

The effect of water level fluctuations on water quality, nutritional and microbial parameters in the Gorgan Bay and Miyankaleh wetland

Sarah Haghparast¹ , Kamran Nasir Ahmadi² 

1. (Corresponding Author) Department of Fisheries, Faculty of Animal Science and fisheries, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Email: s.haghparast@sanru.ac.ir

2. Department of Construction, Faculty of Chemical Engineering, Industries and construction, University of Science and Technology of Mazandaran, Behshahr, Iran

Email: dr.nasirahmadi@mazust.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

1 April 2026

Received in revised form:

7 June 2026

Accepted:

2 July 2026

Available online:

15 August 2026

Keywords:

Water parameters,
Regressions,
NDWI,
Water Surface Area.

ABSTRACT

This study aimed to investigate water level fluctuations on water physiochemical, nutritional, and microbial parameters of the Gorgan Bay and Miyankaleh wetland from 2012 to 2021. To determine changes in water body area, NDWI was calculated from Landsat 7 and 8 satellite images. The effect of water level fluctuations on changes in pH, electrical conductivity, salinity, dissolved oxygen, temperature, turbidity, nitrate, phosphate, ammonia, fecal coliform, and total coliform was analyzed among various years. Regression relationships between changes in water body area and the studied parameters were checked and the best-fitted model was selected. Based on the water body area calculation, three different water levels were detected: 1-low water level (2012-2016), 2-water reduction transition period (2017-2018), 3- water stress period (2019-2021). The effects of first and third water reduction periods were significant on changes in pH, electrical conductivity, salinity, dissolved oxygen, turbidity, phosphate, and ammonia ($p < 0.05$); although they were not significant on total dissolved solids, nitrate, and microbial parameters ($p > 0.05$). Logarithmic and quadratic relationships were identified as the best-fitted models describing the association between the variables under investigation and water level fluctuations during the studied period, which might be influenced by seawater inflow through the connecting channel, local rivers, atmospheric precipitation, agricultural runoff, municipal waste, and the chemical composition of the sediment and the bay floor. Given the impact of water level fluctuations on physiochemical and microbial characteristics of the bay water, it is recommended to implement some more in-depth studies on changes in biodiversity and species richness in the bay.

Citation: Haghparast, S., & Nasir Ahmadi, K. (2026). The effect of water level fluctuations on water quality, nutritional and microbial parameters in the Gorgan Bay and Miyankaleh wetland. *Geographical planning of space quarterly journal*, 16 (2), 21-41.

<http://doi.org/10.30488/gps.2026.568717.3884>



© The Author(s)

Publisher: Golestan University Press

Extended Abstract

Introduction

Water level fluctuations, as a key index of the water lake balance and a vital process affecting the ecosystem structure and functionality, is very sensitive to human interventions and climate changes (Zohary and Ostrovsky, 2011; Gownaris et al., 2018). The effects of water level fluctuations on the water quality of lake wetlands are complex and diverse (Huang, et al., 2023; Yin, et al., 2024), which are mostly guided by long-term and short-term fluctuations. These processes directly affect the water quality, material transport and nutrition distribution, and consequently will change water quality. In addition, these fluctuations can influence the sustainability of aquatic ecosystems and lead to changes in the structure of the food web and species richness (Li et al., 2021). For example, it has been determined that seasonal fluctuations in water levels affect vegetation distribution and species diversity in the Everglades wetlands of Florida, USA (van der Valk et al., 2015). In this context, the use of remote sensing data and spatial indices to monitor water level fluctuations is considered a key tool for supporting management decisions and land-use planning in sensitive coastal ecosystems (Zhao et al., 2025).

Gorgan bay as a sole Iranian bay in the Caspian Sea coastal waters, is considered as an important local ecosystem relating to the sea via Ashoradeh_Bandar Torkman waterway (Sharbati and Ghanghermeh, 2016). The bay consists of wetland habitats such as marsh, fen, and peatland and regarded as an international wetland. Enclosed and semi-enclosed coastal environments, such as lagoons and bays, are primarily influenced by chemical compounds and various natural and anthropogenic pollutants introduced from the catchment area or the parent water body (the larger, connected water body). The semi-enclosed water basin of Gorgan Bay has consistently faced the problem of declining water volume due to its location on the continental shelf of the southeastern Caspian Sea, characterized by a gently sloping seabed.

In recent years, the increased agricultural and industrial activities in the coastal areas, together with fluctuations of the seawater inlet and the rivers discharge to the bay, are the effective factors on water chemical and environmental changes of the Gorgan bay (Boshra et al., 2012).

Despite several researches on Gorgan bay - including its morphology (Rodbari Shahmiri et al., 2017), depth modeling (Gholamalifard et al., 2013), hydrogeochemical features (Boshra et al., 2012), water physiochemical assessment (Jamshidi, 2018; Mohammad Khani and Enayat Gholampoor, 2020) - there are a few studies on the effect of water level fluctuations on water quality in the Gorgan bay. Existing research has primarily focused on the spatiotemporal changes in bay habitats associated with water level fluctuations, generally over relatively short periods of no more than one year (Khoshhravan, 2020; Najafiha & Bonyagaran, 2019). This study aims to determine how water level changes can influence the biotic and abiotic aspects of the Gorgan bay in a long term. By addressing this knowledge gap, an effective step can be taken in advancing management strategies, and planning by the environmental organization to conserve this protected area while maintain its sustainable development. Therefore, the primary research question is whether water fluctuations in the gulf and the lagoon over consecutive years can lead to significant microbial, physicochemical, and nutrient-related changes.

Methodology

Changes in lake volume ultimately manifest as changes in the water level and surface area of the lake. When the lake's water level rises, the surface area expands, and the lake's volume increases. Conversely, when the lake's water level drops, the surface level falls and the lake's volume decreases. Fluctuations in lake volume are closely linked to changes in water level and surface area (Lin et al., 2025). Therefore, in the present study, water levels were measured using satellite imagery to examine changes in the bay's water volume. Therefore, in the present study, the water level was measured

using satellite imagery to examine changes in the bay's water volume. Laboratory data collected from 24 sampling sites between 2011 and 2021 during late autumn and early winter were obtained from the General Office of Environmental Protection of Mazandaran Province. These data included physiochemical data (salinity, temperature, dissolved oxygen, turbidity, and electrical conductivity), nutrients (nitrate, phosphate, and ammonia), and microbial data (total coliform and fecal coliform). Satellite images of Landsat 7 ETM and Landsat 8 OLI/TIRS in the Gorgan bay and Miyankaleh wetland region were downloaded

from www.earthexplorer.usgs.gov from late December and early January and at spatial resolution of 30 m. NDWI (Normalized Difference Water Index) was applied in order to extract the water body.

Data were analyzed according to their distribution. The Kruskal–Wallis and Mann–Whitney U tests were used for non-normally distributed data, whereas normally distributed data were analyzed using one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test. To reach the best fitted relationship between changes in water level with each water physiochemical parameter, polynomial relationships and non-linear models (logarithmic, exponential, quadratic, and cubic) were employed in Python 3.13.5 and finally the best fitted model was selected based on some criteria including AIC (Akaike Information Criteria), BIC (Bayes Information Criteria), RSS (Residual Sum of Square), R^2 (train), AICc (the small-sample corrected AIC), LOOCV-MSE (Leave One Out Cross Validation).

Results and Discussion

The boundary of the water surface in the Gorgan bay and Miyankaleh wetland was extracted via NDWI using satellite images during 2012 until 2021. The Kappa coefficient and overall accuracy for the classified water and non-water classes were found to be 0.87 and 92.4%, respectively. The water surface area for each year was subsequently calculated using ArcGIS 10.8.2. Then, three periods of water surface changes were detected: 1. low water level

(2011-2015), 2. water reduction transition period (2016-2017), 3. water stress period (2018-2021).

Considering the lowest LOOCV-MSE value among the tested models and the small sample size, more complex models such as the third-degree model were discarded due to the risk of overfitting, despite higher R^2 values. Therefore, based on the lowest AICc value and the fact that the model validation indices are close to one another, the model with lower complexity is preferable in terms of interpretability and the risk of overfitting. Non-linear relationships like two-degree polynomial (quadratic) was selected as best balance between fitting and simplicity to explain the relation between dissolved oxygen, salinity, and turbidity with changes in water surface. A logarithmic model was considered as the best model to describe the relationship between nitrate, phosphate, ammonia, total dissolved solids, total coliform, fecal coliform, pH, and electrical conductivity with changes in water surface area.

This is crucially important to understand the effects of water surface fluctuations on wetland ecosystem in order to manage water sources and environment conservation (Lin et al., 2025). Andersen et al (2004) stated that the buffering capacity of water increases with rising level of salinity which reduces the pH changes. Therefore, in the Gorgan bay, the strong water buffer system inhibited high changes in pH within the years with higher salinity levels. Based on the present results, in low water level period and water stress period, pH drastically decreased and reached 8.1 and 8.01 which indicated no significant difference ($P>0.05$) but had a significant difference with water reduction transition period with $pH=8.67$ ($P<0.05$). This clearly revealed that pH level in the bay and wetland is affected by the water surface fluctuations.

In this study, the highest level of salinity (16.925 g/l) was observed in 2017 while its lowest level detected (8.718) in 2012 when the water surface of the bay reached maximum. salinity level increased with decreased water surface area from 2012 to 2016, and by reducing again the water

surface from 2019 to 2021, salinity level increased to 14 g/l, indicating direct effect of water surface fluctuations on the salinity in the bay. Gradual decline of the Gorgan bay connection to the Caspian sea due to the retreat of the sea, the limited volume of river entrance to the bay and the increased concentration of chloride and sodium ions can enhance the bay's salinity level (Boshra et al., 2015). In this study, the significant parabolic relationship between changes in water body area and salinity—as illustrated in Figure 6—indicates the existence of a critical point or hydrological threshold at a water surface area of approximately 4,000 km²; specifically, salinity reaches a maximum (15 mg/L) when the water surface area falls below this value, whereas salinity decreases again as the area of the water body increases.

In the present study, the lowest dissolved oxygen level (approximately 8 mg/L) was observed between the years 1397 and 1399, coinciding with the smallest water body area, while the highest level (14.873 mg/L) was recorded in 1390, coinciding with the largest water body area. A significant relationship was also observed between dissolved oxygen levels and fluctuations in the water body's surface area; specifically, as the area increased from 350 million to 450 million square meters, dissolved oxygen levels rose parabolically from approximately 8 mg/L to 14 mg/L. This demonstrates the positive, direct impact of the water surface area on dissolved oxygen levels in the bay and lagoon; at low water levels, reduced depth combined with intensified evaporation leads to increased salinity and the accumulation of organic matter—thereby lowering dissolved oxygen—whereas improved water exchange with the Caspian Sea, along with increased mixing and higher water levels in the bay, enhances ecological conditions and results in higher dissolved oxygen levels. This parabolic behavior of dissolved oxygen is recognized as a non-linear response to environmental stresses in aquatic and estuarine ecosystems (Groffman et al., 2006).

Nitrate ions serve as essential nitrogen sources for plants, and the lush vegetation along the lakeshore—consisting primarily

of wild, unfertilized weeds—naturally reduces the nitrate-nitrogen content of the water (Tong et al., 2004). In the present study, the lowest nitrate level was observed in 2016 (0.145 mg/L) and the highest in 2020 (1.182 mg/L); however, no significant difference in nitrate concentrations within the water column of the gulf and the lagoon was found across the different periods—a result that may be attributed to the non-normal distribution of the data and the high degree of data dispersion. Furthermore, a significant logarithmic relationship was observed between nitrate levels and the surface area of the water body; this indicates that water levels indirectly influence nitrate fluctuations in the gulf and wetland through complex interactions. Understanding these dynamics requires a detailed examination of other factors affecting nitrate trends in semi-enclosed water bodies like the gulf. In Lake Modung, ammonia and nitrate levels decreased significantly during high-water periods and increased markedly during low-water periods; ultimately, the lake's water quality showed a declining trend alongside the drop in water levels in recent years (Lin et al., 2025).

Conclusion

The findings of the present study indicate that water level fluctuations in Gorgan Bay and Miankaleh Lagoon are not limited merely to hydrological and water quality changes; rather, they can give rise to extensive spatial and managerial consequences at a regional scale. From the perspective of spatial planning, understanding the relationships between hydrological fluctuations and changes in water quality can serve as an effective tool for spatial planning and the integrated management of coastal and wetland areas. Accordingly, the results of this study highlight the necessity of formulating management strategies based on the "Integrated Coastal Zone Management" (ICZM) approach—particularly regarding the determination of environmental water requirements, the control of agricultural and urban pollutant inflows, the management of water exchange with the Caspian Sea, and the conservation of biodiversity in the

Miankaleh Wetland. Therefore, the results of this study can play a practical and decision-supporting role in formulating conservation policies, environmental planning, and the sustainable management of water resources along the southeastern coast of the Caspian Sea and in other similar wetlands.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

Sara Haghparast: Drafting the initial manuscript and statistical analysis; Kamran Nasir-Ahmadi: Research concept, rewriting, and revising the manuscript.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.



تأثیر نوسانات سطح آب بر تغییرات پارامترهای کیفی، مواد مغذی و میکروبی آب در خلیج گرگان و تالاب میانکاله

سارا حق پرست^۱ ✉، کامران نصیراحمدی^۲

۱- نویسنده مسئول، گروه شیلات، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: s.haghparsat@sanru.ac.ir
 ۲- گروه عمران، دانشکده مهندسی شیمی، صنایع و عمران، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران. رایانامه: dr.nasirahmadi@mazust.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۱ تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۵/۲۴ واژگان کلیدی: پارامترهای آب، روابط رگرسیونی، شاخص NDWI، مساحت سطح آب.	هدف از این مطالعه، بررسی اثر نوسانات سطح آب بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی، مواد مغذی و میکروبی اکوسیستم آبی خلیج گرگان و تالاب میانکاله از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ بود. بدین منظور جهت تعیین تغییرات سطح آب، از شاخص NDWI روی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و لندست ۸ استفاده شد. بررسی اثر نوسانات سطح آب بر تغییرات پارامترهای pH، ضریب هدایت الکتریکی، شوری، اکسیژن محلول، درجه حرارت، کدورت، نیتрат، فسفات، آمونیاک، کلیفرم مدفوعی و کلیفرم کل میان سال‌های مختلف انجام گرفت. روابط رگرسیونی میان تغییرات مساحت پهنه آبی و پارامترهای مورد مطالعه بررسی شد و بهترین رابطه برازش شده مشخص گردید. نتایج حاصل از محاسبه مساحت پهنه آبی حاکی از وجود ۳ دوره متفاوت بود: ۱- دوره کاهش آب (۱۳۹۴-۱۳۹۰)، ۲- دوره گذار از کاهش آب (۱۳۹۶-۱۳۹۵)، ۳- دوره تنش آبی (۱۳۹۹-۱۳۹۷). دوره‌های کم‌آبی اول و سوم بر تغییرات pH، ضریب هدایت الکتریکی، شوری، اکسیژن محلول، کدورت، فسفات، و آمونیاک اثر معنی‌دار داشته؛ اگرچه بر نوسانات جامدات محلول کل، نیترات و پارامترهای میکروبی تأثیر معنی‌داری نداشتند. روابط لگاریتمی و درجه دوم به‌عنوان بهترین روابط برازش شده میان پارامترهای مورد تحقیق با نوسانات سطح آب طی بازه زمانی مورد مطالعه مشخص شد که می‌تواند تحت تأثیر ورودی آب دریا از کانال ارتباطی، رودخانه‌های محلی، ریزش‌های جوی، پساب‌های کشاورزی و شهری و ساختار شیمیایی رسوبات و بستر خلیج باشد. لذا با توجه به اثرگذاری نوسانات سطح آب بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی خلیج، انجام مطالعات عمیق‌تر در خصوص تغییرات تنوع زیستی و غنای گونه‌ای در خلیج پیشنهاد می‌گردد.

استناد: حق پرست، سارا و نصیراحمدی، کامران. (۱۴۰۵). تأثیر نوسانات سطح آب بر تغییرات پارامترهای کیفی، مواد مغذی و میکروبی آب در خلیج گرگان و تالاب میانکاله. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۶ (۲)، ۴۱-۲۱.

<http://doi.org/10.30488/gps.2026.568717.3884>



مقدمه

خصوصیات کیفی آب یکی از مؤلفه‌هایی است که ضرورت لحاظ آن در برنامه‌ریزی‌های مربوط به مدیریت منابع آب و همچنین ارزیابی سلامت حوضه‌های آبریز کاملاً احساس می‌شود (Elsharbagy & Ormsbee, 2006). بررسی آب‌های سطحی نظیر خلیج‌ها و تالاب‌ها و تعیین گسترش مکانی آن‌ها اهمیت ویژه‌ای بر درک چرخه هیدرولوژی و مدیریت منابع آب دارد (Lin et al., 2025). نوسانات سطح آب، به‌عنوان یک شاخص کلیدی تعادل آب دریاچه و یک فرآیند حیاتی که بر ساختار و عملکرد اکوسیستم دریاچه تأثیر می‌گذارد، به مداخلات انسانی و تغییرات اقلیمی بسیار حساس است و تأثیرات قابل‌توجهی بر اکوسیستم‌های دریاچه دارد (Zohary & Ostrovsky, 2011; Gownaris et al., 2018). اثرات تغییرات سطح آب بر کیفیت آب در تالاب‌های دریاچه‌ای پیچیده و متنوع است (Huang, et al., 2023; Yin, et al., 2024)، که عمدتاً توسط نوسانات بلندمدت و کوتاه‌مدت سطح آب هدایت می‌شود. این تغییرات مستقیماً بر کیفیت آب، انتقال و توزیع مواد مغذی اثر گذاشته و در نتیجه باعث ایجاد تغییراتی در کیفیت آب می‌شوند. علاوه بر این، نوسانات سطح آب می‌تواند بر پایداری اکوسیستم‌های آبی تأثیر بگذارد و منجر به تغییراتی در ساختار شبکه غذایی (Li et al., 2021) و غنای گونه‌ای شود. برای مثال، مشخص شده است که تغییرات فصلی در سطح آب بر توزیع پوشش گیاهی و تنوع گونه‌ای در تالاب‌های اورگلیدز فلوریدا، ایالات متحده تأثیر می‌گذارد (van der Valk et al., 2015). در این میان، استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و شاخص‌های مکانی در پایش نوسانات سطح آب، یکی از ابزارهای کلیدی در پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی سرزمین در اکوسیستم‌های حساس ساحلی محسوب می‌شود (Zhao et al., 2025).

خلیج گرگان به‌عنوان تنها خلیج ایرانی قرارگرفته در آب‌های ساحلی دریای خزر، از مهم‌ترین زیست‌بوم‌های منطقه به شمار می‌رود (شریتی و قانقرمه، ۱۳۹۵). این خلیج با داشتن مناطق تالاب گونه از جمله مرداب، باتلاق^۱ و تورب^۲ مشمول تعاریف کنوانسیون بین‌المللی رامسر است و در فهرست تالاب‌های بین‌المللی قرار دارد. خلیج گرگان با وسعتی معادل ۵۲۱/۴۴ کیلومترمربع علاوه بر تغذیه آب از طریق زیرحوضه‌های فرعی و آبخیز قره‌سو که در بالادست شبه‌جزیره میانکاله قرار دارند از طریق شمال شرقی حفافصل جزیره آشوراده - چیق‌اوغلی نیز به دریای خزر متصل است. همچنین، به‌واسطه کشیدگی این خلیج از غرب به شرق به طول ساحلی حدود ۷۰ کیلومتر و عرض متوسط حدود ۸ کیلومتر، رفتارهای هیدرولوژیکی شبکه آبراهه‌ای در اطراف آن متفاوت است. محیط‌های بسته و نیمه بسته ساحلی نظیر تالاب‌ها و خلیج‌ها عمدتاً تحت تأثیر ترکیبات شیمیایی و انواع آلاینده‌های طبیعی و انسانی وارد شده از سوی حوضه آبریز و یا حوضه آبی مادر (حوضه آبی بزرگ‌تر مرتبط با آن) هستند. گسترش روزافزون فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در مناطق ساحلی حاشیه دریای خزر، نوسانات ورودی آب دریا و رودخانه‌های منتهی به خلیج نیز از جمله عوامل مؤثر بر تغییرات خصوصیات شیمیایی آب و زیست‌محیطی خلیج گرگان به شمار می‌رود (بشری و همکاران، ۱۳۹۳).

حوضه آبی نیمه بسته خلیج گرگان به دلیل قرارگیری در منطقه فلات قاره جنوب شرقی دریای خزر با شیب ملایم بستر همواره با معضل کاهش حجم آب مواجه بوده است. در سال‌های اخیر خشک‌سالی‌های پی‌درپی سبب کم شدن حقابه این خلیج از نزولات جوی و همچنین رودخانه‌ها شده است. علاوه بر این، استفاده بی‌رویه از رودخانه‌ها بر کم شدن میزان حقابه این حوضه افزوده است (بشری و همکاران، ۱۳۹۳). فاکتورهای مورد اشاره باعث به وجود آمدن اثرات

1 Marsh

2 Fen

3 Peatland

نامطلوب نظیر خشک شدن سواحل کم عمق، کاهش سطح خلیج و آورد و انباشته شدن رسوبات مواد آلی و معدنی می گردند. پیامدهای ذکر شده در نهایت می تواند باعث تغییرات مورفولوژیکی در سواحل و خط ساحلی خلیج شود (شربتی و قانقرمه، ۱۳۹۵).

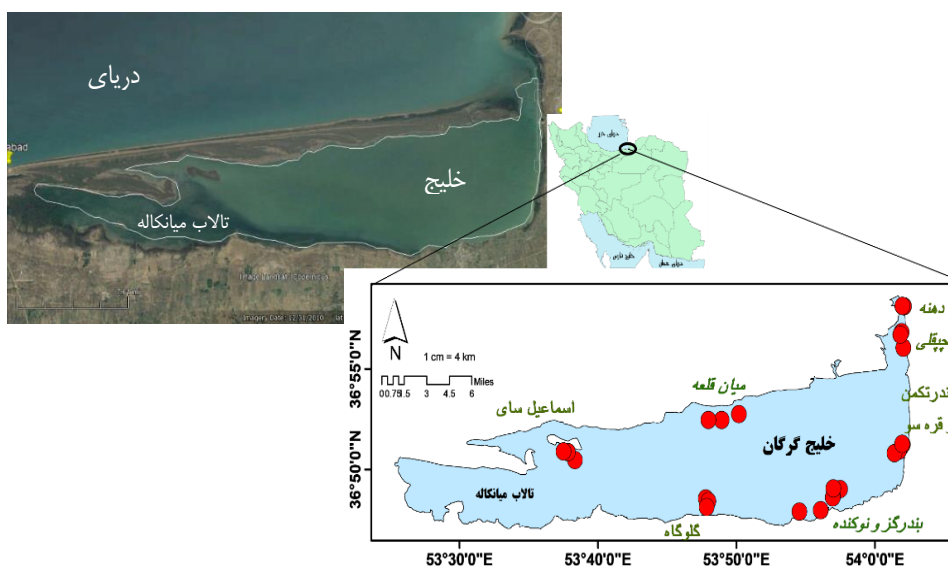
تاکنون مطالعات متعددی در خصوص بررسی ارتباط میان دوره های کم آبی و پرآبی با پارامترهای کیفی آب در حوضه های مختلف صورت گرفته است که از آن جمله می توان به مطالعه لشنی زند و همکاران (۱۳۸۹) در رودخانه های حوضه آبریز کشکان، باروس^۱ و همکاران (۱۹۹۵) در کشور پرتغال و Lin و همکاران (۲۰۲۵) بر روی تالاب مودونگ (Mudong) در کشور چین اشاره کرد. علی رغم مطالعات بسیاری که در زمینه ریخت شناسی خلیج گرگان (رودباری شهرداری و همکاران، ۱۳۹۶)، مدل سازی عمق در خلیج گرگان (Gholamalifard et al., 2013)، مطالعات هیدروژئوشیمی خلیج گرگان (بشری و همکاران، ۱۳۹۳)، ارزیابی مشخصات فیزیکوشیمیایی آب خلیج گرگان (جمشیدی، ۱۳۹۷) صورت گرفته است اما مطالعات در زمینه اثر نوسانات سطح آب بر تغییرات پارامترهای کیفی آب در این خلیج بسیار کم است و تنها به چند گزارش در خصوص اثر نوسانات سطح آب دریای خزر بر تغییرات زمانی-مکانی زیستگاه های خلیج (خوشروان، ۱۳۹۹؛ نجفی ها و بونیاگران، ۱۳۹۸) به صورت مقطعی در بازه زمانی حداکثر یک ساله محدود شده است. لذا با توجه به موارد گفته شده هدف از پژوهش حاضر تعیین چگونگی اثرات کم آبی در درازمدت بر جنبه های مختلف زیستی و غیر زیستی اکوسیستم خلیج گرگان است تا بتوان از این طریق گامی مؤثر در پیشبرد سیاست های مدیریتی و برنامه ریزی و تعیین حقایق خلیج از سوی سازمان محیط زیست جهت حراست از این منطقه حفاظت شده در کنار حفظ توسعه پایدار برداشت. لذا سؤال اصلی تحقیق این است که آیا نوسانات آب در خلیج و تالاب در سال های متوالی می تواند سبب تغییرات قابل توجه میکروبی، فیزیکوشیمیایی و مواد مغذی قابل توجه گردد.

روش پژوهش

مختصات جغرافیایی نقاط نمونه برداری شده از خلیج گرگان در جدول (۱) و شکل (۱) ارائه شده است. با توجه به داده های هواشناسی و ثبت بالاترین سطح بارندگی در خلیج گرگان و تالاب میانکاله طی بازه مورد مطالعه، مشخص گردید که در اواخر پاییز و اوایل زمستان بیشترین میزان بارش اتفاق می افتد. لذا برای بررسی اختلاف سطح حوضه آبی میان سال های مختلف، داده های مربوط به اواخر پاییز و اوایل زمستان در نظر گرفته شد. اطلاعات مربوط به پارامترهای فیزیکوشیمیایی (شامل شوری، دما، اکسیژن محلول، کدورت و ضریب هدایت الکتریکی)، مواد مغذی (نیتрат، فسفات و آمونیاک) و میکروبی آب (کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی) که در طی دوره ۱۰ ساله از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ توسط اداره کل حفاظت محیط زیست استان مازندران، ساری به صورت ماهانه (اواخر پاییز و اوایل زمستان) از ایستگاه های مختلف جمع آوری شدند، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. تمامی نمونه های آب طی دوره نمونه برداری با دستگاه های یکسان و از عمق ۱۰-۲۰ سانتی متری زیر سطح آب برداشت شدند. اندازه گیری pH، اکسیژن محلول، شوری، ضریب هدایت الکتریکی و درجه حرارت آب در محل نمونه برداری توسط دستگاه های پرتابل (HQ2100, American company و Lutron) (مدل WA-2017SD) صورت گرفت. اندازه گیری نیترات، آمونیاک، و فسفات روش طیف سنجی با کمک دستگاه اسپکتوفتومتر انجام شد (APHA, 1998). شمارش باکتری های کل و مدفوعی برحسب CFU: colony-forming units و جهت شناسایی مطابق با منابع موجود عمل گردید (Chao et al., 1990) (شکل ۲).

جدول ۱. ایستگاه‌های مختلف جهت نمونه‌برداری از آب در خلیج گرگان

شماره دسته ایستگاه	نام زیر ایستگاه	ناحیه	مختصات جغرافیایی (سیستم UTM)
		شرقی (X)	شمالی (Y)
۱	شناگاه بندرگز	۳۹S	۷۶۱۹۴۳
	شناگاه نوکنده	۳۹S	۷۵۹۶۶۶
	بندرگز ۱	۳۹S	۷۶۴۰۵۰
	بندرگز ۲	۳۹S	۷۶۳۲۷۸
	بندرگز ۳	۳۹S	۷۶۳۲۶۹
۲	بندرگز ۴	۳۹S	۷۶۳۳۲۸
	میان قلعه ۱	۳۹S	۷۵۱۸۹۷
	میان قلعه ۲	۳۹S	۷۵۱۳۰۹
۳	میان قلعه ۳	۳۹S	۷۴۹۸۹۵
	اسماعیل ساعی ۱	۳۹S	۷۳۵۵۴۸
	اسماعیل ساعی ۲	۳۹S	۷۳۴۷۵۸
۴	اسماعیل ساعی ۳	۳۹S	۷۳۴۲۸۶
	گلوگاه ۱	۳۹S	۷۴۹۵۸۶
	گلوگاه ۲	۳۹S	۷۴۹۸۹۱
۵	گلوگاه ۳	۳۹S	۷۴۹۶۸۴
	شناگاه بندر ترکمن	۴۰S	۲۳۶۳۴۶
	قره‌سو ۱	۴۰S	۲۳۵۷۴۸
۶	قره‌سو ۲	۴۰S	۲۳۵۲۸۰
	قره‌سو ۳	۴۰S	۲۳۴۸۱۱
	قره‌سو ۴	۴۰S	۲۳۵۶۷۶
	دهانه چپقی ۱	۴۰S	۲۳۶۶۶۲
	دهانه چپقی ۲	۴۰S	۲۳۶۲۴۷
	دهانه چپقی ۳	۴۰S	۲۳۶۱۲۴
	دهانه چپقی ۴	۴۰S	۲۳۶۴۹۱



شکل ۲. ایستگاه‌های نمونه‌برداری از پارامترهای فیزیکوشیمیایی، مواد مغذی و میکروبی آب در خلیج گرگان



شکل ۲. اندازه‌گیری پارامترهای آب در خلیج گرگان و تالاب میانکاله (۱۳۹۰-۱۳۹۹)

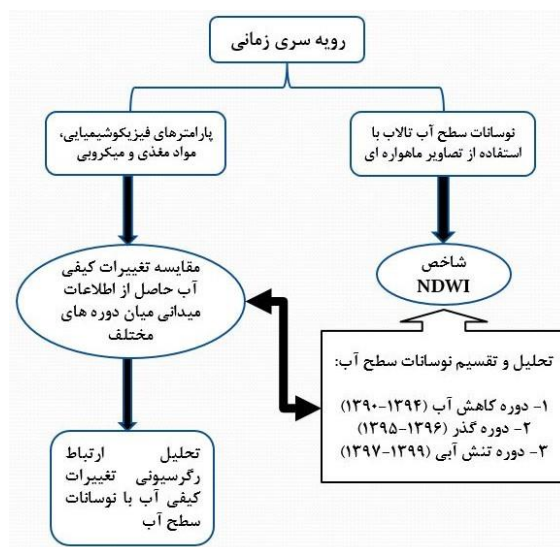
تغییرات در حجم دریاچه در نهایت به صورت تغییرات در سطح آب و مساحت سطح دریاچه ظاهر می‌شود. وقتی سطح آب دریاچه بالا می‌آید، سطح افزایش می‌یابد و حجم دریاچه زیاد می‌شود. برعکس، وقتی سطح آب دریاچه کاهش می‌یابد، سطح کاهش می‌یابد و حجم دریاچه کم می‌شود. نوسانات حجم دریاچه ارتباط نزدیکی با تغییرات سطح آب و مساحت سطح دریاچه دارد (Lin et al., 2025). لذا در مطالعه حاضر، جهت بررسی تغییرات حجم آب خلیج، سطح آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اندازه‌گیری شد. تصاویر ماهواره‌ای مربوط به محدوده خلیج گرگان و تالاب میانکاله در بازه زمانی مورد مطالعه از اواخر ماه دسامبر و ژانویه (اواخر پاییز و اوایل زمستان) از ماهواره‌های Landsat 7 ETM و Landsat 8 OLI/TIRS با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از سایت www.earthexplorer.usgs.gov دانلود شدند. سپس در نرم افزار ENVI 5.3.2 خطای راه‌راه شدگی برای تصاویر landsat7 با کمک اکستنشن 'Landsat_gap' برطرف شد. به منظور استخراج پهنه آبی از تصاویر، از شاخص طیفی NDWI (Normalized Difference Water Index) مطابق رابطه (۱) استفاده شد:

$$NDWI = \frac{(b_{green} - b_{NIR})}{(b_{green} + b_{NIR})} \quad \text{رابطه (۱)}$$

بدین منظور ابتدا تصاویر مربوط به باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک مطابق محدوده مورد نظر (Roi) برش زده شدند و تصاویر NDWI بر اساس فرمول فوق محاسبه شدند. سپس تصویر رستری NDWI به صورت دو کلاسه آب (کد ۱) و خشکی (کد ۰) طبقه‌بندی شده و در نهایت به لایه پلی گونی (پهنه آبی) تبدیل شد (Mishra & Mishra., 2012). سپس در نرم افزار ArcGIS 10.6.1 لایه پلی گونی استخراج شده برای هر سال تعیین مساحت شد. شکل ۲ روند نمای مراحل اجرای این تحقیق را نشان می‌دهد.

به منظور ارزیابی صحت و دقت لایه پلی گونی (پهنه آبی) استخراج شده با کمک شاخص NDWI، از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالاتر موجود در Google Earth و تصاویر Sentinel-2 مربوط به تاریخ‌های نزدیک به زمان تصویربرداری

مقایسه گردید. لذا تعدادی نقاط تصادفی (۲۰۰ نقطه) در کلاسه‌های آب و غیر آب انتخاب شدند و وضعیت واقعی آن‌ها از طریق تفسیر بصری تصاویر با قدرت تفکیک بالاتر تعیین شد. سپس تصاویر برداری NDWI با داده‌های مرجع مقایسه و دقت طبقه‌بندی با استفاده از ماتریس خطا^۱ ارزیابی گردید (Congalton and Green, 2019).



شکل ۳. روند نمای مراحل اجرای مطالعه حاضر

بررسی توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف صورت گرفت و در صورت وجود داده خیلی پرت، حذف شد. در شرایطی که پارامتر از نوع شمارشی بوده و اساساً دارای توزیع نرمال نبوده و روش‌های تبدیل داده‌ها مانند تبدیل لگاریتمی و یا ریشه دوم منجر به برابری واریانس‌ها نگردید (مانند شمارش کلیفرم‌های مدفوعی و کلیفرم کل)، از آزمون‌های غیرپارامتری همچون کروسکال والیس و من ویتنی یو استفاده شد. اختلاف میان دوره‌های مختلف برای پارامترهای مورد مطالعه که از توزیع نرمال برخوردار بودند، با کمک آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و Duncan's multiple range test سنجیده شد. همچنین جهت رسیدن به بهترین رابطه برازش شده میان تغییرات سطح آب خلیج با هر یک از پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب از روابط چندجمله‌ای و مدل‌های غیرخطی (لگاریتمی، نمایی، درجه دوم و سوم) در نرم افزار Python 3.13.5 استفاده شد و در نهایت بهترین مدل برازش شده بر اساس شاخص‌های معیار انتخاب مدل بهینه شامل AIC (Akaike Information Criteria)، BIC (Bayes information criterion)، RSS (Residual Sum of Square)، $R^2(\text{train})$ ، AICc (the small-samplecorrected AIC)، LOOCV-MSE (Leave One Out Cross Validation) انتخاب شدند. شاخص AICc بهنگام کوچک بودن تعداد نمونه (n) کاربرد داشته و شاخص LOOCV-MSE جهت تشخیص بیش برازش (over-fitting) بسیار مناسب است. شاخص‌های معیار انتخاب با استفاده از رابطه‌های ۲ تا ۷ محاسبه شدند:

$$RSS = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \text{رابطه ۲}$$

$$MSE = RSS/n \quad \text{رابطه ۳}$$

$$AIC = n \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2k \quad \text{رابطه ۴}$$

$$AICc = AIC + [2K(K + 1)]/(n - k - 1) \quad \text{رابطه ۵}$$

$$BIC = n \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) + k \ln(n) \quad \text{رابطه ۶}$$

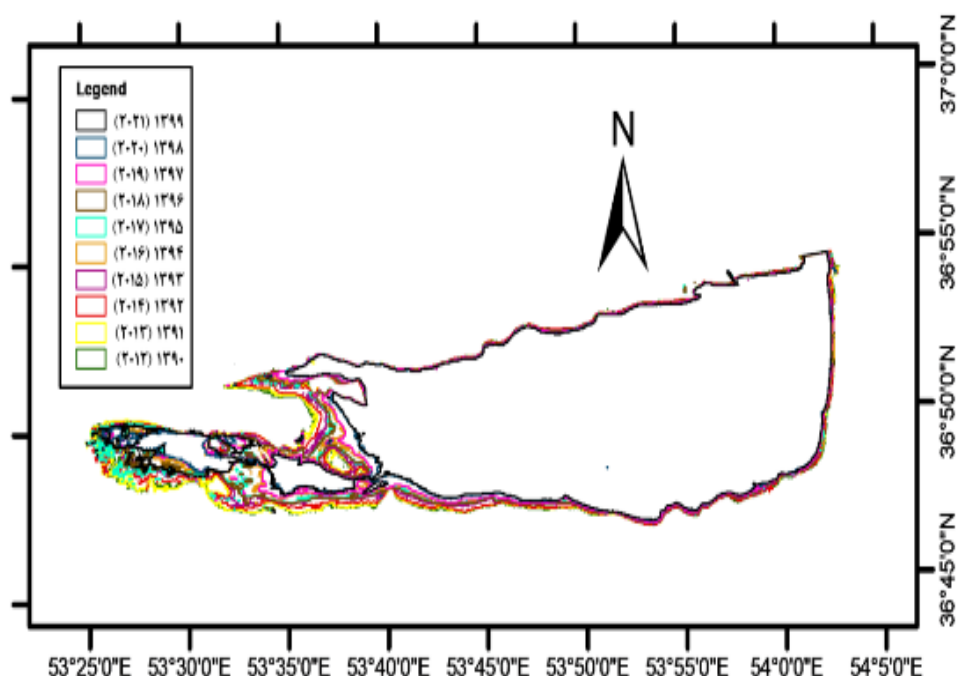
$$LOOCV = \left(\frac{1}{n} \right) \sum (y_i - \hat{y}_{(-i)})^2 \quad \text{رابطه ۷}$$

K: برابر تعداد پارامترهای مدل است که در مدل نمایی و لگاریتمی برابر ۲ و در مدل‌های درجه دوم و درجه سوم به ترتیب برابر ۳ و ۴ است. مقادیر مطلق ضرایب همبستگی بین ۰/۱ و ۰/۳ نشان‌دهنده همبستگی ضعیف بین متغیرها، مقادیر مطلق بین ۰/۳ و ۰/۵ نشان‌دهنده همبستگی متوسط و مقادیر بالاتر از ۰/۵ نشان‌دهنده همبستگی قوی بین متغیرها است (Lin et al., 2025). تجزیه و تحلیل روابط همبستگی میان پارامترها در نرم افزار Python 3.13.5 و مقایسات میانگین میان دوره‌های مختلف با استفاده از نرم افزار IBM SPSS Statistic 26 انجام شد. نمودارهای RADAR مرتبط با تغییرات هریک از پارامترهای مورد مطالعه با کمک نرم افزار Origin Lab Pro 2024 و نمودارهای بهترین مدل برازش شده در نرم افزار Python ترسیم شدند.

یافته‌ها

استخراج نقشه سطح آب خلیج گرگان و تالاب میانکاله از تصاویر ماهواره‌ای:

مرز سطح آب خلیج گرگان و تالاب میانکاله در سال‌های مورد مطالعه از ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ شمسی با کمک شاخص NDWI از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد (شکل ۴). ضریب کاپا^۱ و دقت کلی^۲ برای کلاسه‌های طبقه‌بندی شده آب و غیر آب به ترتیب ۰/۸۷ و ۹۲/۴٪ به دست آمد.



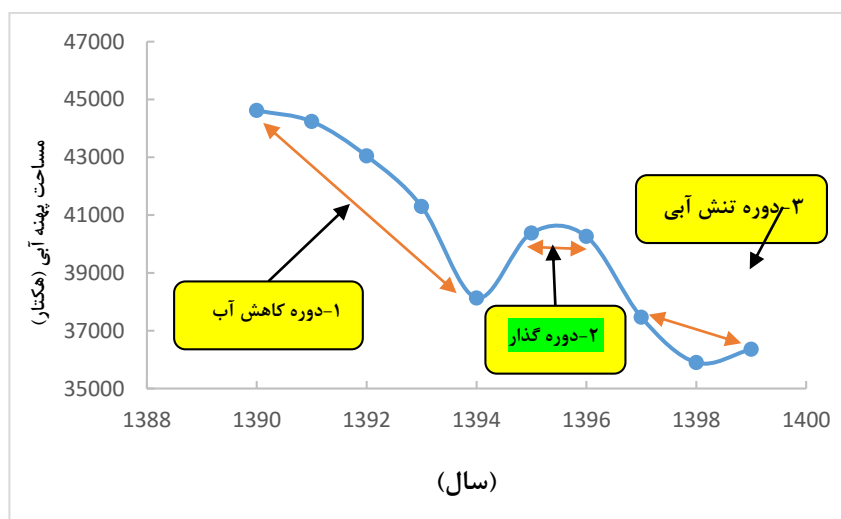
شکل ۳- استخراج پهنه آبی خلیج گرگان و تالاب میانکاله با کمک شاخص NDWI در سال‌های مختلف

1 Kappa Coefficient

2 Overall Accuracy

روند تغییرات مساحت پهنه آبی خلیج گرگان

روند تغییرات مساحت پهنه آبی خلیج گرگان و تالاب میانکاله در بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۹۹ در شکل ۵ آورده شده است. با توجه به روند، می‌توان سه دوره تغییر در مساحت پهنه آبی را مشخص کرد: ۱- دوره کاهش سطح آب (۱۳۹۰-۱۳۹۴) ۲- دوره گذار از کاهش آب (۱۳۹۵-۱۳۹۶)، ۳- دوره تنش آبی (۱۳۹۷-۱۳۹۹).



شکل ۵. روند تغییرات مساحت پهنه آبی خلیج گرگان و تالاب میانکاله در بازه زمانی (۱۳۹۰-۱۳۹۹)

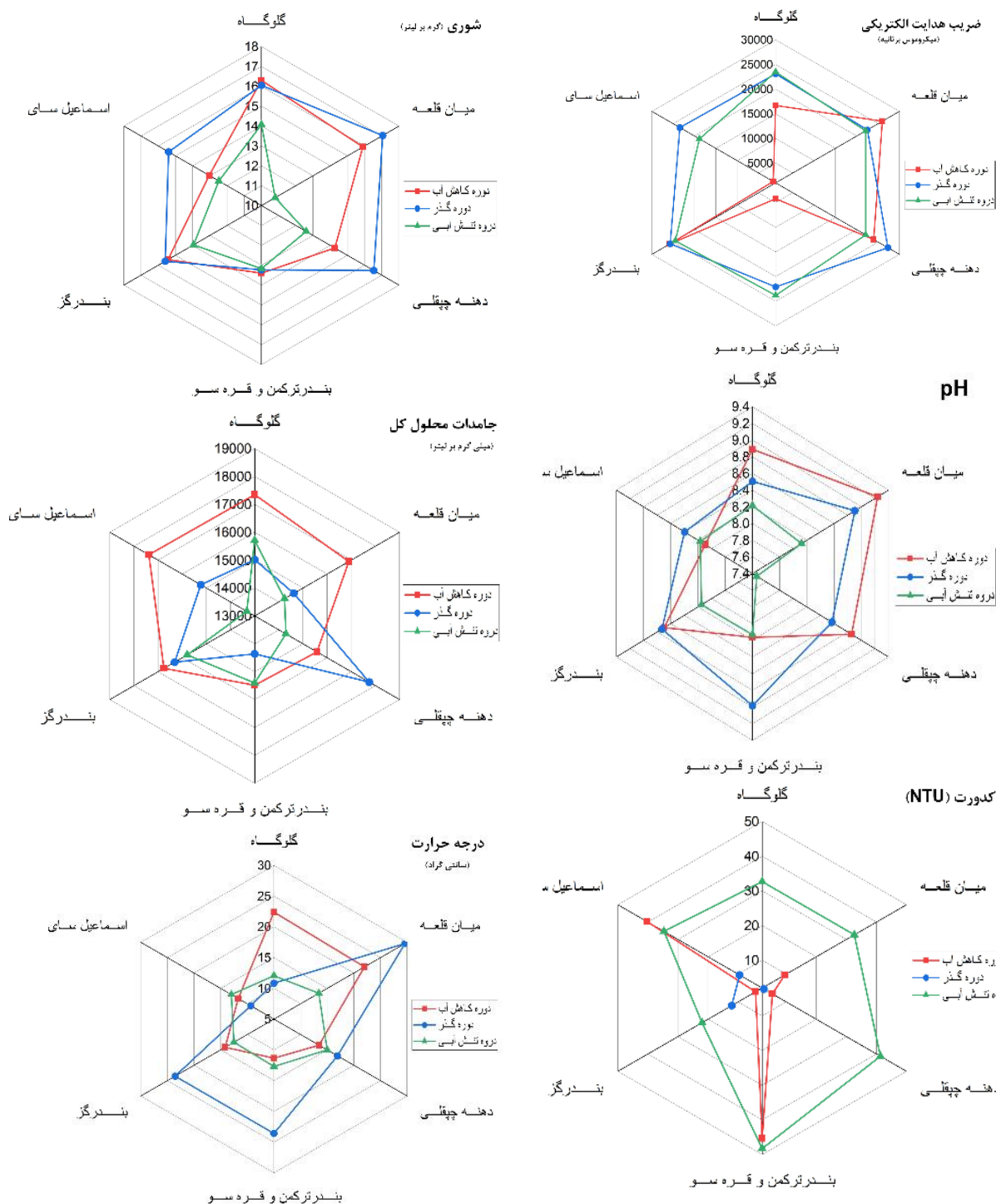
مقایسه پارامترهای فیزیکوشیمیایی، مواد مغذی و میکروبی آب میان دوره‌های مختلف آبی

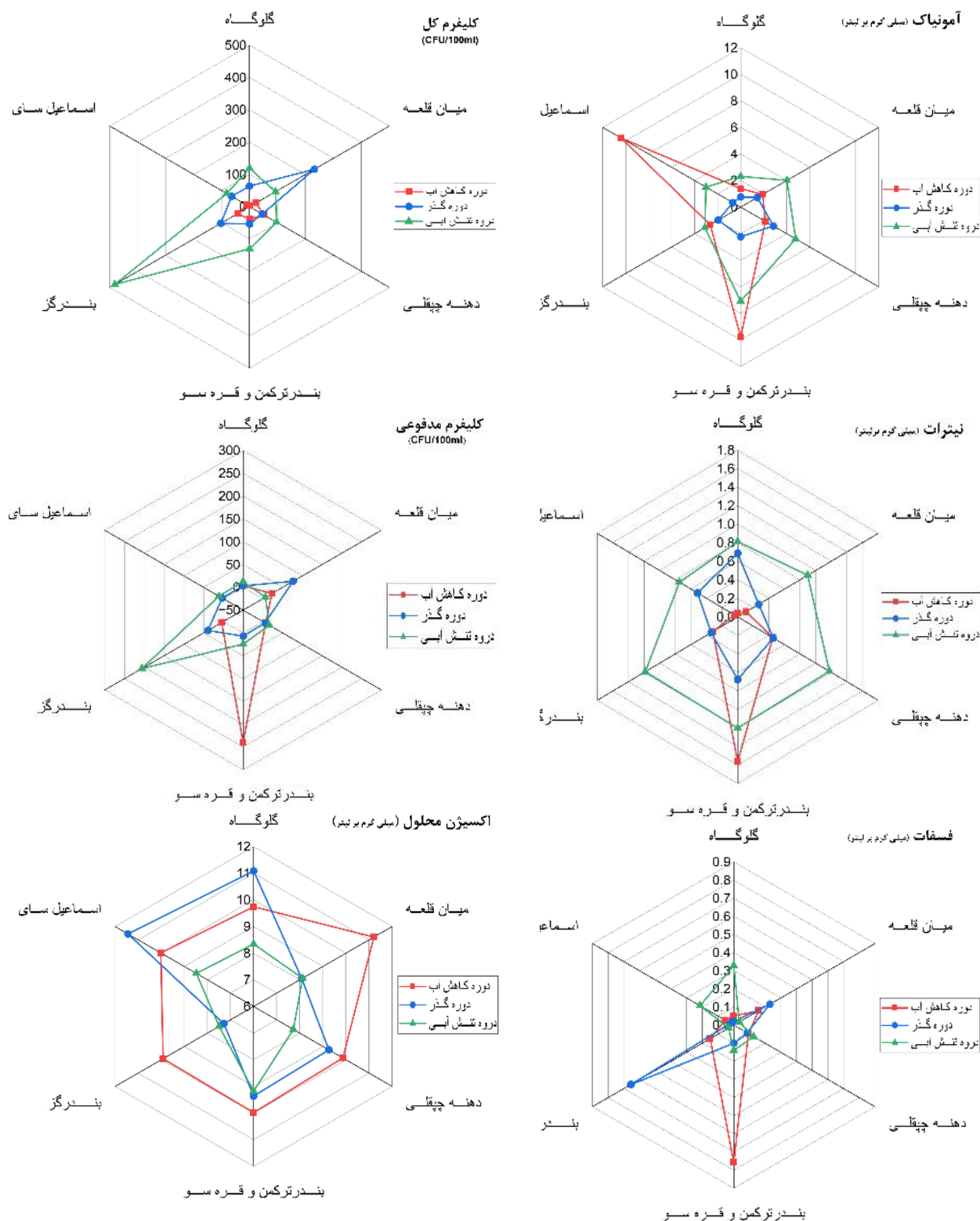
روند تغییرات هریک از پارامترهای فیزیکوشیمیایی، مواد مغذی و میکروبی میان دوره‌های مختلف آبی در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری در شکل ۶ نشان داده شده است. همچنین بر اساس نتایج آماری مقایسه میانگین هر یک از پارامترهای مورد مطالعه میان دوره‌های مختلف آبی، دوره‌های کاهش آب و تنش آبی کمترین سطح pH را داشتند که با دوره گذار از کاهش آب با $pH = ۸/۶۷$ اختلاف معنی‌داری نشان دادند ($P < 0.05$). میانگین جامدات محلول کل در دوره‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$). کمترین سطح ضریب هدایت الکتریکی در دوره اول کاهش آب (۱۳۹۴-۱۳۹۰) مشاهده شد و با کاهش سطح آب در دوره‌های بعدی (گذار از کاهش و تنش آبی) به‌طور معنی‌داری تا حد $۲۴۵۸۷/۲۲۲$ میکروموس بر ثانیه افزایش یافت ($P < 0.05$).

شوری خلیج و تالاب در دوره اول کاهش سطح آب و دوره تنش آبی (۱۲ گرم در لیتر) به‌طور معنی‌داری کمتر از دوره گذار از کاهش آب (۱۵ گرم بر لیتر) بود. سطح اکسیژن محلول در اولین دوره کاهش سطح آب (۱۳۹۴-۱۳۹۰) به‌طور معنی‌داری بالاتر (۱۱ میلی‌گرم بر لیتر) از دوره گذار از کاهش آب (۹ میلی‌گرم بر لیتر) و دوره تنش آبی (۸ میلی‌گرم بر لیتر) بود ($P < 0.05$). با کاهش سطح آب در دوره‌های گذار و تنش آبی، درجه حرارت سطح آب به‌طور معنی‌داری نسبت به اولین دوره افزایش پیدا کرد ($P < 0.05$). کدورت در دوره اول کاهش سطح آب و دوره تنش آبی بالاترین مقدار بود (به ترتیب ۴۰ و ۶۲) و کمترین مقدار در دوره گذار از کاهش مشاهده شد (۵ NTU). میزان نیترات میان دوره‌های مختلف تغییرات مساحت پهنه آبی اختلاف معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$).

بالاترین سطح فسفات در دوره اول کاهش سطح آب (۰/۶۶۳ میلی‌گرم بر لیتر) بود که با دوره گذار از کاهش و دوره تنش آبی (۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری داشت ($P < 0.05$). با گذشت زمان و کاهش بیشتر مساحت پهنه آبی،

مقدار آمونیاک افزایش معنی داری داشت و به طور میانگین از ۰/۲۵ میلی گرم بر لیتر در دوره اول کاهش آب به ۲/۶ میلی گرم بر لیتر در دوره تنش آبی رسید ($P < 0.05$). به دلیل عدم اندازه گیری باربakterیایی در دوره کاهش آب، این دوره در مقایسات وارد نشد. بر اساس نتایج حاصل، میان دوره گذار و دوره تنش آبی اختلاف معنی داری از لحاظ بار کلیفرم مدفوعی و کلیفرم کل مشاهده نشد ($P > 0.05$).





شکل ۶. تغییرات میانگین پارامترهای فیزیکوشیمیایی، مواد مغذی و میکروبی در دوره‌های مختلف آبی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری از خلیج گرگان و تالاب میانکاله (۱۳۹۹-۱۳۹۰)

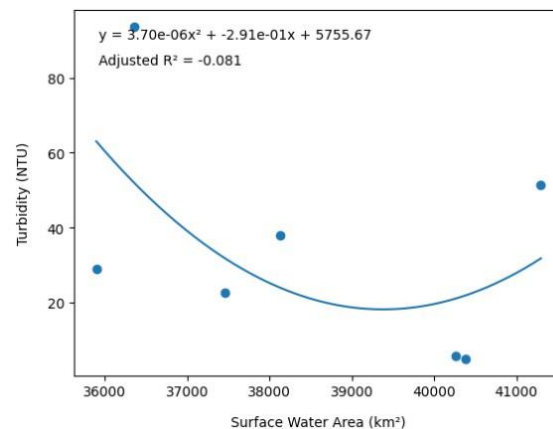
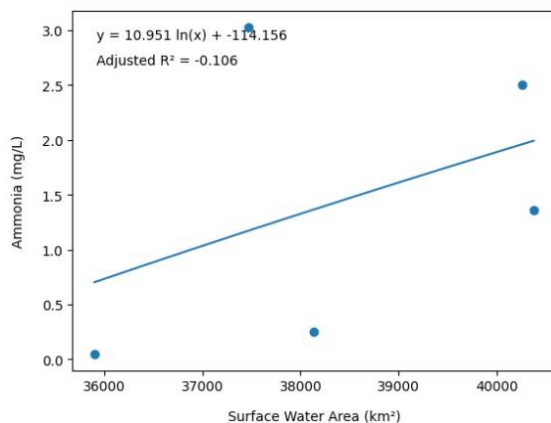
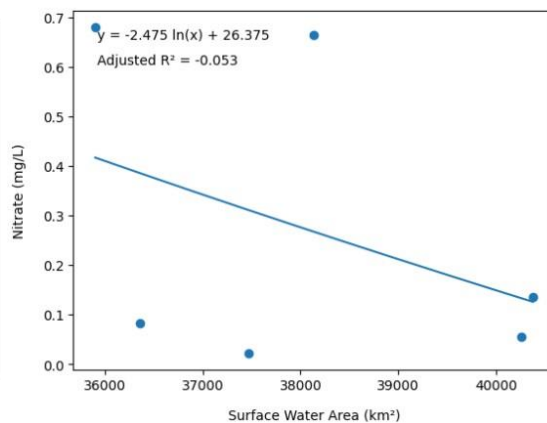
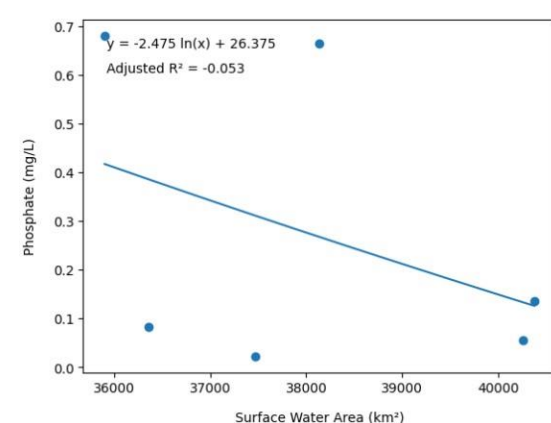
ارتباط میان پارامترهای مورد مطالعه با نوسانات مساحت پهنه آبی

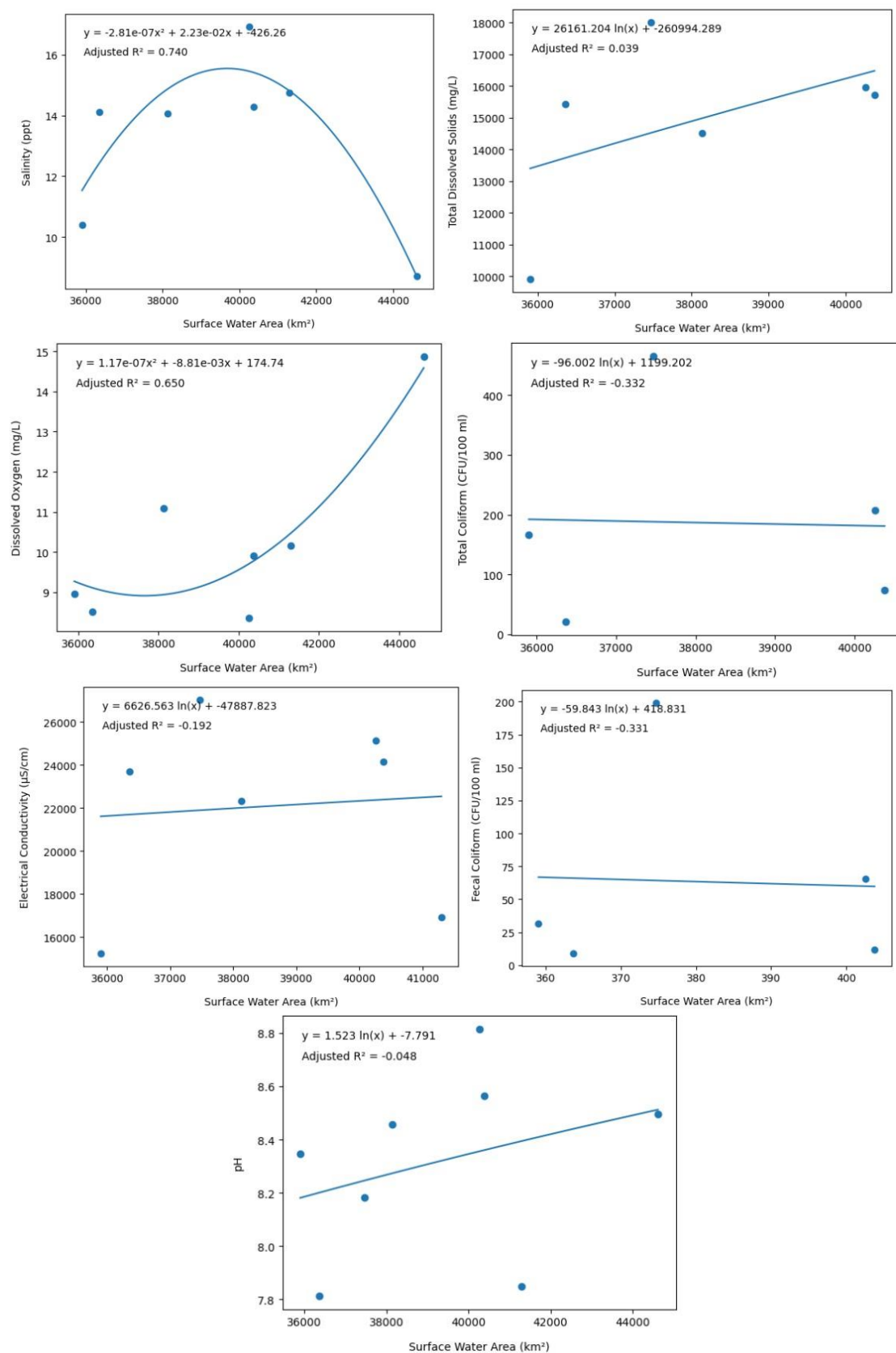
نتایج حاصل از اعتبارسنجی هریک از مدل‌های برازش شده برای بررسی ارتباط میان پارامترهای آب با تغییرات مساحت پهنه آبی در جدول ۲ ارائه شده است. با در نظر گرفتن کمترین مقدار برای شاخص LOOCV-MSE در میان مدل‌های مورد آزمون و حجم کم نمونه‌ها، مدل‌های پیچیده‌تر مانند درجه سوم، اگرچه R^2 بالاتری داشتند، اما به دلیل خطر برازش بیش‌ازحد کنار گذاشته شدند. لذا بر اساس کمترین مقدار AICc و با توجه به نزدیک بودن مقادیر شاخص‌های اعتبار سنجی مدل به یکدیگر، مدل با پیچیدگی کمتر از منظر تفسیرپذیری و خطر برازش بیش‌ازحد ارجح است. بنابراین رابطه درجه دوم (سه‌می) به عنوان بهترین توازن بین برازش و سادگی برای تبیین ارتباط میان اکسیژن محلول، شوری و کدورت با تغییرات مساحت پهنه آبی انتخاب شدند و رابطه لگاریتمی به عنوان بهترین مدل برای تعریف ارتباط میان نیتрат، فسفات، آمونیاک، کل جامدات محلول، کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی، pH، و ضریب هدایت الکتریکی با تغییرات مساحت پهنه آبی در نظر گرفته شدند.

جدول ۲. مقادیر شاخص‌های اعتبارسنجی مدل‌های برازش شده برای هریک از پارامترهای آب

پارامتر آب	مدل	R^2 -train	RSS	AIC	AICc	BIC	LOOCV-MSE
نیترات	نمایی	-۰/۱۱۳	۰/۵۳۸	-۱۰/۴۶۷	-۶/۴۶۷	-۱۰/۸۸۴	۰/۱۲۹
	لگاریتمی	۰/۱۵۷	۰/۴۰۷	-۱۲/۱۳۶	-۸/۱۳۶	-۱۲/۵۵۳	۰/۱۳۲
	درجه دوم	۰/۱۵۷	۰/۴۰۷	-۱۰/۱۳۸	۱/۸۶۱	-۱۰/۷۶۳	۰/۳۲۹
	درجه سوم	۰/۸۵۹	۰/۰۶۷	-۱۸/۹۰	۲۱/۰۹۶	-۱۹/۷۳۶	۰/۰۸۳
فسفات	نمایی	-۰/۱۱۳	۰/۵۳۸	-۱۰/۴۶۷	-۶/۴۶۷	-۱۰/۸۸۴	۰/۱۲۹
	لگاریتمی	۰/۱۵۷	۰/۴۰۷	-۱۲/۱۳۶	-۸/۱۳۶	-۱۲/۵۵۳	۰/۱۳۲
	درجه دوم	۰/۱۵۷	۰/۴۰۷	-۱۰/۱۳۸	۱/۸۶۱	-۱۰/۷۶۳	۰/۳۲۹
	درجه سوم	۰/۸۵۹	۰/۰۶۷۷	-۱۸/۹۰۴	۲۱/۰۹۶	-۱۹/۷۳۶	۰/۰۸۳
آمونیاک	نمایی	-۰/۱۷۰	۸/۱۸۱	۶/۴۶۲	۱۲/۴۶۲	۵/۶۸۰	۲/۸۰۲
	لگاریتمی	۰/۱۷۰	۵/۷۹۷	۴/۷۳۹	۱۰/۷۳۹	۳/۹۵۸	۲/۷۹۸
	درجه دوم	۰/۲۲۹	۵/۳۸۸	۶/۳۷۴	۳۰/۳۷۴	۵/۲۰۲	۴۳/۸۰۶
	درجه سوم	۰/۶۴۲	۲/۴۹۶	۴/۵۲۷	نامحدود	۲/۹۶۵	۵۲۳/۸۹۱
اکسیژن محلول	نمایی	۰/۵۹۱	۱۲/۴۲۷	۸/۰۱۸	۱۱/۰۱۸	۷/۹۱۰	۴/۷۶۵
	لگاریتمی	۰/۵۳۲	۱۴/۲۳۴	۸/۹۶۸	۱۱/۹۶۸	۸/۸۶۰	۵/۲۷۳
	درجه دوم	۰/۷۶۶	۷/۰۹۷	۶/۰۹۷	۱۴/۰۹۷	۵/۹۳۴	۱۳/۰۸۰
	درجه سوم	۰/۸۸۲	۳/۵۸۹	۳/۳۲۵	۲۳/۳۲۵	۳/۱۰۹	۳۸/۰۴۳
شوری	نمایی	۰/۵۹۱	۱۲/۴۲۷	۸/۰۱۸	۱۱/۰۱۸	۷/۹۱۰	۴/۷۶۵
	لگاریتمی	۰/۵۳۲	۱۴/۲۳۴	۸/۹۶۸	۱۱/۹۶۸	۸/۸۶۰	۵/۲۷۳
	درجه دوم	۰/۷۶۶	۷/۰۹۷	۶/۰۹۷	۱۴/۰۹۷	۵/۹۳۴	۱۳/۰۸۰
	درجه سوم	۰/۸۸۲	۳/۵۸۹	۳/۳۲۵	۲۳/۳۲۵	۳/۱۰۹	۳۸/۰۴۳
کل جامدات محلول	نمایی	۰/۱۹	$۲۹۶/۹۷۵ \times 10^{-۵}$	۹۶/۴۸۸	۱۰۰/۴۸۸	۹۶/۰۷۲	$۱۱۸/۵۲۰ \times 10^{-۵}$
	لگاریتمی	۰/۲۳۱	$۲۸۱/۸۵۵ \times 10^{-۵}$	۹۶/۱۷۵	۱۰۰/۱۷۵	۹۵/۷۵۸	$۱۱۰/۰۸۵ \times 10^{-۵}$
	درجه دوم	۰/۵۲۸	$۱۷۲/۹۰۹ \times 10^{-۵}$	۹۵/۲۴۳	۱۰۷/۲۴۳	۹۴/۶۱۸	$۱۴۱/۴۶۵ \times 10^{-۵}$
	درجه سوم	۰/۹۵۴	$۱۶/۵۷۳ \times 10^{-۵}$	۸۳/۱۷۳	۱۲۳/۱۷۳	۸۲/۳۴۰	$۲۰/۵۳۵ \times 10^{-۵}$
کلیفرم کل	نمایی	-۰/۲۱۰	۱۴۳۴۹۶/۷۱۵	۵۵/۳۲۳	۶۱/۳۲۳	۵۴/۵۴۲	۵۴۱۰۹/۶۷۳
	لگاریتمی	۰/۰۰۱	۱۱۸۴۶۵/۰۶۸	۵۴/۳۶۵	۶۰/۳۶۵	۵۳/۵۸۴	۴۹۰۶۴/۷۴۵
	درجه دوم	۰/۵۷۲	۵۰۶۹۴/۷۹۶	۵۲/۱۲۱	۷۶/۱۲۱	۵۰/۹۴۹	۱۲۰۸۰۵/۸۲۸
	درجه سوم	۰/۹۶۸	۳۷۵۷/۰۵۴	۴۱/۱۱	نامحدود	۳۹/۵۴۸	۳۲۷۴۳/۲۸۷
کلیفرم مدفوعی	نمایی	-۰/۱۷۷	۲۹۵۴۶/۶۹۲	۴۷/۴۲۱	۵۳/۴۲۱	۴۶/۶۴۰	۹۱۵۳/۹۶۵

۱۰۲۲۴/۵۸۳	۴۵/۸۱۴	۵۲/۵۹۵	۴۶/۵۹۵	۲۵۰۴۴/۷۵۱	۰/۰۰۱	لگاریتمی	کدورت
۱۳۷۸۰/۸۴۱	۴۰/۱۴۷	۶۵/۳۱۹	۴۱/۳۱۹	۵۸۴۴/۵۵۱	۰/۷۶۷	درجه دوم	
۳۳۸۲/۹۵۱	۲۸/۱۹۸	نامحدود	۲۹/۷۶	۳۸۸/۱۶۹	۰/۹۸۴	درجه سوم	
۱۲۱۲/۶۶۷	۵۰/۰۴۷	۵۳/۱۵۵	۵۰/۱۵۵	۵۱۱۲/۹۲۵	۰/۰۹۷	نمایی	
۱۵۵۰/۰۶۰	۴۹/۴۴۱	۵۲/۵۵۰	۴۹/۵۵۰	۴۶۸۹/۴۴۰	۰/۱۷۲	لگاریتمی	
۲۶۹۵/۲۶۹	۵۰/۴۱۲	۵۸/۵۷۴	۵۰/۵۷۴	۴۰۷۹/۵۵۴	۰/۲۷۹	درجه دوم	
۲۷۸۹/۷۱۵	۴۸/۶۱۶	۶۸/۸۳۲	۴۸/۸۳۲	۲۳۹۰/۱۴۶	۰/۵۷۸	درجه سوم	
۰/۱۵۰	-۱۴/۵۷۱	-۱۲/۳۳۰	-۱۴/۷۳۰	۰/۷۶۹	۰/۰۹۶	نمایی	
۰/۱۵۱	-۱۴/۶۱۵	-۱۲/۳۷۴	-۱۴/۷۷۴	۰/۷۶۵	۰/۱۰۱	لگاریتمی	
۰/۶۹۷	-۱۲/۷۸۷	-۷/۰۲۵	-۱۳/۰۲۵	۰/۷۴۱	۰/۱۲۹	درجه دوم	
۲۷/۷۷۵	-۱۱/۱۴۱	۱/۸۷۳	-۱۱/۴۵۹	۰/۷۰۲	۰/۱۷۵	درجه سوم	pH
۴۴/۳۳۰ × ۱۰ ⁺ ۶	۱۲۰/۱۸۲	۱۲۳/۲۹۰	۱۲۰/۲۹۰	۱۱۴/۸۱۱ × ۱۰ ⁺ ۶	-۰/۰۰۶	نمایی	
۳۹/۴۹۱ × ۱۰ ⁺ ۶	۱۲۰/۰۸۴	۱۲۳/۱۹۲	۱۲۰/۱۹۲	۱۱۳/۲۲۲ × ۱۰ ⁺ ۶	۰/۰۰۷	لگاریتمی	
۲۱/۶۵۷ × ۱۰ ⁺ ۶	۱۱۵/۱۱۷	۱۲۳/۲۷۹	۱۱۵/۲۷۹	۴۲/۱۷۲ × ۱۰ ⁺ ۶	۰/۶۳	درجه دوم	
۲۳۱/۵۸۳ × ۱۰ ⁺ ۶	۱۱۷/۰۴۴	۱۳۷/۲۶۰	۱۱۷/۲۶۰	۴۲/۰۵۷ × ۱۰ ⁺ ۶	۰/۶۳۱	درجه سوم	ضریب هدایت الکتریکی





شکل ۷. رابطه برازش شده میان متغیرهای مورد مطالعه و مساحت پهنه آبی طی بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۹۹

بحث

سطح آب یک شاخص مهم است که تکامل پویای رودخانه‌ها و دریاچه‌ها را مشخص می‌کند و تأثیرات مستقیم یا غیرمستقیمی بر محیط آبی دارد (Mao et al., 2023). درک اثرات نوسانات سطح آب بر اکوسیستم‌های تالابی برای مدیریت منابع آب و حفاظت از محیط‌زیست بسیار مهم است (Lin et al., 2025). مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که تغییرات سطح آب در اکوسیستم‌های ساحلی و تالابی می‌تواند منجر به تغییر ساختار اکولوژیک، کاهش تاب‌آوری اکوسیستم و تشدید آسیب‌پذیری محیطی گردد (Costanza et al., 1997). در تحقیق حاضر، تغییرات پارامترهای کیفی آب، مواد مغذی و بارمیکروبی تحت تأثیر نوسانات پهنه آبی طی بازه ۱۰ ساله در خلیج گرگان و تالاب میانکاله مورد مطالعه قرار گرفت. مقدار pH در این بررسی، از کمترین مقدار (۷/۸۱) در سال ۱۳۹۹ تا بالاترین مقدار (۸/۵۶) در سال ۱۳۹۵ متغیر بود. طبق مطالعه جمشیدی (۱۳۹۷) تغییرات افقی pH در خلیج گرگان در مجموع حدود نیم واحد به ثبت رسیده است و مقدار آن تا حد زیادی به عوامل رسوبی و رودخانه‌های ورودی به خلیج بستگی دارد. وسعت خلیج و هم‌جواری آن با شبه‌جزیره میانکاله و تخلیه چند رود محلی در بخش جنوبی آن، باعث تغییرات ملموسی در رژیم طبیعی آب خلیج شده است (جمشیدی، ۱۳۹۷). در مطالعه حاضر، با توجه به حداکثر تغییر رنج pH میان سال‌های مورد مطالعه به‌طور میانگین در حدود ۱ واحد، می‌توان دلیل این امر را احتمالاً به تأثیر ورود مداوم آب شور دریا به این منطقه نسبت داد. Andersen و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند با شوری آب، خاصیت بافری آب فزونی می‌یابد که به تبع آن تغییرات pH کاهش می‌یابد. بنابراین در خلیج گرگان در طی سال‌هایی که شوری بالاتری دارد، سیستم قوی بافری آب از تغییرات زیاد pH آب جلوگیری کرده است. همچنین بر اساس نتایج حاضر، در دوره‌های کاهش اولیه سطح آب (۱۳۹۴-۱۳۹۰) و دوره تنش آبی (۱۳۹۷-۱۳۹۹) مقدار pH کاهش قابل‌توجهی داشته و به ترتیب به ۸/۱ و ۸/۰۱ رسیده که اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($P > 0.05$) اما با دوره گذار از کم‌آبی (۱۳۹۶-۱۳۹۵) با میانگین pH ۸/۶۷ تفاوت آماری معنی‌داری نشان دادند ($P < 0.05$). این امر به‌روشنی بازگو می‌کند که سطح pH در تالاب و خلیج نیز متأثر از نوسانات مساحت پهنه آبی است.

در مطالعه حاضر، بالاترین سطح شوری (۱۶/۹۲۵ گرم بر لیتر) در سال ۱۳۹۶ مشاهده شد درحالی‌که کمترین مقدار آن (۸/۷۱۸ گرم بر لیتر) در سال ۱۳۹۰ که خلیج و تالاب بیشترین مساحت پهنه آبی را داشتند، مشاهده شد. از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ با کاهش مساحت پهنه آبی، سطح شوری افزایش یافت و از سال ۱۳۹۷ تا سال ۱۳۹۹ نیز با کاهش مجدد مساحت پهنه آبی، سطح شوری تا ۱۴ گرم بر لیتر افزایش یافت که این امر بازگوکننده اثر مستقیم نوسانات پهنه آبی در خلیج بر مقدار شوری این منطقه است. کمتر شدن تدریجی ارتباط خلیج گرگان با دریای خزر به دلیل عقب‌نشینی دریا، محدود بودن حجم ورودی رودخانه‌ها به خلیج و همچنین بالا بودن غلظت یون‌های کلر و سدیم می‌تواند باعث افزایش نسبی شوری آب خلیج گرگان گردد (بشری و همکاران، ۱۳۹۳). در مقابل، خودنیا و همکاران (۱۴۰۳) در بررسی اثر نوسانات دبی رودخانه دریافتند که تغییرات دبی بر پارامترهای کیفی همچون شوری اثری نداشته اگرچه بر مقادیر کدورت، کلیفرم کل و رنگ آب مؤثر بوده است. در این مطالعه، رابطه سهمی‌وار معنی‌دار میان تغییرات مساحت پهنه آبی با شوری آب، همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است، نشان‌دهنده وجود یک نقطه بحرانی یا آستانه هیدرولوژیک در سطح آبی حدود ۴۰۰۰ کیلومتر مربع است، به‌طوری‌که میزان شوری در سطوح آبی کمتر از این مقدار به حداکثر رسیده (۱۵ میلی گرم بر لیتر) و با افزایش مساحت پهنه آبی مجدداً شوری کاهش پیدا کرده است.

در تحقیق حاضر، میان تغییرات سطح TDS در دوره‌های مختلف نوسانات مساحت پهنه آبی اختلاف معنی‌داری

مشاهده نشد ($p > 0.05$)؛ اگرچه کمترین میزان آن (۹۹۰۰ میلی گرم بر لیتر) در سال ۱۳۹۸ و بالاترین مقدار آن (۱۸۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) در سال ۱۳۹۶ مشاهده شد که احتمالاً دلیل بالاتر بودن سطح TDS در این سال می تواند سطح بسیار بالای TDS طی نمونه برداری در دهانه چپقلی باشد (۲۱۰۶۰ میلی گرم بر لیتر) درحالی که سایر ایستگاه های نمونه برداری خلیج مقدار TDS بسیار کمتری داشتند (میان قله: ۱۲۲۱۰ و قره سو: ۱۴۵۶۰ میلی گرم بر لیتر). با توجه به موقعیت جغرافیایی ایستگاه دهانه چپقلی که در ورودی دریا به خلیج قرار گرفته است، علت بالا بودن TDS می تواند ورود جریانات آبی با بار مواد معلق زیاد از سمت دریا به دهانه خلیج باشد. لذا این امر تا حدودی بازگوکننده اثر ورودی آب دریا بر نوسانات سطح TDS و به تبع ضریب هدایت الکتریکی خلیج گرگان است. در این میان، اثر ورود پساب های شهری و کشاورزی، تغییرات دبی رودخانه های ورودی به خلیج گرگان و تالاب میانکاله و نیز نوسانات تبادل آب با دریای خزر را می بایست بر تغییرات پارامترهای کیفی آب از جمله TDS و ضریب هدایت الکتریکی در نظر داشت. بر اساس نتایج Ascott (۲۰۱۶) منشاء تغییرات هدایت الکتریکی سنگ ها و خاک تشکیل دهنده حوضه، پساب زه کشی و رواناب شهری می باشد. اما علت افزایش میزان هدایت الکتریکی در سال های خشک افزایش فعالیت های صنعتی و شهری و کاهش دبی رودخانه ها عنوان شده است. در مقایسه، مطالعه روند تغییرات کیفی پارامترهای آب در آب های زیرزمینی دشت شبستر طی بازه زمانی ۹ ساله از سال ۱۳۸۲ لغایت ۱۳۹۱ با استفاده از ضرایب همبستگی حاکی از عدم تأثیر معنی دار تغییرات در سطح آب بر متغیرهای کیفی همچون pH و TDS بود (پناهی و همکاران، ۱۳۹۶).

اکسیژن محلول برای بهبود کیفیت آب، حفظ سلامت اکوسیستم های آبی و تنوع زیستی بسیار مهم است (Li et al., 2023) و به عنوان یک پارامتر حیاتی برای خودپالایی پهنه های آبی عمل می کند (Kannel et al., 2007). به طور تقریبی نواحی جنوبی خلیج که دارای جریانات بیشتری بوده و به نظر می رسد گردش آب در آن بخش قوی تر بوده، درصد اشباع و غلظت های اکسیژن محلول نیز در آن بیشتر بوده است اما کاهش چشمگیر در تراز و حجم آب خلیج باعث افزایش میزان شوری و کاهش اکسیژن محلول آب می گردد (جمشیدی، ۱۳۹۷). در مطالعه حاضر، کمترین سطح اکسیژن محلول در سال های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ با کمترین مساحت پهنه آبی مشاهده شد (حدود ۸ میلی گرم بر لیتر) و بالاترین سطح آن (۱۴/۸۷۳) در سال ۱۳۹۰ با بیشترین مساحت پهنه آبی ثبت شد. همچنین رابطه معنی داری میان سطح اکسیژن محلول با نوسانات پهنه آبی مشاهده شد، به طوری که با افزایش مساحت پهنه آبی از ۳۵۰ میلیون مترمربع تا ۴۵۰ میلیون مترمربع، سطح اکسیژن محلول نیز به طور سهمی وار از حدود ۸ میلی گرم بر لیتر تا ۱۴ میلی گرم بر لیتر افزایش یافت. این امر نشان دهنده اثر مثبت و مستقیم مساحت پهنه آبی بر تغییرات سطح اکسیژن محلول در آب خلیج و تالاب است؛ چراکه در سطوح پایین آب، کاهش عمق به همراه تشدید تبخیر منجر به افزایش شوری و تجمع مواد آلی شده و سطح اکسیژن محلول را کاهش داده و در مقابل، با بهبود تبادل آبی با دریای خزر، افزایش اختلاط و سطح آب در خلیج، متعاقباً بهبود شرایط اکولوژیکی رخ داده که موجب افزایش اکسیژن محلول شده است. این رفتار سهمی وار اکسیژن محلول به عنوان پاسخ غیرخطی به تنش های محیطی در اکوسیستم های آبی و مصبی شناخته می شود (Groffman et al., 2006).

در مطالعه حاضر، رابطه معنی داری میان نوسانات دما و مساحت پهنه آبی طی بازه زمانی مورد مطالعه یافت نشد، لذا می توان دریافت که دما در پهنه آبی خلیج و تالاب متأثر از مساحت پهنه آبی نیست و احتمالاً عوامل دیگری همچون دمای هوا، وزش بادهای (محلی و غالب) و جریانات آبی بر این پارامتر اثر گذارند.

نیتрат محصول اکسیداسیون نیتريت در محیط طی فرآیند نیتریفیکاسیون و در شرایط کاملاً هوازی توسط

باکتری‌هاست. یون‌های نیتрат به‌عنوان منابع ضروری نیتروژن برای گیاهان عمل می‌کنند و پوشش گیاهی سرسبز در امتداد لبه دریاچه، که عمدتاً علف‌های هرز وحشی هستند و کود دهی نشده‌اند، به‌طور طبیعی محتوای نیتروژن نیتراتی را در آب کاهش می‌دهند (Tong et al., 2004). در مطالعه حاضر، کمترین میزان نیترات در سال ۱۳۹۵ (۰/۱۴۵ میلی‌گرم بر لیتر) و بالاترین مقدار آن در سال ۱۳۹۹ (۱/۱۸۲ میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده شد؛ اگرچه تفاوت معنی‌داری میان دوره‌های مختلف از لحاظ مقدار نیترات در ستون آب خلیج و تالاب مشاهده نشد که این امر می‌تواند از یک‌سو به دلیل غیر نرمال بودن داده‌ها و پراکندگی شدید بین آن‌ها باشد. همچنین رابطه معنی‌داری از نوع لگاریتمی میان میزان نیترات و مساحت پهنه آبی وجود داشت که این امر نشان می‌دهد سطح آب بر تغییرات نیترات در خلیج و تالاب به‌صورت غیرمستقیم و طی روابط پیچیده‌ای اثرگذار است که شناخت این عوامل مستلزم بررسی دقیق سایر عوامل تأثیرگذار بر روند تغییرات نیترات در حوضه آبی نیمه بسته همچون خلیج است. اگرچه نفوذ ورود پساب‌های کشاورزی حاوی نیترات به منطقه را به‌عنوان عوامل نقطه‌ای و محلی نیز می‌بایست در نظر گرفت که در برخی از داده‌های اندازه‌گیری شده در این مطالعه به‌صورت داده‌های پرت نمایان شدند. به‌طور مشابه، افزایش مقادیر نیترات در چاه‌های فلن واقع در نزدیکی رودخانه دوغ، به مصرف بالای کودهای حاوی نیترات در زمین‌های کشاورزی مجاور رودخانه و نفوذ آن به آب‌های زیرزمینی در فصل مهرماه نسبت داده شدند (خودنیا و همکاران، ۱۴۰۳). در دریاچه مودانگ (Modung) مقادیر آمونیاک و نیترات در زمان‌های پرابی کاهش و در دوران کم‌آبی افزایش قابل‌توجهی داشت و در نهایت کیفیت آب دریاچه با کاهش سطح آب در سال‌های اخیر روند کاهشی را نشان داد (Lin et al., 2025).

در میان ماکرونوترینت‌ها، فسفر معمولاً کمترین فراوانی را در غلظت (کمتر از ۱۵/۵ میکروگرم بر لیتر) دارد. از آنجایی که نیاز ارگانیزم‌ها به نیتروژن بسیار بیشتر از فسفر است، بنابراین فسفر معمولاً جزو مواد مغذی محدودکننده در اقیانوس‌ها نیست. چرخه فسفر پیچیده است، و بیشتر فسفر در سیستم پلاژیک دریایی در فاز ذرات (موجودات زنده ریز) وجود دارد. غلظت فسفر در آب دریا از ۷۰-۰ میکروگرم در لیتر متفاوت است (McClintock & Baker, 2001). فرم‌های معدنی فسفات محلول از تولیدات یونی H_3PO_4 در آب دریاست. کنترل تبدیل اشکال معدنی فسفر به pH، فشار و ترکیبات آب دریا بستگی دارد. همچنین میزان فسفر در فصول مختلف و حتی ساعات مختلف شبانه‌روز متفاوت است (Millero, 2013). در این تحقیق، کمترین مقدار فسفات (۰/۰۲۲ میلی‌گرم بر لیتر) در سال ۱۳۹۷ و بالاترین مقدار آن در سال ۱۳۹۴ (۰/۶۶۳ میلی‌گرم بر لیتر) به دست آمد و در مجموع با کاهش مساحت پهنه آبی در طی بازه زمانی مورد مطالعه، میزان فسفات از میانگین ۰/۶۶۳ میلی‌گرم بر لیتر در دوره کاهش اولیه سطح آب (۱۳۹۴-۱۳۹۰) به‌طور معنی‌داری کاهش یافته و به میانگین ۰/۱۰۴ میلی‌گرم بر لیتر در دوره گذار از کاهش آب (۱۳۹۶-۱۳۹۵) و میانگین ۰/۱۰۷ میلی‌گرم بر لیتر در دوره کاهش مجدد-تنش آبی (۱۳۹۹-۱۳۹۷) رسید ($P < 0.05$). رابطه معنی‌دار لگاریتمی نزولی میان نیترات و فسفات با تغییرات مساحت پهنه آبی خلیج (شکل ۶)، نشان می‌دهد که با افزایش مساحت پهنه آبی غلظت نیترات و فسفات کاهش یافته اما نرخ کاهش در ابتدا شدیدتر بوده و سپس تدریجاً کم می‌شود. احتمالاً با افزایش تبادل هیدرولوژیکی با دریای خزر و متعاقباً افزایش سطح آب و بهبود شرایط زیستی، بخش زیادی از مواد مغذی مانند نیترات و فسفات توسط فیتوپلانکتون‌ها، ماکروفیت‌ها و میکروارگانیسم‌ها جذب زیستی شده و با کاهش سطح آب خلیج زمان اقامت بالاتر رفته و نیترات و فسفات بیشتر تجمع پیدا می‌کنند (Kennish, 2002; Monsen et al., 2002).

در مطالعه حاضر، کمترین میزان آمونیاک (۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر) در سال ۱۳۹۸ و بالاترین مقدار آن (۳/۰۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) در سال ۱۳۹۷ مشاهده شد. در طی بازه زمانی مورد مطالعه، با کاهش مساحت پهنه آبی مقدار آمونیاک از میانگین

۰/۲۵ میلی گرم بر لیتر در دوره کاهشی اول (۱۳۹۴-۱۳۹۰) به ۱/۸۶۶۶ میلی گرم بر لیتر در دوره گذار از کاهش آب (۱۳۹۵-۱۳۹۶) و به ۲/۶ میلی گرم بر لیتر در دوره کاهش مجدد-تنش آبی (۱۳۹۹-۱۳۹۷) رسید؛ به طوری که میان دوره کاهش اولیه آب و دوره کاهش مجدد-تنش آبی اختلاف آماری معنی داری مشاهده شد ($p < 0.05$). همچنین رابطه معنی داری از نوع لگاریتمی صعودی میان این پارامتر با تغییرات سطح پهنه آبی خلیج و تالاب مشخص شد. لذا می توان دریافت که کاهش مساحت پهنه آبی اثر قابل توجهی بر سطح آمونیاک در ستون آب خلیج و تالاب داشته است که این امر را می توان احتمالاً به افزایش بار مواد آلی از طریق ورودی های رودخانه ای و زهکش های کشاورزی نسبت داد. علاوه بر این، سایر فاکتورها همچون افزایش تجزیه نیتروژن آلی به آمونیوم در شرایط عدم تنش آبی و بهبود شرایط هیدرولوژیکی و نیز آزادسازی آمونیوم و باز تعلیق رسوبات غنی از مواد آلی ناشی از افزایش عمق و اختلاط آبی می توانند بر افزایش سطح آمونیوم در خلیج و تالاب اثرگذار باشند (Kemp et al., 2005).

شهریاری و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی آلودگی میکروبی آب خلیج گرگان طی فصول تابستان و پاییز ۱۳۸۳ دریافتند که میانگین تعداد کل باکتری ها، کلیفرم، کلیفرم مدفوعی و استرپتوکوک مدفوعی در آب خلیج گرگان به ترتیب برابر ۵۰۰۱ در یک سی سی، ۱۵۵۷، ۱۷، ۵۹ در ۱۰۰ سی سی است. در تحقیق حاضر، کمترین سطح از کلیفرم مدفوعی در سال ۱۳۹۹ (سلول در هر سی سی) و بالاترین سطح آن (۱۹۹ سلول در هر سی سی) در سال ۱۳۹۷ مشاهده شد. شوربختانه هیچ گونه داده ای از میزان کلیفرم مدفوعی در دوره کاهشی اول (۱۳۹۴-۱۳۹۰) ثبت نشده بود و مقایسه دو دوره گذار از کاهش (۱۳۹۵-۱۳۹۶) و دوره کاهش مجدد-تنش آبی (۱۳۹۹-۱۳۹۷) تفاوت معنی داری نشان نداد ($p > 0.05$). بالا بودن مقدار کلیفرم مدفوعی در سال ۱۳۹۷ می تواند به علت سطح بسیار بالای کلیفرم طی نمونه برداری در ایستگاه بندرگز باشد (۱۱۰۰ عدد در هر سی سی) در حالی که سایر ایستگاه های نمونه برداری خلیج در این سال مقدار کلیفرم مدفوعی بسیار کمتری داشتند (میان قلعه: ۳، قره سو: ۲۳، دهنه چپغلی: ۲۳، اسماعیل سای: ۲۳، گلوگاه: ۲۳ عدد در هر سی سی). علت بالاتر بودن مقدار کلیفرم مدفوعی در این ایستگاه می تواند به دلیل تخلیه حجم قابل توجهی از پساب های شهری و انسانی باشد. در مقایسه، نتایج حاصل از بررسی اثر نوسانات دبی رودخانه طی بازه زمانی ۵ ماهه بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب چاه با استفاده از آزمون همبستگی در مطالعه خودنیا و همکاران (۱۴۰۳) نشان داد که میان دبی رودخانه با غلظت کلیفرم کل ارتباط معنی داری وجود دارد و با افزایش سطح دبی، مقدار پارامتر مذکور از ۲۱۰ تا ۱۱۰۰ (MPN/100 ml) افزایش یافت.

نتیجه گیری

در مجموع با توجه به تغییرات قابل توجه در مساحت پهنه آبی خلیج گرگان و به ویژه تالاب میانکاله در منطقه جنوب شرقی دریای خزر، پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آن نیز تغییرات قابل تأملی را طی بازه زمانی مورد مطالعه نشان دادند که می تواند تحت تأثیر ورودی آب دریا از کانال ارتباطی، رودخانه های محلی، ریزش های جوی، پساب های کشاورزی و شهری و ساختار شیمیایی رسوبات و بستر خلیج باشد. در این میان، هیچ گونه رابطه خطی مستقیمی میان هر یک از پارامترهای مورد مطالعه و تغییر مساحت پهنه آبی مشاهده نشد و بالعکس روابط غیرخطی معنی داری از نوع چندجمله ای درجه ۲ به عنوان بهترین توازن بین برازش و سادگی برای تبیین ارتباط میان اکسیژن محلول، شوری و کدورت با تغییرات مساحت پهنه آبی و رابطه لگاریتمی به عنوان بهترین مدل برای تعریف ارتباط میان نیترات، فسفات، آمونیاک، کل جامدات محلول، کلیفرم کل، کلیفرم مدفوعی، pH، و ضریب هدایت الکتریکی با تغییرات مساحت پهنه آبی در نظر گرفته

شدند. لذا با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر می‌توان پیش‌بینی کرد که به‌مرور زمان ساختار تنوع زیستی پایداری زیستگاه‌های ساحلی و نحوه بهره‌برداری انسانی از منابع طبیعی خلیج به شدت متأثر خواهد شد. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که نوسانات سطح آب در خلیج گرگان و تالاب میانکاله تنها محدود به تغییرات هیدرولوژیک و کیفی آب نبوده، بلکه می‌تواند پیامدهای فضایی و مدیریتی گسترده‌ای در مقیاس منطقه‌ای ایجاد نماید. از دیدگاه آمایش سرزمین، شناخت روابط میان نوسانات هیدرولوژیک و تغییرات کیفیت آب می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی فضایی و مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی و تالابی مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس، نتایج این مطالعه ضرورت تدوین راهبردهای مدیریتی مبتنی بر رویکرد «مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی (Integrated Coastal Zone Management: ICZM)» را برجسته می‌سازد به‌ویژه در ارتباط با تعیین حقاب زیست‌محیطی، کنترل ورود آلاینده‌های کشاورزی و شهری، مدیریت تبادل آب با دریای خزر و حفاظت از تنوع زیستی تالاب میانکاله. بنابراین، نتایج این پژوهش می‌تواند در تدوین سیاست‌های حفاظتی، برنامه‌ریزی محیطی و مدیریت پایدار منابع آب در سواحل جنوب شرقی دریای خزر و سایر تالاب‌های مشابه نقش کاربردی و تصمیم‌ساز داشته باشد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

سارا حق‌پرست: نگارش مقاله پیش‌نویس اولیه مقاله و تجزیه و تحلیل‌های آماری؛ کامران نصیراحمدی: ایده پژوهش، بازبینی و اصلاح مقاله

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

تقدیر و تشکر

از کلیه پرسنل زحمت‌کش اداره کل حفاظت محیط‌زیست ساری در استان مازندران به‌ویژه کارشناسان زحمت‌کش در آزمایشگاه و بخش حفاظت دریایی سرکار خانم مهندس حسینی کمال تقدیر و تشکر را داریم.

منابع

- بشری، لیلا؛ محمودی قرائی، محمدحسین؛ موسوی حرمی، رضا و علیزاده لاهیجانی، حمید (۱۳۹۳). مطالعه هیدروژئوشیمی و عوامل مؤثر بر شیمی آب خلیج گرگان. *مجله اقیانوس‌شناسی*، ۵(۲۰)، ۴۲-۳۱. [doi: 20.1001.1.15621057.1393.5.20.4.9](https://doi.org/10.15621057.1393.5.20.4.9)
- پناهی، مهدی؛ میثاقی، فرهاد و قنبری، فرید. (۱۳۹۶). تعیین روند تغییرات پارامترهای کیفی آب‌های زیرزمینی دشت شبستر. *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۵(۳)، ۳۸-۱۹.
- رودباری شه‌میری، سعید؛ عجمی، مهدی و خوشروان، همایون (۱۳۹۶). پیش‌بینی عملکرد و پایداری ریخت‌شناسی دهانه خلیج گرگان. *اقیانوس‌شناسی*، ۸(۳۱)، ۶۵-۵۳. [doi: 20.1001.1.15621057.1396.8.31.7.5](https://doi.org/10.1001.1.15621057.1396.8.31.7.5)
- جمشیدی، سیامک. (۱۳۹۷). ارزیابی مشخصات فیزیکی-شیمیایی آب خلیج گرگان در فصول گرم و سرد سال. *فصلنامه علمی دریا فنون*، ۵(۲)، ۱۰۵-۱۱۹. [doi: 20.1001.1.24236853.1397.5.2.10.5](https://doi.org/10.1001.1.24236853.1397.5.2.10.5)
- خوشروان، همایون. (۱۳۹۹). تغییرات مکانی و زمانی زیستگاه‌های ساحلی خلیج گرگان تحت تأثیر نوسانات دریای خزر. *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*، ۲۹(۱۱۵)، ۱۳۸-۱۲۷. [doi: 10.22131/sepehr.2020.47885](https://doi.org/10.22131/sepehr.2020.47885)

خودنیا، سمیه؛ قره محمودلو، مجتبی و جندقی، نادر (۱۴۰۳). تأثیر نوسانات دبی رودخانه بر روی پارامترهای کیفی آب حاصل از فیلتراسیون بستر آن (مطالعه موردی: رودخانه دوغ). *مطالعات علوم محیط زیست*، ۹(۴)، ۹۳۳۷-۹۳۵۵. doi: 10.22034/jess.2023.421842.2156

شهریاری، علی؛ کبیر، محمدجواد و گل فیروزی، کلثوم. (۱۳۸۷). وضعیت آلودگی میکروبی آب دریای خزر در خلیج گرگان. *مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی گرگان*، ۱۰(۲)، ۷۳-۶۳.

شربت، سعید و قانقرمه، عبدالعظیم. (۱۳۹۵). پیش یابی تأثیر روند طولانی مدت کاهش سطح آب دریای کاسپی بر حیات خلیج گرگان. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۷(۴)، ۴۵-۵۹.

لشنی زند، مهران؛ پروانه، بهروز و بازگیر، مسعود. (۱۳۸۹). اثرات دوره های کم آبی و پرآبی بر کیفیت آب های سطحی حوضه آبریز کشکان. *فصل نامه جغرافیای طبیعی*، ۳(۸)، ۱۲۵-۱۱۱.

نجفی ها، بابک؛ بونیاگریان، ولادیمیر. (۱۳۹۸). تأثیر نوسانات سطح آب دریا بر روی ژئومورفولوژی و مورفودینامیک سواحل دریای خزر (مطالعه موردی خلیج گرگان). *نشریه علوم زمین*، ۲۹(۱۱۳)، ۴۴-۳۵. doi: 10.22071/gsj.2018.128457.1457.

References

- Andersen, J. H., Conley, D. J., & Hedal, S. (2004). Palaeoecology, reference conditions and classification of ecological status: The EU Water Framework Directive in practice. *Marine Pollution Bulletin*, 49, 283-290. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.04.014>
- APHA. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (20th ed.). Andero Publication.
- Ascott, M. J., Lapworth, D. J., Gooddy, D. C., Sage, R. C., & Karapanos, I. (2016). Impacts of extreme flooding on riverbank filtration water quality. *Science of the Total Environment*, 554, 89-101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.169>
- Barros, M., Mendo, M. J., & Negrão, F. C. R. (1995). Surface water quality in Portugal during a drought period. *Science of the Total Environment*, 171(1-3), 69-76. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04671-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04671-7)
- Bashari, L., Mahmudy Gharaie, M. H., Moussavi Harami, R., & Alizadeh Lahijani, H. (2015). Hydrogeochemical study of the Gorgan Bay and factors controlling the water chemistry. *Journal of Oceanography*, 5(20), 31-42. <https://doi.org/20.1001.1.15621057.1393.5.20.4.9> [In Persian]
- Chao, L. W., & Feng, R. (1990). Survival of genetically engineered *Escherichia coli* in natural soil and river water. *Journal of Applied Bacteriology*, 68, 319-325. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1990.tb02881.x>
- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429052729>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Elshorbagy, A., & Ormsbee, L. (2006). Object-oriented modeling approach to surface water quality management. *Environmental Modelling & Software*, 21, 689-698. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.02.001>
- Gholamalifard, M., Kutser, T., Esmaili-Sari, A., Abkar, A. A., & Naimi, B. (2013). Remotely sensed empirical modeling of bathymetry in the southeastern Caspian Sea. *Remote Sensing*, 5, 2746-2762. <https://doi.org/10.3390/rs5062746>
- Gownaris, N. J., Rountos, K. J., Kaufman, L., Kolding, J., Lwiza, K. M. M., & Pikitch, E. K. (2018). Water level fluctuations and the ecosystem functioning of lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 44(6), 1154-1163. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2018.08.005>
- Groffman, P. M., Baron, J. S., Blett, T., Gold, A. J., Goodman, I., Gunderson, L. H., Levinson, B. M., Palmer, M. A., Paerl, H. W., Peterson, G. D., Poff, N. L., Rejeski, D. W., Reynolds, J. F., Turner, M. G., Weathers, K. C., & Wiens, J. (2006). Ecological thresholds: The key to

- successful environmental management or an important concept with no practical application? *Ecosystems*, 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10021-003-0142-z>
- Huang, X. Y., Gao, M. Y., Wang, J. D., Wang, M. M., Chen, S. E., Gong, Z. J., et al. (2023). Long-term success patterns of water quality in a flood pulse system lake: A case study of Lake Luoma, Jiangsu Province. *Environmental Science*, 44(1), 219-230. <https://doi.org/10.13227/j.hjlx.202203097>
- Jamshidi, S. (2018). Evaluation of physico-chemical characteristics in Gorgan Bay water in warm and cold seasons. *Iranian Journal of Marine Technology*, 5(2), 105-119. <https://doi.org/20.1001.1.24236853.1397.5.2.10.5> [In Persian]
- Kannel, P. R., Lee, S., Lee, Y. S., Kanel, S. R., & Khan, S. P. (2007). Application of water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 132, 93-110. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9505-1>
- Kemp, W. M., Boynton, W. R., Adolf, J. E., Boesch, D. F., Boicourt, W. C., Brush, G., Cornwell, J. C., Fisher, T. R., Glibert, P. M., Hagy, J. D., Harding, L. W., Houde, E. D., Kimmel, D. G., Miller, W. D., Newell, R. I. E., Roman, M. R., Smith, E. M., & Stevenson, J. C. (2005). Eutrophication of Chesapeake Bay: Historical trends and ecological interactions. *Marine Ecology Progress Series*, 303, 1-29. <https://doi.org/10.3354/meps303001>
- Kennish, M. J. (2002). Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environmental Conservation*, 29(1), 78-107. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000061>
- Khodniya, S., Ghareh Mohammadloo, M., & Jandaghi, N. (2025). Effect of river discharge fluctuations on the water quality parameters resulting from its riverbank filtration. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(4), 9337-9356. <https://doi.org/10.22034/jess.2023.421842.2156> [In Persian]
- Khoshnavan, H. (2020). Spatial and temporal variations of coastal habitats in Gorgan Bay resulting from fluctuations in the Caspian Sea. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 29(115), 127-138. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2020.47885> [In Persian]
- Lashni Zand, M., Parvaneh, B., & Bazgir, M. (2010). Effects of drought and flood periods on surface water quality in the Kashkan watershed. *Quarterly Journal of Physical Geography*, 3(8), 111-125. [In Persian]
- Li, X. X., Yang, W., Sun, T., Cui, B. S., & Shao, D. D. (2021). Relationship between complexity and diversity in aquatic food webs. *Acta Ecologica Sinica*, 41(10), 3856-3864. <https://doi.org/10.5846/stxb202009192439>
- Lin, Y., Dai, J., Peng, X., Li, Z., & Wan, Z. (2025). Effects of water level changes on the hydrological connectivity and water quality of a lake-type wetland. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1531893. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1531893>
- Mao, D., Zhou, Y., & Zhou, Y. (2023). Analysis of spatiotemporal variation and driving factors of water quality in the Xiangjiang River basin from 1990 to 2016. *Huan Jing Ke Xue*, 45(7), 3953-3964. <https://doi.org/10.13227/j.hjlx.202307166>
- McClintock, J. B., & Baker, B. J. (2001). *Marine chemical ecology* (1st ed.). CRC Press.
- Millero, F. J. (2013). *Chemical oceanography* (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b14753>
- Mishra, S., & Mishra, D. R. (2012). Normalized difference chlorophyll index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters. *Remote Sensing of Environment*, 117, 394-406. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.016>
- Monsen, N. E., Cloern, J. E., Lucas, L. V., & Monismith, S. G. (2002). A comment on the use of flushing time, residence time, and age as transport time scales. *Limnology and Oceanography*, 47(5), 1545-1553. <https://doi.org/10.4319/lo.2002.47.5.1545>
- Najafiha, B. V. R., & Boynagryan, V. (2019). The sea level fluctuations effects on geomorphology and morphodynamics of the Caspian Sea coasts (Case study of Gorgan Bay). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 29(113), 35-44. <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.128457.1457> [In Persian]

- Panahi, M., Misaqi, F., & Ghanbari, F. (2017). Determining of trend variation in quality parameters of Shabestar plain underground water. *Advanced Environmental Sciences*, 15(3), 19-38 [In Persian]
- Roodbari Shahmiri, S., Adjami, M., & Khoshnavan, H. (2017). Prediction of Gorgan Bay inlet performance and morphological stability. *Journal of Oceanography*, 8(31), 53-65. <https://doi.org/20.1001.1.15621057.1396.8.31.7.5> [In Persian]
- Shahryari, A., Kabir, M. J., & Golfirozy, K. (2008). Evaluation of microbial pollution of Caspian Sea at the Gorgan Gulf. *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*, 10(2), 69-73. [In Persian]
- Sharbaty, S., & Ghanghermeh, A. (2015). Forecasting the effect of decreasing long time trend of Caspian Sea water level on the life of Gorgan Bay. *Journal of Environmental Science and Technology*, 17(4), 45-59. [In Persian]
- Tong, Y., Chao, C., Liu, Q., Li, J. Y., & Li, Z. H. (2004). Progress in molecular biology of plant nitrate nitrogen uptake. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 10, 433-440. <https://doi.org/10.11674/zwjyf.2004.0418>
- Van der Valk, A., Volin, J., & Wetzel, P. (2015). Predicted changes in interannual water-level fluctuations due to climate change and its implications for the vegetation of the Florida Everglades. *Environmental Management*, 55, 799-806. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0434-4>
- Yin, Y. Z., Xia, R., Liu, X. Y., Chen, Y., Song, J. X., & Dou, J. H. (2024). Spatial response of water level and quality shows more significant heterogeneity during dry seasons in large river-connected lakes. *Scientific Reports*, 14, 8373. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59129-w>
- Zhao, L., Fan, X., & Xiao, S. (2025). Remote-sensing indicators and methods for coastal-ecosystem health assessment: A review of progress, challenges, and future directions. *Water*, 17(13), 1971. <https://doi.org/10.3390/w17131971>
- Zohary, T., & Ostrovsky, I. (2011). Ecological impacts of excessive water level fluctuations in stratified freshwater lakes. *Inland Waters*, 1, 47-59. <https://doi.org/10.5268/IW-1.1.406>