



University of Tehran Press

Environmental

Hazards

Management



Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

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

Remotely Sensed Evaluation of Operation Management of Golestan Dam Reservoir before the Flood

Ghasem Alizadeh¹ | Seiyed Mossa Hosseini^{2*}

1. Undergraduate Student of Environmental Hazards, Physical Geography Department, University of Tehran, P.O. Box 14155-6465, Tehran, Iran. Email: ghasem.alizadeh@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Associate Professor, Physical Geography Department, University of Tehran, P.O. Box 14155-6465, Tehran, Iran. Email: smhosseini@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received 4 Augst 2024
Revised 08 September 2024
Accepted 09 September 2024
Published 10 September 2024

Keywords:
Remote Sensing,
Water Inundation Index,
Flood Hazard,
Gorganrood Basin,
Reservoir Operation Management.

ABSTRACT

Flood hazard is one of the most destructive phenomena that affects human life worldwide. Following the activity of a powerful rainfall system on March 17, 2019, in the Gorganrood basin, a 500-yr flood occurred, and half of the Gorgan city was inundated. This research was conducted to evaluate the operation management of the Golestan Reservoir before the flood. To accomplish this study, the Landsat 8 satellite images in the period of 2002-2023 and Sentinel 2 images one month before and after the flood were processed in the Google Earth Engine (GEE) system. In total, 245 images with monthly resolution were analyzed. Five indices of AWEI_sh, NDWI, AWEInsh, WRI, and MNDWI were used to identify the water inundation area. Results show that the AWEI_sh index had the best performance in terms of a kappa coefficient of 0.985, overall accuracy of 90%, and accuracy of 100%. The results showed that while the Golestan Dam reservoir experienced less than 50% full in 90% of the months (out of 245 months), this reservoir was 68% full two days before the flood. The results of this study revealed that despite the announcement of orange-level warnings by Iran's Meteorological Organization in 5 days before the flood event and also despite the efforts of the dam manager to exhaust the stored water in the reservoir (33 percent empty volume), these actions have not been able to protect the downstream areas of the dam from flooding. Therefore, in addition to the effect of the dam on flood control, it is necessary to revisit the locations of the human settlements downstream of the dams.

Cite this article: Alizadeh, Gh. & Hosseini, S. M. (2024). Remotely Sensed Evaluation of Operation Management of Golestan Dam Reservoir before the Flood. *Environmental Hazards Management*, 11 (2), 133-145. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.380404.835>



© Ghasem Alizadeh, Seiyed Mossa Hosseini **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.380404.835>

Introduction

Hazards include a wide range of environmental events such as storms, floods, earthquakes, and forest fires, as well as human-caused crises such as industrial accidents, pollution, and climate change (Zare & Moghimi, 2023). Effective management of environmental hazards requires a multifaceted approach that integrates scientific understanding, policy initiatives, community participation, and technological innovations. In the meantime, flood is one of the most destructive phenomena that affects human life globally (Kaya & Derin, 2023) and currently follows the effect of global warming on flood occurrence (Wang et al., 2022). Dams and their reservoirs play a complex role in flood events because depending on how they are managed, they can reduce or exacerbate flood risks. In this study, the role of the Golestan Dam reservoir located in the Gorganrood River basin to control the flood event of March 18, 2019, was evaluated using remote sensing techniques.

Materials and Methods

In this research, Landsat Collection 2 Tier 1 satellite images from 2002 to 2023 and Sentinel-2 satellite one month before and after the flood event on 18 March 2019 were used to identify the water area of the Golestan Dam reservoir. The Google Earth Engine (GEE) system is a cloud-based environment to access general spatial data, including environmental variables, meteorology, climate and topography, and land cover (Amani et al., 2020). The Kaggle web platform that provides a customizable user interface called Jupyter Notebooks using the Python programming language (Tamiminia et al., 2020) was used to interpret the obtained results. To reach the results in this research, 5 processing steps were considered: In the first step, remote sensing optical images from the GEE system were processed and finally the required databases were created. In the second stage, the identified indices of water areas including NDWI, AWEIsh, AWEInsh, WRI, and MNDWI were implemented on the databases. In the third step, the accuracy of the indices using the Kappa index, the accuracy coefficient, and the overall accuracy coefficient were used to identify the index with the best performance for the extraction of water areas. In the final step, the analyses were performed on the results of the most accurate index.

Results and Discussion

Golestan Dam reservoir between the years 2002 and 2023 was filled only once on May 4, 2012. This reservoir was observed 34 times with zero active storage (the storage of the reservoir is in dead volume). During the observed period, this reservoir experienced 4 times a storage of more than 70% of the total reservoir storage and 192 times a storage of less than 30%. Also, satellite data show that since about a month before the occurrence of the flood peak, the Golestan reservoir has been in a situation with more than 60% of the reservoir volume during the entire observation period, so that only two days before the occurrence of the peak flood (March 18), the reservoir of the dam Golestan was 70% full.

Conclusion

Effective management of reservoir operations is vital for efficient flood control. The results of this study highlight the importance of reservoir management before occurring the flood event. While the Golestan Dam plays an important role in storing the flood discharge, the downstream flooding of the dam has increased the human risk. For this reason, the authors recommend that special attention should be paid to the issue of environmental hazards in the matter of urban planning and development. Moreover, avoiding the concentration of population in high-flood risk areas and changing the construction process toward safe areas may reduce flood damage.

References

- Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326–5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- Kaya, C. M., & Derin, L. (2023). Parameters and methods used in flood susceptibility mapping: a review. *Journal of Water and Climate Change*, 14(6), 1935–1960. <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.035>
- Moghimi, E. (2015). *Hazards Science (for living with better quality)*, University of Tehran, Iran. ISBN:978-964-03-6659-2
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152–170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- Wang, L., Cui, S., Li, Y., Huang, H., Manandhar, B., Nitivattananon, V., Fang, X., & Huang, W. (2022). A review of the flood management: from flood control to flood resilience. *Heliyon*, 8(11), e11763. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11763>
- Zare, M., & Moghimi, E. (2023). Hazards typology in hazards science (Does hazards science have special types?). *Environmental Management Hazards*, 9(4), 383-390. doi: 10.22059/jhsci.2023.356665.770



بررسی عملکرد مدیریتی سد گلستان پیش از مخاطره سیلاب با استفاده از روش‌های سنجش از دوری

قاسم علیزاده^۱ | سید موسی حسینی^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: ghasem.alizadeh@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: smhosseini@ut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

سیل از مخرب‌ترین پدیده‌هایی است که سلامت انسان را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار می‌دهد. در پی فعالیت سامانه بارشی قدرتمند در ۲۶ اسفند ۱۳۹۷ در حوضه گرگانرود، سیل ۵۰۰ ساله رخ داد و نیمی از شهر گرگان دچار آب‌گرفتگی شد. این تحقیق با هدف پایش مدیریت سد گلستان پیش از وقوع مخاطره سیل در راستای ذخیره حجم سیلاب انجام گرفت. تصاویر ماهواره‌ای Landsat با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، به صورت ماهانه طی دوره زمانی ۲۰۲۳-۲۰۲۲ و تصاویر Sentinel 2 یک ماه پیش و پس از وقوع سیل (با قدرت تفکیک ۱۰ متر و دوره زمانی هفتگی) در سامانه Google Earth Engine (GEE) پردازش شدند. در مجموع ۲۴۵ تصویر در مقیاس ماهانه تجزیه و تحلیل شد. برای شناسایی پهنه‌های آبی از پنج شاخص AWEI_{sh}، NDWI، AWEI_{insh}، WRI و MNDWI استفاده شد. مقایسه نتایج سنجش از دوری با استفاده از معیارهای ارزیابی Z (ضریب کاپا، دقت کلی و دقت نشان می‌دهد که شاخص AWEI_{sh} با ضریب کاپا ۰/۹۸۵، دقت کلی ۹۰ درصد و دقت ۱۰۰ درصد بهترین عملکرد را داشته است. به کمک منحنی حجم-سطح مخزن سد، مقادیر پهنه‌های آبی به دست‌آمده سنجش از دوری به حجم مخزن تبدیل شدند. نتایج نشان داد در حالی که مخزن سد گلستان در ۹۰ درصد ماه‌ها (از ۲۴۵ ماه) کمتر از ۵۰ درصد پر بود، حجم آب در مخزن دو روز قبل از سیل، حدود ۶۷ درصد بود. براساس نتایج، علی‌رغم تلاش مدیر سد برای تخلیه آب ذخیره شده در مخزن (۳۳ درصد حجم خالی)، اقدامات سازه‌ای نتوانسته مناطق پایین‌دستی سد را از آب‌گرفتگی در امان نگه دارد. بنابراین رعایت حریم رودخانه و مکان‌یابی سکونتگاه‌های انسانی در نواحی کم‌ریسک‌تر در پایین‌دست سد گلستان اجتناب‌ناپذیر است.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۶/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۶/۲۰

کلیدواژه:

حوضه آبخیز،

سنجش از دور، سیلاب،

شاخص آب،

مخاطرات،

مدیریت منابع آب.

استناد: علیزاده، قاسم و حسینی، سید موسی (۱۴۰۳). بررسی عملکرد مدیریتی سد گلستان پیش از مخاطره سیلاب با استفاده از روش‌های سنجش از دوری. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۱ (۲).

۱۳۳-۱۴۵

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.380404.835>

© قاسم علیزاده، سید موسی حسینی ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.380404.835>



۱. مقدمه

مخاطرات محیطی (مانند توفان، سیل، زلزله و آتش‌سوزی جنگلی و همچنین بحران‌های ناشی از انسان مانند حوادث صنعتی، آلودگی و تغییرات آب‌وهوایی) جزء جداناپذیر زندگی انسان است که می‌تواند سطح سلامت انسانی و اکوسیستمی را به حداقل برساند [۱۱] و چالش‌های مهمی برای اکوسیستم‌ها، سلامت انسان و ثبات اجتماعی و اقتصادی ایجاد کند [۱۰]. مخاطره سیلاب از مخرب‌ترین پدیده‌هایی است که زندگی انسان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۹]، به‌نحوی که افزون‌بر آثار سوء بر تأسیسات کالبدی و زیرساختی و جان ساکنان شهری، مشکلات روحی نیز برای شهروندان نیز در پی دارد [۲]؛ این در حالی است که تحت تأثیر گرمایش جهانی بر رخداد سیلاب [۲۹] و همچنین گسترش روزافزون پدیده شهرنشینی [۱]، پیش‌بینی می‌شود که رویدادهای شدید بارشی افزایش یابد [۲۸] که در نتیجه تلفات ناشی از پدیده سیلاب نیز افزایش خواهد یافت. با توجه به خسارات زیادی که سیلاب به‌عنوان مهم‌ترین و فراوان‌ترین مخاطره ژئومورفیک در ایران بر جای می‌گذارد [۷]، مدیریت کارآمد مخاطره سیلاب یکی از موارد مهمی است که می‌تواند خطرهای ناشی از این پدیده را تا حد زیادی تعدیل کند [۹].

اصلی‌ترین رویکرد در تدوین برنامه ملی کاهش مخاطره در راستای سند راهبرد ملی مدیریت بحران کشور، افزایش تاب‌آوری و کاهش پیامدها و خطرپذیری حوادث است. در این زمینه، ارزیابی نحوه مدیریت انسانی مخازن سدها در کاهش خطرپذیری مخاطره سیلاب (به‌عنوان دومین مخاطره مورد توجه در سند بعد از زلزله) در نواحی پایین‌دست ضرورت دارد. در ماده ۱۴ قانون مدیریت بحران کشور به‌طور مصرح بر ارزیابی و تحلیل عملکرد دستگاه‌های اجرایی کشور در زمینه کاهش مخاطرات دارایی‌ها و املاک و کاربری‌ها تأکید شده است [۳]. در این زمینه، ارزیابی عملکرد مدیریت سدهای مخزنی در مرحله قبل از وقوع مخاطره سیلاب با تخلیه حجم مخزن به‌منظور ذخیره حداکثری حجم سیلاب ضرورت دارد؛ همان‌طور که رضوی‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) طی پژوهشی به این نتیجه رسیدند که احداث سد کرخه سبب کاهش ۷۸ درصدی پیک‌های سیلابی در ایستگاه‌های پایین‌دست سد شده است [۸]. البته باید در نظر داشت که کارآمدی نقش سازه‌ای سدها در کنترل سیلاب تا حد بسیار زیادی تحت تأثیر پیش‌بینی دقیق هواشناسی [۱۲] و رهاسازی آب مخزن سدها در هنگام مناسب است [۱۴]. همچنین گفتنی است که کنترل سیلاب با استفاده از ظرفیت مخزن سد تابع شرایطی است که باید رعایت شود؛ برای مثال خادمی و همکاران (۱۳۹۸) نتیجه گرفتند که احداث سد البرز در منطقه پاشاکالای بابل توانسته است تا ۴۳ درصد از پیک رویداد سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله بکاهد و دبی خروجی سد در هنگام وقوع سیلاب پایین‌تر از دبی ایمن پایین‌دست تنظیم شود، اما چنین شرایطی مستلزم این است که تا دو روز قبل از رخداد دبی حداکثر، مخزن سد به‌صورت منظم تخلیه شود [۶].

به‌منظور پایش تغییرات حجم آب در مخزن سدها، دو رویکرد در پژوهش‌ها استفاده شده است: ۱. رابطه اشل سطح-حجم مخزن؛ ۲. فنون سنجش و اعمال شاخص‌های آبی برای استخراج مساحت پهنه آبی در پشت سد که به‌تازگی کاربرد یافته است [۲۰]. در صورت استفاده از رویکرد دوم، منحنی اشل-سطح-حجم برای استخراج تغییرات حجم مخزن و اعتبارسنجی نتایج ضرورت دارد [۱۸]. شاخص‌های سنجش از دوری شناسایی پهنه‌های آبی پرکاربرد مانند شاخص اصلاح‌شده اختلاف عادی آب (MNDWI)، شاخص اختلاف عادی آب (NDWI)، شاخص استخراج خودکار آب با سایه (AWEI_{sh}) و شاخص استخراج خودکار آب بدون سایه (AWEI_{insh}) از سال ۱۹۹۶ میلادی تا کنون با هدف شناسایی پهنه‌های آبی یا پایش میزان تغییرات آنها در طی زمان استفاده می‌شوند [۲۲]. نینگ و لی (۲۰۲۱) با استفاده از شاخص‌های MNDWI، NDWI، AWEI_{sh} و AWEI_{insh} پهنه‌های آبی در حوزه‌های شرقی، جنوبی، شمالی و مرکزی تایوان را در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ شناسایی کردند و دریافتند که شاخص‌های MNDWI و NDWI و تصاویر ماهواره لندست برای شناسایی رودخانه‌های شریانی مناسب‌اند [۲۳]. سربان و همکاران (۲۰۲۲) پژوهشی با هدف شناسایی تغییرات یک دوره طولانی آب سطحی دریاچه نونتاسی-توزلا^۱ در زمینه مداخله انسانی و تغییرات آب‌وهوایی انجام دادند و برای به‌دست آوردن نتایج لازم، از روش‌های سنجش از دوری در دامنه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۱ بهره بردند و با استفاده از شاخص‌های طیفی آب مانند NDWI، MNDWI، WNDWI و WRI و تصاویر ماهواره لندست نتیجه گرفتند که روش‌های طبقه‌بندی پیشنهادی می‌توانند ویژگی‌های مرتبط را با استفاده از تصاویر سنجش از دور با دقت زیاد

استخراج کنند [۲۵]. پنی-آرانکیبیا و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از شاخص‌های طیفی برای استخراج پهنه‌های آبی، ذخیره آب در مزارع را شناسایی کرده و در نهایت گزارش کردند که از بین شاخص‌های آب به کار گرفته شده، شاخص AWEIsh بهترین عملکرد را داشته است [۲۴].

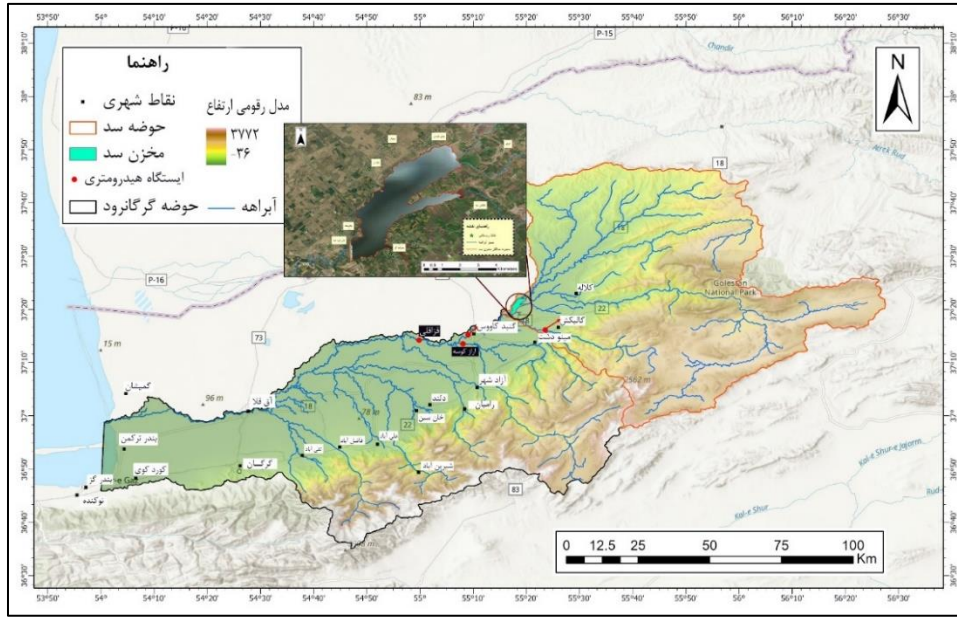
همان‌طور که در بخش پیشینه پژوهش اشاره شد، شاخص‌های آب به‌عنوان روش طیفی سنجش از دور بارها با هدف شناسایی پهنه‌های آبی یا پایش وضعیت دینامیک پهنه‌های آبی استفاده شده‌اند و گاهی نیز به کاربرد این روش‌ها در تشخیص پهنه‌های سیلابی اشاره شده است. اما تاکنون مطالعه‌ای با هدف ارزیابی مدیریت سد قبل از وقوع سیلاب با استفاده از روش‌های سنجش از دوری انجام نگرفته است. برای پر کردن خلأ تحقیقاتی، تحقیق حاضر با تلفیق روش‌های طیفی سنجش از دوری قصد دارد مدیریت وضعیت مخزن سد گلستان را هنگام وقوع مخاطره سیلاب در واقع اسفند ۱۳۹۷ بررسی کند تا بتوان با رویکرد علمی، عملکرد مدیریت سد و نقش سازه‌ای آن را قبل از وقوع این سیلاب در کنترل سیلاب و کاهش مخاطره نواحی پایین دست پایش کرد. از این‌رو هدف این پژوهش، ارزیابی نقش مدیریت سد مخزنی گلستان در کاهش شدت مخاطره و در نتیجه ریسک (خطرپذیری) سیلاب برای کاربری‌های واقع در نواحی پایین دست سد است. ارزیابی نقش مدیریت سدهای مخزنی در نواحی سیل‌خیز کشور می‌تواند در زمینه افزایش تاب‌آوری جوامع همراه با درک صحیح از مخاطره و نهادینه شدن اقدامات پیشگیرانه باشد و در نهایت سبب کاهش تلفات و صدمات جانی و خسارت‌های اقتصادی در نواحی پایین دست سدها شود. همچنین با توجه به اینکه رابطه معناداری بین تفسیر و نوع نگرش انسان به پدیده‌ها و کاهش مخاطرات طبیعی وجود دارد، به‌نحوی که هرچه شناخت علمی سهم بیشتری در بررسی‌ها داشته باشد، از مخاطرات کاسته می‌شود [۴]، نتایج تحقیق پیش رو می‌تواند رویکرد علمی و دقیقی درباره تدابیر و امکانات در اختیار برای مدیران ایجاد کند تا بدین ترتیب به‌صورت کمی و دقیق امکان سنجش کارآمدی این سازه‌ها قبل از وقوع مخاطره و بروز خسارت با هدف کاهش آثار زیان‌بار مخاطرات فراهم شود.

۲. مواد و روش‌ها

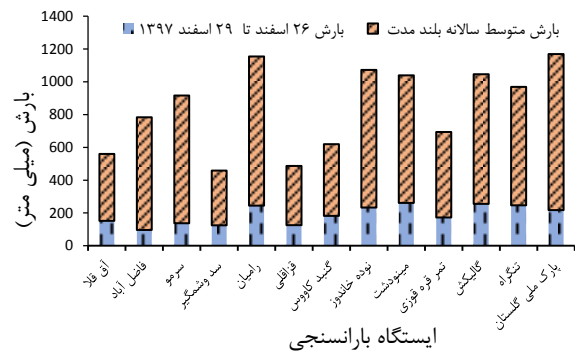
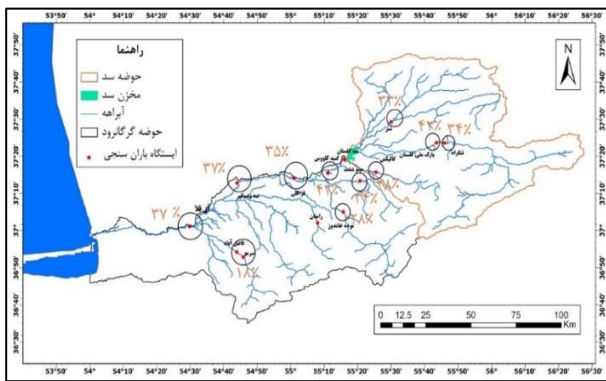
۲.۱. منطقه پژوهش

حوضه آبریز سد گلستان با مساحت ۲۲۳ هزار هکتار و میانگین ارتفاعی ۵۶۴ متر در جنوب شرقی دریای خزر در چین‌خوردگی‌های شمالی البرز قرار دارد. سد گلستان در بخش بالادست حوضه آبریز گرگانرود واقع شده است. کاربری عمده محدوده تحت بررسی، کشاورزی آبی و دیم، جنگل و مرتع است و سد گلستان روی رودخانه گرکز (عرب‌سرنگ) نیز با ظرفیت ۸۶ میلیون متر مکعب در حالت آستانه سرریز و ۱۰۱ میلیون متر مکعب حجم آب قابل تنظیم با هدف تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در ۱۲ کیلومتری شمال شرق شهر گنبدکاووس واقع شده است. خروجی حوضه در محل سد گلستان در ارتفاع ۳۸ متری از سطح دریای آزاد قرار دارد، به‌طوری که تاج سد دارای ارتفاع ۲۵ متری و طول ۱/۳ کیلومتری است، محیط مخزن سد در بیشترین حالت ممکن ۳۳ کیلومتر است و مساحت سد ۱۳ کیلومتر مربع است. شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت دقیق منطقه پژوهش است.

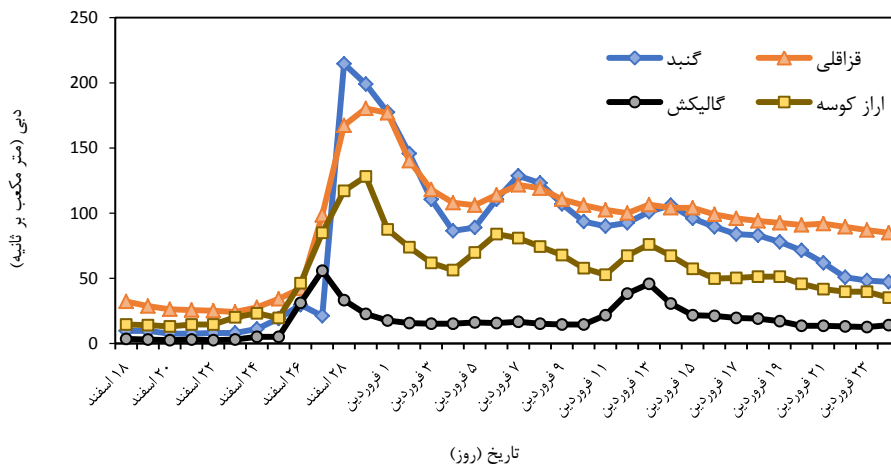
براساس گزارش مدیریت سیلاب ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ شرکت مدیریت منابع آب ایران، در پی فعالیت جبهه بارشی که از روز ۲۶ اسفند ۱۳۹۷ آغاز شد و تا ۶ فروردین ۱۳۹۸ ادامه داشت، در ناحیه حوضه رودخانه گرگانرود و قره‌سو سیلابی با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله رخ داد که مسیری به طول ۲۷۰ کیلومتر در رودخانه گرگانرود و ۵۰ کیلومتر در رودخانه قره‌سو تحت تأثیر سیلاب قرار گرفت. شدت این سیلاب به‌نحوی بود که ایستگاه گنبدکاووس ۴۲ درصد از متوسط بلندمدت بارش سالانه خود را ثبت کرد (شکل ۲). همچنین بیشترین پیک سیلاب در ایستگاه گنبد ثبت شد، به‌طوری که دبی ایستگاه ورودی سد گلستان ۸۲۹ متر مکعب بر ثانیه بود و مقدار خروجی سد نیز ۵۴۵ متر مکعب بر ثانیه ثبت شد و این در حالی بود که حداکثر ظرفیت آب‌گذاری (مقطع پر) رودخانه گرگانرود ۱۲۰ متر مکعب بر ثانیه است (نمودار شکل ۳). براساس این گزارش، این واقعه سیلاب در مجموع سبب وارد شدن خسارت به ۱۶ نقطه شهری به ارزش ۴۰/۸ میلیارد تومان شد که ۱,۰۷۱,۲۰۵ نفر را تحت تأثیر قرار داد و ۳۹۷ نقطه روستایی نیز به ارزش ۳۹/۱ میلیارد تومان با جمعیت ۳۹۳,۰۰۰ نفری نیز دچار آسیب شدند.



شکل ۱. منطقه پژوهش



شکل ۲. درصد بارندگی تجمعی از کل بارندگی یک سال آبی (گزارش سیلاب شرکت مدیریت منابع آب ایران)



شکل ۳. هیدروگراف سیلاب ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری استان گلستان (گزارش سیلاب شرکت مدیریت منابع آب ایران). موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۲ ارائه شده است.

۲.۲. داده‌های پژوهش

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ی Landsat 7 Collection 2 Tier 1 از دامنه‌ی سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳ در مقیاس ماهانه و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری (در مجموع ۲۴۵ تصویر) به‌منظور شناسایی تغییرات مساحت آب دریاچه‌ی پشت مخزن سد استفاده شد. به‌منظور رفع خطای راه‌راه‌دگی از تابع focal_mean برای عملیات پردازش نوارهای خالی تصاویر استفاده شد و از تصاویر ماهواره‌ی Sentinel-2 به‌صورت داده‌های کالیبره‌شده‌ی بالای جو در دوره‌ی یک ماه پیش و پس از واقعه‌ی سیلاب ۱۸ مارس ۲۰۱۹ در مقیاس هفتگی و قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری (در مجموع شش تصویر) به‌منظور شناسایی رفتار سد در مواجهه با مخاطره‌ی سیلاب استفاده شد. پردازش تصاویر از سامانه‌ی Google Earth Engine (GEE)، با استفاده از پلتفرم وب Kaggle که یک رابط کاربری قابل تنظیم و مبتنی بر زبان برنامه‌نویسی Python به نام Jupyter Notebooks را ارائه می‌کند [۲۷] انجام گرفت. GEE محیطی مبتنی بر فضای ابری است که دسترسی به داده‌های مکانی عمومی از جمله تصاویر ماهواره‌ای و هوایی را تسهیل می‌کند [۱۳].

۳.۲. روش پژوهش

برای رسیدن به نتایج، چهار مرحله در نظر گرفته شد. در گام نخست، ابتدا تصاویر اپتیکی سنجش از دور از سامانه‌ی GEE پردازش شده و پایگاه داده‌های لازم ایجاد شد. در مرحله‌ی دوم شاخص‌های استخراج پهنه‌های آبی شامل NDWI، AWEInsh، AWEIsh و WRI و MNDWI روی پایگاه داده‌های مورد نیاز اجرا شد (جدول ۱). در مرحله‌ی سوم، از سه معیار ارزیابی شاخص Kappa و ضریب Overall Accuracy (جدول ۲) برای مقایسه‌ی نتایج استفاده شد و روند این مقایسه به‌نحوی بود که براساس قضاوت کارشناسانه‌ی نگارندگان، نقاطی (به‌طور میانگین ۱۰۰ نقطه برای هر تصویر) به‌عنوان نمونه از پهنه‌های آبی و غیرآبی مشخص شدند تا ماتریس‌های خطا مطابق با این نقاط تعیین شوند. در قدم نهایی نیز تحلیل‌ها روی نتایج دقیق‌ترین شاخص انجام گرفت.

جدول ۱. شاخص‌های آب دارای کاربرد برای شناسایی پهنه‌های آبی

ردیف	نام شاخص	رابطه	منبع
۱	Normalized Difference Water Index (NDWI)	$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$	[۲۱]
۲	Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)	$MNDWI = \frac{(Green - MIR)}{(Green + MIR)}$	[۳۰]
۳	Automated Water Extraction Index (AWEI)	$AWEI_{shadow} = \frac{4 \times Green - SWIR1 - (0.25 \times NIR + 2.75 \times SWIR2)}{Blue + 2.5 \times Green - 1.5 \times (NIR + SWIR1) - 0.25 \times SWIR2}$	[۱۶]
۴	Water Ratio Index (WRI)	$WRI = \frac{Green + Red}{NIR + SWIR1}$	[۲۶]

عبارات Green، Red، MIR و NIR به‌ترتیب بیانگر باند سبز، باند قرمز، باند مادون قرمز میانی، باند مادون قرمز نزدیک و باند مادون قرمز با طول موج کوتاه هستند.

جدول ۲. معیارهای صحت‌سنجی از نتایج

ردیف	نام شاخص	معادله	منبع
۱	تطابق کلی	$OA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k X_{ii}$	[۱۷]
۲	کاپا	$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \times x_{+j})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \times x_{+j})}$	[۱۷]
۳	تطابق	$Accuracy = \frac{TP + TN}{FP + TP + TN + FN}$	[۱۵]

OA: صحت کلی، N: تعداد پیکسل‌های آزمایشی، X_{ii} : مجموع درایه‌های قطر اصلی ماتریس خطا، \hat{K} : ضریب کاپا، x_{i+} : مجموع سطر i ام در ماتریس خطا، x_{+j} : مجموع ستون j ام در ماتریس خطا، TP: آن دسته از نقاطی که شاخص به‌درستی به‌عنوان پهنه‌ی آبی شناخت و با واقعیت تطبیق داشت، FN: آن دسته از نقاط که شاخص به اشتباه پهنه‌ی غیرآبی شناخت، TN: آن دسته از نقاطی است که شاخص به‌درستی آنها را پهنه‌ی غیرآبی شناخت و FP: نیز به آن دسته از نقاط گفته می‌شود که شاخص به اشتباه آنها را پهنه‌ی آبی شناخت. است.

پس از محاسبه شاخص‌های استخراج آب در مقیاس ماهانه در سری زمانی بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳، به‌منظور رسیدن به اعتماد به پیش‌بینی‌های صورت‌گرفته باید میزان صحت نتایج حاصل ارزیابی شود. به همین دلیل نتایج با استفاده از کتابخانه Rasterio در محیط Jupyter Notebook فراخوانده شدند تا با استفاده از سه شاخص ارزیابی ارائه‌شده در جدول ۲ مقادیر محاسبه‌شده صحت‌سنجی شوند و بهترین شاخص برای تشخیص مساحت آب دریاچه پشت سد گلستان شناسایی شود. برای دستیابی به این هدف از مقادیر به‌زای ضریب کاپا، دقت کلی و دقت استفاده شد. بدین ترتیب که برای هر تصویر استفاده‌شده مطابق با فرایند ذکرشده و در نهایت شاخص AWEI_sh به‌عنوان دقیق‌ترین شاخص پیش‌بینی و استخراج پهنه‌های آبی برای منطقه پژوهش شناسایی شد. مقادیر شاخص‌ها در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

برای ایجاد درک درست از میزان پرشدگی مخزن سد گلستان، مقادیر پرشدگی مخزن سد که حاصل پردازش تصاویر ماهواره‌ای بود، با استفاده از منحنی حجم-سطح-ارتفاع سد گلستان دریافت‌شده از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان (شکل ۵ الف) پردازش شد که همسو با پژوهش لیو و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر استفاده از منحنی حجم-سطح در تخمین حجم مخزن بوده است [۲۰]. بدین ترتیب مقادیر حجم مخزن با توجه به مساحت آب دریاچه سد در تاریخ‌های دیدبانی‌شده، با استفاده از رابطه $S = 0.311A^2 - 0.4533A$ (حجم مخزن سد برحسب میلیون متر مکعب و A: مساحت آب مخزن سد برحسب کیلومتر مربع) محاسبه شد.

۳. نتایج و بحث

براساس نتایج (شکل ۵ ب)، از مجموع ۲۴۵ دیدبانی صورت‌گرفته، سد گلستان بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳ تنها یک مرتبه در ۴ اردیبهشت ۱۳۸۲ (شکل ۵ الف) در حالت پرشدگی کامل قرار گرفت و در مقابل ۳۴ مرتبه حجم صفر (به‌معنای اینکه حجم فعال سد در دسترس نیست و فقط حجم آب در سد در حد حجم مرده است) مشاهده شد. سد گلستان در طول دوره پایش، در مجموع چهار مرتبه بیشتر از ۷۰ درصد پرشدگی را تجربه کرده و در مقابل ۱۹۲ مرتبه، حجم پرشدگی مخزن کمتر از ۳۰ درصد بوده است. متوسط پرشدگی در طول سال نیز برای سد گلستان محاسبه شد که براساس نتایج، در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۳ به‌ترتیب ۵۸ و ۵۷ درصد پرشدگی مخزن مشاهده شد و کمترین پرشدگی مخزن در طول سال نیز مربوط به سال ۲۰۲۳ با ۷ درصد است. نمودار جعبه‌ای از مقادیر پرشدگی حجم مخزن به درصد (شکل ۵ ج) نشان می‌دهد که میزان پرشدگی مخزن سد گلستان در سال دارای سه روند کلی شامل وضعیت افزایشی با شیب تند از آبان تا دی، وضعیت افزایشی با شیب ملایم از بهمن تا اردیبهشت و وضعیت کاهش از خرداد تا مهر است. بنابراین به‌طور کلی، درصد پرشدگی سد در نیمه دوم سال به‌دلیل بارش‌ها افزایش و در نیمه اول سال آبی به‌دلیل کاهش بارش‌ها و افزایش حجم خروجی از مخزن برای تأمین نیازهای آبی پایین‌دست کاهش می‌یابد. در این میان در مهرماه، پرشدگی سد حدود ۱۰ درصد است. این کمترین مقدار پرشدگی در طول سال است که احتمالاً به‌دلیل پایان فصل تابستان و استفاده بیشتر از منابع آبی طی ماه‌های گرم سال است؛ همچنین بارش‌های پاییزی هنوز به حد کافی نرسیده‌اند تا تأثیر زیادی بر افزایش سطح آب مخزن داشته باشند. پراکندگی داده‌ها نیز کم است که نشان می‌دهد شرایط به‌نسبت یکنواختی در این ماه وجود دارد. اما در آبان‌ماه، درصد پرشدگی سد افزایش می‌یابد و به حدود ۲۰ درصد می‌رسد. این افزایش ناشی از شروع بارش‌های پاییزی است که سبب افزایش ورود آب به مخزن سد می‌شود.

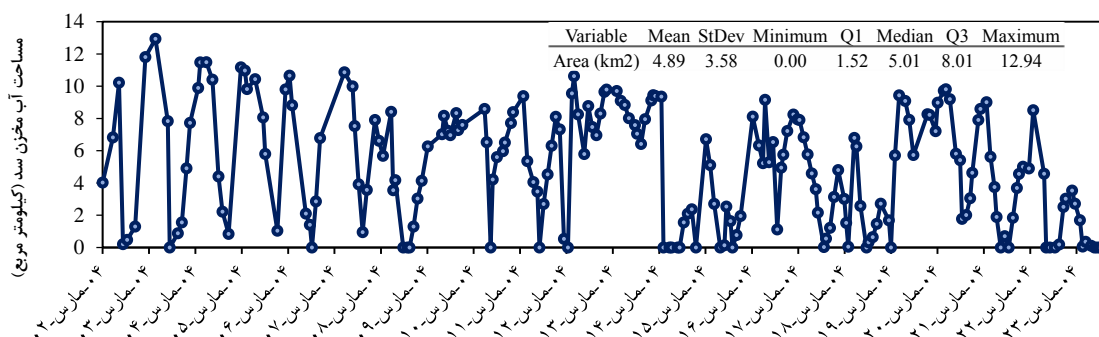
پراکندگی مقادیر حجم مخزن در شکل ۵ الف نسبت به مهرماه بیشتر است که نشان‌دهنده نوسان بیشتر در سطح آب مخزن به‌دلیل تغییرات بارش‌هاست. در آذر درصد پرشدگی سد به حدود ۳۰ درصد می‌رسد. این افزایش ناشی از ادامه بارش‌های پاییزی است که به‌تدریج سبب افزایش سطح آب مخزن می‌شود. پراکندگی داده‌ها همچنان در سطح متوسط باقی مانده که نشان‌دهنده تداوم نوسان در ورود آب به مخزن است. وضعیت افزایشی پرشدگی مخزن سد در فصل زمستان نیز ادامه دارد، به‌طوری که در دی‌ماه، سطح آب به ۳۰ درصد و در بهمن‌ماه با افزایش بارش‌های زمستانی به ۵۰ درصد می‌رسد که بیشترین مقدار هم در همین فصل است و این شرایط تا پایان اسفند وجود دارد که نشان‌دهنده نوسان در بارش‌هاست که بر سطح آب مخزن تأثیر می‌گذارد.

در فروردین پرشدگی مخزن سد گلستان با سطح بیش از ۵۰ درصد به اوج می‌رسد که این وضعیت ناشی از ترکیب بارش‌ها و ذوب برف‌های زمستانی است؛ به‌طوری که در دو ماه دیگر این فصل نیز وضعیت پرشدگی حوالی سطح ۵۰ درصد است. اما در تابستان وضعیت پرشدگی مخزن سیر نزولی دارد. کاهش سطح آب در این فصل ناشی از کاهش بارش، افزایش تبخیر و افزایش

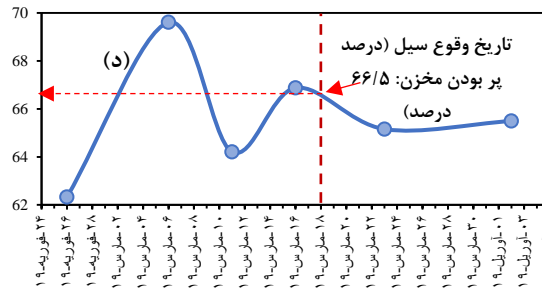
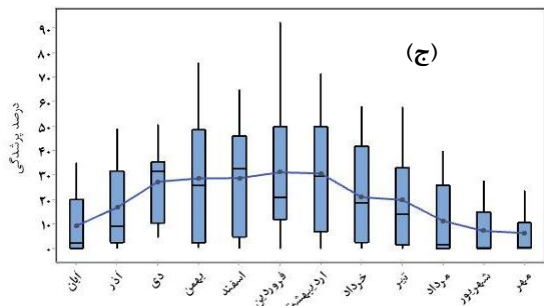
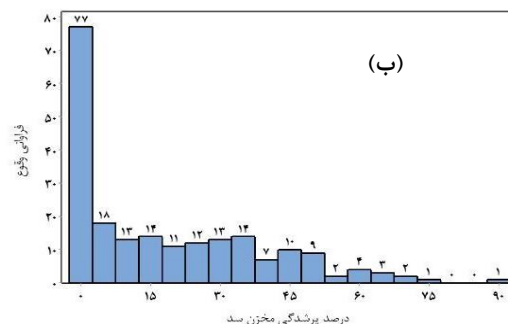
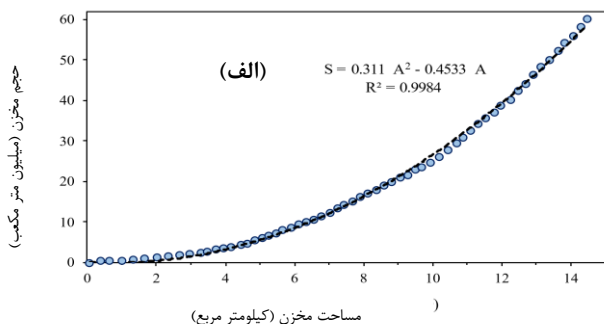
استفاده از آب در ماه‌های گرم تابستان است. پراکندگی داده‌ها در این فصل کمتر می‌شود که نشان‌دهنده تثبیت نسبی شرایط کاهش سطح آب است. بدین ترتیب سطح پرشدگی مخزن از ۳۵ درصد در تیرماه به ۳۰ درصد در مردادماه و ۲۰ درصد در شهریورماه می‌رسد. گفتنی است که سطح پرشدگی مخزن سد در فروردین‌ماه به‌عنوان ماهی که مخاطره سیلاب رخ داده است در حدود ۵۰ درصد بوده که جزو بیشترین مقادیر پرشدگی ماهانه برای این سد است.

جدول ۳. مقادیر محاسبه‌شده به‌ازای صحت کلی، کاپا و صحت

شاخص‌های آب	صحت کلی	کاپا	صحت
AWEI_nsh	۸۹	-۰/۸۹۵	۹۲/۷۲
AWEI_sh	۹۹/۰۹	-۰/۹۸۵	۱۰۰
NDWI	۹۵/۴۵	-۰/۹۰	۹۶
MNDWI	۹۴/۵۵	-۰/۸۸	۹۳/۳۳
WRI	۹۰	-۰/۷۷۵	۹۵/۳۳

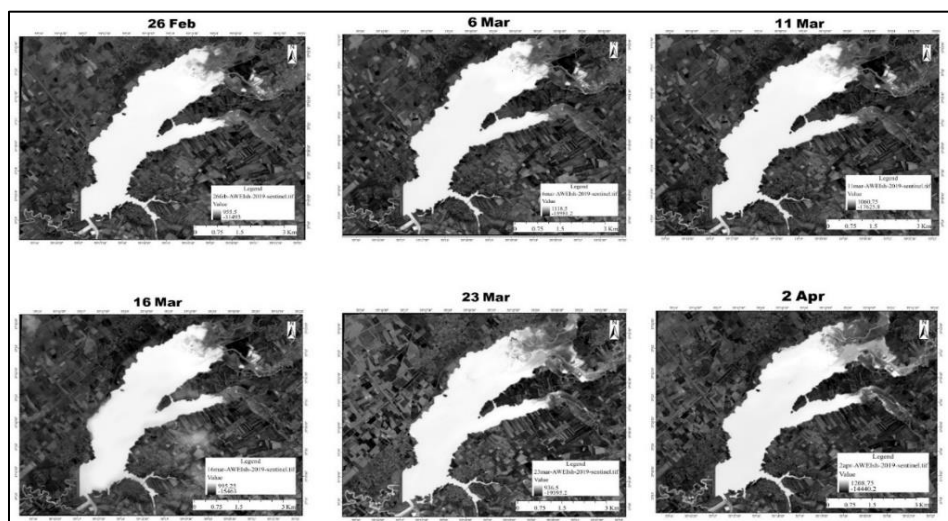


شکل ۴. مساحت به‌دست‌آمده از مخزن سد پس از اعمال شاخص AWEI_sh برحسب کیلومتر مربع

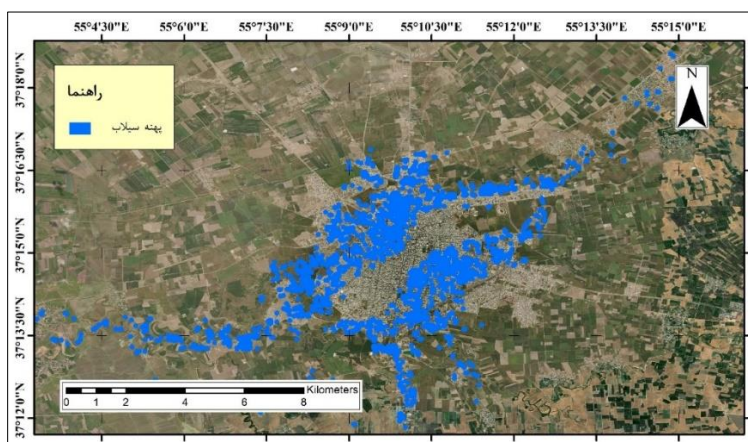


شکل ۵. الف) نمودار تغییرات حجم - مساحت مخزن سد گلستان (منبع: شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان) - ب) نمودار میله‌ای فراوانی درصد پرشدگی مخزن سد گلستان طی ۲۰۰۲-۲۰۲۳ که از تحلیل تصاویر ماهواره لندست آمد - ج) نمودار جعبه‌ای درصد پرشدگی حجم مخزن در ماه‌های مختلف طی بازه ۲۰۰۲-۲۰۲۳ بر اساس تحلیل تصاویر ماهواره لندست و د) نمودار درصد پرشدگی حجم مخزن سد گلستان طی بازه فوریه تا مارس که از تصاویر ماهواره سنتینل دو بدست آمد.

در خصوص سیلاب اسفند ۱۳۹۷، داده‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهند که از حدود یک ماه پیش از وقوع پیک سیلاب، سد گلستان در تمام طول دوره دیدبانی وضعیتی با بیش از ۶۰ درصد پرشدگی حجم مخزن داشته است، به طوری که تنها دو روز پیش از وقوع پیک سیلاب (۱۸ مارس ۲۰۱۹)، مخزن سد گلستان دارای ۶۷ درصد پرشدگی بود (شکل ۵ د و شکل ۶). این در حالی است که براساس اخطاریه شماره ۱۱۵ سازمان هواشناسی مورخ ۲۴ اسفند ۱۳۹۷، برای استان گلستان در روز یکشنبه، ۲۶ اسفند ۱۳۹۷ بارش باران، گاهی رعدوبرق و وزش باد شدید موقت و در نقاط مرتفع و سردسیر بارش برف و در روز دوشنبه ۲۷ اسفند رگبار باران، گاهی رعدوبرق و وزش باد شدید موقت، آب‌گرفتگی معابر عمومی و طغیان رودخانه‌ها و مسیل‌ها پیش‌بینی شده و به مسئولان توصیه شده بود که تمهیدات لازم را برای شرایط سیلابی ببینند؛ اما در نهایت با وجود هشدارهای لازم در این زمینه، در ساعات پایانی ۲۸ اسفند ۱۳۹۷، سیلاب در بخش شمالی و در محل پل آخوندآباد وارد شهر گنبدکاوس شده و ۱۷ کیلومتر مربع (۴۹ درصد) از کل شهر با وسعت ۳۵ کیلومتر مربع دچار آب‌گرفتگی شد (شکل ۷). در این خصوص بررسی پهنه سیلابی شهر گنبدکاوس با نتایج پژوهش حسام و همکاران در سال ۱۳۹۸ از نظر موقعیت پهنه سیلابی تطابق دارد. بنابراین همان‌طور که سد گلستان در تاریخ ۲۵ جولای ۲۰۱۷ از پهنه سیلاب گنبدکاوس کاست، به نظر می‌رسد که در سیلاب اسفند ۱۳۹۷ نیز در صورت وجود ظرفیت بیشتر می‌توانست حجم بیشتری از سیل را در مخزن خود جای دهد همان‌گونه که در پژوهش‌های یعقوبی و همکاران (۱۴۰۲) و خادمی و همکاران (۱۳۹۷) تأکید شد که در صورت وجود ظرفیت خالی، عملکرد مخزن سد از مقدار دبی پیک سیلاب می‌کاهد [۱۲۶].



شکل ۶. تصاویر ماهواره سنتینل از سد پیش و پس از مخاطره سیلاب (فوریه تا آوریل ۲۰۱۹ میلادی) پس از اعمال شاخص AWEL_sh



شکل ۷. پهنه سیل گیر ایجادشده در شهر گنبدکاوس (پایین‌دست سد) در ۲۹ اسفند ۱۳۹۷ مستخرج از تصاویر راداری ماهواره سنتینل ۱ با صحت کلی ۹۴/۱۳ درصد، صحت ۹۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۱

۵. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های سنجش از دوری می‌تواند مشکل دسترسی نداشتن به سری زمانی داده‌های بلندمدت حجم ذخیره- خروجی مخازن سد را رفع کند. همچنین این روش‌ها به صورت کاربردی می‌تواند برای سیاستگذاران بالادستی ابزار داوری وضعیت مدیریت محلی باشد. افزون بر این، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ابزارهای سنجش از دوری با موفقیت می‌توانند دینامیک پهنه‌های آبی را رصد کنند و از این رو برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی آینده مفید باشند. براساس نتایج به دست آمده، با وجود تأثیر سد در کاهش دبی پیک سیلاب و در نتیجه کاهش پهنه سیل‌گیر، مخزن سد گلستان نمی‌توانست به طور کامل مانع بروز مخاطره سیلاب در منطقه پژوهش شود یا خسارت را به حداقل برساند؛ بنابراین یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که سازه‌های سدی به‌تعمیری نمی‌توانند مانع بروز مخاطره سیلاب شوند، بلکه باید روش‌های ترکیبی به کار گرفته شوند و با توجه به اجتناب‌ناپذیر بودن خطرپذیری ناشی از وقوع سیلاب، مدیران شهری در شهرسازی و توسعه شهری باید به حریم رودخانه توجه ویژه کنند، به نحوی که اعتبارات لازم برای مواجهه با مخاطره افزون بر مبحث مدیریت بحران پس از بروز حادثه، به انتقال مناطق پرخطر و جلوگیری از تجمع سکونتگاه‌ها در مناطق پرخطر و همچنین تغییر رفتار پرخطر ساکنان با ساخت‌وساز در مناطق پرخطر از طریق فرهنگ‌سازی و آموزش لازم اختصاص داده شود.

همچنین اصلی‌ترین رویکرد در تدوین برنامه ملی کاهش مخاطره در زمینه سند راهبرد ملی مدیریت بحران کشور، افزایش تاب‌آوری و کاهش پیامدها و خطرپذیری حوادث است. در این زمینه، ارزیابی نحوه مدیریت مخازن سدها در کاهش خطرپذیری مخاطره سیلاب در نواحی پایین‌دست ضرورت دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که هرچند مدیریت سد گلستان حجم سد را پیش از وقوع سیلاب تخلیه کرد، پهنه آب‌گرفتگی سیلاب خروجی از سد (به دلیل پر شدن مخزن) در نواحی پایین‌دست (شهر گنبدکاووس) نشان می‌دهد که تخلیه حجم مخزن به شیوه کنونی تأثیر زیادی بر کاهش مخاطره سیلاب در پایین‌دست نداشته است. از این رو مدیران سد باید با توجه به سطح هشدارهای صادرشده از سوی سازمان هواشناسی، در زمان مقتضی آب را از مخزن رها کنند تا حجم بیشتری از سیلاب در مخزن سد ذخیره شود.

منابع

- [۱] ابراهیمی، لیلا؛ و ایلانلو، مریم (۱۴۰۳). پهنه‌بندی وقوع سیلاب حوضه زهکشی شهرستانک با استفاده از مدل هیدرولوژیکی WMS و تلفیق GIS. *مدیریت مخاطرات محیطی*. ۱۵-۲۹، ۱۱(۱). <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.374472.824>
- [۲] اسدافروز، آیدا؛ متدین، حشمت‌الله؛ مثنوی، محمدرضا؛ و منصور، سیدامیر (۱۳۹۹). تاب‌آوری محیطی در برابر مخاطرات سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در شهر شیراز با رویکرد منظر، تئوری سیستم‌ها و مدل DPSIR. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۷(۱)، ۵۵-۷۵. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2020.301219.556>
- [۳] پژوهشکده سوانح طبیعی (۱۴۰۰). برنامه ملی کاهش خطر حوادث و سوانح. سازمان مدیریت بحران کشور.
- [۴] جهانی، مجید؛ حسینی بهشتی، سیدمحمدرضا؛ طالب‌زاده، سیدحمید؛ و قوام صفری، مهدی (۱۳۹۴). تحلیل اسطوره‌ای مخاطرات. *مدیریت مخاطرات محیطی*. ۱۹۱-۲۰۶، ۲(۲). <https://doi.org/10.22059/jhsci.2015.55061>
- [۵] حسام، رسول؛ ضرابی، اصغر؛ و تقوایی، مسعود (۱۳۹۸). پتانسیل‌سنجی خطر سیلاب شهری با رویکرد توسعه شهری ایمن (مطالعه موردی: شهر گنبدکاووس). *مدیریت مخاطرات محیطی*. ۱۷-۳۲، ۱(۱). <https://doi.org/10.22059/jhsci.2019.280517.465>
- [۶] خادمی، معصومه؛ فضل‌اولی، رامین؛ و عمادی، علیرضا (۱۳۹۸). بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن در شرایط بحرانی وقوع سیلاب براساس الگوریتم شبیه‌سازی بازپخت مطالعه موردی: سد مخزنی البرز. *مدیریت بحران*. ۱۰۷-۱۱۸، ۱(۱). <https://doi.org/10.22059/jhsci.2024.369163.803>
- [۷] رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ و رحیم‌پور، توحید (۱۴۰۲). تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و شاخص آماری (مطالعه موردی: حوضه آبریز آجی‌چای). *مدیریت مخاطرات محیطی*. ۲۹۱-۳۰۸، ۴(۱). <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.369163.803>
- [۸] رضوی‌زاده، سمانه؛ لطفی‌نسب اصل، سکینه؛ درگاهیان، فاطمه؛ و سعیدی‌فر، زهرا (۱۴۰۰). تأثیر احداث سد کرخه و عوامل اقلیمی بر رژیم سالیانه، سیلابی و پهنه‌های سیل‌گیر رودخانه کرخه. *مدیریت حوزه آبخیز*، ۱۲(۲۴)، ۲۳۶-۲۴۸. <http://dx.doi.org/10.52547/jwmr.12.24.236>
- [۹] زارع، مهدی؛ و مقیمی، ابراهیم (۱۴۰۱). گونه‌شناسی مخاطرات در علم مخاطره‌شناسی (آیا علم مخاطره‌شناسی گونه‌های خاصی دارد؟). *مجله مدیریت مخاطرات محیطی*. ۳۸۳-۳۹۰، ۴(۹). <http://doi.org/10.22059/jhsci.2023.356665.770>
- [۱۰] غلامی، سیدسجاد؛ لطیف‌منش، حجت‌الله؛ و قاسمی باباحیدری، یعقوب (۱۳۹۹). مطالعه تطبیقی رهیافت علمی و قرآنی به مسئله تخریب محیط زیست. *دوفصلنامه پژوهش‌های علم و دین*. ۱۲۱-۱۴۶، ۲(۱۱). <https://doi.org/10.30465/srs.2020.32963.1788>
- [۱۱] مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۴). *دانش مخاطرات (برای زندگی با کیفیت بهتر و محیط پایدارتر)*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۲] یعقوبی، ثریا. بایرام کمکی، چوقی؛ حسینعلی‌زاده، محسن؛ نجفی‌نژاد، علی؛ پورقاسمی، حمیدرضا؛ و فرامرز، مرزبان (۱۴۰۲). تحلیل فراوانی حداکثر بارش روزانه و تعیین مناسب‌ترین توابع توزیعی در حوزه آبخیز سد بوستان، استان گلستان. *علوم آب و خاک*، ۱(۲۷)، ۵۹-۸۱. <http://dx.doi.org/10.47176/jwss.27.1.48871>
- [13] Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326–5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- [14] Boulange, J., Hanasaki, N., Yamazaki, D., & Pokhrel, Y. (2021). Role of dams in reducing global flood exposure under climate change. *Nature Communications*, 12(1), 417. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20704-0>
- [15] Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics*, 21(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7>
- [16] Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>
- [17] Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (4th ed.). Prentice Hall Press.
- [18] Jiang, H., Ji, L., Yu, K., & Zhao, Y. (2024). Analysis of the Substantial Growth of Water Bodies during the Urbanization Process Using Landsat Imagery—A Case Study of the Lixiahe Region, China. *Remote Sensing*, 16(4), 711. <https://doi.org/10.3390/rs16040711>
- [19] Kaya, C. M., & Derin, L. (2023). Parameters and methods used in flood susceptibility mapping: a review. *Journal of Water and Climate Change*, 14(6), 1935–1960. <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.035>

- [20] Liu, H., Hu, H., Liu, X., Jiang, H., Liu, W., & Yin, X. (2022). A Comparison of Different Water Indices and Band Downscaling Methods for Water Bodies Mapping from Sentinel-2 Imagery at 10-M Resolution. *Water*, 14(17), 2696. <https://doi.org/10.3390/w14172696>
- [21] McFEETERS, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- [22] Nagaraj, R., & Kumar, L. S. (2024). Extraction of Surface Water Bodies using Optical Remote Sensing Images: A Review. *Earth Science Informatics*, 17(2), 893–956. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-01196-0>
- [23] Ning, F.-S., & Lee, Y.-C. (2021). Combining Spectral Water Indices and Mathematical Morphology to Evaluate Surface Water Extraction in Taiwan. *Water*, 13(19), 2774. <https://doi.org/10.3390/w13192774>
- [24] Peña-Arancibia, J. L., Malerba, M. E., Wright, N., & Robertson, D. E. (2023). Characterising the regional growth of on-farm storages and their implications for water resources under a changing climate. *Journal of Hydrology*, 625, 130097. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130097>
- [25] Şerban, C., Maftai, C., & Dobrică, G. (2022). Surface Water Change Detection via Water Indices and Predictive Modeling Using Remote Sensing Imagery: A Case Study of Nuntasi-Tuzla Lake, Romania. *Water*, 14(4), 556. <https://doi.org/10.3390/w14040556>
- [26] Shen, L., & Li, C. (2010). Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm. *2010 18th International Conference on Geoinformatics*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567762>
- [27] Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152–170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- [28] Tellman, B., Sullivan, J. A., Kuhn, C., Kettner, A. J., Doyle, C. S., Brakenridge, G. R., Erickson, T. A., & Slayback, D. A. (2021). Satellite imaging reveals increased proportion of population exposed to floods. *Nature*, 596(7870), 80–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03695-w>
- [29] Wang, L., Cui, S., Li, Y., Huang, H., Manandhar, B., Nitivattananon, V., Fang, X., & Huang, W. (2022). A review of the flood management: from flood control to flood resilience. *Heliyon*, 8(11), e11763. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11763>
- [30] Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>