2024, Vol.10, No.4, Pages 81 to 88
Journal of Water and Sustainable Development

سال دهم، شماره ۴، ۱۴۰۲، صفحات ۸۱ تا ۸۸
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Case Study

نوع مقاله: مطالعه موردی

Quality Management of Water Resources in Hot and Dry Climate Using the Water Quality Index WQI

I. Homayoonnezhad[1*], P. Amirian[2]

1-Assistant Professor, Department of Agriculture, Technical-Engineering Faculty, Payam Noor University, Tehran, Iran. 2-Ph.D. in Environmental Health, Waste Management Organization of Shiraz Municipality, Shiraz, Iran.

*(Corresponding Author Email: Homayoonnezhad@pnu.ac.ir)

Received: 29-07-2023 Revised: 07-10-2023
Accepted: 02-11-2023 Available Online: 15-02-2024

مدیریت کیفی منابع آب در اقلیم گرم و خشک با استفاده از شاخص کیفیت آب WQI

ایمان همایون‌نژاد[1*]، پریا امیریان[2]

۱- استادیار گروه کشاورزی، دانشکده فنی-مهندسی، عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور تهران، ایران. ۲- دکترای مهندسی بهداشت محیط، سازمان مدیریت پسماند شهرداری شیراز، ایران.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: homayoonnezhad@pnu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۱/۲۶

Abstract

Assessing the quality of water resources and having accurate information about their quantity and quality is a prerequisite for water resources management. Considering the importance of the Chahnimeh reservoirs of the main source of drinking and agricultural water supply in Sistan, it seems necessary to evaluate the water quality of the No.1 Chahnimeh, which is the most important and the largest lake among the triple Chahnimeh reservoirs. Today, one of the most important methods to determine the quality of water in simple terms is the use of water quality indicators. This research was conducted during one year based on seasonal sampling from September 2020 to September 2021. The factors of nitrate, nitrite, dissolved oxygen, electrical conductivity, hardness, and pH were measured in eight sampling stations and the WQI index was calculated using them. In general, according to the numbers of the water quality index, the water quality in all stations, and sampling periods has not gone out of the range of good quality waters (50-100), and the range of changes is such that the water quality is favorable for human use. The highest numerical value of the quality index was recorded in the winter. The middle points of the lake have better quality compared to the peripheral parts and the inlet and outlet of the reservoir. It is worth noting that due to the increasing importance of Chahnimeh reservoirs and the trend of changes in the type of water consumption of these valuable resources, it seems necessary to carry out more detailed investigations, continuously evaluate and monitor the water quality, and design a water quality monitoring model for these sources.

Keywords: Water Quality Assessment, Water Quality Index, WQI, Chahnimeh Reservoirs.

چکیده

ارزیابی کیفیت منابع آب و در اختیار داشتن اطلاعات دقیق در مورد کمیت و کیفیت آنها پیش‌نیاز مدیریت منابع آب می‌باشد. باتوجه‌به اهمیت مخازن چاه‌نیمه به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تأمین‌کننده آب آشامیدنی و کشاورزی درسیستان، ارزیابی کیفیت آب چاه‌نیمه اول که مهمترین و بزرگترین دریاچه ازبین چاه‌نیمه‌های ۳گانه است ضروری به‌نظر می‌رسد. امروزه یکی از مهمترین روش‌هایی که با بیانی ساده، شرایط کیفی آب را بازگو می‌کند، استفاده از شاخص‌های کیفیت آب می‌باشد. این تحقیق طی یک سال با تکیه بر نمونه‌برداری فصلی از مهر۹۹ تا مهر۱۴۰۰ انجام شد و فاکتورهای نیترات، نیتریت، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، سختی و pH در هشت ایستگاه نمونه‌برداری اندازه‌گیری و شاخص کیفی آب با استفاده از آنها محاسبه شد. باوجود تغییرات و نوسانات بین ایستگاه‌ها و فصول مختلف سال، نتایج به‌دست آمده کیفیت آب چاه‌نیمه را در مجموع خوب ارزیابی نمود. به‌طور کلی باتوجه‌به اعداد شاخص کیفی آب، کیفیت آب در تمامی ایستگاه‌ها و دوره‌های نمونه‌برداری از محدوده آب‌ها با کیفیت خوب (۱۰۰-۵۰) خارج نشده است و دامنه تغییرات به‌گونه‌ای است که کیفیت آب برای مصارف انسانی مطلوب می‌باشد. بیشترین مقدار عددی شاخص کیفی در زمستان ثبت شد. نقاط میانی دریاچه در مقایسه با بخش‌های حاشیه‌ای و ورودی و خروجی مخزن چاه‌نیمه کیفیت مناسب‌تری دارند. شایان ذکر است به دلیل اهمیت روزافزون چاه‌نیمه‌ها و روند تغییرات به‌وجود آمده در نوع مصرف آب این منابع با ارزش، انجام بررسی‌های دقیق‌تر و ارزیابی و پایش مستمر کیفیت آب چاه‌نیمه‌ها و طراحی یک مدل پایش کیفی آب برای این منابع ضروری به‌نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی کیفیت آب، شاخص کیفی آب، WQI، مخازن چاه‌نیمه.

How to cite this article: Homayoonnezhad, I., & Amirian, P. (2024). Quality Management of Water Resources in Hot and Dry Climate Using the Water Quality Index WQI. Journal of Water and Sustainable Development, 10(4), 81-88. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v10i4.2307-1262

مقدمه

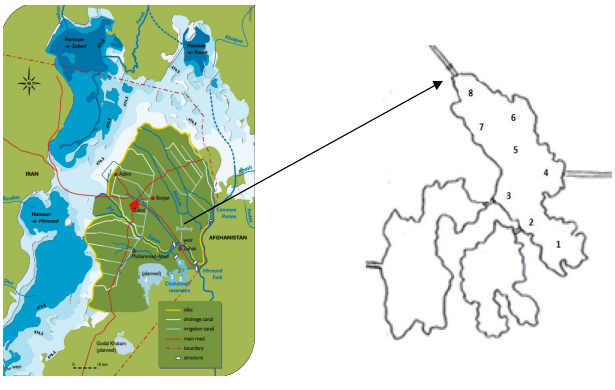
دریاچه‌های طبیعی و انسان ساز به‌عنوان یکی از مهمترین اکوسیستم‌های طبیعی کشورها محسوب می‌شوند و پایش کیفی آنها در چشم‌انداز برنامه‌های مدیریت منابع آب هر کشوری باید مورد توجه قرار گیرد. پیش‌نیاز توسعه پایدار منابع آب، در اختیار داشتن اطلاعات مطمئن در مورد کمیت، کیفیت و نیازهای کاربران مختلف است (Tawafi و همکاران، ۲۰۱۲). آب‌های جاری تحت تاثیر فرآیندهایی مانند هواگیری سطحی، تنفس سلولی، اختلاط، سرعت جریان و ... کیفیت متفاوتی دارند اما ذخیره کردن آب‌های سطحی می‌تواند باعث اثرات سوء بر کیفیت آنها شود. ساخت و بهره‌برداری از مخازن بزرگ باعث افزایش ماندآب می‌شود و این عامل منجر به تفاوت در کیفیت آب خروجی از مخازن در مقابل آب ورودی به مخزن می‌شود (Abtahi و همکاران، ۲۰۲۱). مخازن قادر هستند به‌عنوان جمع‌کننده مواد باقیمانده از رودخانه‌ها عمل کنند، از تغییرات زیاد پارامترهای کیفیت آب رودخانه ممانعت کنند و کیفیت آب را با مدیریت صحیح اصلاح نمایند. از طرفی مهمترین فاکتورهایی که در کاهش کیفیت آب دریاچه‌ها موثر هستند عبارتند از: مواد معلق یا بار جامد، مواد محلول، گازهای محلول، آلودگی میکروبی و دما (Tawafi وهمکاران، ۲۰۱۲). به‌عبارت‌دیگر سدها و مخازن باعث ایجاد تغییرات عمده در کیفیت آب رودخانه (تغییرات مثبت یا منفی) می‌شوند و اقلیم منطقه همچنین نوع و شدت بهره‌برداری از مخازن و دریاچه‌های پشت سدها در چگونگی این تغییرات اثر مستقیم دارند (Ahmed، ۲۰۲۰). فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پیکره‌های آبی اثر گذشته و موجب بروز مشکلاتی در کیفیت آب دریاچه‌ها می‌شوند (Abedinpour و Nabavi، ۲۰۱۸).

کیفیت آب در هر محل منعکس کننده اثر عوامل مختلفی مانند زمین‌شناسي، شرایط اقلیمي و منابع آلاینده انساني و غیره مي‌باشد و پایش کیفیت منابع آب اغلب داده‌هاي پیچیده‌اي تولید می‌کند. بنابراین روش‌هاي مناسبي براي تحلیل و تفسیر داده‌ها مورد نیاز است. اهمیت پایش و ارزیابی همچنین نقش اصولی داده و سنجش آنها در مدیریت منابع آب باید بیش از پیش مورد تاکید و مراقبت قرار گیرد، زیرا برای مدیریت یکپارچه آب، نظام پایش و ارزیابی، نقش حیاتی دارد (قوچانیان و فشائی، ۱۴۰۱). امروزه بررسی و پایش کیفیت آب مخازن و دریاچه‌هایی که برای نگهداری آب رودخانه‌ها طراحی و استفاده می‌شوند، از مسائلی است که فکر متخصصان آبی علوم محیط‌زیستی دنیا را به خود مشغول کرده و همواره برای مقابله با تغییرات کیفیت آب تلاش و پیگیری کرده‌اند (Badeenezhad و همکاران، ۲۰۲۰).یکی از روش‌های ساده و دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری که با بیانی ساده، شرایط کیفی آب را بازگو می‌نماید، به‌کارگیری شاخص‌های کیفی آب می‌باشد. با استفاده از این شاخص‌ها هم می‌توان تغییرات کیفی آب را در طول زمان در یک ایستگاه مورد پایش قرار داد و هم می‌توان از این شاخص‌ها برای نشان دادن تغییرات کیفی آب در مناطق مختلف یک کشور یا جهان استفاده نمود (Solgi و Malekmohamadi، ۲۰۲۱).همچنین با استفاده از شاخص‌های کیفی، حجم زیادی از اطلاعات نمونه‌برداری‌ها و اندازه‌گیری‌های کیفی آب به‌صورت یک عدد منفرد ارائه می‌شود که مفهوم و تعریف کیفی تفسیر شده‌ای دارد (Shahbazi و همکاران، ۲۰۲۰). چاه‌نیمه‌ها گودال‌های طبیعی هستند که در جنوب دشت سیستان و در ۵۰ کیلومتری شهر زابل قرار دارند. چاه‌نیمه اول که مورد اصلی این تحقیق است مهمترین و بزرگترین مخزن در بین مخازن سه گانه چاه‌نیمه است که از قسمت جنوبی دشت سیستان از حاشیه مرز افغانستان شروع شده و موازی با رودخانه هیرمند تا حدود ۶ کیلومتری شهر زهک امتداد دارد. مخزن چاه‌نیمه اول توسط کانالی آب مازاد رودخانه هیرمند را با کمک یک سد خاکی به ارتفاع ۱۶ متر و طول ۱۲۰ متر در خود نگه می‌دارد و در مجموع با سطحی معادل ۲۰ کیلومتر مربع و حجمی تا ۲۱۰ میلیون متر مکعب بزرگترین دریاچه انسان‌ساز واقع در شمال استان سیستان و بلوچستان است (شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۱الف). باتوجه‌به اهمیت این مخزن و استفاده‌های چندگانه از آب این منبع برای توسعه ناحیه جنوب شرقی ایران، ارزیابی کیفیت آب چاه‌نیمه و بررسی روند تغییرات آن در قسمت‌های مختلف دریاچه و در فصول سال ضروری به‌نظر می‌رسد. شاخص‌های کیفی روش‌هایی هستند که می‌توانند به‌عنوان ابزار مدیریتی قوی در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مدیریت کیفی منابع آب استفاده شوند (Saatsaz، ۲۰۲۰). در این راستا در مطالعه حاضر برای ارزیابی کیفیت آب از شاخص کیفی آب به‌عنوان یکی از روش‌های مناسب تعیین تغییرات کیفیت آب، باتوجه‌به سهولت استفاده از آن و امکان بیان نتایج به زبان ساده و قابل فهم استفاده شده است. این شاخص می‌تواند برای توسعه سیستم مقایسه کیفیت آب در بخش‌های مختلف یک کشور استفاده شوند. این شاخص ابزاري مناسب و ساده براي تعیین وضعیت و شرایط کیفیت آب است که در آن از داده‌هاي چند پارامتر کیفي آب در يك فرمول رياضي كه در نهايت با يك عدد، ميزان سلامتي آب را نشان مي‌دهد، استفاده مي‌شود. اين عدد با يك مقياس نسبي كه گوياي كيفيت آب از نامناسب تا عالي است، دسته‌بندي مي‌شود. به‌طورکلی برخی از فاکتورهای تعیین‌کننده کیفیت آب که در این مطالعه شامل اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، سختی، نیترات، نیتریت و pHمی‌باشند همراه با نمره وزنی هر یک از آنها که براساس نظر متخصصان و منابع معتبر تعیین می‌شوند، از طریق محاسبات ریاضی مقدار عددی شاخص را مشخص می‌کنند. به‌عبارت‌دیگر وضعیت کیفیت

آب به‌صورت گام‌به‌گام تعیین می‌شود. ابتدا پارامترهای کیفی تعیین می‌شود بعد از آن وزن هر پارامتر مشخص می‌شود و عدد نهایی شاخص از مجموع اعداد همه پارامترها به‌دست می‌آید. در پایان معادل توصیفی شاخص که بین نامناسب و عالی رتبه‌بندی شده است، نمایانگر ارزش واحدی کیفیت آب می‌شود. از WQI[1] برای پایش تغییرات کیفیت آب در منابع آبی، به‌ویژه در زمان‌های مختلف یا مکان‌های متفاوت استفاده می‌شود (Rice و همکاران، ۲۰۱۷). هدف از این مطالعه ارزیابی و تعیین شرایط کیفی آب چاه‌نیمه اول سیستان با تکیه بر شاخص کیفیت آب است تا بتوان برای حفاظت و کنترل و از همه مهمتر برای مدیریت مناسب چاه‌نیمه به‌عنوان یک زیست‌بوم آبی ارزشمند برنامه‌ریزی لازم را انجام داد. بنابراین نتایج به‌دست آمده از این تحقیق می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید در اختیار بهره‌برداران برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

مخزن مورد بررسی این تحقیق در دشت سیستان در شرق ایران بین ´۲۹ °۶۱ شرقی و ´۲۰ °۶۰ عرض شمالی در جوار مرز افغانستان و در انتهای حوضه آبریز رودخانه هیرمند قرار گرفته است. چاه‌نیمه به‌طور عمده همه ساله از طریق رواناب‌های سطحی رودخانه هیرمند و بسته به شرایط اقلیمی از طریق بارش‌های جوی تغذیه می‌شود. میانگین شدت جریان آب ورودی به مخزن اول ۴/۶ مترمکعب بر ثانیه و میانگین شدت جریان آب خروجی از چاه‌نیمه ۳/۱۵ مترمکعب بر ثانیه است (شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۱ب). این مطالعه به‌صورت توصیفی-مقطعی با تکیه بر نمونه‌برداری در چهارفصل، از مهر۹۹ تا مهرماه ۱۴۰۰ انجام شد. با کمک بازدیدهای میدانی و هدف تحقیق ۸ ایستگاه نمونه‌برداری در محدوده طرح شامل یک ایستگاه در ورودی مخزن اول چاه‌نیمه (ایستگاه شماره ۴)، یک ایستگاه در خروجی مخزن (ایستگاه شماره ۸)، و ۶ ایستگاه در قسمت‌های مختلف مخزن (ایستگاه ۱، ۲، ۳، ۵، ۶ و ۷) انتخاب شد. شکل (۱) موقعیت کلی مخازن چاه‌نیمه (مخزن ۱، ۲، ۳ و ۴) را در ایران نشان می‌دهد و مشخصات دقیق ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت مخازن چاه‌نیمه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در مخزن اول چاه‌نیمه

شماره ایستگاه	موقعیت مکانی	مختصات		ارتفاع از سطح دریا (متر)	شرح دلایل انتخاب
		Y	X		
۱	حاشیه مرز افغانستان در مخزن اول	″۲۷ ´۵۱ °۳۰	″۲۰ ´۴۲ °۶۱	۴۶۸	بررسی کیفیت آب در منتهی الیه جنوب شرقی مخزن
۲	کانال ورودی آب از مخزن اول به مخزن دوم	″۱۶ ´۴۸ °۳۰	″۰۹ ´۴۳ °۶۱	۴۶۸	بررسی کیفیت آب در محل کانال ارتباطی مخزن اول و دوم
۳	کانال ورودی آب از مخزن اول به مخزن سوم	″۴۳ ´۴۶ °۳۰	″۰۰ ´۴۲ °۶۱	۴۶۶	بررسی کیفیت آب در محل کانال ارتباطی مخزن اول و سوم
۴	کانال ورودی آب از رودخانه سیستان به مخزن اول	″۵۸ ´۴۴ °۳۰	″۴۳ ´۴۱ °۶۱	۴۶۷	تعیین کیفیت آب در محل کانال ورودی آب به مخزن اول
۵	پهنه دریاچه در قسمت عمیق مخزن	″۳۸ ´۴۶ °۳۰	″۱۰ ´۴۱ °۶۱	۴۶۴	بررسی کیفیت آب در میانه مخزن و قسمت عمیق
۶	حاشیه مراکز تحقیقاتی دانشگاه زابل	″۵۵ ´۴۴ °۳۰	″۲۴ ´۴۰ °۶۱	۴۶۵	تعیین کیفیت آب و بررسی اثرات احتمالات مراکز تحقیقاتی روی آن
۷	حاشیه شمال غربی مخزن اول	″۰۴ ´۴۸ °۳۰	″۲۰ ´۳۹ °۶۱	۴۶۵	بررسی وضعیت کیفی آب در حاشیه شمال شرقی مخزن
۸	کانال خروجی آب از مخزن اول به رودخانه سیستان	″۴۵ ´۴۶ °۳۰	″۲۰ ´۴۲ °۶۱	۴۶۵	بررسی کیفی آب در محل خروجی مخزن

پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آزمایش شده شامل: نیترات، نیتریت، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، سختی و pH می‌باشند که در میانه هر ماه در ۸ ایستگاه نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند و در نهایت از آنها میانگین فصلی هر فاکتور به‌دست آمد. در مجموع باتوجه‌به ۳ تکرار در هر ماه مجموعا ۲۸۸ نمونه از چاه‌نیمه برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده در مجاورت یخ در محیط تاریک به آزمایشگاه منتقل شدند و در آزمایشگاه فاکتورهای مورد نظر بر اساس روش‌های استاندارد ارزیابی شدند (Rice و همکاران، ۲۰۱۷). یون‌های نیترات و نیتریت به روش کالری متری و اندازه‌گیری با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر، اکسیژن محلول به روش وینکلر، pH از طریق دستگاه pH متر، EC با استفاده از EC متر و سختی نیز به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (Rice و همکاران، ۲۰۱۷). در بررسی‌های آماری، داده‌ها با کمک نرم‌افزار SPSS آنالیز شدند. همچنین از آزمون کلموگروف اسمیرنف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. بررسی اختلاف بین داده‌ها با آنالیز واریانس یک طرفه ارزیابی شد. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد (Zar، ۱۹۸۴). برای محاسبه شاخص کیفی WQI، ۶ پارامتر نیترات، نیتریت، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، سختی و pH گزینش شدند. برای دستیابی به مقادیر نهایی شاخص WQI از روابط زیر استفاده شد:

$$RW=AW/\sum AW \quad (۱)$$

در رابطه بالا RW[۲] نسبت وزنی هر یک از فاکتورهای اندازه‌گیری شده است که در جدول (۲) آمده است. AW[۳] وزن اختصاص یافته به هر فاکتور براساس مطالعات قبلی و پیشنهاد متخصصان است (جدول ۳).

$$Q_i= (C_i/S_i)\times 100 \quad (۲)$$

$$Q_i= (C_i-V_i/S_i-V_i)\times 100 \quad (۳)$$

در روابط بالا Q_i میزان کیفی، C_i مقدار به‌دست آمده از هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده، S_i میزان گزارش شده پارامتر در استاندارد جهانی مربوط به آب آشامیدنی و V_i بهترین مقدار پارامترهای مورد نظر است. این مقدار برای pH عدد ۷ و برای اکسیژن محلول ۱۴/۶ میلی‌گرم بر لیتراست (Rice و همکاران، ۲۰۱۷).

$$SI_i= Q_i \times RW \quad (۴)$$

در این رابطه SI_i زیرشاخص WQI است که برای هر پارامتر به‌دست می‌آید و در نهایت از مجموع SI_iها مقدار عددی WQI به‌دست می‌آید. در واقع با کمک زیر شاخص SI_i و جمع آنها WQI در ایستگاه‌ها و فصول مختلف سال محاسبه می‌شود و از مقایسه اعداد به‌دست آمده با جدول (۴) که طبقه‌بندی کیفی آب را نشان می‌دهد، وضعیت کیفیت آب چاه‌نیمه اول در ایران محاسبه می‌شود.

جدول ۲- نسبت وزنی پارامترهای کیفی آب (WHO، ۲۰۱۱)

پارامترها	استاندارد آب آشامیدنی	وزن اختصاص داده شده (AW)	نسبت وزنی (RW)
نیترات (mg/lit)	۵۰	۲/۲	۰/۱۵۶۰۲۸
نیتریت (mg/lit)	۳	۲	۰/۱۴۱۸۴۴
سختی (mg/lit)	۵۰۰	۱/۱	۰/۰۷۸۰۱۴۲
هدایت‌الکتریکی (µs/cm)	۲۵۰	۲/۷	۰/۱۹۱۴۸۹
اکسیژن محلول (mg/lit)	۵	۴	۰/۲۸۳۶۸۸
pH	۶/۵-۸/۵	۱/۲	۰/۱۴۸۹۳۶
مجموع		۱۳/۲	

جدول ۳- وزن اختصاص یافته به هر پارامتر باتوجه‌به منابع مختلف و نظر متخصصان

منابع	نیترات	نیتریت	سختی	DO	EC	pH
	mg/lit				µs/cm	-
(Merchan و همکاران، ۲۰۱۷)	۲	۲	۱	۴	۴	۱
(Boyacioglu، ۲۰۰۷)	۳	-	-	۴	-	۱
(Tyagi و همکاران، ۲۰۱۳)	-	-	۲	۴	۴	۴
(Dwivedi و Pathak، ۲۰۰۷)	-	-	۱	۴	۲	۴
(Kannel و همکاران، ۲۰۰۷)	۲	۲	۱	۴	۱	۱
(Karakaya و همکاران، ۲۰۱۱)	۲	۲	۱	۴	۲	۱
(Lumb و همکاران، ۲۰۱۱)	-	-	۱	۴	۲	۴
(Pesce و Wunderlin، ۲۰۰۰)	۲	۲	۱	۴	۴	۱
میانگین	۲/۲	۲	۱/۱	۴	۲/۷	۲/۱

جدول۴- طبقه‌بندی کیفی آب‌های طبیعی براساس امتیاز کلی شاخص WQI (Ramakrishnaiah و همکاران، ۲۰۰۹؛ Shahapure و همکاران، ۲۰۱۴)

طبقه‌بندی کیفی	مقدار شاخص به‌دست آمده
نامناسب	۳۰۰
خیلی فقیر	۲۰۰-۳۰۰
فقیر	۱۰۰-۲۰۰
خوب	۵۰-۱۰۰
عالی	>۵۰

نتایج

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب در ۸ ایستگاه و فصول مختلف نمونه‌برداری به ترتیب در جداول (۵ و ۶) آورده شده است. نتایج این جداول با کمک محاسبات ریاضی در نهایت، عدد شاخص کیفیت آب در فصول مختلف سال و در ایستگاه‌های ۸ گانه چاه‌نیمه را تعیین می‌کند (جدول ۷). در این تحقیق شاخص کیفی آب (WQI) با کمک ۶ فاکتور نیترات، نیتریت، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، سختی و pH محاسبه شد. در توصیف این شاخص فرض بر این است که با افزایش مقدار عددی شاخص WQI میزان آلودگی افزایش و کیفیت آب کاهش می‌یابد. مقدار عددی شاخص WQI به‌دست آمده در این مطالعه بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۸ گانه در سطح دریاچه اول چاه‌نیمه و همچنین در فصول مختلف سال تفاوت معنی‌داری را نشان نداد ($P>0/05$). جدول (۷) مقدار شاخص WQI محاسبه شده را در ایستگاه‌های نمونه‌برداری و فصول مختلف سال نشان می‌دهد از مقایسه اعداد مربوط به شاخص WQI به‌دست آمده با جدول (۴) (استانداردهای کیفیت آب) آنچه مسلم است کیفیت آب در تمامی ایستگاه‌ها و دوره‌های نمونه‌برداری از محدوده آب‌ها با کیفیت خوب (۱۰۰-۵۰) خارج نشده است و دامنه تغییرات به‌گونه‌ای است که کیفیت آب برای مصارف انسانی مطلوب می‌باشد. شکل‌های (۲ و ۳) به ترتیب تغییرات شاخص کیفیت آب در ایستگاه‌ها و دوره‌های نمونه‌برداری را نمایش می‌دهند. براساس یافته‌های این تحقیق، تغییرات در ایستگاه‌ها نامحسوس و عدد شاخص در ۸ ایستگاه به‌هم نزدیک است. بیشترین مقدار شاخص WQI در ایستگاه سوم (۸۵/۶۶۱) و کمترین آن در ایستگاه پنجم (۵۱/۸۷۸) ثبت شد (جدول ۷ و شکل ۲). همچنین روند تغییرات کیفیت آب در طول زمان و در فصول مختلف نمونه‌برداری به گونه‌ای بود که کیفیت آب از فصل بهار تا اواخر پاییز رو به کاهش است اما فصل زمستان بالاترین سطح کیفی آب چاه‌نیمه را نشان داد. در واقع بیشترین مقدار عددی شاخص کیفی در زمستان (۷۱/۷۴۷) و کمترین آن در پاییز (۶۲/۶۸۴) ثبت شد (جدول ۷ و شکل ۳). بالا رفتن عدد شاخص در فصل زمستان بیشتر از هرعاملی وابسته به کاهش دمای آب و افزایش میزان اکسیژن محلول در آب است. همچنین به این نکته باید اشاره کرد که شدت وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که در پاییز به حداکثر خود می‌رسد و سبب کاهش شاخص کیفی آب در این فصل می‌شود، در زمستان تقریبا وجود ندارد. همه این موارد عدد شاخص کیفی آب را در زمستان بالاتر از بقیه فصول نگه می‌دارد. به‌طورکلی با دقت در اعداد شاخص در ایستگاه‌ها و فصول مختلف نمونه‌گیری مشخص است که تغییرات کیفی در بین ایستگاه‌ها و دوره‌های زمانی وجود دارد و هر جا و هر زمان که مقدار این عدد بالاتر رفته باید از دیدگاه بهداشتی و امنیت سلامتی مصرف کننده به آن دقت شود اما خوشبختانه کاهش کیفیت در تمامی مناطق چاه‌نیمه اول و فصول سال از محدوده طبقه خوب خارج نشده است و کیفیت آب دریاچه اول برای اهداف نوشیدنی مناسب است.

جدول ۵- مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در ۸ ایستگاه نمونه‌برداری

پارامتر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
نیترات (mg/lit)	۴/۹۲	۱/۶۳	۴/۸۹	۴/۶۷	۵/۷۲	۶/۱۲	۴/۳۵	۵/۱۶
نیتریت(mg/lit)	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۲
اکسیژن محلول (mg/lit)	۹/۵۳	۹/۷۸	۹/۰۹	۹/۱۹	۹/۴۲	۸/۹۳	۹/۳۱	۸/۸۷
هدایت الکتریکی (µs/cm)	۹۷۲/۳	۱۱۰۳/۲۹	۱۱۱۰/۲۵	۱۰۷۵/۶۷	۷۲۱/۷۵	۷۹۶/۸۳	۱۰۰۵	۱۰۸۳/۵۸
سختی (mg/lit)	۱۳۲/۹۲	۲۷۸/۲۵	۲۸۹	۳۱۴/۱۲	۲۱۲/۹۳	۳۰۲/۹۲	۱۳۴/۱۷	۲۵۸/۷۵
pH	۸	۷/۷۴	۷/۷۳	۷/۸۶	۸/۳۴	۷/۹۱	۷/۹۹	۸/۰۴
دما (^{0}C)	۲۲/۵	۲۲/۴	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۲/۴	۲۲/۵

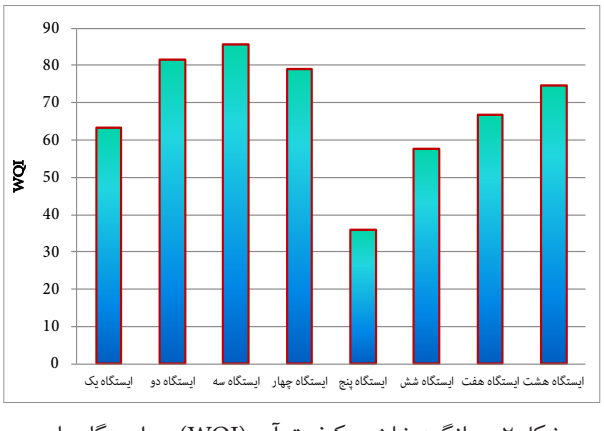
جدول ۶- مقادیر میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در ۴ فصل مختلف نمونه‌برداری

پارامتر	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
نیترات (mg/lit)	۴/۷۶	۴/۸۳	۴/۶۲	۴/۳۷
نیتریت (mg/lit)	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۳
اکسیژن محلول (mg/lit)	۸/۴۸	۷/۵۳	۹/۸۳	۱۱/۲۲
هدایت الکتریکی (µs/cm)	۸۹۰/۷۵	۹۰۸/۷۱	۹۵۶/۶۳	۱۱۷۸/۲۷
سختی(mg/lit)	۲۲۰/۰۶	۲۰۲/۸۶	۲۳۱/۵۸	۳۰۷/۰۱
pH	۷/۸۰	۸/۰۱	۸/۰۰	۸/۰۰
دما (^{0}C)	۲۵/۹	۲۸/۹	۱۷/۲	۱۴/۶

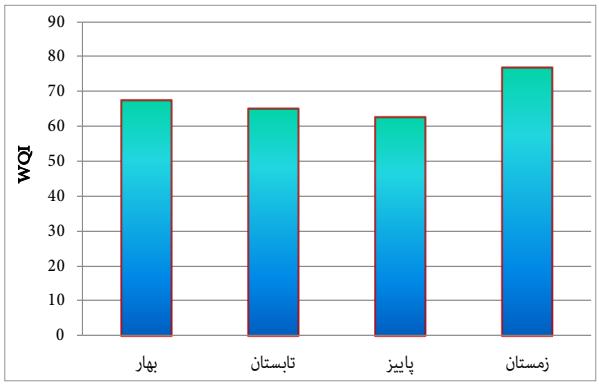
جدول ۷- مقادیر WQI محاسبه شده در ایستگاه‌ها و فصول مختلف نمونه‌برداری

ایستگاه	WQI	فصل	WQI
۱	۶۳/۳۷۳	بهار	۶۷/۴۹۶
۲	۸۱/۶۵۳	تابستان	۶۵/۱۷۸
۳	۸۵/۶۶۱	پاییز	۶۲/۶۸۴
۴	۷۹/۱۶۷	زمستان	۷۱/۷۴۷
۵	۵۱/۸۷۸		
۶	۵۷/۵۵۵		
۷	۶۶/۶۲۰		
۸	۷۴/۶۹۳		

با دقت در شکل‌های (۲) و (۳) واضح است که تغییرات کیفی آب بین ایستگاه‌ها نظم مشخصی را دنبال نمی کند و تغییرات در طول زمان به‌هم نزدیک است و تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهند.



شکل ۲- میانگین شاخص کیفیت آب (WQI) در ایستگاه‌های نمونه‌برداری



شکل ۳- میانگین شاخص کیفیت آب (WQI) در فصول مختلف نمونه‌برداری

بحث و نتیجه‌گیری

WQI برای ارزیابی کیفیت آب بسیاری از منابع آبی در سراسر جهان استفاده شده است. هدف اصلی آن تبدیل داده‌های پیچیده کیفی آب به اطلاعات قابل درک و کاربردی است. این شاخص مقدار زیادی از داده‌های پارامترهای شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آب را با روشی ساده به یک عدد کاهش می‌دهد و این بزرگترین مزیت آن به‌شمار می‌آید. با دقت در اعداد جداول (۵) و (۶) مشخص است که به‌طورکلی پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های نمونه‌برداری و در فصول مختلف درحد استانداردهای جهانی برای منابع آب‌های شیرین قرار دارند. به‌طورمشخص نتایج نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در میزان اکسیژن محلول آب در ایستگاه‌های مختلف بود، اما عوامل دیگر شامل نیترات، نیتریت، هدایت الکتریکی، سختی کل و pH در نقاط مختلف چاه‌نیمه تفاوت معنی‌داری را نشان دادند ($P<0/05$). این اختلاف نشان می‌دهد که ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۸ گانه تحقیق به دلیل قرارگیری در محل ورودی و خروجی‌ها که در برخی از زمان‌ها شدت جریان آب ورودی و خروجی وجود دارد، همچنین به دلیل اختلاف عمق دریاچه و ارتفاع آب در نواحی متفاوت و حتی اثر عوامل جانبی تأثیرگذار بر آب، کیفیت‌های مختلفی دارند. اما پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده به جز اکسیژن محلول آب که بیشتر از هر چیزی متأثر از تغییرات دمایی هوا و آب در ماه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P<0/05$)، پارامترهای دیگر شامل نیترات، نیتریت، هدایت‌الکتریکی، سختی و pH در فصول سال با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند ($P>0/05$). میانگین نیترات در چاه‌نیمه ۴/۶۴ میلی‌گرم بر لیتر ثبت شد که در مقایسه با استانداردهای جهانی پایین‌تر از حد خطرناک می‌باشد. بالاترین مقدار نیترات در ایستگاه ششم اندازه‌گیری شد که نزدیک بودن این ایستگاه به مزارع تحقیقاتی حاشیه دریاچه و مناطق گردشگری سبب

ورود پساب کشاورزی و انسانی به این ناحیه از مخزن شده است و تا حدودی غلظت نیترات را در قیاس با سایر مناطق بالا برده است. نیتریت نیز در ایستگاه شش به دلیل‌های گفته شده بالاترین مقدار در دریاچه را به خود اختصاص داد ولی میانگین نیتریت نیز در مقایسه با استانداردهای بین‌المللی کیفی آب در چاه‌نیمه اول مناسب بود. نیترات و نیتریت در طول زمان اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. هدایت الکتریکی آب چاه‌نیمه به دلیل بالا بودن املاح آب و سیلابی بودن جریان‌های ورودی به مخزن و رسوبات زیاد، بالاتر از حد استانداردهای جهانی بود و یکی از مشکلات کیفی آب چاه‌نیمه که حتی می‌تواند روی طعم، مزه آب و میزان مقبولیت آن برای نوشیدن اثر داشته باشد بالا بودن میزان هدایت الکتریکی آب است. به‌طورکلی غلظت هدایت الکتریکی آب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری با هم اختلاف داشتند اما در فصول مختلف به هم نزدیک بودند و اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند. سختی آب یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت آب مورد استفاده در مصارف خانگی، صنعتی، کشاورزی و آبزی‌پروری است. میانگین سختی به‌طور کلی در چاه‌نیمه پایین‌تر از اندازه استانداردهای آب آشامیدنی ثبت شد. بالاترین مقدار سختی در ایستگاه چهارم که در محل ورودی اصلی مخزن قرار گرفته و دریافت کننده سیلاب ورودی به مخزن و املاح و یون‌های مختلف است، اندازه‌گیری شد. تغییرات سختی کل در فصول مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. نوسانات pH در زمان‌های مختلف تفاوتی را نشان نداد اما به دلیل سختی متفاوت آب در نواحی مختلف چاه‌نیمه و حالت بافری ایجاد شده همچنین وجود املاح ازجمله کربنات به‌ویژه در ایستگاه‌های نزدیک به ورودی و خروجی‌ها و اختلاف خصوصیات هیدرولوژی در چاه‌نیمه اول، pH آب در ایستگاه‌های نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری داشتند. اکسیژن محلول در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌هم نزدیک بود اما تفاوت معنی‌داری در میزان اکسیژن محلول بین مراحل مختلف نمونه‌برداری مشاهده شد ($P<0/05$). غلظت اکسیژن محلول در زمستان بیشترین و در تابستان کمترین مقدار خود را نشان داد که به دلیل افزایش دمای آب و افزایش فعالیت‌های حیاتی می‌باشد. در مجموع باتوجه‌به اعداد شاخص کیفی آب در این تحقیق آنچه مشخص است اینکه کیفیت آب در تمامی ایستگاه‌ها و ماه‌های نمونه‌برداری مناسب و قابل استفاده است. اما اگر چاه‌نیمه اول زابل به ۳ بخش ورودی، میانه دریاچه و بخش خروجی تقسیم شود، بالاترین کیفیت آب، مربوط به نواحی میانه دریاچه که ایستگاه پنجم در آنجا قرار دارد می‌باشد (جدول ۱). عمق زیاد این بخش و فاصله از ورودی و خروجی مخزن که اثر شدت جریان آب و جابه‌جایی املاح را کمتر دارد از مهمترین عوامل افزایش کیفیت آب در بخش میانی چاه‌نیمه است. بخش نزدیک به ورودی آب به مخزن و همچنین ناحیه نزدیک به خروجی‌های مخزن نیز به دلیل نوسانات آب و تغییرات رسوبات و املاح و اثرات جانبی حاشیه دریاچه روی این دو بخش کیفیت پایین‌تری دارد. بنابراین برداشت آب از نواحی میانی مخزن برای مصارف انسانی و به‌خصوص شرب بهتر خواهد بود. درحال‌حاضر باتوجه‌به روند تغییرات در چاه‌نیمه به‌خصوص روند تغییر نوع کاربری و مصارف آب چاه‌نیمه، کاهش شدید جریان آب ورودی به مخزن، خشکسالی‌های طولانی مدت در ناحیه مورد مطالعه، افزایش گردشگری و استفاده‌های انسانی در حاشیه مخزن و همچنین تغییرات غیر کارشناسانه کاربری اراضی حوزه آبخیز در ناحیه سیستان در ایران، انجام بررسی‌های دقیق و مستمر ارزیابی کیفیت آب چاه‌نیمه و طراحی یک مدل مناسب پایش کیفی آب برای این دریاچه پیشنهاد می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1-Water quality index (WQI)
2-Relative Weight
3-Assigned Weight

منابع

شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان. (۱۳۹۱الف). پروژه ژئوتکنیکی مخازن چاه‌نیمه زابل. جلد اول، شماره مسلسل: ۱۳۹۱۷، کد موضوعی ۱۰، تاریخ انتشارپاییز۱۳۹۱. زابل، ایران.

شرکت آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان. (۱۳۹۱ب). بررسی شرایط خشکسالی حوضه هیرمند. چاپ اول، زابل، ایران.

طوافی، معین، بازرگان، جلال، و افتخاری، مرتضی. (۱۳۹۰). اثرات عوامل موثر بر لایه‌بندی آب در مخازن سدها. پایان‌نامه دکترا، دانشکده فنی-مهندسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

قوچانیان، مرجان، و فشائی، محمد. (۱۴۰۱). شاخص‌های مدیریت منابع آب با تمرکز بر حکمرانی. فصلنامه آب و توسعه پایدار، ۹(۱)، ۱-۱۰. http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v9i1.2110.1086

Abedinpour, M., & Nabavi, S.N. (2018). Assessment of groundwater quality using GIS at north-east of Iran. Desalination and Water Treatment, 11(8), 126-34. doi: 10.5004/dwt.2018.22678

Abtahi, M., mohamadi, M., saeidi, R., & nabizadeh, R. (2021). Evaluation of chemical and microbial quality of bottled water in Iran and calculation of water quality index. Iranian journal of health and environment, 14(2), 225-246. doi: 10.18869/acadpub.jehe.1.2.137

Ahmed, T.A. (2020). Water quality index analysis for

2926. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00036-1

Ramakrishnaiah, C.R., sadashivaiah, C., & Ranganna, G. (2009). Monitoring of aquatic macro invertebrates as bioindicators for assessing the health of wetlands: A case study in the Central Himalayas, India. Ecological indicators, 9(1), 118-128. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.02.004

Rice, E.W., Baird R.B., & Eaton, A.D. (2017). Standard methods for the Examination of water and wastewater. 23th edition, American public Health Association/ American water works association/water Environment Federation. Washington DC, USA.

Saatsaz, M. (2020). A historical investigation on water resources management in Iran. Environment, Development and Sustainability, 22, 1749–1785. https://doi.org/10.1007/s10668-018-00307-y

Shahapure, G.R., Kulkarni, S.S., & Pore, S.M. (2014). Monthly variation of physicochemical and microbiological characteristics of sambhajilake solpur, Maharashtra. Advances in Applied Science Resrarch, 5(2), 149-152.

Sheikh, S., Shahbazi, H., Mosaferi, M., Firuzi, P., & Aslani, H. (2020). Spatio-temporal variation of WQI, scaling and corrosion indices, and principal component analysis in rural areas of Marand, Iran. Groundwater for Sustainable Development, 11, 100480. doi: 10.1016/j.gsd.2020.100480

Solgi, E., Malekmohamadi, M., & Bigmohamadi, F. (2021). Assessing the Quality of Water Resources of Dehloran National Natural Monuments Using Water Quality Index (WQI). Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 14(6), 2112-2124. doi: 20.1001.1.20087942.2021.14.6.12.3

Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P. & Dobhal, R. (2013). Water quality assessment in terms of water quality index. American Journal of Water Resources, 1(3), 34-38. doi: 10.12691/ajwr-1-3-3

World Health organization (WHO). (2017). 4th Edition Incorporating the First Addendum, Geneva (Switzerland), PMID: 28759192.

Zar, J.H. (1984). Bioststistical analysis. Prentice-Hall, 2nd edition, Inc., Englewood cliffs, Newyork, USA.

portable and bottled waters. Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua, 69(5), 453-68. doi: 10.2166/aqua.2020.004

Badeenezhad, A., Tabatabaee, H.R., Ali nikbakht, H., Radfard, M., Abbasnia, A., Baghapour, M.A., & Alhamd, M. (2020). Estimation of the groundwater quality index and investigation of the affecting factors their changes in Shiraz drinking groundwater, Iran. Groundwater for Sustainable Development, 11(3), 100435. doi: 10.1016/j.gsd.2020.100435

Boyacioglu, H. (2007). Development of a water quality index based on a European classification scheme. Water SA, 33(1). doi: 10.4314/wsa.v33i1.47882

Dwivedi, S.L., & Pathak, V. (2007). A preliminary assignment of water quality index to Mandakini river, Chitrakoot. Indian Journal of Environmental Protection, 27(11), 1036-1038.

Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.S., Kanel, S.R., & Khan, S.P. (2007). Application of water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment. Environmental monitoring and assessment, 132(1-3), 93-110. https://doi.org/10.1007/s10661-006-9505-1

Karakaya, N., Evrendilek, F., Aslan, G., Gungor, K., & Karakas, D. (2011). Monitoring of lake water quality along with trophic gradient using landsat data. International journal of Environmental Science and Technology, 8(4), 817-822.

Lumb, A., Sharma, T.C., & Bibeault, J.F. (2011). A review of genesis and evolution of water quality index (WQI) and some future directions. Water Quality, Exposure and Health, 3(1), 11-24. https://doi.org/10.1007/s12403-011-0040-0

Merchán, D., Causapé, J., & Abrahao R. (2013). Impact of irrigation implementation on hydrology and water quality in a small agricultural basin in Spain. Hydrological sciences journal, 58(7), 1400-1413. https://doi.org/10.1080/02626667.2013.829576

Pesce, S.F., & Wunderlin, D.A. (2000). Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquıa River. Water Research, 34(11),2915-