

Analysis of changes in area and water quality of wetlands in the Godarchay Watershed

Mohammad Koohani¹, Javad Behmanesh², Vahid Rezaverdinejad³

1. Ph.D. Student, Water Engineering Department, Faculty of agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran, Email: Koohani27@gmail.com
2. Professor, Water Engineering Department, Faculty of agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran, Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir
3. Professor, Water Engineering Department, Faculty of agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran, Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article type: Research Paper	This study examines the changes in the area and water quality of both permanent and seasonal wetlands over 34 years, highlighting their sensitivity to climate change and human activities. Wetlands, vital for regulating the water cycle and supporting biodiversity, have seen a significant decline in area and water quality in recent decades. Satellite images from Landsat 5, 7, and Sentinel-2, with high spatial resolution, were used to generate land use maps, processed with ArcGIS Pro and ENVI software. The analysis utilized advanced techniques such as SVM, Markov, and CA-Markov models. Water quality data from 2021 to 2024 in permanent wetlands were analyzed, focusing on parameters such as TSS, NO ₃ , PO ₄ ²⁻ , pH, TDS, COD, BOD ₅ , and EC. The results indicate a notable increase in water bodies and orchards, expanding from 348.77 km ² in 1990 to 634.20 km ² in 2024, with a predicted rise to 722.90 km ² by 2030. Conversely, rangelands decreased from 1,498.13 km ² in 1990 to 1,037.06 km ² in 2024, and are expected to further decrease to 938.30 km ² by 2030. Rainfed lands remained relatively stable, while seasonal wetlands exhibited more fluctuations than permanent ones. The study also revealed that seasonal wetlands like Yadegarlu and Taleghan experienced significant reductions during dry years, whereas permanent wetlands such as Agh-Gol and Dargeh-Sangi showed greater stability. These findings underscore the importance of effective water resource management and planning, particularly during drought periods, to ensure the protection and sustainability of wetlands.
Article history	
Received: 04 February 2025	
Revised: 08 March 2025	
Accepted: 12 March 2025	
Published online: 13 June 2025	
Keywords: Land Use Change, Wetland Monitoring, Human Impacts, Water Resource Management	
Citation: Koohani, E., Behmanesh, J., & Rezaverdinejad, V. (2025). Analysis of changes in area and water quality of wetlands in the Godarchay Watershed, Iran <i>Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems</i> , 13(1), 67-84.	
DOR:	
Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association	© Author(s) 

* Corresponding author: Javad Behmanesh

Address: Water Engineering Department, Faculty of agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

Tel: +989141460272

Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir



Analysis of changes in area and water quality of wetlands in the Godarchay Watershed

Mohammad Koohani¹, Javad Behmanesh², Vahid Rezaverdinejad³

1. Ph.D. Student, Water Engineering Department, Faculty of agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran, Email: Koohani27@gmail.com
2. Professor, Water Engineering Department, Faculty of agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran, Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir
3. Professor, Water Engineering Department, Faculty of agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran, Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Wetlands, recognized as one of the most essential ecosystems, play a crucial role in maintaining the water cycle, preserving biodiversity, and delivering vital ecosystem services. Despite their importance, wetlands are highly sensitive to environmental changes, particularly climate change and increasing human activities. Over the past few decades, these ecosystems have faced considerable reductions in their surface area and alterations in water quality. This research investigates both permanent and seasonal wetlands, analyzing their changes in size and water quality over a 34-year period. The study highlights how seasonal wetlands are especially vulnerable, frequently experiencing declines in area and water quality due to dry conditions, while permanent wetlands have shown greater resilience. These findings underscore the need for effective wetland management strategies to mitigate the impacts of climate change and human activities on these crucial ecosystems. Ensuring the long-term sustainability of wetlands is critical for the preservation of biodiversity and the provision of clean water.

Methodology: To generate accurate land use maps, high-resolution satellite imagery from Landsat 5, Landsat 7, and Sentinel-2 (with 30- and 10-m resolutions, respectively) was employed. The preprocessing of these satellite images was meticulously carried out using ArcGIS Pro and ENVI software to ensure optimal precision and data quality. Advanced analytical methods, including Support Vector Machine (SVM), Markov models, and CA-Markov models, were applied for detailed analysis. Furthermore, water quality data from permanent wetlands, encompassing parameters such as Total Suspended Solids (TSS), nitrate (NO_3^-), phosphate (PO_4^{3-}), pH, Total Dissolved Solids (TDS), Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD \square), and Electrical Conductivity (EC), were comprehensively examined over the period from 2021 to 2024. This robust methodological approach ensures a thorough understanding of both land use dynamics and water quality trends in the region.

Results and Discussion: The findings revealed a significant expansion in the area of water bodies and orchards, which increased from 348.77 km 2 in 1990 to 634.20 km 2 by 2024. This upward trend is expected to continue, reaching 722.90 km 2 by 2030. In contrast, rangelands have shown a consistent decline, shrinking from 1498.13 km 2 in 1990 to 1037.06 km 2 in 2024, with projections indicating a further reduction to 938.30 km 2 by 2030. Additionally, while rainfed lands have maintained relative stability over time, seasonal wetlands have exhibited greater variability compared to the more stable permanent wetlands. This indicates differing responses to environmental and climatic factors between these wetland types.

Conclusion: This research delves into the variations in both water quality and the surface area of four significant wetlands within the Godarchay watershed, focusing on the seasonal wetlands of Yadegarlu and Taleghan, as well as the permanent wetlands of Aq-Qaleh and Dargah-Sangi. The findings indicate that seasonal wetlands are highly susceptible to climatic variations and human activities, leading to considerable decreases in both surface area and water quality, particularly during dry periods. On the other hand, the permanent wetlands demonstrated a greater degree of stability, showcasing their resilience to climatic fluctuations. From 1990 to 2024, these wetlands underwent substantial changes in their surface areas, driven by environmental factors and resource management practices. Furthermore, water quality showed noticeable improvements in BOD \square and COD levels, indicating reduced pollution, although rising EC levels point to the need for better management

* Corresponding author: Javad Behmanesh

Address: Water Engineering Department, Faculty of agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

Tel: +989141460272

Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir

strategies. Effective management of water resources remains essential for safeguarding these wetlands, ensuring their ecological sustainability, and mitigating the impacts of climate change and human pressures.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: The present research is part of a Ph.D. dissertation funded by Urmia University.

Authors' contribution: Mohammad Koohani: Methodology, software, writing, editing; Javad Behmanesh: Conceptualization, supervision, editing; Vahid Rezaverdinejad: Advisor.

Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: Urmia University is acknowledged for the financial and spiritual support during different phases of the Ph.D. dissertation of the first author.



تحلیل تغییرات مساحت و کیفیت آب تالاب‌های حوزه آبخیز گدارچای در استان آذربایجان غربی

محمد کوهانی^۱، جواد بهمنش^{۲*}، وحید رضاوردي نژاد^۳

۱. دانشجوی دکتری آبیاری زهکشی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، Koohani27@gmail.com

۲. استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، j.behmanesh@urmia.ac.ir

۳. استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، v.verdinejad@urmia.ac.ir

مشخصات مقاله	نوع مقاله: پژوهشی
چکیده	تالاب‌ها از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی به‌شمار می‌روند و نقشی حیاتی در تنظیم چرخه آب، پشتیبانی از تنوع زیستی و ارائه خدمات محیط‌زیستی ایفا می‌کنند. این مناطق به‌دلیل حساسیت زیاد به تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، در دهه‌های اخیر با کاهش مساحت و تغییر در کیفیت آب مواجه شده‌اند. در این مطالعه، تغییرات مساحت و کیفیت آب تالاب‌های دائمی و فصلی طی بازه زمانی ۳۴ ساله بررسی شد. برای تعیین نقشه‌های کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای Landsat 7 و Landsat 5 و Sentinel-2 با تفکیک مکانی دقیق و نرم‌افزارهای Pro ArcGIS و ENVI استفاده شد. تحلیل‌ها با روش‌های پیشرفته‌ای مانند SVM و مدل‌های مارکوف انجام گرفت. نتایج نشان داد که مساحت اراضی آبی و باغات از ۳۴۸/۷۷ کیلومترمربع در سال ۱۹۹۰ به ۶۳۴/۲۰ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ به ۷۲۲,۹۰ کیلومترمربع برسد. در مقابل، مراتع به‌طور مداوم کاهش یافته و از ۱۴۹۸/۱۳ کیلومترمربع در سال ۱۹۹۰ به ۱۰۳۷/۰۶ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۴ رسیده است. هم‌چنین تالاب‌های فصلی نوسانات بیشتری نسبت به تالاب‌های دائمی نشان می‌دهند. تالاب‌های بادگارلو و طالقان در سال‌های خشک شدیدی داشته‌اند، در حالی که تالاب‌های دائمی مانند آق قلعه و درگهمنگی پایداری بیشتری نشان داده‌اند. این نتایج بر اهمیت مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی مناسب برای حفاظت از تالاب‌ها، بهویژه در دوره‌های خشکسالی، تأکید دارند.
تاریخچه مقاله	دریافت: ۱۶ بهمن ۱۴۰۳ بازنگری: ۱۸ اسفند ۱۴۰۳ پذیرش: ۲۲ اسفند ۱۴۰۳ منتشر برخط: ۲۳ خرداد ۱۴۰۴
واژه‌های کلیدی:	تغییر کاربری اراضی، پایش تالاب‌ها، تأثیرات انسانی، مدیریت منابع آب
استناد:	کوهانی، محمد، بهمنش، جواد، و رضاوردي نژاد، وحید. (۱۴۰۴). تحلیل تغییرات مساحت و کیفیت آب تالاب‌های حوزه آبخیز گدارچای در استان آذربایجان غربی. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۱۳(۱)، ۶۷-۸۴.
DOR:	ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران



© نویسنده‌گان

* نویسنده مسئول: جواد بهمنش

نشانی: گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران،

تلفن: ۰۹۱۴۱۴۶۰۳۷۲

پست الکترونیکی: j.behmanesh@urmia.ac.ir

مقدمه

تالاب‌ها که بهعنوان یکی از مهم‌ترین عناصر طبیعی شناخته می‌شوند، مناطق حدفاصل بین خشکی و آب هستند و تنها ۶ درصد از سطح زمین را پوشش می‌دهند، اما نقشی حیاتی در پایداری اکوسیستم‌های جهانی ایفا می‌کنند. این زیستگاه‌ها که شامل اکوسیستم‌های متنوعی ازجمله مناطق دائمی و فصلی آب‌گرفته می‌شوند، بهدلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود، در تنظیم کیفیت آب، کنترل سیلاب، تصفیه آب و حفظ تنوع زیستی نقش بسیار مؤثری دارند. با این حال، فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی، بهشت تالاب‌ها را تحت فشار قرار داده و در سطح جهانی شاهد کاهش چشم‌گیر این اکوسیستم‌ها هستیم (Chen et al., 2018). تالاب‌ها نواحی انتقالی بین محیط‌های خشکی و آبری هستند که در حفظ ثبات محیط‌زیست، تصفیه آب، حفظ تنوع زیستی، کاهش غلیان و فرسایش و ارائه سایر خدمات نقش به سزایی دارند. با این حال، بهدلیل فعالیت‌های شدید انسانی، تغییرات آب و هوایی، کاهش تنوع زیستی و اختلال در عملکردهای محیط‌زیستی، احتمال عقب‌نشینی تالاب‌ها وجود دارد که باعث ایجاد مشکلات محیط‌زیستی و اجتماعی زیادی می‌شوند (Singh et al., 2020). مدیریت و حفاظت مؤثر از تالاب‌ها نیازمند نقشه‌های طبقه‌بندی دقیق و جامع به همراه اطلاعات تغییرات مکانی‌زمانی است که برای تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی و سیاست‌های محلی ضروری است. محققان با رصد وضعیت تالاب‌ها در ایران، تغییرات اکوسیستم‌های تالابی را در استان‌های مختلف بررسی می‌کنند و مناطقی را که در آن‌ها تالاب‌ها با سرعتی غیرعادی از بین می‌روند، شناسایی کرده‌اند. پایش مداوم این تغییرات و استفاده از مدل‌ها و داده‌های معتبر برای پیش‌بینی و تخمين این تغییرات، ابزاری کارآمد در مدیریت صحیح و جلوگیری از تخریب تالاب‌ها است (Chen et al., 2018, Wang and Yeseou, 2018). تالاب‌ها بهدلیل ارائه خدمات محیط‌زیستی گوناگون، از جمله تأمین منابع آب، تصفیه طبیعی آب و ایجاد زیستگاه‌های حیات‌وحش، نقش بسیار مهمی در پایداری محیط‌زیست دارند. استفاده از فناوری‌های جدید، مانند سنجش از دور و مدل‌های پیش‌بینی تغییرات، می‌تواند به درک بهتر و بهبود مدیریت این منابع حیاتی کمک کند (Zhang et al., 2012).

تالاب‌ها بهعنوان یکی از شاخص‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی، نقش بسیار مهمی در حفظ تنوع زیستی و ارائه خدمات زیست‌محیطی ایفا می‌کنند. این اکوسیستم‌های حیاتی غیرقابل جایگزین هستند، اما متأسفانه بهدلیل برخوردهای نادرست و بهره‌برداری‌های خودخواهانه، بیش‌تر از سایر اکوسیستم‌ها دچار تخریب شده‌اند. انسان‌ها در طول تاریخ، به اشتباہ تالاب‌ها را اراضی بی‌فایده و خطرناک تلقی کرده‌اند و این نگرش خصم‌انه منجر به نابودی گسترده آن‌ها شده است. تالاب‌ها بهعنوان اکوسیستم‌های حیاتی در چرخه آب و حفظ تنوع زیستی نقش مهمی دارند؛ اما از نظر حجمی، سهم آن‌ها در ذخیره آب جهان بسیار ناقچی است. در واقع، از کل آبهای کره زمین تنها حدود ۳ درصد آب شیرین محسوب می‌شود و تالاب‌ها فقط بخشی اندکی از این آبهای شیرین را در بر می‌گیرند. برآوردهای موجود نشان می‌دهد که علی‌رغم این که کمتر از ۱ درصد از کل آبهای کره زمین در تالاب‌ها ذخیره شده باشد، نقشی کلیدی در کنترل سیل، خشکسالی، حفظ منابع آب شیرین و زیرزمینی و کاهش آلودگی آب ایفا می‌کنند. با این حال، ۶۴ درصد از تالاب‌های جهانی در طول قرن بیست و اوایل قرن بیست و یکم از بین رفته‌اند. به عنوان مثال، در چین طی ۵۰ سال گذشته بیش از نیمی از مساحت تالاب‌های این کشور کاهش یافته و بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ تقریباً ۳۰ درصد از این زیستگاه‌های حیاتی نابود شده‌اند. این آمار نشان‌دهنده و خامت وضعیت جهانی تالاب‌ها و نیاز فوری به اقدامات حفاظتی است (Siachalou Doxani et al., 2014). تالاب‌ها در ایران، بهویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از اهمیت محیط‌زیستی بسیار بالایی برخوردارند. یکی از برجهسته‌ترین نمونه‌های تالاب‌های ایران، دریاچه ارومیه است که با ویژگی‌های خاص خود نه تنها برای اکوسیستم محلی، بلکه در سطح جهانی اهمیت دارد. این دریاچه، زیستگاه انواع گونه‌های گیاهی و جانوری کمیاب است و از سال ۱۳۵۶ به عنوان تالاب بین‌المللی و ذخیره‌گاه زیست‌کرده یونسکو ثبت شده است. با این حال، در سال‌های اخیر تحت فشارهای محیط‌زیستی و انسانی شدیداً آسیب دیده است (Dehghanipour et al., 2020؛ مجذوبیان و همکاران، ۱۳۹۹). علاوه‌بر دریاچه ارومیه، تالاب‌های اقماری همچون قوپی علی‌بابا، کانی برازان و یادگارلو که همگی در اطراف دریاچه قرار دارند، با این اکوسیستم پیوستگی دارند و برخی از آن‌ها نیز در کنوانسیون رامسر به عنوان تالاب‌های بین‌المللی ثبت شده‌اند؛ اما متأسفانه روند خشکسالی و نابودی در این تالاب‌ها همچنان ادامه دارد. برای نمونه، تالاب یادگارلو به طور کامل خشک شده است و قوپی علی‌بابا نیز در تابستان‌ها به طور دوره‌ای خشک می‌شود که این وضعیت تهدیدی جدی برای حفظ این اکوسیستم‌های حیاتی است. مدیریت تالاب‌ها در ایران در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در حالی که بهدلیل کمبود اطلاعات لازم در مورد ماهیت مشکلات مدیریتی و ناکارآمدی، اجرای بسیاری از اقدامات مدیریتی مؤثر در حفاظت از تالاب‌ها متوقف می‌ماند. براساس آن‌چه ذکر شد، یکی از مهم‌ترین عوامل شکست طرح‌های مدیریتی، نبود دید جامع از روند تغییرات و پیش‌بینی آن با توجه به وضعیت گذشته و حال است. در حال حاضر فناوری سنجش از دور ابزاری ضروری و ارزشمند پایش تغییرات کاربری اراضی است (قاسمی و همکاران، ۱۴۰۰).

تالاب‌ها به عنوان زیستگاه‌های حساس و مهم، در دهه‌های اخیر تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند. مطالعات مختلف برای پایش وضعیت این اکوسیستم‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است که به نتایج مشابهی در مورد کاهش مساحت تالاب‌ها و تأثیر منفی توسعه انسانی رسیده‌اند. در همین راستا (2017) Ali baig et al., با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای لندست در مورد تالاب‌های اوجالی، نوری لاگون و اینداس دلتا دریافتند که در بازه ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶، کاهش قابل توجهی در سطح آب این تالاب‌ها رخ داده است. این کاهش به عواملی همچون تغییرات اقلیمی و برداشت‌های بیش از حد از منابع آب نسبت داده شد (2018) Dr. Akumu et al., در ایالات متحده، تالاب‌های تنسي^۱ را با استفاده از تصاویر لندست ۸ و ابزارهای GIS طبقه‌بندی کردند و دریافتند که تقریباً ۱۰ درصد از تالاب‌های این منطقه به دلیل فعالیت‌های انسانی نظیر توسعه کشاورزی و شهرسازی و نیز تغییرات دمایی، در معرض خطر قرار گرفته‌اند. در آفریقای جنوبی (2019) Phethi & Gumbo, با بررسی تصاویر ماهواره‌ای تالاب‌ها به این نتیجه رسیدند که توسعه کشاورزی مهم‌ترین عامل تخریب تالاب‌ها بوده است. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که در دوره ۲۶ ساله از ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۴، بخش قابل توجهی از اراضی تالابی به زمین‌های کشاورزی تبدیل شده است. در چین، (2023) Qu et al., با استفاده از مدل مارکوف، تأثیر کاربری زمین و مدیریت پایدار تالاب‌ها بر تنوع زیستی تالاب‌های دشت سان‌جیانگ را پیش‌بینی کردند. این تحقیق نشان داد که از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵، تنوع زیستی تالاب‌ها به شدت کاهش یافته است و در صورت عدم مدیریت صحیح، این کاهش تا سال ۲۰۳۰ ادامه خواهد داشت. در پاکستان (2024) Korkanç et al., با استفاده از تصاویر لندست ۳ و الگوریتم‌های بادگیری ماشین، تغییرات کاربری زمین از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که مساحت زمین‌های ساخته شده افزایش و مساحت زمین‌های بایر و تالاب‌ها کاهش یافته است. بیش‌تر زمین‌ها برای ساخت‌وساز و شالیزارهای برنج استفاده می‌شود.

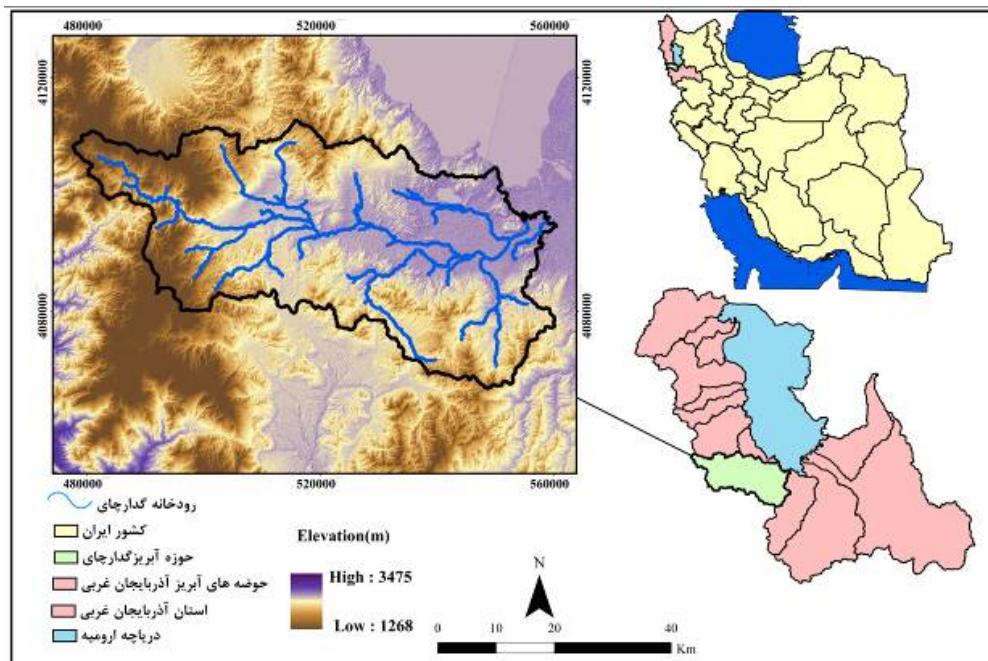
در ایران نیز زبردست و جعفری (۱۳۸۹) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور به ارزیابی روند تغییرات تالاب انزلی پرداختند و نتایج نشان داد که این تالاب در دوره ده‌ساله دچار کاهش مساحت شده و همچنین تغذیه‌گرایی و افزایش کاربری اراضی در آن مشاهده شده است (2021) Abyat et al., در پژوهشی با عنوان "بررسی میزان تغییرات سبخه‌های^۱ ناشی از تالاب هورالعظیم" با استفاده از تصاویر لندست ۵ و ۸ و روش طبقه‌بندی ناظارت‌شده ماشین بردار پشتیبان (SVM)، به تحلیل تغییرات تالاب هورالعظیم در دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷) پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که تالاب‌ها و سبخه‌ها کاهش چشم‌گیری داشته‌اند، درحالی‌که حوضچه‌های نمکی و زمین‌های کشاورزی رهاسده افزایش یافته‌اند. دقت الگوریتم SVM در هر دو تصویر، بهترین با ضریب کاپا ۰/۰۷۹ و ۰/۰۷۴، نشان‌دهنده دقت قابل قبول این روش برای طبقه‌بندی تالاب‌ها بوده است. میرهاشمی و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی آلدگی نیترات و فسفات تالاب میانکاله با استفاده از مدل WASP پرداخته‌اند. این مطالعه با هدف بررسی و پیش‌بینی غلظت‌های نیترات و فسفات در تالاب میانکاله و شبیه‌سازی وضعیت آن‌ها در طی یک دوره زمانی مشخص انجام شد. تالاب میانکاله به ۷۶ بخش با جزئیات مورفو‌لوژیکی و محیطی تقسیم شده و غلظت ماهانه پارامترهای نیترات و فسفات از ۶ ایستگاه مختلف در تالاب طی ۸ دوره نمونه‌برداری (۱۳۹۷-۹۸) وارد مدل شده است. نتایج نشان داد غلظت نیترات در همه ایستگاه‌ها در محدوده مجاز قرار دارد، اما غلظت فسفات از حد مجاز در تمامی ایستگاه‌ها بیش‌تر بود که نشان‌دهنده کاهش کیفیت آب تالاب است. پارسا و همکاران (۱۴۰۰)، در مطالعه‌ای دیگر، با استفاده از تصاویر لندست ۸ تغییرات کشاورزی و کاربری اراضی تالاب قره‌قالاق را در بازه ۱۵ تا ۲۰۱۵ ساله (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵) بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که توسعه کشاورزی در این بازه زمانی منجر به کاهش چشم‌گیر سطح آبی تالاب شده است و بر لزوم مدیریت و جلوگیری از توسعه بی‌رویه کشاورزی در این منطقه تأکید شده است. (2023) Qin et al., نیز در شمال ایران به بررسی تغییرات کاربری زمین و تأثیر آن بر تالاب‌های آجی‌گل، آلمالک و آلاگو پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که مساحت این تالاب‌ها طی سه دهه اخیر به طور قابل توجهی کاهش یافته است. با استفاده از مدل L-THIA، محققان دریافتند که تغییرات کاربری زمین، مانند توسعه کشاورزی و مسکونی، به طور مستقیم بر حجم آب تالاب‌ها تأثیر گذاشته و باعث کاهش آن شده است. (2024) Bagheri and Rostami, توانایی سنجنده‌های ابرطیفی و چندطیفی در تشخیص ویژگی‌های تالاب شادگان را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که روش‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی با دقت بالای ۸۵ درصد بهترین عملکرد را دارند و Hyperion با دقت ۹۵/۷۳ Hyperion در مطالعه با مقایسه با ALI و ETM+ جزئیات طیفی بیش‌تری ارائه می‌دهند و در تفکیک پوشش گیاهی حاشیه تالاب از زمین‌های کشاورزی آبی بهتر عمل می‌کنند. فلاخ و فاخران اصفهانی (۱۴۰۲) به ارزیابی کیفیت آب تالاب بین‌المللی انزلی پرداخته‌اند. در این تحقیق، کیفیت آب تالاب با استفاده از داده‌های نمونه‌برداری فصلی در سال ۱۳۹۳ و شاخص‌های کیفی OWQI و NSFWQIm مورد بررسی قرار گرفته است.

¹ Sabkha

نتایج نشان دهنده وضعیت نامطلوب کیفیت آب تالاب بود و بیشتر ایستگاهها در طبقه بندی متوسط تا بسیار بد قرار گرفتند. نتایج همچنین نشان دهنده همبستگی معنی دار بین برخی از پارامترها مانند BOD₅, فسفات، دمای آب و اکسیژن محلول با شاخص های کیفی بود. تحقیق حاضر به بررسی تغییرات تالابها در اثر تغییر کاربری اراضی در حوزه آبخیز گدارچای می پردازد که به دلیل اهمیت اکولوژیکی و اقتصادی این اکوسیستم ها، یک ضرورت جدی به شمار می آید. با توجه به افزایش فشارهای ناشی از فعالیت های انسانی، بدویژه توسعه کشاورزی و شهرنشینی، تالابها در معرض خطر جدی قرار دارند و این تغییرات می تواند تأثیرات منفی بر تنوع زیستی و کیفیت منابع آبی منطقه داشته باشد. در تحقیق حاضر از تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک بالا و روش های پیشرفته تحلیل داده ها استفاده شد تا تغییرات کاربری اراضی و تأثیرات آن بر وضعیت تالابها به دقت ارزیابی شود. از طرفی، نتایج این تحقیق می تواند به مدیریت پایدار و بهینه منابع آبی کمک کند و اطلاعات ارزشمندی را برای تصمیم گیری های مدیریتی فراهم آورد.

مواد و روش تحقیق منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز گدارچای، سومین بزرگ حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در ایران، پس از زرینه رود و سیمینه رود است. این حوزه آبخیز در عرض های شمالی $36^{\circ}45'$ تا $37^{\circ}10'$ و طول های شرقی $44^{\circ}42'$ تا $45^{\circ}01'$ قرار دارد و مساحتی حدود 2090 کیلومترمربع را پوشش می دهد. رودخانه گدارچای پیه جیک از کوه های اشنویه سرچشم می گیرد و پس از عبور از منطقه جاشیران وارد دشت سولوز می شود. این رودخانه پس از تغذیه آب های زیرزمینی و آبیاری زمین های کشاورزی، درنهایت پس از طی مسافتی حدود 100 کیلومتر در روستای ممیند به دریاچه ارومیه می ریزد. رودخانه گدارچای دارای 12 ایستگاه هیدرومتری است که مهم ترین آن ها ایستگاه های پیله جیک و پل بهراملو (جاده 11) می باشند. رودخانه قرار دارد، از آب این رودخانه بهره برداری می کند. از نظر ویژگی های فیزیو گرافیکی، حوزه آبخیز گدارچای شامل 11 واحد کاری است که عبارتند از: پل بهراملو ستون، محمدشاه سفلی، نقده، بالچی، بایزید آباد، پیله جیک، چپ آباد، صوفیان، اشنویه، پیله و دورود. پل بهراملو ستون با مساحت $2090/84$ کیلومترمربع بزرگ ترین و صوفیان با مساحت $12/16$ کیلومترمربع کوچک ترین واحد کاری این حوزه آبخیز هستند. این حوزه آبخیز در محدوده ارتفاعی 1268 تا 3475 متر از سطح دریا قرار دارد (ایرانی و همکاران، 1403). موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز گدارچای در ایران و استان آذربایجان غربی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز گدارچای - دریاچه ارومیه
Figure 1- Geographical location of the Godarchay Basin- Urmia Lake

روش تحقیق

در این پژوهش، برای تولید نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای 7 و Landsat 5 و Sentinel-2 استفاده شده است. این تصاویر دارای تفکیک مکانی ۳۰ و ۱۰ متری و طیف‌های متنوعی هستند. اطلاعات مربوط به این تصاویر در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در مطالعه تغییر و پیش‌بینی کاربری

Table 1- Satellite image information used in the study of land use change and prediction

ماهواره	سنجدنده	مسیر/ردیف	بازه زمانی	دقت مکانی (متر)
لندست 5	TM	168-034 169-034	1990.06.2	30
		168-034 169-034		
لندست 5	TM	168-034 169-034	1995.06.15	30
		168-034 169-034		
لندست 7	ETM+	168-034 169-034	2000.06.3	30
		168-034 169-034		
لندست 7	ETM+	168-034 169-034	2005.06.19	30
		168-034 169-034		
لندست 7	ETM+	168-034 169-034	2010.06.10	30
		168-034 169-034		
ستینل 2	MSI	T38SMG, SNH,SNF,SMF	2016.06.23	10.20.60
ستینل 2	MSI	T38SMG, SNH,SNF,SMF	2020.06.20	10.20.60
ستینل 2	MSI	T38SMG, SNH,SNF,SMF	2024.06.22	10.20.60

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در این پژوهش، به منظور اطمینان از دقت و کیفیت داده‌های ورودی، پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای با دقت و جزئیات انجام شده است. ابتدا تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و Landsat با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGISPro و ENVI به فرمتهای مناسب برای پردازش‌های بعدی تبدیل و آماده‌سازی شدند. با توجه به این که تصاویر Level-2 ماهواره Landsat از پیش تصحیح شده بودند، نیازی به تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری اضافی نبود، اما برای اطمینان از کیفیت داده‌ها، بررسی‌های دقیق و حذف نویزها انجام شد. برای تصاویر Sentinel-2، تصحیحات اتمسفری با استفاده از الگوریتم Sen2Cor انجام شد تا تأثیرات جوی کاهش یابد و دقت تحلیل‌ها افزایش یابد (ایرانی و همکاران، ۱۴۰۳). به منظور پوشش کامل منطقه مورد مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به محدوده‌های مختلف جغرافیایی به صورت موزاییکی ادغام شدند. این فرآیند با دقت بالا انجام شد تا از ترکیب صحیح تصاویر و انتباط درست موقعیت‌های جغرافیایی اطمینان حاصل شود. پس از موزاییک‌سازی، تصاویر به ابعاد و محدوده جغرافیایی موردنظر برش داده شدند. یکی از مشکلات مهم در پردازش تصاویر Landsat 7، وجود خطوط ناشی از خرابی ابزار تصحیح خطوط اسکن در سال ۲۰۰۳ بود. این خطوط که می‌توانستند تحلیل‌ها را مختلط کنند، با استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته در نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI شناسایی و حذف شدند. برای رفع این مشکل از تکنیک Gap-Filling استفاده شد تا تصاویر به شکلی بدون خط و با کیفیت بالا برای تحلیل‌های بعدی آماده شوند. مجموعه این مراحل پیش‌پردازش، داده‌های ماهواره‌ای را به شکل مناسب برای تحلیل‌های مکانی-زمانی و بررسی تغییرات کاربری اراضی آماده ساخت، به گونه‌ای که نتایج به دست آمده از این تحلیل‌ها از پیش‌ترين دقت برخوردار باشند. (ایرانی و همکاران، ۱۴۰۳).

پس از ورود تصاویر، ترکیب باندی برای تصاویر لندست 7 (باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶) و تصاویر Sentinel-2 (باندهای ۱۱، ۸ و ۱۰) انجام شد. سپس، سگمنت‌سازی، اعمال شروط، وزن دهنی به باندها، ویراستاری شی‌ها و طبقه‌بندی اراضی به روش eCognition 9.5 Developer انجام شد. و نقشه‌های پوشش زمین و کاربری اراضی تولید شدند. در این نرم‌افزار، طبقه‌بندی شامل مراحل سگمنت‌سازی، نمونه‌برداری و طبقه‌بندی است. به این صورت که در سگمنت‌سازی، تصویر به بخش‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود. سپس نمونه‌هایی از هر بخش استخراج و در نهایت، با الگوریتم‌های مختلف، سگمنت‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. برای سگمنت‌سازی، مقادیر ۵۴/۰ و ۷/۰ به ترتیب برای پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی در نظر گرفته شد (ایرانی و همکاران، ۱۴۰۳). براساس هدف پژوهش (آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی)، کلاس‌های کاربری به دسته‌های پهنه‌آبی، مناطق مسکونی، مرتع، نمکزار، باغات، اراضی آبی و اراضی دیم تقسیم‌بندی شدند. طبقه‌بندی تصویر با روش شیءگرا و الگوریتم SVM انجام شد و نقشه‌های کاربری اراضی برای ۸ دوره استخراج و مساحت کاربری‌ها محاسبه شد. سپس، پیش‌بینی تغییرات کاربری با مدل‌های مارکوف و CA-CA مارکوف انجام شد. برای صحت‌سنگی نقشه پیش‌بینی، از تصاویر طبقه‌بندی شده سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۰ به عنوان ورودی مدل مارکوف استفاده شد. فاصله زمانی

بین این دو تصویر ۴ سال و فاصله زمانی پیش‌بینی ۴ سال بود. در نهایت، برای ارزیابی مدل CA مارکوف، از ابزار Validate برای مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی و پیش‌بینی سال ۲۰۲۴ استفاده شد. پس از اطمینان از دقت بالای مدل، پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۰ انجام شد.

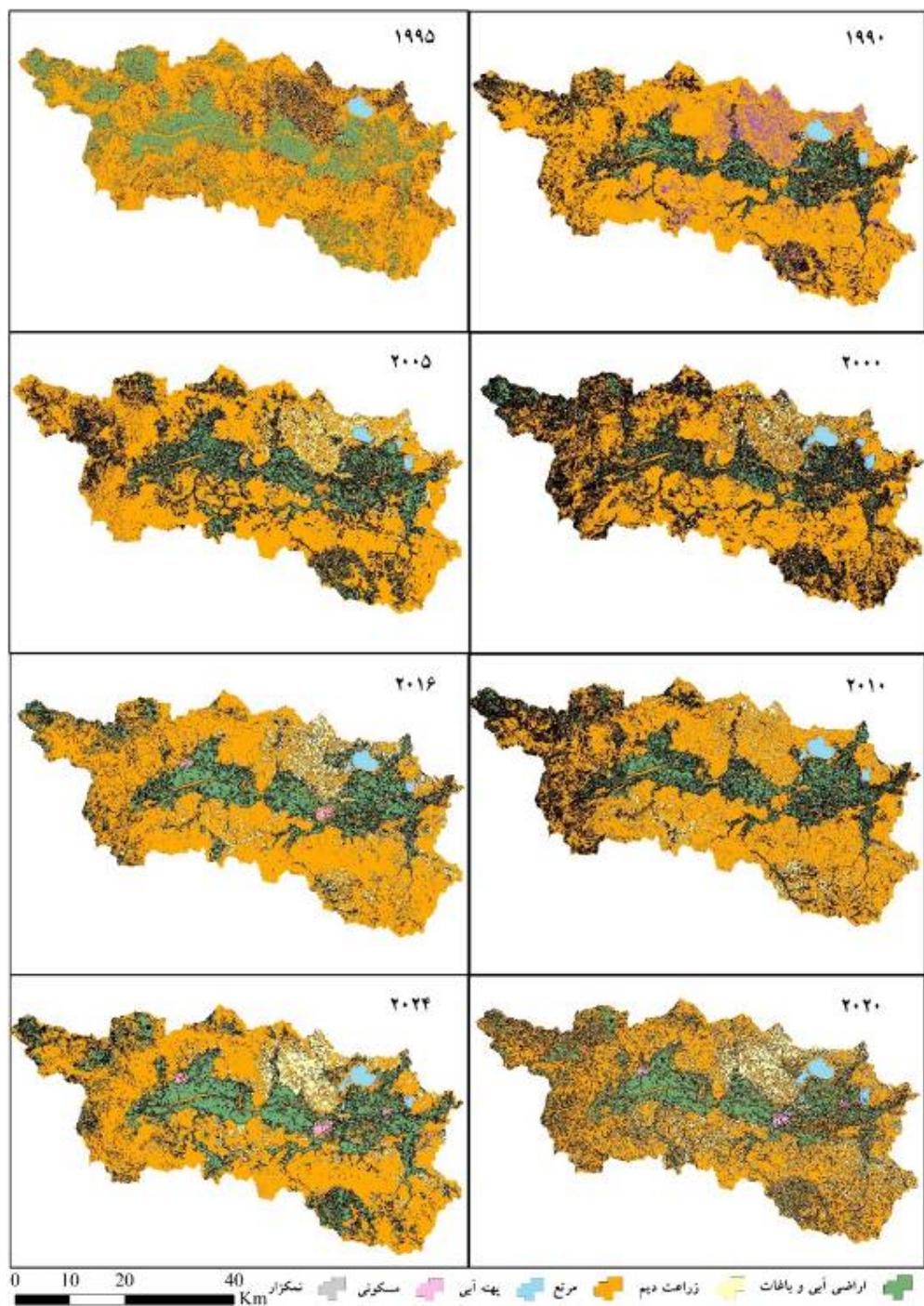
بررسی ارتباط تغییرات تالاب با کیفیت آب

در تحقیق حاضر، چهار تالاب شامل یادگارلو و طلاقان به عنوان تالاب‌های فصلی و آق‌قلعه و درگاه‌سنگی به عنوان تالاب‌های دائمی مورد بررسی قرار گرفتند. تغییرات مقادیر پارامترهای کیفیت آب در این تالاب‌های دائمی در مقایسه سالانه برای سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳ ارزیابی شد تا رابطه بین تغییرات مساحت آبی تالاب و کیفیت آب بررسی شود. داده‌های مرتبط با پارامترهای مورد بررسی شامل NO_3^- , TSS , PO_4^{2-} , PH , TDS , COD , BOD_5 و EC از محیط‌بست آذربایجان غربی دریافت شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تغییر کاربری اراضی

در شکل (۲) کاربری اراضی در دوره‌های مورد مطالعه حوزه آبخیز گدارچای ارائه شده است. در ارزیابی نتایج مدل، مقادیر Kno_3 , Klocation , Klocationstrata و مقادیر کاپای استاندارد Kstandard به ترتیب برابر با 0.96 , 0.97 , 0.95 و 0.90 درصد به دست آمد که بیانگر همبستگی میان نقشه‌های مقایسه شده است. این نتایج صحت مدل را تأیید کرده و نشان می‌دهد که روند تغییرات پیش‌بینی شده از دقت و اعتبار بالایی برخوردار است. همچنین جدول (۲) تغییرات مساحت در دوره زمانی مورد بررسی را نشان می‌دهد. مطابق با نتایج مساحت اراضی آبی و باغات از $348/77$ کیلومترمربع در سال 1990 به $634/20$ کیلومترمربع در سال 2024 افزایش یافته است. افزایش قابل توجهی در سال‌های اخیر، به ویژه از 2016 به 2024 مشاهده می‌شود. یکی از مهم‌ترین دلایل افزایش اراضی آبی و باغی در منطقه گدارچای، توسعه سامانه‌های آبیاری نوین است که بهره‌وری مصرف آب را افزایش داده و امکان گسترش اراضی آبی را در مناطق مختلف فراهم آورده است. این سامانه‌ها، به ویژه آبیاری قطره‌ای و آبیاری تحت فشار، از هدرفروخت آب جلوگیری کرده و کارایی آبیاری را بهبود می‌بخشند. علاوه بر این، سیاست‌های حمایتی در زمینه توسعه کشاورزی و تشویق به استفاده از این تکنولوژی‌ها، نیز نقش مهمی در افزایش مساحت اراضی آبی و باغی داشته است. پیش‌بینی می‌شود که این روند افزایش تا سال 2030 ادامه یابد و به $722/90$ کیلومترمربع برسد. مطابق با نتایج (جدول ۲) مراتع کاهش مداومی را نشان می‌دهند، از $1498/13$ کیلومترمربع در سال 1990 به $1037/06$ کیلومترمربع در سال 2024 رسیده است. این کاهش ممکن است ناشی از تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی یا دیگر کاربری‌ها باشد. پیش‌بینی می‌شود این روند کاهش تا سال 2030 ادامه یابد و به $938/30$ کیلومترمربع برسد. همچنین اراضی دیم روند نسبتاً پایداری دارند، اما از 2010 به 2020 بعد افزایش ملایمی را نشان می‌دهند. مساحت این اراضی از $213/02$ کیلومترمربع در سال 1990 به $374/90$ کیلومترمربع در سال 2024 رسیده است و پیش‌بینی می‌شود که در $375/00$ کیلومترمربع ثابت بماند. در حوزه آبخیز گدارچای پهنه‌های آبی نوسانات زیادی را نشان می‌دهند. در برخی سال‌ها مانند 2000 به $24/23$ کیلومترمربع رسیده، اما در سال‌های اخیر، به ویژه در 2024 ، به $13/30$ کیلومترمربع کاهش یافته است. پیش‌بینی می‌شود در سال 2030 به $20/10$ کیلومترمربع رسیده‌اند. پیش‌بینی می‌شود که این افزایش تا سال 2030 ادامه یابد و به $5/40$ کیلومترمربع برسد. در حالت کلی نتایج به $2/80$ کیلومترمربع رسیده‌اند. پیش‌بینی می‌شود که تغییرات قابل توجهی در کاربری اراضی در طی این دوره زمانی رخ داده است. به طور کلی، می‌توان گفت که اراضی آبی و باغات و اراضی دیم در حال افزایش هستند، در حالی که مراتع به طور مداوم کاهش می‌یابند.



شکل ۲- کاربری اراضی در دوره‌های مورد مطالعه حوزه آبخیز گدارچای

Figure 2- Land use in the study periods of the Godarchay Watershed

جدول ۲- تغییرات مساحت هر کلاس کاربری در بازه زمانی مورد مطالعه
Table 2- Area changes for each land use class over the study period

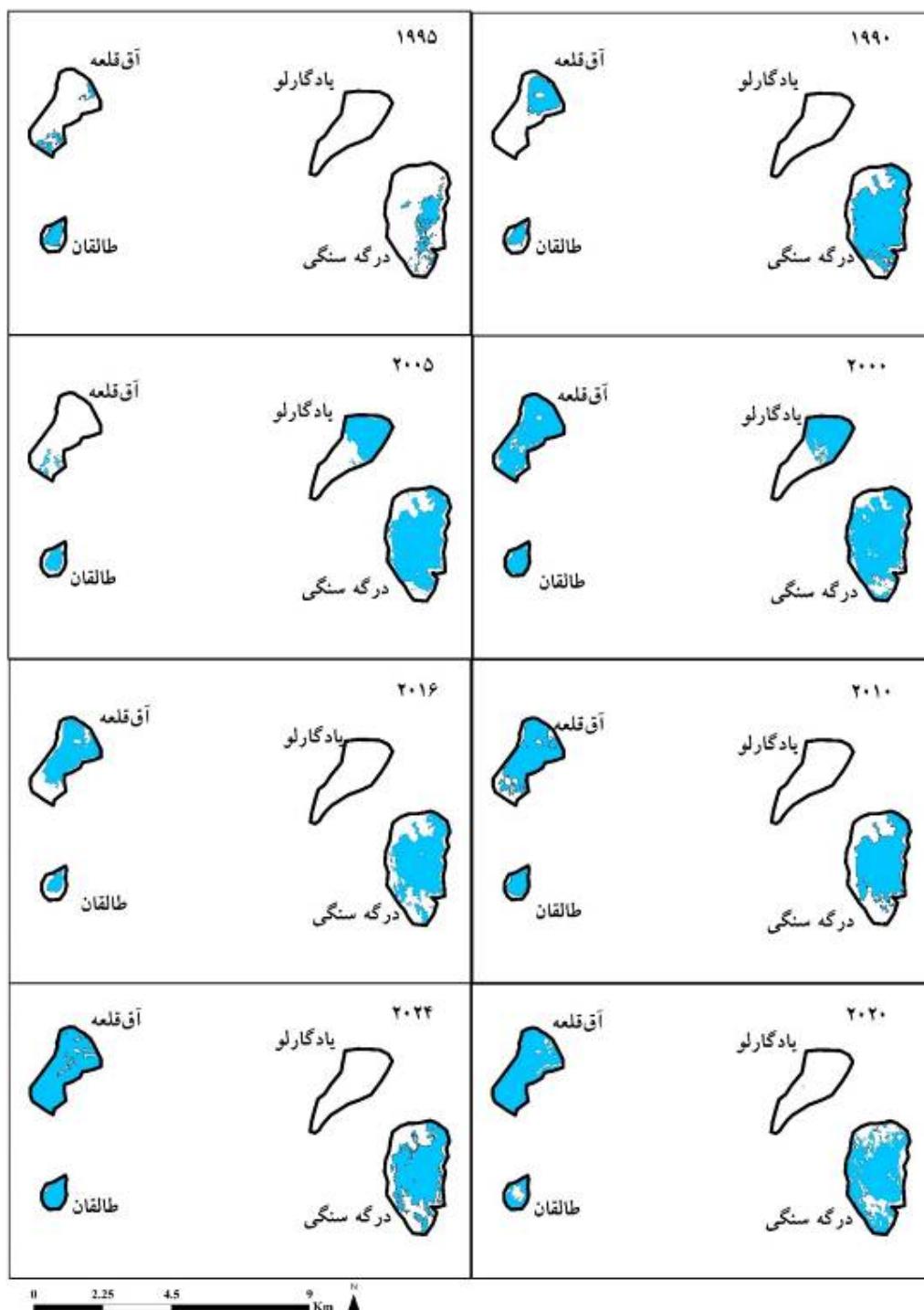
مساحت (کیلومترمربع)										کاربری اراضی
2030	2024	2020	2016	2010	2005	2000	1995	1990		اراضی آبی و باغات
72.90	634.20	518.34	432.50	423.74	461.99	419.52	421.60	348.77		مسکونی
29.40	28.20	24.05	22.52	12.18	12.11	12.11	12.12	12.15		مرتع
938.3	1037.6	1170.99	1264.79	1385.57	1361.59	1411.68	1434.68	1798.13		دیم
375.00	374.90	357.91	351.19	241.19	231.67	217.02	202.42	213.02		بهنه‌آبی
20.10	13.30	17.39	19.92	19.85	16.80	24.23	16.21	18.89		نمکزار
5.40	2.80	2.31	0.05	0.00	0.0	0.0	0.10	0.02		

تالاب‌های فصلی یادگارلو و طالقان، بهدلیل وابستگی مستقیم به تغییرات فصلی بارش و دما، نوسانات شدیدتری نسبت به تالاب‌های دائمی دارند، در سال ۱۹۹۰، این تالاب‌ها مساحت قابل‌توجهی داشتند که نشان‌دهنده‌ی شرایط مناسب بارش و تأمین آب در آن دوره است. سال ۱۹۹۵، شاهد کاهش شدید مساحت تالاب‌ها بودیم؛ بهطوری که بخش‌هایی از تالاب طالقان تقریباً پاپدید شدند، این کاهش شدید احتمالاً بهدلیل کاهش بارش یا خشکسالی‌های فصلی رخ داده است. سال ۲۰۰۰، دوره‌ای از بهبود را نشان می‌دهد، که در آن هر دو تالاب مساحت بیشتری را پوشش دادند. این افزایش می‌تواند ناشی از بهبود وضعیت آب‌وهوای و افزایش بارندگی باشد. سال ۲۰۰۵، مجدداً کاهش مساحت تالاب‌ها مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی تداوم یا بازگشت خشکسالی است. وضعیت تالاب‌ها در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ تقریباً ثابت بود و تنها تغییرات جزئی مشاهده شد. در سال ۲۰۲۰، افزایش محسوسی در مساحت هر دو تالاب فصلی دیده می‌شود که نشان‌دهنده‌ی شرایط بارش بهتر است. تا سال ۲۰۲۴، مساحت تالاب‌های فصلی همچنان نسبت به سال‌های خشک بهتر است، اما هنوز به سطح سال‌های پرآب مانند ۲۰۰۰ نرسیده است.

برخلاف تالاب‌های فصلی، تالاب‌های دائمی آق‌قلعه و درگهسنگی تغییرات کمتری در طول زمان (۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴) داشته‌اند و مساحت آن‌ها تقریباً ثابت مانده است. حتی در سال‌های خشک مانند ۱۹۹۵ و ۲۰۱۶، مساحت قابل‌توجهی از این تالاب‌ها حفظ شده است. این نشان می‌دهد که این تالاب‌ها نسبت به تالاب‌های فصلی کمتر تحت تأثیر کاهش بارندگی قرار گرفته‌اند. تغییرات مشاهده شده در تالاب‌های دائمی بیش‌تر جزئی بوده و در پاسخ به تغییرات آب‌وهوای و مدیریت منابع آب رخ داده است. به عنوان مثال، افزایش قابل‌توجه مساحت تالاب آق‌قلعه در سال ۲۰۲۰، ممکن است بهدلیل افزایش ذخیره‌ی آب یا مدیریت بهتر منابع آبی باشد. بهطورکلی، تغییرات تالاب‌های فصلی و دائمی اهمیت نقش عوامل اقلیمی در پایداری و بقای تالاب‌ها را نشان می‌دهد. مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی مناسب برای حفظ این منابع طبیعی بهویژه در سال‌های خشک ضروری است.

نتایج کلی تحقیق نشان می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی و مساحت تالاب‌ها در طول زمان بهشت ت تحت تأثیر شرایط اقلیمی، مدیریت منابع آب و فعالیت‌های انسانی قرار داشته است. تالاب‌های فصلی یادگارلو و طالقان نوسانات بیش‌تری را تجربه کرده و در دوره‌های خشک با کاهش قابل‌توجهی مواجه شده‌اند، درحالی که تالاب‌های دائمی آق‌قلعه و درگهسنگی پایداری نسبی بیش‌تری داشته‌اند. روند کلی کاهش مساحت مراتع و افزایش اراضی کشاورزی و مسکونی، بهوضوح تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط‌زیست را نشان می‌دهد و ضرورت مدیریت پایدار منابع طبیعی را آشکار می‌سازد. مطالعه‌ی QI و همکاران (۲۰۲۳) نشان می‌دهد که بدون مدیریت صحیح، تنوع زیستی تالاب‌ها بهشت کاهش می‌یابد. یافته‌های این تحقیق و تحقیقات پیشین (علی بیگ^۱ و همکاران، ۱۴۰۷؛ زبردست و جعفری، ۱۳۹۰) نشان می‌دهند که بسیاری از تالاب‌ها، بهویژه در ایران، در دهه‌های اخیر با کاهش قابل‌توجهی در مساحت مواجه بوده‌اند. این نتایج بهویژه در مورد تالاب‌های یادگارلو و طالقان تأیید شده و نشان‌دهنده‌ی یک روند عمومی در تغییرات اقلیمی و انسانی است که نیاز به توجه و مدیریت مناسب برای حفاظت از این اکوسیستم‌های مهم دارد. شکل ۳ تغییرات مساحت آبی در تالاب‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

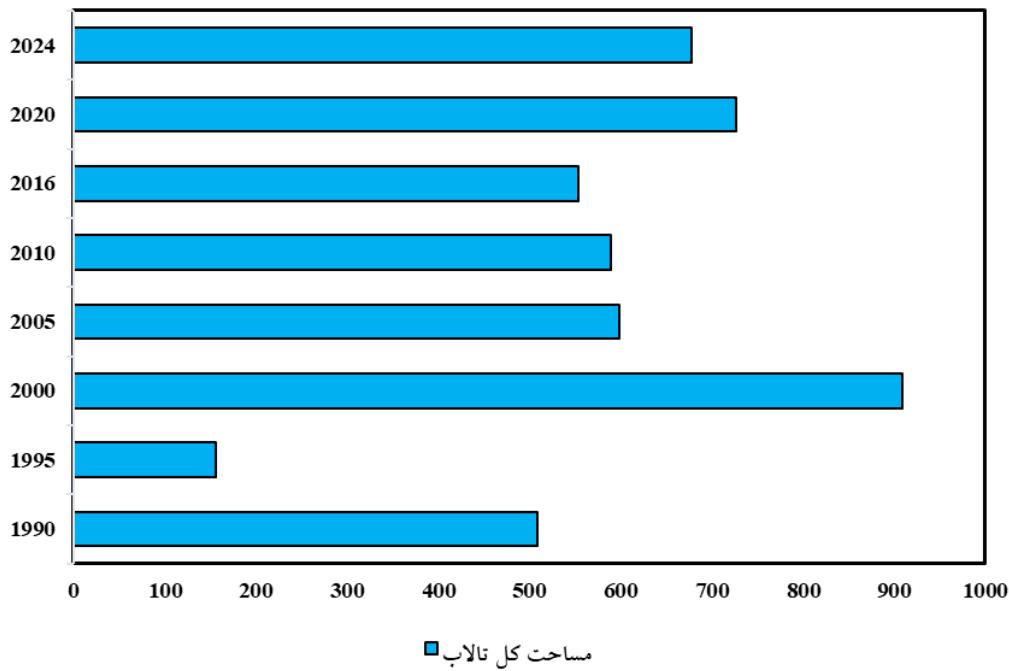
^۱ Ali Baig



شکل ۳- تغییرات مساحت آبی در تالاب‌های مورد بررسی
Figure 3- Changes in Water Area in the Studied Wetlands

در شکل ۴ مربوط به مساحت کل تالاب‌ها در طول زمان، تغییرات قابل توجهی در مساحت تالاب‌ها در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴ مشاهده می‌شود. تغییرات مساحت تالاب‌ها در طول دوره مورد بررسی، نوسانات قابل توجهی را نشان می‌دهد. در سال ۱۹۹۰، مساحت کل تالاب‌ها برابر با $\frac{50.8}{22}$ کیلومترمربع بوده است، اما تا سال ۱۹۹۵ مساحت به $\frac{156}{39}$ کیلومترمربع کاهش یافته که حاکی از یک کاهش شدید در این دوره است. تغییرات سینوسی مساحت تالاب‌های حوزه آبخیز گدارچای در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴، تحت تأثیر عوامل مختلف اقلیمی و

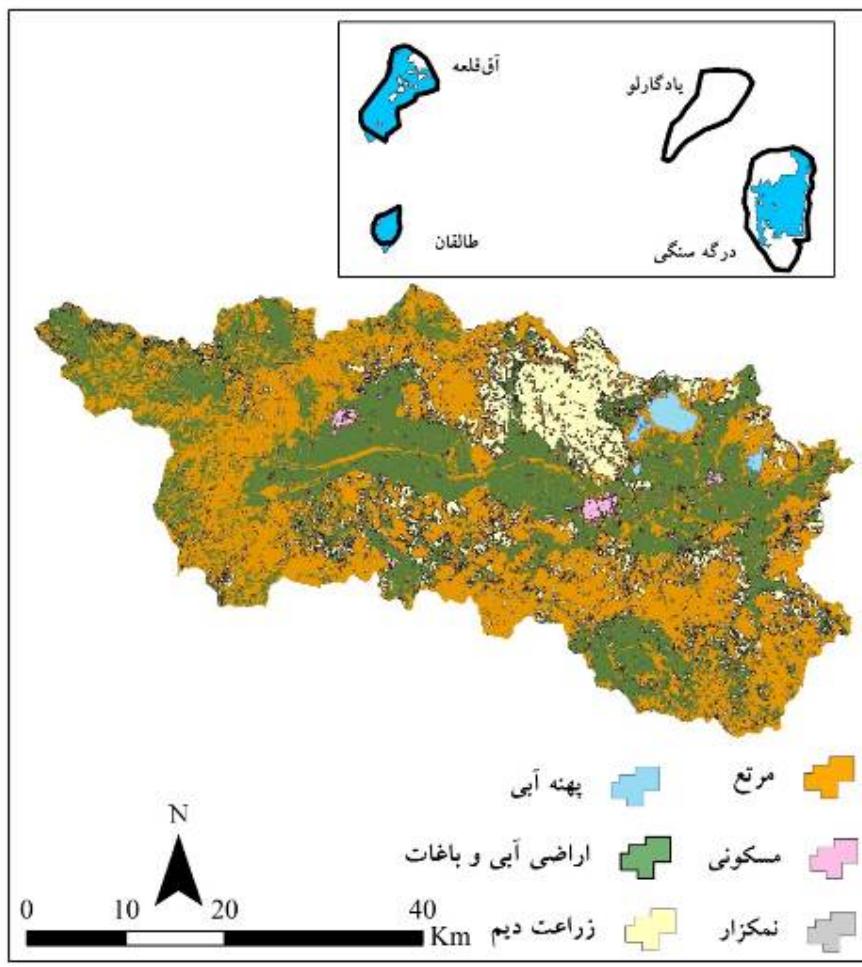
انسانی قرار دارد که بررسی آن‌ها نشان‌دهنده نقش پیچیده و همزمان این عوامل در تغییرات اکوسیستم تالاب‌هاست. نوسانات مشاهده شده را می‌توان به دوره‌های خشکسالی و ترنسالی، تغییر در الگوی بارندگی، و میزان تقدیه آب‌های زیرزمینی نسبت داد، بهطوری که در سال‌های خشک، مانند ۱۹۹۵، مساحت تالاب‌ها به طور محسوسی کاهش یافته است. همچنین، توسعه کشاورزی، برداشت بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی، و تغییر کاربری اراضی نقش مهمی در تشخیص این نوسانات داشته‌اند. بررسی مطالعات مشابه (Qu et al., 2023; Ali Baig et al., 2017) نشان می‌دهد که چنین تغییراتی در سیاری از تالاب‌های ایران و جهان، بهویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، رخ داده است و نشان‌دهنده حساسیت بالای تالاب‌ها به تغییرات اقلیمی و مداخلات انسانی است. این افت ممکن است به دلیل تغییرات اقلیمی، کمبود بارندگی یا فعالیت‌های انسانی باشد. در سال ۲۰۰۰، مساحت تالاب‌ها به $908/59$ کیلومترمربع افزایش یافته که نشان‌دهنده یک بهبود قابل توجه در وضعیت منابع آبی است. باین حال، این روند در سال ۲۰۰۵ دوباره معکوس شده و مساحت تالاب‌ها به $598/29$ کیلومترمربع کاهش یافته است. در سال ۲۰۱۰، مساحت تالاب‌ها به $589/80$ کیلومترمربع کاهش یافته که تقریباً با سال ۲۰۰۵ مشابه است، اما تا سال ۲۰۱۶ این مساحت به $553/59$ کیلومترمربع می‌رسد که کاهش ملایمی را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۲۰، دوباره شاهد افزایش مساحت تالاب‌ها به $727/40$ کیلومترمربع بوده که نشان‌دهنده بهبود در شرایط آب و هوایی یا مدیریت منابع آبی است. نهایتاً، در سال ۲۰۲۴، مساحت تالاب‌ها به $677/18$ کیلومترمربع کاهش یافته که هم‌چنان نسبت به برخی سال‌های گذشته وضعیت بهتری دارد. مطالعه‌ای مشابه توسط ابراهیمی خوشفی (۱۴۰۲) در مورد تالاب‌های هامون در منطقه سیستان نشان می‌دهد که مساحت این تالاب‌ها در سال‌های مختلف دچار نوسانات قابل توجهی بوده است. در این تحقیق اذعان کردند، کاهش معنی‌دار در پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای میانگین، بارش، مساحت پهنه‌های آبی و شاخص خشکسالی پالمر را گزارش کرده است.



شکل ۴- تغییرات مساحت آب (کیلومترمربع) در تالاب‌های مورد بررسی
Figure 4- Changes in water area (km²) in the studied wetlands

در شکل ۵ کاربری پیش‌بینی ۲۰۳۰ برای آبخیز گدارچای ارائه شده است. با توجه به پیش‌بینی‌های سال ۲۰۳۰، کاربری اراضی در منطقه نشان‌دهنده افزایش قابل توجه اراضی آبی و باغات به مساحت $722/90$ کیلومترمربع است که نشان‌دهنده تمرکز بر تولیدات کشاورزی و تأمین منابع غذایی است. در کنار این، مساحت مراتع به $938/30$ کیلومترمربع می‌رسد که ضرورت مدیریت پایدار این منابع را بهویژه در مواجهه با تغییرات اقلیمی و کاهش بارش‌ها بر جسته می‌سازد. هم‌چنین، کاربری دیم با 375 کیلومترمربع نشان‌دهنده وابستگی به بارش‌های طبیعی است. پهنه‌های آبی و نمکزار نیز به ترتیب با مساحت‌های $20/10$ و $5/40$ کیلومترمربع، اهمیت حفظ تنوع زیستی و

کیفیت آب را تأکید می‌کنند. در نهایت، کاربری مسکونی با ۴۰/۲۹ کیلومترمربع، نیاز به توسعه شهری را نمایان می‌سازد و نشان‌دهنده چالش‌هایی در حفظ منابع طبیعی در برابر گسترش شهرنشینی است.



شکل ۵- کاربری پیش‌بینی ۲۰۳۰ برای آبخیز گدارچای
Figure 5- Predicted 2030 land use for the Godarchay Watershed

نتایج تغییرات پارامتر کیفیت آب در تالاب دائمی

نتایج جدول ۳ نشان‌دهنده تغییرات معنادار در مقادیر پارامترهای کیفیت آب در تالاب‌های آق قلعه و درگه‌سنگی در طی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۳ است. EC (هدایت الکتریکی) در تالاب‌های آق قلعه و درگه‌سنگی از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۲ نوساناتی را نشان می‌دهد. در تالاب آق قلعه، هدایت الکتریکی از ۹۶۱/۸ میکروزمینس بر سانتی‌متر به ۹۶۳/۲ میکروزمینس بر سانتی‌متر افزایش یافته است، درحالی‌که در تالاب درگه‌سنگی نیز این پارامتر از ۹۶۴/۳ میکروزمینس بر سانتی‌متر به ۹۶۶/۲ میکروزمینس بر سانتی‌متر رسیده است. این افزایش در هدایت الکتریکی می‌تواند ناشی از افزایش غلظت مواد حل شده، تبخیر بالاتر یا ورود آلودگی‌ها به منابع آب باشد. افزایش EC به عنوان یک نشان‌گر مهم از کیفیت آب به خصوص در محیط‌های تالابی بهشمار می‌آید. مقدار COD در تالاب آق قلعه در سال ۱۴۰۰ برابر با ۹۸ میلی‌گرم در لیتر بود و در سال ۱۴۰۲ به ۹۳ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته و در تالاب درگه‌سنگی COD از ۹۹ میلی‌گرم در لیتر در سال ۱۴۰۰ به ۹۶ میلی‌گرم در لیتر در سال ۱۴۰۲ کاهش یافته که نشان‌دهنده بهبود کیفیت آب و کاهش بار آلودگی شیمیایی است.

در تالاب آق قلعه، مقادیر TSS در سال ۱۴۰۰ برابر با ۱۶ میلی‌گرم در لیتر و در سال ۱۴۰۲ به ۹ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته است که نشان‌دهنده بهبود کیفیت آب در این تالاب است. همچنین، غلظت نیترات (NO_3^-) در این تالاب از ۱/۵ به ۱/۶ میلی‌گرم در لیتر در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته است. در تالاب درگه‌سنگی، مقادیر pH در سال‌های مختلف نوساناتی را نشان می‌دهد. بهطور خاص، pH در سال ۱۴۰۰ برابر با ۸/۲۱ و در سال ۱۴۰۲ به ۸/۱۹ کاهش یافته که نشان‌دهنده پایداری نسبی این پارامتر در این تالاب است. همچنین، میزان TDS (مواد

حل شده کل) در تالاب درگهسنگی در سال ۱۴۰۰ برابر با ۱۷۷ میلی گرم در لیتر و در سال ۱۴۰۲ به ۱۶۴ میلی گرم در لیتر کاهش یافته که حاکی از کاهش کیفیت آب در این تالاب است.

مطابق با نتایج غلظت فسفات در تالاب آق قلعه از ۱/۷ میلی گرم در لیتر در سال ۱۴۰۰ به ۱/۶ میلی گرم در لیتر در سال ۱۴۰۲ کاهش یافته است. این کاهش می‌تواند نشان دهنده بهبود کیفیت آب و کاهش ورود مواد مغذی ناشی از فعالیت‌های انسانی باشد که به نوبه خود می‌تواند به جلوگیری از مشکلاتی نظیر سرسیز شدن آب کمک کند. تالاب درگهسنگی تغییرات قابل توجهی را در غلظت فسفات نشان نمی‌دهد و در محدوده ۱/۶ میلی گرم در لیتر باقی مانده است. اما در خصوص غلظت نیترات (NO_3^-) و فسفات (PO_4^{2-}), تغییرات مشاهده شده می‌تواند، به دلیل تغییرات در ورودی مواد مغذی و فعالیت‌های انسانی باشد. افزایش غلظت نیترات در تالاب آق قلعه ممکن است نشانه‌ای از افزایش استفاده از کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی اطراف باشد که ممکن است تأثیر منفی بر کیفیت آب تالاب داشته باشد. در مقایسه با نتایج تحقیق مقدمیکتا و همکاران (۱۳۹۹) در حوزه آبریز گدارچای، تغییرات مشابهی در غلظت مواد مغذی مشاهده شده که نشان دهنده تأثیر شدید عوامل انسانی نظیر کشاورزی، فاضلاب شهری و بهره‌برداری از منابع آب بر کیفیت آب تالاب‌هاست نتایج میرهاشمی و همکاران (۱۴۰۲) نشان داد که غلظت فسفات از حد مجاز فراتر رفته و کیفیت آب تالاب میانکاله را تهدید می‌کند. در تالاب آق قلعه مقدار BOD_5 در سال ۱۴۰۰ برابر با ۲۲ میلی گرم در لیتر بود و در سال ۱۴۰۲ به ۲۱ میلی گرم در لیتر کاهش یافت. همچنین BOD_5 در تالاب درگهسنگی نشان دهنده کاهش از ۲۵ میلی گرم در لیتر در سال ۱۴۰۰ به ۲۴ میلی گرم در لیتر در سال ۱۴۰۲ است. این کاهش مشابه با تالاب آق قلعه است و نشان دهنده کنترل بهتر بر آلودگی‌های آلی است. با توجه به این نتایج و مقایسه با تحقیق حوزه آبریز گدارچای (مقدمیکتا و همکاران، ۱۳۹۹)، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات کیفیت آب تالاب‌ها بهشت تأثیر عوامل انسانی مانند کشاورزی، فاضلاب‌های شهری، و بهره‌برداری از منابع آب قرار دارد.

جدول ۳- تغییرات مقادیر پارامترهای کیفیت آب در تالاب دائمی آق قلعه و درگهسنگی

Table 3- Changes in water quality parameters in the permanent wetlands of Aghkala and Dorghe Sangi

TSS	NO_3^-	PO_4^{2-}	pH	TDS	COD	BOD_5	EC	سال	تالاب
16	1.2	1.4	8.69	881	32	-	-	1400	آق قلعه
-	0.8	0.06	10.45	372	32	-	764	1401	
2	1.4	1.8	8.43	438	9	2.1	936	1402	
9	1.6	3.2	7.68	489	39	8	1035	1403	
1	-	-	7.67	1107	59	4.6	2186	1400	
1	1.8	0.06	8.89	1096	31	4	2159	1401	
-	1.1	2.2	8.89	698	47	11	1569	1402	درگه سنگی
9	3.7	0.3	9.67	441	-	10	946	1403	

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تغییرات کیفیت آب و مساحت چهار تالاب مهم واقع در حوزه آبخیز گدارچای، شامل تالاب‌های فصلی یادگارلو و طلاقان و تالاب‌های دائمی آق قلعه و درگهسنگی بررسی شد. نتایج نشان داد که تالاب‌های فصلی بهطور قابل توجهی تحت تأثیر شرایط اقلیمی و فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند و در سال‌های خشک با کاهش چشمگیری در مساحت و کیفیت آب مواجه بوده‌اند. در مقابل، تالاب‌های دائمی آق قلعه و درگهسنگی، ثبات بیشتری در مساحت و کیفیت آب نشان دادند که بیانگر توانایی بالای آن‌ها در تحمل نوسانات آب و هوایی و مدیریت منابع آب است. در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴، مساحت تالاب‌ها تغییرات قابل توجهی را تجربه کرده است. از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵، مساحت تالاب‌ها حدود ۶۹/۲ درصد کاهش یافت. سپس از ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰، با افزایشی چشمگیر روبرو شد؛ اما این روند پایدار نبود و در سال ۲۰۰۵ مساحت تالاب‌ها دوباره حدود ۳۴/۲ درصد کاهش یافت. از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰، مساحت تالاب‌ها حدود ۲۱/۵ درصد افزایش پیدا کرد، ولی نهایتاً در سال ۲۰۲۴ با کاهش ۶/۹ درصد مواجه شد. این نوسانات نشان دهنده تأثیرات متعدد اقلیمی و مدیریتی بر تالاب‌ها است. نتایج نشان دهنده نوسانات مختلف در کیفیت آب تالاب‌ها است که تحت تأثیر مدیریت منابع، فعالیت‌های انسانی و شرایط محیطی قرار دارد. بهبود کیفیت آب در پارامترهای BOD_5 و COD در هر دو تالاب نشانه‌ای مثبت از مدیریت بهینه و کاهش آلودگی‌های آلی و شیمیایی است. با این حال، افزایش EC در هر دو تالاب نیاز به بررسی بیشتر و اقدامات کنترلی جهت مدیریت منابع آب است. در نهایت، نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مدیریت صحیح منابع آبی و اقدامات حفاظتی برای حفظ تالاب‌ها ضروری است. با توجه به چالش‌های ناشی از تغییرات اقلیمی و فشارهای انسانی، برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مناسب برای حفظ این منابع طبیعی باید در اولویت قرار گیرد. حفاظت از تالاب‌ها نه تنها به حفظ نوع زیستی و اکوسیستم‌های طبیعی کمک می‌کند، بلکه به تأمین منابع آب پاک و پایدار نیز منجر خواهد شد. با توجه به نوسانات سینوسی

مشاهده شده در مساحت تالاب‌ها، استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص منابع آب زیرزمینی (GRI) در تحقیقات بعدی می‌تواند به درک بهتری از رابطه بین تغییرات مساحت و منابع آبی کمک کند. این شاخص‌ها قادرند الگوهای بارشی و تغییرات سطح منابع آب زیرزمینی را که تأثیر زیادی بر حجم و مساحت تالاب‌ها دارند، به طور دقیق‌تری بررسی کنند. نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های بارش و منابع آب زیرزمینی می‌تواند برای مدیریت بهینه منابع آبی و پیش‌بینی تأثیرات تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی بر تالاب‌ها استفاده شود. از این‌رو، پیشنهاد می‌شود که این شاخص‌ها در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی و سیاست‌گذاری‌های آتی لحاظ شوند.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسؤول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: پژوهش حاضر بخشی از یک رساله دکتری است که توسط دانشگاه ارومیه تأمین مالی شده است.

مشارکت نویسنده‌گان: محمد کوهانی؛ روش‌شناسی، نرم‌افزار، نگارش، ویرایش؛ جواد بهمنش؛ مفهوم‌سازی، راهنمایی، ویرایش؛ وحید رضاعوی‌نژاد؛ مشاوره.

تضاد منافع نویسنده‌گان: نویسنده‌گان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطلب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: دانشگاه ارومیه به خاطر حمایت مالی و معنوی در مراحل مختلف رساله دکتری نویسنده اول، قدردانی می‌شود.

منابع

- ابراهیمی خوسفی، محسن. (۱۴۰۲). تحلیل تغییرات مساحت تالاب‌های هامون و سایر پهنه‌های آبی منطقه سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *جغرافیا و توسعه*, ۲۱(۷۱)، ۱۳۹-۱۶۵.
- DOI: 10.22111/GDIJ.2023.7598
- ایرانی، طبیه، عقری، هیراد و رسولی، علی‌اکبر. (۱۴۰۳). تحلیل ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و سنجه‌های سیمای سرزمین مطالعه موردی: حوزه آبخیز گدارچای. *آمايش جغرافيايي فضا*, ۱۱(۱)، ۱۸۸-۱۶۵.
- باقری حمید، رستمی، رحیمه. (۱۴۰۳). ارزیابی دقت تصاویر فراغلیفی و چندطبیفی در طبقه بندي پوشش تالاب‌ها با استفاده از روش‌های مختلف طبقه‌بندي (مطالعه موردی: تالاب شادگان). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*, ۲۴(۷۴)، ۲۹۲-۲۷۲.
- DOI: HTTP://JGS.KHU.AC.IR/ARTICLE-1-4070-FA.HTML
- پارسا، جواد، حاجی‌حسینی، فاطمه، آخوندزاده، علی و طباطبایی، خدیجه. (۱۴۰۰). بررسی تغییرات کاربری در محدوده تالاب قره‌قشلاق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *محیط زیست و مهندسی آب*, ۷(۳)، ۵۵۴-۵۴۷.
- DOI: HTTPS://DOL.ORG/10.22034/JEWE.2021.255282.1457
- زبردست، لعبت، و جعفری، حمیدرضا. (۱۳۸۹). ارزیابی روند تغییرات تالاب انزلی با استفاده از سنجش از دور و ارائه راه حل مدیریتی. *محیط‌شناسی*, ۳۷(۵۷)، ۱-۸.
- عیبات، کوثر، لندي، احمد، عامری‌خواه، هادی. (۱۴۰۰). بررسی میزان تغییرات سبخه‌های ناشی از تالاب هورالعظیم در دوره بیست ساله با استفاده از تصاویر لندست. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*, JWSC / DOI.ORG / 10.22069 / HTTPS://DOI.ORG / 2021.18238.3387
- فلاح، مریم و فاخران اصفهانی، سیما. (۱۳۹۶). ارزیابی کیفیت آب تالاب بین‌المللی انزلی با استفاده از شاخص‌های کیفی. آب و توسعه پایدار, ۴(۲)، ۲۳-۳۰.
- DOI: 10.22067/JWSD.V412.61307
- قاسمی، نگار، علیخواه، مرضیه، رضوانی، محمد. (۱۴۰۰). پایش تغییرات اراضی در ۳۲ سال گذشته با استفاده از تکنیک سنجش از دور (مطالعه موردی: شهرستان پیشوای). *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*, ۲۲(۶۶)، ۱۴۵-۱۵۸.
- DOI: HTTP://JGS.KHU.AC.IR/ARTICLE-1-3513-FA.HTML
- مجنوئیان، ه.، احمدی، ن.، قلیچی‌پور، ز.، جامعی، ن. ۱۳۹۹. فواید تالاب‌ها (ارزش‌ها و کارکردهای تالاب) انتشارات معارف، چاپ اول، تهران، ایران.
- مقدم یکتا، نازلی، جوزی، سیدعلی، و کریمی، عبدالرضا. (۱۳۹۹). بررسی وضعیت کیفی حوزه آبریز گدارچای ارومیه با استفاده از شاخص کیفیت منابع آب ایران و مدل آسیب پذیری راستیک. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*, ۲۲(۲)، ۷۹-۷۹.
- SID.IR/PAPER/361227/FA.۹۱
- میرهاشمی، مریم، شاهنظری، علی و نصیر احمدی، کامران. (۱۴۰۲). ارزیابی آلودگی نیترات و فسفات تالاب میانکاله با استفاده از مدل WASP. *تحقیقات منابع آب ایران*, ۱۹(۴)، ۳۴-۴۷.
- DOI: 10.22034/IWRR.2023.172474

References

1. Abyat, K., Landi, A., Amerikhah, H. (2021). Evaluation of sabkha changes caused by Hur al-Azim wetland during 20 years using Landsat images. *Journal of Water and Soil Conservation*, 28(1), 2021. URL: <http://jwsc.gau.ac.ir> DOI: 10.22069/jwsc.2021.18238.3387. [In Persian]
2. Akumu, C. E., Henry, J., Gala, T., Dennis, S., Reddy, C., Tegegne, F., Haile, S., & Archer, R. S. (2018). Inland wetlands mapping and vulnerability assessment using an integrated geographic information system and remote sensing techniques. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 4(4), 387–400. DOI: 10.22034/gjesm.2018.04.001
3. Ali Baig, M., Sultan, M., Riaz Khan, M., Zhang, L., Kozlova, M., Abbas Malik, N., & Wang, S. (2017). Wetland change detection in protected and unprotected Indus Coastal and Inland Delta. The International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W7, 1495–1501. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W7-1495-2017.
4. Bagheri, H., & Rostami, R. (2024). Evaluating the accuracy of hyperspectral and multispectral images in wetland cover classification using data mining models (Case study: Shadegan wetland). *Applied Researches in Geographical Sciences*, 24(74), 272–292. [In Persian]
5. Chen, Y., Niu, Z., Johnston, C. A., & Hu, S. (2018). A unifying approach to classifying wetlands in the damage in Guangxi based on the CA-Markov model. *Ecological Indicators*, 127, 107764.
6. Dehghanipour, A. H., Moshir Panahi, D., Mousavi, H., Kalantari, Z., & Tajrishy, M. (2020). Effects of Water Level Decline in Lake Urmia, Iran, on Local Climate Conditions. *Water*, 12(8), 2153. DOI: 10.3390/w12082153.
7. Ebrahimi-Khusfi, M. (2023). Analysis of Changes in the Area of Hamoon Wetlands and other Water Bodies in Sistan Region using Satellite Images. *Geography and Development*, 21(71), 139-165. [In Persian]
8. Fallah, M., & Fakheran, S. (2018). Assessment of the water quality of the Anzali International Wetland using Qualitative Indices. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(2), 23-30. [In Persian]
9. Ghasemi N, Alikhah Asl M, Rezvani M. Monitoring Land Cover Changes in Past 32 Years Using Remote Sensing Technique (Case Study: Pishva Town, Tehran). *jgs* 2022; 22 (66), 145-158. [In Persian]
10. Irani, T., Abghari, H., Rasouli, A. A. 2024. Analysis of the Relationship between Landuse Changes and Landuse Metrics: the Case Study of Godarchai Watershed. *Geographical planning of space quarterly journal*, 14 (1), 2024. [In Persian]
11. Korkanç, S. Y., Korkanç, M., & Amiri, A. F. (2024). Effects of land use/cover change on heavy metal distribution of soils in wetlands and ecological risk assessment. *Science of The Total Environment*, 923, 171603. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.171603.
12. Mirhashemi, M., Shahnazari, A., & Nasir Ahmadi, K. (2023). Assessing Nitrate and Phosphate Pollution in Miankaleh Wetland using WASP Model. *Iran-Water Resources Research*, 19(4), 34-47. [In Persian]
13. Moghadam, Y. N., Jozi, S. A., & Karimi, A. (2020). Study of quality & pollution of Urmia gadarchay catchment, using water quality index and WRASTIC vulnerability model. *Journal of Environmental Sciences and Technology*.21(2), 79 – 91. [In Persian]
14. Parsa, J., HajiHoseini, F., Akhoundzadeh, A. and Tabatabaei, K. (2021). Assessment of land use changes in GhareGheshlagh wetland using remote sensing. *Environment and Water Engineering.*, 7(3), 547–554. DOI: 10.22034/JEWE.2021.255282.1457. [In Persian]
15. Phethi, M. D., & Gumbo, J. R. (2019). Assessment of impact of land use change on the wetland in Makhitha village, Limpopo province, South Africa. *Jamba: Journal of Disaster Risk Studies*, 11(2), 693. DOI: 10.4102/jamba.v11i2.693.
16. Qin, L., Jiang, M., Freeman, C., Zou, Y., Gao, C., Tian, W., & Wang, G. (2023). Agricultural land use regulates the fate of soil phosphorus fractions following the reclamation of wetlands. *Science of The Total Environment*, 863, 160891. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160891.
17. Qu, Y., Zeng, X., Luo, C., Zhang, H., & Ni, H. (2023). Prediction of wetland biodiversity pattern under the current land-use mode and wetland sustainable management in Sanjiang Plain, China. *Ecological Indicators*, 147, 109990. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.109990.
18. Siachalou, S., Doxani, G., & Tsakiri-Strati, M. (2014). Time-series analysis of high temporal remote sensing data to model wetland dynamics: A hidden Markov Model approach. Proceedings of the SENTINEL 2 for Science Workshop—ESA-ESRIN, Frascati, Italy, pp. 20-22. DOI: Not available.

19. Singh, S., Bhardwaj, A., & Verma, V. K. (2020). Remote sensing and GIS-based analysis of temporal land use/land cover and water quality changes in Harike wetland ecosystem, Punjab, India. *Journal of Environmental Management*, 262, 110355. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110355.
20. Wang, Y., & Yésou, H. (2018). Remote sensing of floodpath lakes and wetlands: A challenging frontier. *Remote Sensing*, 10(12), 1955. DOI: 10.3390/rs10121955.
21. Zebardast, I., Jafari, H. 2011. Use of Remote Sensing in Monitoring the Trend of Changes of Anzali Wetland in Iran and Proposing Environmental Management Solution. *The Journal of Environmental Studies*. 37 (57). [In Persian]
22. Zhang, Z., Hu, B., Jiang, W., & Qiu, H. (2021). Identification and scenario prediction of degree of wetland damage in Guangxi based on the CA-Markov model. *Ecological Indicators*, 127, 107764. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107764.