اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۸، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۲۵-۱۰۹

کاربرد داده‌های ماهواره‌ای در برآورد نیاز آب زیست‌محیطی تالاب‌ها در مناطق با داده‌های محدود (مطالعهٔ موردی: تالاب کانی‌برازان)

سمیه سیما[1*]، کوروش کاووسی[2]، بهداد ساعد[3]

۱. استادیار گروه مهندسی آب و پژوهشکدهٔ مهندسی و مدیریت منابع آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. گروه محیط زیست، مهندسین مشاور آبان پژوه

۳. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب دانشگاه ساسکاچوان، کانادا

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۵/۰۴، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۱۱/۳۰)

چکیده

تعیین و تأمین نیاز آب زیست‌محیطی اکوسیستم‌ها از جمله تالاب‌ها یکی از راهکارهای مؤثر به منظور پیشگیری از تخریب و اطمینان از تداوم خدمات اکوسیستمی آنهاست. در مطالعهٔ حاضر تعیین نیاز آبی تالاب بین‌المللی کانی‌برازان (در جنوب دریاچهٔ ارومیه) با اتخاذ یک رویکرد ترکیبی هیدرواکولوژیکی مد نظر قرار گرفت. به این منظور، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای تغییرات بلندمدت سطوح آب و پوشش گیاهی تحلیل شد. سپس، تحلیل فراوانی سطوح غرقابی و دوره‌های رشد پوشش گیاهی تالاب و برآورد مقادیر تبخیر- تعرق از سطح انجام شد. در ادامه، بر مبنای مطالعات میدانی انجام‌شده از تابستان ۱۳۹۴ تا پاییز ۱۳۹۵، هیدروگرافی تالاب، گونه‌های گیاهی و پرندگان تالاب و مکان‌یابی زیستگاه‌های آنها تعیین شده و گونه‌های شاخص مشخص شدند. بر مبنای عمق مطلوب و الگوی مکانی زیستگاه‌های گونه‌های شاخص گیاهان و پرندگان زمستان‌گذران در معرض خطر و تهدید، سطوح غرقابی و احجام مطلوب تالاب تعیین شد. در نهایت، با استفاده از سری زمانی احجام تاریخی تالاب و مدل‌سازی معکوس بیلان آب، رژیم جریان ورودی تالاب از منابع سطحی برای تأمین نیاز آبی تالاب برآورد شد. نتایج مطالعهٔ حاضر نشان می‌دهد در شرایط نرمال جریان زیست‌محیطی مورد نیاز تالاب کانی‌برازان معادل ۱۶/۵ میلیون مترمکعب در سال، شامل دو پیک جریان به‌ترتیب در اواسط پاییز و اواخر بهار است. نتایج مطالعهٔ حاضر می‌تواند در برنامه‌ریزی منابع آب سطحی و زیرزمینی تغذیه‌کنندهٔ تالاب و نیز مدیریت کیفیت آب تالاب استفاده شود.

کلیدواژگان: پرندگان زمستان‌گذران، پوشش گیاهی، رویکرد ترکیبی، گونه‌های شاخص، نیاز آب زیست‌محیطی.

[*] نویسندهٔ مسئول

Email: s.sima@modares.ac.ir

مقدمه

تالاب‌ها به عنوان یکی از زیستگاه‌های کرهٔ زمین فقط ۱ درصد از سطح زمین را پوشانده‌اند، اما زیستگاه حدود ۲۰ درصد از تمام گونه‌ها در سراسر جهان هستند [۱]. تالاب‌ها خدمات اکوسیستمی متنوعی شامل تنظیم میکرواقلیم، حفاظت از چرخهٔ هیدرولوژی و تنوع زیستی، کنترل سیلاب و کاهش آسیب مخاطرات طبیعی و تولید محصولات آبزی با ارزش اقتصادی را فراهم می‌کنند که برای حیات انسان‌ها و حیوانات بسیار ضروری است [۲ و ۳]. برآورد شده است که بیش از ۲۳ درصد ارزش کل خدمات اکوسیستمی در سراسر جهان مربوط به اکوسیستم‌های دریاچه‌ای و تالابی است [۴]. مطالعهٔ انجام‌شده روی ۲۳۰۳ تالاب بین‌المللی در سطح جهان نشان می‌دهد بیش از نیمی از این سایت‌ها تحت آثار مخرب ناشی از تغییر در سیستم طبیعی قرار دارند و در این بین، تالاب‌های تغذیه‌شونده از رودخانه‌ها بیشترین تأثیرپذیری را از تنظیم رژیم جریان ورودی داشته‌اند [۵].

بررسی‌ها نشان داده است تأمین جریان‌های زیست‌محیطی رودخانه‌ها و تالاب‌های وابسته به طور چشمگیری منجر به افزایش خدمات تنظیمی (تنظیم و جذب رسوبات و تصفیهٔ آب)، خدمات حمایتی (تولید مواد آلی و حفاظت از زیستگاه‌ها) و خدمات تولیدی (تولید ماهیان، نیزارها...) و تنوع زیستی در تالاب‌ها می‌شود [۶ و ۷]. جریان آب زیست‌محیطی عبارت است از: رژیم آب فراهم‌شده برای یک رودخانه، تالاب یا ناحیهٔ ساحلی به منظور حفاظت از اکوسیستم‌ها و منافع آنها، در مواقعی که رقابت شدیدی برای آب بین مصرف‌کنندگان در حوضه وجود دارد و جریان رودخانه‌ها تنظیم شده‌اند [۸]. جریان‌هایی که با هدف تأمین پایداری زیستگاه‌ها و فرایندهای اکوسیستم تعیین و تخصیص داده می‌شود در ادبیات فنی به «جریان‌های زیست‌محیطی»[1] و «نیاز آب زیست‌محیطی»[2] معروف است. در مورد تالاب‌ها اصطلاح نیاز آب زیست‌محیطی بیشتر رایج است [۹].

به منظور تعیین نیاز آب زیست‌محیطی، با توجه به مقیاس مکانی مطالعه، داده‌های موجود، گام زمانی ارزیابی و ظرفیت‌های فنی و مالی، روش‌های مختلفی استفاده می‌شوند. بر این اساس، روش‌های به‌کارگرفته‌شده طیف گسترده‌ای از روش‌های سریع (قابل استفاده در سطح شناخت یا برنامه‌ریزی کلان منابع آب) تا روش‌های دقیق‌تر (با تمرکز روی یک رودخانه یا تالاب با گونه‌های شاخص به‌خصوص) را در بر می‌گیرد [۱۰]. رویکردهای تعیین نیاز آب زیست‌محیطی تالاب‌ها به سه رویکرد هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و ترکیبی یا جامع تقسیم می‌شود [۹]. در رویکردهای هیدرولوژیکی، فرض بر این است که گونه‌های گیاهی و جانوری[3] با رژیم طبیعی سازگار شده‌اند و و از این‌رو، با احیای رژیم طبیعی جریان، اکوسیستم نیز احیا می‌شود. در این رویکرد تمرکز بر برآورد رژیم جریان طبیعی تالاب (با استفاده از داده‌ها و یا مدل‌سازی) و سپس، احیای آن است [۱۱]. در مواقعی که مصارف آب در حوضه‌های آبریز زیاد است و محدودیت منابع وجود دارد (مانند تالاب‌های واقع در پایین‌دست حوضه‌های آبریز بزرگ)، برگشت کامل به شرایط طبیعی قبل از توسعه امکان‌پذیر نیست. در این موارد در رویکردهای هیدرولوژیکی تلاش می‌شود تا به جای احیای کامل[4] روی بهبود شرایط تالاب[5] تا حد ممکن کار شود [۱۱]. رویکرد اکولوژیکی تعیین نیاز آب زیست‌محیطی تالاب‌ها، شامل تعیین رژیم آبی مورد نیاز گونه‌های گیاهی و جانوری موجود یا ارجح و حفظ آن رژیم است [۹]. این روش‌ها به شناسایی پاسخ گونه‌های هدف نسبت به تغییرات رژیم جریان تالاب نیاز دارند که اغلب غیرخطی هستند [۱۲]. در رویکرد جامع یک چارچوب مفهومی برای تعیین نیاز آب زیست‌محیطی تالاب‌ها تعریف می‌شود، به گونه‌ای که علاوه بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی، تا حد امکان نیازمندی اکولوژیکی گونه‌های هدف نیز در رژیم جریان پیشنهادی لحاظ شود. فرض اساسی در رویکردهای اکولوژیکی و جامع این است که با حفظ اجزای اساسی رژیم طبیعی جریان در رژیم جریان تغییر یافته، تنوع اکولوژیکی حفظ خواهد شد [۱۳]. در رویکردهای جامع اغلب کنترل کیفیت آب، ارزیابی آثار اقتصادی- اجتماعی، طراحی برنامهٔ پایش نیز مد نظر قرار می‌گیرد. در کل، روش‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی به علت سهولت بیشتر،

1. Environmental Flows
2. Environmental Water Requirements
3. Biota
4. Restoration
5. Rehabilitation

پرکاربردتر از روش جامع هستند، اما در مقابل اعتمادپذیری روش‌های جامع بیش از دو روش دیگر است.

استفاده از رویکردهای هیدرولوژیکی در تعیین نیاز آب زیست‌محیطی تالاب‌ها با استفاده از پایش سطح تالاب و یا مدل‌سازی هیدرولوژیکی جریان‌های ورودی در مطالعات مختلفی صورت گرفته است [۱۴ـ ۱۶]. مطالعات انجام‌شده با رویکرد اکولوژیکی نیز در انواع مختلفی از تالاب‌ها صورت گرفته است [۱]. از جمله مطالعات با رویکرد اکولوژیکی، مطالعه‌ای است که در آن به منظور ارزیابی سناریوهای تخصیص جریان زیست‌محیطی برای مجموعه‌ای از تالاب‌ها در چین از معیار بهره‌وری بیولوژیکی استفاده شده است [۱۷]. بررسی‌ها نشان می‌دهد استفاده از رویکرد جامع در تعیین نیاز آب زیست‌محیطی در مطالعات محدودی صورت گرفته است [۹ و ۱۸]. پژوهش‌های اخیر بر لزوم توسعهٔ روش‌ها و چارچوب‌های مفهومی تعیین جریان زیست‌محیطی که محدودهٔ گسترده‌ای از خدمات اکوسیستمی را در نظر بگیرند و فراتر از تمرکز بر روابط هیدرواکولوژیک، ارزش‌های اجتماعی، تفریحی و فرهنگی اکوسیستم‌ها را نیز در تعامل با جوامع محلی ساکن در اطراف آنها در نظر بگیرند، تأکید می‌کنند [۱۹ و ۲۰].

فقدان و یا کمبود داده‌های بلندمدت اکولوژیکی یکی از محدودیت‌های اصلی در به‌کارگیری روش‌های اکولوژیکی و جامع در تعیین نیاز آب زیست‌محیطی تالاب‌ها است. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند کمک شایان توجهی به بهبود برآوردهای مطالعات نیاز آب زیست‌محیطی تالاب‌ها و ارتقای روش استفاده‌شده بکند [۲۱]. از جملهٔ این مطالعات می‌توان به استفاده از داده‌های ماهواره‌ای AVHRR-NOAA و مدل‌سازی مفهومی به منظور تحلیل شرایط غرقابی یک تالاب دشت سیلابی در استرالیا برای مطالعات تعیین نیاز آبی تالاب اشاره کرد [۷].

در ایران نیز طی دو دههٔ گذشته با وجود توجه به تدوین دستورالعمل‌ها و راهنماهای مرتبط با تعیین نیاز آب زیست‌محیطی تالاب‌ها به علت محدودیت داده‌های بلندمدت تالاب‌ها برای توسعهٔ روابط هیدرواکولوژیک، استفاده از رویکردهای هیدرولوژیکی متداول است. از جملهٔ این مطالعات می‌توان به مطالعهٔ نیاز آبی تالاب میانکاله [۲۲]، تالاب هورالعظیم [۲۳] و تالاب گاوخونی [۲۴] اشاره کرد. مطالعاتی هم در تعدادی از تالاب‌های کشور با تمرکز بر یک گونهٔ شاخص، کاربرد روش اکولوژیکی را مد نظر قرار داده‌اند؛ از جمله در دریاچهٔ ارومیه [۲۵]، در تالاب بختگان [۲۶] و در تالاب انزلی [۲۷]. همچنین، مطالعات محدودی نیز با تلاش بر در نظر گرفتن روابط هیدرواکولوژیک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، تالاب‌ها ازجمله در تالاب شادگان [۲۸] و در تالاب هامون [۲۹] صورت گرفته است.

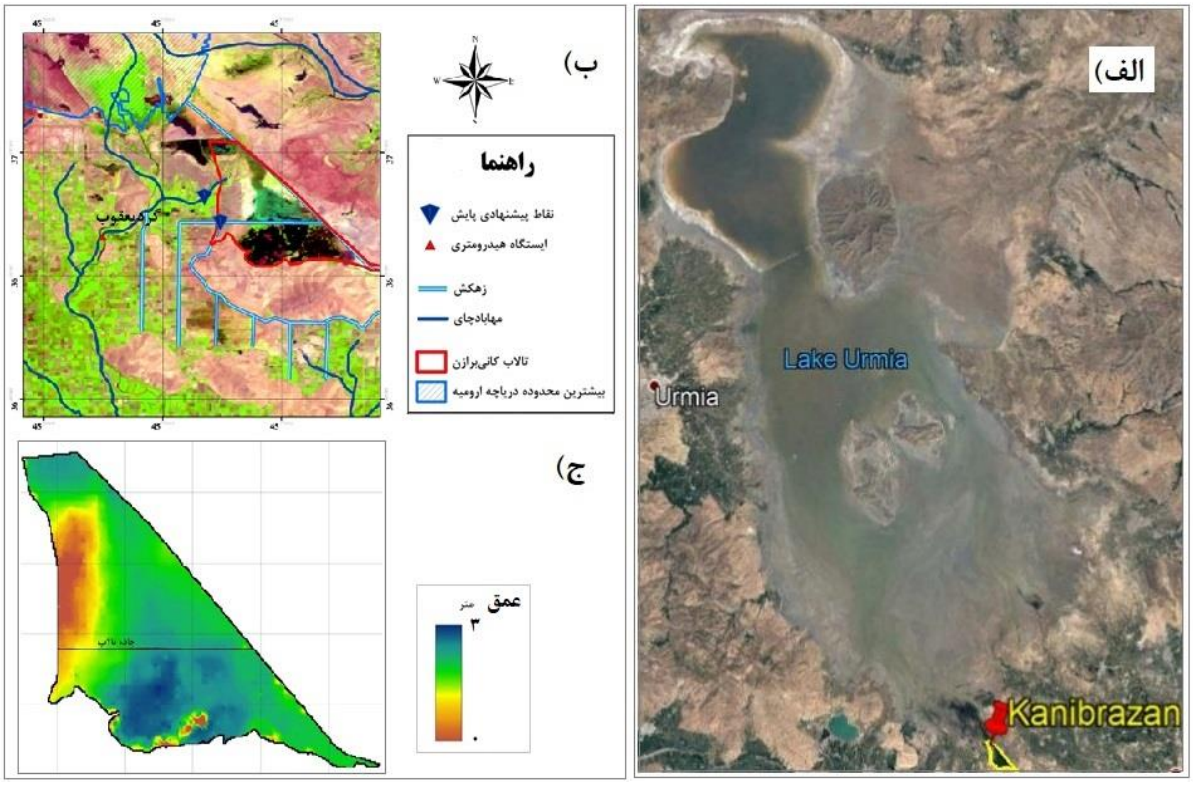
بررسی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد به‌رغم گسترش فراهمی و قابلیت اعتماد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در زمینهٔ پایش منابع آب و محیط زیست، کاربرد این داده‌ها در کشور برای فهم و کمی‌سازی واکنش متغیرهای اکولوژیک (نظیر وسعت و تراکم پوشش گیاهی، زیستگاه پرندگان،...) در برابر تغییرات هیدورلوژیکی رژیم جریان تالاب‌ها (که کارکردی کلیدی در مطالعات تعیین نیاز آبی تالاب‌ها دارد)، محدود بوده است. هدف از مطالعهٔ حاضر، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به همراه داده‌های میدانی و مدل‌سازی در تعیین نیاز آب زیست‌محیطی تالاب کانی‌برازان و جریان زیست‌محیطی معادل آن است. در پژوهش حاضر استفاده از منابع داده‌های مختلف و با تمرکز بر تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و زمینی به منظور توسعهٔ روابط هیدوراکولوژیک تالاب مورد توجه قرار گرفته است.

منطقهٔ مطالعه‌شده

تالاب کانی‌برازان با مساحت ۹/۲۷ کیلومتر مربع در شمال کوه قره‌داغ و در قسمت شمالی حوضهٔ آبریز رودخانه‌های مهابادچای و سیمینه‌رود و نیز در مجاورت روستای قره‌داغ در استان آذربایجان غربی قرار دارد (شکل ۱، الف). تالاب کانی‌برازان از شمال به کانال قره‌داغ و زمین‌های پست و شوره‌زار، از مغرب به تپه‌های مرتفع و نیمه‌مرتفع قره‌داغ، از شرق و شمال شرقی به کانال «بفروان» و از سمت جنوب به زمین‌های کشاورزی و چمن‌زارها و زمین‌های پست شوره‌زار روستای بفروان با شیب صفر تا ۲ درصد محدود می‌شود. این تالاب در زمرهٔ تالاب‌های بااهمیت بین‌المللی در کنوانسیون رامسر ثبت شده و به عنوان نخستین سایت پرنده‌نگری کشور انتخاب شده است [۳۰].

عمق آب این تالاب در حاشیه‌ها حدود ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و در مرکز تالاب بیش از یک متر است (شکل ۱،

ج). تالاب طی فصل بهار نسبتاً پرآب است و در اواخر تابستان و اوایل پاییز به حداقل میزان آب خود می‌رسد. با توجه به اینکه در اواخر زمستان و نیز در فصل بهار رواناب‌های سطحی ناشی از بارش و ذوب برف سهم بیشتری در جریان زهکش‌ها دارند، کیفیت آب تالاب اندکی بهتر از اواخر تابستان و اوایل پاییز است که منبع تأمین‌کنندهٔ آب بیشتر جریان‌های برگشتی آبیاری است. در قسمت‌های شمالی، شوری آب در اوایل پاییز به طور درخور توجهی افزایش می‌یابد. تبخیر آب و عدم تغذیهٔ آب از نهرهای تغذیه‌کننده، دلیل افزایش شوری است [۳۱].



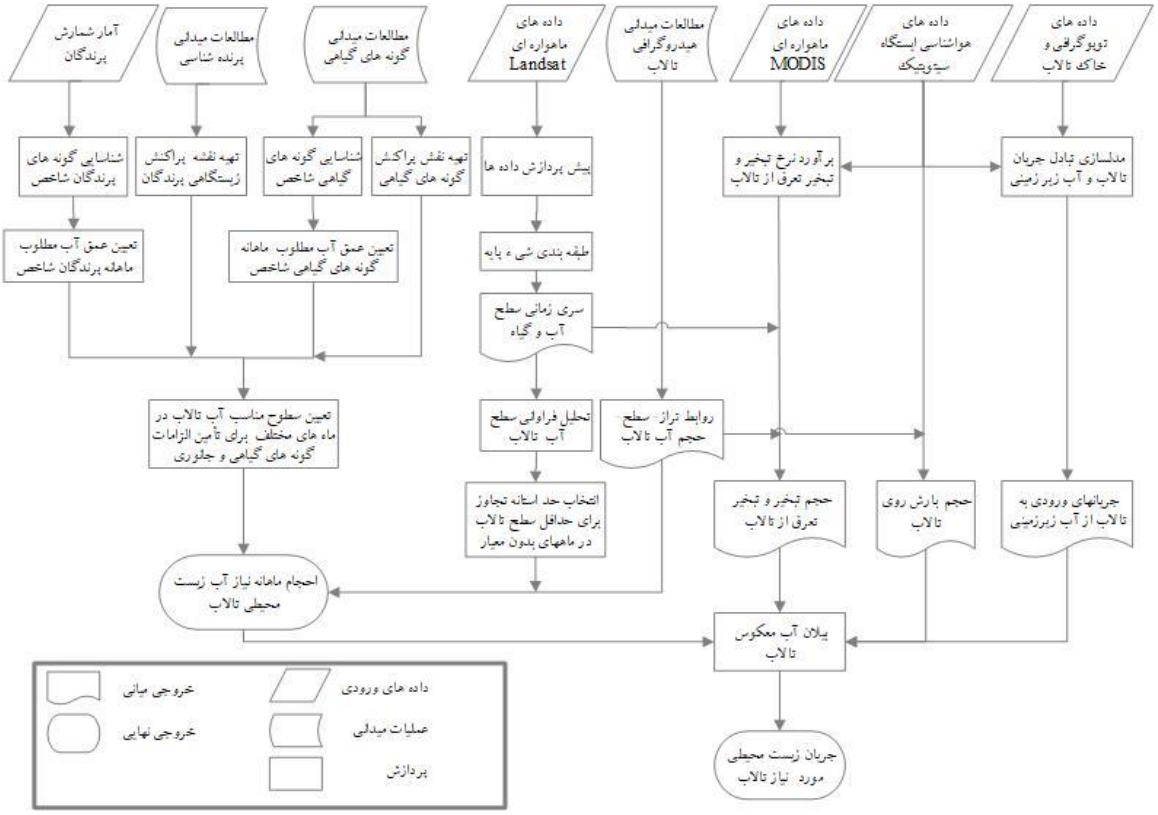
شکل ۱. الف) تصویر ماهواره‌ای موقعیت تالاب کانی‌برازان در جنوب دریاچهٔ ارومیه؛ ب) رودخانه‌های ورودی به تالاب، زهکش‌های اطراف، ایستگاه هیدرومتری و ایستگاه‌های پایش پیشنهادی و ج) نقشه عمق‌سنجی تالاب کانی‌برازان

روش کار

مراحل کلی انجام تحقیق عبارت‌اند از:

- انجام مطالعات هیدروگرافی و استخراج روابط تراز-سطح- حجم تالاب
- پایش تغییرات سطح آب و گیاه و تراکم گیاه در محدودهٔ تالاب
- پایش تغییرات تراکم گیاه در محدودهٔ تالاب و تحلیل دورهٔ رشد
- تحلیل فراوانی سطح آب در تالاب
- برآورد سری زمانی تبخیر و تبخیر-تعرق ازسطح آب و گیاه تالاب
- انجام مطالعات گیاهی‌شناسی و تعیین موقعیت و نوع گونه‌ها (بومی/ مهاجم) در تالاب و تعیین گونه‌های گیاهی شاخص و نیازمندی عمق آب آنها طی دورهٔ رویش
- تحلیل آمارش شمارش پرندگان، شناسایی گونه‌های شاخص و نیازمندی عمق مطلوب آنها
- برآورد نیاز آب زیست‌محیطی تالاب
- توسعهٔ بیلان آب معکوس تالاب و برآورد جریان‌های سطحی مورد نیاز

در ادامه، مهم‌ترین مراحل کار که جزئیات آن در شکل ۲ نشان داده شده است، تشریح می‌شود.



شکل ۲. روندنمای مراحل انجام کار

پایش تغییرات سطح آب و گیاه

پایش تغییرات سه کلاس آب، خاک و گیاه در تالاب طی دورهٔ ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۵، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و روش طبقه‌بندی شیءمبنا[1] انجام شد. در کنار مطالعهٔ روند تغییرات سطح پهنه‌های آبی و گیاهی تالاب‌ها، روند تغییرات میزان تراکم پوشش‌های گیاهی نیز با استفاده از شاخص تفاضل نرمال‌شدهٔ گیاهی (NDVI[2]) در محدودهٔ نواحی گیاهی تالاب بررسی شد.

تحلیل فراوانی سطح آب تالاب

با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده سطح آب تالاب از پایش ماهواره‌ای، تحلیل فراوانی سطح غرقاب‌شدهٔ تالاب (به روش متداول تحلیل فراوانی داده‌های هیدرولوژیکی) صورت گرفت و سطح آب تالاب به ازای احتمال تجاوز مختلف تعیین شد. نتایج این تحلیل ضمن کمک به فهم بهتر از تناوب دوره‌های غرقابی- خشکی تالاب در گذشته، به عنوان معیاری برای تعیین نیاز آب ماهانهٔ تالاب در فصولی که قیدی برای پوشش گیاهی و پرندگان شاخص وجود نداشت، استفاده شد. بر اساس تحلیل فراوانی سطوح غرقابی تاریخی تلاش شد در ماه‌های مرداد تا آبان، مساحت غرقابی تالاب طوری لحاظ شود که ضمن مرطوب نگه داشتن بستر تالاب برای پیشگیری از وقوع گرد و غبار (در زمان تشدید سرعت باد)، امکان کنترل تغذیه‌گرایی ناشی از ورود زهاب‌های کشاورزی در پاییز فراهم شود.

تعیین گونه‌های گیاهی شاخص و نیاز آبی آنها

از میان گونه‌های شناسایی‌شده در سطح تالاب گونه‌های شاخص برمبنای بومی بودن و نزدیکی جوامع گیاهی به شرایط مطلوب گذشته، انتخاب شدند. سپس، منحنی‌های عمق آب مورد نیاز طی دورهٔ زیستی برای گونه‌های مورد نظر (با استفاده از مراجع معتبر و مشاهدات میدانی) استخراج شد. در پژوهش حاضر نیاز آبی فقط بر اساس انتخاب یک گونهٔ گیاهی شاخص انجام نشده است، بلکه چندین گونهٔ شاخص و موقعیت قرارگیری آنها در تالاب لحاظ شده است و عمق مورد نیاز آن‌ها طی دورهٔ رویش تعیین شده است. این موضوع از آن نظر مهم است که با توجه به توپوگرافی تالاب، گاهی اوقات گیاهان شاخص با نیازمندی عمق کم که در مناطق حاشیهٔ تالاب هستند،

1. Object-oriented
2. Normalized Difference Vegetation Index

نسبت به گیاهان مرکز تالاب که عمق بیشتری برای غرقابی نیاز دارند، کارکرد تعیین‌کننده‌تری در تعیین تراز و سطح مطلوب تالاب دارند.

برای تعیین نیاز آبی گیاهان حاشیه[1] و درون تالاب می‌توان از روش ارائه‌شده توسط کوپرو مریت (۲۰۱۲) بهره گرفت. در این روش اثر تغییرات هیدرولوژیکی روی ۱۹ پارامتر بیولوژیکی مد نظر قرار می‌گیرد و براساس تعدادی از این پارامترها که امکان جمع‌آوری داده‌های صحرایی آنها فراهم باشد، منحنی تغییرات ارتفاعی آب در تالاب طی دورهٔ زیستی[2] برای گونه‌های شاخص ترسیم می‌شود [۳۲]. در پژوهش حاضر پارامترهای بیولوژیکی استفاده‌شده در این روش بررسی شده و پارامترهای قابل پایش طی دورهٔ انجام مطالعه شامل اندازهٔ تاج، رشد ساقه‌ای، اندازهٔ برگی، غنای زیستی، ترکیبات زیستی (و گونه‌های همراه)، پوشش سطحی، رشد رویشی و ساختار عمودی استفاده شدند و نیز زمان آغاز تغییرات، به حداکثر رسیدن و افول آنها شناسایی شدند. سپس، این پارامترها در تعیین مراحل چرخهٔ زیستی گیاهان شاخص به کار گرفته شدند.

تعیین گونه‌های پرندگان شاخص و نیاز آبی آنها

آمار فراوانی و تنوع گونه‌های پرندگان تالاب تحلیل شد. سپس، گونه‌های شاخص تالاب بر اساس معیارهای اتحادیهٔ بین‌المللی حفاظت از طبیعت (IUCN[3])، از میان گونه‌های در معرض تهدید و آسیب‌پذیر انتخاب شدند. با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و الگوی رفتاری (ارتفاع پا، شیرجه‌زنی) پرندگان شاخص، اعماق مناسب توصیه‌شده برای آنها در مراجع استفاده شد.

بیلان معکوس و برآورد جریان‌های زیست‌محیطی مورد نیاز

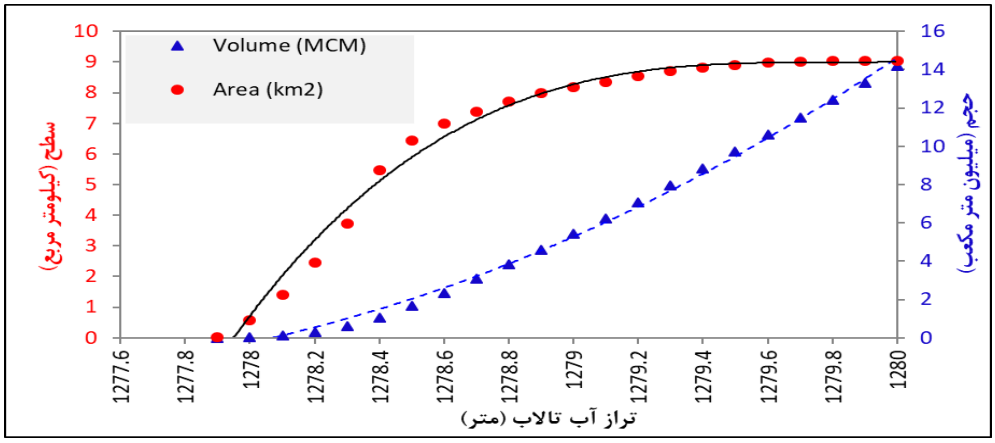
پس از تعیین نیاز آبی در قالب حجم و سطح مطلوب در تالاب، باید جریان‌های ورودی مورد نیاز به تالاب برای تأمین سطوح و احجام مطلوب برآورد شود. به این منظور، بیلان معکوس تالاب طی دورهٔ ۱۳۷۷ـ ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۲ـ ۱۳۹۳ که بر اساس گزارش کمیسیون تخصیص آب وزارت نیرو در سال ۱۳۹۴، سری زمانی بارش و رواناب در حوضه به لحاظ آماری مانا بوده است، توسعه داده شد. به این منظور، با استفاده از آمار ایستگاه سینوپتیک هواشناسی مجاور تالاب و سطوح آب و پوشش گیاهی به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای، برآورد تلفات تبخیر- تعرق از سطح تالاب صورت گرفت. به این منظور، با توجه به وضعیت متغیرهای اقلیمی، مقادیر تبخیر-تعرق تالاب با استفاده از روش پنمن- مونتیث به صورت ماهانه محاسبه شد. سپس، احجام تلفات تبخیر و تبخیر-تعرق از سطح تالاب در هر ماه با توجه به محدودهٔ پوشش آب و پوشش گیاهی به صورت دینامیک محاسبه شد. سپس، مدل‌سازی اندرکنش تالاب و جریان آب زیرزمینی صورت گرفت و میزان جریان آب زیرزمینی ورودی به تالاب طی دورهٔ تاریخی مانا برآورد شد [۳۳]. در نهایت، با توجه به شرایط پوشش سطح مطلوب تالاب طی ماه‌های مختلف، متوسط جریان آب زیرزمینی ورودی به تالاب و مقادیر تبخیر و تبخیر-تعرق، متوسط جریان‌های ورودی مورد نیاز برای تأمین نیاز آبی تالاب شبیه‌سازی شد.

داده‌های استفاده‌شده

داده‌های زمینی

به منظور استخراج نقشهٔ عمق‌سنجی و منحنی تراز- سطح- حجم تالاب یک دورهٔ مطالعه هیدورگرافی در بازهٔ زمانی آبان تا آذر ۱۳۹۴ صورت گرفت و نقشهٔ بسیمتری (شکل ۱، ج) و روابط تراز- سطح- حجم تالاب (شکل ۳) به‌دست آمد. به منظور بررسی جوامع و گونه‌های گیاهی محدودهٔ تالاب و تعیین نقشهٔ مکانی موقعیت گونه‌ها، بازدیدهای میدانی برای مطالعات گیاه‌شناسی در بهار و تابستان سالهای ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵ صورت گرفت. برای مطالعات پرنده‌شناسی داده‌های شمارش پرندگان سازمان حفاظت محیط زیست و ادارات محیط زیست آذربایجان غربی و مهاباد اخذ شد. این داده‌ها شامل شمارش کل پرندگان (از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۴) و شمارش تفکیکی گونه‌ها (از ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴) است که به طور معمول طی ژانویه (دی‌ماه) جمع‌آوری می‌شود. در محاسبهٔ تبخیر و تبخیر-تعرق از سطح تالاب از داده‌های ایستگاه سینوپتیک مهاباد که نزدیک‌ترین ایستگاه به تالاب است، استفاده شده است. داده‌های استفاده‌شده عبارت‌اند از: دمای متوسط هوا (درجهٔ سلسیوس)، فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال)، ساعت‌های آفتابی (ساعت) و سرعت باد (متر بر ثانیه).

1. Riparian
2. Life Cycle
3. International Union for Conservation of Nature



شکل ۳. روابط تراز- سطح-حجم تالاب کانی‌برازان

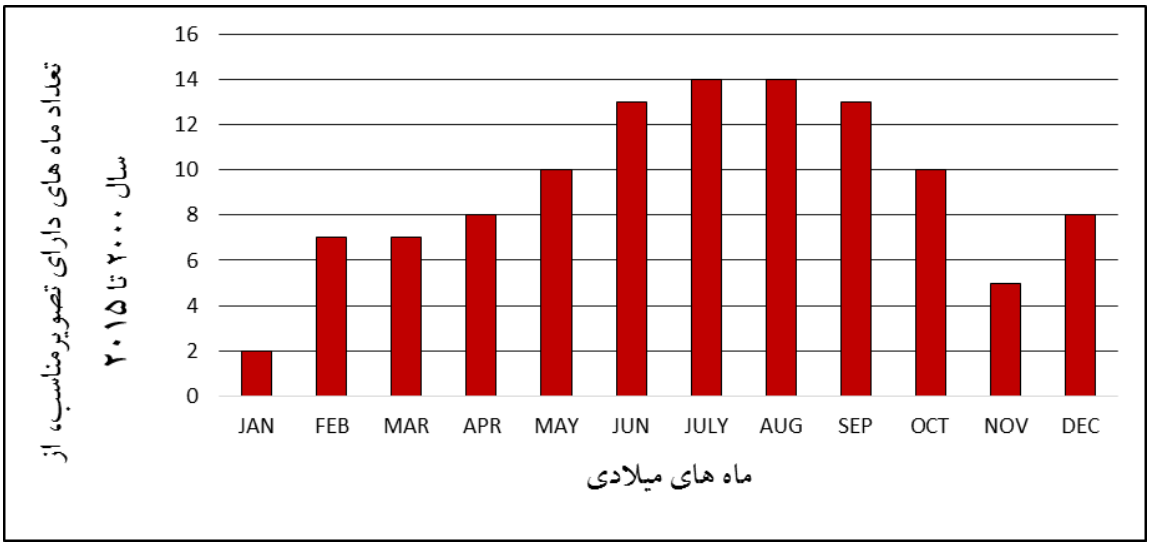
داده‌های ماهواره‌ای

برای پایش درازمدت متغیرهای پایهٔ تالاب کانی‌برازان از تصاویر ماهواره‌ای Landsat و MODIS[1] استفاده شد. جدول ۱، فهرست و مشخصات داده‌های ماهواره‌ای استفاده‌شده را نشان می‌دهد. تصاویر Landsat رایج‌ترین تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده برای مطالعهٔ تالاب‌ها، خصوصیات آنها و در نهایت، روند تغییرات آنها است. علت استفاده از این تصاویر، محبوبیت آن در منابع اطلاعاتی موجود، نتایج رضایت‌بخش آن در تفکیک منابع تالابی، آرشیو درازمدت، رایگان بودن و در نهایت، قدرت تفکیک مکانی مناسب آنها است. به این منظور، آرشیو تصاویر این ماهواره در گذر (ROW) شمارهٔ ۱۶۸ و ردیف (PATH) شمارهٔ ۳۴ طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ و به صورت ماهانه بررسی شد. از بین تصاویر موجود از ماهوارهٔ Landsat در شمارهٔ گذر و عبور یادشده، بیشترین تعداد تصاویر مربوط به سنجندهٔ ETM+ است. اما تصاویر این سنجنده بعد از سال ۲۰۰۳ به علت نقص در اسکنر آن، به صورت نواری است و قابل استفاده نیست و تصحیح این تصاویر نیز از دقت آنها برای تفکیک مناطق تالابی می‌کاهد. با اضافه شدن تصاویر سنجندهٔ OLI (Landsat-8) غنای تصاویر در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ افزایش یافت. در جست‌وجوی تصاویر ماهواره‌ای منطقه، تصاویری انتخاب شدند که فاقد پوشش ابر در محدودهٔ تالاب بودند. شکل ۴ تعداد تصاویر موجود در هر ماه در کل دورهٔ زمانی مطالعه‌شده را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل ماه‌های جولای و آگوست (تیر و مرداد) دارای بیشترین تعداد تصویر در بین سال‌های مطالعه‌شده و ماه ژانویه (دی‌ماه) دارای کمترین تعداد تصویر در این دوره است.

داده‌های ماهواره‌ای سنجندهٔ MODIS نیز به علت تصویربرداری روزانه و ارائهٔ محصولات مربوط به متغیرهای زمین (شامل دمای سطح، پوشش‌های گیاهی، آلبیدو و گسیلندگی سطح) برای پایش بلندمدت آب‌های داخلی مناسب هستند و از این‌رو، در این پژوهش برای استخراج تراکم پوشش گیاهی تالاب کانی‌برازان و تعیین دورهٔ رشد و نیز پارامترهای مربوط به تبخیر-تعرق تالاب استفاده شدند.

جدول ۱. داده‌های ماهواره‌ای استفاده‌شده در مطالعهٔ تعیین نیاز آب زیست‌محیطی تالاب کانی‌برازان

تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده	متغیرهای استخراج‌شده	گام زمانی	قدرت تفکیک مکانی (متر)	دورهٔ زمانی پایش
Landsat7-ETM+ Landsat 8- OLI	مساحت آب، خاک و گیاه شاخص NDVI	هر ماه یک تصویر بدون ابر	۳۰	۲۰۱۵-۱۹۹۸
MODIS- LST (MOD11A2)	دمای سطح آب و گسیلندگی	۸ روزه	۱۰۰۰	۲۰۱۵-۲۰۰۰
MODIS- Version 5 Albedo (MCD43A3)	آلبدوی تالاب	۱۶ روزه	۵۰۰	۲۰۱۵-۲۰۰۰
MODIS Vegetation Indices (MOD13Q1)	شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهیNDVI	۱۶ روزه	۲۵۰	۲۰۱۵-۲۰۰۰



شکل ۴. تعداد تصاویر مناسب در هر ماه از محدودهٔ تالاب طی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

یافته‌ها

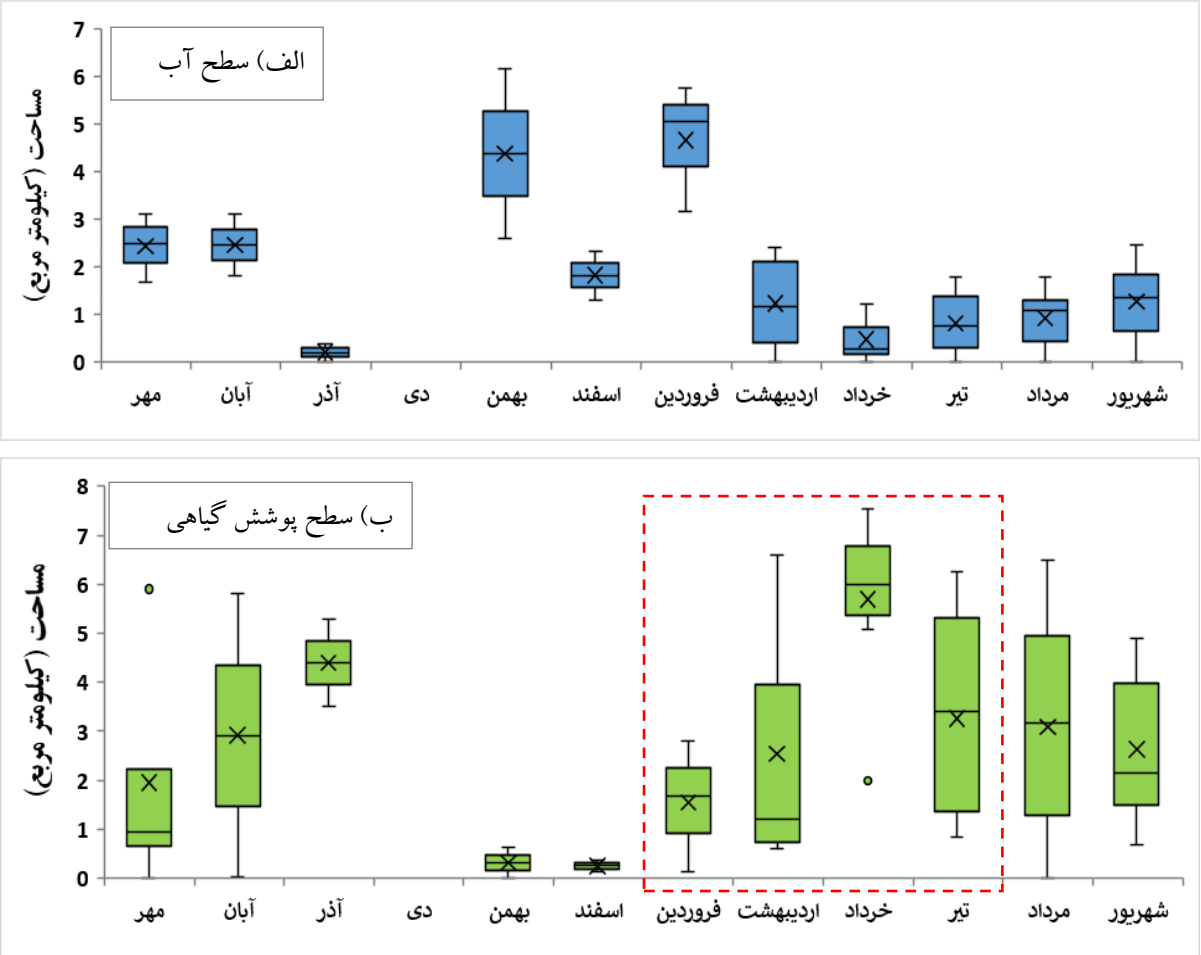
تغییرات سطح آب تالاب

شکل ۵- الف، محدودهٔ تغییرات سطح آب و گیاه را در تالاب کانی‌برازان طی دورهٔ مطالعه طی ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. حداکثر سطح تالاب در ماه‌های بهمن تا فروردین رخ می‌دهد که به علت بارش‌های زمستانه و افزایش رواناب ذوب برف ورودی به تالاب به همراه زهاب‌های کشاورزی است. کمترین سطح غرقابی تالاب نیز در تابستان به دلیل محدودیت جریان‌های ورودی و افزایش تلفات تبخیر است. به علت محدودیت تصاویر بدون ابر در ماه‌های پاییز و زمستان، برآورد محدوده و میانهٔ تغییرات سطح آب تالاب در این فصول از عدم قطعیت بیشتری نسبت به سایر فصول برخوردار است.

تغییرات پوشش گیاهی

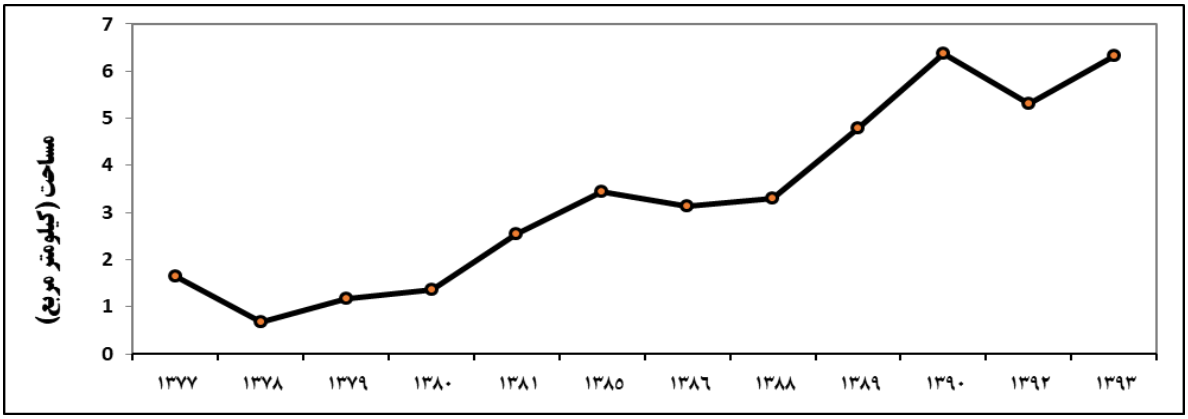
تغییرات فصلی مساحت پوشش گیاهی تالاب طی دورهٔ بررسی‌شده (شکل ۵-ب) بیانگر افزایش سطح از اسفند تا خرداد است و پس از آن، مطابق انتظار تا انتهای سال آبی کاهش می‌یابد. همچنین، بررسی تغییرات پوشش گیاهی (شکل ۶)، نشان می‌دهد مساحت پهنهٔ گیاهی تالاب کانی‌برازان در فصل تابستان (اوج رویش گیاهی) نیز طی دورهٔ بررسی با روند افزایشی مواجه بوده است. دلیل این موضوع ناشی از توسعهٔ پوشش گیاهی در محدودهٔ خشک (سطح خاک) تالاب است، زیرا به‌تدریج که پهنهٔ آبی تالاب (بر اثر محدودیت جریان‌های ورودی و زیاد بودن میزان تبخیر) خشک می‌شود، انواع مختلفی از گونه‌های گیاهی مرتعی به دلیل مهیا بودن شرایط مساعد (مانند خاک مساعد و رطوبت بالای خاک) جایگزین پهنهٔ خشک‌شده می‌شوند. همبستگی معکوس قوی بین سطح خاک و پوشش گیاهی تالاب (r= -۰/۸۲) نیز مؤید این امر است.

تراکم پوشش گیاهی نیز هم‌زمان با سطح افزایش داشته است (شکل ۷). مقادیر کم NDVI (۰/۱ تا ۰/۳) در محدودهٔ پوشش گیاهی تالاب بیانگر تنک بودن پوشش‌های گیاهی و غالب بودن گونه‌های گیاهی مرتعی و یا نیزارهایی با میزان تراکم کم است. افزایش سطح و تراکم پوشش گیاهی در تالاب می‌تواند به دلیل پدیدهٔ تغذیه‌گرایی در تالاب نیز باشد. ورود مواد مغذی (ازت و فسفر) ناشی از زهاب‌های کشاورزی زمین‌های اطراف در فصول کشت سبب کاهش کیفیت آب و رشد بی‌رویهٔ گیاهان آبزی می‌شود، تا حدی که سبب کاهش حجم مفید تالاب می‌شود. تغییرات ماهانهٔ سطح (شکل ۵ -ب) و تراکم پوشش گیاهی (شکل ۷) نشان می‌دهد که طی فروردین تا تیرماه به عنوان دورهٔ رشد گیاه و رسیدن به حداکثر تراکم است. از این‌رو، این دورهٔ زمانی از نظر تأمین عمق آب مورد نیاز گونه‌های گیاهی شاخص باید مورد توجه قرار گیرد.

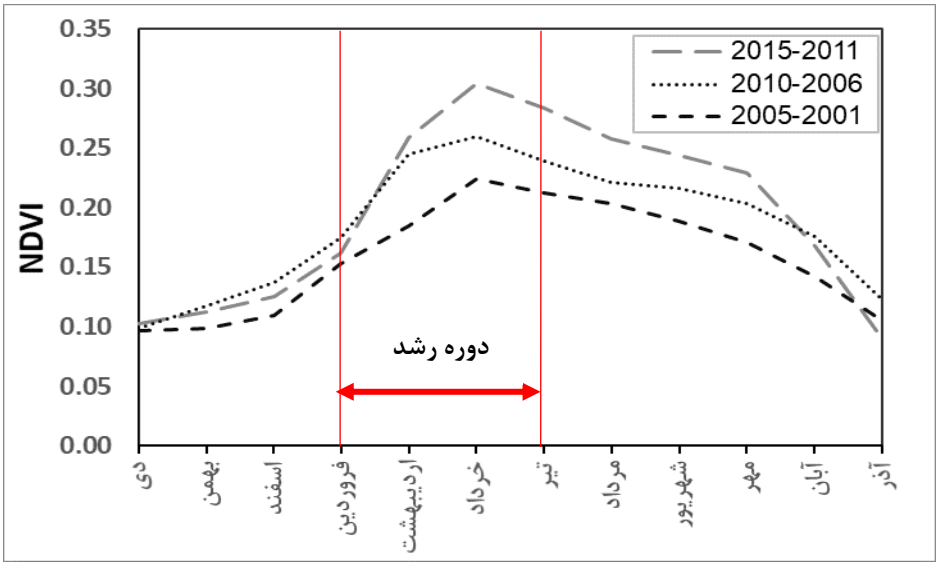


شکل ۵. نمودار تغییرات

الف) سطح آب و ب) پوشش گیاهی در تالاب کانی‌برازان از سال ۱۹۹۸تا ۲۰۱۵ بر اساس طبقه‌بندی با تصاویر ماهوارهٔ *Landsat*. مقادیر با علامت ضربدر نشان‌دهندهٔ میانگین، خطوط میانه هر جعبه میانهٔ داده‌ها، خطوط بالا و پایین جعبه‌ها به‌ترتیب ۷۵ و ۲۵ درصد داده‌ها، میله‌ها نشان‌دهندهٔ کمینه و بیشینهٔ داده‌ها و نقاط داده‌های خارج از محدوده (پرت) هستند. مربع قرمزرنگ دورهٔ رشد گیاهان در تالاب را نشان می‌دهد.



شکل ۶. نمودار تغییرات سطح پهنهٔ گیاهی در فصل تابستان در تالاب کانی‌برازان



شکل ۷. تغییرات ماهانهٔ تراکم پوشش گیاهی در محدودهٔ تالاب کانی‌برازان بر اساس داده‌های سنجندهٔ MODIS

گونه‌های گیاهی شاخص و اعماق مطلوب طی دورهٔ رشد

بر اساس بررسی‌های میدانی انجام‌شده، موقعیت گونه‌های گیاهی در جوامع مختلف طی فصول مختلف سال در تالاب شناسایی شد و اعماق آب در محدودهٔ مورد نظر اندازه‌گیری شد. الگوی رویش گیاهان در محدودهٔ تالاب کانی‌برازان متأثر از حجم آب تالاب در ماه‌های مختلف سال و، کیفیت جریان‌های ورودی به تالاب آن است. بیش از دو سوم جوامع گیاهی تالاب در گروه شوردوست[1] و لب‌شوردوست یا اسمز زیست طبقه‌بندی شده‌اند. جوامع شورزیست در مقایسه با مطالعات گذشته [۳۰] طی حدود ۱۰ سال از ۳۳ به ۶۵ درصد رسیده است. حدود ۳۰ درصد از جوامع گیاهی که عموماً در نواحی مرکزی و محدودهٔ آبی تالاب قرار دارند، جوامع شکل گرفته در شرایطی هستند که شوری آب کم بوده است. این مسئله نشان می‌دهد تالاب از محیط بیرونی در تهدید شور شدن قرار دارد.

بر اساس بررسی‌های صورت‌گرفته گونه‌های *Eleocharis* و جگن *Carex* به عنوان نمادهای شاخص دورهٔ بهینهٔ رویشی و زایشی در حاشیه تالاب طی دورهٔ بهار، لوئی *Typha* برای درون تالاب و گیاه *Puccinellia* یا سیاه ناو برای دورهٔ آغاز پاییزه رستی انتخاب شدند. سیاه ناوها (*Puccinellia*) از اواسط خرداد در اطراف کانی‌برازان خودنمایی می‌کنند و طی دورهٔ کوتاهی به گل‌دهی می‌رسند، بذر می‌افشانند و دوباره چهرهٔ رویشی به خود می‌گیرند.

یکی از گونه‌های مهم در درون تالاب که به دلیل ارتباط اکولوژیک بی‌نظیر با گونه‌های جانوری (اردک و سنقرها و...) دارای ارزش حیاتی بالا برای تالاب است و یک شاخص زیستی برای استمرار زیستگاه‌های حیات وحش تالاب به شمار می‌رود، گیاه لوئی (*Typha latifolia*) است. حداکثر تراکم این گونه در خردادماه رخ می‌دهد و در این زمان نیازمند حداقل یک متر آب است. لوئی‌ها با کاهش آب در ارتفاع کمتر از ۷۰ سانتی‌متر ویژگی ارتجاعی خود را از دست می‌دهند، ضمن آنکه چرخهٔ زیستی آن دچار اختلال خواهد شد و برای مثال گلدهی آنها متوقف می‌شود [۳۴].

براساس بررسی‌های انجام‌شده گیاهان پیزر *Schoenoplectus* و بوریا *Bolboschoenus* هم در برابر کاهش آب واکنش نشان می‌دهند و چرخه‌های حیاتی آنها دچار اختلال می‌شود. طبق مطالعات صورت‌گرفته در تالاب‌ها این گونه‌ها به‌ترتیب دارای نیازی معادل ۴۰ و ۲۰ سانتی‌متر برای طی دورهٔ گلزایی و سایر مراحل زیستی هستند [۳۵].

برای گونه‌های *Eleocharis* و *Carex* نخست باید ارتفاع مشخصی از آب روی جوانهٔ احیاکنندهٔ آنها در فروردین‌ماه وجود داشته باشد تا امکان رشد سریع آنها فراهم شود، به علاوه آنکه آبی با کیفیت خوب با حداکثر ۲ـ ۴ دسی‌زیمنس EC در بستر زیستی آنها فراهم شود. مطالعات نشان می‌دهد در ابتدای دورهٔ زیستی خاک برای رشد هر دوی این گیاهان

1. Halophyte

باید در شرایط اشباع باشد، ولی برای جگن اعماق آب ایستا کم (بین ۲ تا ۵ سانتی‌متر) و برای *Eleocharis* کمتر از ۱ متر توصیه شده است [۳۶ و ۳۷]. بررسی‌های صحرایی نیز نشان می‌دهد عمق مورد نیاز *Eleocharis* بیشتر از *Carex* است. جگن *Carex* در جوامع گیاهی‌اش در لایهٔ خارجی *Eleocharis* در تالاب قرار می‌گیرد و برای همین، در دورهٔ گل‌دهی هم‌زمان با *Eleocharis* به ارتفاع آب مورد نیازش می‌رسد و دورهٔ زیستی یکسانی را سپری کند (جدول ۲).

همچنین، گونهٔ گیاهی خارشتر (*Alhagi persarum*)، به عنوان یک گونهٔ مهاجم بر اثر افزایش مصرف کود و سموم در زمین‌های کشاورزی مجاور تالاب، در حواشی تالاب گسترش یافته است که باید کنترل شود. این گونه قادر است کمبود آب اطراف یک تالاب و مقادیر زیاد ورود مواد معدنی، آلی، سموم و کودها را تحمل کند. در روش مدیریتی این گونه چنین بیان شده است که وجود ۱۲/۵ تا ۲۵ سانتی‌متر آب در محل حضور و استقرار خارشتر به مدت ۲ تا ۳ هفته رویش آن را به‌خوبی کنترل می‌کند [۳۸]. تأمین اعماق مناسب گونه‌های شاخص منجر به برآورده شدن این قید برای حذف این گونهٔ مهاجم خواهد شد.

جدول ۲. عمق‌های مناسب (سانتی‌متر) برای گونه‌های گیاهی شاخص تالاب کانی‌برازان در مراحل مختلف چرخهٔ زیستی

مرحله از چرخهٔ زیستی سالانهٔ گیاه	ماه	Schoenoplectus lacustris	Typha latifolia	Bolboschoenus maritimus	Carex	Eleocharis mitracarpa	Puccinellia
شروع رویش گیاه	فروردین	۲۰	۹۰	۲۰	۳	۴۰	
گل‌دهی و تولید میوهٔ سنبله‌ای	اردیبهشت	۳۰	۹۲	۲۰	۱۰	۱۰	
گل‌دهی کامل و تولید میوهٔ کامل	خرداد	۴۰	۱۰۰	۲۰	۰	۰	۵
میوه‌ها در حال رسیدن کامل و جدا شدن هستند.	تیر	۲۰	۱۲۰	۱۵	۰	۰	۵

شناسایی گونه‌های پرندگان شاخص

در تالاب کانی‌برازان طی سال‌های اخیر بیشترین شمار پرندگان مربوط به گونه‌های خوتکا، اردک سرسبز، اردک اردهای، چنگر و کاکایی بوده است. آمار سرشماری پرندگان تالاب نشان می‌دهد خانوادهٔ اردک‌ها و یلوه‌ها (شامل چنگر)، در همهٔ فصول بیشترین فراوانی را در تالاب داشته‌اند. فراوانی پرندگان زمستان‌گذران در تالاب نیز به‌مراتب بیش از پرندگان تابستان‌گذران، جوجه‌آور، مقیم و عبوری هستند. در این پژوهش سعی شد رابطهٔ مشخص و معناداری بین تعداد پرندگان موجود در تالاب با سطح پهنهٔ آبی و پوشش‌های گیاهی آنها (به عنوان زیستگاه اصلی پرندگان) استخراج شود، اما به دلیل تعداد کم سرشماری‌های صورت‌گرفته از یک طرف و همچنین، خشک بودن (در تابستان) یا یخ‌زدگی سطح تالاب (در زمستان) در برخی از سال‌ها، نمی‌توان با قاطعیت از وجود چنین روابطی سخن به میان آورد. علاوه بر این، حرکت پرندگان بین تالاب‌های اقماری و دریاچه منجر می‌شود که شمارش پرندگان یک تالاب به طور خاص با عدم قطعیت زیادی همراه باشد.

بر اساس معیارهای کمیتهٔ بقای گونه‌های IUCN، اردک سرسفید (*Oxyura leucoceplala*) گونه‌ای در معرض خطر انقراض (EN[1]) و اردک سرحنایی (*Aythya ferina*) و اردک مرمری (*Marmatonetta angusitrostris*) با درجهٔ آسیب‌پذیر (VU[2]) (شکل ۸) از پرندگان دارای ارزش حفاظتی در این تالاب محسوب می‌شوند [۳۱].

از نظر زیستگاهی اردک مرمری در تالاب‌های فصلی و دائمی که دارای پوشش‌های گیاهی مستغرق[3] و نیمه‌مستغرق[4] باشند را ترجیح می‌دهد. همچنین، برای این گونه آب‌های لب‌شور به نسبت آب‌های شیرین ارجح است [۳۹]. این گونه از عمق ۲۰ سانتی‌متری سطح آب غذای خود را تأمین می‌کند [۴۰]. نتایج بررسی‌ها در سنترال ولی کالیفرنیا نشان داده که پرندگان آبزی[5] و شیرجه‌زن که اردک‌ها در زمرهٔ آنها به شمار می‌روند، اعماق بین ۵ تا ۲۵ سانتی‌متر را ترجیح می‌دهند [۴۱]. همچنین، در مورد

1. Endangered
2. Vulnerable
3. Emerged
4. Submerged
5. Waterfowl

اردک سر سفید بررسی‌ها نشان داده است که این گونه در طیف وسیعی از تالاب‌ها از جمله دریاچه‌های آب شیرین و دریاچه‌های آب شور، قلیایی (با pH بین ۸ تا ۱۰) و تالاب‌های مغذی یافت می‌شود [۴۲]. سایت‌های جوجه‌آوری اردک سرسفید شامل آب‌های کم‌عمق (با عمق ۰/۵ تا ۳ متر) و پوشش گیاهی متراکم است. از این‌رو، حداقل عمق مورد نیاز برای زمستان‌گذرانی اردک‌ها طی آذر تا اسفند (متناسب با نواحی زیستی آنها در تالاب) باید تأمین شود.

تحلیل فراوانی سطح آب تالاب

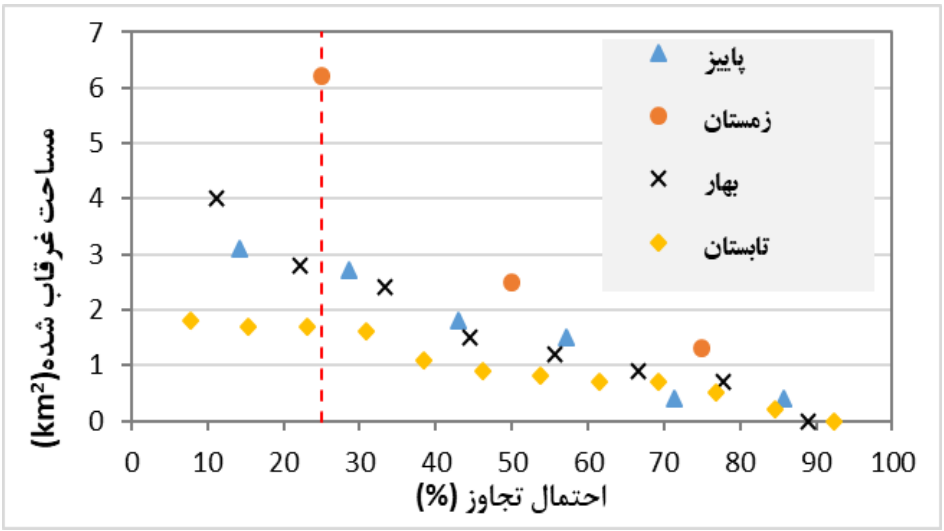
نمودار تحلیل فراوانی سطح آب تالاب کانی‌برازان در شکل ۹ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، طی فصول بهار تا پاییز در کمتر از ۲۵ درصد مواقع بیش از یک سوم سطح تالاب غرقاب می‌شود. در فصل تابستان نیز در ۹۲ درصد مواقع سطح تالاب کاملاً خشک بوده است. بعد از انجام تحلیل فراوانی، سطح آب تالاب به ازای احتمال تجاوز ۲۵، درصد طی مرداد تا آبان ماه به عنوان یک معیار در تعیین نیاز آبی تالاب در نظر گرفته شد.

تعیین نیاز آب زیست‌محیطی تالاب

بر اساس معیارهای تشریح‌شدهٔ عمق، سطح و حجم آب مورد نیاز در تالاب محاسبه شد (جدول ۳). پس از تعیین سطح و حجم مطلوب آب در تالاب، با توجه به نقشهٔ عمق‌سنجی تالاب، مساحت غرقاب‌شدهٔ تالاب مشخص و نقشه‌های وضعیت تالاب در شرایط تأمین اعماق مطلوب برای تأمین معیارهای زیستی مطابق شکل ۱۰ استخراج شد.

شکل ۸. گونه‌های مهم پرندگان زمستان گذران تالاب کانی‌برازان بر اساس معیارهای IUCN

الف) اردک سر سفید (*Oxyura Leucocephala*)، ب) اردک سر حنایی (*Aythya Ferina*) و ج) اردک مرمری (*Marmaronetta Angustirostris*)

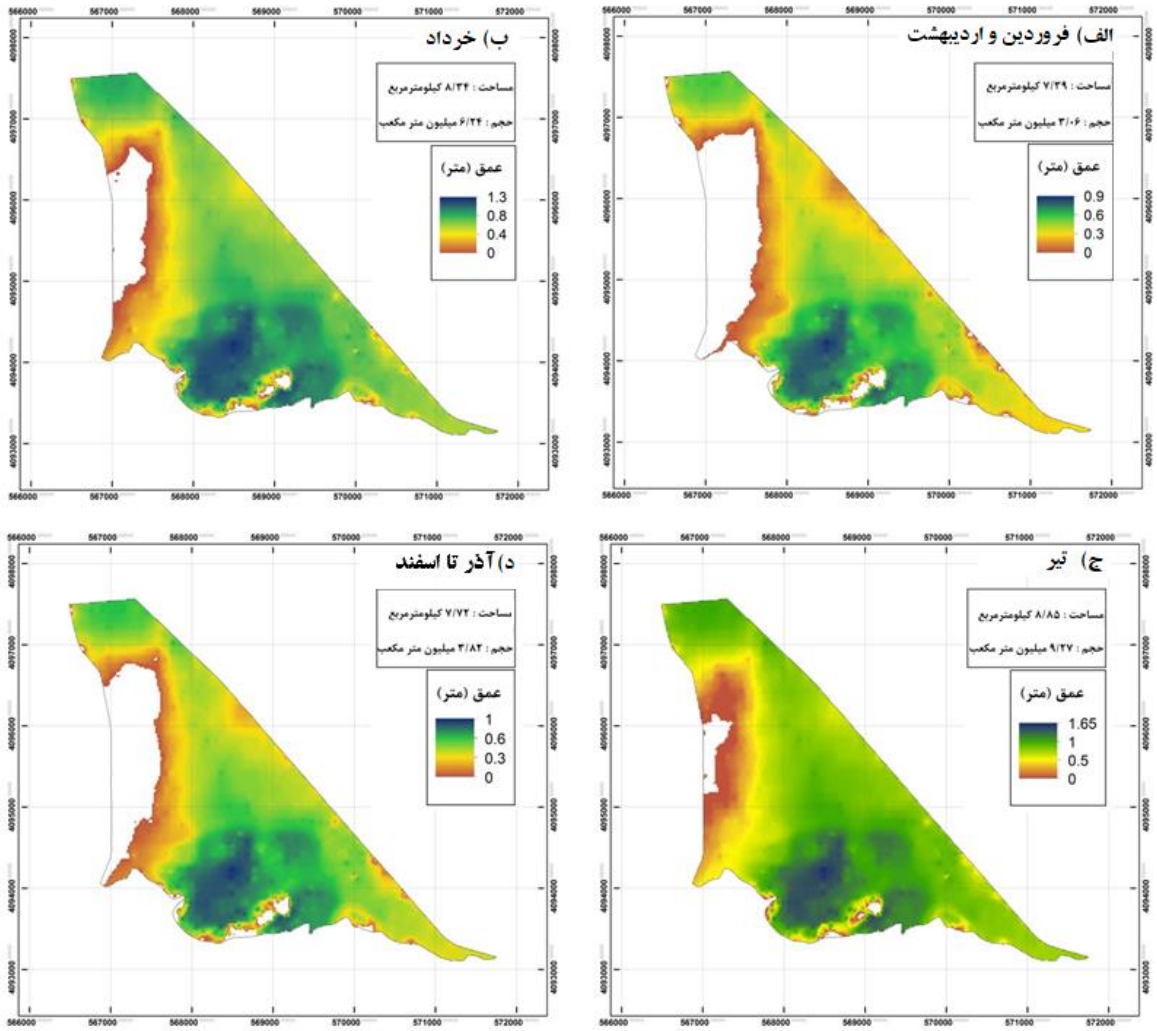


شکل ۹. مساحت غرقاب‌شدهٔ تالاب کانی‌برازان بر اساس احتمال وقوع در فصول مختلف اساس داده‌های ماهواره‌ای سطح تالاب از سال ۱۹۹۸ میلادی تا ۲۰۱۵

- **خط قائم سطح غرقابی با احتمال رخداد بیش از ۲۵ درصد را نشان می‌دهد.**

جدول ۳. تراز، سطح و حجم آب ماهانهٔ مورد نیاز برای تأمین اهداف زیست‌محیطی در تالاب کانی‌برازان

ماه	تراز آب (m)	مساحت غرقاب‌شده (km^2)	حجم آب (MCM)	معیار
مهر	۱۲۷۸,۲۳	۲,۹	۰,۴۱	سطح تالاب با احتمال تجاوز ۲۵٪
آبان	۱۲۷۸,۲۳	۲,۹	۰,۴۱	سطح تالاب با احتمال تجاوز ۲۵٪
آذر	۱۲۷۸,۸	۷,۹	۳,۸۳	جوجه‌آوری و زمستان‌گذرانی پرندگان
دی	۱۲۷۸,۸	۷,۹	۳,۸۳	جوجه‌آوری و زمستان‌گذرانی پرندگان
بهمن	۱۲۷۸,۸	۷,۹	۳,۸۳	جوجه‌آوری و زمستان‌گذرانی پرندگان
اسفند	۱۲۷۸,۷	۷,۶	۳,۰۷	جوجه‌آوری و زمستان‌گذرانی پرندگان
فروردین	۱۲۷۸,۷	۷,۶	۳,۰۷	تأمین عمق مناسب برای پوشش گیاهی
اردیبهشت	۱۲۷۸,۷	۷,۶	۳,۰۷	تأمین عمق مناسب برای پوشش گیاهی
خرداد	۱۲۷۹,۱	۸,۶	۶,۲۵	تأمین عمق مناسب برای پوشش گیاهی
تیر	۱۲۷۹,۴۵	۹,۱	۹,۲۷	تأمین عمق مناسب برای پوشش گیاهی
مرداد	۱۲۷۸,۱۳	۱,۸	۰,۱۸	سطح تالاب با احتمال تجاوز ۲۵٪
شهریور	۱۲۷۸,۱۳	۱,۸	۰,۱۸	سطح تالاب با احتمال تجاوز ۲۵٪



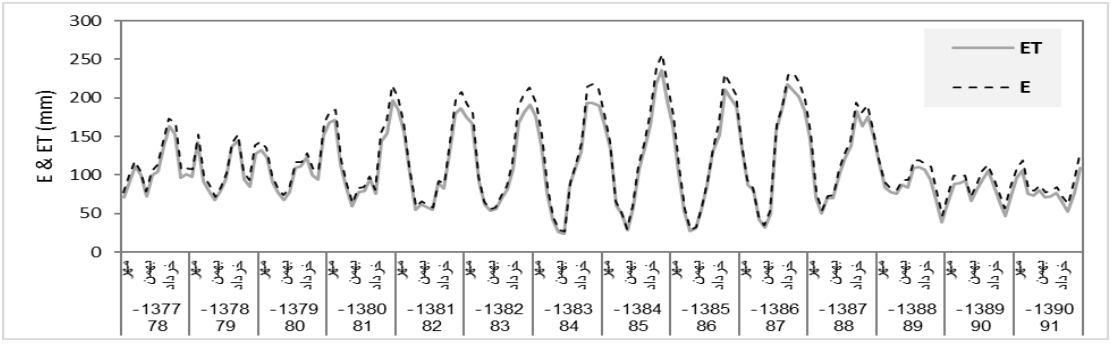
شکل ۱۰. ارتفاع و مساحت پهنهٔ آب تالاب کانی‌برازان الف، ب و ج) بر اساس نیاز آبی گیاهان در ماه‌های فصل بهار و تابستان و د) برای زمستان‌گذرانی پرندگان در ماه‌های آذر تا اسفند

رژیم جریان زیست‌محیطی مورد نیاز تالاب

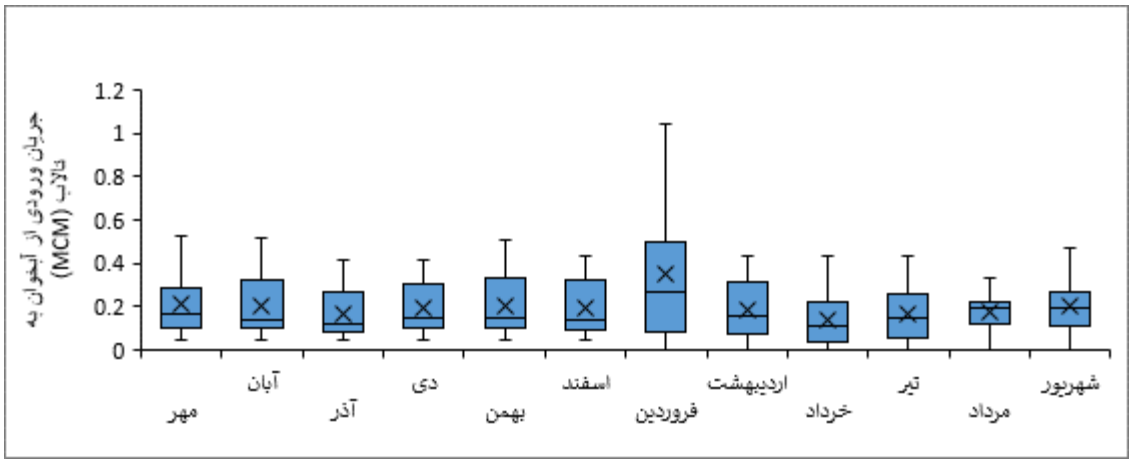
همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، پس از تعیین احجام و سطوح مطلوب تالاب، اجزای معادلهٔ بیلان آب تالاب طی دورهٔ تاریخی گذشته شامل مقادیر تبخیر و تبخیر-تعرق از تالاب (شکل ۱۱) و پس از توسعهٔ مدل آب زیرزمینی و برآورد متوسط جریان‌های آب زیرزمینی (شکل ۱۲)، در نهایت جریان‌های ورودی از منابع سطحی به تالاب برآورد شد (شکل ۱۳). ملاحظه می‌شود که مقدار تبخیر و تبخیر-تعرق سیکل‌های فصلی مشابهی دارند، به طوری که از اواخر زمستان تا تابستان افزایش یافته و در مرداد-شهریور به اوج خود می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد. مطابق انتظار میزان تبخیر از سطح آب طی ماه‌های اوج در تابستان از تبخیر-تعرق بیشتر است. همچنین، دامنهٔ نوسانات مقدار تبخیر و تبخیر-تعرق طی خشکسالی‌های دههٔ ۱۳۸۰ شمسی بیش از دههٔ ۱۳۷۰ و ۱۳۹۰ بوده است.

متوسط بلندمدت تغذیهٔ تالاب از آب زیرزمینی بین ۰/۲ تا ۰/۴ مترمکعب بر ثانیه در ماه‌های مختلف تغییر می‌کند. حداکثر تغذیه در فروردین‌ماه گزارش شده است و نوسانات ماهانه ناچیز است [۳۳]. همچنین، دامنهٔ تغییرات دبی تغذیه در فروردین‌ماه بیش از سایر ماه‌ها است (شکل ۱۱).

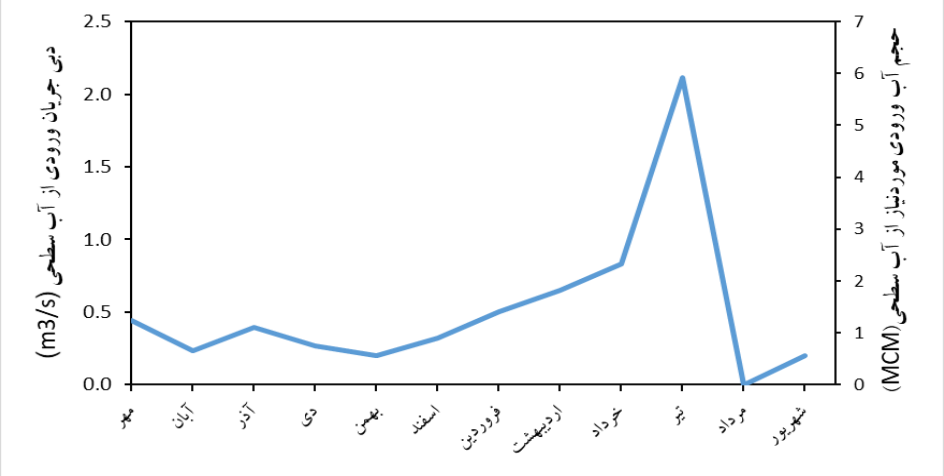
بر این اساس، به منظور تأمین احجام مطلوب آب در تالاب، بر اساس شبیه‌سازی بیلان معکوس تالاب، باید سالانه ۱۶/۵ میلیون متر مکعب از منابع سطحی مطابق الگوی زمانی ارائه‌شده در شکل ۱۲ تأمین شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دو پیک جریان یکی در اواسط پاییز و یکی در اواخر بهار توصیه می‌شود. تأمین پیک‌های کوچک و بزرگ توسط آورد رودخانهٔ مهاباد در کنار تغذیه از آب زیرزمینی می‌تواند سطوح غرقابی مطلوب تعیین‌شده در تالاب را با توجه به معیارهای تعیین‌شده فراهم کند.



شکل ۱۱. مقادیر مجموع تبخیر از سطح آب و مجموع تبخیر و تعرق از سطح خاک و گیاهان طی مهر ۱۳۷۷ تا شهریور ۱۳۹۱ در تالاب کانی‌برازان



شکل ۱۲. نوسانات تغذیهٔ تالاب کانی‌برازان از آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب) از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۴
مقادیر با علامت ضربدر نشان‌دهندهٔ میانگین، خطوط میانه هر جعبه میانه داده‌ها، خطوط بالا و پایین جعبه‌ها به‌ترتیب ۷۵ و ۲۵ درصد داده‌ها، میله‌ها نشان‌دهندهٔ کمینه و بیشینهٔ داده‌ها هستند [بر اساس داده‌های مطالعه [۳۳]].



شکل ۱۳. جریان زیست‌محیطی ماهانهٔ ورودی مورد نیاز به تالاب کانی‌برازان

جمع‌بندی

در این مطالعه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مطالعات میدانی و مدل‌سازی نیاز آب زیست‌محیطی تالاب بین‌المللی کانی‌برازان با استفاده از رویکرد ترکیبی هیدوراکولوژیک و بر مبنای تعیین اعماق و سطوح مطلوب تالاب برای تأمین نیازهای گونه‌های گیاهی و پرندگان شاخص و فراهم کردن سطوح تاریخی مطلوب برآورد شد. سپس، با بیلان معکوس آب تالاب مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌سازی، رژیم جریان زیست‌محیطی معادل در شرایط نرمال تعیین شد. نتایج نشان‌دهندهٔ اهمیت حفظ پیک‌های متوسط و بزرگ (سیلابی) جریان در تأمین معیارهای زیست‌محیطی مد نظر در تعیین نیاز آبی است. همچنین، حداقل حجم جریان معادل ۱۶٫۵ میلیون مترمکعب در سال باید از طریق جریان‌های سطحی تأمین شود.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به عدم بررسی شرایط کیفی مورد نیاز رژیم جریان زیست‌محیطی پیشنهادی، تغییرات رژیم جریان زیست‌محیطی متناسب با شرایط سال‌های تر و خشک و نیز تغییرات اقلیمی اشاره کرد که در تحقیقات آتی به موازات تکمیل داده‌برداری از تالاب می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. همچنین، به منظور حصول اطمینان از تأمین اهداف اکولوژیک تعیین‌شده، باید برنامهٔ پایش تأمین منابع آب و معیارهای اکولوژیکی مورد بحث تدوین شود و مورد اجرا قرار گیرد.

نتایج این مطالعه می‌تواند در برنامه‌ریزی منابع آب رودخانهٔ مهاباد که تغذیه‌کنندهٔ تالاب است و نیز مدیریت کمی و کیفیت آب تالاب استفاده شود. به علاوه رویکرد به‌کاررفته در این مطالعات می‌تواند برای تعیین و پایش تأمین نیاز آب زیست‌محیطی سایر تالاب‌های کشور به کار رود.

تشکر و قدردانی

مطالعهٔ حاضر به عنوان بخشی از طرح «تعیین نیاز آب زیست‌محیطی تالاب‌های حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه» در پژوهشکدهٔ مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس و با حمایت مالی ادارهٔ کل حفاظت محیط زیست آذربایجان شرقی صورت گرفته است. به این وسیله، از این اداره برای حمایت مالی طرح و از سازمان حفاظت محیط زیست و ادارهٔ محیط زیست مهاباد برای همکاری در تهیهٔ داده‌های مرتبط قدردانی می‌شود. همچنین، از آقایان دانش کریمی، محمد قریشی و واحد جمشیدون برای همکاری در این مطالعه و انجام عملیات میدانی تشکر می‌شود.

منابع

[1]. Ma L, Sun R, Kazemi E, Pang D, Zhang Y, Sun Q, et al. Evaluation of Ecosystem Services in the Dongting Lake Wetland. Water. 2019 Dec 5;11(12):2564.

[2]. Hu S, Niu Z, Chen Y, Li L, Zhang H. Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status. Sci Total Environ. 2017 May 15;586:319–27.

[3]. Bureau Ramsar Convention. Wetlands Values and Functions; Gland, Switzerland; 2001.

[4]. Costanza R, de Groot R, Sutton P, van der Ploeg S, Anderson SJ, Kubiszewski I, et al. Changes in the global value of ecosystem services. Glob Environ Chang. 2014 May 1;26(1):152–8.

[5]. Xu T, Weng B, Yan D, Wang K, Li X, Bi W, et al. Wetlands of international importance: Status, threats, and future protection. Int J Environ Res Public Health. 2019 May 2;16(10).

[6]. Yang W, Sun T, Yang Z. Does the implementation of environmental flows improve wetland ecosystem services and biodiversity? A literature review. Restor Ecol. 2016 Nov 1;24(6):731–42.

[7]. Powell SJ, Letcher RA, Croke BFW. Modelling floodplain inundation for environmental flows: Gwydir wetlands, Australia. Ecol Modell. 2008 Mar 10;211(3–4):350–62.

[8]. Scanlon J. Flow : the essentials of environmental flows. Flow : the essentials of environmental flows. IUCN; 2003.

[9]. Davis J, Froend R, Hamilton D, Horwitz P, Mccomb A, Oldham C, et al. Environmental water requirements to maintain wetlands of national and international importance. Canberra: Environment Australia, Department of the Environment and Heritage; 2001.

[10]. Tharme RE. A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. River Res Appl. 2003 Sep 1;19(5–6):397–441.

[11]. McCosker RO. "Methods addressing the flow requirements of wetland, riparian and floodplain vegetation." In: Comparative Evaluation of Environmental Flow Assessment Techniques: Review of Methods. Canberra: Land and Water Resources Research and Development orporation; 1998. p. 47–65.

[12]. Purshouse RC. Evolutionary multi-criterion optimization : 7th International Conference, EMO 2013, Sheffield, UK, March 19-22, 2013. Proceedings. Springer; 2013.

[13]. Arthington AH, Brizga SO, Kennard MJ. Estimating the Water Requirements for Plants of Floodplain Wetlands: A Guide - Jane Roberts - Google Books. Canberra; 1998.

[14]. Gül A, Ayyıldız K, Barbaros F, Baran T. Assessing ecological flow conditions for wetlands fed from ungauged stream reaches. Vol. 58, European Water. 2017.

[15]. Torabi Haghighi A, Fazel N, Hekmatzadeh AA, Klöve B. Analysis of Effective Environmental Flow Release Strategies for Lake Urmia Restoration. Water Resour Manag. 2018;32(11):3595–609.

[16]. De la Hera Portillo A, Murillo Díaz JM. Identification of wetland water sources for environmental flow assessment: a case study of the Miguel Ibáñez wetlands (Segovia, Spain). Hydrol Sci J. 2014 Apr 3;59(3–4):466–87.

[17]. Yang Z, Mao X. Wetland system network analysis for environmental flow allocations in the Baiyangdian Basin, China. Ecol Modell. 2011 Oct 1;222(20–22):3785–94.

[18]. Duan H, Xu M, Cai Y, Wang X, Zhou J, Zhang Q. A Holistic Wetland Ecological Water Replenishment Scheme with Consideration of Seasonal Effect. Sustainability. 2019;11(3):930.

[19]. Anderson, E.P., Jackson, S., Tharme, R.E., Douglas, M., Flotemersch, E., Zwarteveen, M., Lokgariwar, C., Montoya, M., Tipa, G.T., Jardine, T.D., Olden, J.D., Cheng, L., Cosens, B., Dickens, C., Garrick, D., Groenfeldt, D., Roux, D.J., Ruhi, A., Arthington, A.H., Agency, U.S.E.P., Society, C., Museum, T.F., Taieri, E., Zealand, N., Sciences, F., Practice, W., Wales, N.S., Africa, S., Fe, S., Services, S., African, S., Parks, N., Africa, S., 2020. advance environmental water management 1–32. https://doi.org/10.1002/wat2.1381.

[20]. Arthington, A.H., 2020. Environmental Flows: History of Assessment Methods, Ecosystem Frameworks and Global Uptake, in: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.12450-9

[21]. Roberts J, Young B, Marston F. Estimating the water requirements for plants of floodplain wetlands: a guide. In: Ecosystem Response Modelling in the Murray-Darling Basin. Canberra: Land and Water Resources Research and Development Corporation; 2000. p. 183–96.

[22]. Taghavi Koljahi S, Riazi B, Taghavi L. Determining Environmental Water right of Miankaleh Wetland. Environ Sci Technol. 2014;16(2):101–9. *[Persian]*.

[23]. Gorji-Shani R, Barani G. Evaluation of the Hawizeh Marshes Water Requirements with Respect to Dust Control and Improvement in Environmental Conditions. J Hydraul. 2017;12(3):13–27. *[Persian]*.

[24]. Sarhadi A, Soltani S. Determination of water requirements of the Gavkhuni wetland, Iran: A hydrological approach. J Arid Environ. 2013 Nov 1;98:27–40.

[25]. Abbaspour M, Nazaridoust A. Determination of environmental water requirements of Lake Urmia, Iran: An ecological approach. Int J Environ Stud. 2007;64(2):161–9.

[26]. Sajedipour S, Zarei H, Oryan S. Estimation of environmental water requirements via an ecological approach: A case study of Bakhtegan Lake, Iran. Ecol Eng. 2017 Mar 1;100:246–55.

[27]. Modaberi H, Shokoohi A. Determining Anzali Wetland Environmental Water Requirement Using Eco-Hydrologic Methods. Iran Water Resour Res. 2019;15(3):91–104. *[Persian]*.

[28]. Sima S, Tajrishi M. Water Allocation for Wetland Environmental Water Requirements: The case of Shadegan Wetland, Jarrahi Catchment, Iran. In: World Environmental and Water Resource Environmental,. Asce; 2006. p. 87–87.

[29]. Peeri H. Environmental water requirements of Hamun wetland. J Wetl Ecobiolog. 2010;2(6):57–69.

[30]. Pandam Consulting Engineering. Integrated Water resources Manangement of Lake Urmia Basin, Third module: Kanibrazan Wetland. Tehran; 2005. *[Persian]*.

[31]. Iran Water and Power Resources Development Company. Urmia Lake (Results of Limnological and biological monitoring of main water body and satellite wetlands of Lake Urmia). 1st ed. Tehran: IranShenasi; 2018. 320 p. *[Persian]*.

[32]. Cooper DJ, Merritt DM. Assessing the Water Needs of Riparian and Wetland Vegetation in the Western United States. 2012.

[33]. Ketabchi H, Mahmoodzadeh D, Farhoudi Hafdaran R. Estimation of wetland-aquifer exchanges (Case Study: Kaniborazan wetland). Iran J Ecohydrol. 2017;4(3):699 – 709. *[Persian]*.

[34]. Sorrell B. Ecophysiology of Wetland Plant Roots: A Modelling Comparison of Aeration in Relation to Species Distribution. Ann Bot. 2000 Sep 1;86(3):675–85.

[35]. Taman L. Using rushes and West, sedges in revegtation of wetland areas in the south of WA. 2000.

[36]. Tilley, D., Ogle, D., St., J., 2011. Plant guide for water sedge (Carex aquatilis). USDA. Field Guide for Managing Camelthorn in the Southwest. 2014.

[37]. Ogle, D., Tilley, D., John, L. St., 2012. Plant Guide USDA, for common spikerush (Eleocharis palustris). Aberdeen, Idaho 83210.

[38]. USDA. Field Guide for Managing Camelthorn in the Southwest. 2014.

[39]. Green AJ. Marbled Teal in the Western Mediterranean. Threatened Waterfowl Specialist Group News. 2000;14–5.

[40]. Green AJ. Comparative feeding behaviour and niche organization in a Community, Mediterranean duck. Can J Zool. 1998;76:500–7.

[41]. Taft OW, Colwell MA, Isola CR, Safran RJ. Waterbird responses to experimental drawdown: implications for the multispecies management of wetland mosaics. J Appl Ecol. 2002 Dec 12;39(6):987–1001.

[42]. BirdLife Data Zone. "White-headed Duck Oxyura leucocephala" (On-line). [Internet]. 2009 [cited 2020 Jul 25]. Available from: http://datazone.birdlife.org/home