



University of Tehran Press

Environmental

Hazards

Management



Iranian Hazardology Association

Online ISSN: 2383-0530

Home Page: <https://jhsci.ut.ac.ir>

## A comparative study of flood sensitive areas modeling (Isfahan Province)

Ahmad Hajarian 

Postdoctoral researcher in Geography and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran. Email: [a.hajarian@ltr.ui.ac.ir](mailto:a.hajarian@ltr.ui.ac.ir)

### ARTICLE INFO

#### Article type:

Research Article

#### Article History:

Received 17 July 2023

Revised 20 August 2023

Accepted 17 October 2023

Published 08 November 2023

#### Keywords:

*comparative study,  
flood sensitive,  
areas, modeling,  
Isfahan Province.*

### ABSTRACT

One of the basic solutions to control and reduce the destructive effects of floods is to identify flood prone areas in the regions. Identifying flood sensitive points is one of the best methods for planning and identifying areas affected by floods. For this reason, determining flood-sensitive areas plays an important role in flood management in natural resources. For this reason, the current research is trying to determine the flood-prone areas in Isfahan province by using two methods of random forest machine learning and support vector machine and 3327 flood occurrence points. Environmental factors in four main groups including topographical factors (altitude, slope direction, steepness of slope), climatic factors (rainfall, relative humidity, wind, temperature), biological factors (vegetation and soil moisture) and man-made factors (distance from areas residential, distance from road, distance from agricultural land, distance from waterway) were prepared. The accuracy of the used models was evaluated using the area under the graph (AUC) and cross evaluation statistics. Examining the AUC index showed that both models had good accuracy, although the random forest model (AUC = 0.97) had higher accuracy than the support vector machine model (AUC = 0.86). According to the results of the random forest model, about 41% are in the high risk class and about 20% are in the low flood risk class. Also, in the support vector machine model, about 29% is in the high risk class and about 30% is in the low risk class.

**Cite this article:** Hajarian, A. (2023). A comparative study of flood sensitive areas modeling (Isfahan Province). *Environmental Hazards Management*, 10 (3), 199-214. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2023.362467.786>



© Ahmad Hajarian. **Publisher:** University of Tehran Press.  
DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2023.362467.786>

### Introduction

Isfahan province in terms of the specific conditions of the region, such as topography, slope, lithological condition (presence of formations with low permeability) and climatic conditions (sudden rains and spring showers, sudden melting of snow in Zardkoh Bakhtiari and the sources of Zayandeh Rood, river flooding) in spring has the necessary and high potential for flooding. In a period of 90 years (1923-2005), out of 76 severe floods in the country, 19 cases were related to Isfahan province. The area of Isfahan province is 6.5% of the entire country, but 23% of the severe floods occurred in this province. Therefore, since flood is accompanied by numerous damages, it is very important to check flood-sensitive points. According to the mentioned points, flood phenomenon can be investigated and studied despite all its complications. One of the management methods of dealing with floods is to determine the sensitive points to flood events. Therefore, the purpose of this research is to evaluate the identification of flood-sensitive areas in a comparative manner and to compare two machine learning models of random forest and support vector machine in Isfahan province.

### Materials and methods

The current research has been done with a practical purpose and with a descriptive analytical method. In this research, the main goal is to determine areas that are susceptible to flooding. For this reason, in the first step, based on past research, as well as experts' opinions and examining the history of flood-

prone areas, the factors influencing the occurrence of floods were first determined. Among the influential factors, we can mention 4 main criteria (topographical, biological, climatic and man-made factors) and 14 sub-criteria. Each criterion and its sub-criteria are briefly described below. The map related to all environmental factors was created in a raster format with a pixel size of 30 x 30 meters.

### Results and discussion

Based on the results, in the support vector machine model, the average risk class had the largest area (39.9 percent). In the support vector machine model, the second class with a large area was the low risk class, which includes 30.5% of the study area, while in the random forest model, the high risk class with an area of more than 44 thousand hectares. It has the largest area, equivalent to 41.3 of the area. Finally, in the support vector machine model, the lowest area was related to the high-risk class, which covered only 29.5% of the area, while in the random forest model, the lowest area was related to the low-risk class of flooding with an area of 2245082 hectares. The evaluation of the accuracy of the support vector machine and random forest models based on the area under the graph (AUC) in the ROC curve showed that both models have good accuracy, but the random forest model has higher accuracy. Based on the results, the random forest model had a level under the graph of 0.97 and the support vector machine model had a level under the graph of 0.86.

### Conclusion

Modeling flood-prone areas can be a key tool for correct and timely management of natural hazards, including floods. In Iran, as one of the most dangerous places in the world, flood is considered one of its most important natural hazards. Many managers are trying to find suitable solutions for flood management that can be used to manage and control the flood in the shortest possible time. Considering the time required for flood control and resource investment, accurate estimation of flood risk and preparation of flood distribution maps is the first step in flood management and risk assessment. The present research was also conducted in order to investigate the effectiveness of different machine learning methods in modeling flood sensitive areas in Isfahan province. According to the results of the present study, there was an increasing trend in the number of flood points during the years under study (2008 to 2023). The highest number of recorded floods was in 2021. In this research, based on the results of modeling, the distance from residential areas and rainfall were the most important factors in the occurrence of floods in Isfahan province, and the least important factors were the least important factors in areas with a history of flooding in Isfahan province. Due to the greater activity of people near residential areas, there was the highest risk of flooding in these areas. Another important and effective factor on the occurrence of floods in the study area was the annual temperature, the tendency of the flood points was lower than the areas with the average annual temperature. Temperature is also an important factor in the occurrence of floods. Based on the conducted studies, temperature, air humidity and increase in rainfall are among the natural factors that provide the basis for surface and extensive flooding in the regions. In high altitudes, there are less floods and more rainfall. Another reason for the possibility of flooding in low altitudes can be considered the easy access of human agents, including tourists and nature walkers, ranchers, villagers, farmers, pasture herders and hunters to these plains. In general, the accuracy of the used model depends on many factors, which can be attributed to the characteristics of the studied area, such as topography, factors affecting the occurrence of floods, the accuracy and type of layers of independent variables for modeling the probability of flooding, the accuracy of points And the recorded ranges of floods that have occurred in the past and the type of forecasting algorithm used are among the factors affecting the overall accuracy of the classification. Considering the increase in the amount of floods and the increase in crises in the regions, the results of this research can be used as a model for managing floods in the study area and helping managers to plan and take measures and provide facilities in high-risk areas. prone to flooding.



## مطالعه تطبیقی مدل‌سازی مناطق حساس به وقوع سیل (استان اصفهان)

احمد حجاریان

پژوهشگر پسادکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: [a.hajarian@itr.ui.ac.ir](mailto:a.hajarian@itr.ui.ac.ir)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

شناسایی مناطق سیل‌گیر از راهکارهای اساسی کنترل و کاهش آثار مخرب سیل است. شناسایی نقاط حساس سیل از بهترین روش‌ها برای برنامه‌ریزی و شناسایی مناطق تحت تأثیر سیل است. به همین دلیل تعیین مناطق حساس به وقوع سیل اهمیت زیادی در مدیریت سیل در منابع طبیعی دارد. تحقیق حاضر درصدد است که با استفاده از دو روش یادگیری ماشینی جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان و ۳۳۲۷ نقطه وقوع سیل، مناطق حساس به وقوع سیل در استان اصفهان را تعیین کند. عوامل محیطی در چهار گروه اصلی شامل عوامل توپوگرافی (ارتفاع، جهت شیب، تند شیب)، عوامل اقلیمی (بارش، رطوبت نسبی، باد، درجه حرارت)، عوامل زیستی (پوشش گیاهی و رطوبت خاک) و عوامل انسان‌ساخت (فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده، فاصله از اراضی کشاورزی، فاصله از آبراهه) تهیه شدند. دقت مدل‌ها با استفاده از سطح زیر نمودار (AUC) و آماره‌های ارزیابی متقاطع ارزیابی شد. بررسی شاخص AUC نشان داد که هر دو مدل دقت مناسبی دارند، هرچند دقت مدل جنگل تصادفی ( $AUC=0.97$ ) از مدل ماشین بردار پشتیبان ( $AUC=0.86$ ) بیشتر است. براساس نتایج مدل جنگل تصادفی، حدود ۴۱ درصد در طبقه پرخطر و حدود ۲۰ درصد در طبقه کم‌خطر و براساس نتایج مدل ماشین بردار پشتیبان، حدود ۲۹ درصد در طبقه پرخطر و حدود ۳۰ درصد در طبقه کم‌خطر قرار دارند.

### نوع مقاله:

یادداشت پژوهشی

### تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۸/۲۳

### کلیدواژه:

استان اصفهان،

جنگل تصادفی،

ماشین بردار پشتیبان،

مدل‌سازی سیل.

استناد: حجاریان، احمد (۱۴۰۲). مطالعه تطبیقی مدل‌سازی مناطق حساس به وقوع سیل (استان اصفهان). مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۰ (۳)، ۱۹۹-۲۱۴.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2023.362467.786>

© احمد حجاریان. ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2023.362467.786>



## ۱. مقدمه

سیلاب از بزرگ‌ترین و رایج‌ترین مخاطرات طبیعی است و شناخت نواحی مستعد وقوع سیلاب، از اقدامات اساسی در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه‌ای محسوب می‌شود. [۸]. سیل به وضعیتی گفته می‌شود که جریان رودخانه و سطح آب به‌صورت غیرمنتظره افزایش یابد و سبب خسارات مالی و جانی شود [۹]. سیلاب‌ها در مقایسه با مخاطرات طبیعی دیگر، با فراوانی زیاد و در فضایی گسترده اتفاق می‌افتند [۱۵]. بررسی آمار و اطلاعات خسارات سیلاب در ایران و جهان، بیانگر گستردگی صدمات به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف است [۱۳]. بررسی‌ها نشان می‌دهد که زیان‌های ناشی از سیل ۳۱ درصد از کل خسارات مخاطرات طبیعی و محیطی جهان را در بر می‌گیرد [۳]. طغیان رودخانه‌ها و وقوع سیلاب‌های متعدد در طول سال موجب خسارات جانی و مالی زیادی به مردم مناطق مختلف می‌شود [۶]. بررسی آمار و اطلاعات خسارت‌های ناشی از وقوع سیل در ایران نیز نشان می‌دهد که این پدیده همواره یکی از سه مخاطره طبیعی و اصلی کشور بوده است. براساس آمار سازمان‌های تخصصی ملل متحد، در دهه ۲۰۰۰ در ۱۳۰ رخداد سیلاب بزرگ، بیش از ۶۴۱۰۳ نفر تلفات انسانی و ۹/۰۶ میلیارد دلار خسارت اقتصادی روی داده است [۲].

از عوامل تأثیرگذار در پیدایش سیل می‌توان به رژیم بارش، دما، توپوگرافی، وضعیت پوشش گیاهی، جنس خاک، رطوبت، ویژگی‌های فیزیولوژیکی حوضه‌ها و ناپایداری هوا اشاره کرد [۱۷]. به منطقه‌هایی که احتمال سیل فراوان است، مناطق مستعد سیل گفته می‌شود. این سیل‌ها اغلب در دوره‌های ترسالی دارای تعدد است. بشر در پیدایش سیل به‌طور مستقیم و غیرمستقیم اثرگذار است. افزایش فعالیت‌های انسانی سبب رشد گستره شهرها و تبدیل جنگل‌ها و پوشش گیاهی به اراضی کشاورزی شده است. از سوی دیگر، افزایش گازهای گلخانه‌ای و تخریب اکوسیستم‌های طبیعی باران‌های سیل‌آسا را در پی داشته است. به همین دلیل، خسارت‌های شدید سیل، مدیران و محققان را بر آن داشته است که تلاش زیادی برای پیش‌بینی، پیشگیری و تخمین احتمال بروز سیل داشته باشند. ایران از کشورهای حادثه‌خیز جهان است و پدیده سیل، از مهم‌ترین مخاطرات آن محسوب می‌شود. سیل در سال‌های اخیر از مهم‌ترین عوامل تخریب‌کننده و تأثیرگذار بوده است. بررسی سطح مناطق تخریب‌شده در اثر سیل نیز روندی افزایشی نشان می‌دهد؛ به‌طوری که بررسی مساحت اراضی سیل‌زده، نشان‌دهنده روند افزایشی در این نواحی بوده است. در استان اصفهان به‌دلیل شرایط خاص منطقه مانند توپوگرافی، شیب، وضعیت لیتولوژی (وجود سازندهایی با نفوذپذیری کم) و شرایط اقلیمی (بارش‌های ناگهانی و رگباری بهاری، ذوب ناگهانی برف در زردکوه بختیاری و سرچشمه‌های زاینده‌رود، طغیان رودخانه‌ها در بهار) احتمال وقوع سیلاب زیاد است. در یک دوره ۹۰ ساله (۱۳۰۱ تا ۱۳۹۰) از ۷۶ مورد سیل شدید در کشور، ۱۹ مورد مربوط به استان اصفهان بوده است. مساحت استان اصفهان ۶/۵ درصد از کل کشور است، اما ۲۳ درصد سیل‌های شدید در این استان رخ داده است [۱۱]. از آنجا که سیل همراه با خسارت متعدد است، بررسی نقاط حساس به سیل بسیار حائز اهمیت است. با توجه به نکات مذکور، پدیده سیل علی‌رغم همه پیچیدگی‌هایش قابل بررسی است. یکی از روش‌های مدیریتی مواجهه با سیل، تعیین نقاط حساس به رخداد سیل است. هدف این تحقیق ارزیابی و تعیین مناطق حساس به رخداد سیل به‌صورت تطبیقی و مقایسه دو مدل یادگیری ماشینی جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان در استان اصفهان است. پژوهش‌هایی در این خصوص صورت گرفته است. اصغری و همکاران با استفاده از مدل ویکور به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز آق‌لاقان‌چای پرداختند و نتیجه گرفتند که عوامل شیب، ارتفاع و فاصله از شبکه آبراهه، بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در این حوضه دارند. به‌طور عمده مناطق بسیار پرخطر در قسمت پرشیب شمال و جنوب غربی حوضه مطالعاتی قرار دارند. به‌طور کلی نتایج پژوهش آنان نشان می‌دهد که حوضه آق‌لاقان‌چای ظرفیت بسیار زیادی از لحاظ رخداد سیلاب دارد، از این رو اقدامات حفاظتی، آبخیزداری و مدیریتی در این خصوص ضرورت دارد [۱].

عابدینی و همکاران به پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان مشکین‌شهر با استفاده از مدل ویکور پرداختند و دریافتند که عوامل ارتفاع، لیتولوژی، بارش و شیب به‌ترتیب بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در منطقه دارند. همچنین با توجه به نتایج به‌ترتیب ۲۳/۳۷ و ۵۲/۵۰ کیلومتر مربع از مساحت محدوده، در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند [۷].

طهماسبی و همکاران با روش تفسیر تلفیقی به تحلیل فضایی عوامل مؤثر بر رخداد سیلاب در شهر ایلام پرداختند. مطابق

نتایج، در پیشامد بالفعل ۱، هشت سنجۀ فضایی با مساحت ۶۸ هکتار و پوشش ۱/۵ درصدی از کل محدوده شهر در معرض خطر سیلاب قرار دارد. در پیشامدهای ۰/۸ و ۰/۹، نوزده سنجه با مساحت ۱۷۰ هکتار معادل ۳/۶ درصد از پوشش کاربری‌های محدوده در معرض خطر بالقوه قرار دارد؛ ضمن اینکه بین پیشامد سیلاب با نوع سنجه و میزان و جهت شیب و همچنین تراکم و عرض شبکه معابر از یک طرف و شبکه زهکشی همبستگی قوی وجود دارد. در پیشامدهای زیاد (۱-۰/۸)، ۲۸ سنجه در گروه کاربری‌های مسکونی در مقیاس طرح تفصیلی با مساحت ۷۶/۵ هکتار، بایر و محصور شده با ۷۰/۵۵، شبکه معابر با ۲۹/۷۵، و پارک و فضای سبز با ۱۷ هکتار خطرپذیرترین کاربری‌ها تشخیص داده شدند. از میان همه گروه‌های کاربری خطرپذیر، ۲۹/۵ درصد در گروه نوساز، ۴۴/۵ درصد در گروه قابل نگهداری و ۱۸ درصد در گروه بافت فرسوده تشخیص داده شدند [۱۰].

یمانی و عباسی به ارزیابی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبریز گادر براساس پارامترهای مورفومتری و همبستگی آماری پرداختند. نتایج نشان داد که در روش پتانسیل سیل‌خیزی که براساس دوازده پارامتر مورفومتری (نسبت ناهمواری، فراوانی جریان، تراکم زهکشی، عدد ناهمواری، نسبت انشعاب، بافت زهکشی، شاخص فشردگی، فاکتور شکل، نسبت دایره‌ای، نسبت کشیدگی، نسبت لینزکات و ناهمواری) محاسبه شده، زیرحوضه‌های شیخان‌چای و صوفیان‌چای پتانسیل زیاد سیل‌خیزی، زیرحوضه چشمه‌دول پتانسیل متوسط و زیرحوضه‌های گدارچای و نهر نلیوان، پتانسیل کمی برای سیل‌خیزی دارند. در واقع ۳۳/۸۳ درصد مساحت حوضه گادر دارای پتانسیل خطر زیاد، ۱۴/۲۸ درصد دارای پتانسیل خطر متوسط و ۵۱/۸۸ درصد دارای پتانسیل خطر کم هستند. نتایج پارامترهای مورفومتری و همبستگی آماری نشان داد که به ترتیب، زیرحوضه‌های شیخان‌چای و صوفیان‌چای با مقادیر ۲۴/۱ و ۲۱/۱۰ اولویت‌دارترین زیرحوضه‌ها شناسایی شدند. مقایسه نتایج دو روش با شرایط مورفومتری و ژئومورفولوژی زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد نتایجی که با تکیه بر دوازده پارامتر مورفومتری حاصل شده است، تطبیق بیشتری با شرایط ژئومورفیک حوضه دارد [۱۴].

در پژوهشی با عنوان نقش مدل‌سازی مبتنی بر عامل و سیستم‌های چندعاملی در مشکلات هیدرولوژیکی مبتنی بر سیل، بررسی مختصری از مدل‌های مینا و برنامه‌های سیستم‌های چندعاملی برای راه‌حل مشکلات سیل، مدیریت، ارزیابی و تلاش آنها برای پیش‌بینی جریان و وقایع سیل انجام گرفت [۲۰].

ژو و هان در پژوهش خود ۶۱ مقاله مرتبط با روش مدل‌سازی عامل‌مینا برای مدیریت ریسک سیل را با توجه به درک مزایا و محدودیت‌های این روش بررسی کردند. نتایج بررسی نشان داد که مدل‌سازی عامل‌مینا سهم بالقوه‌ای در مدیریت ریسک در آینده و کاربرد عملی آن در تصمیم‌گیری در سیاست انطباق و برنامه‌ریزی استراتژی دارد [۲۳]. با توجه به تحقیقات پیشین و پیشینه عملی وجه تمایز این تحقیق با پژوهش‌های قبلی در نوع مدل به کار گرفته شده در این پژوهش و مقایسه تطبیقی آن است.

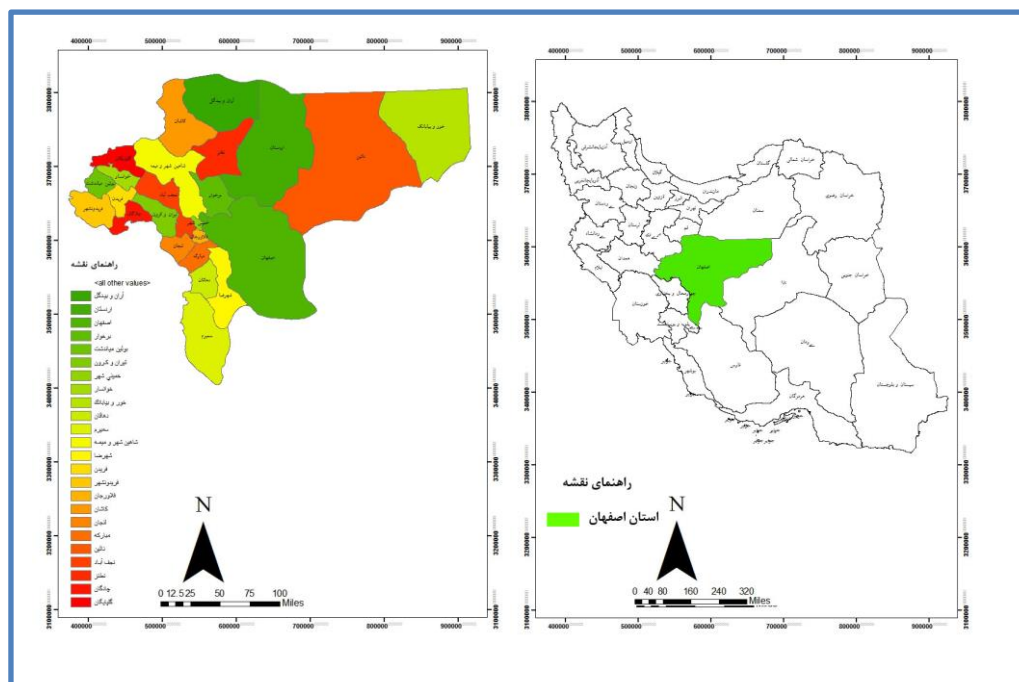
## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. معرفی منطقه پژوهش

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۱۹۹ کیلومتر مربع، حدود ۶/۲۵ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. این استان بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی در ایران مرکزی قرار دارد. شهر اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه شمالی بعد از تهران و مشهد سومین شهر بزرگ ایران است. موقعیت استان اصفهان در درون شرایط ماکروکلیمایی ایران از چنان وضعیتی برخوردار نیست که برای تمام ایام سال تحت تأثیر شرایط همسانی از نظر توده‌های هوا قرار گیرد؛ از این‌رو این ناحیه از نظر شرایط دینامیکی و ژنتیک یک ناحیه انتقالی است، به طوری که از یک سو در حیطه اقلیم جنب مداری است و از نظر ژنتیک تحت تأثیر شرایط حاصل در سطح ماکروکلیمایی ژنتیک و عوامل مؤثر در پیدایش آن قرار گرفته است (زمستان‌های سرد و بارانی و تابستان‌های گرم و خشک). با توجه به وجود ناهمواری‌های استان که در بخش‌های غربی و جنوب غربی توزیع شده است، بی‌گمان این نواحی دمای کمتری دارند، درحالی

که در نواحی پست شرقی استان درجه حرارت بیشتر است. البته میزان کاهش دما به ازای ارتفاع تابع برخی عوامل جغرافیایی است که از منطقه‌ای به منطقه دیگر تفاوت دارد.

بررسی مقدار بارندگی در نقاط مختلف استان اصفهان بیانگر این است که اختلاف بسیار شدیدی بین پرباران‌ترین و کم‌باران‌ترین ایستگاه دیده می‌شود. بخش اعظم بارندگی استان اصفهان مربوط به جریان‌های مدیترانه‌ای است که از سمت غرب از اوایل پاییز تا اواسط بهار این منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. براساس پژوهش‌های مختلف، سالانه حدود ۴۰ سیکلون در دوره سرد سال و اوایل بهار، مناطق مختلف کشور را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند که نزدیک به ۲۵ درصد آنها از منطقه اصفهان عبور می‌کنند و استان اصفهان را زیر نفوذ خود می‌گیرند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش

## ۲.۲. روش کار

پژوهش حاضر با هدف کاربردی و با روش توصیفی تحلیلی به انجام رسید. هدف اصلی این تحقیق تعیین مناطق حساس به وقوع سیل است. به همین دلیل در گام اول، براساس تحقیقات گذشته و همچنین نظر کارشناسان و بررسی سابقه مناطق دارای سیل، ابتدا عوامل تأثیرگذار بر وقوع سیل تعیین شد. از عامل‌های تأثیرگذار می‌توان به چهار معیار اصلی (عوامل توپوگرافی، بیولوژیکی، اقلیمی و انسان‌ساخت) و چهارده زیرمعیار اشاره کرد. هر معیار و زیرمعیارهای آن در ادامه به‌طور مختصر تشریح شده‌اند. نقشه مربوط به همه عوامل محیطی به‌صورت رستری و با اندازه پیکسل  $30 \times 30$  متر ساخته شد.

## ۳.۲. عوامل توپوگرافی

توپوگرافی از مهم‌ترین عوامل محیطی غیرزنده است که بر بسیاری از اعمال حیاتی موجودات زنده به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم تأثیر می‌گذارد. به‌طور کلی، از میان خصوصیات توپوگرافی، سه عامل ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب و تندی یا مقدار شیب شناخته‌شده‌ترند و در تحقیقات بیشتر بررسی می‌شوند [۲۱]. تغییرات در ارتفاع از سطح دریا بر مقدار بارش، رژیم بارش و همچنین مقدار دما مؤثر است. همچنین دو عامل جهت و درصد شیب به‌دلیل تأثیر بر میزان زمان تمرکز حوزه و ایجاد شرایط خرداقلیم، تأثیر بسیاری بر ساختار و تراکم سیلاب دارند که از مهم‌ترین عوامل در وقوع سیل به‌شمار می‌روند [۴]. در تحقیق حاضر از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و همچنین نقشه رقمی ارتفاع استخراجی از

تصاویر ماهواره ASTER، برای استخراج نقشه‌های ارتفاع، شیب و جهت شیب استفاده شد. برای آماده‌سازی لایه‌های توپوگرافی از نرم‌افزار Arc GIS10 استفاده شد.

## ۴.۲. عوامل بیولوژیک

معیارهای بیولوژیکی شامل نوع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی و رطوبت خاک است. علت اینکه پوشش گیاهی حداکثر کمترین حجم رواناب را دارد این است که مانند سپر حفاظتی از خاک عمل می‌کند، با جذب بارش باران، بخش زیادی از انرژی قطره‌های باران را توسط برگ، ساقه و ریشه خود می‌گیرد، انرژی قطره‌های باران را کاهش می‌دهد، سبب استحکام تراکم خاک می‌شود و حجم رواناب را کاهش می‌دهد.

خصوصیات و ویژگی‌های پوشش گیاهی تأثیرات زیادی بر برخی خصوصیات سیل مانند شدت سیل، نرخ گسترش و ارتفاع سیل دارد. به همین دلیل در بررسی و مدل‌سازی وقوع سیل در هر منطقه، به معیار پوشش گیاهی توجه می‌شود. در تحقیق حاضر تأثیر پوشش گیاهی با استفاده از تولید و محاسبه شاخص پوشش گیاهی<sup>۱</sup> و تصاویر ماهواره‌ای لندست<sup>۲</sup> به تاریخ ۲۰۲۳/۰۵/۱۹ با درصد ابرناکی ۰/۱۱ درصد بررسی شد.

برای محاسبه رطوبت خاک از دو شاخص رطوبت تفاضل نرمال<sup>۳</sup> (NDWI) و رطوبت سطحی خاک<sup>۴</sup> (LSWI) در محیط نرم‌افزار TerrSet استفاده شد. این دو شاخص براساس رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شدند.

$$(NIR-SWIR2)/(NIR+SWIR2) = NDWI \quad (1)$$

$$(NIR-SWIR1)/(NIR+SWIR1) = LSWI \quad (2)$$

NIR باندهای مادون قرمز نزدیک، SWIR1 مادون قرمز موج کوتاه اول و SWIR2 مادون قرمز موج کوتاه دوم است.

## ۵.۲. عوامل اقلیمی

شرایط اقلیمی به‌طور مستقیم در پیدایش سیل تأثیر دارند و به‌طور غیرمستقیم با اثر بر تیپ و تراکم پوشش گیاهی، بر پیدایش سیل مؤثرند [۱۹]. مقدار بارش و درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد و جهت باد مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر در هر منطقه به شمار می‌روند که در وقوع و گسترش سیل در مناطق اهمیت دارند. با توجه به وجود دوازده ایستگاه سینوپتیک در استان اصفهان، در تحقیق حاضر برای تهیه نقشه عوامل اقلیمی، از همه ایستگاه‌های سینوپتیک استان استفاده شد. پس از استخراج اطلاعات لازم، با استفاده از روش معکوس وزنی فاصله<sup>۵</sup> نقشه متغیرهای اقلیمی برای کل استان اصفهان ایجاد شد.

## ۶.۲. عوامل انسانی

عوامل انسانی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در سیل به شمار می‌روند [۱۲]. به‌طور کلی انسان دو اثر ویژه به‌عنوان ایجادکننده و مدیریت‌کننده سیل دارد. براساس نتایج تحقیقات گذشته، هرچه فاصله به سکونتگاه‌ها یا عارضه‌های انسان‌ساخت کمتر شود، احتمال وقوع خطرهای سیل افزایش خواهد یافت. در تحقیق حاضر، لایه عوامل انسانی شامل فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از زمین زراعی ایجاد شد. در ابتدا پس از تعیین هر عارضه (مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی) و نقشه جاده (استخراجی از نرم‌افزار Earth Google) با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS نقشه فاصله با استفاده از روش فاصله اقلیدسی<sup>۶</sup> ایجاد شد.

## ۷.۲. مدل جنگل تصادفی

جنگل تصادفی<sup>۷</sup> نوعی روش جدید و قدرتمند یادگیری ماشینی است. این الگوریتم به‌دلیل سادگی و قابلیت استفاده، هم برای

1. NDVI

2. Landsat\_Product\_ID" = LC08\_L2SP\_167037\_20220509\_20220518\_02\_T1"

3. Normalized Difference Water Index

4. Land Surface Water Index

5. IDW

6. Euclidean Distance

7. Random Forest

دسته‌بندی و هم رگرسیون، از پرکاربردترین الگوریتم‌های یادگیری ماشین محسوب می‌شود. رویکرد جنگل تصادفی بر پایه روش‌های جدید ترکیب اطلاعات است که در آن تعداد زیادی درخت تصمیم‌گیری به وجود می‌آید و سپس همه درختان با هم برای پیش‌بینی ترکیب می‌شوند. شاخص‌های مهم برای مدل جنگل تصادفی، تعداد درختان و تعداد متغیرهای برای پیش‌بینی ترکیب می‌شوند.

## ۲.۸. مدل ماشین بردار پشتیبان

مدل ماشین بردار پشتیبان<sup>۱</sup> از مهم‌ترین روش‌های یادگیری ماشینی است که می‌توان از آن به‌طور مشترک برای دو عملیات طبقه‌بندی و رگرسیونی بهره گرفت. این روش شامل مجموعه‌ای از توابع طبقه‌بندی و دارای قابلیت ارزیابی خطا و تعمیم مناسب اطلاعات است و با استفاده از اطلاعات موجود در لایه‌های عوامل مؤثر و تکرار زیاد مدل‌سازی، پیچیدگی رفتار پدیدار پدیده سیل را کاهش می‌دهد. این مدل شامل یک مرحله آموزشی با ورودی و ارزش‌های اهداف خروجی است. برای کمینه کردن خطاهای تعمیم‌یافته باید خطای آموزشی و پیچیدگی طبقه‌بندی کاهش یابد که با استفاده از صفحه جدایش انجام می‌گیرد که وظیفه افزایش حاشیه بین طبقات را بر عهده دارد. الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، روش کلی برای تخمین توابع ارائه می‌کنند که هدف اصلی آنها حل مسائل بهینه‌سازی درجه دوم است.

## ۲.۹. مدل‌سازی و ارزیابی دقت

پس از تهیه لایه‌های عوامل محیطی، اطلاعات مربوط به نقاط سیل‌گیر استخراج شد. در این تحقیق، همه اطلاعات مربوط به وقوع سیل در بیست سال اخیر از منابع موجود و اطلاعات ادارات منابع طبیعی و آب‌خیزداری و حفاظت محیط زیست جمع‌آوری شد. در مجموع و پس از حذف نقاط تکراری و ادغام نقاط با فاصله کمتر از ۱۰۰ متر، لایه نهایی نقاط سیل‌گیر به‌صورت نقطه‌ای ایجاد شد. این اطلاعات به دو گروه نقاط لازم برای آموزش مدل (۷۰ درصد) و نقاط لازم برای ارزیابی نتایج مدل (۳۰ درصد) به‌صورت کاملاً تصادفی تقسیم شدند. در کل، برای آموزش و ساخت مدل‌ها از ۲۵۴۳ نقطه و برای ارزیابی دقت مدل‌ها از ۷۸۴ نقطه استفاده شد. مدل‌سازی مربوط به دو مدل جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان در نرم‌افزار R و به ترتیب در بسته‌های "randomForest" و "e1071" انجام گرفت. همچنین برای تعیین اهمیت نسبی متغیرهای محیطی در وقوع سیل در استان اصفهان، از روش نمودار اهمیت نسبی (varImpPlot) در الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد.

برای تعیین دقت و صحت نتایج و قابلیت اطمینان هر مدل‌سازی، نتایج آن باید ارزیابی شود [۲۲]. ارزیابی نتایج مدل‌سازی سبب افزایش اطمینان به اطلاعات به‌دست‌آمده و در نهایت موجب مدیریت پایدار در زمینه منابع طبیعی خواهد شد و راهی برای دستیابی به توسعه پایدار است. در این تحقیق سطح زیر نمودار<sup>۲</sup> در منحنی نمودار مشخصه عملکرد<sup>۳</sup> به معنای مشخصه عملکرد سیستم استفاده شد. همچنین برای مقایسه دو مدل، برخی از مهم‌ترین آماره‌های ارزیابی متقابل شامل ضریب همبستگی (r)، ضریب تبیین ( $R^2$ )، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مطلق خطا (MAE) به کار گرفته شد.

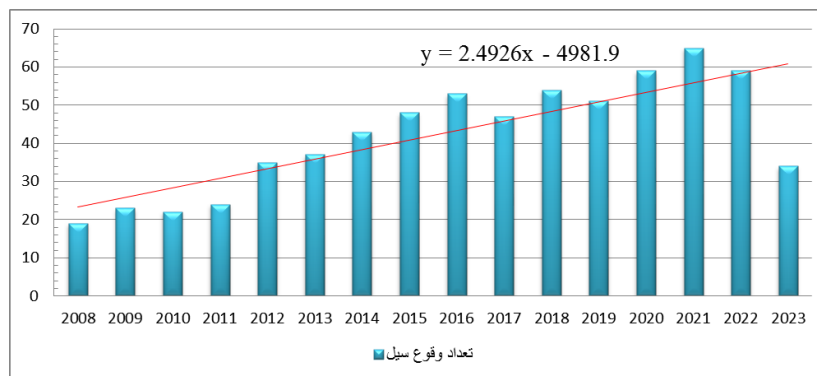
## ۳. بحث و نتایج

### ۳.۱. روند سالانه وقوع سیل

تحقیق حاضر با استفاده از اطلاعات پانزده‌ساله (۲۰۰۸ تا ۲۰۲۳) سیل انجام گرفت. بررسی وقوع سالانه سیل در استان اصفهان نشان داد که روندی افزایشی و مثبت در تعداد وقوع سیل وجود داشته است (شکل ۲). براساس نتایج بیشترین تعداد وقوع سیل ثبت‌شده در سال ۲۰۲۱ و برابر با ۶۰ مورد سیل است.

1. (SVM) Machine Vector Support  
2. (AUC) Curve Under Area  
3. (ROC) Characteristic Operating Receiver

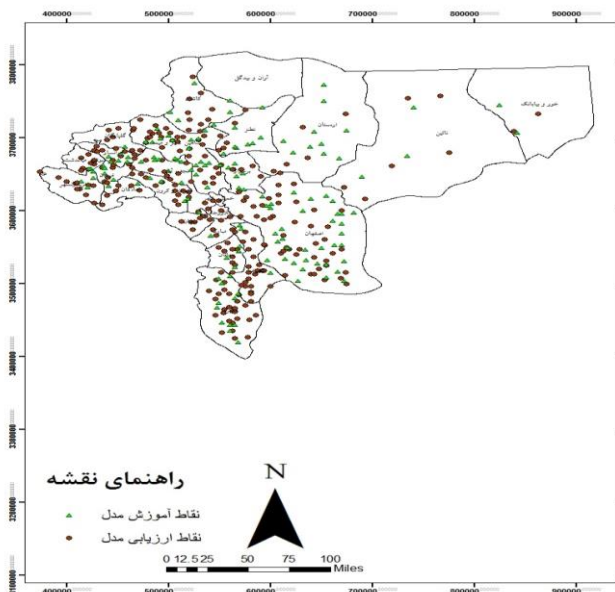




شکل ۲. تعداد سیل در طی دوره آماری پژوهش (۲۰۰۸ تا ۲۰۲۳) در استان اصفهان

### ۲.۳. تهیه نقاط سیل برای مدل‌سازی

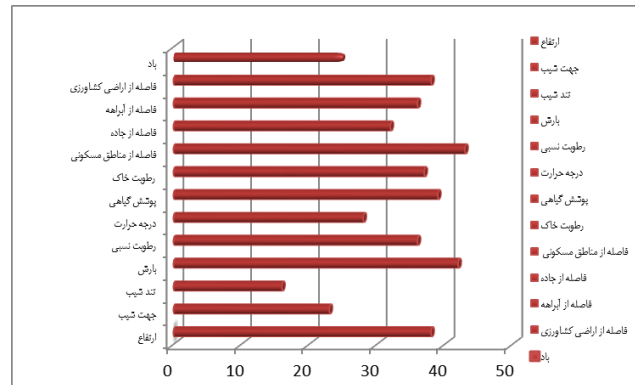
در تحقیق حاضر از مجموعه نقاط سیل ثبت‌شده توسط ماهواره MODIS و همچنین موقعیت اتفاق افتاده که توسط ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری و همچنین اداره کل محیط زیست استان اصفهان ثبت شده بود استفاده شد. در مجموع و پس از حذف نقاط تکراری و ادغام نقاط با فاصله کمتر از ۱۰۰ متر با استفاده از دستور Merge، لایه نهایی نقاط سیل به صورت نقطه‌ای ایجاد شد. این اطلاعات به دو گروه نقاط لازم برای آموزش مدل (۷۰ درصد) و نقاط لازم برای ارزیابی نتایج مدل (۳۰ درصد) به صورت کاملاً تصادفی تقسیم شدند. در کل، برای آموزش و ساخت مدل‌ها از ۲۳۴۵ نقطه و برای ارزیابی دقت مدل‌ها از ۶۵۴ نقطه استفاده شد. نمایی از موقعیت نقاط آموزش و ارزیابی مدل در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳. موقعیت نقاط سیل برای آموزش مدل و ارزیابی دقت مدل‌سازی

### ۳.۳. تعیین اهمیت نسبی عوامل مؤثر در وقوع سیل

بررسی اهمیت نسبی لایه‌های استفاده‌شده در مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی نشان داد که به ترتیب لایه‌های فاصله از مناطق مسکونی و بارش مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع سیل در استان اصفهان و لایه‌های جهت شیب کم‌اهمیت‌ترین عامل در مناطق دارای سابقه سیل در استان اصفهان هستند (شکل ۴).



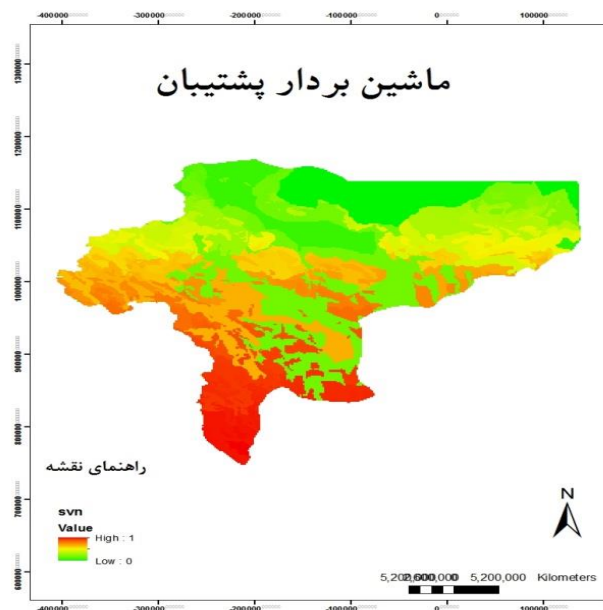
شکل ۴. اهمیت نسبی لایه‌های استفاده‌شده در تعیین مناطق حساس به وقوع سیل

### ۴.۳. مدل‌سازی سیل

پس از تهیه نقشه لایه‌های عوامل تأثیرگذار، اطلاعات هر لایه مربوط به نقاط سیل مورد استفاده برای آموزش مدل به کمک نرم‌افزار GIS Arc استخراج شد. سپس از این اطلاعات برای مدل‌سازی در دو الگوریتم جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. در نهایت رابطه به دست آمده توسط هر مدل با استفاده از تابع پیش‌بینی<sup>۱</sup> در نرم‌افزار R روی اطلاعات همه لایه‌های اولیه اعمال و نقشه خطر سیل برای هر مدل به صورت مجزا تولید شد.

### ۵.۳. مدل‌سازی با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان

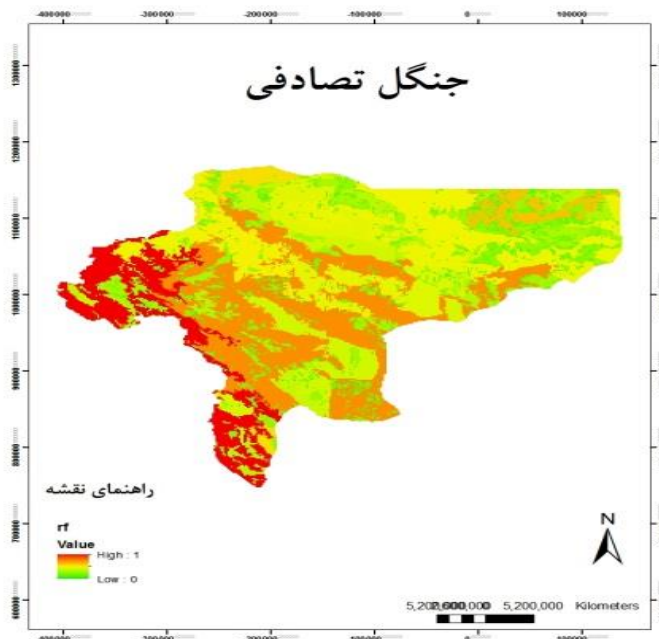
پس از آموزش مدل با استفاده از اطلاعات تهیه‌شده، براساس شبکه‌ای از نقاط (۶۹۹۵۶) ارزش خطر سیل برای همه پیکسل‌های منطقه براساس دو الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی تهیه شد. براساس نتایج به دست آمده از مدل ماشین بردار پشتیبان، بیشتر مناطق مرکزی، جنوبی، شمال غرب و جنوب غرب دارای خطر بیشتری برای وقوع سیل هستند (شکل ۵). همچنین مناطق با خطر متوسط در محدوده‌های شمال شرق و شمال دیده می‌شوند. نتایج مدل‌سازی خطر وقوع سیل در استان اصفهان با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵. مدل‌سازی خطر وقوع سیل با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان در استان اصفهان

### ۳.۶. مدل‌سازی با استفاده از مدل جنگل تصادفی

همانند الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، نتایج الگوریتم جنگل تصادفی بیانگر وجود مناطقی مشابه در زمینه خطر وقوع سیل است (شکل ۶). براساس نتایج، دو منطقه با خطر زیاد و متوسط در استان اصفهان وجود دارند که مناطق جنوبی و غربی حوضه تحت بررسی در زمینه وقوع سیل هستند و بقیه مناطق در محدوده خطر کم قرار دارند که احتمال وقوع سیل در آنها کمتر از ۲۰ درصد است (شکل ۶).

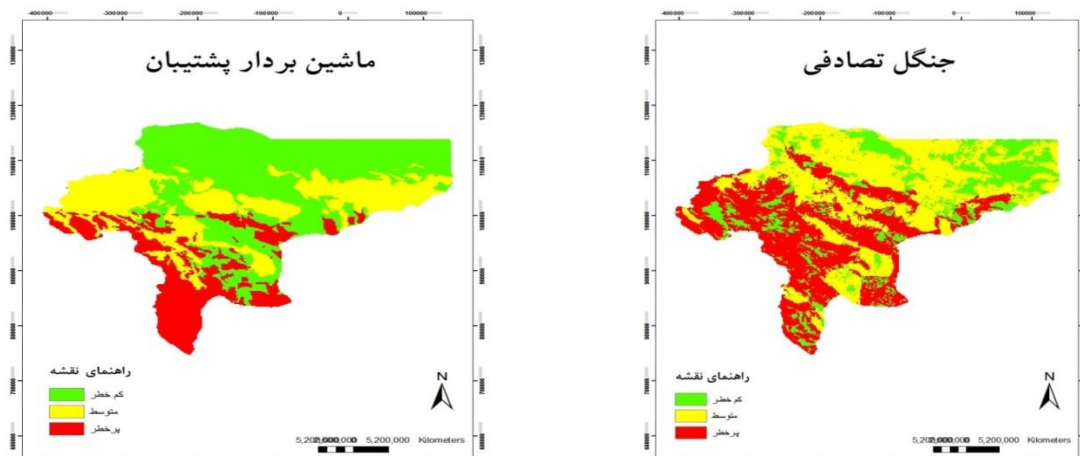


شکل ۶. مدل‌سازی خطر وقوع سیل با استفاده از مدل جنگل تصادفی در استان اصفهان

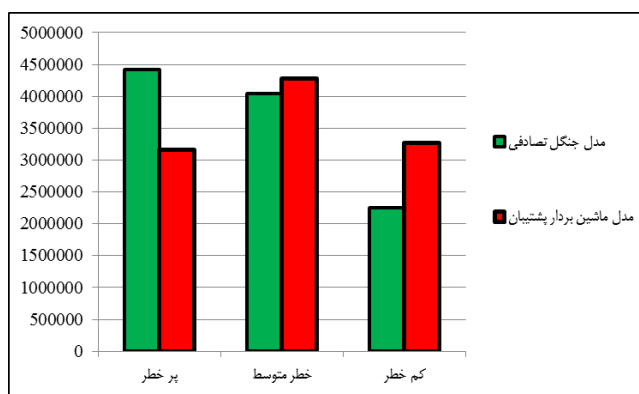
### ۳.۷. طبقه‌بندی نقشه خطر سیل

پس از تهیه نقشه خطر سیل، برای تحلیل بهتر اطلاعات و نتایج، این نقشه در سه طبقه خطر کم (خطر وقوع صفر تا ۰/۵۰)، خطر متوسط (خطر وقوع ۰/۵۰ تا ۰/۷۵) و خطر خیلی زیاد (خطر وقوع ۰/۷۵ تا ۱) دسته‌بندی شدند (شکل‌های ۷ و ۸). براساس نتایج، در مدل ماشین بردار پشتیبان طبقه خطر متوسط دارای بیشترین مساحت (۳۹/۹ درصد) است (شکل ۹ و جدول ۱). در مدل ماشین بردار پشتیبان، دومین طبقه با مساحت زیاد مربوط به طبقه خطر کم است که ۳۰/۵ درصد از سطح منطقه را شامل می‌شود، در حالی که در مدل جنگل تصادفی، طبقه خطر زیاد با مساحت بیش از ۴۴ هزار هکتار معادل ۴۱/۳ از سطح منطقه، دارای بیشترین مساحت است (شکل ۹ و جدول ۱). در نهایت، در مدل ماشین بردار پشتیبان، کمترین مساحت مربوط به طبقه پرخطر است که تنها ۲۹/۵ درصد از سطح منطقه را پوشش می‌دهد، در حالی که در مدل جنگل تصادفی، کمترین مساحت مربوط به طبقه خطر کم وقوع سیل با مساحتی معادل ۲۲۴۵۰۸۲ هکتار (۲۰/۹ درصد) است (شکل ۹ و جدول ۱).

ارزیابی دقت دو مدل ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی براساس سطح زیر نمودار (AUC) در منحنی ROC نشان داد که هر دو مدل از دقت مناسبی برخوردارند، اما مدل جنگل تصادفی دارای دقت بیشتری است. براساس نتایج، مدل جنگل تصادفی دارای سطح زیر نمودار ۰/۹۷ و مدل ماشین بردار پشتیبان دارای سطح زیر نمودار ۰/۸۶ است (شکل ۱۰).



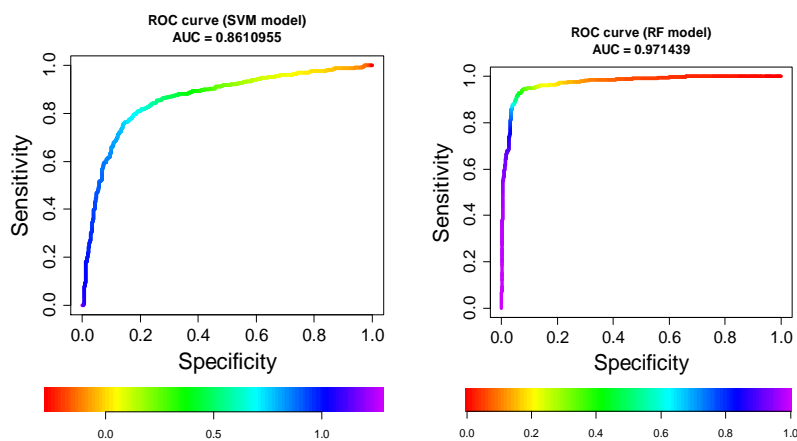
شکل ۷. طبقه خطر وقوع سیل با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان در استان اصفهان / شکل ۸. طبقه خطر وقوع سیل با استفاده از مدل جنگل تصادفی در استان اصفهان



شکل ۹. مساحت (هکتار) طبقه‌های خطر وقوع سیل براساس دو مدل جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان در استان اصفهان

جدول ۱. مساحت طبقات مختلف خطر براساس مدل‌های استفاده شده

مدل ماشین بردار پشتیبان		مدل جنگل تصادفی		طبقه خطر وقوع سیل
درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	
۲۹/۵	۳۱۵۷۶۵۲	۴۱/۳	۴۴۲۱۰۶۵	پرخطر
۳۹/۹	۴۲۷۶۵۶۷	۳۷/۸	۴۰۴۵۶۱۷	خطر متوسط
۳۰/۵	۳۲۶۷۵۴۵	۲۰/۹	۲۲۴۵۰۸۲	کم خطر
۱۰۰	۱۰۷۰۱۷۶۴	۱۰۰	۱۰۷۰۱۷۶۴	کل



شکل ۱۰. ارزیابی دقت مدل‌های مورد بررسی با استفاده از سطح زیر نمودار (AUC)

بررسی آماری سطح زیر نمودار در دو مدل نیز نشان داد که هر دو مدل جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان از خطای کمی برخوردارند و سطح زیر نمودار آنها به لحاظ آماری در محدوده معنادار قرار می‌گیرد. براساس نتایج، سطح زیر نمودار در مدل جنگل تصادفی بین فاصله اطمینان دو محدوده ۰/۹۶ و ۰/۹۸ قرار دارد، درحالی که مدل ماشین بردار پشتیبان بین فاصله اطمینان ۰/۸۴ تا ۰/۸۸ قرار دارد (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج آماری ارزیابی دقت مدل‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی خطر وقوع سیل براساس سطح زیر نمودار

مدل	سطح زیر نمودار	خطا استاندارد	فاصله اطمینان در سطح ۹۵ درصد	
			حد بالا	حد پایین
جنگل تصادفی (RF)	۰/۹۷۱	۰/۰۰۴	۰/۹۶۳	۰/۹۸۰
ماشین بردار پشتیبان (SVM)	۰/۸۶۱	۰/۰۱۱	۰/۸۴۰	۰/۸۸۳

### ۳.۸. ارزیابی مقاطع<sup>۱</sup>

ارزیابی مقاطع با استفاده از آمارهای مرسوم نشان داد که مدل جنگل تصادفی دارای دقت بیشتری از مدل ماشین بردار پشتیبان است. براساس نتایج، مدل جنگل تصادفی دارای ضریب همبستگی بیشتر ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق کمتری نسبت به مدل ماشین بردار پشتیبان است (جدول ۳).

جدول ۳. ارزیابی مقاطع دقت مدل‌های جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان

آماره ارزیابی دقت	جنگل تصادفی (RF)	ماشین بردار پشتیبان (SVM)
ضریب همبستگی	۰/۸۷۵	۰/۶۲۳
ضریب تبیین	۰/۷۶۵	۰/۳۸۸
ریشه میانگین مربعات خطا	۰/۲۴۳	۰/۳۹۲
میانگین خطای مطلق	۰/۱۲۵	۰/۳۰۹
شاخص نرمال شده BIC	-۲/۸۲۱	-۱/۸۶۴

### ۴. نتیجه‌گیری

مدل‌سازی مناطق حساس به وقوع سیل ابزاری مهم در مدیریت صحیح و بهنگام مخاطرات طبیعی از جمله سیل است. در ایران که یکی از نقاط حادثه‌خیز جهان است، سیل از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی به حساب می‌آید [۵]. بسیاری از مدیران درصدد کشف راه‌حل‌های مناسب برای مدیریت سیل هستند [۱۸]. با توجه به زمان لازم برای کنترل سیل و سرمایه‌گذاری منابع، تخمین دقیق احتمال خطر وقوع سیل و تهیه نقشه‌های توزیع سیل، گام نخست در مدیریت سیل و ارزیابی خطر است [۱۶]. تحقیق حاضر نیز به‌منظور بررسی کارایی روش‌های مختلف یادگیری ماشینی در مدل‌سازی مناطق حساس به سیل در استان اصفهان صورت گرفت. براساس نتایج پژوهش حاضر در طی سال‌های مدنظر (۲۰۰۸ تا ۲۰۲۳) روندی افزایشی در تعداد نقاط سیل وجود داشت. بیشترین تعداد وقوع سیل ثبت‌شده در سال ۲۰۲۱ بود. در تحقیق حاضر براساس نتایج مدل‌سازی، فاصله از مناطق مسکونی و بارش به‌ترتیب مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع سیل در استان اصفهان هستند و جهت شیب کم‌اهمیت‌ترین عامل در مناطق دارای سابقه سیل در استان اصفهان است. به‌علت بیشتر بودن فعالیت مردم در نزدیکی مناطق مسکونی، بیشترین احتمال خطر سیل در این نقاط وجود دارد. یکی دیگر از عوامل مهم و مؤثر بر وقوع سیل در منطقه دمای سالانه است که گرایش نقاط سیل از مناطقی با میانگین دمای سالانه کمتر است. دما نیز عامل مهمی در وقوع سیل به شمار می‌رود. براساس پژوهش‌ها، دما، رطوبت هوا و افزایش بارندگی از عوامل طبیعی هستند که زمینه را برای ایجاد سیل سطحی و گسترده در مناطق فراهم می‌کنند. در ارتفاعات بالا وقوع سیل کمتر و بارندگی بیشتر است. یکی دیگر از دلایل احتمال وقوع سیل در ارتفاعات پایین را می‌توان دسترسی راحت عوامل انسانی اعم از گردشگران و طبیعت‌گردان، دامداران، روستاییان، کشاورزان، مرتعداران و شکارچیان به این

دشت‌ها دانست. به‌طور کلی، میزان صحت مدل مورد استفاده به عوامل بسیاری وابسته است، مانند ویژگی‌های منطقه چون توپوگرافی، عوامل مؤثر بر وقوع سیل، دقت و نوع لایه‌های متغیرهای مستقل برای مدل‌سازی احتمال خطر وقوع سیل، دقت نقاط و محدوده‌های ثبت‌شده سیلاب‌های به وقوع پیوسته در گذشته و نوع الگوریتم پیش‌بینی استفاده‌شده. با توجه به افزایش سیل و تشدید بحران در مناطق، از نتایج این تحقیق می‌توان برای مدیریت سیلاب در منطقه پژوهش و برنامه‌ریزی و فراهم کردن امکانات در مناطق پرخطر و مستعد سیل بهره گرفت.

## منابع

- [۱]. اصغری سراسکانرود، صیاد؛ پیروزی، الناز؛ و زینالی، بتول (۱۳۹۷). پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز آق‌لاقان چای با استفاده از مدل ویکور. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۴(۳)، ۲۳۱-۲۴۵.
- [۲]. امیدوار، کریم (۱۳۹۰). *مخاطرات طبیعی*، انتشارات دانشگاه یزد.
- [۳]. بازیار، مژگان؛ اولادی قادیکلایی، جعفر؛ پورقاسمی، حمیدرضا؛ و سراجیان مارالان، محمدرضا (۱۳۹۸). پهنه‌بندی و بررسی عوامل مؤثر بر آتش‌سوزی جنگل در شهرستان بویراحمد با استفاده از مدل‌های تابع شواهد قطعی و ماشین بردار پشتیبان. *تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران*، ۱۷(۲)، ۱۹۷-۲۲۲. doi: ۱۰.۲۲۰۹۲/۱۰.۱406/۱۰.۲۲۰۹۲. ijfrpr.2020.128649.1406/۱۰.۲۲۰۹۲
- [۴]. حسن‌زاده نفوتی محمد؛ و خواجه بافقی حبیب (۱۳۹۵). پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیطور بافق). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۷(۱۴): ۳۷-۲۹
- [۵]. راد، مژگان؛ وفاخواه، مهدی؛ و غلامعلی فرد، مهدی (۱۳۹۷). پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در پایین دست حوزه آبخیز خرم‌آباد. *مخاطرات محیط طبیعی*، ۷(۱۶)، ۲۱۱-۲۲۶. doi: ۱۰.۲۲۱۱۱/۱۰.۳343/۱۰.۲۲۱۱۱. jneh.2017.3343/۱۰.۲۲۱۱۱
- [۶]. رحیم‌پور، توحید؛ رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سید اسدالله؛ و ولی‌زاده کامران، خلیل (۱۴۰۰). تحلیل تغییرات فضایی حساسیت خطر وقوع سیل برپایه نوعی مدل ترکیبی نوین (مطالعه موردی: حوضه آبریز الوندچای، شهرستان خوی). *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۴(۸)، ۳۷۱-۳۹۳. doi: ۱۰.۲۲۰۵۹/۱۰.۳35204.692/۱۰.۲۲۰۵۹. jhsci.2022.335204.692/۱۰.۲۲۰۵۹
- [۷]. عابدینی، موسی؛ پیروزی، الناز؛ آقایی، لیلا؛ و استادی، الناز (۱۳۹۶). پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان مشکین‌شهر با استفاده از مدل ویکور. *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، ۱۴(۵۶)، ۲۱-۳۴.
- [۸]. عابدینی، موسی؛ فعال‌نذیری، مهدی؛ و پیروزی، الناز (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تکنیک چندمعیاره آراس و هیدروگراف واحد (مطالعه موردی: حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری پل سلطان مشکین‌شهر). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲(۳۵)، ۱۱۵-۱۳۸. doi: ۱۰.۲۲۱۱۱/۱۰.40684.1863/۱۰.۲۲۱۱۱. jneh.2022.40684.1863/۱۰.۲۲۱۱۱
- [۹]. عزیززاده، امین (۱۳۹۰). *اصول هیدرولوژی کاربردی*، چاپ ۳۳، دانشگاه فردوسی مشهد.
- [۱۰]. طهماسبی، قباد؛ محمدی، علی‌رضا؛ و بوچانی، محمدحسین (۱۴۰۰). تحلیل فضایی عوامل مؤثر بر رخداد سیلاب در شهر ایلام. *آمایش سرزمین*، ۱۱(۱)، ۲۱-۵۶. doi: ۱۰.۲۲۰۵۹/۱۰.314126.670179/۱۰.۲۲۰۵۹. jtcp.2021.314126.670179/۱۰.۲۲۰۵۹
- [۱۱]. معیری، مسعود؛ و انتظاری، مژگان (۱۳۸۷). سیلاب و مروری بر سیلاب‌های استان اصفهان. *مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی*، ۳(۶)، ۱۱۰-۱۲۴.
- [۱۲]. مینایی، مژده؛ و وحیدنیا، محمدحسن (۱۴۰۱). راهکارهای بازدارنده برای جلوگیری از سیل به کمک سنجش از دور و مدل‌سازی عامل‌مینا (مطالعه موردی: شهرستان شوش). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۱(۳۳)، ۱۹۷-۲۱۶. doi: ۱۰.۲۲۱۱۱/۱۰.38718.1812/۱۰.۲۲۱۱۱. jneh.2022.38718.1812/۱۰.۲۲۱۱۱
- [۱۳]. وهابی، جواد (۱۳۹۵). پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در منطقه طالقان‌رود، پژوهش و سازندگی در مناطق طبیعی، ۵(۲)، ۳۴-۸۷.
- [۱۴]. ایمانی، مجتبی؛ و عباسی، موسی (۱۳۹۹). ارزیابی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبریز گادر براساس پارامترهای مورفومتری و همبستگی آماری. *آمایش سرزمین*، ۱۲(۱)، ۲۰۵-۲۲۴. doi: ۱۰.۲۲۰۵۹/۱۰.293947.670048/۱۰.۲۲۰۵۹. jtcp.2020.293947.670048/۱۰.۲۲۰۵۹
- [15]. Green, C., Diepernk, G., EK, K., Hegger, D., Pettersson, M., Priest, S., & Tapsell, S. (2014). *Flood risk management in Europe: the flood problem and interventions*. Star flood. 1- 250.
- [16]. Khattak, M. S., Anwar, F., Usman Saeed, T., Sharif, M., Sheraz, K., & Ahmed, A. (2016), Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcGIS: A Case Study of Kabul River, Research Article – *Civil engineering*, 40, 1375-1390.
- [17]. Hong H., Naghibi S.A., Moradi Dashtpaderdi M., Pourghasemi H.R., & Chen W. (2017). A comparative assessment between linear and quadratic discriminant analyses (LDA-QDA) with frequency ratio and weights-of-evidence models for forest fire susceptibility mapping in China. *Arabian Journal of Geosciences*, 10: 1- 14. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2905-4>
- [18]. Kargar M., Farzi H., & Taheri A. (2018). Comparison of random forest models and artificial neural network in predicting the occurrence of pasture fires in Alborz province. The 7th National Conference on Pasture and Pasture Management of Iran: 1- 13. (In Persian).
- [19]. Monavvari, M. (2004). *Guide to environmental impact assessment of tourism and nature tourism projects*. Farzaneh Book Publications.

- [20]. Simmonds, J., Gómez, J.A., & Ledezma, A. (2020). The role of agent-based modeling and multi-agent systems in floodbased hydrological problems: a brief review. *Journal of Water and Climate Change*. 11(4), 1580-1602, <https://doi.org/10.2166/wcc.2019.108>
- [21]. Yen an W., Ping-an Z. Yu Z., Biao M., & Kun Y. (2015). Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China. *Natural Hazards*, Issue 1, 635-651
- [22]. Zhu, S., Li, D., Huang, G., Chhipi-Shrestha, G., Nahiduzzaman, K.M., Hewage, K., & Sadiq, R. (2020); Enhancing urban flood resilience: a holistic framework incorporating historic worst flood to Yangtze River Delta, China, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 61, 1-52.
- [23]. Zhuo, L. & Han, D. (2020). Agent-based modelling and flood risk management: a compendious literature review. *Journal of Hydrology*, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125600>.