Research Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 13
No. 3 (51)

Received:
2023-06-16

Accepted:
2023-09-24

Pages:111-120

Investigating the Chlorophyll Index of Water in the Inlet Rivers of Anzali Wetland Using Sentinel Satellite

Seyed Saman Mirfallah Nasiri[1], Ebrahim Amiri[2]* and Jalal Behzadi[3]

1) PhD student, Department of Water Science Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.
2) Professor, Department of Water Science Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.
3) Assistant Professor, Department of Agriculture, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.
*Corresponding author email: eamiri57@yahoo.com

Abstract

Background and aim: pollution of water resources and the increase of pollution in natural water resources such as lakes and wetlands, considering their fragile nature, as one of the crises facing the country, in addition to the inflow factors, depends on the quantitative situation in aquatic ecosystem itself. On the other hand, the important problem of Anzali wetland as the area studied in this research is the increasing pollution of its water in the fragile conditions of climate change. Therefore, considering the main problem raised for Anzali wetland, the aim of the research was to investigate the water quality index in the inlet streams of Anzali wetland. .

Research method: in this research, in order to collect the required information in the period of 2019-2019 in the study area of Anzali wetland, the monthly rainfall statistics of different meteorological stations from the General Directorate of Meteorology and Statistics and geological maps and the characteristics and values of the hydraulic coefficients, wetland extension limits, possible observation station data, seasonal and permanent rivers' measured rivers' flow data, tolls and rivers' location limits were obtained from the regional water joint stock company. In this study, using the water quality analysis code (UWQV), the amount of water quality changes in the seasonal periods of Anzali lagoon was analyzed in Sentinel-2 and Sentinel-3 images.

Findings: The average spatial distribution of the green spectrum (chlorophyll index) in different seasons showed that its numbers indicate the status of the quality index and chlorophyll, so that it is equal to 0.15 in autumn, 0.13 in winter, 0.06 in spring, and the summer season was equal to 0.13. The statistical results of the discharge of the rivers leading to the Anzali wetland, in all the coordinates of the lagoon lake, a similar seasonal trend was observed between the discharges due to the similarity of the feeding catchment basin, and this is while each of the average figures is 27 respectively. 0.0, 0.23, 0.08, 0.08 and 0.23 have shown the standard deviation of coordinate distribution.

Conclusion: Analyzing the water quality of Anzali wetland based on the changes in the chlorophyll index, and the changes in the amount of chlorophyll from one season to another showed a strong fluctuation, which confirmed the results of this research compared to other researchers. Also, the state of water health sediments shows a strong fluctuation in autumn, winter, summer, and spring seasons to a large extent.

Keywords: Statistical study; Anzali wetland; Water quality, spatial variations, chlorophyll index

10.30495/WSRCJ.2023.73747.11383

مقاله پژوهشی

بررسی شاخص کلروفیل آب در رودخانه‌های ورودی تالاب انزلی با استفاده از ماهواره سنتینل

سید سامان میر فلاح نصیری[۱]، ابراهیم امیری[۲*] و جلال بهزادی[۳]

۱) دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.
۲) استاد گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.
۳) استادیار گروه کشاورزی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: eamiri57@yahoo.com

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال سیزدهم
شماره ۳ (۵۱)

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۳/۲۶

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۷/۰۲

صفحات: ۱۲۰-۱۱۱

چکیده:

زمینه و هدف: آلودگی منابع آبی و افزایش آلودگی در منابع آبی طبیعی نظیر دریاچه‌ها و تالاب ها، با توجه به طبیعت شکننده آنها، به عنوان یکی از بحران‌های پیش روی کشور، علاوه بر عوامل جریان ورودی، وابسته به وضعیت کمی خود آن اکوسیستم آبی نیز می‌باشد. از طرفی مشکل مهم تالاب انزلی به عنوان ناحیه مورد مطالعه در این پژوهش، آلودگی روزافزون آب آن در شرایط شکننده تغییرات اقلیمی است. لذا با توجه به عمده مشکل مطرح شده برای تالاب انزلی، هدف تحقیق بررسی شاخص کیفیت آب در جریانات ورودی تالاب انزلی بود.

روش پژوهش: در این پژوهش جهت جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در بازه ۱۳۸۰-۱۳۹۹ در محدوده مطالعاتی تالاب انزلی، آمار بارندگی ماهانه ایستگاه‌های مختلف هواشناسی و نقشه‌های زمین شناسی مشخصات و مقادیر ضرایب هیدرولیکی، حدود گسترش تالاب، داده‌های ایستگاه‌های مشاهده‌ای احتمالی، داده‌های اندازه گیری دبی رودهای فصلی و دائمی، حدود قرارگیری عوارض و رودها از شرکت سهامی آب منطقه‌ای اخذ شد. در این مطالعه با استفاده از کد تحلیل کیفیت آب (UWQV) مقدار تغییرات کیفیت آب در دوره‌های فصلی تالاب انزلی در تصاویر Sentinel-2 و Sentinel-3 تحلیل شد.

یافته‌ها: متوسط توزیع مکانی طیف سبز(شاخص کلروفیل) درفصول مختلف نشان داد که اعداد آن بیانگر وضعیت شاخص کیفیت و کلروفیل هستند بطوریکه در فصل پاییز برابر ۰/۱۵،در فصل زمستان ۰/۱۳، در فصل بهار معادل ۰/۰۶ و در فصل تابستان برابر عدد ۰/۱۳ بود. نتایج آماری دبی رودخانه‌های منتهی به تالاب انزلی، در تمام مختصات دریاچه تالاب، روند مشابه فصلی بین دبی‌ها با توجه به یکسان بودن حوضه آبریز تغذیه کننده مشاهده گردید و این درحالی است که هر یک از ارقام متوسط به ترتیب با اعداد ۰/۲۷، ۰/۲۳، ۰/۰۸، ۰/۰۸ و ۰/۲۳ انحراف معیار پراکنش مختصاتی را نشان داده است.

نتیجه گیری: تحلیل کیفیت آب تالاب انزلی برپایه تغییرات شاخص کلروفیل بیان شده وتغییرات مقدار کلروفیل از یک فصل به فصل دیگر نوسان شدید را نشان داده که نتایج این تحقیق در مقایسه با سایر محققین، تایید شده است. همچنین وضعیت رسوبات سلامت آب تا حد زیادی در فصول پاییز زمستان تابستان بهار نوسان شدید را نشان می دهد.

واژه‌های کلیدی: بررسی آماری، تالاب انزلی، کیفیت آب، تغییرات مکانی، شاخص کلروفیل

10.30495/WSRCJ.2023.73747.11383

مقدمه

تأمین آب با کیفیت مناسب از مهم‌ترین نیازهای انسان امروزی است. متأسفانه افزون بر مسئله کمیت آب در دسترس، کیفیت منابع آبی و آلودگی آنها از مسائل محدودکننده در بحث تأمین آب می‌باشد. بنابراین ارزیابی کیفیت و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی به ویژه در مناطقی که منابع آب برای آشامیدن استفاده می‌شود، بسیار با اهمیت است(علیزاده، ۱۳۷۷). مدیریت منابع آب علاوه بر مسئولیت طرح‌های توسعه منابع آب، در حفظ و سلامت آب نیز وظیفه خطیری به عهده دارد. شناخت عوامل تأثیرگذار بر کیفیت آب و حفظ مقادیر استاندارد این عوامل در آب یکی از دشوارترین مسائل مدیریتی منابع آب می‌باشد. پیشرفت سریع تکنولوژی و توسعه روزافزون کارخانه‌های صنعتی و هم‌چنین مصرف زیاد کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات در دهه‌های اخیر امکانات زیادی را برای آلوده شدن آب فراهم آورده است (رسولی و همکاران، ۱۳۹۰). افزایش روزافزون جمعیت و بالا رفتن استانداردهای زندگی در بسیاری از کشورها موجب افزایش نیاز به منابع آب باکیفیت مناسب برای مصارف مختلف کشاورزی، صنعت و شرب شده است. تالاب‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب با خطرات متفاوتی مانند افت سطح، کاهش میزان تغذیه به سبب نقصان بارندگی و آلاینده‌های طبیعی و غیرطبیعی روبرو است. از این رو پایش کیفی منابع آب تغذیه‌کننده آنها اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد (مهذبیه و همکاران، ۱۳۹۴). بخشی از کیفیت آب‌تالاب‌ها مربوط به بارش است ولی مهم‌ترین نقش را نوع تشکیلات بهره‌بردای، طول مسیر طی شده و مدت زمان این جابجایی ایفا می‌کند. کیفیت آب‌ها با توجه به طول مسیر طی شده و فراوانی مواد انحلالی در مسیر می‌تواند تفاوت زیادی در نقاط مختلف پیدا کند (رخ شاد و همکاران، ۱۳۹۹).

امینی سرتشنیزی به ارزیابی شاخص کیفیت آب تالاب انزلی با استفاده از تحلیل چند متغیره پرداخته و درواقع هدف بررسی کیفیت آب در تالاب انزلی و بررسی طبقه‌بندی آب بر اساس شاخص کیفیت آب در نقاط مختلف تالاب انزلی بوده است. نتایج این مطالعه نشان داد که میزان آلودگی در تمامی تالاب‌های انزلی متفاوت وآب تالاب انزلی با توجه به روش‌های انباشتگی به کار گرفته شده دارای کلاس‌های کیفی متفاوتی است. بارگذاری مواد مغذی از زمین‌های کشاورزی مجاور همراه با مقادیر متوسط شوری بر همه شرایط ارگانیسم تأثیر می‌گذارد (Aminisarteshnizi, 2022).

خلیلی واودره و همکاران به بررسی تغییرات مکانی—زمانی دبی و رسوب در رودخانه‌های جاری به تالاب انزلی پرداخته‌اند.برای مطالعه حاضر، داده‌های بلندمدت ماهانه، فصلی و سالانه رسوب و دبی هفت ایستگاه طی دوره زمانی ۱۹۸۵-۲۰۱۹ به دست آمد. نتایج نشان داد که در ایستگاه آقامحله رابطه کم دبی و رسوب نسبت به سایر ایستگاه‌ها به دلیل شیب کم و آب ثابت رودخانه بهمبر بوده که باعث ته‌نشین شدن رسوبات و کاهش میزان باربری آنها شده است. نتایج تجزیه و تحلیل رسوب همچنین نشان داد که دبی و بارهای رسوب بعدی از بالادست به پایین دست در تابستان زیاد بوده است. علاوه بر این، رودخانه‌های پایین دست اوج بهاری را در بارهای رسوب و تخلیه نشان دادند که احتمالاً به دلیل ذوب برف است (Khalilivavdareh et al., 2022).

مرزوانو همکاران به ارزیابی آزولا در تالاب انزلی با استفاده از تصاویر سنجش از دور پرداخته‌اند. در این تحقیق از داده‌های سری زمانی لندست برای بررسی تغییرات گسترش آزولا و عوامل موثر بر آن طی ۳۰ سال از ورود این سرخس آبزی از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ در تالاب بین المللی انزلی استفاده شده است. نتایج در شمال ایران با استفاده از روش نگاشت زاویه‌ای طیفی (SAM)و داده‌های میدانی مرتبط نشان داد که تغییرات گسترش گیاه آزولا با حجم آب تالاب و بارندگی همبستگی مستقیم و با دمای منطقه رابطه معکوس دارد و پوشش بالای سطح آزولا باعث ایجاد مخاطرات زیست محیطی در تالابشده است. (Marzvan et al., 2021).

شی و همکاران در یک مطالعه، روش ترکیبی یک مدل شبکه عصبی مصنوعی موجک (موجک-ANN) و اندازه‌گیری-های جانشین با فرکانس بالا به عنوان یک روش تشخیص ناهنجاری کیفیت آب و ارائه هشدار ارائه شده است. سری‌های زمانی با فرکانس بالا از شاخص‌های اصلی کیفیت آب (TN، TP، COD و...) از طریق مدل جایگزین مبتنی بر رگرسیون تولید شدند. نتایج نشان داد که مدل موجک-ANN برای پیش‌بینی کیفیت سطح آب با فرکانس بالا کمی دقیق‌تر از ANN است و از الزامات تشخیص ناهنجاری برخوردار است.. (Shi et al., 2018).

اسدی و ابراهیمی در مطالعه‌ای به بررسی میزان کلراید و کل جامد مواد محلول درورودخانه‌های ورودی به تالابانزلی پرداختند. دراین مقاله میزان کلراید و کل مواد جامد محلول در نهر و دهانه ورودی به تالاب در فاصله زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که رودخانه پسیخان دارای بیشترین متوسط دبی جریان (۳۵ مترمکعببرثانیه) وجفرود کمترین متوسط دبی (دومترمکعب برثانیه) بوده است. رودخانه بهمبر دارای دبی جریان کم، اما از نظر مقدار کلراید (۱/۸۳ میلی گرم بر لیتر) و مواد جامد محلول (۴۰۶ میلی گرم بر لیتر) دارای مقادیر قابل توجهی بوده است. بیشترین مقدار آلودگی مربوط به رودخانه پسیخان و پیربازار است. به طورکلی رودخانه‌هایی که دارای مقدار بالای ازآلودگی به همراه دبی جریان

بالا (مانند پسیخان و پلنگ‌ور) هستند، دارای خطرآلودگی بیش‌تری برای تالاب هستند(اسدی و ابراهیمی، ۱۳۹۸).

اسدی و ابراهیمی در مطالعه‌ای بهبررسی فصلی وضعیت آلودگی فسفر در برخی از حوزه‌های استان گیلان پرداختند. نتایج نشان داد که خروجی فسفر تابعی از تغییرات مکان و زمان است. در فصول با بارندگی بالا و پوشش نامناسب میزان خروجی فسفر افزایش یافته است. نتاج نشان داد که در حوزه‌هایی که کاربرد جنگلی و پوشش مناسبی دارند میزان خروجی فسفر کاهش و در کاربری مسکونی و کشاورزی مقدار فسفر بیشتری وارد شده است. بطورکلی نتایج بیانگر بالاتر بودن خروجی فسفر از حد مجاز است(اسدی و ابراهیمی، ۱۳۹۶).

زارع خوش اقبال و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی آلودگی رسوبی در تالاب انزلی پرداخته‌اند. در این مقاله غلظت کلسیم، آهن، پتاسیم، منیزیم، سدیم، منگنز، فسفر و تیتانیم و عناصر کمیاب اندازه‌گیری و آنالیز شدند. تجزیه و تحلیل‌های آماری خوشه‌ای و جزء اصلی بر روی این داده‌های ژئوشیمیایی انجام شد. نتایج نشان داد که بخش هندخاله و شیجان تالاب بیشترین آلودگی و بخش سیاکیشوم کمترین آلودگی را داشتند. همچنین فعالیت‌های کشاورزی در حوضه‌های آبخیز مرتبط به عنوان عوامل مهم آلودگی در رسوبات بخش‌های اصلی تالاب فرض شد. برای مطالعات آتی، پیشنهاد شد نمونه‌های رسوب جمع‌آوری‌شده به اندازه‌های درشت، متوسط و ریز تقسیم شوند تا منابع آلودگی دقیق‌تر مشخص شوند(Khosheghbal et al., 2013).

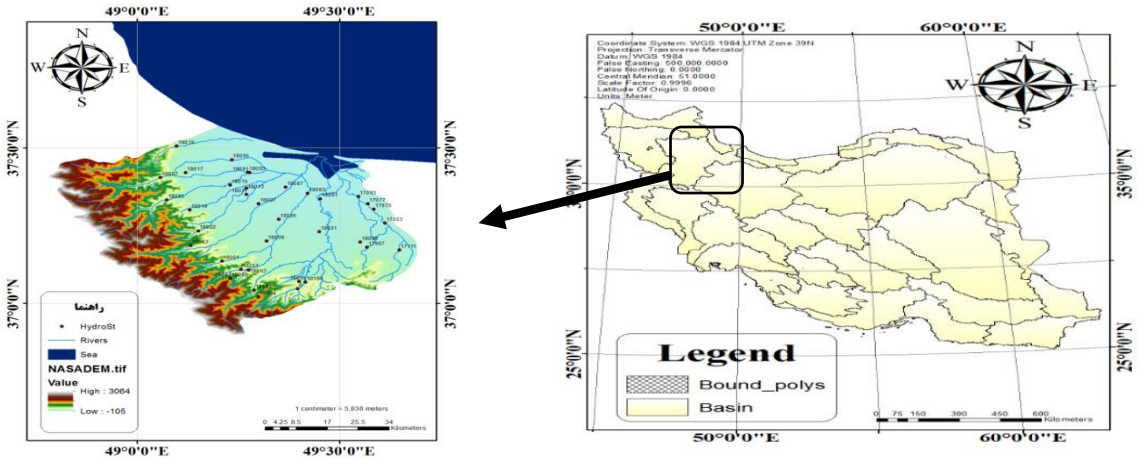
گیلی و همکاران در مطالعه ای به استفاده از الگوریتم سه‌باندی برای تخمین میزان کلروفیل a و فسفر کل در تالاب انزلی پرداختند. در این پژوهش از نمونه‌های آب تالاب انزلی با میزان کلروفیل a بین ۲/۰۷ تا ۲۳/۹ میلی‌گرم در لیتر استفاده شده است. بررسی رابطهٔ مقدار کلروفیل a با شاخص سه‌باندی، رابطه‌ای قوی را بین مقدار این شاخص با مقدار کلروفیل a در دو عمق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری نشان داد. در این تحقیق حداکثر حساسیت به جذب ذرات کلروفیل a در طول موج ۶۸۰ نانومتر و حداقل حساسیت به انعکاس کلروفیل a در طول ۷۰۰ نانومتر است. در این مطالعه رابطهٔ بین فسفر کل با میزان شاخص سه‌باندی نیز به‌دلیل رابطهٔ مستقیم میزان کلروفیل a با فسفر کل بررسی شد، که همانند میزان کلروفیل a در عمق ۱۵ سانتی‌متری رابطهٔ قوی‌تری را در مقایسه با عمق ۳۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد. (گیلی و همکاران، ۱۳۹۳).

آلودگی روزافزون آب آن در شرایط شکننده تغییرات اقلیمی از مشکلات اصلی تالاب انزلی است. از طرفی با توجه به این آلودگی و مشکلات رایج در تالاب انزلی در شرایط شکننده تغییرات اقلیمی، لذا هدف این تحقیق بررسی شاخص کیفیت آب در جریانات ورودی تالاب انزلی بوده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تالاب انزلی جزء تالاب‌های طبیعی و آب شیرین کشور بوده و دارای ۱۱ رود اصلی و ۳۰ رود فرعی است که پس از آبیاری مزارع و شالیزارها به همراه جریان‌های سطحی حوضه آبریز تالاب به آن وارد می‌شوند. حداکثر عمق آب تالاب در بهار و در نواحی غربی تالاب به ۲/۵ متر می‌رسد که به دلیل نوسان‌های سطح آب دریای خزر، این مقدار متغیر است. حوضه آبریز تالاب انزلی، مساحتی برابر ۳۷۴ هزار هکتار دارد. این تالاب در جنوب غربی سواحل دریای خزر واقع در استان گیلان، در عرض ۲۸ تا ۳۷ شمالی و طول ۲۵ تا ۴۹ شرقی واقع شده و از شمال به شهرستان انزلی، از جنوب به شهرستان صومعه‌سرا، از شرق به شهرستان رشت و از غرب به کپورچال و آبکنار انزلی محدود است؛ از دیگر شهرهای مهم این حوضه نیز می‌توان به شهر ماسال، رضوانشهر، شفت، ضیابر، طاهرگوراب، صومعه‌سرا و فومن اشاره نمود(وزارت نیرو، ۱۳۹۴). همچنین لازم به ذکر است که دوره مطالعاتی در این پژوهش مربوط به بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۹ بوده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی تالاب انزلی

داده‌های مورد نیاز

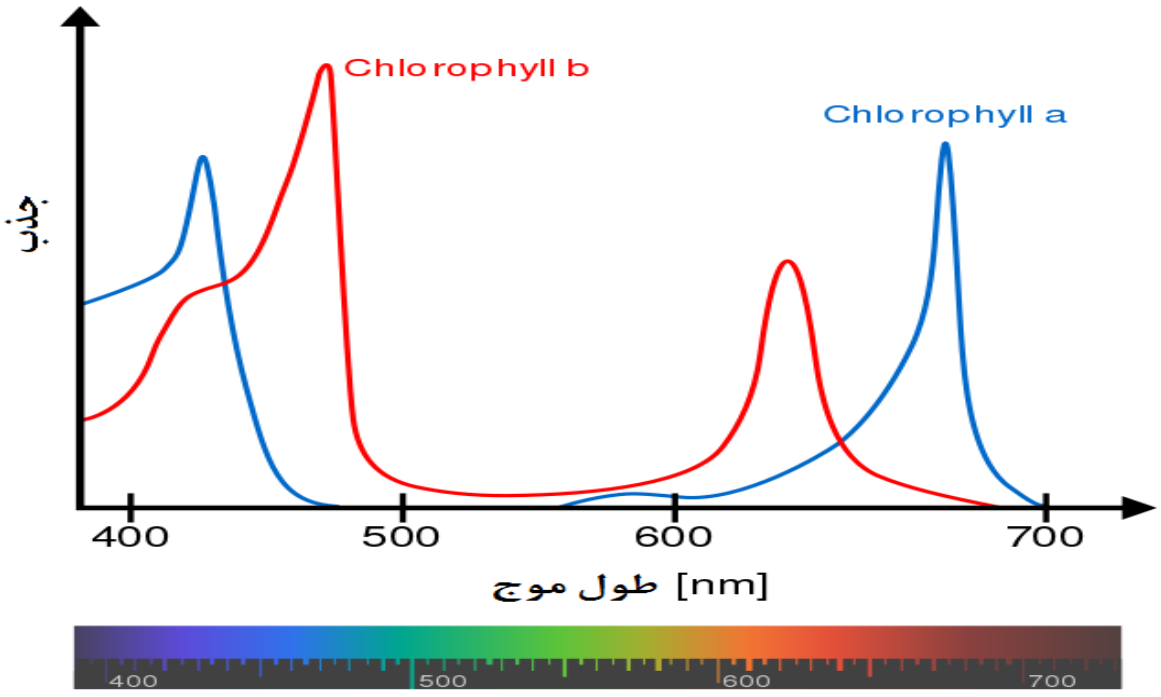
در این پژوهش جهت جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در بازه ۱۳۹۹-۱۳۸۰ در محدوده مطالعاتی تالاب انزلی، آمار بارندگی ماهانه ایستگاه‌های مختلف هواشناسی از اداره کل هواشناسی و آمار و نقشه‌های زمین شناسی و مشخصات و مقادیر ضرایب هیدرولیکی، حدود گسترش تالاب، داده‌های ایستگاه‌های مشاهده-ای احتمالی، داده‌های دبی اندازه‌گیری شده رودهای فصلی و دائمی، حدود قرارگیری عوارض و رودها از شرکت سهامی آب منطقه‌ای اخذ شد. اطلاعات دیگر در حدود ناحیه، نظیر لایه تغییرات جزیی ارتفاع و لایه‌های کاربری اراضی و عوارض از شهرداری و سازمان نقشه‌برداری استان گیلان مربوطه تهیه گردید. اساس پایه محاسباتی مرتبط با رقوم ماهواره، منطبق بر استانداردهای کیفی آب سطحی بود.

شاخص کلروفیل

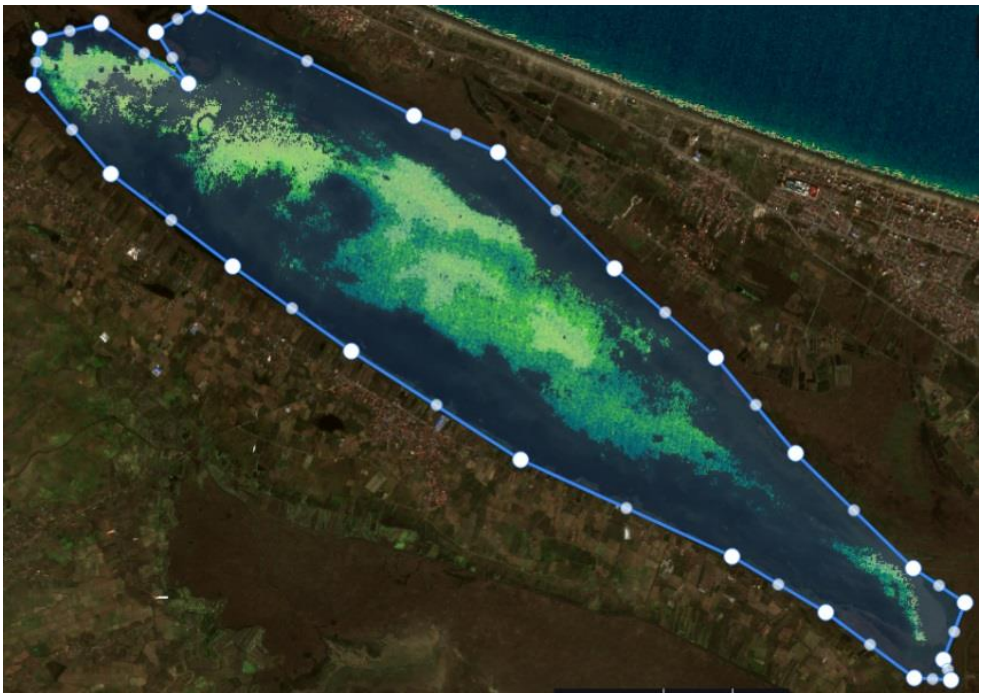
سبزینه یا کلروفیل، رنگیزهای سبزرنگ است که در اکثر گیاهان، خزه‌ها وسیانوباکتری‌ها و باکتری‌های فتواتوتروف یا همان باکتری‌های فتوسنتزکننده که کلرو فیل دارند اما کلرو پلاست ندارند یافت می‌شود (McArthur et al., 2018). سبزینه بخش اعظم نور آبی و قرمز را جذب و نور سبز و زرد را از بین طیف‌های الکترومغناطیسی منعکس می‌کند. رنگ سبز گیاهان به دلیل انعکاس نور سبز از کلروفیل‌هاست. شکل (۲) جذب طیف آزاد کلروفیل (آبی) و (قرمز) در یک حلال نشان می‌دهد که طیف مولکول‌های کلروفیل بسته به برهمکنش‌های خاص رنگدانه-پروتئین در داخل آن اندکی تغییر می‌کند (Zlinszky et al., 2017).

شاخص ماهواره

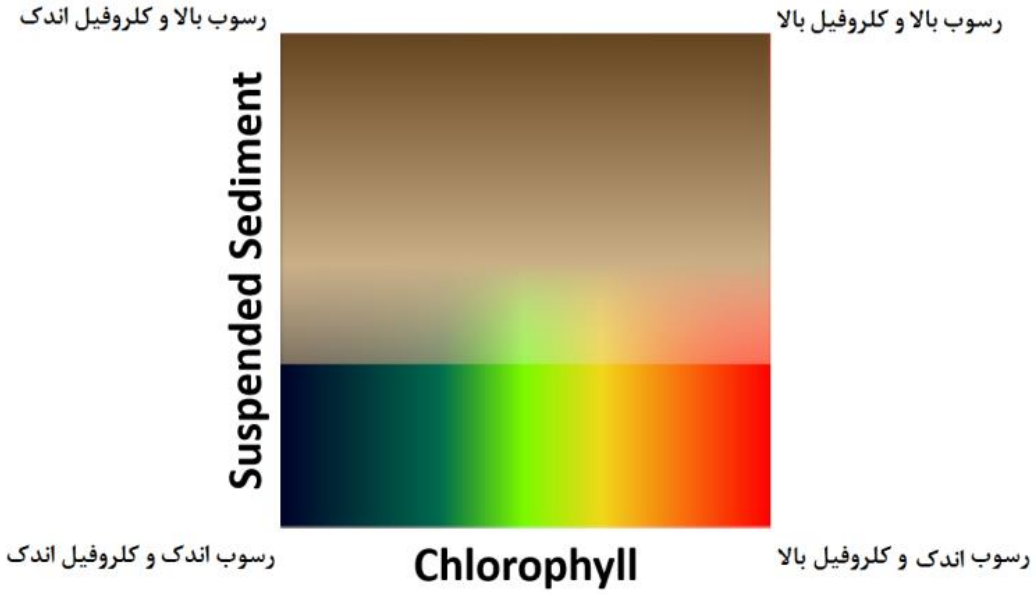
به‌طور پیش‌فرض، در شاخص‌های ماهواره، تمام پیکسل‌هایی که به‌عنوان «نه آب» (ابر، برف یا زمین) شناسایی شده‌اند، با رنگ واقعی نشان داده می‌شوند. تمام پیکسل‌های شناسایی شده به عنوان آب با الگوریتمی رنگ می‌شوند که غلظت کلروفیل و رسوب معلق را با هم ارزیابی می‌کند. این تجسم را می‌توان با یک نقشه GIS با دو لایه رستری، رسوب در بالا و کلروفیل در زیر مقایسه کرد. بنابراین پیکسل‌های آبی با غلظت رسوب بالا بدون در نظر گرفتن غلظت کلروفیل، قهوه‌ای تیره می‌شوند(Wang et al., 2018).غلظت رسوب متوسط، کرمی رنگ (قهوه‌ای روشن) با افزایش شفافیت نسبت به غلظت رسوب کمتر است(Rezaei et al.,2018). در غلظت‌های کم رسوب، "لایه" رسوب کاملا شفاف است. در زیر "لایه" رسوب نیمه‌شفاف، غلظت کلروفیل مشاهده می‌شود. غلظت بالای کلروفیل با رنگ قرمز، غلظت متوسط سبز و غلظت کم آبی‌تیره مشخص شده است(Zlinszky et al., 2017). شکل (۳)پهنه منتخب استخراج شاخص کیفیت آب فصلی تالاب انزلی و شکل(۴)درک و تنظیم دقیق پارامترهای تشخیص کیفیت آب نشان می‌دهد.



شکل۲. جذب طیف آزاد کلروفیل (آبی) و (قرمز) در یک حلال(Zlinszky et al., 2017)



شکل ۳. پهنه منتخب استخراج شاخص کیفیت آب فصلی تالاب انزلی



شکل ۴. درک و تنظیم دقیق پارامترهای تشخیص کیفیت آب

اسکریپت در بررسی کیفیت آب در دوره‌های فصلی تالاب انزلی

کد تحلیل کیفیت آب (UWQV)یک اسکریپت سفارشی برای مرورگر Sentinel-hub EO یا Sentinel-hub Playground برای تجسم پویا شرایط کلروفیل و رسوب بدنه-های آبی در تصاویر Sentinel-2 و Sentinel-3 است(Ryan et al.,2018). در این مطالعه با استفاده از این کد مقدار تغییرات کیفیت آب در دوره‌های فصلی تالاب انزلی تحلیل شد.

برای غلظت کلروفیل، سطح شاخص‌های مختلفی در دسترس است که همه بر اساس الگوریتم ارتفاع خط بازتاب (RLH) هستند. برای مطالعات با سنسور ماهواره ایMERISهر دوی این شاخص‌ها را می‌توان برای داده‌های Sentinel-3 محاسبه کرد، و نشان داده شده است که برای غلظت‌های کم کلروفیل مناسب‌تر است در حالی که برای غلظت‌های کلروفیل بالا سنجه‌های دیگر بهتر عمل می‌کند. (Nechad et al., 2010).

از طرفی سیگنال نوری کلروفیل و رسوب معلق را نمی‌توان با این روش‌های ساده همیشه از نظر طیفی جدا کرد. بنابراین در برخی موارد، غلظت کم رسوبات روشن ممکن است روی تشخیص کلروفیل تأثیر بگذارد. به طور مشابه، در آب‌های بسیار شفاف اما کم عمق، کف دریاچه/دریا ممکن است از طریق آب قابل مشاهده باشد و یک سیگنال رسوب یا کلروفیل تولید کند(Dogani et al.,2020).

سنسور Sentinel3 OLCI به طور خاص برای کاربردهای آبی طراحی شده است و به دلیل تولید اطلاعات دقیق‌تری در مورد کیفیت آب نسبت به Sentinel-2شناخته شده است، بنابراین ابتدا تصاویرتالاب در تاریخ انتخابی در Sentinel-3براساس آنکه در دوره‌ای بدون ابر باشد، چند روز قبل و بعد از تاریخ مورد نظر تصاویر Sentinel-3بررسی می‌شود تا درک درستی از جریان‌ها و فرآیندهای کیفیت آب که الگوهایی را که نمایش می‌دهد به دست آید. سپس، اگر تصاویر Sentinel-2 نیز موجود باشد، می‌توان با وضوح بالاتر بررسی نمود و با جزئیات بیشتری شاخص‌را تولید کرد. مقایسه بینSentinel-3دقت بیشتر، وضوح کمترو Sentinel-2وضوح بالاتر، دقت کمتر در تولید شاخص نهایی موثر است (Nechad et al., 2010).

نتایج و بحث

در شکل‌های (۵) تا (۱۲) شاخص سنجش کیفیت آب تالاب‌انزلی در یک دوره یکساله و برای فصول مختلف ارائه شده است. در هر مورد مقدار باند سبز نیز به صورت مجزا آمده است. همچنین در تحلیل تغییرات روزانه رقوم دبی سنجی، مقدار دبی جریانات با تایید رگرسیون بازسازی، روند فصلی را در ارتباط با تغییرات کیفیت آب ایستگاه‌هانشان داد. دراشکال (۵) تا (۱۲)، متوسط توزیع مکانی طیف سبز درفصول مختلف نشان می‌دهد که اعداد آن بیانگر وضعیت شاخص کیفیت و کلروفیل هستند بطوریکه در فصل پاییز برابر ۰/۱۵، در فصل زمستان ۰/۱۳، در فصل بهار معادل ۰/۰۶ و در فصل تابستان برابر عدد ۰/۱۳ بود. این درحالی است که هر یک از ارقام متوسط به ترتیب با اعداد ۰/۲۷، ۰/۲۳، ۰/۰۸، ۰/۰۸ و ۰/۲۳ انحراف معیار پراکنش مختصاتی را نشان داده‌اند. بنابراین تغییرات مقدار کلروفیل از یک فصل به فصل دیگر نوسان شدید را نشان می‌دهد.

جدول(۱) خلاصه آماری شاخص کیفیت آب تالاب انزلی در فصول بهار، پاییز، تابستان و زمستان نشان می‌دهد. طبق این جدول، در بررسی آماری دبی رودخانه‌های منتهی به تالاب انزلی، در تمام مختصات دریاچه تالاب، روند مشابه فصلی بین دبی‌ها با توجه به یکسان بودن حوضه آبریز تغذیه‌کننده مشاهده گردید. همچنین در جدول (۱) نیز این روند بر اساس تحلیل و بازسازی آمار دوره بلند دبی‌سنجی بوده است که روش پایه آن رگرسیون خطی در محیط صفحات گسترده بود. همچنین در یک مرحله با توجه به همگنی وزن دبی‌ها در فصل‌های چهارگانه سال، به کشف روند تغییرات در آمار برداشت شده فصلی پارامترهای کیفی ایستگاه‌های جریانات سطحی مرحله پیشین پرداخته شده و نتایج از این مرحله نیز حاکی از تغییرات غلظت جریان است.

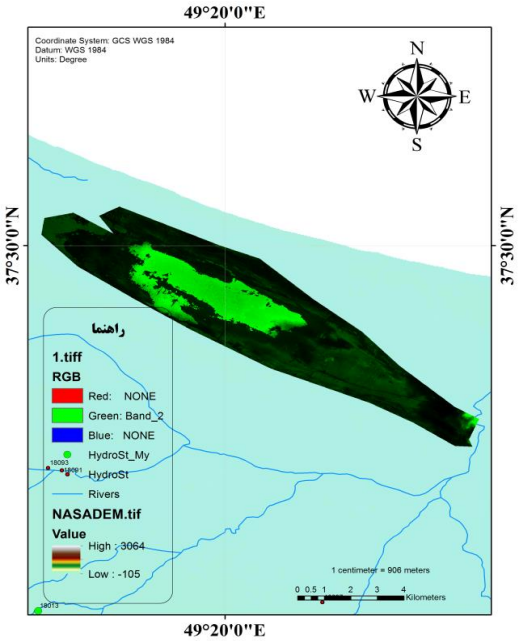
نتایج تحقیقات Aminisarteshnizi (۲۰۲۲)که به بررسی شاخص کلروفیل پرداخته شده است که بیانگر اعداد ۰/۱۸ در فصل پاییز، ۰/۱۶ در فصل زمستان، ۰/۰۸۵ در فصل بهار و ۰/۱۵ فصل تابستان بوده است که مقایسهنتایج حاصل از این پژوهش با تحقیقات Aminisarteshnizi(۲۰۲۲) گویای نزدیکی اعداد حاصل از آنالیز وتحلیل بوده است. همچنین نتایج تحقیقات Khalilivavdareh و همکاران (۲۰۲۲)که به آماری شاخص کیفیت آب در طی فصول مختلف در یک منطقه پرداخته است، نشانگر انحراف معیار استاندارد در حدود ۰/۰۷ تا ۰/۲۹ بوده است که مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با تحقیقاتKhalilivavdarehو همکاران (۲۰۲۲)بیانگر نزدیکی اعداد حاصل از آنالیز وتحلیل بوده است.

جدول ۱. خلاصه آماری شاخص کیفیت آب تالاب انزلی

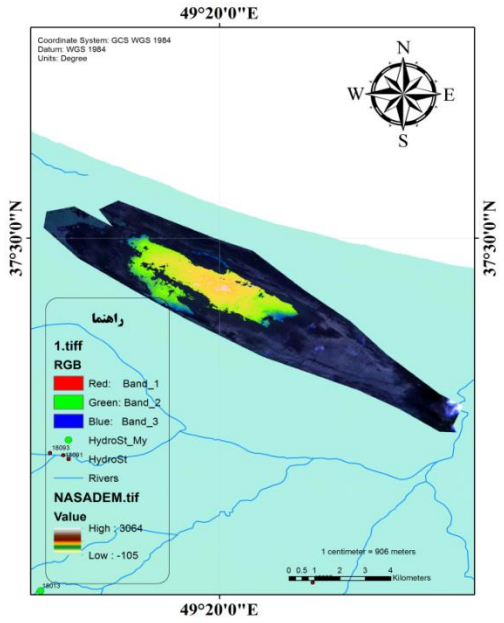
فصل	مقدار min	مقدار max	میانگین	انحراف استاندارد
پاییز	۰	۰/۹۸	۰/۱۵	۰/۲۷
زمستان	۰	۰/۹۸	۰/۱۳	۰/۲۳
بهار	۰	۰/۸۹	۰/۰۶	۰/۰۸
تابستان	۰	۰/۶۳	۰/۰۶	۰/۰۸

با توجه به آنچه تا به این مرحله مطرح شد، می‌توان بیان کرد که در بررسی آماری دبی رودخانه‌های منتهی به تالاب انزلی، در تمام مختصات دریاچه تالاب، روند مشابه فصلی بین دبی‌ها با توجه به یکسان بودن حوضه آبریز تغذیه‌کننده مشاهده گردید. این روند بر اساس تحلیل و بازسازی آمار دوره بلند دبی‌سنجی بوده است که روش پایه آن رگرسیون خطی در محیط صفحات گسترده بود. به منظور پایش درستی رویکرد بازسازی، از روش SVM در محیط اسکریپت پایتون در استخراج محتمل‌ترین معادله رگرسیون استفاده شده. نتایج حاصله نشان داد که رگرسیون خطی بیشترین احتمال در حصول ارقام مفقود را دارا بوده است. همچنین در یک مرحله با توجه به همگنی وزن دبی‌ها در فصل‌های چهارگانه سال، به کشف روند تغییرات در آمار برداشت شده فصلی پارامترهای کیفی ایستگاه‌های جریانات سطحی مرحله پیشین پرداخته شده. نتایج بدست آمده از این مرحله نیز حاکی از گام‌های ۴گانه در تغییرات غلظت جریان است. به این ترتیب می‌توان بیان کرد که تغییرات هیدرومتری مشخصا به تغییرات غلظت آلاینده‌ها منجر می‌شود. با توجه به

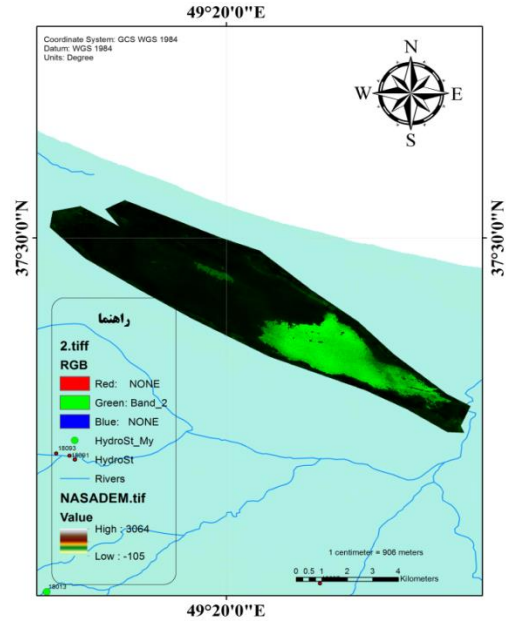
این نتایج، براساس باندهای سنجنده ماهواره سنتینل،خروجی محاسباتی کلروفیل که یکی از پارامترهای شناخته‌شده سنجش آب‌های سطحی از منظر کیفی است، در چهار فصل سال به صورت همزمان با کمترین تراکم ابری محاسبه شده؛ که توزیع مکانی رقوم باند سبز در هر مورد محاسبه و خلاصه آماری مستخرج از آن نیز روند فصلی تغییرات کیفیت آب دریاچه تالاب را به وضوح نشان می‌داد. بنابراین می‌توان بیان داشت که مشخصا تغییرات آلودگی در اکوسیستم تالاب انزلی، متاثر از روند تغییرت کیفیت آب مسیر جریاناتی است که خود زهکش‌کننده آلودگی‌های انسان ساختی نظیر کشاورزی در منطقه می‌باشد. همچنین با توجه به آمار حاصل شده و نمودار اسکالوگرام تغییرات فصلی آلودگی در منطقه، می‌توان به یک مدل کمی پیش‌بینی آلودگی بر اساس تغییرات دبی دست یافت. به عبارت دیگر، تغییرات دبی می‌تواند به عنوان یک الگوی عددی به کشف تغییرات آلودگی و مرزهای بحرانی تالاب انزلی ختم شود.



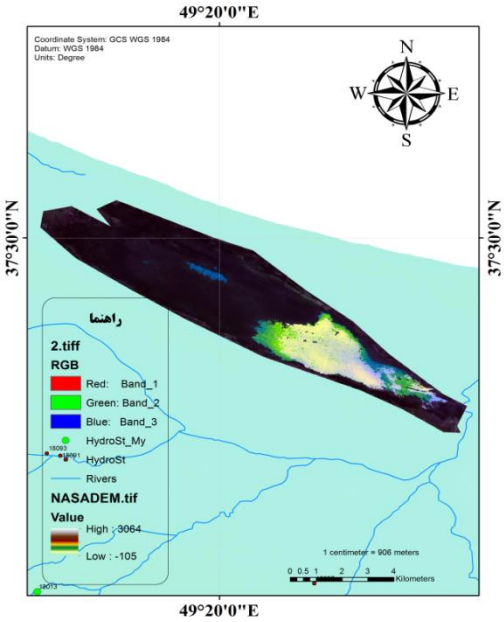
شکل۵. طیف سبز شاخص کیفیت آب تالاب انزلی – پاییز.



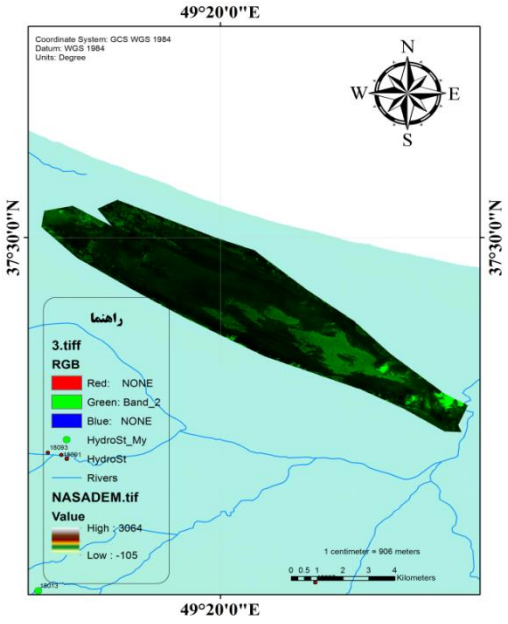
شکل۶. شاخص کیفیت آب تالاب انزلی – پاییز.



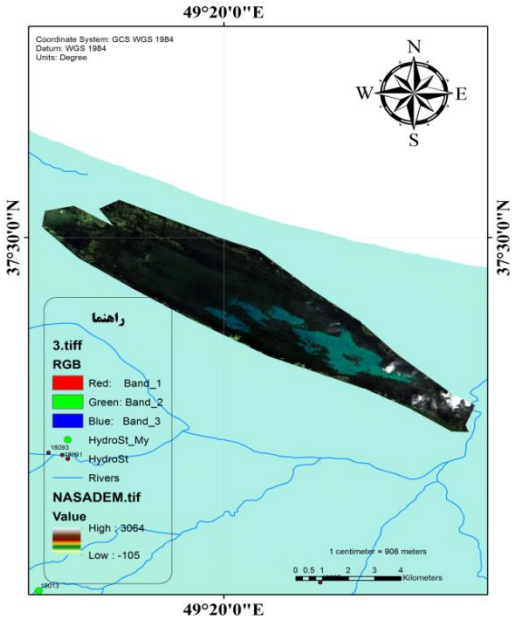
شکل۷. طیف سبز شاخص کیفیت آب تالاب انزلی – زمستان



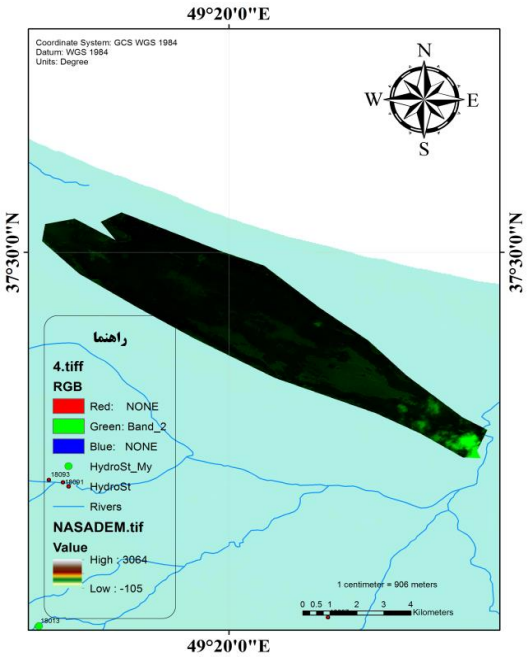
شکل۸. شاخص کیفیت آب تالاب انزلی – زمستان



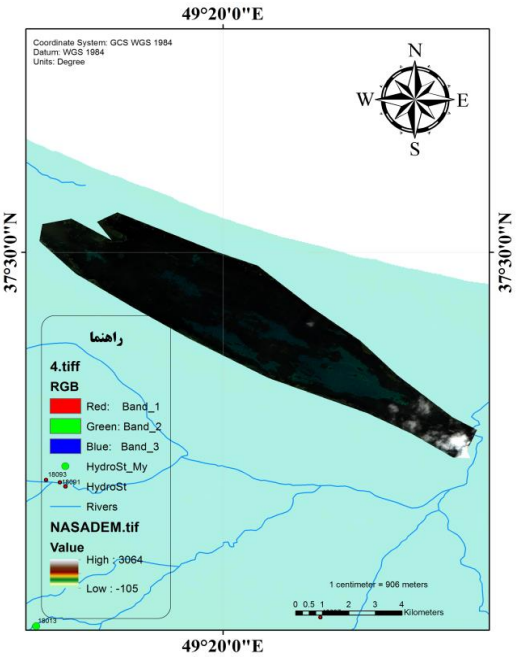
شکل۹. طیف سبز شاخص کیفیت آب تالاب انزلی – بهار



شکل۱۰. شاخص کیفیت آب تالاب انزلی – بهار



شکل۱۱. طیف سبز شاخص کیفیت آب تالاب انزلی – تابستان



شکل۱۲. شاخص کیفیت آب تالاب انزلی – تابستان

نتیجه‌گیری

افزایش روزافزون جمعیت و بالا رفتن استانداردهای زندگی در بسیاری از کشورها موجب افزایش نیاز به منابع آب با کیفیت مناسب برای مصارف مختلف کشاورزی، صنعت و شرب شده است. تالاب‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب با خطرات متفاوتی مانند افت سطح، کاهش میزان تغذیه به سبب نقصان بارندگی و آلاینده‌های طبیعی و غیرطبیعی روبرو است. از این رو پایش کیفی منابع آب تغذیه‌کننده آنها اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. نتایج نشان داد کهموثرترین علت افت کیفیت، افت سطح آب بهره‌برداری شده و مهم‌ترین علت افت دبی بهره‌برداری از چاه‌های کشاورزی زه آب شده به شبکه رودخانه‌های تغذیه‌کننده تالاب شناخته شده است. همچنین نتایج شاخص کیفیت حاکی افزایش کیفیت آب کشاورزی و قرارگیری سطح وسیع‌تری از محدوده آبخوان بوده است اما با این حال نمی‌توان این را به معنی بهبود شرایط تلقی کرد و علت این موضوع در بالاتر بودن مقدار متوسط و نقطه‌ای عمده مناطق هر دو پارامتر دخیل در محاسبه شاخص مذکور در دوره دوم نسبت به دوره اول می‌باشد. نتایج در ادامه نشان داد که

تحلیل کیفیت آب تالاب انزلی بر پایه تغییرات شاخص کلروفیل بیان‌کننده آن است که وضعیت رسوبات و سلامت آب تا حد بسیار زیادی در فصول مختلف متغیر است. نتایج حاصل از متوسط توزیع مکانی طیف سبز درفصول مختلف نشان داد که اعداد آن بیانگر وضعیت شاخص کیفیت و کلروفیل هستند بطوریکه در فصل پاییز برابر ۰/۱۵، در فصل زمستان ۰/۱۳، در فصل بهار معادل ۰/۰۶ و در فصل تابستان برابر عدد ۰/۱۳ بود. همچنین نتایج آماری دبی رودخانه‌های منتهی به تالاب انزلی، در تمام مختصات دریاچه تالاب، روند مشابه فصلی بین دبی‌ها با توجه به یکسان بودن حوضه آبریز تغذیه‌کننده مشاهده گردید و این درحالی است که هر یک از ارقام متوسط به ترتیب با اعداد ۰/۲۷، ۰/۲۳، ۰/۰۸، ۰/۰۸ و ۰/۲۳ انحراف معیار پراکنش مختصاتی را نشان دادهکه تغییرات مقدار کلروفیل از یک فصل به فصل دیگر نوسان شدید را نشان می‌دهد.

Reference:

Alizadeh, A. (1998). Principles of applied hydrology, Astan Quds Razavi. Emam Reza University, Mashad, 662. [in Persian]

Aminisarteshnizi, M. (2022). Assessment of Water Quality Index in Anzali Lagoon using Multivariate Analysis. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, *25*(8), 776-780.

Asadi, H., Ebrahimi, A., Tajrishi, M., Farhangi, M., & Tajdari, Kh. (2019). Determination of cholorid and total dissolved solids in inlet rivers the Anzali lagoon. The 16th Iranian Soil Science Congress, Zanjan University, Zanjan, Iran. [in Persian]

Asadi, H., & Ebrahimi, A. (2017). Seasonal assessment of phosphorus pollution in some areas of Guilan province. The 15th Iranian Soil Science Congress, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. [in Persian].

Dogani, A., Dourandish, A., Ghorbani, M., & Shahbazbegian, M. R. (2020). A hybrid meta-heuristic for a bi-objective stochastic optimization of urban water supply system. *IEEE Access*, *8*, 135829-135843.

Gili, M., Motakan, A., Kazemi, A. (2014). Estimating Chlorophyll a and Total Phosphorous in Anzali Wetland Using Three Band Model. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS.*6(1),35-48

Khalilivavdareh, S., Shahnazari, A., & Sarraf, A. (2022). Spatio-temporal variations of discharge and sediment in rivers flowing into the anzali lagoon. *Sustainability*, *14*(1), 507.

Khosheghbal, M. Z., Charkhabi, A. H., Sharifi, F., & Ghazban, F. (2013). An Investigation of Sediment Pollution in the Anzali Wetland. *Polish Journal of Environmental Studies*, *22*(1), 283-288

Mahzabiyeh, S.,Golkar, A. & Ahmadi, M. M. (2015). Application of smart methods of optimization and forecasting in water quality issues. The 13th National Seminar on Irrigation and Evapotranspiration. Kerman. [in Persian]

Marzvan, S., Moravej, K., Felegari, S., Sharifi, A., & Askari, M. S. (2021). Risk Assessment of Alien Azolla filiculoides Lam in Anzali Lagoon Using Remote Sensing Imagery. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *49 (7)*, 1801-1809.

McArthur, J. M., Sikdar, P. K., Leng, M. J., Ghosal, U., & Sen, I. (2018). Groundwater quality beneath an Asian megacity on a delta: Kolkata's (Calcutta's) disappearing arsenic and present manganese. *Environmental science & technology*, *52*(9), 5161-5172.

Ministry of Power. (2015). Studies on updating the balance of water resources of Talash watershed and Anzali lagoon. [in Persian]

Nechad, B., Ruddick, K. G., & Park, Y. (2010). Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sensing of Environment*, *114*(4), 854-866.

Rasouli, A. A., Ghermezcheshmeh, b., Nassaji Zavareh, M. & Kheirkhah, M. M. 2011. Spatial analysis of annual precipitation trends using the Mann-Kendall method in the northwest of the country. The first national conference on drought and climate change. Karaj. [in Persian]

Rezaei, A., Shahinjad, b. & Yonesi, H. (2018). Evaluation of intelligent models in estimating the amount of dissolved solids in Kashkan river water, Lorestan province. *Watershed Engineering and Management Journal*. 11(1), 147-165. [in Persian]

Rokhshad, A., & Shahidi, A. (2021). Performance Six Intelligent Combined Methods in Groundwater quality modeling, Case study: Bafgh Plain, Hydrogeology, 6(1), 126-139. [in Persian]

Shi, B., Wang, P., Jiang, J., & Liu, R. (2018). Applying high-frequency surrogate measurements and a wavelet-ANN model to provide early warnings of rapid surface water quality anomalies. *Science of the Total Environment*, *610*, 1390-1399.

Wang, R. J., Powell, J. T., & Hunt, W. F. (2018). Retrofitting a grass swale with rock check dams: Hydrologic impacts. *Urban Water Journal*, *15*(2).

Zlinszky, A., Supan, P., & Koma, Z. (2017, April). Near real-time qualitative monitoring of lake water chlorophyll globally using GoogleEarth Engine. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (p. 18950).