

ارزیابی کیفیت آب دریاچه سد زاینده رود با استفاده از شاخص کیفی آب در سال ۱۳۹۲

مهتاب خلجی^۱، عیسی ابراهیمی^{۱*} و هستی هاشمی نژاد^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۷)

چکیده

ارزیابی کیفی منابع آب در سال‌های اخیر همزمان با کاهش کمیت آن از اهمیت بسیاری برخوردار گردیده است. دریاچه سد زاینده رود به‌عنوان مهم‌ترین منبع تامین آب آشامیدنی و کشاورزی جمعیت زیادی از ساکنان استان‌های چهارمحال و بختیاری، اصفهان و استان‌های همجوار از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. به‌منظور ارزیابی کیفیت آب، تعداد ۵ ایستگاه نمونه برداری در نقاط مختلف این دریاچه انتخاب و با تناوب ۴۵ روز یکبار در طی سال ۱۳۹۲ اقدام به‌نمونه برداری از اعماق مختلف آب گردید. فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی شامل؛ اکسیژن محلول، نیترات، نیتریت، آمونیوم، سختی، pH، EC، TDS و BOD5 اندازه‌گیری شد و شاخص کیفیت آب (WQI) در ایستگاه‌ها و مراحل مختلف نمونه برداری محاسبه شد. در مجموع نتایج حاصل، کیفیت آب دریاچه سد زاینده رود را با استفاده از شاخص WQI و براساس شرایط موجود در تمام طول سال در طبقه خوب (۵۰-۱۰۰) قرار داد. بیشترین میزان شاخص کیفیت آب (۸۴/۶۳) به فصل تابستان و کمترین میزان آن (۶۶/۴۱) به فصل پاییز تعلق داشت. که در هر دو زمان کیفیت آب را در طبقات خوب ارزیابی می‌نمایند. با این حال روند تغییرات مشاهده شده در دامنه فوق به‌خصوص در فصل تابستان و بخش‌هایی از دریاچه نگران‌کننده بوده و دقت نظر بیشتر در مدیریت حوزه آبخیز سد و پایش مستمر آن را طلب می‌کند.

واژه‌های کلیدی: کلیدی: WQI، سدچادگان، BOD5، زاینده رود، مواد مغذی

۱. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه مهندسی محیط زیست دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: e_brahimi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

عراق در سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۰ و مقایسه آن با سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ استفاده کردند (۹). فتحی و همکاران در سال ۲۰۱۲ به کمک شاخص‌های زیستی و فیزیکوشیمیایی و درشت بی مهرگان کفزی اقدام به ارزیابی کیفیت آب تالاب چغاخور کردند (۶). دریاچه سد زاینده‌رود در حال حاضر به دلیل کاربردهای متنوع، مانند؛ تأمین بخش عمده آب شرب استان‌های اصفهان، چهار محال و بختیاری و یزد، تأمین آب کشاورزی حوضه زاینده‌رود و آب مورد نیاز صنایع استان اصفهان و استان‌های مجاور و تولید برق، اهمیت بسیار زیادی دارد. همچنین به علت هم‌جواری با قطب‌های بزرگ جمعیتی، صنعتی و گردشگری، نقش مهمی در حیات اقتصادی منطقه ایفا می‌کند. هدف از این تحقیق ارزیابی و تعیین شرایط کیفی آب دریاچه مذکور با استفاده از شاخص WQI و حفاظت و کنترل آن به‌عنوان یک زیست بوم آبی ارزشمند و بررسی تغییرات کیفی آب آن در سال ۱۳۹۲ بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

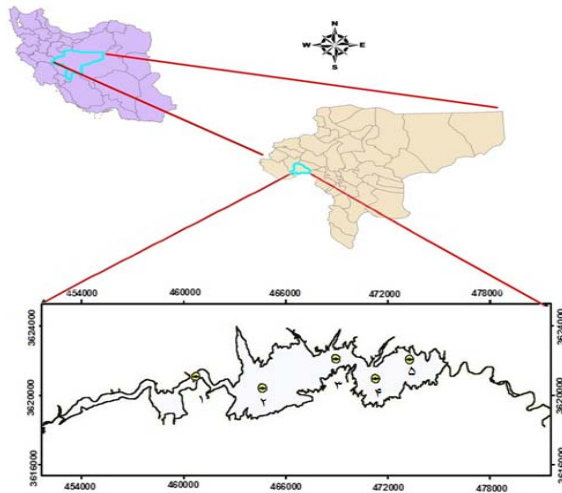
دریاچه سد زاینده‌رود با مساحتی بالغ بر ۴۸ کیلومتر مربع در ۱۱۰ کیلومتری غرب شهر اصفهان بین طول جغرافیایی " ۱۸° ۴۴' ۵۰" و " ۴° ۳۶' ۵۰" شرقی و عرض جغرافیایی " ۳۴° ۴۳' ۳۲" و " ۵° ۴۳' ۳۲" شمالی واقع شده است. براساس بررسی‌های میدانی، امکان دسترسی و توزیع مناسب، تعداد ۵ نقطه به‌عنوان ایستگاه‌های نمونه برداری در سطح دریاچه انتخاب شد. موقعیت این مکان‌ها در شکل (۱) و مختصات جغرافیایی آنها در جدول (۱) آمده است. برای دسترسی به این نقاط در مراجعه‌های متوالی از دستگاه GPS استفاده شد. نمونه برداری از اردیبهشت تا اسفند ماه سال ۱۳۹۲ با تناوب زمانی ۴۵ روز یکبار مجموعاً ۷ مرتبه (به دلیل یخبندان سطح دریاچه در فصل زمستان یکبار نمونه برداری شد) انجام شد.

نمونه برداری از آب

برای این کار پس از شستشوی ظروف نمونه برداری در محل، از

رشد جمعیت و آلودگی‌های ناشی از تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، شیرابه‌های محل دفن زباله و روان آب‌های سطحی جاده‌ها، کارخانه‌ها، شهرها، مزارع کشاورزی و ... باعث گسترش آلودگی و محدود شدن منابع آب در سال‌های اخیر شده است (۲۴). ارزیابی کیفیت آب به‌خصوص آب‌های آشامیدنی در بازه‌های زمانی منظم و تعیین وضعیت کیفی آب برای اتخاذ راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از کاهش کیفیت آب و یا بهبود آن از جمله موضوعات مهم در مدیریت و بهره برداری از منابع آب در سال‌های اخیر بوده است (۲۲).

شاخص‌های کیفی آب از جمله روش‌های بسیار ساده و به‌دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری است که می‌تواند شرایط کیفی آب را به‌شکل مطلوب بازگو نماید. این شاخص‌ها روش‌هایی هستند که در مدیریت کیفی آب می‌توان از آن به‌عنوان یک ابزار مدیریتی قوی استفاده کرد (۳۰). شاخص کیفیت آب (Water quality index) WQI یکی از شاخص‌های پر کاربرد جهت طبقه‌بندی کیفی آب‌های سطحی است (۲). معیارهای عددی به‌دست آمده از این شاخص منابع آبی را در پنج طبقه بسیار خوب، خوب، متوسط، بد و خیلی بد تقسیم بندی می‌کند (۱، ۱۶، ۳۰). در علم لیمنولوژی، مخازن آبی انسان ساخت (سدها) به‌عنوان دریاچه‌های مصنوعی شناخته شده و امروزه دیدگاه‌ها نسبت به اهداف و جایگاه آنها گسترده تر شده و دامنه آن مشمول کنترل کیفی در کنار اهداف کمی مورد انتظار از آنها نیز گردیده است (۱۴). سانچز و همکاران در سال ۲۰۰۷، شاخص WQI کمبود اکسیژن محلول را به‌عنوان معیار ارزیابی کیفیت آب در رودخانه‌های گوآدارما و مانزانارز مورد استفاده قرار دادند (۲۹). پرهام و همکاران در سال ۱۳۸۶ کیفیت آب دریاچه سد کرخه را با استفاده از این شاخص مورد بررسی قرار دادند (۲۲). یوشا و همکاران در سال ۲۰۰۸ اقدام به ارزیابی کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی ناحیه دریاچه هبال با استفاده از این شاخص پرداختند (۳۴). العییدی و همکاران شاخص WQI را برای ارزیابی کیفیت آب دریاچه دوکان در کردستان



شکل ۱. موقعیت مکان های نمونه برداری در دریاچه سد زاینده رود

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری در دریاچه

ایستگاه‌ها	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	۵۰° ۳۴' ۵۰"	۳۲° ۴۳' ۳۷"
۲	۵۰° ۳۷' ۲۰"	۳۲° ۴۳' ۱۶"
۳	۵۰° ۴۰' ۰۵"	۳۲° ۴۴' ۱۲"
۴	۵۰° ۴۱' ۳۷"	۳۲° ۴۳' ۳۵"
۵	۵۰° ۴۲' ۵۳"	۳۲° ۴۴' ۷۲"

اعماق ۰/۵، ۳، ۵ و ۱۰ متری و مجاور بستر به کمک بطری نانس نمونه‌های آب برداشت شده و در شرایط استاندارد به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی آب بر اساس روش‌های استاندارد (APHA ۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد.

برداری ارزیابی شد. مقادیر مورد نیاز برای محاسبه شاخص براساس معادلات زیر برآورد گردید.

$$RW = AW / \sum AW \quad [1]$$

در معادله ۱: RW؛ نسبت وزنی هر فراسنجه و AW؛ وزن اختصاص یافته به هر فراسنجه است (۱ تا ۴) که براساس نظرات کارشناسان در مطالعات مشابه قبلی برآورد شده است (۶) (نسبت وزنی ۱ به عنوان کم‌ترین همبستگی و نسبت وزنی ۴ به معنی بیشترین همبستگی در نظر گرفته می‌شود).

$$Qi = (Ci/Si) * 100 \quad [2]$$

$$Qi = (Ci - Vi / Si - Vi) * 100 \quad [3]$$

در معادلات ۲ و ۳: Qi؛ میزان کیفی، Ci؛ میزان به دست آمده از هر فراسنجه در آزمایشگاه، Si؛ میزان گزارش شده در استاندارد جهانی، Vi؛ میزان مطلوب که برای pH برابر با ۷ و برای DO برابر با ۱۴/۶ است. وزن اختصاص داده شده به هر فراسنجه و میانگین مورد استفاده در جدول (۲) آورده شده است. (برای محاسبه میزان کیفی اکسیژن و pH از معادله ۳ استفاده می‌شود).

سر انجام برای محاسبه WQI ابتدا زیر شاخص Sli برای هر فراسنجه محاسبه شد (معادله ۴) و از مجموع Sli ها مقدار عددی WQI برآورد گردید (معادله ۵).

تحلیل‌های آماری

بررسی آماری داده‌ها در تناوب‌های مکانی (ایستگاه‌ها) و زمانی (زمان‌های نمونه برداری) با استفاده از نرم افزار SPSS 19 انجام شد. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و یکنواختی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شد. به منظور بررسی اختلاف بین ایستگاه‌ها و همچنین زمان‌های مختلف نمونه برداری، از آنالیز واریانس یک طرفه استفاده شد و در ادامه به منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید. برای ارزیابی همبستگی بین فراسنجه‌های مورد بررسی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد.

محاسبه شاخص WQI

شاخص کیفیت (WQI) با استفاده از فراسنجه‌های اندازه‌گیری شده شامل: نیترات، نیتريت، سختی، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، آمونیوم، pH، TDS، و BOD5، در ایستگاه‌ها و مراحل مختلف نمونه برداری محاسبه شد. سپس با استفاده از جدول (۲)، کیفیت آب در هر ایستگاه و در تمام مراحل نمونه

همچنین مقایسه مقدار شاخص کیفیت آب (WQI) در طی دوره مطالعه هم در بین ایستگاه‌ها و هم در بین زمان‌های نمونه برداری تفاوت معنی در ($P < 0/05$) نشان داد (شکل ۲ و ۳).

بحث

بررسی وضعیت اکسیژن محلول، نیتريت، نیترات و آمونیم در ایستگاه‌های نمونه برداری به طور کلی نشان دهنده بالا بودن این فراسنجه‌ها (به جز نیترات) در ایستگاه اول در طی دوره مطالعه نسبت به سایر ایستگاه‌ها بود. به گونه‌ای که می‌توان این ایستگاه را متفاوت از سایر ایستگاه‌ها دانست. براساس یافته‌های این تحقیق ایستگاه‌های ۳، ۴ و ۵ تفاوت معنی داری را در خصوص فراسنجه‌های مورد بررسی با یکدیگر نشان نداد.

در حالی که ایستگاه ۱ و در خصوص برخی فراسنجه‌ها ایستگاه ۲ به طور معنی داری ($P < 0/05$) متفاوت از ایستگاه‌های ۴ و ۵ بود (شکل ۲). به نظر می‌رسد موقعیت ایستگاه ۱، (قرار داشتن در ناحیه ورودی رودخانه زاینده رود به دریاچه) علت اصلی این تغییرات باشد. تفاوت اساسی رودخانه به عنوان یک توده آب جاری نسبت به دریاچه و تاثیر پذیری آن از بستر و مسیر جریان می‌تواند علت اساسی تفاوت‌های مشاهده شده در فراسنجه‌های مورد ارزیابی به خصوص ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب از جمله اکسیژن محلول (۱۱) و ترکیبات ازت (۳۳) باشد. علاوه بر آن نقش فعالیت‌های انسانی در حوزه بالادست رودخانه را به عنوان یک عامل موثر در تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب بخصوص در ایستگاه‌های ۱ و ۲ نباید از نظر دور داشت.

اکسیژن محلول

ایستگاه ۱ با بالاترین میانگین و گسترده‌ترین دامنه نوسانات اکسیژن تفاوت معنی داری را نسبت به ایستگاه‌های ۴ و ۵ نشان داد (شکل ۲-الف) ($P > 0/05$). دامنه این تغییرات در سایر ایستگاه‌ها کمتر بوده و همگنی بالاتری در بین آنها مشاهده شد. مجاورت ایستگاه ۱ با دهانه ورودی رودخانه باعث شده

جدول ۲. طبقه بندی کیفیت آب بر اساس امتیاز کلی شاخص

WQI (۲۳)	
مقدار شاخص به دست آمده	طبقه کیفی
< ۵۰	عالی
۵۰-۱۰۰	خوب
۱۰۰-۲۰۰	فقیر
۲۰۰-۳۰۰	خیلی فقیر
۳۰۰ <	نا مناسب

$$SI_i = RW \times Qi \quad [4]$$

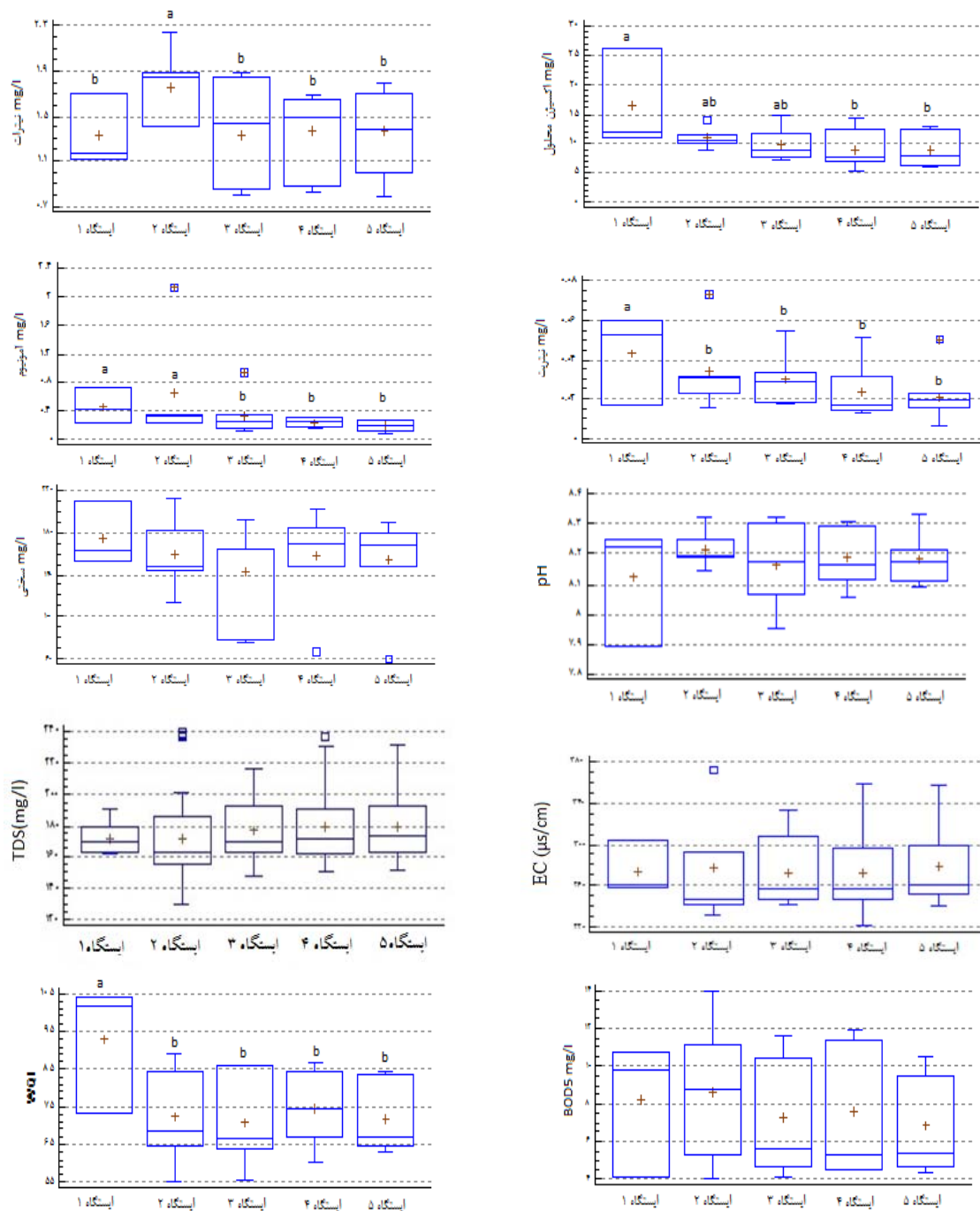
$$WQI = \sum SI_i \quad [5]$$

نتایج

روند تغییرات مکانی و زمانی فراسنجه‌های کیفی آب دریاچه سد زاینده رود

فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی آب، اطلاعات مفیدی در خصوص سلامت محیط‌های آبی ارائه می‌کند ارزیابی کیفیت آب براساس این فراسنجه‌ها مانند تهیه عکس از رخدادهایی است که در توده آب اتفاق افتاده و لذا تنها می‌تواند تاثیر آنها را در زمان وقوع نشان دهد. در حالی که ارزیابی براساس شاخص‌های کیفیت می‌تواند تاثیر رخدادهای را تا مدت‌ها بعد از وقوع نیز بررسی نماید.

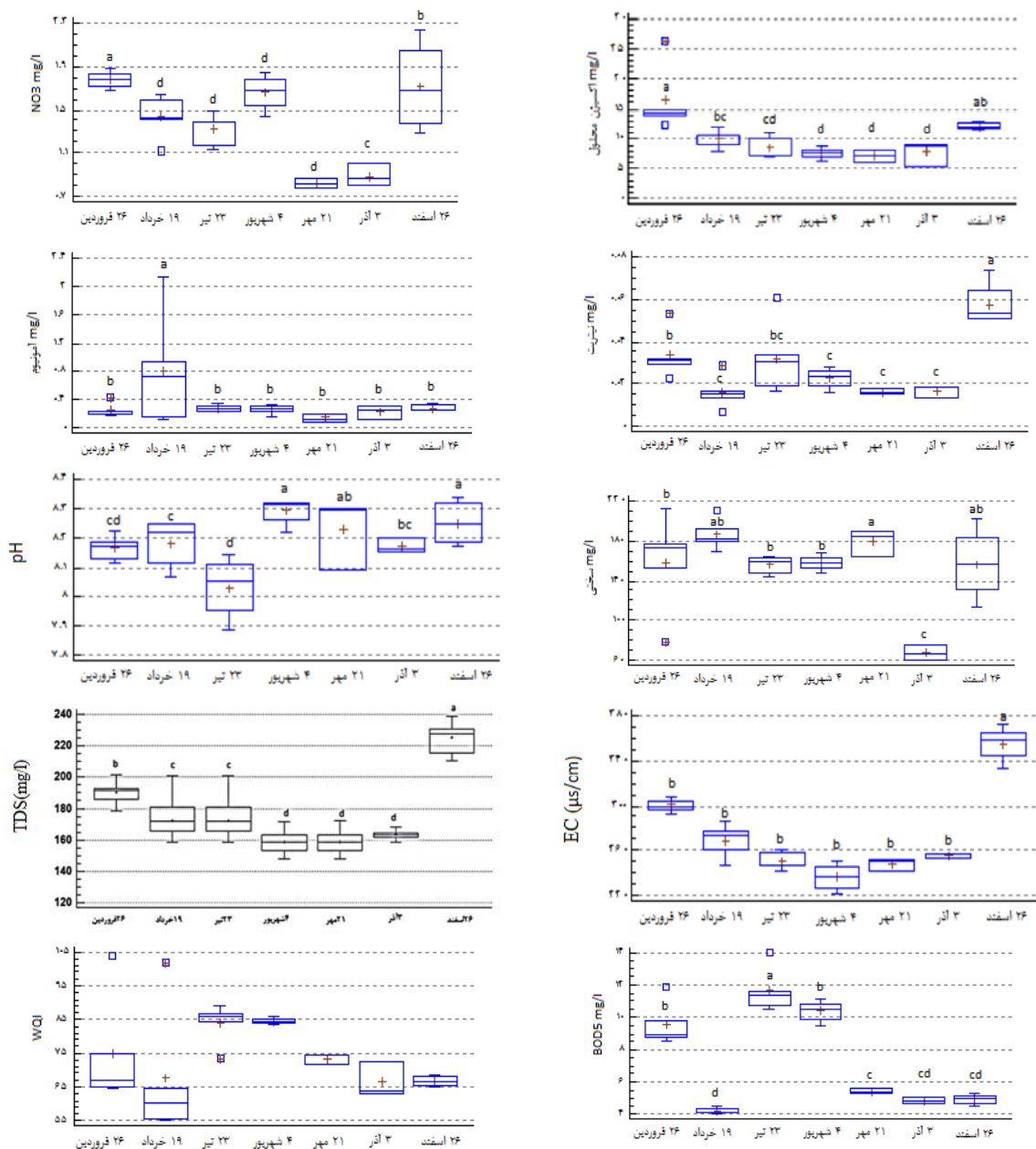
نتایج حاصل از اندازه‌گیری فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی آب دریاچه سد زاینده رود در شکل‌های (۲) و (۳) آمده است. از بین مجموعه فراسنجه‌های مورد ارزیابی در ایستگاه‌های نمونه برداری در طول سال، تنها فراسنجه‌های اکسیژن محلول، نیترات، نیتريت و آمونیم اختلاف معنی داری را بین ایستگاه‌های نمونه برداری نشان داد ($P < 0/05$) (شکل ۲). در حالی که از نظر زمانی تمامی فراسنجه‌های مورد ارزیابی (اکسیژن محلول، نیترات، نیتريت، آمونیم، سختی، EC، TDS و BOD5) در زمان‌های نمونه برداری دارای اختلاف معنی دار ($P < 0/05$) بود (شکل ۳).



شکل ۲. نمودار تغییرات فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه. الف) اکسیژن، ب) نیترات، پ) نیتريت، ت) آمونیوم، ث) سختی، ج) pH، چ) EC، ح) TDS، خ) BOD5، د) WQI.

نماید (۱۱). کاهش میزان اکسیژن محلول از اوایل بهار تا اوایل پاییز (شکل ۳-الف) می‌تواند ناشی از افزایش دمای آب و در

تا این ایستگاه بیشتر تحت تاثیر جریان آب رودخانه قرار داشته و معمولاً آبهای سرد، متلاطم و پر اکسیژن را دریافت



شکل ۳. نمودار تغییرات فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی آب در مراحل مختلف نمونه برداری. الف) اکسیژن، ب) نیترات، پ) نیتريت،

ت) آمونوم، ث) سختی، ج) pH، چ) EC، ح) TDS، خ) BOD5، د) WQI

صعودی بود که می‌تواند به دلیل کاهش دمای آب، کاهش فعالیت‌های حیاتی اکسیژن خواه و ایجاد تلاطم در آب باشد. ثابت شده است که میزان اکسیژن‌گیری سطحی در آب‌های سرد و متلاطم بیشتر از آب‌های گرم و آرام است (۱۱).

نتیجه کاهش قابلیت انحلال اکسیژن، افزایش فعالیت حیاتی موجودات آبزی، ورود مواد آلی قابل تجزیه، تشدید فرآیندهای اکسیداسیون مواد آلی و تغییرات فصلی باشد (۲۶). در مقابل روند تغییرات در فصول پاییز و زمستان (مهر ماه تا اسفند)

مغذی و افزایش غلظت آنها شده است. نقش فعالیت باکتری‌ها در چرخه ازت نیز می‌تواند منجر به تغییر غلظت اشکال مختلف ازت در محیط‌های آبی شود. پایین بودن نیتريت نسبت به نترات نقش موثر اکسیژن در فراهم نمودن امکان انجام عمل نیتريفیکاسیون و تبدیل نیتريت به نترات را نشان می‌دهد (۳۳). بانی (۱۳۷۵) در تحقیقات خود ارتباط منفی بین مواد مغذی (نترات و فسفات) و فراوانی فیتوپلانکتون‌ها را نشان داد و بیان کرد، کاهش میزان این مواد در پی افزایش مصرف آنها به علت افزایش فراوانی فیتوپلانکتون‌ها می‌باشد (۴). در تایید یافته‌های فوق مطالعه کازی و همکاران در سال ۲۰۰۹ در دریاچه مانچار پاکستان نشان داد که میزان نترات، آمونیوم، نیتريت و فسفات می‌تواند نتیجه نفوذ فاضلاب‌های خانگی و کودهای مصرف شده در بخش کشاورزی به منابع آب باشد (۲۹). افزایش معنی‌دار غلظت آمونیوم در خرداد ماه نسبت به سایر مراحل نمونه‌برداری در تحقیق حاضر نیز می‌تواند به واسطه ورود حجم بیشتر پساب‌های حاصل از آبیویی سطحی منطقه گردشگری اطراف دریاچه و همچنین زهکشی زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه باشد که در فصل بهار کود دهی شده و معمولاً به روش قرق‌آبی آبیاری می‌شود. مطالعه انجام شده روی رودخانه تت، ثابت کرد که میزان بالای اشکال نیتروژن به علت فعالیت‌های انسانی، استعمال کودها در بخش کشاورزی و آلوده کننده‌های آلی بوده که به محیط تخلیه شده‌اند (۲۷). مطالعه لودج و همکاران در سال ۲۰۱۴ روی دریاچه آنسینت در هندوستان نشان داد که نترات به عنوان ماده مغذی اصلی برای رشد جلبک‌ها و فیتوپلانکتون‌ها محسوب می‌شود و غلظت آن تحت تاثیر تناوب شکوفایی پلانکتون‌ها قرار دارد. ثابت شده است که مهمترین منابع نترات و آمونیوم در آب‌ها، فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی، صنعت و پساب‌های خانگی است (۵ و ۱۷).

سختی

با توجه به اینکه ساختار زمین‌شناسی حوزه آبخیز دریاچه سد زاینده رود به دوره پرکامبرین مربوط است (۳)، نهشته‌های آن

نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر مبنی بر تغییرات مکانی و زمانی غلظت اکسیژن در آب‌های ساکن و همچنین اثر عوامل طبیعی بر آن با مشاهدات فتی و همکاران (۶) بر روی تالاب چغاخور، موحدی نسب و همکاران (۷) بر روی همین دریاچه و گاجندرا و همکاران (۱۳) بر روی دریاچه سامب حاجی مطابقت دارد. به همین ترتیب مطالعه یوگندرا و پوتایه در سال ۲۰۰۸ روی توده آب‌های شهرشیموگا نیز نشان داد که بیشترین غلظت اکسیژن محلول در فصل سرد و کمترین مقدار آن در فصل گرم سال مشاهده می‌شود (۳۴).

ترکیبات ازته

یکی از دلایلی که می‌توان برای توجیه تغییر غلظت عناصر مغذی در آب دریاچه‌ها مطرح نمود، تناوب فعالیت‌های تولیدی به وسیله فیتوپلانکتون‌ها متناسب با فراهم شدن شرایط فتوسنتز می‌باشد. توسعه فیتوپلانکتون‌ها مصرف شدید مواد مغذی را به همراه دارد (۳۲)، در صورتی که منابع غذایی به مقدار کافی در محیط موجود نباشد این مصرف منجر به کاهش غلظت مواد مغذی و متعاقب آن موجب کاهش جمعیت پلانکتون‌ها خواهد شد. ارتباط مستقیم بین غلظت ترکیبات معدنی ازت با میزان ذرات معلق در آب به اثبات رسیده و می‌تواند با ته نشین شدن ذرات معلق به همراه آنها پاکسازی شود (۳۳). علاوه بر این به نظر می‌رسد روند تغییرات ایجاد شده در میزان عناصر مغذی منابع آب در فصول مختلف سال، با فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی و دامپروری در حوضه آبخیز توده‌های آبی نیز ارتباط داشته باشد. بر این اساس افزایش ترکیبات ازته (نیتريت، نترات و آمونیوم) متناسب با حجم جریان‌های ورودی به دریاچه در ابتدای بهار و به خصوص در ایستگاه‌های ۱ و ۲ و نیمه دوم فصل تابستان می‌تواند به دلیل استفاده از کودهای ازته و آلی مورد استفاده در بخش کشاورزی در طی فصل بهار و اوایل تابستان باشد (شکل‌های ۲-ب، ۲-پ، ۳-ت و ۳-ب، ۳-پ، ت). همچنین کاهش جمعیت فیتوپلانکتون‌ها در فصل زمستان به دلیل یخ بستن سطح دریاچه باعث کاهش مصرف عناصر

هدایت الکتریکی (EC)

اهمیت هدایت الکتریکی در آب‌های آشامیدنی به دلیل محتوای کاتیون‌های آن بوده که بر طعم و مزه آب و میزان مقبولیت آن برای نوشیدن تاثیر گذار است. هدایت الکتریکی نتیجه غیر مستقیم انحلال نمک‌ها در آب است. این عامل می‌تواند ناشی از عوامل جوی طبیعی، سنگ‌های رسوبی و یا منابع انسانی مثل صنعت و یا فاضلاب‌های شهری باشد. نمک‌های محلول به شکل یون بوده و آب را برای جریان الکتریکی توانا می‌سازند. بنابراین هدایت الکتریکی به مقدار مواد جامد محلول در آب بستگی داشته و تاثیر زیادی بر جوامع زیستی آب‌ها دارد (۲۴). پیشینه مقدار EC اندازه‌گیری شده در ماه‌های اسفند و اوایل بهار می‌تواند ناشی از نزولات جوی در اواخر زمستان و اوایل بهار و در نتیجه افزایش میزان هرزآب‌های سطحی و ورود آنها به توده آب باشد. علاوه بر آن وزش بادها که معمولاً در هنگام تغییر فصول از شدت و فراوانی بیشتری برخوردار است می‌تواند باعث برهم خوردن رسوبات بستر دریاچه در نواحی کم عمق و سواحل شده و تغییراتی را در میزان EC ایجاد کرده باشد که نوسانات ایجاد شده را توجیه می‌کند (۶). بر خلاف این ادعا، مطالعه یوگندرا و همکاران در سال ۲۰۰۸ روی پیکره‌های آبی شهر شیموگا نشان دهنده افزایش مقدار EC در فصل تابستان است. به نظر می‌رسد دلیل این اختلاف قرار داشتن دریاچه مورد مطالعه ایشان در ناحیه شهری و در نتیجه تاثیر بیشتر فعالیت‌های انسانی به‌خصوص پساب‌های شهری در فصل تابستان بر روی این دریاچه باشد (۳۴). در تایید یافته‌های اخیر مطالعه موحدی نسب و همکاران در سال ۱۳۹۰ روی همین دریاچه نشان دهند کاهش میزان هدایت الکتریکی از اردیبهشت ماه تا شهریور ماه بود (۷).

مجموع ذرات جامد محلول (TDS)

نوع ذرات تشکیل دهنده و مقدار TDS معیاری برای ارزیابی رنگ، هدایت الکتریکی، شوری و شاخصی برای رشد سریع فیتوپلانکتون‌ها محسوب می‌شود (۱۹). به‌طور کلی روند

اغلب آهکی بوده که باعث افزایش میزان یون‌های کربناته در آب دریاچه و متناسب با آن افزایش سختی می‌شود. تغییرات مشاهده شده در میزان سختی آب دریاچه در طول سال ضمن نشان دادن تفاوت معنی دار ($P > 0.05$) در میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده بین برخی از مراحل نمونه برداری در مجموع از قانده خاصی پیروی نکرده و دامنه تغییرات آن در محدوده آب‌های سخت ارزیابی شد که با توجه به ساختار متامورفیکی حوزه (۲۵) قابل انتظار بود. عدم وجود تفاوت معنی دار در ایستگاه‌های نمونه برداری نیز نشان‌دهنده یکنواختی توده آب از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی است.

pH

pH آب دریاچه‌ها و آبگیرهای مناطق مختلف به دلیل تفاوت در خصوصیات زمین‌شناسی و هیدرولوژی حوزه آبخیز، ورود مواد اسیدی و حاصلخیزی آب‌ها متفاوت است. به‌طور کلی در بیشتر دریاچه‌ها pH بین ۶ تا ۹ (به‌ندرت در دریاچه‌های آتشفشانی ممکن است به ۲ نیز برسد) عنوان شده است (۷). pH آب دریاچه سد زاینده رود به دلیل ساختار زمین‌شناسی حوزه آبخیز و الیگوتروف بودن آن تقریباً ثابت است (۳). میزان pH به‌عنوان یک فاکتور بسیار مهم در ارزیابی کیفیت آب نقش تعیین کننده در سلامت و قابلیت باروری آب دارد (۱۰). این پارامتر به دلیل تحت تاثیر قرار دادن بسیاری از ویژگی‌های شیمیایی و زیستی توده‌های آبی و فرایندهای مرتبط با تصفیه و تامین آب مورد نیاز انسان از اهمیت بسیاری برخوردار است (۱۴). تغییرات pH در مراحل مختلف نمونه برداری، بیشترین تطابق را با فعالیت‌های فتوسنتزی دریاچه نشان داد و دامنه تغییرات آن تماماً در محدوده آب‌های قلیایی قرار داشت. با توجه به سختی و حالت بافری ایجاد شده به دلیل وفور املاح کربناته در آب، ثبات pH و عدم مشاهده نوسانات شدید در آب دریاچه طبیعی است. مطالعات مشابه ضمن تایید حضور یون‌های کربنات و بی‌کربنات در آب‌های قلیائی نشان داد که pH آب در بیشتر توده‌های آبی که تحت تاثیر فعالیت‌های شدید انسانی قرار ندارند، در محدوده قلیایی است (۱۲، ۱۷، ۲۰، ۳۰، ۳۱ و ۳۴).

فصول بهار و تابستان در حاشیه دریاچه و کاربرد کودهای آلی در بخش کشاورزی را نیز نباید نادیده گرفت. در مقابل در فصل زمستان کاهش دما، کاهش شدت تابش و کوتاه شدن طول روز باعث کاهش فعالیت فتوسنتز کنندگان و در نتیجه کاهش تولید مواد آلی و کاهش BOD5 شده است. براساس یافته‌های این تحقیق تغییرات مکانی و زمانی BOD5 نشان دهنده روند رو به توسعه افزایش مواد آلی در توده آب دریاچه سد زاینده رود می‌باشد که در حال حاضر بسیار کند و آرام پیش می‌رود ولی می‌تواند زنگ خطری برای مدیریت کیفی آب دریاچه باشد. در تایید یافته‌های این تحقیق، فتحی و همکاران اثر آلودگی‌های محلی را از مهم‌ترین عوامل افزایش BOD5 در آب تالاب چغاخور دانستند (۶). مطالعه لودج و همکاران در سال ۲۰۱۴ دلیل اصلی افزایش میزان BOD5 آب دریاچه آنسیت در هندوستان را رواناب‌های کشاورزی، خانگی و فاضلاب‌های انسانی عنوان کرد (۱۷). یوگندرا و همکاران در سال ۲۰۰۸ طی مطالعات خود بر روی آب‌های شهر شیموگا ارتباط بین مقدار BOD5 و فصول سال را تأیید کردند (۳۴).

بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی شاخص WQI

همانگونه که در خصوص فراسنجه‌های فیزیکی و شیمیایی آب بیان شد و با توجه به تاثیر پذیری شاخص WQI از مجموع این فراسنجه‌ها در اینجا نیز میانگین مقدار شاخص WQI در ایستگاه اول (برابر ۹۲/۵) در حد معنی داری ($P > 0/05$) بیش از سایر ایستگاه‌ها بود. این مقدار در انتهای مرز آب‌های با کیفیت خوب قرار دارد (شکل ۲-د). به نظر می‌رسد تاثیر پذیری این ایستگاه از جریان آب رودخانه که خود متأثر از فعالیت‌های انسانی به خصوص کشاورزی و دامپروری در حوزه آبخیز و حاشیه رودخانه است عامل اصلی این کاهش کیفیت نسبت به سایر ایستگاه‌ها باشد. مقدار شاخص در سایر ایستگاه‌ها در محدوده ۷۰ تا ۷۵ قرار داشته و ضمن نداشتن تفاوت معنی دار با یکدیگر، کیفیت مناسبتی را نسبت به ایستگاه اول نشان داد. همچنین دامنه تغییرات میانگین شاخص WQI در مراحل

تغییرات TDS مشابه هدایت الکتریکی است، به این صورت که با افزایش ذرات جامد محلول که بیشتر تحت تاثیر نزولات جوی و شدت جریان‌های سیلابی قرار دارد میزان EC نیز افزایش می‌یابد. در تحقیق حاضر نیز همزمان با کاهش نزولات جوی از بهار به سمت تابستان و کاهش جریان‌های ورودی به دریاچه از میزان TDS کاسته شده است. وابستگی مجموع ذرات جامد محلول به فصول سال و تغییرات شدت بارندگی‌ها در مطالعات مشابه به اثبات رسیده است (۲۴).

اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی

BOD5 یکی از مهم‌ترین فراسنجه‌های کیفی آب است که به صورت مستقیم مقدار اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها را برای تجزیه هوازی مواد آلی و بطور غیر مستقیم میزان مواد آلی قابل تجزیه آب را در زمان نمونه برداری نشان می‌دهد. در حقیقت مقدار BOD5 معیاری برای ارزیابی میزان مواد آلی قابل تجزیه در آب است (۱۶). میزان BOD5 برای آب‌های غیر آلوده کمتر از ۳ میلی‌گرم در لیتر عنوان گردیده است (۶). دامنه نوسانات این فراسنجه در ایستگاه‌های نمونه برداری در طول سال (شکل ۲-ب) اگرچه تفاوت معنی داری را بین ایستگاه‌ها نشان نداد، اما تفاوت مشاهده شده بین میانگین مقادیر آن در ایستگاه‌های ۱ و ۲ با ایستگاه‌های ۳، ۴ و ۵ که در فاصله دورتری از جریان ورودی به دریاچه قرار دارند می‌تواند نشان دهنده افزایش بار مواد آلی قابل تجزیه حمل شده به دریاچه در اثر جریان ورودی باشد که جای تامل داشته و در صورت افزایش نگران کننده خواهد بود. تغییرات مشاهده شده در میزان BOD5 در مراحل مختلف نمونه برداری (شکل ۳-خ) نشان‌دهنده افزایش بار مواد آلی در توده آب در فصل گرم سال و کاهش آن در فصل سرد سال است. در این خصوص آنچه که بیش از همه قابل تصور است این است که بهبود شرایط تولید (دما و نور) در فصل تابستان باعث افزایش تولید ماده آلی شده که در نتیجه افزایش BOD5 را در این فصل به دنبال داشته است. بعلاوه افزایش ورود مواد آلی قابل تجزیه در اثر افزایش گردشگری در

کمترین میزان آن به فصل پاییز (۶۶/۴۱) اختصاص داشت. همچنین ایستگاه اول به عنوان ایستگاهی که جریان آبی حوزه آبخیز سد را دریافت می‌کند (با میانگین ۹۲/۵) در تمام طول سال از کیفیت ضعیفتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها برخوردار بود. بنابر این با وجودی که از نظر میزان شاخص WQI در مجموع آب دریاچه سد زاینده رود برای مصارف انسانی مناسب ارزیابی شد اما توجه به دامنه این تغییرات و کاهش کیفیت آب در فصل تابستان نسبت به فصول بهار و پاییز و همچنین دقت در این نکته که جریان ورودی به دریاچه سد از کیفیت پایین تری برخوردار است، لزوم توجه بیشتر به حوزه آبخیز سد زاینده رود را به منظور حفظ کیفیت آب دریاچه این سد گوشزد می‌کند. بی شک توجه به مدیریت یکپارچه حوزه، جلوگیری از توسعه فعالیت‌های انسانی ناسازگار با ویژگی‌های اکولوژیک حوزه، جلوگیری از تغییر الگوی فعالیت‌های کشاورزی و توجه به وقوع پدیده خشکسالی و ... می‌تواند نقش موثری در این خصوص ایفا کند.

مختلف نمونه برداری در طی دوره مطالعه (شکل ۳-د) از گستردگی بیشتری برخوردار بوده و تفاوت معنی داری را بین مراحل نمونه برداری نشان داد ($P > 0/05$). با این حال با توجه به جدول طبقه بندی کیفی آب بر اساس شاخص WQI (جدول ۲)، دامنه تغییرات شاخص هم در ایستگاه‌های نمونه برداری و هم در طی دوره مطالعه در طبقه کیفی خوب (۵۰ - ۱۰۰) قرار داشت. در مجموع کیفیت آب دریاچه (با میانگین کلی ۷۴/۴۱) در طبقه خوب قرار داشت و برای مصارف انسانی و اهداف نوشیدن مناسب ارزیابی شد. بیشترین میزان عددی این شاخص (بدترین کیفیت) در اواخر تابستان و کم‌ترین آن (بهترین کیفیت) در اواخر پاییز و زمستان برآورد شد.

نتیجه‌گیری

براساس یافته‌های تحقیق حاضر کیفیت آب دریاچه سد زاینده رود با استفاده از شاخص WQI در تمام مراحل نمونه برداری در محدوده آب‌های با کیفیت خوب (۵۰-۱۰۰) قرار گرفت. بیشترین میزان شاخص WQI به فصل تابستان (۸۴/۶۳) و

منابع مورد استفاده

۱. اسماعیلی افق، ع. ۱۳۹۰. ارزیابی شرایط تروفی تالاب چغاخور. پایان نامه کارشناسی ارشد بوم‌شناسی آبریان شیلاتی. دانشکده منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۹۲ صفحه.
۲. اسماعیلی ساری، ع. ۱۳۸۱. آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست. انتشارات نقش مهر. ۷۶۵ صفحه.
۳. امیری، ب. ۱۳۷۶. طرح جامع احیاء و توسعه کشاورزی و منابع طبیعی حوزه‌های آبخیز زاینده رود- اردستان. پدید آورنده: مهندسین مشاور یکم. تهران، جلد دهم جنگل و بیشه زار. ۲۱۰ صفحه.
۴. بانی، ع. ۱۳۷۵. بررسی ترکیب فیتوپلانکتونی حاصل از انواع کودها در استخرهای پرورش ماهیان گرمابی. پایان نامه کارشناسی ارشد. ۱۱۲ صفحه.
۵. شمسائی، ا.، ص. اورعی زارع و ا. سارنگ. ۱۳۸۴. بررسی تطبیق شاخص‌های کیفی و پهنه بندی کیفی رودخانه کارون و دز. مجله آب و فاضلاب، ۴۸: ۳۹-۵۵.
۶. فتیحی، پ. ۱۳۹۰. ارزیابی کیفیت آب تالاب چغاخور با استفاده از بزرگ بی‌مهرگان کفزی. پایان نامه کارشناسی ارشد. ۹۰ صفحه.
۷. موحدی نسب، م. ۱۳۹۰. وضعیت تروفی دریاچه سد زاینده رود اصفهان در دو فصل بهار و تابستان. پایان نامه کارشناسی ارشد، ۶۲ صفحه.

8. An, Y. J. D., H. Kampbell and G. W. Sewell. 2002. Environmental. Pollution. 118 – 331

9. Alobaidy, A. H. M. J., H. S. Abid and B. K. Maulood. 2010. Application of water quality index for assessment of Dokan Lake Ecosystem, Kurdistan Region, Iraq. *Water Resour. and Protection* 792-798
10. Blocksom, K. A. J., P. Kurtenbach and D. J. Klemm. 2002. Development and evaluation of the lake macroinvertebrate integrity index (LMII) for New Jersey lakes and reservoirs. *Environmental Monitoring and Assessment* 77: 311-333.
11. Cole, G. A. 1975. *Textbook of limnology*. The Mosby Company, USA. 283.
12. Gopalkrushna, M. H. 2011. Determination of physico-chemical parameters of surface water samples in and around Akot City. *J. Res. Chemistry Environment* (2):183-187 .
13. Gajendra, R., S. Shahapur and M. Smita. 2014. Monthly Variation of Physico- chemical and microbiological characteristics of Sambhaji Lake Solapur, Maharashtra. *Advances in Applied Sci Res.* 5(2): 149-152.
14. Hashemi, SH., E. GhasemiZiarani and Y. Ranjkesh. 2011. Waste load allocation for sub-basins of amirkabir dam reservoir using QUAL2W model. *J. Environ. Studies* 37(1):1-89.
15. Hernandez- Romero, AH. C. Tovilla- Hernandez, EA. Malo and R. Bello-Mendoza. 2004. Water quality and presence of pesticides in a tropical coastal wetland in southern Mexico. *Marine Pollution, J. Elsevier* 48(3): 1130-1141
16. Landwehr, J. M. and R. A. Deininger. 1976. A comparison of several water quality indexes. *WPCF.* 48(5): 954-958.
17. Lodh, R., R. Paul, B. Kurmakar and M. K. Das. 2014. physicochemical studies of water quality with special reference to ancient lakes of Udaipur City, Tripura, India. *J. Scientific. Res. Publication* 42: 2250-3153.
18. Makode, P. M. 2012. Physico- chemical parameters of Charghad dam district. Amravati, Maharashtra, *IJSID* 2(1): 164-169.
19. Puri, P. J., S. P. Yenkie, N .V. Gand hare, G. B. Sarote and D. B. Dhanorkar. 2011. Surface water (Lakes) auality Assessment in Nagpur City (India) Based on water Quality Index (WQI). [http // www.rasayanjournal.com](http://www.rasayanjournal.com), 43-48.
20. Patil Shila, G. and D. Prakash. 2011. Study of physicochemical and biological characteristics of Lakes from Shivaji University Campus, Kolhapur, Maharashtra. *Advances in Applied Sci. Res.* 2(6): 505-519.
21. Parinet, B., A. Lhote and B. Legube. 2004. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management-application to a tropical lake system. *Ecological Modeling* 178: 295-311.
22. Parham, H., N. Jafarzadeh, S. Dehghan and F. Kian Ersi. 2007. Cjanging in nitrogen and phosphorous concentration and some physiocemical parameters to budget determination of Karkheh reservoir . *Shahid Chamran University J. Sci., new series (17section B):*117-25.
23. Ramirez, N. F. and F. Solano. 2004. Physico-chemical water quality indices-An omparative Review. *RevistaBifua J.* 27: 437-441.
24. Ramakrishnaiah, C. R., C. Sadashivaiah and G. Ranganna. 2009. Assessment of water quality index for the ground water in Tumkur Taluk. *Chemistry* 6(2): 523-530.
25. Sharifinia, M., Z. Ramezanpour, J. Imanpour, A. Mahmoudifard and T. Rahmani. 2013. Water quality assessment of the Zarivar Lake using physico-chemical parameters and NSF-WQI indicator, Kurdistan province-Iran. *J.Advanced. Biological Biomedical Res.* 21: 302-312.
26. Samadi, M. T., M. H. Saghi, A. R. Rahmani and H.Torabzadeh. 2009. Zoning of Water Quality ofHamadanDarreh-MoradBeyg River Based on NSFWQI Index Using Geographic InformationSystem. *J. Hamadan Univ. Medical. Sci.* 16(3): 38- 43.
27. Swapnaja, R. and M. Smita. 2014. Monthly Variation of physico- chemical and microbiological characteristics of Sambhaji Lake Solpur, Maharashtra, *Advances in Applied Sci Rse.* 5(2): 149-152.
28. Silva, A. M., E. Novelli, M. L Fascineli and J. A. Almeida. 1999. Impact of an environmentally realistic intake of water contaminants and superoxide formation on tissues of rats. *Environmental Pollution* 105:243-249.
29. Sánchez, E., M. Colmenarejo, J. Vicente, A. Rubio, M. García, L. Travieso and R. Borja. 2007. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *J. Ecological Indicators* 7(2):315-28.
30. Simoes, F., A. Moreira, MC. Bisinoti, S. Gimenez and M. Santos. 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators* 38: 476-480.
31. Tank, S. K and R. C. Chippa. 2013. Analysis of Water Quality of Halena Block in Bharatpur Area. *International J. Sci. Res. Publications* 3(3):124-210.
32. Taowu, M., W. Zijian, H. Qinghui, W. Hai, W. Chunxia and H. Shengbiao. 2008. Selection of benthic macroinvertebrate-based multimetrics and preliminary establishment of biocriteria for the bioassessment of the

- water quality of Taihu Lake, China ACTA Ecological Sinica 28(3). PP: 1192-1200.
33. Verma, P., D. Chandawat, U. Gupta and H. Solanki. 2012. Water quality analysis of an organically polluted lake by investigating different physical and chemical parameters. J. Res. Chem. Environment 2(1): 105-111.
 34. Usha, NM., KC. Jayaram and H. Lakshmi Kantha. 2008. Assessment of surface and ground water quality of Hebbal Lake, Banyalore – Case study. World lake conference, PP: 1737-1747.
 35. WHO. 2004. World Health Organization, Guidelines for Drinking- Water Quality. 3rd Edition, World Health Organization (WHO), Geneva.
 36. Wright, J. F., D. W. Sutcliffe and M. T. Furse. 2000. Assessing the Biological Quality of Fresh Waters: RIVPACS and other Techniques. Freshwater Biological Association, Ambleside, United Kingdom, PP: 110-118.
 37. Yogendra, K and E. T. Puttaiah. 2008. Determination of water quality index and suitability of an urban waterbody in Shimoga Town, Karnataka. Department of P.G studies and Research in Environmental Science, PP: 342-346.

Water Quality Assessment of Zayande-Rood's Dam Lake using Water Qualitative Index in 2013

M. Khalaji¹, E. Ebrahimi^{1*} and H. Hasheminejad²

(Received: Jan. 1-2016 ; Accepted: Aug. 28-2016)

Abstract

Water quality assessment is important in late years coincide with decreases in quantity. The Zayande-Rood's Dam Lake is one of the important water resources that supplies drinking water for human populations in Isfahan. This lake also supplies water resources for agricultural sections of these provinces. Five points were determined as the sampling stations. Samplings were performed from May, 2013 to March, 2014 in seven steps, once every forty five days in for seasons (two times in each season). The water quality parameters (DO, NO₃, NO₂, EC, pH, hardness, TDS, NH₄, BOD₅) were measured in all the stations and stages, and then water quality indexes were calculated. According to the results of this study, the water quality of the Zayande-Rood's Dam Lake estimated as good (50-100), with using WQI index. WQI index maximum was in summer (84.63) and minimum was in autumn (66.4). Considering the importance of the Zayande-rood's dam lake as a supplying resource of drinkable water of Isfahan. It seems that further attention in the lake watershed management is needed in order to protect water quality.

Keywords: WQI, Chadegan Dam, BOD₅, Zayande-Rood, nutrient

1. Dept. of Natural Resour., Division of fisheries, Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

2. Dept. of Civil Eng., Division of Environ. Eng., Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: e_ebrahimi@cc.iut.ac.ir