ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌های بابلرود و خرون جهت زیست آبزیان و پرورش ماهی براساس شاخص BCWQI

• **علی بهمنش***: گروه محیط زیست، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران

تاریخ دریافت: خرداد ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۳۹۸

چکیده

با توجه به اهمیت رودخانه‌های بابلرود و خرون در تامین آب کشاورزی و پرورش ماهی اطراف این رودخانه‌ها و هم‌چنین تخلیه آلاینده‌های متعدد به آن‌ها، ارزیابی کیفی آب این رودخانه‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. از طرفی ارائه تصویر صحیح از وضعیت کیفی آب‌های سطحی باعث می‌گردد تا هرگونه تصمیم‌گیری مدیریتی که اثرات زیست محیطی آن به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم متوجه آب‌های سطحی کشور باشد، با آگاهی بیش‌تری اتخاذ گردد. در این تحقیق که از نوع مقطعی می‌باشد، نمونه‌برداری در طی یک دوره یک‌ساله (از شهریور ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۳۹۸)، از هفت ایستگاه در رودخانه‌های بابلرود و خرون و به‌صورت ماهانه انجام پذیرفت. پاراسنجه‌های مورد مطالعه عبارت بودند از: اسیدیته، هدایت الکتریکی، درجه حرارت، کل مواد جامد معلق، اکسیژن محلول، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، نیتریت، نیترات، فسفات، کلرید، یون سولفات و کلی‌فرم مدفوعی و برخی از فلزات سنگین، شامل کبالت، سرب، منگنز، روی، آهن، کروم و نیکل که به‌صورت فصلی مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از شاخص کیفی BCWQI تجزیه و تحلیل گردید. براساس شاخص BCWQI، کیفیت کلی آب رودخانه در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه برای آبزیان و پرورش ماهی ضعیف ولی جهت مصارف کشاورزی، متوسط ارزیابی گردید. به‌طوری‌که از نظر pH، درجه حرارت و املاح محلول مساعد بوده ولی از نظر اکسیژن محلول جهت آبزیان در حد نامساعد ارزیابی گردید. هم‌چنین به‌علت کدورت آب در ۲ رودخانه و تقریباً تمام طول دوره مطالعه ضمن اثر منفی بر فتوسنتز در جوامع آبزیان، باعث افزایش استرس می‌شود. درخصوص املاح محلول عمدتاً در محدوده قابل قبول قرار داشتند. فلزات سنگین نیز تقریباً در تمام ایستگاه‌ها بیش از حد مجاز وجود داشته‌اند که شرایط نامناسب را از نظر سلامتی ایجاد می‌کند. در چنین شرایطی لازم است تا کارهای پیشگرانه و احتیاطی جهت حفظ اکوسیستم درنظر گرفته شود.

کلمات کلیدی: بابلرود، خرون، BCWQI، فلزات سنگین، اکوسیستم، آبزیان

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Ali.Behmansh@yahoo.com

مقدمه

رودخانه‌ها به‌عنوان بخشی از ثروت ملی و طبیعی کشور ایران از اهمیت خاصی برخوردارند و هرگونه معضل آلودگی در رودخانه‌ها قابل تأمل و بررسی است. بنابراین از وقایع مهم در بوم‌سازگان آبی، مطالعه آثار آلودگی‌ها بر روی کیفیت آب و تنوع و پراکنش زیستی ساکنان رودخانه می‌باشد (Humpesch و Fesl، ۲۰۰۲). رودخانه‌ها از قدیم مورد توجه جوامع بشری بوده و با گذشت زمان و در نتیجه افزایش استفاده از منابع آبی، شرایط کیفی رودخانه‌ها تغییر یافت. پایش آب‌های سطحی ضروری می‌باشد تا آبی با کیفیت در دسترس قرار گیرد. عدم توجه به کیفیت شیمیایی آب می‌تواند باعث آسیب‌های بهداشتی و اقتصادی فراوانی گردد. پایش کیفیت آب رودخانه‌ها در کشور به‌طور اصولی دنبال نشده و تنها اطلاعات مقطعی برای تعدادی از رودهای کشور وجود دارد (فرزادکیا و همکاران، ۱۳۹۴). با گذشت زمان و گسترش جوامع انسانی و به‌تبع آن افزایش استفاده از منابع آبی باعث تغییر شرایط کیفی آب رودخانه‌ها شده در این رابطه سنجش و تحلیل و تفسیر داده‌های کیفی رودخانه‌ها به‌طور منظم این امکان را فراهم می‌سازد تا شیوه‌های مدیریتی صحیح اتخاذ گردد (شوکت و همکاران، ۱۳۹۷). از میان شاخص‌هایی که برای ارزیابی کیفیت آب به‌کار می‌رود، شاخص BCWQI (British Columbia Water Quality Index) به‌دلیل دقت بالا، سادگی و وسعت کاربرد، به‌عنوان شاخص برتر انتخاب شد. در گذشته تحقیقات زیادی روی ارزیابی کیفی آب رودخانه‌ها انجام شد. شاخص کیفی BCWQI به‌عنوان یک شاخص افزایشی، در سال ۱۹۹۵ توسط وزارت محیط زیست، پارک‌ها و زمین کانادا برای ارزیابی کیفیت آب انجام شد (ویسی و همکاران، ۱۳۹۸). در این روش، پارامترهای کیفی آب با یک حدمعین سنجیده‌شده و میزان تجاوز از آن تعیین می‌گردد. این حد می‌تواند رهنمودهای توصیه شده برای حفظ قابلیت بهره‌برداری آب در طراحی مورد نظر و یا هر استانداردی که میزان مصارف مختلف در آن مطرح است را دربر گیرد. بنابراین یکی از مزایای این روش استفاده از استانداردهای هر حوزه، منطقه و یا کشور می‌باشد و این امکان را می‌دهد تا براساس تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده موجود در هر استاندارد، طبقه‌بندی کیفی صورت گیرد (مفتاح‌هلقی، ۱۳۹۰).شاخص موضوعی کیفیت آب BCWQI جهت ارزیابی آب‌های سطحی جهت آبزیان و پرورش ماهی مناسب و کاربردی معرفی شده است (Gato، ۲۰۱۱). مطالعات متعددی بر روی ارزیابی کیفی رودخانه‌های کشور انجام شده که برخی از آن‌ها عبارتند از: فرزادکیا و همکاران (۱۳۹۴) با پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه بابلرود بر مبنای شاخص کیفی NSFWQI و نرم‌افزار GIS مشخص کردند که براساس شاخص NSFWQI، کیفیت آب رودخانه در بالادست خوب و میان دست و پایین‌دست متوسط بوده و عامل انسانی مهم‌ترین عامل آلودگی رودخانه و کاهش کیفیت آن بوده است. مفتاح‌هلقی (۱۳۹۰) با مطالعه پهنه‌بندی کیفی آب با استفاده از شاخص‌های متفاوت کیفی رودخانه اترک نتیجه گرفتند که شاخص‌های کیفی نشان می‌دهد به‌جز اولین ایستگاه بالادست که در تمامی فصل‌ها از وضعیت به نسبت خوبی برخوردار است، سایر ایستگاه‌ها در شرایط متوسط تا بد می‌باشد. روش NSFWQI شرایط را به نسبت مناسب و روش سید به‌طور عمده با تغییر جزیی سیاست‌های مدیریتی نتیجه می‌دهد، بنابراین نتایج این دو روش در این منطقه یکسان به‌نظر می‌رسد ولی نتایج روش BCWQI که شرایط را مناسب تا ضعیف نتیجه می‌دهد، کمی محافظه کارانه‌تر از دو روش دیگر می‌باشد. رمضانی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی کیفی رودخانه تالار قائمشهر براساس شاخص NSFWQI نشان دادند که بهترین وضعیت مربوط به ایستگاه بالادست و بدترین وضعیت مربوط به ایستگاه پایین‌دست بوده است. براساس آنالیز آماری مشخص گردید که رابطه معنی‌داری بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری و شاخص‌های مورد مطالعه وجود دارد. از نظر مصرف شرب، آب ایستگاه بالادست نسبت به دیگر ایستگاه‌ها مناسب‌تر بود. وثوقی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی کیفیت آب رودخانه کلارود (استان مازندران) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر این بود که کیفیت آب رودخانه بر اساس راهنمای کیفی آب برای مقادیر مختلف آلودگی آلی، در بالادست دارای شرایط خیلی خوب (احتمال وجود آلودگی آلی در حد بسیار جزیی) و در میان‌دست و پایین‌دست با شرایط خوب (احتمال وجود آلودگی آلی در حد جزیی) ارزیابی شد. بنابراین با توجه به این که آب رودخانه‌های بابلرود و خرون، استفاده‌های کشاورزی، صنعتی، ماهیگیری و... دارد، هدف این تحقیق ارزیابی کیفی آب رودخانه و شناسایی منابع آلوده کننده آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

بابلرود یکی از رودهای پر آب شمال ایران است که در استان مازندران قرار دارد. این رود از کوه‌های البرز سرچشمه گرفته و پس از گذراز شهرستان‌های بابل و بابلسر به دریای مازندران می‌ریزد (غفاری، ۱۳۸۳). بابلرود حدود ۷۸ کیلومتر طول دارد، مساحت حوزه آبریز آن ۱۶۵۹ کیلومترمربع بوده و متوسط آبدهی رودخانه ۹ مترمکعب در ثانیه اندازه‌گیری شده است. این رودخانه پس از عبور از جنگل‌ها و شالیزارهای غرب بابل، در بابلسر به دریای خزر می‌ریزد. عمق این رود در قسمت‌های مرکزی بسیار کم و در هنگام ریختن به دریا بسیار زیاد

است (نصراللهی‌هریکنده و همکاران، ۱۳۹۰). رودخانه خرون رود یکی از منابع آبی در حوزه میانی بابلرود است که به آن می‌ریزد (شکل ۱) (مهاب قدس، ۱۳۸۱) و این رودخانه علاوه بر تامین آب مورد نیاز کشاورزان، جذابیت‌های ویژه‌ایی برای گردشگران را به‌وجود آورده است. در گذشته ماهیگیری در این رودخانه مرسوم بوده است که به مرور زمان و کم عمق شدن آن ماهی چندانی در آن یافت نمی‌شود.

شکل ۱: نقشه موقعیت رودخانه‌های بابلرود و خرون رود

در مجموع ۷ ایستگاه جهت پایش رودخانه انتخاب شدند، نمونه‌برداری در طی یک دوره یک‌ساله (از شهریور ۹۷ تا شهریور ۹۸) و به‌صورت ماهانه انجام پذیرفت. موقعیت دقیق ایستگاه‌ها با استفاده از موقعیت‌یاب ماهواره‌ای (Global Position System=GPS) مشخص گردید (جدول ۱).

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها	
۱	قرآن تالار	۵۲° ۴۶'E	۳۶° ۱۸'N
۲	انارستان	۵۲° ۴۹' E	۳۶° ۲۴'N
۳	پل محمدحسن خان	۵۲° ۲۹' E	۳۶° ۳۱'N
۴	امیرکلا	۵۲° ۳۹' E	۳۶° ۳۵'N
۵	بابلسر مصب	۵۲° ۳۸' E	۳۶° ۴۲'N
۶	خرون	۵۲° ۳۵' E	۳۶° ۲۹'N
۷	پل حبیبی	۵۲° ۳۹' E	۳۶° ۳۹'N

اندازه‌گیری‌های در طول ۱۲ ماه با روش استاندارد متد جهت مطالعه‌فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی صورت گرفت.دما، pH، اکسیژن محلول و کدورت در محل و سایر پارامترها در آزمایشگاه حفاظت محیط زیست مازندران آنالیز گردید. TDS، EC، درجه حرارت آب و PH به‌وسیله دستگاه مولتی‌متر دیجیتال ضدآب شرکت HANA، DO به‌وسیله دستگاه اکسیژن‌متر پرتابل مدل ProfiLine Oxi۳۲۰۵ کمپانی WTW، TSS توسط دستگاه اسپکتروفتومتر HACH، BOD_5 با دستگاه مدل WTWTS ۶۰۶/۲-I، اندازه‌گیری شدند. مولفه COD، نیز با روش آزمون ASTMD۵۹۰۷ مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. هم‌چنین پارامترهای آنیونی و کاتیونی نظیر نیترات، آمونیوم، نیتریت، فسفات، سولفات، کلسیم و کلراید با دستگاه کروماتوگراف یونی و روش آزمون ISO۱۰۳۰۴ اندازه‌گیری شدند.کربنات و بی‌کربنات با متد تیتراسیون اسپکتوفتومتریک و یون سولفات با استفاده از GBC UV-VIS 911 اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری شدند (APHA، ۲۰۰۳). اندازه‌گیری منیزیم سدیم، پتاسیم، آهن، سرب، منگنز، نیکل، روی، مس، کروم و کبالت توسط دستگاه جذب اتمی به روش کوره گرافیتی انجام شد (سلگی و شیخزاده، ۱۳۹۵). کلی‌فرم‌های مدفوعی با روش صافی‌های غشایی و با کمک دستگاه پمپ خلاء مدل Milipore و دستگاه انکوباتور کشت میکروبی مدل WTE Binder در ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه محاسبه گردید (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۱). ارزیابی ویژگی‌های آب جهت آبزیان و پرورش ماهی با استفاده از پارامترهای فوق‌الذکر و با کمک شاخص BCWQL تعین گردید. شاخص BCWQI افزایشی است. این شاخص در سال ۱۹۹۵ توسط وزارت محیط زیست، پارک‌ها و زمین کانادا برای بررسی کیفیت آب طراحی شد (BCWQI، ۱۹۹۶). این روش با یک حد معین سنجیده شده و مقدار عددی بالاتر از آن حد تعیین می‌گردد. این حد می‌تواند رهنمودهای توصیه شده برای حفظ قابلیت بهره‌برداری از آب را در طراحی موردنظر و یا هر استانداردی که میزان مصارف مختلف آب در آن مطرح است را در برگیرد. بنابراین امکان این را می‌دهد تا براساس پارامترهای اندازه‌گیری شده موجود در هر استاندارد، طبقه‌بندی کیفی صورت گیرد. روش شاخص کیفی BCWQI به‌منظور کیفیت آب برای مصارف شرب و کشاورزی است که وضعیت کیفی آب را با یک عدد تعریف می‌کند. در این روش، پارامترهای کیفی آب با یک حد معین سنجیده شده و میزان تجاوز از آن تعیین می‌شود. با توجه به استانداردهای خروجی فاضلاب از طرف سازمان حفاظت محیط زیست، به استناد ماده پنج آیین نامه جلوگیری از آلودگی آب مورخ ۷۳/۹/۵ حد مجاز برای مصرف در کشاورزی و شرب تعیین شده است (سایت آبفای استان تهران). برای محاسبه شاخص نهایی از رابطه ۱ استفاده می‌شود (BCWQI، ۱۹۹۶؛ Khorbane و همکاران، ۲۰۱۳). که از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۱:

$$BCWQI = \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + \left(\frac{F_3}{3}\right)^2}}{1/453}$$

که در آن F1 درصد پارامترهایی که از حد معین تجاوز نموده‌اند، F2 تعداد دفعاتی از هر دوره نمونه‌برداری که یکی یا بیش‌تر از یکی از پارمترها از حد استاندارد تجاوز کرده و به‌صورت درصدی از کل دفعات نمونه‌برداری بیان می‌شود. F3 پارامتری که بیش‌ترین تجاوز از حد استاندارد را در طی دوره نمونه‌برداری داشته و به‌صورت درصدی از دفعات تجاوز از حد استاندارد به دفعات نمونه‌برداری می‌باشد که به‌صورت درصد تخطی مقدار اندازه‌گیری شده حداکثر مجاز/ مقدار اندازه‌گیری شده به‌دست می‌آید، ماکزیمم تخطی از حد معین است (رابطه ۲). این حد استاندارد توصیه شده برای مصارف مختلف آب می‌باشد که می‌تواند منطقه‌ای یا حوزه‌ای یا کشوری باشد و این امکان را می‌دهد تا براساس تمام پارامترهای اندازه‌گیری شده موجود در هر استاندارد طبقه‌بندی کیفی صورت گیرد.

رابطه ۲: =درصد تخطی

[مقدار اندازه‌گیری شده/(حدماکزیمم‌مجاز-مقداراندازه‌گیری‌شده)] × ۱۰۰

عدد ۱/۴۳۵ برای حصول اطمینان از رسیدن ماکزیمم عدد شاخص BCWQI به عدد ۱۰۰ انتخاب شده است. جدول ۲ بیان‌کننده حالات کیفی براساس مقدار شاخص BCWQI است:

جدول ۲: توصیف کیفی شاخص BCWQI (BCWQI، ۱۹۹۶؛ Khorbane و همکاران، ۲۰۱۳)

مقدار شاخص	توصیف کیفی
۰-۳	عالی
۴-۱۷	خوب
۱۸-۴۳	مناسب
۴۴-۵۹	متوسط
۶۰-۱۰۰	ضعیف

تجزیه و تحلیل داده‌ها: جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS ۱۶ استفاده شد. پیش از شروع آزمایش نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون S-K مورد بررسی قرار گرفت. جهت مقایسه میانگین بین داده‌ها از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه و آزمون t استفاده شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۰ رسم شدند.

نتایج

بعد از انجام آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه‌های مطالعاتی، میانگین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در ایستگاه‌های مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، میانگین میزان فسفات در ایستگاه‌های ۱ و ۲ اختلاف معنی‌داری با سایر ایستگاه‌های مورد بررسی دارد ($p<0/05$). میانگین میزان نیترات در ایستگاه‌های ۱ و ۷ اختلاف معنی‌داری با سایر ایستگاه‌های مورد بررسی دارد ($p<0/05$). میانگین مقدار جامدات کل در ایستگاه ۶ یعنی خرون از همه ایستگاه بالاتر بوده و اختلاف معنی‌داری با سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد ($p<0/05$). میانگین میزان کدورت در همه ایستگاه بالا بوده و تفاوت معنی‌داری بین ایستگاه‌های مورد بررسی دیده نشد ($p>0/05$). میانگین درجه حرارت در ایستگاه ۲ معادل ۱۶/۰±۵/۰۶ بوده و اختلاف معنی‌داری با سایر ایستگاه‌ها دارد ($p<0/05$). میانگین مقدار اکسیژن محلول در ایستگاه‌های ۱ و ۶ اختلاف معنی‌داری با سایر ایستگاه‌های مورد بررسی دارد ($p<0/05$). میانگین BOD_5 در ایستگاه ۲ معادل ۰/۳±۰/۲۸ بوده و اختلاف معنی‌داری‌با سایرایستگاه‌های مورد بررسی دارد ($p<0/05$). میانگین میزان هدایت الکتریکی در ایستگاه‌های ۳ و ۶ با سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری دارد ($p<0/05$). میانگین pH در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت ($p>0/05$). بررسی‌ها نشان داد که میزان کلی‌فرم مدفوعی در ایستگاه ۱ با سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری دارد ($p<0/05$). با توجه به اطلاعات به‌دست آمده و تجزیه و تحلیل آماری آن آب دو رودخانه از نظر PH، یون نیترات و فسفات دارای کیفیت خوبی جهت آبزیان و پرورش ماهی بوده هم‌چنین مقدار نمک‌های معدنی محلول در آب رودخانه‌ها در حد قابل قبولی برای رشد ماهیان می‌باشد. ولی بعضی از یون‌ها (MPC) بیش‌تر از حد مجاز برای پرورش ماهی هستند. به‌علت وجود مواد جامد معلق در دو رودخانه و تقریباً در تمام مدت مطالعه آب دو رودخانه کدر بوده که ضمن اثر منفی بر فتوسنتز باعث استرس در جوامع ماهیان می‌شود مقدار اکسیژن محلول آب در دو رودخانه جهت اکثر موجودات آبزی نامساعد ارزیابی می‌شود. مقدار مواد ارگانیک در تمام ایستگاه‌های رودخانه بابلرود و خرون برای پرورش ماهی و آبزیان نامساعد بودند مقدار این مواد با تخلیه پساب‌های مختلف به طرف پایین‌دست افزایش یافته و در مصب به حداکثر خود می‌رسد. براساس شاخص BCWQI کیفیت آب رودخانه در تمام ایستگاه‌ها از نظر پرورش ماهی و آبزیان ضعیف (جدول ۴) و در تمام ایستگاه‌ها براساس همین شاخص آب رودخانه‌ها از نظر آبیاری در کشاورزی متوسط ارزیابی گردید (جدول ۴).

جدول ۳: میانگین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه

پارامتر	ایستگاه‌ها						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
فسفات (میلی‌گرم در لیتر)	۰/۰±۱۸/۰۰۱ a	۰/۰±۱۲/۰۰۱ a	۰/۰±۳۶/۰۰۲ c	۰/۰±۴۵/۰۰۱ d	۰/۰±۳۴/۰۰۲ c	۰/۰±۲۴/۰۰۱ b	۰/۰±۳۰/۰۰۱ b
نیترات (میلی‌گرم در لیتر)	۲/۰±۰۵/۱۷ b	۱/۰±۶۸/۱۸ a	۱/۰±۷۴/۱۲ a	۱/۰±۶۴/۱۱ a	۱/۰±۹۷/۱۳ a	۱/۰±۵۲/۱۵ a	۲/۰±۱۷/۱۴ b
جامدات کل (میلی‌گرم در لیتر)	۳۰۵/۰±۱۵/۳۵b	۲۰۶/۰±۳۳/۹۲a	۲۴۴/۰±۶۶/۳۳a	۳۲۲/۰±۶۶/۴۹b	۲۰۵/۰±۹۹/۲۰a	۴۲۰/۰±۲۸/۱۷c	۳۹۷/۰±۵۷/۶۱b
کدورت (NTU)	۱۱۲/۰±۶۵/۱۲	۲۱۲/۰±۴۷/۰۷	۳۱۵/۰±۴۶/۰۹	۵۰۲/۰±۸۹/۱۱	۶۳۵/۰±۶۶/۱۰	۴۸۷/۰±۳۳/۱۵	۵۲۸/۰±۰۸/۰۷
دما (سانتی‌گراد)	۲۲/۰±۷۳/۱۵ a	۱۶/۰±۵/۰۶ b	۲۰/۰±۰۴/۱۳ a	۲۴/۰±۱۴/۱۹ a	۲۱/۰±۰۷/۱۰ a	۲۲/۰±۲۵/۰۸ a	۲۵/۰±۰۱/۱۴ a
DO (میلی‌گرم در لیتر)	۹/۱±۰۳/۱۳ a	۷/۱±۶/۰۷ b	۵/۲±۳۵/۱۵ c	۴/۳±۱۸/۰۹ d	۵/۲±۹۸/۳۱ c	۸/۱±۵/۱۸ a	۷/۱±۸/۰۸ b
BOD5 (میلی‌گرم در لیتر)	۰/۰±۸/۱۷ b	۰/۰±۳/۲۸ a	۰/۰±۹/۲۶ b	۰/۰±۹/۱۹ b	۰/۰±۷/۱۲ b	۱/۰±۷۶/۱۱ c	۴/۰±۸/۲۱ d
EC (سانتی‌متر در میکروزیمنس)	۴۳۹/۵±۲۲/۷۷a	۴۹۲/۵±۲۴/۱۶a	۵۱۵/۷±۹۷/۳۴b	۴۹۷/۴±۲۰/۱۷a	۴۳۰/۴±۸۱/۶۱a	۵۲۴/۳±۳۸/۲۸b	۴۷۳/۲±۵۲/۹۹a
pH	۷/۰±۹۶/۱۵	۷/۰±۸۷/۱۱	۷/۰±۹۸/۱۰	۷/۰±۸۱/۱۹	۷/۰±۸۹/۳۱	۷/۰±۸۵/۱۸	۷/۰±۹۱/۲۳
کلی‌فرم مدفوعی (MPN per100)	۴۲۲/۰±۵/۱۷ c	۱۲۱/۰±۶۶/۶۵a	۱۰۵/۰±۰/۴۵ a	۲۰۲/۰±۱۴/۸۹b	۲۵۱/۰±۶۳/۸۳b	۱۸۶/۰±۶/۴۹ a	۱۳۷۰/۰±۰/۵۶d

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار می‌باشد (P>۰/۰۵).

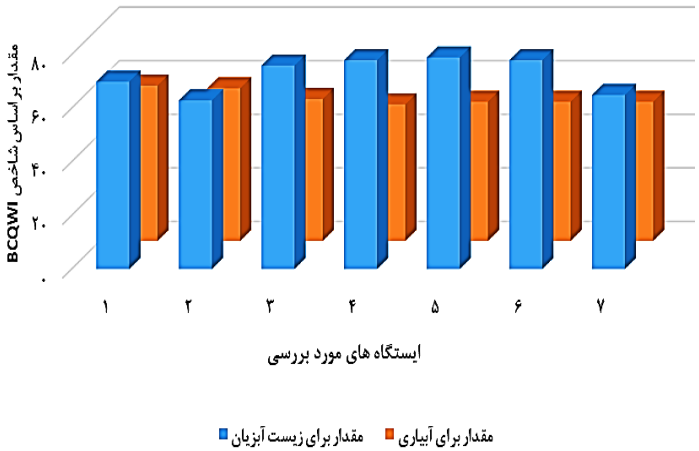
جدول ۴: ارزیابی کیفیت آب رودخانه بابلرود و خرون جهت زیست آبزیان و آبیاری براساس شاخص BCQWI

جهت زیست آبزیان			جهت آبیاری		
ایستگاه	مقدار	توصیف	ایستگاه	مقدار	توصیف
بابلرود					
۱	۷۰	ضعیف	۱	۵۸	متوسط
۲	۶۳	ضعیف	۲	۵۷	متوسط
۳	۷۶	ضعیف	۳	۵۳	متوسط
۴	۷۸	ضعیف	۴	۵۱	متوسط
۵	۷۹	ضعیف	۵	۵۲	متوسط
خرون					
۶	۷۸	ضعیف	۶	۵۲	متوسط
۷	۶۵	ضعیف	۷	۵۲	متوسط

فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در تمام ایستگاه‌ها از حد مجاز تجاوز کرده‌اند که سلامت آبزیان و ماهی تحت تأثیر آن بوده و بسیار مخاطرآمیز می‌باشد (جدول ۵).

جدول ۵: مقادیر نسبی دفعاتی که فلزات سنگین در ایستگاه‌ها منتخب از حد معمول تجاوز کرده‌اند

فلز	رودخانه بابلرود	رودخانه خرون
سرب	۴۰-۳۱۰ برابر	۵-۲۱۰ برابر
روی	۳۰-۱/۳ برابر	۲۹/۳-۱/۷ برابر
آهن	۵۵/۷-۱/۰۲ برابر	۴۳/۶-۱/۶۵ برابر
منگنز	۶/۳-۲ برابر	۴/۶-۲ برابر
کرومم	۴۰-۲/۵ برابر	۱۶۰-۲/۵ برابر
نیکل	۲۷/۶-۱/۲ برابر	۳۲ -۱/۲ برابر



شکل ۲: نمودار روند تغییرات شاخص BCQWI در ایستگاه‌های مورد بررسی

بحث

با توجه به شرایط کیفی آب رودخانه‌های بابلرود و خرون براساس اطلاعات اندازه‌گیری شده و براساس نتایج به‌دست آمده، به‌نظر می‌رسد که رودخانه‌های بابلرود و خرون در معرض آلودگی‌های مسیر خود قرار گرفته‌اند که می‌توان این‌گونه تحلیل کرد: کم‌ترین میزان فسفات در ایستگاه ۴ و بیش‌ترین میزان آن در ایستگاه ۲ بود. دلیل افزایش یون فسفات در بیش‌تر ایستگاه‌ها، استفاده از کودهای شیمیایی و تخلیه فاضلاب به‌داخل رودخانه می‌باشد. فرزادکیا و همکاران (۱۳۹۴) نیز در تحقیقی بر روی پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه بابلرود به نتایج مشابه‌ای دست یافتند. هم‌چنین زززولی و علم‌قلیلو (۱۳۹۱) در بررسی کیفیت آب شهر خوی و منابع آب شهر کهگیلویه، دفع فاضلاب شهری و استفاده غیراصولی از کودهای

شیمیایی را عمده‌ترین منابع افزایش‌دهنده یون نیترات در آب ذکر کردند (زولی و همکاران، ۱۳۹۲). در تمامی نقاط نمونه برداری از رودخانه، pH آب خنثی و کمی قلیایی و بین ۷/۸۱±۰/۱۹ تا ۷/۹۸±۰/۱۰ بوده است. در این مطالعه نیز نوسانات pH بسیار کم بود و در حد قابل‌قبول جهت آبزی‌پروری می‌باشد، ولی اغلب در کشورهای مختلف مقدار pH بین ۹-۶/۵ مورد قبول برای فعالیت‌های آبزی‌پروری بوده است (Stickney ، ۲۰۰۰). با توجه به استاندارد pH که برای آب شرب کم‌تر از ۹ و برای آبیاری ۸/۴-۶/۵ در نظر گرفته شده، محدوده pH آب رودخانه‌ها در تحقیق اخیر نشان می‌دهد که با استانداردهای pH آب آشامیدنی، آبیاری، صنعتی و تفریحی متناسب می‌باشد(رمضانی و همکاران، ۱۳۹۱). بیش‌ترین میزان غلظت اکسیژن محلول مربوط به ایستگاه ۱ می‌باشد و کم‌ترین میزان آن مربوط به ایستگاه‌های ۳ و ۵ است که علت آن می‌تواند ورود آلودگی‌ها در مسیر رودخانه‌های مورد مطالعه باشد که با نتایج صمدی و همکاران (۱۳۸۸) بر روی رودخانه دره مرادبیک همدان و محسنی‌بندپی و همکاران (۱۳۹۲) بر روی رودخانه گل‌گل ایلام و میرزایی و همکاران (۱۳۹۲) بر روی رودخانه‌های مازندران و فرزادکیا و همکاران (۱۳۹۴) بر روی رودخانه بابلرود مشابه می‌باشد. بیش‌ترین میزان BOD_5 در ایستگاه ۷ (معادل ۴/۸±۰/۲۱ میلی‌گرم در لیتر) بود که دلیل افزایش آن ممکن است ورود مواد آلی به رودخانه باشد که با نتایج مطالعات فرزادکیا و همکاران (۱۳۹۴) بر رودخانه بابلرود و رحمانی بر روی سیمینه رود مطابقت داشت. میزان کلی‌فرم مدفوعی در ایستگاه ۷، بیش‌ترین مقدار را داشت ($p<۰/۰۵$) که حاکی از عبور رودخانه از مراکز جمعیتی و ورود فاضلاب به رودخانه است که با نتایج نوربخش و همکاران (۱۳۸۷) و باقری و همکاران (۱۳۹۲) بر روی رودخانه‌های مازندران مشابه بود.

نتایج بررسی‌ها نشان داد که براساس شاخص BCWQI، کیفیت آب رودخانه در تمام ایستگاه‌ها از نظر پرورش ماهی و آبزیان ضعیف و در تمام ایستگاه‌ها براساس همین شاخص آب رودخانه‌ها از نظر آبیاری در کشاورزی متوسط ارزیابی گردید (جدول ۴).

به‌نظر می‌رسد کیفیت پایین ایستگاه‌ها از نظر فیزیکوشیمیایی، متأثر از کاربری‌های انسان‌ساخت هستند که منجر به افت کیفیت آب رودخانه‌ها شده‌است. دراغلب مطالعات ذکر شده، کاربری‌های مسکونی، فعالیت‌های کشاورزی، پساب‌ها و فاضلاب حاصل از آن‌ها، برداشت آب و شن و ماسه از رودخانه را عامل افت کیفیت دانسته‌اند (اسحقی تیموری و همکاران، ۱۳۹۲) که در مطالعه حاضر نیز ایستگاه‌های با کیفیت بد در معرض این کاربری‌ها قراردارند. علاوه بر کاربری اراضی، عوامل متعدد دیگری نیز وجود دارند که قادر به تغییر کیفیت آب‌های سطحی هستند که از این قبیل، می‌توان به شرایط آب و هوایی، نزولات جوی، تراکم جمعیت، تراکم دام، سنگ‌شناسی و خاکشناسی حوزه اشاره نمود (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۲).

به‌نظر می‌رسد تداوم وضع فعلی که باعث ایجاد مخاطرات جدی شده به همراه کاهش بارندگی در سال‌های اخیر می‌تواند حیات آبزیان این رودخانه را دچار خطر جدی نموده و نسبت گونه‌ها را تغییر داده بهبود اوضاع فعلی در جهت حفظ دخایر بسیار ضروری و نیازمند همکاری عمومی کلیه دستگاه‌ها و سازمان‌های ذیربط می‌باشد. شرایط موجود ادامه حیات بعضی از گونه‌های بومی را با شکل مواجه سازد هم‌چنین رودخانه بابلرود یکی از مسیرهای اصلی هدف مهاجرت ماهیان اقتصادی دریای خزر می‌باشد که جهت تخم‌ریزی و تولیدمثل آن را انتخاب نموده در سال‌های اخیر انواع آلودگی‌های تحمیل شده به رودخانه‌های حوزه جنوبی دریای خزر در کناره موانع فیزیکی موجود و صید غیرمجاز دست به دست هم داده و این ذخایر را دچار کاهش جدی نموده است که این موضوع وضع اقتصادی و اجتماعی را نیز تحت شعاع خود قرار داده است. به‌نظر می‌رسد هرچه سریع‌تر با کنترل منابع آلودگی این حوزه و جلوگیری از دخل و تصرف‌های انسانی و تغییر شیوه‌های رایج کشاورزی و روش‌های آبیاری بایستی به کمک آبزیان این رودخانه شتافت. امید است با به‌کارگیری مجموعه‌ای از عوامل لازم به‌صورت فوری در جهت حفظ اکوسیستم اقدام گردد.

بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست آمده توصیه می‌شود از نتایج به‌دست آمده جهت بهبود پایش رودخانه‌های استان مازندران استفاده گردد و به‌جای برداشت پارامترها با اطلاعات مشابه، از سایر پارامترهای کیفیت آب مانند پارامترهای بیولوژیکی کیفیت آب که قادرند ابعاد کیفی دیگری را به نمایش بگذارند، استفاده گردد. علاوه براین، مطالعه حاضر نمایش‌دهنده ایستگاه‌ها با وضعیت نسبی بدتر بوده است که نیاز به اقدامات مدیریتی جهت بهبود کیفیت آب رودخانه‌ها در این نواحی است. به‌طورکلی منابع آلاینده باعث کاهش کیفیت آب رودخانه در ایستگاه‌های مختلف شده که اتخاذ راهکارهای مناسب جلوگیری از ورود آلاینده‌ها ازجمله، مکان‌یابی مناسب محل دفن زباله‌ها و تخصیص اعتبارات لازم در این زمینه به‌منظور ساماندهی زباله‌های تولیدی و فضولات دامی، استفاده از سیستم‌های تصفیه‌ای کوچک مانند سپتیک تانک جهت تصفیه فاضلاب‌های تولیدی، حفاظت خاک و آبخیزداری و به‌کاربردن روش‌های اصولی در آبیاری اراضی کشاورزی، استفاده از اهرم‌های قانونی و مشوق‌ها و مشارکت مردمی به بهبود کیفیت آب آن کمک خواهد کرد.

منابع

۱. **اسحقی‌تیموری، م.؛ پاتیمار، ر.؛ نادری‌جلودار، م.؛ جعفریان، ح.ا. و قربان‌نصرآبادی، ر.، ۱۳۹۲.** ارزیابی کیفیت آب رودخانه بابلرود با استفاده از شاخص های زیستی. همایش ملی علوم جانوران آبزی. دانشگاه گیلان. رشت.

۲. **باقری، س.؛ قربانی، ر.؛ فضلی، ح. و ماهینی، ع.، ۱۳۹۲.** بررسی وضعیت کیفی رودخانه مهم مازندران با استفاده از شاخص NSFWQI. کنفرانس ملی مدیریت سیلاب، تهران.

۳. **رحمانی, ع.ر.، ۱۳۸۶،** تعیین کیفیت آب رودخانه‌های جاری در دشت همدان- بهار بر مبنای روش طبقه‌بندی ویلکوکس. دهمین همایش ملی بهداشت محیط. همدان، دانشگاه علوم پزشکی همدان.

۴. **رمضانی، م.؛ امیرنژاد، ر. و اصغرنیا، ح.، ۱۳۹۱.** بررسی کیفی رودخانه تالار قائمشهر براساس شاخص NSFWQI. اکوبیولوژی تالاب، دوره ۴، شماره ۱۴، صفحات ۳۱ تا ۴۳.

۵. **زززلی، م.ع.؛ برافراشته‌پور، م.؛ برافراشته‌پور، ز. و قلندری، و.، ۱۳۹۲.** تغییرات زمانی و مکانی غلظت نیترات و نیتریت منابع آب آشامیدنی شهرستان کهگیلویه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجله دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مازندران. جلد ۲۳، شماره ۱۰۹، صفحات ۲۵۸ تا ۲۶۳.

۶. **زززلی، م.ع. و علم‌قلیلو، م.، ۱۳۹۱.** بررسی کیفیت شیمیایی (نیترات، فلوراید، سختی و هدایت الکتریکی) آب آشامیدنی شهرستان خوی. مجله دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مازندران. جلد ۲۲، شماره ۲، صفحات ۸۰ تا ۸۴.

۷. **سلگی، ع. و شیخ‌زاده، ح.، ۱۳۹۵.** مطالعه کیفیت آب رودخانه ارس با استفاده از متغیرهای فیزیکی-شیمیایی. مجله تحقیقات منابع آب ایران. سال ۱۲، شماره ۳، صفحات ۲۰۷ تا ۲۱۳.

۸. **شوکت، پ.؛ موسوی‌ده‌موردی، س.س.؛ دهقان‌مدیسه، س. و موسوی‌ده‌موردی، ل.، ۱۳۹۷.** بررسی کیفیت آب رودخانه گرگر با استفاده از جوامع کفزی و شاخصBMWP . محیط زیست جانوری. دوره ۱۰، شماره ۳، صفحات ۳۵۷ تا ۳۶۸.

۹. **صمدی, م.ت.؛ ساقی، م.ح.؛ رحمانی، ع.ر. و ترابزاده، ح.، ۱۳۸۸.** پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه دره مرادبیک همدان براساس شاخص کیفی آب با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط. تهران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.

۱۰. **غفاری، ک.، ۱۳۸۳.** پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، مطالعه موردی رودخانه بابلرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه مازندران.

۱۱. **فرزادکیا، م.؛ ناصری، س.؛ رضایی‌کلانتری، ر.؛ اصغرنیا، ح.؛ گوهری، م.ر.؛ اسرافیلی، ع.؛ دادبان‌شهامت، ی. و قنبری، ن.، ۱۳۹۴.** پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه بابلرود بر مبنای شاخص کیفی NSFWQI و نرم‌افزار GIS. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. دوره ۲۵، شماره ۱۳۴، صفحات ۳۵۷ تا ۳۶۲.

۱۲. **محسنی‌بندپی. ا.؛ مجلسی، م. و کاظم‌پور، ع.، ۱۳۹۲.** بررسی کیفیت آب رودخانه گل گل ایلام براساس شاخص کیفی آب NSFWQI. فصلنامه بهداشت در عرصه. جلد ۱ ، شماره ۴، صفحات ۴۵ تا ۵۳.

۱۳. **مفتاح هلقی، م.، ۱۳۹۰.** پهنه‌بندی کیفی آب با استفاده از شاخص‌های متفاوت کیفی مطالعه موردی: رودخانه اترک. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. دوره ۱۸، شماره ۲، صفحات ۲۱۱ تا ۲۲۰.

۱۴. **مهاب قدس. ۱۳۸۱.** مطالعات ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح البرز، جلد اول، شرایط موجود زیست‌محیطی، شرکت سهامی آب منطقه‌ای مازندان و گلستان.

۱۵. **میرزایی، م.؛ ریاحی‌بختیاری، ع.ر.؛ سلمان‌ماهینی، ع. و غلامعلی‌فرد، م.، ۱۳۹۲.** آنالیز کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه‌های استان مازندران با استفاده از روش‌های چند متغیره آماری. مجله دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مازندران. جلد ۲۳، شماره ۱۰۸، صفحات ۴۱ تا ۵۲.

۱۶. **نوربخش، س.ج.؛ پوراصغر، م.؛ قنبری، ن.ا. و یدالهی، ع.ا.، ۱۳۸۷.** بررسی وضعیت کیفی شش رود خانه مازندران با استفاده از شاخص NSFWQI. دومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست. تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

۱۷. **وثوقی، ع.؛ وطن‌دوست، ص. و بابازاده، م.، ۱۳۹۳.** بررسی کیفیت آب رودخانه کلارود (استان مازندران) با استفاده از ماکروبنتوزها. علوم تکثیر و آبزی‌پروری. دوره ۲، شماره ۵، صفحات ۵۹ تا ۷۲.

۱۸. **نصراللهی‌هریکنده، ع.؛ گلبابایی‌کوتنایی، ف.؛ امینی‌راد، ح. و میرزایی، م.، ۱۳۹۰.** مدل‌سازی کیفی پارامترهای PH، BOD و DO رودخانه بابل‌رود توسط نرم‌افزار QUAL2K. پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران.

۱۹. **ویسی، ط.؛ احمدی‌فرد، ن.؛ آق، ن. و کمالی، م.، ۱۳۹۸.** تاثیر مزارع پرورش ماهی پالنگان بر جوامع بزرگ بی‌مهرگان کفزی

رودخانه سیروان با استفاده از شاخص‌های زیستی هیلسنهوف و شانون. محیط زیست جانوری. دوره ۱۱، شماره ۳، صفحات ۳۴۵ تا ۳۵۴.

۲۰. **APHA. 2003.** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health, Association, Washington DC, USA.

۲۱. **BCWQI. 1996.** Ministry of Environment, Lands, and Parks: The Water Quality Section. British Columbia Water Quality Status Report. Victoria, BC. 179 p.

۲۲. **Gatot, E.S.S., 2011.** Proposing Water Quality Index Calculation Method for Indonesian Water Quality Monitoring Program. International Journal of Engineering and Science. Vol. 2, No. 2, pp: 47-52.

۲۳. **Humpesch, U.H. and Fesl, C., 2002.** The effect of river bed management on the habitat structure and Macro invertebrate's community of a ninth order river, in Austria. Archir fur Hydrobiology Large Rivers. Vol. 13, No. 1, pp: 29-46.

۲۴. **Khorbane, S.; Gohari, S. and Banedah, H., 2013.** Determination of water quality indices for choosing the most suitable indicator in unity dam. Eleventh General Irrigation Seminar and Evaporation Reduction. Kerman [In Persian].

۲۵. **Stickney, R.R., 2000.** Encyclopedia of aquaculture. John Wiley and Sons, Inc. 1063 P.

۲۶. **WWTP Online.** Available at: URL:http://ts.tpww.co.ir/pfazelab-pf2-fa.html [verified at 25 Jun. 2014].