

Using Sentinel satellite images to study the June 2023 Flood and vegetation indices in the Germe and Ungut counties

Zeinab Hazbavi ^{1*}, Marzieh Ghashamshami ²

¹ Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

² Former M.Sc. Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Semnan, Iran

Extended Abstract

Introduction

Flooding, one of the most common natural disasters, poses a serious threat to ecosystems and human safety, with factors such as heavy rainfall, rapid snowmelt, dam failures, and poor management of water, soil, and vegetation resources worsening its impacts. Over the past two decades, approximately 2.4 billion people have been affected by natural disasters, resulting in economic damages amounting to \$2.97 trillion. Among these, human-related factors such as reduced permeability, construction near riverbanks, and alteration of water flow paths have played a greater role in intensifying flood damage than natural factors. Accurate monitoring of floods and assessing affected areas are of significant importance. Flood zoning is a practical tool that plays a crucial role in management planning. Today, the combined use of optical and radar imagery can provide more comprehensive information. This study aims to effectively utilize Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite images in conjunction with the Google Earth Engine (GEE) platform for flood mapping and vegetation indices in the Germe and Ungut counties, which have been impacted by flood events in May and June 2023. This innovative approach enhances the accuracy and speed of flood detection and offers a scalable solution for managing flood risks in vulnerable areas. By leveraging the latest advancements in remote sensing and cloud computing, this research contributes to the development of more resilient strategies against flooding and is essential for regions like Ardabil Province, which are prone to irregular and heavy rainfall.

Materials and Methods

In this study, various methods were employed to identify and analyze flood-affected areas using Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite data. Initially, Synthetic Aperture Radar (SAR) images from Sentinel-1 in the form of GRD (Ground Range Detected) products were utilized, which can capture images in all weather conditions and at any time of day. These data were derived from the C-band and Interferometric Wide Swath (IW) mode for flood mapping. To reduce speckle noise, the Refined Lee filter was applied, which removed random noise while preserving structural details. A threshold of 1.25 was set for VV polarization (vertical transmit, vertical receive) to identify flood-prone areas, with pixels having VV values above this threshold considered flooded regions. To avoid misinterpretation, areas with permanent water bodies were excluded using JRC Global Surface Water data. SAR images of Sentinel-1 taken before, during, and after the flood (between April 1 and August 20, 2023) were compared for change detection. Additionally, Sentinel-2 images were used to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Enhanced Vegetation Index (EVI) to assess the impact of vegetation variability from April 1, 2019, to August 20, 2023. These methods effectively identified flood-affected areas and the impacts on the vegetation cover of the two study counties.

Results and Discussion

In May and June 2023, the Germe and Ungut counties witnessed unprecedented rainfall, which led to severe flooding. The results of the interpretation of Sentinel-1 SAR images showed that about 185.83 km² were affected by flooding, which is equivalent to 9.01 % of the total study area. Before the flood (April-May 2023), the mean NDVI and EVI respectively were 0.25 and 0.18, indicating a significant decrease in vegetation cover compared to the reference year (April-May 2019). This could be due to land use change, drought, gradual destruction of dense vegetation, or other environmental stresses before the flood. At the time of the flood (June 2023), the mean NDVI and EVI reached 0.22 and 0.15, respectively, which are the lowest levels recorded up to that time. Only seven percent of the area had healthy vegetation during this period. This decrease could be due to the inundation of plants, destruction due to the intensity of the flood flow, or the covering of the soil surface by sediments. After the flood (August 2023), a more severe decrease in vegetation status was observed. The mean NDVI decreased to 0.15 and EVI to 0.1, and only about 2% of the area remained with healthy vegetation. This decrease may be due to severe soil degradation, erosion of the fertile topsoil, and reduced vegetation cover due to seasonal conditions in the area.

Conclusion

This study mapped the June 2023 Flood and vegetation indices in two counties of Germe and Ungut, located in the northwest of Iran, using Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 data. In adverse weather conditions, SAR technology is an effective tool for mapping and monitoring flood-prone areas. The combination of SAR data, the Refined Lee filter, and the GEE platform facilitates crisis management and mitigates flood impacts. SAR's ability to penetrate cloud cover and provide rapid data access plays a critical role in the swift detection of floods. Integrating this technology with early warning systems enables quicker responses to floods, reducing both human casualties and financial losses. Analysis of the June 2023 Flood that occurred in the

two counties of Germe and Ungut, with an area of 2064 km², showed that about 185.83 km² (equivalent to nine percent of the total area) were directly affected by the flood. From an environmental perspective, the analysis of NDVI and EVI indices in four time periods (one reference period in 2019 and three time periods related to before, during, and after the flood of 2023) indicates a sharp decrease in the density and extent of vegetation cover in the region. The amount of desirable vegetation cover decreased from approximately 269 km² in the pre-flood period to only 41 km² in the post-flood period, indicating the destructive impact of the flood on the region's ecological structure. These findings emphasize the need for integrated watershed management and strategic land-use planning. To enhance community resilience, it is recommended to prioritize and protect vulnerable areas through strategic policies. Utilizing these results can help reduce flood damage and save time and costs in foundational studies.

Keywords: Hazard assessment, hydrology, radar images, vegetation degradation, water resources.

Article Type: Research Article

Acknowledgment

This research was supported by the University of Mohaghegh Ardabili (Research grant number 1404/d/9/3012). We would like to express our sincere gratitude to the University of Mohaghegh Ardabili for the financial and logistical support that significantly contributed to this research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement

All data generated during the manuscript analysis are included in the article. Further datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Zeinab Hazbavi: Conceptualization, resources, formal analysis and investigation, supervision, manuscript editing;
Marzieh Ghashamshami: Resources, methodology, software, formal analysis and investigation, visualization, writing-original draft preparation, manuscript editing.

*Corresponding Author, E-mail: z.hazbavi@uma.ac.ir

Citation: Hazbavi, Z., & Ghashamshami, M. (2025). Using Sentinel satellite images to study the June 2023 Flood and vegetation indices in the Germe and Ungut counties. *Water and Soil Management and Modelling*, 5(3), 212-229.

doi: 10.22098/mmws.2025.17295.1592

Received: 26 April 2025, Received in revised form: 12 June 2025, Accepted: 12 June 2025, Published online: 23 September 2025.

Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 3, pp. 212-229.

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل برای بررسی سیل خرداد ۱۴۰۲ و شاخص‌های پوشش گیاهی در شهرستان‌های گرمی و انگوت

زینب حزباوی^۱، مرضیه قشمشمی^{۲*}

^۱ دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کویرشناسی سمنان، سمنان، ایران

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، پهنه‌بندی سیل ناشی از بارش‌های شدید و موسمی از ۴ تا ۳۰ خرداد ۱۴۰۲ و تحلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی پوشش گیاهی در شهرستان‌های گرمی و انگوت، استان اردبیل است. با توجه به محدودیت تصاویر نوری در شرایط ابرناکی و بارش، در این پژوهش از تصاویر رادار با دیافراگم مصنوعی (SAR) ماهواره سنتینل-۱ در سامانه گوگل ارث‌انجین (GEE) استفاده شد تا مناطق سیل‌زده با دقت بالا شناسایی شوند. بدین‌منظور، سه بازه زمانی شامل دوره قبل سیل (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲)، دوره حین سیل (۸ تا ۳۰ خرداد ۱۴۰۲) و دوره پس از سیل (۲۹ تیر تا ۲۹ مرداد ۱۴۰۲) در نظر گرفته شد. هم‌چنین، برای بررسی وضعیت پوشش گیاهی منطقه، از شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته (EVI) مستخرج از تصاویر سنتینل-۲ استفاده شد که علاوه بر بازه‌های زمانی فوق برای افزایش دقت، یک بازه زمانی مرجع شامل ۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۸ نیز در نظر گرفته شد. نتایج تفسیر تصاویر SAR نشان داد که حدود ۱۸۵/۸۳ کیلومتر مربع تحت تأثیر سیل قرار گرفته است که معادل ۹/۰۱ درصد از کل منطقه مورد مطالعه است. در دوره قبل از سیل، میانگین NDVI و EVI به ترتیب برابر با ۰/۲۵ و ۰/۱۸ بود که نشان‌دهنده کاهش قابل توجه پوشش گیاهی در مقایسه با سال مرجع است. این امر می‌تواند به دلیل تغییر کاربری اراضی، خشکسالی، تخریب تدریجی پوشش گیاهی یا سایر تنش‌های محیطی باشد. در زمان وقوع سیل، میانگین NDVI و EVI به ترتیب به مقدار ۰/۲۲ و ۰/۱۵ رسید. در دوره پس از سیل، کاهش شدیدتری در وضعیت پوشش گیاهی مشاهده شد. میانگین NDVI به ۰/۱۵ و EVI به ۰/۱ کاهش یافت و تنها حدود ۲ درصد از منطقه دارای پوشش گیاهی سالم باقی ماند. نتایج نشان‌دهنده در معرض قرارگیری بخش عمده‌ای از دو شهرستان مورد مطالعه توسط سیل و نیز تخریب درصد قابل توجهی از پوشش گیاهی بوده است که تأکید بر لزوم مدیریت و برنامه‌ریزی اصولی برای افزایش تاب‌آوری بوم‌شناختی و اجتماعی توسط شبکه‌ای از سازمان‌های مرتبط با سیل از جمله آب منطقه‌ای، منابع طبیعی و آبخیزداری، جهاد کشاورزی، شهرداری و سایر دستگاه‌های اجرائی در استان دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی خطر، تخریب پوشش گیاهی، تصاویر راداری، منابع آب، هیدرولوژی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: z.hazbavi@uma.ac.ir

استاد: حزباوی، زینب، و قشمشمی، مرضیه (۱۴۰۴). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل برای بررسی سیل خرداد ۱۴۰۲ و شاخص‌های پوشش گیاهی در شهرستان‌های گرمی و انگوت. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۱)، ۲۱۲-۲۲۹.

doi: 10.22098/mmws.2025.17295.1592

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۲۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۷/۰۱

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۳، صفحه ۲۱۲ تا ۲۲۹.

© نویسنده‌گان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

در طول دو دهه گذشته، تقریباً ۴/۲ میلیارد نفر در سراسر جهان تحت تأثیر بلایای طبیعی قرار گرفته‌اند که منجر به خسارت اقتصادی ۲/۹۷ تریلیون دلار شده است (Zheng et al., 2021). در این میان، سیل از شایع‌ترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی محسوب می‌شود که تهدیدی مهم برای پایداری بوم‌سازگان و ایمنی جان و مال انسان است. پایش دقیق و کارآمد سیل، و همچنین کسب اطلاعات در مورد مناطق آسیب‌دیده، برای نجات و ارزیابی پس از بلایا بسیار مهم است (Liang and Liu, 2020). روش‌های مختلفی برای کنترل و کاهش خطر سیل وجود دارد که یکی از این روش‌ها پهنه‌بندی سیل است که ابزاری کاربردی برای برنامه‌ریزی مدیران و مسئولان به‌شمار می‌آید.

سیل به‌عنوان سرریز شدن آب روی زمین خشک توصیف می‌شود که معمولاً توسط عواملی مانند بارش شدید، ذوب سریع برف، شکست سد، طوفان و مدیریت ناکارآمد منابع آب ایجاد می‌شود (Singh and Singh Rawat, 2024). با توجه به خسارت‌های روزافزون ناشی از وقوع سیل در ایران و نقش قابل‌توجه عوامل انسانی در آن، بررسی تعامل سیستم‌های هیدرولوژیک و اجتماعی با رویکرد مدیریت سیل ضروری است. نقش عوامل انسانی در وقوع و تشدید سیل و نیز افزایش خسارت سیل در مناطق شهری، بسیار بیش‌تر از عوامل طبیعی (مانند تغییر شدت بارندگی) است. بر همین اساس، برای مهار سیل باید برنامه‌های مدیریتی در راستای جلوگیری از ساخت‌وسازهای برنامه‌ریزی نشده و احداث موانع در حریم رودخانه، مسدود نمودن آبراهه‌ها، تغییر جهت مسیر آبراهه‌ها و نیز کاهش نفوذپذیری در منطقه اعمال شود. ضمن آن که باید برنامه‌ریزی‌هایی برای افزایش پوشش گیاهی در بالادست شهر انجام شود (Soleimani Sardoo et al., 2021; Azizi et al., 2023; Aghayary et al., 2024).

براساس گزارش هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (AR6) در سال ۲۰۲۳، تغییر اقلیم با سرعت بی‌سابقه‌ای در حال وقوع است و اثرات گسترده‌ای بر بوم‌سازگان‌ها، جوامع انسانی و اقتصاد دارد. این اثرات شامل افزایش فراوانی و شدت حوادث شدید آب و هوایی و هیدرولوژیک مانند سیل، خشکسالی، طوفان و موج‌های گرمایی هستند (IPCC, 2023). بارش‌های غیرطبیعی ناشی از تغییر اقلیم، به‌ویژه زمانی که طولانی‌مدت باشند، این‌گونه رویدادها را تشدید کرده و اغلب منجر به سیل می‌شوند. در ایران، که اقتصاد آن به‌شدت به کشاورزی و شرایط آب‌وهوایی وابسته است، رویدادهای شدید اقلیمی همواره بر پیشرفت اقتصادی کشور تأثیر گذاشته‌اند.

علاوه بر خسارت‌های قابل‌توجه در بخش کشاورزی، این رویدادهای فاجعه‌بار باعث تحمیل هزینه‌های هنگفت در معیشت و اموال و همچنین اختلال در تجارت شده‌اند (Houshyar et al., 2025). با توجه به اهمیت مخاطرات ناشی از سیل و روند روزافزون آن در سال‌های اخیر، تهیه نقشه‌های پتانسیل سیل و پهنه‌بندی حساسیت وقوع سیل با استفاده از ابزار مختلف مورد توجه ویژه محققان و کارشناسان قرار گرفته است.

دستگاه‌های رادار فعال که در محدوده فرکانس مایکروویو عمل می‌کنند، برای نقشه‌برداری سیل مناسب هستند (Singh and Singh Rawat, 2024). رادار با دیافراگم مصنوعی (SAR)^۱ تعبیه شده در سنتینل-۱، امکان تشخیص سطوح آب در زیر تاج پوشش گیاهی متراکم و در زمین‌های باز، حتی در شرایط نامساعد جوی را تسهیل می‌کند که مزایای قابل‌توجهی نسبت به روش‌های جمع‌آوری داده‌های نوری سنتی ارائه می‌دهد (Singh and Singh Rawat, 2024; Rahimi and Faraji, 2025). پیشرفت‌های اخیر در نقشه‌برداری سیل، کاربرد سنجش از دور مایکروویو را بیش از پیش افزایش داده است. به‌عنوان مثال، الگوریتم‌های یادگیری ماشین، مانند یادگیری عمیق و جنگل تصادفی، با داده‌های SAR ادغام شده‌اند تا دقت تشخیص محدوده سیل را بهبود بخشند. علاوه بر این، ادغام داده‌های چندسنجنده‌ای، شامل مشاهدات نوری و مایکروویو، سیستم‌های نظارتی جامع‌تری را برای پایش سیل فراهم کرده است. این نوآوری‌ها اهمیت بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته را برای مقابله با چالش‌های ارزیابی و مدیریت خطر سیل برجسته می‌کنند (Singh and Singh Rawat, 2024).

در میان شاخص‌های مختلف مبتنی بر سنجش از دور نوری، شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)^۲ یکی از مناسب‌ترین شاخص‌ها برای تحلیل توزیع و تغییرات پوشش گیاهی ناشی از سیل به‌شمار می‌رود (Wu et al., 2017). این شاخص، بر پایه تفاوت بازتاب طیفی بین باندهای قرمز (RED) و مادون قرمز نزدیک (NIR) عمل می‌کند و قادر است وضعیت سلامت و تراکم پوشش گیاهی را به‌صورت کلی نمایش دهد. از دیدگاه Lanfredi et al. (2015) شاخص NDVI ابزاری کارآمد برای شناسایی تنش‌های وارد بر پوشش گیاهی ناشی از سیل است؛ چرا که تخریب یا کاهش کیفیت پوشش گیاهی به‌طور مستقیم در کاهش مقادیر این شاخص بازتاب می‌یابد. همچنین، شاخص پوشش گیاهی بهبودیافته (EVI)^۳ با هدف بهبود دقت در نواحی با پوشش گیاهی متراکم و کاهش تأثیر عوامل مداخله‌گر نظیر خاک و شرایط جوی

³ Enhanced Vegetation Index

¹ Synthetic Aperture Radar (SAR)

² Normalized Difference Vegetation Index

مناطق دارای پوشش گیاهی نیز حساس تر است. اخیراً، Lan and Wang (2025) با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و سنتینل-۲، یک مدل طبقه‌بندی تطبیقی محلی با هدف تحلیل فرآیند پویا و اثرات سیل شدید ژوئیه ۲۰۲۳ در حوضه رودخانه Haihe ارائه دادند. نتایج نشان داد که پوشش زمین‌های زراعی و مسکونی به شدت تحت تأثیر سیل قرار گرفتند، که به ترتیب ۵۵ و ۳۸ درصد از کل منطقه سیل‌زده را تشکیل می‌دهند.

در ایران، Imani and Pourkhosravani (2017) استفاده از مدل منطق فازی به پهنه‌بندی سیل در شهرستان اردبیل پرداختند. نتایج نشان داد که بخش‌های شمال‌غربی و جنوب‌غربی شهرستان در مناطق دارای خطر سیل قرار دارند. Shabaninia et al. (2020) در مطالعه خود به برآورد ارتفاع رواناب و دبی حداکثر سیل حوزه آبخیز لایچ‌رود در شهرستان چمستان با استفاده از مدل اتومات سلولی و روش شماره منحنی (SCS-CN) پرداختند. نتایج نشان داد که پراکنش مکانی بارندگی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در تولید سیل در این حوزه آبخیز بوده است. Ganji et al. (2021) به برآورد تغییرات سری زمانی پهنه‌های سیل شهر آق‌قلا (سیل فروردین ۱۳۹۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و سنتینل-۲ پرداختند. بر اساس نتایج حاصل، بارش‌هایی با دوره بازگشت ۵۰ ساله منجر به آبگرفتگی مناطق شمالی و شرقی شهر آق‌قلا شده است.

Soleimani Sardoo et al. (2021) به پایش سیل در مناطق جنوب استان کرمان با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ پرداختند. پس از آشکارسازی مناطق سیل‌زده، تصاویر سنتینل-۱ با بهره‌گیری از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده به سه کلاس پهنه آبی قبل از سیل، مناطق سیل‌زده، و سایر اراضی طبقه‌بندی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیش‌ترین خسارت سیل مربوط به کاربری زمین بایر (۲۷ درصد)، مسکونی (۱۶ درصد) و مراتع (۲ درصد) بوده است. در پژوهش Ghahraman and Zanganeh Asadi (2022)، استفاده از تصاویر راداری ماهواره سنتینل-۱ و روش آستانه‌گذاری Otsu راهکاری مؤثر برای شناسایی مناطق سیل‌زده و مستعد سیل در محدوده اطراف رودخانه کشکان، استان لرستان معرفی شده است. بر همین اساس، مناطق مآندری به‌عنوان مهم‌ترین نقاط مستعد سیل شناسایی شدند، و حفظ حریم رودخانه و جلوگیری از ساخت‌وساز در این مناطق به‌عنوان راهکاری برای کاهش خسارت پیشنهاد شد. اخیراً نیز Rahimi and Faraji (2025) نقشه مناطق سیل‌زده در اثر وقوع سیل خرداد ۱۴۰۲ در استان اردبیل را با استفاده از تصاویری راداری SAR تهیه نمودند. بر اساس نتایج مشخص شد که شمال استان به‌ویژه شهرستان بیله‌سوار دارای حداکثر مساحت مناطق سیل‌زده بوده است.

طراحی شده است. این شاخص، با افزودن باند آبی به فرمول محاسبه و استفاده از ضریب‌های تصحیح، حساسیت بالاتری در مناطق با زیست‌توده زیاد ارائه می‌دهد. یافته‌های پژوهش Alademomi et al. (2020) نشان می‌دهد که بین NDVI و EVI همبستگی بالایی وجود دارد. اگرچه EVI معمولاً در شرایط خاص دقت بیشتری نسبت به NDVI از خود نشان می‌دهد (Matsushita et al., 2007). به‌علاوه، EVI همبستگی قوی‌تری با شاخص‌هایی همچون سطح برگ، زی‌توده، تراکم تاج پوشش و کسری از تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده دارد (Hinojo- Hinojo and Goulden, 2020).

از میان مطالعات خارج از کشور در زمینه ارزیابی سیل با استفاده از سنجش از دور می‌توان به مطالعه Borah et al. (2018) اشاره کرد که با استفاده از داده‌های راداری ماهواره سنتینل-۱، به پایش سیل در پارک ملی کازیرانگا، هند، طی بارش‌های موسمی سال ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج نشان داد که داده‌های راداری، به دلیل قابلیت نفوذ در شرایط ابری و حساسیت به رطوبت خاک، برای شناسایی مناطق سیل‌زده مزیت‌های قابل‌توجهی دارند. علاوه بر این، استفاده از این نوع داده‌ها در تعیین مسیرهای مناسب برای عملیات امداد و نجات بسیار مؤثر و کاربردی است. هم‌چنین، Devries et al. (2020) الگوریتمی جدید برای پایش سریع سیل با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ در سامانه گوگل ارث‌انجین (GEE) معرفی کردند. در این روش، از الگوریتم آستانه‌گذاری برای تشخیص مناطق سیل‌زده در تگزاس، یونان و شرق ماداگاسکار استفاده شده است. براساس نتایج به‌دست آمده، این روش عملکرد قابل‌قبولی داشته و توانایی پایش سیل‌ها را با دقت مناسبی نشان داده است.

اثر بخشی سنتینل-۱ و سنتینل-۲ در ارزیابی سیستماتیک سیل در اروپا، جایی که وقایع سیل از چند ساعت تا چند روز طول می‌کشند، از طریق یک مطالعه مصنوعی توسط Tarpanelli et al. (2022) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که با فرض پیکربندی یک منظومه متشکل از دو ماهواره برای هر مأموریت و با در نظر گرفتن مدار صعودی و نزولی، به‌طور متوسط ۵۸ درصد از رویدادهای سیل به‌دلیل پوشش ابری توسط سنتینل-۱ و تنها ۲۸ درصد توسط سنتینل-۲ قابل مشاهده هستند. هم‌چنین، در پژوهشی در شمال ایتالیا، Petropoulos et al. (2024) با استفاده از داده‌های چندطیفی سنتینل-۲، سیل ۳ اکتبر ۲۰۲۰ را مورد بررسی قرار دادند. روشی که برای پهنه‌بندی منطقه سیل‌زده توسعه داده شد، یک تکنیک آستانه‌گذاری از طریق شاخص‌های طیفی آب بود. به‌طور خاص، شاخص آب نرمال شده تفاضلی (NDWI) و شاخص آب نرمال شده تفاضلی اصلاح شده (MNDWI) انتخاب شدند. شاخص NDWI دقت کمی بالاتری را نشان داد، که در آن به نظر می‌رسد به جداسازی آب از خاک و

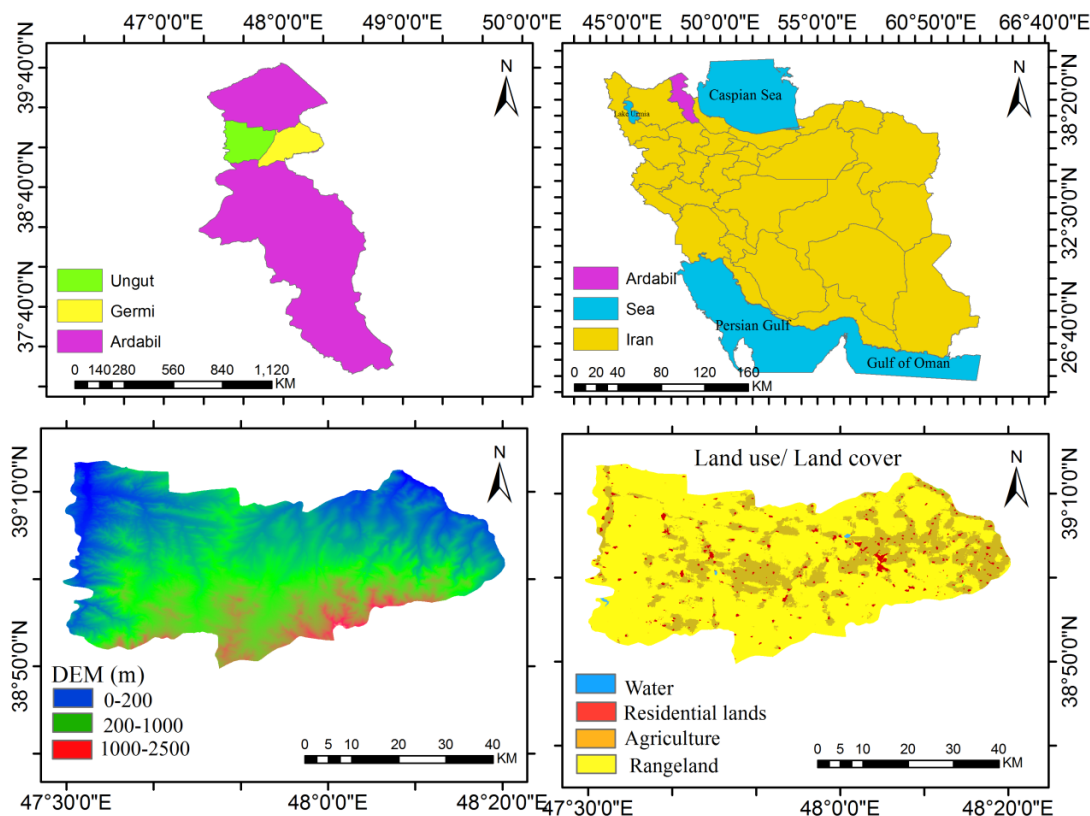
رویکرد نوآورانه نه تنها دقت و سرعت تشخیص سیل را افزایش می‌دهد، بلکه راه‌حلی مقیاس‌پذیر برای مدیریت خطر سیل در مناطق آسیب‌پذیر ارائه می‌کند. بر همین اساس، این پژوهش با هدف بررسی چگونگی استفاده مؤثر از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ و سنتینل-۲ در ترکیب با پلتفرم گوگل‌ارت انجین برای پهنه‌بندی سیل در دو شهرستان گرمی و انگوت انجام شده است. این مطالعه با بهره‌گیری از آخرین پیشرفت‌ها در سنجش از دور و محاسبات ابری، به توسعه راهبردهای مقاوم‌تر در مدیریت سیل کمک می‌کند.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی شامل دو شهرستان گرمی و انگوت واقع در شمال غربی کشور و شمال استان اردبیل هستند. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۳۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. شهرستان‌های گرمی و انگوت به ترتیب دارای ارتفاع متوسط ۹۶۳/۷۸ و ۸۱۴/۳۰ متر از سطح دریا و مساحت ۱۰۰۰/۳۳ و ۱۰۶۳/۶۷ کیلومترمربع هستند. منطقه مطالعاتی از شمال با شهرستان‌های بیله‌سوار و پارس‌آباد، از غرب با شهرستان کلبر (آذربایجان شرقی)، از جنوب با شهرستان مشگین‌شهر و از شرق با جمهوری آذربایجان همسایه است. آب و هوای نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد نیز در هر دو شهرستان مورد مطالعه حاکم است. هم‌چنین، طبق نقشه کاربری زمین تهیه شده با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل-۲ که از پایگاه اطلاعاتی ESRI دریافت شد، منطقه مورد مطالعه دارای چهار نوع کاربری، مرتع، کشاورزی، مسکونی و پهنه آبی است (شکل ۱).

هم‌چنین ویژگی‌های توپوگرافی از جمله شیب و پستی منطقه مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وقوع سیل در استان شناسایی شدند. مرور منابع نشان می‌دهد که سیل از طریق آسیب‌پذیری زیاد اقلیمی، هیدرولوژیکی، فیزیکی-محیطی، اقتصادی، اجتماعی، و زیرساختی باعث افزایش دو مؤلفه در معرض قرارگیری و حساسیت در برابر سیل و باعث کاهش مؤلفه تاب‌آوری یک حوزه آبخیز می‌شود. از طرف دیگر، طی سال‌های اخیر در مناطق شمال‌غربی ایران، به‌ویژه استان اردبیل، سیل‌های مکرر خسارت‌های جدی به زمین‌های کشاورزی، زیرساخت‌ها و جوامع محلی وارد کرده‌اند. بر همین اساس، شناسایی سریع و دقیق مناطق سیل‌زده برای برنامه‌ریزی و مدیریت بحران بسیار حیاتی است (Azizi et al., 2023). وقوع سیل ناگهانی در بعد از ظهر ۲۴ خرداد ۱۴۰۲ در محدوده دو شهرستان گرمی و انگوت منجر به تخریب ساختمان‌ها، خانه‌ها و زمین‌های کشاورزی شد و خسارت‌های گسترده‌ای به زیرساخت‌ها وارد نمود و منجر به تلفات جانی و زیان‌های مالی نیز شده است. خطر تکرار سیل در این منطقه نیاز فوری به اجرای راهبردهای کارآمد برای کاهش و مدیریت سیل را نشان می‌دهد (Aghayary et al., 2024; Rahimi and Faraji, 2025). از طرف دیگر، پهنه‌بندی سیل و به‌هنگام‌سازی روش‌های ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی به‌منظور کاهش در معرض قرارگیری و حساسیت و افزایش تاب‌آوری در شرایط اقلیمی ایران از جمله استان اردبیل که یک منطقه کوهستانی بوده و در سال‌های اخیر در اثر بارش‌های نامنظم و سنگین بارها مورد آسیب سیل قرار گرفته، ضروری است. با توجه به مطالعات گذشته، استفاده از هر دو نوع تصویر راداری و نوری به‌طور ترکیبی می‌تواند اطلاعات جامع‌تری در مورد سیل فراهم کند و منجر به برنامه‌ریزی موثرتری برای کنترل و مدیریت بحران سیل شود (Peymankhah et al., 2023). این



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دو شهرستان مورد مطالعه در استان اردبیل و ایران
Figure 1- Geographical location of two study counties in Ardabil Province and Iran

۲-۲- جمع‌آوری داده‌ها و تصاویر مورد استفاده

۲-۲-۱- بررسی سیل خیزی

استفاده از تصاویر سنتینل-۱ برای بررسی منطقه قبل و پس از وقوع سیل و تهیه نقشه تغییرات این دو تصویر، از روش‌های مطرح در زمینه استخراج محدوده‌های سیلابی است (Dodangeh et al., 2021). بر همین اساس، در این مطالعه از داده‌های راداری سنتینل-۱ SAR در قالب شناسایی محدوده زمین (GRD)^۱ برای نقشه‌برداری از سیل‌های با سرعت بالا استفاده شده است. سنتینل-۱، یک ماهواره راداری است که توسط آژانس فضایی اروپا (ESA) توسعه یافته و داده‌های آن تصاویر راداری ضروری برای رصد زمین با وضوح بالا و مناسب برای برنامه‌های پایش سیل ارائه می‌کند (Rowland et al., 2024). داده‌های سنتینل-۱ از تصاویر رادار دیافراگم مصنوعی (SAR) در باند C تشکیل شده‌اند که به دلیل قابلیت تصویربرداری در همه شرایط آب‌وهوایی حتی در شرایط ابری و در هر ساعت از شبانه‌روز، به‌طور گسترده‌ای در پایش و نقشه‌برداری سیل مورد استفاده قرار می‌گیرند (Emadodin and Mohammad, 2021). (Ghasemi, 2021)

در این پژوهش از سری A سنتینل-۱ استفاده شده است که این سری یک چرخه پوشش جهانی ۱۲ روزه دارد و تصاویر با کیفیت بالا، پوشش گسترده، دوره بازدید کوتاه و چندقطبی را به‌صورت رایگان در سطح جهانی ارائه می‌دهد. از داده‌های محصول GRD که زمین مرجع شده و آماده برای تحلیل‌های مکانی هستند، برای شناسایی مناطق سیلابی استفاده می‌شود. کل پایگاه داده سنتینل-۱ از طریق سامانه ابری گوگل ارث‌انجین GEE در دسترس است، که امکان تحلیل‌های جغرافیایی در مقیاس بزرگ را فراهم می‌کند. بنابراین، استفاده از داده‌های سنتینل-۱ برای نقشه‌برداری از مناطق سیل‌زده از اهمیت پژوهشی بالایی برخوردار است (Peng et al., 2025).

ماهواره سنتینل-۱ از چهار حالت اصلی جمع‌آوری داده استفاده می‌کند که هر کدام برای کاربردهای خاصی طراحی شده‌اند: Strip Mode به درخواست کاربر در دسترس است و برای تصویربرداری با وضوح بالا از مناطق خاص طراحی شده است. Wave Mode برای پایش منظم اقیانوس‌ها و ثبت الگوهای موج و وضعیت دریا استفاده می‌شود. Extra Wide Swath Mode برای ردیابی ویژگی‌های اقیانوس‌شناسی و

² European Space Agency

¹ Ground Range Detected

برای کاهش نویز لکه‌های^۲ که اغلب ناشی از تداخل امواج الکترومغناطیسی در تصاویر راداری است، از فیلترهای مختلفی استفاده می‌شود. این نوع نویز به‌صورت الگوهای دانه‌ای و نامنظم در تصاویر SAR ظاهر شده و می‌تواند کیفیت تصویر را کاهش داده و تفسیر آن را دشوار کند (Argenti et al., 2013). در پژوهش حاضر برای غلبه بر این مشکل، از فیلتر Refined Lee که یکی از بهترین روش‌ها محسوب می‌شود، استفاده شد. این فیلتر باعث حفظ لبه‌ها و جزئیات ساختاری زمین شده و دقت تحلیل تغییرات را بهبود می‌بخشد (Singh and Singh Rawat, 2024).

سنیتل-۱ در دو جهت حرکت مداری صعودی (زمانی که ماهواره از جنوب به شمال به سمت غرب حرکت می‌کند) و نزولی (زمانی که ماهواره از شمال به جنوب به سمت شرق حرکت می‌کند) تصویربرداری می‌کند. بدین‌صورت تعیین می‌شود که هر تصویر در چه زمانی و در چه موقعیتی ثبت شده است. تصاویر نزولی معمولاً برای تحلیل تغییرات سطحی و پایش مخاطرات زمین‌شناسی مناسب‌تر هستند (Lillesand et al., 2015). فیلتر جغرافیایی براساس منطقه مورد مطالعه به‌منظور کاهش داده‌های غیرضروری و افزایش دقت پردازش اعمال شد. برای جلوگیری از اشتباه گرفتن آب ناشی از سیل با آب‌های دائمی، توده‌های آبی دائمی با استفاده از مجموعه داده‌های جهانی آب سطحی JRC^۳ جدا شدند (Peymankhah et al., 2023). از تصاویر SAR سنیتل-۱ بین ۱۵ اردیبهشت و ۴ خرداد ۱۴۰۲ برای تجزیه و تحلیل قبل از رویداد سیل و تصاویر به‌دست آمده بین ۴ و ۳۰ خرداد ۱۴۰۲، برای تجزیه و تحلیل پس از رویداد سیل استفاده شد (جدول ۱).

برای تحلیل سیل، از تصاویر SAR در سه بازه زمانی استفاده شد: دوره قبل از وقوع سیل (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲)، دوره هم‌زمان با وقوع سیل (۸ تا ۳۰ خرداد ۱۴۰۲) و دوره پس از وقوع سیل (۲۹ تیر تا ۲۹ مرداد ۱۴۰۲) ارائه شده است (جدول ۱). انتخاب این بازه‌های زمانی بر اساس تاریخ وقوع سیل در منطقه انجام گرفت و هدف از آن، بررسی تغییرات مکانی و زمانی در فاصله یک ماه پیش و یک ماه پس از رخداد سیلاب بود.

مناطق ساحلی ایده‌آل است و پوشش گسترده‌ای را فراهم می‌کند. Interferometric Wide Swath Mode پرکاربردترین حالت برای کاربردهای زمینی، از جمله نقشه‌برداری سیل است (Yagüe-Martínez et al., 2016). حالت آخر به‌طور ویژه برای پایش سیستماتیک زمینی مؤثر واقع شده و به‌دلیل تعادل بین پوشش و وضوح، به‌طور گسترده‌ای برای نقشه‌برداری گستره سیل به‌کار برده می‌شود که در پژوهش حاضر از این حالت استفاده شد. ماهواره سنیتل-۱ دارای چندین حالت تصویربرداری است. IW رایج‌ترین حالت برای تحلیل تغییرات سطحی و تداخل سنجی راداری است. سیگنال‌های راداری می‌توانند در چهار ترکیب قطبشی مختلف شامل (۱) HH: ارسال افقی، دریافت افقی؛ (۲) HV: ارسال افقی، دریافت عمودی؛ (۳) VH: ارسال عمودی، دریافت افقی؛ و (۴) VV: ارسال عمودی، دریافت عمودی (ارسال و دریافت شوند). قطبش تأثیر قابل‌توجهی بر عمق نفوذ سیگنال راداری دارد که آن را به عاملی حیاتی در تشخیص و پهنه‌بندی سیل تبدیل می‌کند (Hamidi et al., 2023). قطب‌سازی VV برای طبقه‌بندی آب قابل اعتمادتر از قطب‌سازی VH است. زیرا سیگنال رادار به خوبی از سطح آب منعکس می‌شود و برای تحلیل تغییرات سطحی، تغییرات شهری و پایش جنگل‌ها مناسب است (Clement et al., 2018).

تعیین آستانه شروع رواناب پیش‌نیاز برآوردهای دقیق‌تر پتانسیل تولید سیل است و اطلاع از میزان آن می‌تواند منجر به مدیریت بهینه منابع آب حوضه شود. آستانه ۱/۲۵ برای مشخص شدن مناطق سیل‌خیز مناسب است که تغییرات سیگنال راداری باید حداقل به این مقدار برسد تا قابل تشخیص شده و نشان‌دهنده سیل در منطقه باشد. در مناطق شهری دارای بازتاب بالا، آستانه بالاتری مانند ۱/۵ یا بیش‌تر ممکن است مناسب باشد. در مناطق طبیعی مانند دشت‌ها یا زمین‌های کشاورزی مقدار کم‌تری مانند ۱/۲ ممکن است کافی باشد. آستانه ۱/۲۵ یعنی اگر مقدار VV در یک پیکسل بیش‌تر از ۱/۲۵ باشد، آن پیکسل به‌عنوان سیل در نظر گرفته می‌شود (Singh and Singh Rawat, 2024).

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده در سنیتل-۱

Table 1- Specifications of the images used in the Sentinel-1

Period	Gregorian calendar	Solar calendar	Satellite type	Spatial resolution	Polarization	Beam mode	Direction of sensor movement
Before the flood	2023/04/01 2023/04/30	1402/01/12 1402/02/10					
During the flood	2023/05/29 2023/06/20	1402/03/08 1402/03/30	Sentinel-1 GRD	10 m	Vertical Transmit- Vertical Receive (VV)	Interferometric wide swath (IW)	Descending
After the flood	2023/07/20 2023/08/20	1402/04/29 1402/05/29					

³ JRC Global Surface Water

¹ Interferometric Wide Swath

² Speckle noise

(Matsushita et al., 2007; Peng et al., 2020). در مقاله حاضر با میانگین‌گیری برای هر شاخص، آستانه متفاوتی تعیین شد.

۳-۲- پردازش داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای

تمام مراحل این پژوهش در محیط گوگل ارث‌انجین پیاده‌سازی و بررسی شده است. همچنین، به منظور تهیه برخی نقشه‌های مورد نیاز از نرم‌افزار ArcMap 10.8 استفاده شد. برای مقایسه تغییرات سیل منطقه بر اساس تصاویر سنتینل-۱ در بازه‌های زمانی مختلف، سه بازه زمانی مشخص پیش از وقوع سیل (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲)، حین سیل (۸ تا ۳۰ خرداد ۱۴۰۲) و پس از آن (۲۹ تیر تا ۲۹ مرداد ۱۴۰۲)، حین سیل (۸ تا ۳۰ خرداد ۱۴۰۲) و پس از آن (۲۹ تیر تا ۲۹ مرداد ۱۴۰۲) در نظر گرفته شد. پس از اعمال فیلتر Refined Lee برای کاهش نویز لکه‌ای در تصاویر راداری، مجموعه‌ای از تصاویر سنتینل-۱ GRD (Soleimani Sardoo et al., 2021)، با قطبش VV و مسیر مدار نزولی و حالت ابزار تداخل‌سنجی گسترده (IW) برای محدوده مورد مطالعه انتخاب و پردازش شد.

تصاویر ماهواره‌ای مربوط به هر بازه زمانی مورد بررسی با استفاده از موزائیک‌سازی ترکیب شده و یک تصویر واحد برای بررسی نهایی ایجاد شد. ابتدا تفاوت بین تصاویر مربوط به قبل، حین و بعد از سیل محاسبه شد. سپس با به‌کارگیری آستانه ۱/۲۵ در نسبت شدت بازتاب راداری باند VV، نواحی که افزایش قابل‌توجهی در بازتاب داشتند، به‌عنوان مناطق سیل‌زده تشخیص داده شدند و نقشه نهایی سیل تولید شد. برای برآورد میزان خسارت، ابتدا تراکم جمعیت منطقه بر حسب نفر در هر کیلومتر مربع محاسبه شد. سپس با ضرب مساحت نواحی سیل‌زده در تراکم جمعیت، تعداد تقریبی جمعیت آسیب‌دیده برآورد شد.

جدول ۲- مشخصات تصاویر مورد استفاده در سنتینل-۲
Table 2- Specifications of the images used in the Sentinel-2

Period	Gregorian calendar	Solar calendar	Satellite type	Sensor type	Data type (Land reflective level)	Spatial resolution
Reference time	2019/04/01	1398/01/12				
Before the flood	2019/04/30	1398/02/10				
During the flood	2023/04/01	1402/01/12	Sentinel-2	Modular smart interface (MSI)	Surface Reflectance (SR)	10 m
After the flood	2023/04/30	1402/02/10	2A-2B			
	2023/05/29	1402/03/08				
	2023/06/20	1402/03/30				
	2023/07/20	1402/04/29				
	2023/08/20	1402/05/29				

مجموعه داده حذف شدند، که باعث بهبود کیفیت و دقت نهایی تحلیل شد (Pflumm et al., 2025). در نهایت، برای ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی، شاخص‌های NDVI و EVI محاسبه شدند. همچنین، آستانه‌هایی برای هر شاخص تعیین شد، به‌طوری‌که دامنه مقادیر NDVI به سه بازه مختلف (۱/۰- تا ۰/۰

مساحت کل دو شهرستان گرمی و انگوت برابر با ۲۰۶۴ کیلومتر مربع و جمعیت کل برابر با ۷۶۹۰۱ هزار نفر بوده (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵) که این اطلاعات برای بررسی مساحت و جمعیت تحت تاثیر سیل وارد گوگل‌ارث‌انجین شد.

۲-۲-۱- بررسی پوشش گیاهی

از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ برای تحلیل تغییرات پوشش گیاهی در چهار بازه زمانی شامل بازه مرجع (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۸)، پیش از وقوع سیل (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲)، حین وقوع سیل (۸ تا ۳۰ خرداد ۱۴۰۲) و پس از وقوع سیل (۲۹ تیر تا ۲۹ مرداد ۱۴۰۲) استفاده شد (جدول ۲). داده‌های مربوط به چهار سال پیش (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۸) برای افزایش دقت ارزیابی پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، به منظور افزایش دقت و جلوگیری از تأثیر ابرها بر نتایج فقط تصاویر با میزان ابرناکی کم‌تر از ۱۰ درصد انتخاب شد.

برای ارزیابی پوشش گیاهی نیز از دو شاخص شناخته‌شده یعنی شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) (رابطه ۱) و شاخص پوشش گیاهی بهبود یافته (EVI) (رابطه ۲) بهره گرفته شد (Fortes et al., 2025).

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

$$EVI = \frac{2.5 \times (NIR - RED)}{NIR + 6 \times RED - 7.5 \times BLUE + 1} \quad (2)$$

محدوده مقادیر NDVI بین ۱- تا ۱+ متغیر است. مقادیر منفی نشان‌دهنده پوشش زمین توسط ابرها، آب یا برف است، مقدار صفر نشان‌دهنده وجود سنگ یا خاک‌های برهنه است و مقادیر مثبت پوشش گیاهی را نشان می‌دهد و EVI بین ۰ و ۱ متغیر هستند

علاوه بر تحلیل سیلاب، به منظور بررسی تغییرات در پوشش گیاهی منطقه، از داده‌های ماهواره‌ای سنتینل-۲ در چهار بازه زمانی استفاده شد. به منظور کاهش تأثیر پوشش ابری در نتایج تحلیل، از فیلتر ابر با آستانه ۱۰ درصد بهره گرفته شد. در این فیلتر، تصاویری که بیش از ۱۰ درصد پوشش ابری داشتند از

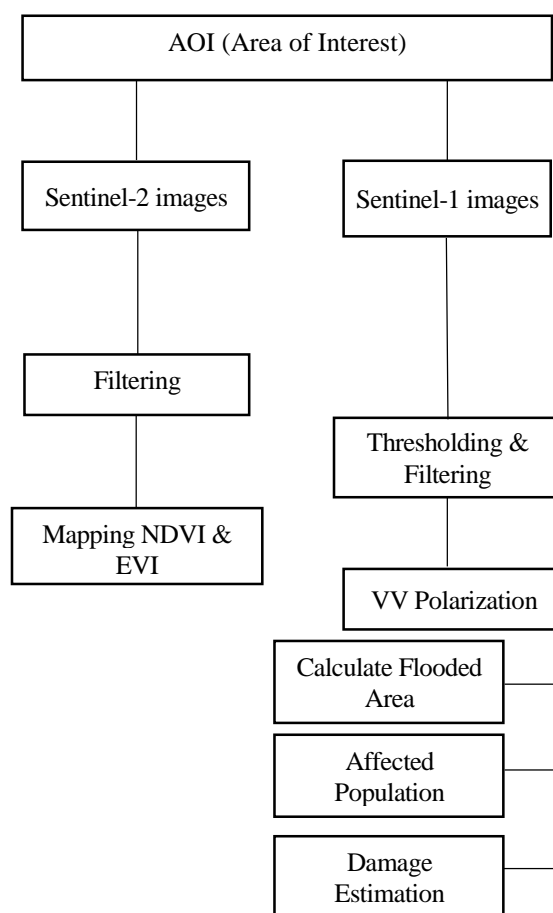
² Enhanced Vegetation Index

¹ Normalized Difference Vegetation Index

شد. و در ادامه برای تفسیر دقیق‌تر وضعیت پوشش گیاهی، در ادامه، این شاخص‌ها به صورت ترکیبی نیز مورد بررسی قرار گرفتند تا نواحی با پوشش گیاهی واقعا سالم شناسایی شوند. به منظور افزایش دقت تحلیل و فراهم‌سازی مبنایی برای مقایسه، یک بازه زمانی مرجع مربوط به چهار سال پیش از وقوع سیل (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۸) نیز به مجموعه داده‌ها افزوده شد. تمامی مراحل پردازش تصاویر و محاسبات پژوهش حاضر در شکل ۲ نمایش داده شده است.

بدون پوشش، ۰/۰ تا ۰/۲ پوشش متوسط و ۰/۲ تا ۱/۰ پوشش متراکم) طبقه‌بندی شد و EVI نیز به سه طبقه مختلف (۰/۰ بدون پوشش، ۰/۰ تا ۰/۳ پوشش متوسط و ۰/۳ تا ۱/۰ پوشش متراکم) تقسیم‌بندی شد.

در این پژوهش، به منظور بررسی تغییرات پوشش گیاهی در بازه‌های زمانی مختلف پیش از سیل، حین وقوع آن، و پس از آن، تحلیل شاخص‌های NDVI و EVI با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ انجام گرفت. در گام نخست، با استفاده از روش میانگین‌گیری مکانی، مقادیر میانگین این شاخص‌ها برای کل محدوده مورد مطالعه در هر یک از بازه‌های زمانی محاسبه



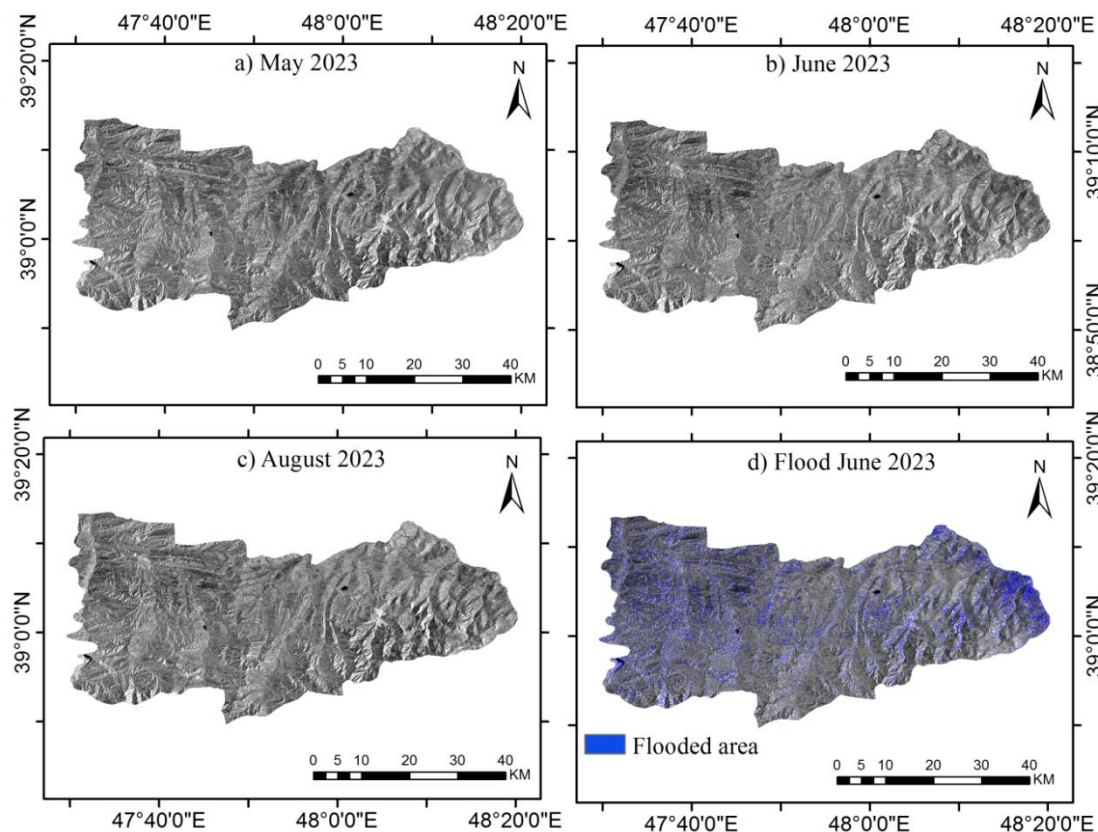
شکل ۲- نمودار جریان‌ی پهنه‌بندی سیل و تحلیل پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های راداری سنتینل-۱ و نوری سنتینل-۲

Figure 2- Flowchart of flood zoning and vegetation assessment using radar data of Sentinel-1 and optical data of Sentinel-2

(رنگ آبی) تحت تأثیر سیل قرار گرفته و معادل ۹/۰۱ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های Rahimi and Faraji (2025) مبنی بر تغییرات چشم‌گیر حجم آب ناشی از سیل در تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ با قطبش VH+VV و نیز توسعه سیل در مناطق با پوشش گیاهی کم از جمله شهرستان گرمی هم‌خوانی دارد.

۳- نتایج و بحث

در اردیبهشت و خرداد ۱۴۰۲، شهرستان‌های گرمی و انگوت شاهد بارش‌های بی‌سابقه‌ای بودند که منجر به وقوع سیل‌های شدید به‌ویژه در روزهای بین ۴ و ۳۰ خرداد شد. نتایج حاصل از تفسیر تصاویر SAR سنتینل-۱ به صورت نقشه نهایی طغیان سیل در شکل ۳ نشان داده شده است. تحلیل‌ها نشان داد که حدود ۱۸۵/۸۳ کیلومترمربع



شکل ۳- نقشه‌های بازتاب راداری و طغیان سیل (رنگ آبی) شهرستان‌های گرمی و انگوت
 Figure 3- Maps of radar reflectance and flood inundation (blue) for the Germi and Ungut counties

تراکم و گستره فضایی به‌مراتب بیش‌تر از سال وقوع سیل بوده است (جدول ۴). این امر بیان‌گر شرایط مطلوب‌تر بوم‌شناختی منطقه در دوره قبل از سیل بوده و می‌تواند به‌عنوان شاخصی از سلامت محیط زیستی پیش از وقوع حادثه قلمداد شود.

جدول ۳- نتایج ارزیابی پهنه کلی سیل و جمعیت تحت تأثیر در شهرستان‌های گرمی و انگوت با استفاده از تصاویر SAR

سنتینل-۱

Table 3- Results of assessment of total flood zone and the affected population in the Germi and Ungut counties using SAR images of Sentinel-1

Variable	Value
Total area (km ²)	2064
Total population (person)	76901
Total population (person km ⁻²)	37.26
Flooded area (km ²)	185.83
Affected population (person)	6913

با توجه به جمعیت منطقه و مساحت کل، تراکم جمعیت ۳۷/۲۶ نفر در کیلومترمربع برآورد شد. همان‌طور که در مطالعات پیشین و اخبار منتشر شده در رسانه‌های مختلف بیان شده، سیل‌های خرداد ۱۴۰۲ خسارت زیادی به املاک عمومی و خصوصی وارد نموده و منجر به انسداد جاده‌ها، اختلالات کامل در سیستم‌های برقی و ارتباطی و تلفات جانی شده است (Aghayary et al., 2024; Rahimi and Faraji, 2025). در همین راستا، نتایج حاصل از پژوهش حاضر نیز نشان داد که معیشت بیش از ۶۹۱۳ نفر تحت تأثیر قرار گرفته است (جدول ۳). نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده اثرگذاری گسترده سیل بر ابعاد مختلف به‌ویژه اجتماعی-اقتصادی و محیط زیستی در منطقه مورد مطالعه است و ضرورت اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌های جامع مدیریت بحران، تقویت زیرساخت‌های هشدار سریع و بازسازی مناطق آسیب‌دیده را برجسته می‌سازد.

تحلیل نتایج حاصل از بازه زمانی مرجع (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۸) نشان می‌دهد که میزان پوشش گیاهی از نظر

جدول ۴- تحلیل زمانی پوشش گیاهی بر اساس NDVI و EVI برای شهرستان‌های گرمی و انگوت

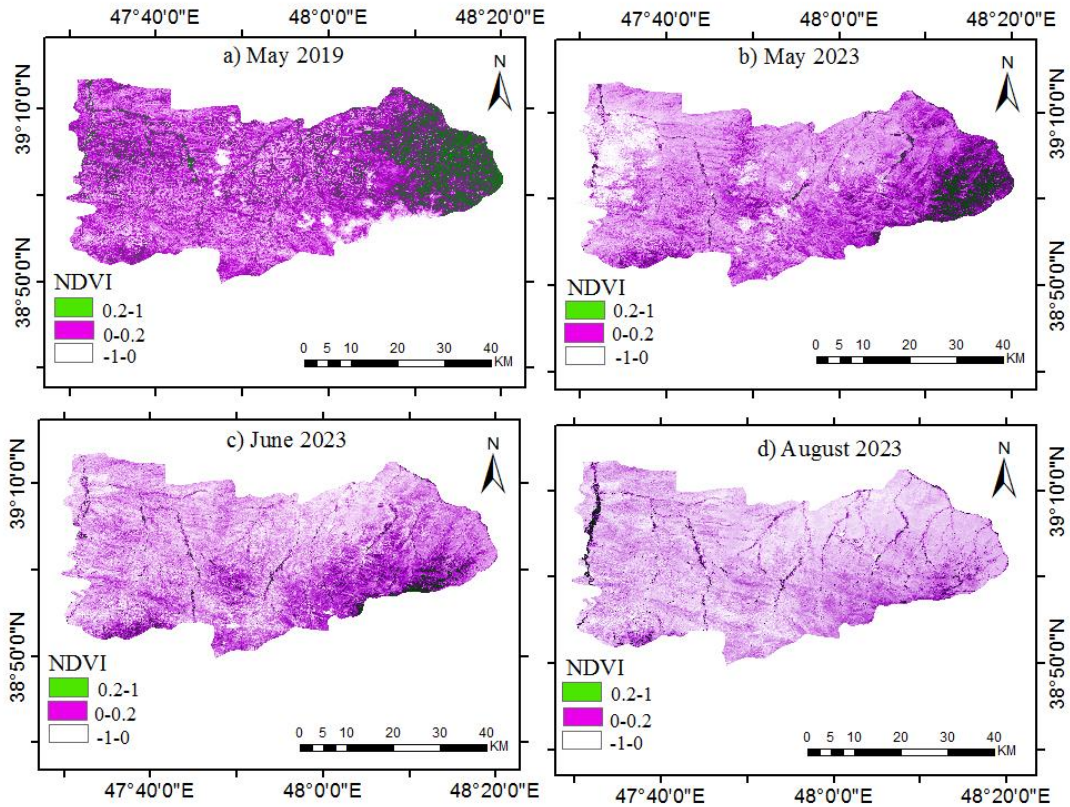
Table 4- Temporal analysis of vegetation cover based on NDVI and EVI for the Germe and Ungut counties

Period	NDVI		EVI		NDVI and EVI intersection (km ²)	
	Mean	Area (km ²)	Mean	Area (km ²)	Area (km ²)	Percent (%)
Reference time	0.42	1743.6	0.29	845	828	40
Before the flood	0.25	1063	0.18	293	269	13
During the flood	0.22	994	0.15	156	155	7
After the flood	0.15	294	0.10	41.2	41	2

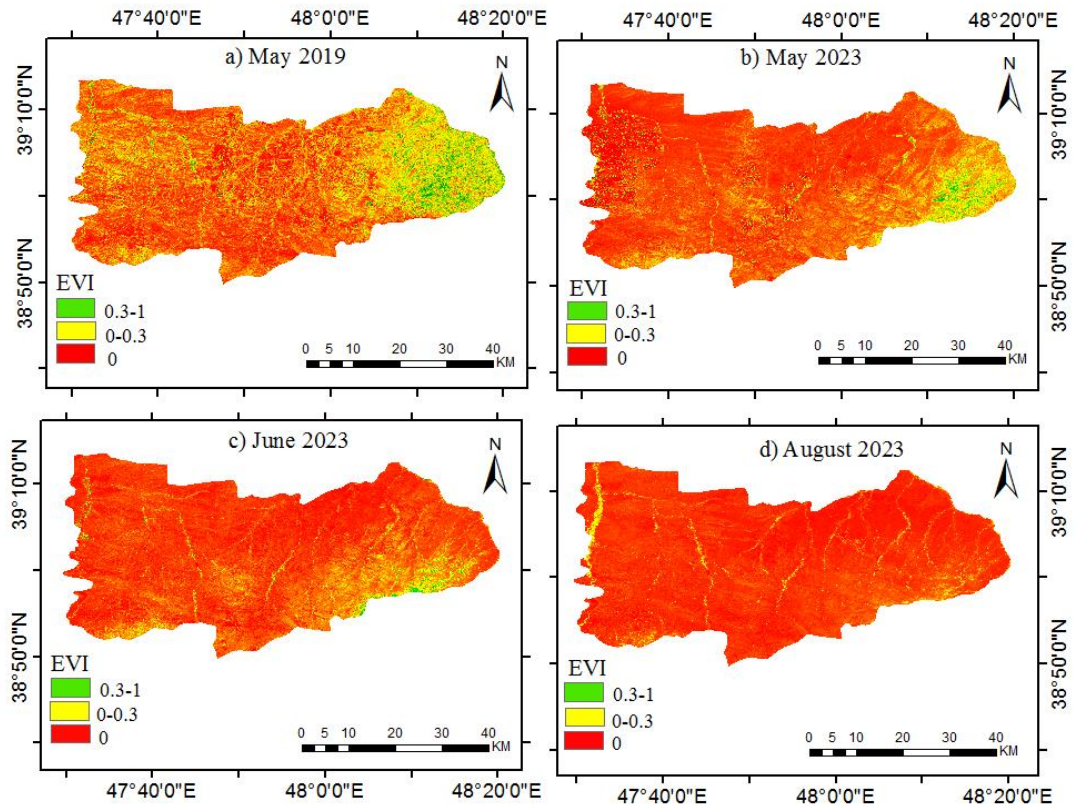
شدت جریان سیلاب یا پوشیده شدن سطح خاک توسط رسوبات باشد. الگوهای رنگی (شکل‌های ۴ و ۵) نیز این کاهش تراکم را به‌وضوح نمایان می‌سازد. پس از سیل (۲۹ تیر تا ۲۹ مرداد ۱۴۰۲)، کاهش شدیدتری در وضعیت پوشش گیاهی مشاهده شد. میانگین NDVI به ۰/۱۵ و EVI به ۰/۱۱ تنزل یافت و تنها حدود ۲ درصد از منطقه دارای پوشش گیاهی سالم باقی مانده است. این افت ممکن است ناشی از تخریب شدید خاک، فرسایش لایه سطحی حاصل‌خیز، کاهش پوشش گیاهی به خاطر شرایط فصلی منطقه (Asghari Saraskanroud et al., 2022) یا افزایش بازتاب خاک برهنه در تصاویر ماهواره‌ای باشد. نقشه‌های مربوط به این بازه زمانی (شکل‌های ۴ و ۵) نیز این روند را تأیید می‌کنند. مقایسه نتایج دوره قبل از سیل (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲) و پس از سیل (۲۹ تیر تا ۲۹ مرداد ۱۴۰۲) نشان می‌دهد که در فاصله زمانی تنها سه ماه، مساحت پوشش گیاهی NDVI از ۵۱ به ۱۴/۲ درصد و EVI از ۱۴/۱۹ به ۲ درصد کاهش یافته است. همچنین، مساحت نواحی دارای پوشش گیاهی مطلوب (بر اساس ترکیب دو شاخص NDVI و EVI) از حدود ۲۶۹ کیلومترمربع به ۴۱ کیلومترمربع کاهش یافته است. این یافته‌ها نشان می‌دهند که سیلاب خرداد، در منطقه گرمی و انگوت تأثیر فوری، گسترده و مخربی بر بوم‌سازگان منطقه گذاشته است. ارزیابی هم‌زمان شاخص‌های NDVI و EVI نه تنها دقت تحلیل را افزایش داد، بلکه بر ضرورت اقدامات احیایی و مدیریت مؤثر منابع طبیعی در منطقه آسیب‌دیده تأکید می‌کند. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های (Singh and Singh Rawat (2024) در زمینه شناسایی و پایش مناطق سیلابی کانگرا در ایالت هیمالیا پرداش هم‌خوانی دارد. در این مطالعه، تحلیل جامع تأثیرات سیل بر افراد، زیرساخت‌ها، منابع طبیعی، پوشش گیاهی و اقتصاد انجام شده و نقشه‌های جامع پهنه سیل تهیه و ارائه شده‌اند.

در سال ۱۳۹۸ میانگین شاخص‌های NDVI و EVI به ترتیب برابر با ۰/۴۲ و ۰/۲۹ بوده است. نتایج حاصل از وجه اشتراک هر دو شاخص نشان می‌دهد که حدود ۴۰ درصد از سطح منطقه دارای پوشش گیاهی مناسب بوده است. این شرایط نشان‌دهنده وضعیت بوم‌شناختی پایدار و بهره‌مند از سلامت زیستی پیش از وقوع پدیده‌های تنش‌زای اخیر بوده است (Asghari Saraskanroud et al., 2022). در زمان قبل از وقوع سیل (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲)، میانگین NDVI برابر با ۰/۲۵ و میانگین EVI برابر با ۰/۱۸ به دست آمد که نشان می‌دهد میزان پوشش گیاهی نسبت به سال مرجع کاهش چشم‌گیری یافته است. این مسأله می‌تواند ناشی از تغییر کاربری اراضی، بروز خشکسالی، تخریب تدریجی پوشش گیاهی متراکم، یا سایر تنش‌های محیطی پیش از وقوع سیل باشد (Eini and Sobhani, 2021; Varamesh et al., 2022). همان‌طور که در نقشه‌های مربوط به سال ۱۳۹۸ (شکل‌های ۴ و ۵) مشاهده می‌شود، در شاخص NDVI، رنگ سبز پوشش گیاهی متراکم، رنگ بنفش نشان‌دهنده پوشش گیاهی ضعیف و سفید معرف مناطق بدون پوشش است. در شاخص EVI نیز رنگ سبز بیانگر پوشش گیاهی متراکم و سالم، زرد برای پوشش گیاهی ضعیف و قرمز معرف نواحی بدون پوشش گیاهی است. ترکیب این دو شاخص (شکل ۶) تصویر جامعی از تراکم پوشش گیاهی سالم منطقه ارائه می‌دهد. در مقابل، نقشه‌های سال ۱۴۰۲ قبل از سیل کاهش مشهودی را در تراکم پوشش گیاهی نشان می‌دهند. در کل با نمایش این نقشه‌ها می‌توان نتیجه‌گیری نمود که وضعیت تراکم پوشش گیاهی در سال ۱۳۹۸ خیلی بالاتر بوده است.

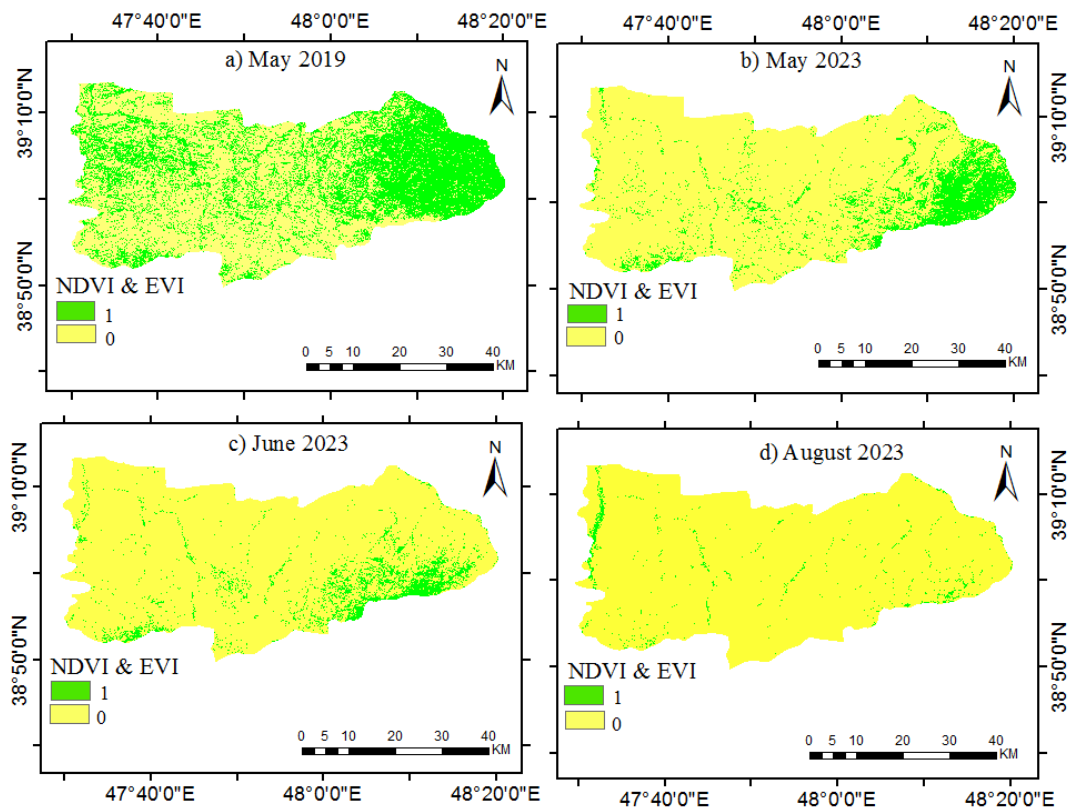
در زمان وقوع سیل (۸ تا ۳۰ خرداد ۱۴۰۲)، میانگین NDVI و EVI به ترتیب به ۰/۲۲ و ۰/۱۵ رسیدند که پایین‌ترین سطوح ثبت‌شده تا آن زمان محسوب می‌شوند. تنها ۷ درصد از مساحت منطقه در این دوره دارای پوشش گیاهی سالم بوده است. این کاهش می‌تواند ناشی از غرقاب شدن گیاهان، تخریب ناشی از



شکل ۴- نقشه‌های NDVI در چهار بازه زمانی مختلف
Figure 4- NDVI maps for four different time intervals



شکل ۵- نقشه‌های EVI در چهار بازه زمانی مختلف
Figure 5- EVI maps for four different time intervals



شکل ۶- نقشه‌های ترکیبی NDVI و EVI مربوط به چهار بازه زمانی مختلف
Figure 6- Combined maps of NDVI and EVI for four different time intervals

جاری در مورد بهبود ارزیابی و مدیریت ریسک سیل کمک می‌کند. در منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های جامع سیل نقش کلیدی در ترویج ساخت‌وسازهای مقاوم در برابر سیل و برنامه‌ریزی مناسب کاربری زمین برای توسعه زیرساخت‌ها ایفا می‌کنند. برنامه‌ریزان و مهندسان می‌توانند با طراحی زیرساخت‌هایی شامل جاده‌های مرتفع، موانع سیل و سیستم‌های زهکشی بهبودیافته، که با نیازهای خاص منطقه سازگار هستند، اثرات سیل را به حداقل برسانند. این امر با شناسایی دقیق مناطق مستعد سیل با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته نقشه‌برداری امکان‌پذیر شده است (Singh & Singh Rawat, 2024). یافته‌های این پژوهش می‌تواند به تدوین سیاست‌ها و مقررات جامع مدیریت سیل کمک کند. مقامات دولتی می‌توانند چارچوب‌های قانونی قوی‌تر و مکانیسم‌های نهادی برای مدیریت ریسک بلایا ایجاد کنند که آمادگی در برابر سیل، کاهش خطر و بازیابی پس از بلایا را در اولویت قرار دهند (UNISDR, 2015). به‌عنوان مثال، ادغام نقشه‌های سیل در برنامه‌ریزی شهری می‌تواند به اجرای قوانین ساختمانی که طراحی‌های مقاوم در برابر سیل را اجباری می‌کنند، کمک کرده و آسیب‌پذیری در برابر سیل‌های آینده را کاهش دهد. علاوه بر این، استفاده از نقشه‌های سیل با وضوح بالا امکان

اگرچه این مطالعه اطلاعات دقیقی در مورد نقشه‌برداری پهنه سیل در دو شهرستان گرمی و انگوت با استفاده از داده‌های SAR ارائه می‌دهد، اما محدودیت‌های خاصی را نیز در فناوری SAR و روش پژوهش شناسایی می‌کند. در مرحله اول، احتمال اشتباه در طبقه‌بندی نقشه‌های سیل توسط داده‌های SAR به دلیل محدودیت در توانایی آن برای تمایز بین آب‌های ناشی از سیل و سطوح مرطوب دیگر، مانند تالاب‌ها یا خاک مرطوب، وجود دارد. علاوه بر این، Townsend (2002) اشاره می‌کند که پوشش گیاهی مترکم می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر سیگنال‌های رادار داشته باشد و موجب عدم اطمینان در تفسیر پهنه سیل در زیر سایبان‌های درختی می‌شود. این موضوع امکان پژوهش بیش‌تر به‌منظور بهبود و ارتقاء روش کار را فراهم می‌کند. به‌عنوان مثال، ادغام داده‌های سنجنش از دور نوری با SAR می‌تواند تفکیک بین آب‌های ناشی از سیل و سطوح مرطوب دیگر را بهبود بخشد (Emadodin and Mohammad Ghasemi, 2021). علاوه بر این، الگوریتم‌های پیشرفته یادگیری ماشین، مانند مدل‌های یادگیری عمیق، نشان داده‌اند که می‌توانند خطاهای طبقه‌بندی را کاهش داده و دقت نقشه‌برداری سیل را بهبود بخشند. با شناسایی این چالش‌ها و ارائه راه‌حل‌های بالقوه، این مطالعه به گفتمان

سپاس‌گزاری

پژوهش حاضر با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی و شماره قرارداد ۱۴۰۴/د/۹/۳۰۱۲ استخراج شده است. بدین‌وسیله از همکاری و مساعدت دانشگاه محقق اردبیلی به خاطر حمایت مالی و معنوی قدردانی می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

تمام داده‌های تولید شده در متن مقاله حاضر ارائه شده است. در صورت نیاز به داده‌های بیش‌تر بنا به درخواست منطقی نویسنده مسئول در اختیار داده می‌شود.

مشارکت نویسندگان

زینب حزباوی: مفهوم‌سازی، منابع، تجزیه و تحلیل و بررسی، راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله؛ مرضیه قشمشمی: منابع، روش کار، نرم‌افزار، تجزیه و تحلیل و بررسی، تهیه نقشه‌ها، نگارش پیش‌نویس اصلی، ویرایش و بازبینی مقاله.

منابع

- اصغری سراسکانرود، صیاد، اسفندیاری درآباد، فریبا، ملانوری، الهام و صفری، شیوا. (۱۴۰۱). بررسی رطوبت سطح خاک شهرستان اردبیل با استفاده داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۱، حفاظت منابع آب و خاک، ۱۱(۴)، ۸۹-۱۰۳. doi: 10.30495/WSRCJ.2022.20006
- ایمانی، بهرام و پورخسروانی، محسن. (۱۳۹۶). تحلیل فضایی پهنه‌های مخاطره‌آمیز شهرستان اردبیل. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۸(۲)، ۱۰۹-۱۲۸. doi: 10.22108/GEP.2017.98319.0
- آقایاری، لیلا، اصغری سراسکانرود، صیاد و زینالی، بتول. (۱۴۰۳). شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع مخاطره سیلاب در شهرستان گرمی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، doi: 10.22034/gp.2024.60493.3235
- پیمان‌خواه، پیمان، عطارچی، سارا و محرمی، میثم. (۱۴۰۲). پیش‌سریع سیل با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و لندست ۸ (مطالعه موردی: رودخانه کشکان شهرستان پلدختر). *نیوار*، ۴۷(۱۲۲-۱۲۳)، ۸۲-۹۴. doi: 10.30467/NIVAR.2023.417413.1265
- رحیمی، نفیسه و فرجی، عبدالله. (۱۴۰۴). تعیین پهنه‌ی سیلاب خرداد ۱۴۰۲ در استان اردبیل با داده‌های رادار SAR. *نیوار*، ۴۹(۱۲۸-۱۲۹)، ۳۴-۴۵. doi: 10.30467/nivar.2024.457140.1290

شناسایی مناطق پرخطر را فراهم می‌کند، که می‌تواند به تدوین طرح‌های تخلیه و راهبردهای پاسخ اضطراری کمک کند.

۴- نتیجه‌گیری

ارزیابی خطر و ریسک سیل، عمدتاً به‌دلیل سیستم نظارتی ضعیف یا توزیع غیریکنواخت در منطقه، ساده نیست. در شرایطی که روش‌های سنتی نقشه‌برداری و پایش مناطق سیل‌خیز اغلب به‌دلیل دید ضعیف و آسمان ابری در هوای نامساعد جوی کارآمد نیستند، فناوری‌هایی مانند رادار دیافراگم مصنوعی (SAR) بسیار مناسب عمل می‌کنند. با ترکیب فیلترهای پیشرفته نوین، گوگل‌ارت‌نجین (GEE) و داده‌های SAR امکان مدیریت سیل بهتر فراهم می‌شود. این منابع به‌طور جمعی توانایی مدیریت بحران و کاهش اثرات سیل را فراهم می‌کنند. ادغام SAR و GEE برای نقشه‌برداری از مناطق مستعد سیل، نمونه‌ای از همگرایی قابل‌توجه بین نبوغ انسانی و پیشرفت فناوری است. توانایی SAR در نفوذ به پوشش ابر و ارائه بلافاصله داده‌ها، بدون توجه به شرایط آب‌وهوایی، برای تشخیص سریع سیل بسیار مناسب ارزیابی شد. با ادغام رویکردهای پهنه‌بندی سیل با سامانه‌های هشدار اولیه موجود، مقامات دولتی می‌توانند اقدامات امدادی را سریع‌تر آغاز کنند، که این امر به‌طور بالقوه جان افراد را نجات داده و خسارت‌های مالی را به حداقل می‌رساند. بر همین اساس، دو شهرستان گرمی و انگوت با مساحت ۲۰۶۴ کیلومترمربع به‌عنوان منطقه مورد مطالعه برای پایش سیل خرداد ۱۴۰۲ و تحلیل تغییرات پوشش گیاهی در بازه‌های زمانی مختلف انتخاب شد. نتایج نشان دادند که حدود ۱۸۵/۸۳ کیلومترمربع (معادل ۹ درصد از کل منطقه) تحت تأثیر مستقیم سیلاب قرار گرفت. از منظر محیط زیستی، تحلیل شاخص‌های NDVI و EVI در چهار بازه زمانی (یک بازه مرجع در سال ۱۳۹۸ و سه بازه زمانی مربوط به قبل، حین و پس از وقوع سیل) حاکی از کاهش شدید تراکم و گستره پوشش گیاهی در منطقه است. میزان پوشش گیاهی مطلوب از حدود ۲۶۹ کیلومترمربع در دوره قبل از سیل به تنها ۴۱ کیلومترمربع در دوره پس از سیل کاهش یافت که نشان‌دهنده تأثیر مخرب سیل بر ساختار بوم‌شناختی منطقه است. نتایج به‌دست آمده تأکید می‌کند که مدیریت یکپارچه آب‌خیزداری و برنامه‌ریزی راهبردی کاربری زمین برای کاهش خطر سیل ضروری است. برای بهبود تاب‌آوری جامعه در برابر سیل، به سیاست‌گزاران توصیه می‌شود این مناطق را در اولویت قرار دهند. با حفاظت از مناطق آسیب‌پذیر، این ابتکارات می‌توانند به راهبردهای دقیق‌تر و مؤثرتر مدیریت سیل منجر شوند. استفاده از نتایج پژوهش حاضر در راستای مدیریت و کاهش آسیب‌پذیری جانی و مالی سیل در دو شهرستان گرمی و انگوت به‌منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه مطالعات پایه توصیه می‌شود.

سیلاب فروردین ۱۳۹۸، رودخانه کشکان، استان لرستان). تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۹(۳)، ۱۰۳-۱۱۸. doi: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.7.7

گنجی، کامران، قره‌چلو، سعید و احمدی، احمد. (۱۳۹۹). استخراج پهنه‌های سیلابی با استفاده از نسبت‌گیری طیفی داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ (مطالعه موردی: سیل آق‌قلا). ترویج و توسعه آبخیزداری، ۸(۳۱)، ۴۲-۵۳.

مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). سرشماری عمومی نفوس و مسکن استان اردبیل. <https://amar.org.ir/population-and-housing-census>

ورامش، سعید؛ محترم عنبران، سهراب و روح‌نواز، زهرا. (۱۴۰۱). ارزیابی و پیش‌روند گسترش فیزیکی سی ساله شهر اردبیل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۳۱(۱۲۳)، ۱۵۳-۱۳۹. doi: 10.22131/sepehr.2022.699919

هوشیار، ساسان، دهباشی، وحید، محمدی، حمید، اسماعیل‌پورمقدم، هادی، سرگزی، علیرضا و کیخا، احمدعلی. (۱۴۰۴). اثر تغییرات اقلیم بر اقتصاد بخش کشاورزی ایران. *مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی*، ۳(۴)، ۴۰-۴۹. doi: 10.22034/EMJ.2025.722981

References

- Aghayary, L., Asghari Saraskanrod, S., & Zeinali, B. (2024). Identification and zoning of flood prone areas in Germe county. *Journal of Geography and Planning*, doi: 10.22034/gp.2024.60493.3235. [In Persian]
- Alademomi, A. S., Okolie, C. J., Daramola, O. E., Agboola, R. O., & Salami, T. J. (2020). Assessing the relationship of LST, NDVI and EVI with land cover changes in the Lagos Lagoon environment. *Quaestiones Geographicae*, 39 (3), 87-109. doi:10.2478/quageo-2020-0025.
- Argenti, F., Lapini, A., Bianchi, T., & Alparone, L. (2013). A tutorial on speckle reduction in synthetic aperture radar images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 1(3), 6-35. doi: 10.1109/MGRS.2013.2277512
- Asghari Saraskanrod, S., Esfandayari Darabad, F., Mollanouri, F., Safary, Sh. (2022). Investigation of soil surface moisture in Ardabil City using Landsat 8 and Sentinel 1 satellite data. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 11(4), 89-103. doi: 10.30495/WSRCJ.2022.20006 [In Persian]
- Azizi, E., Nikoo, M R., Mostafazadeh, R., & Habzavi, Z. (2023). Flood vulnerability analysis using different aggregation frameworks across watersheds of Ardabil province, northwestern Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 91(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103680>
- Borah, S.B., Sivasankar, T., Ramya, M.N.S., & Raju, P.L.N. (2018). Flood inundation mapping and monitoring in Kaziranga National Park, Assam using Sentinel-1 SAR data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(9). doi:10.1007/s10661-018-6893-y
- Clement, M.A., Kilsby, C.G., & Moore, P. (2018). Multi-temporal synthetic aperture radar flood mapping using change detection. *Journal of Flood Risk Management*, 11(2), <https://doi.org/10.1111/jfr3.12303>
- Devries, B., Huang, C., Armston, J., Huang, W., Jones, J. W., & Lang, M. W. (2020). Rapid and robust monitoring of flood events using Sentinel-1 and Landsat data on the Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111664. doi:10.1016/j.rse.2020.111664
- Dodangeh, P., Ebadi, H., & Kayani, A. (2021). Identification of flood areas with time series statistical calculations based on combining radar and optical data. *Ecohydrology*, 639-623, (3)8. doi: 10.22059/IJE.2021.322145.1495
- Eini S., & Sobhani, S. (2021). Drought monitoring during growth rangeland coverage, Ardabil Province. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 21(60), 1-19. doi:10.52547/jgs.21.60.1 [In Persian]
- Emadodin, S. and Mohammad Ghasemi, M. (2021). Monitoring of flood expansion maps using radar images (SAR) (Case study: Flood in March 2019, Aq Qala city). *Climate Change Research*, 2(6), 79-96. doi: 10.30488/ccr.2021.308697.1053. [In Persian]
- Fortes, A.A.; Hashimoto, M.; Udo, K.(2025). Application of remote sensing floodplain vegetation data in a dynamic roughness
- سلیمانی، ساردو، فرشاد، رفیعی ساردویی، الهام، مصباح‌زاده، طیبیه و آذره، علی. (۱۴۰۰). استفاده از تصاویر سنتینل ۱ جهت پایش خسارت سیلاب فروردین، جنوب استان کرمان براساس الگوریتم جنگل تصادفی. *علوم و مهندسی آبخیزداری/ایران*، ۱۵(۵۳)، ۲۳-۳۲. doi: 20.1001.1.20089554.1400.15.53.4.8
- شعبانی‌نیا، حسن، متولی، صدرالدین، جانباز قبادی، غلامرضا و خالدی، شهریار. (۱۳۹۹). برآورد مقادیر ارتفاع رواناب و دبی حداکثر سیلاب با استفاده از تلفیق مدل‌های اتومات سلولی و SCS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز لاویج‌رود). *مخاطرات محیط طبیعی*، ۹(۳۴)، ۷۹-۹۸. doi: 10.22111/JNEH.2020.29704.1515
- عمادالدین، سمیه و محمدقاسمی، مسعود. (۱۴۰۰). پایش نقشه‌های گسترش سیلاب با استفاده از تصاویر راداری (SAR) (مطالعه موردی: سیل فروردین ۱۳۹۸، شهرستان آق‌قلا). *پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی*، ۲(۶)، ۷۹-۹۶. doi: 10.30488/ccr.2021.308697.1053
- عینی، سعیده و سبحانی، بهروز. (۱۴۰۰). پایش خشک‌سالی طی دوره رشد پوشش مرتعی، استان اردبیل. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۱(۶۰)، ۱۹-۱۰. doi:10.52547/jgs.21.60.1
- قهرمان، کاوه و زنگنه‌اسدی، محمدعلی. (۱۴۰۱). تعیین مناطق مستعد سیلاب با استفاده از تصاویر راداری، Sentinel-1 (مطالعه موردی،

- distributed runoff model. *Remote Sensing*, 17, 1672. <https://doi.org/10.3390/rs17101672>
- Ganji, K., Gharechelou, S., & Ahmadi, A. (2021). Flooding zone extracting using spectrum proportionality of Sentinel-2 and Landsat-8 Satellite Data (Case study: Aq'Qala County Flooding). *Extension and Development of Watershed Management*, 8(31), 42-53. [In Persian]
- Ghahraman, K., & Zanganeh Asadi, M. (2022). Determination of flood-prone areas using Sentinel-1 Radar images (Case study: Flood on March 2019, Kashkan River, Lorestan Province). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 9(3), 103-118. doi: 20.1001.1.24237892.1401.9.3.7.7. [In Persian]
- Hamidi, E., Peter, B., Munoz, D., Moftakhari, H., & Moradkhani, H. (2023). Fast flood extent monitoring with SAR change detection using Google Earth Engine. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61:1-19. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3240097>.
- Hinojo-Hinojo, C., & Goulden, M. L. (2020). Plant traits help explain the tight relationship between vegetation indices and gross primary production. *Remote Sensing*, 12 (9), 1391-1405.
- Houshyar, S., Dehbashi, V., Mohammadi, H., Esmahilpormogadam, H., Sargazi, A., & Keikha, A. (2025). The effect of climate change on the economy of Iran's agricultural sector. *Management of Natural Ecosystems*, 3(4), 40-49. doi: 10.22034/emj.2025.722981 [In Persian]
- Imani, B., & Pourkhosravani, M. (2017). Spatial analysis of hazardous areas in Ardabil City. *Geography and Environmental Planning*, 28(2), 109-128. doi: 10.22108/gep.2017.98319.0. [In Persian]
- IPCC (2023). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Lan, L., & Wang, X. (2025). Large-scale flood mapping using Sentinel-1 and Sentinel-2 imagery: Spatio-temporal analysis of the 23·7 Haihe basin-wide extreme flood. *Journal of Hydrology*, 132777.
- Lanfredi, M., Coppola, R., Simoniello, T., Coluzzi, R., Imbrenda, V., & Macchiato, M. (2015). Early identification of land degradation hotspots in complex bio-geographic regions. *Remote Sensing*, 7 (6), 8154-8179.
- Liang, J., & Liu, D. (2020). A local thresholding approach to flood water delineation using Sentinel-1 SAR imagery. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sensing*, 159(5), 53-62. DOI:10.1016/j.isprsjprs.2019.10.017
- Lillesand, T., Kiefer, R.W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. 7th Edition, John Wiley & Sons.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G. (2007). Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors*, 7 (11), 2636-2651. doi:10.3390/s7112636.
- Peng, w., Wang J., Zhang, j., and Zhang, y.(2020). Soil moisture estimation in the transition zone from the Chengdu Plain region to the Longmen Mountains by field measurements and LANDSAT 8 OLI/TIRSderived indices. *Arabian Journal of Geosciences*, 1-15, <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5152-z>
- Peng, X., Chen, S., Miao, Z., Xu, Y., Ye, M., & Lu, P. (2025). Automatic flood monitoring method with SAR and optical data using Google Earth Engine. *Water*, 17, 177. doi:10.3390/w17020177
- Petropoulos, G. P., Georgiadi, A., & Kalogeropoulos, K. (2024). Leveraging Sentinel-2 and Geographical Information Systems in Mapping Flooded Regions around the Sesia River, Piedmont, Italy. *GeoHazards*, 5(2), 485-503.
- Peymankhah, P., Attarchi, S., & Moharrami, M. (2023). Rapid flood monitoring using Sentinel-1 and Landsat-8 images (Case study: Kashkan River, Poldakhter City). *Nivar*, 47(122-123), 82-94. doi: 10.30467/nivar.2023.417413.1265. [In Persian]
- Rahimi, N., & Faraji, A. (2025). Determining the flood zone of Khordad 1402 in Ardabil province with SAR radar data. *Nivar*, 49(128-129), 34-45. doi: 10.30467/nivar.2024.457140.1290. [In Persian]
- Rowland Eteh, D., Emeka Egobueze, F., Paaruu, M., Otutu, A., & Osondu, I. (2024). The impact of dam management and rainfall patterns on flooding in the Niger Delta: using Sentinel-1 SAR data, *Discover Water*, <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00185-8>
- Shabaninia, H., Motevalli, S., Janbaz Ghobadi, G., & Khaledi, S. (2020). Estimating of runoff height and flood maximum discharge using Cellular Automata and SCS models, (Case Study: Lavijrood watershed). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 9(24), 79-98. doi: 10.22111/jneh.2020.29704.1515. [In Persian]
- Singh, G., & Singh Rawat, K. (2024). Mapping flooded areas utilizing Google Earth Engine and open SAR data: A comprehensive approach for disaster respons. *Discover Geoscience*, 2(5), doi:10.1007/s44288-024-00006-4.

- Soleimani Sardoo, F., Rafiei Sarooi, E., Mesbahzadeh, T., & Azareh, A. (2021). Utilizing Sentinel 1 images for monitoring damage of flood event in March 2020, the South of Kerman Province based on random forest algorithm. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 15 (53), 23-32. doi: 20.1001.1.20089554.1400.15.53.4.8. [In Persian]
- Statistics Center of Iran. (2011). General census of population and housing of Ardabil province. <https://amar.org.ir/population-and-housing-census>. [In Persian]
- Tarpanelli, A., Mondini, A. C., & Camici, S. (2022). Effectiveness of Sentinel-1 and Sentinel-2 for flood detection assessment in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(8), 2473-2489. doi:10.5194/nhess-22-2473-2022
- Townsend, PA. (2002). Estimating forest structure in wetlands using multitemporal SAR. *Remote Sensing of Environment*, 79(2-3), 288-304. doi:10.1016/S0034-4257(01)00280-2
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030. *United Nations*, 2015.
- Varamesh, S., Mohtaram Anbaran, S., & Rouhnavaz, Z. (2022). Evaluation and monitoring of the thirty-year physical expansion process of Ardabil city using satellite images. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 31(123), 139-153. doi: 10.22131/sepehr.2022.699919 [In Persian]
- Wu, C., Peng, D., Soudani, K., Siebicke, L., Gough, C. M., Arain, M. A., Bohrer, G., Lafleur, P. M., Peichl, M., Gonsamo, A., Xu, S., Fang, B., & Ge, Q. (2017). Land surface phenology derived from normalized difference vegetation index (NDVI) at global FLUXNET sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 233, 171-182. doi: 10.1016/j.agrformet.2016.11.193
- Yagüe-Martínez, N., Prats-Iraola, P., Gonzalez, F. R., Bricc, R., Shau, R., Geudtner, D., & Bamler, R. (2016). Interferometric processing of Sentinel-1 TOPS data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(4), 2220-2234. DOI: 10.1109/TGRS.2015.2497902
- Zheng, G., Allen, S.K., Bao, A., Ballesteros-Cánovas, J.A., Huss, M., Zhang, G., Li, J., Yuan, Y., Jiang, L., & Yu, T. (2021). Increasing risk of glacial lake outburst floods from future third pole deglaciation. *Nature Climate Change*, 11, 411-417. doi: 10.1038/s41558-021-01028-3