University of Tehran Press

Journal of Environmental Studies

Vol. 51, No. 4, Winter 2026

Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Print ISSN: 1025-8620
Online ISSN 2345-6922

The Effects of Climate and Vegetation Changes on Bird Diversity and Abundance in the Gandoman International Wetland, and Ranking the Wetland's Threatening Factors

Marziyeh Ghaffari Farsani[1], **Mansoureh Malekian**[2]✉, **Fahime Eslami**[3]

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
3. Department of Environment, Chaharmahal va Bakhtiari Provincial Office, Shahr-e-Kord, Iran. E-mail: fesllami@gmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:
Received: 29 September 2025
Received in revised form: 6 February 2026
Accepted: 15 February 2026
Available online: 14 March 2026

Keywords:
Analytic hierarchy process,
Drought,
Migratory birds,
Species diversity.

ABSTRACT

Objective: Gandoman Wetland, located in Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran, has increasingly been threatened by anthropogenic activities and climate change. Water extraction, agricultural runoff, and recurrent droughts have compromised its ecological stability. This study aimed to analyze changes in climatic variables and vegetation in the Gandoman Wetland and to assess their effects on bird diversity and abundance from 2011 to 2023, as well as to rank the factors threatening this wetland.

Method: Winter bird census data from 2011 to 2023 were obtained, and diversity indices—including Shannon–Wiener, Simpson, and Camargo evenness—were calculated. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was extracted from Landsat 7 and Landsat 8 satellite images for the study period. The Mann-Kendall test was used to evaluate trends in annual rainfall, mean annual temperature, SPI, NDVI, and diversity and evenness indices throughout the study period. To investigate the effects of climatic variables and vegetation on the abundance and diversity of wetland birds, Pearson correlation analyses were conducted. Threatening factors to the wetland were identified through field surveys and existing reports, and the Analytic Hierarchy Process (AHP) was performed to rank these threats.

Results: The results revealed significant fluctuations in migratory bird abundance and species richness. The total number of species increased from 25 in 2011 to 57 in 2021. The annual mean temperature showed an increasing trend ($Z = 2.0$, $p = 0.05$), while rainfall showed a significant decreasing trend ($Z = -2.2$, $p = 0.02$). The SPI index also demonstrated a significant decline ($Z = -3.7$, $p = 0.00$). Conversely, the NDVI index displayed a significant increasing trend ($Z = 2.6$, $p = 0.02$). Additionally, the Simpson, Shannon-Wiener, and evenness indices all showed decreasing trends, indicating a reduction in diversity and the dominance of certain species. A positive correlation was observed between the NDVI index and the abundance, species richness, diversity, and evenness indices of birds. This relationship may reflect the density of aquatic plants that provide food, nesting sites, and shelter for birds. The positive correlation between precipitation and SPI with bird abundance and diversity indicates the direct impact of climatic conditions on the lives of organisms in this region. Hierarchical analysis revealed that four factors—agricultural water withdrawal (0.30), drought (0.25), sewage inflow (0.13), and livestock grazing (0.11)—had the greatest influence.

Conclusions: This study demonstrated that Gandoman Wetland has experienced significant ecological fluctuations, with both biodiversity and vegetation cover showing sensitivity to climatic and anthropogenic factors. Human activities, particularly uncontrolled water extraction and agricultural effluents, were identified as the primary threats, while climate change exacerbated these impacts.

Cite this article: Ghaffari Farsani, M., Malekian, M., & Eslami, F. (2026). The Effects of Climate and Vegetation Changes on Bird Diversity and Abundance in the Gandoman International Wetland, and Ranking the Wetland's Threatening Factors. *Journal of Environmental Studies, 51* (4), 431- 452. http//doi.org/10.22059/jes.2026.402807.1008639

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/jes.2026.402807.1008639

Introduction

Wetlands are vital ecosystems that support biodiversity conservation, regulate hydrological processes, and provide essential ecosystem services. These habitats host a diverse array of plants, animals, birds, fish, and other living organisms. Wetlands are also critically important as biological sites for bird migration and fish reproduction. Given their ecological significance and biodiversity, proper protection and management of these areas are essential to preserve their biological diversity. Chaharmahal and Bakhtiari Province of Iran, characterized by mountainous terrain and abundant water resources—including rivers, streams, and springs-offers highly suitable conditions for the formation of wetland habitats. Gandoman Wetland, located in Chaharmahal and Bakhtiari Province, is one of the most important bird habitats in Iran but has increasingly been threatened by anthropogenic activities and climate change. Water extraction, agricultural runoff, and recurrent droughts have compromised its ecological stability. Investigating the diversity and abundance of waterbirds in this wetland serves as an effective indicator for assessing the health, quality, and overall condition of the ecosystem. Integrating biological data, such as species diversity indices, with remote sensing metrics like the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) provides reliable measures for evaluating wetland health. These methods have become widely used to assess the quality and condition of wetland ecosystems across different time periods and geographic regions. This study aimed to analyze changes in climatic variables and vegetation in the Gandoman Wetland and to assess their effects on bird diversity and abundance from 2011 to 2023, as well as to rank the factors threatening this wetland.

Method

Gandoman Wetland is located in Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran, approximately 3 kilometers southwest of Gandoman city and 18 kilometers south of Borujen city. Covering an area of about 980 hectares and situated at an average altitude of 2,216 meters above sea level, this freshwater wetland is classified as a meadow wetland according to the IUCN.

For this study, winter bird census data from 2011 to 2013 were obtained from the Department of Environmental Protection of Chaharmahal and Bakhtiari Province. During the census, the wetland bird population was counted on foot using the total count method, employing a Zavorovsky 60×80 telescope, a Zavorovsky 10×42 binocular, and a Zeiss 10×40 binocular from early morning until sunset. To measure diversity indices, the abundance of all wetland species was recorded. Subsequently, the Simpson diversity index, Shannon-Wiener diversity index, and Camargo evenness were calculated for the wetland's migratory birds. Vegetation cover was analyzed using Landsat 7 and 8 images, from which the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was derived for the study period. Climatic data—including precipitation, temperature, and the standardized precipitation index (SPI)—were obtained from the Borujen station. The Mann-Kendall test was used to evaluate trends in annual rainfall, mean annual temperature, SPI, NDVI, and diversity and evenness indices throughout the study period. To investigate the effects of climatic variables and vegetation on the abundance and diversity of wetland birds, Pearson's correlation analyses were conducted. Threatening factors to the wetland were identified through field surveys and existing reports, and the analytic hierarchy process (AHP) was performed to rank these threats.

Results

The results revealed significant fluctuations in migratory bird abundance and species richness. The total number of species increased from 25 in 2011 to 57 in 2021. The birds identified in the wetland were classified as waterbirds or shorebirds based on their ecological and behavioral characteristics. Analyzing the abundance and species richness within each group over the study period revealed fluctuations and changes. This indicated that species did not respond uniformly to environmental conditions, with each group reacting differently to the ecological changes occurring in the wetland. The annual mean temperature showed an increasing trend ($Z = 2.0$, $p = 0.05$), while rainfall showed a significant decreasing trend ($Z = -2.2$, $p = 0.02$). The SPI index also demonstrated a significant decline ($Z = -3.7$, $p = 0.00$). Conversely, the NDVI index displayed a significant increasing trend ($Z = 2.6$, $p = 0.02$). The results revealed significant fluctuations in migratory bird abundance and species richness. The total number of species increased from 35 in 2011 to 81 in 2021. Additionally, the Simpson, Shannon-Wiener, and evenness indices showed decreasing trends,

indicating a reduction in diversity and the dominance of certain species. This difference clearly depended on climatic conditions and the quality of the wetland habitat. Improved habitat conditions, resulting from increased water availability and vegetation cover during wetter years, have enhanced species diversity. A positive correlation was observed between the NDVI index and the abundance, species richness, diversity, and evenness indices of birds. This relationship may reflect the density of aquatic plants that provide food, nesting sites, and shelter for birds. The positive correlation between precipitation and SPI with bird abundance and diversity indicated the direct impact of climatic conditions on the lives of organisms in this region. Hierarchical analysis revealed that human activities were the main threats to the wetland, accounting for about 70% of the total impact. A more precise analysis identified four key factors—agricultural water withdrawal (0.30), drought (0.25), sewage inflow (0.13), and livestock grazing (0.11)—as having the strongest influence. In other words, human pressures were clearly identified as the driving forces behind the degradation of the wetland's structure and ecological functions. Although natural factors, especially drought, played a smaller role independently, they could amplify the effects of human activities. By reducing water availability and stressing the ecosystem, these natural factors exacerbated the consequences of human interventions. This interaction between natural and human factors highlighted the complexity of wetland degradation and emphasized the need to consider both types of pressures at the same time.

Conclusions

This study demonstrated that Gandoman Wetland has experienced significant ecological fluctuations, with both biodiversity and vegetation cover showing sensitivity to climatic and anthropogenic factors. This study emphasized the critical importance of adequate water resources and ecosystem health as key factors influencing the population dynamics of various migratory bird species. Human activities, particularly uncontrolled water extraction and agricultural effluents, were identified as the primary threats, while climate change exacerbated these impacts. Sustainable management of the wetland requires integrated approaches that focus on regulating human pressures, revising water resource exploitation, and implementing adaptation strategies to address climate change. The results confirm that any change in climatic conditions will affect not only the bird population but also the entire Gandoman wetland ecosystem. Therefore, it is essential to implement measures to protect this sensitive area and ensure its sustainability. Preserving and restoring this valuable habitat requires efficient water resource management, the implementation of habitat protection and restoration programs, and increased public awareness of the ecosystem's importance. The involvement of government agencies, local communities, and researchers can significantly contribute to preserving this wetland and ensuring its sustainability for future generations. Reviewing the regional water resources management system with a focus on ensuring the sustainable supply of water to the wetland and preventing unauthorized withdrawals, enforcing stricter regulations to control illegal well drilling and alleviate pressure on groundwater resources, and reevaluating dam construction policies to maintain a balanced inflow of water to the wetland are some of the important steps in this regard. Also, integrating biodiversity indicators with remote sensing data, such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), has proven to be a powerful framework for wetland monitoring, early warning, and conservation planning at both national and international levels.

Author Contributions

Data Collection: Marziyeh Ghaffari; Research Report Preparation: Marziyeh Ghaffari; Data Analysis: Marziyeh Ghaffari; Supervision of the research process from data collection to writing the final version: Mansoureh Malekian; The advisor of the research, participation in research design and data collection, and article review: Fahime Eslami

Data Availability Statement

The datasets generated and analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Acknowledgements
We would like to thank the Chaharmahal and Bakhtiari`s Department of Environment for sampling authorizations and assistance. We also appreciate the spiritual support of Isfahan University of Technology, which provided the essential scientific foundation for conducting this study. Additionally, we thank Dr. Mohsen Ahmadi, who enriched this research with the valuable comments and suggestions.

Ethical considerations
The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Funding
This research was supported by Isfahan University of Technology through the first author's student grant and research grants for the other authors. No funding was received from governmental, commercial, or non-profit organizations.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

University of Tehran Press

نشریه محیط شناسی
دوره ۵۱، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴
Homepage: http://Jes.ut.ac.ir

شاپای چاپی: ۸۶۲۰– ۱۰۲۵
شاپای الکترونیکی: ۶۹۲۲– ۲۳۴۵

اثر تغییرات اقلیمی و پوشش گیاهی بر تنوع و فراوانی پرندگان تالاب بین‌المللی گندمان و رتبه‌بندی عوامل تهدیدکننده تالاب

مرضیه غفاری فارسانی[۱]، منصوره ملکیان[۲]✉، فهیمه اسلامی[۳]

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: marziyehqafarii@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: mmalekian@iut.ac.ir
۳. اداره کل محیط‌زیست استان چهارمحال‌وبختیاری ، شهرکرد، ایران. رایانامه: fesllami@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۷/۰۷

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۴/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۱۱/۲۶

تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۱۲/۲۳

کلیدواژه‌ها:
تحلیل سلسله مراتبی،
خشکسالی،
پرندگان مهاجر،
تنوع گونه ای.

چکیده

هدف: تالاب گندمان در استان چهارمحال‌وبختیاری یکی از زیست‌بوم‌های حساس کشور است که کاهش ورودی آب، تغییرات اقلیمی، ورود پساب‌های کشاورزی و بهره‌برداری بی‌رویه منابع، پایداری این تالاب را به خطرانداخته است. هدف از این مطالعه تحلیل روند تغییرات اقلیمی و پوشش گیاهی تالاب گندمان و تاثیر آن بر تنوع و فراوانی پرندگان در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ و رتبه‌بندی عوامل تهدیدکننده این تالاب است.

روش پژوهش: داده‌های سرشماری پرندگان مهاجر در زمستان‌های ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ جمع‌آوری و شاخص‌های تنوع شانون–وینر، سیمپسون و یکنواختی کامارگو محاسبه شد. شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat ۷ و ۸ در دوره مورد مطالعه استخراج شد. روند متغیرهای بارندگی سالانه، میانگین دمای سالانه، SPI، NDVI و شاخص‌های تنوع و یکنواختی با آزمون من–کندال و اثر متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی بر فراوانی و تنوع پرندگان تالاب با تحلیل همبستگی پیرسون بررسی شد. عوامل تهدیدکننده تالاب در طی عملیات میدانی و گزارش‌های موجود شناسایی و با فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) رتبه‌بندی شد.

یافته‌ها: فراوانی پرندگان مهاجر در تالاب طی سال‌های مورد مطالعه نوسان قابل‌توجهی داشت و تعداد گونه‌ها از ۲۵ گونه در سال ۱۳۹۰ به بیشینه ۵۷ گونه در ۱۴۰۰ رسید. میانگین دمای سالانه روند افزایشی داشته ($Z = 2.0, p = 0.05$) و روند کاهشی معنی‌دار برای بارندگی ($Z = -2.2, p = 0.02$) و شاخص SPI ($p = 0.00$، $Z = -3.7$) و روند تغییرات شاخص NDVI افزایشی و معنی‌دار ($Z = 2.6$، $p = 0.02$) بود. شاخص سیمپسون، شانون–وینر و یکنواختی‌ها روند کاهشی را نشان دادند که بیانگر کاهش تنوع و غالبیت برخی از گونه‌ها است. همبستگی مثبت شاخص NDVI، با فراوانی، تعداد گونه و شاخص‌های تنوع و یکنواختی پرندگان مشاهده شد که می‌تواند نشان‌دهنده تراکم گیاهان آبزی بوده که به‌عنوان غذا، محل آشیانه سازی و پناهگاه توسط پرندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد. همبستگی مثبت بارش و شاخص SPI با فراوانی و تنوع پرندگان نشان‌دهنده تأثیر مستقیم شرایط اقلیمی بر حیات موجودات در این منطقه است. تحلیل سلسله‌مراتبی نشان داد که چهار عامل برداشت آب کشاورزی (۰/۳۰)، خشکسالی (۰/۲۵)، ورود فاضلاب (۰/۱۳) و چرای دام (۰/۱۱) بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، تالاب گندمان در طول دوره مطالعه با نوسانات شدید در تنوع پرندگان روبرو بود که تأثیر عوامل انسانی به‌ویژه برداشت بی‌رویه آب و ورود پساب‌ها به‌عنوان مهمترین تهدید این تالاب شناسایی شد، در حالی که تغییرات اقلیمی نقش تشدیدکننده داشته‌اند.

استناد: غفاری فارسانی، مرضیه؛ ملکیان، منصوره و اسلامی، فهیمه. (۱۴۰۴). اثر تغییرات اقلیمی و پوشش گیاهی بر تنوع و فراوانی پرندگان تالاب بین‌المللی گندمان و رتبه‌بندی عوامل تهدیدکننده تالاب. نشریه محیط‌شناسی، ۵۱(۴)، ۴۳۱– ۴۵۲ . http//doi.org/10.22059/jes.2026.402807.1008639

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: http//doi.org/10.22059/jes.2026.402807.1008639

مقدمه

تالاب‌ها از جمله مهمترین بوم‌سازگان‌های کره زمین به شمار می‌آیند که ویژگی اصلی آنها وجود آب به‌صورت غرقاب یا به حالت اشباع در خاک می‌باشد. تالاب‌ها به‌عنوان اکوسیستم‌های حساس، نقش مهمی در حفظ تنوع‌زیستی، عملکردهای بوم‌شناختی و خدمات اکوسیستمی دارند و در کنترل سیلاب، پالایش آب و تغذیه سفره‌های زیرزمینی مؤثر هستند (Morris et al., 2002). تالاب‌ها علاوه بر تصفیه آب و تأمین منابع آب شرب، به‌عنوان محیطی مناسب برای پرورش ماهیان، گیاهان و جانوران عمل می‌کنند. همچنین، آن‌ها می‌توانند به‌عنوان سد برای کنترل سیلاب و کاهش آلودگی هوا عمل کنند. از طرفی این مناطق طبیعی برای پرندگان مهاجر نقش اساسی در مسیر مهاجرت و توقف دارند و از اهمیت بسیاری برخوردارند. با این حال، تهدیدهایی مانند تغییر مسیر رودخانه‌ها، آلودگی، غنی‌سازی بیش از حد مواد مغذی، تخریب زیستگاه‌ها و تغییرات اقلیمی بقای آن‌ها را به خطر می‌اندازد (Klemas, 2011)، بنابراین دسترسی به اطلاعات دقیق درباره وضعیت محیط‌زیستی تالاب‌ها نظیر روند تغییرات تنوع‌زیستی آنها، بررسی تغییرات عوامل اقلیمی و اثرات انسانی بر پایداری آنها ضروری است (Moomaw et al., 2018).

استان چهارمحال‌وبختیاری به‌دلیل کوهستانی بودن و داشتن منابع آبی فراوان، از جمله رودخانه‌ها، جویبارها و چشمه‌ها، شرایط بسیار مناسبی برای شکل‌گیری رویشگاه‌های ماندابی دارد. این رویشگاه‌ها با ارزش زیست‌محیطی و اقتصادی خود، نقشی حیاتی در زندگی مردم منطقه ایفا می‌کنند. تالاب گندمان در استان چهارمحال‌وبختیاری، با منابع آبی غنی، زیستگاه مهم پرندگان مهاجر و بومی و جاذبه گردشگری منطقه است. این تالاب که در زمره ۱۰ تالاب برتر ایران برای پرنده‌نگری قرار دارد، زیستگاهی منحصربه‌فرد برای گونه‌های متنوعی از گیاهان، پرندگان، ماهی‌ها، دوزیستان و فیتوپلانکتون‌ها است. وسعت این تالاب و تنوع‌زیستی غنی آن، جایگاه ویژه‌ای به این بوم‌سازگان طبیعی بخشیده و اهمیت آن را دو چندان کرده است (ایران‌منش و همکاران ۱۳۹۹).

تغییر کاربری اراضی، پساب‌های کشاورزی شهری و فلزات سنگین تهدیدی جدی برای اکوسیستم تالاب محسوب می‌شوند (انصاری‌نیا و همکاران، ۱۴۰۰). تنوع پرندگان به‌عنوان شاخص حساس سلامت اکوسیستم، بازتابی دقیق از وضعیت زیست‌محیطی ارائه می‌دهد و کاهش آن می‌تواند نشانه تخریب زیستگاه، آلودگی یا تغییرات اقلیمی باشد (Gregory et al., 2015). تغییرات اقلیمی باعث کاهش منابع آب، خشکسالی و تغییر الگوهای بارندگی شده است (Gxokwe et al., 2020). شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) ابزاری معتبر برای پایش سلامت پوشش گیاهی و فعالیت فتوسنتزی است و ترکیب آن با داده‌های تنوع پرندگان امکان شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و تغییرات اکوسیستم را فراهم می‌کند (Ashok et al., 2021). علاوه بر این، تهدیدات انسانی متعددی حیات تالاب‌ها را تهدید می‌کند که بر سلامت اکوسیستم، زیستمندان و جامعه انسانی پیرامون آن تاثیرگذار است. شناسایی و سپس اولویت‌بندی این عوامل تهدیدکننده، برای مدیریت بهینه تالاب‌ها ضروری است. در مطالعات ارزیابی و مدیریت تالاب‌ها، پس از شناسایی عوامل تهدیدکننده، معمولاً از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای اولویت‌بندی تهدیدها، ارزیابی راهبردهای مدیریتی و رتبه‌بندی حفاظتی منطقه استفاده می‌شود (Salarpour et al., 2021). روش AHP یکی از معتبرترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که امکان اولویت‌بندی و وزن‌دهی به عوامل پیچیده را با در نظر گرفتن نظرات کارشناسان فراهم می‌کند. هدف این پژوهش تحلیل روند تغییرات اقلیمی و پوشش گیاهی تالاب گندمان و تاثیر آن بر تنوع و فراوانی پرندگان در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ است تا مبنای علمی مناسبی برای مدیریت پایدار این زیست‌بوم ارزشمند فراهم شود. علاوه بر این، عوامل تهدیدکننده تالاب گندمان شناسایی و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی رتبه‌بندی شد.

پیشینه پژوهش

– مطالعات داخلی

در سطح ملی، مطالعات متعددی وجود دارد که به بررسی تنوع پرندگان آبزی و کنارآبزی تالاب‌های کشور پرداخته و از شاخص‌های زیستی و غیرزیستی برای ارزیابی زیستگاه و بررسی همبستگی بین شاخص‌های تنوع با ویژگی‌های تالاب استفاده کرده‌اند. از آن جمله

می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد.

مهدیان‌زاده و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی و شناسایی پرندگان زمستان‌گذران در تالاب یزد پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که ایجاد امنیت به‌عنوان عامل کلیدی برای حضور تعداد بیشتر پرندگان به همراه اندازه و تنوع در زیستگاه اهمیت دارد.

حسینی‌طایفه و عاشوری (۱۴۰۰) روند تغییرات جمعیت و تنوع پرندگان آبزی زمستان‌گذران تالاب‌ها و نوار ساحلی دریای خزر را مورد بررسی و تحلیل قرار داد. بر اساس نتایج مطالعه، غنا و تنوع گونه‌ای پرندگان مهاجر زمستان‌گذران از نوسانات قابل‌توجه و معنی‌داری سال‌های مختلف برخوردار بوده که به عوامل مختلف اکوسیستم تالابی مانند کمّیت و کیفیت آب، پوشش گیاهی، در دسترس بودن غذا و امنیت زیستگاهی بستگی دارد.

ارزیابی و بررسی زیستگاه پرندگان مهاجر در تالاب میانگران نشان داد که سطح آب تالاب از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ به نسبت ۸۰ درصد کاهش یافته است، در حالی که اراضی کشاورزی و مناطق شهری افزایش چشمگیری داشته‌اند (سالارپور و همکاران، ۱۴۰۰). این پژوهش نشان داد که خشکسالی به تنهایی مسئول کاهش تالاب میانگران نیست و عواملی مانند تغییرات کاربری اطراف تالاب و ورود فاضلاب شهری به تالاب نیز نقش مهمی در این مسئله دارند.

محمدی‌نسب (۱۴۰۲)، به بررسی تنوع‌زیستی پرندگان تالاب تندور دورود پرداخت. این تحقیق از شاخص‌های تنوع گونه‌ای مانند شانون–وینر و سیمپسون، و شاخص‌های یکنواختی برای بررسی تنوع‌زیستی استفاده کرد. نتایج نشان داد که در سال ۱۳۹۹ بیشترین تنوع گونه‌ها و در سال ۱۳۹۷ بیشترین یکنواختی گونه‌های پرندگان مشاهده شده است. روند شاخص‌های تنوع‌زیستی در تالاب تندور به صورت سینوسی بوده است. گونه خروس کولی اجتماعی (*Vanellus gregarius*) که در رده حفاظتی بالاترین (CR) قرار دارد، در سال ۱۳۹۸ با تعداد ۴۰۰ فرد به صورت مهاجر عبوری زمستانه در این تالاب مشاهده و ثبت شد. از نظر ماندگاری پرندگان در تالاب تندور، ۵۴ رصد پرندگان زمستان‌گذران، ۳۰ درصد مهاجر عبوری، و ۱۶ درصد پرندگان ساکن (چهارفصل) بودند.

عبداله‌آبادی و همکارن (۱۴۰۲) به بررسی فراوانی و تنوع پرندگان تالاب بندعلیخان ورامین و ارتباط آن با تغییرات سطح آب و خشکسالی تالاب در بازه ۱۰ ساله (۱۴۰۰–۱۳۹۰) پرداخت. نتایج نشان داد که به‌ترتیب گونه‌های خوتکا *(Anas crecca)* و اردک سرسبز *(Anas platyrhynchos)* فراوان‌ترین پرندگان منطقه بوده و بیشترین مقادیر شاخص تنوع و غنای گونه‌ای در پرآب‌ترین سال (۱۳۹۸) به‌دست آمد. تحلیل همبستگی نشان داد که ارتباط مثبت و معنی‌داری بین پوشش آب با تعداد گونه و فراوانی پرندگان وجود دارد.

– مطالعات خارجی

در سطح بین‌المللی نیز در مطالعات متعدد به بررسی شاخص‌های زیستی از جمله تنوع گونه‌ای و فراوانی پرندگان تالاب در ارزیابی وضعیت زیستگاه‌های تالابی و ارزیابی سلامت اکوسیستم پرداخته شده است. به‌عنوان مثال در تالاب‌های جنوب اتیوپی، کاهش معنی‌دار تنوع گونه‌ای و ترکیب جامعه پرندگان تالابی گزارش شد که به واسطه کاهش سطح آب تالاب و تخریب زیستگاه‌های تالاب بود (Mereta et al., 2021). این مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی، تغییر در رژیم آبی تالاب و تخریب پوشش گیاهی، تأثیر زیادی بر جامعه پرندگان داشته است که به وابستگی پرندگان به پوشش گیاهی به‌عنوان منبع غذایی و دسترسی به منابع غذایی مربوط می‌شود.

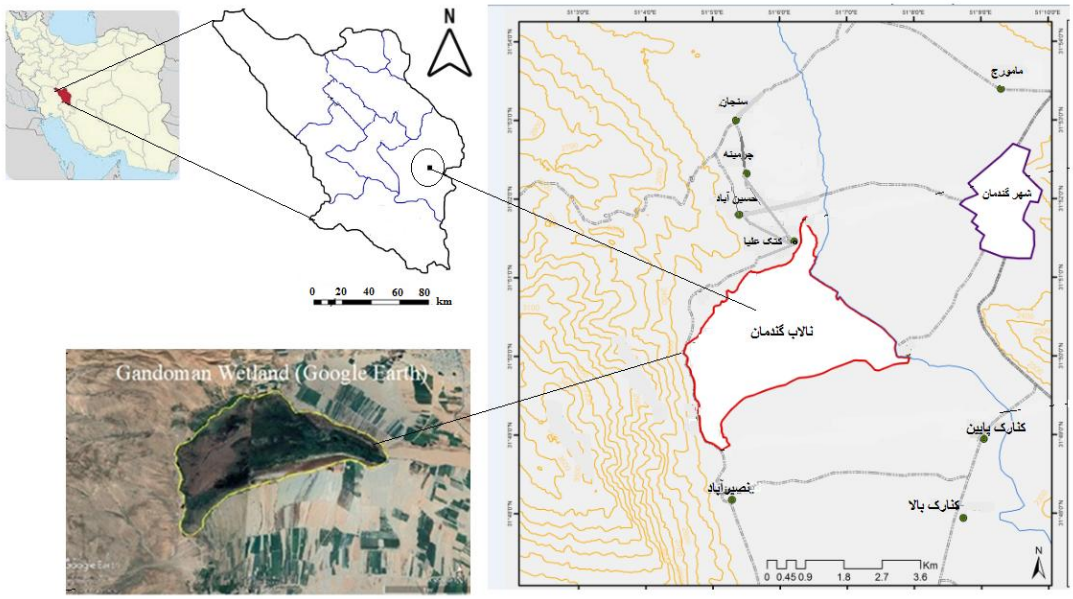
چن و همکاران (۲۰۱۸) از شاخص‌های تنوع برای ارزیابی وضعیت و سلامت اکوسیستم‌های مانگرو استفاده کرده‌اند. این شاخص‌ها شامل تنوع شانون–وینر، سیمپسون، و غنای گونه‌ای هستند که برای تحلیل تغییرات و تنوع پرندگان در این اکوسیستم استفاده شد. نتایج نشان داد که پرندگان نقش مهمی در حفظ و عملکرد اکوسیستم‌های مانگرو دارند و استفاده از شاخص‌های تنوع گونه‌ای برای ارزیابی وضعیت این زیستگاه‌ها بسیار مؤثر است. پرندگان نه تنها به حفظ تعادل اکوسیستم کمک می‌کنند، بلکه تنوع آنها به‌عنوان یک شاخص کلیدی برای ارزیابی سلامت اکوسیستم‌های مانگرو عمل می‌کنند (Chen et al., 2018). یائو و همکاران (۲۰۲۰) از شاخص‌های زیستی نظیر پوشش گیاهی تالاب و شاخص‌های سنجش‌ازدور نظیر مدت زمان غرقابی و شاخص سطح آب، به‌عنوان شاخص پیش‌بینی وضعیت زیستگاه پرندگان مهاجر استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد که جریان طبیعی آب سبب افزایش مطلوبیت تالاب برای پرندگان مهاجر شده اما در سال‌های خشکسالی، مطلوبیت زیستگاه کاهش چشمگیری داشته است (Yao et al., 2020).

در مطالعه‌ای دیگر، همبستگی بین شاخص‌های تنوع با ویژگی‌های تالاب میانگران در استان خوزستان بررسی شد و نشان داد که فراوانی پرندگان زمستان‌گذران، غنای گونه‌ای و تنوع آنها با شاخص‌های سنجش‌ازدور نظیر NDWI و SPI همبستگی معناداری دارد. کاهش بارش و استفاده بی‌رویه از آب تالاب برای کشاورزی و توسعه شهری و در نتیجه کاهش سطح آب در تالاب، تأثیر قابل‌توجهی بر جمعیت پرندگان این منطقه داشته است (Malekian et al., 2022). مطالعه ژو و همکاران (۲۰۲۲) نیز نشان داد که تغییر مشخصه‌های یک تالاب، نظیر وسعت پهنه آبی و پوشش گیاهی آن در طول زمان بر فراوانی و تنوع جوامع پرندگان تاثیرگذار است و با کاهش سطح آب و تراکم پوشش گیاهی تالاب، غنای گونه‌ای و فراوانی پرندگان آبزی روندی کاهشی خواهد داشت (Xu et al., 2022).

روش‌شناسی پژوهش

– منطقه مورد مطالعه

تالاب گندمان با مختصات جغرافیایی ۳۱/۸۴ درجه عرض شمالی و ۵۱/۰۱ درجه طول شرقی، یک تالاب آب شیرین دائمی است که با وسعت ۱۰۷۰ هکتار و متوسط ارتفاع ۲۲۱۶ متر از سطح دریا در استان چهارمحال‌وبختیاری واقع شده است. این تالاب در دامنه شرقی ارتفاعات کلار در زاگرس میانی و در فاصله سه کیلومتری جنوب‌غربی شهر گندمان قرار دارد (شکل ۱). تالاب گندمان اخیرا (در بهمن ماه سال ۱۴۰۴ (فوریه سال ۲۰۲۵)) به‌عنوان بیست‌وهفتمین تالاب بین‌المللی ایران به فهرست تالاب‌های بین‌المللی کنوانسیون رامسر اضافه شد. منابع تغذیه‌ای آن شامل تالاب‌های بالادستی مانند چغاخور، سولقان و علی‌آباد و همچنین چشمه‌ها و رواناب‌های ارتفاعات اطراف نظیر کلار و چیرو هستند. کاهش ورودی آب از تالاب چغاخور پس از احداث سد، بر سطح آب تالاب تأثیر گذاشته است (ایران‌منش و همکاران، ۱۳۹۹) خروجی تالاب از طریق رودخانه بیژگرد انجام شده که آب خروجی از تالاب با استفاده از بندهای خاکی کنترل می‌شود.



شکل ۱. نقشه و تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه، تالاب گندمان در ایران و استان چهارمحال‌وبختیاری (منبع: نگارندگان)

این تالاب نقش مهمی در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی دارد و فعالیت‌های انسانی در اطراف آن، به‌ویژه برداشت آب، می‌تواند پایداری آن را تهدید کند. همچنین، تنوع گیاهی بالای این منطقه با ۱۲۹ گونه متعلق به ۳۲ تیره و ۸۷ جنس، از جمله گندمیان، جگنیان و کاسنی‌ها، نشان‌دهنده اهمیت بالای آن از نظر فلورستیکی است. گونه‌های شاخص این تالاب عبارتند از: مرغ بید (*Agropyron*

repens)، جگن (*Carex* sp)، لویی (*Typha latifolia*)، نی (*Phragmites australis*)، زنبق (*Iris* sp)، هزارنی (*Butomus umbellatus*) و عدسک آبی (*Lemna* sp). این گونه‌ها اغلب دارای ویژگی‌های نم‌پسند و حاشیه‌دوست هستند و معمولاً پوشش متراکمی را در اطراف تالاب تشکیل می‌دهند (فتاحی نافچی، ۱۳۹۴) .

– سرشماری پرندگان و برآورد شاخص های تنوع گونه‌ای

داده‌های مربوط به سرشماری پرندگان مهاجر تالاب گندمان در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ با همکاری اداره حفاظت محیط‌زیست چهارمحال‌وبختیاری جمع‌آوری شد. شمارش پرندگان تالاب گندمان در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ (۲۰۱۱– ۲۰۲۳) بر اساس روش سرشماری یا مشاهده کل (Total Count Method) انجام گرفت. در این روش، تمام سطح تالاب توسط تیم کارشناسان به‌صورت هم‌زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد و تمامی پرندگان مشاهده شده در محدوده تالاب شمارش می‌شوند. شمارش‌ها در فصل زمستان (اوج تجمع پرندگان مهاجر) و از ساعات اولیه صبح تا غروب آفتاب انجام شد.

برای ارزیابی تنوع‌زیستی پرندگان، تعداد گونه و فراوانی سالانه آنها محاسبه شد و شاخص‌های متنوعی شامل شاخص تنوع سیمپسون، شاخص تنوع شانون– وینر و شاخص‌های یکنواختی کامارگو با استفاده از نرم‌افزار Ecological Methodology برآورد گردید. این تحلیل به‌صورت جداگانه برای کل گونه‌های مهاجر، گونه‌های آبزی و کنارآبزی انجام شد تا وضعیت جمعیت‌ها و تغییرات تنوع گونه‌ای به‌طور دقیق‌تر ارزیابی گردد.

شاخص شانون–وینر (H') بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود که در آن pi نسبت فراوانی هر گونه به کل فراوانی گونه‌ها است، میزان تنوع گونه‌ای را با در نظر گرفتن غنا و یکنواختی مشخص می‌کند.

$$H' = - \Sigma (p_i \times \ln(p_i))$$

رابطه ۱)

شاخص تنوع سیمپسون (D) نیز از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$D = \Sigma(pi^2)$$

رابطه ۲)

مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است. مقادیر پایین‌تر نشان‌دهنده تنوع بیشتر است؛ برای تفسیر بهتر از مقدار ۱–D استفاده می‌شود.

و همچنین شاخص یکنواختی کامارگو نیر بر اساس رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$E = 1 - (\Sigma|p_i - pi| / S (S - 1))$$

رابطه ۳)

برای $i \neq j$، سنجیده می‌شود که در آن S تعداد کل گونه‌ها و pi و pj فراوانی نسبی گونه‌ها هستند. این شاخص‌ها امکان تحلیل دقیق‌تری از تغییرات ساختار جامعه پرندگان در پاسخ به عوامل محیطی فراهم می‌سازند.

– داده‌های اقلیمی

برای درک ویژگی‌های اقلیمی منطقه، از مجموعه داده‌های اقلیمی سازمان هواشناسی ایران مانند میانگین دمای سالانه و بارندگی سالانه، در طول بازه زمانی مطالعه (۱۳۹۰– ۱۴۰۲)، استفاده شد. برای توصیف تغییرات خشکسالی، شاخص بارش استاندارد (SPI) برای بازه مذکور تهیه شد. ابتدا داده‌های دما و بارش ایستگاه شهرستان بروجن گردآوری و ایستگاه‌هایی که داده‌های ناقص داشتند، حذف گردیدند. شاخص SPI در مقیاس ۱۲ ماهه با استفاده از نرم‌افزار R نسخه ۴/۱ محاسبه شد.

– داده‌های ماهواره‌ای

تصاویر ماهواره‌ای Landsat 7 (ETM+) و Landsat 8 (OLI) از پایگاه USGS دریافت شدند. تصاویر ماهواره‌ای در ماه ژانویه استخراج شد، زیرا داده‌های سرشماری پرندگان مهاجر در تمامی سال‌های مورد مطالعه نیز در این ماه جمع‌آوری شده‌اند و هدف بررسی

همبستگی بین تغییرات شاخص NDVI و داده‌های سرشماری بود. تصاویر به‌صورت سطح بازتاب تصحیح‌شده مورد استفاده قرار گرفتند و مراحل تصحیح هندسی و اتمسفری بر روی آن‌ها اعمال گردید. با توجه به وجود مشکل SLC-off در داده‌های Landsat 7 از روش میان‌یابی برای بازسازی نوارهای گمشده استفاده شد. جهت همگن‌سازی داده‌ها بین دو سنجنده (+ ETM و OLI)، باندهای مورد نیاز انتخاب و فرمول استاندارد NDVI محاسبه گردید. مقدار NDVI از ۱- تا ۱ متغیر است؛ مقادیر بالاتر NDVI به معنای پوشش گیاهی متراکم و مقادیر کمتر از ۰ نشان‌دهنده پهنه‌های آبی است.

– تحلیل داده‌ها

برای ارزیابی روند متغیرهای بارندگی سالانه، میانگین دمای سالانه، SPI، NDVI و شاخص‌های تنوع و یکنواختی در بازه مورد مطالعه، از آزمون من–کندال استفاده شد. بر اساس این تحلیل، مقادیر مثبت Z نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی Z نشان‌دهنده روند کاهشی هستند. مقدار Z با توزیع تجمعی نرمال استاندارد (۱/۹۶) در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مقایسه شد. تحلیل روندها در نرم‌افزار R و با استفاده از بسته trend انجام شد.

برای بررسی اثر متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی بر فراوانی و تنوع پرندگان تالاب در سال‌های مورد مطالعه، پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. محاسبه ضرایب همبستگی با بهره‌گیری از تابع pearsonr در بسته scipy.stats صورت پذیرفت. ضرایب همبستگی(r) به همراه سطوح معنی‌داری آماری (p-value) گزارش شد.

علاوه بر این، به منظور تحلیل تغییرات پوشش گیاهی تالاب در بازه زمانی موردمطالعه، در بازه مورد مطالعه، سال‌های ۱۳۹۲، ۱۳۹۷ و ۱۴۰۲ به‌عنوان سال شاخص انتخاب شد. انتخاب این سال‌ها بر اساس شرایط اقلیمی سالانه، بر اساس شاخص‌های بارش و SPI، به نمایندگی از شرایط متفاوت هیدرو–اقلیمی تالاب انجام شد. هدف از این انتخاب، نمایش سه وضعیت کاملاً متمایز پوشش گیاهی تالاب در شرایط ترسالی، خشکسالی و وضعیت نرمال بوده است. طبقات پوشش گیاهی با استفاده از ابزار Reclassify در نرم‌افزار ArcGIS به چهار کلاس خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط و قوی طبقه‌بندی شدند.

– اولویت‌بندی عوامل تهدیدکننده تالاب

عوامل تهدیدکننده تالاب، از طریق بررسی‌های میدانی، مصاحبه با محیط‌بانان و کارشناسان منطقه، منابع علمی و گزارش‌های موجود شناسایی شد. سپس عوامل شناسایی شده به صورت ماتریس زوجی تنظیم و توسط ۱۷ نفر از افراد متخصص شامل محیط‌بانان منطقه، کشاورزان محلی، استاد دانشگاه و کارشناسان اداره کل محیط‌زیست، وزن‌دهی و نرخ‌سازگای CR[1] محاسبه شد. اگر نرخ‌سازگاری کمتر از ۰/۱۰ باشد، می‌توان سازگاری مقایسه‌ها را پذیرفت در غیر این صورت باید مقایسه‌ها مجدداً تکرار شود. برای انجام محاسبات از نرم‌افزار Super Decisions نسخه ۳/۲ استفاده شد.

نتایج

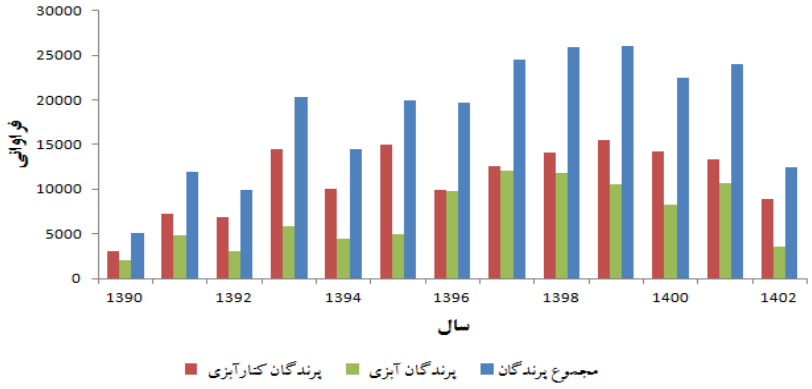
– تغییرات توصیفی فراوانی و تنوع گونه‌ای پرندگان

در فاصله زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲، تالاب گندمان دستخوش تغییرات چشمگیر و معناداری در الگوهای فراوانی و تنوع گونه‌ای پرندگان شده است. این تغییرات را می‌توان بازتابی از وضعیت بوم‌شناختی پیچیده، پویا و در عین حال شکننده این زیست‌بوم ارزشمند دانست. تحلیل داده‌های مربوط به سرشماری پرندگان تالاب گندمان در این بازه زمانی نشان می‌دهد که حداقل تعداد پرندگان مشاهده و ثبت شده برابر با ۵۰۲۸ فرد در سال ۱۳۹۰ بوده، در حالی که بیشترین تعداد با ۲۶۰۱۰ فرد به سال ۱۳۹۹ اختصاص دارد. این نوسانات قابل توجه، بیانگر تأثیر عوامل محیطی، اقلیمی و مدیریتی بر ظرفیت زیستگاهی تالاب است (شکل ۲). هم‌زمان با تغییرات جمعیتی، تنوع

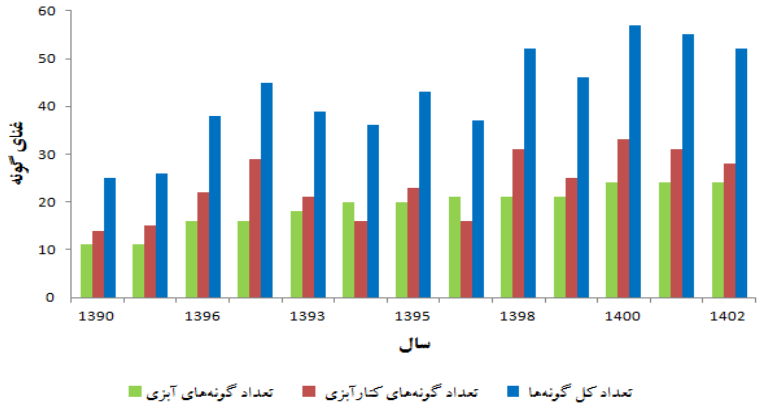
1. Consistency Ratio

گونه‌ای پرندگان تالاب گندمان نیز دچار نوسانات قابل‌توجهی شده است. به‌طورکلی، بیشترین تعداد گونه‌های شناسایی‌شده در این تالاب برابر با ۵۷ گونه در سال ۱۴۰۰ گزارش شده است، در حالی که کمترین میزان تنوع گونه‌ای با ثبت تنها ۲۵ گونه به سال ۱۳۹۰ تعلق دارد (شکل ۳).

پرندگان شناسایی شده در تالاب، براساس ویژگی‌های بوم‌شناختی و رفتاری در دو دسته پرندگان آبزی و کنار آبزی قرار گرفتند. بخش عمده فعالیت‌های حیاتی پرندگان آبزی[1] شامل تغذیه، استراحت و تولیدمثل، بر روی سطح آب یا درون پهنه‌های آبی انجام می‌گیرد و رژیم غذایی آن‌ها غالباً شامل ماهی‌ها، بی‌مهرگان آبزی و گیاهان آبزی است (Delany, 2006). در مقابل، پرندگان کنارآبزی[2] عمدتاً از منابع غذایی حاشیه‌ای و بستر کم‌عمق پهنه‌های آبی تغذیه می‌کنند و معمولاً دارای پاهای بلند و منقارهای باریک بوده که آن‌ها را قادر می‌سازد در آب‌های کم‌عمق راه رفته و به جست‌وجوی طعمه‌هایی مانند بی‌مهرگان، حشرات و کرم‌ها در سطح یا درون رسوبات بپردازند (Colwell, 2010). مقایسه نمودارهای مربوط به فراوانی و تعداد گونه‌های پرندگان آبزی و کنارآبزی نیز حاکی از تغییرات و نوسانات قابل توجه این دو گروه در سال‌های مختلف است. این نتایج نشان می‌دهد که پاسخ گونه‌ها به شرایط محیطی یکسان نبوده و هر گروه واکنش متفاوتی نسبت به تغییرات بوم‌شناختی تالاب از خود نشان داده‌اند. بر اساس داده‌های به‌دست آمده، تعداد و فراوانی گونه‌های کنارآبزی در مقایسه با پرندگان آبزی بیشتر بوده است (شکل ۲ و ۳). این الگو احتمالاً با پدیده خشکسالی، کاهش عمق آب و تغییرات پوشش گیاهی تالاب ارتباط دارد. به‌گونه‌ای که زیستگاه‌های مناسب‌تری را برای گونه‌های کنارآبزی فراهم کرده است. این موضوع در بخش بحث مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.



شکل ۲. تغییرات فراوانی پرندگان مهاجر تالاب گندمان از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲(منبع: یافته‌های پژوهش)



شکل ۳. تغییرات غنای گونه‌ای (تعداد گونه) پرندگان مهاجر تالاب گندمان از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۲ (منبع: یافته‌های پژوهش)

1. Waterfowls
2. Waders

– روند تغییرات اقلیمی، پوشش گیاهی و شاخص‌های تنوع پرندگان

نتایج تحلیل روند متغیرهای اقلیمی و زیست‌محیطی نشان داد که میانگین دمای سالانه (شکل ۴ الف) تالاب گندمان در طول دوره مورد مطالعه دارای روند افزایشی معنی‌دار ($Z = 2.0, p = 0.05$) بوده است. این افزایش دما می‌تواند نشان‌دهنده تشدید شرایط گرم‌تر اقلیمی در منطقه و افزایش فشارهای حرارتی بر اکوسیستم تالاب باشد. در مقابل، متغیر بارندگی سالانه روند کاهشی معنی‌داری را نشان داد ($Z = -2.2, p = 0.02$) که نشان‌دهنده کاهش ورودی‌های آبی طبیعی به تالاب طی سال‌های اخیر است. همسو با این تغییرات، شاخص خشکسالی نیز کاهش معنی‌دار را تجربه کرده است ($Z = -3.7, p = 0.00$) که بیانگر افزایش فراوانی و شدت دوره‌های خشکسالی و تشدید تنش‌های هیدرولوژیکی در محدوده تالاب گندمان است (شکل ۴ ب و ج).

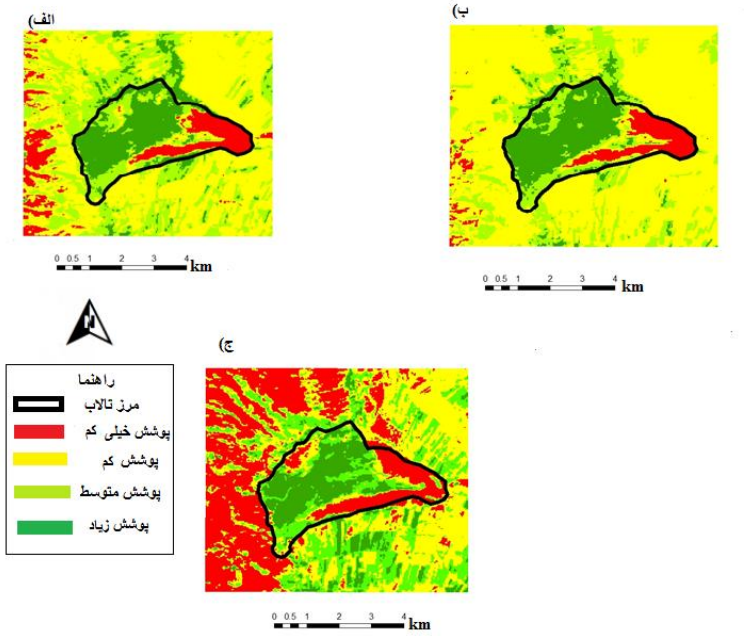
شاخص شانون–وینر روند کاهشی معنی‌داری ($Z = -1.9, p = 0.04$) را در این بازه زمانی نشان داد (شکل ۴ و). این شاخص که بیانگر ترکیب غنا و یکنواختی گونه‌هاست از مقدار ۳/۳۸ در سال ۱۳۹۰ به بالاترین مقدار خود (۳/۸۶) در سال ۱۳۹۸ رسید. پس از آن، کاهش تدریجی مشاهده شد و کمترین مقدار شاخص در سال ۱۴۰۱ با ۳/۱۶ ثبت شد. شاخص تنوع سیمپسون نیز روند مشابهی را دنبال کرد (شکل ۴ ه). این شاخص از ۰/۸۱ در سال ۱۳۹۰ به مقدار ۰/۸۸ در سال ۱۳۹۵ رسید و سپس با کاهش نسبی به مقدار ۰/۸۰ در سال ۱۴۰۲ منتهی شد. شاخص یکنواختی کامارگو نیز روند کاهشی معنی‌داری ($Z = -1.6, p = 0.04$) را نشان داد (شکل ۴پ ز). این شاخص که بازتاب‌دهنده تغییرات در توزیع نسبی گونه‌ها است، از ۰/۲۵ در سال ۱۳۹۰ آغاز شد و با نوساناتی در سال‌های بعد، به حداقل ۰/۱۱ در سال ۱۴۰۰ و پس از آن با افزایش نسبی به ۰/۱۵ در سال ۱۴۰۲ رسید. با وجود افزایش تنوع در برخی سال‌ها، در سال‌های پایانی دوره مطالعه ترکیب و توزیع گونه‌ها با ناپایداری مواجه شده است. این روند می‌تواند بیانگر افزایش غلبه برخی گونه‌ها و کاهش یکنواختی جامعه پرندگان در سال‌های اخیر باشد.

شاخص NDVI به‌عنوان نمایانگر وضعیت پوشش و فعالیت فتوسنتزی گیاهان، در بازه زمانی مورد مطالعه روند افزایشی معنی‌دار ($Z = 2.6, p = 0.02$) را نشان داد (شکل ۴ د). میانگین سالانه شاخص NDVI تالاب گندمان بیانگر نوسانات قابل توجه پوشش گیاهی در طول دوره مطالعه است. مقادیر این شاخص در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ نزدیک به صفر بوده که حاکی از پوشش گیاهی کم و وجود پهنه‌های آبی بیشتر در سطح تالاب است. از سال ۱۳۹۴ به بعد، روند افزایشی نسبی در مقادیر NDVI مشاهده می‌شود که بیانگر بهبود تدریجی شرایط پوشش گیاهی است؛ به‌طوری‌که این شاخص در سال ۱۳۹۷ به بیشینه مقدار خود در دوره مورد بررسی می‌رسد. پس از این سال نیز، مقادیر NDVI نوسان داشته که نشان‌دهنده پویایی و حساسیت پوشش گیاهی تالاب نسبت به تغییرات شرایط محیطی است. این تغییرات با نتایج مربوط به طبقات مختلف پوشش گیاهی (شکل ۵) همخوانی دارد. در این طبقه‌بندی، چهار طبقه شامل پوشش خیلی کم (قرمز)، کم (زرد)، متوسط (سبز روشن) و زیاد (سبز تیره) مشخص گردید. در سال ۱۳۹۲، بیشترین بخش تالاب در طبقات پوشش خیلی کم و کم قرار داشت (شکل ۵ الف)، در ۱۳۹۷، گسترش قابل توجه طبقه پوشش زیاد و کاهش مناطق کم‌پوشش و پهنه آبی را نشان می‌دهد (شکل ۵ ب). در ۱۴۰۲، پوشش متوسط و زیاد همچنان غالب است (شکل ۵ ج)، اما افزایش مجدد مناطق کم‌پوشش در حاشیه‌های تالاب بیانگر تأثیر نوسانات اقلیمی و فشارهای انسانی است. به‌طورکلی، یافته‌ها نشان می‌دهند که تالاب گندمان طی بازه زمانی مطالعه دستخوش نوسانات دوره‌ای در تراکم و کیفیت پوشش گیاهی بوده است که احتمالا بیانگر تأثیر توأمان عوامل محیطی، اقلیمی و انسانی بر وضعیت بوم‌شناختی تالاب گندمان است. بررسی دقیق‌تر علل و سازوکارهای مؤثر بر این تغییرات، در بخش بحث مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است.

– اثر تغییرات اقلیمی و پوشش گیاهی بر فراوانی و تنوع پرندگان

بررسی ارتباط NDVI، دما، بارش و شاخص خشکسالی با فراوانی، تعداد گونه و شاخص‌های تنوع و یکنواختی پرندگان نشان داد که رابطه معنی‌داری بین متوسط دما با تعداد گونه، فراوانی و شاخص‌های تنوع و یکنواختی وجود ندارد (جدول ۱). شاخص NDVI اثر مثبت و معناداری را بر فراوانی ($r = 0.68, p = 0.02$)، تعداد گونه ($r = 0.65, p = 0.01$) و شاخص‌های تنوع شانون–وینر ($r = 0.60, p = 0.01$)، شاخص سیمپسون ($r = 0.72, p = 0.01$) و کامارگو ($r = 0.70, p = 0.01$) نشان داد. میزان بارش ارتباط مثبت معنی‌داری را با فراوانی (r

r = 0.57, p = 0.02)، تعداد گونه (r = 0.63, p = 0.01) و شاخص‌های تنوع شانون–وینر (r = 0.56, p = 0.02)، شاخص سیمپسون (r = 0.52, p = 0.02) و کامارگو (r = 0.69, p = 0.02) نشان دادند. در خصوص شاخص خشکسالی نیز رابطه مثبت معنی‌دار با فراوانی، تعداد گونه و شاخص‌های تنوع شانون–وینر، شاخص سیمپسون و کامارگو مشاهده شد (جدول ۱).



شکل ۵. نقشه‌های طبقه‌بندی NDVI تالاب گندمان در سال‌های ۱۳۹۲ (الف)، ۱۳۹۷ (ب) و ۱۴۰۲ (ج). (منبع: یافته‌های پژوهش)

جدول ۱. ضریب همبستگی (r) و معنی داری (*p*) رابطه بین شاخص‌های تنوع و یکنواختی پرندگان تالاب گندمان نسبت به NDVI، دما، بارش و SPI

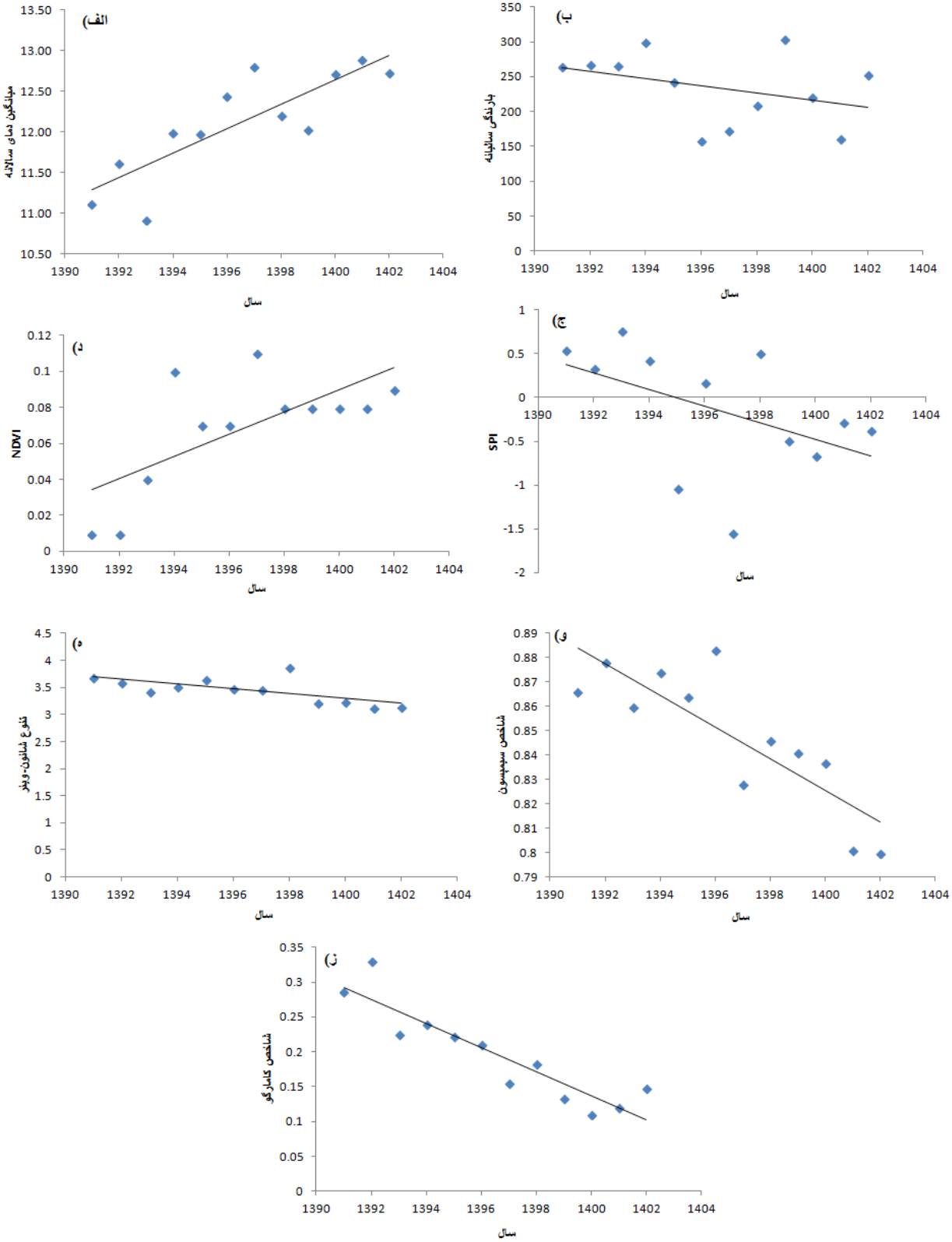
شاخص	فراوانی		تعداد گونه		شاخص تنوع سیمپسون		شاخص تنوع شانون–وینر		شاخص کامارگو	
	r	*p*	r	*p*	r	*p*	r	*p*	r	*p*
NDVI	۰/۶۸	۰/۰۲	۰/۶۵	۰/۰۱	۰/۶۰	۰/۰۱	۰/۷۲	۰/۰۱	۰/۷۰	۰/۰۱
متوسط دما	−۰/۳۸	۰/۳	−۰/۱۲	۰/۵	−۰/۳۴	۰/۶	−۰/۲۸	۰/۴	−۰/۲۲	۰/۷
بارش ثبت شده	۰/۵۷	۰/۰۲	۰/۶۳	۰/۰۱	۰/۵۶	۰/۰۲	۰/۵۲	۰/۰۲	۰/۶۹	۰/۰۲
SPI	۰/۵۲	۰/۰۱	۰/۶۲	۰/۰۱	/۶۰	۰/۰۱	۰/۵۸	۰/۰۱	۰/۶۴	۰/۰۱

– اولویت‌بندی عوامل تهدیدکننده تالاب

به‌طورکلی براساس مطالعات میدانی وگزارش‌های موجود، عوامل تهدیدکننده تالاب شامل هشت عامل انسانی و پنج عامل طبیعی شناسایی شد (جدول ۲). این عوامل به‌صورت ماتریس جفتی و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی رتبه‌بندی شدند. عدم وجود قضاوت‌های نادرست بیانگر برقراری شرط سازگاری ما بین مقایسه‌های زوجی بوده و ضریب ناسازگاری برابر ۰/۰۶ نشان‌دهنده سطح منطقی پایداری در فرایند تحلیل سلسله مراتبی بود.

عوامل انسانی با مجموع وزن ۰/۷۰ (۷۰ درصد) بیشترین سهم و عوامل طبیعی ۳۰ درصد از تهدیدات تالاب را به خود اختصاص دادند. بر اساس نتایج حاصل، بیشترین وزن محاسبه شده مربوط به چهار عامل تخریب شامل برداشت آب کشاورزی (۰/۳۰)، خشکسالی (۰/۲۵)، ورود فاضلاب (۰/۱۳) و چرای دام (۰/۱۱) بود. سهم نسبی عوامل تهدیدکننده نشان می‌دهد که فعالیت‌های انسانی تهدیدی جدی برای تالاب است، در حالی که تهدیدات طبیعی به‌ویژه خشکسالی نقش تشدیدکننده دارند. بدون تردید شناخت درست و دقیق روند تغییرات یک تالاب و عوامل تهدیدکننده آن، براساس اهمیت و میزان تأثیرگذاری آن‌ها، می‌تواند زمینه را برای جلوگیری و مقابله اصولی

با این عوامل و نیز تهیه و اجرای دقیق طرح‌های حفاظت از تالاب فراهم آورد.



شکل ۴. روند تغییرات اقلیمی، پوشش گیاهی و شاخص‌های تنوع‌زیستی در تالاب گندمان (منبع: یافته‌های پژوهش)

جدول ۲. عوامل تهدیدکننده تالاب گندمان و وزن نسبی هر عامل (منبع: یافته‌های پژوهش)

عامل تهدیدکننده	وزن نسبی عامل
خشکسالی	۰/۲۵
ریزگرد	۰/۰۱
افزایش دما	۰/۰۲
آتش‌سوزی	۰/۰۱
سیلاب	۰/۰۲
ورود فاضلاب	۰/۱۳
برداشت آب کشاورزی	۰/۳۰
زهکشی تالاب	۰/۰۴
حفر چاه	۰/۰۷
صید آبزیان و شکار	۰/۰۳
چرای دام	۰/۱۱
ورود گونه غیربومی	۰/۰۱
ساخت‌وساز غیرمجاز	۰/۰۱

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که تنوع و فراوانی پرندگان تالاب گندمان در بازه زمانی مورد مطالعه نوسانات زیادی داشته‌اند. افزایش فراوانی و تنوع گونه‌ای بیانگر توان تالاب در فراهم آوردن زیستگاه‌های مناسب، منابع غذایی کافی و حمایت از چرخه‌های مهاجرت پرندگان است. با این حال، کاهش جمعیت و تنوع گونه‌ها در سال‌های اخیر، به‌ویژه در گروه آبزی، هشداری جدی از اثرات فشارهای انسانی، نوسانات اقلیمی، خشکسالی و محدودیت منابع غذایی به‌شمار می‌آید (Donchyts et al., 2016; Moomaw et al., 2018). نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین که بر حساسیت پرندگان تالابی نسبت به ویژگی‌های زیستگاهی تأکید دارند، همخوانی دارد. پرندگانی که در تالاب‌ها زیست می‌کنند به تغییر ویژگی‌های تالاب واکنش منفی نشان می‌دهند (Haig et al., 2019). به‌عنوان نمونه، پرندگان آبزی و کنارآبزی در انتخاب زیستگاه بهینه دارای تفاوت‌های قابل‌توجهی هستند (Maclean et al., 2007). ویژگی‌های تالاب از جمله وسعت تالاب، عمق آب، نوسانات سطح آب، شوری و پوشش گیاهی، نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان استفاده پرندگان آبزی و کنارآبزی از تالاب‌ها دارند (Ma et al., 2010; Tavernia et al., 2021). عوامل کلیدی مؤثر بر تنوع جوامع پرندگان تالابی شناسایی شده و وابستگی فراوانی و غنای گونه‌ای پرندگان آبزی به خصوصیات تالاب و پهنه‌های آبی در مطالعات مختلف تأیید شده است (Baschuk et al., 2012; Rajpar and Zakaria, 2011).

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تغییرات شاخص‌های کمّی شامل بارش، دما، NDVI و سطح آب تالاب، به‌طور معناداری با الگوی تغییرات گروه‌های مختلف پرندگان مرتبط است. کاهش معنی‌دار بارش و افزایش دما، که به‌عنوان شاخص‌های کلیدی تغییر اقلیم شناخته می‌شوند، موجب تشدید خشکسالی و کاهش ورودی آب به تالاب شده است. چنین شرایطی به‌طور مستقیم ساختار زیستگاهی تالاب را تغییر می‌دهد (IPCC, 2021). کاهش سطح آب تالاب باعث گسترش پهنه‌های کم‌عمق و بسترهای مرطوب حاشیه‌ای شده است که زیستگاه مطلوب پرندگان کنارآبزی محسوب می‌شود. این پرندگان وابستگی بالایی به زمین‌های گِلی، مناطق کم‌عمق و وفور بی‌مهرگان کف‌زی دارند و مطالعات متعدد نشان داده‌اند که کاهش پهنه آب می‌تواند فراوانی و تنوع آن‌ها را افزایش دهد (Ma et al., 2010; Murray et al., 2014). بنابراین، افزایش نسبی شاخص‌های مرتبط با این گروه از پرندگان در شرایط کاهش بارش و سطح آب، با مبانی بوم‌شناختی کاملاً همخوان است. در مقابل، پرندگان آبزی وابسته به آب‌های عمیق‌تر، نظیر اردک‌ها و غواص‌ها، به سطوح وسیع آب و عمق بیشتر برای تغذیه و استراحت نیاز دارند. کاهش سطح آب و افزایش تبخیر ناشی از افزایش دما، منجر به کاهش کیفیت زیستگاه این گروه شده و در نتیجه افت نسبی فراوانی آن‌ها را به دنبال داشته است؛ الگویی که در تالاب‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌طور گسترده گزارش شده است (Kingsford and Porter, 2009).

حساسیت و تاثیرپذیری پرندگان مهاجر نسبت به تغییرات محیطی نظیر سطح پوشش تالاب، ضرورت مدیریت پایدار و حفاظت هدفمند زیستگاه‌های تالابی را نیز برجسته می‌کند (Cui et al., 2024). کاهش شاخص یکنواختی نشان می‌دهد که توزیع متوازن جمعیت گونه‌ها در تالاب به مرور کاهش یافته و برخی گونه‌ها غالب شده‌اند. چنین تغییراتی می‌تواند ناشی از فشارهای انسانی، تغییرات کاربری اراضی، نوسانات اقلیمی و محدودیت منابع غذایی باشد (Mao et al., 2019). تحلیل هم‌زمان شاخص‌های یکنواختی کامارگو و سیمپسون امکان بررسی دقیق‌تر ساختار جامعه پرندگان، شناسایی دوره‌های آسیب‌پذیری و ارائه مبنای علمی برای طراحی راهبردهای مدیریت پایدار و حفاظت هدفمند تالاب گندمان را فراهم می‌آورد (مهدیان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۹).

همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تنوع و فراوانی پرندگان و شاخص NDVI مشاهده شد که یک رابطه بوم‌شناختی شناخته شده است که شاخص سلامت، تراکم و فعالیت فتوسنتزی پوشش گیاهی می‌باشد (Rimal et al., 2019). افزایش این شاخص در تالاب نشان‌دهنده تراکم گیاهان آبزی نظیر نی، لویی و گیاهان شناور است که به‌عنوان غذا، محل آشیانه‌سازی و پناهگاه توسط پرندگان مورد استفاده قرار می‌گیرد. با افزایش این شاخص، تراکم و تنوع گیاهی بیشتر شده و تنوع ساختاری افزایش می‌یابد و شرایط زیستگاه برای انواع گونه‌های وابسته به تالاب فراهم می‌شود (Fairbarin, et al., 2025). به‌عنوان مثال، در تالاب‌های بین‌المللی انزلی، آلماگل، آلاگل و آجی‌گل، کاهش شاخص NDVI و از بین رفتن پوشش گیاهی در سال‌های خشک با کاهش تنوع پرندگان و ماهیان همراه بوده است (نظری و همکاران، ۱۴۰۱). افزایش جمعیت دوزیستان، ماهی‌ها و حشرات که غالباً غذای پرندگان هستند نیز باعث افزایش فراوانی و تنوع پرندگان می‌شود (Nieto et al., 2015).

از سوی دیگر، افزایش NDVI بیانگر رشد و گسترش پوشش گیاهی تالاب، به‌ویژه گیاهان آبزی و نیمه‌آبزی نظیر نیزارها است. افزایش پوشش گیاهی می‌تواند هم‌زمان دو اثر متفاوت بر پرندگان داشته باشد: از یک‌سو، زیستگاه و پناهگاه مناسبی برای برخی گونه‌های پرندگان کنارآبزی و وابسته به پوشش گیاهی فراهم می‌کند؛ و از سوی دیگر، با محدود کردن سطح آب آزاد، می‌تواند شرایط زیستگاهی پرندگان آبزی نیازمند پهنه‌های باز آبی را تضعیف کند (Zhang et al., 2021). بنابراین، پاسخ گروه‌های مختلف پرندگان به تغییرات شاخص‌های کمّی محیطی، تابعی از نیازهای بوم‌شناختی آن‌ها به عمق آب، وسعت سطح آب و ساختار پوشش گیاهی است.

همبستگی بارش و شاخص SPI با فراوانی و تنوع پرندگان در تالاب گندمان نشان‌دهنده تأثیر مستقیم شرایط اقلیمی بر حیات موجودات در این منطقه است. بررسی‌های انجام شده حاکی از آن است که در سال‌های مرطوب با SPI مثبت، به ویژه در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، تنوع‌زیستی تالاب افزایش یافته است. این افزایش را می‌توان به ورود بیشتر آب به تالاب، بهبود شرایط زیستگاه‌های آبی و افزایش پوشش گیاهی تالاب نسبت داد. ورودی‌های آبی بیشتر نه‌تنها موجب تثبیت اکوسیستم می‌شود بلکه شرایط مناسب‌تری را برای رشد و توسعه گونه‌ها فراهم می‌آورد. از سوی دیگر، سال‌هایی که شاخص SPI منفی بوده و منجر به کاهش منابع آبی تالاب شده، با افت تنوع‌زیستی تالاب هم‌زمان بوده و کیفیت زیستگاه را تحت تأثیر قرار داده است. بنابراین، نتایج نشان‌دهنده اهمیت بالای مدیریت منابع آب برای حفظ تنوع بیولوژیکی در تالاب گندمان هستند. در مطالعات مشابه تغییرات هیدرو–اقلیمی تالاب‌ها، که مشتمل بر نوسانات زیاد در رژیم بارش و دما است منجر به از بین رفتن برخی از گونه‌های گیاهی و جانوری تالاب، تغییر در ترکیب گونه‌ای پرندگان وابسته با تالاب شده است (Zhang et al., 2021) که باعث تغییر ساختار و عملکرد اکوسیستم تالاب می‌شود. بررسی تغییرات شاخص خشکسالی در دلتای رود گنگ در هند نشان داد که تغییر در جریانات ورودی به آن بر مطلوبیت زیستگاه و در نتیجه حضور و فراوانی پرندگان آبزی و کنار آبزی به شدت تأثیر گذاشته است (Rajpar and Zakari, 2011). در تالاب‌های غرب بنگال نیز، قوها و پلیکان‌های مهاجر پس از ارزیابی اولیه زیستگاه، به سمت تالاب‌های دیگر مهاجرت نمودند (Mandal et al., 2022).

شاخص NDVI به‌عنوان یکی از مهمترین نماگرهای سنجش وضعیت پوشش گیاهی و شدت فعالیت فتوسنتزی، در بازه زمانی مورد مطالعه روند افزایشی معنی‌داری را نشان داده است. این افزایش، در شرایطی رخ داده که هم‌زمان دمای منطقه روندی افزایشی و میزان بارش کاهش معنی‌داری را تجربه کرده است. تداوم افزایش NDVI در چنین شرایطی می‌تواند بیانگر آن باشد که بهبود پوشش گیاهی تالاب صرفاً تحت تأثیر عوامل اقلیمی نبوده و فرآیندهای درونی اکوسیستم نیز نقش مؤثری در این تغییرات ایفا کرده‌اند. بر این اساس، می‌توان این فرضیه را مطرح کرد که افزایش پوشش گیاهی تالاب تا حدی ناشی از فرآیند توالی بوم‌شناختی تالاب در نتیجه پدیده

پرغذایی[1] باشد. پرغذایی معمولاً در اثر ورود بیش از حد مواد مغذی، به‌ویژه نیتروژن و فسفر، به اکوسیستم‌های آبی رخ می‌دهد و می‌تواند منجر به افزایش رشد گیاهان آبزی و ماکروفیت‌ها و در نهایت تغییر ساختار پوشش گیاهی تالاب شود. تخلیه فاضلاب انسانی و پساب‌های کشاورزی از مهمترین منابع ورود این مواد مغذی به تالاب‌ها محسوب می‌شوند (Mitsch & Gosselink, 2015).

در این پژوهش، ورود فاضلاب به‌عنوان یکی از عوامل تهدیدکننده تالاب شناسایی شد و در فرآیند اولویت‌بندی تهدیدها، سهم نسبی قابل‌توجهی را به خود اختصاص داد. با این حال، در محدوده مورد مطالعه، اطلاعات دقیق و مستندی از میزان، ترکیب و الگوی تخلیه فاضلاب انسانی یا پساب کشاورزی در دسترس نبود. افزون بر این، ارزیابی کمّی بار مواد مغذی ورودی و تحلیل غلظت عناصر نیتروژن و فسفر خارج از اهداف این پژوهش است. از این‌رو، تأیید نقش پرغذایی در افزایش پوشش گیاهی تالاب نیازمند انجام مطالعات تکمیلی هیدروشیمیایی و پایش کیفی آب در مقیاس زمانی بلندمدت است.

این پژوهش نشان داد که فعالیت‌های انسانی با اختصاص حدود ۷۰ درصد از وزن نهایی، به‌عنوان اصلی‌ترین عامل تهدیدکننده تالاب مورد مطالعه شناخته می‌شوند. این یافته بیانگر آن است که فشارهای انسان‌زاد، نقش غالب و تعیین‌کننده‌ای در تضعیف ساختار و کارکردهای بوم‌شناختی تالاب دارند. در عین حال، عوامل طبیعی به‌ویژه خشکسالی، اگرچه به‌تنهایی سهم کمتری در رتبه‌بندی تهدیدها داشته‌اند، اما به‌عنوان عامل تشدیدکننده اثرات فعالیت‌های انسانی عمل می‌کنند و از طریق کاهش منابع آبی و تضعیف تاب‌آوری اکوسیستم، پیامدهای منفی مداخلات انسانی را تقویت می‌نمایند. این هم‌افزایی میان عوامل طبیعی و انسانی، پیچیدگی فرآیند تخریب تالاب‌ها را آشکار ساخته و لزوم توجه هم‌زمان به هر دو دسته عوامل را برجسته می‌کند. یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعات پیشین در زمینه ارزیابی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر تخریب تالاب‌های ایران همخوانی قابل‌توجهی دارد. برای نمونه، جعفری‌آذر و همکاران (۱۳۹۹) در ارزیابی تهدیدهای تالاب‌های سواحل جنوبی ایران با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نشان دادند که آلودگی‌های نفتی، احداث سد در بالادست، پدیده خشکسالی و تغییرات اقلیمی از مهمترین عوامل تخریب این تالاب‌ها به‌شمار می‌روند. تأکید این پژوهش بر نقش غالب فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه مداخلات زیرساختی و آلودگی‌ها، مؤید نتایج مطالعه حاضر است و نشان می‌دهد که الگوی تخریب تالاب‌ها در مقیاس ملی، تا حد زیادی تحت تأثیر تصمیمات مدیریتی و بهره‌برداری ناپایدار از منابع‌طبیعی قرار دارد. همچنین نتایج حاصل از بررسی عوامل مؤثر بر تخریب تالاب امیرکلایه در استان گیلان نشان می‌دهد که چالش‌های مدیریتی و نهادی، از جمله بخشی‌نگری سازمان‌های ذی‌نفع، فقدان آگاهی کافی نسبت به ارزش‌ها و کارکردهای بوم‌شناختی تالاب و عدم اصلاح و به‌روزرسانی قوانین بازدارنده، نقش اساسی در روند تخریب این تالاب ایفا کرده‌اند (عابدی و جنسی، ۱۳۹۹). این یافته‌ها نشان می‌دهد که صرف وجود عوامل طبیعی یا فشارهای فیزیکی کافی نیست، بلکه ضعف در نظام حکمرانی محیط‌زیست و نبود هماهنگی نهادی، شدت و سرعت تخریب تالاب‌ها را افزایش می‌دهد. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت پایدار تالاب‌ها مستلزم اتخاذ رویکردی یکپارچه و چندبُعدی است؛ رویکردی که به‌طور هم‌زمان کنترل و کاهش فشارهای انسانی، بازنگری در الگوهای بهره‌برداری از منابع آب، ارتقای هماهنگی نهادی و برنامه‌ریزی سازگار با تغییرات اقلیمی را مدنظر قرار دهد. چنین رویکردی می‌تواند ضمن کاهش آسیب‌پذیری تالاب‌ها در برابر خشکسالی، ظرفیت بوم‌شناختی آن‌ها را برای مقابله با تنش‌های محیطی افزایش دهد. در نهایت، نتایج این پژوهش نشان داد که ادغام شاخص‌های تنوع‌زیستی پرندگان با شاخص پوشش گیاهی می‌تواند چارچوبی کارآمد و علمی برای پایش وضعیت بوم‌شناختی تالاب‌ها فراهم آورد. این رویکرد تلفیقی، ابزاری مؤثر برای اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی و حفاظتی به‌شمار می‌رود. بدین‌ترتیب، استفاده از این چارچوب می‌تواند مبنای تصمیم‌گیری آگاهانه در سطوح منطقه‌ای و ملی بوده و به بهبود سیاست‌گذاری و مدیریت پایدار تالاب‌های کشور کمک نماید.

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که تالاب گندمان نوسانات بوم‌شناختی قابل‌توجهی را تجربه کرده است، به طوری که هم تنوع‌زیستی و هم پوشش گیاهی به عوامل اقلیمی و انسانی حساسیت نشان می‌دهند. فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه برداشت بی‌رویه آب و پساب‌های

1. Eutrophication

کشاورزی، به‌عنوان تهدیدهای اصلی شناسایی شدند، در حالی که تغییرات اقلیمی، نظیر کاهش بارش و خشکسالی، این تأثیرات را تشدید کرد. این مطالعه بر اهمیت حیاتی منابع آب کافی و سلامت اکوسیستم به‌عنوان عوامل کلیدی مؤثر بر پویایی جمعیت گونه‌های مختلف پرندگان مهاجر تأکید می‌کند. فعالیت‌های انسانی، به‌ویژه استخراج کنترل نشده آب و پساب‌های کشاورزی، به‌عنوان تهدیدات اصلی شناسایی شدند، در حالی که تغییرات اقلیمی این تأثیرات را تشدید کرد. مدیریت پایدار تالاب نیازمند رویکردهای یکپارچه‌ای است که بر تنظیم فشارهای انسانی، بازنگری در بهره‌برداری از منابع آب و اجرای استراتژی‌های سازگاری برای مقابله با تغییرات اقلیمی تمرکز دارند. علاوه بر این، تلفیق شاخص‌های تنوع‌زیستی با داده‌های سنجش‌ازدور چارچوبی قدرتمند برای پایش تالاب، هشدار اولیه و برنامه‌ریزی حفاظتی در سطح ملی و بین‌المللی ارائه می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهد که هرگونه تغییر در شرایط اقلیمی نه تنها بر جمعیت پرندگان، بلکه بر کل اکوسیستم تالاب گندمان نیز تأثیر خواهد گذاشت. بنابراین، اجرای اقداماتی برای حفاظت از این مناطق حساس و تضمین پایداری آنها ضروری است. حفظ و احیای این زیستگاه ارزشمند مستلزم مدیریت کارآمد منابع آب، اجرای برنامه‌های حفاظت و احیای زیستگاه و افزایش آگاهی عمومی از اهمیت اکوسیستم است. مشارکت سازمان‌های دولتی، جوامع محلی و محققان می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی در حفظ این تالاب و تضمین پایداری آن برای نسل‌های آینده نقش داشته باشد. سیستم مدیریت منابع آب منطقه‌ای نیازمند بازنگری با تمرکز بر تضمین تأمین پایدار آب برای تالاب و جلوگیری از برداشت‌های غیرمجاز است. مقررات سختگیرانه‌تری برای کنترل حفر چاه‌های غیرقانونی و کاهش فشار بر منابع آب زیرزمینی لازم است و سیاست‌های احداث بند خاکی و کانال‌های انحرافی برای حفظ جریان متعادل آب به تالاب نیازمند ارزیابی مجدد است.

یکی از مهمترین محدودیت‌های این پژوهش، دسترسی به آمار دقیق و پیوسته از جمعیت و تنوع پرندگان تالاب در بازه زمانی مورد مطالعه است. محدودیت‌های مدیریتی، از جمله کمبود نیروی انسانی متخصص و مجرب و تفاوت در توان اجرایی تیم‌های سرشماری در سال‌های مختلف، می‌تواند بر دقت و یکنواختی داده‌های حاصل از پایش پرندگان تأثیر گذاشته و موجب بروز عدم قطعیت در مقایسه بین‌سالانه نتایج شود. علاوه بر این، سرشماری سالیانه پرندگان که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست انجام می‌شود، معمولاً به چند روز محدود در هر سال بوده است. این پایش کوتاه‌مدت ممکن است به دلیل تغییرات شرایط جوی، نوسانات فصلی حضور پرندگان، و محدودیت‌های امنیتی منطقه در زمان سرشماری، نمایانگر وضعیت واقعی و کامل جمعیت پرندگان تالاب نباشد و در نتیجه اریبی‌های نسبی در داده‌ها ایجاد کند. در این راستا، پیشنهاد می‌شود پایش‌های فصلی یا چندمرحله‌ای در طول سال انجام گیرد تا تغییرات زمانی و رفتاری پرندگان با دقت بیشتری ثبت شود.

از دیگر محدودیت‌های این مطالعه، نبود داده‌های کمّی مربوط به کیفیت آب و بار مواد مغذی (نظیر نیتروژن و فسفر) است. این متغیرها می‌توانند نقش مهمی در بروز پدیده پرغذایی، تسریع فرآیند توالی تالاب و افزایش پوشش گیاهی داشته باشند. در پژوهش‌های آینده، پایش هم‌زمان پارامترهای کیفی آب و منابع بالقوه ورودی پساب‌های کشاورزی و فاضلاب انسانی در کنار شاخص‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی مدنظر قرار گیرد تا امکان تفکیک دقیق‌تر اثرات عوامل طبیعی و انسانی فراهم شود.

همچنین، اگرچه شاخص NDVI ابزار مناسبی برای بررسی تغییرات مکانی- زمانی پوشش گیاهی است، اما توانایی تفکیک انواع گیاهان تالابی و مراحل مختلف توالی بوم‌شناختی را به‌صورت دقیق ندارد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از داده‌های سنجش‌ازدور با تفکیک مکانی و طیفی بالاتر، یا ترکیب آن‌ها با برداشت‌های میدانی پوشش گیاهی، استفاده شود تا تفسیر تغییرات پوشش گیاهی با دقت بیشتری انجام گیرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

مرضیه غفاری: تهیه و آماده‌سازی نمونه‌ها، انجام آزمایش و گردآوری داده‌ها، انجام محاسبات، تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیش‌نویس مقاله.

منصوره ملکیان: استاد راهنمای پایان‌نامه، طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله

فهیمه اسلامی: استاد مشاور پایان‌نامه، مشارکت در طراحی پژوهش و جمع‌آوری داده‌ها و بازبینی مقاله

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

حامی مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه صنعتی اصفهان در قالب پژوهانهٔ پایان‌نامه دانشجویی نویسنده اول و همچنین پژوهانهٔ سایر نویسندگان انجام شده و حمایت مالی مشخصی از نهادهای دولتی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری و مساعدت اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان چهارمحال‌وبختیاری 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. از آقای دکتر محسن احمدی، که با نظرات و پیشنهادات ارزشمندشان به غنای این پژوهش افزودند، سپاسگزاری می‌شود.

منابع

۱. انصاری‌نیا، مصطفی؛ صادقی‌نیا، مجید.؛ قانعی، محمدجواد. و ایرانمنش، یعقوب. (۱۴۰۰). ارزیابی و سنجش آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب گندمان. *اکوبیولوژی تالاب*، ۱۳(۴۷)، ۳۵-۵۰. https://sid.ir/paper/1032100/fa

۲. ایرانمنش، یعقوب؛ جهانبازی گوجانی، حسن؛ شیرمردی، حمزه علی؛ شمس‌الدینی، شهباز و حبیبی، محسن. (۱۳۹۹). برآورد ارزش اقتصادی کارکرد ترسیب کربن، تولید اکسیژن و تولید علوفه در تالاب گندمان. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲(۲)، ۲۶۵-۲۷۵. https://doi.org/ 10.22092/ijrdr.2020.122766.1752

۳. جعفری‌آذر، سمیرا؛ سبزقبایی، غلامرضا؛ توکلی، مرتضی و دشتی، سولماز. (۱۳۹۹). ارزیابی ریسک و درجه‌بندی پایداری محیط‌زیستی تالاب‌های بین‌المللی سواحل جنوبی ایران، فصلنامه مخاطرات محیط طبیعی، ۹ (۲۳)، ۴۱-۶۲ . https://doi.org\10.22111/ JNEH.2019.28320.1487

۴. حسینی‌طایفه، فرهاد و عاشوری، عباس. (۱۴۰۰). بررسی روند تغییرات جمعیت و تنوع پرندگان آبزی زمستان‌گذران تالاب‌ها و نوار ساحلی جنوب دریای‌خزر، *نشریه محیط زیست طبیعی*، ۷۴ (۴) ۸۰۹-۸۲۴ https://doi.org10.22059/jne.2022.328521.2271

۵. سالارپور، رقیه؛ ملکیان، منصوره و قدیریان، امید. (۱۴۰۰). پایش تغییرات و رتبه‌بندی عوامل تهدید کننده تالاب میانگران، استان خوزستان، نشریه محیط زیست طبیعی، ۷۴ (۱)، ۸۳-۹۵. https://doi.org10.22059/JNE.2021.309286.2063

۶. عابدی، طوبی و جنسی، زهرا. (۱۳۹۹). بررسی عوامل مؤثر بر تخریب تالاب با توجه به معیارهای پشتیبان تصمیمگیری سیپا با رویکرد دلفی فازی (مطالعه موردی: تالاب امیرکلایه، استان گیلان). *مطالعات علوم محیط زیست*، ۵(۲) ۸۹-۹۶.

۷. عبداله‌آبادی، مهسا.؛ ملکیان، منصوره. و پورمنافی، سعید. (۱۴۰۲). تنوع و فراوانی پرندگان مهاجر تالاب بند علیخان ورامین و ارتباط آن با نوسانات آب تالاب و خشکسالی، *بوم‌شناسی کاربردی*، ۱۲(۴) ۳۱-۴۴ http://dx.doi.org/10.47176/ijae.12.4.1181

۸. فتاحی نافچی، ر. (۱۳۹۴). *طرح مطالعه جامع تالاب گندمان به منظور دستیابی به پروژه‌های احیای تالاب (جلد دوم)*. اداره کل محیط زیست استان چهارمحال‌وبختیاری ، شهرکرد، ۴۵۰ ص.

۹. محمدی‌نسب، مریم. (۱۴۰۲). بررسی تنوع‌زیستی پرندگان تالاب تنودر دورود. *اکوبیولوژی تالاب*، ۸(۱۴)، ۱۷۷-۱۸۶ . https://doi.org/10.61186/jert.41446.8.14.177

۱۰. مهدیان‌زاده، فریده؛ سرهنگ زاده، جلیل و دهقان دهنوی، حجت. ۱۳۹۹. شناسایی پرندگان زمستان گذران تالاب مصنوعی یزد. *اکوبیولوژی تالاب*، ۱۲ (۴۶): ۱۹-۲۸. https://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-918-fa.html

۱۱. نظری، نرجس؛ شمس اسفندآباد، بهمن؛ وروانی، جواد؛ احمدی، عباس و ترنج‌زر. حمید. (۱۴۰۱). تغییرات کاربری اراضی محدوده تالاب و تنوع پرندگان آبزی و کنارآبزی در تالاب‌های بین‌المللی انزلی، آلماگل، آلاگل و آجی‌گل، *مدلسازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۳)، ۲۷-۳۹. https://doi.org/10.22098/mmws.2022.9871.1068

References

1. Abdolahabadi, M., Malekian, M. & Pourmanafi, S. (2024). Diversity and Abundance of Migratory Birds in Bandalikhan Wetland in Relation to Water Fluctuations and Drought. *IJAE*, 12(4), 31. http://dx.doi.org/10.47176/ijae. 12.4.1181 [In Persian]
2. Abedi, T., & Jensi, Z. (2020). Investigation of factors affecting wetland degradation based on SIPA decision-support criteria using a fuzzy Delphi approach: A case study of Amirkelaye Wetland, Gilan Province. *Journal of Environmental Science Studies, 5*(2), 89–96. [In Persian]
3. Ansariania, M., Sadeghinia, M., Ghanei, M. J., & Iranmanesh, Y. (2021). Assessment and evaluation of heavy metal pollution in sediments of Gandoman Wetland. *Journal of Wetland Ecobiology, 13*(47), 35–50. https://www.sid.ir/paper/494242/fa [In Persian]
4. Ashok, A., Rani, H. P. & Jayakumar, K.V. (2021). Monitoring of dynamic wetland changes using NDVI and NDWI based landsat imagery. *Society and Environment, 23*, 100547. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100547
5. Baschuk, M., Koper, N., Wrubleski, D. & Goldsborough, L. (2012). Effects of water depth, cover and food resources on habitat use of marsh birds and waterfowl in boreal wetlands of Manitoba, Canada. *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology, 35*, 44-55. http://www.jstor.org/stable/41432473
6. Chen, Y., Xu, S., Wang, Y., & Li, Z. (2018). Bird diversity and its relationship with habitat characteristics in mangrove ecosystems. *Wetlands Ecology and Management***,** *26*(2), 299–311.https://doi.org/10.1007/s11273-017-9576-9
7. Colwell, M. A. (2010). Shorebird Ecology, Conservation, and Management. University of California Press.
8. Cui, L., Z. Wei, L. Zhou and B. Cheng. (2024). Effects of constant high water levels in winter on waterbird diversity in Caizi Lakes: A functional perspective. *Global Ecology and Conservation, 52*, e02934. https://doi.org/10.1016/ j.gecco.2024.e02934
9. Delany, S., & Scott, D. (2006). Waterbird Population Estimates. Wetlands International.
10. Donchyts, G., et al. (2016). Earth's surface water change over the past 30 years. *Nature Climate Change, 6*(9), 810–813. https://doi.org/10.1038/nclimate3111
11. Fairbairn, AJ., Katholnigg, S., Leichtle, T., Merkens, L., Schroll, L., Weisser, WW. & Meyer, ST. (2025). NDVI and vegetation volume as predictors of urban bird diversity. *Scientific Reports*, 15(1), 12863.
12. Fattahi Nafchi, R. (2015). Comprehensive study of Gandoman Wetland for wetland restoration projects (Vol. 2). Department of Environment, Chaharmahal and Bakhtiari Provincial Environmental Office, Shahrekord. 450p (In Persian)
13. Gregory, R. D., Van Strien, A., Vorisek, P., Gmelig Meyling, A. W., Noble, D. G., Foppen, R. P., & Gibbons, D. W. (2015). Developing indicators for European birds. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 360*(1454), 269–288. https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1602
14. 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. https://doi.org/10.3390/rs12244190
15. Haig, S. M., Mehlman, D. W., & Oring, L. W. (2019). Avian movements and wetland connectivity in landscape conservation. *Conservation Biology*, 33(1), 12–23. https://doi.org/10.1111/cobi.13199
16. Hosseini Taifeh, F., & Ashouri, A. (2021). Assessment of population trends and diversity of wintering waterbirds in wetlands and coastal areas of the southern Caspian Sea. *Journal of Natural Environment, 74*(4), 809–824. https://doi.org/10.22059/jne.2022.328521.2271 [In Persian]
17. IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896

18. 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*(2), 265–275. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2020.122766.1752 [In Persian]

19. Jafari Azar, S., Sabzghabaei, G. R. , Tavakoli, M. & Dashti, S. (2020). Risk Assessment and Grading of Environmental Sustainability of the International Wetlands of Southern Coasts of Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, *9*(23), 41-62. https://doi.org/10.22111/JNEH.2019.28320.1487 [In Persian]

20. Kingsford, R. T., & Porter, J. L. (2009). Monitoring waterbird populations with aerial surveys—What have we learnt? *Wildlife Research*, *36*(1), 29–40. https://doi.org/10.1071/WR08034

21. Klemas, V. (2011). Remote sensing of wetlands: Case studies comparing practical techniques. *Journal of Coastal Research*, *27*(3), 418–427. https://doi.org/10.2307/29783262

22. Ma, Z., Cai, Y., Li, B., & Chen, J. (2010). Managing wetland habitats for waterbirds: An international perspective. *Wetlands*, *30*(1), 15–27. https://doi.org/10.1007/s13157-009-0001-6

23. Maclean, I. M. D., Austin, G. E., Rehfisch, M. M., Blew, J., Crowe, O., Delany, S., Devos, K., Deceuninck, B., Günther, K., Laursen, K., Van Roomen, M., & Wahl, J. (2007). Climate change causes rapid changes in the distribution and site abundance of birds in winter. *Global Change Biology*, *14*(11), 2489–2500. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01421.x

24. Mahdianzadeh, F., Sarhangzadeh J. & Dehghan Dehnavi, H. (2020). Identification of wintering birds of Yazd artificial wetland. *Wetland Ecobiology*, *12* (4), 19-28. https://jweb.ahvaz.iau.ir/article-1-918-fa.html [In Persian]

25. 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*(11), e9558. https://doi.org/10.1002/ ece3.9558

26. Mandal, M. H., Yasmin, B., Roy, A., Ghosh, S. & Siddique, G. (2022). Investigating present status of foodplain wetlands as habitat of water birds and its determinants: an experience from lower part of Deltaic West Bengal, India. *Wetlands*, *42*(7), 70-84. https://doi.org/10.1007/s13157-022-01591-1

27. Mao, Q., Liao, C., Wu, Z., Guan, W., Yang, W., Tang, Y., & Wu, G. (2019). Effects of land cover pattern along urban-rural gradient on bird diversity in wetlands. *Diversity*, *11*(6), 86. https://doi.org/10.3390/d11060086

28. Mereta, S.T.; Lemmens, P.; De Meester, L.; Goethals, P.L.M.; Boets, P. (2021). The Relative Importance of Human Disturbance, Environmental and Spatial Factors on the Community Composition of Wetland Birds. *Water*, *13*, 3448. https://doi.org/10.3390/w13233448

29. Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2015). Wetlands (5th editon). John Wiley and Sons.

30. Mohammadi Nasab, M. (2023). Assessment of bird biodiversity in Tonodor Wetland, Dorud. *Journal of Wetland Ecobiology*, *8*(14), 177–186. https://doi.org/10.61186/jert.41446.8.14.177 [In Persian]

31. 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*(2), 183–205. https://doi.org/10.1007/s13157-018-1012-5

32. Morris, J. T., Sundareshwar, P. V., Nietch, C. T., Kjerfve, B., & Cahoon, D. R. (2002). Responses of coastal wetlands to rising sea level. *Ecology, 83,* 2869–2877. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2869:ROCWTR] 2.0.CO;2
33. Murray, N. J., Clemens, R. S., Phinn, S. R., Possingham, H. P., & Fuller, R. A. (2014). Tracking the rapid loss of tidal wetlands in the Yellow Sea. *Frontiers in Ecology and the Environment, 12*(5), 267–272. https://doi.org/10.1890/ 130260
34. 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 Modelling, 2*(3), 27-39. https://doi.org/10.22098/mmws. 2022.9871.1068 [In Persian]
35. Nieto, S., Flombaum, P. & Garbulsky, M.F. (2015). Can temporal and spatial NDVI predict regional bird-species richness? *Global Ecology and Conservation*, 3, 729-735. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.03.005
36. 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. https://doi.org/10.5402/ 2011/324038
37. Rimal. B., Sharma. R., Kunwar, R., Keshtkar, H., Stork, NE., Rijal, S., Rahman, SA., & Baral, H. (2019). Effects of land use and land cover change on ecosystem services in the Koshi River Basin, Eastern Nepal. *Ecosystem Services*, 38, 100963. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100963
38. Salarpour, R., Malekian, M. & Ghadirian, O. (2021). Monitoring changes and ranking threat factors of Miangharan wetland, Khuzestan Province. *Journal of Natural Environment*, 74(1), 83-95. https://doi.org/10.22059/jne. 2021.309286.2063 [In Persian]
39. Tavernia, B. G., Reed, J. M., & Johnson, W. C. (2021). Wetland hydrology and vegetation structure influence use by waterbirds across spatial scales. *Ecological Indicators*, *125*, 107558. https://doi.org/10.1016/j.ecolind. 2021.107558
40. 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(4): 473. https://doi.org/10.3390/ani12040473
41. Yao, X., Zhang, Y., Zhang, B. & Wang, J. (2020). Evaluating migratory bird habitat suitability in wetlands using vegetation and remote sensing-based hydrological indicators. *Ecological Indicators*, 113, 106230. https://doi.org/ 10.1016/j.ecolind.2020.106230
42. Zhang, Y., Zhou, L., Cheng, L. & Song, Y. (2021). Water level management plan based on the ecological demands of wintering waterbirds at Shengjin Lake. Global Ecology and Conservation, 27, e01567. https://doi.org/10.1016/ j.gecco.2021.e01567