



# Journal of Environmental Studies

Vol. 46, No. 1, Spring 2020

Journal Homepage: [www.Jes.ut.ac.ir](http://www.Jes.ut.ac.ir)

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

## The Scenario-based Calculation of Ecohydrological Water Needs for Sustainable Development of Water Resources (Case Study: Kaji Salt Wetland of Nehbandan)

Mohammad Hossein Sayadi<sup>1,2</sup>, Elham Yousefi<sup>\*1</sup>, Elham Chamanehpour<sup>1</sup>

1 Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran

2 Department of Environment, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

**Document Type**  
Research Paper

**Received**  
October 24, 2019

**Accepted**  
February 8, 2020

DOI: [10.22059/JES.2021.305792.1008042](https://doi.org/10.22059/JES.2021.305792.1008042)

### Abstract

Kaji salt wetland of Nehbandan with high biodiversity, plays an important role in the hydrological performance of the region. In recent years, due to human activities as well as droughts, severe hydrological and environmental stresses have entered to wetlands. Determining the water needs of wetlands can restore their ecological conditions and play an important role in improving their environmental performance. Therefore, in this study, based on the combined method and using hydrological data obtained from remote sensing in 6 scenarios, the water requirement of Kaji wetland was calculated. The results showed that in order to supply the average limit of water stain, water volume equal to 13.97 million cubic meters is needed annually. Which 12.2 million cubic meters of this water is supplied through surface runoff and there is a shortage of 1.77 million cubic meters, that should be provided by reducing the groundwater abstraction by about 20%. Also, in order to maintain and develop the vegetation cover of the region in an ideal condition, and to maintain the animal species index of the region (green duck), the annual water requirement is equal to 0.12 and 0.000348 million cubic meters, respectively. By meeting the water needs of ecosystem services in order to preserve dust, the ecosystem of the wetland, including plant and animal species of the region is also preserved.

**Keywords:** Ecological and hydrological water needs, Ecosystem services, Remote sensing, Water balance

\* Corresponding author

Email: [e\\_yusefi\\_31@birjand.ac.ir](mailto:e_yusefi_31@birjand.ac.ir)

## Expanded Abstract

### Introduction

Wetlands are actually the kidneys of the earth that lead to the environmental balance of the earth. Wetland is a unique environmental system with diverse performance and high biodiversity. Wetlands cover approximately 5 to 8 percent of the earth's surface (7-10 million km<sup>2</sup>) and must be preserved in order to maintain their important functions as natural habitats and their role in the global carbon cycle. Wetlands have high primary productivity among all ecosystems and provide many ecological services, including environmental treatment, modification in the atmosphere and water cycle, wave intensity reduction and disasters resulting from them. However, a large proportion of wetlands in the transition zone from marine-river ecosystems lies in terrestrial ecosystems, making them a sensitive and fragile ecosystem. Due to changes in natural environments, over-exploitation of wetlands and irrational use of their resources, the structure of wetland ecosystems has been destroyed and the boundaries of wetlands are gradually shrinking, which leads to damage or their ecological performance is lost. Therefore, it is necessary to revive wetland systems through efficient engineering technologies and logical management approaches. In order to provide a scientific basis for protection and restoration, it is necessary to examine the ecological water requirement of the wetland. According to studies, the ecological water requirement is equal to the amount of water that maintains the balance of the wetland ecosystem and guarantees its main functions. The main methods of calculation for the ecological water needs of wetlands include hydrological, ecological and eco-hydrological methods. The eco-hydrological method is a combination of hydrological and ecological methods and considers all the required rules of ecological water of wetlands and combines the advantages of these two methods. Today, remote sensing is an alternative to terrestrial measured data. Studies have shown that remote sensing data provide many benefits, including high time resolution, spatial distribution, and data access for monitoring and evaluating ecosystem time patterns. Therefore, they are a powerful tool for monitoring wetlands. Researchers are trying to balance the ecological needs of the wetland with the rational allocation of water resources. Achieving this balance can ensure the natural flow of water in order to improve the overall ecological performance of the wetland system, with the aim of restoring its function and rebuilding its ecosystem.

### Materials and Methods

In studies of calculating the water requirement of wetlands, the functions of the study wetland should be identified first and the index should be determined for each function. The indicators should be determined in such a way that in addition to maintaining the main functions of the wetland, its functions are also maintained. Due to the characteristics of Nehbandan wetland, including water with salinity and high salts, lack of aquatic animals, lack of endangered species related to wetland water, as well as special socio-economic and cultural factors related to wetlands such as special traditional ceremonies. This wetland does not have a special production, socio-economic and cultural function and its most important functions are from the point of view of physicochemical, biological and ecosystem services.

After identifying these functions, an indicator was selected for each of them to calculate the amount of water required of the wetland. Maintaining the area of the main spot of the wetland in minimum and maximum amount as a physicochemical index, maintaining the area of the main spot of the wetland in medium size as an ecosystem services index and preserving plant and animal species related to the wetland were selected as biological indicators.

The MNDWI index was used to identify the water area of the wetland. After determining the boundaries of the wetland, in a process using the detection of the wetland underwater surface and depth measurement with satellite images, the volume of water at different levels was calculated according to the shape of the wetland bed and water depth. The water balance formula was used to

calculate the hydrological needs of the wetland. The average amount of precipitation in the region was calculated using the monthly data of TRMM satellite, the amount of evapotranspiration was calculated using Modis satellite data and the amount of runoff was calculated using Terra climate data. After calculating the hydrological water requirement, three species of tamarix aphylla, haloxylon aphyllum and phragmetes australis were selected as plant indicators and anas platyrhynchos were selected as animal indicators and the ecological water needs of the wetland were calculated.

After calculating the indicators, the amount of water demand of Nehbandan wetland is examined during 6 scenarios so that while identifying the condition of the wetland in different scenarios, it is planned to achieve the ideal situation. These scenarios include the following:

1. Determining the hydrological water requirement of the wetland according to the average size of the wetland's main spot or normal condition
2. Determining the hydrological water requirement of the lowest size of the wetland's main spot or drought condition
3. Determining the hydrological water requirement of the wetland according to the highest size of the wetland's main spot or wet year condition
4. Real scenario of wetland's vegetation water requirement
5. Ideal scenario of wetland's vegetation water requirement
6. Determining the wetland's water needs of animal species index

### Discussion of Results

In this study, in order to preserve and revive the Nehbandan wetland, its hydrochloric water requirement was calculated in 6 different scenarios. The wetland water balance was used to calculate the hydrological water needs of the wetland and the species of Haloxylon aphyllum, Phragmetes australis, Tamarix aphylla and Anas platyrhynchos were used to calculate the ecological water needs of the wetland. The hydrological water balance of the wetland was estimated through the following equation:

$$\frac{\Delta S}{\Delta T} = input - output = P + Qi + Gi - ET - Qo - Go$$

$$\frac{\Delta S}{\Delta T} = input - output = 1.3333 + 12.2 + 0 - 13.785 - 0 - 0 = -0.452$$

In this equation,  $\Delta S$  shows the water changes of the wetland in the period  $\Delta T$ .  $P$  is the direct input from rainfall,  $Qi$  is the direct input from runoff and surface rivers,  $Gi$  is the amount of wetland feeding through groundwater,  $ET$  is the amount of evapotranspiration,  $Qo$  is the amount of direct output from the wetland and  $Go$  is the amount of discharge through groundwater. The results showed that currently the water balance of the wetland is negative and the outflows of the wetland are 0.452 million cubic meters more than its inputs.

Using the MNDWI index, the highest area of the wetland was calculated in May 2016 and amounted to 20 km<sup>2</sup>, the average limit of the wetland in May 2017 was 8.8 km<sup>2</sup> and the minimum limit of the wetland was 6 km<sup>2</sup> in November 2018. Therefore, due to the depth of the wetland in different years, which varied between 10 and 30 cm, the volume of water in these three areas was calculated.

Therefore, in order to maintain the main spot of the wetland in the cold months of the year, 0.65 million cubic meters of water is needed for minimum extent, which is 1.32 million cubic meters in average extent and 6 million cubic meters in maximum extent.

According to the calculations, the amount of wetland water required in real scenario of plant water need is 0.1026 million cubic meters, that this amount in ideal scenario of plant water need is 0.12345 million cubic meters.

Also, the water needs of the wetland in order to preserve the important animal species is 0.0003479 million cubic meters. Hydrological wetland water requirement according to the low, average and high spot level of wetland are 13.3, 13.97 and 18.65, respectively.

In the section of biological indicators, *Phragmites australis* was introduced as the most abundant wetland species to calculate the plant water requirement. Since, there is no real amount of evapotranspiration of this plant, alternative methods can be used to calculate the amount of evapotranspiration of *Phragmites australis*. In this study, Thornth Waite method was used.

Also, since ducks are one of the most important species observed in aquatic environments, mallard were used in this study. Liu et al. (2018) also introduced rare ducks such as mallard as a suitable species using as an indicator to calculate the water needs of wetlands. Therefore, using these two species as a biological indicator to calculate the ecological water needs of the wetland is very useful, especially in the study wetland, which has a very low species diversity.

In the discussion of calculating the hydrological water requirement of the wetland, using the water balance equation can be an effective approach to control the volume of water withdrawn from the wetlands, because this equation considers all inputs and outputs of the wetland.

Therefore, by maintaining the volume of water in the wetland, its ecological status can also be maintained. On the other hand, by reducing the output of the wetland, its condition can be restored and improved.

As mentioned, the most important factor in calculating the water balance is the amount of evapotranspiration, which in order to manage the wetland, especially in arid and semi-arid areas, the correct calculation of this parameter is very important. In this study, the value of this parameter was estimated by using satellite data and Penman-Monteith algorithm.

uttolomondo et al. (2016) also used plant evapotranspiration data using Penman Mantis method to calculate this parameter. They also concluded that the most important factor in the amount of wetland water balance is the evapotranspiration parameter. During the study, it was observed that the MNDWI index is one of the best indicators for separating water zones from land because it is able to show canals and waterways better than other indicators such as AWEI. So, it shows the border of the blue zone very accurately

## Conclusions

According to the obtained results, in order to provide the average level of water stain in the cold months of the year (the time of the presence of the wetland), Nehbandan saltwater wetland, with a water volume of 13.97 million cubic meters per year, needs water, which 12.2 million cubic meters are supplied via surface runoff. Therefore, there is a shortage of 1.77 million cubic meters, which must be met by reducing the area's groundwater abstraction by about 20 percent. Also, in order to maintain and develop the vegetation of the region in an ideal condition, the annual need for water is equal to 0.12 million cubic meters. This is equivalent to 0.000348 million cubic meters per year for the protection of waterfowl in the region. Therefore, by providing the water needs of ecosystem services in order to preserve fine dust, the ecosystem related to the wetland, including plant and animal species of the region, is also preserved. The results in the scenario of ecosystem services show that in the current situation, water balance of wetland is negative and considering that the area of the wetland is one of the wind erosion centers of the province, so the most important ecosystem services of Kaji wetland is to deal with dust.

Due to the hot and dry climate of the region as well as the recent droughts, there is a concern that with the drying up of the region's wetland, it will become a center of dust. Salt and mineral in the lagoon also exacerbate this concern. Therefore, it is necessary to maintain and rehabilitate it, and determining the water needs of wetlands can restore their ecological conditions and play an important role in improving their environmental performance.

## برآورد سناریو محور نیاز آبی اکوهیدرولوژی تالاب‌ها در جهت توسعه پایدار منابع آبی (مطالعه موردی تالاب کجی نمکزار نهبندان)

محمدحسین صیادی<sup>۱\*</sup>، الهام یوسفی<sup>۱\*</sup>، الهام چمانه پورا<sup>۱</sup>

۱ گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲ گروه محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۱۹

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۸/۸/۲

### چکیده

تالاب کجی نمکزار نهبندان با برخورداری از تنوع زیستی بالا، نقش مهمی در عملکرد هیدرولوژیکی منطقه ایفا می‌کند. اخیراً به دلیل فعالیت‌های انسانی و همچنین خشک‌سالی، تنش‌های شدیدی به آن وارد شده است که تعیین نیاز آبی آن می‌تواند ضمن بازگرداندن شرایط اکولوژیکی، عملکرد محیط‌زیستی تالاب را بهبود بخشد. از این‌رو در این پژوهش، بر اساس روش ترکیبی در ۶ سناریو نیاز آبی اکوهیدرولوژی تالاب کجی محاسبه شد. با استفاده از داده‌های حاصل از سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و مشاهدات میدانی اطلاعات مورد نیاز کسب شده و با استفاده از معادله بیلان آبی مقدار نیاز آبی در سناریوهای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی محاسبه شد. نتایج نشان داد برای تأمین حد متوسط لکه آب به حجم آبی معادل ۱۳/۹۷ میلیون مترمکعب به‌طور سالانه نیاز است که ۱۲/۲ آن از طریق رواناب سطحی تأمین می‌شود و ۱/۷۷ میلیون مترمکعب کمبود وجود دارد که باید با کاهش حدود ۲۰ درصدی برداشت از آب زیرزمینی منطقه تأمین شود. همچنین به‌منظور حفظ پوشش گیاهی و گونه‌های شاخص جانوری منطقه به ترتیب به‌طور سالانه نیاز به آبی معادل ۰/۱۲ و ۰/۰۰۳۴۸ میلیون مترمکعب است. با تأمین نیاز آبی خدمات اکوسیستمی تالاب به‌منظور حفظ ریزگرد، اکوسیستم گیاهی و جانوری منطقه نیز حفظ می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** بیلان آبی، نیاز آبی اکولوژیکی و هیدرولوژیکی، سنجش از دور، خدمات اکوسیستم.

### ۱. سرآغاز

حفظ وظایف مهمشان به‌عنوان زیستگاه طبیعی و نقششان در چرخه جهانی کربن، حفظ شوند (Wang & Yang, 2019). تالاب‌ها در بین تمام اکوسیستم‌ها بهره‌وری اولیه بالایی دارند و خدمات اکولوژیکی بسیاری از جمله تصفیه محیط‌زیست، تعدیل در جو و چرخه آب، کاهش شدت امواج و فجایع ناشی از آن را در اختیار بشر قرار می‌دهند.

تالاب‌ها در واقع کلیه‌های زمین هستند که منجر به تعادل محیط زیستی کره زمین می‌شوند (Cheng et al., 2018). تالاب یک سیستم محیط زیستی منحصر به فرد با عملکرد گوناگون و تنوع زیستی بالا است (Liu et al., 2018). تالاب‌ها تقریباً ۵ تا ۸ درصد سطح زمین (۷-۱۰ میلیون کیلومترمربع) را پوشش می‌دهند و باید به‌منظور

تالاب معطوف گشت. در سال ۱۹۹۳، Covich تأکید کرد که آب برای بازسازی، حفظ توسعه سالم و مدیریت اکوسیستم آبی ضروری است. در سال ۱۹۹۵، Falkenmark مفاهیم آب سبز (مقدار آب معادل تبخیر و تعرق)، آب آبی (آب موجود در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی) و آب قهوه‌ای (آب مورد استفاده انسان‌ها) را از یکدیگر متمایز کرد و تأکید کرد که منابع آبی نه تنها برای تأمین نیاز جامعه بشری بلکه برای تأمین نیاز آبی برای پایداری اکوسیستم‌ها اهمیت دارند. پس از آن در سال ۱۹۹۸، Gleick مفهوم اساسی تقاضای اکولوژیکی آب را پیشنهاد کرد. پس از بیان مفهوم نیاز آبی اکولوژیکی، به تدریج مطالعات زیادی پیرامون نیاز آبی اکولوژیکی تالاب‌ها تدوین شد و محققان مطالعه روی نیاز آبی اکولوژیکی مختلف از جمله پوشش گیاهی، خاک و زیستگاه‌های بیولوژیکی را آغاز کردند (Baird & Wilby, 1999; Roberts et al., 2000; Catford, 2006). امروزه نیز با توجه به کمبود آب، محاسبه نیاز آبی اکولوژیکی محیط‌های آبی بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است. در سال ۲۰۱۹ تالاب یونگنیان چین از لحاظ عملکرد زیست‌محیطی بررسی شد و مقدار نیاز آبی آن در ۴ سطح پوشش گیاهی، جانوری، خاک و شارژ آب زیرزمینی منطقه محاسبه شد (Wang & Yang., 2019). Xu و همکاران در سال ۲۰۱۸ به محاسبه نیاز آبی حوضه رودخانه شیائوکینگ با استفاده از گیاه نی پرداختند. همچنین مدبری و شکوهی (۱۳۹۸) به محاسبه نیاز آبی اکوهیدرولوژی تالاب انزلی پرداختند. آن‌ها تراز اکولوژیکی مربوط به تالاب را برای دو شرایط حداقل و مطلوب تعریف و در نهایت با استفاده از منحنی سطح-حجم-ارتفاع محاسبه شده برای تالاب انزلی، دو حجم ۱۱۲ میلیون مترمکعب و ۲۳۷ میلیون مترمکعب به ترتیب دو حد حجم حداقل و حجم مطلوب زیست‌محیطی تعیین کردند.

طبق مطالعات انجام شده نیاز آبی اکولوژیکی برابر با مقدار آبی است که تعادل اکوسیستم تالاب را حفظ می‌کند

با این حال، بخش بزرگی از تالاب‌ها در منطقه گذار از اکوسیستم‌های دریایی - رودخانه‌ای به اکوسیستم‌های خاکی قرار دارند که باعث می‌شود آن‌ها به اکوسیستم حساس و شکننده‌ای تبدیل شوند (Xu et al., 2018). با توجه به تغییر در محیط‌های طبیعی، بهره‌برداری بیش از حد از تالاب‌ها و استفاده غیرمنطقی از منابع آن‌ها، ساختار اکوسیستم‌های تالابی از بین رفته است و سرحد تالاب‌ها به تدریج در حال کوچک شدن است که این امر به آسیب یا از بین رفتن عملکرد اکولوژیکی آن‌ها می‌انجامد (Liu et al., 2018). بنابراین ضروری است که سیستم‌های تالابی از طریق فناوری‌های مهندسی کارآمد و رویکردهای مدیریت منطقی احیا شوند (Xu et al., 2018).

طبق بررسی مرجع ملی تالاب، تعداد زیادی از تالاب‌ها در حال کوچک شدن هستند، برای مثال در تالاب بین‌المللی انزلی، حدود ۶۵ کیلومتر مربع (تقریباً ۶۹ درصد از کل منطقه) از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۳ کاهش یافته است (Mousazadeh et al., 2015). تخریب و از بین رفتن تالاب‌ها به‌طور جدی بر بقا و تولید مثل حیوانات وحشی نادر اطراف تأثیر می‌گذارد و توسعه اقتصادی منطقه را به‌طور جدی محدود می‌کند، تمامی این موارد نشان می‌دهد که حفاظت و احیای تالاب‌ها امری ضروری است. برای تهیه یک مبنای علمی برای حفاظت و ترمیم، لازم است که آب مورد نیاز اکولوژیک تالاب بررسی شود (Liu et al., 2018). آب عامل اصلی تشکیل، توسعه، توالی، نابودی و بازسازی یک تالاب است. همچنین کلید تشکیل خاک و حفظ گونه‌های زیستی در اکوسیستم تالاب است (Wang & Yang, 2019). محققان در تلاشند تا با تخصیص منطقی منابع آبی، نیازهای آبی اکولوژیکی تالاب را متعادل کنند. دستیابی به این تعادل می‌تواند از گردش طبیعی آب به‌منظور بهبود عملکرد اکولوژیکی کلی سیستم تالاب، با هدف احیای عملکرد و بازسازی اکوسیستم آن اطمینان حاصل کند (Chen, 2012).

در دهه ۱۹۹۰ توجه محققان به سمت رابطه آب و

از چهار دهه، ماهواره‌ها برای ثبت خصوصیات زمینی در مقیاس وسیع زمانی- مکانی، اطلاعات فراهم کرده‌اند و یک پنجره منحصر به فرد برای مشاهده وضعیت و پویایی اکوسیستم‌ها به گذشته ارائه می‌دهند و یکی از منابع اصلی برای تشخیص تغییر در سیستم‌های انسانی- طبیعی بزرگ مقیاس از جمله تالاب‌ها هستند (Gottschalk et al., 2005). مطالعات نشان داده‌اند که داده‌های سنجش از دور مزایای زیادی از جمله وضوح زمانی بالا، توزیع مکانی و دسترسی داده‌ای برای نظارت و ارزیابی الگوهای زمانی اکوسیستم‌ها را فراهم می‌کنند (Abdelaziz et al., 2018). بنابراین ابزار قدرتمندی برای پایش تالاب‌ها هستند (Onamuti et al., 2017).

هدف از این مطالعه محاسبه نیاز آبی اکوهیدرولوژی تالاب کجی نمکزار نهبندان با استفاده از داده‌های سنجش از دور در شش سناریو مختلف اکولوژیکی و هیدرولوژیکی است. در این پژوهش برای نخستین بار سعی شده است که با نگرش سناریومحور و ادغام روش‌های نوین کسب اطلاعات و داده‌پردازی از جمله سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و همچنین پایش بلندمدت وضعیت تالاب، به بهینه‌سازی اکوسیستم تالاب پرداخته شود. از طرفی با توجه به اینکه نیاز آبی تالاب در ۶ سناریو مختلف بررسی شد، دیدگاهی جامع‌نگرانه به خدمات اکوسیستمی تالاب ایجاد شد که برخلاف مطالعات پیشین که نیاز آبی تالاب‌ها را در وضعیت موجود محاسبه کرده‌اند، این مطالعه وضعیت اکوسیستمی ایدئال را نیز مدنظر قرار داده است. چرا که درک کامل از نیاز آبی تالاب‌ها، سیاست‌گذاران و مهندسان را قادر می‌سازد سناریوهای بهینه برای تخصیص منابع آب ایجاد و پیاده‌سازی کنند تا علاوه بر حفظ وضعیت فعلی تالاب، احیاء و بازسازی اکوسیستم آن نیز صورت گیرد.

و کارکردهای اصلی آن را تضمین می‌کند (Xu et al., 2018). در واقع نیاز آبی تالاب به میزان آب مورد نیاز برای حمایت و حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی و فرایندهای اکولوژیکی آن از جمله پشتیبانی و حمایت از منابع انسانی و بیولوژیکی، شارژ مجدد آب‌های زیرزمینی، نیازهای آبی اکولوژیکی دریاچه‌ها، تصفیه آلاینده‌های آب و نیازهای اساسی اکولوژیکی رودخانه‌ها اشاره دارد (Cheng et al., 2018).

روش‌های اصلی محاسبه برای نیاز آبی اکولوژیکی تالاب‌ها شامل روش‌های هیدرولوژی، اکولوژی و اکوهیدرولوژی است. در روش هیدرولوژی، نیاز آبی تالاب بر اساس خصوصیات و کارکردهای هیدرولوژیکی اکوسیستم تالاب طی یک دوره زمانی طولانی مدت محاسبه می‌شود (Ferrati & Canziani, 2005). روش اکولوژی به گونه‌ای است که مطابق با ساختار و عملکرد اکوسیستم تالاب، نیاز اکولوژیکی آن با توجه به تقاضای آب برای پوشش گیاهی، خاک، زیستگاه‌های بیولوژیکی، تصفیه آلودگی و غیره تالاب محاسبه می‌شوند (Zhao et al., 2005) و در نهایت روش اکوهیدرولوژی شامل مجموع مقدار آب اکولوژیکی و مقدار آب مورد نیاز با توجه به پارامترهای مختلف هیدرولوژیکی است (Zhou & Xu, 2007). در روش هیدرولوژی جمع‌آوری داده‌ها آسان و کم‌هزینه است، اما ارزش اکولوژیکی تالاب را از منظر اکولوژی در نظر نمی‌گیرد. در مقابل سازگاری روش اکولوژیکی بهتر است و کاربرد گسترده‌تری دارد، اما ممکن است نقص همپوشانی و تکرار محاسبات بین قسمت‌های مختلف وجود داشته باشد. روش اکوهیدرولوژی ترکیبی از روش‌های هیدرولوژی و اکولوژی است و تمامی قواعد مورد نیاز آب اکولوژیکی تالاب‌ها را در نظر می‌گیرد و مزایای این دو روش را با هم ترکیب می‌کند (Liu et al., 2018).

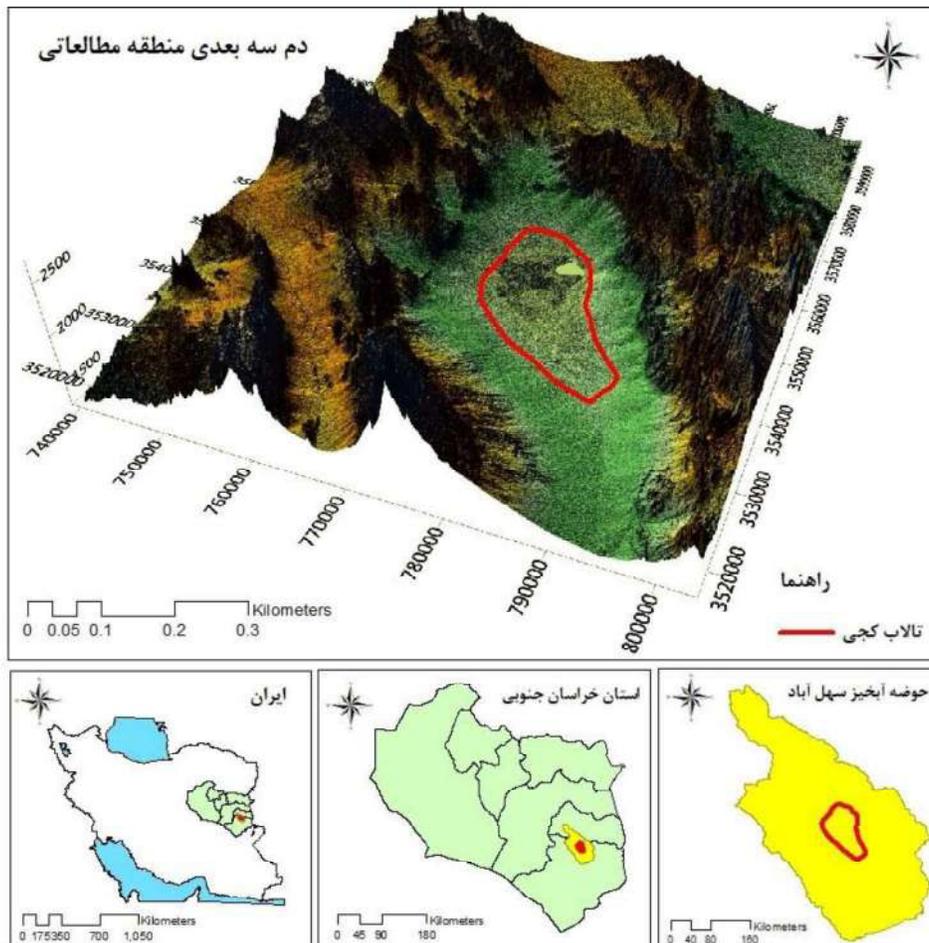
امروزه سنجش از دور جایگزینی برای داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی است (Lu et al., 2004). برای بیش

۲. مواد و روش‌ها

۱-۲. محدوده مورد مطالعه

تالاب کجی نمکزار نهبندان در کشور ایران، استان خراسان جنوبی و حوضه آبخیز سهل‌آباد واقع شده است. مختصات جغرافیایی حوضه آبخیز سهل‌آباد بین طول ۵۹ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی و ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. مساحت کلی این حوضه ۲۶۱۵ کیلومترمربع است که تالاب کجی حدود ۷ کیلومترمربع از این مساحت را به خود اختصاص می‌دهد. متوسط ارتفاع حوضه ۱۸۶۰ متر است. میانگین دمای سالانه منطقه مورد مطالعه ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد است. همچنین با استفاده از روش آمبرژه، اقلیم منطقه، خشک و بیابانی است (شکل ۱).

این تالاب اهمیت ویژه‌ای در حفظ پرندگان منطقه دارد و در واقع به‌عنوان توقفگاه بین راهی در هنگام مهاجرت تابستانه و زمستانه پرندگانی همچون غازسانان، کشیم سانان، لک‌لک شکلان و آبچلیک شکلان محسوب می‌شود. از طرف دیگر تالاب کجی مأمّن امنی برای زیست پرندگانی همچون اردک سرسبز و زادآوری گونه‌هایی همچون چکچک، سسک ابرو سفید و سسک نیزار محسوب می‌شود. از جمله گونه‌های گیاهی منطقه که حضورشان تحت تأثیر تالاب است می‌توان به نی، تاغ و گز اشاره نمود. تالاب کجی نمکزار نهبندان از سال ۱۳۸۹ به‌عنوان پناهگاه حیات‌وحش کجی نمکزار نهبندان معرفی شد (سازمان حفاظت محیط‌زیست خراسان جنوبی، ۱۳۹۷).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و سیاسی منطقه مورد مطالعه

متوسط، شاخص خدمات اکوسیستمی و حفظ گونه‌های گیاهی و جانوری وابسته به تالاب، شاخص بیولوژیکی انتخاب شد. در ادامه نحوه محاسبه هر یک از این شاخص‌ها بیان می‌شود. پس از محاسبه شاخص‌ها، مقدار نیاز آبی تالاب کجی نمکرار نهبندان در طی ۶ سناریو بررسی می‌شود تا بتوان ضمن تشخیص وضعیت تالاب در سناریوهای مختلف، به منظور رسیدن به وضعیت ایدئال برنامه‌ریزی کرد (شکل ۲).

## ۲-۲-۱. محاسبه حجم تالاب در سه حد کمینه،

### بیشینه و متوسط تالاب

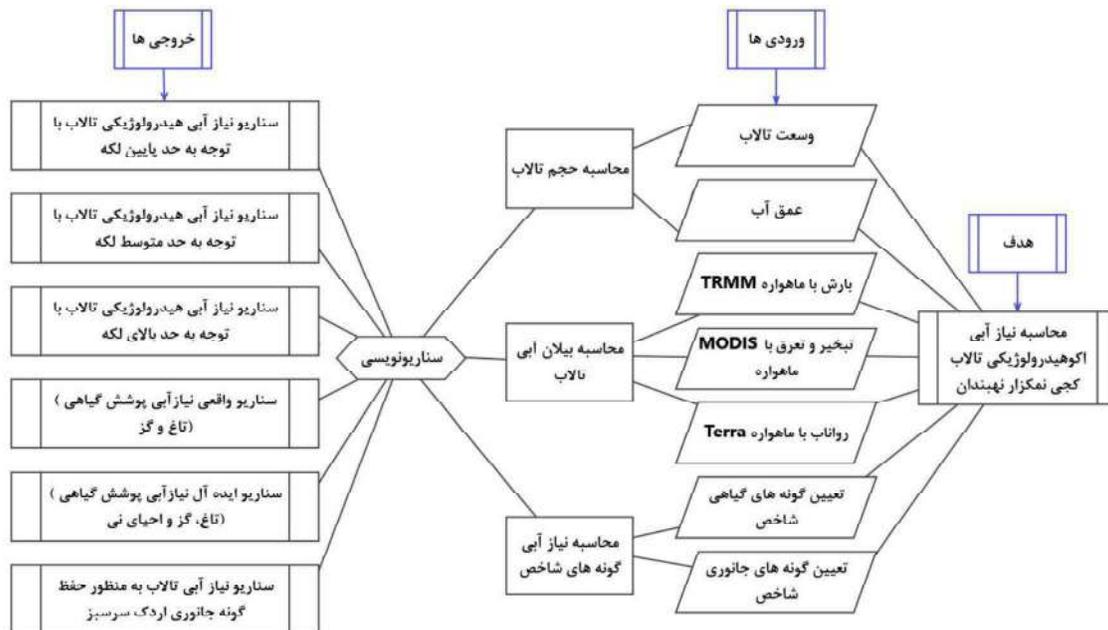
شاخص MNDWI یکی از پرکاربردترین شاخص‌هایی است که به منظور شناسایی پهنه‌های آبی به کار می‌رود. این شاخص از ترکیب باند سبز (GREEN) و مادون قرمز میانی (SWIR) برای تفکیک آب و خشکی استفاده می‌کند. رابطه (۱) نحوه محاسبه این شاخص را نمایش می‌دهد (Szabó et al., 2016):

$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR}$$

## ۲-۲. متدولوژی

در مطالعات محاسبه نیاز آبی تالاب‌ها، ابتدا باید کارکردهای تالاب مورد مطالعه شناسایی شده و برای هر کارکرد شاخص تعیین شود شاخص‌ها باید طوری تعیین شوند که علاوه بر حفظ کارکردهای اصلی تالاب، عملکردهای آن نیز حفظ شود. با توجه به ویژگی‌های تالاب کجی نمکرار نهبندان از جمله آب با شوری و املاح بالا، نبود آبیان در آن، عدم وجود گونه در حال انقراض وابسته به آب تالاب و همچنین عوامل اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی خاص وابسته به تالاب مانند وجود مراسم سنتی خاص، این تالاب کارکرد تولیدی، اجتماعی-اقتصادی و فرهنگی خاصی ندارد و مهمترین کارکردهای آن از دیدگاه فیزیکوشیمیایی، بیولوژیکی و خدمات اکوسیستمی است.

پس از شناسایی این کارکردها، برای محاسبه مقدار آب مورد نیاز تالاب برای هر یک از آن‌ها شاخصی انتخاب شد تا بتوان نیاز آبی مورد نیاز تالاب را محاسبه کرد. حفظ مساحت لکه اصلی تالاب در حد کمینه و بیشینه، شاخص فیزیکوشیمیایی، حفظ مساحت لکه اصلی تالاب در حد



شکل ۲. فلوچارت مراحل انجام کار

جدول ۱. اطلاعات باندهای سنجنده OLI ماهواره لندست ۸

| اسم باند         | طول موج ( $\mu\text{m}$ ) | قدرت تفکیک مکانی (m) |
|------------------|---------------------------|----------------------|
| B1- aerosol      | ۰/۴۵-۰/۴۳                 | ۳۰                   |
| B2- blue         | ۰/۵۱-۰/۴۵                 | ۳۰                   |
| B3- green        | ۰/۵۹-۰/۵۳                 | ۳۰                   |
| B4- red          | ۰/۶۷-۰/۶۴                 | ۳۰                   |
| B5- NIR          | ۰/۸۸-۰/۸۵                 | ۳۰                   |
| B6- SWIR 1       | ۱/۶۵-۱/۵۷                 | ۳۰                   |
| B7- SWIR 2       | ۲/۲۹-۲/۱۱                 | ۳۰                   |
| B8- panchromatic | ۰/۶۸-۰/۵۰                 | ۱۵                   |
| B9- cirrus       | ۱/۳۶-۱/۳۲                 | ۳۰                   |

منبع: Reddy et al., 2018

### ۲-۲-۲. محاسبه نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب

به منظور محاسبه نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب از فرمول بیلان آبی استفاده شد. فرایندهای هیدرولوژیکی مربوط به سطح آب تالاب به تعاملات آب میان جو، آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی بستگی دارد. به طور کلی آب به یک تالاب از طریق بارش مستقیم، رواناب، جریان ورودی از طریق آبراه‌ها و رودخانه‌ها و تغذیه از آب‌های زیرزمینی وارد می‌شود و در مقابل از طریق تبخیر و تعرق گیاهی، جریان‌های خروجی و تخلیه آب‌های زیرزمینی از تالاب خارج می‌شود. که به مجموع این تعاملات بیلان آبی هیدرولوژیکی تالاب گویند. این تبادلات آب بر اصل بقای جرم در چرخه آب تأکید دارد (Chen & Zhao, 2011). بیلان آبی هیدرولوژیکی تالاب از طریق رابطه (۳) برآورد می‌شود (Hayashi et al., 2016):

(۳)

$$\frac{\Delta S}{\Delta T} = \text{input} - \text{output}$$

$$= P + Qi + Gi - ET - Qo - Go$$

که در این رابطه،  $\Delta S$  تغییرات آب تالاب را در دوره زمانی  $\Delta T$  نمایش می‌دهد.  $P$  ورودی مستقیم حاصل از بارش؛  $Qi$  مقدار ورودی مستقیم حاصل از رواناب و رودهای سطحی؛  $Gi$  مقدار تغذیه تالاب از طریق آب‌های زیرزمینی؛  $ET$  مقدار تبخیر و تعرق؛  $Qo$  مقدار خروجی

سنجنده OLI ماهواره لندست یکی از سنجنده‌هایی است که بدین منظور به کار می‌رود. سنجنده OLI شامل ۸ باند چندطیفی با وضوح مکانی ۳۰ متر و یک باند پانکروماتیک با وضوح مکانی ۱۵ متر و قدرت تفکیک رادیومتریک ۱۶ بیتی است. جدول ۱ اطلاعات باندهای سنجنده OLI را نمایش می‌دهد (Reddy et al., 2018). برای محاسبه شاخص MNDWI از باندهای ۳ و ۶ تصاویر سنجنده OLI استفاده شد. پس از بررسی تصاویر ماهواره‌ای در سنوات گذشته تصویر آبان ۹۷ به عنوان حد کمینه، تصویر اردیبهشت ۹۶ به عنوان حد متوسط و تصویر اردیبهشت ۹۵ به عنوان حد بیشینه مرز آگیری تالاب انتخاب شد.

پس از مشخص شدن حدود تالاب طی پروسه‌ای با استفاده از آشکارسازی سطح زیر آب تالاب و عمق‌سنجی با تصاویر ماهواره‌ای و همچنین بازدیدهای میدانی از منطقه و عمق نسبی گزارش شده در شرایط آبی گذشته تالاب، پس از انتقال اطلاعات به محیط نرم‌افزار GIS حجم آب در ترازهای متفاوت با توجه به شکل بستر تالاب و عمق آب مطابق رابطه (۲) استخراج شد.

$$V = A \times H \quad (۲)$$

که در این فرمول  $V$  حجم آب براساس مترمکعب،  $A$  مساحت سطح براساس مترمربع و  $H$  عمق آب برحسب متر است (Halliday et al., 2013).

داده‌های اقلیمی با وضوح بالا برای تولید یک مجموعه داده ماهانه بارش، حداکثر و حداقل دما، سرعت باد، فشار بخار، تابش خورشیدی و رواناب استفاده می‌کند (Abatzoglou et al., 2018). جدول ۲ خصوصیات ماهواره‌های مورد استفاده بدین منظور را نمایش می‌دهد. پس از محاسبه پارامترهای فرمول بیلان و همچنین مقدار حجم آب مورد نیاز برای حفظ لکه اصلی تالاب در ترازهای مختلف، مقدار نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب از دیدگاه فیزیکوشیمیایی و خدمات اکوسیستمی محاسبه شد که در قسمت نتایج به آن پرداخته می‌شود.

### ۲-۳-۲. محاسبه نیاز آبی اکولوژیکی تالاب

پس از محاسبه نیاز آبی هیدرولوژیکی، در زمینه نیاز محیط‌زیستی تالاب‌ها از لحاظ اکولوژیکی، بررسی باید در زمینه پوشش گیاهی و پرندگان انجام گیرد. تغییر در پوشش گیاهی تالاب‌ها امری مهم و نیز از شواهد اولیه برای ارزیابی وضعیت اکولوژیکی تالاب‌ها در انواع بسیاری از ارزیابی‌های تالاب است (Haag et al., 2005). پس از بازدید میدانی از منطقه و گفت‌وگو با محیط‌بانان تالاب مشخص شد، مهم‌ترین گونه‌های گیاهی منطقه در حال حاضر گز (*Tamarix aphylla*) و تاغ (*Haloxyylon aphyllum*) هستند، همچنین در گذشته گیاه نی (*Phragmetes australis*) در منطقه وجود داشته که به علت چرای بیش از حد تنها بقایای اندکی از این گیاه در منطقه باقی مانده است.

مستقیم از تالاب و *Go* تخلیه از طریق آب‌های زیرزمینی است.

با توجه به ناکافی بودن اطلاعات زمینی از منطقه مورد مطالعه، پارامترهای فرمول بیلان با استفاده از سنجش از دور ماهواره‌ای محاسبه شد. پس از بررسی محدوده تالاب مشاهده شد مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در بیلان آبی تالاب کجی نمکزار نهبندان، سه پارامتر بارش، رواناب و تبخیر و تعرق است. پس از قرار دادن زون منطقه روی ۴۰ درجه شمالی در سیستم UTM هر یک از این پارامترها از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. مقدار میانگین بارش منطقه از داده‌های ماهیانه ماهواره TRMM در دوره زمانی ۲۰ ساله (۲۰۲۰-۲۰۲۰) محاسبه شد. ماهواره TRMM قادر به اندازه‌گیری بارش در مناطق حاره‌ای است. رادار تعبیه شده بر این ماهواره PR نام دارد که برای تشخیص بارندگی استفاده می‌شود (Sekaranom et al., 2018). مقدار تبخیر و تعرق نیز با استفاده از داده‌های سنجنده Terra ماهواره Modis برآورد گشت. الگوریتم مورد استفاده بدین منظور پنمن مانیتیس است که ورودی‌های آن داده‌های روزانه هواشناسی است (Zotarelli et al., 2010). این روش برمبنای مفاهیم فیزیکی تبخیر و تعرق بنا شده است که دقیق‌ترین نتایج را برای تمام شرایط آب و هوایی ارائه می‌دهد و مورد تأیید فائو است (Novák & Hlaváčiková, 2019). در نهایت نیز برای محاسبه مقدار رواناب از داده‌های Terra climate استفاده شد. ماهواره Terra climate با استفاده از درون‌یابی شرایط آب و هوایی، از

جدول ۲. خصوصیات ماهواره‌های مورد استفاده در محاسبه پارامترهای فرمول بیلان آبی

| پارامتر      | ماهواره | واحد                    | دوره زمانی دسترسی به داده‌ها | دوره زمانی استفاده شده | قدرت تفکیک      |
|--------------|---------|-------------------------|------------------------------|------------------------|-----------------|
| بارش         | TRMM    | mm/h                    | ۱۹۹۸-۲۰۲۰                    | ۲۰۰۰-۲۰۲۰              | ۰/۲۵ degree     |
| تبخیر و تعرق | MODIS   | kg/m <sup>2</sup> /8day | ۲۰۰۰-۲۰۲۰                    | ۲۰۰۰-۲۰۲۰              | ۵۰۰ (m)         |
| رواناب       | Terra   | mm                      | ۱۹۵۸-۲۰۱۷                    | ۲۰۰۰-۲۰۱۷              | ۲/۵ arc minutes |

منبع: نویسندگان \* ۶۰ arc minutes : ۱ degree \* \*\* ۱۶۰۰۰ arc minutes : ۱ arc minutes

خدمات اکوسیستمی تالاب‌ها ذکر کرد. در تالاب‌هایی که

تبخیر و تعرق گیاهی را می‌توان یکی از عوامل ورودی



اصلی آن حفظ شود)

۳. تعیین نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب با توجه به حد بالای لکه (این سناریو مقدار آبی را محاسبه می‌کند که تالاب در وضعیت ترسالی به آن نیاز دارد که در این شرایط تالاب وضعیت ایدئالی دارد)
۴. سناریو واقعی نیاز آبی پوشش گیاهی شاخص (با توجه به پوشش فعلی اطراف تالاب که شامل تاغ و گز است، این سناریو مقدار آب مورد نیاز برای حفظ پوشش سبز این دو گیاه را محاسبه می‌کند).
۵. سناریو ایدئال نیاز آبی پوشش گیاهی (در شرایط ایدئال، گیاه نی پوشش اصلی اطراف تالابها را به خود اختصاص می‌دهد در این سناریو سعی شده است مقدار نیاز آبی محاسبه شود که با حفظ گیاهان تاغ و گز منطقه، گیاه نی نیز احیا شود)
۶. تعیین نیاز آبی تالاب به منظور حفظ گونه‌های جانوری شاخص (این سناریو مقدار آبی را محاسبه می‌کند که جانوران شاخص منطقه که در تالاب مورد بررسی اردک سرسبز است، به آن نیاز دارند)

### ۳. نتایج

پس از بررسی وضعیت تالاب مورد مطالعه در ادامه نتایج حاصل از پژوهش حاضر ارائه می‌شود.

#### ۳-۱. محاسبه حجم تالاب

با استفاده از آشکارسازی کاربری اراضی تصاویر ماهواره‌ای منطقه مرز آبرگیری تالاب با استفاده از شاخص MNDWI در محیط نرم‌افزار ENVI به دست آمد. شکل ۲ مرز آبرگیری تالاب را در سه حد کمینه، متوسط و بیشینه نمایش می‌دهد. با توجه به شکل ۳ بیشترین مساحت تالاب در اردیبهشت ۱۳۹۵ و به مقدار ۲۰ کیلومتر مربع است. حد متوسط تالاب مربوط به اردیبهشت ۱۳۹۶ و به مقدار ۸/۸ کیلومتر مربع است. همچنین حد کمینه تالاب مربوط به آبان ۹۷ بوده که مقدار آن ۶ کیلومتر مربع است.

بین مرغابی سانان، اردک‌های سرسبز معمولاً کم عمق‌ترین آب را فقط در حد چند اینچ ترجیح می‌دهند. مساحت مورد نیاز برای هر اردک معادل  $1/5 \times 1/5$  مترمربع است. از طرفی هر اردک در هر روز یک لیتر آب نیز مصرف می‌کند (Laskowski, 2003). بنابراین با توجه به عمق، مساحت و مقدار آب مصرفی می‌توان حجم مورد نیاز برای تأمین نیازهای زیستی هر اردک را محاسبه کرد

پس از محاسبه نیاز آبی هیدرولوژیکی و اکولوژیکی تالاب، به منظور جلوگیری از کاهش عمق تالاب و بهبود وضعیت آن باید مقدار نیاز آبی تالاب براساس شاخص‌های مختلف حفظ شود؛ که بدین منظور در ادامه پژوهش نیاز آبی تالاب در سناریوهای مختلف بررسی شد.

#### ۲-۲-۴. سناریونویسی برای محاسبه نیاز آبی تالاب

پس از بررسی تالاب، برنامه‌ریزی در مورد وضعیت تالاب امری ضروری است. برنامه‌ریزی به ابزاری نیاز دارد تا بتواند آینده را در قالب عناصر قابل پیش‌بینی و عدم قطعیت‌ها بیان کند. این ابزارها همان سناریوها هستند که با یکدیگر، عدم قطعیت‌ها درباره آینده را نشان می‌دهند و عناصر نسبتاً مشخص را می‌توان با مجموعه‌ای از سناریوها تشریح کرد (تقوایی و حسینی خواه، ۱۳۹۶). به منظور محاسبه نیاز آبی تالاب کجی نمکزار نهبندان ۶ سناریو مختلف که وضعیت‌های مختلف تالاب را پیش‌بینی می‌نماید در نظر گرفته شده است. این سناریوها شامل موارد زیر است:

۱. تعیین نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب با توجه به حد متوسط لکه یا وضعیت نرمال آن (این سناریو مقدار آبی را محاسبه می‌نماید که تالاب برای حفظ خدمات اکوسیستم خود به منظور جلوگیری از تولید ریزگرد نیاز دارد)
۲. تعیین نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب با توجه به حد پایین لکه (این سناریو مقدار آبی را محاسبه می‌کند که تالاب در وضعیت خشک‌سالی به آن نیاز دارد تا لکه

مرز آبیگری تالاب در سه حد پایین، متوسط و بالا



شکل ۳. مرز آبیگری تالاب در سه حد پایین، متوسط و بالا

جدول ۳. سطح، حجم و ارتفاع آب در محدوده مرز متداول آبیگری تالاب

| حدود  | مساحت ( $Km^2$ ) | ارتفاع آب $cm$ | حجم آب ( $MCM$ ) |
|---|------------------|----------------|------------------|
| حد پایین تالاب در شرایط کم‌آبی (آبان ۹۷)      | ۶/۵              | ۱۰             | ۰/۶۵             |
| حد متوسط تالاب (اردیبهشت ۹۶)                  | ۸/۸              | ۱۵             | ۱/۳۲             |
| حد بالای تالاب در شرایط پرآبی (اردیبهشت ۱۳۹۵) | ۲۰               | ۳۰             | ۶                |

منبع: نویسندگان

آبخوان و حوالی روستای سهل‌آباد اندازه‌گیری شده است. با توجه به روند خشک‌سالی در سال‌های اخیر نیز این روند کاهشی ادامه داشته است که به دلیل فقدان داده امکان محاسبه آن وجود نداشت. همان‌طور که مشاهده شد مقدار آب تالاب روند کاهشی داشته و آبخوان این محدوده دارای شرایط نامتعادل است. بنابراین به‌منظور جلوگیری از ادامه این کاهش باید مقدار نیاز آبی تالاب محاسبه شود تا مدیران منطقه بتوانند وضعیت تالاب را به حالت بهینه در آورند.

### ۳-۲. محاسبه نیاز آبی تالاب

پس از بررسی کامل وضعیت تالاب، مؤلفه‌های ورودی به تالاب و خروجی از تالاب با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای محاسبه شد و مقادیر این پارامترها با داده‌های زمینی مطالعات بیلان آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی در سال

سپس با بررسی روند تاریخی وضعیت آبی تالاب ثبت شده در تصاویر ماهواره‌ای حدود سطحی آب و عمق تالاب از طریق مصاحبه با محیط‌بانان و مردم محلی و همچنین اندازه‌گیری‌های انجام شده در طول انجام پژوهش مشخص شد عمق تالاب در سال‌های متفاوت و شرایط آبی مختلف بین ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر متغیر بوده است. با دانستن مساحت و عمق تالاب حجم آب تالاب در شرایط آبی متفاوت در جدول ۳ برآورد شد.

همچنین با استفاده از آمار ماهیانه نوسانات سطح آب زیرزمینی ۲۲ حلقه چاه مشاهده‌ای در محدوده دشت سهل‌آباد در دوره آماری ۱۳۷۷ الی ۱۳۹۰ مشاهده گشت طی این دوره آماری ۱۳ ساله تراز سطح آب زیرزمینی به میزان ۱/۵۲ متر افت کرده است. حداکثر افت سطح آب زیرزمینی در این دوره ۱۳ ساله به میزان ۳ متر در شمال

رابطه فوق نشان دهنده حجمی از آب است که تالاب براساس روابط اقلیمی و هیدرولوژیکی دارد. با توجه به عدد به دست آمده (۰/۴۵۲-) مشخص می‌شود برای منطقه مورد مطالعه خروجی‌ها نسبت به ورودی‌ها ۰/۴۵۲ میلیون مترمکعب بیشتر است که داده‌های حاصل از مطالعات بیان آب (۰/۴۴۴-) نیز این کمبود را تأیید می‌کند. این اختلاف ناشی از مصارف بالا از آب‌های زیرزمینی منطقه است چرا که آب‌های زیرزمینی منطقه برای شرب و کشاورزی استفاده می‌شود و می‌توان این موضوع را از افت سطح آب‌های زیر زمینی در منطقه نیز متوجه شد. در ادامه با توجه به حجم آب محاسبه شده برای تالاب نیاز آبی آن در سناریوهای مختلف محاسبه شد. با توجه به اینکه داده‌های ماهواره‌ای به روزتر بوده و وضعیت منطقه را در طولانی مدت بررسی می‌کند برای تعیین نیاز آبی تالاب در این پژوهش از مقدار بیان آبی داده‌های ماهواره‌ای (۰/۴۵۲-) استفاده می‌شود.

۱۳۹۶ مقایسه شد. جدول ۴ مقدار پارامترهای مؤثر در بیان آبی تالاب کجی نمکزار نهبندان را نمایش می‌دهد. شایان ذکر است تغذیه و تخلیه ناشی از آب زیرزمینی با استناد به مطالعات بیان آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی (مطالعات بیان آب محدوده مطالعاتی سهل‌آباد، ۱۳۹۶) در محدوده تالاب تقریباً معادل یکدیگر در نظر گرفته شده و در فرمول معادل صفر قرار داده شد. پس از محاسبه تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های تالاب، با استفاده از رابطه (۳) مقدار بیان آبی هیدرولوژیکی در منطقه برآورد شد تا تغییرات ذخایر آب تالاب به دست آید.

(داده‌های ماهواره‌ای)

$$\frac{\Delta S}{\Delta T} = 1/1333 + 12/20 + 0 - 13/785 - 0 - 0 = -0/452$$

(داده‌های آب منطقه‌ای)

$$\frac{\Delta S}{\Delta T} = 1/163 + 11/38 + 0 - 12/987 - 0 - 0 = -0/444$$

جدول ۴. پارامترهای مؤثر در بیان آبی تالاب کجی نمکزار نهبندان

| خروجی‌ها (میلیون مترمکعب)    |  |  | ورودی‌ها (میلیون مترمکعب)    |   |  |
|------------------------------|--|--|------------------------------|---|--|
| مقدار (داده‌های آب منطقه‌ای) | مقدار (داده‌های ماهواره‌ای)  | مؤلفه                                  | مقدار (داده‌های آب منطقه‌ای) | مقدار (داده‌های ماهواره‌ای)                           | مؤلفه                                  |
| *                            | غیر از شرب احشام برداشت قابل ملاحظه‌ای از آب تالاب صورت نمی‌گیرد که قابل توجه نیست | برداشت مستقیم از تالاب                 | ۱/۱۶۳                        | ۱/۱۳۳۳  | تغذیه ناشی از نفوذ مستقیم بارش         |
| *                            | خروجی به این صورت از تالاب وجود ندارد.   | تخلیه ناشی از رواناب سطحی و رودخانه‌ها | ۱۱/۳۸                        | ۱۲/۲۰   | تغذیه ناشی از رواناب سطحی و رودخانه‌ها |
| ۱۲/۹۸۷                       | ۱۳/۷۸۵   | تبخیر و تعرق                           | *                            | هیچ رودخانه‌ای اعم از فصلی یا دائمی به تالاب نمی‌ریزد | تغذیه ناشی از رودخانه‌ها               |
| *                            | *  | تخلیه ناشی از آب زیرزمینی              | *                            | *   | تغذیه ناشی از آب زیرزمینی              |

باشد. با توجه به اینکه سه پارامتر خروجی مستقیم، بارش و تبخیر و تعرق در منطقه ثابت است، برای تأمین لکه معادل ۱/۳۲ میلیون مترمکعب به حجم آبی معادل ۱۳۷/۹۷ میلیون مترمکعب نیاز است.

$$1.32 = 1.1333 + Qi + Gi - 13.785 - 0 - Go$$

$$Qi + Gi - Go = 13.97$$

### ۱. تعیین نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب با توجه به حد متوسط لکه (وضعیت نرمال)

با توجه به جدول ۳ به منظور حفظ وضعیت متوسط لکه تالاب به حجم آبی معادل ۱/۳۲ میلیون مترمکعب آب نیاز است یعنی با توجه به معادله بیان باید مجموع خروجی‌ها و ورودی‌های تالاب ۱/۳۲ میلیون مترمکعب

### ۳. تعیین نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب با توجه به حد بالای لکه (وضعیت ترسالی)

با توجه به جدول ۳ به منظور حفظ حد بالای لکه تالاب به حجم آبی معادل ۶ میلیون مترمکعب آب نیاز است که برای حفظ این لکه باید حجم آبی معادل ۱۸/۶۵ میلیون مترمکعب تأمین شود. پس با کمبود حجمی حدود ۶/۴۵ میلیون مترمکعب آب مواجه هستیم که در این صورت باید برداشت از چاه‌های منطقه ۶۵ درصد کاهش یابد.

$$6 = 1.1333 + Qi + Gi - 13.785 - 0 - Go$$

$$Qi + Gi - Go = 18.65$$

### ۴. سناریو واقعی نیاز آبی پوشش گیاهی شاخص (تاغ و گز)

با توجه به روش تورنت وایت میزان تبخیر و تعرق که شامل حفظ گونه‌های گیاهی منطقه است سالانه ۱۳۹۰،۳۷ میلیمتر محاسبه شد. با توجه به جدول ۵ چنانچه بخواهیم ۵۰۰ اصله درخت نی در هر هکتار داشته باشیم به حجم آبی معادل ۶۹۵ میلیون مترمکعب در هر هکتار نیازمندیم. در بخش پوشش گیاهی منطقه، علاوه بر نی، دو گونه تاغ و گز پوشش گیاهی عمده منطقه را تشکیل می‌دهند که می‌توانند به‌عنوان گونه شاخص در محدوده تالاب کجی در نظر گرفته شوند. جدول ۶ نیاز آبی دو گونه تاغ و گز را با توجه به درصد سطح پوشش آن‌ها در منطقه تالاب نمایش می‌دهد.

جدول ۵. تعیین نیاز آبی گونه نی

| گونه | تبخیر و تعرق سالانه (m) | تراکم اصله در هکتار | نیاز آبی سالانه (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
|------|-------------------------|---------------------|--|
| نی   | ۱/۳۹                    | ۵۰۰                 | ۶۹۵  |

منبع: نویسندگان

جدول ۶. تعیین تبخیر و تعرق سالانه گونه‌های تاغ و گز

| گونه | میانگین تبخیر و تعرق روزانه (mm) | میانگین ضریب گیاهی (Kc) | تراکم اصله در هکتار | تبخیر و تعرق سالانه (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
|------|----------------------------------|-------------------------|---------------------|--|
| تاغ  | ۲/۴                              | ۰/۳۵                    | ۲۵۰                 | ۶۴۸۰   |
| گز   | ۰/۴                              | ۰/۵۸                    | ۵۰۰                 | ۱۰۸۰۰  |

منبع: راد، ۱۳۹۷

از طرفی مطابق با فرمول ۳ مجموع سه مؤلفه (Qi+ Gi-) در وضعیت فعلی تالاب ۱۲/۲۰ میلیون مترمکعب است. درحالی‌که برای تأمین لکه در حد متوسط مجموع این سه پارامتر باید ۱۳/۹۷ میلیون مترمکعب باشد پس حدود ۱/۷۷ میلیون مترمکعب کمبود داشته و بایستی به نوعی جبران شود. این میزان می‌تواند از طریق افزایش رواناب ورودی به تالاب یا کاهش برداشت آب از چاه‌های محدوده حوضه و همچنین کاهش میزان بندها حاصل شود. با توجه به میزان برداشت چاه‌ها در این محدوده که حدود ۱۰ میلیون مترمکعب است، با کاهش حدوداً ۲۰ درصدی میزان برداشت چاه‌های محدوده اطراف تالاب می‌توان به این مهم دست یافت.

### ۲. تعیین نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب با توجه به حد پایین لکه (وضعیت خشک‌سالی)

با توجه به جدول ۳ به منظور حفظ حد پایین لکه تالاب به حجم آبی معادل ۰/۶۵ میلیون مترمکعب آب نیاز است که برای حفظ این لکه باید حجم آبی معادل ۱۳/۳ میلیون مترمکعب تأمین شود. پس با کمبود حجمی حدود ۱/۱ میلیون مترمکعب آب مواجه هستیم که باید با کاهش ۱۱ درصدی برداشت از چاه‌های منطقه جبران شود.

$$0.65 = 1.1333 + Qi + Gi - 13.785 - 0 - Go$$

$$Qi + Gi - Go = 13.3$$

جدول ۷. تعیین نیاز آبی گونه‌های گیاهی منطقه در وضعیت واقعی

| گونه       | تراکم در منطقه (%) | تعداد اصله در هکتار | مساحت منطقه (ha) | نیاز آبی سالانه گونه با توجه به سطح پوشش منطقه (m <sup>3</sup> ) |
|------------|--------------------|---------------------|------------------|--|
| تاغ        | ۵۰                 | ۲۵۰                 | ۳۰۰              | ۴۸۶۰۰  |
| گز         | ۱۰                 | ۵۰۰                 | ۱۰۰              | ۵۴۰۰۰  |
| منطقه بایر | ۴۰                 | -                   | -                | -  |
| مجموع      |                    |                     |                  | ۱۰۲۶۰۰   |

منبع: نویسندگان

جدول ۸. تعیین نیاز آبی گونه‌های گیاهی منطقه در وضعیت ایدئال

| گونه       | تراکم در منطقه (%) | تعداد اصله در هکتار | مساحت منطقه (ha) | نیاز آبی سالانه گونه با توجه به سطح پوشش منطقه (m <sup>3</sup> ) |
|------------|--------------------|---------------------|------------------|--|
| تاغ        | ۵۰                 | ۲۵۰                 | ۳۰۰              | ۴۸۶۰۰  |
| گز         | ۲۰                 | ۵۰۰                 | ۱۰۰              | ۵۴۰۰۰  |
| نی         | ۱۰                 | ۵۰۰                 | ۳۰               | ۲۰۸۵۰  |
| منطقه بایر | ۲۰                 | -                   | -                | -  |
| مجموع      |                    |                     |                  | ۱۲۳۴۵۰   |

منبع: نویسندگان

### ۶. تعیین نیاز آبی تالاب به‌منظور حفظ گونه‌های جانوری شاخص (اردک سرسبز)

با توجه به اینکه عمق آب برای اردک‌های سرسبز باید کمتر از ۱۲ اینچ باشد که معادل ۳۰ سانتی‌متر است و مساحت مورد نیاز برای هر اردک معادل  $1/5 \times 1/5 = 1/25$  مترمربع است (Laskowski, 2003)، بنابراین حجم مورد نیاز برای تأمین نیازهای زیستی هر اردک برابر با  $0/68$  مترمکعب برآورد شد. همچنین هر اردک در هر روز یک لیتر آب مصرف می‌کند. با استفاده از اطلاعات سرشماری‌های زمستانه سازمان حفاظت محیط‌زیست استان میانگین سالانه جمعیت اردک‌های سرسبز تالاب ۵۰۰ عدد برآورد شد. بنابراین در هر ماه به‌طور تقریبی ۷۰ اردک در منطقه حضور دارند که مقدار آب مصرفی ماهانه آن‌ها برابر ۲۱۰۰ لیتر است. با توجه به این موارد برای تأمین آب مورد نیاز پرندگان شاخص منطقه در طول ۷ ماه آبدهی تالاب به حجم آبی حدود  $0/00035$  میلیون مترمکعب نیاز است.

پس از محاسبه نیاز آبی نی، گز و تاغ مقدار نیاز آبی پوشش گیاهی در منطقه تالاب محاسبه شد. در سناریو واقعی نیاز آبی پوشش گیاهی فعلی منطقه ارزیابی شد و طی بررسی میدانی از منطقه مشاهده شد که دو گونه تاغ و گز پوشش غالب منطقه را تشکیل داده‌اند. بنابراین مطابق با جدول ۷ و با توجه به اینکه ۵۰ درصد سطح پوشش منطقه درخت تاغ، ۱۰ درصد گز و ۴۰ درصد زمین بایر است، نیاز آبی پوشش گیاهی واقعی منطقه  $0/1$  میلیون مترمکعب برآورد شد.

### ۵. سناریو ایدئال نیاز آبی پوشش گیاهی (تاغ، گز و احیای نی)

در این سناریو نیاز آبی پوشش گیاهی منطقه در وضعیت ایدئال بررسی شد. چنانچه ۵۰ درصد منطقه تاغ، ۲۰ درصد گز، ۱۰ درصد نی و ۲۰ درصد زمین بایر باشد به حجم آبی معادل  $0/123$  میلیون مترمکعب نیاز است.

جدول ۹. تعیین نیاز آبی گونه‌های جانوری منطقه

| گونه       | تعداد | عمق (m) | مساحت (m <sup>2</sup> ) | آب مصرفی (liter/day) | سالانه (m <sup>3</sup> ) |
|------------|-------|---------|-------------------------|----------------------|--------------------------|
| اردک سرسبز | ۵۰۰   | ۰/۳     | ۱/۵                     | ۱                    | ۳۴۷/۹                    |

منبع: نویسندگان

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

تالاب کجی نمکزار نهبندان به‌عنوان تنها اکوسیستم آبی منحصر به فرد در خراسان جنوبی خدمات زیادی را در اختیار این منطقه قرار می‌دهد. با توجه به نقش کلیدی آن در منطقه تعیین مقدار آب مورد نیاز آن برای حفظ ارزش‌های زیست‌محیطی مرتبط با تالاب امری ضروری است. رویکرد مورد مطالعه در این پژوهش اکوهیدرولوژیکی بوده است. در ابتدا مطالعه جامعی از وضعیت تالاب طی دو دهه اخیر صورت گرفت. سپس شاخص‌های مورد نیاز برای محاسبه نیاز آبی تعیین شده و در نهایت نیاز آبی تالاب در ۶ سناریو محاسبه شد. همان‌طور که مشاهده شد، نتایج در سناریو خدمات اکوسیستمی نشان می‌دهد در وضعیت فعلی تالاب بیلان آبی منفی دارد و با توجه به اینکه محدوده تالاب جزء کانون‌های فرسایش بادی استان است، بنابراین مهمترین خدمات اکوسیستمی تالاب کجی مقابله با ریزگرد است. با توجه به اقلیم گرم و خشک منطقه و همچنین خشک‌سالی‌های اخیر این نگرانی مطرح می‌شود که با خشک شدن تالاب منطقه به یک کانون گرد و غبار تبدیل شود. همچنین نمک و املاح موجود در تالاب این نگرانی را تشدید می‌کند. بنابراین حفظ و احیا آن امری ضروری

است و تعیین نیاز آبی تالاب‌ها می‌تواند شرایط اکولوژیکی آن‌ها را باز گردانیده و در بهبود عملکرد زیست‌محیطی آن‌ها نقش بسزایی داشته باشد. با توجه به نتایج بدست آمده مشاهده شد برای تأمین حد متوسط لکه آب در ماه‌های سرد سال (زمان حضور تالاب) تالاب کجی نمکزار نهبندان به حجم آبی معادل ۱۳/۹۷ میلیون مترمکعب به‌طور سالانه آب نیاز دارد که ۱۲/۲ میلیون مترمکعب آن از طریق رواناب سطحی تأمین می‌شود. بنابراین ۱/۷۷ میلیون مترمکعب کمبود وجود دارد که باید با کاهش حدود ۲۰ درصدی برداشت از آب زیرزمینی منطقه آن را تأمین کرد. همچنین به‌منظور حفظ و توسعه پوشش گیاهی منطقه در وضعیت ایدئال، به‌طور سالانه نیاز به آبی معادل ۰/۱۲ میلیون مترمکعب است. که این میزان برای حفظ پرندگان آبرزی منطقه معادل ۰/۰۰۰۳۴۸ میلیون مترمکعب در سال است. بنابراین با تأمین نیاز آبی خدمات اکوسیستمی به‌منظور حفظ ریزگرد، اکوسیستم مربوط به تالاب شامل گونه‌های گیاهی و جانوری منطقه نیز حفظ می‌شود. جدول ۱۰ خلاصه‌ای از مقدار نیاز آبی تالاب را در طی سناریوهای مختلف نمایش می‌دهد.

جدول ۱۰. خلاصه‌ای از مقدار نیاز آبی تالاب طی سناریوهای مختلف

| سناریو  | مقدار نیاز آبی سالانه (MCM) |
|---|-----------------------------|
| سناریو واقعی نیاز آبی پوشش گیاهی (تاغ و گز)                         | ۰/۱۰۲۶                      |
| سناریو ایدئال نیاز آبی پوشش گیاهی (تاغ، گز و احیای نی)              | ۰/۱۲۳۴۵                     |
| نیاز آبی تالاب به‌منظور حفظ گونه‌های جانوری شاخص (اردک سرسبز)       | ۰/۰۰۰۳۴۷۹                   |
| نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب با توجه به حد پایین لکه (وضعیت خشک‌سالی) | ۱۳/۳                        |
| نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب با توجه به حد متوسط لکه (وضعیت نرمال)    | ۱۳/۹۷                       |
| نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب با توجه به حد بالای لکه (وضعیت ترسالی)   | ۱۸/۶۵                       |

منبع: نویسندگان

این مطالعه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و با به‌کارگیری الگوریتم پنمن ماننسیس مقدار این پارامتر برآورد شد. Tuttolomondo و همکاران نیز (۲۰۱۶) برای محاسبه این پارامتر از داده‌های تبخیر و تعرق گیاهی با استفاده از روش پنمن ماننسیس استفاده کردند. آن‌ها نیز به این نتیجه رسیدند که مهمترین عامل در مقدار بیلان آبی تالاب پارامتر تبخیر و تعرق است. طی بررسی انجام شده مشاهده شد شاخص MNDWI یکی از بهترین شاخص‌ها برای جداسازی پهنه‌های آبی از خشکی است چرا که قادر است در مقایسه با دیگر شاخص‌ها مثل AWEI، کانال‌ها و آبراه‌ها را بهتر نمایش دهد. بنابراین بسیار دقیق مرز پهنه آبی را نمایش می‌دهد (Reddy et al., 2018). در نتیجه مساحت پهنه آبی تالاب به درستی اندازه‌گیری شده است و این شاخص می‌تواند ابزار قدرتمندی برای جداسازی پهنه‌های آبی از خشکی باشد. همچنین مساحت و عمق تالاب در سال‌های اخیر بسیار دستخوش تغییر بوده است. عمق تالاب بین ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و مساحت آن بین ۶/۵ تا ۲۰ کیلومترمربع متغیر بوده است. که عمده‌ترین دلیل آن خشک‌سالی‌های اخیر، مدیریت نادرست و برداشت‌های غیراستاندارد از آبخوان منطقه بوده است که سبب افت ۱/۵۲ متری سطح آبخوان منطقه شده است. این افت آبخوان و کاهش عمق محیط‌های آبی در سراسر ایران به یک بحران تبدیل شده است. به‌طور مثال در دریاچه ارومیه ۴/۴ متر از سال ۱۹۹۹ افت سطح آب وجود داشته است (Abbaspour & Nazaridoust, 2007). بنابراین توجه به نیاز آبی محیط‌های آبی به‌ویژه تالاب‌ها بیش از پیش باید مورد توجه قرار گیرد.

در انتها پیشنهاد می‌شود با توجه به بیلان آبی محاسبه شده در سه حد پایین، متوسط و بالای تالاب و مقدار کمبود آب به ترتیب ۱/۸، ۱/۷۷ و ۶/۴۵ میلیون مترمکعب تعیین شد که این میزان می‌تواند از طریق کاهش برداشت آب از چاه‌های زیرزمینی و کاهش بندسارهای منطقه تأمین شود. همچنین چاه‌های سطحی فاقد کنتور که در

در بخش شاخص‌های بیولوژیک، گیاه نی فراوان‌ترین گونه تالابی برای محاسبه نیاز آبی گیاهی تالاب‌ها معرفی شد. از آنجا که هیچ مقدار واقعی از تبخیر و تعرق گیاه نی وجود ندارد، می‌توان از روش‌های جایگزین برای محاسبه مقدار تبخیر و تعرق نی استفاده کرد که در این مطالعه از روش تورنت وایت استفاده شد. از طرفی می‌توان از تبخیر و تعرق گیاهانی استفاده کرد که از لحاظ طول و عرض جغرافیایی و شرایط رویش با گیاه نی یکسان هستند (Wang et al., 2005). همچنین از آنجایی که اردک‌ها جزو مهمترین گونه‌هایی هستند که در محیط‌های آبی مشاهده می‌شوند در این مطالعه از اردک سرسبز استفاده شد. Liu و همکاران (۲۰۱۸) نیز برای محاسبه نیاز آبی جانوری تالاب‌ها، اردک‌های کمیابی همچون سرسبز را گونه مناسب برای به‌کارگیری به‌عنوان شاخص معرفی کردند. آن‌ها همچنین بیان داشتند این اردک‌ها به عمق ویژه‌ای برای جستجوی آذوقه و لانه کردن نیاز دارند که با تأمین این عمق نیاز آبی اکوسیستم تالاب نیز برطرف می‌شود، که در این مطالعه این مقدار ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بنابراین به‌کارگیری دو گونه نی و اردک سرسبز به‌عنوان شاخص بیولوژیکی برای محاسبه نیاز آبی اکولوژیکی تالاب بسیار کاربردی است. به‌ویژه در تالاب مورد بررسی که تنوع گونه‌ای آن بسیار پایین است.

در بحث محاسبه نیاز آبی هیدرولوژیکی تالاب، استفاده از معادله بیلان آب می‌تواند رویکرد مؤثری برای کنترل حجم برداشت آب از تالاب‌ها باشد، چراکه این معادله تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های تالاب را در نظر می‌گیرد (Cohen et al., 2001) بنابراین با حفظ حجم آب تالاب می‌توان وضعیت اکولوژیکی آن را نیز حفظ کرد. از طرفی با کاهش خروجی‌های تالاب می‌توان وضعیت آن را احیاء و بهبود بخشید. همان‌طور که بیان شد مهمترین عامل در محاسبه بیلان آبی مقدار تبخیر و تعرق است که به‌منظور مدیریت تالاب به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک محاسبه صحیح این پارامتر بسیار حائز اهمیت است. در

گیاهان و جانوران منطقه نیز حفظ شود پیشنهاد می‌شود طرح‌های اجرا شده قبلی در منطقه احیا شوند.

### تشکر و قدردانی

مقاله حاصل بخشی از طرح پژوهشی دانشگاه بیرجند با سازمان حفاظت محیط‌زیست به شماره ابلاغ ۹۷/۱۰/۱/۶۵۲۰ است. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از مسئولان محترم سازمان حفاظت محیط‌زیست استان و شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان جنوبی و دیگر سازمان‌های مرتبط با موضوع استان خراسان جنوبی که زحماتی زیادی را برای انجام این مطالعه انجام داده‌اند، تشکر و قدردانی کنند.

روستاهای کجی برای انجام مصارف روزمره همچون شرب شترها و استحمام احداث شده است و آب تالاب را به صورت مستقیم مصرف می‌کنند، باید مدیریت و نظارت شوند. با توجه به اینکه بعضی از مالکین منطقه برای رسیدن به حد مجاز برداشت خود از چاه‌هایشان، مازاد مصرف خود را روی زمین تخلیه می‌کنند و این مقدار تبخیر شده و استفاده‌ای ندارد، پیشنهاد می‌شود مقدار اضافی مصرف خود را به دیگر کشاورزان بفروشند. از طرفی طی بازدید میدانی از منطقه مشاهده شد، طرح‌هایی همچون جنگل‌های دست کاشت سهل‌آباد، طرح مقابله با ریزگردها و غیره در منطقه اجرا شده است که در حال حاضر به حال خود رها شده‌اند و به دلیل عدم توجه به آن در حال خشک شدن هستند. با توجه به اینکه به‌منظور حفظ تالاب باید اکوسیستم اطرافش هم حفظ شود تا

### منابع

- تقوایی، م.، حسینی‌خواه، ح. ۱۳۹۶. برنامه‌ریزی توسعه صنعت گردشگری مبتنی بر روش آینده پژوهی و سناریونویسی (مطالعه موردی: شهر یاسوج)، برنامه‌ریزی و توسعه گردشگری، (۲۳): ۶-۸.
- راد، م. ۱۳۹۷. نیاز آبی برخی از گونه‌های مورد استفاده در جنگل کاری مناطق خشک و نیمه‌خشک، طبیعت ایران، (۴): ۳-۴۰-۴۷.
- سازمان حفاظت محیط‌زیست. ۱۳۹۷. آمار سرشماری پرندگان آبرزی و کنار آبرزی، چاپ اول، سازمان حفاظت محیط‌زیست خراسان جنوبی، بیرجند.
- مجنونیان، ه.، کیابی، ب.، دانش، م. ۱۳۸۴. جغرافیای جانوری ایران (دوزیستان، خزندگان، پرنده‌گان و پستانداران)، جلد دوم، انتشارات دایره سبز، تهران.
- مدبری، ه.، شکوهی، ع. ۱۳۹۸. تعیین نیاز زیست‌محیطی تالاب انزلی با استفاده از روش‌های اکوهیدرولوژیکی، تحقیقات منابع آب ایران، (۳): ۱۵-۹۱-۱۰۴.
- وزارت نیرو. ۱۳۹۶. مطالعات بهنگام‌سازی بیان منابع آب در محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبریز درجه ۲ کویر لوت، جلد پنجم، وزارت نیرو، تهران.
- منصوری، ح. ۱۳۸۷. راهنمای صحرایی پرندگان ایران، چاپ اول، انتشارات نشر کتاب فرزانه، تهران.

191.

- Abbaspour, M. and Nazaridoust, A. 2007. Determination of environmental water requirements of Lake Urmia, Iran: an ecological approach. *International Journal of Environmental Studies*, 64(2): 161-169.
- Abdelaziz, R., El-Rahman, Y.A. and Wilhelm, S. 2018. Landsat-8 data for chromite prospecting in the Logar Massif, Afghanistan. *Heliyon*, 4(2): e00542.
- Baird, A.J. and Wilby, R.L. 1999. *Eco-hydrology: plants and water in terrestrial and aquatic environments*. Psychology Press.
- Catford, J. 2006. Ecohydrology: vegetation function, water and resource management. *Austral Ecology*, 31(8): 1028-1029.
- Chen, H. 2012. Assessment of hydrological alterations from 1961 to 2000 in the Yarlung Zangbo River, Tibet. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 12(2): 93-103.
- Chen, H. and Zhao, Y.W. 2011. Evaluating the environmental flows of China's Wolonghu wetland and land use changes using a hydrological model, a water balance model, and remote sensing. *Ecological Modelling*, 222(2): 253-260.
- Cheng, Q., Zhou, L.F. and Wang, T.L. 2018. Eco-environmental water requirements in Shuangtaizi Estuary Wetland based on multi-source remote sensing data. *Journal of Water and Climate Change*, 9(2): 338-346.
- Cohen, M.J., Henges-Jeck, C. and Castillo-Moreno, G. 2001. A preliminary water balance for the Colorado River delta, 1992-1998. *Arid Environments*, 49(1): 35-48.
- Covich, A.P. 1993. Water and ecosystems. In: *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. Oxford University Press, New York, 40-55.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. 1977. *Crop water requirements*. (FAO irrigation and drainage paper 24). FAO.
- Falkenmark, M. 1995. *Coping with water scarcity under rapid population growth*. Conference of SADC Ministers, Pretoria. 23: 24).
- Ferrati, R. and Canziani, G.A. 2005. An analysis of water level dynamics in Esteros del Ibera wetland. *Ecological Modelling*, 186 (1): 17-27.
- Gleick, P.H. 1998. Water in crisis: paths to sustainable water use. *Ecological Applications*, 8(3): 571-579.
- Gottschalk, T.K., Huettmann, F. and Ehlers, M. 2005. Review article: Thirty years of analysing and modelling avian habitat relationships using satellite imagery data: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 26(12): 2631-2656.
- Haag, K.H., Lee, T.M., Herndon, D.C., County, P. and Water, T.B. 2005. *Bathymetry and vegetation in isolated marsh and cypress wetlands in the northern Tampa Bay area, 2000-2004*. US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J. 2013. *Fundamentals of physics*. John Wiley & Sons.
- Hayashi, M., van der Kamp, G. and Rosenberry, D.O. 2016. Hydrology of prairie wetlands: understanding the integrated surface-water and groundwater processes. *Wetlands*, 36(2): 237-254.
- Hirschi, M., Michel, D., Lehner, I. and Seneviratne, S.I. 2017. A site-level comparison of lysimeter and eddy covariance flux measurements of evapotranspiration. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(3): 1809-1825.
- Laskowski, H. 2003. Dabbling ducks. Maryland Cooperative Extension, *Fact sheet*, 610, 1-12.
- Liu, J., Wang, T. and Zhou, Q. 2018. Ecological water requirements of wetlands in the middle and lower reaches of the Naoli River. *Water Policy*, 20(4): 777-793.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. and Moran, E. 2004. Change detection techniques. *International Journal of*

- Remote Sensing*, 25(12): 2365-2401.
- Mousazadeh, R., Ghaffarzadeh, H., Nouri, J., Gharagozlou, A. and Farahpour, M. 2015. Land use change detection and impact assessment in Anzali international coastal wetland using multi-temporal satellite images. *Environmental Monitoring & Assessment*, 187(12): 1–11.
- Novák, V. and Hlaváčiková, H. 2019. *Evaporation*. In Applied Soil Hydrology. Springer.
- Onamuti, O.Y., Okogbue, E.C. and Orimoloye, I.R. 2017. Remote sensing appraisal of Lake Chad shrinkage connotes severe impacts on green economics and socio-economics of the catchment area. *Royal Society Open Science*, 4(11): 171120.
- Reddy, S.L.K., Rao, C.V., Kumar, P. R., Anjaneyulu, R.V.G. and Krishna, B.G. 2018. A Novel Method for water and water canal extraction from Landsat-8 OLI imagery. International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(5): 323-328.
- Roberts, J., Young, B. and Marston, F. 2000. *Estimating the water requirements for plants of floodplain wetlands: a guide*. Canberra, Australian Capital Territory: Land and Water Resources Research and Development Corporation.
- Sekaranom, A. B., Nurjani, E., Hadi, M. P. and Marfai, M.A. 2018. Comparison of TRMM Precipitation Satellite Data over Central Java Region–Indonesia. *Quaestiones Geographicae*, 37(3): 97-114.
- Szabó, S., Gacsi, Z. and Balázs, B. 2016. Specific features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories. *Acta Geographica Debrecina Landscape & Environment*, 10(3-4): 194-202.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr Rev*, 38(1): 55–94.
- Trajkovic, S., Gocic, M., Pongracz, R. and Bartholy, J. 2019. Adjustment of Thornthwaite equation for estimating evapotranspiration in Vojvodina. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(3-4): 1231-1240.
- Tuttolomondo, T., Leto, C., La Bella, S., Leone, R., Virga, G. and Licata, M. 2016. Water balance and pollutant removal efficiency when considering evapotranspiration in a pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetland in Western Sicily (Italy). *Ecological Engineering*, 87, 295-304.
- Wang, H. and Xu, S.G. 2005. Calculation and analysis of evapotranspiration of reed marsh in Zhalong wetland. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 36(2): 22-28.
- Wang, L., & Yang, X. (2019). Estimation of Environmental Water Requirements via an Ecological Approach: A Case Study of Yongnian Wetland, Haihe Basin, China. In *Sustainable Development of Water Resources and Hydraulic Engineering in China* (pp. 377-386). Springer, Cham.
- Xu, Y., Wang, Y., Li, S., Huang, G. and Dai, C. 2018. Stochastic optimization model for water allocation on a watershed scale considering wetland's ecological water requirement. *Ecological indicators*, 92: 330-341.
- Zhao, X.S., Cui, B.S. and Yang, Z.F. 2005. Study on the eco-environmental water requirement for wetland in Yellow River basin. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 25(5): 567–572.
- Zhou, L.F. and Xu, S.G. 2007. Study on safety threshold of eco-environmental water demand in Zhalong wetland. *Acta Hydraulica Sinica*, 7: 845–850.
- Zotarelli, L., Dukes, M. D., Romero, C.C., Migliaccio, K.W. and Morgan, K.T. 2010. Step by step calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method). *Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida*