دانشگاه علوم کشاورزی
و منابع طبیعی ساری

الگوی تغییرات کیفیت آب سدهای شرب با توجه تغییرات زیستی و ورود گیاهان مهاجم

پویان مهربان

پاییز ۱۴۰۱

فهرست

۱-۱- مقدمه ۵
۱-۲- مخازن سدهای آب شرب ۵
۱-۳- عوامل تاثیرگذار بر کیفیت سدهای آب شرب ۶
۱-۴- لایه‌بندی حرارتی ۶
۱-۵- آلودگی فاضلاب ۷
۱-۶- تغذیه‌گرایی ۷
۱-۷- پدیده شکوفه ۷
۱-۸- گیاهان مهاجم ۸
۱-۹- طبقه‌بندی گیاهان آبزی ۹
۱-۱۰- پارامترهای کیفیت آب ۹
۱-۱۱- اکسیژن محلول (DO) ۹
۱-۱۲- BOD و COD ۱۰
۱-۱۳- کل کربن آلی (TOC Total organic carbon) ۱۰
۱-۱۴- کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی ۱۰
۱-۱۵- فیتوپلانکتون‌ها و کلروفیل ۱۱
۱-۱۶- مدل‌های شاخص کیفیت آب ۱۱
۱-۱۷- سدهای مورد مطالعه ۱۲
۱-۱۸- مروری بر منابع گذشته ۱۴
۱-۱۹- هدف از انجام مطالعه ۱۵
۲- مواد و روش‌ها ۱۷
۲-۱- روش نمونه‌گیری آب و اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی آب ۱۷
۲-۲- شاخص NSFWQI ۱۷
۲-۳- شاخص IRWQI ۱۷
۳- نتایج و بحث ۲۱
۳-۱- تغییرات ۶ ماهه شاخص‌های اکسیژن محلول، کلروفیل و کدورت سدهای آب شرب ۲۱
۳-۲- تغییرات میزان نیترات، فسفات، میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی سدهای آب شرب ۲۶
۳-۳- مقایسه مدل‌های شاخص کیفیت آب NSFWQI و IRWQI در سدهای آب شرب ۲۷
۳-۴- گیاهان مهاجم ۳۰
۴- نتیجه گیری کلی و راهکارهای اجرایی ۳۴
۵- منابع ۳۷

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی تغییرات زیست محیطی و ارزیابی وجود گیاهان آبزی مهاجم و تاثیر آن بر کیفیت آب سدهای آب شرب استان مازندران شامل سد البرز، سد شهید رجایی و سد میجران انجام گرفت. به منظور بررسی کیفیت آب و اندازه‌گیری مقدار نیترات، فسفات، نیاز بیولوژیکی و شیمیایی اکسیژن و مقدار کلیفرم کل و مدفوعی در دریاچه سدهای آب شرب رجایی، البرز و میجران در مجموع ۹ نمونه آب در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور از بخش نزدیک به تاج سدها برداشت شد. همچنین میزان کلروفیل، pH، اکسیژن محلول و کدورت در عمق‌های مختلف بخش نزدیک به تاج سدهای مذکور با دستگاه CTD در شش ماهه نخست ۱۴۰۱ اندازه‌گیری و تأثیر هر یک از آن‌ها بر مقدار پارامترهای کیفیت آب بررسی شد. اندازه‌گیری صفات کیفیت آب نشان داد که بهترین شرایط اکسیژن محلول در سد البرز، شهید رجایی و میجران در ماه فروردین به ترتیب با حدود ۱۰ ، ۱۰ و ۱۶ میلی‌گرم در لیتر بود. در ماه مرداد همه سدها به علت لایه‌بندی حرارتی ایجاد شده در ماه مرداد و شهریور میزان اکسیژن محلول در عمق ۷ تا ۱۰ متری به حدود صفر می رسد. بیشترین مقدار کلروفیل در سد البرز در ماه‌های اردیبهشت و خرداد و در عمق ۵ متری با حدود ۴ میلی‌گرم در لیتر، در سد شهید رجایی در مرداد با حدود ۵/۴ میلی گرم در لیتر و در سد میجران در ماه مرداد در عمق ۱۰ متری با حدود ۱۱ میلی گرم در لیتر بود که بر اساس شاخص کارلسون در این ماه ها سدها در وضعیت یوتروف و تغذیه گرا بود. به علت کاهش شدید مقدار آب و افزایش مقدار فسفات در ماه مرداد در سد میجران، شرایط برای رشد و جلبک مهیا شده و شرایط آب سد میجران لحاظ کیفیت شرایط متوسطی دارد. در ماه‌های فروردین و اردیبهشت هم سد میجران در سطح یوتروف بوده است. کدورت سد میجران حدود دوبرابر دو سد دیگر بود به طوری که در ماه شهریور به حدود ۳۰ FTU رسید. بیشترین مقدار فسفات اندازه‌گیری شده در هر سه ماه تیر، مرداد و شهریور در سد میجران مشاهده شد. اما باتوجه به آلودگی بیشتر سدهای البرز و شهیدرجایی نسبت به سد میجران میزان اکسیژن‌خواهی زیستی و شیمیایی سدهای البرز و شهیدرجایی به ترتیب حدود ۲ و ۲/۵ برابر بیشتر از سد میجران می‌باشد. همچنین میزان کلیفرم مدفوعی سدهای البرز و میجران حدود دو برابر از سد میجران بیشتر است. علیرغم پایین آمدن مقدار کلیفرم کل در شهریورماه در سه سد اما مقدار کلیفرم مدفوعی در سد البرز حدود ۳۵ MPN/100 ml به ترتیب در حدود ۲ و ۳ برابر سدهای شهید رجایی و البرز بود. تا کنون دو گیاه هیدریلا و گوشاب شناور به عنوان گیاه مهاجم بیشتر در سد میجران شناسایی شده است که به نظر می‌رسد با پرندگان باکلان که در حاشیه سد میجران شب‌نشین هستند وارد شده است. افزایش بار آلودگی سدهای البرز و شهیدرجایی و به مقدار کمتر در سد میجران باعث شد که شاخص کیفیت آب با مدل‌های NSWQI و IRWQI بیشتر وضعیت متوسط را نشان دهد.

مقدمه

۱-۱- مقدمه

دسترسی به آب سالم یک مسئله مهم در کشورهای در حال توسعه است. طبق گزارش WHO، بین ۷۸۵ تا ۸۴۴ میلیون نفر در سراسر جهان به منابع آب کافی دسترسی ندارند. علاوه بر این، ۲/۵ میلیارد نفر به امکانات بهداشتی مناسب دسترسی ندارند. علاوه بر این، سالانه حدود ۲ میلیون نفر به دلیل بیماری‌های اسهالی جان خود را از دست می‌دهند. بنابراین، دسترسی به آب سالم یک نیاز حیاتی در کشورهای در حال توسعه است. نشان داده شده است که توسعه اجتماعی-اقتصادی پایدار به مؤلفه حیاتی کیفیت خوب آب وابسته است (Strobl and Robillard 2008). افزایش تقاضا و مصرف آب برای فعالیت‌های انسانی در کنار کاهش منابع آب طبیعی و آلودگی‌های زیست محیطی، ارزیابی کیفیت آب را به عنوان یک موضوع مهم در سال‌های اخیر تبدیل کرده است. امروزه استفاده از برنامه‌ریزی‌های مخرب کاربری اراضی و شیوه‌های مدیریت اشتباه آب‌های سطحی، افزایش آلاینده‌های محیطی توسط فعالیت‌های انسانی همراه با توسعه ساختارهای شهری، صنعتی و کشاورزی و همچنین تغییرات طبیعی ناشی از فرسایش، هوازدگی و فرآیندهای مرتبط با بارندگی، نگرانی‌های کلی در مورد کیفیت آب‌های سطحی را بالا برده است (Strobl and Robillard 2008; Kazi et al., 2016; Alberto et al., 2001).

رشد جمعیت و آلودگی آب ناشی از مواد شوینده، پساب های شهری، صنعتی و کشاورزی، شستشوی دفن زباله و رواناب سطحی از طریق شستشوی کودهای شیمیایی به گسترش آلاینده ها و متعاقباً محدود شدن منابع آب کمک کرده است (Shrestha and Kazama 2007). علاوه بر این، آنها افزایش ورود ترکیبات آلی، نیتروژن، سیلیکون و فسفر به نوبه خود می تواند منجر به تغذیه گرایی و در نتیجه کاهش کیفیت آب شود (Akbarzadeh et al., 2015; Ding et al., 2018; Karami et al., 2012).

۱-۲- مخازن سدهای آب شرب

مخازن سدها به عنوان دریاچه‌های مصنوعی تلقی می‌گردند. دریاچه به آب‌های ساکن گفته می‌شود که به‌وسیله زمین‌های اطراف احاطه شده است. دریاچه‌ها دارای ابعاد متفاوتی هستند و از دریاچه‌هایی با مساحت هزاران کیلومترمربع و اعماق بسیار زیاد تا دریاچه‌هایی با مساحت چند کیلومترمربع و عمقی کمتر از ده متر تغییر می‌کنند. دریاچه‌ها بر حسب معیارهای مختلف از قبیل مشخصات فیزیکی، شیمیایی و زمین‌شناختی به انواع مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند. در ایران، سدها به عنوان بزرگترین منبع فصلی آب شرب بعد از آب‌های زیرزمینی عمل می‌کنند و یکی از اهداف مهم ساختن سدها تامین آب شرب با کیفیت مناسب است. این در حالی است که آب شرب سدها در معرض خطر کاهش کیفیت ناشی از کاهش بارندگی جوی، کاربری‌های نامتناسب، عملیات بیش از حد و از دست دادن هویت فرهنگی و اجتماعی قرار دارند. علاوه بر این، عواملی مانند آبیاری سنتی، تولید انرژی، توسعه صنایع نیازمند آب فراوان، انتقال میانی آب و مدیریت ناکارآمد مصرف آب، منجر به کاهش کیفیت و کمیت منابع آب شده است (Darko et al., 2017; Karamouz et al., 2001; Saadatpour et al., 2017).

آب شرب به دست آمده از مخازن سدها به علت انواع آلودگی‌های موجود در آب‌های سطحی، مورد تصفیه کامل قرار می‌گیرد. اما بعضی از عوامل و به ویژه عوامل زیستی و گیاهی موجب بروز تغییرات عمده‌ای در کیفیت آب دریاچه سد می‌شوند که بعضا مانند بوی نامطبوع، حتی در تصفیه خانه‌ها هم قابل حذف نیستند. امروزه دیدگاه‌ها نسبت به اهداف و جایگاه سدها گسترده‌ترشده و دامنه آن مشمول کنترل کیفی در کنار اهداف کمی مورد انتظار از سدها نیز گشته است. خصوصیات طبیعی حوضه آبخیز، کمیت و کیفیت آب‌های ورودی به مخزن، خصوصیات اقلیمی منطقه (درجه حرارت، وزش باد، میزان نزولات جوی) و میزان فعالیت‌های مختلف انسان در حوضه آبخیز از جمله عواملی هستند که کیفیت آب مخازن سدها را تحت تاثیر قرار می‌دهند. از طرفی دیگر، احداث سد و ذخیره کردن جریان سطحی، خود

می‌تواند به سبب مجموعه عواملی مانند تبخیر، ساکن بودن آب، لایه بندی حرارتی در مخزن، رسوب گذاری، غنی شدن آب دریاچه از عناصر غذایی و غیره موجبات تغییر در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب مخزن را فراهم آورد. این رخدادها منجر به آن می‌شود که کیفیت آب خروجی از سد همان کیفیت آب ورودی به مخزن نباشد. کیفیت آب سطحی و زیرزمینی بر حسب پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی شناسایی می‌شود. مشکل ویژه پایش کیفی آب تعداد زیاد متغیرهای اندازه‌گیری شده آن است. یکی از روش‌های بسیار ساده و دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو کند، استفاده از شاخص‌های کیفی آب می‌باشد. این شاخص‌ها روش‌هایی هستند که در مدیریت کیفی آب می‌توان از آن به عنوان یک ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم‌گیری‌های مربوطه استفاده کرد.

۳-۱- عوامل تاثیرگذار بر کیفیت سدهای آب شرب

مخازن سدها به‌صورت مصنوعی به وجود می‌آیند اما پس از مدتی تبدیل به یک زیستگاه مناسب برای انواع گیاهان و جانوران می‌گردد و نقش یک زیست‌بوم را برعهده می‌گیرند. سالهاست که احداث سدها با وجود مفید بودنشان، اثرهایی ناخوشایند در چرخه آب دارند و این اثرها بیشتر به دلیل زمان ماند بالای آب در مخزن سد به وجود می‌آید. در اثر زمان ماند بالا و تلاطم نداشتن آب، زمینه برای رشد میکروارگانیسم‌ها و رخدادهای واکنش‌های شیمیایی فراهم می‌شود و کیفیت آب تحت تأثیر قرار می گیرد. با افزایش نرخ واکنش‌ها، غلظت اکسیژن محلول رو به کاهش می‌رود و واکنش‌های شیمیایی محصول‌های دیگری تولید می‌کنند که بیشتر سمی هستند. از سوی دیگر، ساخت سد و ذخیره جریان سطحی می‌تواند باعث افزایش تبخیر، رکود آب و در نتیجه لایه‌بندی حرارتی در مخزن، نشست جامدات معلق، غنی‌سازی مواد غذایی و تغییر در خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب در این مخازن شود (Ding et al. 2018).

۴-۱- لایه‌بندی حرارتی

تغییرات دما و توسعه لایه‌بندی دمایی در دریاچه‌های مناطق معتدله و مخازن سد های بزرگ معمولا در فصول زمستان و تابستان اتفاق می افتد. ستون آب معمولا به سه لایه عمودی مجزا شامل ۱- لایه فوقانی (اپیلیمنیون) ۲- میان لایه (متالیمنیون (ترموکلاین)) و ۳- زیرلایه (هیپولیمنیون) تقسیم می‌شود. این لایه‌بندی به علت تفاوت در چگالی آب (ناشی از اختلاف دما) در ترازهای مختلف حاصل می‌شود. همچنین تغییر در چگالی آب‌های ورودی و تنش‌های ناشی از سرعت باد می‌تواند در ایجاد لایه‌بندی و عمق لایه اختلاط موثر باشد. بدیهی است در فصولی که لایه‌بندی اتفاق می‌افتد، تغییر در درجه حرارت لایه‌ها، کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب مخزن را در تراز های مختلف، تغییر می‌دهد. دمای آب بر روی نوع و میزان فعالیت گونه‌های بیولوژیکی، انحلال گازها، سرعت واکنش‌های شیمیایی و سرعت رسوب گذاری تاثیر می‌گذارد به طوری که به ازای افزایش ۱۰ درجه سانتی‌گراد، کلیه سرعت واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی دو برابر می‌شود. در فصل تابستان به علت بالا بودن درجه حرارت و شدت تابش نور خورشید، رشد جلبک‌ها در لایه‌های سطحی به شدت افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند کیفیت آب را از نظر رنگ، بو و طعم دچار تغییرات زیادی نماید. از طرفی دیگر به دلیل کاهش انحلال اکسیژن در آب و زیادشدن سرعت تجزیه مواد تجمع یافته در رسوبات، شرایط در ترازهای عمقی آب می‌تواند کاملا بی‌هوازی شده و منجر به تشکیل ترکیبات مولد بوها و یا طعم نامطبوع گردد. آبگیری از لایه‌های مذکور و انتقال این گونه آب‌ها به تصفیه‌خانه های آب آشامیدنی نه تنها میزان مصرف مواد شیمیایی و هزینه‌های تصفیه را افزایش می‌دهد بلکه در برخی مواقع شکایت مردم را نیز به دنبال دارد. لذا با آگاهی از شرایط کیفی آب در لایه‌های مختلف مخزن، می‌توان بهترین لایه را از لحاظ کیفی تشخیص داده و اقدام به آبگیری از آن تراز نمود.

۱-۵- آلودگی فاضلاب

با توسعه شهرنشینی، کیفیت آب به‌دلیل افزایش میزان آلاینده‌های ورودی و تولید فاضلاب بیشتر، رو به کـاهش اسـت و انـواع مختلف آلاینده‌های تولیدی در اثر مصارف خانگی، تجاری، صنعتی و کشاورزی وارد فاضلاب می‌گردد. فاضلاب‌ها حاوی مقادیر زیادی مواد خارجی هستند که باعث آلودگی آب‌ها می‌شوند و معمولا بر سه نوع است:

الف ـ فاضلاب خانگی که از نظافت‌های شخصی و خانگی، شستشوی البسه و فضولات انسانی ناشی می‌شود.

ب ـ فاضلاب صنعتی که علاوه بر آلاینده‌های آلی و معدنی ممکن است شامل فلزات سنگین و مواد سمی باشد.

ج ـ فاضلاب کشاورزی یا پساب بعد از آبیاری که عمدتا حاوی مواد آلی ریشه، ساقه و برگ و کود گیاهان است و می‌تواند کودهای شیمیایی نیتروژنه یا فسفاته و سموم دفع آفات نباتی را نیز وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی کند.

ضمنا گاهی اوقات فاضلاب‌های سطحی که در نتیجه بارندگی‌های شدید و به علت کاهش نفوذپذیری در سطح خیابان‌ها و معابر حاصل می‌شود، می‌تواند به آلودگی معدنی و آلی فاضلاب شهری کمک شایانی کند. معمولا مواد آلی و معدنی آلوده کننده آب به صورت ذرات کلویید (معلق با بار الکتریکی) می‌باشد. این گونه مواد آلی بیشتر توسط میکروب‌های هوازی مصرف و سبب کاهش اکسیژن محلول آب می‌شوند.

۱-۶- تغذیه‌گرایی

پدیده یوتروفیکاسیون یا غنی شدن مواد مغذی سیستم‌های آبی یک فرآیند طبیعی در بدنه آبی است که با افزایش تراکم و رشد نامطلوب جلبکی همراه است. تسریع این فرآیند معمولاً توسط افزایش بیش از حد مواد مغذی ناشی از فعالیت جوامع انسانی از قبیل ورود پساب‌های محلی، کشاورزی و شهری به رودخانه‌ها و زمین‌های حوضه سد، صورت می‌گیرد که سبب افت کیفیت آب، شکوفائی‌های جلبکی همراه با احتمال تولید سم و نیز مزه و بوی نامطلوب، آسیب‌رساندن به بهره برداری‌های مطلوب از مخازن سدها نظیر زندگی آبزیان، تامین آب آشامیدنی و غیره خواهد شد (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۱). یوتروفیکاسیون بر تعادل اکولوژیکی مخازن پشت سد اثر می‌گذارد و آسیب پذیری زیست محیطی آنها را افزایش می‌دهد. با استفاده از اندازه‌گیری میزان کل کلروفیل- آ در لایه‌های مختلف مخزن سد و بهره‌گیری از داده‌های دیگر نظیر عمق دیسک‌سچی و نمونه برداری و آنالیز غلظت مواد مغذی همچون فسفات‌ها و نیترات‌ها می‌توان شاخص کارلسون (سطح تروفیکی) و در نهایت میزان تغذیه گرایی مخازن سدها را به دست آورد (جدول ۱-۱) (Carleson, 1977). سیانوباکتری در مخازنی که برای آب شرب استفاده می‌شود بسیار مهم می‌باشد. سیانوباکتری یا جلبک سبز-آبی گونه‌ای کلروفیل می‌باشد که بسیار خطرناک می‌باشد و در صورت تولید سم‌های سیانوتاکسین و ماده ای بنام ژئوزمین نه تنها طعم و بوی آب را عوض می‌کند بلکه کیفیت و سلامت آب را تهدید می‌کند

۱-۷- پدیده شکوفه

فیتوپلانکتون‌های آب پایه و اساس شبکه غذایی آبزیان و از تولیدکننده‌های اصلی غذای آنهاست. این موجودات بزرگ‌ترین تولیدکنندگان اولیه در منابع آبی هستند که منبع مهم غذایی برای موجودات دیگر به شمار می‌آیند. فیتوپلانکتون‌ها به عنوان یکی از اجزاء اولیه بیولوژیکی، در انتقال انرژی به ارگانیزم‌های واقع در سطوح بالای زنجیره‌های انرژی در اکوسیستم‌های آبی، مطرح می‌باشند.

جدول ۱-۱ طبقه بندی سطح تروفیکی مخازن سدها بر اساس پارامترهای مختلف

سطح تروفیکی	میانگین فسفرکل (mg/L)	میانگین سالانه کلروفیل-آ (mg/m^3)	حداکثر کلروفیل (mg/m^3)	میانگین سالانه شفافیت (متر)	حداقل شفافیت (متر)	حداقل درصد اشباع اکسیژن در لایه زیرین آب
اولترا الیگوتروف (UO)	۰/۰۰۴	۱	۲/۵	۱۲	۶	۹۰-۱۰۰
الیگوتروف (O)	≤۰/۰۱۰	≤۲/۵	۸	≤۶	≤۳	۸۰-۹۰
مزوتروف (M)	۰/۰۱۰-۰/۰۳۵	۲/۵-۸	۸-۲۵	۳-۶	۳-۱/۵	۴۰-۸۰
یوتروف (EU)	۰/۰۳۵-۰/۱۰۰	۲۵-۸	۲۵-۷۵	۳-۱/۵	۱/۵-۰/۷	۱۰-۴۰
هایپریوتروف (HEu)	≤۰/۱۰۰	≤۲۵	≤۷۵	≤۱/۵	≤۰/۷	<۱۰

UO =Ultra Oligotroph, O=Oligotroph, M=Mesotroph, Eu=Eutroph, HEu=Hypereutroph

افزایش ترکیبات معدنی نیتروژن، فسفر و مواد آلی موجب رشد و تکثیر شدید فیتوپلانکتون و افزایش سطح تروفیک می‌شود و در نهایت منجر به آلودگی و تغییر عملکرد اکوسیستم می‌شود (Patin, 1997).

فیتوپلانکتون می‌تواند مهمترین عامل مرگ یا بیماری یک اکوسیستم باشند. گونه‌های خاصی از فیتوپلانکتون‌ها باعث ایجاد سم بیوتوکسین‌های قوی می‌شوند و آنها را مسئول جزر و مد قرمز یا شکوفه‌های مضر جلبک می‌دانند. این شکوفه‌های سمی می‌توانند زندگی موجودات دریایی و یا افرادی که غذاهای دریایی آلوده می‌خورند را از بین ببرد. فیتوپلانکتون‌ها از طریق فتوسنتز، دی اکسید کربن را به مقدار زیادی در اندازه جنگل‌ها و سایر گیاهان مصرف می‌کند و این دی‌اکسیدکربن هنگام مرگ فیتوپلانکتون‌ها به لایه‌های مختلف آب منتقل می‌شود. در سراسر جهان فیتوپلانکتون‌های آب حدود ۱۰ گیگاتون کربن از جو به گستره‌های آبی وارد می‌کنند. هر تغییر کوچکی در رشد فیتوپلانکتون‌ها می‌تواند تغییر بزرگی در شرایط جوی ایجاد کند. تمامی فاکتورهای فیزیکوشیمیایی و زیستی هر محیط آبی بر روی ترکیب و زیست‌توده فیتوپلانکتون‌ها تأثیر گذاشته و مقدار و تنوع آن‌ها را تغییر می‌دهد. تغییر در ترکیب جنس‌ها و غالبیت فیتوپلانکتون‌ها می‌تواند توسط عواملی مانند دما، نور، مواد مغذی، ته نشینی و مصرف توسط زئوپلانکتون‌ها رخ دهد. کاربرد گسترده فسفات‌ها در شوینده‌های خانگی یکی از منابع افزایش مواد مغذی بوده که تأثیرات شگرفی بر روی اکوسیستم‌های آبی می‌گذارند. تولید مثل فیتوپلانکتون‌ها مانند باکتری‌ها از طریق دوتا شدگی صورت می‌گیرد. جسد فیتوپلانکتون‌ها به سرعت تجزیه می‌شود و بقایای آنها وارد آب می‌شود. دمای آب نیز روی رشد فیتوپلانکتون‌ها تاثیرگذار است و در بهار و تابستان افزایش و در فصول سرد کاهش می‌یابد. فیتوپلانکتون‌ها می‌توانند بر pH، غلظت اکسیژن محلول آب نیز تاثیر بگذارند.

۸-۱- گیاهان مهاجم

یکی از عوامل کاهش کیفیت آب در مخازن سدها، ظهور و رشد بی‌رویه گیاهان آبزی می‌باشد. ارتباط رشد گیاهان آبزی با کیفیت آب مخازن سدها نشان می‌دهد که افزایش رشد آنها از حد آستانه صدمات جبران ناپذیری بر پیکره مخزن سد و مدیریت حوضه آبریز وارد می‌نماید. اگرچه مخازن سدها به‌صورت مصنوعی به وجود می‌آیند اما پس از مدتی تبدیل به یک زیستگاه مناسب برای انواع گیاهان و جانوران می‌گردد و نقش یک زیست‌بوم را برعهده می‌گیرند. این زیست بوم‌ها عموماً براساس تعادل بین جمعیت‌های گوناگون (اعم از انسانی، جانوری، گیاهی و میکروبی) و منابع موجود در آن‌ها پایدار می‌مانند. مطالعات در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد که یکی از مخاطرات زیستی که منجر به برهم‌زدن تعادل زیست بوم‌ها می‌شود، ورود گونه‌های گیاهی غیربومی به داخل آنها است، به طوری که ورود گیاهان مهاجم در طول ۲۰۰ سال اخیر با گسترش کشاورزی، افزایش مبادله‌های کالا، افزایش فعالیت‌های بشر و همچنین ویران‌گری روزافزون محیط زیست، روند افزایشی داشته است. گونه‌های غیربومی، به طور طبیعی در فون و فلور یک کشور وجود ندارند و تاریخ تکامل آن‌ها در منطقه دیگری سپری شده است. گستره جغرافیایی این گونه‌ها محدود است

و بسیاری از آن‌ها به طور طبیعی قادر به گذشتن از موانع جغرافیایی نیستند و انسان با جابجا کردن گونه‌ها در سراسر جهان این الگو را بر هم زده است. در برخی مواقع ورود گونه‌های گیاهی غیربومی به‌طور جدی منابع طبیعی محلی، تنوع زیستی، محیط اکولوژیکی و کشاورزی، جنگل‌ها، چراگاه‌ها و فراوری شیلات را تهدید می‌کنند و یک آسیب پایدار باقی می‌گذارد. اضافه شدن عوامل خارجی از جمله گیاهان آبزی مهاجم زمینه ساز رشد و تکثیر بیش ازحد فیتوپلانگتون، اختلال توازن زیستی و پدیده یوتریفیکاسیون در محیط‌های آبی می‌شوند.

۹-۱- طبقه‌بندی گیاهان آبزی

گیاهان آبزی یکی از مهمترین بخش‌های یک اکوسیستم آبی را تشکیل می‌دهند و به همراه جلبک‌ها از تولیدکنندگان این بوم‌سازگان محسوب می‌شوند. بر طبق تعریف گیاهان آبزی حقیقی به گیاهانی گفته می‌شود که قادرند چرخه زایشی خود را هنگامی که تمامی بخش‌های رویشی آنها در آب غوطه ور بوده و یا تنها برگ‌های آن‌ها در سطح آب شناورند، کامل کنند.

الف- گیاهان آبزی از نظر نوع اکوسیستم موجود در آن به بخش‌های زیر تقسیم می‌شوند.

۱: Aquatic Plants: به تمامی گیاهان آبزی اعم از آب‌های شور و شیرین گفته می‌شود.

۲: Hygrophyte Plants: به گیاهان آبدوست ساکن در تالاب‌ها و آب‌های شیرین گفته می‌شود.

۳: Amphibious Plants: گیاهانی که آب را ترجیح می‌دهند اما در صورت فقدان و کاهش آب توان زندگی با رطوبت اندک را نیز دارند. مانند Polygonum- Baccopa – Lippa – Paspalum - Juncus .

۴: Mezophyte Plants: گیاهان نم دوست اطراف نقاط آبی که در خاک با رطوبت بالا رشد می‌کنند. مانند درختان بید در شمال ایران و یا در ختان توسکا در تالاب انزلی و آستارا و شبه جزیره میانکاله.

۵: Halophyte Plants: گیاهان مزوفیتی که در خاک شور رشد کنند. مانند گیاهان محیط حوض سلطان و دریاچه نمک قم و ... مانند برخی گیاهان تیره Chenopodiaceae. مثلا جمعیت Salicornia

۶: Mangrow Plants: جنگل‌هایی از گیاهان خاص مانند Avicennia و Rhizophora که به تنهایی یک اکوسیستم بوده و جز اکوسیستم دریا و رودخانه محسوب نمی‌شوند.

۱۰-۱- پارامترهای کیفیت آب

خصوصیات محیط های آبی بر اساس خواص فیزیکی و شیمیایی آنها عمدتاً با ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی در کیفیت آب به دست می‌آید (Korkanç et al. 2017). تغییرات زمانی ناشی از رواناب سطحی، بارندگی، میان جریان ها و جریان های آب زیرزمینی و خروجی‌ها به طور قابل توجهی اثرات تخلیه و غلظت آلاینده ها را در آب های سطحی مشخص می‌کند (Korkanç et al. 2017). شاخص‌های کیفی می‌توانند به عنوان ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم گیری در مورد مدیریت کیفیت آب استفاده شوند (Alberto et al., 2001; Kazi et al., 2016). انتخاب پارامترهای ارزیابی کیفیت آب به کاربردهای اصلی آب‌های مخزن از جمله تامین آب مناطق شهری، مصارف صنعتی، ماهی‌گیری، قایقرانی، ورزش، دریانوردی و سایر فعالیت‌ها بستگی دارد (Korkanç et al. 2017).

۱۱-۱- اکسیژن محلول (DO)

منظور از اکسیژن محلول (DO) میزان اکسیژن آزاد و ترکیب نشده در آب یا مایعات دیگر است. زندگی جانوران آبزی به آب و اکسیژن محلول در آب بستگی دارد. اکسیژن محلول در آب (Dissolved Oxygen) که به طور اختصار با DO نشان داده می‌شود، برای همه موجودات آبزی و زندگی آنها مهم است. میزان اکسیژن محلول در آب مستقیماً با کیفیت

آب خوب ارتباط داشته و عوامل زیادی بر میزان آن تأثیر دارد. بنابراین، تعیین میزان اکسیژن محلول در محیط زیست آبی، مانند رودخانه‌ها، دریاها، اقیانوس‌ها، حوضچه‌های پرورش آبزیان، تصفیه‌خانه‌های آب و پساب‌های صنعتی، از اهمیت زیادی برخوردار است. اگر میزان اکسیژن محلول (DO) خیلی زیاد یا خیلی کم باشد، می‌تواند به زندگی آبزیان آسیب رسانده و کیفیت آب را تحت تأثیر قرار دهد.

۱۲-۱- BOD و COD

BOD یا Biological oxygen demand به میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی آب گفته می‌شود. میکروارگانیسم‌های هوازی موجود در آب برای تجزیه مواد آلی موجود از اکسیژن موجود در آب استفاده نموده و در نهایت تصفیه بیولوژیکی رخ می دهد. به مقدار اکسیژنی که لازم است تا تمام مواد آلی موجود در آب توسط میکروارگانیسم ها مصرف شود، اصطلاحا BOD گفته می‌شود. بر اساس یک رابطه کلی می‌توان مشخص کرد که هر چه BOD بیشتر باشد، به معنای زیاد بودن مواد آلی در آب خواهد بود و در نهایت می‌توان گفت آب از کیفیت پایین‌تری برخوردار است. واحد BOD میلی‌گرم بر لیتر یا ppm است. بعضی از باکتری‌ها با مصرف اکسیژن مواد آلی موجود در آب را تجزیه کرده و به دی‌اکسید کربن تبدیل می‌کنند. برای به دست‌آوردن مقدار BOD از انکوباتور با دمای ثابت استفاده می‌شود. به این صورت که حجم معینی از آب رقیق (۳۰۰ میلی‌لیتر) را در یک بطری سرپوش‌دار می‌ریزند. باکتری‌های موجود در بطری اکسیژن را مصرف می‌کنند که باعث کاهش فشار در دستگاه می‌شود. با اندازه‌گیری افت فشار مقدار مصرف اکسیژن اندازه گرفته می‌شود و همچنین غلظت مواد آلی نیز اندازه‌گیری می‌شود. نمونه باید پنج روز در دستگاه انکوباتور باشد طی این پنج روز نباید کمبود اکسیژن داشته باشد به همین منظور هر ۱۲ ساعت یک بار در معرض هوای تازه قرار می‌گیرد. هر دستگاه دارای ضریبی است که افت فشار را به BOD تبدیل می‌کند.

COD یا Chemical Oxygen Demand به مقدار اکسیژن خواهی شیمیایی آب اشاره دارد. به عبارت دیگر، به مقدار اکسیژن مورد نیاز برای اینکه مواد شیمیایی موجود در آب اکسید شوند اصطلاحا اکسیژن خواهی شیمیایی یا COD گفته می‌شود. مانند BOD این فاکتور نیز نشان‌دهنده میزان کیفیت آب بوده و هر چه مقدار آن بیشتر باشد، به معنای وجود مواد آلاینده شیمیایی بیشتر خواهد بود. این شاخص نشان‌دهنده تجزیه دو نوع عناصر می‌باشد: ۱- مواد قابل تجزیه به وسیله باکتری‌ها ۲- مواد غیرقابل تجزیه به وسیله باکتری‌ها.

۱۳-۱- کل کربن آلی (TOC Total organic carbon)

اگر نمونه آب تحت حرارت بسوزد، کربن آلی نمونه به دی اکسیدکربن تبدیل می‌شود. با اندازه‌گیری مقدار دی اکسیدکربن، شاخص TOC به دست می‌آید. در واقع این شاخص مقداری از کل کربن موجود را نشان می‌دهد (فقط کربن آلی).

۱۴-۱- کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی

کلیفرم‌ها مهمترین باکتری‌های شاخص مورد استفاده درآزمایش باکتریولوژیکی آب هستند که از سال ۱۹۱۴ توسط اداره بهداشت عمومی آمریکا به عنوان شاخص آلودگی آب آشامیدنی معرفی شدند. منظور از کلیفرم‌ها باسیل‌های گرم منفی، بدون اسپور، هوازی و بی هوازی اختیاری است که ساکن روده بزرگ انسان و حیوانات خون‌گرم بوده و قادر به تخمیر قند لاکتوز و تولید اسید و گاز در دمای ۳۵ تا ۳۷ درجه سلسیوس می‌باشد. کلی‌فرم ها به عنوان شاخص میکروبی مناسبی برای نشان دادن آلودگی مدفوعی در نمونه های آب مورد استفاده قرار می گیرند. از جمله

ویژگی هایی که باعث شده این گروه از باکتری‌ها به عنوان شاخص میکروبی برای نشان دادن آلودگی مدفوعی آب مورد استفاده قرار گیرند و این به علت آن است که زیستگاه طبیعی آنها در دستگاه گوارشی حیوانات خونگرم است لذا در مدفوع به تعداد زیاد حضور دارند. دوام آن‌ها در آب بیش از باکتری‌های بیماری‌زای روده‌ای است که این باعث می‌شود هر گاه باکتری‌های بیماری‌زای روده‌ای در آب حضور دارند کلی‌فرم‌ها هم وجود داشته باشند. در آب تکثیر قابل توجهی ندارند زیرا زیستگاه طبیعی آن ها آب نیست بنابراین تعداد نسبی آن‌ها را نسبت به آلودگی مدفوعی در نمونه‌های مختلف آب نشان خواهد داد. کشت، شمارش و جداسازی این باکتری‌ها در آزمایشگاه ساده‌تر از باکتری‌های بیماریزای روده‌ای است. با این وجود با گذشت زمان مشخص شد که همه باکتری‌هایی که در گروه کلی‌فرم‌ها قرار می‌گیرند منشأ مدفوعی ندارند بلکه برخی منشأیی غیر از مدفوع مثلاً از خاک دارند. بنابراین زیرگروهی در گروه کلی‌فرم‌ها تعریف شد که با توجه به این که منشأ آن‌ها از مدفوع بود و نه از زیستگاه‌های دیگر به آن‌ها کلی‌فرم‌های مدفوعی (fecal coliforms) می‌گویند. به کل کلی‌فرم‌ها (شامل مدفوعی و غیرمدفوعی) نیز توتال کلی‌فرم (total coliforms) می‌گویند. کلی‌فرم‌های مدفوعی یا همان فکال کلی‌فرم‌ها باکتری‌هایی ترموتالرنت (مقاوم به گرما) یا اصطلاحاً گرماپای می باشند بدین معنی که قادرند تخمیر لاکتوز را با همان شرایطی که برای توتال کلی‌فرم‌ها ذکر شد انجام دهند ولی می‌توانند این فعالیت را در دمای ۴۴/۵ درجه سانتی‌گراد نیز انجام دهند. بنابراین در روش‌های آزمایشگاهی شمارش توتال کلی‌فرم‌ها و فکال کلی‌فرم‌ها توانایی تخمیر لاکتوز با تولید اسید و گاز به ترتیب در دمای ۳۵ درجه و ۴۴/۵ درجه مورد نظر قرار می‌گیرد.

۱۵-۱- فیتوپلانکتون‌ها و کلروفیل

مطابق استانداردهای WHO اندازه‌گیری سیانوباکتری در مخازنی که برای آب شرب استفاده می‌شود بسیار مهم می‌باشد. سیانوباکتری یا جلبک سبز-آبی گونه‌ای کلروفیل می‌باشد که بسیار خطرناک است و در صورت تولید سم‌های سیانوتاکسین و ماده‌ای بنام ژئوزمین نه تنها طعم و بوی آب را عوض می‌کند و حتی کیفیت و سلامت آب را تهدید می‌کند. با اندازه‌گیری کلروفیل به عنوان شاخص مقدار جلبک‌ها و فیتوپلانکتون‌ها برای ارزیابی کیفیت آب یا میزان آلودگی آب در اکوسیستم‌های مختلف استفاده می‌شود. با استفاده از اندازه‌گیری میزان کل کلروفیل- آ در لایه‌های مختلف مخزن سد و بهره‌گیری از داده‌های دیگر نظیر عمق دیسک سچی و نمونه برداری و آنالیز غلظت مواد مغذی همچون فسفات‌ها و نیترات‌ها می‌توان شاخ کارلسون و در نهایت میزان تغذیه گرایی مخازن سدها را به دست آورد. مطابق استاندارد WHO حداکثر غلظت مجاز برای سیانوباکتری (کلروفیل) در آب آشامیدنی یک میکروگرم بر لیتر می‌باشد که در صورتی که غلظت سیانوباکتری از این حد اضافه‌تر بشود باید تمهیدات مدیریتی ویژه‌ای اجرا شود (Carleson, 1977).

۱۶-۱- مدل‌های شاخص کیفیت آب

افزایش مصرف آب، کاهش ذخایر آب‌های طبیعی، آلودگی‌های محیط زیستی و افزایش نیاز آبی فعالیت‌های انسانی باعث شده تا ارزیابی کیفیت منابع آب از موضوعات مهم در سال‌های اخیر محسوب گردد. در این شرایط پایش تغییرات کیفی آب به خصوص آب‌های آشامیدنی در زمان‌های منظم ضروری به نظر می‌رسد. یکی از مسایل مهم برای مدیریت کیفی منابع آب حفظ کیفیت آب شرب در حد استاندارد قابل قبول می‌باشد. در جهت کمک به مدیریت کیفی منابع آب برای تفسیر داده های کیفی آب شاخص‌های متعددی به بررسی کیفیت آب‌های سطحی برای مصارف مختلف از جمله شرب، مانند CCMEWQI1، NSFWQI2، BCWQI3، OWQI4، OIP5 ابداع شده است. پایش کیفیت منابع آب نیاز به روش‌های مناسبی برای تحلیل و تفسیر دارند. روش‌های زیادی برای آنالیز داده‌های مربوط به کیفیت آب

وجود دارد که این روش‌ها با توجه به اهداف مطالعات، روش‌های نمونه‌برداری، منطقه مورد مطالعه و همچنین اندازه نمونه‌ها با یکدیگر متفاوت هستند. شاخص‌های کیفیت آب ابزاری مناسب و ساده برای تعیین وضعیت و شرایط کیفیت آب هستند که در برنامه‌های پایش برای ارزیابی سلامت اکوسیستم بسیار مفید بوده و می‌تواند به عنوان یک معیار برای ارزیابی موفق و مناسب در استراتژی‌های مدیریتی برای بهبود کیفیت آب استفاده شود. شاخص‌های کیفی، ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم گیری‌های مربوطه هستند. شاخص کیفیت آب National Sanitation Foundation Index Quality Water) NSFWQI (که در سال ۱۹۷۰ توسط براون و همکاران توسعه داده شد، یکی از شاخص‌های پرکاربرد جهت طبقه‌بندی کیفی آب‌های سطحی می‌باشد که براساس پارامترهای اکسیژن محلول (DO)، (pH) ،کل جامدات (TS)، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)، کدورت، دما، فسفات، نیترات و کلی‌فرم مدفوعی تعیین می‌گردد. NSFWQI یک شاخص کیفی کاهشی می‌باشد که با استفاده از روابط موجود و وزن‌دهی به پارامترهای نامبرده با مقدار عددی از صفر تا ۱۰۰ می‌باشد و وضعیت کیفی آب را تعیین می‌کند (NSF, 1970). NSFWQI برای آن به دست می‌آید که وضعیت کیفی آب را تعیین می‌کند. NSFWQI سبب ارائه نتایج دقیق‌تر و پیش‌بینی سریع‌تر می‌گردد و این امکان را فراهم می‌کند که با بیانی ساده کیفیت آب سد را در ایستگاه‌های مختلف ارائه و طبقه‌بندی نمود. در این شاخص منابع آبی در پنج دسته بسیار خوب، خوب، متوسط، بد و خیلی بد تقسیم‌بندی می‌شوند (جدول ۱). با توجه به قرارگیری منبع آب مورد نظر در این تقسیم‌بندی میزان تصفیه مورد نیاز برای آن تعیین می‌شود. شاخص کیفیت آب برای منابع آب سطحی ایران (Iran Water Quality Index for Surface Water Resources-Conventional. Parameters (IRWQISC)) با پارامترهای کلیفرم مدفوعی، BOD، نیترات، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، COD، آمونیوم، فسفات، کدورت، سختی کل و pH، نیز یکی از شاخص‌های تعیین کیفیت آب می‌باشد (جدول ۱). هدف تدوین شاخص IRWQISC، تهیه شاخص‌ها با توجه به شرایط طبیعی و مسایل و مشکلات منابع آب در ایران بوده است، به گونه‌ای که شاخص‌های تدوین شده بتوانند فهم و درک درستی از وضعیت کیفی منابع آب در ایران ارائه دهد.

جدول ۱-۲- طبقه‌بندی شاخص کیفیت آب در مدل‌های IRWQI و NSFWQI

IRWQI		NSFWQI	
کیفیت	بازه	کیفیت	بازه
بسیار خوب	> ۸۵	عالی	۹۰-۱۰۰
خوب	۷۰/۱-۸۵	خوب	۷۰-۹۰
نسبتا خوب	۵۵/۱-۷۰	متوسط	۵۰-۷۰
متوسط	۴۵-۵۵	بد	۲۵-۵۰
نسبتا بد	۳۰-۴۴/۹	خیلی بد	۰-۲۵
بد	۱۵-۲۹/۹	-	-

۱-۱۷- سدهای مورد مطالعه

سد البرز سدی سنگریزه‌ای با هسته رسی است که در دهستان لفور، منطقه دئوتک یا همان محل تلاقی ۲ آب و در شهرستان سوادکوه شمالی و در ۱۰ کیلومتری جنوب غربی شیرگاه قرار دارد. این سد از ۳ رودخانه آذر رود، اسکلیم رود و کار سنگ تغذیه می‌کند. این سد دهانه ای ۸۳۷ متری را پوشش می دهد و با عمقی نزدیک به ۷۵ متر، توانایی ذخیره ۱۵۰ میلیون مترمکعب آب را دارا است و با داشتن ساختار طبیعی و پوشش سنگ‌ریزه‌ای مهم‌ترین منبع تأمین آب شهرستان‌های اطراف سوادکوه به شمار می‌آید. حجم فراوان سد البرز می‌تواند آب ۵۴۰۰۰ هکتار زمین کشاورزی

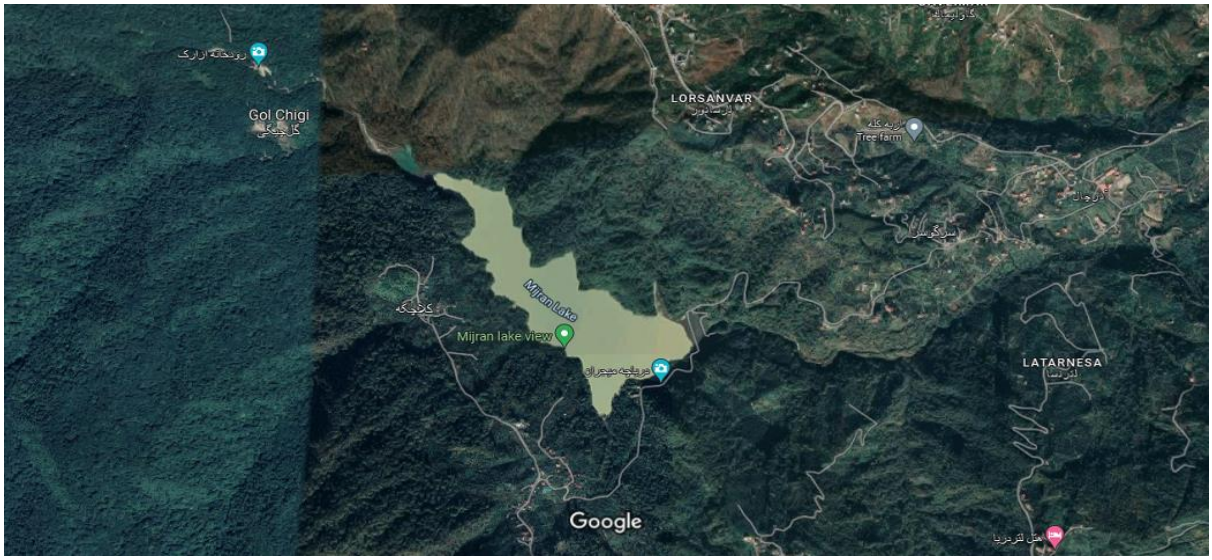
از ۲۲۰ روستا شهرهای جویبار، قائمشهر، بابل و بابلسر را به راحتی تامین کند و از نیروی عبور آب به تولید برق مورد نیاز بسیاری از شهرها و روستاهای اطراف بپردازد (شکل ۱).

شکل ۱-۱- سد البرز (ارتفاع ۲۰۰ متری برگرفته شده از google map)

سد شهید رجایی سدی بتنی دو قوسی با سرریز آزاد است که در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی ساری واقع در بخش دودانگه و در نزدیکی روستای افراچال می‌باشد و با مساحت ۵۲۰ هکتار، درازای ۸۵۰۰ متر و حجم نهایی ۱۶۰ میلیون مترمکعب آب، با کاربری تأمین آب کشاورزی زمین‌های اطراف سد و تأمین آب آشامیدنی ساخته شد. کاربری‌های شاخص سد شهیدرجایی تأمین آب کشاورزی اراضی دشت تجن، تأمین محل تفرج منطقه‌ای، کنترل طغیان و جلوگیری از خسارات ناشی از سیل، تأمین آب آشامیدنی ساکنین محدوده و تولید برق می‌باشد.

شکل ۱-۲- سد شهیدرجایی (ارتفاع ۲۰۰ متری برگرفته شده از google map)

سد میجران، سدی سنگریزه‌ای با هسته آسفالته، با ارتفاع حداکثر ۵۴/۵ متر از بستر رودخانه است که در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر رامسر و بر روی رودخانه نسارود قرار دارد. این حوزه با حوزه آبخیز رودخانه صفارود در غرب و حوزه چالکرود در شرق رامسر هم مرز است. حجم مخزن در تراز نرمال ۸ و در حجم مفید آن ۷/۶۵ میلیون متر مکعب است. هدف از این سد که کار ساخت آن در سال ۱۳۷۵ شروع و در سال ۱۳۸۰ خاتمه یافته، تنظیم ۱۵ میلیون متر مکعب آب شامل ۷ میلیون مترمکعب آب شرب و ۸ میلیون آب کشاورزی بود.



شکل ۱-۳- سد میجران (ارتفاع ۲۰۰ متری برگرفته شده از google map)

۱۸-۱- مروری بر منابع گذشته

Bales و همکاران (۱۹۹۸) کاربرد موفقی را از نرم افزار W2-QUAL-CE در مورد دریاچه Rhodhiss گزارش کرده‌اند. Kuo و همکاران (۲۰۰۳) از نسخه ی ۳ نرم افزار W2-QUAL-CE را برای شبیه سازی کیفی آب به منظور تعیین راهکارهای مدیریت کیفی در مخزن Feitsue در شمال تایوان استفاده کردند. Kuo و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از نرم‌افزار W2-QUAL-CE تغذیه‌گرایی را در دو مخزن Wen-Tseng و chi-Te در تایوان شبیه سازی کردند. Yang و Li (2012) با استفاده از نرم افزار یک بعدی طولی، به پیش‌بینی دمای آب در مخزن لایه‌بندی شده، و اثرات رهاسازی آن بر منطقه پایین دست سد، پرداختند. Deus و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از نرم‌افزار شبیه سازی کیفیت آب W2-QUAL-CE به بررسی تاثیر پرورش ماهی در مخزن سد Tucurui برزیل پرداختند. بنابراین کیفیت آب رودخانه خوب در نظر گرفته شد. در مطالعه‌ای که در استان خوزستان بر روی رودخانه جراحی با استفاده از شاخص NSFWQI انجام گرفت، نتایج به دست آمده نشان داد که در طی دو فصل نمونه برداری تمام ایستگاه‌های نمونه برداری در رده بد قرار دارند. در مطالعه فوق بر اساس پهنه‌بندی انجام شده بحرانی‌ترین بازه در فصل بهار و تابستان مربوط به بازه بوستان شادگان می‌باشد. Samantray و همکاران با استفاده از شاخص NSFWQI کیفیت رودخانه‌های Atharabanki and Mahanadi در هندوستان را بررسی نمودند، نتایج مطالعه فوق نشان داد که کیفیت آب بر اساس شاخص مورد استفاده به دلیل فعالیت‌های انسانی و صنعتی کاهش یافته است. مطالعه‌ای که مددی نیا و همکاران با هدف بررسی کیفیت آب رودخانه کارون در بازه اهواز با بررسی پارامترهای کیفی آب انجام شد نشان داد که کیفیت آب در فصل پاییز به علت شروع بارندگی و کاهش آلاینده‌ها بهترین وضعیت و در فصل بهار به دلیل کاهش بارندگی، وجود دمای مناسب برای رشد کلی‌فرم ها و نیز افزایش کدورت

بدترین وضعیت را داشته است. بررسی جلبک‌های رودخانه بهمشیر در فصل پاییز و زمستان به دلیل نور کم و ایجاد آلودگی از نوع گل و لای، فراوانی فیتوپلانکتون‌ها پایین بوده است (WQRRSR. 2009). Sanchez و همکاران (۲۰۰۷) شاخص WQI و کمبود اکسیژن محلول را در طول رودخانه‌های گوادرما و مانزانارز مورد مطالعه قرار دادند. Alobaidy و همکاران (۲۰۱۰) شاخص WQI را برای ارزیابی کیفیت آب دریاچه دوکان در کردستان عراق در سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۰ و مقایسه آن با سال ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ استفاده کردند و نشان دادند که کیفیت آب دریاچه روند نزولی داشته و از خوب به سمت فقیر میل کرده است. فتحی و همکاران (۱۳۹۰) به کمک شاخص‌های زیستی، فیزیکوشیمیایی و درشت بی‌مهرگان کفزی تالاب چغاخور را مورد ارزیابی قرار داده و دریافتند که این تالاب از نظر وضعیت کیفی آب (شاخص WQI) در شرایط مناسبی قرار نداشته و برای مصارف انسانی از جمله شرب مناسب نبود.

۱۹-۱- هدف از انجام مطالعه

با توجه اهمیت کیفیت آب شرب سدهای استان و نظر به این که وجود گیاهان مهاجم در بستره‌های آبی استان دیده شده و کیفیت آب سدهای شرب را تهدید می کند این مطالعه با هدف بررسی تغییرات زیست محیطی سدهای آب شرب استان مازندران شامل سد البرز، سد شهید رجایی و سد میجران، ارزیابی وجود گیاهان آبزی احتمالا مهاجم، تغییرات مقدار کلیفرمی سدهای آب شرب و ارتباط آن با مقدار کلروفیل، نیترات و فسفات انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد و روش‌ها

۲-۲- روش نمونه‌گیری آب و اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی آب

به منظور بررسی کیفیت آب و اندازه‌گیری مقدار نیترات، فسفات، نیاز بیولوژیکی و شیمیایی اکسیژن (BOD، COD) و مقدار کلیفرم کل و مدفوعی در دریاچه سدهای آب شرب رجایی، البرز و میجران در مجموع ۹ نمونه آب در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور از بخش نزدیک به تاج سدها برداشت شد. همچنین میزان کلروفیل، pH، اکسیژن محلول و کدورت در عمق‌های مختلف بخش نزدیک به تاج سدهای مذکور با دستگاه CTD در شش ماهه نخست ۱۴۰۱ اندازه‌گیری و تأثیر هر یک از آن‌ها بر مقدار پارامترهای کیفیت آب بررسی شد. میزان جذب پارامترهای فسفات و نیترات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر به ترتیب در طول موج‌های ۶۹۰ و ۴۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. اکسیژن مورد نیاز شیمیایی با دستگاه COD سنج (مدل آلمانی AL 125)، کلیفرم مدفوعی با استفاده از سواب توتال کلیفرم یکبار مصرف توسط دستگاه (Ensure plus hygiena) و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی با دستگاه BOD سنج تعیین گردیدند. شاخص‌های کیفیت آب در جدول ۲-۳ و ۲-۴ نشان داده شده است.

۲-۳- شاخص NSFWQI

این شاخص معیاری برای طبقه بندی آبهای سطحی بر اساس پارامترهای کیفی استاندارد شده در دسترس قرار می‌دهد. در سال ۱۹۷۰ میلادی سازمان بهداشت جهانی طرحی را به مرحله اجرا درآورد که براساس این طرح ۹۱۲ نفر از محققین در سراسر دنیا و از ملیتهای مختلف انتخاب شده و بر روی ۹۹ پارامتر برای تعیین شاخص کیفیت آب آزمایشات متعددی انجام دادند و در نهایت پارامترهایی را به عنوان پارامترهای اساسی برای تعیین شاخص کیفیت آب معرفی کردند که شامل اکسیژن محلول، تغییرات دما، کلیفرم مدفوعی، کدورت، فسفات کل، نیترات کل، کل مواد جامد، اسیدیته، و میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی است.

جدول ۲-۱- مدل شاخص کیفیت آب NSFWQI

Color	Class	Numerical
Red	Very bad	0-25
Orange	Bad	25-50
Yellow	Medium	50-70
Green	Good	70-90
Blue	Very good	90-100

۲-۴- شاخص IRWQI

همانند شاخص NSFWQI است، اما پارامترهای اساسی برای تعیین شاخص کیفیت IRWQI شامل اکسیژن محلول ،کلیفرم مدفوعی،کدورت، فسفات کل، نیترات، هدایت الکتریک ، pH، میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی، آمونیوم و سختی کل است. تعیین شاخص کیفی آب نیازمند فاکتور وزنی مبتنی بر اهمیت پارامتر کیفی در تعیین شاخص کیفیت آب است. بنیاد ملی بهداشت امریکا شاخص NSFWQI را جهت طبقه‌بندی کیفیت آبهای سطحی ارائه نموده است که بر اساس دما، pH ،کدورت، فسفات، نیترات، DO، BOD و کلیفرم مدفوعی محاسبه می‌گردد.

جدول ۲-۲- مدل شاخص کیفیت آب IRWQI

Color	Class	Numerical
Red	Bad	15-29.9
Orange	Fairly Bad	30-44.9
Yellow	Medium	45-55
Green	Good	55.1-70
Indigo	Fairly Good	70.1-85
Blue	Very good	>85

جدول ۲-۳- حداکثر مجاز مواد شیمیایی معدنی موجود در آب آشامیدنی (استاندارد و تحقیقات صنعتی کشور، ۱۳۶۷)

نوع ترکیب	حداکثر مجاز* بر حسب میلی‌گرم در لیتر	توضیحات
کل مواد جامد محلول T.D.S	۱۵۰۰	در شرایط ویژه تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر قابل قبول
سختی کل بر حسب $CaCO_3$	۵۰۰	
اکسیژن خواهی زیستی BOD	کمتر از ۳	
سولفات بر حسب SO_4	۴۰۰	در شرایطی که میزان Mg از ۳۰ میلی گرم در لیتر تجاوز کند میزان سولفات نباید بیش از ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر
نیترات بر حسب NO_3	۵۰	
نیتریت بر حسب NO_2	۳	
آمونیاک بر حسب NH_3	۱/۵	
کلیفرم کل	۵۰	MPN/100 ml
کلیفرم مدفوعی	۲۰	MPN/100 ml
فسفر بر حسب فسفات	۶	
کلسیم بر حسب Ca	۲۵۰	
منیزیم بر حسب Mg	۵۰	
سدیم بر حسب Na	۲۰۰	در شرایط ویژه تا ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر مجاز است
هیدروژن سولفوره H_2S	۰/۰۵	
آهن بر حسب Fe	۰/۳	
منگنز بر حسب Mn	۰/۵	
آلومینیوم بر حسب Al	۰/۲	
روی بر حسب Zn	۳	
مس بر حسب Cu	۱	

*حد مجاز: حداکثر عوامل شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی آب آشامیدنی است که استمرار مصرف آن برای انسان زیان‌آور نباشد. این مقدار بر مبنای متوسط مصرف آشامیدنی روزانه ۲/۵ لیتر آب برای یک انسان ۷۰ کیلوگرمی در نظر گرفته شده است. میزان جلبک نباید در حدی باشد که باعث تغییر رنگ آب شود و میزان جلبک‌های شناور در آب باید کمتر از ۱۰ میکروگرم بر لیتر بر حسب کلروفیل آ باشد.

جدول ۲-۴- استاندارد کیفیت آب برای حفاظت محیط زیست (اکوسیستم‌های آبی)

پارامتر	گروه ۱	گروه ۲	حداقل نمونه‌برداری و تناوب اندازه‌گیری	توضیحات
درجه‌حرارت (درجه سیلسیوس)	اختلاف درجه‌حرارت در پایین‌دست نقطه تخلیه آلودگی حرارتی (در مرز ناحیه اختلاط) با بالادست آن نباید بیش از مقادیر زیر باشد (تبصره ۲):		هفتگی در بالادست و پایین‌دست نقطه تخلیه آلودگی حرارتی	باید از تغییر ناگهانی درجه حرارت جلوگیری شود.
	۱/۵	۳		
اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	حداقل در پنجاه درصد مواقع نه (۹) میلی‌گرم بر لیتر یا ۹۰ درصد اشباع و بیش‌تر و در صددرصد مواقع هفت (۷) میلی‌گرم بر لیتر یا ۷۰ درصد اشباع و بیش‌تر	حداقل در پنجاه درصد مواقع هشت (۸) میلی‌گرم بر لیتر یا ۸۰ درصد اشباع و بیش‌تر و در صددرصد مواقع پنج (۵) میلی‌گرم بر لیتر یا ۵۰ درصد اشباع و بیش‌تر	ماهانه، حداقل یک نوبت نمونه‌برداری در شرایط اکسیژن محلول پایین (تبصره ۳). در محل‌هایی که تغییرات روزانه مشکوک است، حداقل دو نمونه در روز	
پهاش	۹-۶	۹-۶	ماهانه	
جامدات معلق (میلی‌گرم بر لیتر)	کمتر از ۲۵	کمتر از ۲۵	ماهانه	مقادیر میانگین حسابی غلظت هستند و برای جامدات معلق همراه با مواد شیمیایی مضر کاربرد ندارند.
BOD_5 (میلی‌گرم بر لیتر)	کمتر از سه	کمتر از شش	ماهانه	
فسفرکل (میلی‌گرم بر لیتر)	کمتر از ۰/۰۶۵	کمتر از ۰/۱۳	ماهانه	برای دریاچه‌ها و تالاب‌ها براساس غلظت در لایه سطحی می‌باشد.
نیتریت (میلی‌گرم بر لیتر)	کمتر از ۰/۰۱	کمتر از ۰/۰۳	ماهانه	
ترکیبات فنلی (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰۴ [۱]	۰/۰۴ [۱]	ماهانه	آزمایش طعم تنها در محلی که احتمال وجود ترکیبات فنلی می‌باشد، باید انجام شود.
هیدروکربن‌های نفتی (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰۱ [۲]	۰/۰۱ [۲]	ماهانه	آزمایش بصری باید به‌طور منظم یک نوبت در ماه و ترجیحا همراه با آزمایش مزه در محلی که احتمال وجود هیدروکربن‌ها می‌باشد، انجام شود.
آمونیاک (یونیزه نشده) (میلی‌گرم بر لیتر)	کمتر یا مساوی ۰۲۵/۰	کمتر یا مساوی ۰/۰۲۵	ماهانه	ممکن است غلظت آمونیاک یونیزه نشده افزایش جزئی در طول روز داشته باشد (برای محاسبه غلظت آموناک یونیزه نشده لازم است درجه حرارت و پهاش آب در محل اندازه‌گیری شوند).
آمونیوم کل (میلی‌گرم بر لیتر)	کمتر یا مساوی یک	کمتر یا مساوی یک	ماهانه	
کلرین باقیمانده کل (میلی‌گرم HOClبر لیتر)	کمتر یا مساوی ۰۰۵/۰	کمتر یا مساوی ۰/۰۰۵	ماهانه	غلظت بالاتر کلرین کل در پهاش‌های بالاتر از شش قابل قبول است.

نتایج و بحث

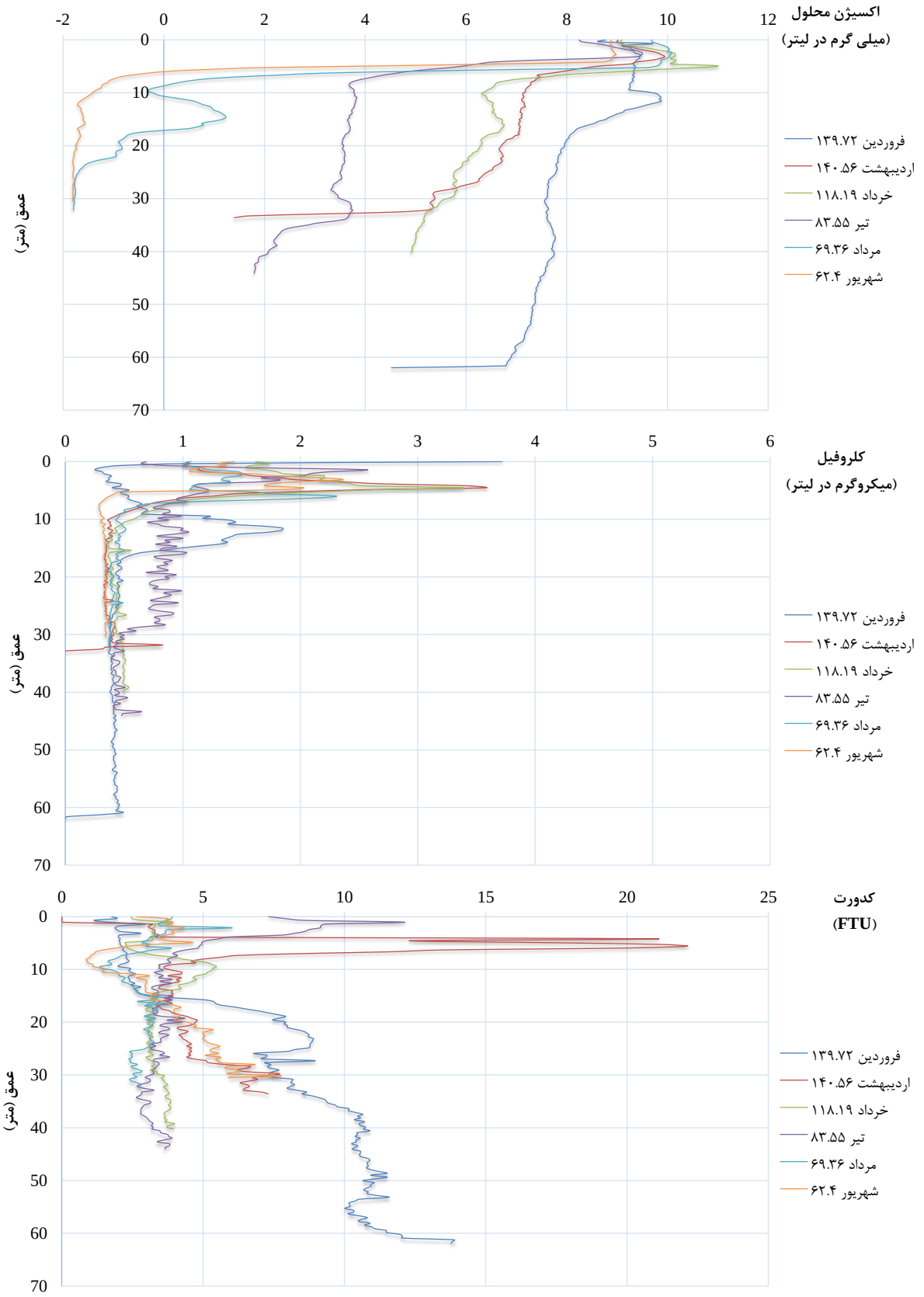
۳- نتایج و بحث

۳-۱- تغییرات ۶ ماهه شاخص‌های اکسیژن محلول، کلروفیل و کدورت سدهای آب شرب

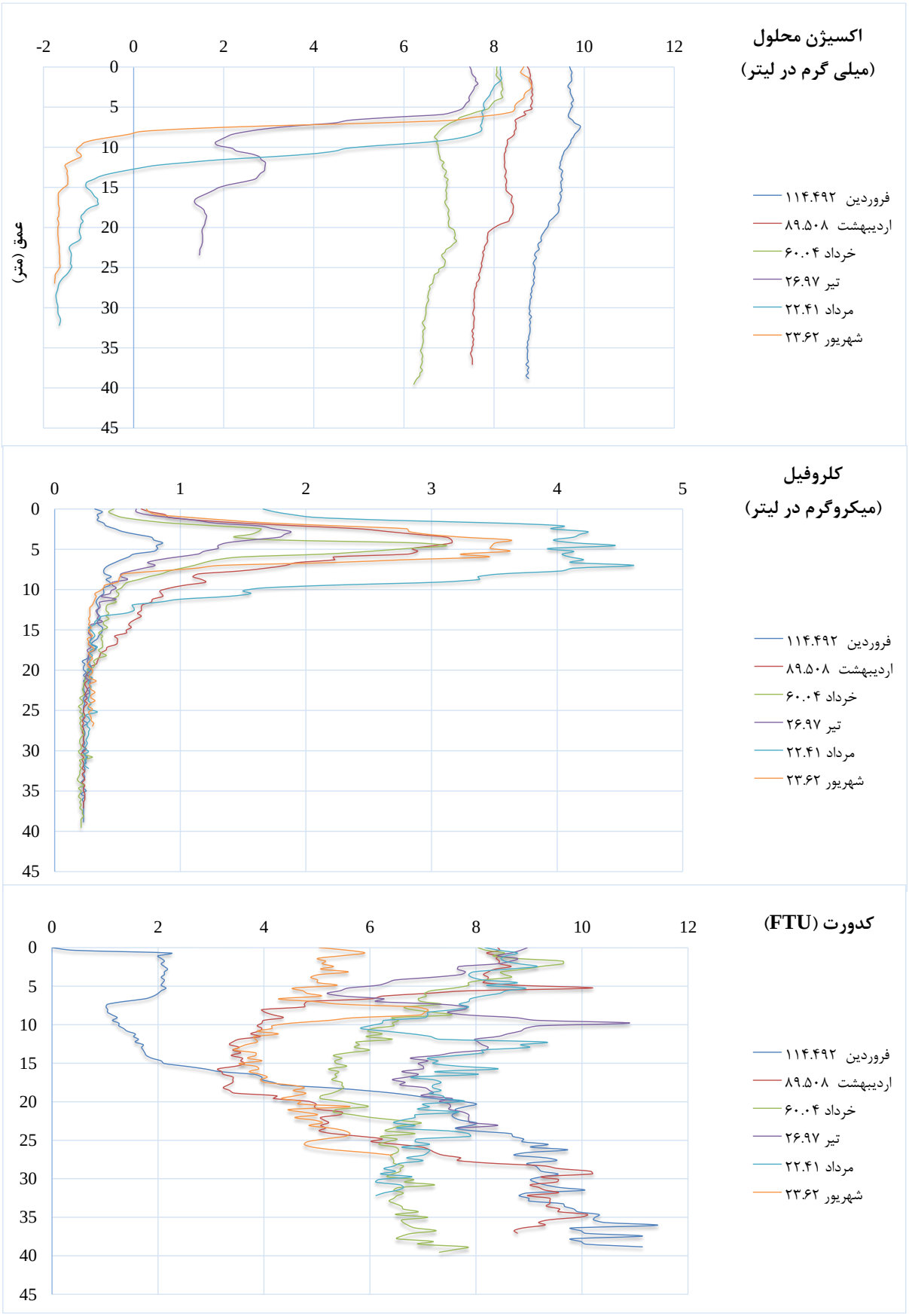
نتایج مربوط به اکسیژن محلول، مقدار کلروفیل و کدورت آب سد البرز در بازه شش ماهه اول سال ۱۴۰۱ در شکل یک نشان داده شده است. داده‌های اندازه‌گیری شده با CTD نشان داد که بهترین شرایط اکسیژن محلول در ماه فروردین با حدود ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در سطح تا حدود ۸ میلی‌گرم در لیتر تا عمق ۶۰ متری با توجه به شرایط بارندگی و بدترین شرایط اکسیژن محلول در ماه‌های مرداد و شهریور دیده شد که در عمق ۷ تا ۱۰ متری اکسیژن محلول به صفر می‌رسد. بیشترین مقدار کلروفیل سد البرز در ماه‌های اردیبهشت و خرداد و در عمق ۵ متری با حدود ۴ میلی‌گرم در لیتر بود که بر اساس شاخص کارلسون در این ماه ها سد البرز در سطح یوتروف و تغذیه گرا بود. بیشترین مقدار کدورت در ماه اردیبهشت و در عمق ۵ متری سد البرز با حدود ۲۲ FTU مشاهده شد. در ماه فروردین باتوجه به بارندگی و گردش آب مقدار کدورت تا عمق ۶۰ متری روند افزایش داشته است (شکل ۳-۱).

نتایج مربوط به اکسیژن محلول، مقدار کلروفیل و کدورت آب سد شهید رجایی در بازه شش ماهه اول سال ۱۴۰۱ در شکل دو نشان داده شده است. داده‌های اندازه‌گیری شده با CTD نشان داد که بهترین شرایط اکسیژن محلول در ماه فروردین، اردیبهشت و خرداد با حدود به ترتیب ۱۰، ۹ و ۸ میلی گرم در لیتر در سطح تا عمق ۴۰ متری با توجه به شرایط بارندگی و بدترین شرایط اکسیژن محلول در ماه های مرداد و شهریور دیده شد که در عمق ۹ تا ۱۵ متری اکسیژن محلول به صفر می‌رسد. بیشترین مقدار کلروفیل سد شهید رجایی در مرداد با حدود ۵/۴ و سپس در ماه شهریور با حدود ۵/۳ میلی گرم در لیتر در عمق ۵ تا ۷ متری مشاهده شد و بر اساس شاخص کارلسون در ماه های مرداد، شهریور سد شهیدرجایی در سطح یوتروف بود. کدورت آب سد شهیدرجایی به نسبت سد البرز در ماه های مختلف بیشتر بود و تغییرات مشخصی با توجه به شرایط عمق به جز در ماه فروردین مشاهده نشد (شکل ۳-۲).

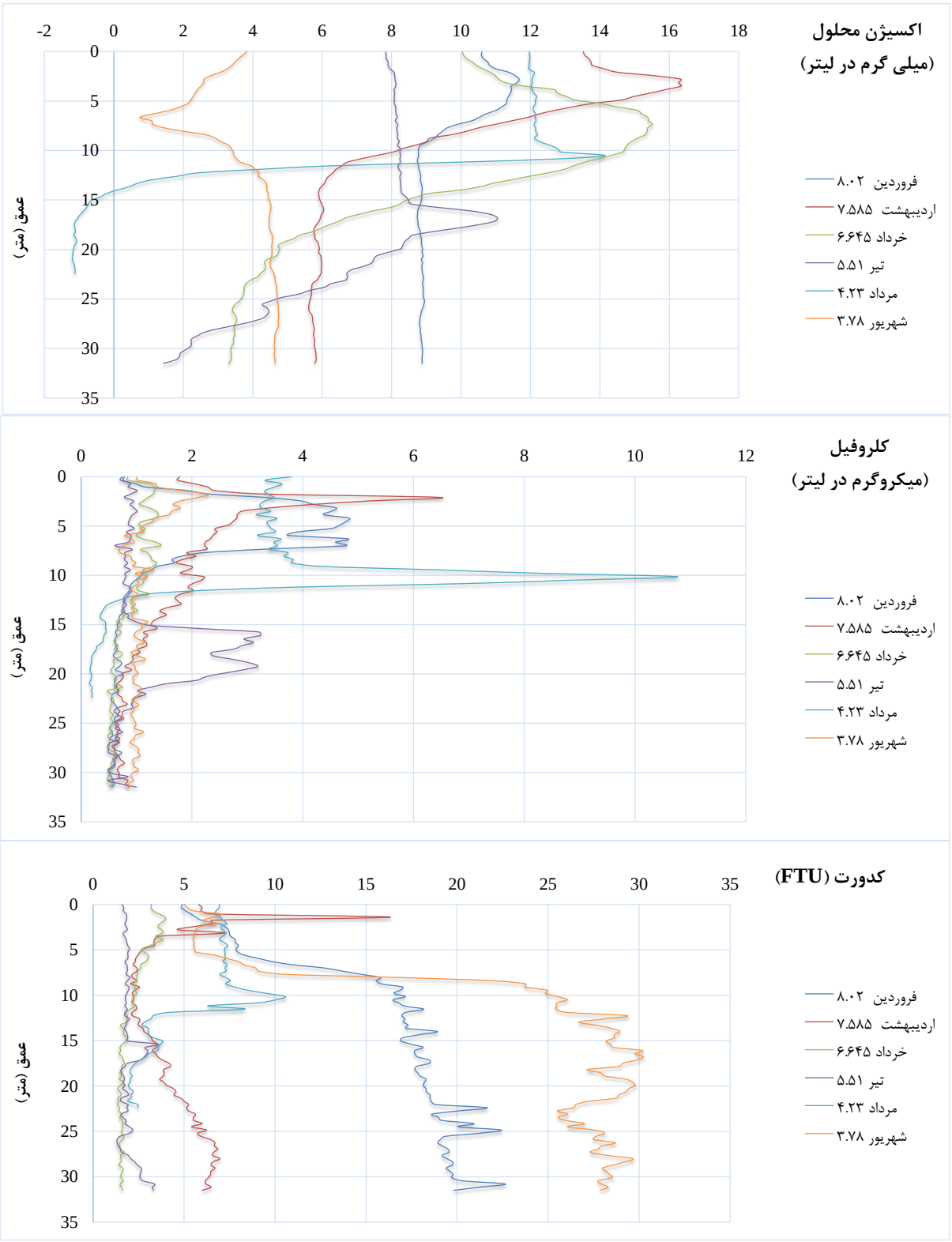
نتایج مربوط به اکسیژن محلول، مقدار کلروفیل و کدورت آب سد میجران در بازه شش ماهه اول سال ۱۴۰۱ در شکل سه نشان داده شده است. داده‌های اندازه‌گیری شده با CTD نشان داد که بهترین شرایط اکسیژن محلول در ماه اردیبهشت و خرداد با حدود ۱۶ میلی گرم در لیتر در سطح تا عمق ۱۰ متری با توجه به شرایط بارندگی منطقه و بدترین شرایط اکسیژن محلول در ماه مرداد دیده شد که با وجودی که در سطح، اکسیژن محلول حدود ۱۲ میلی گرم در لیتر است اما به طور عجیبی در عمق ۱۱متری اکسیژن محلول به سمت صفر نزول پیدا می کند ولی در ماه های دیگر بهار و تابستان اکسیژن محلول صفر مشاهده نشد. میزان کلروفیل سد میجران به نسبت سدهای دیگر از همه بیشتر بود و بیشترین مقدار کلروفیل در ماه مرداد در عمق ۱۰ متری با حدود ۱۱ میلی گرم در لیتر مشاهده شد که به علت عمق کم و افزایش مقدار فسفات در این ماه متاسفانه شرایط برای رشد و بلوم جلبک مهیا شده و شرایط آب سد میجران لحاظ کیفیت شرایط متوسطی دارد. در ماه‌های فروردین و اردیبهشت هم سد میجران در سطح یوتروف بوده است. کدورت سد میجران حدود دوبرابر دو سد دیگر بود به طوری که در ماه شهریور به حدود ۳۰ FTU رسید (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۱- تغییرات پارامترهای اکسیژن محلول، کلروفیل و کدورت آب سد البرز در شش ماهه نخست امسال



شکل ۳-۲- تغییرات پارامترهای اکسیژن محلول، کلروفیل و کدورت آب سد شهید رجایی در شش ماهه نخست امسال



شکل ۳-۳- تغییرات پارامترهای اکسیژن محلول، کلروفیل و کدورت آب سد میجران در شش ماهه نخست امسال

جهت ارزیابی منابع آبی ملی (National Aquatic Resource Surveys : NARS)، اکسیژن محلول یکی از معیارهای مهم برای کیفیت آب در نظر گرفته می‌شود، چون شاخص مستقیم توانایی یک منبع آبی برای حمایت از حیات آبی

است. در حالی که هر موجود زنده به طور کلی محدوده تحمل اکسیژن محلول خاص خود را دارد، اما سطوح اکسیژن محلول کمتر از ۳ میلی‌گرم در لیتر نگران کننده هستند و آب‌هایی با سطوح کمتر از یک میلی‌گرم در لیتر به عنوان آب‌های هیپوکسیک در نظر گرفته شده و معمولا فاقد حیات هستند. در صورتی که مقدار زیادی از مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌های مختلف تجزیه شوند، ممکن است سطح اکسیژن محلول کاهش یابد. با ادامه این فرآیند، میکروارگانیسم‌های موجود در آب، اکسیژن حل شده را مصرف می‌کنند و باعث کاهش سطح آن می‌شوند. در این مرحله، موجودات موجود در آب می توانند از زیستگاه فعلی خود دور شوند یا اگر سطح اکسیژن بیش از حد کاهش یابد، می میرند.

میزان اکسیژن محلول در آب مستقیماً با کیفیت آب خوب ارتباط داشته و عوامل زیادی بر میزان اکسیژن محلول آب تأثیر دارد. سطوح پایین اکسیژن (هیپوکسی) یا عدم وجود اکسیژن (آنوکسی) می‌تواند زمانی رخ دهد که مواد آلی اضافی، مثلا در شکوفایی‌های جلبکی بزرگ، توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه شوند. در طول این فرآیند تجزیه، اکسیژن محلولِ آب مصرف می‌شود. سطوح پایین اکسیژن اغلب در کف ستون آب رخ می‌دهد و بر موجوداتی که در رسوبات زندگی می‌کنند تاثیر می‌گذارد. در برخی از بدنه‌های آبی، سطوح اکسیژن محلول به صورت دوره‌ای، فصلی و حتی به عنوان بخشی از اکولوژی طبیعی روزانه منابع آبی، نوسان می‌کند.

با توجه به نتایج به دست آمده، به دلیل اختلاط آب مخزن سد البرز، شهید رجایی و میجران در ابتدای بهار (فروردین و اردیبهشت) مقدار اکسیژن محلول در عمق‌های مختلف به کمتر از چهار میلی‌گرم در لیتر نمی‌رسد و لایه‌بندی حرارتی تشکیل نشده و شرایط دمایی آب در تمامی ترازهای مخزن یکسان و بین ۱۲ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده است. با فرا رسیدن فصل بهار و افزایش دمای آب در لایه‌های سطحی، به تدریج فرآیند لایه‌بندی مخزن شروع شده و تا اواسط تابستان کامل می‌شود، این لایه‌بندی تا اواخر تابستان ادامه دارد. در سد البرز و شهید رجایی در دوره تکمیل شدن لایه‌بندی، حداقل دمای آب در لایه پایینی ۱۲ درجه و حداکثر دما در بالاترین لایه ۲۴ درجه سانتی‌گراد بوده است. وجود اختلاف دمای بیش از ده درجه سانتی‌گراد بین لایه‌های مختلف، بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آنها اثر گذاشته و کیفیت آب را در لایه‌های مختلف متفاوت می‌سازد. به عنوان مثال در طی دوره تابستان، رشد جلبک‌ها در تراز بالایی آب به میزان زیادی افزایش می‌یابد که این امر می تواند، رنگ، بو و طعم آب استحصالی از این لایه ها را شدیدا تحت تاثیر قرار دهد.

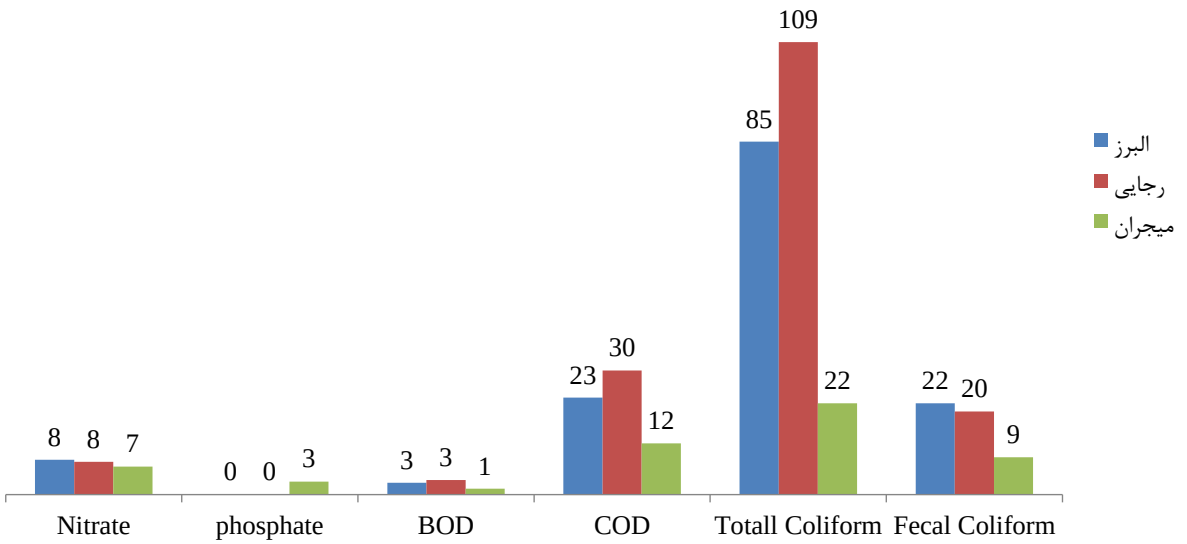
لایه‌بندی حرارتی در سد شهیدرجایی و به مقدار کمتر در سد میجران از اواسط بهار تدریجا آغاز شده و تا انتهای فصل تابستان ادامه پیدا نموده است. به طوری که در ماه‌های مرداد و شهریور در سد شهید رجایی و در ماه مرداد در سد میجران مقدار اکسیژن محلول در عمق بیشتر از ۷ متر به صفر نزول پیدا می‌کند. انعکاس لایه‌بندی حرارتی آب مخزن به خوبی در تغییرات دمای آب در خروجی های مختلف سدها نمایان است. در فصول گرم سال (بهار و تابستان) با توجه به اختلاف زیاد دمای آب در ترازهای آبگیری و همچنین نبود بارش که سبب اختلاط لایه‌ها شود، انتخاب لایه آبگیر از اهمیت ویژه ای برخوردار می‌شود. اختلاف دمایی نسبتا زیاد بین تراز های آبگیری سدها در ماه‌های مختلف به خصوص در ماه‌های تابستان گواه بر این است که شرایط کیفی آب اعماق مختلف مخزن یکنواخت نبوده و برخی از ترازها نسبت به سایر تراز ها از کیفیت بهتری برخوردارند. از نظر پارامتر حرارتی، در فصول بهار و تابستان، آب پایین‌ترین لایه بهترین شرایط را بین ترازهای آبگیر دارا است اما به دلیل وجود رسوبات در کف مخزن و نیز احتمال تجزیه مواد آلی در شرایط بی هوازی، کیفیت آب در پایین‌ترین تراز ممکن است از نظر رنگ، طعم و بو نامناسب باشد.

۲-۳- تغییرات میزان نیترات، فسفات، میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی سدهای آب شرب

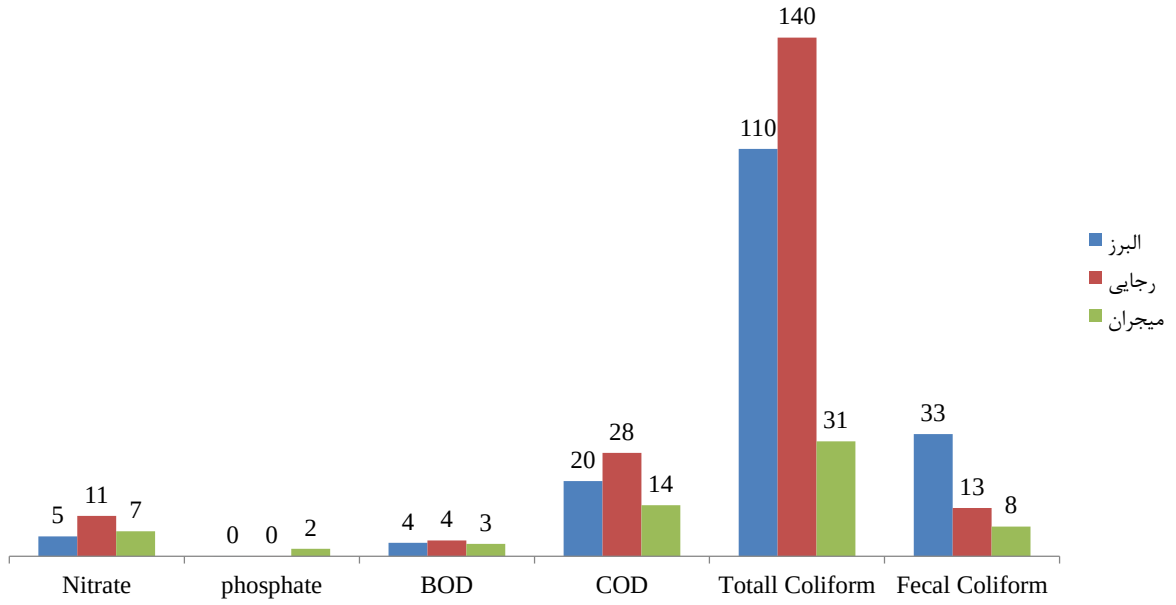
شاخص‌های نیترات و فسفات کل، میزان BOD و COD، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی سدهای آب شرب در تیرماه نشان داد که بیشترین مقدار فسفات در سد میجران نسبت به سدهای البرز و شهیدرجایی مشاهده گردید. از طرف دیگر باتوجه به آلودگی بیشتر سدهای البرز و شهیدرجایی نسبت به سد میجران میزان اکسیژن خواهی زیستی و شیمیایی سدهای البرز و شهیدرجایی به ترتیب حدود ۲ و ۲/۵ برابر بیشتر از سد میجران می‌باشد. همچنین میزان کلیفرم مدفوعی سدهای البرز و میجران حدود دو برابر از سد میجران بیشتر است (شکل ۳-۴).

تغییرات غلظت نیترات در مردادماه نشان داد که سد شهیدرجایی بیشترین مقدار نیترات را نسبت سدهای دیگر داشت. این در حالی بود که به مانند ماه تیر، مقدار فسفات سد میجران در مردادماه نیز بیشتر از سدهای البرز و شهیدرجایی بود. این در حالی بود که میزان اکسیژن خواهی سدهای آب شرب در مردادماه بیشتر از ماه تیر بود (شکل ۳-۵). همچنین مقدار کلیفرم کل نیز در سدها افزایش پیدا کرده است که در این بین سد شهیدرجایی با ۱۴۰ MPN/100 ml بالاترین میزان کلیفرم کل را نشان داد اما میزان کلیفرم مدفوعی سد البرز با ۳۳ MPN/100 ml نسبت به سدهای دیگر تفاوت بسیار محسوسی نشان داد که بالاتر از حد استاندارد ۲۰ MPN/100 ml می‌باشد. علیرغم پایین آمدن مقدار کلیفرم کل در شهریورماه در سه سد اما مقدار کلیفرم مدفوعی در سد البرز حدود ۳۵ MPN/100 ml به ترتیب در حدود ۲ و ۳ برابر سدهای شهید رجایی و البرز بود (شکل ۳-۶).

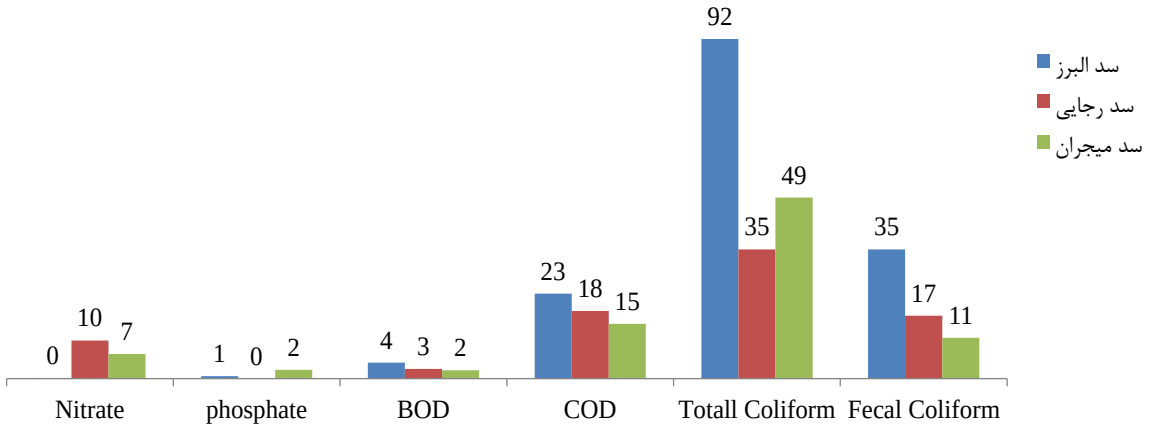
مقایسه تغییرات سطح تغذیه‌گرایی در دو منطقه معتدل و سردسیر توسط آسیه مخلوق و همکاران (۱۳۹۷) انجام شد. نمونه‌برداری در سد شهیدرجایی در سال ۱۳۹۱ و در فصول بهار، پاییز و زمستان به صورت فصلی و در فصل تابستان به علت افزایش احتمال وقوع شکوفایی جلبکی به صورت ماهانه صورت گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص تروفیکی کارلسون در مخزن سد شهید رجایی از خرداد تا مرداد، روند افزایشی نشان داد و پس از آن تا بهمن کاهش یافت. در مجموع سطح تروفیکی در خرداد و مرداد به ترتیب اولیگوتروف و یوتروف برآورد شد و در سایر ماه‌ها مزوتروف بوده است. بررسی نشان داد که در مردا د ماه حداکثر دمای هوا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و به دلیل تقارن با دوره کشاورزی، افزایش ورود کودها به جریانات رودخانه‌ای منتهی به سد صورت گرفت.



شکل ۳-۴- تفاوت محتوای نیترات کل، فسفات کل، میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی درسدهای آب شرب در ماه تیر



شکل ۳-۵- تفاوت محتوای نیترات کل، فسفات کل، میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی درسدهای آب شرب در ماه مرداد

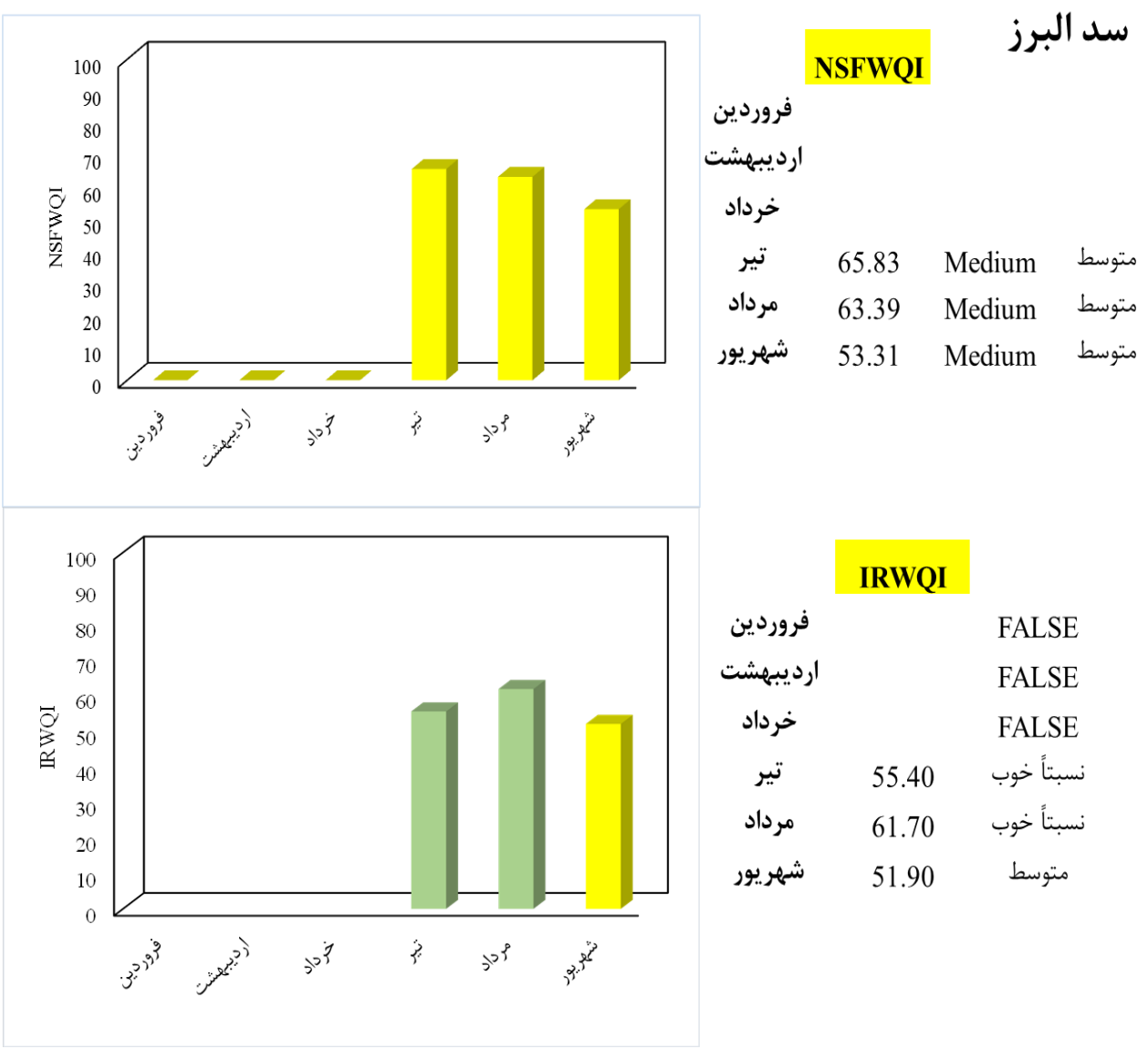


شکل ۳-۶- تفاوت محتوای نیترات کل، فسفات کل، میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی، میزان اکسیژن خواهی شیمیایی، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی درسدهای آب شرب در ماه شهریور

۳-۳- مقایسه مدل‌های شاخص کیفیت آب NSFWQI و IRWQI در سدهای آب شرب

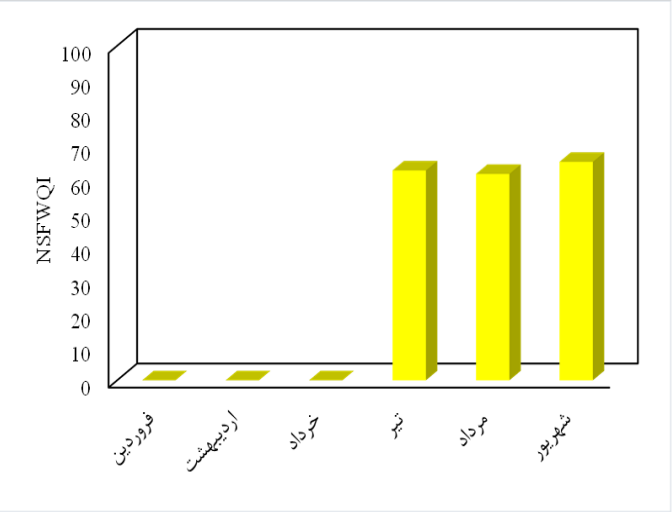
مقایسه مدل‌های شاخص کیفیت آب NSFWQI و IRWQI در سد البرز نشان داد که ماه‌های تیر و مرداد و شهریور کیفیت آب با مدل NSWQI در وضعیت متوسط اما با مدل IRWQI در دو ماه تیر و مرداد در وضعیت نسبتا خوب و ماه شهریور در وضعیت متوسط قرار دارد (شکل ۳-۷). مقایسه مدل‌های شاخص کیفیت آب NSFWQI و IRWQI در سد شهیدرجایی نشان داد که ماه‌های تیر و مرداد و شهریور کیفیت آب با مدل NSWQI و همچنین مدل IRWQI

در وضعیت متوسط قرار دارد (شکل ۳-۸). بررسی وضعیت کیفیت آب سد میجران نشان داد که بر اساس مدل شاخص کیفیت آب NSFWQI در وضعیت متوسط می‌باشد، اما بر اساس مدل IRWQI کیفیت آب سد میجران در ماه تیرماه در وضعیت نسبتا خوب اما در ماه‌های مرداد و شهریور در وضعیت متوسط قرار دارد (شکل ۳-۹).

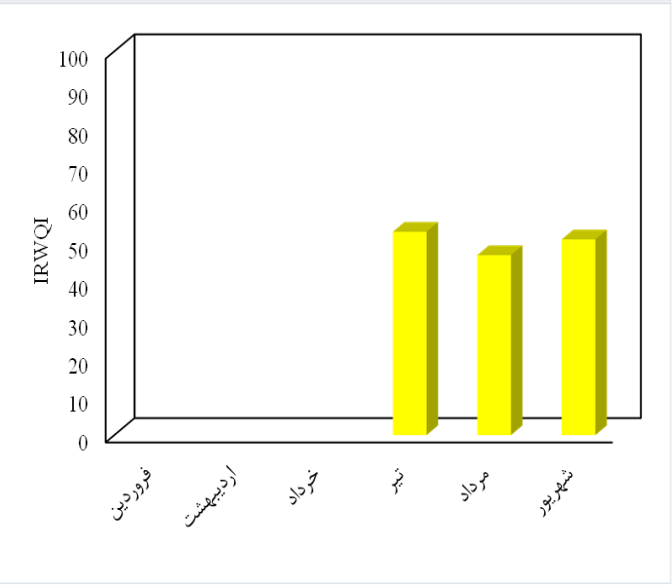


شکل ۳-۷- بررسی کیفیت سد البرز با مدل‌های شاخص کیفیت NSFWQI و IRWQI

سد شهید رجایی

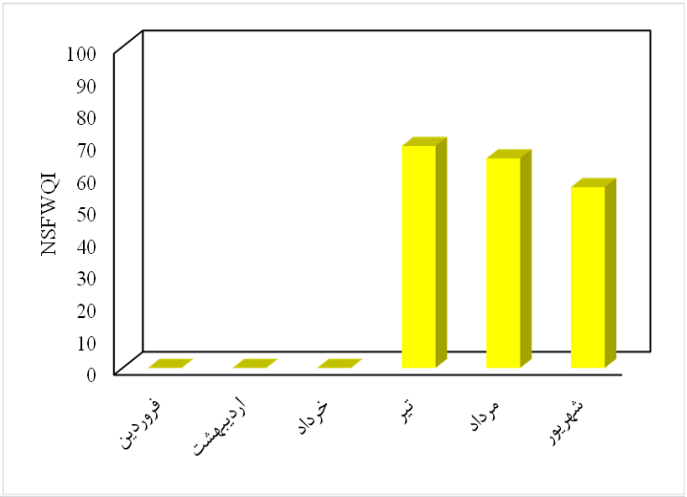


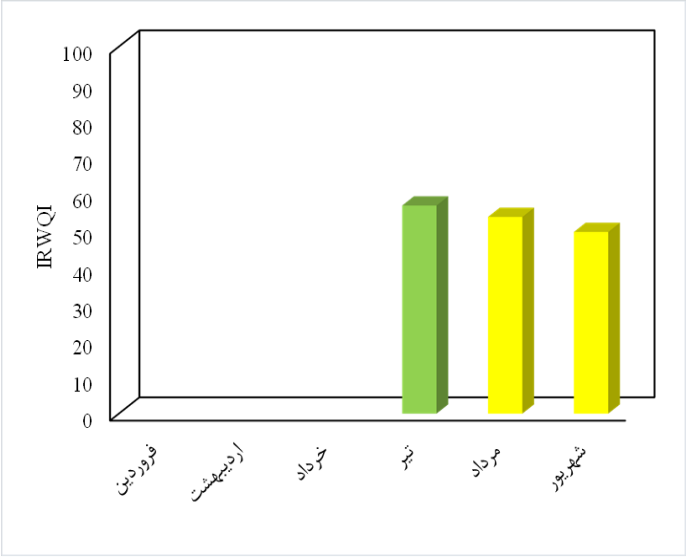
NSFWQI			
فروردین			
اردیبهشت			
خرداد			
تیر	62.74	Medium	متوسط
مرداد	61.70	Medium	متوسط
شهریور	65.31	Medium	متوسط



IRWQI		
فروردین		FALSE
اردیبهشت		FALSE
خرداد		FALSE
تیر	53.00	متوسط
مرداد	46.90	متوسط
شهریور	51.00	متوسط

شکل ۳-۸- بررسی کیفیت سد شهید رجایی با مدل‌های شاخص کیفیت NSFWQI و IRWQI





شکل ۳-۹- بررسی کیفیت سد میجران با مدل‌های شاخص کیفیت NSFWQI و IRWQI

۳-۴- گیاهان مهاجم

در حال حاضر مهمترین زیست توده مشکل‌زا مشاهده شده که گیاهان آبزی مهاجم چندسالی است به داخل مخزن سدهای آب شرب وارد شده است. مطالعات اولیه گیاهان آبزی مهاجم دریاچه سدها به خصوص در سد میجران دو گیاه هیدریلا و گوشاب شناور را به عنوان گیاه مهاجم نشان داده است. البته در ورودی سد البرز نیز گیاه هیدریلا در ماه مرداد دیده شد.

گیاه هیدریلا با نام علمی *Hydrilla verticillata* (Lf) Royle، یک ماکروفیت آبزی جهان وطنی از تیره Hydrocharitaceae که زادگاه آن شامل استرالیا و بسیاری از جزایر اقیانوس آرام است که جمعیت‌های طبیعی آن اکنون در کشورهای زیادی در سراسر آسیا، اروپا و آفریقا وجود دارد (شکل ۱۱). گیاه Hydrilla verticillate، گیاه آکواریومی است که می‌تواند در منابع آبی فقیر (oligotrophic) تا غنی (eutrophic) از عناصر غذایی رشد کند. این گیاه می‌تواند عناصر غذایی را از اکوسیستم آبی جذب نماید و آنها را برای مواقع ضروری آتی ذخیره سازد (شکل ۳-۱۰).

شکل ۳-۱۰- نمونه گیاه هیدریلا برداشت شده از سد میجران

گوشاب شناور یا روغن‌واش با نام علمی Potamogeton crispus از تیره Potamogetonaceae از جمله گیاهان آبزی چندساله بومی اوراسیا و شمال آفریقاست که دارای ۹۰-۷۵ گونه در سراسر جهان است. گیاه گوشاب شناور گیاهان علفی، چندساله، ریزوم دار و آبزی غرقاب، بدون غده با برگ‌های شناور است که در آب‌های شیرین تا لب شور مانند دریاچه‌های کم عمق، رودخانه‌های کم جریان، جویبارها، کانال‌ها، برکه‌های آب شیرین، اراضی آبگیر حاصل از زهکش (fenland drain) و شالیزارهای غرقابی برخوردار از بسترهای حاوی آهک به خوبی رشد می‌کند. این گیاه حتی در

آب‌های صاف، فقیر از عناصر غذایی غیر آلوده، اکوسیستم‌های آبی غنی از مواد غذایی (eutrophic) و آب‌های مملو از گل و لای (turbid site) استقرار می‌یابد (شکل ۳-۱۱).

شکل ۳-۱۱- نمونه گیاه گوشاب شناور برداشت شده از مخزن سد میجران

نتیجه گیری کلی

۴- نتیجه گیری کلی و راهکارهای اجرایی

یکی از جنبه‌های مهم پیش‌بینی اثرات محیط زیستی احداث یک سد، پیش‌بینی کیفیت آب مخزن با گذشت زمان و مدیریت برداشت از آن در طول مدت بهره‌برداری است. به طور کلی، احداث سد با توجه به شرایط منطقه و مشخصات فیزیکی مخزن، باعث ایجاد تغییر در کیفیت آب آن و رودخانه پایین‌دست سد می‌شود. بروز فرآیندهایی نظیر لایه‌بندی حرارتی، تجمع شوری (ناشی از آب ورودی و بالا رفتن زمان ماند در مخزن سد) و تغذیه‌گرایی در مخازن از جمله مسائلی است که موجب افت شدید کیفیت آب، و عدم تأمین حد مطلوب کیفیت آب در مصارف مختلف می‌گردد. از آنجا که یکی از اهداف عمده احداث سدها تأمین آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت بوده است، کاهش کیفیت آب نارضایتی مصرف کنندگان و افزایش هزینه‌های تصفیه را به همراه خواهد داشت.

با توجه به لایه‌بندی آب در دریاچه‌ها و مخازن سدها و تاثیر این لایه‌بندی بر خصوصیات آب استحصالی از این منابع، مطالعات گوناگونی تا به حال در جهت بررسی و پیش بینی تغییرات پارامتر های کیفی آب این گونه منابع در فصول مختلف سال انجام گرفته است.

وجود لایه‌بندی حرارتی نسبتا پایدار باعث می گردد که خصوصیات کیفی آب (مانند رنگ، بو، طعم و ...) در لایه‌های مختلف مخزن بسیار متفاوت باشد. بر اساس نتایج، به دلیل وجود شرایط دمایی بالا و اختلاف دمای ده درجه ای لایه‌های بالا و پایین مخزن سدها، باعث تشکیل لایه‌بندی حرارتی در ماه‌های مرداد و شهریور شده است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که اعمال مدیریت کیفی آب مخزن سد طرق در فصل تابستان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این فصل آبگیری از دریچه‌های تراز ده متر کیفیت بهتری نسبت دریچه‌های پایین تر خواهد داشت. در این دوره آبگیری از بالاترین تراز به دلیل رشد جلبکی زیاد و از پایین ترین تراز به دلیل تجمع رسوبات و ایجاد شرایط بی هوازی توصیه نمی گردد. وجود جامدات معلق نه تنها باعث ایجاد جلوه ظاهری نامناسبی می‌گردد، بلکه در ایجاد اکسیژن‌خواهی و شرایط باکتریایی بالا نقش عمده‌ای دارد. حضور مواد جامد محلول در منابع طبیعی آب می‌تواند مشکلات جدی در کیفیت آب ایجاد کند. برخی از مواد شیمیایی محلول می‌توانند سمی بوده و اجزای آن‌ها سرطان‌زا باشند. pH آب، حضور گیاهان و جمعیت میکروارگانیسم‌ها از دیگر عواملی هستند که می‌توانند بر شرایط کیفی سدها موثر باشند.

با توجه ایجاد لایه بندی حرارتی در ماه های گرم سال به خصوص در سدهای البرز و شهیدرجایی ایجاد تونل‌های هوادهی در این دو سد توصیه می گردد. باتوجه به اینکه حاشیه سدها بستری بر گردش و تفریح مسافران می‌باشد و از طرف دیگر در روزهای تعطیل ماه های مرداد و شهریور تابستان تعداد زیادی از گردشگران روستاهای کناره سد را به عنوان مقصد گردشگری انتخاب می‌کنند. انتخاب روش‌های مناسب فرهنگی جهت توصیه به مسافران و دفع صحیح فضولات انسانی، ایجاد چاه‌های سپتیک، بهسازی مسیرهای رودخانه‌های تغذیه کننده سدها و لایروبی بستر رودخانه‌های ورودی توصیه می‌گردد.

گیاهان چند ساله آبزی و بر آمده از آب درصد بالایی از گونه‌ها را در اکوسیستم‌های آبی شامل می‌شوند. این امر نشانگر سازگاری بهتر این شکل زیستی در محیط آبی است. در میان گیاهان حاشیه‌ای و برآمده از آب این مناطق نیز بسته به میزان وابستگی گونه‌ها به محیط آبی، انواع چند ساله در نقاط نزدیک به آب بیشتر بوده و به تدریج با دوری از مناطق تحت تاثیر مستقیم آب و کاهش رطوبت بستر، انواع یکساله افزایش می‌یابند.

ورود گیاهان آبزی مهاجم به بسترهای آبی بسته یکی از معضلات بزرگی است که گریبانگیر بسیاری از کشورها شده است. گونه‌های غیربومی، به طور طبیعی در فون و فلور یک کشور وجود ندارند و تاریخ تکامل آن‌ها در منطقه دیگری سپری شده است. گستره جغرافیایی این گونه‌ها محدود است و بسیاری از آن‌ها به طور طبیعی قادر به گذشتن از موانع

جغرافیایی نیستند و انسان با جابجا کردن گونه‌ها در سراسر جهان این الگو را بر هم زده است. در برخی مواقع ورود گونه‌های گیاهی غیربومی به‌طور جدی منابع طبیعی محلی، تنوع زیستی، محیط اکولوژیکی و کشاورزی، جنگل‌ها، چراگاه‌ها و فراوری شیلات را تهدید می‌کنند و یک آسیب پایدار باقی می‌گذارد. اضافه شدن عوامل خارجی از جمله گیاهان آبزی مهاجم زمینه ساز رشد و تکثیر بیش ازحد فیتوپلانگتون، اختلال توازن زیستی و پدیده یوتریفیکاسیون یا تغذیه گرایی در محیط های آبی می‌شوند.

تا کنون دو گیاه هیدریلا و گوشاب شناور به عنوان گیاه مهاجم شناسایی شده است. *Hydrilla verticillata* (Lf) Royle، یک ماکروفیت آبزی جهان وطنی از تیره Hydrocharitaceae که زادگاه آن شامل استرالیا و بسیاری از جزایر اقیانوس آرام است که جمعیت‌های طبیعی آن اکنون در کشورهای زیادی در سراسر آسیا، اروپا و آفریقا وجود دارد (Buckingham GR, Bennett, 1998). این گیاه به عنوان گیاه آکواریومی در ایالات متحده معرفی شد اما بعد از مدتی وارد آب‌های طبیعی کشورهای مختلف شد و اکنون به عنوان یک علف هرز جدی شناخته می‌شود. کنترل علف هرز هیدریلا برای جلوگیری از کاهش گیاهان بومی ضروری است و در بیشتر ایالات‌های آمریکا، داشتن و یا حمل این گونه غیرقانونی است. این گیاه به سرعت رشد می کند، به راحتی گسترش می‌یابد و در رقابت با گیاهان بومی کاملا موفق است. این گیاه علاوه بر بذر با تکه تکه شدن نیز گسترش می‌یابد و هر قسمت کوچکی از گیاه توانایی تبدیل شدن به گیاه دیگر را دارد و در مناطق دارای تفریحات آبی، گیاهان به طور مداوم پس از تکه تکه شدن افزایش بسیار زیادی می‌یابد. در ابتدا گیاه هیدریلا به عنوان زیستگاه ماهی‌ها و حیوانات و رونق ماهی‌گیری، مثبت در نظر گرفته شد اما با گذشت زمان و کاهش سطح اکسیژن آب معضل بسیار زیادی را در محیط‌های رویش خود ایجاد نمود (Bianchini et al. 2010). در تحقیقی بررسی‌های کنترل بیولوژیکی آن با شپشک‌ها، مگس‌های گیاهی Ephydridae و پروانه‌های گیاهی Crambidae، بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ در هفت کشور چین، کشورهای جنوب شرقی آسیا و استرالیا بر روی ۴۲۵ جمعیت هیدریلا انجام شده است که نتایج مناسبی در بر نداشت (Purcell et al., 2019). پژوهش Sousa و همکاران ۲۰۱۰، بر روی توزیع و فراوانی دو گیاه بومی *Egeria najas* و مهاجم *Hydrilla verticillata* که در بین سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ وارد رودخانه Parana برزیل شده بود، نشان داد که در حالی که حداکثر زی‌توده *E. najas*، ۳۳۳ گرم وزن خشک در متر مربع و مقدار وزن *H. verticillata* حدود ۱۴۱۵ گرم وزن خشک در مترمربع بود و این مقدار در دوره کم‌آبی با تبخیر و دمای بالای آب به اوج خود رسید. پس از یک دوره سیل *E. najas* و *H. verticillata* عملاً همزمان تولید احیای خود را آغاز کردند اما *H. verticillata* دارای نرخ افزایش زیست توده بسیار بالاتری بود.

گیاه گوشاب شناور یا روغن‌واش با نام علمی *Potamogeton* sp. از جمله گیاهان علفی، چندساله، ریزوم دار و آبزی غرقاب، بدون غده با برگ های شناور است که در آب‌های شیرین تا لب شور مانند دریاچه‌های کم عمق، رودخانه‌های کم جریان، جویبارها، کانال‌ها، برکه‌های آب شیرین، اراضی آبگیر حاصل از زهکش (fenland drain) و شالیزارهای غرقابی برخوردار از بسترهای حاوی آهک به خوبی رشد می‌کند. این گیاه حتی در آب‌های صاف، فقیر از عناصر غذایی غیر آلوده، اکوسیستم‌های آبی غنی از مواد غذایی (eutrophic) و آب‌های مملو از گل و لای (turbid site) استقرار می‌یابد. گوشاب در سرتاسر نیمکره شمالی می‌روید درحالی که گروه‌های مختلفی از محققین مبدأ آن را اروپا (اسکاندیناوی، بخش‌های اروپایی روسیه و حوزه مدیترانه)، در آسیا (خاور میانه، قفقاز، مغولستان، شبه قاره هند، چین، ژاپن، فیلیپین) و آفریقا (آفریقای جنوبی و ماداگاسکار) دانسته‌اند. بسیاری از گونه‌های گوشاب دارای غدّه‌های روغن (oil gland) در محل بندهای ساقه هستند. این‌گونه غدّه‌ها به ویژه در انواعی که دارای برگ های بدون دُمبرگ هستند، فراوان‌ترند. غدّه ها به شکل مدوّر و به رنگ های سفید، طلایی تا سبز دیده می‌شوند. دریاچه کریستال در ایالت کنتیکت آمریکا در سال ۲۰۰۹ مورد تهاجم وسیع گیاه آبزی گوشاب مجعد با نام علمی *Potamogeton crispus* قرار گرفت. این گیاه آبزی مهاجم می‌تواند بقاء گونه‌های گیاهان آبزی بومی را به مخاطره اندازد. این گونه در ماه‌های مه تا ژوئن

(اردیبهشت تا خرداد) به شدت رشد می‌کند و به تولید جوانه‌های انتهایی متراکم یا توریون (turion) می‌پردازد و سپس سریعاً ناپدید می گردد. در آزمایشی، کاربرد علفکش دایکوآت دی بروماید با نام تجارتی ریوارد (Reward) در ماه آوریل (فروردین ماه و قبل از افزایش رشد گیاه) انجام پذیرفت تا از تولید توریون‌ها جلوگیری شود. ریوارد علفکشی تماسی و دارای بقایایی با تأثیرات کم دوام در محیط زیست است. ممانعت از تولید توریون‌ها سبب می‌گردد که گیاهان گوشاب کمتری در سال بعد سبز شوند. به علاوه گیاهان بومی که غالباً پس از آوریل سبز شوند، متحمل خسارات کمتری خواهند شد. علاوه بر استفاده از سم ریوارد در این طرح، لایه‌ای جداکننده (barrier) از نوع تجارتی limnobarrier از سطح تا کف دریاچه در اطراف محوطه رشد گوشاب ها قبل از تیمار ایجاد شد. نتایج نشان دادند که کاربرد زودهنگام علفکش ریوارد در ماه آوریل بر علیه گوشاب مهاجم در دریاچه کریستال باعث کنترل گیاه مذکور در همان سال شد امّا تأثیرات مثبتی در سال بعد نداشت. کاربرد متوالی علفکش ریوارد طی چندین سال در صورتی که تعداد توریون های بستر دریاچه کاهش پیدا کنند، به کنترل بادوام تری منجر خواهد شد. استفاده مداوم از لایه‌های جداکننده تقریباً غیر عملی بود و فقط در تیمارهای شیمیایی اوایل فصل رشد توانست اندکی از گونه‌های گیاهان آبزی بومی محافظت نماید. در صورت عدم استفاده از شیوه کنترل شیمیایی می‌توان از حذف مکانیکی سود جُست. همچنین از جمعیت گیاهان بومی در طی دورهٔ تیمار شیمیایی به میزان اندکی کاسته شد و این گیاهان بومی در سال های بعد بخوبی تجدید و ترمیم شدند. کاربرد علفکش استفاده شده هیچگونه تأثیری بر کیفیت شیمیایی و ذلالیت آب دریاچه نداشت.

منابع

توحیدی، ح. ر. ۱۳۷۷ . تحقیق در رابطه با عوامل موثر در تغییرات کیفی آب مخزن سد طرق و ارائه روشهای بهینه کردن آب دریاچه . کمیته تحقیقات کاربردی شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی (وزارت نیرو).

شرکت مدیریت منابع آب ایران،۱۳۹۱ .تغذیه گرایی مخازن سدها و راهکارهای مقابله. بخش محیط زیست و کیفیت منابع آب، وزارت نیرو، تهران. صفحه ۹.

فتحی، پ.، ۱۳۹۰، ارزیابی کیفیت آب تالاب جغاخور با استفاده از بزرگ بی‌مهرگان کفزی. پایان نامه کارشناسی ارشد، ۹۰ صفحه

Akbarzadeh A, Jamshidi S, Vakhshouri M (2015) Nutrient uptake rate and removal efficiency of *Vetiveria zizanioides* in contaminated waters. Pollution 1(1):1–8

Alberto WD, del Pilar DM, Valeria AM, Fabiana PS, Cecilia HA, de los Ángeles BM (2001) Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquía River Basin (Córdoba Argentina). Water Res 35(12):2881–2894

Alobaidy, A.H.M.J., Abid, H.S. and Maulood, B.K., 2010. Application of water quality index for assessment of Dokan Lake Ecosystem. Kurdistan Region, Iraq", Water Resource and Protection, 2: 792 -798.

Armengol J, Crespo M, Morgui JA, and Vidal A 1986. Phosphorus budget and forms of phosphoros in the Sau Reservoir sediment: an interpretion of the limnological record. Hydrobiologia. 143, 331-336

Asaeda T, Pham HS, Nimal Priyantha DG, Manatunge J, and Hocking GC, 2001. Control of algal blooms in reservoirs with a curtain: a numerical analysis. Ecological Eng.16(3):395-404.

Bales MJ, and Giorgino JD .1997. "Rhodhiss Lake, North Carolina: Analysis of Ambient Conditions and Simulation of Hydrodynamics, Constituent Transport, and WaterQuality Characteris-tics, 1993-94". U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 97- 4131

Balistrieri L, Tempel RN, Stillings L, and Shevenell L (2006) Modeling spatial and temporal variations in temperature and salinity during stratification and overturn in Dexter Pit Lake, Tuscarora, Nevada, USA. Applied Geochemistry. 21(7). 1184-1203

Bianchini I, Cunha-Santino MBD, Milan JAM, Rodrigues CJ and Dias JHP. 2010. Growth of *Hydrilla verticillata* (Lf) Royle under controlled conditions. Hydrobiologia, 644(1), pp.301-312.

Buckingham GR and Bennett CA. 1998. Host range studies with *Bagous affinis* (Coleoptera: Curculionidae), an Indian weevil that feeds on hydrilla tubers. Environmental Entomology, 27(2), pp.469-479.

Bugbee, Gregory J. 2009. Control of Potamogeton crispus and Myriophyllum spicatum in Crystal Lake, Middletown, CT – The Connecticut Agricultural Experiment Station; Bulletin 1028.

Carlson RE. 1977. A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography, 22(2):361–369..

Charkhabi AH and Sakizadeh M. 2006. Assessment of spatial variation of water quality parameters in the most polluted branch of the Anzali Wetland, Northern Iran. Polish Journal of Environmental Studies, 15(3).

Darko G, Ansah E, Faanu A, Azanu D (2017) Natural radioactivity and heavy metal distribution in reservoirs in Ghana. Pollution 3(2):225–241

Deus, R., Brito, D., Mateus, M., Kenov, I., Fornaro, A., Neves, R., Alves, CN., 2013 Impact evaluation of a pisciculture in the Tucurui reservoir (Para,Brazil) using a two-dimensional water quality model. Journal of Hydrology, 2013, 487: 1–12

Ding S, Chen M, Gong M, Fan X, Qin B, Xu H, Gao S, Jin Z, Tsang DCW, Zhang C (2018) Internal phosphorus loading from sediments causes seasonal nitrogen limitation for harmful algal blooms. Sci Total Environ 625(1):872–884

Ford DE, and Thornton, K.W. 1979. Time and length scales for the one-dimensional assumption and its relation to ecological models.Water Resources Res.,Vol. 15, pp113-120

Hamed, H.K., 2012. Qualitative Assessment and classification of aji chai river using water quality index (WQI). World J Fish Marine Sci, 4(1), pp.50-53.

Han P, Armengol J, Garcia CJ, Comerma M, Roura M, Dolz J, and Straskraba M (2000). The thermal structure of Sau Reservoir (NE: Spain): a simulation approach Ecological Modelling. 125(2-3), 109-122

Karami J, Alimohammadi A, Modabberi S (2012) Analysis of the spatiotemporal patterns of water pollution and source contribution using the MODIS sensor products and multivariate statistical techniques. Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 5(4):1243–1255

Karamouz M, Zahraie B, Araghi-Nejhad S, Shahsavari M, Torabi S (2001) An integrated approach to water resources development of the Tehran region in Iran. J Am Water Resour Assoc 37(5):1301–1311

Kazi TG, Afridi HI, Shah F, Arain SS, Brahman KD, Ali J, Arain MS (2016) Simultaneous determination of silver and other heavy metals in aquatic environment receiving wastewater from industrial area, applying an enrichment method. Arab J Chem 9(1):105–113

Korkanç SY, Kayıkç ı S, Korkanç M (2017) Evaluation of spatial and temporal water quality in the Akkaya dam watershed (Ni ğde, Turkey) and management implications. J Afr Earth Sci 129 (May 2017): 481–491

Kuo JT. Liu WC, Lin RT, Lung WS, Yang MD, Yang CP, Chu SC, 2003. Water quality modeling for the Feitsui Reservoir in northern Taiwan. Journal of the American Water Resources Association 39(3), 671- 687

Kuo, JT, Wu JH, Chu WS. 2006. Water quality simulation of Te-Chi Reservoir using twodimensional models. Water Science and Technology 30: (2), 63-72

Louise CB, Hamilton D, Imberger J, Gal G, Gophen M, Zohary T, and Hambright KD (2006). A numerical simulation of the role of zooplankton in C, N and P cycling in Lake Kinneret, Israel. Ecological Modelling. 93(3-4), 412-436.

Gal G, Imberger J, Zohary T, Antenucci J, Anis A, and Rosenberg T 2003. Simulating the thermal dynamics of Lake Kinneret. Ecological Modelling, 162(1-2): 69-86.

NSF water quality index 1970 data available at http://www.nsf.org/ consumer/earth_day/ wqi.asp.

Purcell M, Harms N, Grodowitz M, Zhang J, Ding J, Wheeler G, Zonneveld R. and de Chenon RD, 2019. Exploration for candidate biological control agents of the submerged aquatic weed *Hydrilla verticillata*, in Asia and Australia 1996–2013. BioControl, 64(3), pp.233-247.

Reynolds, CS 1992. Daynamics, selection and composition of phytoplankton in relation to vertical structure in lakes. Arch Hidrobiol. Beih Ergbn. Limnol. 35,13-31

Saadatpour M, Afshar A, Edinger JE (2017) Meta-model assisted 2d hydrodynamic and thermal simulation model (ce-qual w2) in deriving optimal reservoir operational strategy in selective withdrawal scheme. Water Resour Manag 31(9):2729 2744

Samantray P, Mishra B K, Panda C R. and Rout SP. 2009. Assessment of Water Quality Index in Mahanadi and Atharabanki Rivers and Taldanda Canal in Paradip Area, India. Journal of Human Ecology, 26(3): 153-161

Sánchez E , Colmenarejo M, Vicente J, Rubio A , García M, Travieso L and Borja R, 2007. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. Journal of Ecological Indicators, 7(2) : 315 – 328

Shen Q, Zhou Q, Shang J, Shao S, Zhang L. and Fan C. 2014. Beyond hypoxia: occurrence and characteristics of black blooms due to the decomposition of the submerged plant Potamogeton crispus in a shallow lake. Journal of Environmental Sciences, 26(2), pp.281-288.

Shrestha S, Kazama F (2007) Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji river basin, Japan. Environ Model Softw 22(4):464–475

Sousa WTZ, Thomaz SM and Murphy KJ, 2010. Response of native *Egeria najas* Planch. and invasive *Hydrilla verticillata* (Lf) Royle to altered hydroecological regime in a subtropical river. Aquatic Botany, 92(1), pp.40-48

Strobl RO, Robillard PD (2008) Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: a review. J Environ Manag 87(4):639–64

WQRRSR. (2009). Guidelines for water quality studies of large dam reservoirs, No. 313a

Yang and Li. 2012. Prediction of water temperature in stratified reservoir and effects on downstream irrigation area, Wuhan University, China Physics and Chemistry of the Earth, Volume 53: 38-42

Yisa J and Jimoh T. 2010. Analytical studies on water quality index of river Landzu. American journal of Applied sciences, 7(4), p.453.

.