برآورد نیاز آبی تالاب شادگان با استفاده از پایش ماهواره‌ای پوشش گیاهی و تحلیل هیدرواکولوژیکی

محمدمهدی بیکی سروعلیا[1]

علی مریدی[2*]

۱. گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

رایانامه: m_beikisarveolya@sbu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

رایانامه: a_moridi@sbu.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف این پژوهش به نقش مهم هیدرولوژیکی و اکولوژیکی تالاب شادگان در حفظ کارکردهای طبیعی خلیج فارس مربوط می‌شود. این تالاب دارای تنوع بالایی از گیاهان و جانوران آبزی است و به‌عنوان مهم‌ترین سایت تخم‌گذاری اردک مرمری در جهان شناخته می‌شود. هدف این تحقیق یافتن تناسب صحیح در تخصیص آب به تالاب برای حفاظت از کارکردهای زیست‌محیطی آن و نیز تخصیص آب به زمین‌های کشاورزی بالادست به‌منظور افزایش بهره‌وری کشاورزی است. بر همین اساس، هدف اصلی تعیین و محاسبه نیاز آبی تالاب شادگان بر اساس متغیرهای پایش گیاهی است. روش پژوهش شامل استفاده از سامانه Google Earth Engine و تصاویر ماهواره‌ای Landsat 7 و 8 بود. به کمک این ابزارها شاخص‌های NDVI و NDWI منطقه مورد مطالعه محاسبه شدند. یافته‌ها نشان داد که نیاز آبی سالانه تالاب شادگان در سه سطح به‌ترتیب ۸۲۱، ۱۶۵۲ و ۲۸۸۷ میلیون مترمکعب در سال است. این تالاب علاوه بر دریافت آب از رودخانه جراحی، بخشی از نیاز خود را نیز از رودخانه رامهرمز تأمین می‌کند که طبق گزارش‌ها معادل ۶۲ درصد از کل منابع آبی آن است؛ بنابراین سه سطح نیاز آبی پس از اعمال این ضریب، به‌ترتیب ۵۰۹، ۱۰۲۴ و ۱۷۸۹ میلیون مترمکعب در سال محاسبه شد. این مقادیر به‌ترتیب معادل ارزش اقتصادی ۱۷۴۱، ۲۲۷۳ و ۲۵۶۸ میلیارد تومان در سطح یک، دو و سه هستند. همچنین پایش پوشش گیاهی نشان داد که متوسط سالانه سطح سبز منطقه مورد مطالعه از ۴۸۴ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۲ به ۲۱۶ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۸ کاهش یافته است.

کلیدواژه‌ها: رژیم جریان؛ رطوبت سطحی؛ شاخص‌های طیفی؛ سنجش از دور

۱. مقدمه

تالاب‌ها از مهم‌ترین و درعین‌حال شکننده‌ترین اکوسیستم‌های زمین به شمار می‌آیند. این زیست‌بوم‌ها خدمات اکوسیستمی حیاتی متعددی ارائه می‌دهند؛ از جمله ذخیره و تثبیت کربن، کنترل و کاهش سیلاب‌ها، تصفیه طبیعی آب، تنظیم چرخه‌های هیدرولوژیک، حفظ تنوع زیستی و همچنین پشتیبانی از معیشت جوامع محلی از طریق شیلات، کشاورزی و گردشگری. افزون بر این، تالاب‌ها نقش مهمی در ثبات اقلیمی و مقابله با تغییرات آب‌وهوایی دارند و به همین دلیل به‌عنوان یکی از ستون‌های اصلی «زیرساخت‌های سبز» در جهان شناخته می‌شوند (Davidson et al., 2019). با وجود این ارزش‌ها، روند تخریب و کاهش مساحت تالاب‌ها در دهه‌های اخیر نگران‌کننده بوده است و بر اساس برآوردهای جهانی، از ابتدای سده هجدهم تاکنون حدود سه میلیون و ٤٠٠ هزار کیلومترمربع تالاب‌های داخلی در جهان از بین رفته‌اند (Fluet-Chouinard et al., 2023). همچنین، طبق گزارش «چشم‌انداز جهانی تالاب‌ها ۲۰۲۵»، از دهه ۱۹۷۰ تاکنون بیش از ۲۲ درصد از مساحت تالاب‌ها کاهش یافته است. این روند نه تنها تهدیدی برای تنوع زیستی جهانی محسوب می‌شود بلکه پیامدهای اقتصادی گسترده‌ای نیز دارد؛ به‌طوری که پیش‌بینی می‌شود تداوم تخریب تالاب‌ها زیان‌هایی تا ۳۹ تریلیون دلار در دهه‌های آینده ایجاد کند (Convention on Wetlands (Ramsar), 2025). محرک‌های اصلی تخریب تالاب‌ها شامل تغییر کاربری زمین برای توسعه کشاورزی و شهرنشینی، برداشت بیش‌ازحد آب برای مصارف خانگی و صنعتی، ساخت سدها و انحراف جریان‌های طبیعی، زهکشی گسترده، آلودگی‌های شیمیایی و زیستی و تغییرات اقلیمی از جمله خشک‌سالی‌های مکرر و افزایش دما است. پیامد این عوامل نه تنها کاهش مساحت تالاب‌ها بلکه افت کیفیت اکولوژیکی آن‌هاست؛ به‌طوری که بسیاری از تالاب‌های باقی‌مانده در وضعیت بوم‌شناختی نامطلوب قرار دارند (Kulik et al., 2024; Qi et al., 2023).

یکی از مفاهیم کلیدی در مدیریت پایدار تالاب‌ها، جریان زیست‌محیطی[1] است. این مفهوم به مقدار و الگوی زمانی آبی اشاره دارد که برای حفظ ساختار و عملکرد اکولوژیکی تالاب‌ها ضروری است. رویکرد اکولوژیک در برآورد نیاز آبی تالاب‌ها بر پایه نیازهای زیستی گونه‌های کلیدی و کارکردهای اکوسیستم تعریف می‌شود. در این رویکرد، نه تنها حجم کل آب بلکه زمان‌بندی تأمین و نوسانات سطح آب برای مراحل حساس زندگی موجودات مانند تخم‌ریزی ماهیان، زمستان‌گذرانی پرندگان مهاجر و رشد گیاهان تالابی در نظر گرفته می‌شود. نبود جریان مناسب می‌تواند به تغییر در ترکیب گیاهی و جانوری، افت کیفیت آب، افزایش رسوب‌گذاری و کاهش ظرفیت خودپالایی منجر شود (Bunn & Arthington, 2002). برای مثال، مطالعه‌ای در تالاب Momoge چین نشان داد که نیاز اکولوژیک تالاب در فصول مختلف بسیار متفاوت است و برای دوره تخم‌ریزی، مهاجرت و سیلاب مقادیر ۱۹۲، ۵۳۹ و ۸۷۳ میلیون مترمکعب برآورد شد (Meng et al., 2025). همچنین پژوهشی در رود زرد چین تأکید کرده است که حساب‌کردن نیاز اکولوژیک بدون توجه به رژیم زمانی جریان‌ها، به‌ویژه در دوره‌های سیلابی و زادآوری، نمی‌تواند پایداری زیستگاه‌ها را تضمین کند (Zhao et al., 2022). به‌طور کلی، رویکرد اکولوژیک نشان می‌دهد که تأمین نیاز آبی تالاب تنها با عددی ثابت از حجم سالانه امکان‌پذیر نیست، بلکه باید به‌صورت یک رژیم آبی پویا شامل مقدار، کیفیت و زمان‌بندی مناسب آب تعریف شود (Barchiesi et al., 2022). بر همین اساس، پژوهش‌های جدید بر طراحی جریان‌های زیست‌محیطی با تأکید بر اصل «رژیم جریان طبیعی» در شرایط تغییر اقلیم تأکید دارند (Arthington et al., 2018; Poff, 2018). ایران به دلیل اقلیم خشک و نیمه‌خشک خود، وابستگی شدیدی به منابع آبی محدود دارد و تالاب‌ها در این کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. با این حال، فشار بر این اکوسیستم‌ها طی دهه‌های اخیر افزایش یافته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد شارژ سالانه منابع آب زیرزمینی کشور طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۷ حدود ۳۵ درصد کاهش یافته است که این امر شکنندگی تالاب‌ها را افزایش داده است (Noori et al., 2023). افزون بر این، توسعه بی‌رویه کشاورزی، سدسازی و تغییر کاربری اراضی باعث افت قابل توجه کیفیت و کمیت منابع آبی تالاب‌ها شده است. در جنوب غرب ایران، کاهش وسعت تالاب‌ها با افزایش وقوع طوفان‌های گردوغبار

و افت کیفیت آب ارتباط مستقیم دارد (Mohammadi et al., 2024). تالاب شادگان، به‌عنوان بزرگ‌ترین تالاب ایران و یکی از تالاب‌های ثبت‌شده در کنوانسیون رامسر، از اهمیت بین‌المللی برخوردار است. این تالاب علاوه بر ارزش‌های زیست‌محیطی، نقش کلیدی در معیشت مردم محلی دارد. با این حال، تغییرات ورودی آب ناشی از سدهای بالادست مانند مارون و طرح‌های توسعه آبیاری، رژیم هیدرولوژیک آن را دگرگون کرده است. همچنین شاخص‌های کیفیت آب، از جمله افزایش شوری و کاهش اکسیژن محلول، نشانه‌هایی از افت سلامت اکولوژیکی این تالاب هستند (Yousefi Kebriya et al., 2025).

پیشرفت‌های اخیر در حوزه سنجش‌ازدور و سامانه‌های پردازش ابری مانند GEE[2] فرصت‌های بی‌سابقه‌ای برای پایش و مدیریت تالاب‌ها فراهم کرده‌اند. داده‌های ماهواره‌ای Landsat-7 و Landsat-8 امکان بررسی تغییرات سطح آب و پوشش گیاهی تالاب‌ها را در بازه‌های زمانی بلندمدت فراهم می‌کنند. در این میان، دو شاخص پرکاربرد عبارت‌اند از: شاخص آب نرمال تفاضلی (NDWI[3]) برای شناسایی و پایش تغییرات سطح آب (McFeeters, 1996) و شاخص پوشش گیاهی نرمال تفاضلی (NDVI[4]) برای ارزیابی وضعیت و تغییرات پوشش گیاهی (Rouse Jr et al., 1973). ترکیب این دو شاخص در محیط GEE توانسته است روند کاهش سطح آب و افت پوشش گیاهی تالاب‌ها را به‌خوبی آشکار کند (Ashok et al., 2021). مطالعات اخیر در ایران نشان داده‌اند که تحلیل داده‌های Landsat-8 OLI[5] با استفاده از NDWI و NDVI ابزار قدرتمندی برای پایش تالاب شادگان است. نتایج این مطالعات حاکی از همبستگی بالا میان کاهش سطح آب (بر اساس NDWI) و افت پوشش گیاهی اطراف تالاب (بر اساس NDVI) است که عمدتاً تحت تأثیر خشک‌سالی‌های مکرر و توسعه کشاورزی در بالادست رخ داده‌اند (Dargahian et al., 2022; Seyed Mousavi & Akhoondzadeh, 2023).

این پژوهش با تلفیق تحلیل‌های هیدرولوژیکی و داده‌های سنجش‌ازدور، چارچوبی جامع برای برآورد نیاز آبی تالاب شادگان ارائه می‌دهد. رویکرد پیشنهادی علاوه بر افزایش دقت در محاسبه جریان زیست‌محیطی، امکان رصد تغییرات پوشش گیاهی و سلامت اکولوژیکی تالاب را نیز فراهم می‌سازد. نتایج به‌دست‌آمده می‌تواند مبنایی نوین برای مدیریت تطبیقی و تصمیم‌گیری در حوزه تخصیص آب و حفاظت پایدار این اکوسیستم ارزشمند باشد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

تالاب شادگان از جمله تالاب‌های ثبت‌شده در کنوانسیون رامسر و با اهمیت بین‌المللی در جنوب غرب ایران و در شمال خلیج فارس و مساحت ۴۰۰.۰۰۰ هکتار است. این تالاب به لحاظ هیدرولوژیکی و اکولوژیکی، نقش مهمی در عملکرد طبیعی خلیج فارس ایفا می‌کند. همچنین تالاب شامل انواع مختلفی از گیاهان و جانوران آبزی و مهم‌ترین مکان تخم‌گذاری اردک مرمری در جهان است (Changizi et al., 2024).

Figure 1. Satellite image of Shadegan wetland

۲-۲. برآورد نیاز آبی

نیاز آبی تالاب با سه رویکرد محاسبه می‌شود: رویکرد هیدرولوژیک، رویکرد اکولوژیک و رویکرد جامع.

۲-۲-۱. رویکرد هیدرولوژیک

رویکرد هیدرولوژیک در برآورد نیاز آبی تالاب‌ها بر پایه محاسبه دقیق اجزای چرخه آب است. این موارد شامل بارش، رواناب سطحی، تغذیه آب زیرزمینی، تبخیر–تعرق و برداشت‌های انسانی است. داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی به همراه مدل‌های ترازنامه آب برای تعیین حجم‌هایی که تالاب برای حفظ تراز مطلوب و پایداری اکولوژیک به آن‌ها نیاز دارد، استفاده می‌شوند. با این حال، این رویکرد اگر به تنهایی به کار رود، ممکن است نیازهای زیستی گونه‌های مختلف را که وابسته به زمان، کیفیت و نوسان سطح آب هستند در نظر نگیرد، که این می‌تواند منجر به کاهش تنوع زیستی یا اختلال در عملکرد اکوسیستم شود (Acreman & Holden, 2013).

۲-۲-۲. رویکرد اکولوژیک

در این رویکرد از شاخص‌های NDWI برای استخراج پهنه‌های آبی و NDVI برای ارزیابی پوشش گیاهی تالابی از تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آید، محاسبه می‌شود. با استفاده از نقشه‌های حاصل، تغییرات گستره آب، شدت خشکیدگی و وضعیت سلامت پوشش گیاهی نظیر نی‌زارها و همچنین تلفیق با داده‌های میدانی شامل عمق آب، اکسیژن محلول و شوری، پهنه‌های اکولوژیک حساس و شرایط زیستگاهی گونه‌های شاخص شناسایی می‌شود. در نهایت، این تلفیق مکانی–زمانی مبنای تعیین آستانه‌های بوم‌شناختی و استخراج نیاز آبی تالاب در چارچوب رویکرد اکولوژیک قرار می‌گیرد (Khosravi Yeganeh and Ghaffari Moghadam, 2025).

۲-۲-۳. رویکرد جامع

رویکرد جامع، هر دو بعد هیدرولوژیک و اکولوژیک را با ملاحظات کیفی، اجتماعی–اقتصادی و مشارکتی ترکیب می‌کند. در این روش، علاوه بر تعیین حجم سالانه مورد نیاز آب، زمان‌بندی دقیق رهاسازی‌ها، دوره‌های بحرانی (خشک، تر)، دامنه نوسان سطح آب، کیفیت آب مناسب، و منافع ذی‌نفعان محلی در نظر گرفته می‌شود (Eivazy, 2023).

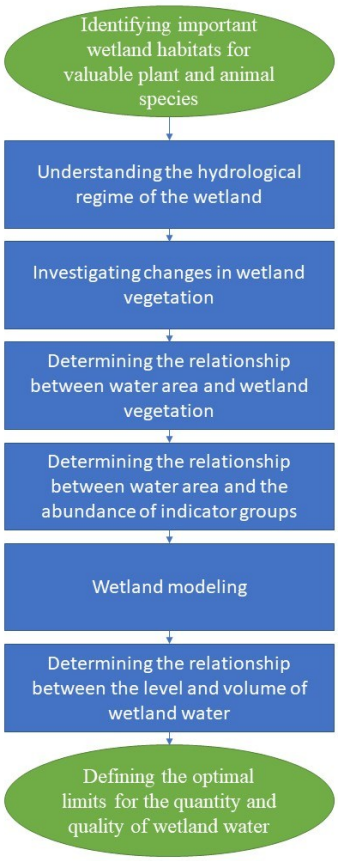

Figure 2. Algorithm for determining the ecological water requirement of a wetland

در این مطالعه ابتدا رژیم هیدرولوژیکی تالاب در مهروموم‌های قبل از توسعه (۲۰۰۱–۱۹۸۸) مورد بررسی قرار گرفته و کمیت و محل آوردهای تالاب با استفاده از آمارهای موجود در منطقه تعیین شد. به منظور شبیه‌سازی شرایط کیفی حاکم بر تالاب در گذشته، عملکرد تالاب مشابه یک مخزن کاملاً مختلط فرض شد.

Sima (2006) با استفاده از نقاط اندازه‌گیری شده عمق تالاب و درون‌یابی این نقاط، موفق به استخراج منحنی DEM[6] کف تالاب شده و در نهایت با استخراج خطوط کنتور، موفق به محاسبه منحنی‌های تراز سطح – حجم تالاب شده اند (رابطه ۱).

$$V = (0.0004 \times A^2) + (0.0758 \times A) - 3.1333 \quad (1)$$

که در آن:

V: حجم آب موجود در تالاب بر حسب میلیون متر مکعب (MCM[7])

A: سطح آب موجود در تالاب بر حسب کیلومتر مربع (km^2[8]).

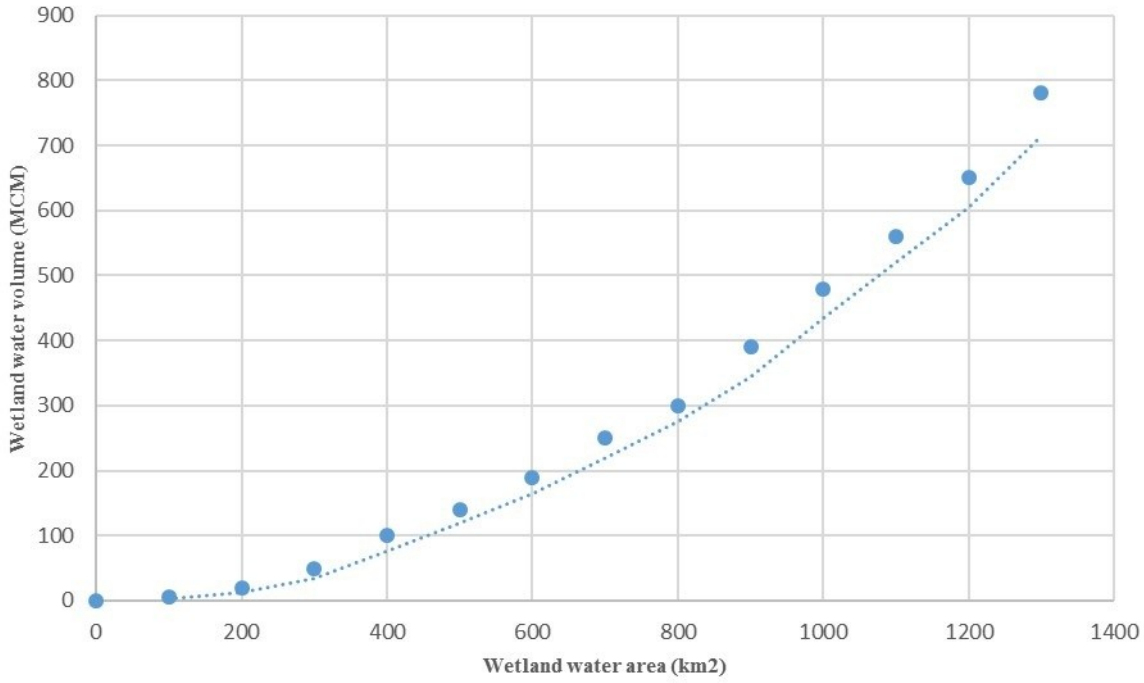

Figure 3. Area-volume diagram of water in the Shadegan wetland

به منظـور پـایش سـطح آب و پوشـش گیاهی تالاب از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 و Landsat 7 و همچنین سامانه Google Earth Engine استفاده شد. همچنین با بررسی رابطه بین سطح آب تالاب و فراوانی اردک مرمری در فـصل زمـستان سطح آب مطلوب بر مبنای ارضای الزامات حضور این گونه نیز تعیین شد (Hawke, 2020).

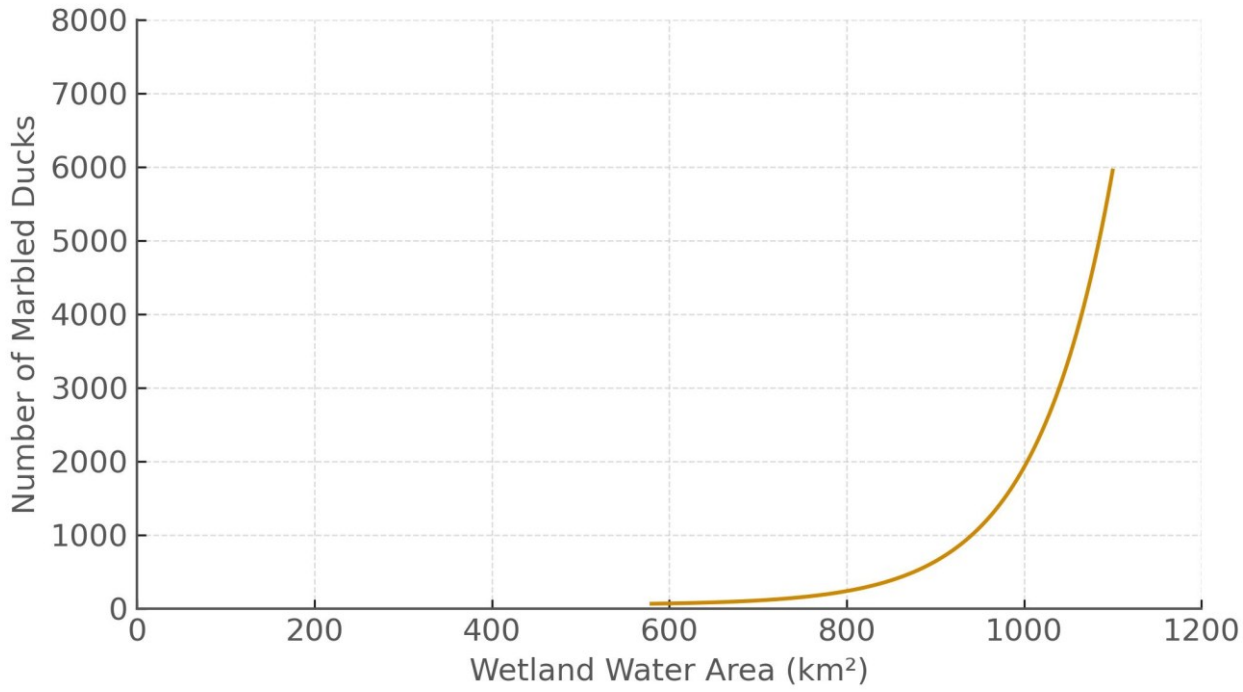

Figure 4. Graph of marbled duck abundance versus water area of Shadegan wetland (Sima, 2006)

در این پژوهش به منظور پایش تغییرات پوشش گیاهی تالاب، بررسی در سه سال مختلف از نظر رژیم اکولوژیکی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT استخراج‌شده از سامانه USGS[9] و کدنویسی در سامانه Google Earth Engine، شاخص NDVI به دست آمده و سپس از با استفاده از رابطه ۲ که Fatehi and Jalali (2000) پیشنهاد داده‌اند، جرم زیست‌توده[10] تالاب مورد محاسبه قرار گرفت.

$$\text{Biomass}\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right) = (22.68 \times \text{NDVI}) - 1.13 \quad (2)$$

۳. یافته‌ها

۳-۱. تعیین و محاسبه نیاز آبی تالاب شادگان در سه سطح

در این مرحله، نیاز زیست‌محیطی تالاب در سه سطح مختلف بررسی می‌شود. سطح نخست به تأمین حداقل آماری رژیم هیدرولوژیکی مربوط است و شرایطی را توصیف می‌کند که تنها کمترین میزان جریان برای بقای سامانه فراهم می‌شود. سطح دوم با تأکید بر الزامات پوشش گیاهی منطقه، حداقل رژیم هیدرولوژیکی موردنیاز برای پایداری جوامع گیاهی تالاب را در نظر می‌گیرد. در نهایت، سطح سوم علاوه بر نیاز پوشش گیاهی، به حضور گونه‌های حساس و ارزشمند مانند اردک مرمری نیز توجه دارد و بنابراین کامل‌ترین سطح نیاز زیست‌محیطی تالاب محسوب می‌شود.

در این پژوهش، تعیین نیاز آبی تالاب بر پایه رهیافت اکولوژیک انجام می‌گیرد. بازه زمانی انتخاب‌شده شامل سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ میلادی است. بر اساس تحلیل داده‌های بارندگی، تصاویر ماهواره‌ای و سایر شاخص‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی، سال ۲۰۰۲ به‌عنوان دوره‌ای با شرایط مطلوب شناسایی شد؛ دوره‌ای که تالاب در بهترین وضعیت هیدرولوژیکی خود قرار داشته و کارکردها و خدمات اکوسیستمی آن به‌طور کامل برقرار بوده است. این سال به‌عنوان نماینده سطح سوم انتخاب گردید. در مقابل، سال ۲۰۱۸ شرایطی متفاوت را نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که تنها حداقل نیاز زیست‌محیطی برآورده شده و سطح آب در پایین‌ترین مقدار خود قرار داشته است؛ در نتیجه خدمات و کارکردهای تالاب در این سال به حداقل رسیده و بیانگر سطح نخست است. سال ۲۰۱٤ نیز به‌عنوان وضعیتی میانه در نظر گرفته شد، زیرا سطح آب آن نه در حد سال مطلوب و نه در حد سال بحرانی بوده و شرایطی متوسط از منظر نیاز آبی و حجم آب تالاب را نشان می‌دهد؛ بنابراین نماینده سطح دوم قرار گرفت.

برای تحلیل دقیق‌تر، با استفاده از سامانه Google Earth Engine و کدنویسی در بخش Code Editor، پایش تغییرات سطح آب تالاب انجام شد. داده‌های ماهواره‌ای در این محیط پردازش و مساحت آب موجود در تالاب برای هر یک از سه سال منتخب، به‌صورت ماهانه و بر حسب کیلومتر مربع استخراج گردید. نتایج این پایش در جدول ۱ ارائه شده است.

Table 1. Monthly water area in the wetland (km^2)

Year	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
2002	1389	1282	814	786	723	642	85	91	48	56	81	506
2014	978	861	655	565	549	403	96	72	56	60	71	590
2018	487	501	472	405	356	235	89	66	62	77	79	634

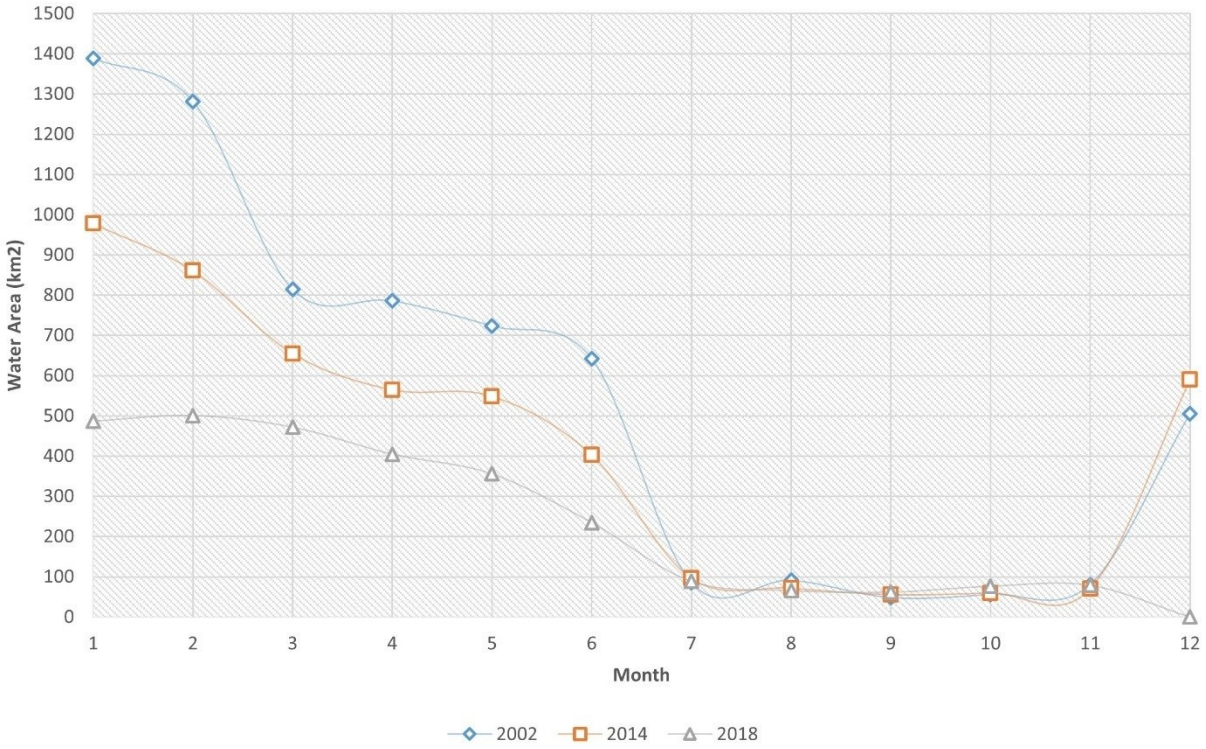

Figure 5. Shadegan wetland water area (km^2)

۲-۳. تحلیل نتایج پایش سطح آب

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، سطح آب تالاب در اواسط فصل پاییز روند افزایشی پیدا می‌کند و در ماه‌های سیلابی زمستان به بیشترین میزان خود می‌رسد. در فصل بهار نیز بارش‌ها و سیلاب‌های بهاری، وجود آب در تالاب را تضمین می‌کند. با شروع فصل تابستان و بالا رفتن دما و تبخیر سطحی، شاهد کاهش سطح آب بوده به طوری که در بعضی سال‌ها در فصل تابستان، شاهد خشک شدن کامل تالاب هستیم.

تصاویر ماهواره‌ای و همچنین منحنی‌های سطح –حجم آب نشان می‌دهد که حدوداً سطح آب ۱۰۰۰ کیلومترمربع و بیشتر از آن نشان‌گر حالت غرقاب کامل تالاب است و سطح کمتر از ۱۵۰ کیلومترمربع نشانگر حالت خشکی کامل است.

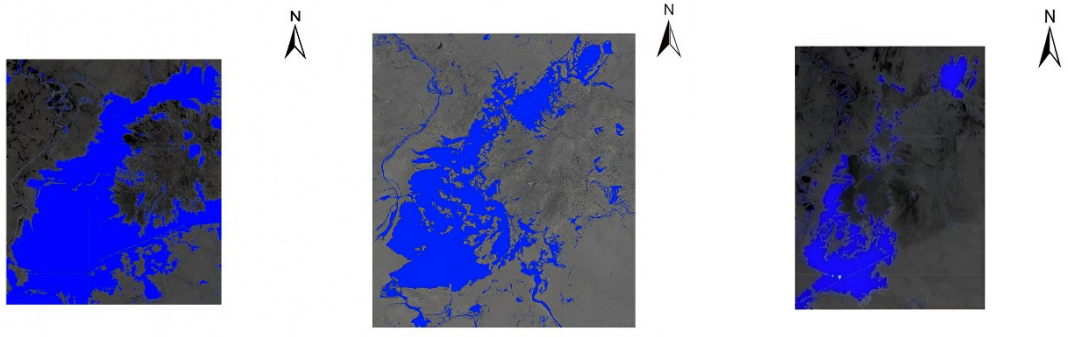

Figure 6. Map of the wetland water area (from left to right, February 2002, 2014 and 2018, respectively)

نتایج محاسبه میانگین سالانه سطح آب تالاب شادگان طی سال‌های مورد بررسی بیانگر روندی نزولی است. در دوره ۱۳۸۰–۱۳۸۱ میانگین سطح آب حدود ۵۴۲ کیلومتر مربع برآورد شده است، در حالی که این مقدار در سال‌های ۱۳۹۲–۱۳۹۳ به ۴۱۳ کیلومتر مربع

و در سال‌های ۱۳۹۶–۱۳۹۷ به ۲۸۹ کیلومتر مربع کاهش یافته است. این تغییرات نشان می‌دهد که میانگین سالانه سطح آب تالاب از ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ حدود ۲٤ درصد کاهش داشته و در فاصله ۱۳۹۲ تا ۱۳۹٦ نیز نزدیک به ۳۰ درصد دیگر افت کرده است. در مجموع، طی بازه‌ای حدود دو دهه سطح آبی تالاب نزدیک به ۵۰ درصد کاهش یافته و این امر بیانگر افت قابل توجه منابع آب و فشار مضاعف بر پایداری اکوسیستم تالاب است (جدول ۱).

بررسی تغییرات ماهانه نیز الگوی مشابهی را نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که بیشترین سطح آب در ماه‌های زمستان و اوایل بهار (ژانویه تا مارس) ثبت شده و با نزدیک شدن به فصل تابستان به‌تدریج کاهش یافته است. در سال ۲۰۰۲ میزان کاهش سطح آب طی فصول ملایم‌تر بوده و مقادیر بالاتری در بیشتر ماه‌ها مشاهده شده است؛ در حالی که در سال‌های ۲۰۱٤ و به‌ویژه ۲۰۱۸ افت سطح آب با شدت بیشتری رخ داده و از ماه ژوئن به بعد، تالاب به کمترین وسعت آبی خود می‌رسد (شکل ٤). این نتایج بیانگر آن است که علاوه بر کاهش کلی میانگین سالانه، الگوی فصلی نیز تغییر کرده و پایداری آبی تالاب در دوره‌های خشک سال به‌طور چشمگیری کاهش یافته است.

۱-۲-۳. محاسبه حجم آب تالاب

که در ادامه از رابطه ۱ برای محاسبه حجم آب تالاب استفاده شد (جدول ۲).

Table 2. Monthly wetland water volume values (MCM)

Water requirement level	Parameters	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Average annual water volume (MCM)
Level 1	Water area (km^2)	487	501	472	405	356	235	89	66	62	77	79	634	821
	Water volume (MCM)	129	135	122	94	75	37	7	4	3	5	5	206	
Level 2	Water area (km^2)	978	861	655	565	549	403	96	72	56	60	71	590	1652
	Water volume (MCM)	454	359	218	167	159	92	8	4	2	3	4	181	
Level 3	Water area (km^2)	1389	1282	814	786	723	642	85	91	48	56	81	506	2887
	Water volume (MCM)	874	752	324	304	261	211	6	7	2	2	6	138	

۳-۳. تحلیل نتایج پایش پوشش گیاهی

با بررسی تصاویر ماهواره‌ای landsat7 و landsat8 استخراج‌شده مربوط به تالاب و همچنین نقشه‌های NDVI حوضه موردمطالعه و مقادیر به‌دست‌آمده از سطح سبز (دارای پوشش گیاهی) منطقه توسط سامانه Google Earth Engine، می‌توان استنباط کرد که در فصول سیلابی که بیشترین میزان جریان آب در تالاب موجود است، مراحل آغازین رشد گیاه شروع می‌شود و در اواخر فصل بهار، شدت تابش نور خورشید بیشتر می‌شود ولی به حدی نیست که تالاب را در معرض خشکی قرار دهد. در این شرایط، پوشش گیاهی به بیشترین میزان خود در سال می‌رسد. در تابستان که میزان تبخیر بسیار بیشتر می‌شود، گیاه رو به خشکی می‌گراید و درنهایت در اواخر فصل پاییز، پوشش گیاهی به کمترین مقدار می‌رسد.

در جدول ۳، مقادیر ماهانه سطح سبز تالاب شادگان که توسط کدنویسی در سامانه Google Earth Engine به‌دست‌آمده بر حسب کیلومترمربع مشاهده می‌شود. همچنین به کمک رابطه ۲، درنهایت می‌توان جرم سبزینگی ماهانه تالاب و متوسط سالانه آن محاسبه شد.

Table 3. Vegetation area and biomass index of Shadegan wetland on a monthly basis

Year	Parameters	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual average vegetation area (km^2)	Annual average biomass (kg)
2002	Vegetation area (km^2)	527	539	613	551	498	292	347	431	496	416	488	613	484	10981
	Biomass (kg/km^2)	11951	12218	13895	12496	11291	6620	7864	9776	11242	9442	11069	13909		
2014	Vegetation area (km^2)	248	332	481	316	288	170	208	270	347	355	411	359	315	7153
	Biomass (kg/km^2)	5624	7529	10908	7166	6531	3854	4716	6122	7869	8050	9320	8141		
2018	Vegetation area (km^2)	200	265	388	265	120	91	102	135	281	287	358	102	216	4900
	Biomass (kg/km^2)	4533	6001	8799	6009	2720	2063	2321	3053	6362	6508	8120	2314		

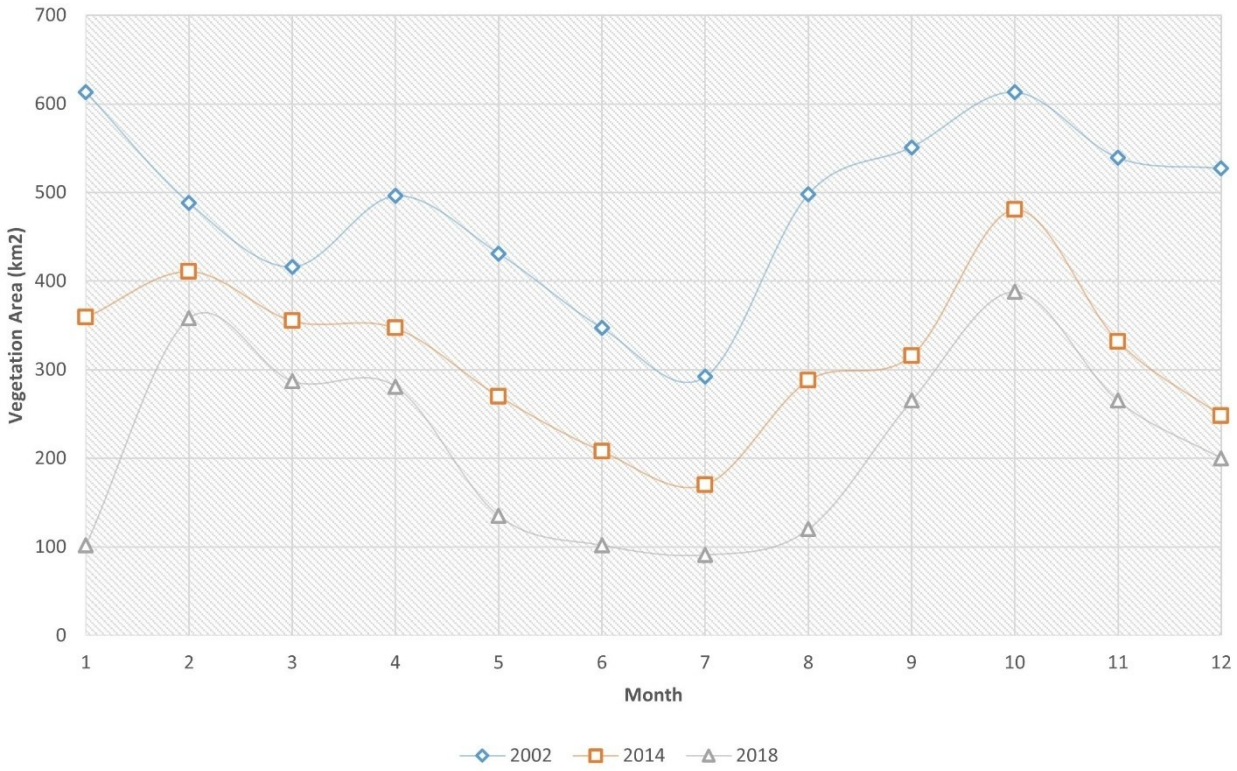

Figure 7. Vegetation area and biomass index of Shadegan wetland on a monthly basis

بررسی تغییرات شاخص NDVI تالاب شادگان در سه مقطع زمانی ۲۰۰۲، ۲۰۱٤ و ۲۰۱۸ (شکل ۵) نشان می‌دهد که پوشش سبز تالاب طی دو دهه گذشته به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. در سال ۲۰۰۲ سطح سبز تالاب بیشترین مقادیر را ثبت کرده و چرخه فصلی گیاهان الگوی پایدار و گسترده‌ای را نشان می‌دهد. این وضعیت حاکی از تأمین مناسب جریان ورودی آب و شرایط مطلوب برای رشد گیاهان آب‌دوست است.

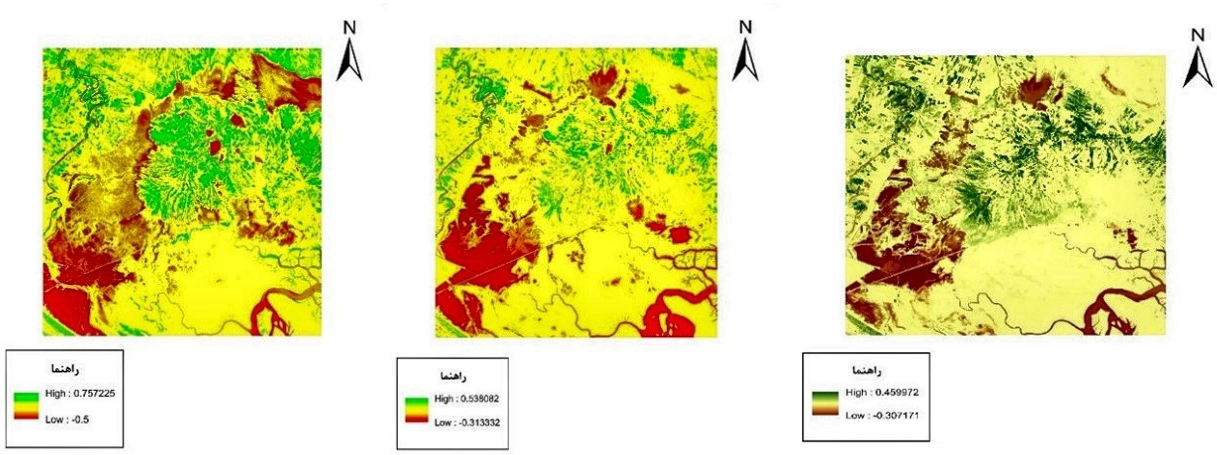

Figure 8. NDVI map of the wetland (from left to right, February 2002, 2014 and 2018, respectively)

در سال ۲۰۱٤ مقدار NDVI نسبت به ۲۰۰۲ افت قابل توجهی داشته و بیانگر کاهش سطح پوشش گیاهی است. این کاهش همزمان با افت سطح آب تالاب بوده و ارتباط مستقیم میان کمبود آب و زوال پوشش سبز را آشکار می‌سازد. در سال ۲۰۱۸ شرایط بحرانی‌تر شده و شاخص NDVI به پایین‌ترین حد خود می‌رسد، به‌طوری‌که چرخه فصلی سبزینگی به‌شدت تضعیف شده و بخش عمده‌ای از خدمات اکولوژیکی وابسته به گیاهان از بین رفته است. روند مشاهده‌شده نشان می‌دهد که پایداری اکولوژیکی تالاب نه‌تنها در مقیاس سالانه، بلکه در مقیاس ماهانه نیز با تهدید جدی مواجه است و تأمین جریان حداقلی آب ورودی برای جلوگیری از نابودی کامل پوشش گیاهی ضرورت دارد.

٤. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تالاب شادگان سامانه‌ای به‌شدت وابسته به شرایط هیدرولوژیکی و الگوی تأمین جریان ورودی است. برآورد نیاز آبی سالانه تالاب در بازه ۵۰۹ تا ۱۷۸۹ میلیون مترمکعب نشان می‌دهد که هرگونه کاهش در تخصیص آب می‌تواند به اختلال جدی در پایداری اکولوژیکی آن منجر شود. تحلیل اقتصادی نیز با برآورد ارزشی بین ۱۷٤۱ تا ۲٥٦۸ میلیارد تومان برای این حجم آب، اهمیت نقش جریان ورودی را نه‌تنها از دیدگاه محیط‌زیستی، بلکه از منظر اقتصادی و اجتماعی آشکار می‌سازد. پایش شاخص NDVI در دوره‌های مختلف بیانگر آن است که پویایی پوشش گیاهی تالاب مستقیماً تحت تأثیر میزان ورودی آب قرار دارد؛ به‌گونه‌ای که دوره‌های پرآب با افزایش زیست‌توده و بهبود وضعیت سبزینگی همراه بوده و دوره‌های کم‌آبی کاهش قابل توجه پوشش گیاهی را به دنبال داشته است. مقایسه شرایط سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۸ نیز نشان داد که کاهش بلندمدت جریان ورودی موجب افت خدمات بوم‌شناختی، خشکیدگی بخش‌هایی از تالاب و تضعیف زیستگاه‌های حساس شده است. به‌طور کلی، یافته‌ها تأکید می‌کنند که حفاظت پایدار تالاب شادگان نیازمند مدیریت تطبیقی منابع آب، تضمین جریان زیست‌محیطی و بازنگری در الگوی تخصیص آب در سطح حوضه است. بدون تأمین حداقل جریان ورودی، روند زوال پوشش گیاهی، کاهش تنوع زیستی و افت خدمات اکوسیستمی تالاب در سال‌های آینده تشدید خواهد شد. بنابراین، اتخاذ تصمیمات مدیریتی مبتنی‌بر داده‌های هیدرولوژیکی و سنجش‌ازدور، شرط اساسی برای تضمین پایداری بلندمدت این تالاب ارزشمند است.

٥. پی‌نوشت‌ها

1. Environmental flow
2. Google earth engine
3. Normalized difference water index
4. Normalized difference vegetation index

5. Operational land imager
6. Digital elevation model
7. Million cubic meters
8. Cubic kilometer
9. United states geological survey
10. Biomass

٦. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

Acreman, M., & Holden, J. (2013). How wetlands affect floods. *Wetlands*, *33*(5), 773–786.

Arthington, A. H., Kennen, J. G., Stein, E. D., & Webb, J. A. (2018). Recent advances in environmental flows science and water management—Innovation in the Anthropocene. *Freshwater Biology*, *63*(8), 1022–1034.

Ashok, A., Rani, H. P., & Jayakumar, K. V. (2021). Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based landsat imagery. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *23*, 100547.

Barchiesi, S., Camacho, A., Hernández, E., Guelmami, A., Monti, F., Satta, A., Jordán, O., & Angelini, C. (2022). Securing the environmental water requirements of seasonally ponding wetlands: partnering science and management through benefit sharing. *Wetlands*, *42*(5), 46.

Bunn, S. E., & Arthington, A. H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, *30*(4), 492–507.

Changizi, M., Savari, A., Dashti, S., Orak, N., & Organi, F. K. (2024). An approach to ecosystem-based wetland management (EBWM): the case of the Shadegan wetland, Iran. *Wetlands Ecology and Management*, *32*(6), 857–885.

Convention on Wetlands (Ramsar). (2025). *Global Wetland Outlook*.

Dargahian, F., Heydarnejad, S., & Nateghi, S. (2022). Investigating the effective factors on water area changes in Shadegan Wetland using remote sensing technique and factor analysis. *Advanced Environmental Sciences*, *20*(1), 237–250.

Davidson, N. C., Van Dam, A. A., Finlayson, C. M., & McInnes, R. J. (2019). Worth of wetlands: revised global monetary values of coastal and inland wetland ecosystem services. *Marine and Freshwater Research*, *70*(8), 1189–1194.

Eivazy, I. (2023). *Determination of Functions and Services, Economic and Environmental Valuation of Wetland*. Master Thesis, Shahid Beheshti University, Iran. (In Persian)

Fatehi, A., & Jalali, N. (2000). Effects of polluted rainfall related to burning Kuwaiti oil wells on vegetation in south of Iran. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, *33*(B7/1; PART 7), 427–432.

Fluet-Chouinard, E., Stocker, B. D., Zhang, Z., Malhotra, A., Melton, J. R., Poulter, B., Kaplan, J. O., Goldewijk, K. K., Siebert, S., & Minayeva, T. (2023). Extensive global wetland loss over the past three centuries. *Nature*, *614*(7947), 281–286.

Hawke, D. D. (2020). The United Bird Societies of South Australia Inc. *Avicultural Federation of Australia Incorporated*.

Khosravi Yeganeh, S., & Ghaffari Moghadam, A. (2025). Estimating changes in water level and vegetaion cover in Shadegan wetland using remote sensing. *Applied Researches in Water Engineering*, 2(2), 183-198. (In Persian).

Kulik, M., Urban, D., Grzywaczewski, G., Bochniak, A., Grzywna, A., & Sender, J. (2024). Half a century of wetland degradation: the present state and trends of changes in Western Polesie-Long-term wetland degradation. *Global Ecology and Conservation*, *56*, e03324.

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, *17*(7), 1425–1432.

Meng, H., Zhong, X., Wu, Y., Peng, X., Li, Z., & Wang, Z. (2025). Estimation of Ecological Water Requirement and Water Replenishment Regulation of the Momoge Wetland. *Water*, *17*(1), 114.

Mohammadi, Z., Rahimi, D., Najafi, M. R., & Zakerinejad, R. (2024). The impact of environmental degradation and climate change on dust in Khuzestan province, Iran. *Natural Hazards*, *120*(5), 4329–4348.

Noori, R., Maghrebi, M., Jessen, S., Bateni, S. M., Heggy, E., Javadi, S., Noury, M., Pistre, S., Abolfathi, S., & AghaKouchak, A. (2023). Decline in Iran's groundwater recharge. *Nature Communications*, *14*(1), 6674.

Poff, N. L. (2018). Beyond the natural flow regime? Broadening the hydro-ecological foundation to meet environmental flows challenges in a non-stationary world. *Freshwater Biology*, *63*(8), 1011–1021.

Qi, P., Tang, X., Xu, Y. J., Cui, Z., Sun, J., Zhang, G., Wu, Y., & Jiang, M. (2023). Optimizing environmental flow based on a new optimization model in balancing objectives among river ecology, water supply and power generation in a high-latitude river. *Journal of Environmental Management*, *342*, 118261.

Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*.

Seyed Mousavi, S. M., & Akhoondzadeh, M. (2023). A quick seasonal detection and assessment of international shadegan wetland water body extent using google earth engine cloud platform. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *10*, 699–706.

Sima, S. (2006). *Dam Operation for Environmental Release (Case Study: Marun Dam & Shadegan Marshes)*. Master Thesis, Sharif University of Technology, Iran. (In Persian)

Yousefi Kebriya, A., Nadi, M., Ghanbari Parmehr, E., & Sun, Zjij. (2025). Assessment of some environmental stresses in the Shadegan wetland: Analysis of satellite data, water quality indicators, and dust storm pathways. *Iranica Journal of Energy & Environment*, *16*(2), 372–388.

Zhao, F., Li, C., Shang, W., Zheng, X., Wang, X., Liu, Q., & Bu, J. (2022). Ecological water requirement accounting of the main stream of the Yellow River from the perspective of habitat conservation. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *10*, 907162.

Estimation of the water requirements of the Shadgan Wetland using satellite-based vegetation monitoring and hydroecological analysis

Mohammad Mahdi Beiki Sarveolya[1]

Ali Moridi[2*]

1. Department of Water Engineering, Wastewater and Environment, Faculty of Civil Engineering, Water and Environment, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: m_beikisarveolya@sbu.ac.ir

2. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Engineering, Wastewater and Environment, Faculty of Civil Engineering, Water and Environment, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Email: a_moridi@sbu.ac.ir

Abstract

The background and objective of this study relate to the significant hydrological and ecological role of Shadegan Wetland in maintaining the natural functions of the Persian Gulf. The wetland hosts a wide variety of aquatic plants and animals and is recognized as the most important breeding site of the marbled duck in the world. The aim of this research is to identify an appropriate balance in water allocation to the wetland for the conservation of its ecological functions, as well as to upstream agricultural lands to improve agricultural productivity. Accordingly, the main objective is to determine and calculate the water requirement of Shadegan Wetland based on vegetation monitoring variables. The methods employed include the use of the Google Earth Engine platform and Landsat 7 and 8 satellite imagery. With these tools, NDVI and NDWI indices for the study area were calculated. The results showed that the annual water requirement of Shadegan Wetland was estimated at three levels, 821, 1652, and 2887 million cubic meters per year. In addition to receiving water from the Jarahi River, the wetland also obtains part of its water from the Ramhormoz River, which accounts for 62 percent of the total supply. Therefore, the three levels of water requirement were adjusted to 509, 1024, and 1789 million cubic meters per year, respectively. These correspond to an economic value of 1741, 2273, and 2568 billion Tomans at levels one, two, and three, respectively. Vegetation monitoring further revealed that the average annual green surface area of the study region decreased from 484 km² in 2002 to 216 km² in 2018.

Keywords: Flow Regime, Surface Moisture, Spectral Indices, Remote Sensing