مدیریت آب و آبیاری
دوره ۱۲ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۱
صفحه‌های ۶۰۱-۵۸۱
DOI: 10.22059/jwim.2022.340389.977

مقاله پژوهشی:

ارزیابی تأثیر سناریوهای مختلف مدیریت منابع آب با رویکرد تأمین نیازهای آبی زیست محیطی تالاب در حوضه آبریز (مطالعه موردی: تالاب امیرکلایه)

هادی مدبری[1*]، مرتضی کریمی[2]، بابک رازدار[3]، امیرکاسی[4]، لادن کاظمی[1]، خلیل جلیلی[5]
۱. استادیار، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، رشت، ایران.
۲. پژوهش‌گر، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، گیلان، ایران.
۳. استاد، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، رشت، ایران.
۴. کارشناس منابع آب شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان، گیلان، ایران.
۵. استادیار، پژوهشکده توسعه کالبدی جهاد دانشگاهی استان کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۰۳

چکیده
کمبود منابع آب در دسترس از یک‌سو و افزایش مداوم تقاضای آب از سوی دیگر، موجب برهم‌خوردن تعادل در سیستم‌های عرضه-تقاضای منابع آب شده است.. لذا نیاز است تا با درنظرگرفتن اصول برنامه مدیریت یکپارچه منابع آب، با تعیین حقابه زیست‌محیطی تالاب‌هایی هم‌چون تالاب امیرکلایه و بهبود مدیریت منابع آب آن، از تخریب این اکوسیستم ارزشمند و اثرات سوء ناشی از آن جلوگیری شود. هدف اصلی این پژوهش بررسی سناریوهای مختلف تخصیص برای تأمین حقابه زیست‌محیطی تالاب‌ها براساس مبانی مدیریت یکپارچه منابع آب بود. بدین منظور سیستم منابع آب تالاب و حوضه آبریز آن با مدل WEAP شبیه‌سازی شد. ابتدا مدل برای وضع موجود تالاب در سناریوی مبنا در سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ با شاخص‌های آماری R2 و RMSE به‌ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۱ برای حجم تالاب و ۰/۹۵ و ۰/۳ برای دبی نهر واسنجی شد و مقادیر کمبود آب برای رسیدن به شرایط هدف‌گذاری شده حداقل و مطلوب اکولوژیکی تالاب برآورد شد. سپس با تدوین سناریوهای مدیریتی مختلف به بررسی تأثیر راه‌کارهای مدیریتی موردنظر بر بیلان منابع آب تالاب پرداخته شد. نتایج نشان داد که اجرای سناریوها در مقیاس تالاب و حوضه آبریز آن به‌ترتیب موجب افزایش حجم آب تالاب بین ۰/۵ تا ٤ و ۰/۳ تا ۱/۷ میلیون مترمکعب خواهد شد. هم‌چنین با اجرایی‌کردن هم‌زمان سناریوهای افزایش حجم مخزن تالاب از طریق احداث بازوی خاکی، افزایش راندمان آبیاری و رفع تصرف اراضی کشاورزی موجود در محدوده بستر تالاب، ضمن تأمین نیاز آبی بخش کشاورزی، نیاز آبی تالاب حتی در سطحی بالاتر از شرایط مطلوب تأمین خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: تالاب امیرکلایه، مدیریت یکپارچه منابع آب، مدل WEAP، نیاز آبی زیست‌محیطی.

Evaluating the effect of different water resources management scenarios with the approach of meeting environmental water requirements of the wetland at the catchment (Case study: Amirkalayeh wetland)

Hadi Modabberi[1*], Morteza Karimi[2], Babak Razdar[3], Amir Kasi[4], Ladan Kazemi[1], Khalil Jalili[5]
1. Assistant Professor, Water Resources Monitoring Department, Environmental Research Center ACECR, Rasht, Iran.
2. Researcher Environmental Research Institute of Academic Center for Education, Culture and Research, Guilan, Iran.
3. Professor, Water Resources Monitoring Department, Environmental Research Center ACECR, Rasht, Iran.
4. Expert, Water Resources of Guilan Region Water Company, Guilan, Iran.
5. Assistant Professor, Department of Environmental Resource Management, ACECR, Kermanshah, Iran.
Received: March 12, 2022 Accepted: June 24, 2022

Abstract
The scarcity of available water resources, on the one hand, and the increase in water demand, on the other, have upset the balance between water supply and water demand systems. Consequently, it is necessary to prevent the destruction of this valuable ecosystem and its adverse effects by considering the principles of the integrated water resources management program, determining the environmental status of wetlands such as Amirkalayeh wetland, and improving its water resources management. The main purpose of this study was to investigate different allocation scenarios for the provision of wetland ecosystems based on the principles of integrated water resources management. To aim this purpose, the water resources system of the wetland and its catchment area were simulated with the WEAP model. First, the model was calibrated for the current condition of the wetland in the reference scenario at the water years 2011-2020 whith R^2 and RMSE statistical indices of 0.99 and 0.1 for the wetland volume and 0.95 and 0.3 for the creek discharge, respectively. Therefore, water shortage values were estimated to achieve the minimum and optimal ecological conditions of the wetland. Then, the effect of the management strategies on the balance of water resources of the wetland was investigated by compiling different management scenarios. The results showed that the implementation of scenarios at the wetland scale and its catchment would increase the volume of water in the wetland between 0.5 to 4 and 0.3 to 1.7 million cubic meters, respectively. Furthermore, simultaneously implementing scenarios of increasing the volume of the wetland's reservoir could provide the wetland's water requirements by constructing a levee, increasing irrigation efficiency, and eliminating the occupation of agricultural lands in the wetland bed and its margins. Also, when agricultural water requirement is provided, the water requirements of the wetland will be met so, even at a higher level.

Keywords: Amirkelaye Wetland, Environmental water requirement, Integrated water resources management, WEAP model.

* نویسنده مسئول
Email: modaberi8@gmail.com

مقدمه

برقراری تعادل بین نیازهای بخش محیط زیست و سایر مصارف آب در یک حوضه آبریز همواره جزو اصلی‌ترین مشغله فکری در مدیریت کلان آب در سطح جهان بوده است (Smakhtin *et al*., 2004). ازآنجایی‌که رژیم جریان در یک اکوسیستم آبی بر روی محیط زنده و فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن تأثیر مستقیم دارد، لذا تأمین آب کافی برای حفظ روابط اکولوژیکی در اکوسیستم‌های آبی مانند تالاب‌ها بسیار ضروری است (Modaberi & Shokoohi, 2019). تأمین حداقل جریان موردنیاز برای حفظ و بقای تالاب‌ها، توسعه اقتصادی و فقرزدایی از جوامع وابسته به آن‌ها را به‌دنبال دارد و ادامه حیات تالاب را تضمین می‌نماید (Modaberi & Shokoohi, 2020-c). اهمیت این مسئله منجر به توجه بیش‌تر به نیازهای آبی اکوسیستم‌های طبیعی در سال‌های اخیر شده است. تصمیم‌گیران در سطح مدیریت یک حوضه آبریز جهت رفع این چالش بزرگ به این نتیجه رسیده‌اند که باید تا حد امکان از نگاه بخشی به مصرف‌کنندگان فاصله گرفته و مدیریت یک حوضه آبریز را به‌صورت یکپارچه در نظر گیرند (Modaberi & Shokoohi, 2020a). هدف از مدیریت یکپارچه منابع آب، ایجاد سیستمی است که بتواند ارتباط متقابل بین مدیریت منابع آب با محیط‌زیست، توسعه اجتماعی و اقتصادی برقرار نموده و با مشارکت بخش‌های مختلف، تصمیم‌گیری‌هایی مناسب درخصوص تخصیص و توسعه منابع آب ارائه دهد (Zou *et al*., 2018). به‌طورکلی هدف از فرایند IWRM[1] یافتن راه‌حلی است که برای همه ذی‌نفعان قابل‌قبول باشد (Meng *et al*., 2019). تصمیم‌گیران باید شامل نمایندگان تمام گروه‌های ذی‌نفع باشند و از ابتدای تجزیه و تحلیل، اهداف و معیارهای مدیریت سیستم منابع آب را تعریف کنند و مشخص نمایند که چه اقداماتی موردنظر است. در اینجا منظور از تجزیه و تحلیل سیستم، تمرکز بر روی استراتژی‌ها یا سناریوهای مختلف به‌منظور کمک به تصمیم‌گیرندگان است (Li *et al*., 2015). برنامه‌ریزی منابع آب، به‌ویژه تخصیص منابع آب، بدون توجه به اثرات بلندمدت برنامه‌ریزی و تحلیل هم‌زمان ویژگی‌های هیدرولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مؤثر بر آن در یک چهارچوب واحد، می‌تواند منجر به هزینه‌های بسیار زیادی در عرصه‌های هیدرولوژیکی، اقتصادی- اجتماعی و زیست‌محیطی در سطح حوضه آبریز شود (Alamanos *et al*., 2018; Hatamkhani & Moridi, 2021). هم‌چنین به‌دلیل پیچیدگی سیستم‌های منابع آب به‌طور عمده دستیابی به این هدف که کدام استراتژی می‌تواند برای تمامی ذی‌نفعان بهتر باشد، کاری سخت و دشوار است. لذا برای رفع این مشکل و نیز به‌دلیل وسعت زیاد محاسبات می‌توان از مدل‌های کامپیوتری جهت برنامه‌ریزی منابع آب در سطح یک حوضه آبریز استفاده نمود (Siber *et al*., 2005). یکی از نرم‌افزارهای پرکاربرد و قدرتمند در این زمینه مدل WEAP[2] بوده که از سال ۱۹۹۰ به بازار عرضه و در حوضه‌های زیادی در سراسر جهان مورداستفاده قرارگرفته است. Boukila-Hassane *et al*. (2016) به ارزیابی چشم‌انداز سیستم یکپارچه مدیریت آب با استفاده از مدل WEAP در منطقه اوران، یکی از بزرگ‌ترین حوضه‌های جنوب الجزیره پرداختند. هدف اصلی این بررسی ارزیابی استفاده از یک سیستم مدیریت یکپارچه براساس سناریوهای تعریف‌شده تا سال ۲۰۳۰ در سراسر منطقه بود. نتایج نشان داد که حساسیت منطقه موردمطالعه در مقابل فشارهایی که در آینده به منابع آبی منطقه وارد خواهد شد بسیار زیاد است. در نتیجه نیاز به ایجاد یک سیستم مدیریت یکپارچه تقاضای محلی و کشاورزی بسیار ضروری است. در مطالعه‌ای دیگر Lima-Quispe *et al*. (2021) به‌منظور بررسی تأثیر آبیاری و تغییرپذیری آب‌وهوا بر دامنه

نوسانات سطح آب دریاچه‌ها و هم‌چنین نمایش دینامیکی منابع و مصارف آب از مدل WEAP در حوضه آبریز دریاچه‌های تیتیکاکا[3] و پوپو[4] در آلتیپلانو پرو-بولیوی در مرکز آند آمریکای جنوبی[5] برای دوره تاریخی ۱۹۸۰-۲۰۱۵ استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که نوسانات در سطح آب به‌طور عمده توسط تغییرات شرایط آب‌وهوایی کنترل می‌شود و حذف آبیاری شرایط نامساعد را تشدید می‌کند و در نتیجه نوسانات سطح آب را تقویت می‌نماید. حدود ۸۰ درصد از دامنه نوسانات سطح آب در دریاچه تیتاکاکا تحت تأثیر شرایط آب‌وهوایی بوده و ۲۰ درصد باقی‌مانده تحت تأثیر آبیاری است. هم‌چنین در دریاچه پوپو، شرایط آب‌وهوایی و آبیاری به‌ترتیب سهم ٦٥ و ۳۵ درصدی برای نوسانات آب دریاچه دارد. Dehghanipour *et al.* (2020) مطالعه‌ای را با هدف ارائه یک رویکرد شبیه‌سازی بهینه‌سازی جدید برای شناسایی استراتژی‌های مدیریت آب بر روی دریاچه ارومیه انجام دادند، به‌طوری‌که تقاضای نیاز آبی زیست‌محیطی و کشاورزی با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه موردمطالعه قرار گرفت. در این پژوهش حداقل جریان زیست‌محیطی دریاچه به‌عنوان متغیر تصمیم در مدل بهینه‌سازی و استفاده همزمان از مدل‌های شبیه‌سازی آب‌های سطحی (WEAP) و آب‌های زیرزمینی (MODFLOW) به‌عنوان یک گزینه مدیریتی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که ترکیبی از حداقل جریان زیست‌محیطی، کم آبیاری و انتخاب محصول مناسب می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در سود کشاورزی در طول دوره خشکسالی شود. به‌طور کلی، روش پیشنهادی مورداستفاده در این پژوهش، سودمندی و انعطاف‌پذیری خوبی را در شناسایی طیف وسیعی از استراتژی‌های مدیریت آب بالقوه در حوضه‌های آبریز پیچیده مانند حوضه دریاچه ارومیه نشان داد. Modaberi & Shokoohi (2020a) در مطالعه‌ای به ارزیابی آثار بهره‌برداری از شبکه آبیاری زهکشی سفیدرود بر حیات اکولوژیکی تالاب انزلی در چهارچوب مدیریت یکپارچه منابع آب پرداختند. در این مطالعه، ارتباط بین جریان ورودی به تالاب با سیستم بهره‌برداری بالادست با استفاده از مدل WEAP شبیه‌سازی شد. نتایج تحلیل سناریوها در شرایط مختلف نشان داد که در حال حاضر حجم و تراز تالاب از نظر کمی بیش‌تر وابسته به تراز دریا بوده و دبی ورودی به تالاب فقط در شرایط سیلابی می‌تواند تأثیر خود را بر حجم و تراز تالاب نشان دهد. براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که حیات اکولوژیکی تالاب انزلی بیش از آن‌که تحت تأثیر مدیریت کمی منابع آب در بالادست تالاب و برداشت آب از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود برای مصارف کشاورزی، دامپروری و آبزیان باشد از تخلیه تالاب به پایین دست تأثیر می‌پذیرد. نتایج این پژوهش‌ها بیانگر توانایی نرم‌افزار WEAP به‌عنوان ابزاری کارآمد به‌منظور تصمیم‌گیری در مدیریت یکپارچه منابع آب می‌باشد. هدف از انجام این پژوهش، بررسی منابع و مصارف در چهارچوب بیلان حوضه تالاب امیرکلایه و ارزیابی گزینه‌های مختلف سناریوهای مدیریت منابع آب به‌منظور تخصیص صحیح منابع با مدنظر قراردادن اصول IWRM در حوضه آبریز تالاب است. در این پژوهش ضمن تدوین راه‌کارها و سناریوهای مدیریتی تخصیص منابع آب براساس منافع همه ذی‌نفعان و شبیه‌سازی سیستم منابع آب با استفاده از مدل WEAP، به ارزیابی و بررسی شرایط زیست‌محیطی اکوسیستم آبی پرداخته می‌شود و نشان داده خواهد شد که تالاب در مقابل بهره‌برداری از منابع آب تغذیه‌کننده تالاب برای کشاورزی چه واکنشی نشان خواهد داد. در این حالت با اعمال تغییرات بر ورودی تالاب در محدوده‌ای متنوع و به‌ویژه در حالت حدی و خارج از توان تحمل تالاب (به‌وسیله جریان زیست‌محیطی تالاب تعریف خواهد گشت)، میزان تأثیر متغیرهای مزبور بر کارکردها و خدمات تالاب موردارزیابی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

روش انجام کار

بیلان آب تالاب امیرکلایه در قالب منابع و مصارف موجود و براساس داده‌ها و اطلاعات دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای گیلان و با استفاده از مدل WEAP موردبررسی قرار گرفت. پس از شبیه‌سازی و واسنجی مدل در وضع موجود به‌عنوان سناریوی مبنا، شش سناریوی مدیریتی در تالاب امیرکلایه و اراضی حاشیه آن و سه سناریو نیز در حوضه تالاب در بخش نهر سیدعلی اکبری و اراضی تحت پوشش آن تعریف شد و پس از شبیه‌سازی، چگونگی تأثیر آن‌ها بر بیلان و حجم آب تالاب و ارتباط بین جریان ورودی به تالاب و شرایط اکوهیدرولوژیکی هدف‌گذاری شده در تالاب بررسی شد.

محدوده موردمطالعه

تالاب امیرکلایه یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های زمستان‌گذرانی پرندگان مهاجر آبزی به‌ویژه مرغابیان در جهان و مکان مهم برای زیست سایر مهره‌داران، بی‌مهرگان و گیاهان آبزی است و به همین دلیل از سال ۱۹۷۱ میلادی تحت حفاظت و حراست سازمان محیط‌زیست قرار گرفته و به‌عنوان پناهگاه حیات وحش انتخاب شده است (Ashouri & Abdous, 2012). تالاب امیرکلایه از جمله مهم‌ترین تالاب‌های آب شیرین و درون خشکی است و در جنوب دریای خزر واقع شده و در سال ۱۳۵٤ در کنوانسیون رامسر ثبت شده است. محدوده بستر، حریم، پناهگاه حیات وحش و موقعیت تالاب امیرکلایه در شکل (۱) نشان داده شده است. پناهگاه حیات وحش اغلب وسعتی کم‌تر از مناطق حفاظت‌شده دارد و بیش‌تر زیستگاه‌هایی را در برمی‌گیرند که در آن‌ها حمایت از حیات وحش بیش‌تر مدنظر است. این مناطق هم‌چنین دارای زون امن بوده و استفاده انسانی در آن‌ها تا حد تعیین‌شده مجاز است. مدیریت در این تالاب با هدف حفظ و نگهداری از شرایط زیستگاهی به‌منظور حفظ گونه‌های مهم هم‌چنین جوامع حیاتی با سیماهای فیزیکی محیط‌زیست، تسهیل پژوهش‌های علمی و نظارت پیوسته محیط‌زیستی، تخصیص گستره‌های محدودی برای آموزش هم‌چنین استفاده‌های معنوی از ویژگی‌های زیستگاهی (تفرج) به‌عنوان وسیله‌ای برای مدیریت حیات وحش و حذف و جلوگیری از بهره‌برداری‌های زیان‌آور منطقه صورت می‌پذیرد (Behrouzirad, 2008).

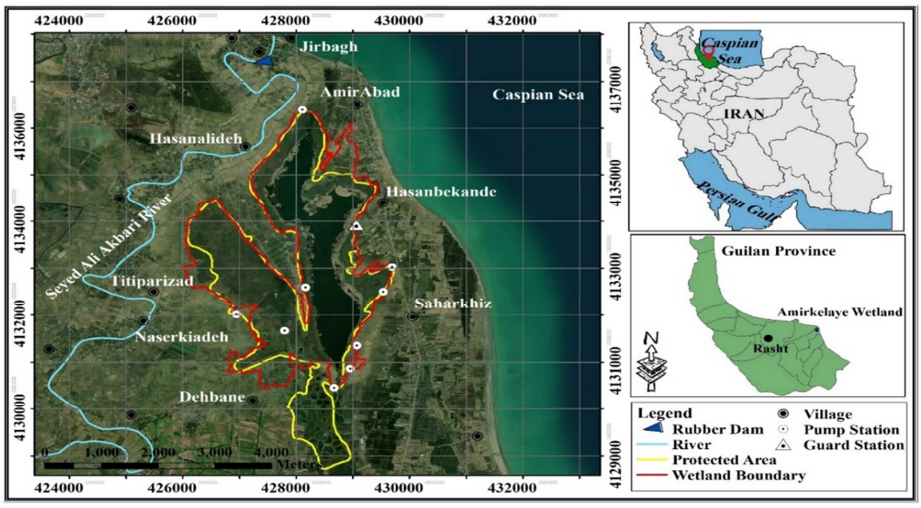

Figure 1. Location, bed area and land usage of Amirkelayeh wetland

واحدهای عمرانی در حوضه تالاب امیرکلایه

اگرچه میزان بارش و رواناب نقش به‌سزایی در تأمین آب تالاب امیرکلایه دارد، اما منبع اصلی تأمین آب به‌منظور استفاده در بخش کشاورزی در محدوده موردمطالعه، شبکه آبیاری زهکشی سفیدرود است (Modaberi & Shokoohi, 2020b). طرح شبکه آبیاری زهکشی سفیدرود با احداث سد مخزنی سفیدرود به گنجایش اولیه ۱۸۰۰ میلیون مترمکعب به مساحت تحت پوشش ۲۸۰۰۰۰ هکتار در غالب ۱۷ واحد عمرانی شکل گرفته است. واحدهای عمرانی این شبکه در محدوده موردمطالعه در سمت راست رودخانه سفیدرود شامل واحدهای D1 تا D5 می‌باشد. سد انحرافی سنگر در ۵۵ کیلومتری پایین‌دست سد مخزنی سفیدرود واقع شده است که دو کانال سمت راست و چپ آن از رودخانه آبگیری می‌کنند. کانال سمت راست سنگر با دبی ۶۷ مترمکعب در ثانیه آب آبیاری واحدهای عمرانی D1 تا D5 به مساحت تحت پوشش ۸۱۰۰۰ هکتار را تأمین می‌کند. واحدهای عمرانی D1، D2، D3 و D4 دارای شبکه آبیاری زهکشی ساخته‌شده (مدرن) می‌باشند و واحد عمرانی D5 با انهار سنتی آبیاری می‌شود (Anonymous, 2004). تأمین آب این اراضی از طریق کانال سمت راست سد سنگر بوده و آبرسانی آن توسط کانال‌های اصلی راست سنگر، لنگرود، لاهیجان و انهار حشمت‌رود و سیدعلی اکبری در مناطق مختلف واحدهای عمرانی صورت می‌گیرد. تالاب امیرکلایه در واحد عمرانی D5 قرار دارد. این واحد عمرانی با مساحت ۲۴۸۵۰ هکتار در منتهی‌الیه شمال‌شرقی شبکه آبیاری زهکشی سفیدرود واقع شده است و به شکل یک مثلث متساوی‌الساقین است. شکل (۲) تالاب امیرکلایه و واحد عمرانی D5 را نشان می‌دهد. واحد D5 دارای این مشخصه اختصاصی است که نهر سیدعلی اکبری در جهت جنوب‌غربی–شمال‌شرقی از میان آن عبور کرده و آن را به دو قسمت شرقی و غربی تقسیم می‌کند. شبکه آبیاری و زهکشی این واحد عمرانی تا کنون اجرا نشده و اراضی آن به‌صورت سنتی و از طریق انهار منشعبه از نهر اصلی سیدعلی اکبری و هم‌چنین پمپاژ آب از تالاب امیرکلایه از طریق ایستگاه‌های پمپاژ حاشیه تالاب تأمین آب می‌شوند (Modaberi & Shokoohi, 2020-b).

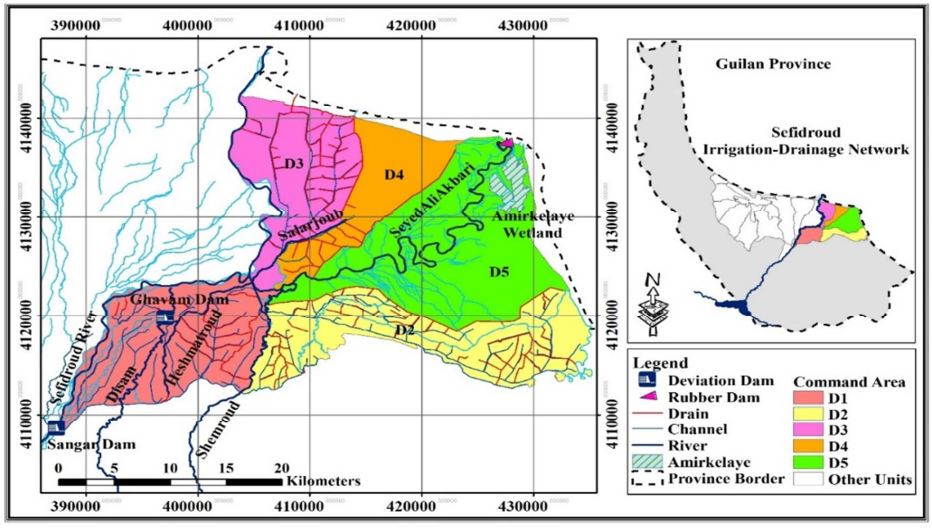

Figure 2. Civil units of Sefidrood irrigation network in the catchment area of Amirkalayeh wetland (Pandam Consulting Engineers, 2002)

شبیه‌سازی، واسنجی و تدوین سناریوهای مختلف در مدل WEAP

در این بخش مراحل مختلف کار با مدل WEAP شامل شبیه‌سازی مدل، واسنجی و تدوین سناریوهای مختلف برای تالاب امیرکلایه به‌طور جداگانه شرح داده شد. مدل WEAP برای شروع به‌کار نیاز به تعریف یک سال خاص دارد که کلیه اطلاعات مربوط بدان در دسترس باشد. در به‌کارگیری مدل WEAP در حوضه تالاب امیرکلایه، وضعیت شرایط تالاب در سال آبی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ به‌عنوان سناریوی مبنا در نظرگرفته شد. به‌منظور شبیه‌سازی مدل، ابتدا مشخصات زمانی (دوره زمانی، گام‌های زمانی و ...)، مرزهای مکانی، مؤلفه‌های سیستم و تنظیمات مربوط به مسئله معرفی شدند. مؤلفه‌های سیستم شامل مؤلفه رودخانه (شاخه‌های اصلی نهر سیدعلی اکبری و سرشاخه‌های آن و زهکش‌های منتهی به تالاب)، مؤلفه سنجش جریان (ایستگاه اندازه‌گیری جریان آب)، مؤلفه تقاضا (بخشی از اراضی کشاورزی واحد عمرانی D5 که تحت پوشش نهر سیدعلی اکبری بودند و بخشی از اراضی که از آب تالاب برداشت می‌کنند و بخشی از اراضی انتهای شبکه که با تنظیم سطح آب توسط سد لاستیکی از نهر سیدعلی اکبری آبگیری می‌کنند)، مؤلفه‌های برداشت (برداشت از نهر سیدعلی اکبری و تالاب امیرکلایه) و آب برگشتی (زه‌آب اراضی کشاورزی)، مؤلفه مخزن (مخزن تالاب امیرکلایه، مخزن سد لاستیکی دهنه‌سر و دریای خزر) و مؤلفه نیاز آبی زیست‌محیطی تالاب امیرکلایه می‌باشند. مشخصات هندسی مخزن به‌صورت منحنی‌های حجم-ارتفاع برگرفته‌شده از نقشه DEM تالاب و مخزن سد لاستیکی در قسمت مشخصات مؤلفه مخزن معرفی شد. با ایجاد مؤلفه‌های تقاضا برای هر بخش از اراضی کشاورزی، مشخصات آن‌ها شامل سطح زیر کشت، نیاز آبی اراضی کشاورزی در طول دوره آبیاری، توزیع ماهانه نیاز آبی و درصد مصرف آب به‌منظور محاسبه آب برگشتی از آبیاری به مدل معرفی شدند. شکل (۳) نحوه پیکره‌بندی منابع آب را در حوضه تالاب امیرکلایه در مدل WEAP نشان می‌دهد. همان‌طورکه در طرح شماتیک مؤلفه‌های سیستم منابع آب در مدل WEAP نشان داده شده است، نهر سیدعلی اکبری (S.A.A) با آبگیری از کانال راست سد سنگر توسط نهر حشمت‌رود، آب موردنیاز ۱۳۷۰۰ هکتار (Paddy field 1) از اراضی کشاورزی واحد عمرانی D5 را از طریق انهار منشعب از این نهر و ایستگاه‌های پمپاژ ثابت و سیار تأمین می‌کند. آب برگشتی و رواناب سطحی بخشی از این اراضی به مساحت ۱۸۶۲ هکتار به تالاب وارد می‌شود و مابقی آن به سمت پایین‌دست منتقل می‌شود و در نهایت به دریای خزر (Caspian Sea) می‌ریزد. در پایین‌دست نهر سیدعلی اکبری، سد لاستیکی دهنه‌سر (DahaneSar) با تنظیم تراز سطح آب، آب موردنیاز ۱۸۶۰ هکتار اراضی کشاورزی (Paddy field 2) را تأمین می‌کند. در بخش شرقی تالاب و حاشیه آن نیز ۱۱۵۰ هکتار اراضی کشاورزی (Paddy field 3) آب موردنیاز خود را توسط پمپ‌های مجاز و غیرمجاز برداشت می‌کنند.

مرحله دیگر کار در این بخش واسنجی مدل است. در این پژوهش، مقادیر منابع و مصارف رودخانه به‌عنوان پارامترهای واسنجی درنظر گرفته شدند. به‌منظور واسنجی مدل، مقادیر دبی نهر سیدعلی اکبری و هم‌چنین تراز سطح آب تالاب امیرکلایه در طول سال آبی ۹۹-۱۳۹۸ اندازه‌گیری شد. بدین منظور دبی این نهر در محل سد لاستیکی دهنه‌سر و تراز سطح آب تالاب در مقابل ایستگاه محیط‌بانی به‌صورت ماهانه اندازه‌گیری و ثبت شد.

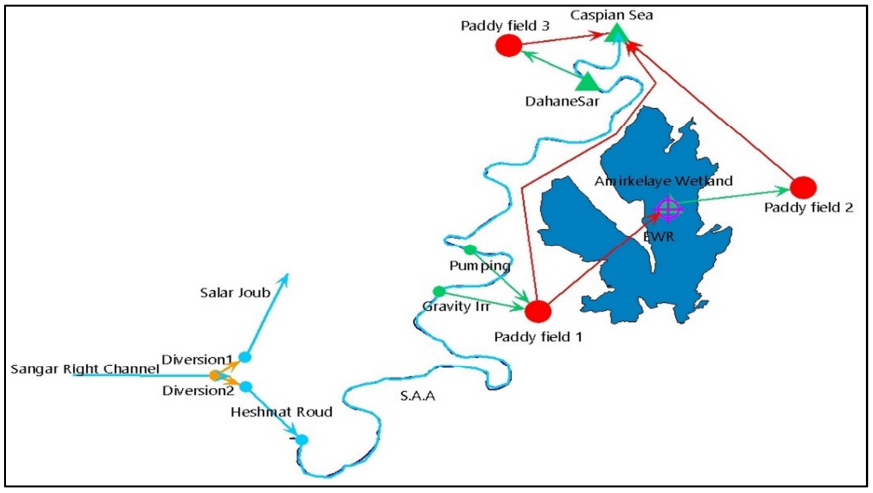

Figure 3. Configuration and schematic design of components of water resources system in the catchment of Amirkalayeh wetland using WEAP model

در فرایند واسنجی مدل WEAP در حوضه تالاب امیرکلایه، براساس حداکثر ظرفیت برداشت نهرهای منشعب از نهر سیدعلی اکبری و ایستگاه‌های پمپاژ موجود بر روی آن و سهم آب برگشتی به این نهر و هم‌چنین با تغییر پارامترهای مؤثر در مقادیر رواناب سطحی، فرایند واسنجی در طول سال آبی صورت گرفت. با مقایسه مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مقادیر اندازه‌گیری‌شده، فرایند واسنجی در دوره آماری یک‌ساله صورت گرفت. برای ارزیابی کمی نتایج حاصل از واسنجی مدل از ضریب تبیین (R2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. پس از شبیه‌سازی و واسنجی مدل، در این مرحله با تعیین سناریوهای مختلف، تأثیر تغییر در منابع و مصارف در پهنه آبی تالاب و بالادست آن بر حجم آب تالاب بررسی شد. به‌منظور شبیه‌سازی سناریوها، ابتدا سناریوی مبنا با توجه به وضعیت موجود حوضه تالاب امیرکلایه تعریف و شبیه‌سازی شد سپس سایر سناریوهای مدیریتی براساس آن در مدل معرفی و شبیه‌سازی شدند. لازم به ذکر است که سناریوهای ۱ تا ۵ مربوط به راه‌کار مدیریتی در تالاب و اراضی حاشیه آن و چگونگی تأثیر آن‌ها بر حجم مخزن تالاب می‌باشد. اما سناریوهای ٦ تا ۹ به راه‌کارهای مدیریتی در نهر سیدعلی اکبری و اراضی تحت پوشش آن پرداخته‌اند تا مشخص شود چگونه می‌توان از آب مازاد این نهر به‌منظور تأمین آب موردنیاز تالاب در نظر گرفت. در جدول (۱)، ویژگی‌ها و دلایل انتخاب هرکدام از سناریوها شرح داده شده است.

بررسی ارتباط بین جریان ورودی به تالاب و شرایط اکوهیدرولوژیکی هدف‌گذاری‌شده در تالاب

بخشی از آب موردنیاز اراضی کشاورزی واحد عمرانی D5 به‌کمک نهر سیدعلی اکبری در سمت غربی تالاب تأمین می‌شود و آب برگشتی و رواناب ناشی از بارندگی در بخشی از این اراضی توسط زهکش‌ها به سمت تالاب هدایت می‌شوند. هم‌چنین اراضی کشاورزی موجود در بخش شرقی تالاب به‌دلیل عدم توسعه شبکه آبیاری زهکشی در این بخش و هم‌چنین اراضی کشاورزی موجود در حاشیه تالاب، از طریق پمپاژ و برداشت بی‌رویه آب از مخزن تالاب، آب موردنیاز خود را تأمین می‌کنند و باعث کاهش عمق و در نتیجه آن حجم آب تالاب شده و تالاب را با چالش جدی روبه‌رو می‌کنند.

Table 1. Characteristics of the scenarios used in this study

Row	Section		Scenario	Description
1	Wetland and its margins	S1	Increase the capacity of the wetland's reservoir	The maximum reservoir capacity of the Amirkalayeh wetland is a function of the height of the levee. However, the storage capacity of the wetland can be increased by increasing the height of the levee along the wetland
2		S2	Eliminating the occupied agricultural lands in the margins of the wetland bed	Several hectares of the wetland bed and its margins have been occupied and turned into agricultural land, creating a new water supply per hectare. Due to the lack of water allocation to occupied lands, farmers supply their water requirements through illegal pumping and water withdrawal from the wetland.
3		S3	Saving in agricultural consumption by increasing efficiency and monitoring the withdrawal (pumping) from the wetland	The traditional irrigation method and, on the other hand, illegal and uncontrolled water withdrawals from Amirkalayeh Wetland through water pumping have caused water wastage and improper water withdrawal from the wetland. However, the wetland water efficiency can be increased, and its wasteful consumption can be prevented by improving the water distribution situation in the fields and monitoring the water withdrawal through pumping.
4		S4	Simultaneous implementation of scenarios 1, 2 and 3	Using the simultaneous implementation of scenarios is one of the management strategies to preserve the wetland
5		S5	Reducing the area under cultivation around the wetlands by 5 and 10%	Around 212 hectares of the bed and margins of the wetland have been occupied and turned into agricultural land. Reducing the area under cultivation of these lands located in the margins of the wetland plays an essential role in managing water resources.
6		S6	Considering the permissible limits of withdrawal water from the wetland based on the minimum and favorable ecological conditions determining for the wetland	The water requirement of the Amirkalayeh wetland has been determined based on the targeted minimum and optimal levels of the ecological conditions of the wetland. However, one of the main issues in this study is the uncontrolled withdrawal of water from the wetland to meet the water requirements of the agricultural lands around the wetland. Therefore, this scenario intends to investigate the effect of determining the allowable water withdrawal limits from the wetland based on the water requirements of the wetland for the agricultural sector.
7	Wetland catchment in the area of unit D5	S7	Saving in agricultural consumption by increasing efficiency in Seyed Ali Akbari creek and its tributaries	One of the apparent limitations regarding water distribution and operation in construction unit D5 is its traditional irrigation method. In this unit, operating waste in the system is high, and this issue has caused many problems in the distribution system, such as water losses. For example, light soil texture in some parts of the canals leads to increased losses due to seepage from the creek to adjacent lands.
8		S8	Reduction of the cultivated area of D5 unit with 2, 5, and 10% crop rotation	The area under rice cultivation (paddy field) in the D5 unit is 18183 hectares, which includes 73% of the geographical area and 100% of the area under cultivation. This scenario intends firstly to study the changes in catchment consumption by reducing the area under cultivation in this unit by 2%. Then the amount of water that can be allocated downstream of the catchment was estimated. In the next steps, reducing the area under cultivation by up to 10% was considered.
9		S9	Increase water allocation from the Sangar dam to its right channel	Sangar Dam has been constructed upstream of the wetland catchment area on the Sefidrood River at the Sangar region. This scenario intends to study the conditions of downstream water resources by increasing the amount of water intake from the right channel of the Sangar dam to allocate it to the downstream of the catchment.

حال مسئله این است که رژیم جریان بالادست نهر سیدعلی اکبری به‌عنوان جزئی از شبکه آبیاری زهکشی سفیدرود تا چه حد قادر به رفع چالش بین کشاورزی و محیط‌زیست خواهد بود به‌طوری‌که ضمن تأمین آب موردنیاز بخش کشاورزی، حقابه زیست‌محیطی تالاب نیز حفظ شود. شرایط هدف‌گذاری‌شده جهت تعیین حقابه زیست‌محیطی در تالاب امیرکلایه به‌صورت سناریوهایی در دو سطح حداقل و مطلوب بیان می‌شود. شرایط هدف‌گذاری‌شده مطلوب برای تالاب به نحوی تعریف می‌شود که نیاز آبی آن پاسخگوی گونه انتخابی موردنظر در بهترین شرایط باشد و هیچ‌گونه کاهش جمعیتی برای حضور آن‌گونه و آشیانه‌سازی آن در تالاب اتفاق نیفتد.

هم‌چنین شرایط حداقل برای تالاب، مقدار آب در کم‌ترین میزانی است که اگر حجم یا سطح یا عمق آب از آن کم‌تر شود، گونه موردنظر دچار انقراض شده و یا به تالاب مراجعت ننماید. در این حالت حجم آب به‌دست‌آمده نسبت به شرایط نرمال کاهش قابل‌توجهی پیدا می‌کند. بنابراین به‌منظور مدیریت تخصیص منابع آب در حوضه تالاب امیرکلایه از جنبه‌های برداشت آب از تالاب و جریان ورودی به آن، با استفاده از مدل WEAP می‌توان درک بهتری از سیستم منابع آب موجود و مصارف آن داشت. در این مرحله، پس از تدوین سناریوهای مختلف که در بخش قبل انجام شد، محاسبات مربوط به حجم تالاب و تراز سطح آب آن به‌صورت ماهانه براساس بارش، رواناب، تبادل آب زیرزمینی و تبخیر خالص از سطح آب تالاب صورت پذیرفت. با داشتن روابط سطح–حجم– ارتفاع تالاب امیرکلایه (Modaberi & Shokoohi, 2020b) و جریان ورودی به تالاب می‌توان حجم و مساحت تالاب را باتوجه به تراز سطح آب محاسبه نمود. اختلاف حجم مخزن بین دو ماه متوالی نشان‌دهنده مقدار حجم ذخیره‌شده و یا تخلیه‌شده در طول یک ماه می‌باشد. به‌عبارت ساده‌تر از تفاضل بین حجم ورودی به تالاب و حجم ذخیره‌شده در آن، میانگین حجم (دبی) خروجی از تالاب به‌صورت ماهانه به‌دست می‌آید.

نتایج و بحث

تعیین مساحت و حجم تالاب به روش جامع در شرایط هدف‌گذاری‌شده مطلوب و حداقل اکوهیدرولوژیکی

در مطالعه‌ای که توسط Modaberi & Shokoohi (2020a) بر روی تالاب امیرکلایه انجام گرفت مقادیر سطوح مختلف شاخص‌های هیدرولوژیکی اعم از تراز سطح آب، مساحت و حجم تالاب در شرایط مطلوب و حداقل اکولوژیکی متناظر با آنچه که در پژوهش حاضر مد نظر است به‌دست آورده شد. نیاز آبی زیست‌محیطی تالاب امیرکلایه در شرایط حداقل برای تمام سال ۵/۳۶ میلیون مترمکعب و در شرایط مطلوب برای شش‌ماهه اول و دوم سال آبی (منطبق بر تقویم آبیاری وزارت نیرو) برابر ۷/۲۵ و ٦/٧٤ میلیون مترمکعب برآورد شد. نتیجه مطالعه این دو پژوهش‌گر در جدول (۲) نشان داده شده است. در مطالعه این دو پژوهش‌گر فرض بر آن است که با تأمین شرایط اکوهیدرولوژیکی مناسب به‌منظور تعیین جریان زیست‌محیطی برای تالاب امیرکلایه، عملاً وضعیت تالاب ازنظر عمق جریان و دیگر عوامل هیدرولوژیکی اثرگذار بر اکوسیستم چنان است که شرایط مناسب ازنظر مطلوبیت در توابع اجتماعی–اقتصادی نیز مهیا می‌شود.

Table 2. Amounts of area and volume corresponding to desired and minimum ecological conditions

Wetland Physiography	Minimum condition	Desired condition	
		October-March	October-March
Elevation (m)	-26.31	-25.91	-26.01
Area (ha)	410.97	485.24	465.65
Volume ×106 (1O3)	5.36	7.25	6.74

واسنجی مدل WEAP

به‌منظور واسنجی مدل WEAP در تالاب امیرکلایه و حوضه آبریز منتهی به آن، از داده‌های اندازه‌گیری‌شده تراز سطح آب تالاب و دبی نهر سیدعلی اکبری در سال آبی ۹۹–۱۳۹۸ استفاده شد. در شش‌ماهه اول سال آبی (اکتبر تا مارچ) پارامترهای تبخیر، بارندگی، رواناب ناشی از بارندگی و آب زیرزمینی و در شش‌ماهه دوم سال آبی (آوریل تا سپتامبر) علاوه بر پارامترهای مذکور، برداشت آب از تالاب برای کشاورزی و آب برگشتی از آبیاری نیز در نظر گرفته شد و براساس آن‌ها فرایند واسنجی مدل در قسمت تالاب صورت گرفت. در قسمت نهر سیدعلی اکبری نیز براساس مقادیر تخصیص آب آبیاری اراضی کشاورزی و برداشت از آن مدل واسنجی شد. نتایج

واسنجی مدل نشان داد که مدل WEAP قابلیت ارزیابی ارتباط بین جریان ورودی به تالاب با رژیم جریان بالادست آن در حوضه موردمطالعه را داراست و به‌خوبی می‌تواند سیستم‌های منابع آب را با دقت مناسب شبیه‌سازی کند، به‌طوری‌که مقادیر ضریب تبیین (R2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای حجم تالاب به‌ترتیب برابر با ۰/۹۹۱ و ۰/۱ و برای دبی نهر سیدعلی اکبری به‌ترتیب برابر با ۰/۹۵٤ و ۰/۳۱ به‌دست آمد. مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده حجم تالاب امیرکلایه و دبی نهر سیدعلی اکبری مطابق شکل‌های (٤) و (٥) نشان می‌دهد که انطباق مطلوبی بین مقادیر محاسبه‌شده و اندازه‌گیری‌شده وجود داشته و استفاده از این مدل جهت شبیه‌سازی و ارزیابی سناریوها بلامانع است.

تدوین سناریوی مبنا و نتایج شبیه‌سازی مدل برای سناریوهای مختلف

در این مرحله ابتدا سناریوی مبنا با توجه به وضع موجود تالاب امیرکلایه تعریف شد و حجم آب تالاب با درنظرگرفتن تأثیر تغییر در منابع و مصارف در پهنه آبی تالاب و بالادست آن در سناریوهای مختلف، بررسی شد.

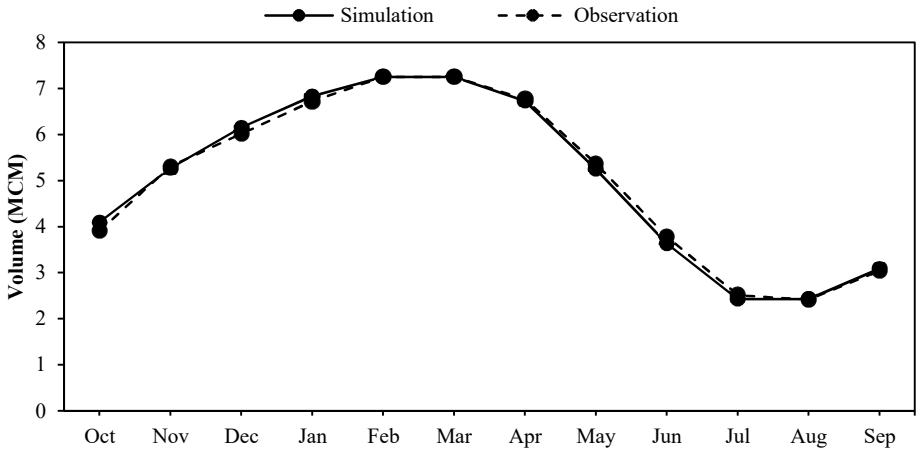

Figure 4. Observed values and simulation results of the Amirkalayeh wetland volume using WEAP model

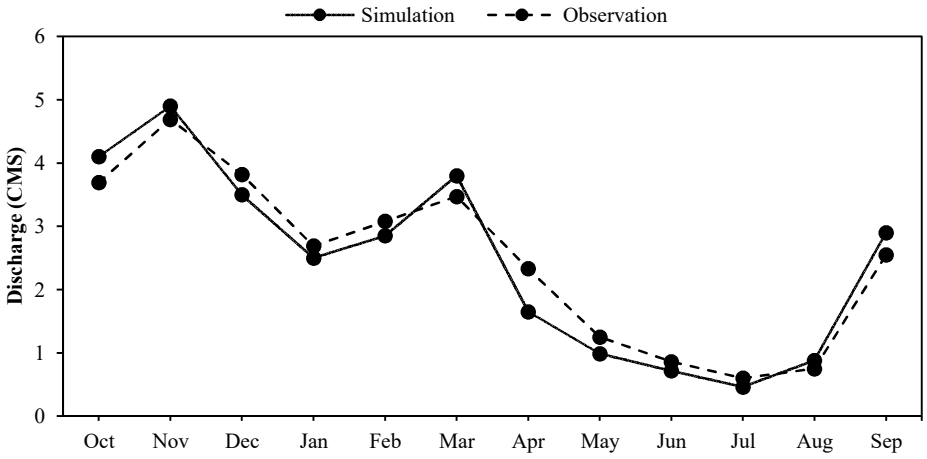

Figure 5. Observed values and simulation results of the Seyed Ali Akbari creek discharge using the WEAP model

سناریوی مبنا در حوضه تالاب امیرکلایه براساس وضعیت موجود در تالاب و حوضه بالادست آن در طول یک سال آبی شبیه‌سازی شد. در سناریوی مبنا حجم تالاب از ماه اکتبر تا ماه می در بازه بین نیاز آبی حداقل و مطلوب تغییر می‌کند به‌طوری که در ماه‌های فوریه و مارچ، حجم آب به حداکثر ظرفیت خود می‌رسد و مخزن سرریز می‌کند. در شش‌ماهه دوم سال آبی با شروع فصل کشاورزی و برداشت آب از تالاب حجم آن به تدریج کاهش می‌یابد. اما از ماه جون تا سپتامبر به‌دلیل افزایش برداشت آب برای کشاورزی و از طرف دیگر افزایش تبخیر و کاهش بارندگی، حجم تالاب به مقدار ۲/۴۳ میلیون مترمکعب می‌رسد که براساس شکل (٦) از شرایط حداقل نیاز آبی نیز کم‌تر است. هم‌چنین بررسی سناریوی مبنا نشان داد که برای تأمین نیاز آبی تالاب و رسیدن به شرایط حداقل اکولوژیکی تعیین‌شده در شش‌ماهه دوم سال آبی باید درمجموع حدود ۱/۱۱ میلیون مترمکعب آب در ماه‌های جون و جولای و برای رسیدن به شرایط مطلوب اکولوژیکی نیز درمجموع حدود ۲/۵۲ میلیون مترمکعب آب در ماه‌های آوریل تا جولای به تالاب تخصیص داد. جدول (۳) مقدار آب موردنیاز جهت تخصیص و رسیدن تالاب به شرایط حداقل و مطلوب اکولوژیکی در سناریوی مبنا را نشان می‌دهد.

سناریوی اول: افزایش ظرفیت مخزن تالاب

بررسی نقشه رقومی ارتفاعی تالاب نشان داد که با احداث بازوهای خاکی در اطراف مخزن تالاب به ارتفاع ۰/۵ متر می‌توان حجم تالاب را از ۷/۲۵ به ۸/۷۵ میلیون مترمکعب به میزان حدود ۱/۵ میلیون مترمکعب افزایش داد.

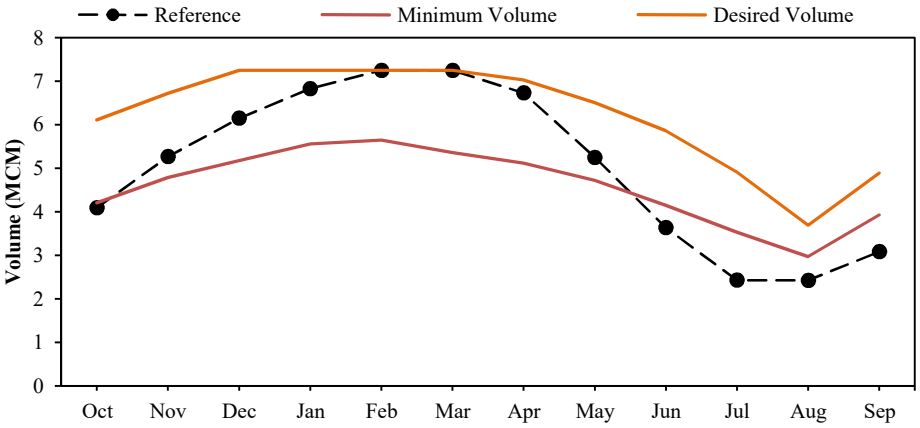

Figure 6. Water volume of Amirkelayeh wetland in the reference scenario

Table 3. The amount of water required to allocate and reach the wetland to the minimum and optimal ecological conditions in the baseline scenario

	Volume (MCM)		Discharge (CMS)	
	Minimum	Desired	Minimum	Desired
April	0	0.30	0	0.11
May	0	0.96	0	0.36
June	0.52	1.00	0.19	0.37
July	0.59	0.26	0.22	0.10
August	0	0	0	0
September	0	0	0	0
Sum	1.11	2.52		

مقایسه نتایج شبیه‌سازی این سناریو و سناریوی مبنا نشان می‌دهد در ماه‌های فوریه و مارچ آبی که از تالاب سرریز می‌شد، در تالاب ذخیره شده است و حدود ۰/۵۱ میلیون مترمکعب حجم آب تالاب افزایش یافته و شرایط تالاب به شرایط حداقل نیاز آبی نزدیک‌تر شده است. شکل (۷) حجم آب تالاب امیرکلایه را در سناریوی اول نشان می‌دهد. باید متذکر شد در صورت افزایش بارندگی و یا تخصیص آب از منبع دیگر، می‌توان حجم تالاب را برای شش‌ماهه دوم به مقدار بیش‌تری افزایش داد و اثرات برداشت آب برای کشاورزی را تا حد زیادی جبران کرد. بنابراین اگر بتوان در شش‌ماهه اول سال آبی حجم آب مخزن را به مقدار حداکثر ظرفیت مخزن رساند، در شش‌ماهه دوم سال آبی که برابر با فصل کشاورزی است حداقل حجم آب تالاب حدود ۳/۹ میلیون مترمکعب خواهد بود.

سناریوی دوم: رفع تصرف اراضی کشاورزی موجود در محدوده بستر تالاب

حدود ۲۱۲ هکتار از محدوده بستر تالاب امیرکلایه به‌منظور کشاورزی تصرف شده است که آب موردنیاز خود را از طریق پمپاژ آب از تالاب تأمین می‌کنند. در این سناریو وضعیت تالاب در صورت رفع تصرف این اراضی و در نتیجه آن کاهش برداشت آب از تالاب موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با شروع فصل کشاورزی در شش‌ماهه دوم سال آبی حداقل حجم تالاب از ۲/۴۳ در سناریوی مبنا به ۴/۸ در سناریوی دوم رسیده است. همان‌گونه که در شکل (۸) مشخص است با اعمال سناریوی دوم، ضمن تأمین آب موردنیاز برای رسیدن به شرایط اکولوژیکی حداقل، آب موردنیاز برای شرایط مطلوب نیز تأمین می‌شود.

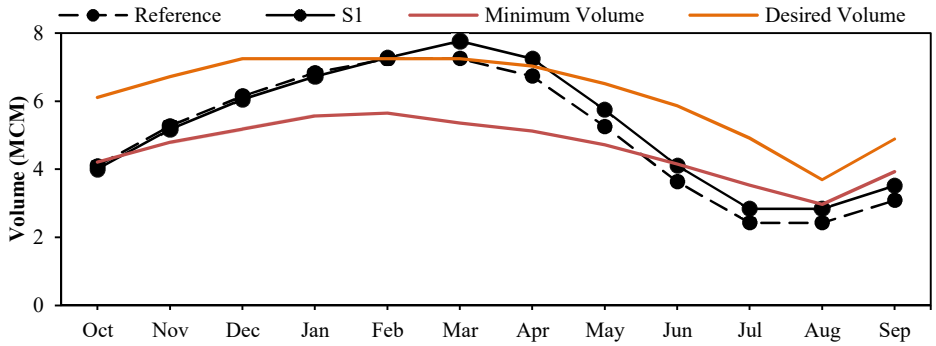

Figure 7. Comparison of the water volume of Amirkelayeh wetland in the S1 scenario with the reference scenario, minimum ecolofical conditions and desired conditions

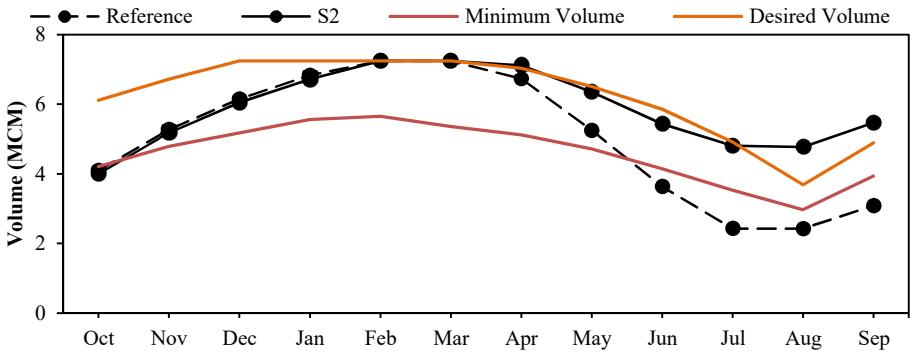

Figure 8. Comparison of the water volume of Amirkelayeh wetland in the S2 scenario with the reference scenario, minimum ecolofical conditions and desired conditions

سناریوی سوم: افزایش راندمان کل آبیاری در اراضی حاشیه تالاب

سامانه انتقال آب واحد عمرانی D5 از طریق انهار خاکی و به‌صورت سنتی بوده و در بخش‌هایی نیز از پمپ‌ها و لوله‌های فرسوده و قدیمی استفاده می‌شود، لذا این موضوع باعث افزایش نشت و تلفات آب در این سامانه سنتی شده، به‌طوری‌که راندمان کل این واحد عمرانی براساس مطالعات ٤١ درصد برآورد شده است. در این سناریو فرض شد که با کانالیزه‌کردن انهار موجود در حاشیه تالاب از تلفات آب جلوگیری شود و راندمان کل آبیاری در این بخش حدود ۵ درصد افزایش یابد. نتایج شبیه‌سازی مدل در این سناریو نشان داد که در شش‌ماهه دوم سال آبی حجم آب تالاب نسبت به سناریوی مبنا افزایش یافته و شرایط حداقل نیاز آبی نیز تأمین شده است. شکل (۹) حجم آب تالاب امیرکلایه را در سناریوی سوم نشان می‌دهد.

سناریوی چهارم: اجرای هم‌زمان سناریوهای اول، دوم و سوم

سناریوی چهارم از تلفیق سناریوهای اول، دوم و سوم یعنی افزایش ظرفیت مخزن تالاب، رفع تصرف ۲۱۲ هکتار اراضی کشاورزی موجود در محدوده بستر تالاب و افزایش راندمان کل آبیاری در اراضی حاشیه تالاب حاصل شد. نتایج شبیه‌سازی مدل در این سناریوی ترکیبی نشان داد که حجم آب تالاب در شش‌ماهه دوم سال آبی از حد مطلوب نیز بالاتر رفته است. ادامه این روند باعث می‌شود که در سال آبی بعدی، شرایط تالاب در پاییز و زمستان نیز از حد مطلوب بالاتر رود. شکل (۱۰) حجم آب تالاب امیرکلایه را در سناریوی چهارم نشان می‌دهد.

سناریوی پنجم: کاهش سطح زیرکشت اراضی حاشیه تالاب به مقدار ۵ و ۱۰ درصد

اراضی حاشیه تالاب امیرکلایه که آب موردنیاز خود را از تالاب تأمین می‌کنند حدود ۱۱۵۰ هکتار می‌باشد. یکی از سناریوهای مدیریتی جهت حفظ و احیای تالاب امیرکلایه، کاهش سطح زیر کشت اراضی حاشیه تالاب به مقدار ۵ و ۱۰ درصد می‌باشد. بنابراین در این سناریو مساحت اراضی کشاورزی حاشیه تالاب به حدود ۱۰۳۵ و ۱۰۹۲/۵ هکتار در نظر گرفته شد. در حالت اول حجم آب تالاب در شش‌ماهه دوم به‌جز ماه ژولای تا شرایط حداقل افزایش یافته است. در حالت دوم نیز شرایط تالاب در شش‌ماهه دوم سال آبی ضمن تأمین شرایط حداقل، به شرایط مطلوب نزدیک‌تر شده است. شکل (۱۱) حجم آب تالاب امیرکلایه را در سناریوی پنجم با کاهش سطح زیر کشت ۵ و ۱۰ درصد را نشان می‌دهد.

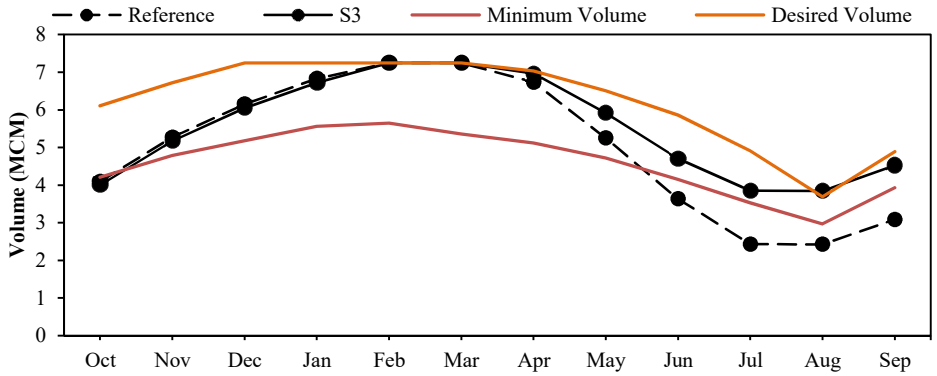

Figure 9. Comparison of the water volume of Amirkelayeh wetland in the S3 scenario with the reference scenario, minimum ecolofical conditions and desired conditions

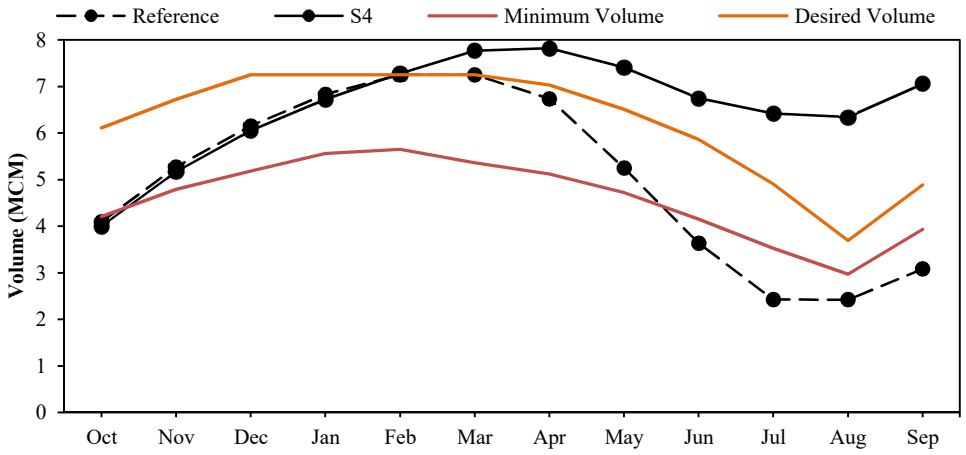

Figure 10. Comparison of the water volume of Amirkelayeh wetland in the S4 scenario with the reference scenario, minimum ecolofical conditions and desired conditions

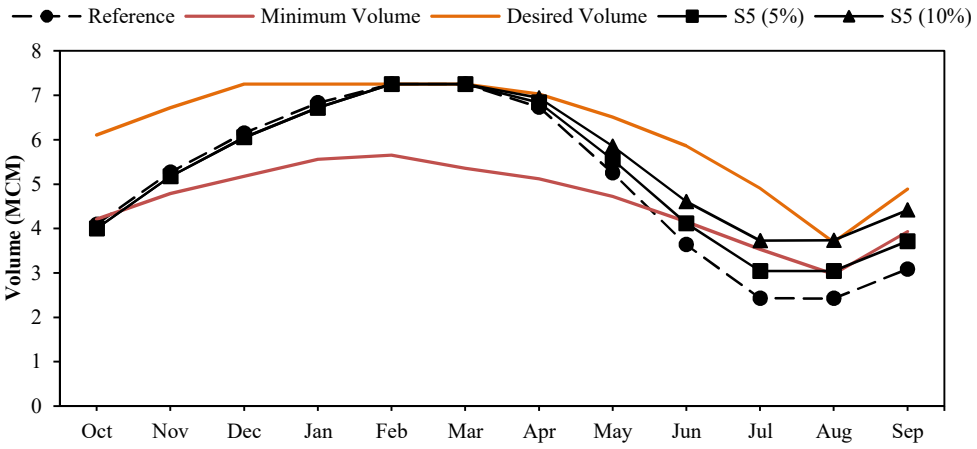

Figure 11. Comparison of the water volume of Amirkelayeh wetland in the S5 scenario with the reference scenario, minimum ecolofical conditions and desired conditions

سناریوی ششم: برداشت آب از تالاب تا حد مجاز براساس شرایط حداقل و مطلوب اکولوژیکی

در این سناریو فرض بر این است که برداشت آب از تالاب کنترل و نظارت شود به‌طوری که تراز و حجم آب تالاب از حدود هدف‌گذاری‌شده برای تأمین شرایط حداقل و مطلوب اکولوژیکی پایین‌تر نرود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی این سناریو در مدل نشان داد که با درنظرگرفتن شرایط مطلوب اکولوژیکی تالاب به‌عنوان حد مجاز برداشت آب از تالاب، در ماه‌های آوریل، می، جون و ژولای درمجموع حدود ۲/۵۲ میلیون مترمکعب نیاز آبی کشاورزی تأمین نمی‌شود. هم‌چنین با درنظرگرفتن شرایط حداقل اکولوژیکی به‌عنوان حد مجاز برداشت آب از تالاب، در ماه‌های جون و ژولای درمجموع حدود ۱/۱۱ میلیون مترمکعب کمبود آب در بخش کشاورزی مشاهده می‌شود. شکل (۱۲) میزان کمبود آب در بخش کشاورزی در حاشیه تالاب امیرکلایه به‌ازای تعیین حدود مجاز برداشت آب در سناریوی نهم را نشان می‌دهد.

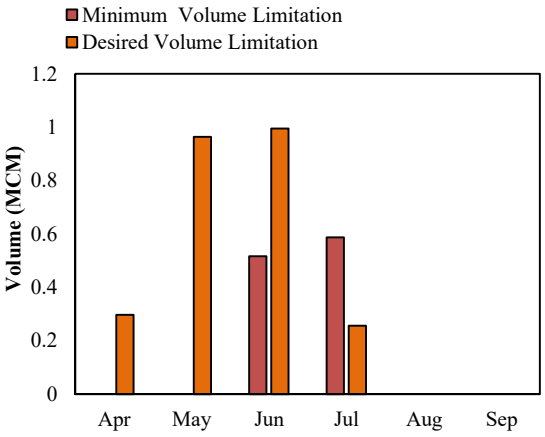

Figure 12. Determining the allowable water withdrawal limits in the ninth scenario regarding water shortage in the agricultural sector along the Amirkalayeh wetland

سناریوی هفتم: کاهش سطح زیر کشت اراضی تحت پوشش نهر سیدعلی اکبری به مقدار ۲، ۵ و ۱۰ درصد

اراضی کشاورزی واحد عمرانی D5 شامل دو بخش اراضی تحت پوشش نهر سیدعلی اکبری و اراضی تحت پوشش تالاب امیرکلایه است. در این سناریو تأثیر کاهش ۲، ۵ و ۱۰ درصدی سطح زیر کشت اراضی تحت پوشش نهر سیدعلی اکبری بر دبی این نهر موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که دبی جریان نهر در بالادست سد لاستیکی در فصل کشاورزی (آوریل تا آگوست) افزایش یافته و در اجرای این سناریو با کاهش ۲ درصدی (۳٤۰ هکتار) اراضی کشاورزی تحت پوشش نهر سیدعلی اکبری دبی این نهر به اندازه موردنیاز جهت رسیدن به شرایط حداقل و مطلوب اکولوژیکی افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که بتوان این جریان مازاد را به‌منظور تأمین آب موردنیاز تالاب تخصیص داد. شکل (۱۳) دبی نهر سیدعلی اکبری در بالادست سد لاستیکی را در سناریوی هفتم نشان می‌دهد.

سناریوی هشتم: افزایش راندمان کل آبیاری در اراضی تحت پوشش نهر سیدعلی اکبری

در این سناریو فرض شده است که با کانالیزه‌کردن انهار منشعب از نهر سیدعلی اکبری از تلفات آب جلوگیری شود و راندمان کل آبیاری در این بخش حدود ۲ و ۵ درصد افزایش یابد. نتایج شبیه‌سازی این سناریو نشان داد که مصرف آب از این نهر کاهش یافته است و در نتیجه آن دبی نهر از فرودین‌ماه تا تیرماه به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافته است. بنابراین حتی با افزایش ۲ درصدی راندمان کل آبیاری می‌توان حجم آب موردنیاز تالاب برای رسیدن به شرایط هدف‌گذاری‌شده حداقل و مطلوب اکولوژیکی را از طریق این نهر تأمین کرد. شکل (١٤) دبی نهر سیدعلی اکبری در بالادست سد لاستیکی را در سناریوی هشتم نشان می‌دهد.

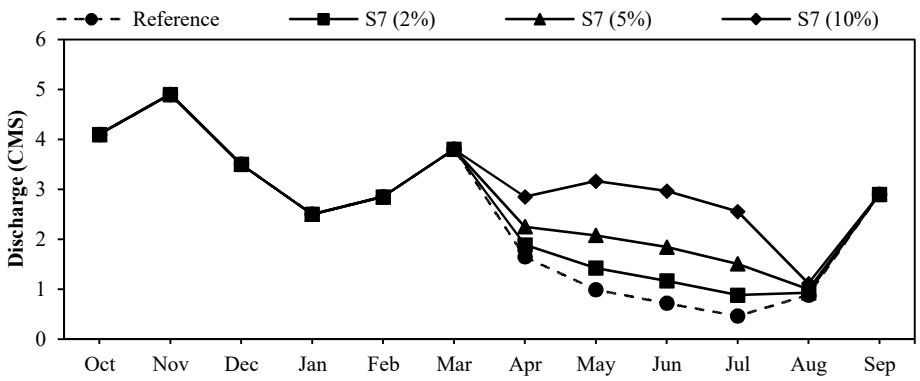

Figure 13. Seyed Ali Akbari river flow upstream of the rubber dam in the S7

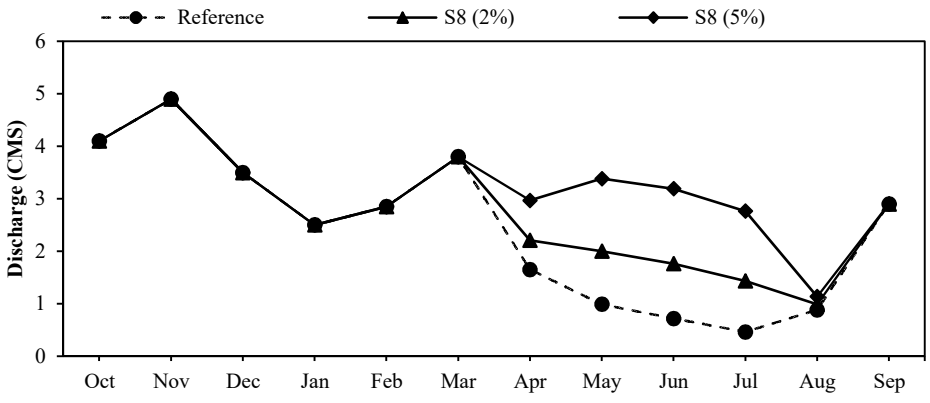

Figure 14. Seyed Ali Akbari river flow upstream of the rubber dam in the S8

سناریوی نهم: افزایش تخصیص آب به نهر سیدعلی اکبری در ماه ژولای (مازاد بر نیاز آبی کشاورزی)

براساس برنامه آبیاری و تخصیص آب به نهر سیدعلی اکبری، در ماه‌های آوریل، می و جون این نهر به اندازه حداکثر ظرفیت خود (۲۵ مترمکعب بر ثانیه) آبگیری می‌شود. اما در ماه ژولای با توجه به افزایش تقاضا در شبکه آبیاری، میانگین دبی تخصیص‌یافته به این نهر حدود ۲۳/۵ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است. در این سناریو فرض شده است که در ماه ژولای نیز نهر سیدعلی اکبری تا حداکثر ظرفیت خود آبگیری شود. بنابراین دبی نهر در تیرماه ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه افزایش می‌یابد که با درنظرگرفتن تلفات، حدود ۱/۳٦ مترمکعب بر ثانیه به جریان پایین‌دست افزوده خواهد شد. این جریان مازاد معادل ۳/٦ میلیون مترمکعب آب در طول یک ماه مطابق شکل (۱۵) می‌باشد. با توجه به مقدار آب لازم جهت تأمین شرایط مطلوب اکولوژیکی تالاب به مقدار ۲/۵۲ میلیون مترمکعب در طی ماه‌های آوریل تا ژولای، می‌توان این حجم آب را با دبی ۰/۹٤ مترمکعب بر ثانیه در طی یک ماه تأمین کرد. بنابراین می‌توان با افزایش مقدار آبگیری نهر سیدعلی اکبری در ماه ژولای به مقدار کم‌تر از ۱ مترمکعب بر ثانیه نیاز آبی تالاب در تابستان را تأمین کرد.

مقایسه افزایش حجم آب تالاب امیرکلایه در صورت اجرای سناریوهای مختلف مربوط به تالاب

جمع نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوهای تعریف‌شده به‌منظور بررسی راه‌کارهای مدیریتی و تأثیر آن‌ها بر تالاب امیرکلایه در جدول (٤) ارائه شده است.

در سناریوی مبنا در ماه‌های آوریل و می، شرایط حداقل برای تأمین نیاز آبی تالاب محقق شده است، اما در سایر ماه‌های فصل زراعی حجم تالاب کم‌تر از شرایط حداقل می‌باشد. به‌منظور تأمین شرایط حداقل و مطلوب در همه ماه‌های فصل زراعی به‌ترتیب حدود ۱/۱ و ۲/۵۱ میلیون مترمکعب آب نیاز است. در سناریوی اول با احداث دیواره خاکی به ارتفاع ۰/۵ متر ظرفیت ذخیره مخزن تالاب از ۷/۲۵ به ۸/۷۵ میلیون مترمکعب خواهد رسید. اجرای این سناریو در شرایط وضع موجود سبب جلوگیری از خروج حدود ۰/۵۱ میلیون مترمکعب آب از طریق سرریز تالاب شده و در مخزن تالاب ذخیره می‌شود و فقط در ماه‌های ژولای و آگوست حجم تالاب کم‌تر از شرایط حداقل خواهد شد. بنابراین می‌توان در شرایط ترسالی در فصل پاییز و زمستان رواناب ناشی از بارندگی و یا در صورت امکان با تخصیص منابع آب از نهر سیدعلی اکبری، حجم آب بیش‌تری در تالاب ذخیره کرد و از آن برای مصارف کشاورزی در فصل بهار و تابستان استفاده نمود.

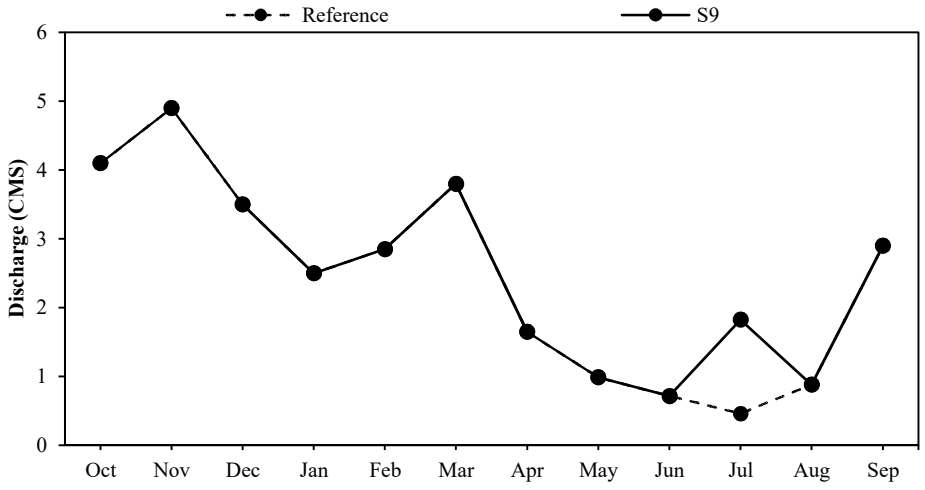

Figure 15. Seyed Ali Akbari river flow upstream of the rubber dam in the S9

Table 4. Amount of increase in reservoir's volume of the Amirkalayeh wetland and the wetland conditions in case of implementation of scenarios related to the wetland and its margin

	Scenario Number	Scenario	The amount of increase in the wetland volume compared to the baseline scenario (MCM)	Condition of the wetland Providing minimum conditions (*), favorable conditions (**) and conditions less than the minimum (-)				
				April	May	June	July	August
Management of scenarios in the wetland and its margins	-	Reference scenario	-	*	*	-	-	-
	S1	Increase the capacity of the reservoir by 1.5 MCM	0.51	**	*	*	-	-
	S2	Eliminating the occupation of 212 hectares of land in the area of the wetland bed	2.38	**	**	*	**	**
	S3	5% increase in total efficiency in the wetland margins area	1.42	**	*	*	*	**
	S4	Simultaneous implementation of scenarios 1, 2 and 3	3.99	**	**	**	**	**
	S5	Reducing the cultivation area in the wetland margins by 5%	0.61	*	*	*	-	*
		Reducing the cultivation area in the wetland margins by 10%	1.3	*	*	*	*	*
	S6	Permitted withdrawal water from the wetland to provide minimum conditions	1.1	*	*	*	*	*
		Permitted withdrawal water from the wetland to provide favorable conditions	2.51	**	**	**	**	**
Management of scenarios in the catchment of the wetland within the D5 unit	S7	Reducing the cultivation area covered by creeks by 2%	0.32	**	**	**	**	**
		Reducing the cultivation area covered by creeks by 5%	0.8	**	**	**	**	**
		Reducing the cultivation area covered by creeks by 10%	1.59	**	**	**	**	**
	S8	Increasing the total efficiency by 2%	0.74	**	**	**	**	**
		Increasing the total efficiency by 5%	1.75	**	**	**	**	**
	S9	Increasing water allocation from the Sangar canal in July from 23.5 to 25 cubic meters per second	1.37	*	*	-	**	**

The condition of the wetland show with three levels, minimum conditions (*), favorable conditions (**) and conditions less than the minimum (-)

در سناریوی دوم رفع تصرف اراضی کشاورزی موجود در محدوده بستر تالاب به مساحت ۲۱۲ هکتار باعث کاهش مصرف و برداشت آب از تالاب شده و در نهایت حجم آب تالاب در فصل زراعی نسبت به سناریوی مبنا ۲/۳۸ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد و شرایط مطلوب در همه ماه‌ها به‌جز ماه جون تأمین خواهد شد. در سناریوی سوم فرض بر این است که با بهبود وضعیت ایستگاه‌های پمپاژ آب و کانالیزه کرده نهرهای خاکی انتقال آب راندمان کل آبیاری در اراضی آبخور حاشیه تالاب حدود ۵ درصد افزایش یابد. در این صورت حدود ۱/٤۲ میلیون مترمکعب آب صرفه‌جویی می‌شود و برداشت از آب تالاب کاهش می‌یابد. در این سناریو در ماه‌های آوریل و آگوست شرایط مطلوب و در ماه‌های می، جون و ژولای شرایط حداقل تأمین خواهد شد. در سناریوی چهارم که با اجرای هم‌زمان سه سناریوی اول، دوم و سوم حاصل شد، حجم تالاب در فصل زراعی درمجموع ۳/۹۹ میلیون مترمکعب افزایش می‌یابد و شرایط مطلوب در طی فصل زراعی تأمین شد. در سناریوی پنجم کاهش سطح زیر کشت اراضی حاشیه تالاب به مقدار ۵ و ۱۰ درصد باعث کاهش برداشت آب از تالاب به مقدار ۰/٦۱ و ۱/۳ میلیون مترمکعب می‌شود. در حالت اول شرایط حداقل در همه ماه‌ها به‌جز ژولای و در حالت دوم در همه ماه‌های فصل زراعی شرایط حداقل تأمین خواهد شد. در سناریوی ششم با کنترل و نظارت بر ایستگاه‌های پمپاژ و پایش تالاب، حجم آب تالاب از شرایط حداقل و مطلوب کم‌تر نخواهد شد. در این صورت با تعیین شرایط حداقل و مطلوب به‌عنوان حدود مجاز برداشت، به‌ترتیب حدود ۱/۱ و ۲/۵۱ میلیون مترمکعب حجم آب تالاب نسبت به سناریوی مبنا افزایش می‌یابد. اما از طرف دیگر اراضی کشاورزی حاشیه تالاب به همین مقدار با کمبود آب مواجه خواهند شد. شبیه‌سازی سناریوهای مربوط به بخش نهر سیدعلی اکبری و حوضه تالاب نشان داد که اجرای سناریوهای ۷، ۸ و ۹ باعث کاهش برداشت آب از این نهر و درنتیجه آن افزایش دبی قابل برداشت از آن خواهد شد. بنابراین با درنظرگرفتن تمهیداتی می‌توان با آبگیری از این نهر نیاز آبی زیست‌محیطی تالاب امیرکلایه را برای رسیدن به شرایط حداقل و مطلوب تأمین کرد. با توجه به نتایج سناریوی مبنا برای تأمین نیاز آبی زیست‌محیطی تالاب امیرکلایه نیاز به دبی جریان به مقدار ۰/۱ تا ۰/۳۷ مترمکعب برثانیه در طی ماه‌های فصل زراعی می‌باشد. در سناریوی ۷ با کاهش سطح زیر کشت اراضی تحت پوشش نهر سیدعلی اکبری در واحد عمرانی D5، به مقدار ۲، ۵ و ۱۰ درصد (۳٤۰، ۸۵۰ و ۱۷۰۰ هکتار)، دبی نهر در بالادست سد لاستیکی به‌ترتیب حدود ۰/۳۲، ۰/۸ و ۱/۵۹ مترمکعب برثانیه افزایش می‌یابد. اجرای سناریوی ۸ و افزایش راندمان کل آبیاری به مقدار ۲ و ۵ درصد از طریق کانالیزه‌کردن انهار خاکی و جلوگیری از تلفات آب، دبی نهر را به‌ترتیب حدود ۰/۷٤ و ۱/۷۵ مترمکعب بر ثانیه افزایش خواهد داد. بنابراین در سناریوهای ۷ و ۸ با توجه به این‌که مقادیر دبی قابل‌برداشت از نهر از مقدار موردنیاز بیش‌تر می‌باشد، با تأمین دبی موردنیاز شرایط مطلوب برای تالاب محقق خواهد شد. در سناریوی ۹ نیز با فرض افزایش مقدار تخصیص آب از کانال سنگر به نهر سیدعلی اکبری تا حداکثر ظرفیت نهر (۲۵ مترمکعب برثانیه) در ماه جولای دبی نهر حدود ۱/۳۷ مترمکعب برثانیه افزایش می‌یابد. اما ازآنجایی‌که این دبی در تیرماه قابل برداشت است فقط ماه‌های ژولای و آگوست به شرایط مطلوب خواهند رسید و ماه‌های آوریل، می و جون همانند سناریوی مبنا خواهند بود. با توجه به بحران کم‌آبی و ضرورت ذخیره نزولات جوی و جلوگیری از تلفات آب در سامانه‌های آبیاری و هم‌چنین حفاظت از محیط‌زیست و رعایت حدود بستر و حریم تالاب، اجرای سناریوی ٤ به‌منظور بهبود شرایط زیست‌محیطی تالاب و هم‌چنین بهبود وضعیت آبیاری در اراضی کشاورزی پیشنهاد می‌شود. در این سناریو

ضمن افزایش ظرفیت ذخیره مخزن تالاب، با بهبود وضعیت ایستگاه‌های پمپاژ و انهار خاکی از تلفات آب جلوگیری شده و با رفع تصرف اراضی کشاورزی در محدوده بستر تالاب هرگونه برداشت غیرمجاز از تالاب برچیده خواهد شد. از طرفی کشت برنج برای ساکنین منطقه شغل و منبع درآمد اصلی به‌شمار می‌رود، لذا استفاده از آب تالاب و نهر سیدعلی اکبری، بسیار حیاتی است و این در حالی است که این امر با بقای تالاب به‌شدت در تضاد است. از این‌رو، اجرای راه‌کارهای مدیریتی در قالب سناریوهای مربوط به کاهش سطح زیرکشت در اولویت‌های پایین‌تر قرار دارد و سبب بروز چالش‌های اقتصادی- اجتماعی در جوامع محلی خواهد شد بنابراین می‌توان فقط در وضعیت بحرانی و عدم امکان تأمین آب موردنیاز تالاب از سایر منابع، از چنین گزینه‌هایی استفاده نمود. در سناریوهای مربوط به نهر سیدعلی اکبری و حوضه تالاب، با اجرای همه سناریوها به‌جز سناریوی ۹، دبی قابل برداشت از نهر حتی از مقدار دبی موردنیاز تالاب برای رسیدن به شرایط مطلوب نیز بیش‌تر می‌باشد. بنابراین با توجه موضوع امکان وقوع چالش‌های اقتصادی- اجتماعی، به‌نظر می‌رسد مناسبت‌ترین گزینه افزایش راندمان کل آبیاری در اراضی تحت پوشش نهر سیدعلی اکبری حتی به مقدار کم‌تر از ۲ درصد می‌باشد. اما باید به این نکته توجه کرد که ضمن افزایش دبی نهر باید بر برنامه آبیاری و تخصیص آب به انهار منشعب از نهر و هم‌چنین تخصیص آب به تالاب کنترل و نظارت صورت گیرد.

نتیجه‌گیری

نگرش جامع و فراگیر به مقوله‌ها و ربط منطقی آن‌ها و توسعه فراگیر آن‌ها به اعتقاد خبرگان و کارشناسان مدیریت آب در دنیا، تنها راه برخورد معقول با مدیریت آب در کشورهاست و این مهم با عنوان مدیریت یکپارچه منابع آب مطرح می‌شود. نتایج مطالعات هیدرولوژیکی در تالاب امیرکلایه نشان می‌دهد در فصول سرد سال (از اول ماه اکتبر تا آخر ماه مارچ) شرایط اکولوژیکی مناسب برای تأمین آب شاخص‌های اکولوژیکی تالاب برقرار است، اما در ماه‌های گرم سال (از ابتدای ماه آوریل تا انتهای سپتامبر) که هم‌زمان با فصل کشاورزی است، برداشت از آب تالاب به حد قابل‌توجهی زیاد می‌شود به‌طوری‌که در سال‌هایی سبب خشک‌شدن تالاب شده است. بنابراین اهمیت تالاب و شرایط اکولوژیکی آن در شش‌ماهه دوم سال آبی (بهار و تابستان) به‌دلیل وجود اراضی کشاورزی و برداشت بی‌رویه آب از تالاب کاملاً ملموس است. استفاده از مدل WEAP به‌منظور مدیریت تخصیص منابع آب در حوضه تالاب امیرکلایه، نشان داد که راه‌کارهای مدیریتی مربوط به مخزن تالاب و اراضی حاشیه آن هرکدام به‌تنهایی قادر به بهبود شرایط اکولوژیکی تالاب در شش‌ماهه دوم سال آبی هستند. به‌طوری که با اجرایی‌کردن هم‌زمان سناریوهای افزایش حجم مخزن تالاب از طریق احداث بازوی خاکی، افزایش راندمان آبیاری و رفع تصرف اراضی کشاورزی موجود در محدوده بستر تالاب، ضمن تأمین نیاز آبی بخش کشاورزی، نیاز آبی تالاب حتی در سطحی بالاتر از شرایط مطلوب تأمین خواهد شد. هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مربوط به نهر سیدعلی اکبری و اراضی کشاورزی تحت پوشش آن‌ها نشان داد که می‌توان از طریق کانالیزه‌کردن انهار و افزایش راندمان کل آبیاری، تخصیص آب بیش‌تر به نهر سیدعلی اکبری و یا در صورت امکان کاهش سطح زیر کشت در واحد عمرانی دبی جریان در این نهر را افزایش داد و از جریان مازاد آن به‌منظور تأمین نیاز آبی تالاب استفاده نمود. با بررسی نتایج این سناریوها نتیجه شد که افزایش راندمان کل آبیاری به مقدار ۲ درصد می‌تواند ضمن جلوگیری از

هدررفت آب، آب موردنیاز تالاب امیرکلایه را نیز تأمین کند. کاهش ۲ درصدی (۳٤۰ هکتار) اراضی کشاورزی تحت پوشش نهر سیدعلی اکبری اگرچه می‌تواند کمبود نیاز آبی تالاب را جبران کند اما ذی‌نفعان را با مشکلات اقتصادی- اجتماعی فراوانی روبه‌رو خواهد کرد. بنابراین نتایج اجرای سناریویی دیگر نشان داد که در صورت تعیین شرایط حداقل و مطلوب اکولوژیکی به‌عنوان حد مجاز به‌ترتیب ۱/۱۱ و ۲/۵۲ میلیون مترمکعب نیاز آبی آبیاری در بخش کشاورزی حاشیه تالاب تأمین نمی‌شود و با کمبود آب مواجه خواهد شد. بنابراین با توجه به چالش‌هایی که تالاب امیرکلایه در زمینه برداشت بی‌رویه آب از آن و نادیده‌گرفتن حقابه زیست‌محیطی این اکوسیستم ارزشمند با آن روبه‌رو است، اجرای راه‌کارهای مدیریتی مناسب و قابل دفاع مانند افزایش حجم مخزن تالاب و افزایش راندمان آبیاری در حاشیه تالاب می‌تواند شرایط تالاب را با کم‌ترین تضاد با سایر ذی‌نفعان بهبود بخشد و ارزش‌ها و کارکردهای آن را حفظ نماید.

پی‌نوشت‌ها

1. Integrated Water Recourse Management
2. Water Evaluation and Planning System
3. Titicaca
4. Poop
5. Peruvian-Bolivian Altiplano in the central Andes of South America

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Alamanos, A., Mylopoulos, N., Loukas, A., & Gaitanaros, D. (2018). An integrated multicriteria analysis tool for evaluating water resource management strategies. *Water*, *10*(12), 1795.
2. Anonymous. (2004). *Report on improvement of irrigation and drainage network Guilan Sefidrud*. Guilan Regional Water Authority. (In Persian)
3. Ashoori, A., & Abdoos, A. (2013). *Important wetland habitats for the waterbirds of Gilan, Iran*. Katibeh Gilan. (In Persian)
4. Behrouzirad, B. (2008). *Wetlands of Iran*. National Geographical Organization Publication. (In Persian)
5. Bouklia-Hassane, R., Yebdri, D., & Tidjani, A. E. (2016). Prospects for a larger integration of the water resources system using WEAP model: a case study of Oran province. *Journal of Desalination and Water Treatment*, *57*, 5971-5980.
6. Dehghanipour, A., Schoups, G., Zahabiyoun, B., & Babazadeh, H. (2020). Meeting agricultural and environmental water demand in endorheic irrigated river basins: A simulation-optimization approach applied to the Urmia Lake basin in Iran. *Journal of Agricultural Water Management, 241*, 106353.
7. Hatamkhani, A., & Moridi, A. (2021). Optimal Development of Agricultural Sectors in the Basin Based on Economic Efficiency and Social Equality. *Water Resources Management*, 35(3), 917-932.
8. Li, X., Zhao, Y., Shi, C., Sha, J., Wang, Z.-L., & Wang, Y. (2015). Application of Water Evaluation and Planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China. *Journal of Ocean & Coastal Management, 106:* 97-109.
9. Lima-Quispe, N., Escobar, M., Albertus, J., Wickel, M., & Purkey, D. (2021). Untangling the effects of climate variability and irrigation management on water levels in Lakes Titicaca and Poop´o. *Journal of Hydrology,* Regional Studies, 37,100927.
10. Meng, B., Liu, J., Bao, K., & Sun, B. (2019). Water fluxes of Nenjiang River Basin with ecological network analysis: Conflict and coordination between agricultural development and wetland restoration. *Journal of Cleaner Production*, 213, 933-943.
11. Modabberi, H., & Shokoohi, A. (2019). Determining Anzali Wetland Environmental Water Requirement Using Eco-Hydrologic Methods. *Iran-Water Resources Research, 15*(3), 91-104. (In Persian).
12. Modaberi, H., & Shokoohi, A. (2020). Evaluation of the Effects of Exploitation of Sefidrood Irrigation and Drainage Network on the Life of Anzali Wetland. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 6*(14), 1939-1953. (In Persian).

13. Modaberi, H., & Shokoohi, A. (2020). Determining the Environmental Water Needs of Amirkalayeh Wetland Based on a Holistic Approach Regarding Contradiction between the Water Use for Agriculture and Wetland Conservation. *Iran-Water Resources Research, 16*(3), 284-307. (In Persian).
14. Modaberi, H., & Shokoohi, A. (2020). Evaluating the Effects of Reducing Environmental Water Requirement of Anzali Wetland on its Ecological Services in an IWRM Framework. *Journal of Ecohydrology, 7*(2), 481-496. (In Persian).
15. Sieber, J., Chris, S. D., & Huber-Lee, A. (2005). *WEAP (Water Evaluation and Planning System), User guide for WEAP21*. Stockholm Environment Institute. U.S. Center. USA.
16. Zou, Y., Duan, X., Xue, Z., Mingju, E., Sun, M., & Lu, X. (2018). Water use conflict between wetland and agriculture. (2018). *Journal of environmental management, 224*, 140-6.