Solutions for Reducing Vulnerability of Vital Arteries of cities to Floods (Case Study: Bojnourd City)

Abstract

Aims: Vital arteries or infrastructures are considered the fundamental foundations and frameworks of any society, encompassing all the necessary facilities and utilities for that community. According to the definition of the Canadian Social Security and Emergency Preparedness Organization, vital infrastructures are interconnected networks, facilities, and informational and physical services related to each other. If disrupted or destroyed, they will significantly impact the health, safety, security, and economy of the society. The aim of this research was to assess the flood risk and evaluate the vital arteries of Bojnourd city. The random forest algorithm model helps planners and managers to choose the best and most suitable solution and also its default estimators often produce good prediction results.

Methodology: This applied research was conducted in 1402 (Solar Hijri year) with a case study of Bojnourd city. The research is descriptive-analytical in terms of research method and applied in terms of purpose. To propose solutions for reducing the vulnerability of city arteries to floods, the Random Forest algorithm was utilized. After conducting studies, 100 flood-prone points and 100 flood-free maps were identified, and 14 effective factors in flooding, including 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, were used. The importance of each factor was calculated using the information gain ratio.

Results: According to the results, elevation, precipitation, and land use have a significant impact on flooding in Bojnourd city. Additionally, a study of 676 hectares was identified as having the highest flood risk and 852 hectares with the lowest risk. The results indicated that most of the residential areas have a high risk of flooding.

Conclusion: Proper location of flood control structures, considering the geomorphological characteristics of the region along with afforestation and creating suitable vegetation cover in areas damaged due to human activities, can be another solution to reduce the risk.

Keywords: Flood, Vital Arteries, Random Forest Algorithm, Bojnourd City

In Press

راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری شریان‌های حیاتی شهرها در برابر سیل (مورد مطالعه: شهر بجنورد)

چکیده

اهداف: شریان‌های حیاتی یا همان زیرساخت‌ها جزء بنیان‌های اصلی و چارچوب‌های پایه‌ای هر جامعه به شمار می‌آیند که در برگیرنده‌ی تمامی تأسیسات و تسهیلات مورد نیاز آن جامعه‌اند. طبق تعریف سازمان امنیت اجتماعی و آمادگی شرایط اضطرار کانادا، زیرساخت‌های حیاتی، شبکه‌ها، تأسیسات و سرویس‌های اطلاعاتی و فیزیکی مرتبط به یکدیگر هستند که اگر منقطع یا تخریب شوند، بر روی سلامتی، ایمنی، امنیت و اقتصاد جامع تأثیر جدی خواهند گذاشت. هدف از این تحقیق بررسی میزان خطر سیل و ارزیابی شریان‌های حیاتی شهر بجنورد با استفاده از الگوریتم جنگل‌های تصادفی بود. مدل الگوریتم جنگل‌های تصادفی به برنامه‌ریزان و مدیران کمک می‌کند تا بهترین و مناسب‌ترین راهکار وجود را انتخاب و همچنین هایپرپارامترهای پیش‌فرض آن اغلب نتایج پیش‌بینی خوبی را تولید می‌کنند.

روش‌شناسی: این تحقیق کاربردی در سال ۱۴۰۲ با مطالعه موردی شهر بجنورد به انجام رسید. تحقیق حاضر از نظر روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و از لحاظ هدف کاربردی است. برای ارائه راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری شریان‌های حیانی شهر در برابر سیل از الگوریتم جنگل‌های تصادفی استفاده شد. پس از بررسی‌های انجام شده 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: بر اساس نتایج، ارتفاع، بارش و کاربری اراضی دارای تاثیر زیادی در سیل در شهر بجنورد هستند. همچنین مطالعه ۶۷۶ هکتار در وضعیت بیشترین خطر سیل و ۸۵۲ هکتار نیز دارای کمترین خطر هستند. نتایج نشان داد که بیشتر سطح مناطق مسکونی دارای ریسک بالایی در مقابل سیلاب هستند.

نتیجه‌گیری: 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 آسیب‌دیده است نیز می‌تواند راهکار دیگری در جهت کم‌کردن میزان خطر باشد.

واژگان کلیدی: سیلاب، شریان‌های حیاتی، الگوریتم جنگل‌های تصادفی، شهر بجنورد

مقدمه

مخاطرات طبیعی با انواع گوناگون و گستره نفوذشان، به عنوان پدیده‌هایی تکرار شدنی 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 دراز مدت و حتی برگشت‌ناپذیر باشد. هیچ جامعه‌ای نمی‌تواند ادعای مصونیت از مخاطرات طبیعی را داشته باشد و انسان‌ها همواره با تأثیرات ذهنی و عینی زیان‌بار آن مواجه‌اند. وقوع مخاطرات طبیعی منجر به بروز تغییرات در شرایط زیست محیطی می‌شود که این نیز به نوبه خود به گسسته شدن روند زندگی عادی مردم و بروز تأثیرات مخرب بر سکونتگاه‌های آنها می‌انجامد و خسارت‌های اقتصادی و اجتماعی و محیطی گسترده‌ای را بر جوامع تحمیل می‌کند [Weissner *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 جامعه‌ی روستایی اثر می‌گذارند [Poortaheri *et al*., 2015]. بخش عمده مخاطرات طبیعی مرتبط با فرآیندهای ژئومورفولوژیکی ناشی از خطرات ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و اتمسفری است. در این میان پدیده سیل جزو ویرانگرترین مخاطرات طبیعی مرتبط با عوامل ژئومورفولوژیکی به شمار می‌آید [Bostani & Javani, 2013].

سیل از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی می‌باشد که در صورت وقوع، منجر به خسارت‌های فراوانی می‌شود. بر اساس آمار سازمان ملل در حدود ۲/۳ میلیارد نفر در جهان تحت‌تأثیر آثار ناشی از آن می‌باشند [United Nations Climate, 2015]. به طوریکه 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 [Poortaheri *et al*., 2012]. یکی از مسائل 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]. جاری شدن سیل یکی از مخاطرات مهم طبیعی است که بسیاری از نقاط جهان از جمله کشورهای توسعه یافته را تحت‌تأثیر قرار داده است [Saffari *et al*., 2020]. چندین تحقیق گزارش می‌دهند که سیل سالانه حدود ۲۰۰ میلیون نفر را در مقیاس جهانی تحت‌تأثیر 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، تغییرات آب و هوایی، خطر سیل در سراسر جهان در حال افزایش است. امروزه سیل فاجعه طبیعی مکرر و پر هزینه در جهان از نظر خسارت می‌باشد. با در نظر

In Press

گرفتن افزایش خطر سیل در سراسر جهان، مزایای سرمایه‌گذاری در مقاوم سازی در برابر بلایا باید مورد کاوش قرار گیرد. اگرچه نمی‌توان از وقوع سیل جلوگیری کرد، اما می‌توان تأثیر آن را با ارزیابی میزان تاب آوری مناطق آسیب‌پذیر در برابر بلایای احتمالی تا حد زیادی کاهش داد [Ghobadi *et al.*, 2019].

به‌دلیل اهمیت مخاطره سیلاب در کشور تاکنون مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است از جمله: *سومیا* و همکاران [Sowmya *et al.*, 2015]، در مقاله‌ای با عنوان پهنه‌بندی آسیب‌پذیری سیل شهری در ساحل جنوب غربی هند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های هیدرولوژیکی از طریق استفاده از ارزیابی چندمعیاره در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با بهره‌گیری از تصاویر سنجش از دور به این نتیجه دست یافتند که در میان مناطق آسیب‌پذیر، مناطق با آسیب‌پذیری بسیار بالا و آسیب‌پذیری بالا جمعا ۴/۶ درصد از مساحت کل شهر را تشکیل داده‌اند. *عابدینی* و *خوشنودی دلشاد* [Abedini & Khoshkhovi Delshad, 2016]، به بررسی عوامل موثر بر وقوع سیل در حوضه حویق با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که در رابطه با خطر وقوع سیلاب, فاکتور شیب که نتیجه اختلاف ارتفاع نسبت به فاصله افقی است، میزان نفوذپذیری، سرعت جریان، فرسایش، زمان تمرکز و قدرت حمل آب‌های جاری تابعی از شیب حوضه می باشند که با مقدار (۰/۳۴۱) و عامل سنگ شناسی که شرایط نفوذ آب به داخل زمین را فراهم می‌کند و بر میزان رواناب تاثیر دارد با مقدار (۰/۲۸۷) از بیشترین میزان اهمیت برخوردارند. *چراغی قلعه‌سری* و همکاران [Cheraghi Ghalehsari *et al.*, 2020]، در پژوهشی جهت شناسایی مناطق حساس به سیل‌گیری با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان در حوضه نکارود به این نتایج دست یافتند که مدل مذکور دقت مناسبی در شناسایی پهنه‌های حساس سیلاب در منطقه مورد مطالعه دارد. امیدوارفر و همکاران [Omidvarfar *et al.*, 2021]، به پهنه‌بندی و ارزیابی مخاطره سیل در شهر تبریز با استفاده از مدل سلسله‌مراتبی-فازی پرداختند. نقشه نهایی آسیب پذیری شهر تبریز در مقابل مخاطره سیل حاکی از آن است نواحی مرکزی این شهر در برابر سیلاب آسیب پذیری بالایی دارند و با نزدیک شدن به قسمت‌های حاشیه تبریز آسیب پذیری به‌تدریج کمتر می‌شود. *ایان* [Ayan *et al.*, 2021]، در پژوهشی به مدل‌سازی سیل رودخانه‌ای با استفاده از سنجش از دور در برزیل پرداخته است. نتایج مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد متغیرهای فاصله از رودخانه، توپوگرافی و بارش بیشترین تأثیر را در وقوع سیل در برزیل دارند. *احمد* و همکاران [Ahmed *et al.*, 2022]، به بررسی حساسیت دشت سیلابی در منطقه بنگلادش را با استفاده از تقویت عمیق، شبکه عصبی یادگیری عمیق و شبکه عصبی مصنوعی ارزیابی می کند. نتایج نشان داد که روش‌های بررسی حساسیت سیل پیشنهادی در ارزیابی دقیق حساسیت به سیل کارآمد هستند و می‌توانند در سایر مناطق آسیب‌دیده از سیل اجرا شوند. *سنایی فرد* و همکاران [Sanaifard *et al.*, 2023]، به بررسی سیلاب و عومل موثر در وقوع آن‌ها و در نهایت شناسایی مناطق مستعد سیلاب با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان جهت کاهش بحران و آسیب‌پذیری سیلاب شهری در شهر سبزوار پرداختند. نتایج نشان داد که سیل‌بندهای ضلع شمال شهر با مسیل‌های موجود در شهر سبزوار منطبق نمی‌باشد به طوری که شبکه معابر شهری بیش از شبکه مسیل‌ها سبزوار در هدایت سیلاب شهری نقش دارند، پس نیاز است مسیل‌های مناسب جهت هدایت آب‌های جاری و سیلاب‌ها در شهرستان سبزوار ایجاد شود تا نقش مسیل‌ها در هدایت سیل بیشتر از معابر شهری گردد. مبروک و همکاران [Mabrouk et al., 2024]، به بررسی پویایی مکانی و زمانی الگوهای گسترش ساخته شده و خطر سیل در شهر ساحلی اسکندریه مصرپرداخته اند. نتایج نشان می‌دهد که مساحت ساخته شده ۳۲,۳۰ درصد از کل مساحت شهر را تا سال ۲۰۲۳ احتمال وجود سیلاب با ریسک بالا وجود دارد. پیکربندی شهری مبتنی بر تخلخل و توزیع فضایی لکه‌های ساخته‌شده در هماهنگی با راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت برای شکل‌دهی برنامه‌ریزی شهری مقاوم در برابر سیل و موثر توصیه می‌شود. *مرگا لتا* و همکاران [Merga Leta *et al.*, 2024]، به بررسی جامع محله های مقاوم در برابر سیلدر شهر آداما (اتیوپی) پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که دو محله شناسایی شده از طریق تجزیه و تحلیل نحو فضایی با اتصال فضایی بالا و پایین، بینش های مهمی را در مورد انعطاف پذیری سیل نشان می دهد. محله‌های با اتصال بالا، سیستم‌های خیابانی به‌هم‌پیوسته با فاصله خیابان‌های قابل مدیریت را به نمایش گذاشتند که جریان رواناب کارآمد و مدیریت مؤثر سیل را در طول رویدادهای سیل تسهیل می‌کرد. *وانگ* و همکاران [Wang *et*

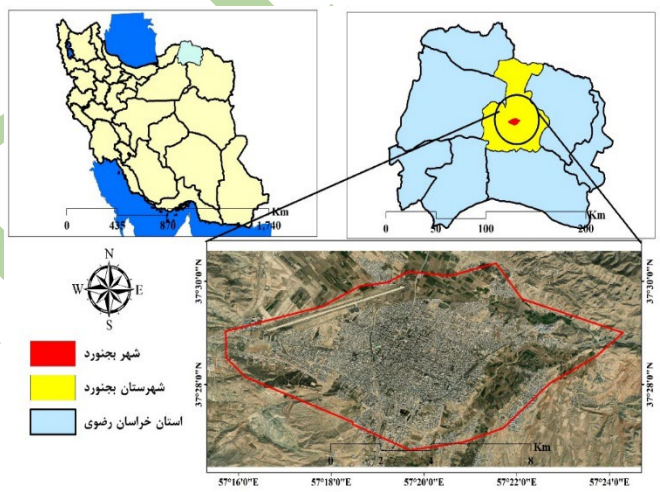
In Press

al., 2024]، این پژوهش به اجرا و بررسی زیرساخت های سبز شهری و تاثیر آن بر کاهش سیلاب پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان داد که مناطق دارای پوشش گیاهی تا حد زیادی می تواند از آسیب پذیری بیشتر به مناطق مسکونی جلوگیری کند. *سالوو* و همکاران [Salvo *et al.*, 2024]، به بررسی افزایش تاب آوری شهری در برابر سیل پرداختند. نتایج یک مطالعه انجام شده در شهر پالرمو برای توسعه سناریوهای واکنش اضطراری برای بارندگی شدید ارائه شده است. در نتیجه، این تحقیق پویایی پیچیده مدیریت جریان ترافیک را در میان تهدید فزاینده سیل نشان می‌دهد و بینش‌های ارزشمندی را برای رسیدگی به چالش‌های ناشی از بلایای ناشی از آب و هوا ارائه می‌دهد.

اهداف اساسی که مورد بررسی این پژوهش عبارت بودند از: ۱- شناسایی مسیر ورود آب‌های سطحی به داخل شهر و نقش معابر در هدایت آب‌های سطحی؛ ۲- شناسایی و بررسی نقاط آسیب‌پذیر شهر در مقابل سیل با استفاده از مدل RF؛ ۳- شناسایی شریان‌های حیاتی آسیب‌پذیر در مواقع سیلاب.

مواد و روش‌ها

این تحقیق کاربردی در سال ۱۴۰۲ با مطالعه موردی شهر بجنورد به انجام رسید. شهر بجنورد با ۱۰۰ کیلومترمربع 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 وسملقان 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 می‌باشد [Statistical Yearbook of Bojnurd Governorate, 2022].



شکل ۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر از نظر روش تحقیق توصیفی- تحلیلی و لحاظ هدف کاربردی است. روش گردآوری داده‌ها، کتابخانه‌ای و اسنادی است. در این تحقیق از ۱۴ شاخص برای بررسی میزان آسیب‌پذیری سیل در شهر بجنورد مورد استفاده قرار گرفته است. در جدول ۱ شاخص‌های مورد استفاده این تحقیق را نشان می‌دهد. . جهت ارائه راهکارهای برای کاهش آسیب‌پذیری شریان‌های حیانی شهر در

برابر سیل از الگوریتم جنگل‌های تصادفی استفاده شد. مدل جنگل تصادفی برای بسیاری از مجموعه داده‌ها، دسته‌بندی را با سرعت بالایی انجام می‌دهد. این الگوریتم از جمله دسته بندی‌هایی 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 بوتاسترپ تعداد زیادی نمونه n تایی ز مجموعه داده‌های مشاهداتی اولیه، نمونه‌برداری می‌شوند. هدف از اجرای بوت استرپ پیدا کردن خطای واریانس برآوردگر با استفاده از تکرار مراحل نمونه‌گیری و برآورد یابی است. در هر بار تکرار بر اساس یک و عمل باز نمونه‌گیری از داده‌ها، برآوردگر مورد نظر محاسبه شود. در طی فرآیند ساخت درخت در هر شاخه، از بین تمام M متغیر مستقل به صورت تصادفی m متغیر برای تقسیم شدن انتخاب می‌شوند. برای حالت رگرسیونی نسبت m/M برابر با یک سوم است و برای کلاس بندی 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 به دست می‌آید. با میانگین‌گیری این خروجی‌ها، خروجی نهایی مدل و با در نظر گرفتن توزیع تجربی خروجی‌ها مقادیر صدکها و دامنه عدم قطعیت محاسبه می شود[Pahlavan Rad et al., 2014].

شاخص IGR (Information Gain Ratio)

این شاخص اولین بار توسط کوویلین، ۱۹۹۳ برای تشخیص قابلیت پیش بینی کمی عوامل موثر استفاد، پیشنهاد شد. مقادیر IGR بالاتر نشان‌دهنده توانایی پیش بینی بالاتر آن عامل موثر برای مدل‌سازی است. به‌منظور مدل‌سازی پهنه‌بندی وقوع سیل از عوامل مختلف از شاخص IGR استفاده شد.

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

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

رابطه ۱)

با توجه به عوامل موثر بر وقوع سیلاب مقدار اطلاعات مورد نیاز برای تقسیم S ب مجموعه‌ای S1,S2,Sn از رابطه زیر برآورد شد:

$$Info\left(S,A\right)=\sum_{j=1}^{m}\frac{S_j}{|S|}Info\left(S\right)$$

رابطه ۲)

شاخص IGR برای تأثیر عوامل از رابطه زیر برآورد می‌شود:

$$Information\ \ Gain\ \ Ratio\left(S,A\right)=\frac{Info\left(S\right)-Info\left(S,A\right)}{SplitInfo\left(S,A\right)}$$

رابطه ۳)

در این رابطه $SplitInfo$ نشان دهنده اطلاعات تولید شده توسط تقسیم S داده‌های آموزشی m زبر مجموعه $SplitInfo$ است[Hosseini *et al.*, 2020].

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

رابطه ۴)

In Press

جدول ۱) شاخص‌های مورد استفاده این تحقیق

ردیف	شاخص	نحوه بدست آوردن شاخص
۱	**توپوگرافی**	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر
۲	**شیب**	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر
۳	**جهت شیب**	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر
۴	**مسیل های شهر**	نقشه توپوگرافی از سازمان نقشه برداری
۵	**تراکم آبراهه**	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر
۶	**فاصله از دشت های سیلابی**	نقشه توپوگرافی از سازمان نقشه برداری
۷	**کاربری اراضی**	نقشه آماده کاربری اراضی تصاویر سنتینل ۲
۸	**زمین شناسی**	نقشه زمین شناسی از سازمان نقشه‌برداری
۹	**شاخص رطوبت توپوگرافی**	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر
۱۰	**شاخص انحنای زمین**	مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر
۱۱	**شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی**	تصاویر سنتینل ۲
۱۲	**تراکم جمعیت**	نقشه شهرداری بجنورد
۱۳	**تراکم مسکونی**	نقشه شهرداری بجنورد
۱۴	**بارش**	داده های سازمان هواشناسی کل کشور

یافته‌ها

عوامل تأثیر گذار در سیلاب

ارتفاع یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع سیل است. ارتفاع و شیب متغیرهای توپوگرافی هستند که اغلب برای مدل‌سازی خطر سیل استفاده می‌شوند [Lee *et al.*, 2017; Tehrany *et al.*, 2019; Bui *et al.*, 2020]. در مورد خطر سیل، نقاطی که ارتفاع بالاتری دارند نسبت به سایر نقاط با ارتفاع کم کمتر در معرض خطر کمتر سیلگیری هستند. ارتفاع منطقه بر اساس مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری ماهواره استر بین ۱۰۲۸ متر تا ۱۲۵۵ متر از سطح دریا متغیر است. بیشترین ارتفاع منطقه در غرب و متمایل به جنوب و کمترین ارتفاع نیز در شمال و شرق محدوده مورد مطالعه واقع شده است. در شهر بجنورد بر اساس مدل رقومی ارتفاع بیشتر وسعت منطقه در ارتفاع بین ۱۰۲۸ تا ۱۱۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. همانطور که ذکر شد هر مناطق پست تر باشند بیشتر دچار سیل گیری خواهند شد. طبق لایه بیشتر محدوده شهر بجنورد در وضعیت با ارتفاع کمتر قرار دارد.

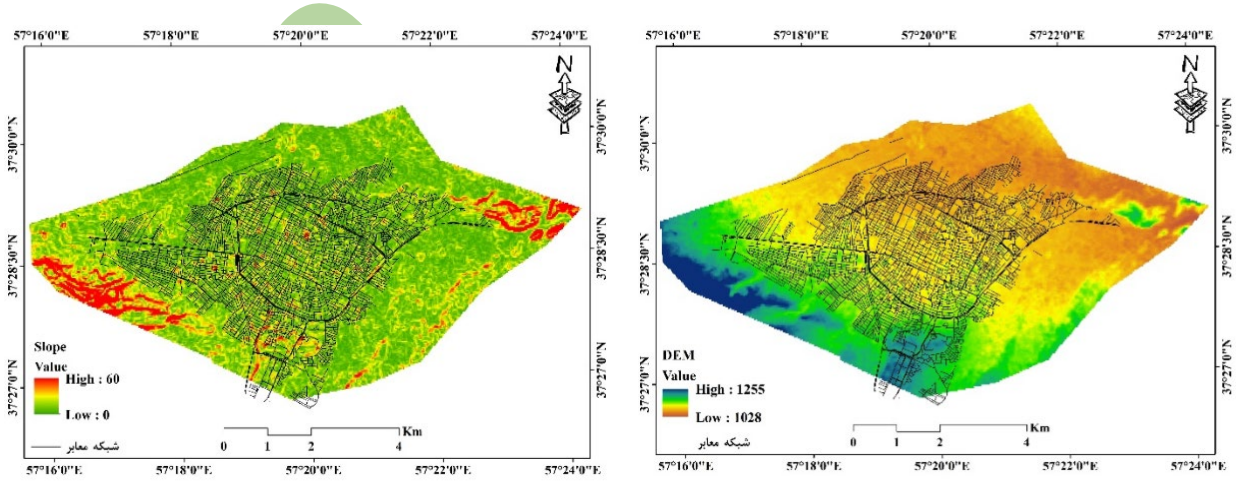
شیب مستقیماً به سرعت رواناب سطحی و نفوذ عمودی کمک می‌کند و در نتیجه بر حساسیت سیل تأثیر می‌گذارد [Bui *et al.*, 2020]. در بررسی شیب در هر پیکسل نسبت به سطح به دست آمده از مدل رقومی ارتفاع و مقدار پیکسل‌ها بین ۰ تا ۱۰۰ درصد و ۰ تا ۳۶۰ درجه متغیر است. در این عامل مناطقی که شیب ملایم دارند بیشتر در وضعیت سیل گیری قرار می گیرند. این شاخص دارای نقش مهمی با توجه به با توجه به مکانیسم‌های آب و جریان آن در مناطق با شیب تند و ملایم است. در محدوده مورد مطالعه ما یعنی شهر بجنورد شیب بر اساس مدل رقومی ارتفاع بین ۰ تا ۶۰ درصد می باشد. بر اساس لایه همانند ارتفاع کمترین شیب در مرکز و شمال منطقه وجود دارد. بیشتر سطح منطقه شهر بجنورد دارای ارتفاع ۰ تا ۲۵ درصد هستند. سیل‌ها اغلب توسط طوفان‌های شدید و کوتاه و باران‌های رگباری ایجاد می‌شوند. بین بارندگی و وقوع سیلاب رابطه قوی وجود دارد [Rahmati & Pourghasemi, 2017]. با توجه به نقشه میزان بارش منطقه که با استفاده از داده های هواشناسی ایستگاه های اطراف محدوده در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ بدست آمده است. طبق نتایج منطقه مورد مطالعه دارای بارش بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلیمتر هستند. بیشتر سطح منطقه دارای بارش بیشتر از ۲۸۰ میلیمتر است.

جهت شیب به عنوان جهت حداکثر شیب سطح زمین تعریف می‌شود که در اکثر مطالعات سیلاب به عنوان یک پارامتر مهم حساسیت به سیل در نظر گرفته شده است. با توجه به نقشه جهت بیشتر منطقه دارای جهت جنوب هستند. شاخص دیگر مورد بررسی شاخص پوشش گیاهی است. به بیان ساده، شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده نشانگر سلامت گیاه است که 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 می کند. این شاخص بین منفی یک و یک متغیر است. اگر مقدار پوشش گیاهی نزدیک به ۱ باشد، احتمال اینکه برگ‌های سبز متراکم باشد، زیاد است. طبق نتایج این شاخص در شهر بجنورد میزان شاخص بین ۰ تا ۰/۸ است. بیشترین مقدار شاخص در جنوب و شمال منطقه با توجه به وجود رودخانه ها در این منطقه است. بیشتر منطقه هم دارای پوشش گیاهی زیادی نیست زیرا بیشتر وسعت منطقه دارای مناطق مسکونی است. پوشش گیاهی بخصوص پوشش گیاهی انبوه یا همان جنگل و باغات تا حد زیادی می تواند باعث کاهش موج سیلاب یا عدم رخ داد سیلاب شود.

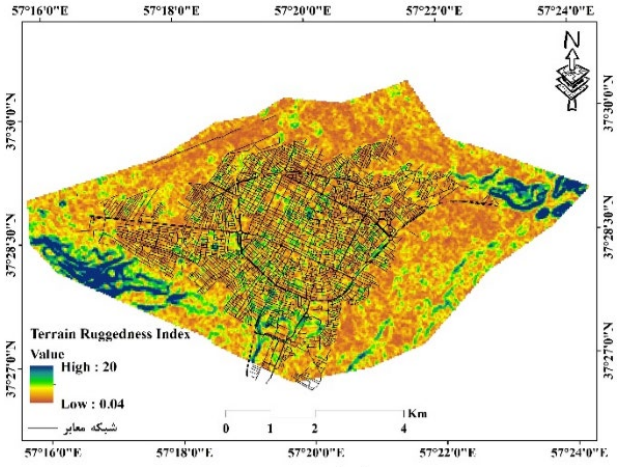
کاربری اراضی نقش بسزایی در سرعت رواناب، رهگیری، نفوذ و انتقال تبخیر دارد. وقوع سیل در مناطق با ویژگی‌های متفاوت عملکرد متفاوتی را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، مکانیسم سیل در مناطق شهری، مناطق دارای پوشش گیاهی و مناطقی با بافت خاک و سنگ بسیار متفاوت است. در شهر بجنورد دارای کاربری مناطق شهری با مساحت زیاد، مناطق کشاورزی دیم و آبی، مراتع و غیره است. وضعیت زمین‌شناسی به دلیل تأثیر مستقیم بر میزان نفوذپذیری و رواناب سطحی، یکی از عوامل مهم در پدیده سیل حوضه‌های آبخیز است. این شاخص که تأثیر مهمی در وقوع سیل دارد، نشان دهنده نوع خصوصیات ذرات خاک است.

شاخص رطوبت توپوگرافی این پارامتر نشان دهنده تغییرات مکانی رطوبت در یک حوضه است. به عبارت دیگر، این شاخص میزان تجمع آب را در هر اندازه پیکسلی از حوضه نشان می‌دهد. این شاخته با استفاده از مدل رقومی ارتفاع بدست آمده است بین ۴ تا ۱۳ می‌باشد.

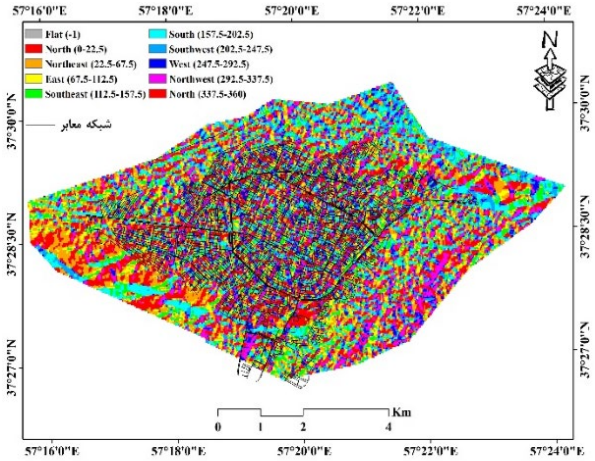
دو شاخص دیگر مورد بررسی تراکم ساختمانی و تراکم جمعیت است. این دو شاخص که در زمان سیلاب می تواند باعث ایجاد مشکل بخصوص برای امدادرسانی شود. طبق نتایج بیشترین تراکم در مرکز شهر بجنورد وجود دارد. نزدیکی به رودخانه‌ها از مهم‌ترین عوامل موثر بر آسیب پذیری ناشی از سیلاب‌ها است چرا که در فصول پربارش، با طغیان رودخانه‌ها جریان‌های آب جاری شده پهنه‌های آغازین وقوع سیلاب‌ها هستند. در شکل (۲)، زیر تراکم و فاصله از رودخانه که حریم ۵۰۰ متر هست را نشان می‌دهد.



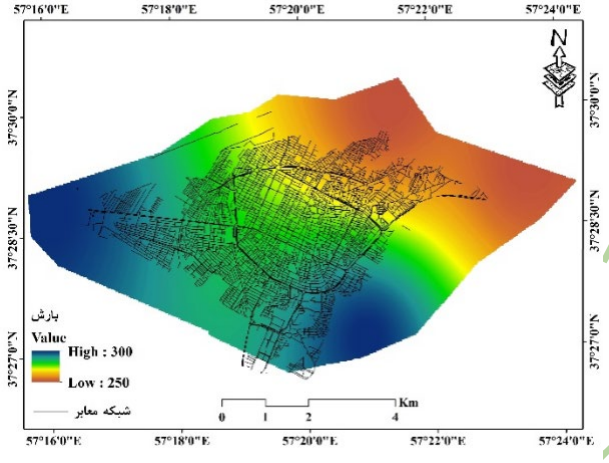
(الف) (ب)


Terrain Ruggedness Index
Value
High : 20
Low : 0.04
شبکه معابر
Km

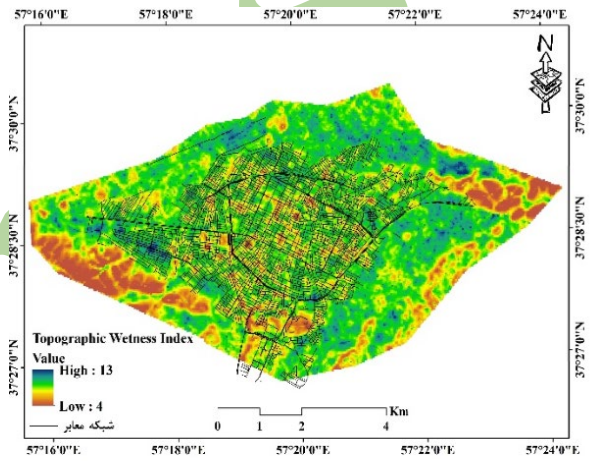
(ت)


Flat (-1)
North (0-22.5)
Northeast (22.5-67.5)
East (67.5-112.5)
Southeast (112.5-157.5)
South (157.5-202.5)
Southwest (202.5-247.5)
West (247.5-292.5)
Northwest (292.5-337.5)
North (337.5-360)
شبکه معابر
Km

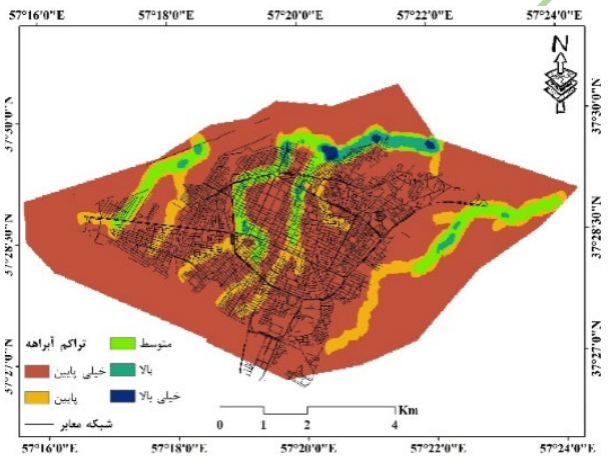
(پ)


بارش
Value
High : 300
Low : 250
شبکه معابر
Km

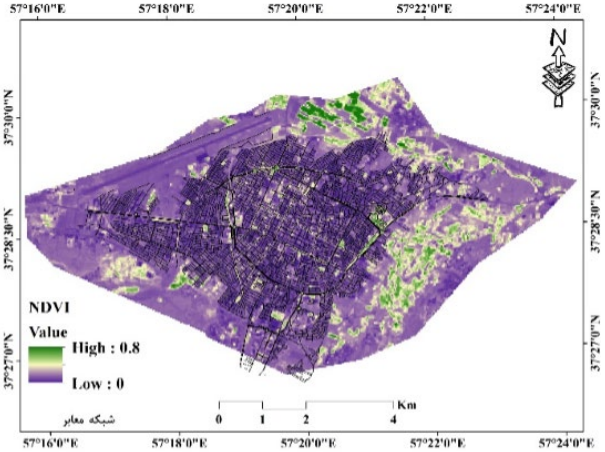
(ج)


Topographic Wetness Index
Value
High : 13
Low : 4
شبکه معابر
Km

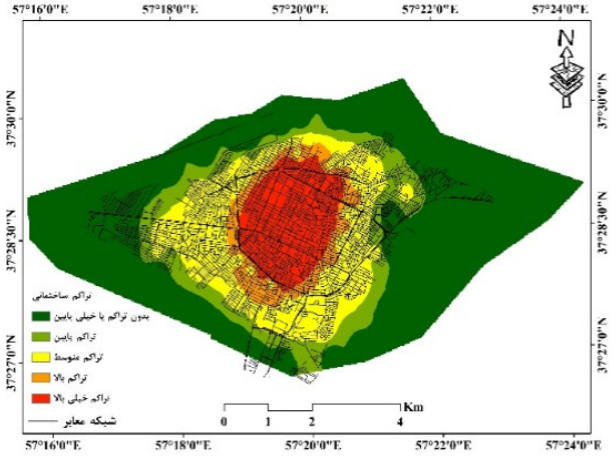
(ث)


تراکم آبراهه
خیلی پایین
پایین
متوسط
بالا
خیلی بالا
شبکه معابر
Km

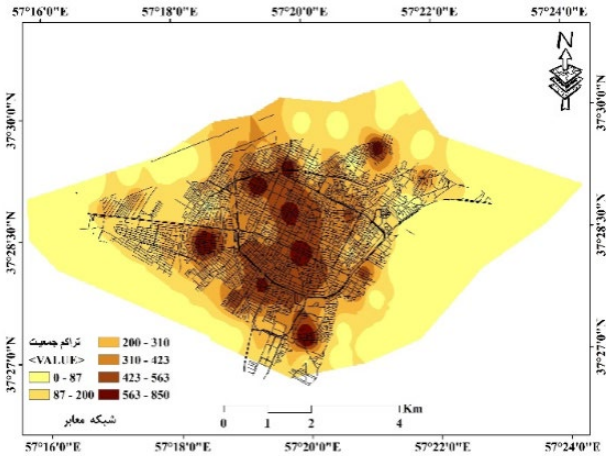
(ح)


NDVI
Value
High : 0.8
Low : 0
شبکه معابر
Km

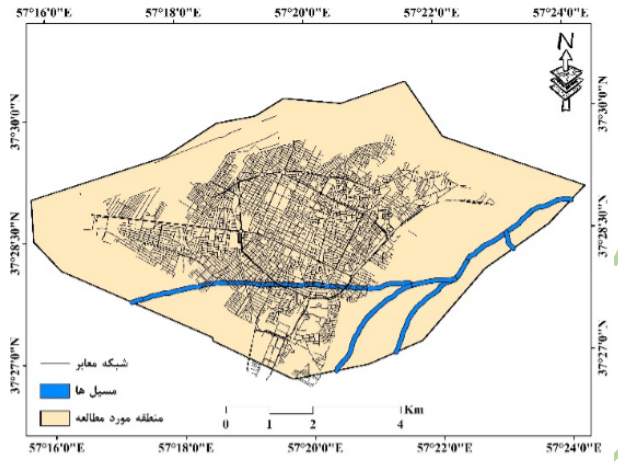
(چ)


تراکم ساختمانی
بدون تراکم یا خیلی پایین
تراکم پایین
تراکم متوسط
تراکم بالا
تراکم خیلی بالا
شبکه معابر
Km
0 1 2 4

(د)


تراکم جمعیت
<VALUE>
0 - 87
87 - 200
200 - 310
310 - 423
423 - 563
563 - 850
شبکه معابر
Km
0 1 2 4

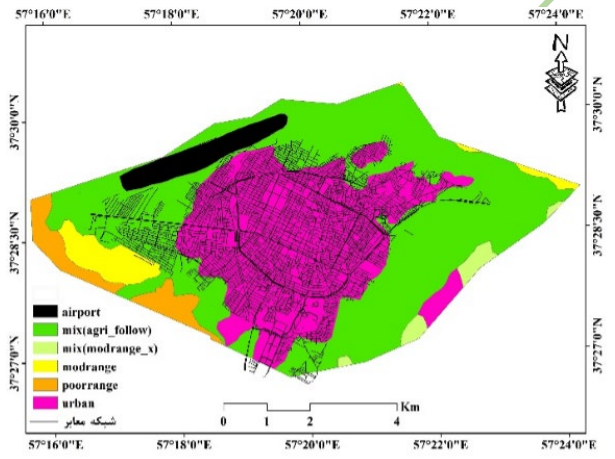
(خ)


شبکه معابر
مسیل ها
منطقه مورد مطالعه
Km
0 1 2 4

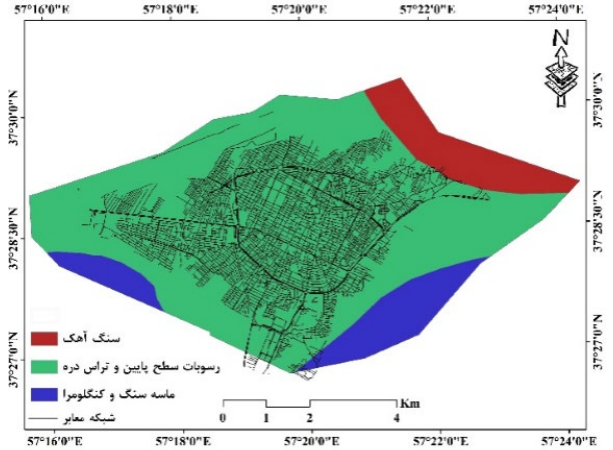
(ر)

شبکه معابر
دشت های سیلابی
منطقه مورد مطالعه
Km
0 1 2 4

(ذ)


airport
mix(agri_follow)
mix(modrange_x)
modrange
poorrange
urban
شبکه معابر
Km
0 1 2 4

(ژ)


سنگ آهک
رسوبات سطح پایین و تراس دره
ماسه سنگ و کنگلومرا
شبکه معابر
Km
0 1 2 4

(ز)

شکل ۲) عوامل تأثیرگذار 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: دشت های سیلابی، ر: رطوبت مسیل ها، ز: زمین شناسی، ژ: کاربری اراضی)

نقاط سیلابی و غیر سیلابی

جمع‌آوری داده‌های نمونه هنگام نقشه‌برداری خطر سیل برای ارزیابی عملکرد مجموعه‌های آزمایشی و آموزشی از اهمیت بالایی برخوردار است که تأثیر قابل‌توجهی بر کیفیت و قابلیت اطمینان نقشه خروجی دارد. در مطالعه حاضر، با توجه به سیل‌های اخیر رخ داده در منطقه مورد مطالعه، ۲۰۰ داده نمونه از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا و داده‌های مشاهدات میدانی برای توسعه مدل RF جمع آوری شد. این نمونه‌ها از مناطق سیل زده و مناطق غیر سیلابی گرفته شده است. متغیر خروجی دارای دو برچسب است: مناطق غیرسیل گیر (۰) و مناطق سیل گیر (۱). در واقع، ۴۰۰ داده نمونه به طور مساوی از منطقه انتخاب شدند. از کل داده‌های نمونه، ۷۰ و ۳۰ درصد از داده‌های نمونه به ترتیب 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. جدول ۲ نتایج شاخص را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود. طبق این نتایج تاثیرگذارترین شاخص ارتفاع، بارش و کاربری اراضی و کم‌تاثیرترین شاخص جهت می باشد.

جدول ۲) ارزش هر کدام از شاخص‌ها در مدل RF

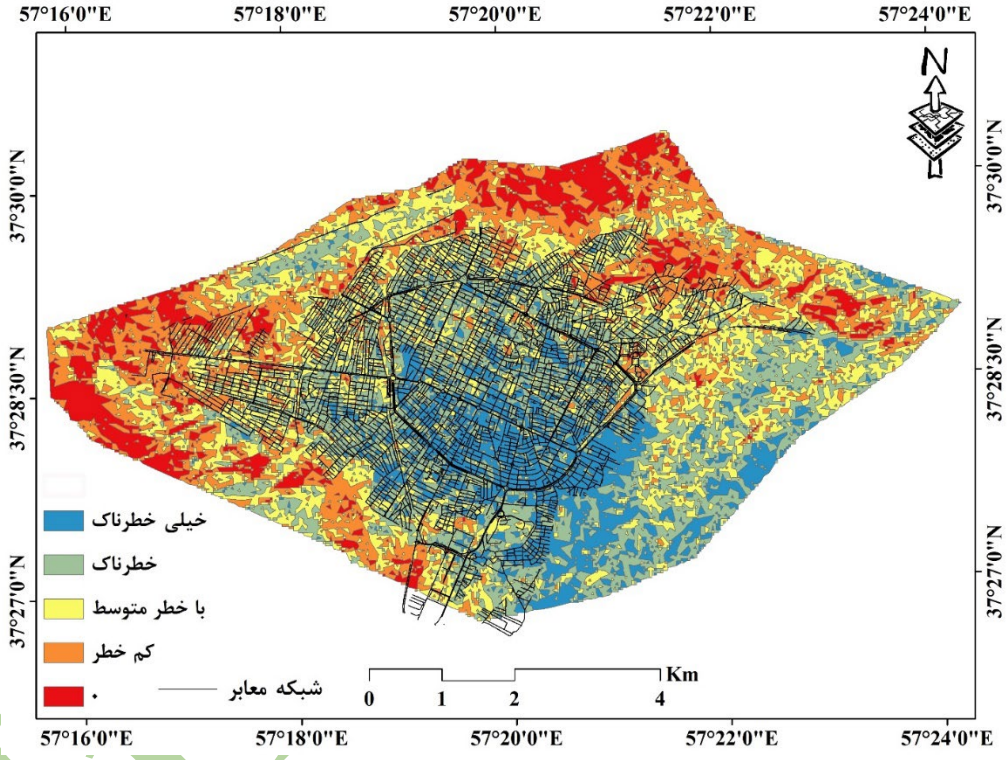
ردیف	شاخص	ارزش
۱	توپوگرافی	۰/۷۱
۲	شیب	۰/۳۱
۳	جهت شیب	۰/۰۱
۴	مسیل های شهر	۰/۳۳
۵	تراکم آبراهه	۰/۳
۶	فاصله از دشت های سیلابی	۰/۴
۷	کاربری اراضی	۰/۶۲
۸	زمین شناسی	۰/۴۴
۹	شاخص رطوبت توپوگرافی	۰/۲۸
۱۰	شاخص انحنای زمین	۰/۲۵
۱۱	شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی	۰/۲
۱۲	تراکم جمعیت	۰/۰۵
۱۳	تراکم مسکونی	۰/۱
۱۴	بارش	۰/۶۵

مدل‌سازی سیلاب شهر بجنورد

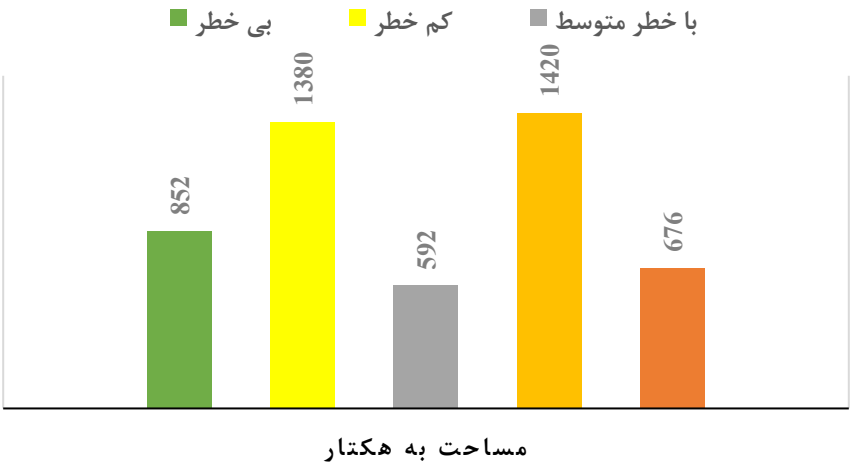
طبقه‌بندی آن‌ها بر اساس الگوریتم RF، نقشه‌برداری نهایی خطر سیل در شکل ۳ تهیه شد و در نهایت بیشترین و کمترین مناطق خطر مشخص شد. بی‌خطر (۰)، کم‌خطر (۰/۴-۰)، با خطر متوسط (۰/۶ -۰/۴)، خطرناک (۰/۸ -۰/۶) خیلی خطرناک (۱- ۰/۸).

Impress

طبق نتایج بیشترین میزان خطر در جنوب و متمایل به مرکز شهر بجنورد قرار دارد. طبق نتایج این مناطق که درصد بالای خطر را دارند دارای ارتفاع کم و بدون پوشش گیاهی و مناطق مسکونی هستند. 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. کم خطرترین مناطق، مقادیر کم بارندگی، ارتفاع زیاد، بافت خاک با نفوذ زیاد هستند. همچنین طبق شکل ۴، به بررسی درصد هر کدام از عوامل خط سیل پرداخته شده است. طبق نتایج حدود ۱۳/۷۳٪ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای بیشترین خطر، ۲۸/۶٪ درصد در معرض خطر بالاتر، ۱۲/۰۳٪درصد در معرض خطر متوسط، ۲۸/۰۴٪ درصد در معرض خطر کمتر و ۱۷/۳۱٪ درصد دارای کمترین خطر هستند. حدود ۵۰٪ از مناطق مسکونی در مناطق پرخطر واقع شده است که در صورت وقوع سیل منجر به خسارات جانی و مالی شدید می‌شود.



شکل ۳) نقشه خطر سیل در شهر بجنورد



شکل ۴) درصد اراضی با ریسک کم تا زیاد سیلاب

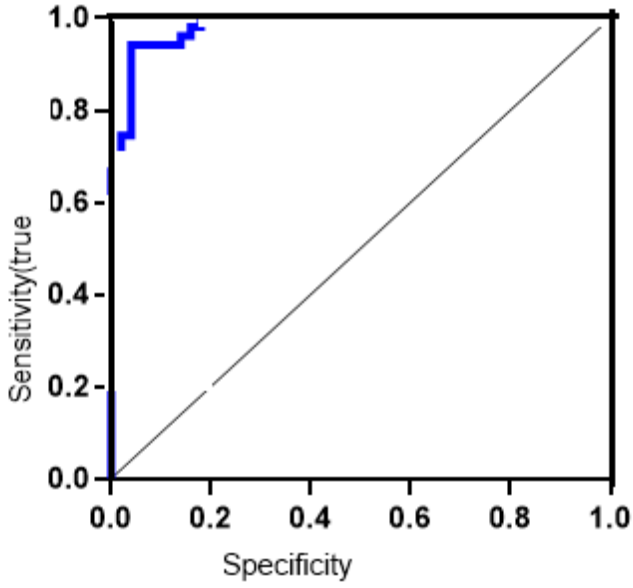
ارزیابی عملکرد RF

ضریب کاپا در مرحله آموزشی ۹۵٪ و مرحله تست برابر با ۹۷٪ بوده است. همه‌ی این نتایج حاکی از دقت خوب خروجی کار است.

جدول ۳) دقت در مدل RF

ردیف	عامل ارزیابی	میزان دقت آموزشی	میزان دقت تست
۱	kappa	۰/۹۵	۰/۹۷
۲	MAE	۰/۰۷	۰/۰۶
۳	RMSE	۰/۱۵	۰/۱۳
۴	ROC Area	۰/۹۶	۰/۹۸

In Press

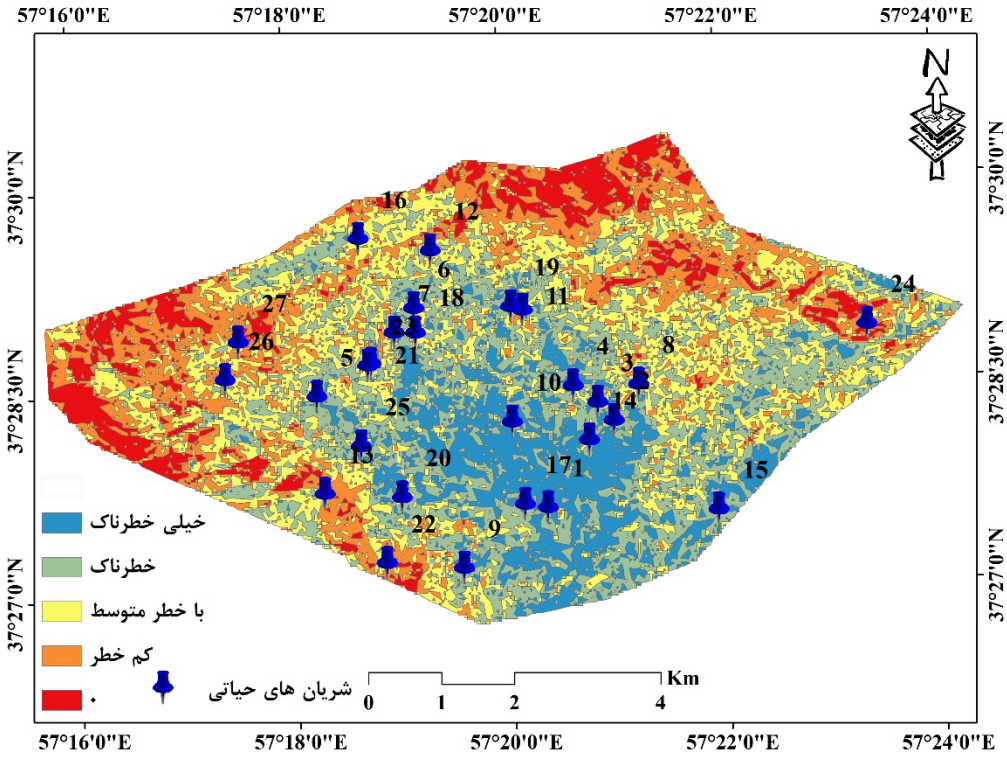


شکل ۵) منحنی ROC

بررسی سیلاب بر شریان های حیاتی

طبق نتایج بیشتر سطح منطقه بخصوص مناطق مسکونی در وضعیت خطر سیل قرار دارند. در بررسی شریان‌های حیاتی که در جدول ۴ و روی شکل ۶، ذکر شده است بیشتر سریان های حیاتی بخصوص در مناطق جنوب در وضعیت خطر سیلاب قرار دارند. همچنین برخی از شریان‌های حیاتی در وضعیت بدون خطر و متوسط سیل قرار گرفته اند. با توجه به بررسی‌های انجام شده باید در شهر بجنورد کارهای اساسی صورت بگیرد تا در زمان سیل مردم دچار خسارات جانی و مالی نشوند. اولین مورد ایجاد مناطق مناسب پخش سیلاب در اطراف شهر، ایجاد مسیل ها برای هدایت آب، جلوگیری از تخریب مناطق با دارای پوشش گیاهی، ایجاد مناطق جنگلی و غیره می‌باشد.

In Press



شکل ۶) نقشه خطر سیل در شریان‌های حیاتی

جدول ۴) شریان‌های حیاتی طبق نقشه در شهر بجنورد

عدد روی نقشه	شریان های حیاتی	عدد روی نقشه	شریان های حیاتی	عدد روی نقشه	شریان های حیاتی
۱	اداره گاز	۱۰	مخابرات	۱۹	مراکز بهداشتی
۲	اداره گاز	۱۱	آتش نشانی و خدمات ایمنی	۲۰	مراکز بهداشتی
۳	اداره گاز	۱۲	آتش نشانی و خدمات ایمنی	۲۱	مراکز بهداشتی
۴	اداره برق	۱۳	آتش نشانی و خدمات ایمنی	۲۲	مراکز بهداشتی
۵	اداره برق	۱۴	آتش نشانی و خدمات ایمنی	۲۳	مراکز بهداشتی
۶	اداره برق	۱۵	حمل و نقل	۲۴	مراکز نظامی
۷	اداره آب و فاضلاب	۱۶	حمل و نقل	۲۵	مراکز نظامی
۸	اداره آب و فاضلاب	۱۷	مراکز بهداشتی	۲۶	مراکز نظامی
۹	اداره آب و فاضلاب	۱۸	مراکز بهداشتی	۲۷	مراکز نظامی

بحث

این پژوهش به منظور واسنجی و ارائه راهکارهای برای کاهش آسیب‌پذیری شریان‌های حیانی شهر در برابر سیل با استفاده از الگوریتم جنگل‌های تصادفی انجام شد.

شهرها به مثابه موجودات زنده هستند، همانگونه که موجودات زنده در دوران‌های مختلف وضعیت‌ها و شرایط مختلفی را تجربه می‌کنند شهرها نیز در دوران‌های مختلف حیات خود، با وضعیت‌های مختلفی روبرو می‌شوند و این وظیفه برنامه‌ریزان و مدیران

شهری است که برای هر یک از این وضعیت‌ها تدابیری اندیشیده 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 به ترتیب 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 تحقیق به بررسی شریان های حیاتی سیل گیر شهر بجنورد پرداخته شده است. سیل در فصول مختلف با مدت‌های مختلف رخ می‌دهند و باعث خسارت جدی به محیطزیست، حمل و نقل، اقتصاد، کشاورزی و زندگی مردم می‌شود. بنابراین شناسایی مناطق حساس به وقوع سیل جهت مدیریت لازم برای کاهش خسارت سیل ضروری می‌باشد. در این تحقیق از الگوریتم جنگل های تصادفی برای شناسایی مناطق سیل گیر استفاده شده است. طبق نتایج مهم تریت عوامل تاثیر گذار در سیل در شهر بجنورد ارتفاع، بارش و کاربری اراضی هستند. نتایج مشخص کرد که بیشتر مناطق مسکونی در وضعیت سیل گیری قرار دارند. در بررسی دقت و صحت مدل مشخص شد که مدل دارای کارای بسیار خوبی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. 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 می‌دهد که شهر بجنورد سطوح مختلفی از اتصال فضایی را نشان می دهد. مناطق اتصال فضایی زیاد و پایین برای تجزیه و تحلیل بیشتر انتخاب شدند. محله های با اتصال بالا با سیستم های خیابانی به خوبی طراحی شده و به هم پیوسته با پوشش فاصله خیابانی قابل مدیریت مشخص می شدند. این ویژگی ها به جریان ترافیک کارآمد، جریان روان آب طوفان، و مدیریت موثر خسارت ناشی از طغیان سیل در طول حوادث باران کمک می کند. استفاده از مصالح مختلف سطح خیابان نیز در تسهیل جریان ترافیک و کاهش خسارات ناشی از سیل و فرسایش ناشی از بارندگی شدید نقش داشته است. 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 مشاهده شده در این محله ها با ایجاد مسیرهای زهکشی متعدد که به کاهش خطرات سیل در طول طغیان کمک می کند، امکان رواناب آب کارآمد را فراهم می کند. از سوی دیگر، محله‌هایی با اتصال فضایی کم، سیل شهری را تشدید می‌کنند. فقدان اتصال و فراوانی خیابان‌های بن‌بست چالش‌هایی را برای تخلیه سیل ایجاد کرد و مانع از ارسال کمک‌ها به جوامع آسیب‌دیده در مواقع اضطراری می شود. 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، ارائه می‌کند. این تحقیق اهمیت شبکه‌های خیابانی به خوبی متصل، انتخاب دقیق مصالح سطح خیابان، قرارگیری ساختمان‌های استراتژیک، اندازه بلوک‌های کوتاه‌تر و الگوی شبکه‌ای با تقاطع‌های مکرر را در کاهش تأثیر سیل نشان می‌دهد. 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 بررسی عوامل موثر بر سیلاب، مدل‌سازی سیلاب و بررسی سیلاب در شریان های حیاتی پرداخته شده پس 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 مواجهه شویم به نظر می‌رسد مشخص کردن بستر و حریم رودخانه‌ها و محاسبه دوره‌های مختلف بازگشت سیلاب به منظور پیشبینی وقوع سیلاب‌های منطقه در جهت 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 درخت کاری و ایجاد پوشش گیاهی مناسب در مناطقی که به‌واسطه فعالیت‌های انسانی پوشش گیاهی آنها آسیب دیده است نیز می‌تواند راهکار دیگری در جهت کم کردن میزان خطر باشد. در بررسی تحقیقات دیگر همانند *ایان* و همکاران [Ayan *et al.*, 2021]، *بستانی* و *جوانی* [Bostani & Javani, 2013] و *سنایی فرد* و همکاران [Sanaifard *et al.*, 2023] همانندی دارد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج، ارتفاع، بارش و کاربری اراضی دارای تاثیر زیادی در سیل در شهر بجنورد هستند. همچنین مطالعه ۶۷۶ هکتار در وضعیت بیشترین خطر سیل و ۸۵۲ هکتار نیز دارای کمترین خطر هستند. نتایج نشان داد که بیشتر سطح مناطق مسکونی دارای ریسک بالایی در مقابل سیلاب هستند. مکان‌یابی مناسب سازه‌های مقابله با سیل با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه در کنار درخت کاری و ایجاد پوشش گیاهی مناسب در مناطقی که به‌واسطه فعالیت‌های انسانی پوشش گیاهی آنها آسیب دیده است نیز می‌تواند راهکار دیگری در جهت کم کردن میزان خطر باشد.

قدردانی: موردی برای ذکر کردن وجود ندارد.

تعارض منافع: موردی وجود نداشته است.

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

سهم نویسندگان: مهدی مباشری (نویسنده اول) روش‌شناسی/نگارنده بحث/تحلیل آماری (۵۰٪)

غلام رضا میری (نویسنده دوم) نگارنده مقدمه/نگارنده بحث/روش‌شناسی (۲۵٪)

زهرا شریفی‌نیا (نویسنده سوم) نگارنده بحث/تحلیل آماری (۲۵٪)

In Press

References

Abedini M, Khoshkhovi Delshad, A. (2016). Investigating the factors affecting the occurrence of floods in the Hawaiq basin using the ANP model. International conference on Iran's natural hazards and environmental crises, solutions and challenges. Tehran. https://sid.ir/paper/830497/fa

Ahmed, N., Hoque, M. A. A., Arabameri, A., Pal, S. C., 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. https://doi.org/10.1080/10106049.2021.2005698

Ayan, S. Fleischmanna, J. Paulo, F. Brêdaa, C. Rudorffb, R. Cauduro, D. Paivaa, W. Collischonna, F. Papacd, M. Moreira, R (2021). Earth Observation for FloodApplications Progress and Perspectives Earth Observation. Chapter 4 RiverFlood Modeling and Remote Sensing Across Scales. pp 61-103. https://doi.org/ 10.1016/ B978-0-12-819412-6.00004-3.

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), the second international conference on environmental hazards, Tehran. https://civilica.com/doc/307837

Bui, D. T., Hoang, N. D., Martínez-Álvarez, F., Ngo, P. T. T., Hoa, P. V., Pham, T. D., Costache, R. (2020). A novel deep learning neural network approach for predicting flash flood susceptibility: A case study at a high frequency tropical storm area. Science of the Total Environment, 701, 134413. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134413

Chen, W.; Zhai, G.; Fan, C.; Jin, W. and 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, Vol. 23, No. 3, pp. 1-16. https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1185692

Cheraghi Ghalehsari A., Habibnejad Roshan M., Roshun S.H. (2020). Flood Susceptibility Mapping Using a Support Vector Machine Models (SVM) and Geographic Information System (GIS). Journal of natural environment hazards, 9(25), 61-78. https://jneh.usb.ac.ir/article_5507.html

Ghobadi, F., Khodashenas, S. R., & Masaedi, A. (2019); Comparison of two patterns of uniform rainfall and periodic block in the evaluation of runoff collection system to control floods in densely populated urban areas using ASSA software (Case study: Chehl Bazeh Basin, Golestan area of Mashhad), Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 13(5), 1491-1503. 20.1001.1.20087942.1398.13.5.27.1

Hosseini, F. S., Choubin, B., Mosavi, A., Nabipour, N., Shamshirband, S., Darabi, H., & Haghighi, A. T. (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, Volume 711, 135-161.https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135161

Lee, S., Kim, J. C., Jung, H. S., Lee, M. J., & 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. https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1308971

Leta, B. M., Adugna, D., & Wondim, A. A. (2024). Comprehensive investigation of flood-resilient neighborhoods: the case of Adama City, Ethiopia. Applied Water Science, 14(2), 14. https://doi.org/10.1007/s13201-023-02053-7

Li, Q., Jiang, X., & Liu, D. (2013). Analysis and modelling of flood risk assessment using information diffusion and artificial neural network. Water sa, 39(5), 643-648. 10.4314/wsa.v39i5.8

Mabrouk, M., Han, H., Abdrabo, K. I., Mahran, M. G. N., AbouKorin, S. A. A., Nasrallah, S., ... & Hafez, H. M. (2024). Spatial congruency or discrepancy? Exploring the spatiotemporal dynamics of built-up expansion patterns and flood risk. Science of The Total Environment, 915, 170019. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170019

IP Press

Omidvarfar S., Hosseini L., Fakhari Z., Ghanbari, S. (2021), Zoning and flood risk assessment in Tabriz city using Fuzzy AHP model, 2nd international conference and 5th national conference on protection of natural resources and environment, Ardabil. https://civilica.com/doc/1248903

Pahlavan Rad, M.R., N. Toomanian, F. Khormali, C. Brungard, C.B. Komaki and P. Bogaert. (2014). Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loessderived soils of northern Iran, Journal of Geoderma, 232: 97 -106. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.036

Poortaheri M, (2010), the application of multi-indicator decision making methods in geography, SAMT Publications, Tehran. https://samt.ac.ir/fa/book/1025/

Poortaheri M, Hajinejad A, Fatahi A, Nemati R. (2015) Physical vulnerability assessment of rural habitats against natural hazards (earthquakes) with a decision model (KOPRS) (Case study Chalan Cholan villages, Dorud Township). MJSP; 18 (3): pp 29-52. URL: http://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-303-fa.html

Poortaheri 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. https://jrur.ut.ac.ir/article_23686.html?lang=en

Rahmati, O., & Pourghasemi, H. R. (2017). Identification of critical flood prone areas in data-scarce and ungauged regions: a comparison of three data mining models. Water resources management, 31(5), 1473-1487. DOI: 10.1007/s11269-017-1589-6

Saffari, A., Ahmadabadi, A., & Sedighifar, Z. (2020); Flood risk analysis based on the WMS model in urban catchments (Case Study: Darband, Golabdereh and Saadabad Basins of Tehran Metropolis), Journal of Applied Research in Geographical Sciences, 20(57), 318-334. URL: http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3066-fa.html

Salvo, G., Karakikes, I., Papaioannou, G., Polydoropoulou, A., Sanfilippo, L., & Brignone, A. (2024). Enhancing Urban Resilience: Managing Flood-Induced Disruptions in Road Networks. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3908598/v1.

Sanaifard A., Amirahmadi A., Zanganeh Y. (2023). Reducing the Vulnerability of Vital Arteries to Flood (Case Study: Sabzevar County). , 14(52), 1-16. doi: 10.30495/jupm.2021.26428.3693

Sowmya K, John C, Shrivasthava, N, (2015). Urban flood vulnerability zoning of Cochin City, southwest coast of India, using remote sensing and GIS, Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, Springer; International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, vol. 75(2), PP 1271-1286. DOI: 10.1007/s11069-014-1372-4

Statistical Yearbook of Bojnurd Governorate, (2022), Bojnurd Governorate. https://bojnord.inso.gov.ir/portal/home/?424676/

Tehrany, M. S., Jones, S., & Shabani, F. (2019). Identifying the essential flood conditioning factors for flood prone area mapping using machine learning techniques. Catena, Volume 175, 174-192. https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.011

United Nations Climate (2015). The human cost of weather-related disasters 1995- 2015. Pp119. https://www.undrr.org/publication/human-cost-weather-related-disasters-1995-2015

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. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128218

Wisner, B Piers, B, Terry, C, and land D., (2008). At risk: Natural Hazards, People Vulnerability and Disaster's, Secand edition, Routledge. https://www.routledge.com/At-Risk-Natural-Hazards-Peoples-Vulnerability-and-Disasters/Blaikie-Cannon-Davis-Wisner/p/book/9780415252164.

In Press