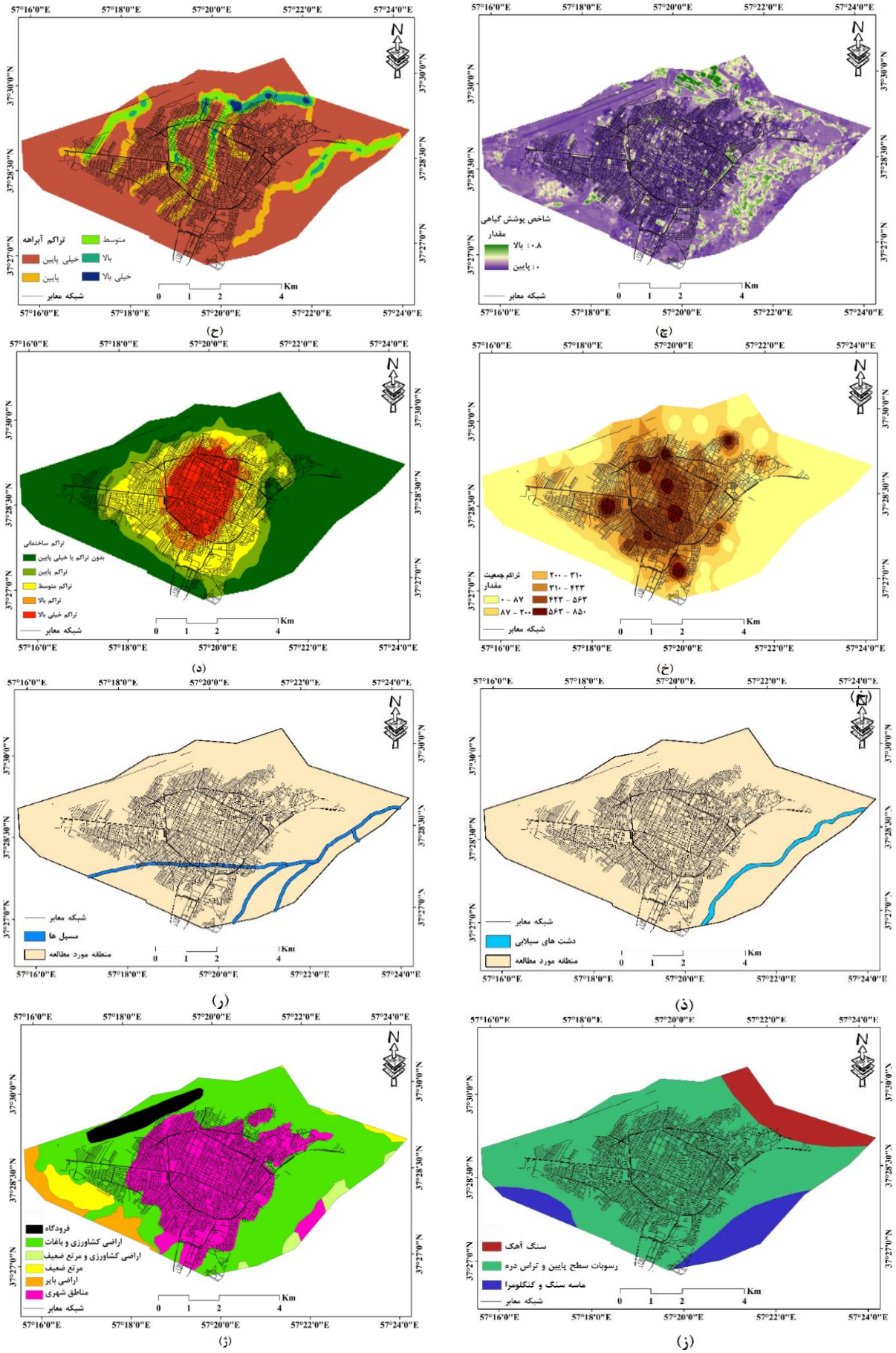
مورد مطالعه واقع شده بود. براساس مدل رقومی، ارتفاع بیشتر سطح مناطق شهر بجنورد در ارتفاع بین ۱۰۲۸ تا ۱۱۰۰ متر از سطح دریا واقع شده بود و بیشتر محدوده شهر در وضعیت با ارتفاع کمتر قرار داشت. در بررسی شیب در هر پیکسل نسبت به سطح به‌دست‌آمده از مدل رقومی ارتفاع و مقدار پیکسل‌ها بین ۰ تا ۱۰۰٪ و ۰ تا ۳۶۰ درجه متغیر بود. در محدوده مورد مطالعه یعنی شهر بجنورد شیب براساس مدل رقومی ارتفاع بین ۰ تا ۶۰٪ بود. بر اساس لایه همانند ارتفاع کمترین شیب در مرکز و شمال منطقه وجود داشت. با توجه به نقشه میزان بارش منطقه که با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های اطراف محدوده در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ به‌دست آمد، منطقه مورد مطالعه دارای بارش بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر بود. بیشتر سطح منطقه دارای بارش بیشتر از ۲۸۰ میلی‌متر بود.

با توجه به نقشه جهت شیب، بیشتر سطح منطقه دارای جهت جنوب بودند (شکل ۲).

شاخص دیگر مورد شاخص گیاهی تفاوت نرمال‌شده بود که نشانگر سلامت گیاه است و کاملاً بر اساس نحوه انعکاس ساختارهای سلولی امواج نور مختلف در نوارهای مرئی و مادون قرمز نزدیک است. به عبارت دیگر، به تشخیص و تعیین کمیت وجود پوشش گیاهی سبز زنده می‌گویند. این شاخص بین منفی یک و یک متغیر بود. اگر مقدار پوشش گیاهی نزدیک به ۱ باشد، احتمال اینکه برگ‌های سبز متراکم باشد، زیاد است. این شاخص در شهر بجنورد بین ۰ تا ۰/۸ بود که بیشترین مقدار شاخص در جنوب و شمال منطقه مشاهده شد. بیشتر وسعت منطقه دارای مناطق مسکونی بود و پوشش گیاهی سطح نسبتاً کمی را به خود اختصاص داده بود.

شهر بجنورد دارای کاربری مناطق شهری با مساحت زیاد، مناطق کشاورزی دیم و آبی، مراتع و غیره بود.





شکل ۲) عوامل تاثیرگذار بر سیلاب (الف: طبقات ارتفاعی؛ ب: شیب؛ پ: جهت؛ ت: انحنای زمین؛ ث: رطوبت توپوگرافی؛ ج: بارش؛ چ: پوشش گیاهی؛ ح: تراکم آبراهه؛ خ: تراکم جمعیت؛ د: تراکم مسکونی؛ ذ: دشت‌های سیلابی؛ ر: رطوبت مسیل‌ها؛ ز: زمین‌شناسی؛ ژ: کاربری اراضی)

شاخص رطوبت توپوگرافی، که نشان‌دهنده تغییرات مکانی رطوبت در یک حوضه است و با استفاده از مدل رقومی ارتفاع به‌دست آمده بین ۴ تا ۱۳ بود.

بیشترین تراکم ساختمانی و تراکم جمعیت در مرکز شهر بجنورد وجود داشت. نزدیکی به رودخانه‌ها از مهم‌ترین عوامل موثر بر آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب‌ها است و شکل ۲ تراکم و فاصله از رودخانه در حریم ۵۰۰ متری را نشان می‌دهد.

نقاط سیلابی و غیرسیلابی

جمع‌آوری داده‌های نمونه هنگام نقشه‌برداری خطر سیل برای ارزیابی عملکرد مجموعه‌های آزمایشی و آموزشی از اهمیت بالایی برخوردار است که تاثیر قابل توجهی بر کیفیت و قابلیت اطمینان نقشه خروجی دارد. در مطالعه حاضر، با توجه به سیل‌های اخیر رخداده در منطقه مورد مطالعه، ۲۰۰ داده نمونه از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا و داده‌های مشاهدات میدانی برای توسعه مدل RF جمع‌آوری شد. این نمونه‌ها از مناطق سیل‌زده و مناطق غیرسیلابی گرفته شد. متغیر خروجی دارای دو برچسب بود: مناطق غیرسیل‌گیر (۰) و مناطق سیل‌گیر (۱). در واقع، ۴۰۰ داده نمونه به طور مساوی از منطقه انتخاب شدند. از کل داده‌های نمونه، به‌ترتیب ۷۰٪ و ۳۰٪ از داده‌های نمونه برای مراحل آموزشی و تست در نظر گرفته شد.

عوامل موثر در سیلاب

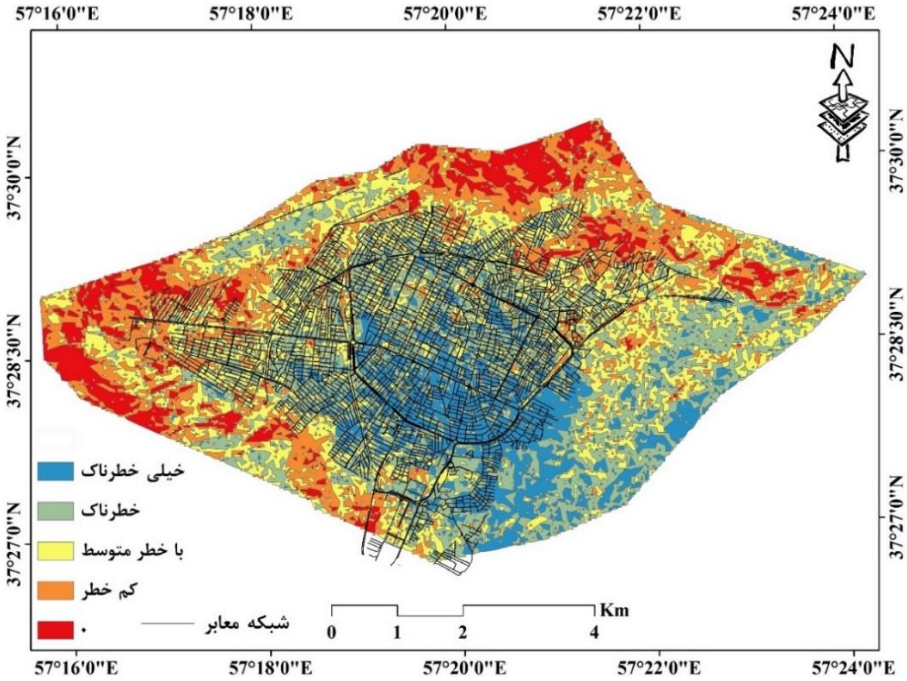
برای تعیین میزان اهمیت هر کدام از عوامل از شاخص IGR استفاده شد. تاثیرگذارترین شاخص‌ها به‌ترتیب ارتفاع، بارش و کاربری اراضی و کم‌تاثیرترین شاخص جهت بود (جدول۲).

مدل‌سازی سیلاب شهر بجنورد

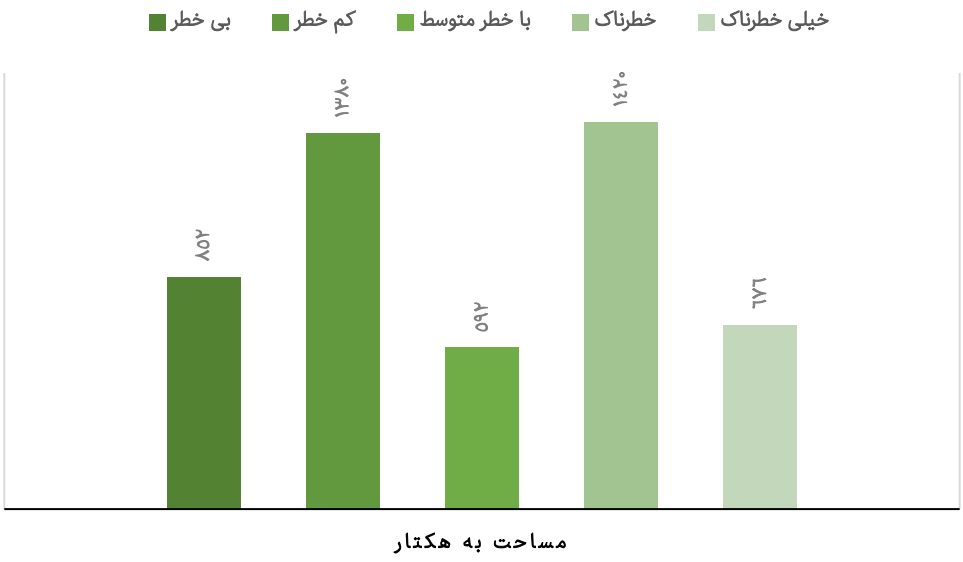
پس از طبقه‌بندی بر اساس الگوریتم RF، نقشه‌برداری نهایی خطر سیل تهیه شد و در نهایت بیشترین و کمترین مناطق خطر مشخص شد (شکل ۳). بی‌خطر (۰)، کم‌خطر (۰/۴-۰)، با خطر متوسط (۰/۶-۰/۴)، خطرناک (۰/۸-۰/۶)، خیلی‌خطرناک (۱-۰/۸). طبق نتایج بیشترین میزان خطر در جنوب و متمایل به مرکز شهر بجنورد قرار داشت. این مناطق که درصد بالای خطر را داشتند دارای ارتفاع کم و بدون پوشش گیاهی و مناطق مسکونی بودند. با توجه به نقشه‌برداری خطر سیل و توزیع کلاس خطر، مناطقی که نزدیک به رودخانه هستند و دارای ارتفاعات کم با پوشش گیاهی کم هستند، بیشترین خطر سیل و آب‌گرفتگی را دارند. کم‌خطرترین مناطق، مقادیر کم بارندگی، ارتفاع زیاد و بافت خاک با نفوذ زیاد داشتند. حدود ۱۳/۷۳٪ از منطقه مورد مطالعه در معرض بیشترین خطر، ۲۸/۶٪ در معرض خطر بالاتر، ۱۲/۰۳٪ در معرض خطر متوسط، ۲۸/۰۴٪ در معرض خطر کمتر و ۱۷/۳۱٪ دارای کمترین خطر بودند (شکل ۴). حدود ۵۰٪ از مناطق مسکونی در مناطق پرخطر واقع شده بودند که در صورت وقوع سیل منجر به خسارات جانی و مالی شدید می‌شود.

جدول ۲) ارزش هر کدام از شاخص‌ها در مدل RF

شاخص	ارزش
توپوگرافی	۰/۷۱
شیب	۰/۳۱
جهت شیب	۰/۰۱
مسیل‌های شهر	۰/۳۳
تراکم آبراهه	۰/۳
فاصله از دشت‌های سیلابی	۰/٤
کاربری اراضی	۰/٦٢
زمین‌شناسی	۰/٤٤
شاخص رطوبت توپوگرافی	۰/۲۸
شاخص انحنای زمین	۰/۲۵
شاخص نرمال‌شده اختلاف پوشش گیاهی	۰/۲
تراکم جمعیت	۰/۰۵
تراکم مسکونی	۰/۱
بارش	۰/٦٥



شکل ۳) نقشه خطر سیل در شهر بجنورد



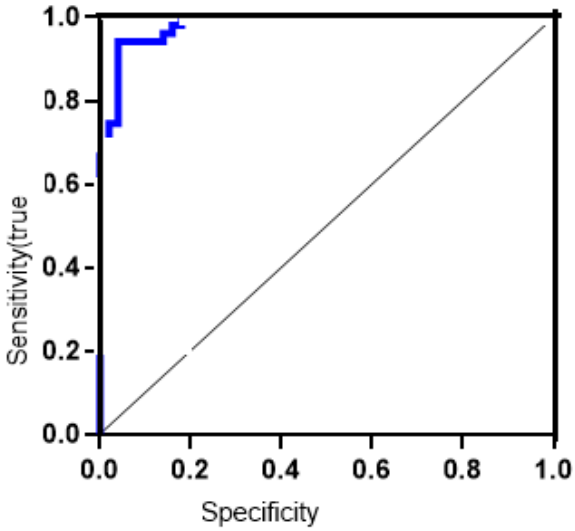
شکل ۴) درصد اراضی با ریسک کم تا زیاد سیلاب

ارزیابی عملکرد RF

ضریب کاپا در مرحله آموزشی ۹۵٪ و مرحله تست برابر با ۹۷٪ بود. همه این نتایج حاکی از دقت خوب خروجی کار است (جدول ۳ و شکل ۵).

جدول ۳) دقت در مدل RF

عامل ارزیابی	میزان دقت آموزشی	میزان دقت تست
Kappa	۰/۹۵	۰/۹۷
MAE	۰/۰۷	۰/۰۶
RMSE	۰/۱۵	۰/۱۳
ROC Area	۰/۹۶	۰/۹۸



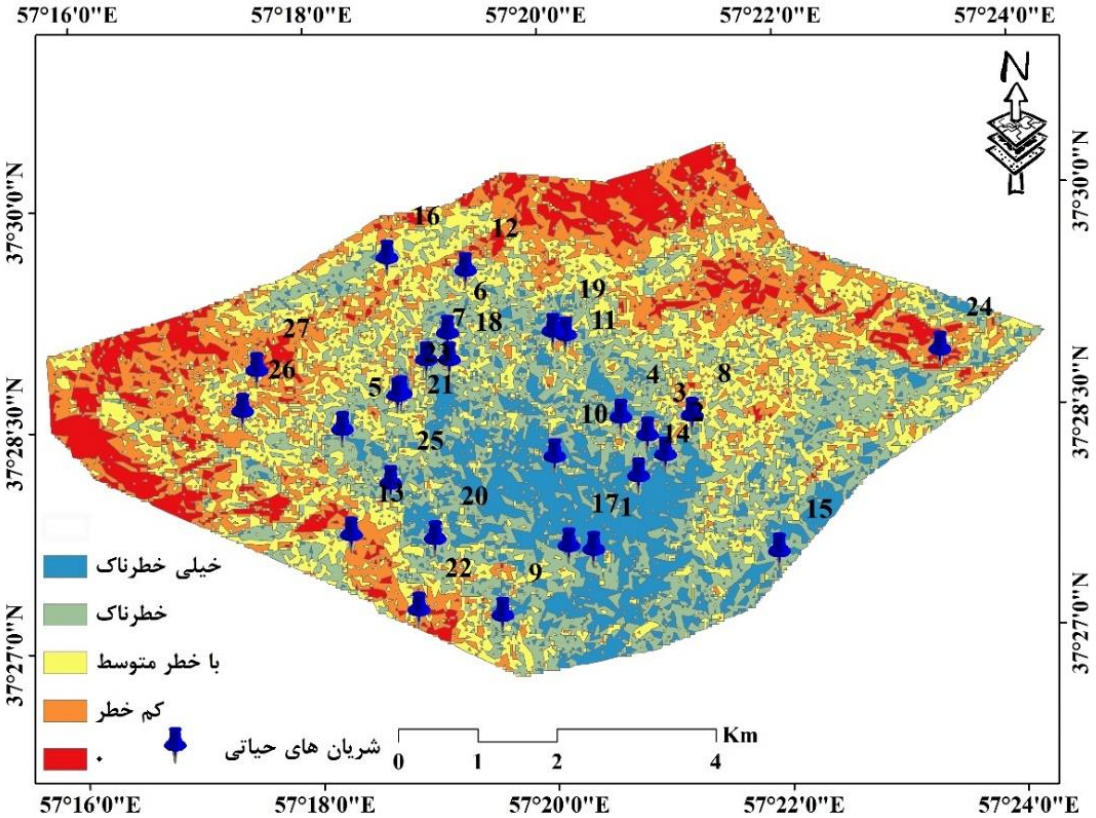
شکل ۵) منحنی ROC

بررسی سیلاب در شریان‌های حیاتی

بیشتر سطح منطقه به‌خصوص مناطق مسکونی در وضعیت خطر سیل قرار داشت. بررسی شریان‌های حیاتی نشان داد بیشتر شریان‌های حیاتی به‌خصوص در مناطق جنوب در وضعیت خطر سیلاب قرار دارند (جدول ۴، شکل ۶). همچنین برخی از شریان‌های حیاتی در وضعیت بدون خطر و متوسط سیل قرار داشتند.

جدول ۴) شریان‌های حیاتی طبق نقشه در شهر بجنورد

عدد روی نقشه	شریان‌های حیاتی
۱	اداره گاز
۲	اداره گاز
۳	اداره گاز
٤	اداره برق
٥	اداره برق
٦	اداره برق
۷	اداره آب و فاضلاب
۸	اداره آب و فاضلاب
۹	اداره آب و فاضلاب
۱۰	مخابرات
۱۱	آتش‌نشانی و خدمات ایمنی
۱۲	آتش‌نشانی و خدمات ایمنی
۱۳	آتش‌نشانی و خدمات ایمنی
۱٤	آتش‌نشانی و خدمات ایمنی
۱۵	حمل‌ونقل
۱٦	حمل‌ونقل
۱۷	مراکز بهداشتی
۱۸	مراکز بهداشتی
۱۹	مراکز بهداشتی
۲۰	مراکز بهداشتی
۲۱	مراکز بهداشتی
۲۲	مراکز بهداشتی
۲۳	مراکز بهداشتی
۲٤	مراکز نظامی
۲۵	مراکز نظامی
۲٦	مراکز نظامی
۲۷	مراکز نظامی



شکل ۶) نقشه خطر سیل در شریان‌های حیاتی

بحث

این پژوهش به منظور واسنجی و ارایه راهکارهایی برای کاهش آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی شهر در برابر سیل با استفاده از الگوریتم جنگل‌های تصادفی انجام شد.

شهرها به مثابه موجودات زنده هستند، همان گونه که موجودات زنده در دوران مختلف وضعیت‌ها و شرایط مختلفی را تجربه می‌کنند شهرها نیز در دوران مختلف حیات خود، با وضعیت‌های مختلفی روبه‌رو می‌شوند و این وظیفه برنامه‌ریزان و مدیران شهری است که برای هر یک از این وضعیت‌ها تدابیری بیاندیشند تا شهرها در مواجه با وضعیت‌های بحرانی ضرر کمتری متحمل شوند. شهرها در بهترین حالت در وضعیت عادی قرار دارند و زمانی که از وضعیت عادی خارج می‌شوند ۳ وضعیت را به‌ترتیب شدت دوری از وضعیت عادی تجربه می‌کنند: یا در وضعیت اضطرار قرار می‌گیرند یا در حالت بحران و در نهایت در صورت عدم کنترل وضعیت بحران، وضعیت فاجعه در شهر رخ می‌دهد. در این پژوهش به بررسی شریان‌های حیاتی سیل‌گیر شهر بجنورد پرداخته شد. سیل در فصول مختلف با مدت‌های مختلف رخ می‌دهد و باعث خسارت جدی به محیط زیست، حمل‌ونقل، اقتصاد، کشاورزی و زندگی مردم می‌شود. بنابراین شناسایی مناطق حساس به وقوع سیل به منظور مدیریت لازم برای کاهش خسارت سیل ضروری است. مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در سیل در شهر بجنورد ارتفاع، بارش و کاربری اراضی بودند. نتایج مشخص کرد که بیشتر مناطق مسکونی در وضعیت سیل‌گیری قرار دارند. در بررسی دقت و صحت مدل مشخص شد که مدل دارای کارایی بسیار خوبی در منطقه مورد مطالعه است. نتایج نشان داد که که حدود ۸۵۲ هکتار از منطقه مورد مطالعه دارای کمترین خطر، ۱۳۸۰ هکتار در معرض خطر کمتر، ۵۹۲ هکتار در معرض خطر متوسط، ۱۴۲۰ هکتار در معرض خطر بالاتر، ۶۷۶ هکتار دارای بیشترین خطر هستند.

نتایج نشان داد که شهر بجنورد سطوح مختلفی از اتصال فضایی را نشان می‌دهد. مناطق اتصال فضایی زیاد و پایین برای تجزیه و تحلیل بیشتر انتخاب شدند. محله‌های با اتصال بالا با سیستم‌های خیابانی به‌خوبی طراحی‌شده و به‌هم‌پیوسته با پوشش فاصله خیابانی قابل مدیریت مشخص شدند. این ویژگی‌ها به جریان ترافیک کارآمد، جریان روان آب طوفان، و مدیریت موثر خسارت ناشی از طغیان سیل در طول حوادث باران کمک می‌کند. استفاده از مصالح مختلف سطح خیابان نیز در تسهیل جریان ترافیک و کاهش خسارات ناشی از سیل و فرسایش ناشی از بارندگی شدید نقش داشت. علاوه بر این، وجود بلوک‌های کوتاه با ابعاد کوچک‌تر و تقاطع‌های مکرر بیشتر به زه‌کشی بهتر آب و کاهش خطر سیل کمک کرد. الگوی شبکه مشاهده‌شده در این محله‌ها با ایجاد مسیرهای زهکشی متعدد که به کاهش خطرات سیل در طول طغیان کمک می‌کند، امکان رواناب آب کارآمد را فراهم می‌کند. از سوی دیگر، محله‌هایی با اتصال فضایی کم سیل شهری را تشدید می‌کردند. فقدان اتصال و فراوانی خیابان‌های بن‌بست چالش‌هایی را برای تخلیه سیل ایجاد کرده و مانع از ارسال کمک‌ها به جوامع آسیب‌دیده در مواقع اضطراری می‌شد. اندازه بلوک‌های بلند مانع از

جریان طبیعی آب می‌شود و احتمال تجمع آب در هنگام بارش‌های شدید را افزایش می‌دهد. این مطالعه بینش‌های ارزشمندی را در مورد الگوی فضایی و مورفولوژی منطقه مورد مطالعه، با تمرکز بر عواملی که به تاب‌آوری در برابر حوادث سیل کمک می‌کنند، ارایه کرد. این پژوهش اهمیت شبکه‌های خیابانی به‌خوبی متصل، انتخاب دقیق مصالح سطح خیابان، قرارگیری ساختمان‌های استراتژیک، اندازه بلوک‌های کوتاه‌تر و الگوی شبکه‌ای با تقاطع‌های مکرر را در کاهش تاثیر سیل نشان داد. این یافته‌ها را می‌توان در سایر مناطق سیل‌خیز داخل شهر اعمال کرد و از افزایش سکونتگاه‌های غیررسمی در مناطق مستعد سیل در سراسر شهر و مناطق شهری به صورت مکانی برای کاهش آسیب‌پذیری‌های سیل خبر داد.

با توجه به موضوع که به بررسی عوامل موثر بر سیلاب، مدل‌سازی سیلاب و بررسی سیلاب در شریان‌های حیاتی پرداخت، ویژگی‌های توپوگرافی و ژئومورفولوژیکی شهر بجنورد به همراه سایر ویژگی‌های طبیعی و انسانی منطقه سبب شده که هر ساله و در فصول مختلفی از سال با سیلاب‌هایی در منطقه مورد مطالعه مواجه شویم. به نظر می‌رسد مشخص‌کردن بستر و حریم رودخانه‌ها و محاسبه دوره‌های مختلف بازگشت سیلاب به منظور پیش‌بینی وقوع سیلاب‌های منطقه به منظور مدیریت سیلاب منطقه می‌تواند تا حدی از میزان خسارت‌های سیلاب جلوگیری نماید. مکان‌یابی مناسب سازه‌های مقابله با سیل با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه در کنار درخت‌کاری و ایجاد پوشش گیاهی مناسب در مناطقی که به واسطه فعالیت‌های انسانی پوشش گیاهی آنها آسیب دیده است نیز می‌تواند راهکار دیگری در جهت کم‌کردن میزان خطر باشد. در بررسی تحقیقات دیگر همانند *فلیشمن* و همکاران [Fleischmann *et al.*, 2021]، *بستانی* و *جوانی* [Bostani & Javani, 2013] و *سنایی‌فرد* و همکاران [Sanaifard *et al.*, 2023] همانندی دارد. همسو با نتایج پژوهش حاضر، *عابدینی* و *خوشنودی دلشاد* [Abedini & Khoshkhovi Delshad, 2016] به این نتیجه رسیده‌اند که در رابطه با خطر وقوع سیلاب، فاکتورهای شیب، میزان نفوذپذیری، سرعت جریان، فرسایش، زمان تمرکز و قدرت حمل آب¬های جاری تابعی از شیب حوضه هستند. به‌طور مشابهی، *سنایی فرد* و همکاران [Sanaifard *et al.*, 2023] نشان داده‌اند اکثر نواحی شهری در خطر سیلاب قرار دارند.

پیشنهادات و محدودیت‌های پژوهش: مکان‌یابی مناسب سازه‌های مقابله با سیل با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه در کنار درختکاری و ایجاد پوشش گیاهی مناسب در مناطقی که به‌واسطه فعالیت‌های انسانی پوشش گیاهی آنها آسیب دیده است نیز می‌تواند راهکار موثری برای کم‌کردن میزان خطر باشد.

اما، عدم همکاری سازمان‌های مربوطه در رابطه با اخذ اطلاعات و کوچک‌بودن منطقه مورد مطالعه برای بررسی برخی از شاخص‌ها مانند شاخص‌های رطوبت، توپوگرافی و غیره از محدودیت‌های پژوهش حاضر است.

نتیجه‌گیری

ارتفاع، بارش و کاربری اراضی دارای تاثیر زیادی در وقوع سیل در شهر بجنورد دارند. بیشتر سطوح با کاربری مناطق مسکونی دارای ریسک بالای وقوع سیلاب هستند.

تشکر و قدردانی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تاییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

سهم نویسندگان: مهدی مباشری (نویسنده اول)، روش‌شناس/نگارنده بحث/تحلیلگر آماری (۳۵٪)؛ غلامرضا میری (نویسنده دوم)، نگارنده مقدمه/نگارنده بحث/روش‌شناس (۳۵٪)؛ زهرا شریفی‌نیا (نویسنده سوم)، نگارنده بحث/تحلیلگر آماری (۳۰٪)

منابع مالی: این پژوهش از محل درآمدهای شخصی به انجام رسید.

منابع

- Abedini M, Khoshkhovi Delshad A (2016). Investigating the factors affecting the occurrence of floods in the Hawaiq basin using the ANP model. Proceedings of the 1st International Conference on Iranian Natural Hazards and Environmental Crises, Strategies and Challenges. Ardabil: University of Mohaghegh Ardabili. [Persian]
- Ahmed N, Hoque MAA, Arabameri A, Pal SC, Chakrabortty R, Jui J (2022). Flood susceptibility mapping in Brahmaputra floodplain of Bangladesh using deep boost, deep learning neural network, and artificial neural network. Geocarto International. 37(25):8770-8791.
- Blaikie P, Cannon T, Davis I, Wisner B (2010). At risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters. 2nd edition. London: Routledge.
- Bostani A, Javani Kh (2013). Investigation and recognition of natural hazards (earthquake and flood) and its effects on the vulnerability of villages (case study of villages in Darab city). Proceedings of the second International Conference on Environmental Hazards. Tehran: Kharazmi University. [Persian]
- Chen W, Zhai G, Fan C, Jin W, Xie Y (2017). A planning framework based on system theory and GIS for urban emergency shelter system: A case of Guangzhou, China. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 23(3):441-456.
- Cheraghi Ghalehsari A, Habibnejad Roshan M, Roshun SH (2020). Flood susceptibility mapping using a Support Vector Machine models (SVM) and Geographic Information System (GIS). Journal of Natural Environment Hazards. 9(25):61-80. [Persian]
- Fleischmann AS, Fialho Brêda JP, Rudorff C, Dias de Paiva RC, Collischonn W, Papa F, et al (2021). River flood modeling and remote sensing across scales: Lessons from Brazil. In: Schumann GJP, editor. Earth observation for flood applications: Progress and perspectives. Amsterdam: Elsevier. p. 61-103.
- Ghobadi F, Khodashenas SR, Mosaedi A (2019). Comparison of uniform rainfall method and alternative block method in estimating runoff collecting system in order to control flood in urban areas with ASSA software (case study: Chehel Bazeh Golestan Basin). Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 13(5):1491-1503. [Persian]
- Hosseini FS, Choubin B, Mosavi A, Nabipour N,

[Persian]
- Saffari A, Ahmadabadi A, Sedighifar Z (2020). Flood risk analysis based on the WMS model in urban catchments (case study: Damand basins, Golabdareh and Saadabad, Tehran metropolitan area). Journal of Applied Research in Geographical Sciences. 20(57):317-334. [Persian]
- Salvo G, Karakikes I, Papaioannou G, Polydoropoulou A, Sanfilippo L, Brignone A (2024). Enhancing urban resilience: Managing flood-induced disruptions in road networks.
- Sanaifard A, Amirahmadi A, Zanganeh Y (2023). Reducing the vulnerability of vital arteries to flood (case study: Sabzevar County). Research and Urban Planning. 14(52):1-16. [Persian]
- Sowmya K, John CM, Shrivasthava NK (2015). Urban flood vulnerability zoning of Cochin City, southwest coast of India, using remote sensing and GIS. Natural Hazards. 75(2):1271-1286.
- Statistical Yearbook of Bojnurd Governorate (2022). Bojnurd: North Khorasan Standard General Administration. [Persian]
- Taherkhani M, Sojasi Qeydari H, Sadeghloo T (2012). Comparative assessment of ranking methods for natural disasters in rural regions (case study: Zanjan Province). Journal of Rural Research. 2(7):31-54. [Persian]
- Tehrany MS, Jones S, Shabani F (2019). Identifying the essential flood conditioning factors for flood prone area mapping using machine learning techniques. CATENA. 175:174-192.
- UNDRR (2015). The human cost of weather-related disasters 1995-2015. Geneva: United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- Wang Z, Li Z, Wang Y, Zheng X, Deng X (2024). Building green infrastructure for mitigating urban flood risk in Beijing, China. Urban Forestry & Urban Greening. 93:128218.
Shamshirband S, Darabi H, et al (2020). Flash-flood hazard assessment using ensembles and Bayesian-based machine learning models: Application of the simulated annealing feature selection method. Science of the Total Environment. 711:135161.
- Lee S, Kim JC, Jung HS, Lee MJ, Lee S (2017). Spatial prediction of flood susceptibility using random-forest and boosted-tree models in Seoul metropolitan city, Korea. Geomatics, Natural Hazards and Risk. 8(2):1185-1203.
- Leta BM, Adugna D, Wondim AA (2024). Comprehensive investigation of flood-resilient neighborhoods: The case of Adama City, Ethiopia. Applied Water Science. 14(2):14.
- Mabrouk M, Han H, Abdrabo KI, Mahran MGN, AbouKorin SAA, Nasrallah S, et al (2024). Spatial congruency or discrepancy? Exploring the spatiotemporal dynamics of built-up expansion patterns and flood risk. Science of the Total Environment. 915:170019.
- Omidvarfar S, Hosseini L, Fakhari Z, Ghanbari S (2021). Zoning and flood risk assessment in Tabriz city using Fuzzy AHP model. Proceedings of the 2nd International Conference and 5th National Conference on Natural Resources and Environment. Ardabil: University of Mohaghegh Ardabili. [Persian].
- Pahlavan Rad MR, Toomanian N, Khormali F, Brungard CW, Komaki CB, Bogaert P (2014). Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran. Geoderma. 232-234:97-106.
- Poortaheri M (2010). Application of multi attribute decision making methods in geography. 1st edition. Tehran: SAMT Publications. [Persian]
- Poortaheri M, Hajinejad A, Fatahi A, Nemati R (2014) Physical vulnerability assessment of rural habitats against natural hazards (earthquakes) with a decision model (KOPRS) (case study Chalan Cholan villages, Dorud Township). The Journal of Spatial Planning. 18(3):29-52.