



## Flood risk assessment of 2019 in Aqqala City using remote sensing and multi-criteria decision analysis models

Karim Solaimani <sup>1</sup>  , Shadman Darvishi <sup>2</sup>, Mohammad Hadi Zaghi <sup>3</sup>

1- (Corresponding Author) Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Email: [k.solaimani@sanru.ac.ir](mailto:k.solaimani@sanru.ac.ir)

2- Department of Remote Sensing and Geographic Information System, Faculty of Environmental Sciences, Aban Haraz Institute of Higher Education, Amol, Iran

Email: [sh\\_darvishi@yahoo.com](mailto:sh_darvishi@yahoo.com)

3- Department of Remote Sensing and Geographic Information System, Faculty of Environmental Sciences, Aban Haraz Institute of Higher Education, Amol

Email: [hadizaghi@yahoo.com](mailto:hadizaghi@yahoo.com)

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Aqqala,  
Landsat-8,  
OWA,  
Risk flood,  
2019 spring flood.

#### Article History:

Received:

23 December 2023

Received in revised form:

23 February 2024

Accepted:

4 April 2024

Available online:

28 April 2024

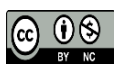
pp. 77-90

### ABSTRACT

Flood is considered one of the most destructive natural hazards in the world, which causes a lot of damage all over the world every year. In Iran, due to special climatic conditions, the distribution of rainfall in terms of temporal and spatial conditions does not have a specific rhythm. Today, satellite images are one of the fastest and most accurate tools for flood monitoring. Therefore, in the present study, the spring flood map of 2019 Aqqala City was prepared using Landsat-8 images, and then, using the combined AHP-OWA model. The flood risk map was prepared in four classes: "high risk", "medium risk", "low risk" and "no risk". Based on the gained results, the northern and northeastern parts of this region are detected as high flood risk, and the western and southern parts are in low and no flood risk conditions. Also, the 2019 spring flood of this region involved two parts the northern and southern. In terms of flood severity, most water accumulation was in the northern parts, but the severity of the damage was in the southern and northern parts. Due to the high density of land uses in the southern parts, the flood event in this part destroyed many agricultural, vegetation and residential lands. But in the northern parts, due to the large extent of barren lands and the low density of other land uses such as agriculture, residential and vegetation, the flood caused more damage to the barren lands. In general, based on the obtained results, the AHP-OWA model is considered one of the most effective models for flood risk studies.

**Citation:** Solaiman, K., Darvishi, Sh. & Zaghi, H. (2024). Flood risk assessment of 2019 in Aqqala city using remote sensing and multi-criteria decision analysis models. *Geographical planning of space quarterly journal*, 14 (1), 77-90.

 <http://doi.org/10.30488/GPS.2024.388999.3628>



© The Author (s)

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Publisher:** Golestan University Press

## Extended Abstract

### Introduction

Flood is considered one of the most important natural hazards in the world, which causes a lot of damage in most parts of the world every year. This phenomenon is considered the most destructive natural event in many countries of the world. Investigating the occurrence of floods is one of the most important studies in environmental and natural sciences due to the frequency of this phenomenon in many countries of the world. Floods occur due to high volume of rainfall, increase in water level, breaking of structures that store and hold water, or due to a decrease in the amount of natural absorption of the soil. Climate changes, the destruction of pastures and forests, an increase of unsafe constructions in flood-prone areas and numerous man-made factors in recent decades have not only increased the probability of floods but also increased the vulnerability of communities. One of the effective studies to determine the flood status of areas is to prepare flood risk maps using multi-criteria decision models. So, from the trend of flood risk studies using multi-criteria decision-making models, there has been a growing trend in the past. The northern parts of Iran are one of the areas prone to flooding due to the inappropriate spatial and temporal distribution of rainfall, and it is necessary to check the situation of these areas in terms of flooding. Therefore, in this study, the flood risk situation of Aqqola City was zoned using the AHP-OWA model, and the 2019 flood map of this area was extracted using the Support vector machine algorithm and Landsat-8 images.

### Methodology

The area studied in this research is Aqqala city in Golestan province. This point is geographically located between 54 degrees and 14 minutes to 54 degrees and 51 minutes east longitude and 36 degrees and 55 minutes to 30 degrees and 37 minutes north latitude in the north of Golestan province. The data used in this study included Landsat images, topographic map, digital height model layer, vector layer of river flows and meteorological data. The pre-processing of

the images included geometric, radiometric and atmospheric corrections. At first, the images before and after the flood incident were referenced using ground control points with a mean square error of less than 0.5 pixels, then by converting the Digital Number (DN) values of the images to radiance and applying the FLAASH algorithm, radiometric and atmospheric corrections were made to the images. After preparing the images of the land use maps before and after the flood, by applying the support vector machine algorithm, it was classified into five classes of water areas, agricultural lands, vegetation lands, barren lands, and residential lands. Finally, flood areas were separated from water areas and other lands and final flood maps were prepared.

To prepare the flood risk map of Aqqola City, first, by examining the study area, the effective criteria for the flood risk of this area were identified. These criteria are DEM, slope, drainage density, distance from river flows, soil, land use, geology, and precipitation. After determining the criteria, a map of these criteria was prepared in the GIS environment, and then using the AHP model, the weights of these criteria were determined, then using the OWA model, the flood risk map of Aqqola city was created in four classes: "no risk, low risk, medium risk" and "high risk"

### Results and discussion

Examining the flood risk map of Aqqala city shows that the north and north-eastern parts of this region are in a state of high flood risk and the western and southern parts are in a state of low risk and no flood risk. The situation of high flood risk in this area is higher than the situation without danger. A large part of this region is in high and medium flood-risk situations, and these conditions exist mostly in the northern and central parts of Aqqala City. The flood map of Aqqala city was prepared using Landsat 8 images with overall accuracy and Kappa coefficient of 89 and 86% respectively. The flood of this area involved two parts the northern and southern parts of this area and caused a lot of damage in these areas. In terms of severity, the highest water

accumulation was in the northern parts, but the severity of the damage was greater in the southern parts than in the northern parts. Due to the high density of land in the southern parts, the flood event in this part caused flooding. Many agricultural lands were covered with vegetation and became inhabited. But in the northern parts, due to the large extent of barren lands and the low density of other lands such as agriculture, residential and vegetation, the flood caused more damage to the barren lands.

### **Conclusion**

This study was conducted to investigate the flood risk situation in Aqqala city. The results of this study showed that in terms of flood risk, Aqqala City is considered one of the areas prone to flooding because a large area of this region in the north and north-eastern parts are in a condition of high and medium flood risk, on the other hand, in the south and west parts as well. They are in low-risk situations and without flood risk. Therefore, the importance of proper flood management planning is needed in this area and this planning should be done with the priority of the northern parts. Based on the obtained results, the AHP-OWA model is one of the effective multi-criteria decision-making models for preparing flood risk maps and finding the flood risk status of different regions, and the use of this model is suggested for related studies.

### **Funding**

There is no funding support.

### **Authors' Contribution**

The authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

### **Conflict of Interest**

The authors declared no conflict of interest.

### **Acknowledgements**

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



## بررسی خطر سیل ۱۳۹۸ شهر آق‌قلا با استفاده از سنجش‌ازدور و مدل‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره

کریم سلیمانی<sup>۱</sup>✉، شادمان درویشی<sup>۲</sup>، محمدهادی زاغی<sup>۳</sup>

۱- نویسنده مسئول، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

Email: [k.solaimani@sanru.ac.ir](mailto:k.solaimani@sanru.ac.ir)

۲- گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم محیطی، موسسه آموزش عالی آبان هراز، آمل، ایران. Email: [sh\\_darvishi@yahoo.com](mailto:sh_darvishi@yahoo.com)

۳- گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم محیطی، موسسه آموزش عالی آبان هراز، آمل. Email: [hadizaghi@yahoo.com](mailto:hadizaghi@yahoo.com)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

سیلاب یکی از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی در جهان محسوب می‌شود که سالیانه خسارات زیادی را در سرتاسر جهان به بار می‌آورد. در ایران به دلیل شرایط اقلیمی منحصر توزیع بارندگی از نظر زمانی و مکانی دارای ریتم مشخصی نیست. امروزه تصاویر ماهواره‌ای یکی از ابزارهای سریع و دقیق برای پایش سیلاب محسوب می‌شود. لذا در مطالعه حاضر نقشه سیل بهار ۱۳۹۸ شهر آق‌قلا با استفاده از تصاویر لندست-۸ تهیه شد و سپس با استفاده از مدل ترکیبی AHP-OWA نقشه خطر آن در چهار کلاس "خطر بالا"، "خطر متوسط"، "خطر کم" و "بدون خطر" تهیه گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بخش‌های شمال و شمالی شرقی این منطقه در وضعیت خطر بالای سیل و بخش‌های غربی و جنوبی هم در وضعیت خطر کم و بدون خطر سیل هستند. همچنین سیل این منطقه دو بخش را در قسمت‌های شمالی و جنوبی این منطقه درگیر کرد. از نظر شدت، بیشترین تجمع آب در بخش‌های شمالی بوده اما شدت خسارت در بخش‌های جنوبی بیشتر از بخش‌های شمالی می‌باشد. در بخش‌های جنوبی به دلیل تراکم بالای کاربری اراضی بسیاری از اراضی کشاورزی، پوشش گیاهی و مسکونی دچار رخداد سیل شدند. اما در بخش‌های شمالی به دلیل وسعت زیاد اراضی بایر و تراکم پایین اراضی دیگر مانند کشاورزی، مسکونی و پوشش گیاهی سیلاب بیشتر به اراضی بایر خسارت وارد کرد. به‌طور کلی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مدل AHP-OWA یکی از مدل‌های مؤثر برای مطالعات خطر سیل محسوب می‌شود.

### واژگان کلیدی:

آق‌قلا،  
تصاویر لندست،  
خطر سیل، سیل ۱۳۹۸،  
OWA.

### تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۱۰/۰۲

### تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۱۲/۰۴

### تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۱/۱۶

### تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۲/۰۹

صص. ۷۷-۹۰

**استناد:** سلیمانی، کریم؛ درویشی، شادمان و زاغی، محمدهادی. (۱۴۰۳). بررسی خطر سیل ۱۳۹۸ شهر آق‌قلا با استفاده از سنجش‌ازدور و مدل‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۴ (۱)، ۷۷-۹۰.

<http://doi.org/10.30488/GPS.2024.388999.3628>



## مقدمه

سیل یکی از مخاطرات مهم طبیعی در جهان قلمداد می‌شود که سالانه موجب خسارات زیادی در اکثر نقاط جهان می‌شود (پورنی درزی و همکاران، ۱۷:۱۴۰۰، نجفی و کریمی کردآبادی، ۴۵:۱۳۹۹). این پدیده به‌عنوان مخرب‌ترین رخداد طبیعی در بسیاری از کشورهای جهان محسوب می‌شود. بررسی رخداد سیل به دلیل تعدد این پدیده در بسیاری از کشورهای جهان یکی از مطالعات مهم در علوم محیطی و طبیعی به شمار می‌رود (Dube et al, 2014:91; Kumar & Acharya, 2016:439). سیل‌ها بر اثر حجم زیاد بارندگی (باران و ذوب شدن برف)، افزایش سطح آب (آب دریا یا آب جاری، معمولاً به دنبال وقوع زمین‌لغزه در آب، آتش‌فشان‌ها و زمین‌لرزه‌های زیردریا)، شکستن سازه‌های ذخیره‌کننده و نگه‌دارنده آب (شکستن سدها، شکستن دیوارهای ساحلی، شکسته شدن یخچال‌های طبیعی) یا بر اثر کاهش میزان جذب طبیعی خاک اتفاق می‌افتند (علایی طالقانی و همایونی، ۴۰:۱۳۹۰؛ عابدینی و فتحی، ۱۰۲:۱۳۹۴؛ معماریان خلیل‌آباد و همکاران، ۳۷:۱۳۹۷؛ محمدی و همکاران، ۶۳:۱۳۸۸) امروزه تغییرات وسیع کاربری اراضی در نتیجه بهره‌برداری نادرست انسان از محیط‌زیست (وزارت نیرو، ۱۳۹۹: ۲۱)، تغییرات آب و هوایی، افزایش ساخت‌وسازهای نایمن در مناطق مستعد سیل و عوامل انسان‌ساخت متعدد در دهه‌های اخیر نه‌تنها موجب افزایش احتمال وقوع سیلاب‌ها شده که آسیب‌پذیری جوامع را نیز افزایش داده است (Mavi et al, 2017:2416; Xiong et al, 2018:2; Yousefi et al, 2022:3). یکی از مطالعات مؤثر برای مشخص کردن وضعیت سیل‌خیز بودن مناطق تهیه نقشه‌های خطر سیل با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است (حاتمی نژاد و همکاران، ۴۶:۱۳۹۶؛ حسن‌زاده، ۳۳:۱۴۰۰؛ یوسفی و همکاران، ۱۸۳:۱۳۹۳). به‌طوری‌که تاکنون در مطالعات زیادی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای تهیه نقشه‌های خطر سیل استفاده شده‌اند. دگیروگس<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی وضعیت خطر سیل حوضه آبریز رودخانه TANARO را بررسی کردند. نتایج نشان داد حدود ۹۱ درصد از مناطق در معرض سیل را شناسایی می‌کند، درحالی‌که درصد مناطق در معرض خطر حاشیه‌ای که به‌اشتباه به‌عنوان مناطق در معرض سیل طبقه‌بندی شده‌اند، حدود ۱۶ درصد است. سلیمانی و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی خطر سیل حوضه هراز را با استفاده از مدل‌های ترکیبی چندمعیاره و مدل‌های جدید بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل‌های WMCA و Geo-topsis همانند مدل‌های WLC، OWA و LWLC توانایی مؤثری برای تهیه نقشه‌های خطر سیل را دارند. ها<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای روش مخصوصی را برای بررسی خطر سیل استان Quang Binh در ویتنام را معرفی کردند. نتایج نشان داد نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ۳۳۰۵۷۹ هکتار (۴۰/۹۹ درصد) در مناطق بسیار کم‌خطر، ۳۴۹۵۱۱ هکتار (۴۳/۳۳ درصد) در مناطق کم‌خطر، ۵۰۶۲۸ هکتار (۶/۲۸ درصد) در مناطق با خطر متوسط، ۴۸۶۸۸ هکتار (۶/۰۴ درصد) در مناطق پرخطر و ۲۷۱۲۱ هکتار (۳،۳۶ درصد) در مناطق بسیار پرخطر قرار دارند. چن<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی نقشه مناطق مستعد خطر سیل حوضه رودخانه Yarlung Tsangpo در چین را تهیه کردند. نتایج نشان داد تمام شهرها در حوضه رودخانه Yarlung Tsangpo در وضعیت خطر سیل هستند و تقریباً ۱/۵۴ درصد و ۴/۱۵ درصد به ترتیب در وضعیت خطر سیل کم و خیلی کم قرار دارند. التانی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای احتمال خطر سیل کاربری‌های اراضی شهر Aqaba را در Jordan نتایج نشان داد ۲۴/۴ درصد و ۲۸/۴ درصد از وسعت منطقه مورد مطالعه به ترتیب در وضعیت‌های احتمال سیل شدید و خیلی شدید قرار دارند. بسیاری از بخش‌های

1. Degiorgis  
2. Ha  
3. Chen  
4. Al-Taani

این منطقه بخصوص اراضی شهری و کشاورزی در وضعیت خطر شدید سیل هستند. بواکاز<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی پایداری اجتماعی خطر سیل را در حوضه Souss کشور مراکش بررسی کردند. نتایج نشان داد تعداد کمی از شهرها دارای پایداری کم و تعداد زیادی از نواحی روستایی دارای پایداری بالا برای رخداد سیل دارند. پام<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی نقشه خطر سیل منطقه Chu Lai Peninsula کشور ویتنام را با استفاده از مدل AHP تهیه کردند. رومالی<sup>۳</sup> و یوسپ<sup>۴</sup> (۲۰۲۱) در تحقیقی تأثیرات مخرب و خطر سیل را در نواحی شهر در مالزی بررسی کردند. نقشه خطر سیل نشان می‌دهد که منطقه بندر صبرنگ (۴۶۱۸۴ ملک) بیشترین آسیب را از سیل سال ۲۰۱۱ داشته است. نقشه خسارت سیل الگوهای مشابهی را نشان می‌دهد و بندر صبرنگ بیشترین آسیب را متحمل شده است. نقشه‌های توزیع خسارت برای کاهش خسارات ناشی از سیل در آینده با شناسایی خواص با خطر سیل بالا مفید است. مختاری هشی و رحیمی (۱۳۹۵) در تحقیقی خطر سیل مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی با استفاده از منطق فازی پهنه‌بندی کردند. نتایج پهنه‌بندی خطر سیل خیزی در استان خراسان جنوبی نشان می‌دهد بخش زیادی از جوامع انسانی ساکن در آن شامل ۹ شهر و ۱۵۳ روستا در معرض خطر سیل قرار دارند و علاوه بر آن شمار زیادی از مراکز مهم و حیاتی این استان از جمله فرودگاه، دانشگاه، نیروگاه برق و بیمارستان نیز در خطر قرار گرفته‌اند. سلیمانی و درویشی (۱۳۹۹) در تحقیقی سیل بهار ۱۳۹۸ خوزستان را با استفاده از داده‌های لندست-۸ پهنه‌بندی و پایش کردند. نتایج نشان داد بخش‌های جنوب و جنوب غربی از وضعیت خیلی شدید و بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی از وضعیت شدید خطر سیل برخوردارند. همچنین، پایش نقشه‌های سیل در استان خوزستان نشان می‌دهد شهرهای هویزه، دشت آزادگان، اهواز، خرمشهر، بندر ماهشهر، آبادان و به‌خصوص شادگان بیشتر از دیگر شهرها دچار سیل شده‌اند. کیا و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیق عوامل مؤثر برای پتانسیل سیل خیز هیدرولوژیکی حوضه‌های سه هزار و دو هزار تنکابن را بررسی کردند. بیشترین مساحت از منطقه مطالعاتی در طبقه سیل خیزی متوسط قرار دارند؛ در نهایت، به‌منظور تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل خیزی حوضه از تحلیل عاملی استفاده گردید. یافته‌های تحلیل عاملی بیانگر آن است که در مناطق همگن هیدرولوژیکی، بر اساس ۲ عامل و ۲۰ متغیر، ۱۰۰ درصد واریانس داده‌ها توجیه شده است که عامل دوم با بار عاملی ۰/۹۹۵، ۵۱/۱ درصد از واریانس کل را توجیه می‌کند. در عامل دوم پارامترهای مساحت، طول آبراهه اصلی، تراکم شبکه زهکشی، نسبت انشعاب، ضریب شکل هورتن، زمان تمرکز، درصد اراضی جنگل، درصد اراضی مرتع و درصد اراضی با نفوذپذیری زیاد، همبستگی بالایی (بیشتر از ۰/۷۵) را با پتانسیل سیل خیزی نشان داده‌اند که در این میان مهم‌ترین پارامتر مؤثر در سیل خیزی مناطق همگن هیدرولوژیکی مورد بررسی، عامل مساحت با بار عاملی ۰/۹۹۷ است. جلالیان (۱۴۰۰) در تحقیقی خطر سیل حوضه گرگان رود را در مقیاس زمانی و مکانی بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که کلاس ۱ و ۲ (خطرپذیری بسیار زیاد و زیاد) در شرق، شمال شرق و جنوب شرق منطقه قرار دارد که ۲۰٪ مساحت منطقه را در برمی‌گیرد. جباری و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای تأثیر سیل فروردین ۱۳۹۸ را بر ریخت‌شناسی پیوندگاه مئاندری دو رودخانه دینور به گاماسیاب با استفاده از مدل عددی SRH-2D را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد در یک سیلاب با دوره بازگشت ۳۵ ساله پیوندگاه رودخانه دینور به گاماسیاب که با زاویه ۴۰ درجه به‌صورت مئاندری به داخل مئاندر اصلی وارد می‌شود، فرسایش بستر در اوایل وقوع سیل در بخش پایین‌دست پیوندگاه به سبب به وجود آمدن ناحیه جریانات آشفته آغاز شده و به تدریج به بخش‌های بالا گسترش می‌یابد؛ درحالی‌که رسوب‌گذاری کمی بعد از اوج سیلاب در محل رکود اتفاق می‌افتد و با کاهش سیل باعث گسترش دماغه و در

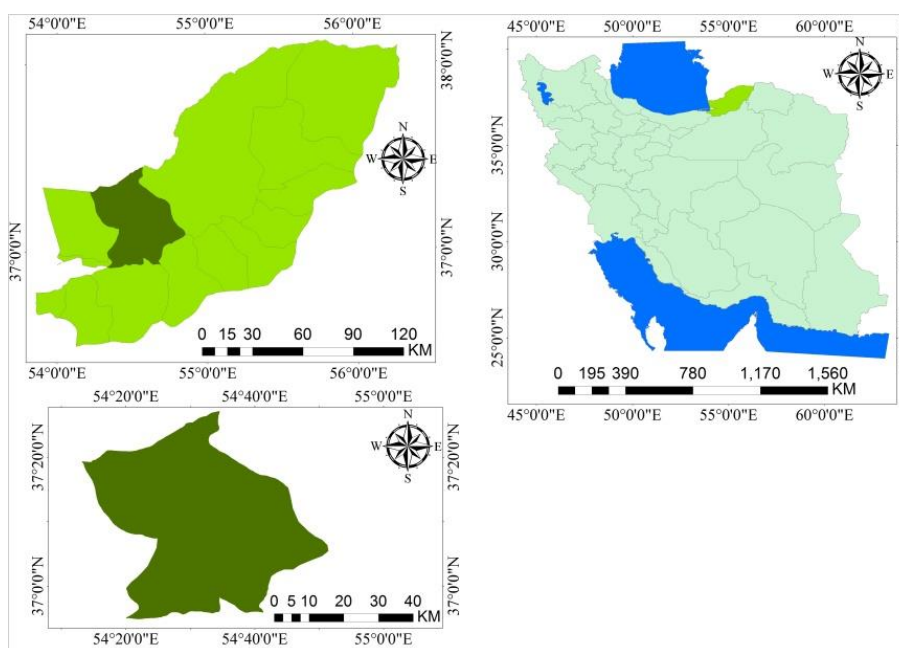
1. Bouaakkaz
2. Pham
3. Romali
4. Yusop

اواخر سیلاب توسعه جانبی قوس خارجی رودخانه گاماسیاب می‌شود. عابدینی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیقی خطر سیل حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری پل سلطان مشکین‌شهر را با استفاده از تکنیک چند معیاره آراس و هیدروگراف واحد پهنه‌بندی کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد به ترتیب ۲۰/۴۶ و ۳۲/۰۲ کیلومترمربع از مساحت محدوده، در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند که نشانگر پتانسیل بالای این حوضه برای وقوع سیلاب می‌باشد.

بخش‌های شمالی ایران به دلیل پراکندگی نامناسب مکانی و زمانی بارش یکی از نواحی مستعد رخداد سیل به شمار می‌روند که لازم است وضعیت این نواحی از لحاظ رخداد سیل بررسی شود. از این‌رو در مطالعه حاضر وضعیت خطر سیل شهرستان آق‌قلا با استفاده از مدل AHP-OWA پهنه‌بندی شد و نقشه سیل ۱۳۹۸ این ناحیه با استفاده از الگوریتم Support vector machine و تصاویر لندست-۸ استخراج شد.

### منطقه مورد مطالعه

شهرستان آق‌قلا یکی از شهرستان‌های استان گلستان است. این شهرستان از نظر جغرافیایی بین ۵۴ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی در شمال استان واقع شده است. و جمعیت این شهر بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵ حدود ۱۳۲۷۳۳ نفر بوده است. این شهرستان در طرفین رودخانه گرگان و در شمال شهر گرگان قرار گرفته است. از سمت شمال به بخش اترک، از غرب به بخش گمیشان، از جنوب به بخش مرکزی گرگان و دهستان ملک و از شرق به دهستان کتول و بخش مرکزی شهرستان گنبد کاووس محدود است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان آق‌قلا در استان گلستان

### روش پژوهش

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل تصاویر لندست مربوط به قبل و بعد از رخداد سیل در شهرستان آق‌قلا، نقشه توپوگرافی، لایه مدل رقومی ارتفاع، لایه وکتوری جریان‌ات رودخانه و داده‌های هواشناسی بودند.

پیش‌پردازش تصاویر شامل تصحیحات هندسی، رادیومتریکی و اتمسفری بودند. در ابتدا تصاویر قبل و بعد از رخداد سیل با استفاده از نقاط کنترل زمینی با خطای میانگین مربعات کمتر از ۰/۵ پیکسل زمین مرجع شدند سپس با تبدیل مقادیر Digital number (DN) تصاویر به رادیانس و اعمال الگوریتم FLAASH تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری تصاویر انجام گرفت (سلیمانی و همکاران، ۵۰۸:۱۴۰۱). بعد از پیش‌پردازش تصاویر نقشه‌های کاربری اراضی قبل و بعد از رخداد سیل با اعمال الگوریتم support vector machine در پنج کلاس پهنه‌های آب، اراضی کشاورزی، اراضی پوشش گیاهی، اراضی بایر و اراضی مسکونی طبقه‌بندی شد. در نهایت پهنه‌های سیل از پهنه‌های آب و سایر اراضی تفکیک شدند و نقشه‌های نهایی سیل تهیه شدند.

تهیه نقشه خطر سیل شهرستان آق‌قلا، نیازمند شناسایی معیارهای تأثیرگذار است. این معیارها عبارت است از: DEM، شیب، تراکم زهکشی، فاصله از جریان‌ات رودخانه، خاک، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، بارش بودند. بعد از تعیین معیارها نقشه این معیارها در محیط GIS تهیه شدند و سپس با استفاده از مدل AHP وزن این معیارها تعیین شدند سپس با استفاده از مدل OWA نقشه خطر سیل شهر آق‌قلا در چهار کلاس " بدون خطر سیل، خطر کم سیل، خطر متوسط سیل، خطر شدید سیل " تهیه شدند.

به‌منظور بررسی صحت کلی و ضرایب کاپای نقشه سیل شهرستان آق‌قلا از داده‌های کنترل زمینی استفاده شد (معادلات ۱ و ۲).

$$OA = \frac{1}{N(\sum P_{ij})} \quad (1)$$

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ji} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} + X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} + X_{+i})} \quad (2)$$

در معادله ۱، OA صحت کلی، N تعداد کل پیکسل‌ها و  $\sum P_{ij}$  مجموع پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده و در معادله ۲، r تعداد سطرها و ستون‌ها در ماتریس ابهام،  $X_{ij}$  ماتریس ابهام،  $x_{i+}$  و  $x_{+i}$  به ترتیب مجموع کل سطر i و ستون j و N تعداد کل پیکسل‌ها است (سلیمانی و درویشی، ۱۳۹۹).

## یافته‌ها

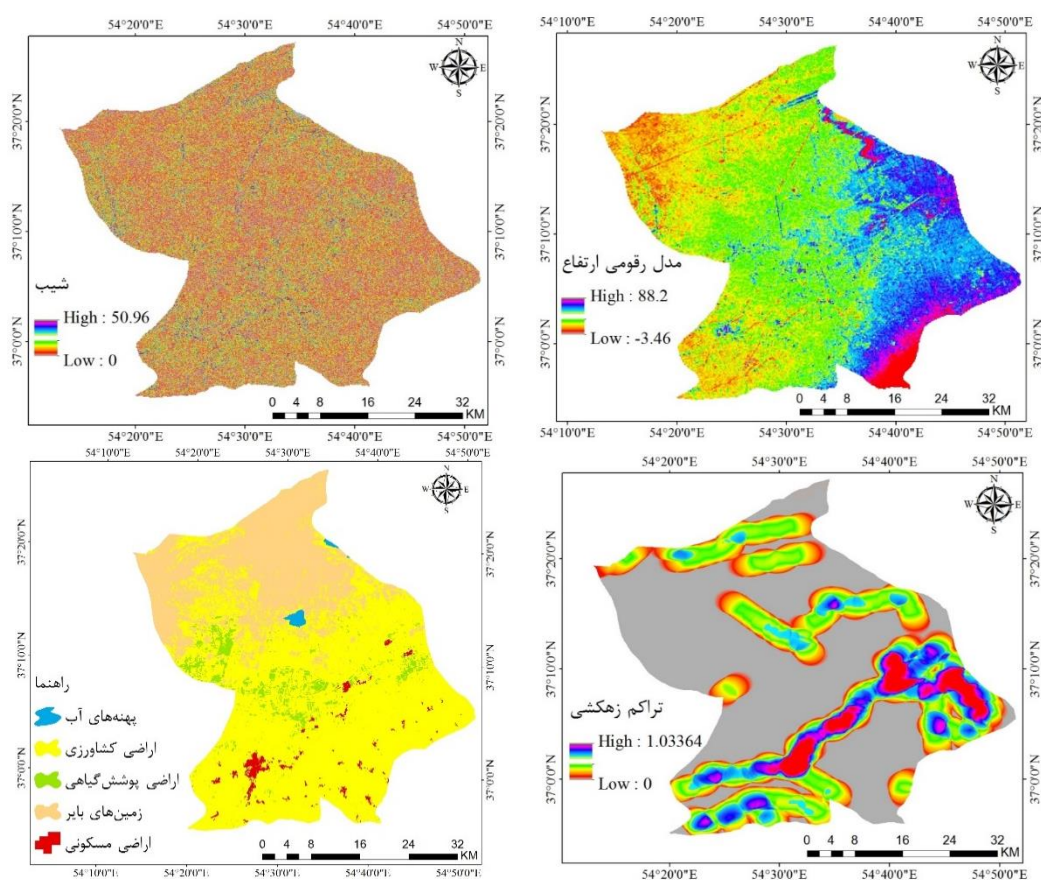
### بررسی وزن معیارهای مؤثر در رخداد سیل شهرستان آق‌قلا

بررسی وزن معیارها نشان می‌دهد که معیارهای بارش، ارتفاع، تراکم زهکشی و فاصله از جریان‌ات رودخانه از معیارهای مهم برای رخداد سیل شهرستان آق‌قلا هستند. این معیارها بر اساس خروجی مدل AHP وزن بیشتری نسبت به معیارهای دیگر مانند، شیب، کاربری اراضی، خاک و زمین‌شناسی داشتند. بررسی نقشه‌های معیارهای خطر سیل نشان می‌دهد

جدول ۱. وزن معیارها بر اساس AHP

معیار	وزن
ارتفاع	۰/۱۶۶۸۵
شیب	۰/۱۱۸۸۵
کاربری اراضی	۰/۱۳۴۱۵
تراکم زهکشی	۰/۱۵۷۳۵
فاصله از جریان‌ات رودخانه	۰/۱۳۷۵۵
بارش	۰/۱۸۳۹۵
خاک	۰/۰۳۸۲۵
زمین‌شناسی	۰/۰۷۳۰۵

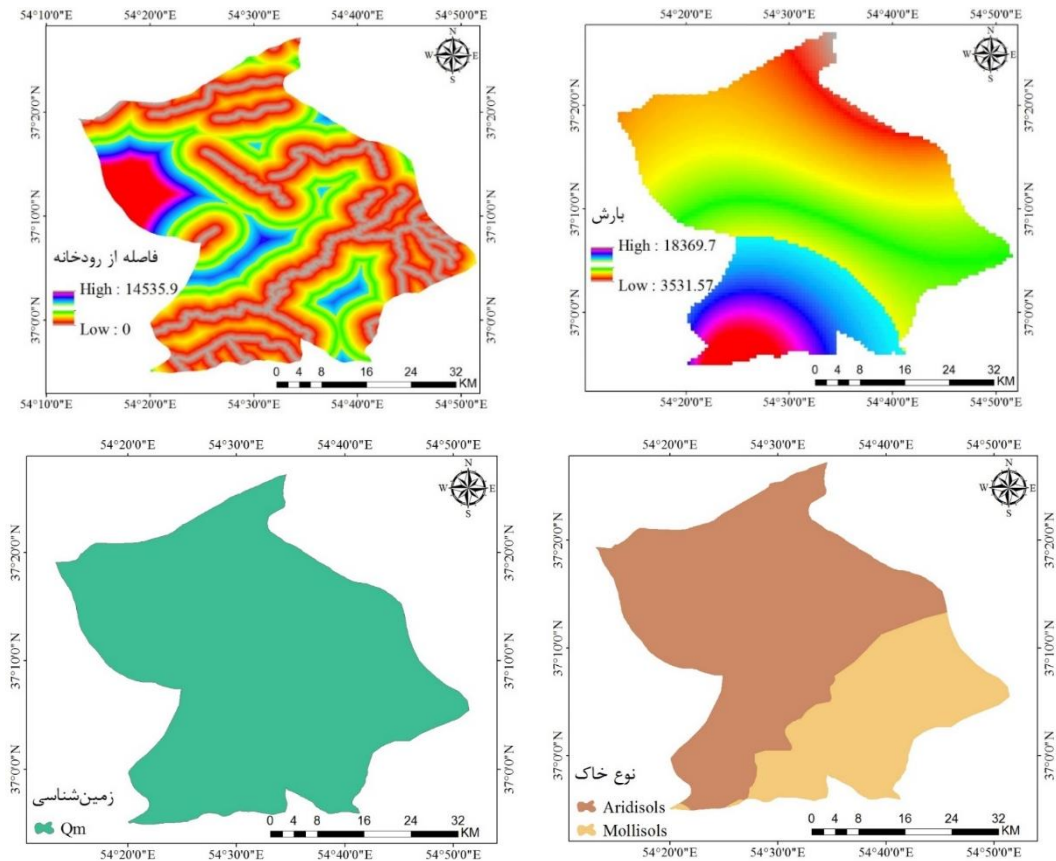
بخش‌های جنوبی، غرب و جنوب غرب از ارتفاع و شیب پایین و بارش بالا و بخش‌های شرقی، شمال و شمال شرقی از ارتفاع و شیب بالا و بارش کمتر برخوردار هستند (شکل ۲ و ۳). همچنین تراکم زهکشی بالا و فاصله کم جریانات رودخانه یکی دیگر از ویژگی‌های بخش‌های جنوبی و جنوب غربی است (اشکال ۲ و ۳). از نظر ویژگی‌های اقلیمی و طبیعی بخش‌های مرکزی دارای بارندگی متوسط و ارتفاع و شیب کم هستند همچنین این در بخش‌ها تراکم زهکشی متوسط است و فاصله جریانات رودخانه نیز متوسط می‌باشد. بدیهی است معیارهای بارش، فاصله از جریانات رودخانه، تراکم زهکشی، ارتفاع و شیب چهار فاکتور مؤثر برای رخداد سیل محسوب می‌شوند. همچنین از نظر تراکم کاربری‌های اراضی بخش‌های زیادی از شهرستان آق‌قلا به‌استثنای نیمه شمالی دارای اراضی کشاورزی هستند. اراضی جنگلی به وسعت کم در نیمه غربی این منطقه دیده می‌شود. بیشترین اراضی مسکونی در نیمه جنوبی و غربی و اراضی بایر نیز در نیمه شمالی این منطقه وجود دارند.



شکل ۲. نقشه معیارهای مؤثر در خطر سیل شهر آق‌قلا

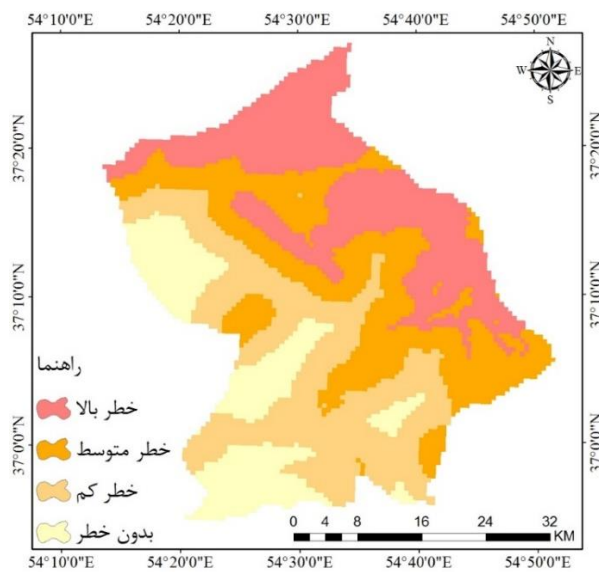
### بررسی وضعیت خطر سیل شهرستان آق‌قلا

بررسی نقشه خطر سیل شهرستان آق‌قلا نشان می‌دهد بخش‌های شمال و شمال شرقی این منطقه در وضعیت خطر بالای سیل و بخش‌های غربی و جنوبی هم در وضعیت خطر کم و بدون خطر سیل هستند. وضعیت خطر بالای سیل در این منطقه بیشتر از وضعیت بدون خطر است. بخش زیادی از این منطقه در وضعیت‌های خطر بالا و متوسط سیل هستند که



شکل ۳. نقشه معیارهای مؤثر در خطر سیل شهرستان آق قلا

این شرایط بیشتر در بخش‌های شمالی و مرکزی شهرستان آق قلا وجود دارند. به‌طور کلی نقشه خطر سیل شهرستان آق قلا نشان می‌دهد که این منطقه یکی از نواحی مستعد رخداد سیل است چراکه بخش زیادی از آن در وضعیت‌های خطر بالا، خطر متوسط و خطر کم سیل هستند. به‌طوری‌که شدت سیل خیز و سیل گیر بودن در بخش‌های شمالی بیشتر از بخش‌های دیگر است. و این شرایط گویای نیازمند بودن منطقه به برنامه‌ریزی‌های صحیح مدیریت خطر سیل است.



شکل ۴. نقشه خطر سیل شهرستان آق قلا

### بررسی سیل شهرستان آق‌قلا

نقشه سیل شهرستان آق‌قلا با استفاده از تصاویر لندست ۸ با صحت کلی و ضریب کاپای به ترتیب ۸۹ و ۸۶ درصد تهیه شد. سیل این منطقه دو بخش را در قسمت‌های شمالی و جنوبی این منطقه درگیر کرد و خسارات زیادی را در این نواحی به وجود آورد. از نظر شدت بیشترین تجمع آب در بخش‌های شمالی بود اما شدت خسارت در بخش‌های جنوبی بیشتر از بخش‌های شمالی بود. در بخش‌های جنوبی به دلیل تراکم بالای اراضی بسیاری از اراضی کشاورزی، پوشش گیاهی و مسکونی دچار رخداد سیل شدند. اما در بخش‌های شمالی به دلیل وسعت زیاد اراضی بایر و تراکم پایین اراضی دیگر مانند کشاورزی، مسکونی و پوشش گیاهی سیلاب بیشتر به اراضی بایر خسارات وارد کرد.

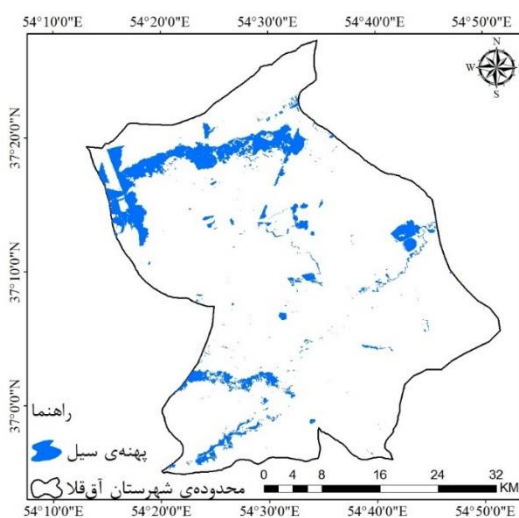
### بررسی سیل از نظر خطر در شهرستان آق‌قلا

بررسی نقشه‌های سیل و خطر سیل شهرستان آق‌قلا نشان می‌دهد که سیلاب بخش‌های شمالی در وضعیت‌های خطر بالا و متوسط سیل رخ داده است اما سیلاب بخش‌های جنوبی در وضعیت خطر کم و بدون خطر اتفاق افتاده است. بخش‌های شمالی شهرستان آق‌قلا به دلیل وسعت زیاد وضعیت‌های خطر سیل متوسط و بالا و رخداد سیل زیاد در این نواحی نیازمند برنامه‌ریزی صحیح و مدیریت خطر سیل هستند و از نظر اولویت‌بندی بخش‌های مختلف شهرستان آق‌قلا این مناطق در اولویت اصلی هستند.

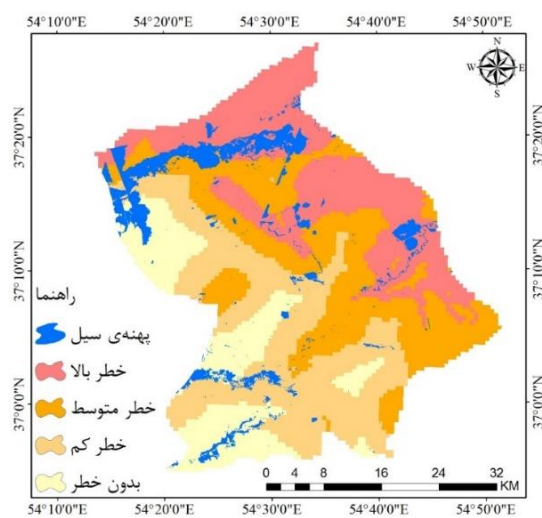
### بحث

با بررسی نقشه سیل مشخص شد که حجم زیادی از سیل ۲۰۱۹ در بخش‌های شمالی شهرستان آق‌قلا رخ داده است. دلایل اصلی وقوع رخداد سیل در شهرستان آق‌قلا، بارش شدید باران در یک مقطع زمانی کوتاه، عدم لایروبی رودخانه گرگان رود، احداث سازه‌های نامناسب و غیر مهندسی در طول مسیر رودخانه‌ها، ناپایداری و فرسایش خاک در سطوح شیب‌دار و عاری از پوشش گیاهی، تخریب پوشش گیاهی و کشاورزی سنتی در اراضی شیب‌دار، ارتفاع و شیب پایین این بخش‌ها که موجب تجمع آب شده و تراکم پایین کاربری اراضی در محدوده مناطق سیل‌زده بودند که لازم است با احداث کانال‌های انحرافی آب ناشی از سیل را به مناطق مناسب یا سدهای زیرزمینی هدایت کنند. همچنین با توجه به بالا بودن تراکم زهکشی در منطقه و بخصوص در بخش‌های شرقی شهرستان آق‌قلا که موجب می‌شود جریانات رودخانه زیاد و فاصله رودخانه‌ها از یکدیگر کم باشد اما با توجه به ارتفاع و شیب بالا آب در این بخش‌ها تجمع نمی‌کند و به بخش‌های غربی که شیب پایینی دارند سرازیر می‌شوند بنابراین می‌توان گفت که بخش‌های شمال شرقی، شرق و جنوب شرق مناطق سیل‌خیز و بخش‌های شمال، غرب و جنوب غرب مناطق سیل‌گیر هستند. به‌طور کلی مطالعات خطر سیل به دلیل شناسایی مناطق مستعد خطر سیل یکی از مطالعات مفید و کارآمد برای مدیریت خطر سیل است و به دلیل اهمیت آن تاکنون این مطالعات با روش‌های گوناگونی از جمله مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره انجام شده است. مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به دلیل دخیل کردن نظر کارشناسان و متخصصان، سازگاری بالا با داده‌های جغرافیایی و سادگی در اجرا یکی از روش‌های مؤثر برای تهیه نقشه‌های خطر سیل هستند. به‌طوری‌که از گذشته تاکنون کارایی مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای مطالعات خطر سیل بیشتر نمایان شده است و این مطلب در این مطالعه به‌روشنی دیده می‌شود. مدل ترکیبی AHP-OWA توانست نقشه خطر سیل شهرستان آق‌قلا را به‌خوبی تهیه کند به‌طوری‌که با بررسی نتایج نقشه خطر سیل و سیل ۱۳۹۸ مشاهده شد که بین نقشه خطر سیل منطقه سیل ۱۳۹۸ یک انطباق خوبی برقرار است. از نظر پایش مکانی نقشه خطر سیل شهرستان آق‌قلا، مدل ترکیبی AHP-OWA نواحی مستعد رخداد سیل را در سطح منطقه شناسایی کرده است و طبقات مختلف سیل در نقشه‌های خطر سیل مشخص شده است. بنابراین مدل AHP-OWA یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مؤثر برای مطالعات خطر سیل محسوب می‌شود. بررسی نتایج این مطالعه گویای یک

انطباق کامل با مطالعات دگیروگس و همکاران (۲۰۱۳)، ومالی و یوسپ (۲۰۲۱)، سلیمانی و همکاران (۲۰۲۳)، حسنزاده و همکاران (۱۴۰۰)، مختاری هشی و همکاران (۱۳۹۵)، عابدینی و همکاران (۱۳۹۴)، نجفی و همکاران (۱۳۹۹)، کیا و همکاران (۱۴۰۰)، جلالیان (۱۴۰۰)، نصرتی و همکاران (۱۳۹۲)، سلیمانی و همکاران (۱۳۹۹) و عابدینی و همکاران (۱۴۰۲) است. در هر کدام از این مطالعات روش‌های مختلفی برای مطالعات خطر سیل بررسی شده است. در این میان در مطالعات سلیمانی و همکاران (۲۰۲۳)، نجفی و همکاران (۱۳۹۹)، حسنزاده و همکاران (۱۴۰۰)، سلیمانی و همکاران (۱۳۹۹) و عابدینی و همکاران (۱۳۹۴) همانند مطالعه حاضر اهمیت و کارایی مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مورد تأکید قرار گرفته است. علاوه بر مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مدل‌های دیگری مانند مدل HEC-RAC در مطالعات رومالی و یوسپ (۲۰۲۱)، پورنبی درزی و همکاران (۱۴۰۰) و محمدی و همکاران (۱۳۸۸) نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند و به کاربرد این مدل برای مطالعات خطر سیل تأکید شده است. یکی از مزیت‌های اصلی مدل OWA در مقایسه با مدل‌های مشابه مانند مدل WLC این است که علاوه بر استفاده از وزن معیارها در نتیجه نهایی، از وزن ترتیبی معیارها نیز استفاده می‌شود. به عبارت دیگر در مدل OWA اوزان ترتیبی، اوزان معیارها با لایه‌های معیارها ترکیب شده و نقشه نهایی تهیه می‌شود. در این مدل اوزان ترتیبی و اوزان معیار را می‌توان با استفاده از یک مدل یکسان مانند مدل AHP یا دو مدل مختلف محاسبه نمود. در این مطالعه اوزان ترتیبی و اوزان معیارها با استفاده از مدل AHP محاسبه شد اما در برخی از مطالعات مانند مطالعات سلیمانی و همکاران (۲۰۲۳) و قفاری گیلانده و همکاران (۲۰۲۰) اوزان ترتیبی و اوزان معیارها با دو مدل مختلف محاسبه شده است و نتایج قابل قبولی ارائه کرده است. بررسی نتایج این مطالعات با مطالعه حاضر نشان می‌دهد که استفاده از دو مدل مختلف یا یک مدل یکسان برای محاسبه اوزان ترتیبی و اوزان معیارها نتایج مشابه دارند. همچنین کاربرد علم سنجش از دور در قالب تصاویر ماهواره‌ای به عنوان یکی از مؤثرترین و کارآمدترین ابزارهای پایش و نظارت بر رخدادهای طبیعی مانند سیلاب در بسیاری از مطالعات مانند مطالعات عمادالدین و قاسمی (۱۴۰۰)، سلیمانی و همکاران (۱۳۹۹)، گنجی و همکاران (۱۳۹۹) و امینی و همکاران (۱۴۰۱) همانند مطالعه حاضر تأکید شده است. تصاویر لندست-۸ به دلیل قدرت تفکیک طیفی، مکانی و زمانی مناسب ابزار بسیار مفیدی برای پایش و تهیه نقشه‌های سیل هستند. این تصاویر به دلیل توانایی تصویربرداری در محدوده وسیع طیفی، برخورداری از قدرت تفکیک مکانی بالا و همچنین تصویربرداری در مقیاس زمانی مناسب توانست نقشه سیل شهرستان آق قلا را با دقت بالا تهیه کند و این مسئله در مطالعات مشابه نیز به روشنی دیده می‌شود.



شکل ۶. نقشه سیل شهرستان آق قلا



شکل ۵. رخداد سیل در وضعیت خطر شهرستان آق قلا

## نتیجه گیری

این مطالعه با هدف بررسی وضعیت خطر سیل و سیل شهرستان آق قلا انجام شد. نتایج مدل AHP-OWA حاکی از نقشه برداری قابل قبول شهرستان آق قلا از نظر وضعیت خطر سیل است به طوری که نتایج نشان داد که شهرستان آق قلا از نظر خطر سیل یکی از نواحی مستعد رخداد سیل به شمار می رود. چراکه مساحت زیادی از این منطقه در بخش های شمال و شمالی شرقی در وضعیت خطر بالا و متوسط سیل هستند از طرفی بخش های جنوبی و غربی نیز در وضعیت های خطر کم و بدون خطر سیل هستند. بنابراین اهمیت برنامه ریزی های مناسب مدیریت سیل در این منطقه احساس گردیده و باید با اولویت قسمت های شمالی صورت گیرد. یکی از اقدامات اساسی در مناطق مستعد رخداد سیل جلوگیری از تخریب کاربری اراضی و تبدیل هر کاربری به کاربری دیگر است که لازم است در هر منطقه و بخصوص در مناطق مستعد رخداد سیل مورد توجه قرار گیرد. تخریب اراضی پوشش گیاهی و تبدیل این اراضی به زمین های کشاورزی و همچنین تخریب اراضی پوشش گیاهی در نتیجه گسترش زمین های بایر و بدون پوشش گیاهی از مهم ترین دلایل رخداد سیل در بالندگی های شدید است که به دلیل عدم وجود پوشش گیاهی و تراکم پایین کاربری اراضی جریان آب با شدت بیشتری رخ داده و در نتیجه موجب رخداد سیل می شود. از نظر پایش مکانی نقشه سیل ۲۰۱۹ شهرستان آق قلا نشان می دهد که سیل بیشتر در بخش های شمالی، شرقی و جنوب شهرستان آق قلا رخ داد که این مناطق از نظر رخداد سیل در وضعیت های خطر بالا، خطر متوسط و بدون خطر هستند. به طور کلی در این مطالعه با یک نوآوری بر اساس نتایج به دست آمده، دو روش و ابزار مورد استفاده یعنی مدل AHP-OWA و تصاویر لندست-۸ جزء روش های مؤثر برای مطالعات سیلاب بوده و استفاده از این روش ها برای مطالعات مرتبط پیشنهاد می شود. همچنین به منظور کاهش خسارات سیلاب های احتمالی آینده توجه به نتایج این مطالعه و مطالعات مرتبط در برنامه ریزی های آینده بسیار ضروری است. چراکه در بسیاری از مطالعات خطر سیل مناطق اصلی رخداد سیل در هر منطقه مشخص شده است و توجه به این مناطق در برنامه ریزی ها موجب بهبود نتایج برنامه ریزی ها و در نتیجه کاهش خسارات سیلاب های احتمالی آینده می شود. همچنین نظر به توسعه روش شناسی مطالعات سیل لازم است که از علم سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل های تصمیم گیری چندمعیاره که ابزارها و روش های مؤثر مطالعات سیل هستند بیشتر استفاده شده تا ضمن توسعه روش شناسی این مطالعات، کاربرد این روش ها برای این مطالعات مشخص شوند.

## حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

## سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

## تضاد منافع

نویسندگان اعلام می دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

## تقدیر و تشکر

از حمایت های مالی و فنی پژوهشکده سنجش از دور GIS محیطی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و موسسه آموزش عالی هراز آمل در انجام این پژوهش قدردانی می گردد.

## منابع

- امینی، لیلا؛ ارگانی، میثم و عبدالهی کاکرودی، عطاالله. (۱۴۰۱). شناسایی پهنه‌های آبی ناشی از سیل استان گلستان با استفاده از قطبش‌های  $VV$ ،  $VH$  و  $VV+VH$  تصاویر سنتینل-۱ و لندست-۸. *نشریه جغرافیا و مطالعات شهری و منطقه‌ای*، ۱۱(۴۳)، ۹۴-۱۰۷. <https://doi.net/dor/20.1001.1.20087845.1401.11.43.6.7>
- پورنبی درزی، سمیه؛ وفاخواه، مهدی و رجبی، محمد رسول. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و Arc GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چشمه کیله شهرستان تنکابن). *نشریه مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۰(۲۸)، ۲۸-۱۵. <https://doi.org/10.22111/jneh.2021.28694.1603>
- حاتمی نژاد، حسین؛ آتش‌افروز، نسرین و آروین، محمود. (۱۳۹۶). پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از تحلیل چندمعیاره و GIS مطالعه موردی: شهرستان ایذه. *دانش‌پیشگیری و مدیریت بحران*، ۷(۲)، ۴۴-۵۷.
- حسن‌زاده، رضا؛ هنرمند، مهدی؛ حسینجانی زاده، مهدیه و محمدی، صدیقه. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی سیلاب در نواحی شهری با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و اطلاعات میدانی (مطالعه موردی: سیل بردسیر، استان کرمان). *نشریه اکو هیدرولوژی*، ۸(۲)، ۳۳۱-۳۴۴. <https://doi.org/10.22059/ije.2021.314075.1423>
- جباری، ایرج؛ قبادیان، رسول و جدیدی، انیس. (۱۴۰۲). تأثیر سیل فروردین ۱۳۹۸ بر ریخت‌شناسی پیوندگاه مئاندری دو رودخانه دینور به گاماسیاب با استفاده از مدل عددی SRH-2D. *نشریه جغرافیا و توسعه*، ۲۱(۷۰)، ۲۶-۱. <https://doi.org/10.22111/gdij.2023.7401>
- جلالیان، سید اسحاق. (۱۴۰۰). ارزیابی و پهنه‌بندی سیل‌خیزی در مقیاس زمانی و مکانی مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگان رود استان گلستان. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۱(۴۲)، ۱۴۳-۱۶۲. <https://doi.org/10.30488/gps.2020.213834.3157>
- سلبمانی، کریم و درویشی، شادمان. (۱۳۹۹). پهنه‌بندی و پایش خطر سیل بهار ۱۳۹۸ خوزستان با استفاده از داده‌های لندست-۸. *نشریه اکو هیدرولوژی*، ۷(۳)، ۶۴۷-۶۶۲. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.302703.1333>
- سلبمانی، کریم؛ درویشی، شادمان و شکران، فاطمه. (۱۴۰۱). ارزیابی صحت روش‌های سنجش‌ازدور در استخراج و پایش تغییرات پهنه آبی دریاچه زریبار. *نشریه اکو هیدرولوژی*، ۹(۳)، ۵۱۶-۵۰۵. <https://doi.org/10.22059/ije.2023.342056.1632>
- سلبمانی، کریم؛ شریفی‌پور، مهدی و عبدلی بوژانی، سپیده. (۱۳۹۹). الگوریتم آشکارسازی پهنه خسارت سیل با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ (مطالعه موردی: سیلاب فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان). *نشریه اکو هیدرولوژی*، ۷(۲)، ۳۰۳-۳۱۲. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.292005.1233>
- عابدینی، موسی و فتحی، محمدحسین. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز خیاو چای). *نشریه هیدروژئومورفولوژی*، ۲(۳)، ۹۹-۱۲۰. <https://doi.net/dor/20.1001.1.23833254.1394.2.3.6.7>
- عابدینی، موسی؛ فعال‌نذیری، مهدی و پیروزی، الناز. (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تکنیک چند معیاره آراس و هیدروگراف واحد (مطالعه موردی: حوضه بالادست ایستگاه هیدرومتری پل سلطان مشکین‌شهر). *نشریه مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۲(۳۵)، ۱۱۵-۱۳۸. <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.40684.1863>
- علایی طالقانی، محمود و همایونی، صدیقه. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی حوضه دینور از نظر تولید سیلاب با استناد به مؤلفه‌های ژئومورفولوژی. *نشریه جغرافیا و پایداری محیط*، ۱(۱)، ۳۷-۴۹.
- عمادالدین، سمیه و قاسمی، مسعود محمد. (۱۴۰۰). پایش نقشه‌های گسترش سیلاب با استفاده از تصاویر راداری (SAR) (مطالعه موردی: سیل فروردین ۱۳۹۸، شهرستان آق قلا). *نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۲(۶)، ۷۹-۹۶. <https://doi.org/10.30488/cr.2021.308697.1053>
- کیا، احمد؛ خالدی، شهریار و جانبازقبادی، غلامرضا. (۱۳۹۹). تعیین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل‌خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک. *مطالعه موردی: حوضه‌های آبخیز سه‌هزار و دو هزار (چشمه کیله) تنکابن*. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۰(۳۸)، ۲۳۵-۲۵۸. <https://doi.org/10.30488/gps.2019.204627.3113>
- گنجی، کامران؛ قره‌چلو، سعید و احمدی، احمد. (۱۳۹۹). بررسی اثر شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود بر پهنه‌های سیلاب

- با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تحلیل‌های مکانی (منطقه مطالعاتی: شهر آق‌قلا). *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، (۳)۹، ۲۰۵-۲۲۵. <https://doi.org/10.22067/geoh.2020.67016.0>
- مختاری هشی، حسین و رحیمی، داریوش. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی با استفاده از منطق فازی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، (۱)۳۷، ۱۹۹-۲۱۶. <https://doi.org/10.22108/gep.2016.21366>
- معماریان خلیل‌آباد، هادی؛ یوسفی، محمد و آفاخانی افشار، امیرحسین. (۱۳۹۷). شناسایی و تفکیک مناطق سیل‌خیز و بررسی تأثیر فعالیت‌های آبخیزداری بر دبی اوج سیلاب حوضه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بار نیشابور). *نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک*، (۱)۲۵، ۳۵-۵۹. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2018.13978.2875>
- محمدی، احسان؛ منتصری، مجید و سکوتی‌اسکویی، رضا. (۱۳۸۸). پهنه‌بندی خطرات سیل در مناطق شهری با استفاده از WMS و HEC-RAS (مطالعه موردی: اشنویه، استان آذربایجان غربی). *نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز*، (۱)۱، ۶۹-۶۱. <https://dori.net/dor/20.1001.1.22519300.1388.1.1.7.7>
- نجفی، اسماعیل و کریمی کردآبادی، مرتضی. (۱۳۹۹). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ترکیبی AHP-FUZZY با تأکید بر امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان‌شهر تهران). *نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، (۲)۹، ۴۳-۶۰. <https://doi.org/10.22067/geo.v9i2.86110>
- نصرتی، کاظم؛ احمدی، محمود؛ ثروت‌تیرال محمدرضا و مرزبانی، مهدی. (۱۳۹۲). تعیین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز دره‌شهر بر اساس مناطق همگن هیدرولوژیک. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، (۸)۳، ۱۱۹-۱۳۷.
- وزارت نیرو. (۱۳۹۹). خلاصه یافته‌ها، درس آموخته‌ها و پیشنهادهای گزارش ملی سیلاب، مرکز امور اجتماعی آب و انرژی، آذرماه، صص. ۱-۴۰۰.
- یوسفی، حسین، نوراللهی، یونس، سلطانی، کیوان، جوادزاده، زهرا. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر سیل و معرفی راهکارهای مدیریتی در مناطق ۱ و ۳ شهرداری تهران. *نشریه اکو هیدرولوژی*، (۳)۱، ۱۹۳-۱۸۱. <https://doi.org/10.22059/ije.2014.54221>

## Reference

- Abedini, M., & Fathi, M. H. (2017). Flood Risk Mapping and Evaluation by using the Analytic Network Process Case Study: (Khiav Chai Catchment). *Journal of Hydrogeomorphology*, 2(3), 99-120. <https://dori.net/dor/20.1001.1.23833254.1394.2.3.6.7> [In Persian].
- Abedini, M., Faal Naziri, M., & Pirouzi, A. (2023). Flood risk assessment and zoning using multi-criteria Aras technique and single hydrograph (Case Study: Upstream Basin of Soltan Meshkinshahr Bridge Hydrometric Station). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(35), 115-138. <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.40684.1863> [In Persian].
- Alee Taleghani, M., & Homauni, S. (2012). Dinevar Basin Flood Zoning Relying on the Geomorphologic Characteristics. *Journal of Geography and Environmental Sustainability*, 1(1), 37-49. [In Persian].
- Al-Taani, A., Al-husban, Y., & Ayan A. (2023). Assessment of potential flash flood hazards. Concerning land use/land cover in Aqaba Governorate, Jordan, using a multi-criteria technique. *Egyptian Journal of Remote Sensing & Space Sciences*, 26(1), 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.12.007>
- Amini, L., Argany, M., & Abdollahi Kakroodi, A. (2022). Detection of Flooded Areas in Golestan Province Using VV, VH and VV + VH Polarizations of Sentinel-1 and Landsat-8 Images. *Journal of Geography and Environmental Studies*, 11(43), 94-107. <https://dori.net/dor/20.1001.1.20087845.1401.11.43.6.7> [In Persian].
- Bouaakkaz, B., El Morjani, Z. E. A., & Bouchaou, A. (2023). Social vulnerability assessment to flood hazard in Souss basin, Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 198, 104774. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104774>
- Chen, Sh., Zhu, Sh., Wen, X., Shao, H., He, Ch., Qi, j., Lv, L., Han, L., & Liu, S. (2023). Mapping Potential Soil Water Erosion and Flood Hazard Zones in the Yarlung Tsangpo River Basin

- China. *Atmosphere*, 14(1), 1-18. <https://doi.org/10.3390/atmos14010049>
- Degiorgis, M., Gnecco, G., Gorni, S., Roth, G., Sanguineti, M., & Taramasso, A. C. (2013). Flood hazard assessment via threshold binary classifiers (case study of the Tanaro river basin). *Irrigation and Drainage*, 62(152), 1-10. <https://doi.org/10.1002/ird.1806>
- Dube, T., Gumindoga, W., & Chawira, M. (2014). Detection of land cover changes around Lake Mutirikwi Zimbabwe based on traditional remote sensing image classification techniques. *African Journal of Aquatic Science*, 39(1), 89-95. <https://doi.org/10.2989/16085914.2013.870068>
- Emadodin, S., & Ghasemi, M.M. (2021). Monitoring of flood expansion maps using radar images (SAR) (Case study: Flood in March 2019, Aq Qala city). *Journal of Climate Change Research*, 2(6), 79-96. <https://doi.org/10.30488/ccr.2021.308697.1053> [In Persian].
- Ganji, K., Gharechelou, S., & Ahmadi, A. (2020). Investigating Gorganrood River Morphological Indices and its Effects on Flood Zones using Remote Sensing Data and Spatial Analysis (Case Study: Aq' Qala City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(3), 205-225. <https://doi.org/10.22067/geoh.2020.67016.0> [In Persian].
- Ghaffari Gilandeh, A., Sobhani, B., & Ostadi, E. (2020). Combining Arc-GIS and OWA model in flooding potential analysis (case study: Meshkinshahr city). *Nat Hazards*, 102, 1435-1449. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03975-0>
- Ha, H., Bui, Q.D., Nguyen, H.D., Pham, B.T., Lai, T.D., & Luu, Ch. (2023). A practical approach to flood hazard, vulnerability, and risk assessing and mapping for Quang Binh province. Vietnam. *Environ Dev Sustain* 25, 1101–1130. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-02041-4>
- Hatami Nejad, H., Atashafrooz, N., & Arvin, M. (2017). Flood hazard zonation using multi-criteria analysis and GIS (case study: Izeh Township). *Disaster Prev. Manag. Know.* 7 (2), 44-57. [In Persian].
- Hassanzadeh, R., Honarmand, M., Hossinjanizadeh, M., & Mohammadi, S. (2021). Flood zoning in urban areas using hydrological modelling and survey data: Case study of Bardsir city, Kerman Province. *Iranin Journal of Echo Hydrology*, 8(2), 331-344. <https://doi.org/10.22059/ije.2021.314075.1423> [In Persian].
- Jabbari, I., Ghoobadian, R., & Jdidi, A. (2023). The Effect of April 2019 Flash Flood on the Morphology of the Meandering Confluence of the Dinver River to Gamasiab Using SRH-2D Numeric Model. *Geography and Development*, 21 (7), 1-26. <https://doi.org/10.22111/gdij.2023.7401> [In Persian].
- Jalaliyan, S.S. (2022). Evaluating and zoning flooding on a temporal and spatial scale (Study Area: Gorgan River Watershed in Golestan Province). *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 11(42), 143-162. <https://doi.org/10.30488/gps.2020.213834.3157> [In Persian].
- Kia, A., Khaledi, Sh., & Janbazghobadi, Gh. (2021). Determination of flood potential effective factors in hydrological homogenous regions, Case study: Se-Hezar and Do-Hezar watersheds (Cheshmehkileh), Tonekabon). *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 10(38), 235-258. <https://doi.org/10.30488/gps.2019.204627.3113> [In Persian].
- Kumar, R., & Acharya, P. (2016). Flood hazard and risk assessment of 2014 floods in Kashmir Valley: a space-based multisensory approach. *Natural Hazards*, 84, 437-464. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2428-4>
- Mavi, R.K., Goh, M., & Zarbakhshnia, N. (2017). Sustainable third-party reverse logistic provider selection with fuzzy SWARA and fuzzy MOORA in plastic industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91, 2401-2418. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9880-x>
- Memarian Khalil Abad, H., Yousefi, M., & Aghakhani Afshar, A. H. (2018). Identification and separation of flooding source regions and investigating the impact of watershed management operations on the peak discharge (Case study: Bar watershed, Neyshabour, Iran). *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(1), 35-99. <https://doi.org/10.22069/jwsc.2018.13978.2875> [In Persian].
- Mokhtari Hashi, H., & Rahimi, D. (2016). Zoning of Flood risk in Human and Economic activities centers of South Khorasan Province using the Fuzzy Logic System. *Geography and Environmental Planning*, 27(1), 199-216. <https://doi.org/10.22108/gep.2016.21366> [In Persian].
- Mohammadi, A., Montaseri, M., & Sokooti Oskoei, R. (2009). Zonation of flood dangers in

- urban regions, using WMS and HEC-RAS, case study: Oshnavieh, Western Azerbaijan province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 1(1), 61-69. <https://doi.net/dor/20.1001.1.22519300.1388.1.1.7.7> [In Persian].
- Ministry of Energy. (2020). *Summary of findings, lessons learned and suggestions of the National Flood Report*. Water and Energy Social Affairs Center, PP, 1-400. [In Persian].
- Najafi, E., & Karimi Kerdabadi, M. (2020). Flood Risk Evaluation and Zoning using with AHP-Fuzzy Combined Model with Emphasis on Urban Safety (Case Study: Region 1 of Tehran Municipality). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(2), 43-60. <https://doi.org/10.22067/geo.v9i2.86110> [In Persian].
- Nosrati, K., Ahmadi, M., Sarvati, M.R., & Mezbani, M. (2013). Determination of the Effective Factors in Flooding Potential of Darrehshahr Drainage Basin Based on Hydrological Homogeneous Area. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*, 3(8), 119-137. [In Persian].
- Pham, T.L., Tong, S. S., & Nguyen, V.N. (2023). *Flash Flood Hazard Mapping Based on Analytic Hierarchy Process for a Complex Terrain: A Case Study of Chu Lai Peninsula*. Vietnam, International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources, Springer, Cham, pp 573–590. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-17808-5\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-031-17808-5_35)
- Pornaby Darzi, S., Vafakhah, M., & Rajabi, M. R. (2021). Flood hazard zoning using HEC-RAS Hydraulic Model and ArcGIS (Case Study: CheshmehKileh River in Tonekabon County). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(28), 15-28. <https://doi.org/10.22111/jneh.2021.28694.1603> [In Persian].
- Romali, N. S., & Yusop, Z. (2021). Flood damage and risk assessment for urban area in Malaysia. *Hydrology Research*, 52 (1), 142–159. <http://dx.doi.org/10.2166/nh.2020.121>
- Solaimani, K., & Darivishi, Sh. (2020). Zoning and Monitoring of Spring 2019 Flood Hazard in Khuzestan Using Landsat-8 Data. *Iranin Journal of Echo Hydrology*, 7(3), 647-662. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.302703.1333> [In Persian].
- Solaimani, K., Darivishi, Sh., & Shokrian, F. (2022). Accuracy assessment of remote sensing methods for extraction and monitoring of Zrebar Lake, Iran. *Iranin Journal of Echo Hydrology*, 9(3), 505-516. <https://doi.org/10.22059/ije.2023.342056.1632> [In Persian].
- Solaimani, K., Sharifipour, M., & Abdoli Boozhani, S. (2020). Flood Damage Detection Algorithm Using Sentinel-2 Images (Case Study: Golestan Flood of March 2019). *Iranin Journal of Echo Hydrology*, 7(2), 303-312. <https://doi.org/10.22059/ije.2020.292005.1233> [In Persian].
- Solaimani, K., Shokrian, F., & Darvishi, S. (2023). An Assessment of the Integrated Multi-Criteria and New Models Efficiency in Watershed Flood Mapping. *Water Resour. Manage.* 37, 403-425. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03380-1>
- Xiong, L., Deng, R., Li, J., Liu, X., Qin, Y., Liang, Y., & Liu, Y. (2018). Subpixel Surface Water Extraction (SSWE) Using Landsat 8 OLI Data. *Water*, 10(5), 1-15. <https://doi.org/10.3390/w10050653>
- Yousefi, S., Mirzaee, S., Almohamad, H., Al Dughairi, A. A., Gomez, Ch., Siamian, N., Alrasheedi, M., & Ghassan Abdo, H. (2022). Image Classification and Land Cover Mapping Using Sentinel-2 Imagery: Optimization of SVM Parameters. *Land*, 11(7), 1-14. <https://doi.org/10.3390/land11070993>
- Yousefi, H., Noorollahi, Y., Soltani, K., & Javadzadeh, Z. (2015). The Management Strategies to Reduce the Vulnerability of Flood in Tehran (Case Study: District 1 and 3). *Iranin Journal of Echo Hydrology*, 1(3), 181-193. <https://doi.org/10.22059/ije.2014.54221> [In Persian].