



Effects of hydrological fluctuations and drought on the diversity of migratory birds in the Gandoman Wetland

Marziyeh Ghaffari Farsani¹ | Mansoureh Malekian²

1. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: marziyehqafarii@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: mmalekian@iut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 02 September 2025

Received in revised form 18

December 2025

Accepted 28 December 2025

Keywords:

Diversity indices,

Drought,

Gandoman wetland,

Migratory birds,

NDWI,

SPI index.

ABSTRACT

The Gandoman Wetland, one of Iran's vital habitats, serves as an important stopover and habitat for migratory birds. This study aimed to analyze the effects of hydrological fluctuations and drought on the diversity and abundance of migratory birds from 2011 to 2023. The standardized precipitation index (SPI), mean annual temperature, and surface water cover index (NDWI) were extracted using Landsat satellite images and analyzed with the nonparametric Mann-Kendall test and Pearson correlation analysis. Field bird census data were collected between 2011 and 2023. The results showed a significant decreasing trend in NDWI ($Z = -2.68$, Sen's slope = -5.83) of the wetland surface, simultaneously with increasing temperature and decreasing rainfall, which led to a significant decline in species diversity (Shannon and Simpson indices) and bird evenness (Camargo and Simpson indices). The positive correlation of NDWI with SPI ($r = 0.48$) and annual rainfall ($r = 0.50$), along with a negative correlation with temperature ($r = -0.58$), indicates the high sensitivity of the wetland to climate change. The decrease in bird populations evenness during dry years confirms the dominance of certain species and suggests a shift in species composition. Overall, the results indicate that the Gandoman Wetland has experienced a significant decrease in NDWI and an increase in temperature, resulting in a decline in bird diversity and evenness. Given the wetland's critical role in the bird migration cycle, targeted and strategic conservation measures are essential. Such efforts should integrate remote sensing data, climate parameters, and field observations to ensure effective management.

Cite this article: Ghaffari Farsani, M., & Malekian, M. (2025). Effects of hydrological fluctuations and drought on the diversity of migratory birds in the Gandoman Wetland. *Journal of Natural Environment*, 78 (4), 649-661.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.401385.2837>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

تأثیر نوسانات هیدرولوژیک و خشکسالی بر تنوع پرندگان مهاجر تالاب گندمان

مرضیه غفاری فارسانی^۱ | منصوره ملکیان^۲✉

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: marziyehqafari@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: mmalekian@iut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۷	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷	
کلیدواژه‌ها:	
تالاب گندمان،	
پرندگان مهاجر،	
شاخص‌های تنوع،	
خشکسالی، شاخص SPI	
شاخص پوشش آب سطحی.	تالاب گندمان، یکی از اکوسیستم‌های حساس و کلیدی در ایران است که نقش مهمی در تأمین زیستگاه و چرخه مهاجرت پرندگان مهاجر دارد. هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر نوسانات سطح آب تالاب و خشکسالی بر فراوانی و تنوع پرندگان مهاجر در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ است. شامل شاخص استاندارد شده بارش (SPI)، میانگین دمای سالانه و شاخص پوشش آب سطحی (NDWI) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat استخراج و با بهره‌گیری از آزمون ناپارامتری من-کندال و تحلیل همبستگی پیرسون تحلیل شد. داده‌های حاصل از سرشماری‌های میدانی پرندگان در بازه زمانی مورد مطالعه به دست آمد. نتایج نشان‌دهنده کاهش معنی‌دار سطح تالاب ($Z = -2/68$ و $-5/83$ Sen's slope= همزمان با افزایش دما و کاهش بارندگی بود که منجر به کاهش محسوس تنوع گونه‌ای (نمایه‌های شانون و سیمپسون) و یکنواختی پرندگان (کامارگو و سیمپسون) گردید. همبستگی مثبت تنوع با شاخص پوشش آب ($r = 0/68$)، خشکسالی ($r = 0/52$)، بارندگی سالانه ($r = 0/50$) و همبستگی معکوس آن با دما ($r = -0/38$) نشان‌دهنده حساسیت بالای تالاب به تغییرات اقلیمی است. کاهش یکنواختی جمعیت پرندگان در سال‌های خشک، به معنای غالب بودن برخی گونه‌ها و تغییر ترکیب گونه‌ای تالاب است. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که تالاب گندمان با کاهش سطح آبی و افزایش دما مواجه بوده که این تغییرات با کاهش تنوع و یکنواختی پرندگان همراه است. اهمیت این تالاب در چرخه مهاجرت پرندگان ایجاب می‌کند که اقدامات حفاظتی هدفمند و برنامه‌ریزی شده با تلفیق داده‌های سنجش از دور، پارامترهای اقلیمی و مشاهدات میدانی انجام شود.

استناد: غفاری فارسانی، مرضیه؛ و ملکیان، منصوره (۱۴۰۴). تأثیر نوسانات هیدرولوژیک و خشکسالی بر تنوع پرندگان مهاجر تالاب گندمان. محیط زیست طبیعی، ۷۸ (۴)، ۶۶۱-۶۴۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.401385.2837>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

تالاب‌ها به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین و ارزشمندترین اکوسیستم‌های طبیعی، با وجود آنکه تنها شش درصد از سطح زمین را به خود اختصاص داده‌اند، سهمی بالغ بر ۴۰ درصد از خدمات اکوسیستمی جهان را ارائه می‌دهند (Bhowmik, 2022). این زیست‌بوم‌ها نقش بی‌بدیلی در حفظ تعادل اکولوژیک، تصفیه طبیعی آب، ذخیره کربن، تعدیل سیلاب‌ها و پشتیبانی از تنوع زیستی ایفا می‌کنند. علاوه بر آن، تالاب‌ها ایستگاه‌های حیاتی در مسیر مهاجرت پرندگان هستند و پناهگاهی برای گونه‌های در معرض خطر محسوب می‌شوند. اما روندهای نگران‌کننده‌ای نظیر تغییرات اقلیمی، توسعه‌های زیرساختی و بهره‌برداری‌های بی‌رویه، بقای این زیستگاه‌های حساس را با تهدیدات فزاینده مواجه کرده‌اند (Moomaw et al., 2018).

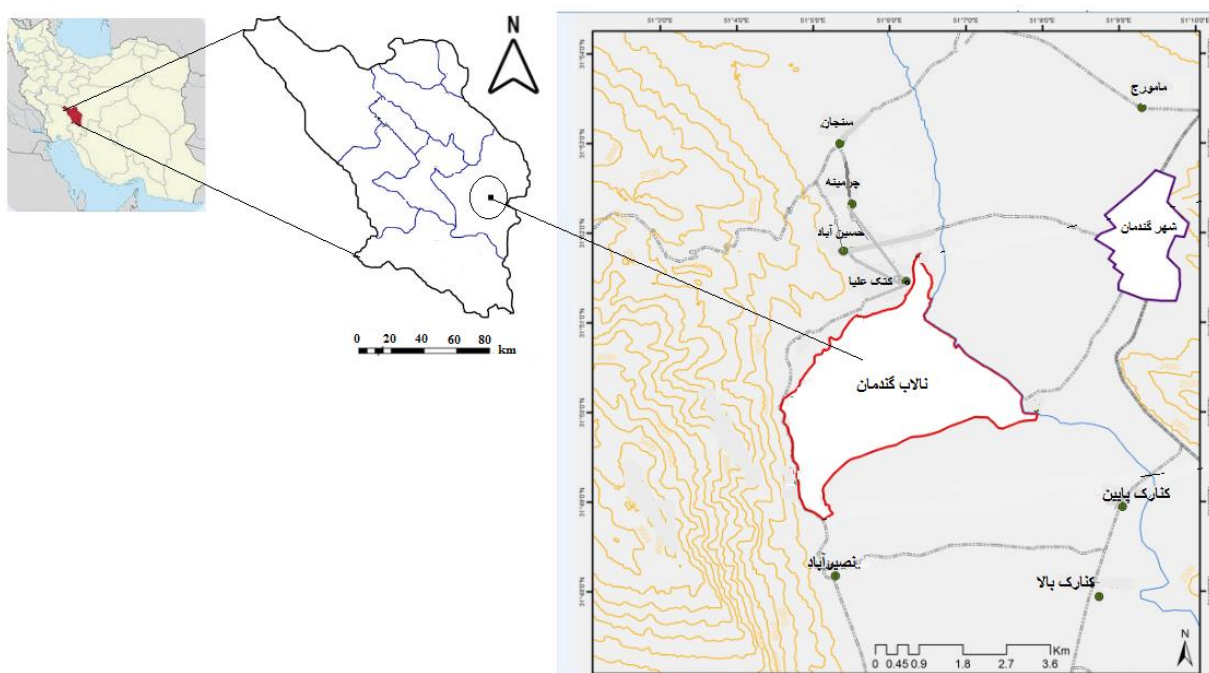
در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نظیر ایران، که بارندگی محدود و منابع آبی ناپایدار است، ضرورت پایش دقیق سالانه و فصلی سطح آب تالاب‌ها به‌عنوان بخشی کلیدی از برنامه‌ریزی‌های حفاظتی مطرح می‌شوند (Gxokwe et al., 2020). تغییر وسعت تالاب یکی از عوامل کلیدی در حفظ موجودیت یک تالاب است. تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، به‌ویژه با بهره‌گیری از Google Earth Engine، ابزاری کارآمد برای ارزیابی تغییرات سطح آب و پوشش گیاهی تالاب‌ها به‌شمار می‌آیند و نقش به‌سزایی در مدیریت این زیستگاه‌ها دارند (Pekel et al., 2016). با تفسیر این اطلاعات می‌توان شناخت جامعی از تغییراتی که یک تالاب در طول سال‌های گذشته متحمل شده و همچنین تغییراتی که ممکن است در سال‌های آینده با آن مواجه شود، به‌دست آورد. در مطالعات متعدد به بررسی وسعت و تغییرات سطح تالاب‌ها، در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، پرداخته شده است به‌عنوان مثال در ایران، آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و وسعت تالاب میانگران خوزستان نشان‌دهنده خشک شدن و کاهش سطح تالاب در سال‌های مختلف بوده است (Salarpour et al., 2021). در مجموعه تالاب‌های هورالعظیم نیز توسعه اراضی کشاورزی به‌عنوان مهمترین تغییر در اراضی تالاب شناخته شد که به از بین رفتن اراضی تالابی منجر شده است (Halabian and Shabankari, 2016). استفاده از داده‌های سنجش از دور برای بررسی تغییرات تالاب انزلی نیز نشان داد که وسعت این تالاب به‌واسطه عوامل طبیعی و انسانی به‌سرعت در حال کاهش است (Abdoli and Panahandeh, 2020). در سایر نواحی ایران نیز مطالعات مشابه نشان داده است که کاهش بارش، ضعف مدیریت منابع آب و تغییر کاربری اراضی باعث از بین رفتن بخش‌های زیادی از گستره تالاب‌های ایران شده است (Ansari and Golabi, 2019; Malekian et al., 2022). از تصاویر ماهواره لندست (۱۹۷۳ تا ۲۰۱۳) برای آشکارسازی تغییرات رخ داده در محدوده تالاب بختگان استفاده شد که نشان داد این تالاب در سال‌های اخیر ۴۲ درصد از وسعت خود را از دست داده است (Arsanjani et al., 2015). مطالعات نشان داده است که نوسانات سطح آب یک تالاب منجر به تخریب خاک و کاهش کربن آلی ذخیره‌شده در خاک می‌شود که این امر بر کیفیت زیستگاه‌های آبی و استفاده پرندگان مهاجر از تالاب تأثیرگذار است (Sun et al., 2024).

بررسی فراوانی و تنوع گونه‌ای پرندگان در یک تالاب و پایش روند تغییرات آن، از جمله شاخص‌های مهم دیگری است که به طرح‌ریزی مدیریت تالاب‌ها کمک می‌کند (Goudarzian and Erfanifard, 2017). مشاهده سالانه پرندگان در یک تالاب و برآورد جمعیت آنها، معیاری غیرمستقیم از کیفیت آن اکوسیستم است (Stenzel and Shuford, 2020). بنابراین، تغییر شرایط یک تالاب، نظیر کاهش وسعت پهنه آبی بر فراوانی و تنوع پرندگان تأثیرگذار است. مطالعات نشان داده است که با کاهش سطح آب یک تالاب، فراوانی و تنوع پرندگان نیز روند کاهشی خواهد داشت (Xu et al., 2022). بررسی همبستگی بین فراوانی و تنوع پرندگان یک تالاب با مشخصه‌های تالاب نشان داده است که تغییر کاربری تالاب به‌دلیل توسعه زمین‌های کشاورزی و شهری و خشکسالی، باعث تغییر ویژگی‌های طبیعی در بسیاری از تالاب‌های ایران از جمله تالاب بین‌المللی انزلی (Nazari et al., 2022)، تالاب‌های استان خوزستان (Malekian et al., 2022) و استان فارس (Hosseini-Tayefeh et al., 2021) شده که با کاهش تعداد و تنوع گونه‌های پرندگان آبی و کناره‌آبی همراه بوده است. استفاده از شاخص‌هایی نظیر NDWI، SPI و تحلیل سری زمانی در تالاب‌های چین نشان داد که تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر روند تغییر و تخریب این تالاب‌ها مؤثر بوده که منجر از بین رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری تالاب و تغییر در ترکیب گونه‌ای تالاب شده است (Zhou, 2020). تغییرات اقلیمی مانند کاهش سطح آب‌های زیرزمینی، خشکسالی‌های متوالی و افزایش دمای منطقه‌ای، الگوهای زیستی گونه‌ها را دستخوش تغییر کرده‌اند (Mao et al., 2019).

از بین رفتن تالاب‌های ایران در قرن گذشته، به دلایل مختلف از جمله سدسازی، گسترش کشاورزی، شهرنشینی و تغییرات اقلیمی رخ داده است (Van Roomen *et al.*, 2008). اگر چه تنوع گونه‌ای پرندگان آبی و کنارآبی تالاب‌های ایران در مطالعات متعدد مورد بررسی قرار گرفته است، بررسی تغییرات تالاب‌ها و تأثیر مشخصه‌های یک تالاب بر تنوع و فراوانی پرندگان کمتر مطالعه شده است. به عنوان مثال، بررسی تنوع گونه‌ای پرندگان تالاب گندمان در دوره یک ساله نشان داد که ۷۰ گونه پرنده شامل ۲۸ گونه آبی و ۴۲ گونه کنارآبی در این تالاب حضور دارند (Asgari *et al.*, 2021). پایش تغییرات تالاب گندمان در بازه زمانی طولانی‌تر و بررسی رابطه مشخصه‌های تالاب نظیر سطح آب تالاب، دما و بارش بر فراوانی و تنوع پرندگان این منطقه، تاکنون مطالعه نشده است. این تالاب که یکی از تالاب‌های مهم و با ارزش در استان چهارمحال و بختیاری است، نقش مهمی در جوجه‌آوری و زمستان‌گذرانی پرندگان داشته و به عنوان مکانی برای پرندنگری و جذب گردشگران و علاقه‌مندان به طبیعت شناخته می‌شود. در این مطالعه تغییرات فراوانی و تنوع گونه‌های پرنده تالاب گندمان در بازه ۱۲ ساله (۱۳۹۰-۱۴۰۲) بررسی شده است. علاوه بر این، تغییرات سالانه سطح آب و شاخص خشکسالی و همبستگی آنها با فراوانی و تنوع جامعه پرندگان تحلیل شده است که تصویری روشن از وضعیت اکولوژیک این تالاب ارائه می‌دهد و بر ضرورت توجه به مدیریت علمی و حفاظت هدفمند این تالاب تأکید می‌کند.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه: تالاب گندمان در استان چهارمحال و بختیاری و در دامنه شرقی ارتفاعات کلار واقع شده است. این تالاب در فاصله سه کیلومتری جنوب غربی شهر گندمان و ۱۸ کیلومتری جنوب شهر بروجن قرار دارد (شکل ۱). این پهنه آبی با وسعتی معادل ۹۸۰ هکتار و متوسط ارتفاع ۲۲۱۶ متر از سطح دریا، در دسته تالاب‌های دریاچه‌ای فصلی با آب شیرین قرار دارد (Saeedi and Sadeghi, 2023). تالاب گندمان، به عنوان یک تالاب کوهستانی، نقشی حیاتی در تأمین منابع آب منطقه دارد. این منطقه از تالاب‌های بالادست نظیر چغاخور، سولقان و علی‌آباد، همچنین از رواناب‌ها و چشمه‌های ارتفاعات اطراف مانند کلار و چپرو تغذیه می‌شود. کاهش ورودی آب از چغاخور پس از احداث سد، بر سطح آب تالاب تأثیرگذار بوده است (Iranmanesh *et al.*, 2017). خروجی آب تالاب از طریق رودخانه بیژگرد صورت می‌گیرد و با بند خاکی کنترل می‌شود. علاوه بر این، تالاب نقش مهمی در تغذیه آبخوان‌های زیرزمینی ایفا کرده و برداشت‌های انسانی از منابع آبی اطراف می‌تواند بر پایداری آن اثرگذار باشد.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه، تالاب گندمان در ایران و استان چهارمحال و بختیاری

تالاب گندمان با دارا بودن ۱۲۹ گونه گیاهی متعلق به ۳۲ تیره و ۸۷ جنس، یکی از نواحی مهم گیاهی در کشور محسوب می‌شود. تیره‌های غالب شامل گندمیان با ۲۳ گونه، جگنیان با ۱۷ گونه و کاسنی‌ها با ۱۵ گونه هستند. گونه‌های شاخص این تالاب عبارتند از: مرغ (*Agropyron repens*)، جگن (*Carex sp.*)، لویی (*Typha latifolia*)، نی (*Phragmites australis*)، زنبق (*Iris sp.*)، هزارنی (*Butomus umbellatus*)، بارهنگ آبی (*Potamogeton nodosus*)، آلاله آبی (*Batrachium sp.*)، نخل مرداب (*Cyperus alternifolius*) و عدسک آبی (*Lemna sp.*). این گونه‌ها که دارای ویژگی‌های نم‌پسند و حاشیه‌دوست هستند، پوشش گیاهی متراکم و متنوعی را در اطراف تالاب شکل داده‌اند. این پوشش گیاهی نه تنها از نظر زیبایی‌شناختی اهمیت دارد، بلکه نقش مهمی را در تصفیه طبیعی آب، تثبیت رسوبات، کاهش اثرات سیلاب و فراهم‌سازی زیستگاه برای گونه‌های جانوری ایفا می‌کند (Iranmanesh et al., 2017).

داده‌های سرشماری پرندگان و برآورد شاخص‌های تنوع و غنای گونه‌ای: در این پژوهش، از داده‌های سرشماری پرندگان مهاجر تالاب گندمان استفاده شد که در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ توسط اداره کل حفاظت محیط‌زیست چهارمحال و بختیاری گردآوری شده، است. سرشماری سالانه پرندگان در ایران در اواسط فصل زمستان و براساس روش سرشماری بین‌المللی پرندگان آبزی (IWC^۱) انجام می‌شود (Wetlands International, 2010). در این روش، تمام سطح تالاب توسط تیم کارشناسان به صورت همزمان و هماهنگ مورد بررسی قرار می‌گیرد و تمامی پرندگان مشاهده‌شده در محدوده تالاب شمارش می‌شوند. اگرچه شمارش‌ها به صورت میدانی و با استفاده از تجهیزات اپتیکی دقیق نظیر تلسکوپ زواروفسکی ۶۰×۸۰ و دوربین‌های چشمی زواروفسکی ۱۰×۴۲ و زایس ۱۰×۴۰، از طلوع تا غروب خورشید انجام می‌شود، با توجه به تغییرات سالانه در ترکیب تیم‌های اجرایی و تجهیزات مورد استفاده و نیز تفاوت‌های احتمالی در واحد تلاش نمونه‌برداری، ممکن است ارزیابی‌های نسبی در داده‌ها وجود داشته باشد. با این حال، این مجموعه داده‌ها تنها منابع مستند موجود برای بازه زمانی مورد مطالعه بوده و استفاده از آنها برای تحلیل روندهای بلندمدت تالاب اجتناب‌ناپذیر است.

برای برآورد شاخص‌های تنوع پرندگان تالاب گندمان، از فراوانی سالانه گونه‌ها در دوره مطالعه استفاده شد و با بهره‌گیری از نرم‌افزار Ecological Methodology، شاخص‌های تنوع سیمپسون، شانون-وینر، و شاخص‌های یکنواختی سیمپسون و کامارگو محاسبه گردید (Roswell et al., 2021). شاخص شانون-وینر (H') براساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$H' = -\sum (p_i \times \ln(p_i)) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این معادله p_i : نسبت فراوانی هر گونه به کل فراوانی گونه‌ها است، میزان تنوع گونه‌ای را با در نظر گرفتن غنا و یکنواختی مشخص می‌کند. شاخص تنوع سیمپسون (D) با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود که مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است و برای تفسیر بهتر از مقدار $D-1$ استفاده می‌شود. شاخص یکنواختی سیمپسون و کامارگو نیز براساس رابطه‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌شود. در این معادله‌ها، S : تعداد کل گونه‌ها و p_i و p_j فراوانی نسبی گونه‌های i و j هستند.

$$D = \sum (p_i^2) \quad \text{رابطه ۲}$$

$$E = (1/D)/S \quad \text{رابطه ۳}$$

$$E = 1 - (\sum |p_i - p_j| / (S(S-1))) \quad \text{رابطه ۴}$$

برآورد سطح بیکره آبی: شاخص تفاضل نرمال شده آب ($NDWI^2$) یکی از شاخص‌های مهم برای و پایش منابع آبی و آب موجود در خاک و پوشش گیاهی است. در این مطالعه، برای بررسی وضعیت منابع آبی تالاب گندمان، داده‌های ماهواره‌ای از Google Earth Engine در بازه زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۳ دریافت و در محیط نرم‌افزار ArcGIS پردازش شد. تصاویر سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ از ماهواره لندست ۷ و تصاویر سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ از ماهواره لندست ۸ تهیه شد. انتخاب تصاویر بر اساس معیار درصد ابر کمتر از ۱۰ درصد انجام گرفت. برای سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲، به دلیل وجود دو تصویر با شرایط مناسب در ماه ژانویه، میانگین این دو تصویر به عنوان نماینده ماه استفاده شد. در سال ۲۰۲۳ نیز به دلیل پوشش ابر زیاد در تمام تصاویر ماه ژانویه، تصویر مربوط به تاریخ ۳۰ دسامبر ۲۰۲۲ به عنوان نماینده سال ۲۰۲۳ انتخاب گردید.

^۱International Waterbird Census

^۲Normalized Difference Water Index

در این مطالعه، شاخص NDWI براساس نسخه ارائه شده توسط Gao (۱۹۹۶) و با استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز کوتاه (SWIR) محاسبه شد. این نسخه از NDWI برای شناسایی و پایش آب‌های سطحی و منابع آبی تالاب‌ها مناسب است و حساسیت بالایی نسبت به تغییرات آب در پوشش گیاهی و زمین‌های مرطوب دارد. مقادیر مثبت NDWI نمایانگر وجود آب سطحی، رودخانه‌ها یا تالاب‌ها هستند، در حالی که مقادیر منفی یا نزدیک به صفر بیشتر به مناطق خشک اشاره دارند. این شاخص امکان پایش تغییرات منابع آبی در طول زمان، شناسایی مناطق مرطوب را فراهم می‌آورد. در نهایت برای تحلیل دقیق‌تر و ساده‌تر داده‌ها، شاخص NDWI در محیط نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از ابزار Reclassify طبقه‌بندی گردید. در این طبقه‌بندی، شاخص NDWI به چهار کلاس مختلف تقسیم شد: برف، آب سطحی کم عمق، آب عمیق و زمین بایر. هر یک از این کلاس‌ها نشان‌دهنده وضعیت خاصی از منابع آبی منطقه بودند. به‌طوری که کلاس آب سطحی کم عمق و آب عمیق، وضعیت منابع آبی را در تالاب مشخص کرده و کلاس برف و زمین بایر وضعیت مناطق غیرآبی را نشان می‌دهند.

داده‌های اقلیمی و تحلیل همبستگی: به منظور بررسی اثر خشکسالی بر جمعیت پرندگان مهاجر تالاب گندمان، شاخص استاندارد شده بارش (SPI^۳) محاسبه شد. برای این منظور، ابتدا داده‌های دما و بارش ایستگاه شهرستان بروجن از سازمان هواشناسی کشور، جمع‌آوری شد. شاخص بارش استاندارد شده با استفاده از رابطه ۵ و با به‌کارگیری پکیج SPI در نرم‌افزار R محاسبه شد. تحلیل‌ها براساس دوره زمانی ۱۲ ماهه انجام شد تا ارتباط میان تغییرات بارش و وضعیت خشکسالی با تغییرات جمعیت پرندگان مهاجر بررسی گردد.

$$\text{رابطه ۵ } \text{SPI} = (X - \bar{X}) / \sigma$$

در این معادله X: مقدار بارش در دوره مورد نظر، $\bar{X}$: میانگین بارش در همان دوره در طول بازه آماری و σ : انحراف معیار بارش در همان دوره است. مقادیر مثبت SPI: نشان‌دهنده شرایط ترسالی یا بارش بیشتر از حد نرمال، مقادیر منفی کوچک نشان‌دهنده خشکسالی خفیف، و مقادیر منفی بزرگتر نشان‌دهنده خشکسالی شدید هستند. علاوه بر محاسبه شاخص SPI، به منظور بررسی روابط آماری میان متغیرهای اقلیمی و شاخص‌های زیستی، از ضریب همبستگی پیرسون^۴ استفاده شد. در این تحلیل، ارتباط بین شاخص‌های NDWI، SPI، بارندگی، دما با شاخص‌های تنوع و یکنواختی پرندگان مهاجر بررسی شد. محاسبات در نرم‌افزار R انجام و سطح معنی‌داری آماری در $\alpha = 0.05$ در نظر گرفته شد. برای بررسی روندهای زمانی متغیرهای اقلیمی و بوم‌شناختی تالاب گندمان در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲، از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده شد. این آزمون به دلیل عدم وابستگی به توزیع نرمال داده‌ها و مقاومت در برابر داده‌های پرت، گزینه‌ای مناسب برای تحلیل سری‌های زمانی هیدرولوژیک و زیست‌محیطی محسوب می‌شود (Hamed, 2008). تحلیل‌ها در محیط نرم‌افزار R و در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد. شاخص‌های مورد بررسی شامل مجموع بارندگی سالانه، میانگین دمای سالانه، شاخص SPI، شاخص NDWI و شاخص‌های تنوع و یکنواختی پرندگان مهاجر بود.

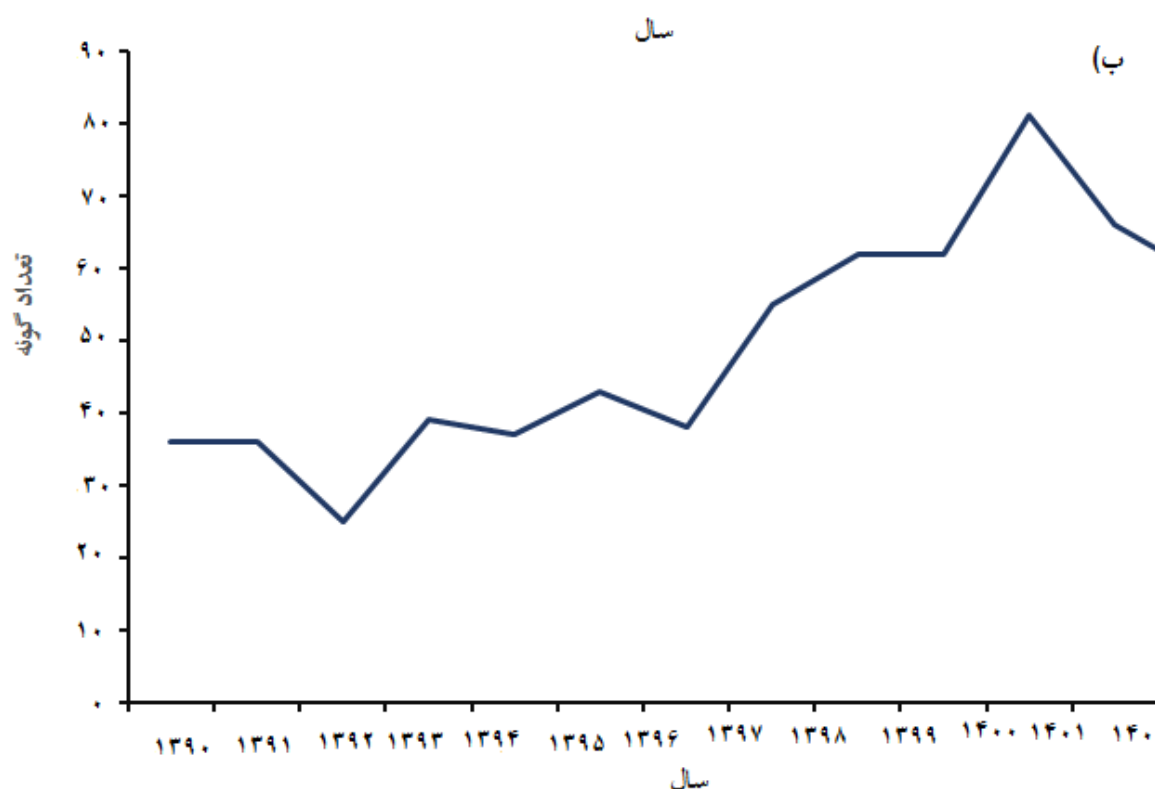
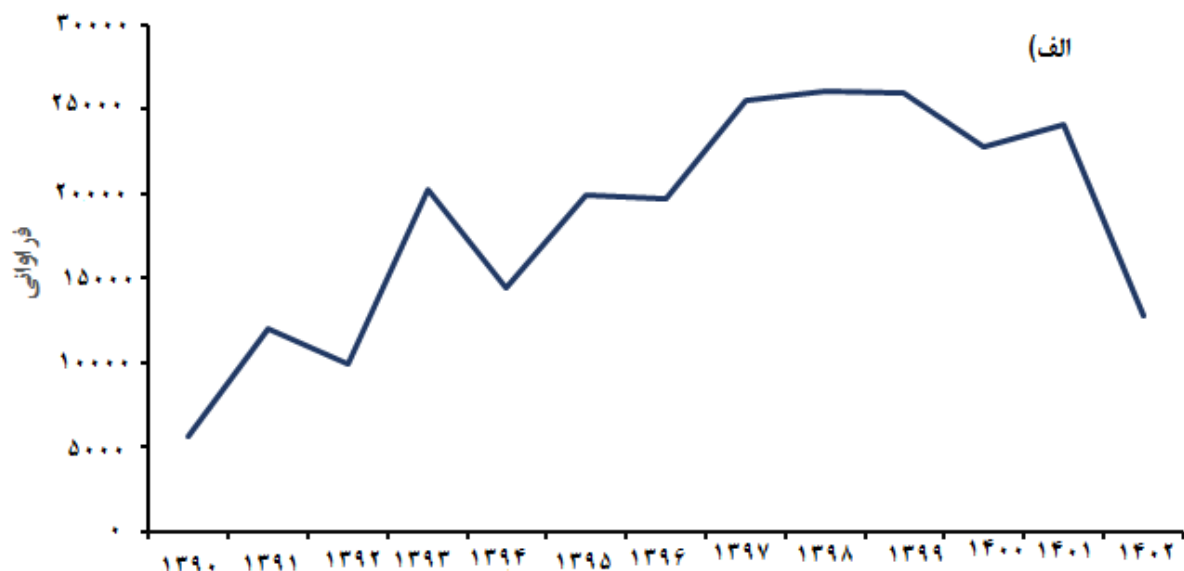
یافته‌های پژوهش و بحث

بررسی آمار پرندگان تالاب گندمان طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ نشان داد که بیشترین فراوانی پرندگان در سال ۱۳۹۷ و کمترین آن در سال ۱۳۹۹ مشاهده شد. در میان پرندگان مهاجر، کمترین تعداد در سال ۱۳۹۰ و بیشترین در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ به ثبت رسید. بیشترین جمعیت پرندگان مهاجر در سال ۱۳۹۹ با ۱۵۴۴۲ فرد و کمترین در سال ۱۳۹۰ با ۲۰۱۵ پرنده مشاهده شد. گونه‌های غالب شامل اردک سرسبز (*Anas platyrhynchos*)، خوتکا (*Anas crecca*)، اردک ارده‌ای (*Mareca strepera*)، گیلار (*Mareca penelope*)، اردک نوک‌پهن (*Anas clypeata*) و غاز خاکستری (*Anser anser*) بودند. در خصوص پرندگان کناره‌آبزی، سال ۱۳۹۹ بیشترین (۱۵۴۴۲ فرد) و سال ۱۳۹۰ کمترین فراوانی (۳۰۱۳ فرد) را داشته که چنگر

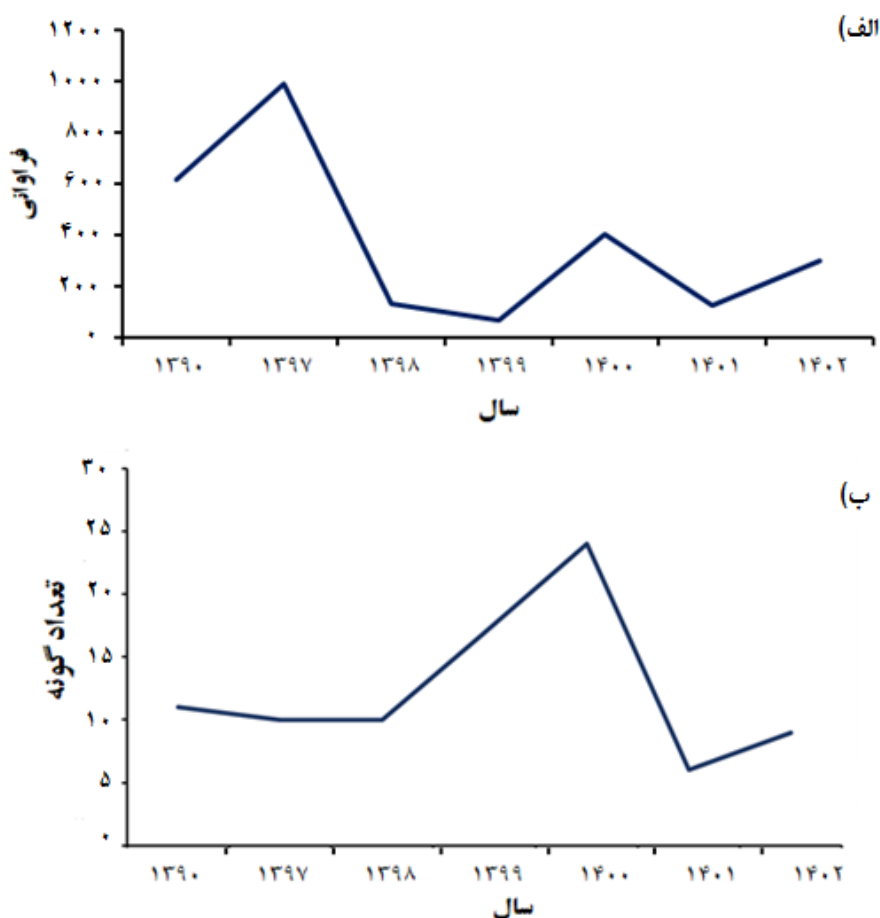
^۳Standardized Precipitation Index

^۴Pearson correlation coefficient

معمولی (*Fulica atra*) و خروس کولی معمولی (*Vanellus vanellus*) از گونه‌های اصلی آنها بودند (شکل ۲ الف). از نظر تنوع، بیشترین تعداد گونه‌های مهاجر زمستان‌گذران در سال ۱۴۰۱ ثبت شد (شکل ۲ ب). در مجموع، بیشترین تعداد کل گونه‌های ثبت‌شده در تالاب گندمان، ۸۱ گونه در سال ۱۴۰۰ و کمترین آن ۲۵ گونه در سال ۱۳۹۲ گزارش شد (شکل ۲ ب). گونه‌های وابسته به تالاب که اگر چه الزماً آبیزی نیستند، اما برای تغذیه، زادآوری یا پناه به زیستگاه‌های تالابی وابسته‌اند، در این میان، دم‌جنبانک ابلق (*Motacilla alba*) پرتعدادترین و بالابان (*Falco cherrug*) کم‌تعدادترین گونه‌ها بودند. تعداد گونه‌های وابسته به تالاب در سال ۱۴۰۰ به ۲۴ گونه رسیدند، اما در ۱۴۰۱ تنها ۶ گونه از آنها ثبت شد (شکل ۳ الف و ب).



شکل ۲- تغییرات سالانه فراوانی (الف) و تعداد گونه‌های پرندگان مهاجر مشاهده شده (ب) در تالاب گندمان طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲



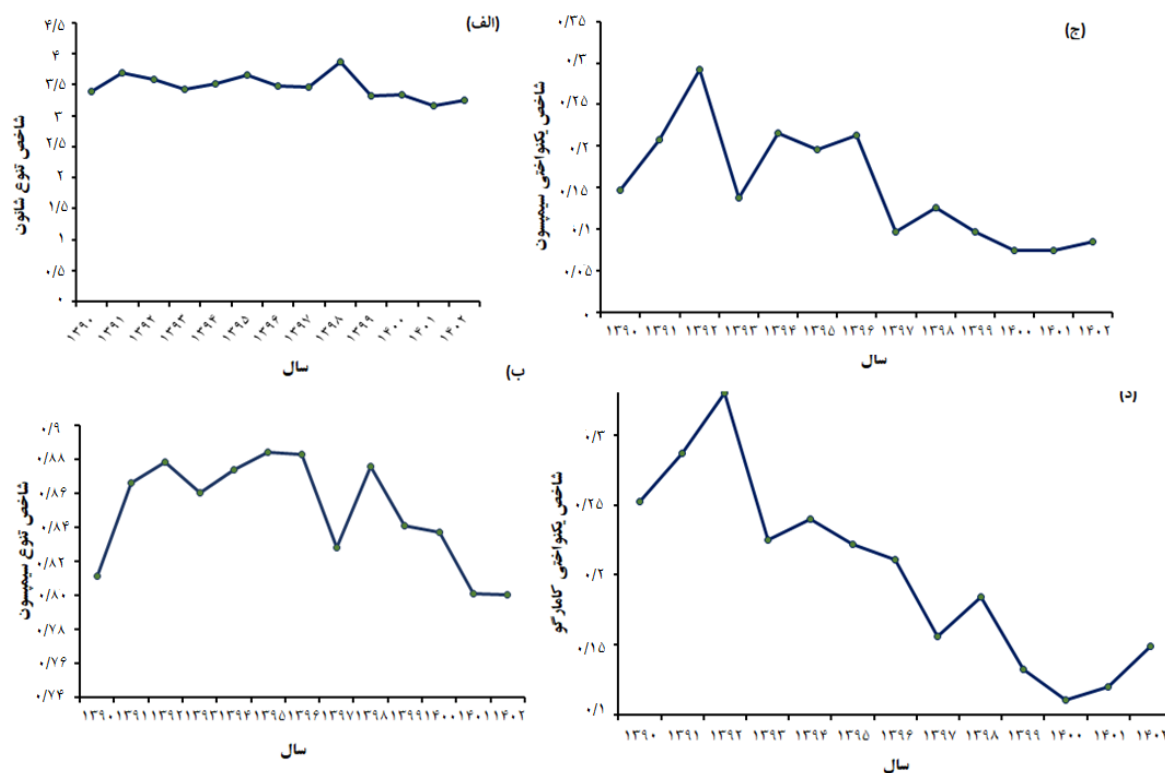
شکل ۳- تغییرات سالانه فراوانی (الف) و تعداد گونه‌های (ب) پرندگان وابسته به تالاب در تالاب گندمان (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲)

شاخص‌های تنوع و یکنواختی پرندگان تالاب گندمان در دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ محاسبه شد. تنوع شانون به‌عنوان معیار تنوع اکولوژیک شناخته می‌شود و میزان تنوع گونه‌ها را با در نظر گرفتن توزیع نسبی گونه‌ها اندازه‌گیری می‌کند. در سال ۱۳۹۸، این شاخص با مقدار $3/86$ به بیشترین مقدار خود رسید که نشان‌دهنده تنوع بالای گونه‌ها و توزیع یکنواخت‌تر آنها بود. اما در سال ۱۴۰۱، مقدار این شاخص به $3/46$ کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش تنوع گونه‌ها و افزایش احتمال تسلط گونه‌های خاص در اکوسیستم است (شکل ۴ الف). در سال ۱۳۹۵، شاخص سیمپسون با مقدار $0/88$ بیشترین غنای گونه‌ای را ثبت کرد، که نشان‌دهنده تنوع بالا و وجود تعداد زیادی از گونه‌ها در آن سال بود. در سال ۱۴۰۲، این شاخص به $0/8$ کاهش یافت که به معنای کاهش تنوع گونه‌ها و افزایش احتمال برتری برخی گونه‌ها نسبت به سایر گونه‌ها است (شکل ۴ ب).

شاخص یکنواختی سیمپسون نشان‌دهنده میزان یکنواختی توزیع گونه‌ها است. این شاخص در سال ۱۳۹۲ با مقدار $0/30$ بالاترین میزان یکنواختی را نشان داد و در سال ۱۳۹۱ به کمترین میزان خود با $0/20$ رسید (شکل ۴ ج). شاخص یکنواختی کامارگو، در سال ۱۴۰۰ با مقدار $0/11$ کمترین یکنواختی را نشان داد و در سال ۱۳۹۲، این شاخص به $0/33$ افزایش یافت (شکل ۴ د). این شاخص‌ها میزان یکنواختی در توزیع گونه‌ها را اندازه‌گیری می‌کند و مقادیر بالاتر آن نشان‌دهنده توزیع یکنواخت‌تر گونه‌ها در اکوسیستم است. مقادیر محاسبه شده در این پژوهش به معنای توزیع نامتوازن و غالب بودن برخی گونه‌ها در تالاب گندمان است (Asgari et al., 2022). در مجموع، تغییرات در این شاخص‌ها نشان‌دهنده نوسانات در تنوع و یکنواختی گونه‌ها در طول این دوره زمانی است که می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلف اکولوژیک، محیط‌زیستی و مدیریتی قرار داشته باشد (Goudarzian and Erfanifard, 2017). مطالعات نشان داده است که با تغییر شرایط تالاب، مطلوبیت زیستگاه‌های تالابی برای پرندگان تحت تأثیر قرار گرفته و این امر بر تنوع و فراوانی پرندگان تأثیرگذار است. به‌عنوان مثال، در تالاب‌های غرب نپال،

تغییرات سطح آب ورودی به تالاب‌ها و مطلوبیت زیستگاه‌های پیرامونی برای پرندگان ارزیابی شد و نشان داد که حضور و فراوانی پرندگان تحت تأثیر جریانات ورودی به آن تغییرات قابل توجهی داشته است (Pant et al., 2024). در دلتای رود گنگ در هندوستان نیز، قوها و پلیکان‌های مهاجر پس از ارزیابی اولیه زیستگاه در اوایل زمستان و عدم وجود آب کافی در آن ناحیه، به سمت تالاب‌های دیگر مهاجرت نمودند (Rajpar and Zakaria, 2011). بررسی تغییرات وسعت تالاب‌های ایران نظیر تالاب میانگران در استان خوزستان نیز نشان داد که کاهش عمق آب، تنوع و فراوانی پرندگان تالاب را تحت تأثیر قرار داده و باعث کاهش گونه‌های مهاجر آبی تالاب شده است (Malekian et al., 2022). شاخص‌های یکنواختی روند تغییرات مشابهی را در سال‌های مورد مطالعه نشان دادند. به این صورت که در سال‌های مانند سال ۱۳۹۱ این شاخص‌ها حداقل مقدار خود را داشته که دلیل آن افزایش تعداد پرندگان در برخی از گونه‌ها بوده است. در دیگر مطالعات نیز روند کاهشی شاخص‌های یکنواختی به دلیل فراوانی بیشتری برخی گونه‌ها مشاهده شده است (Goudarzian and Erfanifard, 2017; Nazari et al., 2022).

ارزیابی تغییرات رطوبتی سطح زمین با استفاده از شاخص NDWI نشان داد که تالاب گندمان در سال ۱۳۹۰ با مقدار شاخص $-0/12$ در وضعیت خشک قرار داشته و در سال‌های بعد بهبود نسبی یافته است. بیشترین رطوبت سطحی در سال ۱۳۹۲ با مقدار شاخص $0/16$ ثبت شد (جدول ۱). تجمع آب حاصل از بارندگی‌ها باعث شده تا شاخص آب تالاب در محدوده مثبت قرار گیرد. در این بازه زمانی شاخص SPI نیز عمدتاً مثبت بود و شدیدترین خشکسالی در سال ۱۳۹۶ با مقدار $-0/19$ ثبت گردید. کاهش بارندگی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ با افت شاخص NDWI همراه است. متوسط دمای فصل زمستان در منطقه مورد مطالعه از ۱۱ درجه سلسیوس در سال ۱۳۹۱ به $12/8$ درجه سلسیوس در سال ۱۴۰۰ افزایش یافت (جدول ۱). این نتایج نشان می‌دهد که با برآورد شاخص NDWI در هر زمان از سال، می‌توان به برآوردی سریع و ارزان از میزان آب و شرایط محیطی تالاب دست یافت. زمانی که مقدار این شاخص مثبت است، می‌توان انتظار داشت که تعداد پرندگان مهاجر به این تالاب نیز افزایش یابد. از این رو، تغییرات این شاخص را می‌توان به عنوان یک هشدار در نظر گرفت (Janse et al., 2019).



شکل ۴- تغییرات شاخص تنوع شانون (الف)، تنوع سیمپسون (ب)، شاخص یکنواختی سیمپسون (ج) و شاخص یکنواختی کامارگو (د) پرندگان در تالاب گندمان (۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲)

جدول ۱- تغییرات سالانه شاخص NDWI، شاخص خشکسالی SPI، میانگین دمای سالانه و مجموع بارندگی سالانه در منطقه تالاب گندمان طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰

سال	میانگین شاخص NDWI	شاخص سالانه SPI	میانگین دمای سالانه (درجه سلسیوس)	مجموع بارندگی سالانه (میلی‌متر)
۱۳۹۰	-۰/۱۲	-۰/۰۴	۱۱/۱	۲۵۴
۱۳۹۱	+۰/۰۴	+۰/۱	۱۱/۲	۲۶۶
۱۳۹۲	+۰/۱۶	+۰/۵	۱۱/۶	۲۶۸
۱۳۹۳	+۰/۰۹	+۰/۱	۱۰/۹	۲۹۹
۱۳۹۴	+۰/۰۶	+۰/۱	۱۱/۹	۲۴۳
۱۳۹۵	-۰/۰۳	-۰/۰۳	۱۲/۱	۱۵۸
۱۳۹۶	-۰/۰۱	-۰/۱۹	۱۲/۲	۱۷۲
۱۳۹۷	+۰/۰۹	+۰/۰۱	۱۲/۴	۲۰۹
۱۳۹۸	+۰/۱۱	+۰/۱۴	۱۲/۶	۳۰۰
۱۳۹۹	+۰/۰۷	+۰/۱۸	۱۲/۲	۲۲۰
۱۴۰۰	+۰/۰۹	+۰/۱۹	۱۲/۸	۱۶۷
۱۴۰۱	+۰/۰۸	+۰/۱۸	۱۲/۷	۱۶۱

در تحلیل همبستگی پیرسون از شاخص سطح آب و سه متغیر اقلیمی دما، بارش و شاخص خشکسالی برای پیش‌بینی تنوع و یکنواختی گونه‌ها استفاده شد. بیشترین رابطه مثبت معنی‌دار بین متوسط سالانه شاخص سطح آب تالاب با تنوع و یکنواختی پرندگان منطقه بود. نوسانات سطح آب تالاب به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر حضور و تنوع پرندگان آبی و کنار آبی شمرده می‌شود (Tavernia et al., 2021). شاخص SPI هم همبستگی معنی‌داری با تنوع و یکنواختی پرندگان تالاب نشان داد. تغییر در رژیم و میزان بارش می‌تواند موجب کاهش وسعت سطح آب در دسترس تالاب شده که بر تنوع و فراوانی پرندگان آبی و کنار آبی تأثیرگذار است. متغیرهایی نظیر سطح پیکره آبی تالاب، خشکسالی و میزان بارش سالیانه بر حضور پرندگان مهاجر و فراوانی آنها نقش مهمی دارند (Herrando et al., 2019).

جدول ۲- ضریب همبستگی (r) و معنی‌داری (p) رابطه بین شاخص‌های تنوع و یکنواختی پرندگان تالاب گندمان نسبت به شاخص NDWI، دما، بارش و شاخص خشکسالی SPI

شاخص	شاخص تنوع شانون		شاخص یکنواختی	
	r	p	R ²	p
متوسط NDWI	۰/۶۸	۰/۰۱	۰/۷۰	۰/۰۱
متوسط دما	-۰/۳۸	۰/۳	-۰/۳۶	۰/۴
بارش ثبت شده	۰/۵۰	۰/۰۲	۰/۴۹	۰/۰۲
شاخص خشکسالی	۰/۵۲	۰/۰۱	۰/۵۹	۰/۰۱

نتایج آزمون من-کندال و شیب سن نشان داد که طی دوره ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲، تغییرات قابل توجهی در شاخص‌های اقلیمی و زیستی تالاب گندمان رخ داده است (جدول ۳). شاخص NDWI بیانگر کاهش رطوبت سطحی و افت سطح آب تالاب در سال‌های اخیر است که حاکی از کاهش تدریجی پهنه‌های آبی و کاهش توان اکولوژیک تالاب در حفظ زیستگاه‌های مناسب برای پرندگان مهاجر است. در مقابل، میانگین دمای سالانه روندی مثبت را نشان داد که به‌همراه کاهش مقدار بارش، بر روند استفاده از زیستگاه پرندگان منطقه، تأثیرگذار بوده است (Qiu et al., 2025). شاخص SPI روند مشخصی را نشان نداد، اما در برخی از سال‌ها مانند ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ کاهش قابل ملاحظه‌ای داشت که با کاهش تنوع پرندگان همراه بوده است. این همزمانی نشان می‌دهد که خشکسالی‌های کوتاه‌مدت نیز می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در نوسانات جمعیت پرندگان داشته باشد (جدول ۳). در همین راستا، Xia و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر نوسانات سطح آب و خشکسالی‌های موقت تالاب پویانگ در چین بر جمعیت غازهای زمستان‌گذران پرداخت و نشان داد که خشکسالی‌های موقت منجر به کاهش منابع غذایی و زیستگاه‌های مناسب برای این پرندگان شده و کاهش قابل توجهی در فراوانی جمعیت این گونه‌ها رخ داده است.

جدول ۳- نتایج آزمون من-کندال و شیب سن برای شاخص‌های تنوع، یکنواختی، NDWI، SPI، دما و بارش در تالاب گندمان (۱۴۰۲-۱۳۹۰)

ارزیابی روند من-کندال	شاخص تنوع شانون-وینر	شاخص یکنواختی سیمپسون	شاخص NDWI	شاخص تنوع سیمپسون	شاخص SPI	میانگین دما سالانه	مجموع بارش سالانه	شاخص یکنواختی کامارگو
Z value	-۱/۸۹	-۲/۶۸	-۰/۱۰	-۱/۴	-۰/۴۸	۲/۸	-۰/۸۹	-۳/۵۹
Sen's slope	-۰/۰۳	-۰/۰۱	-۳/۸۳	-۰/۰۰۳	۰/۰۸	۰/۱۶	-۳/۰۷	-۰/۰۱
P	۰/۰۵	۰/۰۰۷	۰/۹	۰/۲	۰/۵	۰/۰۰۵	۰/۳	۰/۶

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج مطالعه نشان می‌دهد که تالاب گندمان طی دوره بررسی با کاهش معنی‌دار رطوبت سطحی و افزایش دما مواجه بوده که این تغییرات با کاهش تنوع و یکنواختی پرندگان مهاجر همراه است. تنوع پرندگان در سال‌هایی که شرایط آبی بهتر بوده (مثل ۱۳۹۲ و ۱۳۹۸) افزایش یافته و در سال‌های خشک (مثل ۱۴۰۱ و ۱۴۰۰) کاهش یافته است. تحلیل همبستگی نیز نشان می‌دهد که کاهش بارندگی و افزایش دما بر کیفیت زیستگاه‌ها و ساختار جمعیتی پرندگان مؤثر است. این روندها زنگ خطری برای پایداری اکولوژیک تالاب در آینده است. تالاب گندمان تحت تأثیر نوسانات اقلیمی و روند خشکسالی قرار دارد و تغییر در سطح منابع آبی تأثیر مستقیمی بر الگوی حضور، فراوانی و تنوع پرندگان دارد. اهمیت این تالاب در چرخه حیات پرندگان مهاجر، ایجاب می‌کند که اقدامات حفاظتی هدفمند و برنامه‌ریزی‌شده با محوریت شاخص‌های محیطی طراحی گردد. در این راستا، پیشنهاد می‌شود که برنامه مدیریت جامع برای پایش بلندمدت تالاب گندمان طراحی شود که در آن داده‌های سنجش از دور، پارامترهای اقلیمی و مشاهدات میدانی به‌صورت تلفیقی به‌کار گرفته شوند تا تغییرات اکولوژیک و هیدرولوژیک تالاب به‌دقت پایش و تحلیل شوند. همچنین، بازنگری در الگوی تخصیص منابع آبی بالادست، مبتنی بر مدل‌های هیدرولوژیک و نیازهای محیط‌زیستی تالاب، ضروری است. احیای پوشش گیاهی بومی مقاوم به خشکی می‌تواند نقش مهمی در افزایش ظرفیت ذخیره رطوبتی، کاهش تبخیر و پایداری زیستگاه‌های پرندگان ایفا کند.

یکی از مهمترین محدودیت‌های این مطالعه، تهیة آمار دقیقی از پرندگان این تالاب بود. محدودیت‌های مدیریتی نظیر کمبود نیروی متخصص و مجرب، نتایج سرشماری پرندگان را تحت تأثیر قرار داده و ممکن است خطاهایی را در مقایسه آمار در سال‌های مختلف ایجاد می‌کند. تغییرات سالانه در ترکیب تیم‌های اجرایی، تجهیزات مورد استفاده، و نیز تفاوت در واحد تلاش نمونه‌برداری هرسال، ممکن است ارزیابی‌های نسبی را در داده‌ها ایجاد کند. علاوه بر این، سرشماری سالیانه پرندگان توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست محدود به چند روز از ماه بوده که این پایش کوتاه‌مدت ممکن است به‌دلیل شرایط جوی و امنیتی منطقه در زمان سرشماری، منعکس‌کننده اطلاعات آمار واقعی پرندگان نباشد. بنابراین باید در تفسیر نتایج این ملاحظات را مد نظر قرار داد. بنابراین، تکرار سرشماری پرندگان تالاب می‌تواند اطلاعات ماهانه و فصلی دقیق‌تری را ارائه دهد.

پاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری و مساعدت اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان چهارمحال و بختیاری در فراهم‌سازی داده‌ها و تسهیل بازدیدهای میدانی در طی انجام این پژوهش صمیمانه قدردانی می‌شود. همچنین از حمایت‌های معنوی دانشگاه صنعتی اصفهان که بستر علمی لازم برای اجرای این مطالعه را فراهم آورد، تشکر و قدردانی می‌گردد. این پژوهش بدون دریافت حمایت مالی انجام شده است.

References

- Abdoli, M., Panahandeh, M., 2020. Investigating the trends of Anzali wetland connected domain coverage using remote sensing techniques and DPSIR conceptual framework. Environmental Sciences 18(4), 125-140. (In Persian)

- Ansari, A., Golabi, M.H., 2019. Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for Desert Wetlands—A case study: Meighan Wetland, Iran. *International Soil and Water Conservation Research* 7(1), 64-70.
- Arsanjani, T.J., Javidan, R., Nazemosadat, M.J., Arsanjani, J.J., Vaz, E. 2015. Spatiotemporal monitoring of Bakhtegan Lake's areal fluctuations and an exploration of its future status by applying a cellular automata model. *Computers & Geosciences* 78, 37-43.
- Asgari, R., Jalil, S., Mosleharani, A., 2021. The study of species diversity of waterfowl and waders in Gandomman wetland. *Journal of Wetland Ecobiology* 13(47), 5-18.
- Bhowmik, S., 2022. Ecological and economic importance of wetlands and their vulnerability: A review. *Research Anthology on Ecosystem Conservation and Preserving Biodiversity* 2(1), 11-27.
- Gao, B.C., 1996 .NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58, 257-266.
- Goudarzian, P., Erfanifard, S.Y., 2017. The efficiency of indices of richness, evenness and biodiversity in the investigation of species diversity changes (case study: migratory water birds of Parishan international wetland, Fars province, Iran). *Biodiversity International Journal* 1, 41-45.
- Gxokwe, S., Dube, T., Mazvimavi, D., 2020. Multispectral remote sensing of wetlands in semi-arid and arid areas: A review on applications, challenges and possible future research directions. *Remote Sensing* 12(24), 4190.
- Halabian, A.H., Shabankari, M., 2017. Study the trend of temporal- spatial variation in mesopotamian marshlands and effective factors. *Human & Environment* 14, 9-24. (In Persian)
- Hamed, K.H., 2008. Trend detection in hydrologic data: The Mann–Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology* 349, 350-363.
- Herrando, S., Titeux, N., Brotons, L., Anton, M., Ubach, A., Villero, D., García-Barros, E., Munguira, M.L., Godinho, C., Stefanescu C., 2019. Contrasting impacts of precipitation on Mediterranean birds and butterflies. *Scientific Reports* 9, 5680.
- Hosseini-Tayefeh, F., Izadian, M., Ashoori, A., Jolaei L., Ebrahimi, E., 2021. Trends of waterbirds population changes in Fars province wetlands 1988-2018. *Environmental Sciences* 19, 177-196. (In Persian)
- Iranmanesh, Y., Jahanbazi Gojani, H., Shirmardi, H.A., Shamseddini, Sh., Habibi, M., 2020. Estimating the economic value of carbon sequestration, oxygen production, and forage production in Gandoman Wetland. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research* 2, 265-275. (In Persian)
- Iranmanesh, Y., Shirmardi, H.A., Jahanbazi Gojani, H. 2017. Gandoman wetland as one of the most beautiful bird-watching wetlands in Iran. *Proceedings of the Iranian Conference on Nature Tourism. Civilica*. (In Persian)
- Janse, J.H., van Dam, A.A., Hes, E.M., de Klein, J.J., Finlayson, C.M., Janssen, A.B., van Wijk, D., Mooij, W.M., Verhoeven, J.T., 2019. Towards a global model for wetlands ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 36, 11-19.
- Malekian, M., Salarpour R., Ranaie, M., 2022. Wetland characteristics affect abundance and diversity of wintering birds: A case study in South-Western Iran. *Ecology and Evolution* 12, e9558.
- Moomaw, W.R., Chmura, G., Davies, G.T., Finlayson, C., Middleton, B.A., Natali, S.M., Perry, J., Roulet, N., Sutton-Grier, A.E., 2018. Wetlands in a changing climate: Science, policy and management. *Wetlands* 38, 183-205.
- Nazari, N., Esfandabad, B.S., Varvani, J., Ahmadi A., Toranjzar, H., 2022. Land use changes around the wetland and diversity of waterfowl and shorebirds in Anzali, Almagol, Alagol, and Ajigol international wetlands (Iran). *Journal of Water and Soil Management and Modeling* 2, 27-39. (In Persian)
- Pant, S.R., Bhattarai, B.P., Baral, H.S., Thapa, T.B., 2024 .Diversity, species richness, and community composition of wetland birds in the lowlands of Western Nepal. *Ecology and Evolution* 14, e70538.
- Pekel, J. F., Cotton, A., Gorelick, N., Belward, A.S., 2016. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540, 418-422.
- Qiu, J., Li, Y., Liu, X., 2025. Assessment of the impact of extreme hydrological conditions on migratory bird habitats of the largest freshwater lake wetlands in China based on multi-source remote sensing fusion approach. *Sustainability* 17, 1900.

- Rajpar, M.N., Zakaria, M., 2011. Effects of water level fluctuation on waterbirds distribution and aquatic vegetation composition at natural wetland reserve, Peninsular Malaysia. *ISRN Ecology* 2011, 324038.
- Roswell, M., Dushoff, J., Winfree, R., 2021. A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos* 130, 321-338.
- Saeedi, J., Sadeghi DehCheshmeh, S., 2023. Analysis of scenarios to security consequences of the water crisis in Chaharmahal and Bakhtiari Province. *Geography* 21, 181-210.
- Salarpour, R., Malekian M., Ghadirian, M., 2021. Monitoring changes and ranking threat factors of Miangharan wetland, Khuzestan Province. *Journal of Natural Environment* 74, 83-95. (In Persian)
- Stenzel, L.E., Shuford, W.D., 2020. Effects of drought on the abundance and distribution of non-breeding shorebirds in central California, USA. *PloS One* 15, e0240931
- Sun, X., Liu, S., Tang, H., Zhang, F., Jia, L., Li, C., Ma, L., Liu, J., Jiang, K., Ding, Z., 2024. Effects of water-level fluctuation on soil aggregates and aggregate-associated organic carbon in the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China. *Land* 13, 313.
- Tavernia, B., Meehan, T., Neill, J., Luft, J., 2021. Hydrology affects shorebirds, waterfowl, and other waterbirds at Bear River Bay, a globally important bird area. *Journal of Field Ornithology* 92, 388-401.
- Van Roomen, M., van Winden, E., van Diek, H., 2008. Iran-Dutch Cooperation in Waterbird Monitoring 2004-2007 The Netherlands: DoE, Islamic Republic of Iran & WIWO. 32 p.
- Wetlands International. 2010. Guidance on waterbird monitoring methodology: Field protocol for waterbird counting. Wetlands International, Ede, Netherlands. Available from: <https://www.wetlands.org/publications/iwc-guidance-field-protocol-for-waterbird-counting/> (Accessed 10th January 2022)
- Xia, S., Liu, Y., Chen, B., Jia, H., Zhang, G., Liu, X., Yu, X., 2017. Effect of water level fluctuations on wintering goose abundance in Poyang Lake wetlands of China. *Chinese Geographical Science* 27, 248-258.
- Xu, Q., Zhou, L., Xia, S., Zhou, J., 2022. Impact of urbanisation intensity on bird diversity in river and wetlands around Chaohu Lake, China. *Animals* 12, 473.
- Zhou, Y., 2020. Mapping coastal wetland change in China with Landsat time series and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment* 237, 111443.