



وضعیت فیزیکوشیمیایی و سموم کشاورزی در آب، رسوب و ماهی کپور معمولی تالاب انزلی، استان گیلان، ایران

سید قاسم قربانزاده زعفرانی^{۱*}، فرهاد حسینی طایفه^۲، جلیل بادام فیروز^۳، سیده بهاره عظیمی^۱، سید کرامت هاشمی عنا^۲

*۱- گروه پژوهشی ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

۲- گروه پژوهشی تنوع زیستی و ایمنی زیستی، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

۳- گروه پژوهشی اقتصاد محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

۴- گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

نوع مقاله:	چکیده
پژوهشی	مقدمه: استفاده از سموم ارگانوکلره و ارگانوفسفره در سطح وسیع در زمین‌های کشاورزی در استان‌های شمالی ایران بسیار رایج است. با ورود سموم دفع آفات در آب، این سموم به راحتی در محیط انتشار می‌یابند و قابلیت تجمع زیستی در موجودات زنده را دارند. قرار گرفتن در معرض چنین آب‌های آلوده‌ای برای سلامتی انسان و موجودات زنده مضر است. در این مطالعه آخرین وضعیت اکولوژیک تالاب از نظر تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی و سموم کشاورزی پرمصرف در نمونه‌های آب، رسوب و ماهی در سه بخش غربی، میانی و شرقی تالاب انزلی مورد بررسی قرار گرفت.
تاریخچه مقاله:	مواد و روش‌ها: در این مطالعه نمونه‌برداری از ۱۰ ایستگاه در تالاب انزلی در بهار ۱۴۰۰ انجام شد. نمونه‌های آب از عمق یک متری، نمونه‌های رسوب با استفاده از نمونه‌بردار گرب ون وین و ماهی‌ها با تورکشی جمع‌آوری شدند. برای اندازه‌گیری پارامترهای pH، هدایت الکتریکی (EC; Electrical conductivity) و کل مواد جامد محلول (TDS; Total dissolved solids) از دستگاه کیفیت سنج مولتی‌پارامتر آب و برای اندازه‌گیری اکسیژن محلول (DO; Dissolved oxygen)، میزان اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD; Biochemical oxygen demand) و میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD; Chemical oxygen demand) به ترتیب از روش وینکلر و روش‌های استاندارد استفاده شد. میزان آلدین، دیلدین، اندرین، دیازینون، مالاتیون و آزینافوس متیل در نمونه‌ها با دستگاه کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC-MS; Gas Chromatography-Mass Spectrometry) اندازه‌گیری شد. برای تحلیل آماری از آزمون‌های آماری تک متغیره و چند متغیره از جمله تحلیل خوشه‌ای (Cluster Analysis)، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA; Principal Component Analysis) و مقیاس‌بندی چند بعدی غیرمتریک (n-MDS; Non-Metric Multidimensional Scaling) استفاده شده است.
کلیمات کلیدی:	نتایج: در این مطالعه میانگین کل BOD، COD، DO و عمق در تالاب انزلی به ترتیب ۰.۲۶، ۰.۴۶/۶، ۰.۴/۰۹ (میلی گرم بر لیتر) و ۱/۲ متر بود. بیشینه مقدار شوری و EC در تالاب انزلی به ترتیب ۳/۸۴ ppt) و ۶/۸ mS/cm) در عمق (۰/۶ m) و در بخش میانی تالاب ثبت شده است. میانگین TDS در تالاب انزلی ۱/۱۱ (g/L) و میانگین کدورت (NTU) ۵۷/۳ بوده است. بیشینه مقدار شن در تالاب انزلی (۶۹/۶۷ درصد) در بخش میانی تالاب و بیشینه مقدار سیلت (۳۷/۵۰ درصد)، رس (۳۲/۲۵ درصد) و مقدار کل مواد آلی (۱۲/۴۱ درصد) در بخش غربی تالاب به ثبت رسید. میانگین غلظت سموم ارگانوکلره و ارگانوفسفره در آب در کل تالاب به ترتیب ۱/۳ و ۰/۷ میکروگرم در لیتر اندازه‌گیری شد ولی در نمونه‌های رسوب و عضله ماهی کپور معمولی قابل تشخیص نبود.

بحث: در مطالعه حاضر علت پایین بودن اکسیژن محلول و بالا بودن مقدار BOD و COD در بخش شرقی ممکن است به خاطر آلودگی رودخانه پیربازار و افزایش بار آلودگی ناشی از ورود فاضلاب می‌باشد. میزان pH آب نشان‌دهنده این است که pH یکنواخت و قلیایی در تالاب حاکم است. مقدار TDS در بخش میانی تالاب بیشتر بوده است که علت افزایش آن در برخی نقاط می‌تواند به فعالیت‌های کشاورزی و فعالیت‌های صنعتی و یا ذرات ناشی از لاشه فیتوپلانکتون‌ها مرتبط باشد. با افزایش میزان مواد آلی و رس در بخش غربی تالاب، میزان ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC; Cation Exchange Capacity) هم افزایش یافته است. نتایج PCA در تالاب انزلی نشان داد که متغیرهای رسوب همانند پارامترهای آب می‌توانند نقش زیادی در توضیح تغییرات سیستم اکولوژیک تالاب داشته باشد. نتایج آزمون خوشه‌ای و n-MDS بر اساس شرایط فیزیکوشیمیایی محیطی، بیانگر تفاوت بین بخش‌های مختلف تالاب انزلی می‌باشد و در مجموع این موضوع می‌تواند بازگوکننده تاثیر شرایط هیدرودینامیک و توپوگرافی خاص منطقه باشد. یکی از دلایل عدم حضور سموم ارگانوکلره و ارگانوفسفره در این مطالعه می‌تواند تحت تاثیر پارامترهای محیطی به‌ویژه pH باشد که قلیایی بوده و احتمالاً باعث حذف این سموم شده است.

مقدمه

سموم دفع آفات برای محافظت از تولید محصولات کشاورزی در برابر حمله آفات و علف‌های هرز، نقش عمده‌ای در کشاورزی مدرن دارند. استفاده از سموم ارگانوکلره و ارگانوفسفره در سطح وسیع در مزارع کشاورزی و باغات مرکبات در استان‌های شمالی همجوار با سواحل جنوبی خزر، بسیار رایج است. حضور این سموم در محیط‌های آبی می‌تواند در بافت آبزیان تجمع یابند و با توجه به افزایش مصرف آبزیان به‌خصوص ماهی‌ها توسط انسان، این سموم به بدن انسان انتقال می‌یابند (Gholamipour et al., 2014).

سموم دفع آفات علی‌رغم فواید بی‌شمار، امروزه از مخرب‌ترین مواد آلوده‌کننده محیط زیست به‌شمار می‌روند. مقدار کمی از آفت‌کش‌های مورد استفاده (کمتر از ۰/۱ درصد) به آفات هدف می‌رسند. بنابراین میزان زیادی از آفت‌کش‌ها وارد محیط زیست شده و منابع آبی و خاکی را آلوده می‌سازند (Pimentel & Burgess, 2012). حضور سموم دفع آفات در آب خطرناک است زیرا به راحتی در محیط انتشار می‌یابند و قابلیت تجمع زیستی در موجودات زنده و انتقال در زنجیره غذایی را دارند (Mahmood et al., 2016). علاوه بر این، سموم می‌توانند در فرایندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک شرکت کنند. قرار گرفتن در معرض چنین آب‌های آلوده‌ای برای سلامتی و زندگی انسان و موجودات زنده مضر است (Tankiewicz et al., 2010).

تالاب انزلی از دسته تالاب‌های ساحلی دریایی می‌باشد. تالاب انزلی مجموعه‌ای است از تالاب‌های طبیعی آب‌شیرین که از یازده رودخانه حوزه آبریز ۳۸۰۰۰۰ هکتاری خود همانند سیاه درویشان، هند خاله و پسیخان تغذیه می‌شود. رودخانه‌هایی که به تالاب انزلی می‌ریزند عبارتند از رودخانه لاکسار، رودخانه بهمیر، رودخانه ضیابر، رودخانه چکور، رودخانه کلسر، رودخانه اسفند، رودخانه چومثقال، رودخانه نرگستان که به منطقه حفاظت شده سیاه‌کشیم می‌ریزند. به بخش غربی تالاب انزلی تنها یک رودخانه بنام شيله سر می‌ریزد. رودخانه‌های ورودی به بخش مرکزی تالاب عبارتند از رودخانه سیاه درویشان، رودخانه هندخاله، رودخانه شیجان، گوهر رود، پیربازار، رودخانه نوخاله، چوکام رود، باقرخاله و زرچوب. بخش شرقی تالاب به وسیله سه رودخانه به دریای خزر مرتبط می‌شود که شامل سوسر روگه، راسته‌خاله و پیربازار روگه می‌باشد. بخش مرکزی تالاب توسط نهنگ روگه و شنبه بازار به دریای خزر مرتبط می‌شود (Behrouzi Rad, 2008). تالاب انزلی زیستگاه محلی برای تخم ریزی و تکثیر ماهیان و نیز زمستان‌گذرانی و جوجه‌آوری گونه‌های زیادی از پرندگان آبی و کنارآبی محسوب می‌شود. جریان‌های ورودی تالاب انزلی که در روند یوتریفیکاسیون آن مؤثرند به گونه‌ای است که ۵۲ درصد از طریق سیاه درویشان به بخش مرکزی تالاب، ۴۴ درصد از طریق پیربازار، پسیخان و خم‌ام‌رود به بخش شرقی تالاب و ۴ درصد باقیمانده به بخش غربی تالاب وارد می‌شوند. وضع آب‌های ورودی به نحوی است که آب‌های وارده به قسمت

مرکزی و شرقی زودتر تخلیه شده ولی تخلیه آب‌های منطقه غربی مدت‌ها طول می‌کشد (Mirzajani et al., 2010).

در تالاب انزلی علاوه بر تخریب‌های ناشی از فشارهای بسیار زیاد جمعیت بر تالاب مانند تغییر کاربری اراضی محدوده تالاب، اجرای طرح‌های توسعه مانند احداث کنارگذر انزلی، توسعه منطقه ویژه تجاری انزلی در حوضه آبخیز آن، تأثیرات قابل ملاحظه و مخربی را بر این اکوسیستم برجای گذاشته است. بر اساس مطالعه انجام شده، تغییرات کاربری زمین/پوشش زمین (LULC¹) به شدت بر هیدرولوژی حوضه و بازده رسوب تأثیر می‌گذارد. با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل مقیاس زمانی ماهانه بین سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۳ میلادی، بیشترین تأثیر تغییرات LULC در ماه‌های خشک زمانی که افزایش کشاورزی آبیاری منجر به افزایش دبی آب و بار رسوب به تالاب انزلی می‌شود، رخ می‌دهد (Aghsaei et al., 2020). همچنین حوضه آبریز تالاب انزلی علاوه بر دارا بودن اکوسیستم‌های مهم محیط زیستی مانند تالاب انزلی و جنگل‌های هیرکانی، یکی از مناطق مهم برنج‌کاری ایران است (Jafari et al., 2016). از طرفی با توجه به حجم بالای فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در شمال کشور و مصرف ۶۰ درصد کل آفت‌کش‌های کشور در بخش شرقی تالاب، مواد آلاینده زیادی وارد تالاب می‌شود و این زهاب‌های کشاورزی باعث افزایش یوتروفیکاسیون شده و ورود رسوبات به تالاب نیز باعث کاهش عمق تالاب خواهد شد. در بخش سیاه‌کشیم فعالیت‌های صنایع کمتر، ولی فعالیت‌های کشاورزی زیاد است. بخش مرکزی تالاب نیز متأثر از پساب‌های کشاورزی و پساب‌های پراکنده شهری و روستایی است که به دلیل تردد قایق‌ها دچار صدمات محیط زیستی جدی شده است. بر اساس نظر سنجی اخیر از جوامع محلی، آلودگی فاضلاب خانگی و صنعتی مهم‌ترین تهدید برای تالاب معرفی شدند (Allahyari et al., 2024).

بیشترین توزیع مصرف سموم ارگانوفسفره در ایران در سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۰ به ترتیب در استان مازندران و گیلان گزارش شده است (Moinoddini et al., 2014). دیازینون، مالاتیون و آزینوفوس متیل از سموم پرکاربرد

در استان مازندران می‌باشند (Shokrzadeh et al., 2019). بر اساس گزارش آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۸ که توسط وزارت جهاد کشاورزی سموم شیمیایی تهیه شد، حدود ۲۷۶۶۷۰ تن با احتساب انواع حشره‌کش، علف‌کش و سایر سموم می‌باشد و میزان ۱۰۷۹۱۳ تن مربوط به حشره‌کش می‌باشد. میزان فروش انواع سموم شیمیایی در استان‌های مازندران و گیلان به ترتیب ۶۶۷۶۸ و ۳۰۵۹۹ تن می‌باشد که جز استان‌های پرمصرف می‌باشد (Ebadzadeh et al., 2019). غلظت سموم ارگانوکلوکلر شامل لیندان، هپتاکلر، آلدین، دیلدین و ددت در رسوبات سواحل جنوبی دریای خزر در ایستگاه‌های آستارا، هشتپر، بندرانزلی، کباشهر، رامسر، چالوس، نور، فریدون کنار، خزرآباد ساری و بندر ترکمن اندازه‌گیری شد و نتایج نشان داد که بیشترین غلظت سموم مربوط به آلدین بود (Keshavarzi et al., 2012). در مطالعه دیگر میانگین غلظت دیازینون، مالاتیون و آزینوفوس متیل در آب و رسوب دریای خزر به ترتیب ۱/۳۷±۰/۶۹ و ۱/۷۶±۰/۵۵ میکروگرم در لیتر و ۰/۱۹±۰/۷۷ و ۰/۱۶±۰/۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم ثبت گردید (Nasrabadi, et al., 2010). طی مطالعات اخیر، غلظت کم سموم ارگانوکلوکلر (۰/۱±۰/۷ میکروگرم در لیتر) و ارگانوفسفره (۱/۳۱±۰/۱ میکروگرم در لیتر) در نمونه‌های آب تالاب میانکاله گزارش گردید ولی غلظت آن‌ها در رسوب و بافت ماهی تالاب قابل تشخیص نبود که این موضوع آلودگی کم محیط آبی میانکاله را به سموم ارگانوکلوکلر و ارگانوفسفره را نشان می‌دهد (Ghorbanzadeh, et al., 2023). مشابه این نتایج میزان کم سموم ارگانوکلوکلر در رسوب سطحی تالاب میانکاله از زیر حد تشخیص دستگاه تا ۱/۴۱ نانوگرم در گرم قبلاً نیز گزارش شده است که فراوان ترین OCP ها، بتا-اندوسولفان و به دنبال آن متوکسی کلر و اندرین بودند. ارزیابی خطرات اکولوژیک بر اساس دستورالعمل‌های کیفیت رسوب (SQGs) نشان داد که OCP ها خطرات اکولوژیک پایینی در خلیج گرگان دارد. (Ghorbanzadeh, et al., 2022). از طرفی غلظت آفت‌کش‌ها در ماهی کفال، ماهی سفید و کپور معمولی سواحل جنوبی خزر از ۰/۱ تا ۰/۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای دیازینون، ۰/۱ تا ۰/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای مالاتیون و ۰/۰۵ تا ۰/۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم آزینوفوس متیل گزارش گردید

¹ Land use/land cover

نمونه‌های آب از عمق حدود یک متری (سطحی) در ظروف شیشه‌ای کهربایی جمع‌آوری شد و پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب شامل هدایت الکتریکی (EC)، pH، پتانسیل اکسایش و کاهش (Eh)، اکسیژن محلول (DO)، کل جامدات محلول (TDS)، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) و آفت‌کش‌های ارگانوکلره و ارگانوفسفره اندازه‌گیری شدند. نمونه‌برداری از لایه‌های سطحی رسوب با استفاده از نمونه‌بردار گرب ون وین انجام شد. در هر ایستگاه سه نمونه برداشت شده و در یک ظرف با هم مخلوط شده و یک نمونه تلفیقی از آن برای سنجش سموم به آزمایشگاه معتمد سازمان حفاظت محیط زیست ارسال گردید. یک نمونه رسوب به ازای هر ایستگاه برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی شامل بافت، pH، EC، CEC، مواد آلی، دانه‌بندی و کربنات نیز جمع‌آوری گردید. نمونه‌های جمع‌آوری شده در فویل و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. تعداد ۱۰ قطعه ماهی کپور به عنوان گونه غالب با تورکشی جمع‌آوری شد. بافت عضله ماهی‌ها در فویل‌های تمیز پیچیده شده در دمای ۲۰- فریز شده و برای آنالیز به آزمایشگاه منتقل شدند.

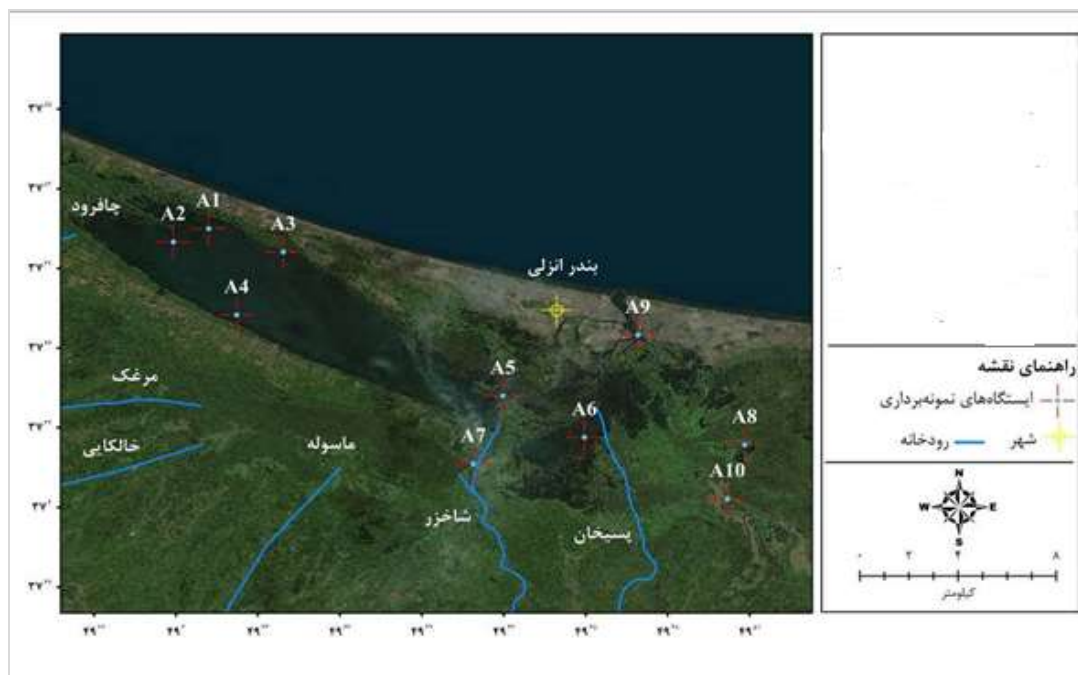
برای اندازه‌گیری پارامترهای pH، EC و TDS از دستگاه کیفیت سنج مولتی پارامتر آب Water Quality Meter (AZ86031) ساخت آمریکا اندازه‌گیری شد. همچنین برای اندازه‌گیری DO از روش وینکلر و تثبیت نمونه با سولفات منیزیموم (۳ سی سی) و یدور قلیایی (۲ سی سی) استفاده شد. برای اندازه‌گیری BOD و COD از روش‌های استاندارد به ترتیب متد S.M. 5210-D و متد B. 5220-EC استفاده شد. برای اندازه‌گیری پارامترهای pH و EC در رسوب از دستگاه‌های pH متر و EC متر استفاده شد (MOOPAM, 2010). برای تعیین درصد مواد آلی و کربنات کلسیم رسوب، از روش کوره (Muffle Furnace) ارائه شده توسط Heiri و همکاران (Heiri et al., 2001) استفاده شد.

برای تعیین بافت نمونه‌های رسوب از روش هاگانسون و جانسون (Hakanson & Jansson, 2002) استفاده شد.

(Golshani, et al., 2020). نتایج بررسی توزیع سموم ارگانوکلره و پلی‌کلروبی‌فنیل‌ها در تالاب انزلی نشان داد که غلظت کلی سموم ارگانوکلره و پلی‌کلروبی‌فنیل‌ها در آب و رسوبات به ترتیب ۳۱۵/۱۶-۷۱/۷۵ نانوگرم بر لیتر و ۱۲/۶۸-۱/۸ نانوگرم بر گرم بود. همچنین در این مطالعه سموم HCH و DDE رایج‌ترین آلودگی‌های سموم ارگانوکلره گزارش شدند (Javedankherad et al., 2013). از مطالعات صورت گرفته بر روی کیفیت آب تالاب انزلی، می‌توان به مطالعات آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۲، Mirzajani و همکاران (۲۰۱۰) و Ahmadzadeh و همکاران (۲۰۱۳) اشاره نمود (Fallah & Fakheran, 2018). با این وجود مطالعات محدودی در زمینه بررسی حضور آفت‌کش‌ها در رسوبات، آبیان و آب در تالاب‌های ایران به‌ویژه تالاب انزلی وجود دارد (Kadkhodaei Elyaderani et al., 2015). از این رو لازم است به منظور حفاظت از تالاب‌ها به ویژه تالاب انزلی، میزان سموم کشاورزی ورودی و توزیع آن در تالاب به‌طور مستمر مورد مطالعات قرار گیرد. بنابراین در این مطالعه آخرین وضعیت کیفی تالاب انزلی با سنجش سموم کشاورزی شاخص و خصوصیات فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های آب، رسوب و ماهی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر، ۱۰ ایستگاه بر اساس ورودی‌های مهم آب در بخش‌های سه‌گانه شرق، مرکزی و غربی تالاب انزلی برای نمونه‌برداری نمونه‌های آب، رسوب و ماهی انتخاب شدند (EPA, 2003). با توجه به این‌که استفاده از سموم در مزارع کشاورزی در منطقه از اواخر بهار شروع می‌شود، نمونه‌برداری در این پژوهش نزدیک به زمان پیک مصرف سموم در مزارع در سال ۱۴۰۰ انجام شد. برای این منظور تالاب به سه بخش شرقی، میانی و غربی تقسیم و موقعیت ایستگاه‌ها به‌وسیله دستگاه GPS ثبت گردید (شکل ۱). نمونه‌برداری براساس روش‌های ارائه شده در کتاب راهنمای مشاهدات اقیانوس‌شناسی و روش‌های تجزیه و تحلیل آلاینده‌ها (MOOPAM, 2010) انجام شد.



شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های منتخب نمونه‌برداری در تالاب انزلی - بهار ۱۴۰۰

داده‌های محیطی، PCA² برای تعیین مؤلفه‌های اصلی متغیرهای محیطی آب و رسوب و بررسی شباهت و ارتباط بین آن‌ها، MDS³ برای ارزیابی ساختارهای متفاوت استفاده شد. همچنین برای تعیین و مقایسه وضعیت آلاینده‌های سموم ارگانوکلره و ارگانوفسفره در منطقه از استانداردهای جهانی SQiRTs NOAA (Buchman, 1999; Screening Quick Reference Tables) شامل TEL⁴, PEL⁵, LEL⁶, SEL⁷ استفاده شد.

نتایج

میانگین مقدار BOD، COD، DO، عمق، شوری، هدایت الکتریکی، دما و pH در نمونه‌های آب مربوط به بخش‌های سه‌گانه تالاب انزلی در جدول ۱ نشان داده شد. میانگین کل BOD، COD، DO و عمق در تالاب انزلی به ترتیب ۲۶، ۴۶/۶، ۴/۰۹ (میلی گرم بر لیتر) و ۱/۲ متر بود. بیشینه عمق در تالاب انزلی ۳/۵ متر و در بخش شرقی تالاب و کمینه مقدار آن ۰/۳ و در بخش میانی تالاب می‌باشد. بیشینه مقدار BOD در تالاب انزلی (۳۸ mg/L)

درصد ذرات با قطر ماسه، سیلت درشت، سیلت ریز و رس با استفاده از روابط زیر به دست آمد که A، وزن نمونه بر حسب گرم است.

$$\% \text{ sand} = (100 - (Fa/A)) \times 100$$

$$\% \text{ coarse silt} = ((Fa - Fb)/A) \times 100$$

$$\% \text{ fine silt} = ((Fb - Fc)/A) \times 100$$

$$\% \text{ clay} = (Fc/A) \times 100$$

برای اندازه‌گیری سموم ارگانوکلره (آلدرین، دلدترین و اندرین) و ارگانوفسفره (دیازینون، مالاتیون و آزینفوس متیل) در کلیه نمونه‌ها از روش استخراج مایع-مایع استفاده شد. اندازه‌گیری این سموم بر اساس روش MOOPAM (MOOPAM, 2010) و توسط دستگاه GC-MS (GC7890B, agilent) انجام شد. دستگاه قبل از استفاده کالیبره شده استانداردهای مورد نظر به دستگاه تزریق شده و منحنی کالیبراسیون رسم شد.

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۳ انجام و با نرم افزار اکسل برای رسم نمودارها استفاده شد. در ابتدا داده‌ها نرمال شده و از آزمون‌های آماری یک متغیره از جمله آنالیز همبستگی و تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه (در موارد غیرنرمال از آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس) و آنالیز چند متغیره (Multivariate analysis) مانند روش کلاستر بندی Clustering برای گروه‌بندی مکان‌های مختلف بر اساس

² Principal component analysis

³ Multidimensional scaling

⁴ Threshold Effects Level

⁵ Probable Effects Level

⁶ Lowest Effect Level

⁷ Severe Effect Level

عمق (0/7 m) در بخش غربی تالاب می‌باشد. بیشینه مقدار کدورت در تالاب انزلی (269 NTU) در عمق (0/3 m) و در بخش میانی تالاب و کمینه مقدار کدورت (5/6 NTU) و در عمق (0/7 m) در بخش غربی تالاب ثبت گردید.

بر اساس آزمون ناپارامتریک کروسکال والیس پارامتر کدورت اختلاف معنی‌داری در بخش‌های مختلف تالاب انزلی نشان داد و این مقدار در بخش میانی تالاب بیشتر از دو بخش شرقی و غربی می‌باشد ($P < 0.05$). ولی بر اساس آزمون One-way Anova، پارامتر TDS اختلاف معنی‌داری در بخش‌های مختلف تالاب انزلی مشاهده نشد ($P < 0.05$). میانگین دمای آب و pH در تالاب انزلی 21 درجه سانتی‌گراد و 7/88 ثبت گردید که تفاوت معنی‌داری در بخش‌های مختلف تالاب انزلی نشان نداد ($P > 0.05$).

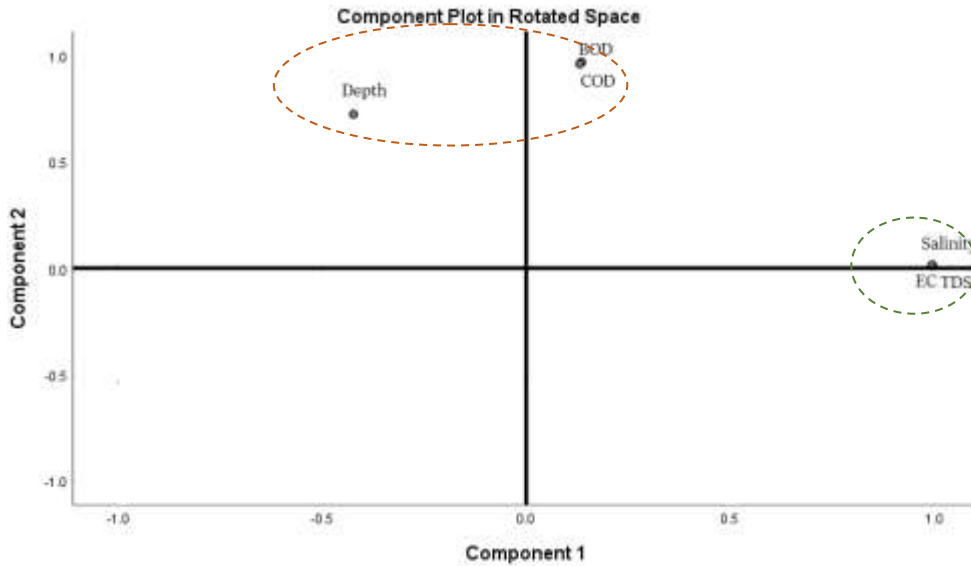
بر اساس آزمون همبستگی پیرسون، میزان DO با عمق ارتباط معنی‌دار منفی در تالاب انزلی وجود دارد. BOD با COD و بین EC، TDS، و شوری ارتباط معنی‌دار مثبت وجود دارد (جدول 2).

با آزمون PCA ($KMO=0.66$, $Eigenvalues \geq 1$)، پارامترهای فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های آب تالاب انزلی به صورت دو مؤلفه اصلی (PC) گروه‌بندی شدند که مؤلفه اصلی اول با 53/10 درصد، مؤلفه اصلی دوم با 39/62 درصد، جمعاً 92/73 درصد از کل واریانس‌ها را پوشش می‌دهد (جدول 3). مطابق با نمودار PCA (شکل 2)، مؤلفه‌های EC، شوری و TDS در مؤلفه اول (53/10 درصد) و دارای ارتباط مثبت و قوی می‌باشند. مؤلفه‌های COD و BOD و عمق در مؤلفه دوم (39/62 درصد) قرار دارند. مؤلفه COD و BOD دارای ارتباط مثبت و قوی و در ارتباط با مؤلفه عمق دارای ارتباط منفی و قوی می‌باشند.

و در عمق (3/5 m) و کمینه مقدار آن (18 mg/L) و در عمق (0/7 m) می‌باشد. بیشینه مقدار COD در تالاب انزلی (70/4 mg/L) و در عمق (3/5) و کمینه مقدار آن (18 mg/L) و در عمق (2 m) می‌باشد. بیشینه مقدار DO در تالاب انزلی (6/6 mg/L) و در عمق (0/6 m) و کمینه مقدار آن (0/2 mg/L) و در عمق (3/5 m) می‌باشد.

میانگین شوری در بخش‌های مختلف تالاب انزلی نشان‌دهنده شیرین بودن آب تالاب می‌باشد. بیشینه مقدار شوری در تالاب انزلی (3/84 ppt) در عمق (0/6 m) و در بخش میانی تالاب و کمینه مقدار شوری (0/21 ppt) و در عمق (1 m) در بخش غربی تالاب می‌باشد. بیشینه مقدار EC در تالاب انزلی (6/8 mS/cm) در عمق (0/6 m) و در بخش میانی تالاب و کمینه مقدار EC (0/4 mS/cm) و در عمق (1 m) در بخش غربی تالاب می‌باشد. با توجه به نرمال بودن داده‌های پارامتر شوری و EC از آزمون one-way Anova برای مقایسه پارامترهای مورد نظر در بخش‌های مختلف تالاب انزلی استفاده شد. بر اساس این آزمون متغیرهای شوری و EC در تالاب انزلی مقدار EC ($F=6.79$, $P < 0.05$) و شوری ($F=10.55$, $P < 0.05$) کاهش قابل توجهی در بخش غربی تالاب نشان دادند و مقدار EC و شوری در بخش میانی نسبت به دو بخش دیگر بیشتر بود. در مطالعات قبلی در زمینه تغذیه‌گرایی تالاب انزلی، دامنه تعیینات هدایت الکتریکی را در نمونه‌های آب تالاب انزلی 254 تا 14250 میکروموس بر سانتی‌متر گزارش گردید که تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) بین ایستگاه‌های مختلف وجود داشته است (Abedini et al., 2018).

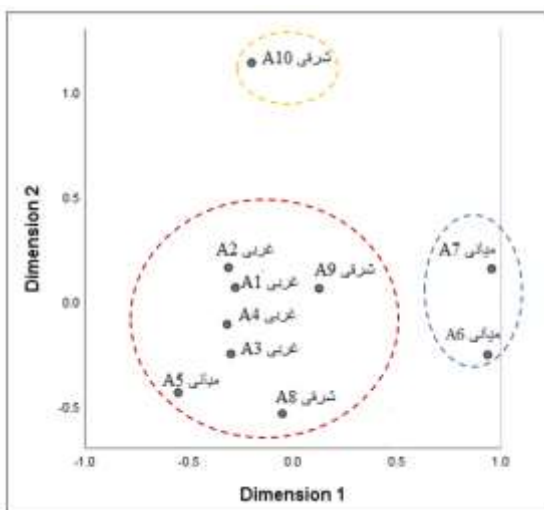
در این مطالعه میانگین TDS در تالاب انزلی (1/11 g/L) و میانگین کدورت (57/3 NTU) بوده است. بیشینه مقدار TDS در تالاب انزلی (3/41 g/L) در عمق (0/6 m) و در بخش میانی تالاب و کمینه مقدار TDS (0/2 g/L) و در



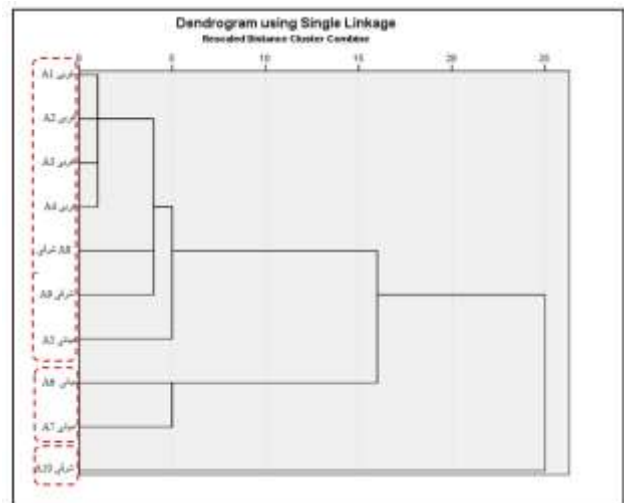
شکل ۱-۲ مولفه های اصلی پارامترهای فیزیکی شیمیایی آب در تالاب انزلی - بهار ۱۴۰۰

(بخش میانی) A₁, A₂, A₃, A₄ (بخش غربی) در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۳- الف). جهت تأیید شباهت بین ایستگاه‌ها، فاصله فضایی ایجاد شده بین ایستگاه‌های تالاب انزلی بر اساس میزان پارامترهای عمق، شوری، TDS، EC، BOD و COD با آزمون n-MDS (Distances, 2-d: stress: 0.1) تعیین شده و ایستگاه‌ها به ۳ گروه عمده (مشابه نتایج حاصله از آزمون خوشه‌ای) تفکیک می‌شوند که در فاصله فضایی مشخصی از هم قرار می‌گیرند (شکل ۳- ب).

با آزمون خوشه‌ای (Similarity measure: Normalised Euclidean distance, Square root, Group average) میزان شباهت بین ایستگاه‌های تالاب انزلی بر اساس میزان فواصل ناشی از میزان پارامترهای اکسیژن محلول، عمق، شوری، TDS، کدورت، pH، EC، BOD و COD مشخص شده در نتیجه ایستگاه‌ها براساس بخش‌های شرقی، میانی و غربی به ۳ گروه عمده تفکیک می‌شوند. ایستگاه‌های A₁₀ (بخش شرقی)، A₆ و A₇ (بخش میانی) هر کدام یک گروه و ایستگاه‌های A₈ و A₉ (بخش شرقی)، A₅



ب



الف

شکل ۲-۳ مولفه های اصلی پارامترهای فیزیکی شیمیایی آب در تالاب انزلی - بهار ۱۴۰۰

جدول ۱- میانگین مقدار (±SD), DO, COD, BOD, عمق، شوری، هدایت الکتریکی، دما و pH در آب بخش‌های سه گانه تالاب

انزلی- بهار ۱۴۰۰

نام تالاب	بخش	شوری (ppt)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	DO (mg/L)	عمق (m)
انزلی	شرقی	۰/۳ ± ۱/۱۲	۱۷/۸ ± ۵۱/۲۰	۱۰ ± ۲۸/۰	۲ ± ۱/۷	۱/۵ ± ۱/۷
	میانی	۲ ± ۲/۶۲	۱۱/۲ ± ۴۲/۶۷	۵ ± ۲۴/۶۷	۱ ± ۵/۷	۰/۹ ± ۱
	غربی	۰ ± ۰/۲۶	۴/۸ ± ۴۵/۶۰	۲/۶ ± ۲۵/۵۰	۰/۲ ± ۴/۷	۰/۱ ± ۰/۹
انزلی		EC (mS/cm)	pH	دما (°C)	کدورت (NTU)	TDS (g/L)
انزلی	شرقی	۰/۵ ± ۲/۱۱	۰/۲ ± ۷/۸۵	۰/۶ ± ۲۱/۸۷	۲۵ ± ۴۲/۹۷	۰/۳ ± ۱/۰۶
	میانی	۳/۵ ± ۴/۶۸	۰/۲ ± ۷/۷۸	۰/۳ ± ۲۱/۵۳	۱۲۱/۲ ± ۱۳۲/۰	۱/۷ ± ۱/۳۲
	غربی	۰/۱ ± ۰/۴۹	۰/۴ ± ۷/۹۹	۰/۶ ± ۲۰/۹۳	۷/۲ ± ۱۱/۹۶	۰ ± ۰/۲۴

شرقی می‌باشد. ولی مقدار رس در بخش میانی تالاب به طور قابل توجهی کمتر از بخش‌های غربی و شرقی می‌باشد و مقدار TOM در بخش غربی تالاب به طور قابل توجهی بیشتر از بخش‌های میانی و شرقی می‌باشد.

بر اساس آزمون آنالیز یک‌طرفه، مقادیر pH و EC در بخش‌های مختلف تالاب انزلی اختلاف معنی‌داری نداشتند ($P > 0.05$), در صورتی که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر کربنات در بخش‌های مختلف تالاب وجود داشته است ($P < 0.05$). مقدار کربنات در بخش میانی تالاب مشابه وضعیت CEC به طور قابل توجهی کمتر از سایر بخش‌ها بوده است. بر اساس آنالیز واریانس یک‌طرفه، اختلاف معنی‌داری بین CEC در بخش‌های مختلف تالاب انزلی وجود داشته ($P < 0.05$) و مقدار آن ($36/56 \text{ Cmol/kg}$) در بخش میانی تالاب به طور قابل توجهی کمتر از بخش‌های غربی و شرقی بوده است.

نتایج دانه‌بندی رسوبات، میانگین میزان شن، سیلت و رس در کل تالاب انزلی در جدول شماره ۲ و شکل ۴ نشان داده شد. بیشینه مقدار شن در تالاب انزلی (۶۹/۶۷ درصد) در بخش میانی تالاب و کمینه مقدار آن (۳۰/۲۵ درصد) در بخش غربی تالاب وجود داشت. در صورتی که بیشینه مقدار سیلت (۳۷/۵۰ درصد) و رس (۳۲/۲۵ درصد) در بخش غربی تالاب و کمینه مقدار سیلت (۱۸ درصد) و کمینه مقدار رس (۱۲/۳۳ درصد) در بخش میانی تالاب به ثبت رسید. همچنین همانطور که مورد انتظار بود بیشینه مقدار کل مواد آلی (۱۲/۴۱ درصد) نیز در بخش غربی تالاب و کمینه مقدار آن (۴/۹۳ درصد) در بخش میانی تالاب وجود داشت.

بر اساس آزمون واریانس یک‌طرفه اختلاف معنی‌داری بین مقادیر شن، مقادیر رس و مقادیر کل مواد آلی در بخش‌های مختلف تالاب انزلی وجود داشت ($P < 0.05$). مقدار شن در بخش میانی تالاب به طور قابل توجهی بیشتر از بخش‌های غربی و

جدول ۲- مقادیر میانگین (±SD)، پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوب بر اساس بخش‌های مختلف تالاب انزلی-بهار ۱۴۰۰

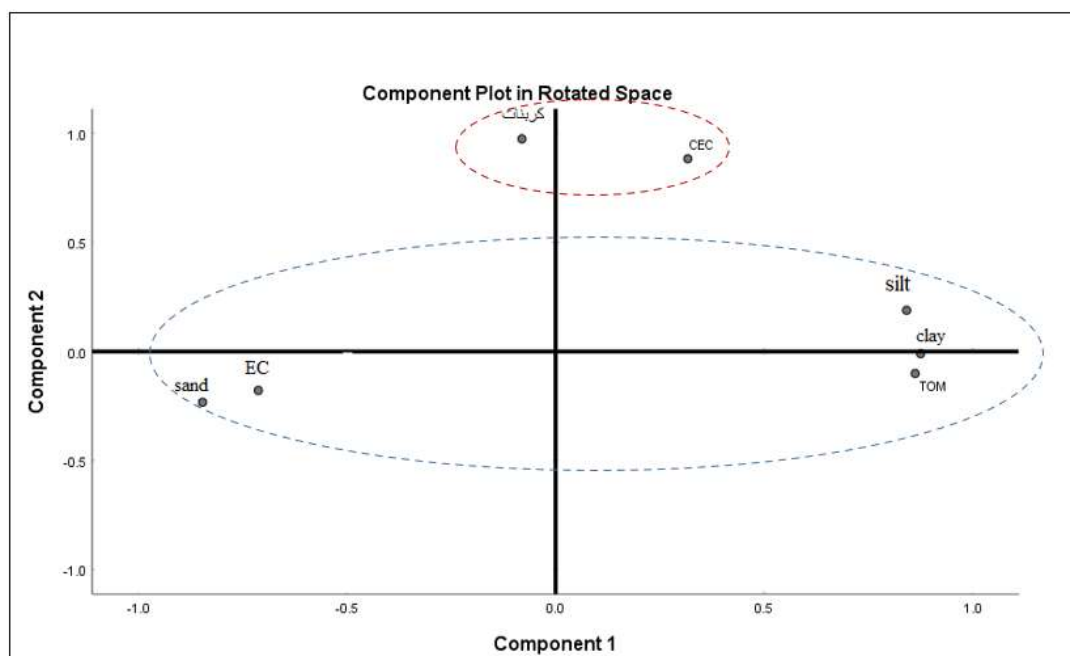
تالاب	بخش	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	TOM (%)	کربنات (meq/l)	EC (mS/cm)	CEC (Cmol/kg)	pH
انزلی	شرقی	۱۳/۲ ± ۱۵/۰۰	۱۹/۷ ± ۲۸/۰۰	۳۲/۷ ± ۵۷/۰۰	۱/۷ ± ۴/۹۳	۰/۶ ± ۱/۷۶	۰/۱ ± ۱/۱۵	۰/۱ ± ۱۰/۷۳	۰/۲ ± ۸/۰۶
	میانی	۱۰/۵ ± ۱۲/۳۳	۱۷/۱ ± ۱۸/۰۰	۲۷/۵ ± ۶۹/۶۷	۴/۳ ± ۵/۲۰	۰/۰۰	۰/۷ ± ۱/۵۰	۰/۱ ± ۳۶/۵۶	۰/۳ ± ۷/۹۱
	غربی	۱۰/۵ ± ۳۲/۲۵	۱۱/۸ ± ۳۷/۵۰	۱۱/۶ ± ۳۰/۲۵	۳/۲ ± ۱۲/۴۱	۰/۳ ± ۰/۳۸	۰/۱ ± ۰/۷۰	۰/۱ ± ۱۰/۱۶۶	۰/۱ ± ۷/۹۹

درصد و مؤلفه اصلی دوم با ۲۳/۹ درصد، جمعاً ۷۷/۲۱ درصد از کل واریانس‌ها را پوشش می‌دهد. به طور کلی مطابق با نمودار PCA (شکل ۴)، مؤلفه اول (۵۳/۳۱ درصد) شامل پارامترهای رس، شن، سیلت، کل مواد آلی

با آزمون PCA ($KMO=0.51, Eigenvalues \geq 1$)، متغیرهای محیطی رسوب در تالاب انزلی بر اساس بخش‌های مختلف تالاب به صورت دو مؤلفه اصلی (PC) گروه بندی شدند که مؤلفه اصلی اول با ۵۳/۳۱

محور اول PC1 می‌باشند. کربنات و CEC نیز دارای ارتباط قوی و مثبت با محور دوم دارند.

و EC و مؤلفه دوم (۲۳/۹ درصد) شامل کربنات و CEC می‌باشد. میزان رس، سیلت و کل مواد آلی دارای ارتباط مثبت و قوی و شن و EC دارای ارتباط منفی و قوی با



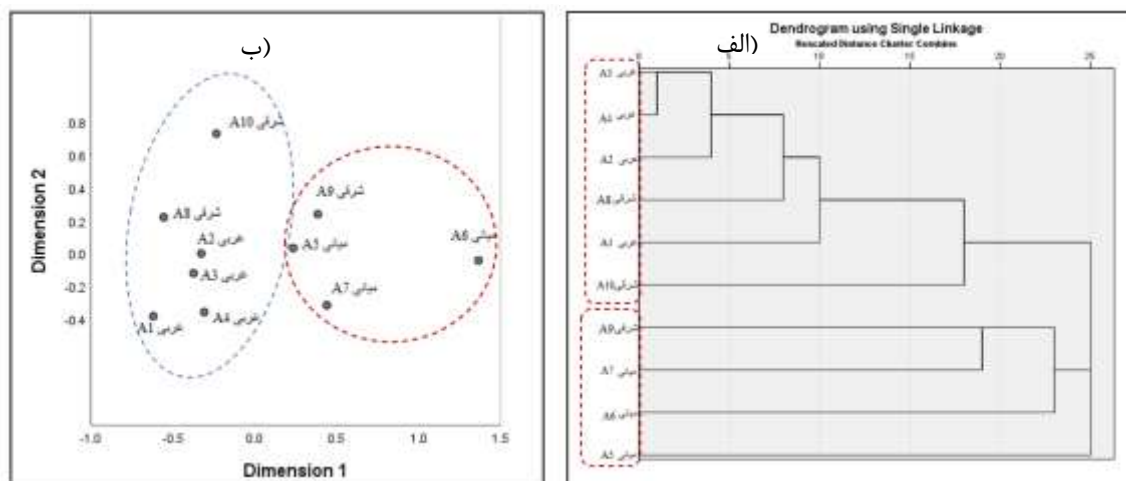
شکل ۴- مؤلفه‌های اصلی متغیرهای محیطی رسوبات تالاب انزلی-بهار ۱۴۰۰

که در فاصله فضایی مشخصی از هم قرار می‌گیرند (شکل ۵-ب).

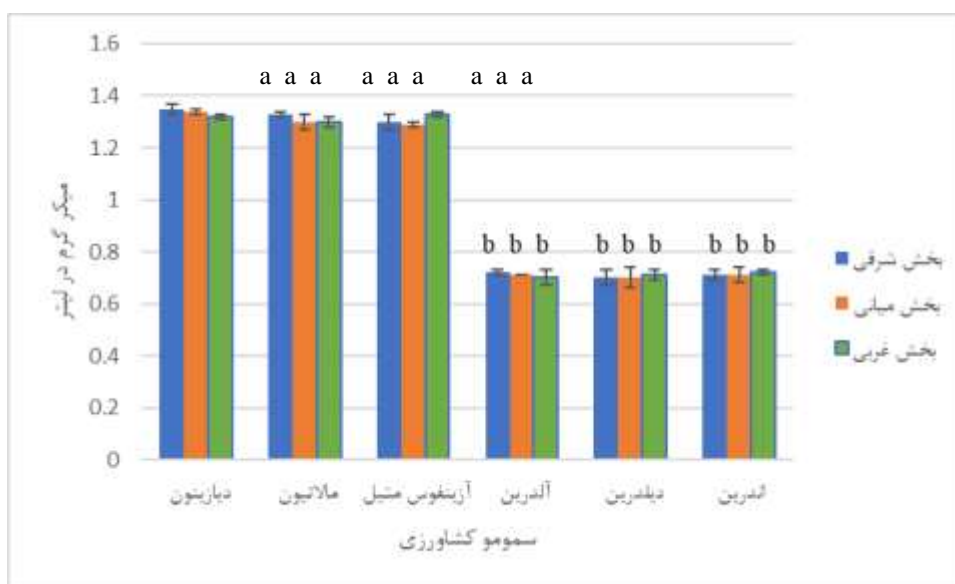
میانگین غلظت سموم ارگانوکلره (آلدین، دیلدرین و اندرین) و سموم ارگانوفسفره (دیازینون، مالاتیون و آزینفوس متیل) در نمونه‌های آب بخش‌های سه گانه تالاب انزلی در شکل ۶ نشان داده شده است. بر اساس آنالیز واریانس یکطرفه اختلاف معنی‌دار بین میانگین غلظت سموم ارگانوکلره و ارگانوفسفره در کل تالاب وجود داشته ($P < 0.05$). ولی بین مقادیر آلدین، دیلدرین و اندرین و بین مقادیر دیازینون، مالاتیون و آزینفوس متیل در بخش‌های مختلف تالاب اختلاف معنی‌داری وجود نداشته است ($P > 0.05$). میانگین غلظت سموم ارگانوکلره (آلدین، دیلدرین و اندرین) و ارگانوفسفره (دیازینون، مالاتیون و آزینفوس متیل) در کل تالاب به ترتیب ۱/۳ و ۰/۷ میکروگرم در لیتر اندازه‌گیری شد. ولی در نمونه‌های رسوب و عضله ماهی کپور معمولی قابل تشخیص نبود.

همان‌طورکه در شکل ۵ مشاهده می‌شود، با آزمون خوشه‌ای (Similarity measure: Normalised) میزان شباهت بین ایستگاه‌های تالاب انزلی بر اساس میزان فواصل ناشی از میزان پارامترهای رس، شن، سیلت، میزان مواد آلی، pH، EC، کربنات و CEC مشخص گردید. در نتیجه ایستگاه‌ها براساس بخش‌های شرقی، میانی و غربی به ۲ گروه عمده تفکیک می‌شوند. ایستگاه‌های A₅، A₆، A₇ (بخش میانی) و A₉ (بخش شرقی) در یک گروه یک گروه و ایستگاه‌های A₁، A₂، A₃، A₄ (بخش غربی) و A₈ و A₁₀ (بخش شرقی) در یک گروه قرار گرفتند.

جهت تأیید شباهت بین ایستگاه‌ها، فاصله فضایی ایجاد شده بین ایستگاه‌های تالاب انزلی بر اساس میزان پارامترهای رس، شن، سیلت، میزان مواد آلی، pH، EC، کربنات و CEC با آزمون n-MDS (Distances, 2-d:) (stress: 0.1) تعیین شده و ایستگاه‌ها به ۲ گروه عمده (مشابه نتایج حاصله از آزمون خوشه‌ای) تفکیک می‌شوند



شکل ۵- دسته‌بندی ایستگاه‌های تالاب انزلی بر اساس پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوب با الف) آزمون خوشه‌ای و ب) n-MDS - بهار ۱۴۰۰



شکل ۶- میزان سموم ارگانوکلره و ارگانوفسفره (میکروگرم در لیتر) در آب تالاب انزلی - بهار ۱۴۰۰

پایش کیفیت محیط آبی است. به طور کلی، برنامه مدیریت آب متناسب باید مبنی بر ارزیابی غلظت و توزیع آلاینده‌ها در هر دو بخش آب و رسوب محیط آبی باشد (Hasanvand & Forghani Tehrani, 2020).

غلظت اکسیژن محلول در آب یک شاخص متداول برای سلامت اکوسیستم آبی است. محیط‌های آبی مانند تالاب و رودخانه دارای ظرفیت مشخصی برای خودپالایی هستند. تا زمانی که تخلیه مواد اکسیژن‌خواه در محدوده ظرفیت تصفیه خودپالایی باشد، میزان اکسیژن محلول بالا می‌ماند و گونه‌های مختلف گیاهان و ماهی‌های حساس به کمبود اکسیژن نیز در محیط یافت می‌شوند. چنانچه

بحث

تالاب انزلی به عنوان زیستگاهی برای گونه‌های متفاوتی از گیاهان و حیات‌وحش و همچنین به عنوان پناهگاهی موقت برای پرندگان مهاجر، نقش حیاتی ایفا می‌کنند. آنالیز کیفیت آب (DO, BOD, COD) با هدف حفاظت آب‌های کشور در برابر هر نوع آلودگی و ارائه مبنای لازم برای اصلاح کیفیت آن‌ها امری حیاتی و ضروری می‌باشد. همچنین با تغییر شرایط محیط (pH، هدایت الکتریکی، مواد جامد محلول و ...) آلاینده‌های موجود در فازهای مختلف رسوب دوباره وارد ستون آبی می‌شوند. بنابراین آنالیز نمونه‌های رسوب، روش مناسبی برای بررسی و

مقدار آلاینده‌ها افزایش یابد، ممکن است از ظرفیت خودپالایی تجاوز نموده و موجب تغییرات زیان‌آوری در زندگی گیاهان و حیوانات شود. در مطالعات انجام شده، میانگین غلظت اکسیژن محلول در آب دریا ۵ میلی‌گرم در لیتر گزارش شد. مقادیر کمتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر ممکن است سبب تغییر رفتار، کاهش رشد و تولید مثل و مرگ و میر در گونه‌های حساس و تازه بالغین گردد (Al-Yamani *et al.*, 2004). در مطالعه حاضر میانگین اکسیژن محلول ۴/۷ میلی‌گرم در لیتر در تالاب انزلی می‌باشد که دامنه تغییرات اکسیژن محلول در ایستگاه‌های مختلف با عمق (۳/۵ - ۰/۳ متر)، (۶/۶ - ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر) بود. بخش میانی تالاب دارای مقدار اکسیژن بیشتر و در بخش شرقی کمتر بوده است (جدول ۱).

مواد آلی به عنوان ماده مغذی موجودات زنده در تالاب انزلی ضروری است. با این حال، تخلیه بیش از حد مواد آلی از کارخانه‌ها، خانوارها و زمین‌های کشاورزی باعث آلودگی آلی می‌شود که می‌تواند منجر به پدیده یوتروفیکاسیون گردد. آلودگی آلی معمولاً با در COD آب‌های راکد و BOD در رودخانه‌ها نشان داده می‌شود (JICA, 2012). بر این اساس، نتایج این دو پارامتر در تالاب انزلی مورد بحث قرار گرفته است.

BOD یک روش متداول برای اندازه‌گیری مقدار مواد آلی در آب است که متقاضی اکسیژن بوده و این آزمون بر اساس این فرض منطقی بنا نهاده شده که تمام مواد آلی زیست تجزیه‌پذیر در نمونه آب، توسط ریزجانداران و با مصرف O₂ ملکولی می‌باشد. استفاده از مواد شیمیایی به جای باکتری‌ها برای اکسیداسیون مواد آلی به روش COD معروف است. از آن جایی که در تست BOD معمولاً کلیه مواد آلی اکسید نمی‌شوند، ولی با استفاده از مواد شیمیایی همه مواد آلی و معدنی قابل اکسید شدن، اکسید می‌شوند، لذا میزان COD معمولاً از BOD بیشتر است. در این مطالعه مقدار COD از BOD بیشتر بود. میانگین کل BOD در سراسر تالاب انزلی و دامنه تغییرات آن در ایستگاه‌های مختلف تالاب به ترتیب ۲۶ و ۱۸-۳۶ میلی‌گرم در لیتر بوده است. مقدار آن در بخش شرقی تالاب بیشتر است. علت بالا بودن مقدار BOD و COD در بخش شرقی ممکن است به خاطر آلودگی رودخانه پیربازار و افزایش بار آلودگی ناشی از ورود فاضلاب باشد

(Allahyari *et al.*, 2024). بر اساس گزارش منتشر شده توسط جایکا در سال ۲۰۱۲، COD در تالاب انزلی و BOD در رودخانه‌ها حاکی از تفاوت بیشتر آلودگی آلی بین تالاب و رودخانه است. مقادیر BOD بسیار بالاتر از استاندارد ژاپن و اغلب مقادیر COD کمتر از استاندارد اتحادیه اروپا بود. بنابراین استنباط می‌شود که تالاب در برابر بار آلودگی از رودخانه‌ها به تالاب، عملکرد خودپالایی داشته، در نتیجه آلودگی آلی تالاب کمتر از رودخانه‌ها بوده است. اما عملکرد خودپالایی در تالاب باید محدود باشد و در صورت از بین رفتن این عملکرد، تالاب به طور ناگهانی و جدی آلوده می‌شود. در حالی که این عملکرد فعال می‌باشد، بار آلودگی در رودخانه‌ها باید کاهش یابد. گزارش مذکور نشان داد BOD مخصوصاً در رودخانه پیربازار بالا بوده است. مقادیر BOD در سال ۲۰۱۲ در مقایسه با مقادیر آن در سال ۲۰۱۱ نسبتاً پایین بود، اما BOD در پیربازار همچنان بالا باقی ماند (JICA, 2012). بر اساس نتایج تحقیق Fallah و Fakheran (۲۰۱۸)، کیفیت آب اکثر ایستگاه‌های تالاب انزلی با استفاده از شاخص‌های NSFQIm، NSFQIa و OWQI، در طبقه متوسط تا بسیار بد قرار گرفت و آلوده‌ترین ایستگاه به ترتیب نوخاله، تالاب شرق و پیربازار در فصل تابستان معرفی شد. در مطالعه‌ای که در تالاب انزلی در سال ۱۳۸۰ انجام شده بود نشان داد که به علت ورود مواد با درجه حرارت بالا از فاضلاب کارخانجات در تالاب انزلی سبب کاهش حلالیت اکسیژن و افزایش رشد باکتری‌ها و در نتیجه کاهش اکسیژن می‌گردد. همچنین مواد پخش کننده در سطح آب سبب عدم تبادل اکسیژن گردیده و BOD افزایش می‌یابد. آلاینده‌های آلی موجود در فاضلاب چون توسط باکتری‌های موجود شکسته می‌شوند و همچنین فعل و انفعالات تبدیل کننده آلاینده‌های معدنی مانند نمک‌های آهن به گونه‌های شیمیایی، سبب مصرف اکسیژن می‌گردد. در نتیجه مجموع این عوامل منجر به افزایش BOD-COD می‌گردد (Besharati, 2001, (Rakhshani *et al.*, 2020).

در مطالعه حاضر میانگین COD در تالاب انزلی، ۴۶/۴ میلی‌گرم در لیتر در تالاب انزلی اندازه‌گیری شد و مقدار آن (۵۱/۲۰ میلی‌گرم در لیتر) در بخش شرقی تالاب بیشتر از سایر بخش‌ها بود که برخلاف نتایج Taher Shamsi و همکاران (۲۰۱۰) می‌باشد. نتایج آن‌ها نشان

مطابق با جدول ۱، میانگین TDS در تالاب انزلی ۱/۱۱ گرم در لیتر و بیشترین مقدار میانگین TDS به ترتیب $1/32 (\pm 1/7)$ و $1/06 (\pm 0/3)$ گرم در لیتر در بخش میانی و شرقی تالاب ثبت گردید. این مقادیر از میزان استاندارد ملی ایران در آب شرب (استاندارد شماره ۱۱۵۳ که مقادیر برابر با ۱۵۱۱ میلی‌گرم بر لیتر را مجاز می‌داند)، کمتر می‌باشد (Ebrahim *et al.*, 2019). بر اساس گزارشات موجود، به طور کلی رودخانه‌های بخش شرقی حوضه نسبت به بخش غربی آن دارای دبی بیشتری بوده و تأمین‌کننده درصد زیادی از آب تالاب است. بیشترین متوسط سالانه کل مواد جامد محلول مربوط به ایستگاه پیربازار در شرق تالاب (۵۱۴ میلی‌گرم بر لیتر) و کمترین مقدار آن نیز در ایستگاه رودبارسرا در غرب تالاب (۱۸۵ میلی‌گرم بر لیتر) گزارش شده است (Ebrahim *et al.*, 2019). افزایش مقادیر کل مواد جامد محلول و معلق نیز ناشی از مرگ جوامع گیاهی اعم از فیتوپلانکتون‌ها و گیاهان و جوامع جانوری و گسترش آزولا می‌باشد (Khosravi *et al.*, 2005, Abedini *et al.*, 2018). در برخی مطالعه‌ای در تالاب انزلی علت افزایش TDS در برخی نقاط، فعالیت‌های کشاورزی مانند کود دادن و فعالیت‌های صنعتی گزارش شده است (Charkhabi *et al.*, 2006, Abedini *et al.*, 2018, Allahyari *et al.*, 2024).

ظرفیت تبادل کاتیونی یکی از ویژگی‌های شیمیایی خاک یا رسوب است و در برآورد پتانسیل خطر برخی آلاینده‌های آلی کاتیونی نقش مؤثری دارد. میانگین CEC در تالاب انزلی $83/74 \text{ Cmol/kg}$ اندازه‌گیری شد. مقدار CEC بسته به میزان مواد آلی، مقدار و نوع رس و شرایط خاک یا رسوب متغیر است. رس‌ها و مواد آلی رسوب به علت دارا بودن سطح ویژه زیاد و باردار بودن نقش مهمی در ظرفیت تبادل کاتیونی دارند و با افزایش مقدار رس و مواد آلی خاک مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی آن افزایش می‌یابد. مقدار CEC در تالاب انزلی در بخش شرقی و غربی تالاب بیشتر بود. همچنین در تالاب انزلی با افزایش میزان مواد آلی و رس در بخش غربی تالاب میزان CEC هم افزایش یافته است. در این مطالعه میزان CEC و کربنات بر اساس PCA دارای ارتباط مثبت و قوی بودند. Forghani Tehrani و Hasanvand (۲۰۲۰) نیز در مطالعه ژئوشیمیایی آب و رسوب رودخانه بادآور استان لرستان به نتیجه مشابه مطالعه ما رسیدند و نشان دادند رسوباتی که

داد مقدار COD در قسمت‌های مرکزی و همچنین در مصب تالاب انزلی به اوج خود (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) رسید. بر اساس معیار USEPA⁸، میزان آلودگی بیش از ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر دلیل بر آلودگی مواد آلی شدید در محیط آبی می‌باشد و در نتایج ما این آلودگی مشهود است (EPA, 2003). یکی از دلایل مقدار بالای COD در بخش شرقی تالاب انزلی رودخانه پیربازار است که فاضلاب رشت را به تالاب تخلیه می‌کند و از اصلی‌ترین منابع آلودگی تالاب شناخته شده که لزوم مطالعات مدیریتی در زمینه پساب‌های شهری و صنعتی آن لازم و ضروری می‌باشد (Taher Shamsi *et al.*, 2010). مطالعات JICA (2012) نیز نشان داد، بارهای آلودگی نیتروژن کل (T-N) و فسفر کل (T-P) عمدتاً از زیرحوضه A که شهر رشت را شامل می‌شود، تخلیه می‌شود که بیشتر از جمعیت انسانی منشاء می‌گیرد. این موضوع ممکن است یکی از دلایل عمده ایجاد غلظت نسبتاً بالای T-P و T-N در رودخانه‌های بخش شرقی تالاب باشد. بارهای آلودگی از زیرحوضه‌های B و C به سیاکشیم سرازیر می‌شود. بیشتر بارهای آلودگی در این زیرحوضه‌ها، توسط دام‌ها، مزارع، جنگل‌ها و مراتع ایجاد می‌شود که ممکن است باعث غلظت نسبتاً بالای T-P و T-N در اطراف سیاکشیم شده باشد. بنابراین می‌توان گفت منشاء آلودگی‌ها در بخش‌های مختلف تالاب می‌تواند متفاوت باشد.

میانگین شوری انزلی در این مطالعه $1/23 \text{ ppt}$ (۳/۸۱ - ۰/۲۱) اندازه‌گیری شد. بیشینه مقدار شوری $1/12 \text{ ppt}$ مربوط به بخش شرقی تالاب و کمینه مقدار آن $0/26 \text{ ppt}$ و مربوط به بخش غربی تالاب می‌باشد. بنابراین آب تالاب انزلی شیرین می‌باشد. Bustani و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند که تداخل آب شور و شیرین در تالاب انزلی کم حرکت و غیر پویاست و گسترش شوری تا فاصله کمی در کانال کشتیرانی تالاب انزلی قابل توجه است.

میانگین میزان pH آب در این مطالعه در تالاب انزلی، $7/88$ (۷/۴۲ - ۸/۲۷) ثبت گردید. عدم اختلاف معنی‌دار بین تغییرات در ایستگاه‌های سراسر تالاب نشان‌دهنده این است که pH یکنواختی حاکم است. در مجموع تالاب دارای آبی با درجه قلیایی است.

⁸ United states environmental protection agency

دخالت‌های انسانی در مدیریت منابع آب حوضه‌های رودخانه‌ای دریای خزر، بخصوص ولگا با بیشترین میزان آبدهی به خزر نیز، نقش مؤثری در روند و همچنین نوسانات تراز آب خزر ایفا کرده است (Modaberi & Fathi Ozanbelagh, 2019). نتایج تحقیق Shokoohi, (2017) همکاران (۲۰۱۷) بر روی تأثیر بهسازی بندر بر تراز سطح آب، جریان‌ها و چگونگی تغییرات آن‌ها در منطقه بندر و تالاب انزلی در قبل و بعد از بهسازی آن نشان داد که بر اثر اضافه شدن بازوهای جدید به موج شکن‌های منطقه (سال ۱۳۸۷-۱۳۹۱) مقداری آب در تمامی فصول درون تالاب وجود داشته و تراز سطح آب تالاب انزلی و همچنین سرعت جریان‌ها دارای تغییرات کمی بوده و به صورت تقریباً یکنواختی بوده است. همین عامل می‌تواند تأثیر به‌سزایی بر روی نرخ رسوب گذاری داشته باشد و تالاب دارای تبادل آبی کمتری با دریای خزر می‌باشد.

نتایج PCA در تالاب انزلی نشان داد که متغیرهای رسوب که با محور دوم ارتباط قوی دارند (۲۳/۹ درصد واریانس‌های محیط؛ CEC و کربنات) همانند پارامترهای آب (۳۹/۶۲ درصد واریانس‌ها) می‌توانند نقش زیادی در توضیح تغییرات سیستم داشته باشد. نتایج آزمون خوشه‌ای و n-MDS بر اساس شرایط فیزیکوشیمیایی محیطی، بیانگر تفاوت بین بخش‌های مختلف تالاب انزلی می‌باشد و در مجموع این موضوع می‌تواند بازگو کننده تأثیر شرایط هیدرودینامیک و توپوگرافی خاص منطقه باشد.

با توجه به این‌که استان مازندران و گیلان از قطب‌های مهم کشاورزی در کشور و در حوضه جنوبی دریای خزر محسوب می‌شوند، استفاده زیاد از کود و سم در مزارع و باغ‌ها از طرق مختلف مانند شستشوی خاک مزارع بر اثر بارش باران، نشت پساب و وزش باد وارد رودخانه‌های این استان‌ها شده و در نتیجه آلوده شدن محیط‌های آبی را در پی خواهد داشت. اما در این مطالعه از میزان خیلی کمی از سموم ارگانوکلره (آلدین، دلدین و اندرین) و ارگانوفسفره (دیازینون، مالاتیون و آزینافوس متیل) در آب (به ترتیب به طور میانگین ۱/۳ و ۰/۷ میکروگرم در لیتر) اندازه‌گیری شده ولی در رسوب و ماهی کپور یافت نشد. در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۳ مقدار کل سموم ارگانوفسفره را در آب تالاب انزلی اندازه گرفت که مقدار آن بین ۷۱/۷۵ تا ۳۱۵/۱۶ نانوگرم بر لیتر بود (Javedankherad

حاوی مقدار زیادی ماده آلی و کربنات کلسیم هستند، ظرفیت تبادل کاتیونی زیادی دارند. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، میانگین میزان درصد شن، سیلت و رس در کل تالاب انزلی به ترتیب ۵۰/۱، ۲۸/۸ و ۲۱/۱ درصد می‌باشد. بنابراین تالاب انزلی به‌طور کلی بافت رسوبی سیلت- ماسه‌ای دارد. بر اساس ویژگی رسوب در تالاب انزلی و وجود تفاوت معنی‌دار، تغییرات مکانی آشکاری در منطقه مشاهده گردید که به‌طور کلی بیشتر از رسوبات سیلت و شن تشکیل شده است. تقریباً بیشتر بخش میانی تالاب انزلی از ترکیبات درشت تر (غالباً شن) تشکیل شده است. این ایستگاه‌ها تقریباً از عمق کمتر برخوردار بوده طوری‌که جریان‌های آبی از تجمع ذرات ریزتر جلوگیری کرده و به سمت بخش غربی تالاب بافت رسوبی یک جابجایی را به سمت دانه‌های ریزتر و میزان شن کمتر را نشان داده است و مقدار سیلت و رس در بخش غربی تالاب بیشتر است (شکل ۴).

مواد آلی به عنوان یک ذخیره عظیم موادغذایی در رسوبات عامل تأمین غذا برای جانوران کفزی پهنه‌های گلی می‌باشند. در بسترهای گلی میزان مواد آلی بیشتر از بسترهای ماسه‌ای است که علت آن نیز دانه‌ریز بودن رسوبات و خاصیت حفظ موادآلی بیشتر و در نتیجه احتباس آلاینده‌ها است (Ghorbanzadeh *et al.*, 2016; Gholami & Nabavi, 2015; Ghorbanzadeh *et al.*, 2017). میانگین مواد آلی در تالاب انزلی ۸/۰۶ به ثبت رسید که میزان در بخش غربی تالاب بیشتر بقیه بخش‌ها بوده است. زیرا بر اساس دانه‌بندی رسوب، ذرات ریز رسی در این بخش بیشتر بوده و مواد آلی بیشتری جذب می‌کند. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، میانگین EC و کربنات در تالاب انزلی ۱/۰۷ mS/cm و ۰/۶۸ می‌باشد. مقدار EC در بخش میانی تالاب و مقدار کربنات در بخش شرقی بیشتر بوده است. بالا بودن کربنات در بخش شرقی تالاب می‌تواند ناشی از نفوذ آب لب شور دریای خزر به تالاب انزلی در فصول خاصی باشد. نفوذ آب لب شور از دریا به سمت تالاب در تابستان به دلیل وزش بادهای محلی و طوفانی شدن دریا و کاهش ورودی رودخانه‌ها بیشتر بوده است (Abedini *et al.*, 2018). منابع اصلی تأمین آب تالاب انزلی شامل نزولات جوی، جریان‌ها رودخانه‌های در حوضه آبریز تالاب و ارتباط هیدرولوژیک تالاب با دریای خزر می‌باشد. در طی دهه‌های اخیر

تخریب می‌شود. هیدرولیز مسیر اصلی تخریب مالاتیون در شرایط هوازای قلیایی است. دامنه نیمه عمر مالاتیون در pH= ۸، یک هفته در مقایسه با pH= ۶ می‌باشد که ۲۱ هفته طول می‌کشد. بنابراین در آب، نیمه عمر مالاتیون تقریباً یک هفته است و در شرایط آبی اسیدی پایدارتر است (Newhart, 2006). بنابراین یکی از دلایل عدم حضور سموم ارگانوکلره (آلدرین، دیلدرین و اندرین) و ارگانوفسفره (دیازینون، مالاتیون و آزینافوس متیل) در این مطالعه می‌تواند تحت تأثیر پارامترهای محیطی به ویژه pH باشد که قلیایی بوده و باعث حذف این سموم شده است.

(et al., 2013) و مقدار آن از استاندارد جهانی کمتر بود. طول عمر سموم در آب می‌تواند تحت تأثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی محیط باشد. برای مثال طول عمر سم دیازینون در آب با pH خنثی و با دمای ۲۰ درجه سانتیگراد معادل ۶ ماه است. اما تغییر pH باعث کوتاه شدن این زمان می‌شود، به طوری که در pH=5 نیمه عمر دیازینون برابر با ۳۱ روز و در pH= ۹ ۱۳۶ روز است. نیمه عمر بیولوژیک دیازینون در پستانداران تقریباً ۱۲ ساعت است و بعد از ۲ هفته فقط آثاری از این آفت‌کش در بدن یافت می‌شود (Dębski et al., 2007). تخریب مالاتیون در آب به pH وابسته است و به سرعت در آب با pH>7

جدول ۳- مقایسه سموم اندازه‌گیری شده در این مطالعه (میکروگرم در لیتر) با استاندارد جهانی NOAA (واحد اعداد ppb می‌باشد، Buchman, 1999) برای آب‌های شیرین و استاندارد EPA برای موجودات آبی (mg/L).

رسوب آب شیرین				آب‌های شیرین		سموم	مطالعه حاضر
LEL	SEL	TEL	PEL	موجود زنده	(اثر حاد)		
۲	۸۰	-	-	۱/۵	$7/4 \times 10^{-6}$	آلدرین	۰/۷
۲	۹۱۰	۲/۸۵	۶/۶۷	۰/۲۴	9×10^{-6}	دیلدین	۰/۷
۳	۱۳۰۰	۲/۶۷	۶۲/۴	۰/۰۸۶	5×10^{-7}	اندرین	۰/۷
-	-	-	-	۰/۱۷	9×10^{-6}	دیازینون	۱/۳
-	-	-	-	۰/۱	۰/۰۰۰۲۷	مالاتیون	۱/۳
-	-	-	-	-	-	آزینافوس متیل	۱/۳

با توجه به ماندگاری متفاوت باقیمانده‌های سموم کشاورزی که همچنان هر ساله در زمین‌های کشاورزی اطراف تالاب انزلی مصرف می‌گردد، پیشنهاد می‌گردد به منظور ارزیابی سلامت اکولوژیک باقیمانده‌های این آلاینده‌ها در تالاب انزلی و بررسی اثرات احتمالی آن بر زیست‌مندان آن، در قالب برنامه پایشی سالانه، نمونه‌برداری فصلی در دستور کار قرار گیرد.

در مطالعه حاضر سموم بررسی شده در عضله ماهی کپور یافت نشد ولی در مطالعاتی که قبلاً در تالاب انزلی انجام شده مقداری از این سموم در ماهی کپور یافت شده است. با این وجود با توجه به اینکه مقدار آن بسیار کمتر از استاندارد EPA می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های تالاب انزلی به این سموم آلوده نمی‌باشد.

جدول ۴- مقایسه تالاب‌های انزلی و میانکاله با سایر تالاب‌ها از نظر حضور سموم ارگانوکلره و ارگانوفسفوره

References	غلظت	محیط مورد نظر	نوع آفت کش	مناطق مورد مطالعه
Mohammadi <i>et al.</i> , 2020	(ng/g) ۲۸/۰	رسوب	دیازینون	تالاب انزلی- ایران
Javedankherad <i>et al.</i> , 2013	(ng/g) ۱۲/۶۸-۱/۸	رسوب	سموم ارگانوکلره	تالاب انزلی- ایران
Tham <i>et al.</i> , 2019	(ng/g) ۱۶/۷-۵/۵۸	رسوب	سموم ارگانوکلره	Cua Dai Estuary, Vietnam
Buah-Kwofie and Humphries, 2021	(ng/g) ۵۱۰-۷۴	رسوب	سموم ارگانوکلره	Lake St Lucia, Africa
Seifzadeh <i>et al.</i> , 2018	آلدین ۰/۸۶ ppb، دیازینون (۲۰/۱۸)، اندرین (۱/۸۵)	ماهی کپور	آلدین، دیازینون و اندرین	تالاب انزلی- ایران
Gholshani <i>et al.</i> , 2016	دیازینون (۰/۰۵ mg/g)، مالاتیون (۰/۰۵)، آزینفوس متیل (۰/۱)	ماهی کپور	دیازینون، مالاتیون و آزینفوس متیل	دریای خزر
Makenali <i>et al.</i> , 2020	یافت نشد.	آب	سموم ارگانوکلره و ارگانوفسفوره	تالاب میانکاله
Akan <i>et al.</i> , 2015	دیازینون (۰/۸۱ mg/L)، مالاتیون (۰/۵۱) در آب و دیازینون (۱۸/۸۲ μg/g)، مالاتیون (۱۷/۹۳) در رسوب	آب، رسوب	دیازینون، مالاتیون	River Benue in Vinikilang, Nigeria
Zhang., 2021	۸۹/۵۸ ng/L	آب	سموم ارگانوفسفوره	Beijing, China
Buah-Kwofie <i>et al.</i> , 2017	آلدین ۰/۲-۴۴ nd، دیلدین ۵/۷۸-۹۰/۶، اندرین ۴۵/۶-۲/۱۵۱ ng/g	رسوب	آلدین، دیلدین، اندرین	iSimangaliso Wetland Park
Ghorbanzadeh, <i>et al.</i> , 2023	سموم ارگانوکلره (آلدین، دیلدین، اندرین) و سموم ارگانوفسفوره (دیازینون، مالاتیون و آزینفوس متیل) در آب به ترتیب ۱/۳ و ۰/۷ میکروگرم در لیتر بوده ولی در ماهی ورسوب یافت نشد.	رسوب، آب و ماهی کپور	سموم ارگانوکلره و ارگانوفسفوره	تالاب میانکاله- ایران
مطالعه حاضر	سموم ارگانوکلره (آلدین، دیلدین، اندرین) و سموم ارگانوفسفوره (دیازینون، مالاتیون و آزینفوس متیل) در آب به ترتیب ۱/۳ و ۰/۷ میکروگرم در لیتر بوده ولی در ماهی ورسوب یافت نشد.	رسوب، آب و ماهی کپور	سموم ارگانوکلره و ارگانوفسفوره	تالاب انزلی- ایران

تشکر و قدردانی

نگارش حاضر مستخرج از طرح تحقیقاتی "تهیه دستورالعمل پایش سموم کشاورزی در حوضه‌های تالابی استان‌های ساحلی شمالی کشور (تالاب انزلی و میانکاله)" به شماره قرارداد ۱۷۵/ص/۹۹ می‌باشد که با حمایت مالی معاونت محیط زیست دریایی و تالاب‌ها سازمان حفاظت محیط زیست توسط پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار به اجرا در آمد. بدین‌وسیله مراتب تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر لاهیجان‌زاده، معاون محترم محیط زیست دریایی و تالاب‌ها و خانم دکتر آرزو اشرفی‌زاده، مدیرکل محترم دفتر حفاظت و احیای تالاب‌ها ابراز می‌گردد. همچنین از نظرات ارزشمند جناب آقای دکتر رضا گلشنی و همکاری مدیران محترم و همکاران زحمت‌کش اداره کل محیط زیست استان گیلان و ادارات محیط‌زیست بندر انزلی و جناب آقای بابایی از کارشناسان پژوهشکده اکولوژی آب‌های داخلی انزلی قدردانی می‌گردد.

منابع

10. **Buchman, M.F., 1999.** NOAA screening quick reference tables (SQuiRTs).
 11. **Bustani, F., Taher Shamsi, A., Alavi Moghadam, M.R. and Mousavi, S.A., 2006.** Hydrodynamic model of Anzali Wetland and investigation of salinity development in it, 1st Conference of nvironmental Engineering. Tehran.
 12. **Charkhabi, A.H. and Sakizadeh, M., 2006.** Assessment of spatial variation of water quality parameters in the most polluted branch of the Anzali Wetland, Northern Iran. Polish Journal of Environmental Studies, 15(3).
 13. **Dębski, B., Kania, B.F. and Kuryl, T., 2007.** Transformations of diazinon, an organophosphate compound in the environment and poisoning by this compound. Ekol Bratislava.; 26(1):68–82.
 14. **Ebadzadeh, H., Ahmadi, K., Mohammadnia Afrozi, S., Abbastaghani, R., Abbasi, M. and Yari, S., 2019.** Agricultural Statistics. Information and Communication Technology Center of the Ministry of Agricultural Jihad of Iran.
 15. **Ebrahimi, E., Asadi, H., Tajrishy, M., Farhangi, M.B. and Ashrafzadeh, A., 2020.** Assessment of Spatio-temporal variations in contamination, sediment and water quality index in Pasikhan River, Guilan Province, Journal of Health in the Field, 8(1), 32-50. DOI: <https://doi.org/10.22037/jhf.v8i1.27471>. (In Persian with English abstract).
 16. **Ebrahimi, E., Asadi, H., Tajrishy, M., Farhangi, M.B. and Tajdari, K., 2019.** Determination of chlorid and total dissolved solids in inlet rivers the Anzali lagoon,
 17. **EPA, 2003.** United States Environmental Protection Agency, Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual.
 18. **Fallah, M. and Fakheran, S., 2018.** Assessment of the Water Quality of the Anzali International Wetland using Qualitative Indices, Journal of Water and Sustainable Development, 4(2), 23-30. DOI: 10.22067/jwsd.v4i2.61307. (In Persian with English abstract).
 19. **Fathi Ozanbelagh, S., Nik Sokhan, M.H. and Karbasi, A.R., 2017.** Study of changes in water level in the Anzali Port and Wetland area under the influence of the new arrangement of Anzali Port breakwaters using the MIKE-21 model, The 4th Conference on Environmental Planning and Management, Tehran. <https://civilica.com/doc/589927>. (In Persian with English abstract).
 20. **Gholami, Z. and Nabavi, S.M.B., 2015.** Influence the amount of total organic matter
1. **Abedini, A., Mirzajani, A.R. and Fallahi, M., 2018.** Physicochemical conditions and trophic levels of the Anzali Wetland. Iranian Scientific Fisheries Journal. 26 (6), 113–123. DOI:1022092/JFSJ.2018.115765
 2. **Aghsaei, H., Dinan, N.M., Moridi, A., Asadolahi, Z., Delavar, M., Fohrer, N. and Wagner, P.D., 2020.** Effects of dynamic land use/land cover change on water resources and sediment yield in the Anzali wetland catchment, Gilan, Iran. Science of the Total Environment, 712, p.136449.
 3. **Akan, J.C., Battah, N., Waziri, M. and Mahmud, M.M., 2015.** Organochlorine, organophosphorus and pyrethroid pesticides residues in water and sediment samples from River Benue in Vinikilang, Yola, Adamawa state, Nigeria using gas Chromatography-Mass Spectrometry equipped with Electron Capture Detector. American Journal of Environmental Protection, 3(5), 164-173.
 4. **Allahyari, M.S., Marzban, S., Gonzalez-Ollauri, A., Nazari, E., Ben Hassen, T. and Surujlal, J., 2024.** Unlocking the power of public awareness: paving the way for sustainable wetland management in Anzali, Iran. Front. Environmental Science. 11:1277154. doi: 10.3389/fenvs.2023.1277154
 5. **Al-Yamani, F., Bishop, J., Ramadhan, E., Al-Husaini, M. and Al-Ghadban, A., 2004.** Oceanographic Atlas of Kuwait's waters, 1st ed. KISR.
 6. **Behrouzi Rad, B., 2008.** Wetlands of Iran. National Geographical Organization of the Armed Forces of Iran, 798 p.
 7. **Besharati, N., 2001.** Threat to the health of Anzali Wetland by environmental hazards caused by pollutants. Special issue of the National Congress of Medicine and the Sea. Volume 4, p 76.
 8. **Buah-Kwofie, A. and Humphries, M.S., 2017.** The distribution of organochlorine pesticides in sediments from iSimangaliso Wetland Park: Ecological risks and implications for conservation in a biodiversity hotspot. Environ. Pollut. 229, 715–723. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.07.031>
 9. **Buah-Kwofie, A., Humphries, M.S. and Pillay, L., 2021.** Bioaccumulation and risk assessment of organochlorine pesticides in fish from a global biodiversity hotspot: iSimangaliso Wetland Park, South Africa. Sci. Total Environ. 621, 273–281. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.212>

- Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan, 35(4):77, pp 105-128. Doi: 10.22108/jssr.2019.118373.1112
29. **Heiri, O., Lotter, A.F. and Lemcke, G., 2001.** Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *J. Paleolimnol.* 25, 101–110.
 30. **Jafari, M., Majedi, H., Monavari, S., Alesheikh, A. and Kheirkhah Zarkesh, M., 2016.** Dynamic simulation of urban expansion based on cellular automata and logistic regression model: case study of the hyrcanian region of Iran. *Sustainability* 8 (8), 810. doi:10.3390/su8080810
 31. **Javedankherad, A., Esmaili Sari, A. and Bahrami Far, N., 2011.** Investigation of persistent organic pesticide residues in sediments of Anzali International Wetland, Iran, *The Journal of Environmental Studies.* 57(37), 35-44. (In Persian with English abstract).
 32. **Javedankherad, I., Esmaili-Sari, A. and Bahramifar, N., 2013.** Levels and distribution of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in water and sediment from the international Anzali Wetland, north of Iran. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 90(3), 285-290.
 33. **JICA (Japan international cooperation agency), 2012.** The Anzali Wetland Ecological Management Project in the Islamic Republic of Iran, Project Completion Report, pp128.
 34. **Kadkhodaei Elyaderani, M., Nejatkhah Manavi, P. and Vosoughi, A., 2015.** Investigation of heptachlor, heptachlor epoxide and aldrin toxins in sediment, macrobenthos and crucian carp (*Carassius carassius*) in Anzali Wetland, Iran, *Journal of Animal Environment*, (3). (In Persian with English abstract).
 35. **Keshavarzi Fard, M., Mashinchian Moradi, A., Fatemi, S.M.R. and Esmaili Sari, A., 2012.** Investigation of the concentration of organochlorine agricultural pesticides in sediments of the southern coasts of the Caspian Sea. *Journal of Environmental Science and Technology.* 14(2), 107–113.
 36. **Khosravi, M., Ganji, M.T. and Rakhshae, R., 2005.** Toxic effect of Pb, Cd, Ni and Zn on *Azolla filiculoides* in the international Anzali wetland. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 2(1), 35-40.
 37. **Mahmood, I., Imadi, S.R., Shazadi, K., Gul, A. and Hakeem, K.R., 2016.** Effects of (TOM) and grain sediment on dispersal of macrobenthic community in western haffar river in Khoramshahr. *Journal of environmental science and technology*, 17(3 (66)), 97-103.
 21. **Gholamipour, S., Safari, R., Laloui, F., Firouzkandian, S., Pourgholam, R., Nasrollehzadeh, H. and Arabha, F., 2014.** Determination of organophosphorus insecticide residues in carp (*Cyprinus carpio*) in the estuaries of northern Iran. *Journal of Innovation in Food Science and Technology.* 6(3): p 83-88.
 22. **Ghorbanzadeh Zafarani, G., Karbalaee, S., Al-Attar, W.M., Golshani, R., Tayefeh, F.H. and Ashrafizadeh, A., 2023.** Baseline occurrence of organochlorine and organophosphate pesticides in water, sediment, and fish in the Miankaleh wetland, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 192, 115097. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115097>
 23. **Ghorbanzadeh Zafarani, G., Karbalaee, S., Golshani, R., Pustokhina, I. and Walker, T.R., 2022.** Baseline occurrence, distribution and sources of PAHs, TPH, and OCPs in surface sediments in Gorgan Bay, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 175, 113346. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113346>
 24. **Ghorbanzadeh Zaferani, S.G., Machinchian Moradi, A., Mousavi Nadushan, R., Sari, A.R. and Fatemi, S.M.R., 2017.** Spatial and temporal patterns of benthic macrofauna in Gorgan Bay, south Caspian Sea, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16 (1) :274-252.
 25. **Ghorbanzadeh Zaferani, S.G., Machinchian Moradi, A., Mousavi Nadushan, R., Sari A.R. and Fatemi S.M.R., 2016.** Distribution pattern of heavy metals in the surficial sediment of Gorgan Bay (South Caspian Sea, Iran), *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 15(3): 1144-1166. DOI: 10.22092/ ISFJ.2021.123946
 26. **Golshani, R., Mashinchian Moradi, A., Mosavi Nodoshan, R., Fatemi, S.M. and Ghavam Mostafavi, P., 2020.** Organophosphorus pesticides (diazinon, malathion and azinfos methyl) accumulation in three fish species, in south coasts of the Caspian Sea, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 19(6), 3050-3062.
 27. **Hakanson, L. and Jansson, M., 2002.** *Principles of Lake sedimentology.* Caldwell, New Jersey: Blackburn Press.
 28. **Hasanvand, N. and Forghani Tehrani, G., 2020.** Geochemical study of water and sediments in the Badavar River, Lorestan Province: environmental implications.

- Environ. Dev. Sustain.
<https://doi.org/10.1007/s10668-011-9325-5>
47. **Rakhshani, R., Farasati, M., Heshmatpour, A. and Seyedian, M., 2020.** The Effect of Alagol Wetland on the Water Treatment of Atrak River, *Journal of Water and Soil Science*, 24(1), 181-196. (In Persian with English abstract).
 48. **Seifzadeh, M., Valipour, A.R., Zarehgashti, G. and Khanipour, A.A., 2018.** Study on bioaccumulation of aldrin, diazinon and endrin pesticides in the edible muscle tissues of commercially important fish species of the Anzali Wetland. *Iranian Scientific Fisheries Journal*. 27, 23–30.
 49. **Shokrzadeh, M., Karami, M. and Ebrahimi Ghadi, M.A., 2012.** Measurement of Organophosphorus Insecticide Residue in the Rice Paddies Collected from Amol City, North of Iran. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*; 21 (1) :201-207.
 50. **Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 2005.** Standard methods for the examination of water and wastewater. Am. Public Heal. Assoc.
 51. **Taher Shamsi, A., Bakhtiary, A. and Mosavi, A., 2010.** Investigation of hydrodynamic and chemical oxygen demand (COD) concentration in Anzali wetland (iran). *Journal of civil engineering islamic azad university*, 2(1), 74-83.
 52. **Tankiewicz, M., Fenik, J. and Biziuk, M., 2010.** Determination of organophosphorus and organonitrogen pesticides in water samples. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 29, 1050–1063. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.05.008>
 53. **Tham, T.T., Anh, H.Q., Lan, V.M., Truong, N.X., Yen, N.T.H., Anh, N.L., ... and Minh, T.B., 2019.** Distributions and seasonal variations of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, and polybrominated diphenyl ethers in surface sediment from coastal areas of central Vietnam. *Marine pollution bulletin*, 144, 28-35.
 54. **Zhang, Y., Qin, P., Lu, S., Liu, X., Zhai, J., Xu, J., ... and Wan, Z., 2021.** Occurrence and risk evaluation of organophosphorus pesticides in typical water bodies of Beijing, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(2), 1454-1463.
 - pesticides on environment, in: *Plant, Soil and Microbes: Volume 1: Implications in Crop Science*. Springer International Publishing, pp.253–269. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27455-3_13
 38. **Makenali, A.S., Heidarnajd, O., Keshavarz Zamanian, V., Habibi, M., Rabiei, K., Talifar, H.R. and Abdollahi, H., 2020.** A comprehensive monitoring of the high mortality rate of wild waterbirds in Miankaleh Wetland in 2020. *Veterinary Researches Biological Products (Pajouhesh-va-Sazandegi)*, 33(3) (128), 130-139.
 39. **Mirzajani, A.R., Khodaparast, H., Babaei, H., Abedini, A. and Dadi Ghandi, A., 2010.** The process of defoliation of Anzali Wetland using ten-year data from 1992 to 2002, *The Journal of Environmental Studies*. 52(35),65-74. (In Persian with English abstract).
 40. **Modaberi, H. and Shokoohi, A.R., 2019.** Using Eco-Hydrologic Methods in Determining Anzali Wetland Environmental Water Requirement, *Iran-Water Resources Research*, 15(3), 91-104.
 41. **Mohammadi, S., Karbassi, A. and Golzary, A., 2020.** The Rate of Changes in Agricultural Pesticides and TPHs in a Sediment Core from the Eastern Part of Anzali International Wetland, Iran. In *AGU Fall Meeting Abstracts (Vol. 2020, pp. B052-0011)*.
 42. **Moinoddini, S.S., Zand, E., Kambouzia, J., Mahdavi Damghani, A. and Deihim Fard, R., 2014.** Environmental risk assessment of registered insecticides in Iran using registered Environmental Impact Quotient (EIQ) index. *Journal Of Agroecology*, 6(2), 250-265. doi: 10.22067/jag.v6i2.39367
 43. **MOOPAM, 2010.** Manual of oceanographic observations and pollutant analyses methods. Reg. Organ. Prot. Mar. Environ.
 44. **Nasrabadi, T., Nabi Bidhendi, G., Karbassi, A., Grathwohl, P. and Mehrdadi, N., 2010.** Impact of major organophosphate pesticides used in agriculture to surface water and sediment quality (southern Caspian Sea basin, Haraz River). *Environ. Earth Sci*. 634 (63), 873–883. <https://doi.org/10.1007/S12665-010-0757-2>, 2010.
 45. **Newhart, K., 2006.** Environmental fate of malathion. California Environmental Protection Agency, 1-20.
 46. **Pimentel, D. and Burgess, M., 2012.** Small amounts of pesticides reaching target insects.





Physicochemical Status and Agricultural Pesticides in Water, Sediment and Common Carp of Anzali Wetland, Gilan Province, Iran

Seyed Ghasem Ghorbanzadeh Zaferani^{1*}, Farhad Hosseini Tayefeh², Jalil Badamfirooz³, Seyedeh Bahareh Azimi¹, Seyed Keramat Hashemi Ana⁴

1*- Research Group of Environmental Assessment and Risk, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, I.R. Iran

2- Research Group of Biodiversity and Biosafety, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, Iran

3- Research Group of Environmental Economics, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, I.R. Iran

4- Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities University of Yasouj, Yasouj, Iran

Abstract

Original Article

Received:
2025.02.16

Accepted:
2025.03.16

Keywords:

Organochlorine
Organophosphorus
Wetland
BOD
COD

Introduction: The use of organochlorine (OCPs) and organophosphorus pesticides (OPPs) on a large scale in agricultural lands in the northern provinces of Iran is very common. When pesticides enter water, these toxins are easily distributed in the environment and have the ability to bioaccumulate in living organisms. Exposure to such contaminated water is harmful to human health and living organisms. In this study, the latest ecological status of the wetland was examined in terms of changes in physicochemical parameters, changes in physicochemical parameters, and widely used agricultural pesticides in water, sediment, and fish samples in the three eastern, middle, and western parts of Anzali Wetland.

Materials and Methods: In this study, the sampling was conducted from 10 stations in the Wetland in the spring of 2021. Water samples were collected from a depth of 1 m, sediment samples were collected using a Grab van Veen sampler, and the fishes were collected by netting. A multi-parameter water quality meter was used to measure pH, Electrical conductivity (EC) and Total dissolved solids (TDS) parameters, and the Winkler method and standard methods were used to measure Dissolved oxygen (DO), Biochemical oxygen demand (BOD), and Chemical oxygen demand (COD), respectively. The levels of aldrin, dieldrin, endrin, diazinon, malathion, and azinphos-methyl in the samples were measured using a Gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS). For statistical analysis, univariate and multivariate statistical tests including cluster analysis, principal component analysis (PCA), and non-metric multidimensional scaling (n-MDS) were used.

Results: In this study, the total mean of BOD, COD, DO and depth in the Wetland were 26, 46.6, 4.09 (mg/L) and 1.2 m, respectively. The maximum salinity (ppt) and EC (mS/cm) in the Wetland were recorded at depth of 0.6 (m), in the middle part of the wetland 3.84 and 6.8, respectively. The mean TDS in the Wetland (g/L) was 1.11 and the mean turbidity (NTU) was 3.57.

The maximum sand content in Anzali Wetland (69.67%) was recorded in the middle part of the wetland and the maximum silt content (37.50%), clay (32.25%) and total organic matter content (12.41%) were recorded in the western part of the wetland. The mean concentration of OCPs and OPPs in the water of the entire wetland was measured as 1.3 and 0.7 $\mu\text{g/L}$, respectively, but they were not detectable in the sediment and muscle of fish samples.

Discussion: In the present study, the reason for the low DO and high BOD and COD values in the eastern part may be due to the pollution of the Pirbazar River and the increase in the pollution load due to the entry of sewage. The pH of the water indicates that the pH was uniform and alkaline in the wetland. The TDS value was higher in the middle part of the wetland, which in some places could be related to agricultural and industrial activities or particles resulting from the remains of phytoplankton bodies. With the increase in the amount of organic matter and clay in the western part of the wetland, the Cation exchange capacity (CEC) value also increased. The PCA results in Anzali Wetland showed that sediment variables, like water parameters, can play a significant role in explaining changes in the wetland ecological system. The results of the cluster test and n-MDS based on environmental physicochemical conditions indicate differences between different parts of the wetland, and overall, this issue can reflect the effect of the specific hydrodynamic and topographic conditions of the region. One of the reasons for the absence of OCPs and OPPs in this study could be the influence of environmental parameters, especially pH, which was alkaline and caused the removal of these toxins.