فصلنامه علوم محیطی، دوره نوزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰

۱۵۱-۱۶۸

ارزیابی کیفیت آب دریاچه سد کلان ملایر با استفاده از سنجه NSFWQI و پهنه بندی نتایج آن با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی

هاجر مریخ پور [۱*]، بهاره لرستانی[۲] و مهرداد چراغی [۲]

[۱] گروه علوم کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه سید جمال الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران
[۲] گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۱ تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۴/۰۹

مریخ پور، ه.، ب. لرستانی و م. چراغی. ۱۴۰۰. ارزیابی کیفیت آب دریاچه سد کلان ملایر با استفاده از سنجه NSFWQI و پهنه بندی نتایج آن با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه علوم محیطی. ۱۹(۲): ۱۵۱-۱۶۸.

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر، تغییرات در مقدار، توزیع و کیفیت آب‌های سطحی جهان سبب شده است که به تمام این منابع توجه ویژه‌ای شود. بر این اساس چه از لحاظ اقتصادی و چه از لحاظ توسعه اجتماعی در کشورها، دسترسی به آب با کیفیت خوب و بررسی ظرفیت آن دارای اهمیت است. هدف از این مطالعه، بررسی کیفیت آب با استفاده از سنجه کیفیت آب مؤسسه ملی بهداشت امریکا (NSFWQI)[۱] و پهنه بندی آن در نمونه‌های آب سطحی برداشت‌شده از دریاچه پشت سد کلان ملایر بوده است.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی کیفیت آب دریاچه سد، در مجموع ۱۹ نمونه آب در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، شهریور، مهر و بهمن از نقاط مختلف سد برداشت شد. افزون بر آن، در هر مرحله نمونه برداری، از آب خروجی از سد نیز نمونه تهیه شد. پارامترهای مورد نیاز برای بررسی سنجه کیفیت آب شامل pH، اکسیژن محلول، جامدات کل، نیاز بیوشیمیائی اکسیژن، کدورت، دما، نیترات، فسفات و باکتری‌های کلیفرم در نمونه‌ها اندازه گیری و تأثیر هر یک از آن‌ها بر مقدار پارامترهای سنجه کیفیت آب بررسی شد. همچنین، پهنه‌بندی این سنجه در مسیر رودخانه و دریاچه سد با استفاده از نرم افزار Arc GIS در هر یک از مرحله‌های نمونه برداری به‌صورت جداگانه انجام شد.

نتایج و بحث: نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که با توجه به بالا بودن بیلان عناصر تغذیه‌ای نیترات و فسفات، غلظت این عناصر در جریان ورودی بیشتر از آب خروجی از سد بوده است. همچنین نتایج بررسی باکتری‌های کلیفرم نشان داد که دریاچه سد کلان و رودخانه در همه فصل‌ها و در تمامی نقاط نمونه‌برداری، دارای آلودگی میکروبی به کلیفرم‌ها بیش از حد استاندارد مصرف شرب می‌باشد. کمترین مقدار عددی محاسبه شده سنجه کیفیت آب NSFWQI در مسیر رودخانه و دریاچه سد (۵۹/۱) در اردیبهشت ماه و بیشترین مقدار آن (۷۴/۴) در بهمن ماه به‌دست آمد. مطابق با نتایج، کیفیت آب خروجی از سد در محدوده متوسط قرار دارد. بالاتر بودن کیفیت آب در بهمن ماه به‌دلیل پایین بودن اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)[۲] و بالا بودن میزان اکسیژن محلول بود. میزان اکسیژن محلول در بهمن ماه، بیشترین مقدار را نشان داد که می‌تواند ناشی از افزایش قابلیت انحلال اکسیژن به‌دلیل کاهش دمای آب و همچنین کاهش فعالیت‌های حیاتی (تنفس موجودا زنده و تجزیه

* Corresponding Author: *Email Address*. merrikhpour@sjau.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.33909

مواد آلی) باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که به‌طور کلی کیفیت آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل زمستان به‌دلیل افزایش حجم دبی آب رودخانه و آب ذخیره شده در پشت سد، کاهش دما و کاهش فعالیت‌های کشاورزی شرایط مطلوب‌تری دارد. با توجه به فعالیت کشاورزی در منطقه‌های بالادست دریاچه سد و وجود روستاها در مجاورت رودخانه، می‌توان نتیجه گرفت که ورود زه آب‌های کشاورزی که شامل سم‌ها و کودهای شیمیایی و حیوانی می‌باشند اساسا موجب ورود آلاینده هایی همچون نیترات و فسفات به رودخانه و سپس به مخزن سد می‌گردند.

واژه‌های کلیدی: سد کلان، کلیفرم، سنجه کیفیت آب، پهنه‌بندی

مقدمه

با توجه به نقش حیاتی آب، در تمامی ادوار زندگی بشر و گسترش روز افزون جمعیت، بحران کم آبی بسیار مهم است. اهمیت آب در تمام جنبه‌های زندگی انسان، گیاهان و جانوران واضح و غیرقابل انکار است. از مواردی که سبب گسترش آلودگی و محدود شدن منابع آب در دسترس شده است می توان به افزایش تقاضای آب، تنوع و تعدد آلاینده-ها، همراه رشد جمعیت، تخلیه فاضلاب‌های شهری، صنعتی، کشاورزی، شیرابه محل‌های دفع زباله و روان آبهای سطحی اشاره کرد(Khalifeh and Khoshnazar, 2018). افزایش کمبود آب در کشورهای در حال توسعه، موجب مبحث ارزیابی کیفیت آب در سال‌های اخیر شده است.

سال‌هاست که احداث سدها هر چند مفید، اثرهایی ناخوشایند در چرخه آب دارند و این اثرها بیشتر به‌دلیل زمان ماند بالای آب در مخزن سد بوجود می‌آید. در اثر زمان ماند بالا و تلاطم نداشتن آب، زمینه برای رشد میکروارگانیسم‌ها و رخداد واکنش‌های شیمیایی فراهم می-شود و کیفیت آب تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با افزایش نرخ واکنش‌ها، غلظت اکسیژن محلول رو به کاهش می‌رود و واکنش‌های شیمیایی محصول‌های دیگری تولید می‌کنند که بیشتر سمی هستند (AmirBeygi, 2006).

نظریه توسعه پایدار، استفاده بهینه از منابع و جلوگیری از آلوده شدن آن‌ها، کاهش ظرفیت‌های تولید محلی، ناحیه‌ای و ملی را مطرح می‌کند (Wallington *et al*., 2007). یکی از این منابع، آب است که جلوگیری از آلوده شدن آن می‌تواند از هدف‌های توسعه پایدار باشد. در این راستا، حفظ کیفیت منابع آب به‌منظور تأمین آب آشامیدنی، ارتقاء فعالیت‌ها و کاربری‌های تفریحی و ایجاد یک بوم سازگان مناسب برای آبزیان و حیات وحش مستلزم کیفیت بالای منابع آب سطحی همچون رودخانه‌ها می‌باشد. کیفیت آب-های سطحی کمابیش بستگی زیادی به ترکیب و میزان عناصر تشکیل‌دهنده بستر جریان آب و نیز شرایط جوی منطقه دارد.

سنجه‌ها با ساده سازی و کاهش اطلاعات خام و اولیه افزون بر بیان کیفیت آب، روند تغییرات کیفی آب را در طول مکان و زمان نشان می‌دهند. به کمک سنجه‌های کیفی می‌توان منطقه‌هایی را که از نظر آلودگی بیشتر مورد تهدید هستند، مشخص و منابع آب را مدیریت کرد. از جمله مهمترین سنجه‌های کیفی منابع آب می‌توان به NSFWQI، OWQI[3] و CWQI [4] اشاره کرد (Shamsaii *et al*., 2005).

با مقایسه بین سنجه‌های بیان شده، می‌توان سنجه کیفیت آب مؤسسه ملی بهداشت آمریکا که یک سنجه عمومی است را به‌عنوان سنجه برتر انتخاب کرد. استفاده از سنجه NSFWQI بسیار متداول بوده و برای طبقه بندی کیفی آب‌های سطحی از لحاظ آشامیدن سنجه‌ای کامل و جامع محسوب می‌گردد و با بکارگیری آن می‌توان دید مناسبی در مورد کیفیت آب رودخانه‌ها به‌دست آورد (Sanchez *et al*., 2007). از دلیل‌های عمده انتخاب این سنجه به‌عنوان سنجه پرکاربرد می‌توان به مرسوم بودن، ساده بودن، دارا بودن نرم افزار جهت محاسبه، راحتی اندازه گیری پارامترهای مورد نیاز (اکسیژن محلول، کلیفرم مدفوعی، پی اچ، نیاز اکسیژن

بیوشیمیائی، نیترات، فسفات، دمای آب، کدورت و کل مواد جامد) در ایران و همچنین استفاده از آن در مطالعات مختلف اشاره نمود.

بنا به اهمیت موضوع، تاکنون پژوهش‌های ارزشمندی در مورد ارزیابی، پهنه‌بندی کیفی رودخانه‌ها انجام شده است که از این میان می‌توان به Ebrahimi *et al*. (2017) اشاره کرد. آن‌ها در ارزیابی کیفیت آب رودخانه تجن با استفاده از سنجه کیفی NSFWQI نشان دادند که کیفیت آب رودخانه در طبقه کیفی متوسط تا خیلی بد قرار داشت. در تحقیق دیگری در بررسی کیفیت آب رودخانه سفیدرود با استفاده از سنجه NSFWQI بیان شد که بیشترین مقدار سنجه در بهمن ماه و کمترین آن در مردادماه بوده است. میانگین سنجه برای رودخانه سفید رود ۴۷/۵ به‌دست آمد که کیفیت آب را در رده کیفیت بد قرار می‌دهد (MirMoshtaghi *et al*., 2011). Javid *et al*. (2014) برای ارزیابی کیفیت آب دریاچه سد دز از سنجه WQI استفاده کردند. مطابق با نتایج مطالعه آن‌ها بهترین کیفیت آب سد در دی ماه با عدد سنجه ۶۱ و بدترین شرایط کیفیت آب سد در فرودین ماه با عدد سنجه ۴۶ گزارش شده است. در بررسی کیفیت آب دریاچه سد اکباتان شهرستان همدان با سنجه کیفی NSFWQI، بدترین کیفیت مربوط به مردادماه و بهترین کیفیت در بهمن ماه گزارش شده است (Samarghandi *et al*., 2013).

در بررسی کیفیت آب دریاچه زریوار کردستان با استفاده از سنجه NSFWQI، کیفیت آب دریاچه متوسط ارزیابی شد (Sharifinia *et al*., 2019).

کیفیت آب در هر محل، منعکس کننده اثر عامل‌های مختلف مانند زمین شناسی، شرایط اقلیمی و منابع آلاینده انسانی می‌باشد و پایش کیفیت منابع آب بیشتر موجب تولید داده‌های پیچیده‌ای می‌شود که حاوی اطلاعات غنی درباره رفتار منابع آب هستند و نیاز به روش‌های مناسبی برای تحلیل و تفسیر دارند. برنامه‌های پایش کیفیت منابع آب می‌توانند کیفیت مناسب منابع آب برای کاربری‌های مختلف را تضمین کنند. بدون پایش و داشتن اطلاعات مستمر از کیفیت منابع آب و روند تغییرات آن، برنامه ریزی برای تخصیص بهینه برای کاربری‌های گوناگون و طراحی و اجرای برنامه‌های مدیریتی امکان‌پذیر نمی‌باشد. به‌دلیل کمبود اطلاعات در زمینه کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب سد و تأثیر همزمان آلودگی‌های بیولوژیکی، در این تحقیق به بررسی این ویژگی‌ها در سد کلان ملایر پرداخته شد. بنابراین هدف از این مطالعه پهنه‌بندی سنجه کیفیت آب NSFWQIدر نمونه‌های آب سطحی برداشت‌شده در فصل-های مختلف سال و مقایسه آن‌ها با یکدیگر بوده است.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های آب و آنالیز پارامترهای سنجش کیفیت

سد کلان ملایر در ۳۰ کیلومتری جنوب شهر ملایر با هدف تأمین سالانه ۱۲ میلیون متر مکعب آب شرب مورد نیاز شهر ملایر، تامین۴ میلیون متر مکعب آب مورد نیاز بخش کشاورزی، ۰/۵ میلیون متر مکعب نیاز بخش صنعت و تأمین ۵/۵ میلیون متر مکعب آب مورد نیاز مسئله‌های محیط زیستی احداث شده است.

قبل از شروع نمونه برداری با توجه به مطالعات انجام شده و اطلاعات گردآوری شده، با استفاده از نرم افزار ArcGIS 9.3 و نقشه‌های کاربری زمین‌های تهیه شده از حوزه آبخیز مربوطه، محل‌های دقیق نمونه برداری به گونه‌ای انتخاب شد که بیشترین تأثیر را در پذیرش آلاینده‌های ورودی داشته و کل محدوده سد را پوشش دهد.

شکل ۱، محل نقاط نمونه برداری نمونه‌های آب را نشان می‌دهد. در مجموع، ۱۹ نمونه آب از سطح دریاچه پشت سد در هر مرحله از نمونه برداری برداشت شد. افزون بر آن، در هر مرحله نمونه برداری، از آب خروجی از سد نیز نمونه تهیه شد. مختصات نقاط نمونه برداری با GPS ثبت شد. نمونه برداری در ۵ مرحله و در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، شهریور، مهر و بهمن صورت گرفت. شایان یادآوری است که

زمان‌های نمونه برداری به‌طور عمده بر مبنای تغییرات فصلی تعیین گردیده است.

نمونه برداری در ساعت ۷ - ۱۰ صبح انجام شد. نمونه‌ها در ۳ تکرار برداشت شدند. نمونه‌ها پس از برداشت به ظرف‌های مخصوص (با حجم یک لیتر) انتقال داده شدند و در محیط تاریک و مجاور یخ به آزمایشگاه منتقل شدند. اندازه گیری دمای آب، هدایت الکتریکی (EC)، پ هاش (pH) و کل مواد جامد محلول (TDS) با استفاده از دستگاه قابل حمل - Multi Parameter مدل HQ30D و اکسیژن محلول (DO) به وسیله دستگاه چند منظوره U10HORIBN و پس از کالیبره شدن در محل اندازه گیری شدند(Miller *et al.*, 1987).

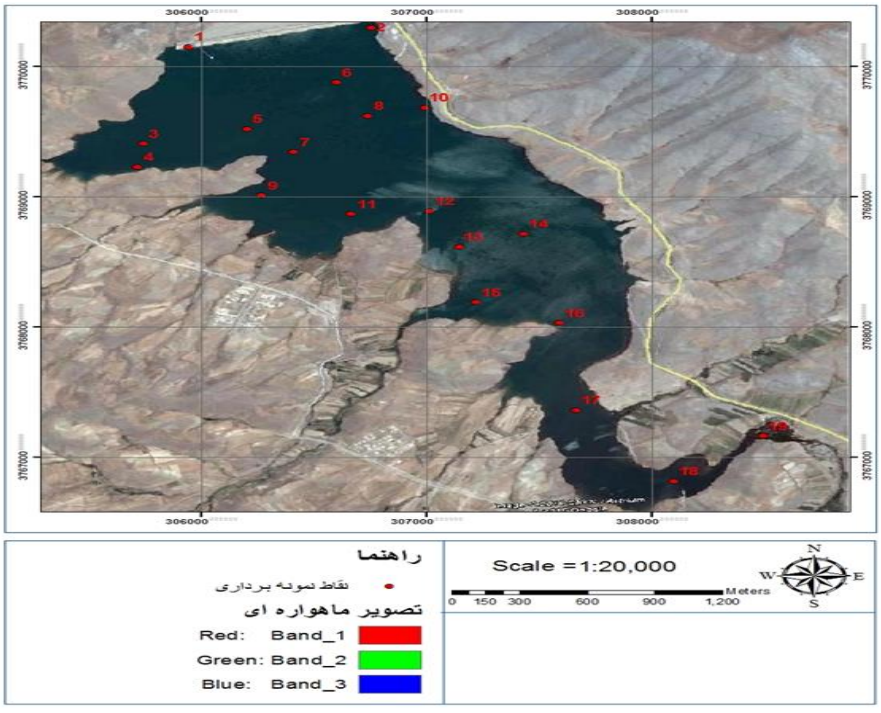
سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شدند و پارامترهای کدورت با استفاده از دستگاه کدورت‌سنج JENWAY مدل 4350 و BOD در نمونه‌ها با دستگاه BOD متر Lovibond براساس استاندارد شماره ۵۲۱۰ انجام شد (راهنمای آزمایش آب و فاضلاب، ۲۰۰۳). غلظت آنیون‌های NO_3^- و PO_4^{3}به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شده است (Rowell, 1994). نمونه‌ها در مدت زمان انجام آزمایش‌ها در دمای ۴ درجه سانتی گراد، در یخچال نگهداری می-شدند.

در نمونه‌ها همچنین فراوانی کلیفرم مدفوعی (به روش M.P.N)[5] اندازه گیری شد. برای شمارش احتمالی کلیفرم‌ها)روش تخمیر چند لوله‌ای به‌صورت سه مرحله احتمالی، تأییدی و تکمیلی استفاده شد (Eaton and Franson, 2005; Zazouli and Bazrafshan, 2009).

بیلان مواد مغذی

کیفیت آب مخازن سدها از مسئله‌هایی است که فکر متخصصان آب و علوم محیط زیست دنیا را به خود مشغول داشته و همواره برای مبارزه با تغییرات کیفیت آب که متأثر از عامل‌ها و پدیده‌های مختلف است، تلاش و پیگیری شده است. با توجه به داده‌های دبی ورودی و خروجی سد، بیلان مواد مغذی فسفر و نیتروژن در دریاچه سد کلان ملایر بنابر رابطه (۱) محاسبه شده است (Parham *et al.*, 2007):

$$\text{بیلان} = (\text{دبی ورودی} \times \text{غلظت مواد}) / (\text{دبی خروجی} \times \text{غلظت مواد}) \quad (۱)$$



شکل ۱- نقشه پراکنش نقاط نمونه برداری دریاچه سد کلان ملایر

Fig. 1- Distribution map of sampling stations in Malayer Kalan dam

محاسبه سنجه کیفیت آب (NSFWQI)

برای محاسبه سنجه کیفی آب برای هر یک از پارامترهای اکسیژن محلول، کلیفرم مدفوعی، pH، نیاز اکسیژن بیوشیمیائی، نیترات، فسفات، دمای آب، کدورت و کل مواد جامد اندازه گیری شده، با استفاده از نرم افزار NSFWQI calculator زیر سنجه از روی منحنی سنجه کیفیت محاسبه می‌گردد.

سنجه نهایی از رابطه (۲) محاسبه می گردد (Hernández *et al.*, 2012).

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^{n} W_i\, Q_i \qquad (۲)$$

W_i: وزن یا درجه اولویت عامل که از ۰ تا ۱ متغیر است.

Q_i: عیار یا کیفیت پارامتر که از ۰ تا ۱۰۰ متغیر است.

WQI: سنجه کیفیت آب که از ۰ تا ۱۰۰ متغیر است که در جدول ۱ به‌همراه معادلات توصیفی آورده شده است.

جدول ۱- معادل توصیفی سنجه محاسبه شده (Hernández *et al.*, 2012)

Table 1. Descriptive equivalent of the calculated index (Hernández *et al.*, 2012)

ردیف Row	مقدار سنجه Index value	معادل توصیفی Description	توضیحات Explanation
1	0-25	خیلی بد Very bad	برای هیچ یک از کاربردهای زیر مناسب نمی‌باشد. Not appropriate for the following land use.
2	25.1-50	بد Bad	مناسب برای آبیاری زمین‌های کشاورزی Appropriate for irrigation agricultural lands.
3	50.1-70	متوسط Moderate	در صورت استفاده از آن جهت تأمین آب شرب نیازمند تصفیه پیشرفته است، مناسب برای پرورش شیلات و گونه‌های مقاوم آبی، مناسب به‌عنوان آب شرب حیوانات اهلی If used for drinking water, it needs advanced treatment; Suitable for fisheries and resistant species; Suitable as drinking water for domestic animals.
4	70.1-90	خوب Good	در صورت استفاده از آن جهت تأمین آب شرب نیازمند تصفیه متداول است، مناسب برای پرورش ماهی و گونه‌های حساس آبی، مناسب برای مقاصد تفریحی چون شنا If used for drinking water, it requires conventional treatment; Suitable for fisheries and sensitive aquatic species; Suitable for recreational purposes such as swimming.
5	90.1-100	خیلی خوب Very good	دارای حالت طبیعی، در صورت استفاده از آن جهت تأمین آب شرب نیاز به تصفیه ندارد، مناسب برای پرورش شیلات وگونه‌های حساس آبی With normal condition, If used for drinking water, it does not need treatment; Suitable for fisheries and sensitive aquatic species.

درون‌یابی و تهیه نقشه توزیع مکانی (پهنه بندی)

با کمک نرم افزار ArcGIS 9.3 و با استفاده از تکنیک درون-یابی وزنی، نقشه توزیع مکانی برای سنجه کیفیت آب ترسیم گردید (Basir and Nabavi, 2009). در زمین آمار می‌توان با داشتن مقادیر یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار آن کمیت را در نقطه دیگری با مختصات معلوم برآورد نمود، به شرط آنکه مختصات مقدار نامعلوم در دامنه‌ای که ساختار فضایی حاکم است، قرار گیرد. درون‌یابی مکانی شامل برآورد مقدار یک متغیر با استفاده داده‌های موجود در مکان‌هایی است که داده وجود ندارد (Hasanipak, 1998; Asakereh, 2008).

در این بررسی، به‌منظور تعیین نقشه توزیع مکانی سنجه کیفیت آب از روش‌های درون‌یابی کریجینگ (Kriging) (رابطه ۳) و میانگین وزنی عکس فاصله (Inverse distance weighted- IDW) (رابطه ۴) استفاده شده است.

$$Z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \frac{1}{d_i^{\alpha}}\, Z(x_i)}{\sum_{i=1}^{n} x_i \frac{1}{d_i^{\alpha}}} \qquad (۳)$$

که در آن d_i فاصله بین نقطه تخمین تا هر یک از نمونه‌های واقع در همسایگی آن، $Z(x_0)$ مقدار تخمین خاصیت مورد نظر در نقطه x_i، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده خاصیت مورد نظر در نقطه x_i و α عبارت از توان عکس فاصله است (Both, 2000).

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \qquad (۴)$$

که در آن λ_i وزن یا اهمیت کمیت وابسته به نمونه i ام می‌باشد (Krig, 1951).

ارزیابی اعتبار مدل و برآورده ها با محاسبه آماره‌ای میانگین مطلق اشتباهات (Mean absolute error -MAE) و میانگین اریبی اشتباهات (Mean bias error-MBE) بنابر روابط (۵) و (۶) انجام شد (Wakernagel, 2002):

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{x=1}^{n} |\hat{z}(x) - z(x)| \qquad (۵)$$

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{x=1}^{n} [\hat{z}(x) - z(x)] \qquad (۶)$$

که در آن n تعداد نمونه‌ها و $\hat{z}(x)$ مقدار برآورد درنقطه x می‌باشد. مقادیر MAE و MBE مقدار اریبی را نشان می‌دهد که در حالت ایده آل بایستی مساوی صفر باشند. مقادیر مثبت یا منفی قابل توجه آن‌ها به ترتیب نشان دهنده برآورد بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی می‌باشند (Wakernagel, 2002). در واقع MAE معرف دقت روش و مقدار متوسط خطاست که هر چه به صفر نزدیکتر باشد، بهتر است و MBE نشانگر میانگین انحراف معیار مقدار برآوردی از مقدار مشاهده است و هر چه کمتر باشد بهتر است (Bullock, 1999 Allexandra, and).

نتایج و بحث

شناخت آب ازنظر کیفیت، کمیت و چگونگی حصول آن قدمی اساسی در جهت بهینه سازی مصرف است. عمده فعالیت‌های آب شناسی در جهت تأمین آب برای مصرف-های کشاورزی، شرب و یا صنعت می‌باشد که هرکدام به لحاظ کیفی باید دارای ویژگی‌های کیفی و معیارهای مشخص باشند (Alizadeh, 2007).

بیلان مواد مغذی آب خروجی سد

جدول ۲ بیلان مخزن سد کلان ملایر را در ماه‌های نمونه برداری نشان می‌دهد.

فسفر مهمترین ماده مغذی برای تولیدات اولیه در اکوسیستم های آبی است، بنابراین غلظت فسفر در آب ها اهمیت ویژه دارد (Hopkins, 2015). نیترات بالاترین فرم اکسیده نیتروژن در حوضه آبی دریاچه بوده و مقادیر آن به بیش از ۰/۲ میلی گرم در لیتر منجر به افزایش رشد آلگ‌ها شده و شرایط را برای فراغنی شدن محیط مهیا می‌سازد (Khodaparast and Vatanparast, 2002).

کمترین بیلان محاسبه شده برای نیترات و فسفات به ترتیب ۰/۲۰۲ و ۰/۱۸۵ میلی گرم در ثانیه در مهرماه و بیشترین مقدار آن ۸۵/۵۳ و ۵۳/۸۲ میلی گرم در ثانیه در بهمن ماه به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد. غلظت نیترات و فسفات در جریان ورودی بیشتر از خروجی بوده است. جهت توضیح این مطلب می‌توان به منابع ورود نیتروژن و فسفر اشاره کرد، که از آن جمله می‌توان به رسوبات خشک و مرطوب از اتمسفر، آبشویی و روان آب‌های سطحی از آبخیز، انتقال بیولوژیکی، نیتریفیکاسیون و ورود آب‌های زیرزمینی که به دریاچه ها تخلیه شده اشاره کرد (Rabie *et al*., 2013).

جدول ۲- بیلان مخزن سد کلان ملایر در ماه‌های نمونه برداری

Table 2. Balance of Malayer Kalan dam reservoir during sampling months

بهمن February	مهر October	شهریور September	خرداد June	اردیبهشت May	
1.61	0.17	0.26	1.07	11.34	ورودی (میلیون متر مکعب) Input (mm^3)
0.03	0.45	1.12	0.44	12.63	خروجی (میلیون متر مکعب) Output (mm^3)
41.72	37.74	38.18	42.91	42.24	حجم (میلیون متر مکعب) Volume (mm^3)

از آنجا که در منطقه‌های بالادست دریاچه سد کلان فعالیت‌های کشاورزی بیشتر فعالیت‌ها را به خود اختصاص داده است، بنابراین فعالیت‌های کشاورزی بیشترین سهم را در آلوده کردن رودخانه دارند. ورود زه آب‌های کشاورزی که شامل سم‌ها و کودهای شیمیایی و حیوانی می‌باشند،در اصل موجب ورود آلاینده‌هایی همچون نیترات و فسفات به رودخانه و سپس به مخزن سد می‌گردند. همچنین راه‌های خروج این مواد شامل ته نشینی مواد در رسوبات، شکار ماهی، دنیتریفیکاسیون، خروج آب از دریاچه و آب‌های زیرزمینی خارج شده می‌باشند. تلف شدن و از دسترس خارج شدن نیتروژن از طریق نفوذ به خارج از حوزه دریاچه بسیار کم می‌باشد، چرا که بیشتر دریاچه‌ها به‌خوبی بسته می‌باشند، بنابراین اختلاف در ورودی و خروجی را می‌توان به وجود احتمالی این ترکیبات در رسوبات ارتباط داد.

مواد مغذی مانند فسفات و نیتروژن برای رشد جلبک‌ها و دیگر گیاهان ضروری هستند. زندگی آبزیان به عمل فتوسنتز آن‌ها وابسته است، که بیشتر در عمق کمی از سطح آب صورت می‌گیرد. غلظت‌های اضافی مواد مغذی می‌تواند رشد جلبک‌ها و گیاهان آبزی را بیش از حد تحریک کند. تنفس باکتری‌ها و تجزیه مواد آلی، مصرف اکسیژن محلول را بالا می‌برد، در نتیجه ماهی‌ها از اکسیژن موجود در آب محروم می‌شوند. مطالعه Kazi et al. (2009) در دریاچه مانچار پاکستان نشان داد که میزان نیترات، نیتریت، فسفات وآمونیوم تحت تأثیر نفوذ فاضلاب‌های خانگی و کودهای مصرف شده در بخش کشاورزی است.

بررسی میزان آلودگی میکروبی

آلودگی رودخانه‌ها را در حقیقت می‌توان سنجه آلودگی محیط زیست بر اثر فعالیت‌های انسانی به حساب آورد، زیرا رودخانه ها تنها منابع آبی هستند که مسیری طولانی را ازمیان شهرها، روستاها ومناطق صنعتی وکشاورزی طی می‌کنند (Sargaonkar and Deshpande, 2003). آنالیز آب برای بررسی عامل‌های پاتوژن زمان‌گیر و پرهزینه است، بنابراین یک گروه خاص از میکروب‌ها به منزله سنجه میکروبی استفاده می‌شوند که نشان دهنده حضور دیگر میکروب‌های بیماری زا است. این باکتری‌های روده‌ای به منزله بیواندیکاتورها[۶] یا سنجه‌های زیستی شناخته شده‌اند. سردسته این گروه از باکتری‌ها کلیفرم‌های روده‌ای و اشرشیاکلی‌ها هستند که بسیار مهم هستند (Environment Agency, 2002).

استفاده از موجودات طبیعی روده به‌عنوان سنجه آلودگی مدفوعی، یک اصل پذیرفته شده جهانی در ارزیابی و مطالعه آلودگی میکروبی منابع آبی است (Esmaiili Sari, 2002). باکتری‌های کلیفرم کل به‌عنوان سنجه آلودگی میکروبی در آب‌های سطحی در ایران به‌کار برده می‌شوند. به‌طور معمول در هر صد سانتی‌متر مکعب فاضلاب تصفیه نشده، در حدود چند میلیون باکتری وجود دارد.

جدول ۳، نتایج آنالیز میکروبی نمونه‌های آب در دوره‌ی نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. رنج میانگین جمعیت کلیفرم-ها در ماه‌های مختلف نمونه‌برداری از ۲۷/۷ تا ۱۷۰/۶ در ۱۰۰ میلی‌لیتر بوده است. بیشترین جمعیت کلیفرم‌ها در اردیبهشت ماه و کمترین جمعیت آن‌ها در بهمن ماه مشاهده شده است. در دو مرحله اول، نمونه‌برداری که مربوط به فصل بهار است، تعداد نمونه‌های کلیفرم تفاوت معنی‌داری با فصل‌های پاییز و زمستان نشان داد ($P < ۰/۰۵$) و بیشتر بود. استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران، غلظت مجاز باکتری‌های کلیفرم کل را براساس میانگین ماهیانه حداکثر ۱۰۰۰ در صد میلی‌لیتر از نمونه آب تعیین کرده است که البته این مقدار برای آب شرب مصرفی صفر می‌باشد (IEPA, 2005). نتایج این پژوهش نشان می-دهد که در تمامی نقاط نمونه‌برداری و طی همه ماه‌های نمونه‌برداری آلودگی میکروبی به کلیفرم کل مشهود است، بنابراین آب دریاچه سد کلان در صورت نبود تصفیه اصولی و صحیح برای مصرف‌های شرب قابل استفاده نخواهد بود. نتایج این پژوهش با بررسی‌های Shamlou (2005) و Nafe and Riyahikhorram (2008) تطابق داشت. Ram *et al.* (2011) مشخص کردند که با افزایش دما در روزهای بسیار گرم سال

از میزان باکتری‌های گرماپای (مانند کلیفرم مدفوعی) کاسته می‌شود ولی با افزایش بارندگی به‌دلیل ورود رواناب‌های سطحی و نشت آلاینده‌ها به محیط‌های پذیرنده آبی، بار آلودگی میکروبی افزایش می‌یابد (Ramos *et al*., 2011). باید توجه داشت که براساس یافته‌های برخی محققان، دلیل افزایش شمار باکتری‌های کلیفرم ممکن است افزایش مقدار بارندگی باشد که سبب افزایش آبشوئی این باکتری‌ها در آب نمونه‌برداری می‌باشد (Shokouhi *et al*., 2012).

جدول ۳- نتایج آنالیز میکروبی نمونه‌های آب در دوره‌های نمونه‌برداری
Table 3. Results of microbial analysis of water samples during sampling periods

	تعداد احتمالی کلیفرم‌ها در ۱۰۰ میلی لیتر The number of coliforms in 100 mL				
	اردیبهشت May	خرداد June	شهریور September	مهر October	بهمن February
میانگین Average	170.6[a]	162.7[a]	62.8[ab]	19.9[b]	27.7[b]
حداقل Minimum	3.0	6.0	3.0	3.0	3.0
حداکثر Maximum	1100.0	1100.0	460.0	93.0	67.0

حروف غیرمشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در بین میانگین‌های است.

Non-similar letters indicate insignificant differences among averages.

محاسبه سنجه کیفیت آب NSFWQI

جدول ۴ میانگین مقدار عددی سنجه NSFWQI را برای نقاط نمونه برداری شده به تفکیک هر ماه نشان می‌دهد. براساس داده‌های محاسبه شده با استفاده از رابطه ۱، میانگین سنجه کیفیت آب NSFWQI برای ۱۹ نقطه نمونه برداری از آب ورودی به دریاچه سد در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، شهریور، مهر و بهمن به ترتیب ۶۲/۳، ۶۴/۷، ۶۶/۹، ۶۷/۳ و ۷۴/۴ به‌دست آمد. بنابر نتایج به‌دست آمده، کمترین مقدار سنجه برای آب روردی به دریاچه سد (۵۹/۱) در اردیبهشت ماه و بیشترین مقدار آن (۷۴/۴) در بهمن ماه به‌دست آمده است.

جدول ۴- میانگین سنجه NSFWQI برای نقاط نمونه برداری شده به تفکیک ماه‌های نمونه برداری
Table 4. Average of NSFWQI index for sampling stations in each sampling month

نمونه برداری	عیار پارامترهای کیفیت آب	اکسیژن محلول	باکتری‌های کلیفرم	پ اچ	نیاز بیوشیمیائی اکسیژن	نیترات	فسفات	دما	کدورت	جامدات کل محلول	NSFWQI (ΣW_iQ_i)
	Grade of water quality parameters	Dissolved oxygen	Fecal coliforms	pH	Biological oxygen demand	NO_3	PO_4	Temperature	Turbidity	Total dissolved solids	
		%	MPN/100mL	-	mg/L	mg/L	mg/L	°C	ntu	mg/L	-
	W_i	0.17	0.15	0.12	0.1	0.1	0.1	0.1	0.08	0.08	-
اردیبهشت May	Q_i	84	40	78	38	67	75	17	92	70	
	W_iQ_i	14.28	6	9.36	3.8	6.7	7.5	1.7	7.36	5.6	62.3
خرداد June	Q_i	80	43	84	45	77	80	16	91	69	-
	W_iQ_i	13.6	6.45	10.08	4.5	7.7	8	1.6	7.28	5.52	64.73
شهریور September	Q_i	90	54	80	31	78	81	20	90	72	-
	W_iQ_i	15.3	8.1	9.6	3.1	7.8	8.1	2	7.2	5.76	66.96
مهر October	Q_i	91	60	80	28	78	80	21	86	71	-
	W_iQ_i	15.47	9	9.6	2.8	7.8	8	2.1	6.88	5.68	67.33
بهمن February	Q_i	100	59	90	54	79	85	30	92	70	-
	W_iQ_i	17	8.85	10.8	5.4	7.9	8.5	3	7.36	5.6	74.41

در بهمن ماه بالا بودن اکسیژن محلول به‌دلیل پایین بودن دمای آب و در بقیه ماه‌ها به‌دلیل وجود نداشتن منابع آلاینده بود. با توجه به سنجه محاسبه شده، آب سد کلان جهت تأمین آب شرب نیازمند تصفیه پیشرفته است، این آب مناسب برای پرورش شیلات و گونه‌های مقاوم آبی و همچنین مناسب به‌عنوان آب شرب حیوانات اهلی می‌باشد. از ترکیب داده‌های میدانی و سایر اطلاعات به‌دست آمده از وضعیت دریاچه سد کلان، می‌توان نتیجه گرفت که سنجه کیفیت آب در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، شهریور و مهر در دریاچه سد کلان دارای کیفیت متوسط و در ماه بهمن دارای کیفیت خوب بوده است. از آب با کیفیت متوسط میتوان به منظور شرب حیوانات اهلی و همچنین پرورش شیلات و گونه‌های مقاوم استفاده کرد. آب با کیفیت متوسط در صورتی میتواند جهت تامین آب شرب استفاده شود که تحت عملیات تصفیه پیشرفته قرار گیرد. آب با کیفیت خوب جهت تأمین آب شرب، نیازمند تصفیه متداول است و همچنین برای پرورش ماهی و گونه‌های حساس آبی و برای مقاصد تفریحی مانند شنا مناسب می‌باشد (جدول ۱). در فصل زمستان، همزمان با افزایش اکسیژن محلول و کاهش دمای آب و همچنین کاهش جمعیت باکتری‌ها، سنجه کیفیت افزایش داشته است. Shokouhi *et al*. (2012) دریافتند که شستشوی فضولات دامی از ارتفاعات حومه سد و ورود آن به مخزن سد سبب افزایش کلیفرم مدفوعی در خروجی سد بوده است. Mirzaei *et al*. (2016) کاهش مقدار عددی سنجه کیفیت آب و در نتیجه کاهش کیفیت آب رودخانه جاجرود در برخی از نقاط نمونه برداری را به‌دلیل تمرکز جمعیت و در نتیجه ورود بار آلودگی (افزایش مقادیر کلیفرم‌ها و جامدات معلق) بیان کردند. در مجموع با توجه به یافته‌های این تحقیق و مقایسه آن‌ها با استانداردهای کیفی آب در ایران و جهان می‌توان گفت آب دریاچه سد کلان در بازه زمانی انجام این تحقیق از نظر کیفیت در شرایط متوسط و قابل قبول قرار داشته است.

افزون بر نقاط نمونه برداری شده ورودی به مخزن سد، در نمونه‌های خروجی آب سد نیز پارامترها اندازه گیری و سنجه کیفیت آب محاسبه گردید. به‌طور کلی نمونه‌های آب برداشت شده از خروجی سد دارای مقدار سنجه در محدوده کیفیت متوسط بودند. براساس داده‌های به‌دست آمده، کمترین مقدار سنجه (۵۹/۰۵) در شهریورماه و بیشترین مقدار سنجه (۶۵/۸۳) در بهمن ماه به‌دست آمد. بالاتر بودن کیفیت آب در بهمن ماه به‌دلیل پایین بودن اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و بالا بودن میزان اکسیژن محلول بود. در بهمن ماه بالا بودن اکسیژن محلول به‌دلیل پایین بودن دمای آب و در بقیه ماه‌ها به‌دلیل وجود نداشتن منابع آلاینده بوده است. با توجه به سنجه محاسبه شده، آب سد کلان جهت تأمین آب شرب نیازمند تصفیه پیشرفته است، این آب مناسب برای پرورش شیلات و گونه‌های مقاوم آبی و همچنین مناسب به‌عنوان آب شرب حیوانات اهلی می‌باشد (جدول ۲).

در تحقیقی Shil *et al*. (2019) با استفاده از سنجه کیفی WQI شان دادند که کیفیت آب رودخانه ماهاناندا در هند و بنگلادش، ۲ تا از ۱۴ ایستگاه نمونه برداری دارای کیفیت بد و ۲ ایستگاه نیز دارای کیفیت خیلی بد بودند، در حالیکه کیفیت آب سایر ایستگاه‌ها متوسط تا خوب گزارش شد. در بررسی کیفیت آب‌های سطحی مخزن سد میگزا در شمال الجزایر، مقادیر آلاینده‌های آلی و غیرآلی از ماهی به ماه دیگر به‌طور کامل متفاوت بود. از نقطه نظر زمانی، آلودگی آب مخزن سد در شرایط اقلیمی متفاوت فرق می‌کرد و کمابیش در طول زمستان و دمای پایین آلودگی کمتر و در فصل‌های کم آب، آلودگی شدت می‌یافت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که آب مخزن سد مگزا به‌نسبت آلوده است و نیز مشخص شد مخزن سد در معرض آلودگی کشاورزی و شهری بوده است (Bahroun and Chaib, 2017). همچنین در بررسی کیفیت آب سد آماراواتی هندوستان با استفاده از پارامترهای فیزیکوشیمیایی نشان داده شد که کلیه پارامترها در دریاچه سد در محدوده مجاز بودند و می‌توانند جهت آبیاری مزرعه‌های کشاورزی مورد استفاده قرار

گیرند (Chaudhari *et al.*, 2016).

نتایج حاصل از مطالعه بررسی کیفیت آب رودخانه‌های جاری در استان بوشهر با استفاده از سنجه کیفیت آب نشان داد که براساس سنجه $IRWQI_{SC}$ کیفیت آب رودخانه باغان و دالکی با مقادیر ۳۱/۳ و ۳۹/۸ در طبقه آب‌های با کیفیت به‌نسبت بد و رودخانه‌های شاپور، مند، باهوش و حله با مقادیر بین ۴۶ تا ۵۳ در وضعیت متوسطی از کیفیت آب قرار گرفتند. همچنین از نظر سنجه NSFWQI، رودخانه باغان با مقدار ۶۸ در رده آب‌های با کیفیت متوسط قرار گرفت و سایر رودخانه‌ها با مقادیر ۷۳ تا ۸۰ در طبقه آب-های با کیفیت خوب قرار گرفتند (Mirzaei *et al.*, 2017). Samadi *et al.* (2009) به پهنه بندی کیفی آب رودخانه دره مرادبیگ همدان براساس سنجه NSFWQI و بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی در شش ایستگاه از طول رودخانه پرداختند و نشان دادند عدد سنجه در ورودی رودخانه در حد متوسط و برابر با ۸۷ و در انتهای رودخانه وضعیت سنجه به‌دلیل تأثیر مواد آلاینده‌ای که به داخل رودخانه تخلیه می‌گردند، بد می‌باشد.

در پهنه بندی کیفی آب رودخانه گدار خوش براساس سنجه NSFWQI میانگین سنجه در بهترین وضعیت ۵۹ و در بدترین وضعیت ۴۹ گزارش شده است که به ترتیب بیانگر وضعیت کیفی متوسط و بد بوده است (Ramezani *et al.*, 2014). در پایش و ارزیابی کیفیت آب چهار مخزن چاه نیمه که در استان سیستان و بلوچستان از مهمترین منابع تأمین کننده آب شرب و کشاورزی هستند، از سنجه WQI استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که بیشتر نمونه‌های آب در محدوده خوب تا ضعیف قرار دارند (Hosseini *et al.*, 2019).

بررسی همبستگی بین سنجه کیفیت آب و پارامترهای کیفی آب نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار سنجه کیفیت آب با پارامترهای فسفات، دما و اکسیژن محلول در نمونه‌های آب مخزن سد بود (جدول ۵). فسفر با همبستگی مثبت نشان می‌دهد که با افزایش فسفر، کیفیت آب کاهش می‌یابد. در مقابل، همبستگی منفی بین اکسیژن محلول و سنجه کیفیت تنها یک همبستگی عددی بوده و نشان دهنده کاهش مقدار عددی سنجه کیفیت همزمان با افزایش اکسیژن است که در حقیقت بیان کننده ارتقاء کیفیت آب است.

جدول ۵. ضرایب همبستگی پیرسون برای پارامترهای سنجه کیفیت آب نمونه‌های آب دریاچه سد

Table 5. Pearson correlation coefficients for parameters of water quality index of dam lake's water

		اکسیژن محلول Dissolved oxygen	کلیفرم Fecal coliforms	پی‌اچ pH	نیاز اکسیژن بیوشیمیایی Biological oxygen demand	نیترات NO_3	فسفات PO_4	دما Temperature	تیرگی Turbidity	کل جامدات محلول Total dissolved solids	سنجه کیفیت آب NSFWQI
اکسیژن محلول	Dissolved oxygen	1									
کلیفرم	Fecal coliforms	0.84*	1								
پی‌اچ	pH	0.57	0.38	1							
نیاز اکسیژن بیوشیمیایی	Biological oxygen demand	0.26	-0.11	0.86*	1						
نیترات	NO_3	0.49	0.76	0.57	0.11	1					
فسفات	PO_4	0.74	0.74	0.84*	0.47	0.87*	1				
دما	Temperature	-0.96**	0.75	0.76	0.50	0.51	0.81	1			
تیرگی	Turbidity	-0.66	-0.54	0.37	0.73	-0.38	-0.06	0.94**	1		
کل جامدات محلول	Total dissolved solids	0.37	0.53	-0.40	-0.69	0.23	0.98**	0.13	-0.47	1	
سنجه کیفیت آب	NSFWQI	-0.91*	0.79	0.84*	0.51	0.69	0.93*	0.96*	0.03	0.10	1

*سطح معنی‌دار ۰/۰۵ و ** سطح معنی‌دار ۰/۰۱

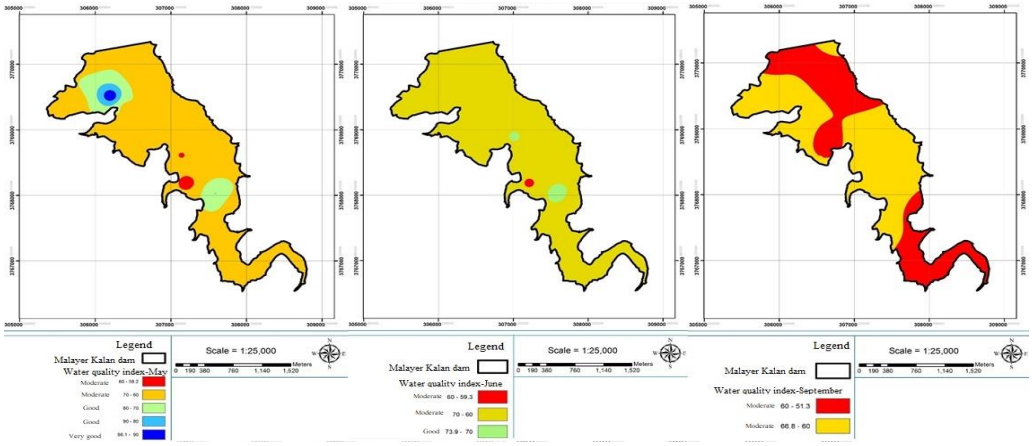
* Significant level of 0.05 and ** Significant level of 0.01.

پهنه بندی سنجه NSFWQI

دقت و صحت روش‌های درون‌یابی کریجینگ و IDW با سنجه‌های میانگین مطلق اشتباهات (MAE) [۷] و میانگین اریبی اشتباهات (MBE) [۸] ارزیابی گردید. مقدار متوسط MAE به ترتیب برای روش‌های کریجینگ و IDW، ۰/۰۱۵ و ۰/۰ و مقدار متوسط MBE به ترتیب ۰/۰۹ – و ۰/۰۱ بوده است. هر چه مقدار MAE به صفر نزدیکتر باشد میزان دقت فضایی روش بیشتر است و از طرف دیگر، هر چه MBE کوچکتر باشد، نشان دهنده اختلاف کمتر بین مقدار مشاهده شده و مقدار برآورد شده بوده و انحراف مدل کمتر است (HassaniPak, 1998). بنابراین با توجه به داده‌های به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که روش IDW تخمین صحیح‌تری از داده‌ها داشته است. نتایج سایر مطالعات نیز دقت تخمینگر IDW را در نمونه‌های با تعداد کم بیشتر از کریجینگ بیان کرده‌اند (Van Meirvenne, 1991; Mohammadi, 1997; Habashi *et al*., 2006; Hosseinalizade *et al*., 2006).

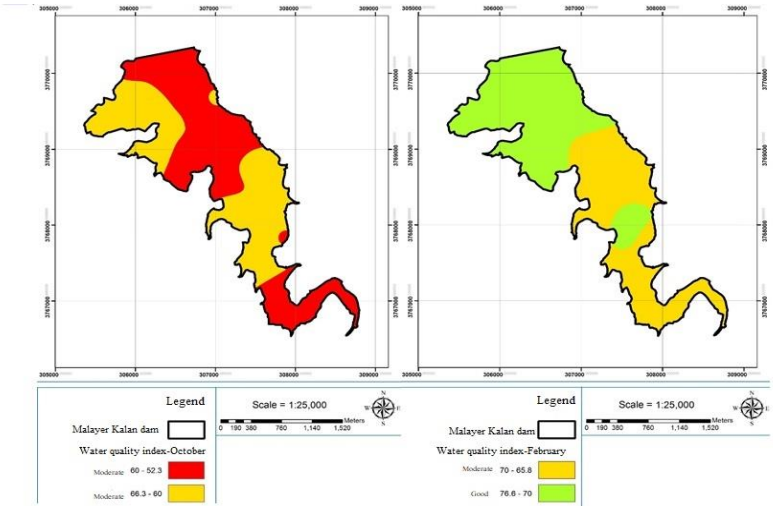
بنابراین نقشه‌های پهنه‌بندی سنجه NSFWQI برای فصل‌های مختلف نمونه‌برداری از سد کلان با استفاده از روش IDW ترسیم گردید (شکل ۲).

براساس نقشه پهنه‌بندی ارائه شده برای ماه اردیبهشت، در بیشتر نقاط نمونه‌برداری شده به جز قسمت‌های محدودی از شمال غربی (ورودی) و مرکز مسیر سد که دارای کیفیت خوب و خیلی خوب بودند، بقیه نقاط نمونه‌برداری دارای کیفیت متوسط هستند. در ماه خرداد، شهریور و مهر، مقدار سنجه کیفیت آب در تمام منطقه‌ها نمونه‌برداری شده در حد متوسطی قرار داشت و تنها تفاوت مشاهده شده در مقادیر عددی آن‌ها بود. در بهمن ماه کمابیش بجز تمام قسمت‌های ورودی سد و قسمت کوچکی از مرکز که دارای کیفیت خوبی بودند، سایر قسمت‌ها مانند فصل‌های گذشته دارای کیفیت متوسطی بودند. خوشبختانه در آب‌های بررسی شده در سد کلان ملایر با سنجه‌های نگران‌کننده در تمام فصل‌ها مواجه نشدیم و در فصل زمستان شرایط آب، به‌دلیل سرمای هوا و افزایش اکسیژن محلول بهتر از سایر فصل‌ها بود. یکی از دلیل‌های کیفیت متوسط آب سد در فصل‌های بهار و تابستان، ممکن است ورود پساب‌های کشاورزی زمین‌های اطراف به این سد باشد. در حالیکه، مطالعات Mirzaei *et al*. (2016) نشان داد که داد که سنجه کیفیت آب برای رودخانه مورد بررسی تنها در اواسط مسیر کیفیت متوسطی داشت و در سایر نقاط این سنجه در تمام فصل‌ها از کیفیت بدی برخوردار بود. آن‌ها کیفیت بد آب‌های مسیر رودخانه را به ورود آلودگی‌های کشاورزی و ورود پساب‌های فاضلاب در این منطقه نسبت دادند. بررسی‌ها، نشان داده است که ممکن است مناطق مسکونی واقع در مسیر رودخانه با تخلیه فاضلاب و زباله در این مسیر موجب آلودگی و کاهش کیفیت آب سدها شوند (Benvenuti *et al*., 2015).



شکل ۲- پهنه‌بندی سنجه کیفیت آب در فصل‌های مختلف نمونه‌برداری در مسیر رودخانه

Fig. 2- Spatial variability of water quality index in different sampling seasons along the river



ادامه شکل ۲- پهنه‌بندی سنجه کیفیت آب در فصل‌های مختلف نمونه‌برداری در مسیر رودخانه

Fig. 2- Spatial variability of water quality index in different sampling seasons along the river

نتیجه‌گیری

عامل‌های اکولوژیک نقش مهمی در تغییر کیفیت منابع آب دارند. نفوذ فاضلاب‌های شهری و روستایی و همچنین ورود پساب‌های کشاورزی حاوی مواد آلاینده ناشی از استفاده کودهای آلی و شیمیایی سم‌ها، دفع آفت‌ها و علف کش‌ها، سبب افزایش بار آلودگی رودخانه می‌گردد. در این مطالعه به بررسی کیفیت آب دریاچه سد کلان ملایر با استفاده از سنجه NSFWQI پرداخته شد.

بررسی‌های باکتریایی نشان داد که دریاچه سد کلان و رودخانه در تمامی نقاط نمونه‌برداری و نیز در همه زمان‌های نمونه برداری، دارای آلودگی میکروبی به کلیفرم‌ها بیش از حد استاندارد مصرف‌های شرب می‌باشد. وجود کلیفرم‌ها نشان از ورود احتمالی فاضلاب به اکوسیستم رودخانه و دریاچه است. در این مطالعه، افزایش میانگین سنجه در خردادماه نسبت به اردیبهشت ماه به‌دلیل بالا بودن اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و فسفات بوده است. با توجه به نتایج سنجه NSFWQI می‌توان گفت که کیفیت آب در بهمن ماه برای استفاده‌های مختلف مناسب است و با بکارگیری روش تصفیه متداول می‌توان از آن جهت تأمین آب شرب روستاهای پایین دست استفاده کرد.

با بررسی نتایج و سنجش‌های صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت که فعالیت کشاورزی مردم منطقه، توزیع زمین‌ها با کاربری زراعتی نواحی مجاور رودخانه، به‌کارگیری انواع کودهای شیمیایی و سم‌های کشاورزی و نیز وجود روستاها در مجاورت رودخانه، سهم مهمی در آلودگی آب رودخانه داشته است. از آنجا که در حوضه سد کلان کارخانجات صنعتی وجود ندارد، بنابراین این عامل‌ها سهم زیادی در ایجاد آلودگی دریاچه سد نداشته‌اند.

به‌طور کلی کیفیت آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل زمستان به‌دلیل افزایش حجم دبی آب رودخانه و آب ذخیره شده در پشت سد، کاهش دما و کاهش فعالیت‌های کشاورزی شرایط مطلوب‌تری داشته است.

سپاسگزاری

اطلاعات این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی قراردادی شرکت آب منطقه‌ای همدان می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

[1] The National Sanitation Foundation Water Quality Index
[2] Biochemical Oxygen Demand
[3] Oregan Water Quality Index
[4] Canada Water Quality Index
[5] Most Probable Number
[6] Bioindicators; The natural indicator for environmental pollution
[7] Mean Absolute Error
[8] Member of the Most Excellent Order of the British Empire

منابع

Alizadeh A., 2007. Principles of Applied Hydrology, Imam Reza University Press, 23rd Edition. Mashhad, Iran, P. 808.

Allexandra, K. and Bullock, G., 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. Agronomy Journal. 91, 393-400.

Kordvani, P., 1995. Zohohydrobiology. University of Tehran Press, Tehran, Iran. p. 77. (In Persian with English abstract).

AmirBeygi, H., 2006. Environmental Health Principles. Andisheh Rafie, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).

Asakereh, H., 2008. Application of Kriging method for precipitation interception. Geography and Development, 12, 25-42. (In Persian with English abstract).

Bahroun, S. and Chaib, W., 2017. The quality of surface waters of the dam reservoir Mexa, Northeast of Algeria. Journal of Water and Land Development. 34, 11-19.

Basir, M. and Nabavi, M.B., 2009. Karoun Water Quality study from Bandghir to Ahvaz by using water quality index (WQI) and GIS software. In: The First Proceeding of the International Conference of Water Crisis. 11 March, Zabol, Iran, pp. 132-140. (In Persian with English abstract).

Benvenuti, T., Kieling-Rubio, M.A., Klauck, C.R. and Rodrigues, M.A.S., 2015. Evaluation of water quality at the source of streams of the Sinos River Basin, southern Brazil. Brazilian Journal of Biology. 75, 98-104.

Booth, B., 2000. Using ArcGIS 3d analyst. GIS by Esri, Copyright, Environmental Systems Research Institue, Redlands, California, USA.

Chaudhari, U.E. Commerce, S. and Mahatma, F., 2014. Physico-Chemical parameters assessment of dam water in different sites of Warud region, Journal of Cherm Rasayan. 7, 156-162.

Eaton, A.D. and Franson, M.A., 2005., American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. Washington, DC., USA.

Ebrahimi, E., Fathi, P., Ghodrat,i F., Naderi, M. and Pirali, A., 2017. Assessment of Tajan River water quality with the use of biological and quality indicators. Iranian Scientific Fisheries Journal. 26, 139-152. (In Persian with English abstract).

Environment Agency, 2002. The Microbiology of Drinking water part 1 – Water Quality and Public Health. p 9-28.

Esmaiili Sari, A., 2002. Pollutants Health and Standards in the Environment. p. 767. Mehr 24 Press, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).

Habbashi, H., Hosseini, S.M., Shetabi, Sh. and Mohammadi, J., 2006. Assess the accuracy and precision of internalization methods in assurance total soil nitrogen using GIS. Third Conference on Spatial Information Systems. National Mapping Agency. First January, Qeshm Free Zone, Iran.

HasaniPak, A., 1998. Earth Geostatistical Stats, Tehran University, Tehran, Iran. pp. 314. (In Persian).

Hernández, J., Fernandez, L., Carrasco-Ochoa, J. and Martínez, J., 2012. Immediate water quality assessment in shrimp culture using fuzzy inference systems. Expert Systems with Applications. 39(12), 10571-10582.

Hopkins, B.G., 2015. Phosphorus from: Handbook of Plant Nutrition CRC Press. Boca Raton, Florida, USA.

Hosseini, H., Shakeri, A., Rezaei, M., Dashti Barmaki, M. and Shahraki, M., 2019. Application of water quality index (WQI) and hydro-geochemistry for surface water quality assessment, Chahnimeh reservoirs in the Sistan and Baluchestan Province. Iranian Journal of Health and Environment. 11(4), 575-586.

Hosseinalizade, M., Ayoobi, SH. and Shetabi, Sh., 2006. Comparison of different internalization methods in estimating some surface soil properties (case study of Mehr Sabzevar watershed). Gorgan Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 13(5), 13-27.

IEPA (Iran Environmental Protection Agency), 2005. Microbial standards of surface water and drinking water. Bureau of Water Resources Monitoring. (In Persian with English abstract).

Javid, A.H., Takdastan, A., Sekhavatjou, M.S. and Kheyrolahii, M., 2014. Water quality assessment of Karkheh Dam lake using water quality indicators (W.Q.I) and GIS system, Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, Yazd, 14th National Conference on Environmental Health. 5th Mrach, Yazd, Iran (In Persian with English abstract).

Kazi, T.G., Arain, M.B., Jamali, M.K., Jalbani, N., Afridi, I., Sarfraz, R.A., Baig, J.A. and Shah, Q., 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. Ecotoxicology and Environmental Safety. 72, 301-309.

Khalifeh, S. and Khoshnazar, A., 2018. Evaluation of water quality in zarrinehrood river using the standard quality index of Iran's surface water resources. Journal of Water and Wastewater. 3(1), 22-34.

Khodaparast, S.H. and Vatanparast, M., 2002. Final report of the physical and chemical parameters of Buchan Reservoir Lake water. Bandar Anzali: Caspian Sea Bone Fish Research Center. P. 43. (In Persian with English abstract).

Krige, D.G., 1951. A statistical approach to some mine valuation and allied problems of the Wiwaterstand. Master's Thesis. Univeristy of Witwaterstand. Johannesburg, South Africa. 190p.

Miller, W.M., Wilke, C.R. and Blanch, H.W., 1987. Effects of dissolved oxygen concentration on hybridoma growth and metabolism in continuous culture. Cellular Physiology. 132, 524-530.

MirMoshtaghi, S.M., AmirNezhad, R., Khaledian, M.V. and Tajdari, Kh., 2011. Investigation of the variation time trend of water quality indices in Sefidrood River. Second National Conference on Water Resources Research in Iran. 18th-19th May, Zanjan Regional Water Company. Zanjan, Iran. (In Persian with English abstract).

Mirzaei, M., Solgi, E. and Salman-Mahiny, A., 2016. Evaluation of Surface Water Quality by NSFWQI Index and Pollution Risk Assessment, Using WRASTIC Index in 2015. Archives of Hygiene Sciences. 5, 264-277. (In Persian with English abstract).

Mirzaei, R., Abasi, N. and Sakizadeh, M., 2017. Investigation of water quality of running rivers in Bushehr Province using water quality index from 2011 to 2013. Southern Medicine Quarterly. 20, 470-480. (In Persian with English abstract).

Mohammadi, J., 1997. Geostatistical mapping of environmental soil hazards. Ph.D. Thesis. University of Gent. Belgium, Academic Press. 196pp.

Nafe, M. and Riyahikhorram, M., 2008. Investigating the pollution status of the Maradbik Valley in Hamadan, Sciences. 17, 71-80. (In Persian

with English abstract).

Ramezani, A., Ahmadimoghadam, M. and Jafari, M.R., 2014. Water qualitative zoning of Goderkhosh River based on NSFWQI index and applying geographic information system (GIS). Iran-Watershed Management Science and Engineering. 8(25), 1-10 (In Persian with English abstract).

Ramos, M.C., Quinton, J.N. and Yrrel, S.F., 2011. Effects of cattleman are on University of Medical Sciences, 10th National Conference on Environmental Health. 29th October, Hamedan, Iran (In Persian with English abstract).

Parham, H., Jafarzadeh, N., Dehghan, S. and Kian Ersi, F., 2007. Changing in nitrogen and phosphorous concentration and some physicochemical parameters to budget determination of Karkheh reservoir. Shahid Chamran University Journal of Science. new series (17section B): 117-25. (In Persian with English abstract).

Rabie, M., Gheysari, M. and Mirlatifi, S.M., 2013. Evaluation of DSSAT v4.5 model for simulation of nitrate leaching in corn field at different levels of water and nitrogen fertilizer. Journal of Environmental Management. 3(4), 50-57.

Rowell, D.L., 1994. Soil Science: Methods and Applications. Longman Scientific and Technical, Harlow, UK.

Samadi, M., Sadegi, M., Rahmani, A. and Torabbzadeh, H., 2009. Hamedans Moradbeig valley river's waterqualitative paneling based on NSFWQI and the utilization of geographical information site. Avicenna Journal of Clinical Medicine. 3, 38-43 (In Persian with English abstract).

Samarghandi, M., Veisi, K., AbaviMehrizi, A., Kaseb, P. and Danaii, A., 2012. Assessment of water quality of Ekbatan Lake reservoir Dam in Hamedan using Qualitative Index NSFWQI. Medical Sciences Journal of North Khorasan University. 5, 63-69. (In Persian with English abstract).

Sanchez, E., Colmenarejo, M.F., Vicente, J., Rubio, A., Garcia, M.G., Travieso, L. and Borja, R., 2007. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. Ecological Indicators. 7, 315–328.

Sargaonkar, A. and Deshpande, V., 2003. Development of an overall index of pollution for surface water based on a general classification scheme in Indian context. Environmental Monitoring and Assessment. 89, 43-67.

Shamlou, A., 2005. Water quality monitoring of Gillarloo dam reservoir. MSc. Thesis, Environmental Health Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. pp, 121. (In Persian with English abstract).

Shamsaii, A., Ouraei Zare, S. and Sarang, A., 2005. Comparative study of qualitative indicators and qualitative area of Karun and Dez rivers. Water and Wastewater Journal. 55, 39-48. (In Persian with English abstract).

Shil, S., Singh, U.K. and Mehta, P., 2019. Water quality assessment of a tropical river using water quality index (WQI), multivariate statistical techniques and GIS. Applied Water Science. 9, 168.

Shokouhi, R., Roushanaii, G.A., Alipour, M. and Hoseinzadeh, S., 2012. Investigation of the lake water quality in Aydghomoush using the Water Quality Index (NSFWQI) and nutrient balance, Tehran. Iranian Journal of Health and Environment. 4, 439-450. (In Persian with English abstract)

Van Meirvenne, M. 1991. Characterization of soil spatial variation using geostatistics. Ph.D. Thesis. University of Gent. Belgium, Academic Press. 168pp.

Wakernagel, H., 2002. Multivariate Geostatistics. Springer Press, Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 387 pp.

Wallington, R., Tabatha, N., Olivia, B. and Wilthissen, J.S., 2007. Theorising strategic environmental assessment, Fresh perspectives and future challenges, Journal of Environmental Impact Assessment Review. 27, 92-108.

Zazouli, M.A. and Bazrafshan, E., 2009. Water and Wastewater Technology. Samat Publication. Tehran, Iran. (In Persian with English abstract).

Environmental Sciences Vol.19 / No.2 / Summer 2021

151-168

Water quality assessment of Kalan Malayer Dam Lake using NSFWQI index and its zoning using GIS

Hajar Merrikhpour [1*], Bahare Lorestani [2] and Mehrdad Cheraghi [2]

[1] Department of Agricultural Sciences, Faculity of Agriculture, Sayyed Jamaleddin Asadabadi University, Asadabad, Iran
[2] Department of Environment, Faculty of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

Received: 2020.04.20 Accepted: 2020.06.29

Merrikhpour, H., Lorestani B. and Cheraghi M., 2021. Water quality assessment of Kalan Malayer Dam Lake using NSFWQI index and its zoning using GIS. Environmental Sciences. 19(2): 151-168.

Introduction: In recent years, changes in the amount, distribution, and quality of surface water around the world have led to special attention to these resources. So, according to the economic concerns in the social development of countries, it is important to access water with good quality. The study aimed to investigate the quality of surface water samples taken from Lake Malayer Dam Lake using the Water Quality Index of the National Institutes of Health (NSFWQI).

Material and methods: To evaluate the water quality of the dam lake, a total of 19 water samples were collected from different parts of the dam in May, June, September, October, and February 2017-2018. The water parameters, including pH, soluble oxygen, total solids, oxygen biochemical demand, turbidity, temperature, nitrate, phosphate, and total coliform bacteria were measured, and the effect of each parameter was calculated in the samples. Then, the water quality index was calculated. Also, the spatial variability of this index in the river and dam lake was done separately using Arc GIS software.

Results and discussion: The results showed that due to the high budget of nitrate and phosphate, the concentration of these elements at the input flow was higher than the output flow. Also, the results of coliform bacteria showed that the Kalan dam in all seasons and all stations have microbial contamination that is higher than the standard limitation for drinking water. The lowest value of the NSFWQI index was obtained in the course of the river and the dam lake in May (59.1) and the highest value was obtained in February (74.4). According to the results, the quality of the water leaving the dam was average. The higher water quality in February was due to the low

[*] Corresponding Author: *Email Address*. merrikhpour@sjau.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.33909

biological oxygen demand (BOD), which could be due to the increase in oxygen dissolution and the decrease in water temperature and vital activities (respiration of organisms and decomposition of organic matter).

Conclusion: The results showed that the water quality in the studied stations in winter was generally more favorable due to the increasing volume of the water flow and the stored water behind the dam, the low temperature, and low agricultural activities. Agricultural activities at the beginning of the dam lake and the existence of villages near the river enter pesticides and chemical and animal fertilizers, which mainly contain pollutants such as nitrate and phosphate. Then, these pollutants move to the reservoir of the dam.

Keywords: Kalan Dam, Coliform, Water quality index, GIS