

Research Paper



Flood Management Map Using New Random Forest Algorithm and Geographic Information System Case Study: Kandovan-Chalus Axis



Mousa Abedini¹, Mahrokh Sardashti²

1. Professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. abedini@uma.ac.ir

2. Phd. student of Geomorphology, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. geo.sardashti@gmail.com

Keywords

Random Forest, Algorithm, Precipitation, Flood, Slope, Land Use, Kandovan-Chalus Axis.

Received: 2024/09/19

Accepted: 2025/01/25

Published: 2024/07/21

A B S T R A C T

Introduction

In recent years, the Kandovan-Chalus axis in the north of the country (in Mazandaran province) has experienced numerous dangerous floods. The research area is located in the southwestern part of Mazandaran Province at geographical coordinates 36°15' to 36°45' north latitude and 51°30' to 51°45' east longitude. Geological and topographic features, rainfall conditions, and human intervention have made the Kandovan-Chalus axis in Chalus County in Mazandaran Province susceptible to potential flood risk. In addition to the role of natural factors, lack of dredging, lack of proper watershed management, and unprincipled human intervention have led to an intensification of flood hazards in the study area. Reviewing and preparing flood management maps, relying on expert principles, is considered one of the basic requirements in flood crisis management in this region. The aim of this research is to zone flood-prone areas and determine the priority of factors affecting their occurrence using the random forest algorithm in the Kandovan-Chalus axis. For this purpose, 9 land use indicators were selected: distance from the river, slope, height, failure to observe the river boundary, river discharge, waterway network, rainfall, and lack of river dredging. After determining the variance inflation factor and tolerance coefficient, in the next stage, modeling was carried out by entering the data related to the effective factors into the ARC/MAP10.2 software. Then, the random forest algorithm was used to determine the role of the effective factors in the occurrence of floods in the region. Finally, a flood risk zoning map was prepared in three very dangerous, medium-risk, and low-risk zones in the ARC/MAP10.2 environment. The results show that based on the flood potential map, the risk of flooding in the region is about 261.43 square kilometers of the region, 151.1 square kilometers of the region are considered low-risk areas, 118.3 square kilometers of the region are considered medium-risk areas, and about 118.3 square kilometers.

*Correspondin Author: Mosa Abedini, E-mail: abedini@uma.ac.ir

How to cite this article: Abedini, Mousa., Sardashti, Mahrokh. (2025). Flood Management Map Using New Random Forest Algorithm and Geographic Information System Case Study: Kandovan-Chalus Axis. *Hydrogeomorphology*, 12(43): 17–33.

DOI: [10.22034/hyd.2025.63601.1758](https://doi.org/10.22034/hyd.2025.63601.1758)



Copyright: © by the authors

Publisher: University of Tabriz

Methodology

The main purpose of the research is to determine the priority of the factors affecting the occurrence of floods on the Karaj-Chalus road from Kandovan to Chalus axis, therefore, the studied factors, methods, techniques and research tools have been selected as follows. (a) Selection of effective indicators and preparation of their digital layers: In this stage, according to the studies and background of the research, 9 indicators of land use, distance from the river, slope, elevation, non-observance of river boundaries, river discharge, stream power, precipitation, and lack of river dredging were selected. River layer, slope and elevation were prepared from a 1:100,000 topographic map. Results and Discussion After the production of the digital layer of the region, and the precipitation layer has been used from the precipitation statistics of Nowshahr and Siah Bisheh stations. (b) Prioritization of factors affecting flood occurrence: After determining the factor of inflation variance and tolerance coefficient, in the next step, by entering the data related to the effective factors into R software, modeling was done using random forest algorithm and the role of factors affecting flooding in the region was determined.

At first, in order to check the collinearity between the variables, two indicators of the variance inflation factor and the tolerance coefficient were used. In the next step, by entering the data related to the effective factors into the R software, modeling was done using the random forest algorithm and the role of the effective factors in the occurrence of floods was determined. For this purpose, two factors of the average reduction of accuracy and the average reduction of Gini have been used to determine the priority of each of the effective factors in the occurrence of floods. In order to evaluate the prepared model, the relative performance detection curve (ROC) was used. After determining the weight of each factor in the R software environment, these weights were transferred to the ARC/MAP 10.2 environment and applied to the desired layers. According to the flood susceptibility map of the region, about 261.43 square kilometers of the region are low risk areas, 151.1 square kilometers are considered to be medium risk areas and about 118.3 square kilometers are high risk areas.

Conclusions

This research is aimed at determining the priority of the effective factors in the occurrence of floods using the new random forest algorithm for the purpose of flood management. Within the scope of the case, the survey results showed that the geological and topographical features, the actions and implementation of humans, have predisposed the Kandovan-Chalos axis to the flood risk potential. In addition to the natural factors of lack of dredging, the lack of proper watershed management and human occupation have aggravated the dangers of floods.

مقاله پژوهشی



تهیه نقشه مدیریت سیلاب با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نمونه موردی: محور کندوان - چالوس

موسی عابدینی^{۱*}، ماهرخ سردشتی^۲

۱- استاد گروه ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. abedini@uma.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. geo.sardashti@gmail.com

کلیدواژه‌ها

الگوریتم جنگل تصادفی، بارش، سیلاب، شیب، کاربری اراضی. محور کندوان - چالوس

چکیده

در طی سال‌های اخیر محور کندوان - چالوس در شمال کشور (در استان مازندران) سیلاب‌های متعدد مخاطره‌آمیز رخ داده است. منطقه مورد تحقیق در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی، در بخش جنوب غرب استان مازندران قرار دارد. ویژگی‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، شرایط بارندگی و دخالت انسان‌ها، محور کندوان - چالوس در شهرستان چالوس در استان مازندران را برای پتانسیل خطر وقوع سیل مستعد کرده است. علاوه بر نقش عوامل طبیعی؛ عدم لایروبی، نبود آبخیزداری مناسب و دخالت‌های غیر اصولی انسانی منجر به تشدید مخاطرات سیلاب در منطقه مورد تحقیق شده است. بررسی و تهیه نقشه‌های مدیریت سیلاب، با تکیه بر اصول کارشناسی یکی از ضروریات اساسی در مدیریت بحران سیل این منطقه محسوب می‌باشد. هدف از این پژوهش، پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل و تعیین اولویت عوامل مؤثر در وقوع آن با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در محور کندوان چالوس است. بدین منظور ۹ شاخص کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، شیب، ارتفاع، عدم رعایت حریم رودخانه، دبی رودخانه، شبکه آبراهه، بارش، و عدم لایروبی رودخانه انتخاب شدند. پس از تعیین عامل تورم واریانس و ضریب تحمل، در مرحله بعد با وارد کردن داده‌های مربوط به عوامل مؤثر به نرم‌افزار ARC/MAP10.2، مدل‌سازی گردید. سپس با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی انجام و نقش عوامل مؤثر در وقوع سیلاب در منطقه تعیین شد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در سه پهنه خیلی خطرناک، با خطر متوسط و کم‌خطر در محیط ARC/MAP10.2 تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد بر اساس نقشه پتانسیل وقوع سیل، خطر وقوع سیلاب منطقه در حدود ۲۶۱/۴۳ کیلومتر مربع منطقه جزء مناطق کم‌خطر ۱۵۱/۱ کیلومتر مربع جزء مناطق با خطر متوسط و در حدود ۱۸/۳ کیلومتر مربع جزء مناطق پرخطر محسوب می‌شوند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۳۰

ارجاع به این مقاله: عابدینی، موسی؛ سردشتی، ماهرخ؛ تهیه نقشه مدیریت سیلاب با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی و سیستم اطلاعات

جغرافیایی (نمونه موردی: محور کندوان - چالوس). هیدروژنومورفولوژی، ۱۲ (۴۳): ۱۷-۳۳.

*نویسنده مسئول: موسی عابدینی

رایانامه: abedini@uma.ac.ir

شناسه دیجیتال : 10.22034/hyd.2025.63601.1758



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

مقدمه

یکی از بزرگ‌ترین و رایج‌ترین اشکال مخاطرات طبیعی سیلاب می‌باشد و شناخت نواحی مستعد وقوع سیلاب، از اقدامات اساسی در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه‌ای محسوب می‌شود (عابدینی و همکاران، ۲۰۲۳: ۱۱۵). در واقع سیلاب‌ها یکی از مخاطرات محیطی و عوامل تأثیرگذار در جوامع بشری بوده و از بلایای عمده و مهم جهانی محسوب می‌شوند (موگاگ و همکاران، ۲۰۱۲: ۳۹). در بین بلایای طبیعی، سیل، زلزله و خشکسالی به لحاظ خسارت مالی و جانی ناشی از وقوع آن‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. به استناد آمار و اطلاعات موجود، خسارات ناشی از سیل در پاره‌ای از نقاط دنیا به‌ویژه در آسیا و اقیانوسیه، بیشترین میزان را در بین خسارات حاصل از بلایای طبیعی به خود اختصاص داده است. رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی و تغییر کاربری اراضی در دهه‌های اخیر موجب شده است تا سیلاب به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در جهان شناخته شود (بهشتی و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۳۲). رودخانه‌ها یک سیستم فرایند واکنش پیچیده هستند که اجزای مختلف آن‌ها با هم در ارتباط بوده و تغییر در هر یک از اجزاء، واکنش رود را برای رسیدن به تعادل به همراه دارد. مهم‌ترین اجزاء کانال رود در مقیاس بازه شامل شیب بستر، عرض و عمق کانال رود، اندازه ذرات رسوبی و پالن رود هستند؛ لذا تغییر در هر یک از این عناصر چه به صورت طبیعی (سیلاب‌ها) و چه به صورت دخالت‌های انسانی می‌تواند با واکنش همراه باشد. دخالت‌های انسانی به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم رودخانه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دخالت‌های مستقیم به صورت احداث پلها، دیواره‌های حفاظتی، کانال‌سازی، سدسازی، برداشت شن و ماسه و... در رودخانه‌ها است که می‌تواند مورفولوژی رودها را به صورت مستقیم تغییر دهد (اسماعیلی و همکاران، ۲۰۲۴: ۴۵). در واقع سیلاب‌ها یکی از پدیده‌های طبیعی هستند که که علل مختلف و طبیعی و انسانی دارند و در صورت عدم مدیریت صحیح می‌توانند خسارات زیادی به زیرساخت‌ها، مزارع و محیط زیست وارد کنند. این پدیده به طور عمده به دلیل بارش‌های سنگین، همزمانی ذوب برف‌ها و بارندگی (خصوصاً در اراضی عمدتاً با شیب تند، فاقد پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی ضعیف، با نفوذپذیری کم، تحت تأثیر سیماتیک عوامل متنوعی رخ می‌دهد) (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۴: ۴۸). تخمین پهنه‌بندی سیل از نظر مدیریت و تعیین پهنه و خسارات سیل بسیار مهم است. سنجش از دور و استفاده از تصاویر با دقت بالا می‌تواند در استخراج شاخص‌های تخمین گر پهنه سیل مؤثر باشد (کاکاوند و همکاران، ۲۰۲۴: ۴۱). وقوع سیل و خسارات ناشی از آن در ایران، طی سال‌های اخیر روند افزایشی داشته است، حال آن‌که به آن توجه زیادی نشده است. طبق مطالعاتی که روی سیلاب‌ها و خسارات ناشی از سیل در ایران بین چهار دهه از سال ۱۳۳۰ تا ۱۴۰۰ صورت گرفته است، در طی ۷۰ سال، ۲۱۳۴ سیل مخرب و ویرانگر در کشور رخ داده و تعداد رخداد این سیلاب‌ها از سال ۱۳۳۰ تا سال ۱۴۰۰ بیش‌تر شده است. برخی از علل آن، تغییر کاربری و کاهش نفوذ در اثر افزایش جمعیت و به دنبال آن، افزایش اقدامات توسعه و عمران است (خدایی و زندی، ۲۰۲۲: ۵۵۲). اولین قدم در مطالعات اقتصادی طرح‌های مدیریت سیلاب و یا مهار سیلاب، داشتن نقشه‌های پهنه‌بندی سیل است. زیرا با توجه به پهنه سیل در دوره‌های بازگشت مختلف و برآورد خسارت سیل در هر پهنه‌بندی، میزان سرمایه‌گذاری جهت جلوگیری از خسارت در هر حالت بهینه محاسبه خواهد شد (ولی زاده، ۲۰۰۷، ۱۷۰). هدف از پهنه‌بندی خطر سیل، دستیابی به سطح خطر آن، در مقیاس مکانی بر اساس ویژگی‌های طبیعی یا اجتماعی که می‌توان به ترتیب توسط عوامل خطر و آسیب پذیری اندازه‌گیری شوند (میلانسی^۲ و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۸۲). از این رو تبیین الگوهایی مبتنی بر آمار و اطلاعات مشاهده‌ای و منطبق با شرایط منطقه، برای برآورد خصوصیات نظیر پهنه‌سیلاب رودخانه‌ای را می‌توان گامی مثبت در جهت برنامه‌ریزی درست برای مدیریت منابع آب و مواجهه با بحران‌هایی نظیر سیل و سیلاب‌های مخرب به شمار آورد. تهیه نقشه‌های سیلاب یکی از گام‌های مدیریت جامع سیل می‌باشد. نقشه‌های خطر^۳ و خطرپذیری^۴ سیل از انواع نقشه‌های سیل هستند که اطلاعات سیلاب در یک منطقه را به صورت نقشه‌های گویا و کاربردی در اختیار برنامه‌ریزان و ذی‌نفعان قرار می‌دهد. در حقیقت مدیریت سیل و شرایط بحرانی ناشی از آن بدون در اختیار داشتن نقشه‌های سیلاب امکان‌پذیر نیست.

1 - Mugagga et al

2- Milanese et al

3- Flood Hazard Map

4 -Flood Risk Map

باتوجه به رژیم بارشی کشور، همه ساله در فصل بهار و پاییز با بارش‌های رگباری و مسئله ذوب برف‌های حاصل از بارش‌های زمستانه با وقوع سیل و پیامدهای ناگوار آن در کشور رخ می‌دهد؛ لذا از طریق تجزیه و تحلیل دقیق این مناطق سیل خیز و مدیریت اصولی، می‌توان از میزان وقوع سیل و خسارات مالی و جانی ناشی از آن را کاهش داد. با عنایت به مراتب فوق، مدل‌سازی رفتار سیل و تهیه نقشه‌های پتانسیل وقوع سیلاب یکی از مهم‌ترین اهداف متخصصین در زمینه بلایای طبیعی می‌باشد (فنیسا^۱ و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۴۵۱).

بنابراین، تعیین مناطق مستعد سیل برای کاهش ویرانی و تخریب بیشتر ضروری است. علاوه بر این، ادغام سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با مدل‌سازی سیل، بازنمایی فضایی سیل‌ها را در فواصل زمانی مختلف بازگشت بهبود داده است، همانطور که در تحقیق انجام شده توسط رفس^۲ نمونه‌ای از آن است علاوه بر این، استفاده از فناوری پیشرفته GIS^۳ امکان ارزیابی سریع خطرات سیل را در مناطق جغرافیایی خاص فراهم می‌کند توجه به این نکته مهم است که دقت داده‌های ورودی و ادغام روش‌های GIS با یادگیری ماشین و روش‌های آماری به طور قابل توجهی بر اثربخشی پردازش GIS تأثیر می‌گذارد. این روش‌ها شامل شاخص‌های آماری، نسبت‌های فرکانس، آنتروپی شانون، مدل‌های خطی تعمیم‌یافته، رگرسیون لجستیک، وزن شواهد، تحلیل تفکیک‌کننده چند متغیره، عوامل وزن‌دهی، تحلیل تفکیک‌پذیر انعطاف‌پذیر، مدل‌های افزایشی تعمیم‌یافته، رگرسیون لجستیک چند متغیره و سایر رویکردهای آماری چند متغیره است. علاوه بر این، شایان ذکر است که اخیراً برخی از مطالعات از روش‌های یادگیری ماشینی برای پیش‌بینی سیل ناگهانی با استفاده از عوامل محیطی مختلف استفاده کرده‌اند. این مطالعات از ترکیب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و هوش مصنوعی برای تعیین حساسیت به سیل ناگهانی استفاده کرده‌اند. به همین ترتیب، روش‌های یادگیری ماشین، از جمله ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM^۴)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN^۵)، درخت‌های طبقه‌بندی و رگرسیون (CART^۶)، و جنگل تصادفی (RF^۷)، توسط محققان متعددی برای تهیه نقشه‌های حساسیت وقوع سیل به کار گرفته شده است (عبدالکریم و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۸۸۷).

تحقیقات متنوعی در زمینه بررسی و پهنه‌بندی خطر سیل با به کارگیری مدل‌های مختلف در ایران و جهان صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS به منظور بررسی سیلاب‌های رودخانه قره سو در محدوده روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانه اهرچای استفاده گردید که نتایج نشان داد که با رخداد سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ سال، مساحتی در حدود ۱۰۸۵ هکتار از اراضی کشاورزی و باغ‌های حواشی رودخانه قره‌سو به زیر آب خواهد رفت و خساراتی را برای کشاورزان منطقه به وجود خواهد آورد (رضایی مقدم و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۵-۱). برای تهیه نقشه احتمال خطر سیل در حوضه کمیجان استان مرکزی از مدل‌های داده کاوی شامل جنگل تصادفی (Random Forest) و ماشین گرادیان تقویتی (Gradient Boosting Machine) استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل RF بهترین مدل در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل می‌باشد (آوندو همکاران، ۲۰۱۸: ۳۲-۱). پیش‌بینی مناطق مستعد وقوع سیلاب با استفاده از مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین در دشت بیرجند انجام شد. به این منظور از چهار مدل یادگیری ماشین شامل ماشین بردار پشتیبان، درخت تصمیم J48، جنگل تصادفی (RF) و سیستم استنتاج عصبی فازی (ANFIS) استفاده گردید. نتایج نشان داد که بالاترین دقت مربوط به مدل RF و کمترین دقت مربوط به مدل SVM می‌باشد (اسلامی نژاد و همکاران، ۲۰۲۱: ۴۳). در تحقیقی به تعیین پتانسیل سیل با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین CART, GLM, GAM در حوضه کشکان پرداخته شد. در این پژوهش با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین و عوامل محیطی، نقشه‌های پیش‌بینی پتانسیل سیل تهیه شد و سپس با استفاده از روش‌های منحنی مشخصه AUC و شاخص TSS اعتبار سنجی شدند و نتایج نشان دهنده دقت عالی مدل‌های فوق‌الذکر برای حوضه مورد مطالعه می‌باشد و همچنین این مدل‌ها مساحت بیشتری از حوضه را که تحت پتانسیل بالا و متوسط خطر

1- Fenicia

2- Rafs

3- Geographic Information System

4- Support Vector Machine

5- Artificial Neural Networks

6- Classification and Regression Tree

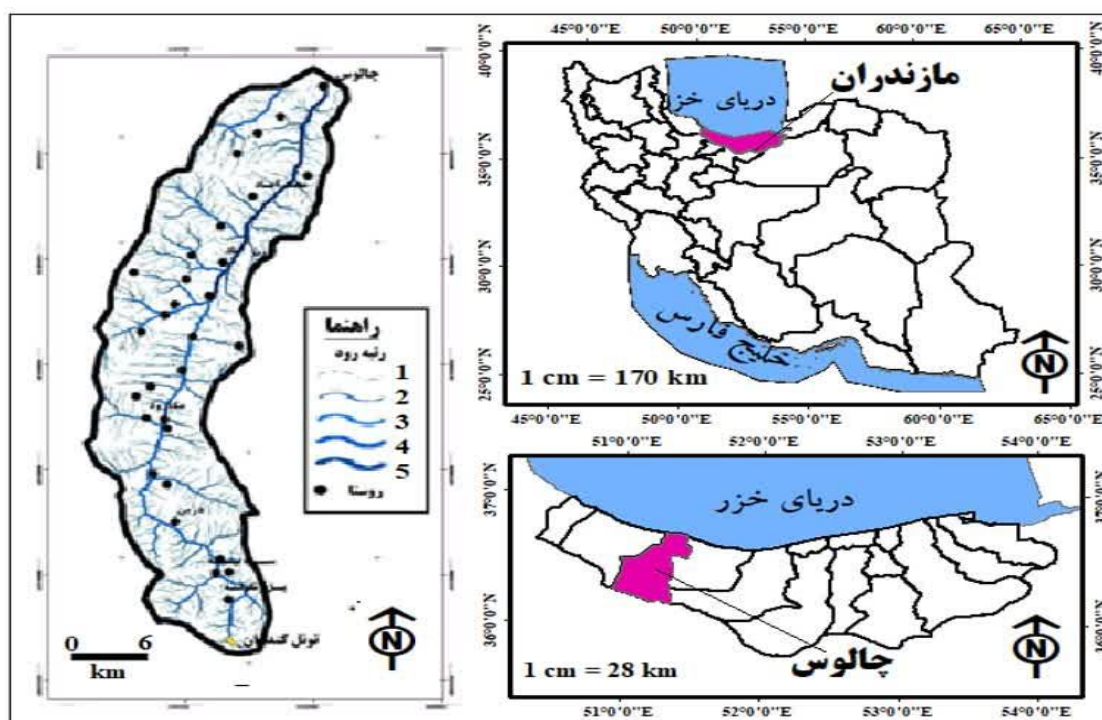
7- Random Forest

سیل گیری است نشان می دهد (یوسفی و همکاران، ۲۰۲۱: ۸۴). مدل سازی و پیش بینی خطر سیل در شهر بندری نوشهر، با استفاده از مدل های یادگیری ماشین انجام شد. برای پهنه بندی خطر سیل از مدل های یادگیری ماشین، درخت تصمیم گیری، k نزدیکترین همسایه، یادگیری تجمعی و WLC استفاده شد. برای انجام صحت سنجی مدل ها و انتخاب بهترین مدل نیز از روش ROC براساس دو معیار ارزیابی صحت و سطح زیر نمودار در خصوص بحران سیل استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل یادگیری تجمعی با صحت ۰/۶۱ و سطح نمودار ۰/۹۰ بهترین و مدل WLC با صحت ۰/۶۱ و سطح نمودار ۰/۶۲ ضعیف ترین مدل پیش بینی خطر سیل در شهر نوشهر است (کاظمی و همکاران، ۲۰۲۲: ۷۱). به منظور پهنه بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز رضی چای از مدل ویکور استفاده گردید که نتایج نشان داد که از بین عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب، عامل شیب با ضریب وزنی ۰/۱۸، عامل ارتفاع با ضریب وزنی ۰/۱۷ و کاربری اراضی با ضریب وزنی ۰/۱۳ به ترتیب مهم ترین عوامل ایجاد سیلاب در حوضه رضی چای هستند. به علاوه، به ترتیب ۱۵/۴۹ و ۱۶/۴۷ درصد از مساحت حوضه، در طبقه بسیار پرخطر قرار دارد که نشانگر پتانسیل بالای این حوضه برای وقوع سیلاب می باشد (عابدینی و همکاران، ۲۰۲۲: ۱۸۶). در پژوهشی سیلاب با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین از جمله جنگل تصادفی (RF) و مبتنی بر هیستوگرام درخت تصمیم تقویت گرادیان، همراه با دو الگوریتم فرا ابتکاری و تصاویر ماهواره ای سنیتل یک مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت، چهار مدل ردیابی سیل مجموعه RF-HHO، RF-ACO، HGBDT-HHO و HGBDT-ACO پیاده سازی شدند و دقت کلی این مدل هادر مرحله اعتبار سنجی به بیش از ۹۵ درصد رسید. به طور کلی مدل های HGBDT نسبت به مدل های RF مزیت نسبی نشان دادند و از نظر پیچیدگی محاسباتی نیز عملکرد بهتری داشتند (عبداتی و همکاران، ۲۰۲۴: ۳۵). ادغام مدل های یادگیری ماشین برای ارزیابی خطر سیل و تعیین مکانسیم بالقوه بین ریسک و عوامل محرک برای بهبود مدیریت سیل تاکید گردید و از شش مدل یادگیری ماشین برای ارزیابی خطر سیل استفاده شد. پس از تعیین مدل بهینه، عوامل متحرک سطوح مختلف خطر سیل را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که ارتفاع، بارش حداکثر یک روزه و تراکم جاده سه عامل مهم محرکه هستند و ۵۲ درصد در خطر سیل منطقه نقش موثری داشتند (چن و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۳۵). در پژوهشی اقدام به تهیه نقشه حساسیت سیل با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی حلقوی گردید. برای این کار، ۱۳ عامل مؤثر در سیل تاریخی در منطقه شهر شانگیو بررسی و با استفاده از روش های مبتنی بر چندین معیار هدف با روش ماشین بردار پشتیبان (SVM) ارزیابی شده است. نتایج نشان داد که کلیه روش های مبتنی بر CNN می توانند نقشه حساسیت سیل دقیق تری را تولید نمایند. بنابراین، الگوریتم پیشنهادی CNN می تواند به کاهش و مدیریت سیل کمک کند (وانگ و همکاران، ۲۰۲۲:). تحقیقی در مورد تهیه نقشه حساسیت سیل پذیری در منطقه ایالات متحده آمریکا با بکارگیری مدل های یادگیری ماشین و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، انجام شده است. در این تحقیق از الگوریتم های یادگیری شامل رگرسیون لجستیک (LR)، جنگل تصادفی (RF)، ماشین بردار پشتیبان (SVM)، نزدیکترین همسایه (KNN)، تقویت تطبیقی (Ada Boost) و افزایش گرادیان شدید (XGB) استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داده که مدل های (XGB) و (RF) نسبت به مدل های دیگر با دقت بین ۰/۸۲ تا ۰/۹۷ نسبتاً خوب هستند. لذا این مدل ها می تواند به منظور تهیه نقشه های شناسایی مناطق مستعد سیل مورد استفاده قرار گیرد (دمیسی و همکاران، ۲۰۲۴: ۱۸۳). چالوس در شمال کشور در استان مازندران در شهرستان چالوس واقع شده است. در طی سال های اخیر از جمله خرداد ۱۴۰۳ این شهرستان با سیلاب های ناگهانی مواجه شده است. به عنوان نمونه سیلاب در محدوده دربند محور کندوان موجب خسارات زیادی شد به طوری که براین اساس گزارش های موجود شدت سیل در حدی بوده که موجب آب بردگی تعدادی از خودروها در حالت توقف در این مسیر شده است. بررسی پیشینه تحقیق نشان داد که در اغلب مطالعات پیشین بعمل آمده عمدتاً از روش های چندمعیاره تصمیم گیری یا روش های مدل هیدرولیکی برای پهنه بندی و تهیه نقشه خطر وقوع سیل شده است. ثانیاً تحقیقی با موضوع تحقیق حاضر برای محور کندوان - چالوس تا بحال انجام نشده است. لذا برای پهنه بندی خطر وقوع سیلاب برای محدود مورد تحقیق از روش الگوریتم نوین جنگل تصادفی و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای محور کندوان - چالوس استفاده شد.

موقعیت جغرافیایی منطقه

جاده چالوس، با نام رسمی جاده ۵۹، یکی از مهم‌ترین جاده‌های دسترسی به شمال ایران برای مردم کرج و تهران است که از استان البرز آغاز می‌شود و شهر کرج و تهران را به چالوس در نزدیکی سواحل دریای خزر متصل می‌کند. این منطقه در مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی، در بخش جنوب غرب استان مازندران قرار دارد. جاده چالوس از کرج در ارتفاع ۱۴۰۰ متری از سطح دریا به سوی شمال آغاز می‌شود و در مسیر در منطقه گچسار (۶۶ کیلومتری راه) به ارتفاع ۲۲۵۱ متر از سطح دریا می‌رسد. این محور ارتباطی مهم در نهایت در محدوده شهر چالوس در ارتفاع ۷۵ متری از سطح دریا به جلگه مازندران منتهی می‌شود. جاده چالوس از سمت شمال به شهرستان چالوس در استان مازندران، از شرق به تهران و شمیرانات، از غرب به منطقه طالقان و از جنوب به شهر کرج محدود می‌شود.

چون هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در محور کندوان چالوس می‌باشد، لذا به معرفی رودخانه‌های مهم این محور پرداخته شد. رودخانه نمک‌آبرود در غرب استان مازندران در شهرستان چالوس رواناب‌ها و آب‌های زیرزمینی کوه‌های تخت سلیمان و علم کوه البرز مرکزی در شهرستان کلاردشت سرچشمه می‌گیرد و به دریای خزر می‌ریزد. عمق این رودخانه بین ۵/۵ الی ۱/۷۵ متر متغیر است. مهمترین رودخانه جاده چالوس، معروف به رودخانه چالوس به طولی حدود ۷۲ کیلومتر دارای جریان‌های شدید و سیلابی است. رودخانه چالوس یکی از طولانی‌ترین و بزرگترین رودخانه‌های است که از دامنه شمالی ارتفاعات طالقان و کندوان در استان البرز سرچشمه گرفته و در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. رودخانه ارنگه نیز یکی دیگر از رودخانه‌های جاده چالوس که مقصد بسیاری از گردشگران بوده و در کیلومتر ۱۸ جاده چالوس و در نزدیکی روستای توریستی ارنگه واقع شده است. رودخانه شهرستانک نیز در محدوده مورد تحقیق جزو رودخانه‌های جاده چالوس است. این رودخانه در سراسر روستای شهرستانک جاری است و از چشمه‌ای به نام گله گیله سرچشمه می‌گیرد.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure (1): The location of the study area

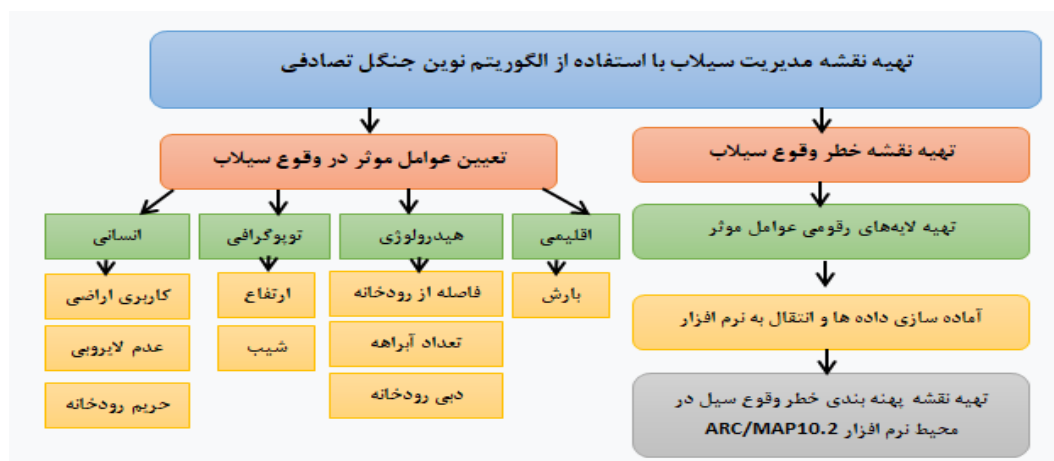
لذا با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و شیب زیاد و وجود رودخانه‌ها و مسیل‌های متعدد و از طرف دیگر عدم رعایت حدبستر و حریم رودخانه‌ها و ایجاد ساخت و سازها در بستر آن‌ها سبب شده است تا هر ساله در این منطقه سیلاب‌های مخربی رخ داده است.

مواد و روشها

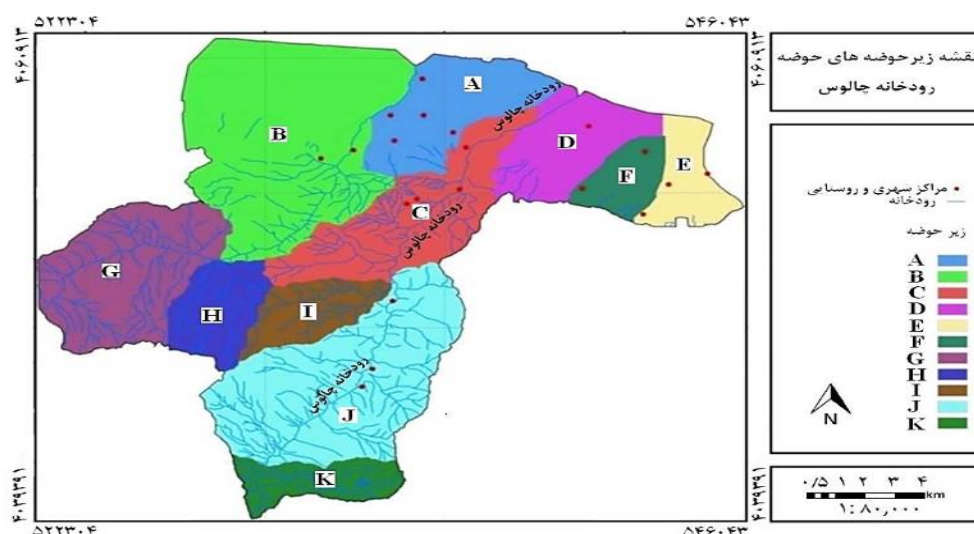
هدف اصلی تحقیق تعیین اولویت عوامل مؤثر در وقوع سیلاب و تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب در جاده کرج - چالوس از محور کندوان تا چالوس است. برای انجام این تحقیق مواد و روش‌ها زیر استفاده شده است.

(الف) انتخاب شاخص‌های مؤثر و تهیه لایه‌های رقومی آن‌ها: در این مرحله باتوجه به مطالعات و پیشینه تحقیق ۹ شاخص کاربری-اراضی، فاصله از رودخانه، شیب، ارتفاع، عدم رعایت حریم رودخانه، دبی رودخانه، آبراهه، بارش، و عدم لایروبی رودخانه انتخاب شدند. لایه‌های، شیب و ارتفاع از نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰۰ و لایه بارش نیز از آمار بارش ایستگاه‌های نوشهر و سیاه‌بیشه تهیه شدند.

(ب) اولویت‌بندی عوامل مؤثر در وقوع سیلاب: پس از تعیین عامل تورم واریانس و ضریب تحمل، در مرحله بعد با وارد کردن داده‌های مربوط به عوامل مؤثر به نرم‌افزار R، مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی انجام و نقش عوامل مؤثر در وقوع سیلاب در منطقه تعیین گردید (شکل ۲). روش جنگل تصادفی به‌جای رشد یک درخت، صدها یا هزاران درخت طبقه‌بندی تولید می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۳۵). این الگوریتم را نخستین بار لئوبرایمن و آدل‌کاتلر ایجاد کردند و توسعه دادند. الگوریتم جنگل تصادفی مبتنی بر درسته‌ای از درخت‌های تصمیم است (طالبی و همکاران، ۲۰۱۷: ۴۵). و در حال حاضر یکی از بهترین الگوریتم‌های یادگیری است (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۸: ۳۷).



شکل (۲): فلوچارت مراحل تحقیق
Figure (2) Flowchart of Research Stages



شکل (۳): حوضه آبخیز چالوس و زیرحوضه های آن
Figure (3): Chalus basin and its sub-basins

هر درخت به صورت زیر تشکیل می شود:

۱. اگر N تعداد حالت ها در مجموعه داده های train (مجموعه کار) باشد، N حالت را به صورت تصادفی با جاگذاری از داده های اصلی، نمونه گیری می شود. این نمونه مجموعه کار برای این درخت است.

۲. اگر M متغیر داشته باشیم و m را کوچک تر از M در نظر گرفته می شود به طوری که در هر گره، m متغیر به صورت تصادفی از M انتخاب می شوند و بهترین جداسازی روی این m متغیر برای جداسازی گره استفاده می شود. لازم به ذکر است که مقدار m در طول ساخت جنگل ثابت در مد نظر قرار می گیرد.

۳. هر درخت به اندازه ممکن بزرگ می شود. هیچ هرسی وجود ندارد.

کاهش m هم همبستگی و هم قدرت را کاهش می دهد و افزایش آن هم سبب افزایش هردو می شود. کار ساخت جنگل با استفاده از درخت ها اغلب اوقات به روش کیسه گذاری انجام می شود. ایده اصلی روش کیسه گذاری آن است که ترکیبی از مدل های یادگیری، نتایج و عملکرد کلی مدل را افزایش می دهد. به بیان ساده، جنگل تصادفی چندین درخت تصمیم ساخته و آن ها را با یکدیگر ادغام می کند تا پیش بینی های صحیح تر و پایدارتری حاصل شوند. در این روش بردار تصادفی Θ_k که مستقل از بردارهای تصادفی $\Theta_1, \dots, \Theta_{k-1}$ بوده، برای درخت K ام تولید می شود. همچنین همه بردارها دارای توزیع یکسانی هستند. درخت رگرسیونی با استفاده از مجموعه داده های آموزش و Θ_k رشد می کند و نتیجه جموعه درخت های K برابر، $\{h_1(x), h_2(x), \dots, h_k(x)\}$ است.

که در اینجا $h_k(x) = h(x, \Theta_k)$ ، $x = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ است. این بردارها یک بردار ورودی P بعدی هستند که یک جنگل را تشکیل می دهند. خروجی های k تولید شده گروهی، مربوط به هر درخت برابر $y^1_k = h_1(x), y^2_k = h_2(x), \dots, y^k_k = h_k(x)$ که خروجی درخت K ام است. برای به دست آوردن خروجی نهایی، متوسط همه پیش بینی های درخت ها محاسبه می شود. خطای پیش بینی های درخت ها محاسبه می شود. خطای پیش بینی نیز بر اساس نمونه های خارج از کیسه طبق فرمول ۱ محاسبه شد.

$$MSE \quad MSE^{00B} = n^{-1} \sum_{i=1}^n [\hat{y}(x_1) - y_i]^2 \quad \text{فرمول (۱)}$$

در رابطه فوق $y(x1)$ نتایج محاسباتی، y_i نتایج مشاهداتی، و n تعداد کل مشاهدات است و MSE میزان خطای بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی را نشان می‌دهد. روش جنگل تصادفی برای طبقه‌بندی و اولویت‌بندی به طور خلاصه بدین صورت است که: در ابتدا T نمونه خودراه انداز از داده آموزشی بیرون کشیده می‌شود و سپس از هر نمونه خودراه انداز β یک درخت طبقه‌بندی و رگرسیون هرس نشده ایجاد می‌شود که برای انشعاب در هر گروه رگرسیون، تنها یکی از M ویژگی انتخاب شده به صورت تصادفی استفاده می‌شود. در نهایت، خروجی طبقه‌بندی بر اساس یک نتیجه میانگین از پیش‌بینی‌های تمام درخت‌های منفرد آموزش دیده، به دست می‌آید. (چن و همکاران، ۱۳۵:۲۰۱۸).

(ج) تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب: نقشه خطر وقوع سیلاب نیز بر اساس روش جنگل تصادفی تهیه گردید. پس از وزن‌دهی هر یک از شاخص‌ها در نرم‌افزار R ، وزن آن‌ها به محیط $ARC/MAP 10.2$ منتقل شد و وزن‌ها بر روی هر یک از لایه‌های رقومی اعمال شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در سه پهنه کم‌خطر، با خطر متوسط، خیلی خطرناک (خطر زیاد) تهیه شد.

بحث و یافته‌ها

در ابتدا به منظور بررسی هم‌خطی بین متغیرها از دو شاخص عامل تورم واریانس و ضریب تحمل استفاده شد. ضریب تحمل کم‌تر از $1/2$ یا $1/1$ و عامل تورم واریانس 5 یا بزرگ‌تر از مقدار مذکور نمایانگر هم‌خطی بودن و ارتباط زیاد بین دو متغیر است. جدول (۱) بررسی هم‌خطی بین عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بدین ترتیب با توجه به نتایج به دست آمده ضریب تحمل در هیچ کدام از شاخص‌ها کم‌تر از $1/2$ یا $1/1$ و عامل تورم واریانس نیز در هیچ یک از شاخص‌ها 5 یا بزرگ‌تر نمی‌باشد؛ لذا بین شاخص‌های مورد استفاده هیچ‌گونه هم‌خطی وجود ندارد که بیانگر ارتباط زیاد بین متغیرها است.

جدول (۱): بررسی هم‌خطی بین عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب منطقه مورد مطالعه

Table (1): Investigating the Colinearity between the Factors Affecting the Occurrence of Floods in the Study Area

شاخص	عامل تورم واریانس (VIF)	ضریب تحمل (Tolerance)
بارش (میلی‌متر)	۱/۱۱۱	۰/۱۲۱
ارتفاع (متر)	۱/۲۳۰	۰/۳۴۲
فاصله از رودخانه (متر)	۱/۵۳۱	۰/۶۵۴
عدم رعایت حریم رودخانه	۴/۳۵۶	۰/۸۹۷
کاربری اراضی	۲/۳۸۹	۰/۸۶۵
شیب (درصد)	۲/۱۱۱	۰/۴۵۶
دبی رودخانه	۲/۳۲	۰/۴۳۲
تعداد آبراهه	۱/۲۷۶	۰/۳۲۴
عدم لایروبی رودخانه	۳/۴۳۲	۰/۴۳۲

در مرحله بعد با وارد کردن داده‌های مربوط به عوامل مؤثر به نرم‌افزار R ، مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی انجام و نقش عوامل مؤثر در وقوع سیلاب تعیین شد. بدین منظور از دو عامل میانگین کاهش دقت و میانگین کاهش جینی همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، برای تعیین اولویت هر یک از عوامل مؤثر در وقوع سیلاب استفاده شده است.

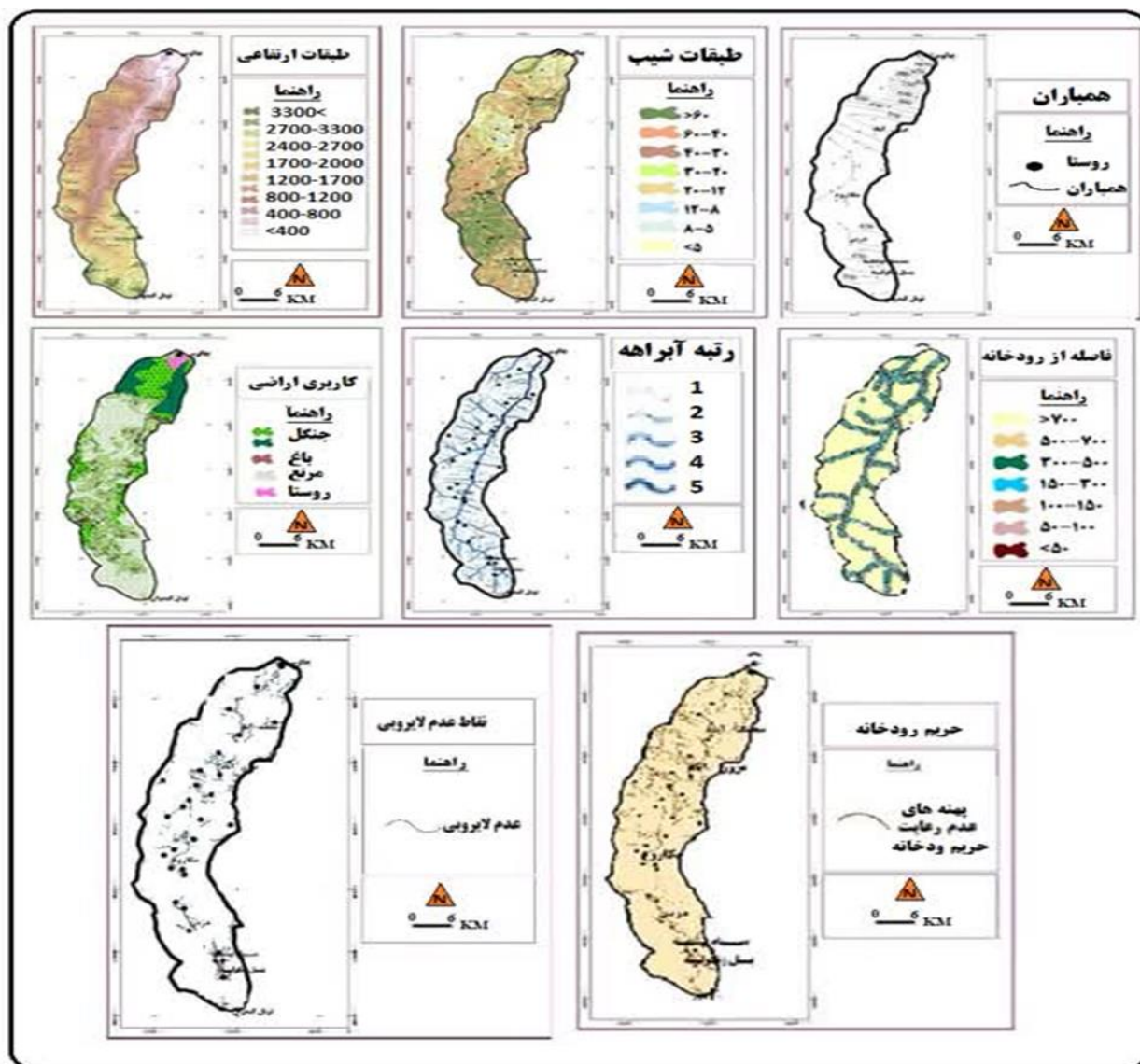
جدول (۳) میزان اهمیت عوامل مؤثر سیلاب بر اساس دو معیار میانگین کاهش دقت و میانگین کاهش جینی در را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است هر چه میانگین کاهش دقت بیشتر باشد میانگین کاهش جینی هم‌افزایش می‌یابد. بدین ترتیب مهم‌ترین عامل در وقوع سیلاب در منطقه بارش با میانگین کاهش دقت برابر با $20/18$ و میانگین کاهش جینی $5/64$ است. در طی سال‌های اخیر حجم بارش‌های ناگهانی در منطقه افزایش داشته است، همین مسئله سبب افزایش دبی آب شده است. این بارش‌ها در طی سال‌های

اخیر به صورت ناگهانی، شدید و کوتاه مدت و سیلابزا هستند. دومین عامل در منطقه عدم لایروبی رودخانه با میانگین کاهشی دقت برابر با ۱۹/۵۶ و میانگین کاهشی جینی ۴/۸۹ است. شکل (۴): تصاویری از عدم لایروبی و ربختن نخاله‌های ساختمانی به رودخانه‌ها در منطقه مجاور جاده چالوس را نشان می‌دهد. جدول (۲) و نقشه‌های زیر معیار یا لایه‌های اطلاعاتی عوامل موثر در پتانسیل وقوع سیلاب در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۴): تصاویری از عدم لایروبی رودخانه‌ها در چالوس

Figure (4): Pictures of the lack of dredging of rivers in Chalus



شکل (۵): نقشه لایه‌های مورد مطالعه

Figure (5): Map of studied layers

جدول (۲): دبی حداکثر سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری با دوره‌های برگشت (T) بر حسب متر مکعب بر ثانیه

Table (2): Maximum annual discharge of hydrometric stations with return periods (T) in cubic meters per second

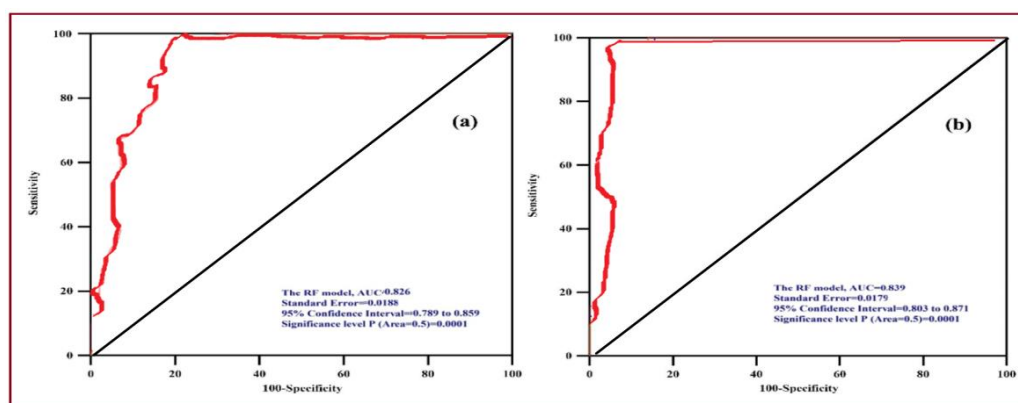
نام ایستگاه (زیر حوضه)	QT ₂₀₀	QT ₁₀₀	QT ₅₀	QT ₂₅	QT ₁₀	QT ₅	QT ₃	QT ₂
ولی آباد (کندوان - دونا - الیکا)	۱۸۰/۷۸	۱۳۳/۶۹	۹۷/۸۹	۷۰/۷۲	۴۴/۶۲	۳۰/۳۱	۲۱/۹۴	۱۶/۲
آبشار (الیت - دلیر)	۱۵۳/۵۲	۱۳۴/۶۱	۱۱۷/۱۴	۱۰۰/۹۱	۸۱/۰۱	۶۶/۷۲	۵۶/۲۶	۴۷/۵۱
هنیسک (کجور)	۴۰/۰۹	۳۵/۸۷	۳۱/۴۸	۲۷/۱۹	۲۱/۴۸	۱۷/۰۴	۱۳/۶۱	۱۰/۶۵
پل ذغال (برآردرود)	۴۰۰/۹۸	۳۲۴/۵	۲۶۰/۰۷	۲۰۵/۸	۱۴۸/۷۴	۱۰۹/۶۴	۸۵/۳۶	۶۵/۷۳

جدول (۳): میزان اهمیت عوامل موثر سیلاب براساس دو معیار میانگین کاهش دقت و میانگین کاهش جینی

Table (3): The Importance of Flood Effective Factors Based on Two Criteria of Mean Accuracy Reduction and Gini Mean Reduction

شاخص	میانگین کاهش دقت	میانگین کاهش جینی
بارش (میلی متر)	۲۰/۱۸	۵/۶۴
ارتفاع (متر)	۹/۴۴	۲/۳۵
فاصله از رودخانه (متر)	۱۲/۰۹	۳/۰۴
عدم رعایت حریم رودخانه	۱۸/۱۸	۴/۵۲
کاربری اراضی	۱۵/۳۱	۳/۳۲
شیب (درصد)	۱۷/۲۸	۳/۷۸
دبی رودخانه	۱۲/۲۱	۳/۱۴
تعداد آبراهه	۱۱/۱۱	۲/۷۱
عدم لایروبی رودخانه	۱۹/۵۶	۴/۸۹

به منظور ارزیابی مدل تهیه شده، همان طور که پیش تر ذکر شد از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) استفاده گردید. در ارزیابی منحنی راک هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که میزان آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. به طور کلی تقسیم بندی ۰-۱/۹ عالی، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۶-۰/۷ متوسط و ۰/۵-۰/۶ ضعیف را برای آن ارائه کرده اند. برای رسم منحنی راک الگوریتم جنگل تصادفی قبل از کلاسه بندی نقشه وزن نهایی، نقاط مهم وقوع سیل مانند کجور، مرزن آباد، نکارود را که برای ارزیابی در نظر گرفته شده روی نقشه انداخته و وزنی که در هر نقطه به دست آمده را یادداشت کرده (کد ۱) و به همین تعداد نیز نقاطی به صورت تصادفی در مناطق دیگر انتخاب و وزن آن ها نیز یادداشت می شود (کد صفر). سپس وزن های به دست آمده آن را وارد نرم افزار آماری R می گردد و با استفاده از کد نوشته شده سطح زیر منحنی که نشان دهنده دقت مدل است به دست می آید.



شکل (۶): منحنی راک و سطح زیر منحنی نقشه پهنه بندی حساسیت سیلاب (a) نقاط آموزشی، (b) نقاط ارزیابی

Figure (6): Rock Curve and Area Under Curve Flood Sensitivity Zoning Map (a) Training Points, (b) Assessment Points

شکل (۶) منحنی راک و سطح زیر منحنی نقشه پهنه بندی خطر وقوع سیلاب در محدوده محور کندوان- چالوس را بر اساس نقاط آموزشی و نقاط ارزیابی نشان می دهد. نقاط آموزشی شامل ۴۵ محدوده می شود که به بر اساس تعدد سیلاب رخ داده انتخاب شده اند. بر اساس نتایج منحنی راک، مقدار سطح زیر منحنی در نقاط آموزشی برابر با ۰/۸۲۶ است که این مسئله بیانگر این است که ارزیابی خیلی خوب را دربر گرفته است. منحنی راک در نقاط ارزیابی برابر با ۰/۸۳۲ درصد برآورد شده است که ارزیابی خیلی خوب الگوریتم جنگل تصادفی در پهنه بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از این مدل است.

پس مشخص شدن وزن هر یک از عوامل در محیط نرم افزار R، این وزن ها در محیط ARC/MAP10.2 منتقل، و بر روی لایه های مورد نظر اعمال گردید. این وزن ها بین صفر و یک است. ستون صفر به معنای مقادیر پهنه های غیر سیلابی برای هر پیکسل و ستون

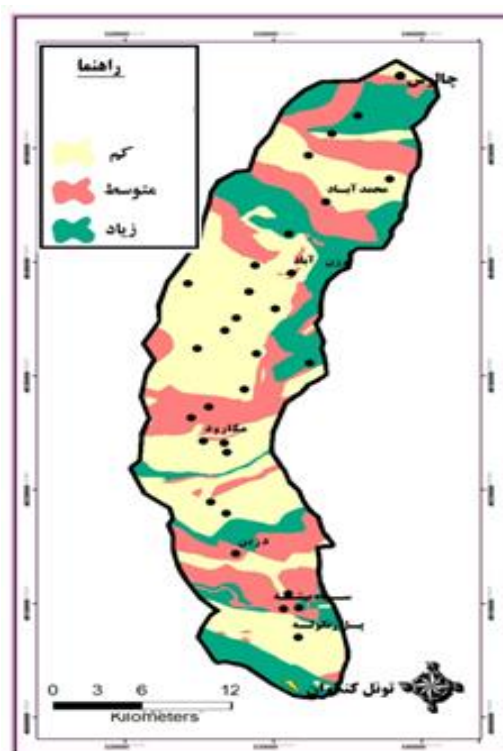
یک بیانگر مقادیر پهنه های سیلاب برای هر پیکسل از کل منطقه مورد مطالعه است. به منظور پهنه بندی حساسیت سیلاب، ستون پیکسل های صفر حذف شده و مقادیر ستون یک بر اساس مختصات هر یک از پیکسل ها در محیط ARC/MAP در قالب یک فایل نقطه ای در آمده و سپس از مسیر تبدیل نقطه به رستر، نقشه های وزنی با هم جمع شده و نقشه نهایی به دست می آید بر اساس نقاط شکست منحنی تجمعی، نقشه به سه طبقه حساسیت کم، متوسط و زیاد تقسیم شده و نقشه پهنه بندی خطر وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه به دست آمد.

جدول (۴): تعداد پیکسل و درصد پهنه های خطر وقوع سیل در محور کندوان - چالوس

(Table 4) Number of Pixels and Percentage of Flood Risk Zones on Kandovan-Chalous Axis

شاخص	تعداد پیکسل	درصد
کم خطر	۲۶۱/۴۳	۶۳/۴
با خطر متوسط	۱۵۱/۱	۲۰
خطرناک	۱۱۸/۳	۱۶/۶

باتوجه به نتایج به دست آمده از جدول (۴) بیشترین مساحت منطقه را پهنه کم خطر (۳۱/۶ درصد) دربر گرفته است. بعد از آن پهنه خیلی خطرناک در حدود ۲۸/۴ درصد از مساحت منطقه را دربر گرفته است. شکل شماره (۷) نقشه پهنه بندی خطر وقوع سیلاب بر اساس الگوریتم جنگل تصادفی در محور کندوان - چالوس در ۳ پهنه کم خطر، با خطر متوسط، با خطر زیاد را نشان می دهد. بر اساس نقشه استعداد وقوع سیل منطقه در حدود ۲۶۱/۴۳ کیلومترمربع منطقه جزء مناطق کم خطر ۱۵۱/۱ کیلومترمربع جزء مناطق با خطر متوسط و در حدود ۱۱۸/۳ کیلومترمربع جزء مناطق پرخطر محسوب می شوند.



شکل (۷): نقشه پهنه بندی خطر وقوع سیلاب بر اساس الگوریتم جنگل تصادفی در محور کندوان - چالوس
Figure (7): Flood Risk Zoning Map Based on Random Forest Algorithm in Kandovan-Chalous Axis

نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور تعیین اولویت عوامل مؤثر در بروز سیلاب با استفاده از الگوریتم نوین جنگل تصادفی به منظور مدیریت سیلاب انجام شده است. در محدوده مورد منطقه، نتایج بررسی نشان داد که ویژگی‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، بارش و دخالت انسان‌ها، محور کندوان-چالوس را برای پتانسیل خطر وقوع سیل مستعد کرده است. علاوه بر عوامل طبیعی؛ عدم لایروبی، نبود آب‌خیزداری مناسب و تصرف انسانی منجر به تشدید مخاطرات حاصل از سیلاب شده است.

بر اساس نقشه استعداد وقوع سیل در حدود ۲۶۱/۴۳ کیلومترمربع از منطقه مورد تحقیق جزء مناطق کم‌خطر ۱۵۱/۱ کیلومترمربع جزء مناطق با خطر متوسط و در حدود ۱۱۸/۳ کیلومترمربع جزء مناطق پرخطر محسوب می‌شوند. شواهد میدانی نشان از این دارد که ویژگی‌های ذاتی واحد سنگی زمین‌شناسی در خصوص فرسایش‌پذیری بالا طی زمان‌های طولانی خشکسالی منجر به انباشت حجم بسیار زیادی از بار رسوبی در حوضه شده است. واحد زمین‌شناسی در برگیرنده بخشی از معبر پنج سازند کرج است که بیشتر از شیل و سیلت سنگ‌های نرم فرسایشی با رس بالا و مقداری توفه‌های خرد شده متأثر از درزه و شکاف‌ها تشکیل شده است. از طرفی دیگر، همسو بودن شیب لایه‌بندی و توپوگرافی منجر به افزایش رخنمون سطحی این واحدهای نرم فرسا در بستر حوضه و افزایش سطح در معرض فرسایش و هوازدهی در پی آن شده است؛ بنابراین در زمان رخداد سیل ناگهانی با شدت بارش زیاد در یک‌زمان کم و تحریک دامنه‌های ناپایدار، حجم انبوهی از رسوبات انباشت شده به حرکت درآمده و ایجاد جریان‌های خرده‌دار با بار رسوبی بالا را در پی داشته است. این‌گونه سیلاب‌ها به دلیل بار رسوبی بالا فراتر از بستر اصلی رودخانه رخ می‌دهند و خسارت‌های بیشتری به همراه دارند. ویژگی‌های بالا در بیشتر زیرحوضه‌های کوچک مشرف به جاده چالوس و روستاهای آن منطقه، عمومیت دارد. در شکل (۷) نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب بر اساس الگوریتم جنگل تصادفی در محور کندوان - چالوس در ۳ پهنه کم‌خطر، با خطر متوسط، با خطر زیاد را نشان داده شد. طبق نتایج تحقیق حاضر (۳۱/۶ درصد) از مساحت منطقه در محدوده پهنه کم‌خطر، ۲۰ درصد در محدوده باخطر متوسط و ۲۸/۴ درصد از مساحت منطقه در محدوده با خطر زیاد قرار گرفته است. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج تحقیقی از جمله رحیم پور و همکاران، (۲۰۰۳: ۱)، در خصوص مدل سازی حساسیت خطر وقوع سیل در حوضه آبریز الوندچای واقع در شهرستان خوی بر پایه یک رویکرد نوین (FURIA-GA-LogitBoot) مطابقت دارد. محققین مذکور در تحقیق خود ضمن تهیه نقشه نهایی خطر وقوع سیل اشاره نمودند، مدل به کار گرفته در تحقیق به ترتیب با ضرایب ۰/۸۶۱ و ۰/۸۹۵، از نظر داده‌های آموزشی و اعتبار سنجی از عملکرد خوبی در تهیه نقشه حساسیت خطر وقوع سیل برخوردار بوده است نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر نیز بیانگر تأیید نتایج این محققین است.

References

- Abdelkarim, A & Gaber, A.F.D. (2019). Flood risk assessment of the Wadi Nu'man basin, Mecca, Saudi Arabia (during the period, 1988–2019) based on the integration of geomatics and hydraulic modeling: a case study, *Water* 11(9): pp.1887. (In Persian)
- Abedini, M., Faal Naziri, M., Piroozi, Elnaz. (2023). Flood risk assessment and zoning using multi-criteria ARAs and unit hydrograph techniques. Case study: upstream basin of Hydrometer Station Pol Sultan Meshkinshahr. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12 (35): pp. 115-137. (In Persian)
- Abedini, M., Piroozi, E., Aghayari, L. (2022), Zoning of flood risk in the Razi Chay watershed using the VIKOR model, *Crisis Management*, No. 22: pp. 186-197. (In Persian)
- Abedini, M., Sabouri, H and Pasban, A.H. (2015). Zoning of flood risk and its relationship with land use using the network analysis process model (Case study: Razichai watershed, Ardabil province). *Quarterly Journal of Sustainable Urban and Regional Development Studies*, 6(2): pp.68-84. (In Persian)
- Avand, M., Janizadeh, S., & Jaafari, F. (2018). Evaluating the efficiency of machine learning models in preparing a possible flood risk map, *Journal of Natural Lands Destruction and Restoration*, 1(1): pp.1-32 (In Persian)
- Beheshti, M., Feiznia, S & Ahmadi, H. (2009). Investigation of Landslide Zoning Efficiency of Safety Factor: A Case Study of Moallem Kalayeh Watershed, *Physical Geography Quarterly* 2 (5): pp. 20-32. (In Persian)

- Chen, W., Xiaoshen, X., Jianbing, P., Himan, Sh., Haoyuan, H; Dieu, T. B., Zhao, D., Shaojun, L., & A-Xing, Z. (2018). GIS-based landslide susceptibility evaluation using a novel hybrid integration approach of bivariate statistical based random forest method, *Journal Catena*, No 164: PP.135–149.
- Chen, W., Li, Y., Xue, W., Shahabi, H., Li, S., Hong, H., & Ahmad, B.B. (2020). Modeling Flood Susceptibility Using Data Driven Approaches of Naïve Bayes tree, Alternating Decision Tree, and Random Forest Methods. *Science of The Total Environment*, 701: pp.134979.
- Demisi, Z., imal, P., Seyoum M.W., Dutta, A. & Rimmington, G. (2024). Flood susceptibility mapping: ntegrating machine learning and GIS for enhanced risk assessment, *Applied Computing and Geosciences*, 23 pp. 100183.
- Ebrahimi, L. (2020). Preparation of Flood Hazards Management Map Using a New Random Forest Algorithm (Case Study: Lavasanat Watershed), *Natural Hazards*, 7(2), Summer: pp.188-196.
- Ebadati, B., Attarzadeh, R., Alikhani, M., Youssefi, F., Pirasteh, S. (2024). Efficient Flood Detection through Hybrid Machine Learning and Metaheuristic Methods using Sentinel-1, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-3/W3: pp.35–43. (In Persian)
- Esmaeili, R; Nourizadeh Nashli, N. (2024). Evaluation of morphological changes in the Haraz River due to human pressures in the area of Amol city, Mazandaran. *Hydrogeomorphology*, Volume 11, Number 40: pp. 43-57. (In Persian)
- Fenicia, F., Kavetski, D., Savenije, H.H. G., Clark, M. P., Schoups, G., Pfister, L., & Freer, J. (2014). Catchment properties, function, and conceptual model representation: Is there a correspondence? *Hydrological Processes*, 28(4): pp. 2451-2467.
- Hagen, E.J.F., Shrodr Jr., Lu, John, X.X., & Teufert, F. (2010). Reverse engineered flood hazard mapping in fghanistan: A parsimonious flood map model for developing Countries. *Quaternary International*: PP. 1-10.
- Huang, Y., Bardossy, A., & Zhang, K. (2019). Sensitivity of hydrological models to temporal and spatial resolutions of rainfall data, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 23: PP.2647–2663.
- Islamnejad, S.A., Aftakhari, M., Akbari, M., Haji Eliasi, A. & Farhadian, Hadi. (2021). Prediction of flood prone areas using advanced machine learning models (Dasht Birjand), *Journal of Water Resources and Irrigation Management* 11(4): pp. 885-904. (In Persian)
- Kakavand, M; Haghzadeh, A; Seimani Motlagh, M. (2024). *Natural Environment Hazards*, Volume 13 - Issue 40: pp.59 – 41.
- Kazemi, H., Mansouri, N., & Jozi, S. A. (2022). Flood Risk Zoning in Nowshahr City Using Machine Learning Models. *JHRE*, 40(176): pp.71-86. (In Persian)
- Khodai, A., & Zandi, R. (2022). Zoning of flood risk based on multi-criteria decision making and neural network model, case study: Khodaafrin watershed, *Watershed Engineering and Management*, 14(4): pp. 562-549. (In Persian)
- Liu, M., Chen, N., Zhang, Y., & Deng, M. (2020). Glacial Lake inventory and lake outburst flood/debris flow hazard assessment after the Gorkha earthquake in the Bhote Koshi basin, *Water* 12: pp. 464.
- Milanesi, L., M. Pilotti & R. Ranzi. (2015). A conceptual model of people's vulnerability to floods. *Water Resources Research*, 51(1): pp. 182-197
- Mugagga F., Kakembo, V., & Buyinza, M. (2012). Land use changes on the slopes of Mount Elgon and the implications for the occurrence of landslides. *Catena* 90: pp.39–46.
- Parvin, M. (2018). Evaluation and Zoning of Flash Flood Risk Based on MFFPI Model (Case Study: West Islamabad Basin), *Journal of Environmental Hazards (Former Risk Knowledge)*, 6(2): pp. 169-184. (In Persian)
- Pregolato, M., Ford, A., Wilkinson, S.M., & Dawson, R.J. (2017). The impact of flooding on road transport: a depth-disruption function, *Transp. Res. D Transp. Environ.* 55: pp.67–81.
- Rahimpour, T., Rezaei Moghadam, M. H., Hijazi, S.A., & Valizadeh Kamran, K. (2023). Flood Susceptibility Modeling in the Aland Chai Basin based on a new ensemble classification approach (FURIA-GA-LogitBoost). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(1): pp.1-24. (In Persian)

- Rezaei Moghaddam, M. H., Yasi, M., Nikjoo, M. R., & Rahimi, M. (2018). Zoning and Morphological Analysis of Gharehou River Flood Using HEC-RAS Hydrodynamic Model (From Pirazmian Village to Aharchay River Confluence). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 7(25): PP.1-15. (In Persian)
- Soleimani, K., Ali Dadganfard, F., & Pourqasmi, H. (2018). Comparison of Shannon Entropy Data Mining Techniques and Random Forest Algorithm in Preparing Jahrom Groundwater Potential Map", *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 8(24): pp.37-48. (In Persian)
- Talebi, A; Godarzi, S., & Pourqasmi, H. (2017). Evaluation of the possibility of preparing a landslide risk map using random forest algorithm (study area: Sardar Abad watershed, Lorestan province), *Journal of Natural Environment Hazards*, 7 (16): pp.45-64. (In Persian)
- Valizadeh Kamran, Kh.(2007). Application of GIS in flood risk zoning. *Journal of Geographical Space*, 20: pp.170-153. (In Persian)
- Yousefi, H., Younisi, H., Davoudi, D., Arshiya, Azadeh, & Shamsi, Z. (2021). Determining flood potential using CART, GLM and GAM machine learning models (case study, Kashkan Basin) *Journal Scientific and research journal of irrigation and water engineering in Iran*, 12(4): pp.84-105. (In Persian)
- Wang, Y., Fang, Z., Hong, H., & Peng, L. (2022). Flood Susceptibility Mapping Using Convolution Neural Network Frameworks. *Jornal of Clinical Epidemiology*, 63(8): pp.826-833.