دوفصلنامهٔ هیدروفیزیک

دورهٔ نهم، شمارهٔ اول (بهار و تابستان ۱۴۰۲)؛ صفحات ۳۲-۱۹

مقالهٔ پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1402.9.1.2.7

درصد همانندی: ۱۳٪

پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه ماشلک اطراف محل دفن پسماند با استفاده از شاخص کیفیت آب‌های سطحی و سامانه اطلاعات جغرافیایی

مهدیه سیف‌الهی[۱]، رکسانا موگوئی[۲*]، مژگان زعیم دار[۳]

[۱] دانشجوی دکتری رشته مدیریت محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. mahnazseifollahi@yahoo.com

[۲*] نویسنده مسئول، دانشیار، گروه برنامه ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. r_moogoui@iau-tnb.ac.ir

[۳] استادیار گروه مدیریت محیط زیست واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. jzaeimdar@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۳/۱۲

چکیده

رودخانه ماشلک یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های منتهی به دریای خزر است. هدف از این مطالعه پهنه‌بندی کیفی آب‌های سطحی (رودخانه ماشلک اطراف محل دفن پسماند با استفاده از شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران (IRWQIsc) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) بوده است. در این مطالعه مقطعی، پارامترهای کیفی موردنیاز برای محاسبه شاخص کیفی IRWQIsc شامل هدایت الکتریکی، pH، درصد اکسیژن اشباع، سختی کل، کدورت، اکسیژن موردنیاز شیمیایی، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، نیترات، فسفات، آمونیاک، کلی فرم مدفوعی انتخابی به مدت شش ماه در فصل زمستان و تابستان (سال ۱۴۰۱) با استفاده از روش استاندارد اندازه‌گیری شدند. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، شاخص کیفیت آب‌های سطحی برای ایستگاه‌های ۲ و ۳ در فصل تابستان به‌ترتیب ۲۹ و ۲۱/۰۹ و در ایستگاه ۳ فصل زمستان با ۲۱/۸۲ در طبقه توصیفی بد و در ایستگاه‌های ۱ در فصل زمستان با ۵۵/۱۸ و فصل تابستان با ۴۸/۴۵ در طبقه توصیفی متوسط قرار گرفتند. از بالادست رودخانه به سمت پایین‌دست عدد شاخص در هر دو فصل روند نزولی داشتند و شرایط کیفی رودخانه کاهش یافته بود. بر اساس نتایج یادشده به‌کارگیری شاخص IRWQIsc و سامانه اطلاعات جغرافیایی امکان نظارت و مدیریت منابع آلوده‌کننده آب رودخانه توسط ارگان‌های ذی‌ربط (نظارت دقیق‌تر بر روند فعالیت‌های صنایع و مراکز خدماتی پیرامون رودخانه ماشلک توسط اداره کل محیط‌زیست استان و...) فراهم می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: شاخص IRWQIsc، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، رودخانه ماشلک، منابع آلوده‌کننده آب، نظارت

۱. مقدمه

امروزه نقش منابع آب به‌عنوان منبع ضروری هر منطقه در گستره جهانی و یکی از مهم‌ترین پایه‌های توسعه پایدار به شمار می‌روند [۱-۲]. یکی از این منابع آبی رودخانه‌ها هستند، این منابع یکی از ضروری‌ترین منابع طبیعی و از مهم‌ترین منابع آب شیرین در دسترس هستند، رودخانه‌ها به دلیل باز اکوسیستم، بیشتر از سایر منابع آبی در معرض انواع آلاینده‌ها قرار دارند. این منابع، تحت‌تأثیر عوامل مختلف قرارگرفته‌اند[۳].

و درنتیجه کیفیت آب آن‌ها تحت‌تأثیر مستقیم انواع فعالیت‌های انسانی پیرامون قرار می‌گیرند [۴-۵] . مهم‌ترین عامل تغییرات کیفی آب‌های سطحی (رودخانه‌ها) به عوامل مختلفی ازجمله استقرار نامناسب صنایع و پسماندها و غیره مربوط می‌شود. یکی از عوامل تغییرات در وضعیت کیفی آب رودخانه‌ها، غلظت پارامتر اکسیژن خواهی بیوشیمیایی است، این پارامتر نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های آلودگی آلی اندازه‌گیری شده است (دادخواه تهرانی و همکاران، ۱۴۰۲). از عوامل دیگر کاهش کیفیت و افزایش آلودگی آب می‌توان به افزایش جمعیت، صنعتی شدن، شهرنشینی، آلودگی ناشی از تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، کشاورزی، شیرابه محل‌های دفع زباله و رواناب‌های سطحی اشاره کرد [۶]. با توجه به اینکه عوامل انسانی و صنعتی موجب افزایش غلظت آلاینده‌ها در رودخانه می‌شوند و با فرض اینکه مکانیزم‌های طبیعی مانند خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب و خودپالایی رودخانه سهم عمده در کنترل یا تشدید این غلظت‌ها خواهند داشت، نخستین قدم در تعیین کیفیت آب رودخانه‌ها، کسب آگاهی از تغییرات کیفی آب رودخانه‌ها در ابعاد زمان و مکان، همچنین مشخص کردن منابع اصلی آلاینده‌های آب است [۷]. کیفیت آب رودخانه‌ها می‌تواند کمک شایانی به مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب کند [۱۰]. تجزیه‌وتحلیل کیفیت آب رودخانه‌ها و کاوش علل وخیم شدن کیفیت آب برای بهبود محیط‌زیست امری ضروری است. ارزیابی کیفیت آب رودخانه‌ها با توجه به پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی اساس مدیریت بهداشت سیستم محیط‌زیستی آن است [۱۱]. بنابراین برای پایش و کنترل کیفیت آب‌های سطحی و تصمیم‌گیری مدیریت محیط‌زیستی، از شاخص‌های کیفی آب استفاده می‌شود. این شاخص به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی وضعیت کیفیت آب در رودخانه‌ها از دهه ۱۹۶۰ معرفی‌شده است [۱۲].

این شاخص‌ها با ساده‌سازی و کاهش اطلاعات خام و اولیه علاوه بر کیفیت آب، روند تغییرات کیفی آب را در طول مکان و زمان نشان می‌دهد. یکی از شاخص‌های پرکاربرد در کشور شاخص کیفیت آب‌های سطحی است، این شاخص با هدف استفاده از روش‌های مناسب با شرایط طبیعی و مشکلات منابع ایران معرفی شد [۱۳]؛ بنابراین شاخص‌های کیفیت آب می‌تواند برای شناسایی تهدیدات کیفیت آب در امتداد یک جریان و کمک به مدیریت بهتر منابع آب استفاده شود [۱۴]. بدیهی است که تعیین وضعیت کیفی منابع آب برای اتخاذ راهکارهای مناسب برای جلوگیری از کاهش کیفیت آب یا بهبود آن ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی پهنه‌بندی آلودگی و ارائه تصویر صحیح از وضعیت کیفی آب‌های سطحی به‌وسیلهٔ نرم‌افزار GIS باعث می‌شود تا هر تصمیم‌گیری مدیریتی که اثرات محیط‌زیستی آن به صورت مستقیم یا غیرمستقیم متوجه آب‌های سطحی کشور می‌گردد با آگاهی بیشتر اتخاذ شود. بنابراین ابزارGIS و فناوری‌های مرتبط، روش‌های کارآمد برای تجزیه‌وتحلیل اطلاعات توزیع مکانی در مدیریت منابع آب است [۱۳]. محققان مختلفی نیز با استفاده از شاخص مذکور به بررسی کیفیت آب رودخانه پرداختند به‌عنوان‌مثال در پژوهش المیاح و همکاران (۲۰۲۱) کیفیت آب رودخانه تیگریس[۱] کشور عراق به‌وسیله شاخص WQI مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که کیفیت آب این رودخانه در رده آلوده قرار دارد [۱۵]. در پژوهش دیگر که نزار و همکاران (۲۰۲۱) در رودخانه کلانتان[۲] کشور مالزی با استفاده از شاخص WQI، انجام دادند نتایج نشان داد که رودخانه از کیفیت نامناسبی برخوردار بود [۱۶]. کوان و جو (۲۰۲۳) با مطالعه بر روی کیفیت آب رودخانه نم[۳] کشور کره جنوبی توسط

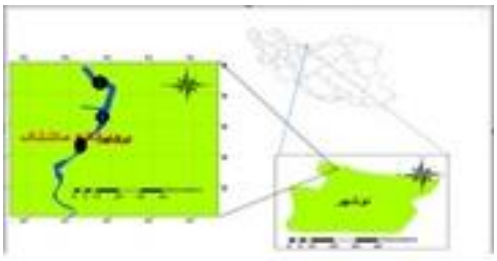
شاخص‌های کیفیت آب و تجزیه‌وتحلیل آماری چند متغیره، دریافتند که فعالیت‌های انسانی وعدم تصفیه پساب حاصل از صنایع یکی از دلایل افت کیفیت آب رودخانه است، بنابراین پیشنهاد دادند که برای حفظ کیفیت آب رودخانه عملیات تصفیه قبل از ورود به رودخانه الزامی‌شود [۱۷]. گیکاها و همکاران (۲۰۲۳) نیز از شاخص WQIs به‌منظور ارزیابی کیفیت آب سه رودخانه در کشور یونان استفاده کردند و دریافتند که رودخانه لاسپیاس[۴] نسبت به دو رودخانه کوسینتوس۵ ولیسوس[۶] آلوده‌تر است [۱۸]. راوی و همکاران (۲۰۲۳) با مطالعه کیفیت آب رودخانه قاقارا[۷] کشور هند به کمک شاخص WQI دریافتند که آب برای استفاده صنعتی مناسب نیست [۱۹]. الزاییده گبر و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی کیفیت آب جنوب شرقی دلتای نیل کشور مصر به کمک شاخص کیفی آب پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که آب محدوده مطالعه در کلاس کیفی بد قرار دارد و این آلودگی به علت فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی رو به افزایش است [۲۰]. مقدم یکتا و همکاران (۱۴۰۰) نیز به بررسی کیفیت آب رودخانه کن با استفاده از شاخص کیفی آب پرداختند و بیان کردند که فاضلاب‌های شهری، صنعتی و پساب‌های کشاورزی به‌عنوان عوامل اصلی کاهش کیفیت آب این رودخانه هستند [۲۱]. پاشازاده و همکاران (۱۴۰۰) نیز از شاخص کیفی آب برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه آجی چای (دشت تبریز) استفاده کردند و دریافتند که اراضی پایین‌دست رودخانه آلوده‌تر هستند [۲۲]. در پژوهشی مشابه زمانی و همکاران در سال ۱۴۰۰، کیفیت آب رودخانه پیر غار با استفاده از شاخص کیفیت آب (NSFWQI) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج نشان داد که میزان آلودگی از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه وضعیت کیفی پایین بود. قمرنیا و همکاران (۱۴۰۱) نیز از شاخص WQI جهت ارزیابی کیفیت آب رودخانه گلین در استان کرمانشاه استفاده کردند و دریافتند که نمی‌توان از آب رودخانه برای مصارف شرب استفاده کرد[۲۳]. در تحقیقی (چراغی و همکاران، ۱۴۰۲) که روی کیفیت آب رودخانه شوربارک در محدوده شهر هفتکل صورت گرفت، مشخص شد بر اساس شاخص کیفیت آب آشامیدن، در وضعیت نامطلوبی طبقه‌بندی شده‌اند [۲۴]. رودخانه ماشلک یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های منتهی به دریای خزر در باختر استان مازندران است که با عبور از اراضی جنگلی، زمین‌های کشاورزی و ناحیه مسکونی شهر نوشهر درنهایت به دریای خزر ختم می‌گردد. در مسیر این رودخانه تعداد متعددی روستا، کارخانه شن و ماسه و ایستگاه دفن زباله و سد بتنی الوارگیر متعلق به دهه ۱۳۸۰ وجود دارد. سرچشمه رودخانه ماشلک از یک چشمه واقع در سنگ‌آهک مارنی کرتاسه شروع می‌شود و بعد از عبور از سازند آهکی تیز کوه وارد نهشته‌های دشت آبرفتی می‌شود. در بالادست رودخانه که پوشیده از جنگل است [۲۵]. زائده‌های تولیدشده در سطح شهرستان نوشهر، پس از جمع‌آوری به مرکز دفن پسماند این شهرستان منتقل و دفن می‌شوند. دفن غیراصولی پسماندها در نواحی ساحلی و جنگلی موجب ورود شیرابه آب‌های سطحی و آلودگی آب‌وخاک شده و با از بین بردن قدرت پایایی سرزمین، به منبع آلودگی گسترده، خطرناک و غیرقابل‌جبران محیط و منابع آب تبدیل شده است [۲۶]. قسمت عمده زباله‌های روزانه شهرستان نوشهر در نیروگاه زباله‌سوز سوزانده می‌شود اما شیرابه ناشی از دپوی زباله‌ها قبل از ورود به نیروگاه و نیز شیرابه تولیدشده در مخازن نیروگاه، به آب‌های سطحی پیرامون راه می‌یابد. ازآنجاکه تاکنون گزارشی از کیفیت منابع آب سطحی اطراف لندفیل منتشرنشده بود. بنابراین اطلاع از این آلودگی‌ها و اثرات ناشی از آن‌ها می‌تواند در آگاه‌سازی مدیران و کنترل آلودگی‌های رودخانه نقش بسزایی داشته باشد. بنابراین هدف از این مطالعه پهنه‌بندی کیفی آب‌های سطحی (رودخانه ماشلک اطراف محل دفن پسماند) می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

شهر نوشهر در جنوب دریای خزر و شمال استان مازندران در عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه ۳۷ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۳۶ درجه ۴۰ دقیقه و ۳۱ ثانیه شمالی و بین طول‌های جغرافیایی

۵۱ درجه ۲۶ دقیقه ۴۳ ثانیه تا ۵۱ درجه ۳۳ دقیقه ۲۳ ثانیه شرقی واقع شده است (شکل ۱). محدوده شهری نوشهر در جلگه غربی مازندران و روی رسوبات دریایی و آبرفتی کواترنر قرار دارد. رودهای ماشلک، گرد کل وکورکورسر مهم‌ترین رودهایی هستند که از محدوده شهری عبور می‌کنند. حداقل ارتفاع شهر نوشهر از ۰ تا ۲۵ متر در سواحل تا ۴۳ متر در بالادست متغیر است [۲۸]. رودخانه ماشلک یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های منتهی به دریای خزر در باختر استان مازندران است که با عبور از اراضی جنگلی، زمین‌های کشاورزی و ناحیه مسکونی شهر نوشهر درنهایت به دریای خزر ختم می‌شود [۲۶]. زائده‌های تولیدشده در سطح شهرستان نوشهر، پس از جمع‌آوری به مرکز دفن پسماند این شهرستان منتقل و قسمت عمده آن در نیروگاه زباله‌سوز، سوزانده می‌شود. میزان تولید زباله شهرستان نوشهر در حال حاضر، ۱۰۸ تن در روز است و در هدف‌گذاری اولیه مقررشده که پسماندهای تلنبار و دپو شده ۳۰ ساله را بسوزاند [۲۹].



شکل ۱. منطقه موردمطالعه

جمع‌آوری و آنالیز نمونه‌ها

مطالعه حاضر، به‌صورت توصیفی-مقطعی بود که در فصل‌های تابستان و زمستان (به مدت ۶ ماه یعنی طی دو فصل کم باران و پرباران) انجام پذیرفت، در این پژوهش انتخاب ایستگاه نمونه‌برداری در منطقه موردمطالعه با توجه موقعیت محل دپوی پسماند انجام شده است. بر این اساس از بالادست پایین‌دست رودخانه سه ایستگاه مطالعاتی انتخاب شد (جدول ۱).

جدول ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی

ایستگاه‌ها		شماره ۱	شماره ۲	شماره ۳
مشخصات		قبل محل دفن پسماند	ابین ایستگاه ۱ و ۳	محل ورود شیرابه به رودخانه
مختصات جغرافیایی	طول جغرافیایی	۵۴۶۰۷۴	۵۴۶۱۵۱	۵۴۶۲۷۰
	عرض جغرافیایی	۴۰۵۱۸۴۴	۴۰۵۲۰۶۰	۴۰۵۲۴۰۳

ظروف مورداستفاده نمونه‌برداری از جنس پلی‌اتیلن شیشه‌ای بود که به‌منظور آماده‌سازی ظروف طبق دستورالعمل استاندارد شسته شد. در شرایط کلی، پس از ثبت موقعیت نمونه‌ها با استفاده از جی پی اس[۸] قابل‌حمل، نمونه‌های آب در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا برای بررسی آنالیز فیزیکوشیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور بررسی کیفیت آب رودخانه ماشلک، از آب رودخانه به مدت ۶ ماه به‌صورت متناوب هر ۱۵ روز یکبار و در فاصله زمانی تیر تا شهریورماه و دی تا اسفندماه ۱۴۰۱ نمونه‌برداری صورت گرفت. در حین نمونه‌برداری، پارامترهای هدایت الکتریکی و pH، درصد اکسیژن اشباع با استفاده از دستگاه‌های پرتابل کالیبره شده، اندازه‌گیری شده‌اند. مقدار سختی کل به روش تیتراسیون، کدورت با دستگاه الکتروترمال[۹](مدل MG3868 –، Oak Brook)، اکسیژن موردنیاز شیمیایی با دستگاه الکتروترمال (مدل MG3868)، اکسیژن خواهی بیوشیمیایی با دستگاه لوی بند[۱۰](مدل WTW- IS6)، نیترات، فسفات، آمونیاک با دستگاه اسپکترو فوتومتر[۱۱](مدل No.Co350020–Oak Brook)، ترب[۱۲] با دستگاه نفلومتر[۱۳](مدل 2100P–Hach) و شمارش کلی فرم مدفوعی به‌صورت رقت لوله‌ای و با محیط کشت اندازه‌گیری شدند.

شاخص کیفیت آب‌های سطحی ایران (IRWQIsc)

این شاخص برای بررسی کیفیت آب سطحی است که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران و با استفاده از شاخص FWQI توسعه پیداکرده است. این شاخص بر اساس رابطه‌های (۱) و (۲) ارائه شده است[۸–۱۰].

$$IRWQIsc = \left[\prod_{i=1}^{n} I_i^{wi}\right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (۱)$$

$$\gamma = \sum_{i=1}^{n} wi \quad (۲)$$

که در آن، I_i: کیفیت آب و wi: وزن هرکدام از داده‌های برداشت شده است که وزن مربوطه به هر پارامتر طبق جدول (۲) به‌دست می‌آید که در زیر ارائه شده است.

جدول ۲. وزن مربوط به هر پارامتر در شاخص (IRWQIsc) [۳۰]

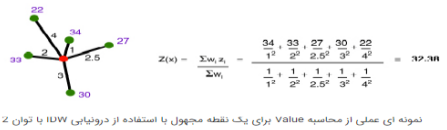
پارامتر	BOD_5, mg/l	COD, mg/l	Dissolved Oxygen Saturation, %	Electrical conductivity, µS/cm
وزن	0.117	0.093	0.097	0.096
پارامتر	Fecal Coliform, No./100ml	NH_4^+, mg/l	NO_3^-, mg/l	PO_4^{3-}, mg/l
وزن	0.14	0.09	0.108	0.087
پارامتر	Total Hardness, $mgCaCO_3/l$	Turbidity, NTU	pH	
وزن	0	0.062	0.051	

طبقه‌بندی شاخص مقادیر به‌دست‌آمده IRWQIsc در جدول ۳ در ۷ طبقه ارائه شده است.

جدول ۳. طبقه‌بندی آب‌های سطحی بر اساس شاخص IRWQIsc [۳۰]

مقدار شاخص	کمتر از ۱۵	۱۵–۲۹/۹	۳۰–۴۴/۹	۴۵–۵۵	۵۵/۱–۷۰
معادل توصیفی	خیلی بد	بد	نسبتاً بد	متوسط	نسبتاً خوب
مقدار شاخص	۷۰/۱–۸۵	بیشتر از ۸۵			
معادل توصیفی	خوب	بسیار خوب			

نتایج آماری در محیط اکسل وارد شد و پس از تبدیل آن‌ها به فایل‌های اطلاعاتی و انتقال به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد تحلیل قرار گرفت. نقاط برداشت شده توسط دستگاه جی پی اس به نقشه اضافه شد و کل مسیر رودخانه به‌صورت لایه‌های مجزا در نظر گرفته شد. همچنین اطلاعات توصیفی تهیه‌شده در محیط اکسل به لایه نقشه پیوند داده شد. پس از ورود داده‌های خام به نرم‌افزار Arc GIS 10.6 رسم نقشه‌های غلظت پارامترها بر مبنای درون‌یابی انجام شد. برای درون‌یابی از روش عکس مجذور فاصله[۳۱–۳۲] استفاده شده است. تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی هریک از پارامترها به کمک روش روی‌هم‌گذاری[۱۴] انجام شده است.



نمونه ای عملی از محاسبه Value برای یک نقطه مجهول با استفاده از درونیابی IDW با توان 2

۳. یافته‌ها

پس از نمونه‌برداری از ایستگاه‌های موردمطالعه میانگین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی رودخانه ماشلک در فصل‌های تابستان و زمستان در جدول ۴ به‌دست آمد. میزان BOD5 و COD به‌ترتیب در ایستگاه ۳ در فصل زمستان (۷۱/۴ میلی‌گرم بر لیتر) و در ایستگاه ۲ (۷۳/۴ میلی‌گرم در لیتر) در بیشترین مقدار و در ایستگاه ۲ (۱۵ میلی‌گرم بر لیتر) در فصل تابستان برای هر دو پارامتر در کمترین مقدار قرار داشت (جدول ۴)، اما میانگین به‌دست‌آمده از پارامتر BOD5 در پژوهش انجام‌شده (۳۹/۹ میلی‌گرم بر لیتر) است که بالاتر از حد استاندارد بهداشت جهانی (۵ میلی‌گرم در لیتر) قرار گرفته است. تجزیه‌وتحلیل آماری نشان می‌دهد که pH نمونه‌ها متغیر بوده و براساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی مقدار مطلوب pH ۶/۵–۸/۵ است که بر این اساس نمونه‌ها کم‌وبیش در حدود استاندارد قرار دارند. بیشترین مقدار نیترات و آمونیوم به‌ترتیب در ایستگاه ۲ (۴۴/۴۷ و ۸/۷ میلی‌گرم بر لیتر) در فصل زمستان و کمترین میزان در فصل تابستان در ایستگاه ۲ به ترتیب ۳/۸۲ و ۰/۳۱ میلی‌گرم بر لیتر بود. پارامتر دیگر موردبررسی، DO بود که در ایستگاه ۱ (فصل تابستان)، بیشترین مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین در ایستگاه ۲ فصل زمستان ۲۱/۳۵ میلی‌گرم بر لیتر است. سختی کل در فصل‌های مختلف از ایستگاه بالادست به سمت ایستگاه پایین‌دست کم‌وبیش در حال افزایش بوده و میانگین کل آن ۳۴۰/۱۷ میلی‌گرم بر لیتر است. پارامتر بعدی کلی فرم مدفوعی است که بیشترین میزان در ایستگاه ۲ فصل زمستان با ۴۶۳۶ (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر)[۱۵] و کمترین میزان در ایستگاه ۲ با ۱۵۶۲ (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر) بوده و میانگین ایستگاه‌ها ۲۹۹/۸۳ (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر) است.

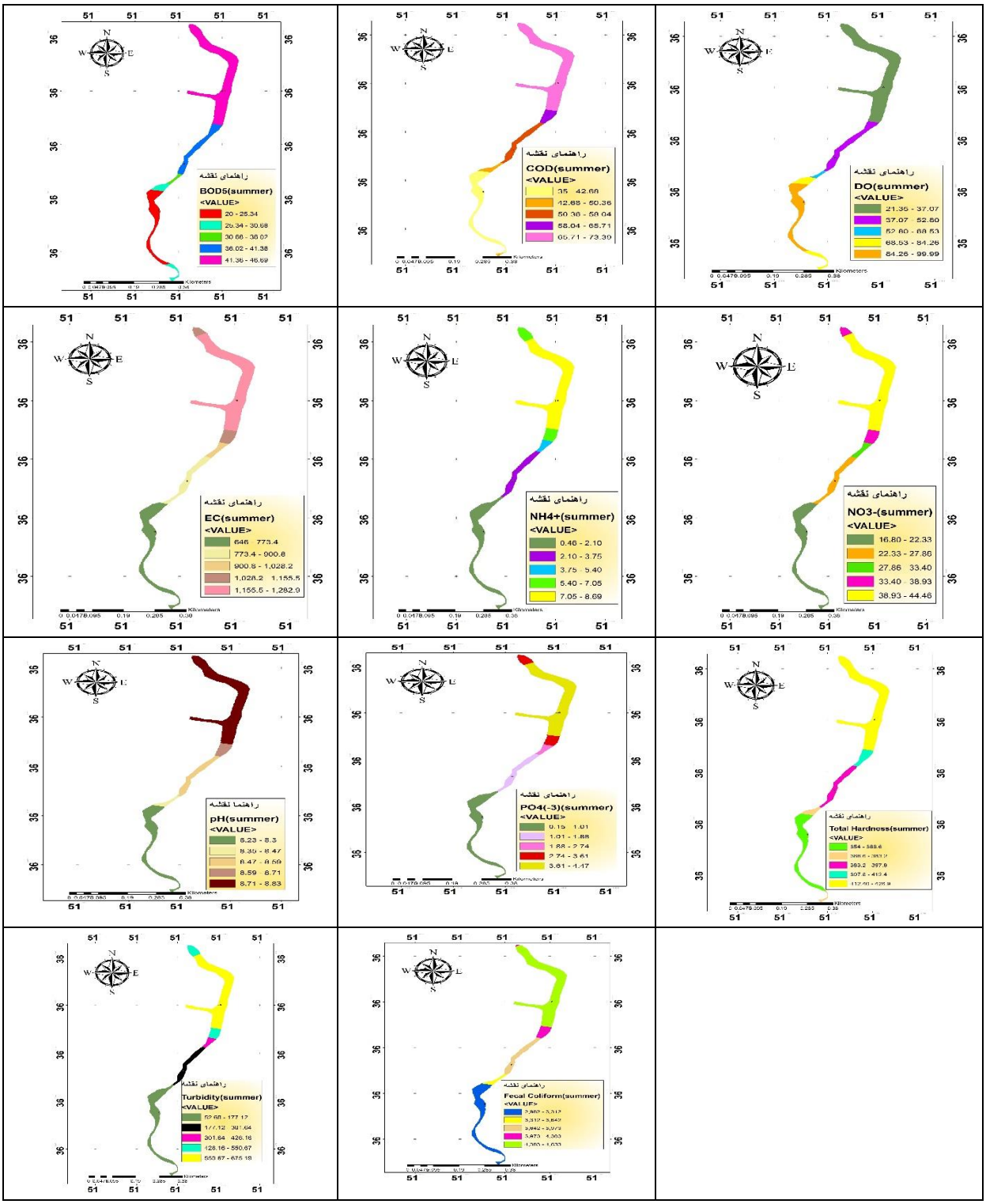
بیشترین میزان هدایت الکتریکی در ایستگاه ۲ فصل زمستان با ۱۲۸۳(میکرو زیمنس)[۱۶]و کمترین میزان آن ایستگاه ۲ فصل تابستان با ۵۴۶ (میکرو زیمنس) بود و میانگین ایستگاه‌ها ۷۹۲/۶۷ (میکرو زیمنس) است. یکی دیگر از پارامترهای مهم در سنجش کیفیت آب فسفات است، وجود فسفات بالاتر از ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر نشان‌دهنده آلودگی رودخانه است. در رابطه با فسفات دیده شد که در ایستگاه ۲ فصل زمستان بیشترین میزان فسفات، ۴/۴۸ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین آن در ایستگاه ۲ فصل تابستان با ۰/۰۶ و میانگین ایستگاه ۱/۷۶ میلی‌گرم بر لیتر بود. بررسی کدورت موجود در آب رودخانه نشان می‌دهد که بیشترین میزان در ایستگاه‌های ۲ و ۳ با میزان ۶۷۵/۲ NTU و کمترین میزان در ایستگاه ۱ با میزان ۵۲/۶ NTU بود. میانگین پارامترهای سختی کل، نیترات، اکسیژن موردنیاز شیمیایی در حد استاندارد کیفیت آب سازمان بهداشت جهانی است و پارامترهای اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی بالاتر از حد استاندارد کیفیت آب سازمان بهداشت جهانی است (جدول ۴ و شکل‌های ۲ و ۳).

جدول ۴. میانگین پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میکروبی رودخانه ماشلک در فصل‌های تابستان و زمستان

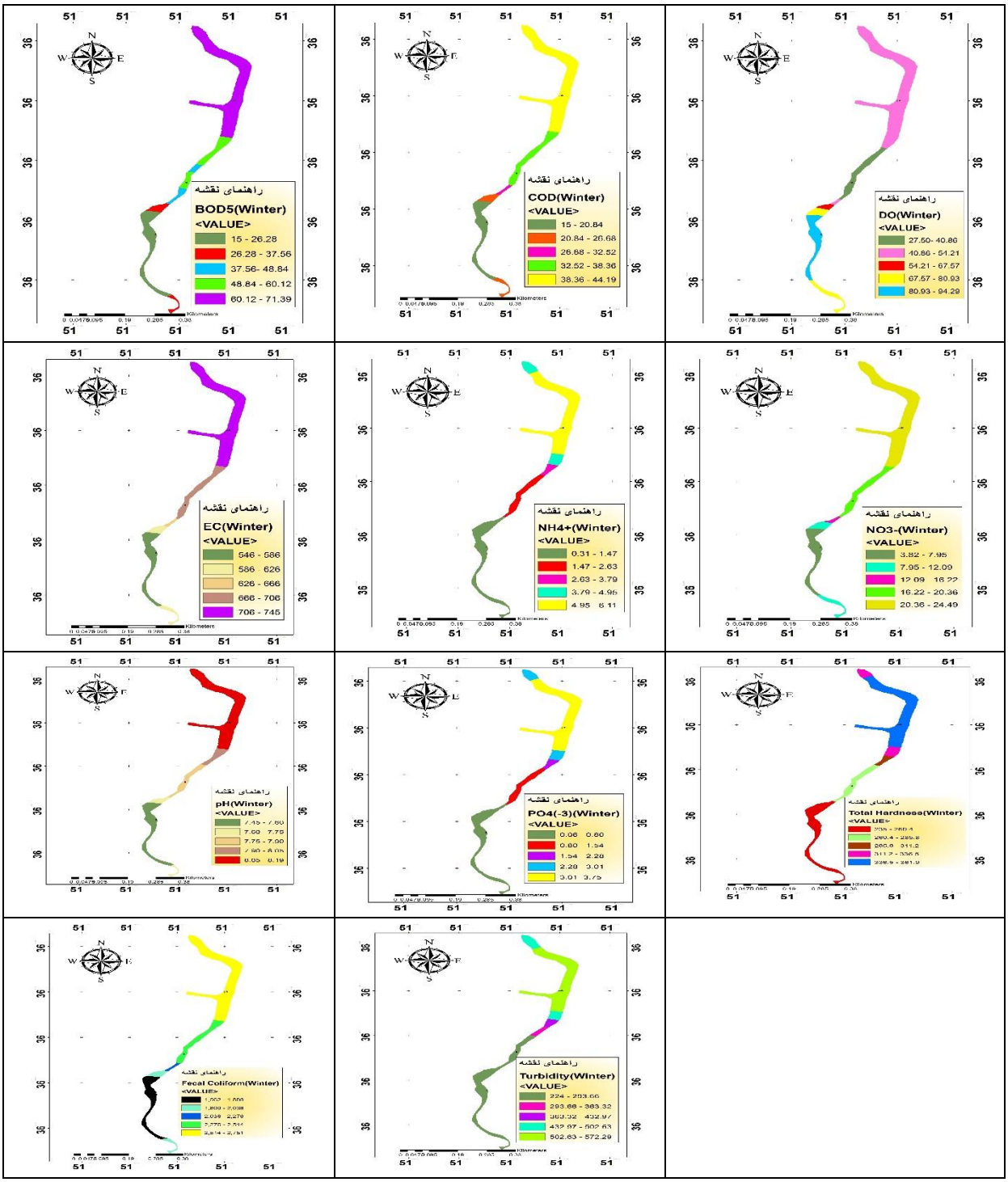
پارامتر	فصل زمستان			فصل تابستان			انحراف معیار	میانگین کل	استاندارد [۳۳]
	شماره ایستگاه			شماره ایستگاه					
	۳	۲	۱	۳	۲	۱			
BOD_5, mg/l	۷۱/۴	۴۶/۷	۴۹/۳	۳۷	۱۵	۲۰	۱/۴۷	۳۹/۹	۵
COD, mg/l	۴۴/۲	۷۳/۴	۳۴	۵۳	۱۵	۳۵	۱/۳۶	۴۲/۴۳	۶۰
Dissolved Oxygen Saturation, %	۴۶/۶۸	۲۱/۳۵	۲۷/۵	۴۵	۹۴/۳	۱۰۰	۴/۰۸	۵۵/۸۱	۵۰
Electrical conductivity, µS/cm	۷۴۶	۱۲۸۳	۶۸۲	۸۵۳	۵۶۴	۶۴۶	۰/۱۲۵	۷۹۲/۶۷	۶۰۰
Fecal Coliform, No./100ml	۲۷۵۲	۴۶۳۴	۲۳۲۸	۳۶۹۳	۱۵۶۲	۲۹۸۲	۲/۲۹	۲۹۹۱/۸۳	-
NH_4^+, mg/l	۶/۱۲	۸/۷	۱/۶۵	۲/۲۹	۰/۳۱	۰/۴۶	۶/۴۳	۳/۲۶	۰/۰۵
NO_3^-, mg/l	۲۴/۵	۴۴/۴۷	۱۹/۵	۲۵/۸۲	۳/۸۲	۱۶/۸	۳/۴۹	۲۲/۴۹	۵۰
PO_4^{3-}, mg/l	۳/۷۶	۴/۴۸	۰/۸۷	۱/۲۳	۰/۰۶	۰/۱۵	۱/۳۸	۱/۷۶	۰/۰۵
Total Hardness, $mgCaCO_3/l$	۳۶۲	۴۲۷	۲۶۹	۳۹۴	۲۳۵	۳۵۴	۲/۵۳	۳۴۰/۱۷	۵۰۰
Turbidity, NTU	۶۷۵/۲	۶۷۵/۲	۲۵۹	۱۹۶	۲۲۴	۵۲/۶	۰/۶۴	۳۴۷	۵
pH	۸/۴	۸/۸۴	۷/۸۹	۸/۵	۷/۴۵	۸/۲۳	۴/۹۸	۸/۲۲	۸/۵-۶/۵

نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی هریک از پارامترها در بازه زمانی زمستان و تابستان ۱۴۰۱ نشان می‌دهد.

در هریک از نقشه‌های موجود در شکل‌های (۲) و (۳) میزان غلظت پارامترها در طول مسیر رودخانه به تفکیک نمایش داده شده است.



شکل ۲. نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی هریک از پارامترها در بازه زمانی تابستان ۱۴۰۱



شکل ۳. نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی هریک از پارامترها در بازه زمانی زمستان ۱۴۰۱

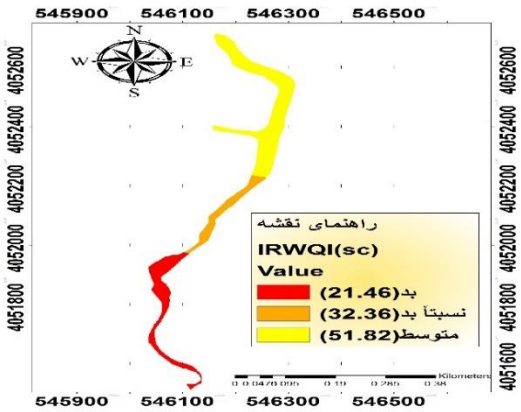
نتایج حاصل از شاخص IRWQIsc

نتایج حاصل از شاخص IRWQIsc نشان داد که این شاخص برای ایستگاه‌های ۲ و ۳ در فصل تابستان به‌ترتیب ۲۹ و ۲۱/۰۹ و در ایستگاه ۳ فصل زمستان با ۲۱/۸۲ در طبقه بد و در ایستگاه‌های ۱ در فصل زمستان با ۵۵/۱۸ و فصل تابستان با ۴۸/۴۵ در طبقه متوسط قرار گرفتند. ایستگاه‌های پایین‌دست محل دپو پسماند در طبقه بد قرار گرفتند (جدول ۵ و شکل ۴). از بالادست رودخانه به سمت پایین‌دست عدد شاخص در هردو فصل روند نزولی داشت و شرایط کیفی رودخانه کاهش‌یافته بود.

جدول ۵. نتایج حاصل از شاخص $IRWQI_{SC}$ در منطقه موردمطالعه

پارامتر	فصل تابستان				فصل زمستان			
	شماره ایستگاه				شماره ایستگاه			
	۱	۲	۳	میانگین	۱	۲	۳	میانگین
BOD_5, mg/l	۱۲	۳	۲	۵/۶۶	۲۱	۲	۱	۸
COD, mg/l	۳۸	۲۴	۱۳	۲۵	۷۲	۳۹	۳۲	۴۷/۶۷
Dissolved Oxygen Saturation, %	۹۹	۳۶	۳۰	۵۵	۹۲	۳۴	۳۶	۵۴
Electrical conductivity, µS/cm	۶۷	۵۷	۴۵	۵۶/۳۳	۷۲	۶۵	۶۲	۶۶/۳
Fecal Coliform, No./100ml	۲۴	۲۴	۲۳	۲۳/۶۶	۲۷	۲۵	۲۵	۲۵/۶۷
NH_4^+, mg/l	۴۹	۲۳	۴	۲۵/۳۳	۶۱	۲۷	۵	۳۱
NO_3^-, mg/l	۳	۲	۱	۲	۳۱	۲	۲	۱۱/۶۷
PO_4^{3-}, mg/l	۵۹	۱۷	۷	۲۷/۶۷	۷۴	۲۳	۸	۳۵
Total Hardness, $mgCaCO_3/l$	۶۰	۵۵	۵۲	۵۵/۶۷	۸۱	۷۳	۵۹	۷۱
Turbidity, NTU	۴۱	۲۰	۵	۲۲	۱۷	۱۶	۵	۱۲/۶۷
pH	۸۱	۵۸	۵۰	۶۳	۵۹	۸۷	۵	۵۰/۳۳
IRWQI(sc)	۴۸/۴۵	۲۹	۲۱/۰۹		۵۵/۱۸	۳۵/۷۲	۲۱/۸۲	
معادل توصیفی	متوسط	بد	بد		متوسط	نسبتاً بد	بد	

پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه ماشلک بر اساس شاخص‌های موردمطالعه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در شکل ۴ نشان داده شده است. بر اساس پهنه‌بندی بالا، رنگ زرد ایستگاه اول در فصل‌های زمستان و تابستان کیفیت متوسط و رنگ قرمز در ایستگاه‌های ۲ و ۳ فصل تابستان و ایستگاه ۳ فصل زمستان کیفیت بد آب رودخانه را نشان می‌دهد.



شکل ۴. پهنه‌بندی کیفیت آب رودخانه ماشلک

۴. بحث

رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب شهری و روستایی هستند و نقشی مهم در تأمین سلامت محیط‌زیست انسانی و طبیعی دارد؛ اما در سال‌های اخیر متأسفانه شاهد تخلیه فاضلاب انسانی و صنعتی، بیمارستانی و پسماندها در رودخانه بوده که این امر موجب تغییر در کیفیت آب رودخانه شده است. مطالعه حاضر با هدف استفاده از شاخص $IRWQI_{SC}$ و GIS برای نمایش وضعیت کیفی آب رودخانه است. شاخص IRWQISC یک ارزیابی عددی از کیفیت آب را فراهم می‌کند، اما استفاده از داده‌های گرافیکی یک ابزار برای درک عوامل مختلف آلودگی رودخانه را ارائه می‌دهد. درنتیجه این مطالعه با استفاده از ابزار GIS برای ارزیابی کیفیت آب رودخانه ماشلک نشان داد. استفاده از این ابزار به‌طور قابل‌توجهی در جمع‌آوری، مدیریت و نمایش داده‌ها کمک می‌کند. مجموع مقادیر به‌دست‌آمده از آزمایش BOD5 روی نمونه آب در منطقه موردمطالعه بیان‌کننده آن است که میزان BOD5 و COD به‌ترتیب در ایستگاه ۳ در فصل زمستان (۷۱/۴ میلی‌گرم بر لیتر) و در ایستگاه ۲ (۷۳/۴ میلی‌گرم در لیتر) در بیشترین مقدار و در ایستگاه ۲(۱۵ میلی‌گرم بر لیتر) در فصل تابستان برای هر دو پارامتر در کمترین مقدار قرار داشت، اما میانگین به‌دست‌آمده از پارامتر BOD5 در پژوهش انجام‌شده (۳۹/۹ میلی‌گرم بر لیتر) است که بالاتر از حد استاندارد بهداشت جهانی قرار گرفته است. نتایج مطالعات دادخواه تهرانی و همکاران (۱۴۰۲) روی رودخانه چالوس نیز نشان می‌دهد که به دلیل فعالیت‌های انسانی در اطراف رودخانه، شاخص کیفیت آب به‌شدت در پایین‌دست کاهش یافته است. نیتروژن از مهم‌ترین نوترینت بوده و به‌عنوان آلاینده آب مطرح است. همه موجودات زنده برای رشد به این نوترینت نیاز دارند؛ بنابراین حضور این ماده در رودخانه برای تکمیل

زنجیره غذایی ضروری است، اما وقتی میزان آن زیاد شود مشکلات افزایش می‌یابد [۳۵]. برای بررسی منابع آلوده‌کننده با منشأ مواد آلی که غالباً در فاضلاب شهری دیده می‌شود، از سنجش میزان نیترات و آمونیاک موجود در نمونه‌های آب کمک گرفته می‌شود [۳۶]. طبق نتایج گزارش‌شده بیشترین مقدار نیترات در ایستگاه ۲ (۴۴/۴۷ میلی‌گرم بر لیتر) در فصل زمستان و کمترین میزان در فصل تابستان در ایستگاه ۲ (۳/۸۲ میلی‌گرم بر لیتر) بود. می‌توان نتیجه گرفت که مقدار آن از حد مجاز (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) پایین‌تر است. در این تحقیق، رودخانه خرسان موردمطالعه قرار گرفت براساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان نیتروژن ۴/۳ میلی‌گرم در لیتر است که این نتایج نیز با مطالعه حاضر مطابقت دارد. افزایش فسفات و آمونیاک در منابع آب سطحی نیز به دلیل فعالیت‌های کشاورزی در منطقه و ورود سموم و کودهای شیمیایی است [۳۷]. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر نشان داد که میزان فسفات و آمونیاک در ایستگاه دوم فصل زمستان به‌ترتیب ۳/۷۶ و ۸/۷ میلی‌گرم بر لیتر از حد مجاز (۰/۰۵ میلی کرم بر لیتر) فراتر رفته است. در مطالعه توکل و همکاران (۱۳۹۹)، بر روی رودخانه هراز، نتایج بررسی حاکی از افزایش غلظت فسفات و آمونیاک در ایستگاه‌های ۷ و ۱۰ بوده است [۳۸]. در رودخانه ماشلک نیز نتایج نشانگر افزایش این عناصر در فصل پرآب همراه بوده است، این نتیجه‌گیری با تحقیق فعلی هم‌خوانی دارد. کلی فرم مدفوعی یک باکتری است که ممکن است به دلیل تخلیه زباله‌های انسانی و حیوانی ایجاد می‌شود [۳۹]. بیشترین میزان کلی فرم مدفوعی در ایستگاه ۲ فصل زمستان با ۴۶۳۶ (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر) و کمترین میزان در ایستگاه ۲ با ۱۵۶۲ (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر) بوده و میانگین ایستگاه‌ها ۲۹۹/۸۳ (تعداد در ۱۰۰ میلی لیتر) است. هدایت الکتریکی تعداد مواد محلول، مواد شیمیایی و مواد معدنی موجود در آب را تعیین می‌کند [۳۹]. طبق نتایج گزارش‌شده بیشترین میزان هدایت الکتریکی در ایستگاه ۲ فصل زمستان با ۱۲۸۳(میکرو موس بر سانتیمتر)[۱۷] و کمترین میزان آن ایستگاه ۲ فصل تابستان با ۵۴۶ (میکرو موس بر سانتیمتر) بود و میانگین ایستگاه‌ها ۷۹۲/۶۷ (میکرو موس بر سانتیمتر) است، که احتمالاً دلیل آن بالا بودن غلظت یون‌های موجود در آب به دلیل ورود آلاینده‌ها و افزایش غلظت نمک‌ها در این محدوده است، بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی مقدار مطلوب برای هدایت الکتریکی (۶۰۰میکرو موس بر سانتی متر) است که بر این اساس نمونه‌ها در وضعیت بالاتر از استاندارد قرار دارند، که احتمالاً دبی پایین آب در برابر حجم آلاینده‌های ورودی، فاضلاب‌های انسانی و پساب‌های زراعی بر تغییرات هدایت الکتریکی رودخانه نیز اثرگذار است. در مطالعه جاهد و اسلام (۲۰۲۴) روی رودخانه دهاکا [۱۸]کشور بنگلادش مقدار هدایت الکتریکی بالاتر از حد مجاز به دست آمد که نتایج این تحقیق تأثیرات آلاینده‌ها به‌ویژه پساب‌های انسانی را روی این آب‌ها نشان می‌دهد که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت [۴۰]. اکسیژن محلول، مقدار اکسیژنی است که در آب حل می‌شود و منابع آب طبیعی به‌طورمعمول حاوی مقدار زیادی اکسیژن هستند [۳۹]. میزان اکسیژن محلول در ایستگاه ۱ (فصل تابستان)، بیشترین مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین در ایستگاه ۲ در فصل زمستان ۲۱/۳۵ میلی‌گرم بر لیتر است؛ که با توجه به میانگین غلظت این پارامتر (۵۵/۸۱ میلی‌گرم بر لیتر) می‌توان نتیجه گرفت که مقدار آن از حد مجاز (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) بالاتر است. سختی کل آب یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت آب‌های مورداستفاده در مصارف خانگی، صنعتی، کشاورزی و آبزی‌پروری است. مطالعات مختلف نشان داد که سختی نیز مانند قلیایت در کاهش سمیت آلوده‌کننده‌ها و حساسیت شیمیایی در آبزیان مؤثر است [۴۱]. بررسی پارامتر سختی رودخانه موردمطالعه نشان می‌دهد که سختی کل در فصل‌های مختلف از ایستگاه بالادست به سمت ایستگاه پایین‌دست در حال افزایش بوده و میانگین کل آن ۳۴۰/۱۷ میلی‌گرم بر لیتر است و براساس استاندارد بهداشت جهانی که مقادیر کمتر از ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر را توصیه نموده، در طبقه مناسب قرار داشت. PH یا غلظت یون هیدروژن از پارامترهای مهم آب است که مناسب بودن آب برای اهداف مختلف مانند نوشیدن، خانگی، آبیاری و کاربری‌های صنعتی تعیین می‌کند [۴۲]. مقادیر به‌دست‌آمده (۸/۲۲ میلی‌گرم بر لیتر) از آزمایش pH روی نمونه آب در منطقه موردمطالعه بیان‌کننده

آن است که در همه ایستگاه‌ها با توجه به غلظت استاندارد pH در آب (۸/۵-۶/۵ میلی‌گرم بر لیتر) مقدار آن در حد مجاز است. در تحقیقی روی رودخانه ارس در سال ۱۳۹۹ توسط صفی‌زاده و همکاران PH آب موردبررسی قرار گرفت، در این تحقیق pH در آب سطحی رودخانه ۸/۱۷ میلی‌گرم بر لیتر اندازه گرفته شد [۱]. کدورت پارامتر زیباشناسی برای تعیین شفافیت یا تیرگی آب است. عوامل مختلفی مانند ذرات خاک و مواد آلی ارگانیسم‌ها می‌توانند باعث کدورت شوند. کدورت بالا در آب، طعم، بو و زیبایی آب را کاهش می‌دهد و مانع عبور نور به آب برای موجودات آبزی می‌شود [۴۲]. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین میزان در ایستگاه‌های ۲ و ۳ با میزان ۶۷۵/۲ NTU و کمترین میزان در ایستگاه ۱ با میزان ۵۲/۶ بود. در تحقیقی که آمادوتور و همکاران در سال ۲۰۲۳ بر رودخانه باماکو[۱۹]کشور آفریقا انجام دادند [۴۳]، به این نتیجه رسیدند که کدورت در تمامی نمونه‌ها بالاترازمحدوده مجاز (NTU۵) بوده است که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت.

تخلیه پساب‌های انسانی و شیرابه پسماندها در نقاط مختلف رودخانه موجب افزایش آلاینده‌ها در پایین‌دست رودخانه‌ها می‌شود. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های قبلی گیکاها و همکاران (۲۰۲۳)، سوبرامانیا و همکاران (۲۰۲۲)، با توجه به کاهش روند کیفیت آب از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه همخوانی دارد [۱۸-۴۲]. نتایج تقریباً مشابهی در سایر پژوهش‌ها نیز ارائه شده است، به‌عنوان‌مثال پروین و همکاران (۲۰۲۲) با بررسی ۱۴ پارامتر در (بنگال غربی) [۲۰] کشور هند در رودخانه شهری به این نتیجه رسیدند که به‌جز پارامتر TH و pH سایر پارامترها بیش‌ازحد مجاز استاندارد جهانی هستند [۴۴]. مطالعه دیگر پراباگر و همکاران (۲۰۲۳)، با بررسی ۹ پارامتر کیفی آب در طول ۳ ایستگاه نمونه‌برداری به ارزیابی کیفیت آب رودخانه موراگودا[۲۱] در کشور سریلانکا با استفاده از شاخص کیفی NSFWQI پرداختند [۴۵]. شاخص کیفی آب IRWQISC شاخصی برای تعیین کیفیت آب‌های سطحی و ابزاری مؤثر در برقراری ارتباط بین اطلاعات کیفی آب است. طبق نتایج به‌دست‌آمده از شاخص کیفی IRWQISC مطالعه حاضر، ایستگاه میان‌دست و پایین‌دست طبق شاخص به ترتیب ۴۱/۴۸ و ۳۴/۸۵ در طبقه بد قرار گرفتند و کیفیت آب رودخانه نامناسب بود که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. نتایج میانگین شاخص IRWQISC این مطالعه از بالادست به میان‌دست و پایین‌دست رودخانه، روند کاهشی داشته و کیفیت آب رودخانه در بالادست (۴۸/۴۵) و در ایستگاه ۲ و ۳ به‌ترتیب ۲۹ و ۲۱/۰۹ بوده و وضعیت کیفی آب رودخانه در بالادست در رده متوسط و در میان‌دست و پایین‌دست در وضعیت بد بود، که با نتایج مطالعات غمارنیا و همکاران (۲۰۲۳) روی رودخانه گلین استان کرمانشاه مشابه است [۴۱]. براساس شاخص کیفیت آب IRWQISC، وضعیت کیفی آب رودخانه گلین ۲۹/۶۲ بوده و عامل انسانی مهم‌ترین عامل آلودگی رودخانه و کاهش کیفیت آن بوده است. کرامت نژاد و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی آب رودخانه کارون پرداختند و نتیجه‌گیری کردند آب این رودخانه در همه نقاط نمونه‌برداری در رده ضعیف طبقه‌بندی می‌شود [۴۶] که با نتایج رودخانه موردمطالعه همسان است. بنابراین شاخص کیفی آب سطحی شاخصی مناسب برای شناسایی اثرات آلوده‌کننده‌ها روی آب رودخانه‌هاست.

۵. نتیجه‌گیری

با بررسی و اندازه‌گیری پارامترهای رودخانه ماشلک نتیجه گرفته می‌شود که علت اصلی آلودگی این رودخانه در پساب‌های انسانی، صنایع و محل دفن پسماند است. این آلودگی باعث ایجاد بوی نامطبوع به‌ویژه در فصل‌های گرم و کم‌آبی، رشد حشرات، کاهش شدید کیفیت آب به علت بالا رفتن مواد آلی و کاهش شدید اکسیژن محلول رودخانه شده است که این امر سبب رشد جلبک‌های رودخانه شده است. با توجه به یافته‌های تحقیق برای حفظ کیفیت آب رودخانه اقدامات زیر پیشنهاد می‌شود:

۱. ملزم نمودن منابع آلوده‌کننده واقع در اطراف رودخانه ماشلک به رعایت استانداردهای محیط‌زیست دفع پساب؛

۲. نظارت بیشتر از سوی ارگان‌های نظارتی مدیریت پساب‌های انسانی و صنعتی؛
۳. جلوگیری از ورود شیرابه‌های پسماند و جلوگیری از ورود مستقیم آن‌ها به رودخانه؛
۴. راه‌اندازی پایش آنلاین برای اندازه‌گیری کیفیت آب رودخانه ماشلک به‌صورت دوره‌ای؛
۵. ایجاد تصفیه‌خانه جهت تصفیه شیرابه و فاضلاب انسانی قبل از ورود؛
۶. لایروبی رودخانه به‌صورت مستمر؛
۷. تهیه بانک اطلاعات کیفیت آب رودخانه و حفاظت از تغییرات کیفیت آب رودخانه در سال‌های مختلف؛
۸. جلوگیری از تخلیه و دفع زباله در حاشیه رودخانه و یافتن مکان مناسب برای دفع پسماند و پساب؛
۹. به‌کارگیری مدل‌های شبکه عصبی برای پهنه‌بندی کیفیت این رودخانه در پژوهش آتی مطرح شود.

سپاسگزاری

این پژوهش حاصل همکاری و مساعدت سازمان اطلاعات جغرافیایی ایران، شهرداری شهرستان نوشهر می‌باشد. نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از همکاری‌های انجام‌شده از سوی همه عزیزان اعلام می‌دارد.

مراجع

[۱] فرید گیگلو بهنام، قضاوی رضا، دخانی سیامک. ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر کیفیت آب رودخانه مرزی ارس با استفاده از روش‌های آماری مدلSWAT و شاخص WQI، نشریه علمی – پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۴۰۰؛ ۱۳(۴): ۷۱۸-۷۳۱.

[2] Barbulescu A, Barbes L, Dumitriu CS. Assessing the Water Pollution of the Brahmaputra River Using Water Quality Indexes. Toxics. 20219; 297.

[3] Jamal Uddin Md, Jeong YK. Urban river pollution in Bangladesh during last 40 years: potential public health and ecological risk, present policy, and future prospects toward smart water management, Heliyon. 2021; 1-23.

[۴] پاکزاد توچایی ساحل، کاظمی علی. اندازه‌گیری بیسفنول A ونونیل فنول در مصب رودخانه‌های مرکزی دریای خزر و تعیین کیفیت آب با استفاده از شاخص‌های کیفی آب .WQI مجله آب و فاضلاب.۱۴۰۱؛۳۳(۱): ۱۲-۲۶.

[5] Sharma P, Kaushik A. Riverine water quality engendered by policy interventions, episodic socio-cultural activities, and the COVID-19 pandemic lockdown: A case study of upper and middle Ganga, India, International Journal of Geography, Geology and Environment. 2023; 5(1): 15-24.

[۶] میرزایی روح اله، عباسی نسترن، ساکی زاده محمد. بررسی کیفیت آب رودخانه‌های جاری در استان بوشهر با استفاده از شاخص کیفیت آب طی سال‌های ۹۲-۱۳۹۰، دوماهنامه طب جنوب، پژوهشکده زیست-پزشکی خلیج‌فارس، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر.۱۳۹۶؛ ۲۰(۵): ۴۷۰ - ۴۸۰.

[۷] خنک آرش، سرائی تبریزی مهدی، بابازاده حسین، صارمی علی، محمدی قلعه نی مهدی. مدل‌سازی کیفیت آب رودخانه سفیدرود با استفاده از نرم‌افزار Qual2kw .مجله پژوهش آب ایران.۱۴۰۰؛ ۱۵(۱): ۱۲۱-۱۳۱.

[۸] مظلومی محمد، حاتمی علی، مریدی علی، خلیلی رضا. ارزیابی حساسیت شاخص‌های کیفیت آب بنیاد ملی بهداشت و شاخص کیفیت آب سطحی ایران بر کیفیت آب رودخانه نکارود. مجله مدیریت آب و آبیاری.۱۴۰۲؛ ۱۳(۳): ۵۸۱-۵۹۲.

[۹] زمانی رسول، محمودی حامد، امینیان سحر، بیاتی سمیرا، چمنی عاطفه. بررسی تغییرات زمانی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از شاخصIRWQIsc. مجله مهندسی بهداشت محیط.۱۴۰۲؛۱۰(۴):۳۹۸-۴۱۱.

[۱۰] آقایی مهراب، حشمت پور علی، قره محمود لو مجتبی، سیدیان سید مرتضی. بررسی کیفیت آب رودخانه چهل چای با استفاده از شاخص IRWQIsc. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۱۳۹۹؛ ۲۲(۵): ۱۵۳-۱۶۶.

[۱۱] خلیلی رضا، منتصری حسین، متقی حامد، جلیلی محمدباقر. ارزیابی کیفیت آب رودخانهٔ تالار استان مازندران با استفاده از ترکیب شاخص‌های کیفیت آب و مدل‌سازی چندمتغیره .مدل‌سازی و مدیریت آب‌وخاک. ۱۴۰۰؛۱(۴): ۳۰-۴۷.

[12] Sutadian AD, Muttil N, Yilmaz AG, Perera BJ. Development of river water quality indices—a

review. Environmental monitoring and assessment. 2016 Jan;188:1-29.

[۱۳] قلی زاده محمد، حیدری امید. ارزیابی کیفیت رودخانه گرگان‌رود بر پایه شاخص‌های کیفی آب‌های سطحی در محدوده شهر گند کاووس. مجله سلامت و محیط‌زیست.۱۳۹۹ ؛۱۳(۱): ۳۳-۴۸.

[14] Misaghi F, Delgosha F, Razzaghmanesh M, Myers B. Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: A case study of the Ghezel Ozan River. Science of the Total Environment. 2017 Jul 1;589:107-16.

[15] Al-Mayah WT, Al-Mayyahi SOM, Al-Shammary SH. Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): A case study of the Tigris River, Baghdad, Iraq, IOP Conf. Series: Earth and Environmental. 2021; 779: 012078.

[16] Nizar FS, Mohd Ghazi R, NR. Awang and M Muhammad. Assessment of Kelantan River water quality using water quality index (WQI), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.2021; 842: 012005.

[17] Kwon HG, Jo CD. Water quality assessment of the Nam River, Korea, using multivariate statistical analysis and WQI. International Journal of Environmental Science and Technology. 2023; 20: 2487–2502.

[18] Gikas GD, Lergios D, TsihrintzisVA. Comparative Assessment of the Application of FourWater Quality Indices (WQIs) in Three Ephemeral Rivers in Greece. Water .2023; 15: 1443.

[19] Ravi N, Kumar Jha P, Varma K, Tripathi P, Kumar Gautam S, Ram K, Kumar M, Tripathi V. Application of water quality index (WQI) and statistical techniques to assess water quality for drinking, irrigation, and industrial purposes of the Ghaghara River, India. Total Environment Research Themes. 2023; 6, 100049.

[20] Elsayed Gabr M, Soussa H. Assessing surface water uses by water quality index: application of Qalyubia Governorate, Southeast Nile Delta, Egypt, Applied Water Science.2023; 13: 181.

[۲۱]مقدم یکتا نازلی، رفعتی مریم، کریمی عبدالرضا، سجادی نوشین. بررسی کیفیت آب رودخانه شهری و ارزیابی تناسب آن‌ها با کاربری حفاظت از محیط‌زیست (مطالعه مورد رودخانه کن)، مجله محیط‌زیست و مهندسی آب. ۱۴۰۱؛ ۸، (۳): ۷۳۸ - ۷۵۲.

[۲۲]پاشازاده لاله زینب، جعفری هادی، واعظی هیرعبدالرضا. ارزیابی کیفیت آب رودخانه آجی چای (دشت تبریز) بر اساس شاخص‌های کیفی مصارف ویژه؛ نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران.۱۴۰۰؛ ۱۱(۴۴): ۳۴۴-۳۶۶.

[۲۳] قمرنیا هوشنگ، پالاش میثم، پالاش زلیخا. ارزیابی کیفیت آب رودخانه گلین در استان کرمانشاه با استفاده از شاخص کیفیت آب و شاخص آلودگی رودخانه، مجله سلامت و محیط‌زیست، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران.۱۴۰۱؛ ۱۵(۳): ۴۴۱ - ۴۵۶.

[۲۴] چراغی میترا، ظهیری جواد، مرادی سبزکوهی عادل، مرادی شهرام. ارزیابی کیفیت آب رودخانه شوربارک بر پایه شاخص‌های کیفی آب‌های سطحی در محدوده شهر هفتکل، استان خوزستان. مجله مطالعات علوم محیط‌زیست.۱۴۰۲؛ ۸(۴): ۷۵۸۷-۷۵۹۴.

[۲۵] زمانی احمد، محمودی رسول، قائد امینی فاطمه، نجفی مریم. الگوی توزیع مکانی کیفیت آب رودخانه پیرغار با استفاده از شاخص کیفیت آب (NSFWQI) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۱۴۰۰؛ ۲۳(۲): ۷۳-۸۶.

[۲۶] رادمهر محبوبه، مقیمی کندلوس علی، صلواتی مژگان، حکیمی آسیابر سعید. بررسی تغییرات غلظت فلزات سنگین و شاخص‌های آلودگی رسوبات سطحی رودخانه ماشلک نوشهر(استان مازندران). مجله رسوب‌شناسی کاربردی.۱۴۰۱؛ ۱۰ (۱۹): ۱۳۱-۱۴۹.

[۲۷] قنبری فاطمه، عابدین‌زاده نیلوفر، آلیانی حمیده.شناسایی آثار محیط‌زیستی محل‌های دفن پسماند با استفاده از معیارهای مکان‌یابی (مطالعه موردی: محل دفن پسماند شهر رشت). پژوهش‌های محیط‌زیست۱۳۹۵؛ ۶ (۱۲): ۳۶ - ۷۰.

[۲۸] اسماعیلی رضا، رفیعی محسن، لرستانی قاسم، بزرگمهر کیا. طبقه‌بندی مخاطرات رودخانه‌های شهری (مطالعه موردی: استان مازندران، شهر نوشهر). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۳۹۷؛ ۲۶(۱): ۳۷-۵۱.

[۲۹] استانداری مازندران، ۱۳۹۹. طرح جامع مدیریت پسماند استان مازندران، کمیته تخصصی پسماند، دفتر امور شهری و شوراهای استانداری مازندران، ایران.

[۳۰] سازمان حفاظت محیط‌زیست خوزستان، ۱۴۰۲.

[31] Raheja H, Goel A, Pal M. Evaluation of groundwater quality for drinking purposes

based on machine learning algorithms and GIS. Sustain. Water Resour. Manag. 2024; 10: 11.

[32] Naz I, Ahmad I, Aslam RW, Quddoos A, Yaseen, A. Integrated Assessment and Geostatistical Evaluation of Groundwater Quality through Water Quality Indices. Water. 2024; 16: 63.

[33] WHO. Guidelines for drinking-water quality. WHO chronicle. 2011;38(4):104-8. Recommendations. – 3rd ed.

[۳۴] قربانپور بیژن، کریمی شهرام. بررسی تغییرات غلظت نیترات و فسفات در آب رودخانه اشمک کوچصفهان – زیباکنار، نشریه علمی اکوبیولوژی تالاب – دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۳۹۸؛ ۴۱(۱۱): ۷۳–۸۴.

[۳۵] دادخواه تهرانی مجتبی، کریمی درمیان سهیل، مریدی علی، خلیلی رضا. ارزیابی کیفیت آب رودخانه چالوس بر اساس شاخص‌های کیفی IRWQIsc و NSFWQI، مطالعات علوم محیط‌زیست.۱۴۰۲؛ ۸(۳): ۷۰۶۴–۷۰۷۲.

[۳۶] عباس پور مجید، جاوید امیرحسین، حبیبی اوین. تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه و بررسی روند تغییرات سالیانه آن. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست.۱۳۹۲. ۱۵(۴): ۱–۱۱.

[۳۷] شیرزادنیا جواد، حشمت پور علی، فتح‌آبادی ابوالحسن، اکبری رضا. نقش زیرحوضه‌ها در پارامترهای کیفیت آب رودخانه چهل‌چای. مجله محیط‌زیست و مهندسی آب.۱۳۹۶؛ ۳(۴): ۳۷۸–۳۹۰.

[۳۸] توکل میترا، شایقی منصوره، منوری سید مسعود، کرباسی عبدالرضا. ارزیابی آلودگی ناشی از کارگاه‌های پرورش ماهی قزل‌آلا(مطالعه موردی رودخانه هراز). مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. ۱۳۹۹؛ ۲۲(۵): ۱–۲۲.

[39] Gunarathna KGKR, Samarakoon MB. Water Quality Index Based Analysis for Variation of Water Quality in Gin River, Sri Lanka, Gunarathna, J. Envir. Eng. Sci 2023; 9: 225-244.

[40] Jahidul Islam Md. A Study on Seasonal Variations in Water Quality Parameters of Dhaka Rivers, Iranica Journal of Energy and Environment. 2024; 15(1): 91-99.

[41] Ghamarnia H, Palash Z, Palash M. Evaluation of Golin river quality in Kermanshah province using the standard surface water resources quality index of Iran (IRWQISC), Journal of Applied Research in Water and Wastewater.2023; 10 (1): 7-14.

[42] Subramanian A, Baskar S. Water quality assessment of Noyyal River using water quality index (WQI) and multivariate statistical techniques, WATER SCIENCE. 2022; 36(1): 85–98.

[43] Amadou Toured SB, Samakec M, Zheng T. Assessment of the water quality of the Niger River in Bamako, Mali, based on the Water Quality Index Lamine Ousmane Sangarea, Water Supply. 2023; 23 (2): 1-17.

[44] Parween S, Alam Siddique N, Mahammad Diganta MT, Olbert AI, Galal Uddin Md. Assessment of urban river water quality using modified NSF water quality index model at Siliguri city, West Bengal, India, Environmental and Sustainability Indicators.2022; 16: 1-14.

[45] Prabagar S, Thuraisingam S, Prabagar J. Sediment analysis and assessment of water quality in spacial variation using water quality index (NSFWQI) in Moragoda canal in Galle, Sri Lanka, Waste Management Bulletin.2023; 15–20.

[۴۶] کرامت نژاد افضلی، خبازی مصطفی، بیاتانی فاطمه. پهنه‌بندی کیفی آب رودخانه کارون بر مبنای شاخص کیفی و بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی. مطالعات علوم محیط‌زیست.۱۴۰۲؛ ۸(۱): ۷۷۶۲–۷۷۸۳.

پی‌نوشت‌ها

1. Tigris
2. kelantan
3. Nam
4. Laspias
5. Kosintos
6. Lissos
7. Ghaghara
8. Gps
9. Electrotermal
10. Lovi Bond
11. Spectro Photometer
12. Turb
13. Nephelo Meter
14. Overlay
15. No./100 ml
16. µs/cm
17. µmhos/cm
18. Dhaka
19. Bamako
20. West Bengal
21. Moragoda