Incidents and Disasters Resilience

Homepage: https://disaster.ndri.ac.ir/

Assessment of the impacts of the Kamal Khan Dam construction on drought conditions in the hamoun wetland using remote sensing and sentinel-2 satellite imagery

Amir Ghodsifar[1], **Saeid Sadeghian**[2]✉, and **Alireza Sharifi**[3]

1. M.Sc. Student, Department of Photogrammetry, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a.ghodsifar@mail.sbu.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: sa_sadeghian@sbu.ac.ir
3. Associate Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a_sharifii@sbu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 20 April 2025
Received in revised form 5 June 2025
Accepted 14 June 2025
Available online 29 June 2025

Keywords:
Hamoun Wetland,
Remote Sensing,
Change Detection,
Drought,
Vegetation Cover.

ABSTRACT

Objective: The Hamoun International Wetland, located along the Iran–Afghanistan border, is one of the most valuable yet fragile wetland ecosystems in the arid and semi-arid regions of Asia, playing a critical role in biodiversity conservation, local climate regulation, and sustaining indigenous livelihoods. However, over the past two decades, this wetland has been subjected to a convergence of recurrent droughts, climate change, and human interventions—most notably following the construction of the Kamal Khan Dam on the Helmand River—resulting in a severe reduction of its historical water allocation and the emergence of a major environmental crisis. This study aims to investigate the interactive effects of drought and land-cover changes in the Hamoun Wetland and to provide a quantitative assessment of ecosystem degradation using remote sensing data.

Methods: Sentinel-2 satellite imagery covering the period from 2017 to 2024 was collected and processed following atmospheric and geometric corrections. Land cover was classified into three primary classes—water, vegetation, and bare soil—using the Support Vector Machine (SVM) algorithm, recognized for its high performance in multispectral data analysis. To assess temporal dynamics, a post-classification change detection approach was applied, and change matrices between baseline and target years were generated to identify spatial transformation patterns among land-cover types.

Results: The findings reveal a pronounced contrast between upstream areas and the core zone of the Hamoun Wetland. In the vicinity of the Kamal Khan Dam, the dominant transitions involved conversion of bare soil to vegetation (approximately 166.7 million m²) and bare soil to water (approximately 55.6 million m²), reflecting reservoir impoundment and expansion of irrigated agriculture. Conversely, within the central wetland area, substantial losses of vegetation cover (approximately 230.4 million m²) and surface water (approximately 71.2 million m²) were observed, with these areas largely transformed into dry, barren land. These trends indicate intensified hydrological drought, a marked decline in inflow, and unprecedented desiccation within the wetland core.

Conclusion: This study provides spatially explicit and quantitative evidence that reduced water allocation and altered flow regimes have severely undermined the ecological integrity of the Hamoun Wetland. The results offer a robust scientific basis for environmental managers, international organizations, and water diplomacy efforts to better understand degradation trajectories, identify drought impacts, and develop effective management and policy responses. Ultimately, restoring the Hamoun Wetland requires transboundary cooperation, integrated watershed management, and the adoption of ecosystem-based adaptation strategies.

Cite this article: Ghodsifar, A., Sadeghian, S., & Sharifi, A. (2025). Assessment of the impacts of the Kamal Khan Dam construction on drought conditions in the hamoun wetland using remote sensing and sentinel-2 satellite imagery. ***Incidents and Disasters Resilience***, *2*(1), 69-78. https://doi.org/10.22034/1.2.69

© Author(s) retain the copyright.

Publisher: Natural Disasters Research Institute (NDRI).

DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69]

تاب‌آوری در برابر حوادث و سوانح

Homepage: https://disaster.ndri.ac.ir

ارزیابی احداث سد کمالخان بر خشکسالی تالاب هامون با فناوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲

امیر قدسی‌فر[۱]، سعید صادقیان[۲]✉، علیرضا شریفی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فتوگرامتری، دانشکده مهندسی عمران آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a.ghodsifar@mail.sbu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: sa_sadeghian@sbu.ac.ir

۳. دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a_sharifii@sbu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۳/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۲۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۸

کلیدواژه‌ها:
تالاب هامون،
سنجش از دور،
آشکار سازی تغییرات،
خشکسالی،
پوشش گیاهی.

چکیده

هدف: تالاب بین‌المللی هامون، واقع در مرز ایران و افغانستان، یکی از ارزشمندترین و در عین حال شکننده‌ترین اکوسیستم‌های تالابی مناطق خشک و نیمه‌خشک آسیا است که نقش مهمی در حفظ تنوع زیستی، تنظیم اقلیم محلی و تأمین معیشت جوامع بومی ایفا می‌کند. با این حال، طی دو دهه اخیر، این تالاب تحت تأثیر هم‌زمان خشکسالی‌های پی‌درپی، تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی، به‌ویژه پس از احداث سد کمالخان بر رودخانه هیرمند، با کاهش شدید حقابه و بحران زیست‌محیطی گسترده مواجه شده است. این پژوهش با هدف بررسی اثر متقابل خشکسالی و تغییرات پوشش سطحی تالاب هامون و ارائه تصویری کمّی از روند تخریب این اکوسیستم با بهره‌گیری از داده‌های سنجش‌ازدور انجام شد.

روش پژوهش: در این مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴ گردآوری و پس از انجام اصلاحات اتمسفری و هندسی مورد پردازش قرار گرفت. سپس با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)، که به دلیل دقت بالا در تحلیل داده‌های چندطیفی شناخته شده است، پوشش سطحی منطقه در سه کلاس اصلی آب، پوشش گیاهی و خاک طبقه‌بندی شد. به‌منظور بررسی تغییرات زمانی، روش آشکارسازی تغییرات پس از طبقه‌بندی به کار گرفته شد و ماتریس‌های تغییرات میان سال‌های پایه و هدف استخراج گردید تا الگوی تبدیل پهنه‌ها مشخص شود.

یافته‌ها: نتایج حاکی از تضاد چشمگیر میان مناطق بالادست و محدوده هسته‌ای تالاب است. در پیرامون سد کمالخان، بیشترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش خاک به پوشش گیاهی (حدود ۱۶۶/۷ میلیون مترمربع) و خاک به آب (حدود ۵۵/۶ میلیون مترمربع) بوده که بیانگر ذخیره‌سازی آب پشت سد و گسترش فعالیت‌های کشاورزی آبی است. در مقابل، در بخش مرکزی تالاب هامون، کاهش قابل توجه پوشش گیاهی (حدود ۲۳۰/۴ میلیون مترمربع) و پهنه‌های آبی (حدود ۷۱/۲ میلیون مترمربع) و تبدیل آن‌ها به اراضی خشک مشاهده شد که نشان‌دهنده تشدید خشکسالی هیدرولوژیک و افت شدید جریان‌های ورودی به تالاب است.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش به‌صورت کمّی و مکان‌مند تأیید می‌کند که کاهش حقابه و تغییر الگوی جریان آب، تأثیرات مخربی بر پایداری اکوسیستم هامون داشته است. یافته‌ها می‌تواند مبنای علمی معتبری برای مدیران محیط‌زیست، نهادهای بین‌المللی و دیپلماسی آب فراهم آورد تا با درک دقیق روند تغییرات، راهبردهای مؤثر مدیریتی و سیاسی برای احیای تالاب تدوین شود. احیای هامون نیازمند همکاری فرامرزی، مدیریت یکپارچه حوضه آبریز و به‌کارگیری رویکردهای سازگاری مبتنی بر اکوسیستم است.

استناد: قدسی‌فر، امیر؛ صادقیان، سعید؛ شریفی، علیرضا. (۱۴۰۴). ارزیابی احداث سد کمالخان بر خشکسالی تالاب هامون با فناوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲. *تاب‌آوری در برابر حوادث و سوانح*، ۲ (۱)، ۶۹-۷۸. https://doi.org/10.22034/1.2.69

CC BY NC

ناشر: پژوهشکده سوانح طبیعی.

© نویسندگان.

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69]

مقدمه

تالاب هامون، یکی از بزرگ‌ترین تالاب‌های آب شیرین آسیای جنوب غربی در مرز ایران و افغانستان، نقش کلیدی در حفظ تنوع زیستی، تعادل هیدرولوژیکی و پشتیبانی از جوامع محلی سیستان ایفا می‌کند و از رودخانه هیرمند تغذیه می‌شود (Dahmardeh et al., 2009). این تالاب، زیستگاه مهمی برای پرندگان و ماهیان مهاجر است، اما تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌های مکرر و فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی ناپایدار و احداث سدهای بالادست، به‌ویژه سد کمالخان (احداث‌شده در سال ۱۴۰۰ شمسی در نیمروز افغانستان)، سطح آب آن را به‌شدت کاهش داده و بخش‌های وسیعی را خشک کرده است (Maleki et al., 2024; Farooq et al., 2022; Esnaashari et al., 2024). سد کمالخان با ظرفیت ۵۲ میلیون مترمکعب، جریان آب به هامون را کنترل کرده و خشکسالی را تشدید کرده، که منجر به کاهش پوشش گیاهی، افزایش گردوغبار و مشکلات اقتصادی–اجتماعی در سیستان شده است (Rahimi et al., 2020; Nabavi Zadeh, & Omidvar, 2024). فناوری سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل–۲ امکان تحلیل دقیق تغییرات سطح آب، پوشش گیاهی و شاخص‌های خشکسالی مانند NDVI[1] و NDWI[2]را بدون نیاز به حضور میدانی فراهم می‌کنند (Varghese et al., 2021; Haghighi Khomami et al., 2024; Cai et al., 2024). این فناوری‌ها در نظارت بر تالاب‌های خشک و نیمه‌خشک، مانند هامون، که تحت تأثیر خشکسالی‌های هیدرواقلیمی و مدیریت ناپایدار آب قرار دارند، بسیار مؤثر هستند (Omidvar et al., 2024; Siasar et al., 2025; Al-Maliki et al., 2022).

پیشینه پژوهش

مطالعات پیشین نشان داده‌اند که سدها می‌توانند اکوسیستم‌های پایین‌دست را مختل کنند؛ برای مثال، چو و چی[3] (۲۰۲۵) کاهش جریان آب و تخریب زیستگاه‌ها را گزارش کرده‌اند، و فنگ[4] و همکاران (۲۰۱۶) و هان[5] و همکاران (۲۰۱۸) تغییرات تالاب پویانگ چین را به سد تری گورج مرتبط دانسته‌اند. ژنگ[6] و همکاران (۲۰۱۹) نیز کاهش تنوع زیستی تالاب‌های نن‌جیانگ را به سدهای بالادست نسبت داده‌اند. در حوضه‌های دیگر، کوندو[7] و پال و سردا[8] (۲۰۲۰) آثار سدها بر قطعه‌قطعه شدن و پایداری هیدرولوژیکی تالاب‌ها را در هند بررسی کرده‌اند، و روی[9] و همکاران (۲۰۲۵) پویایی سطح آب تالاب‌های آفریقای جنوبی را با تصاویر لندست تحلیل کرده‌اند. در خاورمیانه، اکبری و همکاران (۲۰۲۲) خشک شدن هامون را به خشکسالی و سدهای بالادست مانند کجکی نسبت داده‌اند، و ملکی و همکاران (۲۰۱۸) تغییرات سطح آب هامون را با سنجش‌ازدور مطالعه کرده‌اند. فاروغ و همکاران (۲۰۲۲) کاهش پوشش گیاهی حوضه کجکی را بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ گزارش کرده است، درحالی‌که امیندین[10] و همکاران (۲۰۲۴) تحلیل بلندمدت تالاب‌های ایران را ارائه کرده‌اند. شاکریاری و همکاران (۲۰۱۶) قابلیت داده‌های لندست را برای ارزیابی تغییرات پوشش زمین هامون بررسی کرده است، و ملکی و همکاران (۲۰۲۴) چالش‌های تخصیص آب در حوضه هیرمند پس از بهره‌برداری سد کمالخان را تحلیل کرده است. در ایران، حقیقی خمامی و همکاران (۲۰۲۴) تغییرات پوشش زمین تالاب انزلی را با سنتینل–۲ بررسی کرده و وحیدی و همکاران (۲۰۲۳) شاخص‌های خشکسالی را در نطنز ارزیابی کرده‌اند. نبوی‌زاده و امیدوار (۲۰۲۴) خشکسالی سیستان را با شاخص‌های سنجش‌ازدور نظارت کرده‌اند، و غراقزلو و همکاران (۲۰۱۵) و فرجزاده اصل و رستمزاده (۲۰۰۷) اثرهای سدهای داخلی مانند طالقان و ستارخان را بر کاربری زمین

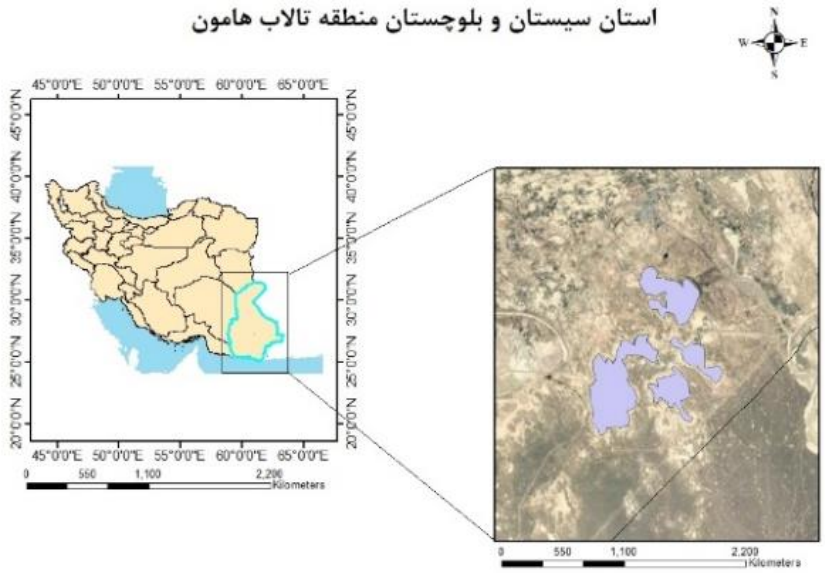
1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Normalized Difference Water Index
3. Cho & Qi
4. Feng
5. Han
6. Zheng
7. Kundu
8. Pal & Sarda
9. Roy
10. Amindin

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69]

بررسی کرده‌اند. سالرنو و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر چند دهه‌ای سدها بر پوشش گیاهی سیلابی را تحلیل کرده‌اند، و شهابی و همکاران (۲۰۲۴) نقشه‌برداری نیمه‌نظارتی تالاب زریبار را توسعه داده است. کول[11] و همکاران (۲۰۲۲) پویایی سیلاب تالاب مارا را با سنتینل-۲ مدل‌سازی کرده و اوریمولوی[12] و همکاران (۲۰۱۹) و وی[13] و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات تالابی را در آفریقای جنوبی و دلتای زرد چین نظارت کرده‌اند. باوجود این تحقیقات، شکاف‌هایی در ادبیات وجود دارد. ارزیابی خاص تأثیر سد کمالخان بر هامون محدود است (Maleki et al., 2024) و کاربرد سنتینل-۲ برای تحلیل دقیق خشکسالی در مناطق فرامرزی کمتر بررسی شده است (Varghese et al., 2021). مطالعات اغلب به شاخص‌های کلی خشکسالی اکتفا کرده‌اند (Nabavi Zadeh, & Omidvar, 2024; Siasar et al., 2025) و ادغام داده‌های ماهواره‌ای با مدل‌های تعادل آبی در حوضه‌های خشک فرامرزی، به‌ویژه در زمینه تنش‌های ژئوپلیتیکی ایران و افغانستان، ناکافی است (Akbari et al., 2022; Esnaashari et al., 2024). این تحقیق با استفاده از تصاویر سنتینل-۲، تغییرات سطح آب، پوشش گیاهی و شاخص‌های خشکسالی را قبل و بعد از احداث سد کمال‌خان تحلیل می‌کند و با ارائه درک جامع هیدرولوژیکی، خلأ موجود را پر می‌کند. این مطالعه با ادغام داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های تعادل آبی، رویکردی نوین برای نظارت پایدار تالاب‌های خشک ارائه می‌دهد که قابل‌تعمیم به سایر حوضه‌های مشابه است و به سیاست‌گذاری فرامرزی در مدیریت منابع آب کمک می‌کند. یافته‌های آن می‌تواند آثار اقتصادی-اجتماعی خشکسالی در سیستان را کاهش داده و پایه‌ای برای تحقیقات آینده فراهم آورد (Amindin et al., 2024; Dahmardeh et al., 2009; Rahimi et al., 2020).

دریاچه و تالاب بین‌المللی هامون بخشی از پناهگاه حیات‌وحش هامون است این دریاچه، سومین دریاچه بزرگ ایران پس از دریاچه خزر و دریاچه ارومیه، هفتمین تالاب بین‌المللی جهان و یکی از ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره در ایران است. دریاچه و تالاب هامون در استان سیستان و بلوچستان با مختصات ′۵۰ °۳۰شمالی ′۴۰ °۶۱ شرقی واقع شده‌اند. این دریاچه‌ها در زمان فراوانی آب به هم می‌پیوندند و دریاچه مشترک هامون، میان افغانستان و ایران را تشکیل می‌دهند. وسعت دریاچه هامون در زمان پرآبی ۵۶۶۰ کیلومترمربع است که از این مقدار ۳۸۲۰ کیلومترمربع متعلق به ایران و بقیه متعلق به افغانستان است شکل ۱ موقعیت این منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه-تالاب هامون

11. Kool
12. Orimoloye
13. Wei

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69]

داده‌های مورداستفاده

برای بررسی تغییرات به‌وجودآمده در بازه زمانی قبل و بعد از احداث سد (۲۰۱۷/۰۱/۰۸ و۲۰۲۴/۱۱/۱۷) از تصاویر سنتینل ۲ استفاده شده است. باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ سنجنده سنتینل ۲، برای بررسی تغییرات در انواع عوارض محیطی بسیار مناسب هستند. باند ۲ (آبی) برای شناسایی و تحلیل مواردی مثل آب، تشخیص سطوح آب و بررسی کیفیت آب در دریاها و دریاچه‌ها استفاده می‌شود. باند ۳ (سبز) مناسب برای شناسایی پوشش گیاهی و بررسی سلامت گیاهان، همچنین در شناسایی نواحی پرآب مؤثر است. باند ۴ (قرمز) برای تحلیل تغییرات در پوشش زمین، شناسایی استفاده از اراضی و همچنین در تفکیک گیاهان با حجم و سلامت مختلف بسیار کاربردی است. باند ۸ (نزدیک به مادون قرمز) در ارزیابی وضعیت سلامت گیاهان، تشخیص تغییرات در پوشش گیاهی و تحلیل رشد گیاهان بسیار مناسب است. این باند حساسیت بالایی به برگ‌های سبز و رشد گیاهان دارد. این باندها معمولاً برای مطالعاتی مانند ارزیابی سلامت اکوسیستم، تغییرات استفاده از زمین، آلودگی و تغییرات آب و هوایی حائز اهمیت هستند و باتوجه‌به اینکه تصاویر سنتینل دارای قدرت ابعاد پیکسل ۱۰ متر هستند، برای این مطالعه مناسب خواهند بود.

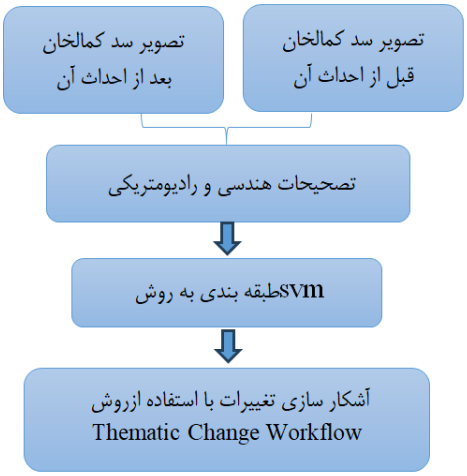
روش‌شناسی پژوهش

مطابق شکل ۲ همان‌گونه که اشاره شده، برای بررسی تغییرات در تالاب هامون از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ استفاده شد. در گام نخست تصاویر مربوط به قبل و بعد از منطقه سد کمالخان و همچنین تالاب هامون از پایگاه داده‌های ماهواره‌ای دریافت شد. این تصاویر امکان مشاهده تغییرات در کاربری‌ها را برای ما فراهم می‌سازد. پس از دریافت داده‌ها تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری روی تصاویر اعمال شد تا تأثیرات ناشی از شرایط جوی و اختلاف روشنایی حذف شده و داده‌ها برای پردازش آماده شوند. در مرحله بعد طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده ماشین بردار پشتیبان انجام گرفت. این روش به دلیل دقت بالای آن در تفکیک کلاس‌های مختلف پوشش زمین، برای شناسایی مناطق سالم و آسیب‌دیده به کار گرفته شد. برای اجرای این طبقه‌بندی، نمونه‌هایی از کلاس‌های موجود به‌عنوان داده‌های آموزشی انتخاب و مدل ماشین بردار پشتیبان تهیه شد. سپس این مدل برای طبقه‌بندی کل منطقه موردمطالعه استفاده قرار گرفت. پس از اتمام طبقه‌بندی، ارزیابی دقت نتایج با استفاده از ماتریس خطا[14] و شاخص‌های آماری مانند دقت کلی[15] و ضریب کاپا[16] انجام شد تا میزان صحت و کیفیت طبقه‌بندی مشخص گردد. این ارزیابی‌ها نشان‌دهنده دقت بالای روش به‌کاررفته در شناسایی پوشش‌های مختلف زمین بود. درنهایت، برای آشکارسازی تغییرات ناشی از احداث سد، از ابزار الگوریتم فرایند آشکارسازی تغییرات موضوعی استفاده شد، این ابزار برای شناسایی و تحلیل تغییرات موضوعی در داده‌های سنجش‌ازدور در نرم‌افزار Envi طراحی شده است. این روش امکان مقایسه دقیق بین تصاویر قبل و بعد از احداث سد را فراهم می‌کند و تغییرات به‌صورت نقشه‌های موضوعی مشخص خواهند شد. بر اساس این نقشه‌ها می‌توان مناطقی که مساحت آن‌ها دچار تغییرات شده‌اند را مشخص کرد و میزان افزایش و کاهش کاربری‌ها را محاسبه نمود.

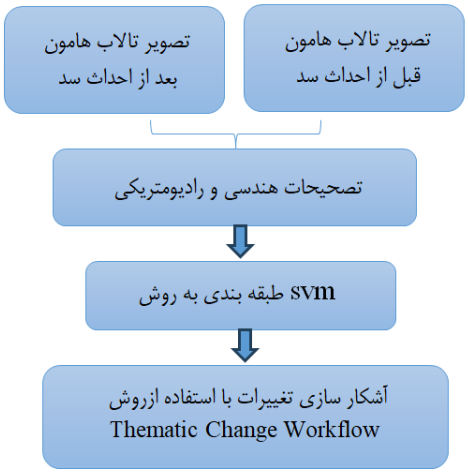
14. Confusion Matrix
15. Overall Accuracy
16. Kappa Coefficient

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69]



شکل ۲ (الف)–روند تحقیق



شکل ۲ (ب)–روند تحقیق

شکل ۲. روند تحقیق

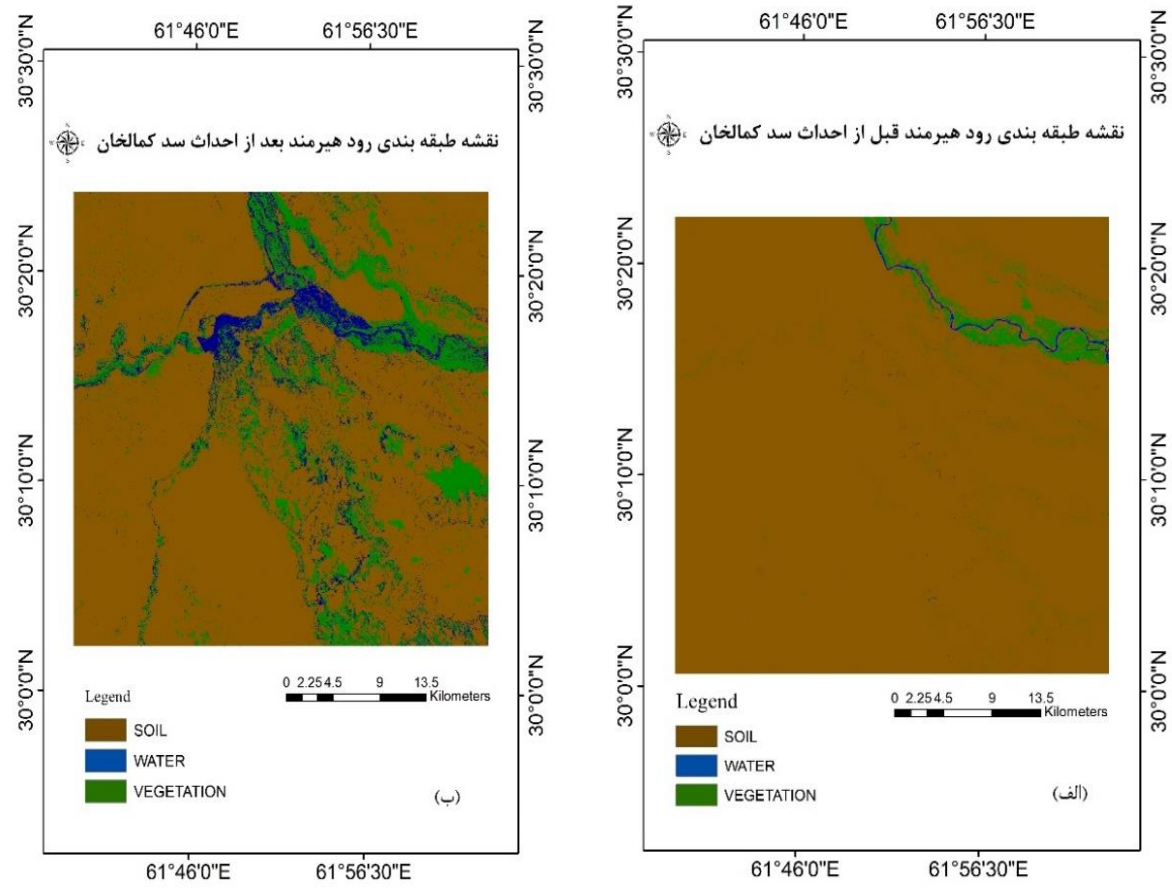
پیاده‌سازی و ارائه نتایج

سد کمالخان یکی از پروژه‌های مهم سدسازی در افغانستان است که بر روی رود هیرمند قرار دارد. این سد در ۹۵ کیلومتری شهر زرنج از توابع ولایت نیمروز در جنوب غربی افغانستان قرار دارد. ارتفاع این بند ۱۶ متر و گنجایش ذخیره آب آن ۵۲ میلیون مترمکعب است و مختصات آن ۳۰°۲۱′۰″ شمالی و ۶۱°۵۵′۰″ شرقی است.

مطابق شکل ۲، بعد از تهیه تصاویر قبل و بعد از احداث سد و اعمال تصحیحات هندسی و رادیومتریک این تصاویر از روش طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان برای طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شد. یکی از روش‌های قدرتمند یادگیری ماشین است که برای طبقه‌بندی داده‌ها و تحلیل‌های رگرسیونی استفاده می‌شود. این روش به‌ویژه در پردازش تصاویر ماهواره‌ای به دلیل دقت بالا و توانایی تفکیک کلاس‌های پیچیده، بسیار کاربرد دارد. در ابتدا نمونه‌های از کلاس‌های مختلف پوشش گیاهی آب‌وخاک را به‌عنوان داده‌های آموزشی به مدل معرفی گردید و بعد از مرحله آموزش مدل بر اساس این نمونه‌های آموزشی طبقه‌بندی در کل تصویر انجام شد. شکل ۳، نتیجه طبقه‌بندی قبل و بعد از احداث سد را نشان می‌دهد.

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69]



شکل ۳. الف. رود هیرمند قبل از احداث سد کمالخان؛ ب. رود هیرمند بعد از احداث سد کمالخان

همان‌گونه که ذکر شد، به‌منظور ارزیابی دقت طبقه‌بندی از ماتریس خطا و معیارهای مرتبط با آن استفاده شد. جدول ۱ معیارهای ارزیابی صحت طبقه‌بندی روش ماشین بردار پشتیبان سد کمالخان قبل از احداث را نشان می‌دهد.

جدول۱. معیارهای ارزیابی صحت طبقه بندی روش ماشین بردار پشتیبان سد کمالخان قبل از احداث سد

کلاس	خطای درج	خطای حذف	دقت تولید کننده	دقت کاربر
آب	۰/۰۰	۰/۴۱	۹۹/۵۹	۱۰۰/۰۰
گیاه	۱/۳۴	۱۲/۳۸	۸۷/۶۲	۹۸/۶۶
خاک	۰/۳۴	۰/۰۳	۹۹/۹۷	۹۹/۶۶

دقت کلی طبقه‌بندی برابر با ۹۹/۶۴درصد و ضریب کاپا ۰/۹۴۶۹ محاسبه شد که بیانگر دقت قابل‌قبول و اعتبار مطلوب مدل در تفکیک کلاس‌های پوشش زمین است.

جدول۲. معیارهای ارزیابی صحت طبقه بندی روش ماشین بردار پشتیبان سد کمالخان بعد از احداث سد

کلاس	خطای درج	خطای حذف	دقت تولید کننده	دقت کاربر
آب	۰/۷۶	۰/۰۶	۹۹/۹۴	۹۹/۲۴
گیاه	۴/۳۶	۱/۸۶	۸۴/۱۴	۹۵/۶۴
خاک	۰/۰۱	۰/۰۷	۹۹/۹۳	۹۹/۹۹

دقت کلی طبقه‌بندی برابر با ۹۹/۹۰۵۶ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۸۸۵محاسبه شد که بیانگر دقت قابل‌قبول و اعتبار مطلوب مدل در تفکیک کلاس‌های پوشش زمین است.

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69]

دقت تولیدکننده نشان‌دهنده درصدی از نمونه‌های واقعی یک کلاس است که به‌درستی شناسایی شده‌اند، درحالی‌که دقت کاربر میزان اعتماد به نتایج طبقه‌بندی‌شده برای هر کلاس را بیان می‌کند. خطای حذف به مواردی اشاره دارد که نمونه‌های یک کلاس در طبقه‌بندی نادیده گرفته شده‌اند، و خطای درج زمانی رخ می‌دهد که پیکسل‌هایی به اشتباه در یک کلاس قرار گرفته باشند. این شاخص‌ها با استفاده از ماتریس خطا استخراج و تحلیل شدند.

جدول۳. درصد کلاس های موجود در طبقه بندی قبل و بعد از احداث سد کمالخان بر روی رود هیرمند

تعداد کلاس‌های موجود	مساحت قبل از احداث سد (متر مربع)	درصد هر کلاس	مساحت بعد از احداث سد (متر مربع)	درصد هر کلاس
پوشش گیاهی	۳۸۵۹۹۰۰۰	۲/۴۱۲۴۳۷	۲۰۲۱۵۴۸۰۰	۱۲/۶۳۴۶۷۵
پوشش آب	۵۲۰۴۴۰۰	۰/۳۲۵۲۷۷۵	۹۰۳۸۰۳۰۰	۵/۶۴۸۷۶۹
پوشش خاک	۱۵۵۶۱۹۶۶۰۰	۹۷/۲۶۲۲۸۷	۱۳۰۷۴۶۷۴۹۰۰	۸۱/۷۱۶۵۵۶

باتوجه‌به جدول ۳ و مقایسه مساحت‌های کلاس‌های موجود در نقشه‌های طبقه‌بندی از منظر قبل و بعد از احداث سد، به این نتیجه می‌رسیم که پس از احداث سد کمال‌خان، مناطقی که دارای پوشش گیاهی بودند حدود ۱۰ درصد افزایش مساحت داشته‌اند و همچنین مناطق دارای پوشش آب (آب جمع‌شده پشت سد) ۵ درصد افزایش یافته‌اند. به‌موجب این امر، مناطق دارای پوشش خاک کاهشی در حدود ۱۷ درصد را تجربه کرده‌اند (لازم به ذکر است که این اعداد و ارقام بر اساس محدوده تعیین‌شده برای این پژوهش محاسبه شده‌اند). این تغییرات نشان‌دهنده تأثیر مستقیم سد بر بهبود نسبی شرایط رطوبتی و رشد پوشش گیاهی در محدوده موردمطالعه است، هرچند استمرار آن وابسته به مدیریت جریان‌های ورودی رود هیرمند و شرایط اقلیمی آینده خواهد بود. برای تحلیل تغییرات بر رود هیرمند و محل احداث سد کمال‌خان، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ با استفاده از روش فرایند آشکارسازی تغییرات موضوعی در نرم‌افزار ENVI مورد پردازش قرار گرفتند. نقشه خروجی، حاصل این فرایند است و تغییرات کاربری اراضی در محدوده سد کمالخان طی بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد.

جدول٤. درصد تغییرات هر کلاس به کلاس دیگر

تعداد کلاس ها	مساحت (متر مربع)	درصد
از پوشش گیاهی به پوشش آب	۵۱۸۴۰۰۰	۰/۳۴۸۷۰۸
از پوشش گیاهی به پوشش گیاهی	۲۵۴۱۰۲۰۰	۱/۷۱۰۴۳۳
از پوشش گیاهی به پوشش خاک	۱۲۲۵۱۰۰	۰/۰۸۲۴۶۵
از پوشش آب به پوشش آب	۳۲۸۵۶۰۰	۰/۲۲۱۱۶۳
از پوشش آب به پوشش گیاهی	۳۸۷۵۰۰	۰/۰۲۶۰۸۴
از پوشش آب به پوشش خاک	۹۶۲۵۰۰	۰/۰۶۴۷۸۹
از پوشش خاک به پوشش آب	۵۵۶۶۴۲۰۰	۳/۷۴۶۹۱۷
از پوشش خاک به پوشش گیاهی	۱۶۶۷۱۰۵۰۰	۱۱/۲۲۱۷۶۲
از پوشش خاک به پوشش خاک	۱۲۲۶۷۷۴۰۰۰	۸۲/۵۷۷۶۷۹

یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و فرایند آشکارسازی تغییرات نشان‌دهنده دقت و اعتبار بالای روش‌های به‌کاررفته در بررسی تأثیرات احداث سد کمالخان بر تالاب هامون هستند. دقت کلی طبقه‌بندی‌ها بیش از ۹۹ درصد و ضریب کاپا در تمامی موارد بالاتر از ۰/۹۸ بوده که نشان‌دهنده قابلیت اعتماد بسیار بالا در تمایز کلاس‌های کاربری زمین شامل پوشش گیاهی، آب‌وخاک است. در منطقه سد کمالخان، بیشترین تغییرات به‌صورت افزایش پوشش گیاهی و سطح آب در اثر ایجاد سد مشاهده شد. بر این اساس، حدود ۱۶۶ میلیون مترمربع از اراضی خاکی به پوشش گیاهی و ۵۵ میلیون مترمربع به سطح آب تبدیل شده‌اند. این تغییرات نشان‌دهنده بهبود نسبی شرایط اکولوژیکی در منطقه پشت سد است. در مقابل، در محدوده تالاب هامون روند معکوسی مشاهده شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، بیش از ۲۳۰

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]
[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69]

میلیون مترمربع از پوشش گیاهی و ۷۱ میلیون مترمربع از سطح آب به خاک خشک تبدیل شده‌اند. این امر بیانگر تأثیر منفی قابل‌توجه احداث سد کمالخان بر ساختار زیستی تالاب هامون است که به تشدید خشکی، کاهش تنوع زیستی، افزایش گردوغبار، و تهدید معیشت جوامع محلی منجر شده است. مقایسه داده‌های پیش و پس از احداث سد نشان می‌دهد که کاهش جریان ورودی آب به تالاب، که تا حد زیادی ناشی از محدودیت‌های حقابه رودخانه هیرمند است، عامل اصلی تخریب زیست‌محیطی منطقه بوده است. ارزیابی‌های انجام‌شده نشان می‌دهند که استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و تحلیل‌های مکانی می‌تواند ابزاری مؤثر در پایش تغییرات اکوسیستم‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی باشد. درمجموع، نتایج این پژوهش نه‌تنها از دقت علمی بالایی برخوردار است، بلکه ازنظر کاربردی نیز می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی محیط‌زیستی، مذاکرات منطقه‌ای درباره منابع آبی، و حفاظت مؤثرتر از تالاب هامون مورداستفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

تالاب هامون به‌عنوان یکی از مهم‌ترین زیست‌بوم‌های منطقه سیستان و بلوچستان، نقش اساسی در پایداری اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی شرق ایران دارد. نتایج حاصل از بررسی تغییرات این تالاب پس از احداث سد کمالخان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و روش فرایند آشکارسازی تغییرات موضوعی نشان می‌دهد که کاهش ورودی آب و تداوم دوره‌های خشکسالی، تأثیر قابل‌توجهی بر ساختار و عملکرد تالاب داشته است. بر اساس نتایج طبقه‌بندی، حدود ۴/۵ درصد از مناطقی که دارای پوشش آبی بوده‌اند، به پوشش خاک و حدود ۱۴/۵ درصد از پوشش‌های گیاهی نیز به پوشش خاک تبدیل شده‌اند؛ این تغییرات بیانگر شدت خشکسالی و افت شدید منابع آبی در منطقه است. یکی از عوامل کلیدی تشدیدکننده این وضعیت، کاهش حقابه رودخانه هیرمند و مدیریت نامتوازن منابع آب میان ایران و افغانستان است که به‌ویژه در سال‌های کم‌بارش، باعث تشدید خشکسالی‌های پی‌درپی، گسترش مناطق خشک و تهدید تنوع زیستی تالاب شده است. پیامدهای این تغییرات نه‌تنها در بعد زیست‌محیطی، بلکه در ابعاد اقتصادی و اجتماعی منطقه نیز به‌صورت افزایش گردوغبار، مهاجرت، و کاهش معیشت جوامع محلی نمایان شده است. درنتیجه، مقابله با آثار خشکسالی و کاهش آسیب‌پذیری تالاب هامون نیازمند مدیریت یکپارچه منابع آب، همکاری‌های فرامرزی مؤثر، و برنامه‌ریزی برای احیای اکوسیستم است. این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های آگاهانه در زمینه مدیریت بحران خشکسالی و حفاظت از تالاب‌ها مورداستفاده قرار گیرد و به پایداری بلندمدت این زیست‌بوم ارزشمند کمک کند.

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69]

References

Akbari, M., Mirchi, A., Roozbahani, A., Gafurov, A., Kløve, B., & Haghighi, A. T. (2022). Desiccation of the Transboundary Hamun Lakes between Iran and Afghanistan in Response to Hydro-climatic Droughts and Anthropogenic Activities. *Journal of Great Lakes Research*, 48(4), 876–889.

Al-Maliki, S., Ibrahim, T., Jakab, G., Masoudi, M., Makki, J., & Vekerdy, Z. (2022). An Approach for Monitoring and Classifying Marshlands Using Multispectral Remote Sensing Imagery in Arid and Semi-Arid Regions. *Water*, 14, 1523.

Amindin, A., Siamian, N., Dereimi, Z. N., Clague, J. J., Blaschke, T., & Pourghasemi, H. R. (2024). Long term analysis of international wetlands in Iran: Monitoring surface water area and water balance. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 126, 103637.

Nabavi Zadeh, M., & Omidvar, K. (2024). Spatial Monitoring of Drought Using Remote Sensing Indices, Case Study: Sistan and Baluchestan Province. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 16(4), 35–56. (in Persian)

Cai, Y., Shi, Q., & Liu, X. (2024). Spatiotemporal Mapping of Surface Water Using Landsat Images and Spectral Mixture Analysis on Google Earth Engine. *Journal of Remote Sensing*, 4.

Cho, M. S., & Qi, J. (2025). Remote sensing-based assessment of dam impacts on hydrology, geomorphology, ecosystems, and society – a review. *Environmental Earth Sciences*, 84, 1–20.

Dahmardeh, M., Dahmardeh, M., Yazdani, S., & Piri, E. (2009). The socio-economic effects of Hamoon Lake in Sistan region of Iran. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(2). (in Persian)

Shakeryari, M., Ehsani, A., Nasrabadi, T., & Mahmoudi, P. (2016). Review of Capability Landsat Data for Evaluating Land Cover Changes (Case Study: International Hamoun Wetland). *Desert Ecosystem Engineering*, 5(10), 69–84. (in Persian)

Esnaashari, H., Ganjali, N., & Sardar Shahraki, A. (2024). Modeling the effects of changes made in Sistan's water resources system using WEAP. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 11(1), 67–74. (in Persian)

Farajzadeh Asl, M., & Rostamzadeh, H. (2007). Evaluating the impact of large floods on land use change using remote sensing and GIS (Case study: Sattarkhan Ahar Dam). *Spatial Planning and Geomatics*, 11(1), 47–66. (in Persian)

Farooq, D. S., Alizadeh, N. M., Niazi, A. J., Wafa, M. Y., & Hosseini, S. (2022). Impact Investigation of Kajaki Dam on Vegetation Coverage... *International Journal of Advanced Academic Studies*, 4(1), 95–101.

Feng, L., Han, X., Hu, C., & Chen, X. (2016). Four decades of wetland changes... *Remote Sensing of Environment*, 176, 43–55.

Gharagozlou, A., Pourafzal, A., Sadeghian, S., & Kheirkhah Zarkesh, M. (2015). Investigation of Taleghan Dam Construction Impacts on Physical Urban Areas Development Using GIS/RS and Presentation of Urban Development Model. *Iran Water Resources Research*, 16. (in Persian)

Haghighi Khomami, M., Panahandeh, M., Tajaddod, M. J., Jamalzad Fallah, F., & Abdoli, M. (2024). Application of Sentinel-2 Satellite Data in Investigating Land Cover Changes in the Bed of Anzali Wetland. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 15(4), 61–82. (in Persian)

Han, X., Feng, L., Hu, C., & Chen, X. (2018). Wetland changes of China's largest freshwater lake... *Remote Sensing of Environment*, 204, 799–811.

Kool, J., Lhermitte, S., Hrachowitz, M., Bregoli, F., & McClain, M. (2022). Seasonal inundation dynamics... *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 109, 102766.

Kundu, S., Pal, S., Mandal, I., & Talukdar, S. (2022). How far damming induced wetland fragmentation... *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 27, 100777.

Maleki, S., Mohajeri, S. H., Samadi, A., Hasani, H., & Akbary, M. (2024). Remote sensing insights into water allocation... *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 56, 101996.

Maleki, S., Soffianian, A., Soltani Koupaei, S., Pourmanafi, S., & Sheikholeslam, F. (2018). Analysis of the pattern of changes in the water area of Hamoon Wetland during the annual water intake

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69]

period and changes in land use and land cover in the region. *Iran Water Resources Research*, 14(1), 216–225. (in Persian)

Maleki, S., Soltani, S., Soffianian, A., Saatchi, S., Pourmanafi, S., & Rahdari, V. (2019). Human and Climate Effects on the Hamoun Wetlands. *Weather, Climate, and Society*, 11, 609–622.

Omidvar, K., Nabavizadeh, M., Rousta, I., & Olafsson, H. (2024). Remote Sensing-Based Drought Monitoring in Iran's Sistan and Balouchestan Province. *Atmosphere*, 15, 1211.

Orimoloye, I., Mazinyo, S., Kalumba, A. M., Nel, W., Ibraheem, A., & Ololade, O. (2019). Wetland shift monitoring using remote sensing and GIS techniques. *Earth Science Informatics*.

Pal, S., & Sarda, R. (2020). Damming effects on the degree of hydrological alteration... *Ecological Indicators*, 116, 106542.

Rahimi, M., Shokouhi Razi, K., & Zolfaghari, A. A. (2020). Investigation of Hydrometric Variables in Helmand Basin and its Impact on Land degradation in Sistan Plain. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(3), 213–228. (in Persian)

Roy, A., Hulot, F., & Soudani, K. (2025). Landsat-based remote sensing of surface water dynamics in southern African wetlands in drylands from 1986 to 2022. *Ecosphere*, 16.

Salerno, L., Moreno, A., Izquierdo-Verdiguier, E., Clinton, N., Siviglia, A., & Camporeale, C. (2022). Satellite Analyses Unravel the Multi-Decadal Impact of Dam Management on Tropical Floodplain Vegetation. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 871530.

Shahabi, H., Gholamnia, M., Mohammadi, J., Paryani, S., Neshat, A., Shirzadi, A., Shahid, S., Ghanbari, R., Malakyar, F., & Clague, J. J. (2024). Developing a Semi-Supervised Strategy in Time Series Mapping of Wetland Covers: A Case Study of Zrebar Wetland, Iran. *Earth Systems and Environment*, 8(3), 815–830.

Siasar, H., Salari, A., Bahrami, M., & Hamidifar, H. (2025). Integrating remote sensing and meteorological analysis... *Theoretical and Applied Climatology*, 156(5), 291.

Vahidi, S., Amini, A. S., & Hatamzadeh, V. (2023). Remote Sensing Indexes Assessment for Drought Monitoring... *Asian Journal of Geographical Research*, 6, 35–43.

Varghese, D., Radulovic, M., Ćuković, S., & Crnojevic, V. (2021). Reviewing the Potential of Sentinel-2 in Assessing the Drought. *Remote Sensing*, 13, 3355.

Wei, C., Guo, B., Fan, Y., Zang, W., & Ji, J. (2022). The Change Pattern and Its Dominant Driving Factors of Wetlands in the Yellow River Delta Based on Sentinel-2 Images. *Remote Sensing*, 14, 4388.

Zheng, Y., Zhang, G., Wu, Y., Xu, Y., & Dai, C. (2019). Dam Effects on Downstream Riparian Wetlands: The Nenjiang River, Northeast China. *Water*, 11, 2038.

DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69

[Downloaded from www.disaster.ndri.ac.ir on 2026-11-18]

[DOI: https://doi.org/10.22034/1.2.69]