



University of Tehran Press

Environmental

Hazards

Management



Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

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

Comparison of Visual and Object-Based Automated Methods for Floodplain Mapping: A Case Study of the Karganrud Watershed, Talesh

Leila Ebrahimi Jamnani¹ | Maryam Ilanloo^{2*}

1. Department of Geography, Cha.C.Islamic Azad University, Chalous, Iran. Email: Leyla.ebrahimi@iauc.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Geography, Mahs.C. Islamic Azad University, Mahshahr, Iran. Email: m.ilanloo6101@iau.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received: 08 July 2026

Revised: 13 August 2026

Accepted: 20 August 2026

Published: 08 September 2026

Keywords:

Flood mapping,
Object-Based Image Analysis (OBIA),
Visual interpretation method,
Korganrud Watershed,
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

ABSTRACT

Objective: Accurate floodplain mapping using remote sensing data plays a vital role in crisis management, damage reduction, and effective planning for natural hazards. The present study was conducted to compare the performance of a visual threshold-based approach using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and an automated Object-Based Image Analysis (OBIA) approach for floodplain extraction in the Karganrud Watershed, Talesh County.

Methods: Sentinel-2 imagery acquired during the September 2020 flood event was used in this study. In the visual approach, floodplain areas were extracted through visual image interpretation and analysis of spectral indices. In the automated approach, the image was first segmented into homogeneous objects and then classified based on spectral, textural, geometric, and spatial features. To evaluate the results, 194 reference points, including 100 flood points and 94 non-flood points, were used, and the performance of the two methods was compared using evaluation metrics such as Overall Accuracy (OA) and the Kappa coefficient.

Results: The results showed that although the NDVI-based method successfully identified a large proportion of flood-affected areas, it overestimated the flood extent due to its reliance on a single spectral index. The extracted flood area was 540.81 km², with an Overall Accuracy of 49.5%, a Kappa coefficient of -0.041, a Precision of 50.5%, a Recall of 96.0%, and an F1-score of 66.2%. In contrast, the OBIA approach, by integrating spectral, textural, geometric, and spatial features, extracted a flood area of 240.26 km² and achieved an Overall Accuracy of 93.3%, a Kappa coefficient of 0.866, a Precision of 90.7%, a Recall of 97.0%, and an F1-score of 93.7%, demonstrating substantially better performance than the NDVI-based method.

Conclusion: Comparison of the results indicated that the OBIA approach, by reducing classification errors caused by spectral similarity, providing more accurate delineation of floodplains, and substantially improving the evaluation metrics, outperformed the visual NDVI-based approach in floodplain extraction. Therefore, the use of Object-Based Image Analysis combined with the Random Forest algorithm can be recommended as an effective approach for producing accurate flood maps and supporting flood risk management and damage reduction planning in similar watershed areas.

Cite this article: Ebrahimi Jamnani, L. & Ilanloo, M. (2026). Comparison of Visual and Object-Based Automated Methods for Floodplain Mapping: A Case Study of the Karganrud Watershed, Talesh. *Environmental Hazards Management*, 13 (2), 113-128. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2026.418153.948>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2026.418153.948>

Introduction

Floods are among the most widespread and destructive natural hazards worldwide, causing substantial damage to infrastructure, agricultural lands, natural resources, and human settlements. The increasing frequency and intensity of extreme hydrometeorological events associated with climate change have highlighted the need for rapid and accurate flood inundation mapping to support disaster risk reduction, emergency response, and sustainable land-use planning. Reliable delineation of flooded

areas provides essential information for hazard assessment, mitigation planning, and post-disaster management.

Advances in remote sensing have significantly improved flood monitoring by enabling the rapid acquisition of spatially continuous data over large areas. Optical satellite imagery, particularly Sentinel-2, has become one of the most widely used data sources for flood mapping because of its high spatial resolution, free availability, and rich spectral information. Nevertheless, conventional spectral index-based methods often encounter difficulties in heterogeneous environments where floodwater exhibits spectral characteristics similar to moist soils, bare land, shadows, or damaged vegetation.

The Korganrud Watershed in Talesh County, northern Iran, is highly susceptible to flooding because of its mountainous topography, high rainfall variability, dense drainage network, and complex land-cover conditions. The September 2020 flood event caused extensive inundation throughout the watershed, providing an appropriate case study for evaluating different flood mapping approaches. Therefore, the objective of this study was to compare the performance of a visual NDVI thresholding approach with an automated Object-Based Image Analysis (OBIA) framework integrated with the Random Forest algorithm for flood inundation mapping in the Korganrud Watershed.

Method

This study was carried out in the Korganrud Watershed, Talesh County, using remote sensing, Geographic Information System (GIS), and machine-learning techniques. Sentinel-2 imagery acquired during the September 2020 flood event served as the primary dataset. In addition, fourteen environmental variables representing topographic, hydrological, climatic, geological, soil, and land-use conditions were prepared and integrated into a GIS environment.

In the first approach, flood inundation areas were extracted using a visual thresholding method based on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Different threshold values were evaluated, and the optimum threshold was selected to distinguish flooded from non-flooded areas. A binary flood inundation map was subsequently generated by classifying pixels below the selected threshold as flooded.

In the second approach, an automated Object-Based Image Analysis (OBIA) framework was implemented. The Sentinel-2 image was initially segmented into homogeneous image objects. Subsequently, multiple object-level attributes, including spectral, statistical, textural, geometric, and spatial characteristics, together with the environmental variables, were extracted for each image object. These object features were then classified using the Random Forest algorithm to distinguish flooded from non-flooded objects. By integrating object characteristics and spatial context, the OBIA framework effectively reduced classification noise and improved flood delineation.

Model performance was evaluated using 194 reference samples, including 100 flood and 94 non-flood locations. The outputs of both approaches were assessed using a confusion matrix and several accuracy metrics, including Overall Accuracy (OA), the Kappa coefficient, Precision, Recall, and F1-score. In addition, the total flood inundation area estimated by each method was calculated and compared.

Results

The results revealed substantial differences between the two flood mapping approaches. Although the NDVI thresholding method successfully identified most flooded areas, its dependence on a single spectral indicator resulted in considerable overestimation of flood extent. The total flood inundation area extracted by this approach was 540.81 km².

Accuracy assessment showed that the NDVI method achieved an Overall Accuracy of 49.5%, a Kappa coefficient of -0.041, a Precision of 50.5%, a Recall of 96.0%, and an F1-score of 66.2%. While the high Recall value indicates that most flooded areas were correctly identified, the low Precision, Overall Accuracy, and negative Kappa coefficient demonstrate that many non-flooded areas were incorrectly classified as flooded.

In contrast, the OBIA approach produced a more realistic representation of flood inundation. Image segmentation generated 4,463 homogeneous objects, including 1,258 flood objects and 3,205 non-flood objects. Following Random Forest classification and raster conversion at a spatial resolution of 30 m, the estimated flood inundation area was 240.26 km².

The OBIA framework substantially outperformed the NDVI approach, achieving an Overall Accuracy of 93.3%, a Kappa coefficient of 0.866, a Precision of 90.7%, a Recall of 97.0%, and an F1-score of 93.7%. These findings demonstrate that integrating spectral, textural, geometric, spatial, and environmental information significantly improves flood inundation mapping accuracy compared with a single-index thresholding approach.

Conclusions

This study compared a visual NDVI thresholding method with an automated Object-Based Image Analysis (OBIA) framework integrated with the Random Forest algorithm for flood inundation mapping in the Korganrud Watershed. The results demonstrated that although the NDVI-based approach provides a rapid and straightforward means of identifying potentially flooded areas, its reliance on a single spectral feature leads to considerable overestimation of flood extent and reduced classification accuracy, particularly in environmentally heterogeneous landscapes.

Conversely, the OBIA framework significantly improved flood mapping performance by integrating spectral, textural, geometric, spatial, and environmental information within a machine-learning classification framework. The substantial improvements observed in Overall Accuracy, Kappa coefficient, Precision, Recall, and F1-score indicate that the proposed approach provides a more reliable representation of actual flood inundation patterns.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest. Declare conflicts of interest or state “The authors declare no conflict of interest.”

References

1. Gašparović, M., & Klobučar, D. (2021). Mapping floods in lowland forest using Sentinel-1 and Sentinel-2 data and an object-based approach. *Forests*, 12(5), 553. <https://doi.org/10.3390/f12050553>
2. Halder, S., & Bose, S. (2024). Sustainable flood hazard mapping with GLOF: A Google Earth Engine approach. *Natural Hazards Research*. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2024.01.002>
3. Hao, C., Yunus, A. P., Subramanian, S. S., & Avtar, R. (2021). Basin-wide flood depth and exposure mapping from SAR images and machine learning models. *Journal of Environmental Management*, 297, 113367. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113367>
4. Moghimi, E., Glade, T., Al-Ansari, N., & Shahabi, H. (2025). Floods and new housing design theory to sustain and reduce hazards (A scientific strategy). *Geofluids*, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2025/1234567>



شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۸-۲۴۲۳

مدیریت مخاطرات محیطی

سایت نشریه: <https://jhsci.ut.ac.ir>



انتشارات دانشگاه تهران

مقایسه روش‌های بصری و خودکار مبتنی بر شیء در شناسایی پهنه‌های سیلابی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کرگانرود، تالش)

لیلا ابراهیمی جمنانی^۱ | مریم ایلانلو^{۲*}

۱. استادیار گروه جغرافیا، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس ایران. رایانامه: Leyla.ebrahimi@iauc.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جغرافیا، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران. رایانامه: m.ilanloo6101@iau.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۲۰

کلیدواژه:

پهنه‌بندی سیلاب،
تحلیل تصویر مبتنی بر شیء (OBIA)
روش بصری،
حوضه کرگانرودی
NDVI

هدف: شناسایی دقیق پهنه‌های سیلابی با استفاده از داده‌های سنجش از دور، نقش مهمی در مدیریت بحران، کاهش خسارات و برنامه‌ریزی کارآمد مخاطرات طبیعی دارد. پژوهش حاضر با هدف مقایسه عملکرد روش بصری مبتنی بر آستانه‌گذاری شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) و روش خودکار تحلیل تصویر مبتنی بر شیء (OBIA) در استخراج پهنه‌های سیلابی حوضه آبریز کرگانرود شهرستان تالش انجام گرفت.

روش پژوهش: در این پژوهش از تصاویر Sentinel-2 مربوط به رخداد سیلاب شهریور ۱۳۹۹ استفاده شد. در روش بصری، پهنه‌های سیلابی از طریق تفسیر چشمی تصویر و بررسی شاخص‌های طیفی استخراج شدند. در روش خودکار، تصویر پس از بخش‌بندی به اشیای همگن، بر اساس ویژگی‌های طیفی، بافتی، هندسی و مکانی طبقه‌بندی شد. برای ارزیابی نتایج، از ۱۹۳ نقطه مرجع شامل ۱۰۰ نقطه سیلابی و ۹۴ نقطه غیرسیلابی استفاده و عملکرد دو روش با شاخص‌هایی مانند دقت کلی و ضریب کاپا مقایسه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد روش NDVI با وجود شناسایی بخش عمده مناطق سیلابی، به دلیل اتکا به یک شاخص طیفی، پهنه سیلابی را بیش‌برآورد کرد؛ به‌طوری که مساحت استخراج‌شده برابر با ۵۴۰/۸۱ کیلومتر مربع، دقت کلی ۴۹/۵ درصد، ضریب کاپا ۰/۴۱-، Precision ۵۰/۵ درصد، Recall ۹۶ درصد و F1-score ۶۶/۲ درصد به دست آمد. در مقابل، روش OBIA با تلفیق ویژگی‌های طیفی، بافتی، هندسی و مکانی، مساحت سیلابی ۲۴۰/۲۶ کیلومتر مربع را استخراج کرد و با دستیابی به دقت کلی ۹۳/۳ درصد، ضریب کاپا ۰/۸۶۶، Precision ۹۰/۷ درصد، Recall ۹۷ درصد و F1-score ۹۳/۷ درصد، عملکرد بهتری نسبت به روش NDVI نشان داد.

نتیجه‌گیری: مقایسه نتایج نشان داد که روش OBIA با کاهش خطاهای ناشی از شباهت طیفی، تفکیک دقیق‌تر پهنه‌های سیلابی و افزایش چشمگیر شاخص‌های ارزیابی، نسبت به روش بصری مبتنی بر NDVI کارایی بیشتری در استخراج پهنه‌های سیلابی دارد. بنابراین استفاده از تحلیل تصویر مبتنی بر شیء همراه با الگوریتم جنگل تصادفی می‌تواند به‌عنوان رویکردی مؤثر برای تهیه نقشه‌های دقیق سیلاب و پشتیبانی از مدیریت خطر و برنامه‌ریزی کاهش خسارات در حوضه‌های آبریز مشابه پیشنهاد شود.

استناد: ابراهیمی جمنانی، لیلا و ایلانلو، مریم (۱۴۰۵). مقایسه روش‌های بصری و خودکار مبتنی بر شیء در شناسایی پهنه‌های سیلابی (مطالعه موردی: حوضه آبریز کرگانرود، تالش). مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۳ (۲)، ۱۱۳-۱۲۸.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2026.418153.948>

© نویسندگان ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2026.418153.948>



مقدمه

سیلاب از فراگیرترین و مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی جهان است که سالانه خسارات سنگینی به زیرساخت‌ها، اراضی کشاورزی، منابع طبیعی و سکونتگاه‌های انسانی وارد می‌کند. افزایش فراوانی و شدت رخداد‌های حدی ناشی از تغییرات اقلیمی، گسترش شهرنشینی و تغییر کاربری اراضی، خطر وقوع سیلاب و پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی آن را در بسیاری از مناطق جهان تشدید کرده است. از این‌رو، شناسایی سریع و دقیق پهنه‌های سیلابی به یکی از مؤلفه‌های اساسی مدیریت بحران، کاهش خطرپذیری، امدادسانی، برنامه‌ریزی کاربری اراضی و بازسازی مناطق آسیب‌دیده تبدیل شده است (کلمس، ۲۰۱۵؛ لین و همکاران، ۲۰۱۶).

در دهه‌های اخیر، پیشرفت فناوری سنجش از دور و افزایش دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مناسب، امکان پایش سریع و گسترده رخداد‌های سیلابی را فراهم کرده است. در میان داده‌های اپتیک، تصاویر Sentinel-2 به دلیل قدرت تفکیک مکانی مناسب، پوشش طیفی متنوع، تناوب زمانی مطلوب و دسترسی رایگان، به یکی از پرکاربردترین منابع داده برای استخراج پهنه‌های سیلابی تبدیل شده‌اند. این تصاویر امکان استفاده از شاخص‌های طیفی مختلف از جمله NDVI، MNDWI، NDWI و NDMI را برای شناسایی پهنه‌های آبی فراهم می‌کنند، اما عملکرد آنها در شرایط پوشش ابری، سایه و تصویربرداری شبانه با محدودیت‌هایی همراه است (هوانگ و جین، ۲۰۲۰؛ کوناپالا، کومار و احمد، ۲۰۲۱؛ رحیم‌پور و همکاران، ۱۴۰۲).

برای استخراج پهنه‌های سیلابی از تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های متعددی طراحی شده است که هر یک مزایا و محدودیت‌های خاص خود را دارد. روش‌های بصری که اغلب بر تفسیر چشمی تصاویر یا آستانه‌گذاری شاخص‌های طیفی استوارند، به دلیل سادگی، سرعت اجرا و نیاز اندک به داده‌های آموزشی، همچنان در بسیاری از پژوهش‌ها استفاده می‌شوند. با این حال، اتکال این روش‌ها به ویژگی‌های طیفی سبب می‌شود در مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم، خاک‌های مرطوب، سایه‌های توپوگرافی و کاربری‌های پیچیده، دقت طبقه‌بندی کاهش یابد و مرزهای واقعی پهنه‌های سیلابی با خطا همراه شوند (مارکرت و همکاران، ۲۰۲۰؛ چن و همکاران، ۲۰۲۱).

در مقابل، روش تحلیل تصویر مبتنی بر شیء^۱ با استفاده از فرایند بخش‌بندی تصویر، امکان بهره‌گیری همزمان از ویژگی‌های طیفی، بافتی، هندسی و روابط مکانی را در فرایند طبقه‌بندی فراهم می‌کند. در این رویکرد، تصویر ابتدا به مجموعه‌ای از اشیای همگن تقسیم می‌شود و سپس اشیا بر اساس مجموعه‌ای از ویژگی‌های چندبعدی طبقه‌بندی می‌شوند. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که روش‌های شیء‌مبنا، به‌ویژه در تصاویری با قدرت تفکیک متوسط و زیاد، نسبت به روش‌های پیکسل‌مبنا توانایی بیشتری در استخراج عوارض سطح زمین و تفکیک دقیق‌تر پهنه‌های سیلابی از دیگر کاربری‌های مشابه دارند (دراگوت، تیده و لویک، ۲۰۱۰؛ گاشپاروویچ و کلوبوچار، ۲۰۲۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۱).

همزمان با توسعه الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، پژوهش‌های متعددی برای بهبود دقت شناسایی سیلاب انجام گرفته است و بسیاری از این پژوهش‌ها، از الگوریتم‌های پیشرفته برای طبقه‌بندی تصاویر اپتیک و راداری استفاده کرده‌اند (رحمان و همکاران، ۲۰۲۱؛ جمالی و همکاران، ۲۰۲۴). با وجود نتایج مطلوب این پژوهش‌ها، بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که بیشتر تحقیقات بر توسعه مدل‌های یادگیری ماشین، یادگیری عمیق یا استفاده از تصاویر راداری متمرکز بوده‌اند و به مقایسه مستقیم عملکرد روش‌های ساده مبتنی بر شاخص‌های طیفی با روش‌های خودکار مبتنی بر تحلیل تصویر شیء‌گرا، به‌ویژه با استفاده از تصاویر اپتیک Sentinel-2، کمتر توجه شده است (مارکرت و همکاران، ۲۰۲۰؛ گاشپاروویچ و کلوبوچار، ۲۰۲۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۲۱). مقیمی و همکاران (۲۰۲۵) در مقاله‌ای به چالش جهانی پایداری مسکن در برابر سیلاب در دو منطقه کوهستانی (حوضه دانوب در اتریش و حوضه‌های کارون و کرخه در ایران) پرداخته‌اند. نویسندگان معتقدند که رویکردهای موجود در مدیریت سیلاب، اغلب بر اساس دانش هیدرولوژی صرف طراحی شده‌اند و از دانش‌های مکمل مانند ژئومورفولوژی، بوم‌شناسی، هواشناسی و طراحی مسکن بی‌بهره‌اند. این نقص، سبب افزایش خسارت‌های مسکونی و هدررفت منابع آب شیرین در سیلاب‌ها شده است.

افزون بر این، در بیشتر پژوهش‌های انجام‌گرفته در ایران، بر پهنه‌بندی خطر یا حساسیت سیلاب تمرکز شده و تحقیقات محدودی به ارزیابی مستقیم کارایی روش‌های مختلف استخراج پهنه‌های سیلابی از تصاویر ماهواره‌ای اختصاص یافته است؛ بنابراین خلأ اصلی پژوهش حاضر، نه در استفاده از روش OBIA، بلکه در نبود مقایسه کمی و نظام‌مند میان یک روش ساده مبتنی بر آستانه‌گذاری شاخص NDVI و یک چارچوب خودکار مبتنی بر تحلیل تصویر شیء‌گرا همراه با الگوریتم Random Forest برای استخراج پهنه‌های سیلابی از تصاویر Sentinel-2 در حوضه آبریز کرگانرود است. نوآوری این پژوهش در ارزیابی همزمان عملکرد این دو رویکرد با استفاده از شاخص‌های استاندارد ارزیابی صحت شامل دقت کلی (OA)، ضریب کاپا، Recall، Precision و F1-score و نیز مقایسه مساحت پهنه‌های سیلابی استخراج‌شده نهفته است. این مقایسه تحلیل دقیق‌تر قابلیت‌ها و محدودیت‌های هر یک از روش‌ها را در شرایط محیطی منطقه پژوهش ممکن می‌کند.

بر این اساس، هدف پژوهش حاضر مقایسه عملکرد روش بصری مبتنی بر آستانه‌گذاری شاخص NDVI و روش خودکار مبتنی بر تحلیل تصویر شیء‌گرا در استخراج پهنه‌های سیلابی حوضه آبریز کرگانرود (شهرستان تالش) با استفاده از تصاویر Sentinel-2 است.

پیشینه پژوهش

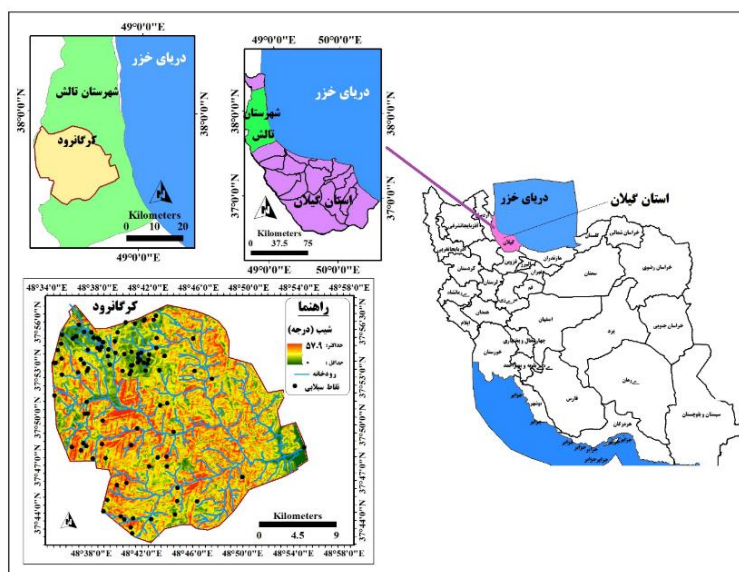
جامالی و همکاران (۲۰۲۴) نیز با توسعه مدل Residual Wave Vision U-Net بر پایه تصاویر دوقطبشی Sentinel-1، دقت زیادی در استخراج پهنه‌های سیلابی گزارش کردند و نشان دادند که شبکه‌های عصبی عمیق نسبت به روش‌های کلاسیک عملکرد بهتری دارند. توما، شاندریک و میهای (۲۰۲۴) با مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌مبنا، تحلیل تصویر مبتنی بر شیء (OBIA) و روش‌های یادگیری عمیق بر پایه تصاویر Sentinel-1، عملکرد الگوریتم‌های Random Forest، Support Vector Machine، U-Net، DeepLabV3 و Mask R-CNN را در پنج منطقه با ویژگی‌های جغرافیایی متفاوت ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که مدل U-Net با مقدار IoU برابر با ۰/۷۶۳، بیشترین دقت را در شناسایی پهنه‌های سیلابی داشته است. همچنین پژوهشگران تأکید کردند که روش‌های مبتنی بر شیء و یادگیری عمیق در مقایسه با روش‌های پیکسل‌مبنا، به دلیل بهره‌گیری از اطلاعات مکانی و ساختاری، دقت بیشتری در استخراج پهنه‌های سیلابی ارائه می‌کنند. ژانگ و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از تصاویر چندزمانه Sentinel-1 و رویکرد تحلیل تصویر مبتنی بر شیء، نشان دادند که ترکیب ضرایب بازپراکنش و همدوسی راداری موجب افزایش دقت تفکیک پهنه‌های سیلابی، به‌ویژه در مناطق دارای پوشش گیاهی می‌شود. همچنین گاشپاروویچ و کلوبوچار (۲۰۲۱) در پژوهشی در جنگل‌های جلگه‌ای کرواسی، روش شیء‌مبنا را برای تلفیق تصاویر Sentinel-1 و Sentinel-2 به کار گرفتند و گزارش کردند که استفاده همزمان از ویژگی‌های طیفی، هندسی و بافتی نسبت به طبقه‌بندی پیکسل‌مبنا، دقت بیشتری در استخراج مناطق آب‌گرفته ایجاد می‌کند.

در ایران نیز پژوهش‌های متعددی در زمینه مخاطرات سیلاب انجام گرفته است. گنجی گوهری و همکاران (۱۴۰۵) نیز یک روش خودکار برای انتخاب رویدادهای سیلاب و استخراج ویژگی‌های آنها ارائه کردند که قابلیت استفاده در تحلیل‌های مدیریت سیلاب و ارزیابی ریسک را دارد. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی برای حوضه آبریز رودخانه کاجو با رژیم هیدرولوژیکی متغیر عملکرد خوبی دارد. جعبه‌آزار توسعه‌یافته را می‌توان به راحتی در دیگر حوضه‌های آبخیز برای نمونه‌برداری سیلاب و توصیف وقایع سیلاب به کار برد. کاربرد عملی این رویکرد در تحلیل‌های مدیریت سیلاب، طراحی سازه‌های هیدرولیکی، ارزیابی ریسک سیل و مطالعات تغییر اقلیم در حوضه‌های آبریز شایان توجه است. سلیمانی، ایلانلو و غروب (۱۴۰۵) نیز با ترکیب مدل‌های WMS و HEC-RAS، پتانسیل سیلاب شهرستان سوادکوه را شبیه‌سازی کردند و نقش توپوگرافی، کاربری اراضی و خاک را در افزایش رواناب نشان دادند. ابراهیمی و ایلانلو (۱۴۰۳) با تلفیق مدل WMS و GIS پهنه‌بندی سیلاب حوضه شهرستانک را انجام دادند و کارایی مدل هیدرولوژیکی را در تعیین عمق و گستره سیلاب تأیید کردند. رحیم‌پور و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از یک مدل ترکیبی نوین، حساسیت خطر سیلاب را در حوضه اندچای تحلیل کردند و نقش عوامل محیطی را در وقوع سیلاب نشان دادند. حائری و مثنوی (۱۴۰۲) با تحلیل راهبردهای بهسازی اکولوژیک منظر رودخانه خشک شیراز، نقش مدیریت اکولوژیک و برنامه‌ریزی منظر را در کاهش مخاطرات سیلاب و توسعه پایدار شهری بررسی کردند و بر ضرورت تلفیق ملاحظات

محیط زیستی در مدیریت سیلاب تأکید کردند. رحیم‌پور و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از یک مدل ترکیبی نوین، تغییرات فضایی حساسیت خطر سیلاب را در حوضه آبریز الندچای تحلیل کردند و نشان دادند که تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌تواند دقت پهنه‌بندی خطر را افزایش دهد. محمدی و همکاران (۱۴۰۱) نیز با مقایسه مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی HEC-RAS نشان دادند که مدل دوبعدی برآورد دقیق‌تری از پهنه سیلابی ارائه می‌دهد.

موقعیت منطقه پژوهش

حوضه آبریز کرگانرود یکی از زیرحوضه‌های مستقل حاشیه جنوبی دریای خزر است که در غرب استان گیلان و در محدوده شهرستان تالش (هشتپر) قرار دارد. این حوضه در دامنه شرقی رشته‌کوه تالش (ارتفاعات بغروداغ) واقع شده و مساحتی حدود ۶۱۳/۴۴ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد. منطقه از نظر موقعیت جغرافیایی بین عرض‌های ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی و طول‌های ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی قرار دارد. ارتفاعات حوضه از ۳۸- متر در محل خروجی به دریای خزر تا ۳۲۳۴ متر در نواحی کوهستانی متغیر است که بیانگر اختلاف ارتفاع زیاد و تنوع توپوگرافی منطقه است. کرگانرود پرآب‌ترین رودخانه غرب استان گیلان است که از ارتفاعات تالش میانی سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از مرکز شهر تالش (هشتپر)، در حدود ۶ کیلومتری شرق این شهر و در محدوده روستای قروق به دریای خزر می‌ریزد. بخش عمده حوضه را مناطق کوهستانی با پوشش متراکم جنگل‌های هیرکانی تشکیل می‌دهد، درحالی که اراضی هموار اغلب به بستر و دشت سیلابی رودخانه، کف سیرک‌های یخچالی و دلتای کرگانرود محدودند (حاجی کریمی، شایان و خوش‌رفتار، ۱۳۹۹).



شکل ۱. موقعیت منطقه پژوهش در ایران و استان گیلان

روش پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-تحلیلی مبتنی بر سنجش از دور، GIS و یادگیری ماشین است. هدف پژوهش، مقایسه دو روش آستانه‌گذاری NDVI و تحلیل تصویر شیء‌گرا (OBIA) همراه با الگوریتم Random Forest برای استخراج پهنه‌های سیلابی حوضه کرگانرود است. داده‌های استفاده‌شده شامل تصاویر Sentinel-2 مربوط به سیلاب ۲۹ شهریور ۱۳۹۹، DEM، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی و بافت خاک است. پس از پیش‌پردازش تصاویر، شاخص‌های NDVI و NDMI و در مجموع ۱۴ متغیر محیطی استخراج و همه داده‌ها به تفکیک مکانی ۳۰ متر استاندارد شدند. در روش اول، مقادیر مختلف NDVI بررسی و با استفاده از نقاط مرجع، آستانه $NDVI \leq -0.05$ به‌عنوان مقدار بهینه انتخاب شد. در روش دوم، تصویر با الگوریتم SLIC قطعه‌بندی و برای هر شیء ویژگی‌های طیفی، هندسی، آماری، بافتی و محیطی استخراج شد؛ سپس با

استفاده از Random Forest اشیای سیلابی و غیرسیلابی طبقه‌بندی شدند. برای آموزش و ارزیابی، ۱۹۴ نقطه مرجع شامل ۱۰۰ نقطه سیلابی و ۹۴ نقطه غیرسیلابی به داده‌های آموزش و آزمون تقسیم شدند. عملکرد دو روش با شاخص‌های دقت کلی، کاپا، Precision، Recall و F1 و همچنین از نظر کیفیت فضایی و پیوستگی پهنه‌های سیلابی مقایسه شد. همه مراحل با استفاده از پایتون و GIS انجام گرفت

یافته‌های تحقیق

در این پژوهش، پس از اجرای مراحل پیش‌پردازش داده‌های مکانی و سنجش از دور، مجموعه‌ای از لایه‌های محیطی مؤثر بر وقوع سیلاب شامل عوامل توپوگرافی، هیدرولوژیکی، اقلیمی، پوشش زمین و ویژگی‌های سطح زمین تهیه و در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی استانداردسازی شدند. همه لایه‌ها به سیستم مختصات UTM Zone 39N منتقل شده و با اندازه سلول ۳۰ متر به یک سیستم داده مکانی یکپارچه تبدیل شدند. برای آموزش و ارزیابی مدل‌ها از داده‌های رخداد سیلاب ۲۹ شهریور ۱۳۹۹ استفاده شد. در مجموع ۱۹۴ نقطه مرجع استخراج شد که شامل ۱۰۰ نقطه سیلابی و ۹۴ نقطه غیرسیلابی بود. این نقاط به‌عنوان داده‌های مرجع برای ارزیابی عملکرد روش‌های استخراج پهنه سیلاب استفاده شدند.

جدول ۱. توزیع نقاط مرجع استفاده‌شده در ارزیابی مدل‌ها

کلاس	تعداد نقاط	درصد
سیلابی	۱۰۰	۵۱/۵۵
غیرسیلابی	۹۴	۴۸/۴۵
مجموع	۱۹۴	۱۰۰

در روش بصری، به‌منظور شناسایی اولیه پهنه‌های تحت تأثیر سیلاب، از شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شد. انتخاب این شاخص بر این اساس انجام گرفت که وقوع سیلاب می‌تواند موجب تغییر در وضعیت پوشش گیاهی، کاهش بازتابش مادون قرمز نزدیک و در نتیجه کاهش مقادیر NDVI در سطح زمین شود. بنابراین انتظار می‌رود مناطق متأثر از آب‌گرفتگی و سیلاب نسبت به مناطق مجاور، مقادیر کمتری از NDVI داشته باشند. در این مرحله، ابتدا مقادیر NDVI استخراج‌شده از تصویر ماهواره‌ای منطقه پژوهش بررسی و دامنه تغییرات آن تحلیل شد. سپس به‌منظور تعیین مناسب‌ترین مقدار آستانه برای تفکیک مناطق سیلابی و غیرسیلابی، مقادیر مختلف آستانه در دامنه مدنظر آزمون شد. عملکرد هر آستانه با استفاده از نقاط مرجع رخداد سیلاب ۲۹ شهریور ۱۳۹۹ ارزیابی و مقدار آستانه دارای بیشترین توانایی در تفکیک کلاس‌های سیلابی و غیرسیلابی داشت، به‌عنوان مقدار بهینه انتخاب شد. بر اساس نتایج حاصل از آزمون آستانه‌ها، مقدار $NDVI \leq -0/05$ به‌عنوان بهترین آستانه برای استخراج پهنه‌های سیلابی تعیین شد. در این طبقه‌بندی، پیکسل‌های دارای مقادیر NDVI کمتر یا مساوی مقدار آستانه، مناطق دارای احتمال وقوع سیلاب در نظر گرفته شدند، درحالی که پیکسل‌های با مقادیر بیشتر از این در طبقه غیرسیلابی قرار گرفتند. در نهایت، با اعمال این قانون تصمیم‌گیری، نقشه دودویی شامل دو کلاس سیلابی (کد ۱) و غیرسیلابی (کد ۰) تولید شد. نتایج طبقه‌بندی نشان داد که روش آستانه‌گذاری NDVI تعداد ۶۰۰۹۰۵ پیکسل را در طبقه سیلابی قرار داده است. با توجه به اندازه سلول ۳۰ متر، مساحت پهنه استخراج‌شده توسط این روش برابر با ۵۴۰/۸۱ کیلومتر مربع محاسبه شد. این مقدار نشان‌دهنده گستردگی زیاد مناطق دارای مقادیر کم NDVI در محدوده حوضه آبریز کرگانرود است (جدول ۲).

ماتریس خطای حاصل از مقایسه نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، از مجموع ۱۰۰ نقطه واقعی سیلابی، ۹۶ نقطه به‌درستی توسط روش NDVI شناسایی شده و تنها چهار نقطه به‌اشتباه در طبقه غیرسیلابی قرار گرفته‌اند. این موضوع نشان‌دهنده توانایی به‌نسبت مناسب روش NDVI در شناسایی حضور آب و تغییرات ناشی از سیلاب است. با این حال، از مجموع ۹۴ نقطه غیرسیلابی، هیچ نقطه‌ای به‌درستی در طبقه غیرسیلابی قرار نگرفته و همه آنها به‌عنوان سیلاب طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۲. مشخصات نقشه پهنه‌بندی سیلاب حاصل از روش آستانه‌گذاری NDVI

مقدار	شاخص
NDVI	شاخص استفاده‌شده
-۰/۰۵	مقدار آستانه پهنه
۳۰ متر	اندازه سلول خروجی
۶۰۰۹۰۵	تعداد پیکسل سیلابی
۳۱۵۷۰۳	تعداد پیکسل غیرسیلابی
۵۴۰/۸۱ کیلومتر مربع	مساحت پهنه سیلابی استخراج‌شده
نقشه دودویی (سیلاب/غیرسیلاب)	نوع خروجی

جدول ۳. ماتریس خطای روش آستانه‌گذاری NDVI

کلاس واقعی	پیش‌بینی غیرسیلاب	پیش‌بینی سیلاب
غیرسیلاب	۰	۹۴
سیلاب	۴	۹۶

بر اساس ماتریس خطا، شاخص‌های آماری ارزیابی شامل دقت کلی، ضریب کاپا، صحت، حساسیت و امتیاز F1 محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. شاخص‌های ارزیابی دقت روش NDVI

مقدار	شاخص ارزیابی
۰/۴۹۵	دقت کلی (Overall Accuracy, OA)
-۰/۰۴۱	ضریب کاپا (Kappa Coefficient)
۰/۵۰۵	صحت یا دقت پیش‌بینی (Precision)
۰/۹۶۰	حساسیت یا نرخ کشف (Recall / Sensitivity)
۰/۶۶۲	امتیاز افیک (F1-score)

نتایج ارزیابی نشان داد که روش NDVI دارای حساسیت زیاد (دقت کلی=۰/۴۹۵) در شناسایی مناطق سیلابی است؛ به این معنا که بخش عمده‌ای از نقاط دارای رخداد واقعی سیلاب توسط این روش شناسایی شده‌اند. با این حال، مقدار کم (ضریب کاپا=-۰/۰۴۱) نشان می‌دهد که تعداد زیادی از مناطق طبقه‌بندی‌شده به عنوان سیلاب در واقع فاقد رخداد سیلاب بوده‌اند. همچنین مقدار ضریب کاپا برابر با -۰/۰۴۱ بیانگر نبود توافق مناسب بین نتایج طبقه‌بندی NDVI و داده‌های مرجع است. مقدار منفی کاپا نشان می‌دهد که توافق مشاهده‌شده حتی از یک طبقه‌بندی تصادفی نیز کمتر بوده است.

در مرحله بعد، به منظور افزایش دقت شناسایی پهنه‌های سیلابی، از رویکرد تحلیل تصویر مبتنی بر شیء استفاده شد. نتایج طبقه‌بندی نشان داد (جدول ۵) که از مجموع ۴۴۶۳ شیء ایجادشده، ۱۲۵۸ شیء در طبقه سیلابی و ۳۲۰۵ شیء در طبقه غیرسیلابی قرار گرفتند. پس از اعمال خروجی مدل و تبدیل نقشه شیء‌گرا به قالب رستری با اندازه سلول ۳۰ متر، تعداد پیکسل‌های مربوط به مناطق سیلابی استخراج و مساحت نهایی پهنه سیلابی محاسبه شد. بر اساس نتایج، تعداد ۲۶۶۹۵۴ پیکسل در طبقه سیلابی قرار گرفت که با توجه به اندازه سلول ۳۰ متر، مساحت پهنه سیلابی استخراج‌شده توسط روش OBIA برابر با ۲۴۰/۲۶ کیلومتر مربع محاسبه شد.

به منظور ارزیابی عملکرد روش شیء‌گرا، نقشه نهایی حاصل از مدل با داده‌های مرجع مستقل مربوط به رخداد سیلاب ۲۹ شهریور ۱۳۹۹ مقایسه شد. مقادیر طبقه‌بندی‌شده نقشه OBIA در محل نقاط مرجع استخراج و با کلاس واقعی آنها مقایسه شد. نتایج ماتریس خطا نشان داد (جدول ۶) که روش OBIA توانسته است بخش بزرگی از مناطق واقعی سیلابی را به درستی شناسایی کند. از مجموع ۱۰۰ نقطه سیلابی، ۹۷ نقطه به درستی در طبقه سیلابی قرار گرفتند و تنها ۳ نقطه به اشتباه در طبقه

غیرسیلابی طبقه‌بندی شدند. همچنین از مجموع ۹۴ نقطه غیرسیلابی، ۸۴ نقطه به درستی شناسایی شده و تنها ۱۰ نقطه به عنوان سیلاب اشتباه تشخیص داده شدند.

جدول ۵. مشخصات خروجی استخراج پهنه سیلابی با روش OBIA

مقدار	شاخص
Multiresolution Segmentation	روش قطعه‌بندی
۴۴۶۳	تعداد کل اشیای ایجاد شده
۱۲۵۸	تعداد اشیای سیلابی
۳۲۰۵	تعداد اشیای غیرسیلابی
Random Forest	الگوریتم طبقه‌بندی
۳۰ متر	اندازه سلول خروجی
۲۶۶۹۵۴	تعداد پیکسل‌های سیلابی
۲۴۰/۲۶ کیلومتر مربع	مساحت پهنه سیلابی استخراج شده

جدول ۶. ماتریس خطای روش OBIA

کلاس واقعی	پیش‌بینی غیرسیلاب	پیش‌بینی سیلاب
غیرسیلاب	۸۴	۱۰
سیلاب	۳	۹۷

بر اساس ماتریس خطا، شاخص‌های ارزیابی شامل دقت کلی، ضریب کاپا، صحت، حساسیت و امتیاز F1 محاسبه شد (جدول ۷). نتایج ارزیابی نشان داد که مدل OBIA از قابلیت خوبی در تفکیک مناطق سیلابی برخوردار است. مقدار دقت کلی ۰/۹۳۳ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۶۶ بیانگر توافق بسیار خوب بین نتایج مدل و داده‌های مرجع است. همچنین مقدار زیاد حساسیت (۰/۹۷۰) نشان می‌دهد که مدل توانسته است بیشتر مناطق دارای رخداد واقعی سیلاب را شناسایی کند. مقدار مناسب صحت (۰/۹۰۷) نیز بیانگر آن است که بخش بزرگی از مناطق شناسایی شده به عنوان سیلاب، واقعاً دارای رخداد سیلاب بوده‌اند. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که استفاده از رویکرد شیء‌گرا همراه با داده‌های راداری Sentinel-1 و الگوریتم جنگل تصادفی، توانایی زیادی در کاهش خطاهای طبقه‌بندی و تولید نقشه دقیق پهنه‌های سیلابی در حوضه آبریز کرگنرود دارد.

جدول ۷. شاخص‌های ارزیابی دقت روش OBIA

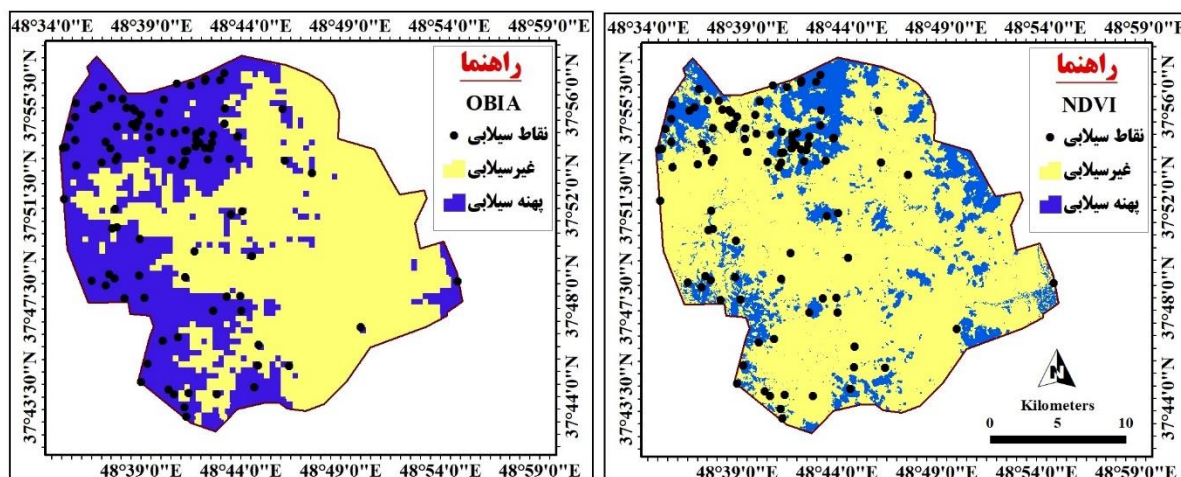
مقدار	شاخص ارزیابی
۰/۹۳۳	دقت کلی (Overall Accuracy, OA)
۰/۸۶۶	ضریب کاپا (Kappa Coefficient)
۰/۹۰۷	صحت (Precision)
۰/۹۷۰	حساسیت (Recall)
۰/۹۳۷	امتیاز F1 (F1-score)

مقایسه نتایج نشان داد که دو روش از نظر توانایی تفکیک مناطق سیلابی و میزان تطابق با داده‌های مرجع، تفاوت زیادی دارند. نتایج حاصل از روش آستانه‌گذاری NDVI نشان داد که این روش با وجود قابلیت مناسب در شناسایی مناطق دارای رخداد سیلاب، به دلیل استفاده از تنها یک شاخص طیفی، موجب بیش‌برآورد چشمگیر پهنه‌های سیلابی شده است. در این روش، مساحت پهنه سیلابی استخراج شده ۵۴۰/۸۱ کیلومتر مربع به دست آمد. همچنین ارزیابی دقت نشان داد که دقت کلی این روش ۴۹/۵ درصد و ضریب کاپا ۰/۴۱- است. مقدار زیاد حساسیت (۹۶ درصد) بیانگر توانایی مناسب روش NDVI در شناسایی مناطق سیلابی واقعی است، اما مقدار کم صحت (۵/۵ درصد) نشان داد که بخش بزرگی از مناطق طبقه‌بندی شده به عنوان سیلاب در واقع غیرسیلابی بوده‌اند. این موضوع نشان‌دهنده ایجاد خطاهای مثبت کاذب و تمایل روش NDVI به گسترش بیش

از حد محدوده سیلابی است. در مقابل، روش شیء‌گرا (OBIA) عملکرد بسیار مطلوب‌تری در استخراج پهنه‌های سیلابی نشان داد. این روش با بهره‌گیری همزمان از ویژگی‌های طیفی، آماری، بافتی و هندسی اشیاء و استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی، توانست مرزهای مکانی مناطق سیلابی را با دقت بیشتری تفکیک کند. مساحت پهنه سیلابی استخراج‌شده توسط این روش ۲۴۰/۲۶ کیلومتر مربع به دست آمد که نسبت به روش NDVI حدود ۳۰۰/۵۵ کیلومتر مربع کمتر است. این اختلاف نشان می‌دهد که روش OBIA توانسته است بسیاری از مناطق دارای شباهت طیفی با سیلاب، مانند اراضی کشاورزی مرطوب، خاک‌های بدون پوشش و سطوح دارای رطوبت بالا را از پهنه‌های واقعی سیلاب تفکیک کند. ارزیابی کمی روش OBIA نیز برتری این رویکرد را تأیید کرد. این روش به دقت کلی ۹۳/۳ درصد، ضریب کاپای ۰/۸۶۶، صحت ۹۰/۷ درصد، حساسیت ۹۷ درصد و امتیاز F1 برابر با ۹۳/۷ درصد دست یافت. مقایسه این مقادیر با نتایج روش NDVI نشان داد که استفاده از اطلاعات چندبعدی در چارچوب تحلیل شیء‌گرا، موجب کاهش خطاهای طبقه‌بندی و افزایش قابلیت اعتماد نقشه نهایی پهنه سیلابی شده است. به‌طور کلی، نتایج نشان داد (شکل ۲) که هر دو روش توانایی شناسایی مناطق تحت تأثیر سیلاب را دارند، اما تفاوت اصلی در میزان تفکیک مناطق سیلابی از سطوح مشابه دیگر است. روش NDVI به دلیل ماهیت ساده و مبتنی بر یک شاخص منفرد، بیشتر برای شناسایی اولیه مناطق مشکوک به سیلاب مناسب است؛ اما روش OBIA با ترکیب اطلاعات راداری، ویژگی‌های مکانی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، توانایی بیشتری در تولید نقشه‌های دقیق و قابل اتکا از پهنه‌های سیلابی دارد. بنابراین در حوضه آبریز کرگانرود، رویکرد شیء‌گرا به‌عنوان روش کارآمدتر برای پهنه‌بندی دقیق سیلاب معرفی می‌شود.

نقشه حاصل از روش OBIA پراکنش مکانی محدودتر و منسجم‌تری از مناطق سیلابی را نشان داد. این روش با استفاده از اطلاعات راداری Sentinel-1، ویژگی‌های بافتی و هندسی اشیاء و همچنین الگوریتم جنگل تصادفی، توانست تفاوت میان سطوح آب‌گرفته و سایر سطوح مشابه را بهتر تشخیص دهد. در نتیجه، پهنه‌های استخراج‌شده توسط OBIA بیشتر در امتداد مسیر رودخانه‌ها، دشت‌های سیلابی، مناطق کم‌ارتفاع و نواحی دارای شرایط مساعد برای تجمع رواناب متمرکز شدند.

بررسی تطابق فضایی دو نقشه نشان داد که بخش بزرگی از پهنه‌های شناسایی‌شده توسط OBIA در محدوده‌های استخراج‌شده توسط NDVI نیز قرار دارند؛ با این حال، بخش عمده‌ای از مناطق شناسایی‌شده توسط NDVI در نقشه OBIA تأیید نشده‌اند. این اختلاف بیانگر آن است که روش NDVI در تشخیص اولیه مناطق دارای تغییرات سطحی پس از سیلاب عملکرد مناسبی دارد، اما در تفکیک دقیق مرزهای سیلاب از سایر سطوح مشابه با محدودیت مواجه است.



شکل ۲. نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه کرگانرود (روش‌های OBIA و NDVI)

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که روش بصری مبتنی بر آستانه‌گذاری شاخص NDVI و رویکرد تحلیل تصویر مبتنی بر شیء همراه با الگوریتم Random Forest، عملکرد متفاوتی در استخراج پهنه‌های سیلابی حوضه آبریز کرگانرود دارند. روش NDVI

اگرچه توانست بخش عمده مناطق سیلابی واقعی را شناسایی کند، اما به دلیل اتکا به یک شاخص طیفی، در تفکیک دقیق مناطق سیلابی از بقیه عوارض دارای ویژگی‌های طیفی مشابه با محدودیت مواجه شد. این موضوع در شاخص‌های ارزیابی نیز قابل مشاهده است؛ به گونه‌ای که مقدار زیاد حساسیت ($\text{Recall}=96\%$) نشان‌دهنده توانایی مناسب این روش در شناسایی اغلب مناطق سیلابی است، اما مقدار کم صحت ($\text{Precision}=50.5\%$) و ضریب کاپا (-0.041) بیانگر آن است که بخش بزرگی از مناطق غیرسیلابی نیز به اشتباه در طبقه سیلاب قرار گرفته‌اند. در نتیجه، این روش با برآورد مساحت 540.81 کیلومتر مربع، گستره سیلاب را بیش از مقدار واقعی برآورد کرده است.

دلیل اصلی این بیش‌برآورد را می‌توان در ماهیت شاخص NDVI جست‌وجو کرد. این شاخص تنها بر تغییرات پوشش گیاهی استوار است و توانایی تفکیک کامل آب از عوارضی مانند خاک‌های مرطوب، اراضی فاقد پوشش گیاهی، سایه‌های توپوگرافی و برخی کاربری‌های دارای بازتاب طیفی مشابه را ندارد. از این‌رو، در مناطق دارای ناهمگنی محیطی، استفاده از یک شاخص طیفی منفرد نمی‌تواند مرز واقعی پهنه‌های سیلابی را با دقت مطلوب مشخص کند. بنابراین روش NDVI به دلیل سادگی، سرعت اجرا و نیاز اندک به داده‌های آموزشی برای شناسایی اولیه مناطق سیلابی مناسب است، اما برای تهیه نقشه‌های دقیق پهنه سیلابی دچار محدودیت‌های زیادی است.

در مقابل، رویکرد تحلیل تصویر مبتنی بر شیء همراه با الگوریتم Random Forest عملکرد بسیار بهتری نسبت به روش NDVI نشان داد. این روش با دستیابی به دقت کلی $93/3\%$ درصد، ضریب کاپای 0.866 ، صحت $90/7\%$ درصد و امتیاز $F1$ برابر با $93/7\%$ درصد، توانست پهنه‌های سیلابی را با دقت بیشتری استخراج کند. همچنین، مساحت برآوردشده توسط این روش (240.26 کیلومتر مربع) اختلاف زیادی با نتایج روش NDVI داشت که بیانگر کاهش خطاهای ناشی از بیش‌برآورد مناطق سیلابی است. برتری این رویکرد را می‌توان به استفاده همزمان از ویژگی‌های طیفی، بافتی، هندسی و روابط مکانی اشیاء، همراه با چهارده متغیر محیطی شامل عوامل توپوگرافی، هیدرولوژیکی، اقلیمی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و بافت خاک نسبت داد. تلفیق این اطلاعات سبب شد که مدل، عوارض دارای شباهت طیفی را با دقت بیشتری از پهنه‌های سیلابی واقعی تفکیک کند.

یافته‌های این پژوهش با نتایج چن و همکاران (2021) و شن و همکاران (2019) همخوانی دارد. این پژوهشگران نیز گزارش کردند که روش‌های مبتنی بر آستانه‌گذاری شاخص‌های طیفی، اگرچه از نظر سرعت اجرا و سادگی کاربرد مزیت دارند، در محیط‌های دارای پیچیدگی توپوگرافی و تنوع کاربری اراضی، با افزایش خطاهای طبقه‌بندی و کاهش دقت مواجه می‌شوند. نتایج پژوهش حاضر نیز این موضوع را تأیید می‌کند؛ زیرا روش NDVI نتوانست میان پهنه‌های آب، خاک‌های مرطوب و پوشش گیاهی آسیب‌دیده تمایز کافی ایجاد کند و در نتیجه دچار بیش‌برآورد مساحت سیلاب شد.

نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های گاشپاروویچ و کلوبوچار (2021) و ژانگ و همکاران (2021) نیز مطابقت دارد. این پژوهش‌ها نشان دادند که استفاده از تحلیل تصویر مبتنی بر شیء، به دلیل بهره‌گیری از اطلاعات طیفی، بافتی، هندسی و روابط مکانی، نسبت به روش‌های پیکسل‌مبنا دقت بیشتری در استخراج پهنه‌های سیلابی ایجاد می‌کند. اگرچه در آن پژوهش‌ها از داده‌های متفاوتی استفاده شده است، وجه مشترک آنها با پژوهش حاضر، نقش مؤثر تحلیل شیء‌گرا در کاهش خطاهای طبقه‌بندی و افزایش دقت تفکیک مناطق سیلابی است. در پژوهش حاضر نیز افزون بر ویژگی‌های شیء‌گرا، استفاده همزمان از چهارده متغیر محیطی در الگوریتم Random Forest موجب افزایش توان تفکیک مدل و بهبود نتایج طبقه‌بندی شد.

نتایج این پژوهش با تحقیقات جمالی و همکاران (2024) و توما، شاندریک و میهای (2024) نیز همسو است. این پژوهشگران نشان دادند که استفاده از روش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین و یادگیری عمیق نسبت به روش‌های سنتی، دقت بیشتری در استخراج پهنه‌های سیلابی ایجاد می‌کند. اگرچه پژوهش حاضر از الگوریتم جنگل تصادفی استفاده کرده است، درحالی که پژوهش‌های مذکور از شبکه‌های عصبی عمیق بهره برده‌اند، در هر دو حالت استفاده از اطلاعات چندبعدی و روش‌های هوشمند موجب افزایش دقت طبقه‌بندی نسبت به روش‌های مبتنی بر یک شاخص طیفی شده است.

در پژوهش‌های داخلی نیز نتایج این پژوهش با یافته‌های رحیم‌پور و همکاران (1402)، محمدی و همکاران (1401)، ابراهیمی و ایلالو (1403) و سلیمانی، ایلالو و غروب (1405) همخوانی دارد. این پژوهش‌ها اغلب بر پهنه‌بندی خطر سیلاب و

مدل‌سازی هیدرولوژیکی تمرکز داشته‌اند، اما همگی بر اهمیت تلفیق عوامل محیطی متعدد در افزایش دقت تحلیل‌های مرتبط با سیلاب تأکید کرده‌اند. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد که ترکیب متغیرهای توپوگرافی، اقلیمی، هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی در چارچوب یک مدل شیء‌گرا مبتنی بر Random Forest، نسبت به استفاده از یک شاخص طیفی منفرد، برآورد دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تری از گستره سیلاب ارائه می‌دهد.

در مجموع، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که روش استخراج پهنه‌های سیلابی باید متناسب با هدف پژوهش و شرایط منطقه انتخاب شود. در پژوهش‌هایی که سرعت تهیه نقشه اهمیت بیشتری دارد، روش‌های مبتنی بر شاخص‌های طیفی می‌توانند گزینه مناسبی باشند؛ اما در تحقیقاتی که دقت مکانی و کاهش خطاهای طبقه‌بندی اهمیت بیشتری دارد، استفاده از رویکردهای شیء‌گرا همراه با الگوریتم‌های یادگیری ماشین و تلفیق متغیرهای محیطی، نتایج قابل اعتمادتر و دقیق‌تری ارائه خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف مقایسه عملکرد روش بصری مبتنی بر آستانه‌گذاری شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) و رویکرد تحلیل تصویر مبتنی بر شیء (OBIA) همراه با الگوریتم Random Forest در استخراج پهنه‌های سیلابی حوضه آبریز کرگانرود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 انجام گرفت. نتایج نشان داد که روش مبتنی بر NDVI به دلیل سادگی، سرعت اجرا و نیاز اندک به داده‌های آموزشی، توانایی مناسبی در شناسایی اولیه مناطق سیلابی دارد، اما اتکای آن به یک شاخص طیفی موجب بیش‌برآورد گستره سیلاب و افزایش خطاهای طبقه‌بندی، به‌ویژه در مناطق دارای پوشش گیاهی، خاک‌های مرطوب و کاربری‌های متنوع می‌شود. در مقابل، رویکرد شیء‌گرا مبتنی بر Random Forest با بهره‌گیری همزمان از ویژگی‌های طیفی، بافتی، هندسی و چهارده متغیر محیطی، توانست پهنه‌های سیلابی را با دقت بیشتری استخراج کند و شاخص‌های ارزیابی صحت به‌مراتب بالاتری نسبت به روش NDVI به دست آورد. مقایسه نتایج دو رویکرد نشان داد که برتری روش شیء‌گرا فقط ناشی از فرایند قطعه‌بندی تصویر نیست، بلکه تلفیق اطلاعات چندمنبعی و استفاده از الگوریتم Random Forest نقش مؤثری در افزایش قدرت تفکیک مناطق سیلابی از بقیه عوارض دارای شباهت طیفی داشته است. این موضوع بیانگر آن است که استفاده همزمان از ویژگی‌های مکانی، هندسی، بافتی و عوامل محیطی، می‌تواند محدودیت‌های روش‌های مبتنی بر یک شاخص طیفی را تا حد زیادی برطرف کند و دقت نقشه‌های سیلابی را بهبود بخشد.

از یافته‌های این پژوهش می‌توان در تهیه نقشه‌های دقیق سیلاب، مدیریت بحران، برنامه‌ریزی کاربری اراضی، کاهش خسارات ناشی از سیلاب و پشتیبانی از تصمیم‌گیری مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب استفاده کرد. با این حال، نتایج پژوهش به یک رخدادهای سیلاب و یک حوضه آبریز محدود است؛ بنابراین ارزیابی عملکرد این رویکرد در رخدادهای سیلابی متعدد، حوضه‌های آبریز با شرایط محیطی متفاوت و همچنین بررسی دیگر الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق می‌تواند زمینه توسعه و تعمیم نتایج این پژوهش را در پژوهش‌های آینده فراهم کند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت کرده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در مقاله به‌شکل زیر است:

نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، اجرای آزمایش و گردآوری داده‌ها

نویسنده دوم: محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه مقاله

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر حمایت مالی نداشته است.

همانند جویی

نتیجه همانند جویی مقاله از سمیم نور برابر با ۱/۵ درصد است.

منابع

- ابراهیمی، لیلا؛ و ایانلو، مریم (۱۴۰۳). پهنه‌بندی وقوع سیلاب حوضه زهکشی شهرستانک با استفاده از مدل هیدرولوژیکی WMS و تلفیق GIS. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۱ (۱)، ۱۵-۲۹. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2024.374472.824.29-15>
- حائری، ساناز؛ و مثنوی، محمدرضا (۱۴۰۲). تحلیل راهبردهای بهسازی اکولوژیک منظر رودخانه خشک شیراز در چارچوب توسعه پایدار شهری با تأکید بر مدیریت مخاطرات سیلاب. مدیریت مخاطرات طبیعی، ۱۰ (۱)، ۷۱-۹۰. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2023.356409.771>
- حاجی‌کریمی، زهرا؛ شایان، سیاوش؛ و خوش‌رفتار، رضا (۱۳۹۹). ارزیابی تکنیک فعال حوضه آبریز کرگانرود در دامنه شرقی تالش (بغروداغ) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک. پژوهش‌های ژئومورفولوژیک، ۹ (۱)، ۲۱۷-۲۳۶. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2020.109989>
- رحیم‌پور، توحید؛ رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سیداسدالله؛ و خلیل‌ولی‌زاده، کامران (۱۴۰۲). تحلیل تغییرات فضایی حساسیت خطر وقوع سیل بر پایه نوعی مدل ترکیبی نوین (مطالعه موردی: حوضه آبریز الوندچای، شهرستان خوی). مدیریت مخاطرات طبیعی، ۸ (۴)، ۳۷۱-۳۹۳. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2022.335204.692>
- سلیمانی، بهناز؛ ایانلو، مریم؛ و غروب، مجید (۱۴۰۵). شبیه‌سازی و پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب با تلفیق مدل‌های WMS و HEC-RAS (مطالعه موردی: شهرستان سوادکوه). کوهپدولوژی، ۱۳ (۱)، ۱۲۲۰-۱۲۴۰. <https://doi.org/10.22059/ije.2026.411871.1908>
- گنجی‌گوهری، فاطمه؛ نظری‌پور، حمید؛ پودینه، محمدرضا؛ حمیدیان‌پور، محسن؛ قائمی، علیرضا؛ و تیموری، رضا (۱۴۰۵). روش خودکار برای انتخاب رویدادهای سیلاب و شناسایی ویژگی‌های آن‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کاجو، ایران). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۵ (۲)، ۱-۲۶. <https://doi.org/10.22067/geoh.2026.97442.1642.26-1>
- محمدی، میرعلی؛ ابراهیم‌نژادیان، حمزه؛ عسگرخان‌مسکن، محسن؛ و وزیری، ونوس (۱۴۰۱). ارزیابی عملکرد مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی HEC-RAS در تعیین پهنه سیلابی رودخانه‌ها. علوم آب و خاک، ۲۶ (۲)، ۱۸۷-۲۰۱. <https://doi.org/10.47176/jwss.26.2.43941>
- Antzoulatos, G., Kouloglou, I.O., Bakratsas, M., Moutmtzidou, A., Gialampoukidis, I., Karakostas, A., Lombardo, F., Fiorin, R., Norbiato, D., Ferri, M., Symeonidis, A., Vrochidis, S., & Kompatsiaris, I. (2022). Flood hazard and risk mapping by applying an explainable machine learning framework using satellite imagery and GIS data. *Sustainability*, 14(6), 3251. <https://doi.org/10.3390/su14063251>
- Bayik, C., Abdikan, S., Ozbulak, G., Alasag, T., Aydemir, S., & Balik Sanli, F. (2018). Exploiting multi-temporal Sentinel-1 SAR data for flood extent mapping. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-3/W4*, 109-113. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W4-109-2018>
- Bonafilia, D., Tellman, B., Anderson, T., & Issenberg, E. (2020). Sen1Floods11: A georeferenced dataset to train and test deep learning flood algorithms for Sentinel-1. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 210-211.
- Cao, H., Zhang, H., Wang, C., & Zhang, B. (2019). Operational flood detection using Sentinel-1 SAR data over large areas. *Water*, 11(4), 786. <https://doi.org/10.3390/w11040786>
- Carreño Conde, F., & De Mata Muñoz, M. (2019). Flood monitoring based on the study of Sentinel-1 SAR images: The Ebro River case study. *Water*, 11(12), 2454. <https://doi.org/10.3390/w11122454>
- Chakma, P., & Akter, A. (2021). Flood mapping in the coastal region of Bangladesh using Sentinel-1 SAR images: A case study of Super Cyclone Amphan. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 7(3), 267-278. <https://doi.org/10.22146/jcef.64497>
- Chen, S., Huang, W., Chen, Y., & Feng, M. (2021). An adaptive thresholding approach toward rapid flood coverage extraction from Sentinel-1 SAR imagery. *Remote Sensing*, 13(23), 4899. <https://doi.org/10.3390/rs13234899>
- Colacicco, R., Refice, A., Nutricato, R., Bovenga, F., Caporusso, G., D'Addabbo, A., La Salandra, M., Lovergine, F. P., Nitti, D. O., & Capolongo, D. (2024). High-resolution flood monitoring based on advanced statistical modeling of Sentinel-1 multi-temporal stacks. *Remote Sensing*, 16(2), 294. <https://doi.org/10.3390/rs16020294>
- Drakonakis, G. I., Tsagkatakis, G., Fotiadou, K., & Tsakalides, P. (2022). OmbriaNet—Supervised flood mapping via convolutional neural networks using multi-temporal Sentinel-1 and Sentinel-2 data fusion. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 2341-2356. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3155559>
- Gašparović, M., & Klobučar, D. (2021). Mapping floods in lowland forest using Sentinel-1 and Sentinel-2 data and an object-based approach. *Forests*, 12(5), 553. <https://doi.org/10.3390/f12050553>

- Halder, S., & Bose, S. (2024). Sustainable flood hazard mapping with GLOF: A Google Earth Engine approach. *Natural Hazards Research*. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2024.01.002>
- Hao, C., Yunus, A. P., Subramanian, S. S., & Avtar, R. (2021). Basin-wide flood depth and exposure mapping from SAR images and machine learning models. *Journal of Environmental Management*, 297, 113367. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113367>
- Hardy, A., Ettritch, G., Cross, D., Bunting, P., Liywalii, F., Sakala, J., Silumesii, A., Singini, D., Smith, M., Willis, T., & Thomas, C. J. (2019). Automatic detection of open and vegetated water bodies using Sentinel-1 to map African malaria vector mosquito breeding habitats. *Remote Sensing*, 11(5), 593. <https://doi.org/10.3390/rs11050593>
- Huang, Z., Wu, W., Liu, H., Zhang, W., & Hu, J. (2021). Identifying dynamic changes in water surface using Sentinel-1 data based on genetic algorithm and machine learning techniques. *Remote Sensing*, 13(18), 3745. <https://doi.org/10.3390/rs13183745>
- Jamali, A., Kumar Roy, S., Hashemi Beni, L., Pradhan, B., Li, J., & Ghamisi, P. (2024). Residual wave vision U-Net for flood mapping using dual polarization Sentinel-1 SAR imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 127, 103662. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103662>
- Jiang, X., Liang, S., He, X., Ziegler, A. D., Lin, P., Pan, M., Wang, D., Zou, J., Hao, D., Mao, G., Zeng, Y., Yin, J., Feng, L., Miao, C., Wood, E. F., & Zeng, Z. (2021). Rapid and large-scale mapping of flood inundation via integrating spaceborne synthetic aperture radar imagery with unsupervised deep learning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 178, 36–50. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.05.019>
- Markert, K. N., Markert, A. M., Mayer, T., Nauman, C., Haag, A., Poortinga, A., Bhandari, B., Thwal, N. S., Kunlmai, T., Chishtie, F., Kwant, M., Phongsapan, K., Clinton, N., Towashiraporn, P., & Saah, D. (2020). Comparing Sentinel-1 surface water mapping algorithms and radiometric terrain correction processing in Southeast Asia utilizing Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(15), 2469. <https://doi.org/10.3390/rs12152469>
- Moghimi, E., Glade, T., Al-Ansari, N., & Shahabi, H. (2025). Floods and new housing design theory to sustain and reduce hazards (A scientific strategy). *Geofluids*, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2025/1234567>
- Schumann, G. J.-P., & Moller, D. K. (2015). Microwave remote sensing of flood inundation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 83–84, 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.05.002>
- Shen, X., Wang, D., Mao, K., Anagnostou, E., & Hong, Y. (2019). Inundation extent mapping by synthetic aperture radar: A review. *Remote Sensing*, 11(7), 879. <https://doi.org/10.3390/rs11070879>
- Toma, A., Şandric, I., & Mihai, B.-A. (2024). Flooded area detection and mapping from Sentinel-1 imagery: Complementary approaches and comparative performance evaluation. *European Journal of Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1080/22797254.2024.24140042>
- Tsyganskaya, V., Martinis, S., Marzahn, P., & Ludwig, R. (2018). Detection of temporary flooded vegetation using Sentinel-1 time series data. *Remote Sensing*, 10(8), 1286. <https://doi.org/10.3390/rs10081286>
- Uddin, M., & Meyer, F. J. (2019). Operational flood mapping using multi-temporal Sentinel-1 SAR images: A case study from Bangladesh. *Remote Sensing*, 11(13), 1581. <https://doi.org/10.3390/rs11131581>
- Wagner, W., Freeman, V., Cao, S., Matgen, P., Chini, M., Salamon, P., McCormick, N., Martinis, S., Bauer-Marschallinger, B., Navacchi, C., Schramm, M., Reimer, C., & Briese, C. (2020). Data processing architectures for monitoring floods using Sentinel-1. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, V-3-2020, 641–648. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-3-2020-641-2020>
- Zhang, M., Chen, F., Liang, D., Tian, B., & Yang, A. (2020). Use of Sentinel-1 GRD SAR images to delineate flood extent in Pakistan. *Sustainability*, 12(14), 5784. <https://doi.org/10.3390/su12145784>
- Zhang, X., Weng Chan, N., Pan, B., Ge, X., & Yang, H. (2021). Mapping flood by the object-based method using backscattering coefficient and interferometric coherence of Sentinel-1 time series. *Science of the Total Environment*, 794, 148388. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148388>