Journal of Research in Environmental Health

Volume 6, Issue 1, Spring 2020

Effect of Salmon Farming on River Water Quality (Case study of Mohammadabad Katoul River) Using IRWQISC Index

Fahime Ranjbar
M.Sc graduated student, Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

Hojatollah Jafaryan
* Associated Professor, Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran. (Corresponding Author):
Email: hojat.jafaryan@gmail.com

Mohammad Gholizadeh
Assistant Professor, Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

Mohammad Harsij
Assistant Professor, Department of Fisheries, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran

Received: 2020/04/21
Accepted: 2020/05/21

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Aim: In recent years, the construction of fish farms on the margins of the Mohammadabad Katoul River has increased significantly. The purpose of this study was to investigate the effects of the effluents of these fields on some of the river water quality factors.

Materials and Methods: In this study, five sampling stations of 3 rainbow trout ponds were selected for seasonal water sampling in 1396 end of the sentence move to with 3 replications, 12 water quality parameters including dissolved oxygen, fecal coliform, pH, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, temperature, organic phosphate, nitrate, ammonium, turbidity, total dissolved solids and electrical conductivity. Then, fixed effects of data were analyzed using significant test, and water quality was evaluated according to IRWQISC.

Results: The results showed that the water of Mohammadabad Katoul basin is of medium to relatively good quality. The best water quality was observed in autumn with numerical value of 70.5 and the worst water quality in summer with numerical value of 43.3. The reasons for the relatively poor water quality in summer can be attributed to the high activity of the effluent from the fish ponds, such as reduced river discharge, as well as increased recreational activities in the river, agricultural effluents, rural wastewater discharge, and high livestock density. Area noted.

Conclusion: In all seasons, water quality was higher than that of other stations during station 1 sampling prior to fish farming. According to the obtained index, it can be generally concluded that river water quality is suitable due to aquaculture activities.

Keywords: Water Quality, Mohammadabad Katoul River, Pollution, Salmon Farms, IRWQISC Quality Index.

▶ **Citation:** Ranjbar F, Jafaryan H, Gholizadeh M, Harsij M. Effect of Salmon Farming on River Water Quality (Case study of Mohammadabad Katoul River) using IRWQISC index. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2020;6 (1):83-95.

بررسی تأثیر مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا بر کیفیت آب رودخانه (مطالعه‌موردی رودخانه محمدآباد کتول) با استفاده از شاخص IRWQISC

فهیمه رنجبر
کارشناس ارشد، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

حجت‌ا.. جعفریان
* دانشیار، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.
(نویسنده مسئول):
پست الکترونیک:hojat.jafaryan@gmail.com

محمد قلی‌زاده
استادیار، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

محمد هرسیج
استادیار، گروه شیلات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۱

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: در سال‌های اخیر احداث مزارع پرورش ماهی در حاشیه رودخانه محمدآباد کتول افزایش چشمگیری یافته است. مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات پساب این مزارع بر برخی فاکتورهای کیفی آب رودخانه انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه محمدآباد کتول ۵ ایستگاه نمونه‌برداری از ۳ استخر پرورش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در سال ۱۳۹۶ به‌صورت فصلی با ۳ تکرار، ۱۲ پارامتر کیفی آب شامل اکسیژن محلول، کلیفرم مدفوعی، pH، اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی، اکسیژن‌خواهی شیمیایی، درجه حرارت، فسفات آلی، نیترات، آمونیوم، کدورت، کل مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی انتخاب شد. سپس با استفاده از آزمون معنی‌داری اثرات ثابت داده‌ها مورد آنالیز قرار گرفتند و در ادامه کیفیت آب بر اساس شاخص کیفی آب‌های سطحی ایران (IRWQISC) مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده نشان داد که آب حوضه محمدآباد کتول دارای کیفیت متوسط تا نسبتاً خوب می‌باشد که بهترین کیفیت آب در فصل پاییز با ارزش عددی ۷۰/۵ و بدترین کیفیت آب در فصل تابستان با ارزش عددی ۴۳/۳ می‌باشد. از دلایل قرارگیری کیفیت آب نسبتاً بد در فصل تابستان می‌توان علاوه بر فعالیت بالای پساب حاصل از استخر پرورش ماهی به عواملی چون کاهش دبی رودخانه، همچنین افزایش فعالیت‌های تفریحی و تفرجی در محدوده رودخانه، پساب‌های کشاورزی، تخلیه فاضلاب‌های روستایی و تراکم بالای دام در منطقه اشاره کرد.

نتیجه‌گیری: در همه فصل‌ها در طول دوره نمونه‌برداری، ایستگاه ۱ که قبل از مزارع پرورش ماهی قرار دارد، نسبت به بقیه ایستگاه‌ها کیفیت آب بالاتری دارد. با توجه به شاخص به‌دست آمده مشخص شد که به‌طور کلی کیفیت آب رودخانه با توجه به فعالیت آبزی‌پروری، مناسب است.

کلید واژه‌ها: آلودگی، رودخانه محمدآباد کتول، شاخص کیفی IRWQISC، کیفیت آب، مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا

◀ **استناد:** رنجبر ف، جعفریان ح، قلی‌زاده م، هرسیج م. بررسی تأثیر مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا بر کیفیت آب رودخانه (مطالعه‌موردی رودخانه محمدآباد کتول) با استفاده از شاخص IRWQISC. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. بهار ۱۳۹۹؛۶ (۱): ۸۳-۹۵.

مقدمه

در یک دهه اخیر به‌دلیل افت کیفی رودخانه‌ها، مدیریت کارآمد منابع آب، حفاظت و مدیریت رودخانه‌ها و نهرها، به‌عنوان مهم‌ترین و قابل دسترس‌ترین منابع تأمین آب شیرین، مستلزم اجرای برنامه‌های پایش مستمر و دقیق کیفی آب می‌باشد (۱).

رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از منابع اساسی تأمین آب برای کشاورزی، شرب و مصارف صنعتی مطرح است (۲). از طرفی با گذشت زمان و گسترش جوامع انسانی و به‌تبع آن افزایش استفاده از منابع آبی، دخل و تصرف غیرطبیعی و تغییر شرایط کیفی آب رودخانه‌ها افزایش یافته است (۳). آلودگی رودخانه‌ها، یکی از مهم‌ترین مشکلات دنیای امروز به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه است. افزایش تقاضای آب، بالا رفتن سطح زندگی و گسترش آلودگی منابع آب در اثر توسعه فعالیت‌های کشاورزی، شهری و صنعتی موجب ایجاد وضع نامساعد زیست محیطی و تشدید آلودگی منابع آب شده و مدیریت معقول و منطقی آن را بسیار دشوار و پیچیده کرده است (۴). به‌دلیل اهمیت آب و مسائل مربوط به آن، تاکنون شاخص‌های زیست محیطی زیادی توسط سازمان‌ها و مؤسسات مختلف ارائه شده است؛ به‌طوری‌که در دهه آخر قرن بیستم، تلاش‌های زیادی در زمینه ایجاد و یا بهبود شاخص‌های کنترل کیفیت آب ایجاد شده است (۵).

برای بررسی سریع کیفیت آب از ابزاری باید استفاده کرد که میزان آلودگی آب را در زمان کوتاه‌تری نشان دهد. به همین سبب از شاخص آلودگی آب (WQI[1]) برای ارائه اولیه و سریع نتیجهٔ بررسی وضعیت کیفیت آب بهره می‌گیرند (۶) که بدون پیچیدگی‌های ریاضی و آماری، کیفیت آب را بیان می‌کند (۷). شاخص کیفیت منابع آب (IRWQI[2]) با هدف استفاده از روش مناسب با شرایط طبیعی و مسائل منابع آب ایران تهیه شده است (۸). به منظور محاسبهٔ شاخص کیفیت آب سطحی (IRWQISC) پارامترهایی پیشنهاد شده که به هر یک از آن‌ها بر اساس نقشی که در آلودگی آب‌های سطحی دارند، وزنی تعلق می‌گیرد که البته تعداد پارامترها می‌تواند تغییر کند (۹). با توجه به پارامترهای کیفی موجود برای هر منبع، مقدار شاخص از طریق نمودارهای مربوط به هر پارامتر در نشریهٔ راهنمای محاسبهٔ شاخص کیفیت آب مشخص خواهد شد. سپس وزن کل بر اساس تعداد پارامترهایی که در تعیین شاخص کل مؤثر بوده‌اند، محاسبه می‌شود (۱۰).

مطالعات قبلی در مورد بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها در ایران نشان داده‌اند که وضعیت رودخانه‌های ایران در فصول و ماه‌های مختلف از نظر کیفیت متغیر است و در طبقه‌های خوب تا بد قرار گرفته‌اند و بسته به مکان، این نتایج کاملاً با یکدیگر فرق دارد (۵، ۹، ۱۱). این مطالعات نشان داده‌اند که عوامل انسانی از جمله کشاورزی، تخلیه فاضلاب و استخرهای پرورش ماهی، مهم‌ترین منابع آلودگی رودخانه‌های ایران هستند. اعظمی و همکاران به مطالعه ارزیابی رودخانه تجن پرداخته و نشان دادند که شاخص‌های زیستی از جمله شاخص کیفیت بوم‌شناختی EQI[3] و IRWQI برای بررسی کیفت آب سطحی مناسب است (۱). صادقی و همکاران که با استفاده از دو شاخص NSFWQI[4] و IRWQISC به ارزیابی کیفیت آب رودخانه زرین‌گل در استان گلستان در دو فصل تابستان و پاییز با آماربرداری در ۵ ایستگاه پرداختند، اندکس NSFWQI کیفیت آب رودخانه را متوسط (۵۰-۷۰)، ولی شاخص IRWQISC کیفیت همین رودخانه را متوسط (۴۵-۵۵) تا نسبتاً خوب (۵۵/۱-۷۰) تشخیص دادند. بر اساس نتایج حاصله محققین آب رودخانه را برای کشاورزی مناسب، ولی برای شرب نیازمند تصفیه تشخیص دادند (۱۰). رزلی و همکاران کیفیت آب رودخانه سالک واقع در مالزی را با استفاده از شاخص WQI مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان‌دهنده مقدار پایینی از اکسیژن محلول و مقادیر بالایی از اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و سرب بود

1. water quality index
2. Iran Water Quality Index for Surface Water
3. Ecological Quality Index
4. National Sanitation Foundation Water Quality Index

که نشان داد آب رودخانه مذکور بر اساس شاخص WQI در طبقه آب‌های آلوده قرار دارد (۱۲).

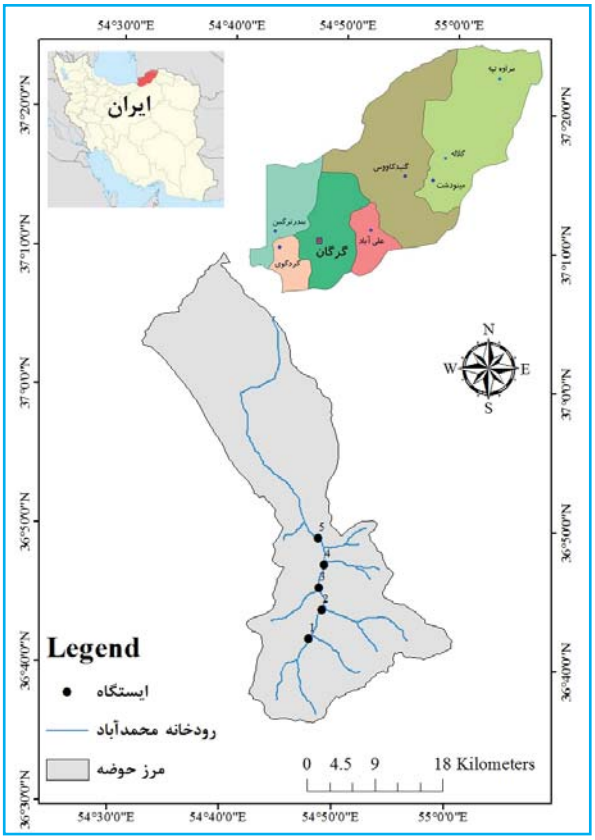
در بین فعالیت‌های با منشأ انسانی، آبزی‌پروری برای پرورش ماهیان سردآبی در بالادست رودخانه‌ها، یکی از عوامل انتشار آلودگی‌های آلی در رودخانه‌ها هستند. به‌طور کلی ارزیابی خسارات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های آبزی‌پروری نشان می‌دهد این فعالیت منتهی به رهاسازی مواد زائد متابولیکی تولید شده (مدفوع و فضولات) و غذای دست نخورده به درون محیط آبی است که از عمده‌ترین منابع تولید فسفر و نیتروژن و افزایش فاکتورهای ذرات معلق کل (TSS[1]) و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD[2]) هستند که رهاسازی آنها به‌طور بالقوه سبب ازدیاد مواد مغذی، افزایش بارِ آلودگی پساب‌های حاصل و احتمالاً متعاقب آن، ایجاد پدیده تغذیه‌گرایی در محیط آبی می‌شود. همچنین این فعالیت‌ها ممکن است با انتشار ترکیبات قارچ‌کش، آنتی‌بیوتیک و برخی سموم مانند مالاشیت‌گرین به منابع آب سطحی، منجر به بروز تهدیدات بهداشتی در مناطق پایین‌دست شوند (۱۳).

فرضیه مورد بررسی در این تحقیق بدین‌صورت بیان می‌شود که مزارع پرورش ماهی بر روی کیفیت آب منطقه تأثیر معنی‌داری دارد. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی شاخص و کیفیت آب رودخانه با کاربری غالب آبزی‌پروری انجام شد که بدین‌منظور بررسی تأثیر مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا بر کیفیت آب رودخانه (مطالعه‌موردی رودخانه محمدآباد کتول) با استفاده از شاخص IRWQISC انجام گرفت.

روش کار

منطقه مورد مطالعه

رودخانه محمدآباد یکی از رودخانه‌های متصل به رودخانه گرگان‌رود در استان گلستان بوده که از ارتفاعات تمبران، زرجو، گندی، قرقلند، یزدکی، چل‌چلی و زردکمر در جنوب غربی شهرستان علی‌آباد سرچشمه می‌گیرد و به گرگان‌رود متصل می‌شود. حوضه آب‌ریز در حد فاصل عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۵ درجه و صفر دقیقه شرقی واقع شده است. مساحت حوزه ۴۲۰ کیلومتر مربع و طول رودخانه اصلی ۲۵ کیلومتر و ارتفاع حداکثر حوضه ۲۹۷۷ متر و ارتفاع حداقل آن ۲۸۰ متر است. آورد سالانه آب این رودخانه ۴۳ میلیون متر مکعب است. آب‌دهی متوسط سالانه رودخانه ۱/۴۶ متر مکعب در ثانیه، آب‌دهی حداقل ۰/۸۵ متر مکعب در ثانیه و آب‌دهی حداکثر سالانه ۲/۸۴ متر مکعب در ثانیه است. دبی ویژه آن نیز ۳/۴۱ لیتر بر ثانیه در کیلومتر مربع محاسبه شده است. در این حوضه آب‌ریز تعدادی واحد تولیدی شن و ماسه، واحد پرورش ماهی سرد آبی و تعدادی مزرعه پرورش مرغ و گاو و حدود ۳۰۰ هکتار ارضی شالیکاری و محصولات دیگر قرار دارد (شکل ۱) (۱۴).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رودخانه محمدآباد، استان گلستان

1. Total Suspended Solids
2. Biochemical oxygen demand

از آب خروجی سه استخر پرورش ماهی قزل‌آلا در دره ماهیان واقع در دهنه محمدآباد کتول، از بالادست رودخانه، ۵۰۰ متر قبل از مزارع پرورش ماهی و از پایین‌دست رودخانه ۵۰۰ متر بعد از مزارع پرورش ماهی به‌صورت فصلی نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها طبق شرایط استاندارد در کنار یخ به آزمایشگاه منتقل شده و پارامترهای نیتریت، نیترات، فسفر، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD[1])، آمونیوم، سختی کل و کلی فرم مدفوعی طبق روش کتاب استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب اندازه‌گیری شد (۱۵). پارامترهای pH، دما، هدایت الکتریکی، کدورت و اکسیژن محلول به‌وسیله دستگاه‌های پروتابل تنظیم شده در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری شد. همچنین شاخص کیفی آب (WQI) محاسبه شد. ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه شامل ۵ ایستگاه بود که مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. مبنای انتخاب ایستگاه‌ها با توجه به هدف مطالعه و بررسی منطقه و وجود منابع آلاینده در اطراف ایستگاه و مقایسه آن‌ها با استانداردهای آبزیان (استاندارد ملی ۸۷۲۶) بوده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS، SAS[2]، ورژن ۲۴ و اکسل انجام شد. در جدول ۲ روش آزمایش بر اساس استاندارد متد و دستگاه‌های مورد استفاده بیان شده است (۱۶).

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه	نام ایستگاه	مشخصات جغرافیایی (E,N)
۱	قبل از مزارع پرورش ماهی (۵۰۰ متر قبل از اولین مزرعه)	۳۶,۷۳۹۴۳۹- ۵۴,۷۵۵۵۶۸
۲	استخر ماهی علمشاهی (۵۰ متر بعد از خروجی مزرعه)	۳۶,۷۴۱۳۸۵ - ۵۴,۷۸۳۷۸۳
۳	استخر ماهی قره خانی(۵۰ متر بعد از خروجی مزرعه)	۳۶,۷۷۰۶۳۷- ۵۴,۷۸۹۲۷۹
۴	استخر ماهی کلبادی(۵۰ متر بعد از خروجی مزرعه)	۳۶,۷۷۱۵۰۱- ۵۴,۸۰۷۳۴۵
۵	بعد از مزارع پرورش ماهی(۵۰۰ متر بعد از آخرین مزرعه)	۳۶,۷۷۴۲۱۲- ۵۴,۸۰۹۳۹۲

جدول ۲. پارامترهای اندازه‌گیری شده فیزیکی و شیمیایی بر حسب روش آزمایش استاندارد (۱۵، ۱۶)

ردیف	پارامتر	روش آزمایش	مشخصات	دقت
۱	اکسیژن محلول (DO)	۴۵۰۰	دستگاه پرتابل HACH-HQ ۴۰D	میلی‌گرم بر لیتر ۰/۰۱
۲	کلیفرم مدفوعی	۳۷۵۹	دستگاه کلیفرم متر Ensure plus	۱۰۰ml/MPN
۳	pH	۴۵۰۰	دستگاه پرتابل HACH-HQ ۴۰D	۰/۰۱
۴	اکسیژن مورد نیاز زیستی (BOD)	۵۲۲۱۰	دستگاه BOD سنج مدل ۶۰۰ BD	میلی‌گرم بر لیتر ۰/۰۱
۵	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی(COD)	۵۲۲۱۰	تیتریمتری (۵۲۲۰C)	میلی‌گرم بر لیتر ۰/۰۱
۶	درجه حرارت	۲۵۵۰	دستگاه پرتابل HACH-HQ ۴۰D	درجه سانتی‌گراد ۰/۱
۷	فسفات (PO_4)	فسفات ۴۵۰۰	اسپکتروفتومتر- UV/Vis JENWAY ۵۷۰۵	میلی‌گرم بر لیتر ۰/۰۱
۸	نیترات (NO_3)	نیترات ۴۵۰۰	اسپکتروفتومتر- UV/Vis JENWAY ۶۷۰۵	میلی‌گرم بر لیتر ۰/۰۱
۹	آمونیوم (NH_4^+)	آمونیوم ۴۵۰۰	اسپکتروفتومتر- UV/Vis JENWAY ۶۷۰۵	میلی‌گرم بر لیتر ۰/۰۱
۱۰	کدورت (Turbidity)	۲۱۳۰	دستگاه کدورت‌سنج HACH ۲۱۰۰ N	۰/۱ NTU
۱۱	کل جامدات محلول (TDS)	۲۳۴۰	دستگاه پرتابل HACH-HQ ۴۰D	میلی‌گرم بر لیتر ۰/۱
۱۲	هدایت الکتریکی (EC)	۲۵۱۰	دستگاه پرتابل HACH-HQ ۴۰D	µS/cm

1. Chemical Oxygen Demand

2. Statistical Analysis System

در شاخص کیفی IRWQISC، پارامترها شامل ۱۱ پارامتر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است. جهت محاسبه این شاخص، با توجه به منحنی‌های هر پارامتر، مقدار این شاخص با توجه به مقدار پارمترهای این مطالعه، از رابطه‌های زیر به‌دست می‌آید:

$$IRWQI_{SC} = [\prod_{i=1}^{n} I_i^{wi}]^{\frac{1}{\gamma}}$$

$$\gamma = \sum_{i=1}^{n} Wi$$

که در آن n، W_i و I_i به‌ترتیب بیانگر وزن پارامتر iام، تعداد پارامترها و مقدار شاخص برای پارامتر iام منحنی رتبه‌بندی می‌باشند (جدول ۳). معادل توصیفی شاخص‌های کیفی نامبرده و محدودهٔ کیفیت آب در جدول ۴ آورده شد.

جدول ۳. پارامترهای مورد استفاده در شاخص IRWQISC

پارامتر	اکسیژن محلول (mg/l)	کلی فرم مدفوعی ۱۰۰ml/MPN	pH	اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (mg/l)	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (mg/l)	تغییرات درجه حرارت C°	فسفات (mg/l)	نیترات (mg/l)	آمونیوم (mg/l)	کدورت Turbidity	کل جامدات محلول (mg/l)	هدایت الکتریکی µmho/cm
وزن پارامتر در شاخص IRWQI SC	۰/۰۹۷	۰/۱۴	۰/۰۵۱	۰/۱۱۷	۰/۰۹۳	-	۰/۰۸۷	۰/۱۰۸	۰/۰۹	۰/۰۶۲	-	۰/۰۹۶

جدول ۴. مقادیر و توصیف شاخص‌های کیفی مورد استفاده

شاخص	محدوده شاخص	توصیف	رنگ مربوط به مقدار عددی شاخص
شاخص IRWQISC	کمتر از ۱۵	خیلی بد	بنفش
	۲۹/۱۵-۹	بد	قرمز
	۴۴/۳۰-۹	نسبتاً بد	نارنجی
	۴۵-۵۵	متوسط	زرد
	۵۵-۷۰/۱	نسبتاً خوب	سبز
	۷۰-۸۵/۱	خوب	آبی فیروزه ای
	بیشتر از ۸۵	بسیار خوب	آبی

تجزیه و تحلیل آماری

بدین‌منظور ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف[1] مورد بررسی قرار گرفت. چنانچه سری داده‌ها نرمال نبودند، با استفاده از تبدیل مناسب BOX-COX، لگاریتمی و ...، داده‌ها نرمال شدند. به‌منظور مقایسه خصوصیات کیفی آب در مکان و زمان‌های مختلف از آزمون کرت‌های خرد شده در واحد زمان[2] استفاده شد. در نهایت با انتقال داده‌ها به نرم‌افزار SAS آزمون کرت‌های خرد شده در واحد زمان انجام شد. برای انجام مقایسه میانگین نیز از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری LSD[3] استفاده شد. در روش تحلیل خوشه‌ای (Cluster Analysis)، گروه‌بندی داده‌ها براساس فاصله بین آنها انجام می‌شود (۱۷).

یافته‌ها

نتایج به‌دست آمده از انجام آزمایش‌ها و مقایسه آن‌ها با استانداردهای آبزیان (استاندارد شماره ۸۷۲۶ سازمان ملی استاندارد، در مورد کیفیت لازم برای پرورش ماهی) در ایستگاه‌های مختلف

1. Kolmogorov-Smirnov Test
2. Split-Plot in time
3. least significant difference

در جدول ۵ ارائه شده است. محدوده مقدار pH از ایستگاه‌های نمونه‌برداری از ۶/۳-۷/۷ متغیر بود (میانگین ۷) که در محدوده خنثی تا قلیایی قرار می‌گیرد. کمترین مقدار pH در ایستگاه ۴ (۶/۳) مشاهده شد. میانگین مقدار کل مواد جامد محلول در آب ۵۱۲/۶ میلی‌گرم بر لیتر بود. میزان هدایت الکتریکی نمونه‌های آب رودخانه از ۶۲۸-۱۳۵۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر بود. بیشترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به ایستگاه ۴ (۱۳۵۹) و کمترین مقدار آن مربوط به ایستگاه ۲ بود.

طبق استاندارد سازمان جهانی بهداشت و ملی ماهیان سرد آبی مقدار BOD و COD در رودخانه محمدآباد بیشتر از حداکثر مجاز است. ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۴ و ۵ وضعیت کیفی آب نامناسب داشته و در فصول مختلف خارج از استانداردهای ملی برای آبزی‌پروری هستند. به‌منظور مقایسه آماری مقدار میانگین عوامل مورد مطالعه با مقادیر استانداردهای ملی، توزیع آماری عوامل کیفیت آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه بررسی شد. بر اساس نتایج آزمون شاپیروویلک[1]، اکثر عوامل مورد مطالعه دارای توزیع غیرنرمال بودند ($p>0/05$)، بنابراین از آزمون ناپارامتریک برای مقایسه مقدار میانگین عوامل و استانداردهای مربوطه استفاده گردید. با توجه به الگوی مکانی عوامل کیفی آب، کمترین غلظت عوامل محیطی در مناطق بالادست مشاهده شد و با جریان رودخانه، بر مقدار عوامل افزوده می‌شد. افزایش مقادیر نیترات، آمونیوم، فسفات و کلیفرم مدفوعی در مناطق پایین‌دست رودخانه می‌تواند ناشی از ورودی پساب‌های استخرهای پرورشی باشد که در ایستگاه‌های انتهای وضعیت تجمعی پیدا کرده است.

جدول ۵. نتایج ارزیابی کیفی پارامترهای اندازه گیری شده (انحراف معیار±میانگین) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری، دهنه محمدآباد کتول

پارامتر / ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵	استاندارد آبزیان (ماهیان سرد آبی)
پی اچ	۷/۰±۰۸/۲	۷/۰±۴۲/۵۲	۰±۷/۵	۶/۰±۷/۳	۶/۲±۵/۱	۶-۹
اکسیژن مورد نیاز زیستی (میلی‌گرم بر لیتر)	۸/۲ ± ۶	۱۱/۲±۹	۱۵/۱±۵۸/۵۳	۲±۱۵	۲۰/۰±۱/۸	
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (میلی‌گرم بر لیتر)	۳/۰ ± ۱۲/۵	۳/۰±۲۵/۵	۳/۱±۲	۰±۵/۵	۵/۰±۸/۵	کمتر از ۳
کل مواد جامد معلق (میلی‌گرم بر لیتر)	۵/۰ ± ۵/۵	۱۳/۲±۰۵/۲	۸/۱±۷۵	۷/۰±۸/۶	۷/۰±۱/۷	کمتر از ۸۰
کل مواد جامد محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	۲۰ ± ۴۱۴	۴۰۱/۱۰±۱/۴۱	۲۰±۴۵۹	۴±۵۹۶	۶۹۱/۷±۷/۹	<۲۰۰
اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	۸/۰ ± ۷۳/۵	۸/۰±۷۴/۵	۸/۱±۵	۸/۰±۳/۶	۸/۰±۱/۵	<۷
هدایت الکتریکی (µS/cm)	۲۵ ± ۶۲۸	۶۲۶/۳۳±۲	۲۰±۸۱۵	۳۸±۱۳۵۹	۱۷±۹۱۱	
کدورت (NTU)	۰/۰ ± ۶۳/۱۰	۴/۰±۱/۴	۲/۰±۱/۵	۳/۰±۴/۲	۴/۰±۱/۴	
نیترات (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰ ± ۹۸/۰۵	۰/۰±۵۲/۰۵	۰/۰±۶۳/۱	۰/۰±۶/۰۳	۰/۰±۴۸/۰۵	کمتر از ۰/۰۱
فسفات (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰ ± ۱۴/۰۱	۰/۰±۱۵/۰۱	۰/۰±۳۵/۰۳	۰/۰±۲۶/۰۳	۰/۰±۲۵/۰۳	کمتر از ۰/۰۶۵
آمونیوم (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰ ± ۴۷/۱	۰/۰±۴۳/۱	۰/۰±۴۳/۲۵	۰/۰±۴۶/۲	۰/۰±۸۱/۰۱	کمتر از ۱
دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۲/۰ ± ۱/۵	۱۸/۱±۶۸/۴	۲۰/۲±۶/۵	۲۱/۰±۷/۹	۲۲/۰±۳/۵۰	۹-۱۷
کلیفرم مدفوعی (۱۰۰ml/MPN)	۱۰ ± ۱۹۹	۱۰±۲۳۷	۱۰±۲۵۹	۸±۲۹۵	۱۶±۲۸۹	

1. Shapiro-Wilk Test

بر اساس میانگین شاخص IRWQISC کیفیت آب رودخانه محمدآباد در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در محدوده مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا در کلاسه کیفی نسبتاً خوب قرار داشت. تنها ایستگاه‌های بعد از آخرین مزرعه در کلاسه‌نسبتاً بد بود. همچنین ایستگاه ۴ در فصول بهار و تابستان و ایستگاه ۵ در فصل زمستان در کلاسه متوسط قرار داشتند. بیشترین میزان میانگین این شاخص (۷۰/۵، کیفیت نسبتاً خوب) مربوط به ایستگاه اول قبل از مزارع پرورشی در فصل پاییز و کمترین میزان میانگین شاخص (۴۳/۳، کیفیت نسبتاً بد) مربوط به ایستگاه پنج در فصل تابستان بود.

جدول ۶. نتایج ارزیابی کیفیت آب بر اساس شاخص IRWQI در فصول و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه / فصل	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳	ایستگاه ۴	ایستگاه ۵
بهار	۶۵/۳ نسبتاً خوب	۶۴/۹ نسبتاً خوب	۵۹/۲ نسبتاً خوب	۵۰/۸ متوسط	۵۶/۹ نسبتاً خوب
تابستان	۶۱/۷ نسبتاً خوب	۵۶/۱ نسبتاً خوب	۶۰/۱ نسبتاً خوب	۴۹/۷ متوسط	۴۳/۳ نسبتاً بد
پاییز	۷۰/۵ نسبتاً خوب	۶۶/۱ نسبتاً خوب	۶۸/۸ نسبتاً خوب	۶۴/۳ نسبتاً خوب	۶۵/۶ نسبتاً خوب
زمستان	۶۲/۴ نسبتاً خوب	۶۰/۴ نسبتاً خوب	۵۷/۴ نسبتاً خوب	۵۵/۵ نسبتاً خوب	۵۳/۵ متوسط

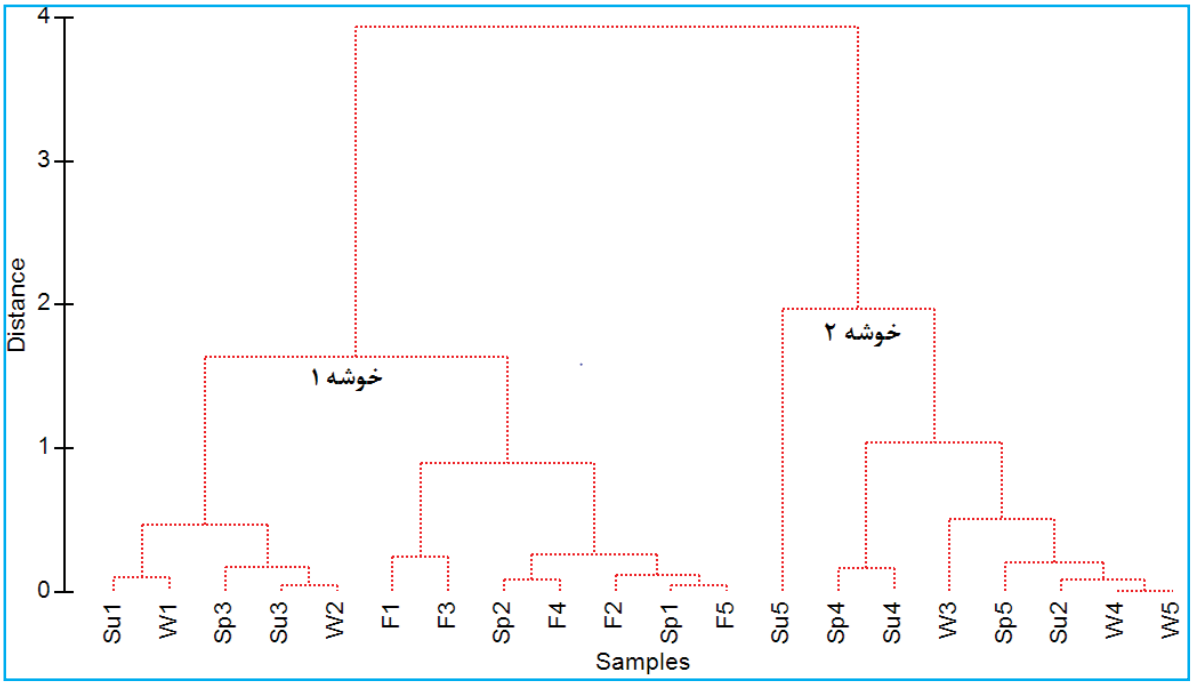
به منظور آزمون فرضیه پژوهش از روش آماری تجزیه واریانس کرت‌های خرد شده استفاده شد که بر اساس نتایج آن، تغییرات تمام فاکتورهای کیفیت آب اندازه‌گیری شده در طول زمان نمونه‌برداری و ایستگاه‌های موردنظر و همچنین اثر متقابل زمان و مکان‌های نمونه‌برداری معنی‌دار بود که نشان از قبول فرضیه پژوهش می‌باشد. نتایج تجزیه واریانس با استفاده از کرت‌های خرد شده در واحد زمان برای فاکتورهایی که اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار شده در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷. تجزیه واریانس کرت‌های خرد شده فاکتورهایی با اثر متقابل معنی‌دار در طول دوره نمونه‌برداری

منابع تغییر		میانگین مربعات												
	درجه آزادی	PH	COD	BOD	کل جامدات محلول	کل جامدات معلق	اکسیژن محلول	هدایت الکتریکی	کدورت	نیترات	فسفات	آمونیوم	دما	کلیفرم مدفوعی
تکرار	۲	۰/۰۰۸^{n}	۱۰/۷^{n}	۰/۵^{n}	۲/۴^{n}	۲۳۰/۷*	۰/۳^{n}	۲۶۰/۵^{n}	۰/۰۵^{n}	۰/۳^{n}	۰/۰۰۱^{n}	۰/۰۰۴^{n}	۰/۳^{n}	۲۹/۴^{n}
زمان	۳	۱/۱*	۱۶۸۰/۳*	۱۶۲/۱*	۵۸۵/۵*	۴۰۰۴/۵*	۱۱/۲*	۹۶۲/۱*	۱۲/۷*	۰/۰۲*	۰/۱*	۰/۸*	۳۰۹/۵*	۵۸۸/۳*
خطای ۱	۶	۰/۱^{n}	۵/۴*	۰/۶^{n}	۰/۶^{n}	۳۲/۵^{n}	۰/۱^{n}	۳۳۳/۴^{n}	۰/۰۸^{n}	۰/۴^{n}	۰/۰۳^{n}	۰/۰۴^{n}	۰/۴^{n}	۱۰۷/۵^{n}
مکان	۴	۱/۶*	۲۱۷/۸*	۱۸/۹*	۹۶/۴*	۱۹۲۰/۴*	۱/۱*	۹۸۶/۶*	۲۷/۱*	۰/۵*	۰/۰۸*	۰/۳*	۲۶/۵*	۱۸۴/۲*
مکان در زمان	۱۲	۰/۵*	۲۵۸/۳*	۱۲/۴*	۲۲۴/۶*	۹۹۴/۴*	۰/۷*	۹۹۲۳/۱*	۲۴/۷*	۰/۳*	۰/۲*	۰/۲*	۵/۴*	۵۰۷/۴*
خطای ۲	۲۴	۰/۰۶	۱/۸	۰/۵	۰/۷	۸۵/۵	۰/۰۸	۴۷۹/۲	۰/۰۷	۰/۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۲	۷۳/۱
ضریب تغییرات	-	۳/۸	۹/۶	۱۶/۹	۱۰/۲	۱/۸	۳/۴	۲/۵	۹/۲	۱۰/۲	۱۸/۳	۱۶/۶	۲/۳	۳/۳

نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌بندی در منطقه نمونه‌برداری در شکل ۲ نشان داده شده است. با انجام آنالیز خوشه‌بندی، ایستگاه‌های منطقه نمونه‌برداری در دو خوشه همگن و اصلی قرار گرفتند. فاصله بین هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری در خوشه‌های به‌دست آمده از آنالیز خوشه‌ای، در نتیجه همبستگی و خود همبستگی بین عوامل کیفی آب سطحی است. خوشه‌های

همگن بر اساس روش ward و فاصله اقلیدسی تعیین شدند. با توجه به دندوگرام، خوشه اول شامل ایستگاه‌های اول و دوم از فصول نمونه‌برداری و خوشه دوم مربوط به ایستگاه‌های ۴ و ۵ است. ایستگاه‌های که در خوشه اول قرار گرفتند، مربوط به بالادست (ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳) و دارای تغییرات کیفی آب سطحی کم هستند. ایستگاه‌های نمونه‌برداری در خوشه دوم بیشتر تحت تأثیر مزارع پرورشی هستند.



شکل ۲. دندوگرام ایستگاه‌های نمونه‌برداری از رودخانه محمدآباد در محدوده مزارع پرورش ماهی حاصل از آزمون خوشه‌ای (Z= فصل زمستان، P= پاییز، T= تابستان و B= بهار؛ اعداد مشخص کننده ایستگاه‌های نمونه‌برداری است)

بحث

در این مطالعه از ۱۲ پارامتر تاثیرگذار در شاخص‌های کیفیت آب رودخانه‌ها استفاده شده است. با مقایسه‌ای که بین میانگین عوامل مورد مطالعه در رودخانه انجام شد BOD، COD و نیترات با توجه به بیشترین و کمترین مقدار عددی این سه عامل در مقایسه با سایر عوامل، دارای بیشترین میزان تاثیر بر کیفیت آب بودند، که با مطالعه عباس‌پور و همکاران و قلی‌زاده و علی‌نژاد مطابقت دارد. تکنیکای و همکاران در مطالعه خود نشان دادند که با ورود پساب پرورش ماهی به داخل رودخانه میزان اسیدیته به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. علت کاهش pH در فصل بهار می‌تواند افزایش فعالیت‌های مزارع پرورش ماهی و نیز افزایش تردد دام‌های اهلی باشد که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت(۱۳). در مطالعه حاضر مقادیر COD در فصل بهار و تابستان نیز افزایش قابل توجه‌ای داشت و اختلاف معنی‌داری بین برخی ایستگاه‌ها وجود داشت. بیشترین میزان COD در فصل زمستان در ایستگاه ۳ برابر با ۳۵ میلی‌گرم در لیتر و کمترین میزان COD در فصل پاییز برابر با صفر بود. از دلایل بالا رفتن مقدار COD به ورود فاضلاب‌های خانگی، ورود پساب‌های کشاورزی و دامداری می‌توان اشاره کرد. با توجه به وجود استخرهای پرورش ماهی در ایستگاه‌های ۲، ۳ و ۴ می‌توان افزایش مقادیر COD را توجیه نمود. در فصل پاییز نیز با توجه به کاهش فعالیت‌های کشاورزی و پرورش ماهی در محدوده رودخانه، مقدار COD کاهش یافت، اما در فصل زمستان به‌دلیل شروع فعالیت‌های کشاورزی مقدار COD مجدداً افزایش

یافت. بیشترین میزان BOD مربوط به ایستگاه ۵ در فصل تابستان برابر با ۱۱ میلی‌گرم بود که کاهش دبی، فعالیت‌های تفریحی و افزایش ورود فاضلاب روستایی در فصل تابستان می‌توانند دلیلی برای افزایش این پارامتر باشد که با مطالعه کامارگو و همکاران که نتیجه گرفتند در ایستگاه‌های مورد بررسی به طرف پایین‌دست و افزایش پساب‌ها به رودخانه، میزان اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی در سطح ۱٪ افزایش معنی‌داری می‌یابد، مطابقت داشت (۱۸)، با یافته‌های عباس‌پور و همکاران که بیان کردند میزان اکسیژن بیوشیمیایی در اواسط مهر ماه بیشترین مقدار را دارد، مغایرت داشت (۱۹).

یکی دیگر از فاکتورهای اندازه‌گیری شده در مطالعه حاضر، کل مواد جامد محلول (TDS[1])بود که بین فصول و ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان داد. از دلایل افزایش جامدات در آب می‌توان به تراکم بالای دام در منطقه و تخلیه فاضلاب‌های روستایی و فرآیندهای طبیعی (تغییرات آب‌وهوایی) اشاره کرد. با توجه به وجود مناطق روستایی و عبور و مرور دام و همچنین تغییرات آب و هوایی در مناطق جنگلی اطراف رودخانه می‌توان افزایش TDS را در رودخانه توجیح کرد. از دلایل بالا رفتن میزان نیترات در آب‌های سطحی می‌توان به فعالیت‌هایی مانند پرورش ماهی و فعالیت‌های کشاورزی از جمله برنج کاری اشاره کرد (۲۰).

در مطالعه حاضر به‌طور کلی میزان نیترات در تمامی ایستگاه‌ها و زمان‌ها کمتر از میزان استاندارد بود. در مطالعه عباس‌پور و همکاران روند تغییرات نیترات در تمام ایستگاه‌ها و در تمامی ماه‌های سال در محدوده بهینه قرار داشت که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت. علت افزایش میزان نیترات در تابستان می‌تواند مربوط به افزایش فعالیت‌استخرهای پرورش ماهی باشد. کاهش فعالیت‌های مزارع پرورش ماهی در فصل زمستان می‌تواند یکی از دلایل کاهش میزان فسفات در این فصل باشد (۱۹). امین‌پور شیانی و همکاران علت افزایش فسفات را مصرف کود و سموم شیمیایی و تخلیه فاضلاب‌های روستایی بیان کردند که با نتیجه مطالعه حاضر مطابقت داشت (۲۱). کامارگو و همکاران در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که افزایش فسفات آب رودخانه در فصل تابستان، به‌دلیل شرایط نامساعد رودخانه از جمله دبی کم که باعث مشکلات زیست‌محیطی می‌شود و ورود زه‌آب‌های کشاورزی که حاوی کودهای شیمیایی هستند، می‌باشد که با نتایج مطالعات حاضر مطابقت داشت. از دلایل عمده افزایش آمونیاک، دفع فاضلاب می‌باشد (۱۸). نفوذ فاضلاب‌های خانگی باعث افزایش آلودگی آب می‌شود. در روستاهایی که فاصله بیشتری نسبت به رودخانه دارند، برای دفع فاضلاب از چاه استفاده می‌شود، ولی در روستاهای کنار رودخانه متأسفانه فاضلاب‌ها به رودخانه تخلیه می‌شوند. ورود فاضلاب‌های خانگی که به‌طور محسوس وجود دارد، باعث بالا رفتن فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌شود که با بالا رفتن فعالیت میکروارگانیسم‌ها، میزان اکسیژن محلول کاهش می‌یابد. دلیل کاهش مقدار اکسیژن محلول این است که فعالیت میکروارگانیسم‌ها نیازمند اکسیژن محلول در آب می‌باشد و با افزایش یا کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌ها، میزان مصرف اکسیژن محلول افزایش یا کاهش می‌یابد (۲۲). همچنین انحلال گاز اکسیژن در آب تابعی از دماست و با افزایش دما، میزان انحلال اکسیژن در آب کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار اکسیژن محلول در فصل زمستان وجود دارد، چون دما پایین می‌باشد و میزان اکسیژن محلول بیشتر می‌شود. علت این امر را می‌توان افزایش فعالیت‌های تفریحی، افزایش جمعیت در روستاها، فاضلاب روستایی و کاهش دبی در فصل تابستان دانست. عباس‌پور و همکاران در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان کلیفرم مدفوعی در سطح رودخانه در فصل تابستان و به‌دلیل کم شدن آب طبیعی رودخانه و افزایش نسبت حجم فاضلاب ورودی به آب طبیعی رودخانه است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشت (۱۹).

با توجه به نتایج به‌دست آمده از روش فوق مشاهده می‌شود که به‌کار بردن عامل وزنی برای هر پارامتر در ساختار شاخص اصلی و یا زیرشاخص تشکیل‌دهنده آن، باعث افزایش دقت در هنگام اخذ

1. Total dissolved solids

تصمیم‌گیری‌های بعدی بر اساس آن می‌شود (۱۰). به همین دلیل نتایج حاصل روش IRWQISC که در ساختار آنها از عامل وزنی استفاده شده است، دقت بالایی دارد (۹). البته این روش شدیداً به پارامترهای آلودگی حساس است و با حذف هر یک از پارامترها به‌دلیل تغییر ضرایب وزنی، نتیجه به‌دست آمده تغییر قابل توجهی می‌کند (۶). کاهش مقادیر این شاخص‌ها در ایستگاه‌های پایین‌دست رودخانه نیز به همین شکل ادامه یافته و به‌تدریج موجب بالا رفتن مقدار COD و BOD شده است که موجب کاهش مقادیر شاخص کیفیت آب و تا مقدار عددی ۴۳/۳ در ایستگاه ۵ در فصل تابستان برسد. دلیل این امر می‌تواند بی‌توجهی به ورود پساب مزارع پرورش ماهی به داخل رودخانه باشد. نتایج حاصل از این مطالعه با نتایج میرزایی و همکاران (۲۳) و صباحی و همکاران (۱۱) مبنی بر کاهش کیفیت آب در پایین‌دست رودخانه مطابقت داشت. مزارع همجوار رودخانه بدون هیچ‌گونه تصفیه استاندارد و قانونی، پساب خود را به داخل رودخانه می‌ریزند. دلیل قرارگیری کیفیت آب در طبقه متوسط تا نسبتاً بد، مقدار نسبتاً بالای مواد مغذی (غذای خورده نشده و مدفوع) به‌خصوص نیترات و وجود کلیفرم مدفوعی است که ناشی پساب مزارع، دام‌های آزاد و فعالیت‌های تفرجی در ایستگاه‌های پایین‌دست می‌باشد. مطابق با استاندارد کیفیت آب ایران، میزان حد مجاز کلی فرم مدفوعی برای فعالیت‌های آبزی‌پروری، 500MNP[1] (بیشترین تعداد احتمالی) در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه است که در اکثر ایستگاه‌ها پایین‌تر از حد مجاز بود. با این‌حال با توجه به کیفیت آب رودخانه محمدآباد، پتانسیل کشاورزی و فعالیت‌های آبزی‌پروری، همچنین به‌دلیل عدم رعایت اصول توسعه پایدار، قابل قبول شده است. مطالعه میرزایی و همکاران نشان داد که کاهش مقدار عددی شاخص NSFWQI و در نتیجه تنزل کیفیت آب رودخانه جاجرود در برخی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری به‌علت تمرکز جمعیت و در نتیجه ورود بارِ آلودگی (افزایش مقادیر کلیفرم‌ها و جامدات معلق) است (۲۳) که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی داشت. همچنین مصرف بی‌رویه و غیراصولی آب در مصارف مختلف از جمله کشاورزی و عدم توازن تولید و مصرف آب در ایران، باعث تخریب کیفیت منابع آب می‌شود. در مطالعه صباحی و همکاران در زمینه بررسی تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب رودخانه سیکان، مقدار افزایشی در پارامترهای کیفی آب مانند COD، BOD ، فسفات و نیترات مشاهده شد. آنها فعالیت‌های کشاورزی را به‌عنوان دلیل اصلی افزایش نسبی عوامل ذکر شده معرفی کردند (۱۱).

با توجه به الگوی مکانی پارامترهای کیفی آب، کمترین غلظت پارامترها به‌جز کدورت در مناطق بالادست مشاهده شد و به‌تدریج با جریان رودخانه، بر مقدار پارامترها افـزوده شد. با توجه به نقشه‌های کاربری سرزمین و مطالعات اخیر، به‌نظر می‌رسد که افزایش ناگهانی نیترات، آمونیوم، فسفات و کلیفرم مدفوعی در پایین‌دست رودخانه می‌تواند ناشی از ورود پساب‌های شهری و زه‌آب‌های کشاورزی باشد که در نقاط انتهایی حالت تجمعی پیدا کرده است (طبق نمودار دندروگرام، ایستگاه‌های نمونه‌برداری در فاصلهٔ مشابهت ۲۴ به سه خوشهٔ معنی‌دار گروه‌بندی شده‌اند). ایستگاه‌های نمونه‌برداری در یک خوشه اغلب بیانگر این است که ویژگی‌های محیط زیست این نقاط به همدیگر شبیه است. خوشه‌های دوم و سوم دارای طول زیرخوشهٔ کوتاه هستند که بیانگر تشابه درون‌گروهی در این خوشه‌ها می‌باشد. این در حالی است که تفاوت درون‌گروهی آنها نیز ناچیز است. خوشهٔ اول شامل ایستگاه ۱ می‌باشد که منابع آلاینده در این نقاط کم و در خروجی سد گلستان می‌باشد. ایستگاه‌دوم در فصول مختلف در خوشهٔ دوم قرار دارند. این ایستگاه‌ها به مزارع کشاورزی و در محدوده زباله‌های روستایی واقع شده‌اند. خوشهٔ سوم شامل ایستگاه‌های ۴ و ۵ می‌باشد که طبق کیفیت آب در این نقاط عمدتاً تحت مطالعات اخیر تأثیر فاضلاب شهری بوده است (شکل ۳).

نتیجه‌گیری

در صورت عدم توجه به توسعه پایدار و میزان نیاز آبی محیط زیست رودخانه، خطراتی همچون مسمومیت برای انسان، شیوع بیماری و کاهش کیفیت آب برای فعالیت‌های آبزی‌پروری حاصل

1. most probable number

خواهد شد (۱۷). عدم رعایت نکات بهداشتی (عدم فیلتر کردن پساب آبزی‌پروری و وجود زباله‌های انسانی در حریم رودخانه) و توسعه کشاورزی با نیاز آبی بالا می‌بایست در راستای توان اکولوژیکی منطقه صورت پذیرد، در غیر این‌صورت موجب افزایش آلودگی و کاهش خود پالایی می‌شود. با توجه به این‌که رودخانه محمدآباد از مهم‌ترین منابع تأمین آب مورد نیاز آبزی‌پروری (پرورش ماهی سردآبی) و کشاورزی در استان گلستان می‌باشد، لذا پایش و کنترل آلاینده‌های ورودی به این رودخانه ضروری است. در این مطالعه کیفیت آب حوضه محمدآباد کتول بر اساس شاخص IRWQI نسبتاً خوب تا نسبتاً بد می‌باشد. تغییرات فصلی، تأثیر بسزایی در کیفیت آب داشته‌اند؛ به نحوی که در فصل تابستان بدترین کیفیت و در فصل پاییز بهترین کیفیت آب را دارا می‌باشد، ولی به‌طور کلی میزان تغییرات کیفیت آب بازه پراکنده‌ای را ندارد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان " بررسی تاثیر مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا بر کیفیت آب رودخانه (مطالعه‌ی موردی: رودخانه محمدآباد کتول) با استفاده از شاخص IRWQI" در سال ۱۳۹۷ است که با حمایت دانشگاه گنبد کاووس و همکاری اداره محیط زیست استان گلستان اجرا شده است.

References

1. Aazami J, Sari AE, Abdoli A, Sohrabi H, Van den Brink PJ. Assessment of ecological quality of the Tajan River in Iran using a multimetric macroinvertebrate index and species traits. Environmental management. 2015;56(1):260-69.
2. Ehteshami M, Biglarijoo N, Salari M. Assessment and Quality Classification of Water in Karun , Dez and Karkheh Rivers. Journal of River Engineering 2014; 2(8):23-30.
3. Hossieni P, Ildoromi AR, Hossieni AR. Assimilative capacity of the River Karun using index NSFWQI in the rang Zergan-Kut Amir (during the 5 year). Human and Environment 2013; 11(25):1-11. (In Persian)
4. Salari M, Radmanesh F, Zarei H. Quantitative and qualitative assessment of Karoon River water using NSFWQI index and AHP method. Journal of Human and Environment 2012; 23(34):13-22. (In Persian)
5. Hushmand A, Syed cable H, Delqandi M. Review changes to the water quality index (WQI) and the effective parameters (period Mlasany- Karun River Ahwaz), Conference and Exhibition of Environmental Engineering, Tehran University, Iran 2008. (In Persian)
6. Effendi, H. River water quality preliminary rapid assessment using pollution index, Procedia Environment Science 2016; 33: 562-7.
7. Hoseinzadeh, E., Rahimi, N., Rahmani, Al. Quality assessment of takab Sarugh River right branch by wilcox index and its Zoning Using Geographical information system, J Mazandaran Univ Med Sci (JMUMS) 2013; 23(103): 77-8. (Persian)
8. Farzadkia, M., Poureshgh, Y., Joneidijafari, A. Water quality of Aghlaghan River based on NSFWQI index and zoning it by Geographic Information System (GIS). J Occup Environ Health 2016; 1(1): 68-78. (Persian)
9. Samadi J. Survey of Spatial-Temporal Impact of Quantitative and Qualitative of Land Use Wastewaters on Choghakhor Wetland Pollution Using IRWQI Index and Statistical Methods. Iranian Water Resour Res (IR-WRR) 2016; 11(3): 159–71. (In Persian).
10. Sadeghi M, Bay A, Bay N, Soflaie N, Mehdinejad MH, Mallah M. The survey of Zarin-Gol River water quality in Golestan Province using NSF-WQI and IRWQISC. Journal of Health in the Field 2015; 3(3):27-33 (In Persian)
11. Sabahi H, Faizi M, Veisi H, Asilan K. Study on the influence of agricultural activities on water quality of Sikan. Environmental Sciences. 2010; 7(4):23-30
12. Rosli NA, Zawawi MH, Bustami RAJPE. Salak River water quality identification and classification according to physico-chemical characteristics. 2012; 50:69-77.
13. Tekinay, A. A., Guroy, D., Cevik, N.. The environmental effect of a land- based trout farm on Yuvarlakcay, Turkey. Ekologi 2009; 19(73), 65-70.
14. Husseini, M. Sedimentology of the Mohammadabad catchment (Golestan province) First Edition Reyhani Publications, Gorgan. 2009.
15. Alizade M. Water pollution; an expertimental approach.

The introduction of laboratory methods to measure water pollution. Tripathi, B.D, 1st edition, Mojesabz. . 2003:85 p (in Persian)

16. Association APH, Association AWW, Federation WPC, Federation WE. Standard methods for the examination of water and wastewater: American Public Health Association.; 2017.
17. Ouyang Y. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. Water research. 2005; 39(12):2621-35.
18. Camargo, J.A., Gonzalo, C., Alonso, A. Assessing trout farm pollution by biological metrics and indices based on aquatic macrophytes and benthic macroinvertebrates: a case study. Ecology Indicators 2011; 11, 911-917.
19. Abbaspour, M., Javid, A. H. and Habibi, A. Determination of Physical & Chemical Properties of Water of Khersan River & Investigation on Its Yearly Changes. Journal of Environmental Science and Technology 2014; 15(4): 1-11.
20. Khalaji M, Ebrahimi Dorche E, Hasheminejad H. Water Quality Assessment of Zayande-Rood's Dam Lake using Water Qualitative Index in 2013. Journal of Water and Soil Science. 2017; 21 (1) :265-277.
21. Aminpour Shiani, S., Mohammadi, M., Khaledin, M. R., Mir Roshandel, A. A. Water quality evaluation of Gazroudbar River using NSFWQI and Liou indices. Wetland Ecobiology. 2016; 8 (1):63-74.
22. Gholizadeh M, Alinejad M. Assessment of spatial variability of some parameters affecting three water quality of Zarin Gol River in Golestan Province. Environmental Sciences. 2018;16(1):111-26
23. Mirzaie M, Nazari AR, Yari A. Quality zoning of Jajrood River. Journal of Environmental Studies. 2006; 31(37):17-26.