سوانح طبیعی

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

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

امیر قدوسی‌فر[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 هامون، واقع در مرز ایران و افغانستان، یکی از اکوسیستم‌های کلیدی و شکننده در مناطق خشک شرق ایران است که در سال‌های اخیر به دلیل تداوم خشکسالی‌ها، تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی — به‌ویژه پس از احداث سد کمال‌خان — با بحران‌های جدی زیست‌محیطی مواجه شده است. این پژوهش با هدف بررسی و تحلیل تأثیر خشکسالی و تغییرات پوشش سطحی تالاب هامون با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ انجام شده است.

روش پژوهش: در این مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ در بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴ جمع‌آوری و پس از انجام تصحیحات لازم، از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده از جمله ماشین بردار پشتیبان و فرآیند آشکارسازی تغییرات موضوعی برای آشکارسازی تغییرات استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که در محدوده سد کمال‌خان، بیشترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش خاک به پوشش گیاهی (به میزان ۱۶۶,۷۱۰,۵۰۰ مترمربع) و پوشش خاک به پوشش آب (به میزان ۵۵,۶۶۴,۲۰۰ مترمربع) بوده است. در مقابل، در منطقه تالاب هامون، پوشش گیاهی به میزان ۲۳۰,۴۴۳,۲۰۰ مترمربع و پوشش آبی به میزان ۷۱,۲۲۷,۱۰۰ مترمربع به پوشش خاک تبدیل شده‌اند که بیانگر شدت خشکسالی و افت منابع آبی در منطقه است.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش می‌تواند به مدیران محیط‌زیست و برنامه‌ریزان در شناسایی اثرات خشکسالی، مدیریت بحران‌های زیست‌محیطی و تدوین راهکارهای احیای تالاب هامون کمک کند.

استناد: قدوسی‌فر، امیر؛ صادقیان، سعید؛ شریفی، علیرضا. (۱۴۰۴). ارزیابی احداث سد کمالخان بر خشکسالی تالاب هامون با فناوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲. *سوانح طبیعی*، ۲ (۱)، ۶۹-۷۸.

CC BY NC

ناشر: پژوهشکده سوانح طبیعی.

© نویسندگان.

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-02-04]

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 (اکبری، دهمرده، ۲۰۰۹). 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 به شدت کاهش داده و بخش‌های وسیعی را خشک کرده است (ملکی و همکاران، ۱۴۰۳؛ فاروغ و همکاران، ۲۰۲۲؛ اسناشیری و همکاران، ۱۴۰۳). 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 گرد و غبار و مشکلات اقتصادی–اجتماعی در سیستان شده است (نباوی‌زاده و امیدوار، ۱۴۰۳؛ رحیمی و همکاران، ۲۰۲۰). فناوری سنجش از دور 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 (وارگهیز و همکاران، ۲۰۲۱؛ حقیقی خمامی و همکاران، ۱۴۰۳؛ کای و همکاران، ۲۰۲۴). این فناوری‌ها در نظارت بر تالاب‌های خشک و نیمه‌خشک، مانند هامون، که تحت تأثیر خشکسالی‌های هیدرواقلیمی و مدیریت ناپایدار آب قرار دارند، بسیار مؤثرند (امیدوار و همکاران، ۱۴۰۳؛ سیاسر و همکاران، ۱۴۰۴؛ الملیکی و همکاران، ۲۰۲۲).

پیشینه پژوهش

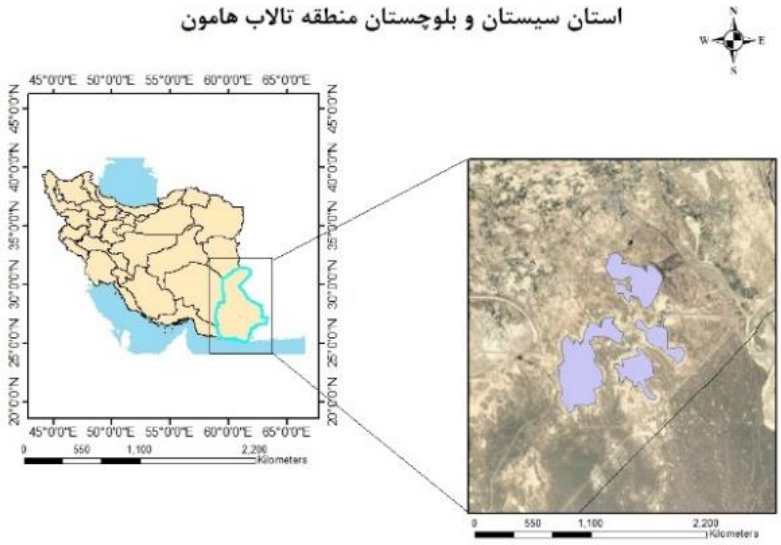
مطالعات پیشین نشان داده‌اند که سدها می‌توانند اکوسیستم‌های پایین‌دست را مختل کنند؛ برای مثال، چو و چی (۲۰۲۵) کاهش جریان آب و تخریب زیستگاه‌ها را گزارش کرده‌اند، و فنگ و هان (۲۰۱۶؛ ۲۰۱۸) تغییرات تالاب پویانگ چین را به سد تری گورج مرتبط دانسته‌اند. ژنگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز کاهش تنوع زیستی تالاب‌های نن‌جیانگ را به سدهای بالادست نسبت داده‌اند. در حوضه‌های دیگر، کوندو و پال و سردا (۲۰۲۲؛ ۲۰۲۰) اثرات سدها بر قطعه‌قطعه شدن و پایداری هیدرولوژیکی تالاب‌ها را در هند بررسی کرده‌اند، و روی (۲۰۲۵) پویایی سطح آب تالاب‌های آفریقای جنوبی را با تصاویر لندست تحلیل کرده است. در خاورمیانه، اکبری (۲۰۲۲) خشک شدن هامون را به خشکسالی و سدهای بالادست مانند کجکی نسبت داده است، و ملکی (۲۰۱۸، ۲۰۱۹) تغییرات سطح آب هامون را با سنجش از دور مطالعه کرده است. فاروغ (۲۰۲۲) کاهش پوشش گیاهی حوضه کجکی را بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ گزارش کرده است، در حالی که امیندین (۲۰۲۴) تحلیل بلندمدت تالاب‌های ایران را ارائه کرده است. شاکریاری (۲۰۲۲) قابلیت داده‌های لندست را برای ارزیابی تغییرات پوشش زمین هامون بررسی کرده است، و ملکی (۱۴۰۳) چالش‌های تخصیص آب در حوضه هیرمند پس از بهره‌برداری سد کمال‌خان را تحلیل کرده است. در ایران، حقیقی خمامی (۱۴۰۳) تغییرات پوشش زمین تالاب انزلی را با سنتینل–۲ بررسی کرده است، و وحیدی (۲۰۲۳) شاخص‌های خشکسالی را در نطنز ارزیابی کرده است. نباوی‌زاده و امیدوار (۱۴۰۳) و همچنین امیدوار (۱۴۰۳) خشکسالی سیستان را با شاخص‌های سنجش از دور نظارت کرده‌اند، و غراقزلو (۲۰۱۵) و فرجزاده اصل و رستمزاده (۲۰۰۷) اثرات سدهای داخلی مانند طالقان و ستارخان را بر کاربری زمین بررسی کرده‌اند. سالرنو (۲۰۲۲) تأثیر چنددهه‌ای سدها بر پوشش گیاهی سیلابی را تحلیل کرده است، و شهابی (۱۴۰۳) نقشه‌برداری نیمه‌نظارتی تالاب زریبار را توسعه داده است. کول (۲۰۲۲) پویایی سیلاب تالاب مارا را با سنتینل–۲ مدل‌سازی کرده است، و اوریمولوی (۲۰۱۹) و وی (۲۰۲۲) تغییرات تالابی را در آفریقای جنوبی و دلتای زرد چین نظارت کرده‌اند. با وجود این تحقیقات، شکاف‌هایی در ادبیات وجود دارد. ارزیابی خاص تأثیر سد کمال‌خان بر هامون محدود است (ملکی و همکاران، ۱۴۰۳)، و کاربرد سنتینل–۲ برای تحلیل دقیق خشکسالی در مناطق فرامرزی کمتر بررسی شده است (وارگهیز و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعات اغلب به شاخص‌های کلی خشکسالی اکتفا کرده‌اند (نباوی‌زاده و امیدوار، ۱۴۰۳؛ سیاسر و

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Normalized Difference Water Index

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-02-04]

همکاران، ۱۴۰۴)، و ادغام داده‌های ماهواره‌ای با مدل‌های تعادل آبی در حوضه‌های خشک فرامرزی، به‌ویژه در زمینه تنش‌های ژئوپلیتیکی ایران و افغانستان، ناکافی است (اکبری و همکاران، ۲۰۲۲؛ اسناشیری و همکاران، ۱۴۰۳). 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 قابل تعمیم به سایر حوضه‌های مشابه است و به سیاست‌گذاری فرامرزی در مدیریت منابع آب کمک می‌کند. یافته‌های آن می‌تواند اثرات اقتصادی-اجتماعی خشکسالی در سیستان را کاهش داده و پایه‌ای برای تحقیقات آینده فراهم آورد (امیندین، ۲۰۲۴؛ دهمرده، ۲۰۰۹؛ رحیمی، ۲۰۲۰).

دریاچه و تالاب بین‌المللی هامون بخشی از پناهگاه حیات وحش 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 کیلومتر مربع است که از این مقدار ۳۸۲۰ کیلومتر مربع متعلق به ایران و بقیه متعلق به افغانستان است شکل۱ موقعیت این منطقه را نشان می‌دهد.



شکل۱. منطقه مورد مطالعه-تالاب هامون

داده‌های مورد استفاده

برای بررسی تغییرات بوجود آمده 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

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-02-04]

باندها معمولاً برای مطالعاتی مانند ارزیابی سلامت اکوسیستم، تغییرات استفاده از زمین، آلودگی و تغییرات آب و هوایی حائز اهمیت هستند و با توجه به 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 ماهواره ای سنتینل-۲ استفاده شد . در گام نخست تصاویر مربوط به قبل و بعد از منطقه ی سد کمالخان و همچنین تالاب هامون از پایگاه داده های ماهواره ای دریافت شد. این تصاویر امکان مشاهده تغییرات در کاربری هارا برای ما فراهم می سازد.پس از دریافت داده ها تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری روی تصاویر اعمال شد تا تاثیرات ناشی از شرایط جوی و اختلاف روشنایی حذف شده و داده ها برای پردازش آماده شوند . در مرحله بعد طبقه بندی 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 کلاس های موجود به‌عنوان داده‌های آموزشی انتخاب و مدل ماشین بردار پشتیبان تهیه شد. سپس این مدل برای طبقه‌بندی کل منطقه مورد مطالعه استفاده قرار گرفت پس از اتمام طبقه‌بندی، ارزیابی دقت نتایج با استفاده از ماتریس خطا[3] و شاخص‌های آماری مانند دقت کلی[4] و ضریب کاپا[5] انجام شد تا میزان صحت و کیفیت طبقه‌بندی مشخص گردد. این ارزیابی‌ها نشان‌دهنده دقت بالای روش به‌کار رفته در شناسایی پوشش‌های مختلف زمین بود.در نهایت، برای آشکارسازی تغییرات ناشی از احداث سد ، از ابزار الگوریتم فرآیند آشکارسازی تغییرات موضوعی استفاده شد این ابزار برای شناسایی و تحلیل تغییرات موضوعی در داده‌های سنجش از دور در نرم افزار Envi طراحی شده است. این روش امکان مقایسه دقیق بین تصاویر قبل و بعد از احداث سد را فراهم می‌کند و تغییرات به صورت نقشه‌های موضوعی مشخص خواهند شد. بر اساس این نقشه ها می توان مناطقی که مساحت آن ها دچار تغییرات شده اند را مشخص کرد و میزان افزایش و کاهش کاربری ها را محاسبه نمود.

شکل ۲ (الف)-روند تحقیق

شکل ۲ (ب)-روند تحقیق

شکل ۲. روند تحقیق

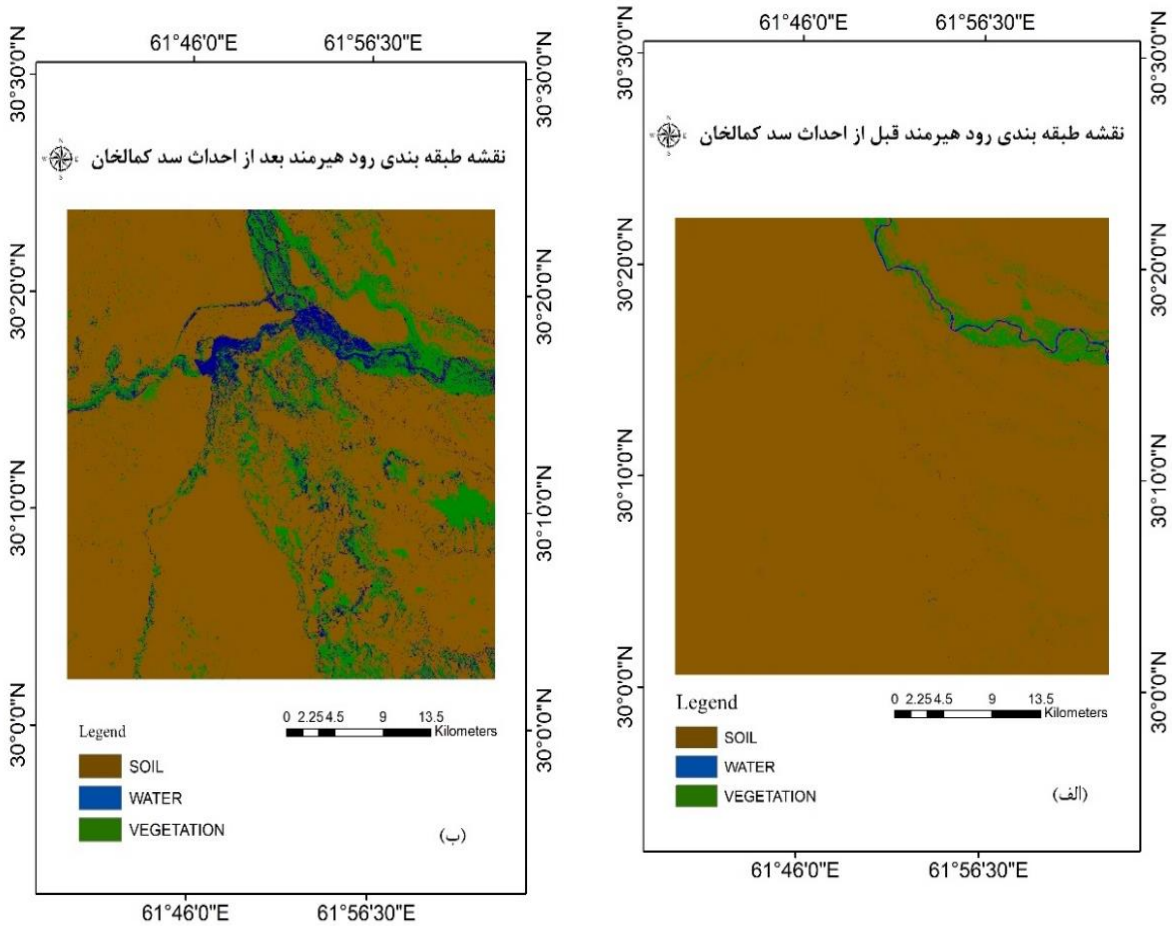
3. Confusion Matrix
4. Overall Accuracy
5. Kappa Coefficient

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-02-04]

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 می باشد و مختصات آن ۳۰°۲۱′۰″ شمالی و ۶۱°۵۵′۰″ شرقی می باشد.

مطابق شکل ۲ بعد از تهیه تصاویر قبل و بعد از احداث سد و اعمال تصحیحات هندسی و رادیومتریک این تصاویر از روش طبقه بندی کننده ماشین بردار پشتیبان برای طبقه بندی نظارت شده استفاده گردید . 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 آب و خاک را به عنوان داده‌های آموزشی به مدل معرفی گردید و بعد از مرحله آموزش مدل براساس این نمونه‌های آموزشی طبقه‌بندی در کل تصویر انجام گردید. شکل ۳ نتیجه طبقه بندی قبل و بعد از احداث سد را نشان می‌دهد.



شکل ۳(الف) رود هیرمند قبل از احداث سد کمالخان، شکل۳(ب) رود هیرمند بعد از احداث سد کمالخان

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

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-02-04]

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

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

دقت کلی طبقه‌بندی برابر با ۹۹/۶۴درصد و ضریب کاپا ۰/۹۴۶۹ محاسبه شد که بیانگر دقت قابل قبول 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

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

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

دقت تولیدکننده نشان‌دهنده درصدی از نمونه‌های واقعی یک کلاس است که به‌درستی شناسایی شده‌اند، در حالی‌که 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

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

با توجه به 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 مورد مطالعه 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 فرآیند آشکارسازی تغییرات موضوعی در نرم‌افزار ENVI مورد پردازش قرار گرفتند. نقشه خروجی، حاصل این فرآیند است و تغییرات کاربری اراضی در محدوده سد کمال‌خان طی بازه زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد.

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-02-04]

جدول٤. درصد تغییرات هر کلاس به کلاس دیگر

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

یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و فرآیند آشکارسازی تغییرات نشان‌دهنده دقت و اعتبار بالای روش‌های به‌کاررفته در بررس تأثیرات احداث سد کمال‌خان بر تالاب هامون هستند. دقت کلی طبقه‌بندی‌ها بیش از ۹۹٪ 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، آب و خاک است. در منطقه سد کمال‌خان، بیشترین تغییرات به صورت 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 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 گرد و غبار، 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 حق‌آبه رودخانه هیرمند است، عامل اصلی تخریب زیست‌محیطی منطقه بوده است. ارزیابی‌های انجام‌شده نشان می‌دهند که استفاده از داده‌های سنجش از دور و تحلیل‌های مکانی می‌تواند ابزاری مؤثر در پایش تغییرات اکوسیستم‌ها و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی باشد. در مجموع، نتایج این پژوهش نه‌تنها از دقت علمی بالایی برخوردار است، بلکه از نظر کاربردی نیز می‌تواند به عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی محیط‌زیستی، مذاکرات منطقه‌ای درباره منابع آبی، و حفاظت مؤثرتر از تالاب هامون مورد استفاده 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 فرآیند 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 نه تنها در بعد زیست‌محیطی، بلکه در ابعاد اقتصادی و اجتماعی منطقه نیز به‌صورت افزایش گردوغبار، مهاجرت، و کاهش معیشت جوامع محلی

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-02-04]

نمایان شده است. در نتیجه، مقابله با اثرات 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 مورد استفاده قرار گیرد و به پایداری بلندمدت این زیست‌بوم ارزشمند کمک کند.

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-02-04]

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.

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.

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.

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., 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.

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.

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-02-04]

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.

Ehsani, A., Shakeryari, M., Nasrabadi, T., & Mahmoudi, P. (2022). 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)

Bozorgzadeh, M. N., & 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)

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)

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)

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)

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

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)

[Downloaded from disaster.ndri.ac.ir on 2026-02-04]