بررسی روابط پارامترهای اکولوژیکی و تعیین شاخص های کیفیت آب سد مخزنی شهید رجایی (مازندران–ساری)

حسن نصراله زاده ساروی[1*]، آسیه مخلوق[1]، فریبا واحدی[1]، مرضیه رضایی[1]

*hnsaravi@gmail.com

پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، صندوق پستی ۹۶۱، مازندران، ساری

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۹۴

چکیده

سد مخزنی شهیدرجایی (مازندران-ساری) برای اهداف مختلف از جمله تامین آب شرب احداث شده است. این مقاله در نظر دارد که ارتباط بین تعدادی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی با ترکیب و تراکم فیتوپلانکتون، کلروفیل a و شاخص های کیفیت آب (تروفیکی، ساپروبی، شانون) این سد را با آزمون های آماری، مورد بررسی قرار دهد. نمونه برداری از ۴ ایستگاه (در نواحی رودخانه ای، میانی و دریاچه ای) در مخزن سد طی شش ماه در سال ۱۳۹۱ انجام پذیرفت. بر اساس نتایج، حداکثر غلظت نیتروژن معدنی محلول، کلروفیل a، تراکم فیتوپلانکتون، شاخص های تروفیکی و ساپروبی و حداقل میزان از شاخص تنوع گونه ای (شانون) در ماه مرداد بوده است. آزمون همبستگی پیرسون را بطه مستقیمی بین تراکم های *Goniaulax digitale* و *Goniaulax polyedra* و شاخص تروفیکی را نشان داد، به بیان دیگر افزایش تراکم گونه های فوق کاهش کیفیت آب را سبب گردیدند. بر اساس آزمون مولفه اصلی، شاخص های شانون و ساپروبی با تراکم *Cyclotella meneghiniana* به ترتیب دارای روابط منفی و مثبت بوده که بیانگر ارتباط این گونه با کاهش کیفیت آب است. ضمن آنکه قرار گرفتن آ نها در مولفه اول از نتایج آزمون مولفه اصلی بیانگر اهمیت گونه و دو شاخص زیستی فوق در تعیین کیفیت آب در این سد بوده است.

لغات کلیدی : پارامترهای محیطی، فیتوپلانکتون، شاخص های کیفیت آب، سد شهید رجایی، مازندران

*نویسنده مسئول

مقدمه

محدودیت منابع آب در کره ی زمین از یک سو و افـزایش روزافزون جمعیت، بالا رفتن استانداردهای زندگی، صنعتی شدن جوامع انسانی و به تبع آن نیاز روز افـزون بـه آب از سوی دیگر، احداث سـد هـا را بـه عنـوان راهکـاری بـرای تامین آب شرب و کشاورزی ضروری نموده است. امـا بایـد دانست که این راهکارتغییرات وسیعی را نیز در اکوسیستم رودخانه ها سبب گردیده و بخش وسـیعی از آب رودخانـه که قبلا" شرایط اکوسیسـتم هـای جـاری را داشـته و بـه اکوسیستم ساکن تبدیل نموده و به دنبال آن انسان ها نیز با اعمال مدیریت بر آن به شدت بر ساختار رودخانـه هـای پایین دست سد تاثیر گذاشته اند (استکی، ۱۳۸۲).

سد مخزنی شهیدرجایی به ارتفـاع ۱۳۸ متـر بـر روی رودخانه ی تجن (حوضه آبریز دریای خزر) احداث گردیده است (Mivehchi *et al.*, 2003). مساحت دریاچه پشـت سد تقریبا" ۵۲۰ هکتار و حجم کل مخـزن ۱۶۰ میلیـون متر مکعب برآورد شده است. این سد بـه منظـور مـدیریت آب در طول سال، کنترل سیل و نیز آب مـورد نیـاز بـرای مصارف کشاورزی منطقه از سال ۱۳۷۷ مورد بهره بـرداری قـرار گرفتـه اسـت و بـزودی بعنـوان منبـع آب شـرب شهرستان ساری (مازندران) نیز مورد استفاده قرار خواهـد گرفت.

در تعیین کیفیت آب علاوه بر خصوصـیات منطقـه ای، لازم است که عوامل زنده وغیرزنده پیکـره آبـی نیـز مـورد توجـه قـرار گیـرد(Jabbari and Boustani, 2011). احتمـال وقـوع پرغـذایی (Eutrophication) و شـکوفایی جلبکی در سدها سه برابر رودخانه ها و ۱/۵ برابـر دریاچـه ها اسـت (Chapman, 1996). شـکوفایی جلبکـی بـدلیل کاهش اکسیژن محلول بر ساختار بیولوژیـک و اکولوژیـک اکوسیستم آبی اثر نامطلوب می گذارد. همچنـین گونـه ی یا گونه های تشکیل دهنده ی این شکوفایی ممکـن اسـت بیوتوکسین تولید کند که حتی با تصفیه نمودن آب، نمـی توان آنها را دفـع کـرد (Chorus and Bartram, 1999) که سبب بیماری و یا مرگ و میر موجودات آبزی و یـا هـر موجود دیگری استفاده کننـده از آب آلـوده گـردد (Sze, 1998). مسمومیت و بیماری های ناشـی از آب آلـوده بـه سم جلبکی از قبیل مرگ دام، ظهور علائمی نظیر سردرد، درد عضلانی و پیچش های شکمی، تهوع، اسهال، گلـودرد و تاول در محل لب ها در افراد بر اثـر شـنا کـردن و قـایق سـواری در آب، ازکشـورهای مختلـف: کانـادا (۱۹۵۹)، انگلستان (۱۹۸۹) و برزیـل (۱۹۷۷) گـزارش شـده اسـت. ضمن آن که در کالیفرنیا (۱۹۹۲) افزایش *Oscillatoria* spp. و ایجاد بو و مزه نامطبوع در دریاچه ی تامین کننده آب آشامیدنی برای چند سال متوالی مردم منطقه را دچار دچار مشکل نمود. در این دریاچه استفاده از سولفات مـس در هر بار افزایش جلبکی منجر به جایگزینی گونه فـوق بـا گونه های مقاوم به سولفات مس نظیر *Phormidium* sp. گردید (Chorus, and Bartram, 1999).

- سد گیلارلو یکی از مهم ترین منابع آب شرب شهر گرمی (استان اردبیل)، به علت داشتن کیفیت نامطلوب، موجب بروز مشکل طعم و بو در آب شهر گردیده است. بررسی ها نشان داد که مهم ترین منابع آلاینده تاثیر گذار بر کیفیت آب، فاضلاب های انسانی، کشاورزی و اثرات زمین شناسی می باشند. مخزن از نظر تغذیه گرایی در مرداد ماه در وضعیت مزو-یوتروفیک قرار داشته و در مهرماه به وضعیت کاملا یوتروفیک تبدیل شده و در طول ماه های بعدی در این وضعیت تثبیت گردیده است. اغتشاشات ناشی از به هم خوردن سیستم لایه بندی دمایی علت اصلی کاهش کیفیت آب دریاچه بوده که علاوه بر بالا آوردن محتویات بستر دریاچه و افزایش غلظت انواع آلاینده ها، شرایط را برای رشد فزاینده جلبک ها و تسریع پدیده تغذیه گرایی فراهم نموده است (عالی شاملو و همکاران، ۱۳۸۳).

- کیفیت آب دریاچه سد دز (استان خوزستان) با استفاده از شاخص کیفیت آب NSF با اندازه گیری نیترات، فسفات، pH, TDS, BOD، کدورت کلیفرم مدفوعی، دما و اکسیژن محلول مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین شاخص کیفیت آب با میزان ۸۹ برای ایستگاه ۱ در بهمن ماه و کمترین آن برای ایستگاه ۱ در مرداد ماه با میزان ۷۵ به دست آمد و بر اساس نتایج شاخص NSFWQI، کیفیت آب دریاچه سد دز برای استفاده های مختلف مناسب است (عصار و همکاران، ۱۳۹۲).

- محاسبه شاخص کیفیت آب با استفاده از سیستم محاسبه شاخص بنیاد ملی بهداشت (NSF) در سد

آیدغموش (استان آذربایجان) نشان داد که کیفیت آب خوب بوده و برای استفاده‌های مختلف مناسب می باشد (شکوهی و همکاران، ۱۳۹۰).

-در مخزن سد شهید رجایی در اکثر فصول سال غلظت اکسیژن محلول در لایه های سطحی بیش از ۵ میلی گرم بر لیتر است که این مقدار در لایه های زیرین با اندکی کاهش روبرو می شود. مدل سازی تغییرات اکسیژن محلول و درجه حرارت آب از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ بیانگر لایه بندی حرارتی و اکسیژنی در مخزن سد در فصل گرما بوده است (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۲).

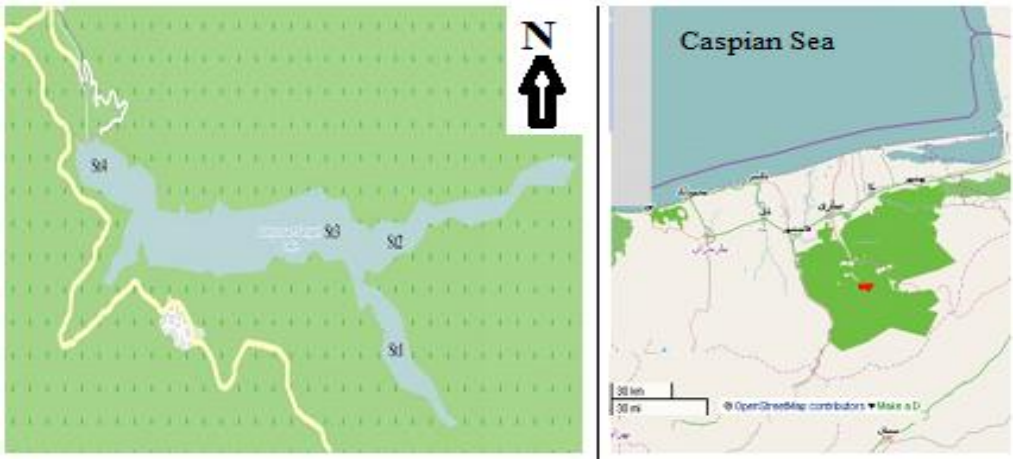
به منظور پیشگیری از خطرات تهدید کننده ی سلامتی و خسارات اقتصادی و انسانی ناشی از آن، لازم است که آب قبل از ارائه به مردم تعیین کیفیت گردند. لذا بر اساس دستورالعمل های ارائه شده در بسیاری از کشورهای توسعه یافته، انجام مطالعات پایشی به منظور تهیه سابقه اطلاعاتی از ترکیب ساختاری و جمعیت جلبک و عوامل موثر و مرتبط با رشد و تکثیر جلبک (اکسیژن، درجه حرارت آب، شفافیت آب، مواد مغذی، کلروفیل-a)، تعیین سطح تروفیکی و پتانسیل سمیت و شکوفایی در ارتباط با جلبک ها بر برنامه نگهداری و مدیریت منابع آبی بخصوص منابع آب شرب ضروری تشخیص داده شد (Nather khan, 1991;Yap, 1997; Wu *et al.*, 2005; Yeng, 2006). علاوه بر بهداشت و سلامت جوامع انسانی و تاسیسات تصفیه آب، بدلیل نقش منفی افزایش رشد جلبک بر کیفیت آب پشت سد، فعالیت های اقتصادی منطقه از قبیل گردشگری، دامداری محلی و پرورش ماهی نیز دچار اختلال می گردد.

با وجود اهمیت استراتژیک سد شهید رجایی در منطقه و ضرورت مطالعات اکولوژیکی جامع، هنوز اطلاعات منتشر شده ای در سد شهید رجایی از بررسی های همزمان پارامترهای فیزیکوشیمیایی و جلبک در دسترس نمی باشد و انجام مستمر این نوع مطالعات مانند سایر سدهای کشور، در دستور کار مدیریت و نگاهداری سدهای استان قرار نگرفت. لذا مقاله حاضر در نظر دارد که پس از ارائه نتایج تعدادی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی، ترکیب و تراکم فیتوپلانکتون وکلروفیل a، تغییرات شاخص های کیفیت آب (تروفیکی، ساپروبی، شانون) را بررسی نموده و سپس به منظور شناخت اکوسیستم، ارتباط این فاکتورها را از طریق آزمون های آماری یک و چند متغیره مورد مطالعه قرار دهد.

مواد و روش کار

منطقه مورد مطالعه

سد مخزنی شهید رجایی (سد تجن ساری) بر روی رودخانه دودانگه در محلی به نام سلیمان تنگه واقع در ۴۱ کیلومتری جنوب شهر ساری در ارتفاعات البرز شمالی احداث و دو سر شاخه سفیدرود و شیرین رود به دریاچه پشت سد شهید رجایی وارد می گردد. نمونه برداری از آب لایه سطحی، در سال ۱۳۹۱ و در ۴ ایستگاه انجام و شکل ۱ مکان ایستگاهها و جدول ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاهها را نشان می دهد. این چهار ایستگاه نواحی رودخانه ای (ایستگاهای ۱ و۲)، میانی (ایستگاه ۳) و دریاچه ای (ایستگاه ۴) را پوشش داده است. نمونه برداری در فصول بهار(خرداد)، پاییز (آبان) و زمستان (بهمن) بصورت فصلی و در فصل تابستان به علت احتمال وقوع شکوفایی جلبکی بصورت ماهانه صورت گرفت.



شکل ۱: موقعیت ایستگاههای نمونه برداری در سد شهید رجایی (مازندران- ساری، سال ۱۳۹۱)

جدول۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه های نمونه برداری در سد شهید رجایی (مازندران- ساری، سال ۱۳۹۱)

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
ورودی شیرین رود به مخزن	۳۱،۱۳،۳۶	۵۳،۱۷،۱۲
ورودی سفید رود به مخزن	۵۲،۱۴،۳۶	۵۳،۱۸،۱۷
تلاقی سفیدرود و شیرین رود در مخزن	۲۸،۱۴،۳۶	۵۳،۱۶،۱۱
نزدیک به تاج سد	۳۹،۱۴،۳۶	۵۳،۱۴،۱۴

روش های اندازه گیری

دمای آب با استفاده از دماسنج جیوه ای, اندازه گیری اکسیژن محلول و BOD5 به روش وینکلر و تعیین COD به روش رفلاکس بسته صورت پذیرفت (APHA, 2005). فسفات به روش مولیبدات, نیتریت و نیترات به روش ستون کاهشی و نفتیل سولفانید و آمونیم به روش ایندوفنل (با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر CECEIL (مدل CE1020 انگلیسی) اندازه گیری گردید (Sapozhnikov *et al*., 1988; APHA, 2005). شفافیت با استفاده از صفحه دایره ای شی سی دیسک و کلروفیلa نیز بوسیله استون استخراج و میزان جذب آن در طول موج های مختلف با اسپکتروفوتومتر قرائت شد (APHA, 2005). محاسبه وضعیت تروفی با استفاده از شاخص تروفی کارلسون اصلاح شده (TSI) انجام شد (Sigua *et al*., 2006).

حجمی معادل ۵۰۰ سی سی از آب لایه سطحی بصورت مستقیم توسط بطری جمع آوری گردید و با فرمالین تا حجم نهایی ۲-۰/۵ درصد تثبیت گردید و سپس در آزمایشگاه (پژوهشکده اکولوژی دریای خزر) پس از مراحل آماده سازی (سیفون کردن و سانتریفوژ)، بررسی های کیفی و کمی (Wetzel and Likens, ; APHA, 2005 2000)، شناسایی گونه ای و برآورد تراکم فیتوپلانکتون صورت پذیرفت (Thomas, Wehr and Sheath, 2003; Habit and ; Hartley *et al*., 1996; 1997 Pankow,1976).

داده های مربوط به میزان بارندگی و حجم آب در دریاچه پشت سد از واحد مستقر در محل سد (مدیریت سد) دریافت گردید.

روش تجزیه تحلیل داده ها

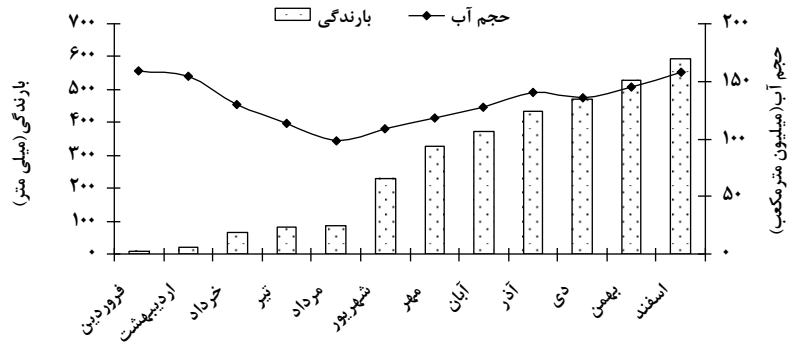
در این مطالعه دو گروه از متغیرها یعنی متغیر های مستقل (ایستگاه، ماه) و متغیرهای وابسته (کلیه پارامترهای زیستی و غیرزیستی) در نظر گرفته شدند (Bluman, 1998). داده ها بر اساس یکی از فرایند های لگاریتم طبیعی و یا رتبه بندی انتقال داده و سپس با رسم نمودار Q-Q و آزمون شاپیرو-ویلک نرمال بودن آن تایید گردید(Siapatis *et al*., 2008).

برای تجزیه و تحلیل آماری از آزمون های پارامتریک بر روی داده های نرمال شده استفاده گردید. بر روی داده های انتقال یافته و نرمال آزمون های پارامتریک (T-test, ANOVA) و در صورت لزوم آزمون های تکمیلی دانکن (Dunkan) انجام شد. در ضمن آزمون های آماری در سطح ۵ و ۱ درصد صورت گرفت (Bluman, 1998 ;نصیری ،۱۳۸۸). آزمون همبستگی (Pearson Correlation) نیز برای تعیین ارتباط بین پارامترها و شاخص های مختلف استفاده گردید. علاوه بر آنالیز واریانس یک متغیره (Monovariate)، از روش ریاضی برای تقلیل داده ها یعنی آنالیز چند متغیره (Multivariate) (آزمون مولفه اصلی ،PCA[1]) نیز استفاده شده است (Simeonov *et al.*, 2001). ثبت اطلاعات و کلاسه بندی داده ها در نرم افزار Excel, 2010, 2003 و تجزیه و تحلیل داده ها در برنامه های آماری SPSS نسخه ۱۱/۵ استفاده گردید. در ضمن میانگین ها به همراه خطای استاندارد (Mean±SE) آورده شده است.

نتایج

تغییرات ماهانه بارندگی تجمعی و حجم آب را در مخزن سد (دریاچه) در نمودار ۱ نشان داده شده است. با مقایسه حجم کل مخزن سد (در منابع مختلف از ۱۶۲ تا ۱۶۷ میلیون مترمکعب برآورد شده است) و حجم آب ذخیره شده در دریاچه در ماه های فروردین و اردیبهشت (۱۵۹ و ۱۵۴ میلیون مترمکعب) مشخص است که بیش از ۹۵ درصد از حجم مخزن سد آبگیری شده بود. این امر تحت تاثیر بارندگی های فراوان در زمستان سال ۱۳۹۰ روی داد بطوری که سرریز آب از تاج سد نیز در فروردین ۱۳۹۱ صورت پذیرفت. با توجه به نیازآبی کشاورزان در ۶ ماهه نخست سال، حجم آب به تدریج کاهش یافت تا آنکه در ماه های مرداد و شهریور به حداقل میزان یعنی (۹۸ و ۱۰۹ میلیون مترمکعب) رسید. به این ترتیب با وجود بارندگی های ناچیز در ماه های فصل بهار عمق آب در ماه های مرداد و شهریور (با مقایسه حداکثر میزان آن در فروردین و اردیبهشت) به حداقل میزان خود یعنی حدود ۸۵ و ۹۴ متر رسید. در شش ماهه دوم یعنی از مهر تا بهمن با توجه به کاهش نیاز مصارف کشاورزی و افزایش بارندگی، حجم آب و میزان بارندگی افزایش تا آن که در اسفند ماه به ترتیب به ۱۵۸ میلیون مترمکعب و ۵۹۳ میلی متر رسید.

[1] Principal Component Analysis



نمودار۱: تغییرات ماهانه بارندگی تجمعی و حجم آب در دریاچه پشت سد شهید رجایی در سال ۱۳۹۱

حداکثر و حداقل میانگین دمای آب به ترتیب در ماه های مرداد (۲۷/۰۰ °C) و بهمن (۸/۸۰°C) بدست آمد (جدول ۱). میانگین اکسیژن محلول در تیر ماه (۱۲/۹۶ میلی گرم درلیتر) حداکثر بوده است. حداقل مقدار BOD5 (۱/۷۲ میلی گرم در لیتر) نیز در خرداد و آبان مشاهده شد. تغییرات مواد مغذی به نحوی بود که حداکثر DIN در تیر ماه بدست آمد. حداکثر میانگین غلظت کلروفیل a در تیر ماه (۸۰/۴۰ میلی گرم در مترمکعب) که اختلاف زیادی با سایر ماه ها نشان داد. بر اساس اعداد بدست آمده حداقل سطح تروفیکی در ماه های شهریور و بهمن ماه (اولیگو تروف) بوده و حداکثر آن (یوتروف) در ماه های مرداد و شهریور بوده است (جدول ۱). همه ی پارامترهای آورده شده در جدول ۱ اختلاف معنی داری را بین ماه های نمونه برداری نشان دادند (ANOVA, $p<0/05$).

جدول ۱: میانگین (±خطای معیار) پارامترهای محیطی و مواد مغذی در ماه های مختلف در آب سد شهید رجائی(ساری، مازندران- ۱۳۹۱)

	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	آبان	بهمن
دمای آب(°C)	۲۳/۷۵±۰/۲۵	۲۶/۱۳±۰/۱۳	۲۷/۰۰±۰/۰۰	۲۴/۰۰±۰/۱۰	۱۸/۴۵±۰/۴۹	۸/۸۰±۰/۴۱
DO (mg/l)	۱۱/۵۲±۰/۴۵	۱۲/۹۶±۰/۶۶	۹/۹۶±۱/۲۵	۱۰/۳۲±۰/۲۳	۸/۸۴±۰/۴۱	۹/۳۲±۰/۴۲
BOD5 (mg/l)	۱/۷۲±۰/۴۸	۴/۸۴±۰/۷۵	۴/۱۶±۰/۸۵	۳/۵۶±۰/۶۶	۱/۷۲±۰/۱۵	۵<
COD (mg/l)	۴/۵۰±۰/۹۲	۹/۵۵±۰/۳۹	۹/۲۸±۱/۱۷	۷/۰۰±۲/۲۲	۳/۰۳±۰/۳۱	۱/۸۸±۰/۲۱
pH	۸/۳۲±۰/۰۵	۸/۸۰±۰/۰۴	۸/۴۷±۰/۰۲	۸/۳۰±۰/۰۴	۸/۸۷±۰/۰۱	۸/۵۱±۰/۰۸
$PO4^{3-}$(mg/l)	۰/۰۲±۰/۰۰	۰/۰۳±۰/۰۱	۰/۰۴±۰/۰۰	۰/۰۵±۰/۰۰	۰/۰۷±۰/۰۰	۰/۰۸±۰/۰۰
$NO2^{-}$ (mg/l)	۰/۰۳±۰/۰۰	<۰/۰۱	۰/۰۲±۰/۰۰	۰/۰۱±۰/۰۰	۰/۰۱±۰/۰۰	۰/۰۱±۰/۰۰
$NH4^{+}$(mg/l)	۰/۰۷±۰/۰۱	۰/۰۵±۰/۰۰	۰/۰۳±۰/۰۰	۰/۰۳±۰/۰۰	۰/۰۲±۰/۰۰	۰/۰۲±۰/۰۱
$NO3^{-}$(mg/l)	۰/۸۴±۰/۰۳	۰/۰۳±۰/۰۵	۰/۷۲±۰/۰۶	۰/۶۱±۰/۰۱	۰/۶۵±۰/۰۴	۰/۶۹±۰/۰۲
DIN (mg/l)	۰/۹۴±۰/۰۳	۱/۰۹±۰/۰۵	۰/۷۷±۰/۰۶	۰/۶۵±۰/۰۱	۰/۶۷±۰/۰۵	۰/۷۲±۰/۰۲
N/P (Mass)	۶۰/۰۰±۱۲/۲۶	۳۶/۰۰±۵/۸۵	۱۷/۰۰±۰/۵۸	۱۲/۵۰±۰/۶۵	۹/۷۵±۰/۸۵	۸/۵۰±۰/۲۹
Chl a(mg/m^3)	۶/۴۴±۲/۱۶	۸۱/۴۰±۲۷/۸۸	۴/۹۰±۱/۵۱	۴/۳۵±۰/۳۹	۸/۳۲±۳/۱۶	۲/۶۱±۰/۱۳
شاخص تروفیکی	۴۸	۶۵	۶۵	۵۳	۴۷	۳۷
	مزوتروف	یوتروف	یوتروف	یوتروف	مزوتروف	اولیگوتروف

در طی دوره مطالعاتی در مخزن سد مجموعا" ۱۰۷ گونه فیتوپلانکتون شناسایی گردید که بیشترین تعداد گونه ها درکلروفیتا (Chlorophyta) (۲۸ گونه) و باسیلاریوفیتا (Bacillariophyta) (۲۷ گونه) قرار گرفت. پیروفیتا (Pyrrophyta) و یوگلنافیتا (Euglenophyta) نیز به ترتیب دارای ۲۳ و ۱۰ گونه بوده اند اما سه شاخه ی کریزوفیتا (Chrysophyta)، زانتوفیتا (Xantophyta) و کریپتوفیتا (Chryptophyta) تنها شامل ۳-۱ گونه بوده اند.

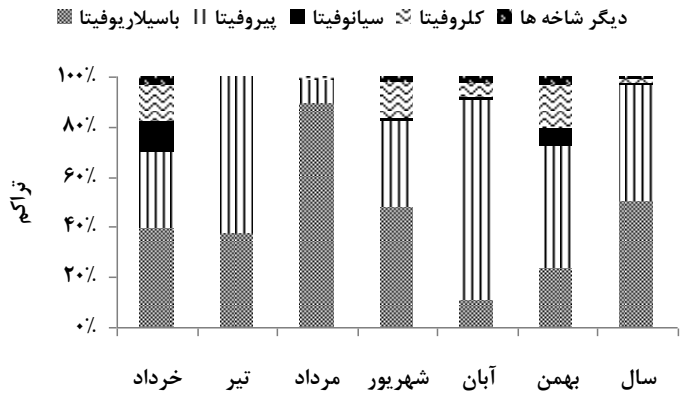
جدول ۲: تغییرات شاخص های زیستی (شاخص شانون و ساپروبی) و میانگین تراکم فیتوپلانکتون (میلیون در مترمکعب) در آب سد شهیدرجایی (ساری، مازندران- ۱۳۹۱)

ماه	میانگین تراکم (±SE)	شاخص شانون	شاخص ساپروبی
خرداد	۳۱(±۸)	۲/۸۰	۱/۹۳
تیر	۶۶۱(±۲۸۶)	۱/۱۲	۲/۰۴
مرداد	۳۰۸(±۱۳۰)	۰/۵۸	۲/۲۸
شهریور	۴۳(±۱۱)	۲/۲۴	۲/۰۵
آبان	۷۰(±۲۹)	۱/۶۸	۱/۹۹
بهمن	۱۰(±۲)	۲/۷۷	۱/۹۳

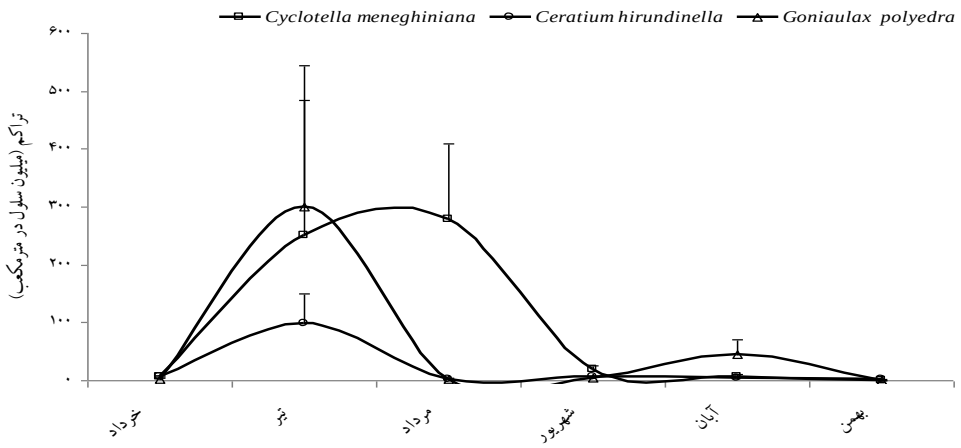
حداکثر و حداقل میانگین تراکم در تیر و بهمن ماه به ترتیب به میزان ۶۶۱ (±۲۸۶) و ۱۰ (±۲) میلیون سلول در مترمکعب دیده شد (جدول ۲). نتایج ANOVA بیانگر اختلاف معنا دار تغییرات تراکم بین ماه های مختلف بوده است ($p<0/05$).

بررسی درصد تراکم شاخه های مختلف فیتوپلانکتون نسبت به فیتوپلانکتون کل (نمودار ۲) نشان داد که باسیلاریوفیتا و پیروفیتا بیش از ۹۵ درصد از فیتوپلانکتون را تشکیل دادند. درصد تراکم باسیلاریوفیتا با اندکی تفاوت بیش از پیروفیتا بود. تنوع گونه ای درکلروفیتا (۲۸ گونه) با آنکه به باسیلاریوفیتا (۲۷ گونه) و پیروفیتا (۲۳ گونه) نزدیک بود ولی تراکم آن تنها ۲/۳ درصد از فیتوپلانکتون را دارا بوده است. شاخه سیانوفیتا با آنکه از تنوع گونه ای نسبتا" خوبی (۱۵ گونه) برخوردار بود اما همانند شاخه ها ی یوگلنوفیتا، کریزوفیتا، زانتوفیتا و کریپتوفیتا سهم چندانی در ایجاد تراکم فیتوپلانکتون نداشته است. بر اساس نتایج ANOVA اختلاف معنا داری را بین مقادیر ماهانه تغییرات تراکم شاخه های غالب (باسیلاریوفیتا و پیروفیتا) نشان داد ($p<0.05$).

در مجموع ۱۱ گونه فیتوپلانکتون در ترکیب گونه های غالب در مخزن سد نقش داشته اند (جدول ۳) و در بین آنها گونه های *Cyclotella meneghiniana*، *Goniaulax polyedra* و *Ceratium hirundinella* حدود ۷۰ درصد از تراکم را شامل شدند. در تیر ماه هر سه گونه فوق دارای تراکم بالایی بودند در حالی که در شهریور ماه هر سه گونه سیر کاهشی نشان دادند (نمودار ۳). نتایج ANOVA نشان داد که تغییرات ماهانه تراکم *Cyclotella meneghiniana* و *Goniaulax polyedra* دارای اختلاف معنا دار بوده است ($p<0.05$) در حالی که این آزمون بر تراکم *Ceratium hirundinella* اختلاف معنا دار نشان نداد ($p>0.05$).



نمودار ۲: تغییرات ماهانه درصد تراکم شاخه های مختلف فیتوپلانکتون درآب سد شهیدرجایی (ساری، مازندران- ۱۳۹۱)



نمودار ۳: میانگین ماهانه به همراه خطای معیار (±SE) سه گونه غالب درآب سد شهیدرجایی (ساری، مازندران- ۱۳۹۱)

مقایسه مقادیر ماهانه شاخص تنوع گونه ای (شانون) نشان می دهد که ماه های خرداد و بهمن نسبت به ماه های دیگر از شاخص شانون بالاتری برخوردار بودند در حالی که در مرداد ماه این شاخص به کم ترین میزان خود (۰/۵۸) رسید. تغییرات این شاخص در بین ماه ها معنا دار بوده است ($p<0/05$). میزان آلودگی با مواد آلی براساس عدد ساپروبی در همه ماه ها بجز مرداد در سطح ß-مزو ساپروبیک (آلودگی متوسط با مواد آلی) قرار گرفت. در مرداد ماه درجه آلودگی در کلاس α-mesosaprobic تا ß–mesosaprobic (حد بحرانی آلودگی) طبقه بندی شد (جدول ۲).

جدول ۳- آزمون همبستگی پیرسون بین فیتوپلانکتون، برخی پارامترهای غیرزیستی و شاخص های بیولوژیکی در مخزن سد شهید رجایی (ساری، مازندران- ۱۳۹۱)

پارامتر	دمای آب	حجم آب مخزن	DO	BOD	COD	فسفر معدنی	نیتریت	آمونیوم	نیترات	نیتروژن معدنی	N/P	pH	کلروفیل	شاخص شانون	شاخص ساپروبی	شاخص تروفیکی	بارندگی تجمعی	حجم آب مخزن
فیتوپلانکتون کل	۰/۴۷	-۰/۴۲	۰/۷۱	۰/۷	۰/۵۷								۰/۸۸	-۰/۵۴		۰/۶۱		-۰/۴۲
باسیلاریوفیتا	۰/۵۹	-۰/۶۲	۰/۵۴	۰/۸	۰/۶۹								۰/۵۲	-۰/۵۴	۰/۵۲			-۰/۶۲
پیروفیتا			۰/۵۹	۰/۵									۰/۹	-۰/۵۱		۰/۴۴		
سیانوفیتا		۰/۴۷												۰/۴۶				۰/۴۷
کلروفیتا																-۰/۴۱		
Cyclotella meneghiniana				۰/۶۳	۰/۵۰				۰/۴۱				۰/۵۴					
Fragilaria sp.	-۰/۶۹	۰/۷۶		۰/۴۷		۰/۴۷											۰/۵۷	۰/۷۶
Navicula sp.							۰/۵۳	۰/۴۸						۰/۴۵				
Ceratium hirundinella				۰/۴۶					۰/۶۷	۰/۵۷			۰/۶۸					
Goniaulax digitale													۰/۶۴			۰/۵۵		
Goniaulax polyedra																۰/۶۵		
Goniaulaxs pinifera																		
Gloeocapsa sp.						-۰/۵۶	۰/۷۹	۰/۷۸			۰/۷۸		۰/۴۷					
Scenede smuchijuga										-۰/۴۲								
Schroede riacetigera																		
Oocystis parva							۰/۴۱	۰/۵۷		۰/۴۱	۰/۷۹					-۰/۴۱		
شاخص ساپروبی	۰/۵۴	-۰/۴۷		۰/۴۲	۰/۴۵												۰/۴۴	-۰/۴۷
شاخص شانون	-۰/۴۶			-۰/۵۴	-۰/۵۶							۰/۵۴	-۰/۴۷		-۰/۴۱	-۰/۵		
شاخص تروفیکی			۰/۴۹						۰/۴۳									
کلروفیل			۰/۶۰	۰/۵۱					۰/۶۹	۰/۵۷		۰/۴۸						
دمای آب		-۰/۹۲	۰/۴۳	۰/۷۶	۰/۷۰	۰/۷۶		۰/۴۷		۰/۴۵	۰/۳۹						۰/۹۴	-۰/۹۲
DO	۰/۴		۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۵۴	-۰/۵۰		۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۷۳	۰/۴۷		۰/۶۰				۰/۵۶	
BOD	۰/۷۶	-۰/۶۷	۰/۶۰		۰/۹۰	-۰/۳۸			۰/۴۷	۰/۴۴			۰/۵۱				۰/۶۶	-۰/۶۷
COD	۰/۷۱	-۰/۵۵	۰/۵۴	۰/۹۰		-۰/۴۱			۰/۴۵	۰/۴۳			۰/۴۰				۰/۶۶	-۰/۵۵
pH							-۰/۶۱						۰/۴۸					
فسفر معدنی	-۰/۷۶	۰/۶۳	-۰/۵۰		-۰/۴۰		۰/۵۷	-۰/۷۸	-۰/۵۲	-۰/۶۸	-۰/۸۳						۰/۹۰	۰/۶۳
نیتریت						-۰/۵۷		۰/۶۸		۰/۳۹	۰/۶۲	-۰/۶۱					۰/۴۶	
نیترات			۰/۶۸	۰/۴۷	۰/۴۵	-۰/۵۲		۰/۶۰		۰/۹۵	۰/۵۲		۰/۶۹				۰/۵۵	
آمونیوم	۰/۴۷		۰/۶۳			-۰/۷۸	۰/۶۸		۰/۶۰	۰/۸۲	۰/۸۴						۰/۶۸	
نیتروژن معدنی	۰/۴۵		۰/۷۳	۰/۴۴	۰/۴۳	-۰/۶۸		۰/۸۲	۰/۹۵		۰/۷۰		۰/۵۶				۰/۶۶	
N/P	۰/۳۹		۰/۴۷			-۰/۸۳	۰/۶۱	۰/۸۴	۰/۵۲	۰/۷۰							۰/۶۱	
بارندگی تجمعی	-۰/۹۴	۰/۷۹	-۰/۵۶	-۰/۶۶	-۰/۶۶	۰/۹۰	-۰/۶۶	-۰/۶۸	-۰/۵۵	-۰/۶۶	-۰/۶۱							۰/۷۹

بر اساس اعداد بدست آمده از همبستگی پیرسون، کلروفیل با DO ارتباط معنا دار (r=60) نشان داد. همبستگی دمای آب با تراکم فیتوپلانکتون، شاخه باسیلاریوفیتا و شاخص ساپروبی ارتباط مثبت نشان داد در حالی که شاخص شانون با دما ارتباط منفی نشان داد (جدول ۳). بررسی گونه های غالب نشان داد که افزایش *Cyclotella meneghiniana* دارای همبستگی معنی دار با افزایش BOD، COD و نیترات بود. ضمن آن که بر افزایش اکسیژن محلول و غلظت کلروفیل نیز اثر مثبت نشان داد. *Ceratium hirundinella* نیز با نیترات، BOD و غلظت کلروفیل همبستگی مثبت داشت. اما *Goniaulax polyedra* با هیچ کدام از عوامل فیزیکوشیمیایی فوق همبستگی معنی دار نشان نداد.آزمون پیرسون نشان داد که نسبت N/P اثر مثبت مشهودی بر روی گونه های *Gloeocapsa* sp. و*Oocystias parva* داشته است. در آزمون پیرسون حجم آب در مخزن سد ارتباط مثبت معنا دار با تراکم شاخه سیانوفیتا، گونه های *Fragilaria* sp.، *Navicula* sp. و شاخص شانون نشان داد، در حالی که ارتباط آن با تراکم فیتوپلانکتون کل، شاخه باسیلاریوفیتا، گونه *Cyclotella meneghiniana*، دمای آب، COD و شاخص ساپروبی منفی گردید.

آزمون چند متغیره بین گونه های غالب، پارامترهای غیر زیستی و شاخص های کیفیت آب نیز انجام گردید که نتایج آن در جداول ۵ و ۶ نشان داده شده است. در آنالیز مولفه های اصلی (PCA) دارای تغییرات شاخص KMO برابر ۰/۶۲ بوده است و در ضمن آزمون Barttlet اختلاف معنی دار بوده است ($p<0/05$). درآنالیز مولفه های اصلی متغیرها بر اساس منحنی سنگریزه ای (Screeplot) و مقدار ویژه (Eigenvalue) بیشتراز واحد در ۵ مولفه

(PC) با ۸۳/۲ درصد ازکل واریانس قرار گرفتند. مولفه یک (PC1) ۲۹/۶ درصد از کل واریانس را شامل شده است. در این مولفه *Cyclotella meneghiniana* ، *Navicula* sp. و *Fragilaria* sp. به همراه درجه حرارت، COD ،فسفر، آب موجود در مخزن، شاخص های ساپروبی و شانون مشارکت داشته است. واریانس مولفه دو (PC2)،۱۸/۴ از کل واریانس را شامل شده است. در این مولفه: اکسیژن محلول (DO)، کلروفیل-a، شاخص های شانون و تروفیکی، *Goniaulax polyedra* ، *Goniaulax digitale* مشارکت داشته اند. مولفه سوم با ۱۴/۹ درصد واریانس فقط پارامترهای غیرزیستی (DO، COD، فسفر و نیتروژن معدنی) را شامل گردید. در این مولفه نیتروژن معدنی بالاترین مشارکت را دارا بود. در مولفه چهارم (واریانس ۱۱/۶ درصد) *Ceratium hirundinella* و *Goniaulax polyedra* با ارتباط مثبت با کلروفیل حضور داشتند. درآخرین مولفه که ۸/۶ درصد واریانس از کل را دارا بود که تنها گونه ی *Goniaulax spinifera* دارای حضور معنا دار بوده است.

جدول ۴: مولفه های اصلی در آنالیز آماری چند متغیره PCA برای تراکم گونه های غالب فیتوپلانکتون، پارامترهای غیرزیستی و شاخص های کیفیت آب در سد شهید رجایی (ساری، مازندران- ۱۳۹۱)

	مولفه ها				
	مولفه۱ (٪۲۹/۶)	مولفه۲ (٪۱۸/۴)	مولفه۳ (٪۱۴/۹)	مولفه۴ (٪۱۱/۶)	مولفه۵ (٪۸/۶)
مقادیر ویژه	۶/۷	۲/۷	۲/۳	۱/۴	۱/۱
واریانس تجمعی	۲۹/۶	۴۸/۰	۶۳/۰	۷۴/۶	۸۳/۲
Cyclotella meneghiniana	۰/۷۴۹				
Navicula sp.	-۰/۸۰۴				
Fragilaria sp.	-۰/۷۵۶				
Ceratium hirundinella				۰/۹۴۰	
Goniaulax polyedra		۰/۷۲۴		۰/۴۸۵	
Goniaulax digitale		۰/۸۴۷			
Goniaulaxs pinifera					۰/۸۸۱
درجه حرارت آب	۰/۸۶۵				
اکسیژن محلول (DO)		۰/۴۵۶	۰/۷۷۰		
COD	۰/۷۲۵		۰/۴۲۱		
نیتروژن معدنی			۰/۹۰۶		
فسفر معدنی	-۰/۴۰۱		-۰/۶۸۲		
کلروفیل-a		۰/۷۶۷		۰/۵۲۱	
حجم آب در مخزن	-۰/۹۳۷				
شاخص شانون	-۰/۴۹۶	-۰/۴۴۱			
شاخص تروفیکی(TSI)		۰/۷۸۲			
شاخص ساپروبی	۰/۷۷۳				

بحث

تراکم فیتوپلانکتون صرف نظر از خصوصیات فیزیولوژیکی و سیکل زندگی هر گونه (Hecky and Kilham, 1988) تحت تاثیر دو دسته فرایند افزایشی و کاهشی قرار دارد. در گروه فرآیندهای افزایشی فتوسنتز و جذب مواد مغذی و در گروه دوم رقابت، تغذیه توسط موجودات دیگر، ته نشین شدن، شسته شدن و فنا (مرگ و میر) جای می گیرد (Moss, 1998). ضمن آن که بدلیل مدیریت انسانی افزایش میزان ورودی آب به سد بهمراه بارندگی و نیز افزایش تخلیه آب از سد به ترتیب در فرایندهای افزایشی و کاهشی موثر بر تراکم فیتوپلانکتون باید در نظر گرفته شوند (Chapman, 1996). عامل مدیریت انسانی در دریاچه پشت سد سبب می گردد که توضیح تغییرات هر یک از عوامل زیستی و غیرزیستی و اثر متقابل آن ها پیچیده تر گردد. به عنوان مثال به هنگام افزایش دما در تابستان معمولا" کاهش همزمان نیترات و افزایش تراکم فیتوپلانکتون صورت می گیرد که یکی از دلایل عمده آن افزایش مصرف نیترات توسط فیتوپلانکتون می باشد. چنانکه در مطالعه Celik (۲۰۱۳) در سد Caygoren (ترکیه) و نیز این مطالعه در ماه های تیر و مرداد روابط مشابه ای مشاهده گردید. ولی همانطور که جداول ۲ و ۳ نشان می دهد این روابط و الگو به همه ماه ها قابل تعمیم نیست. عمق آب ، لایه بندی حرارتی و درجه حرارت آب نیز از عواملی هستند که اثرات آن ها بر تغییرات تراکم فیتوپلانکتون قابل توجه هست (Celik, 2013). چنانکه در مطالعه حاضر نیز دمای آب همبستگی بالایی با تراکم فیتوپلانکتون (r=۰/۴۷) و نهایتا" افزایش اکسیژن محلول داشته است (r=۰/۷۱). خصوصیات بیولوژیکی و فیزیکوشیمیایی سدها دارای همبستگی بالایی با مخازن آب های جاری و رودخانه های وارد شونده به سد نیز هستند (زارعی،۱۳۹۰). Farhadian و همکاران (2013) مطالعه اکولوژیکی را در اصفهان در دریاچه پشت سد حنا (دارای آب و هوای معتدل - سرد) با حداکثر عمق۲۲/۴ متر انجام دادند. حداکثر و حداقل میانگین دمای آب در این سد به ترتیب در تابستان و زمستان ۵/۳۷ و ۲۱/۲۷ درجه سانتیگراد ثبت گردید. حداکثر و حداقل مقدار pHبرابر ۸/۲۴ و ۸/۱۰ بوده و غلظت های اکسیژن محلول، نیترات و آمونیوم به ترتیب دارای مقادیر حداکثر و حداقل میانگین (۹/۷۰ و ۷/۴۶)، (۸/۹۰ و۱/۰۴) و (۰/۸۶ و ۰/۵۳) میلی گرم در لیتر گردیدند. در مطالعه آن ها حداکثر کلروفیل در فصل تابستان به میزان ۹/۴۳ میلی گرم در مترمکعب بدست آمد و ترکیب شاخه های غالب در دریاچه سد حنا از کلروفیتا، پیروفیتا و باسیلاریوفیتا تشکیل گردید که Straustrum، Ceratium، Perdinium، Surirella و Edorina از جنس های غالب بوده اند. نهایتا" آن ها دریاچه پشت سد را بر اساس غلظت مواد مغذی و گونه های شاخص در فیتوپلانکتون به ترتیب در سطح تروفیکی یوتروف و مزو-یوتروف طبقه بندی نمودند. مقایسه این داده ها با مقادیر مشابه در مقاله حاضر در سد شهید رجایی نشان می دهد که طرح الگوی زیستی و غیرزیستی اکوسیستم در واقع برآیندی از همه عوامل موثر می باشد و بررسی انفرادی فاکتورها ی موثر در ارائه پاسخ جامع در توضیح تغییرات کافی نمی باشد. به نظر می رسد که افزایش دمای آب بارزترین نقش را در افزایش تراکم فیتوپلانکتون (r=۰/۴۷) و نهایتا" افزایش اکسیژن محلول داشته است (r=۰/۷۱).

با توجه به توانایی تغذیه پیروفیتا در آب لایه بندی شده و نیز شرایط کمبود مواد مغذی و اکسیژن، در ماه های تابستان شرایط آب و هوایی مناسبی برای افزایش تراکم گونه های پیروفیتا وجود داشته است. Orlik (۱۹۹۴) بیان نمود که منابع نیتروژن معدنی نقش مهمی در افزایش تراکم *Ceratium hirundinella* در محیط های مزو-یوتروف دارند. این مسئله سبب برتری آن ها حتی بر ‘گونه های موجود در شاخه سیانوفیتا می گردد (Reynold, 1997; 2006). ضمن آن که استفاده از مواد آلی در دمای مناسب، حتی در میزان کم از نور قابل دسترس، به کیست های موجود در رسوب نیز فرصت ورود به مرحله رویشی را می دهد (Gil *et al.*, 2012). نتایج آزمون پیرسون در مطالعه حاضر نیز بیانگر ارتباط مثبت معنا دار بین تراکم *Ceratium hirundinella* و

نیتروژن معدنی بوده است. همانطور که نتایج نشان داد با وجود شرایط مناسب دمایی گونه های غالب پیروفیتا در ماه های مرداد و شهریور کاهش یافت. در این ارتباط سه علت احتمالی را می توان در نظر گرفت:۱- توان برتر *Cyclotella meneghiniana* در پیشی جستن بر دو گونه دیگر همزمان با افزایش بیشتر دما در مرداد ماه (Mitrovic *et al.*, 2010) ۲- از آن جایی که افزایش تراکم گونه های پیروفیتا عمدتا" از داخل سد (خروج از فاز کیستی و ورود به فاز رویشی) صورت می گیرد، بالا بودن حجم آب خروجی در این ماه ها سبب گردید که سلول های رویشی آن ها از سد خارج گردد، بخصوص آن که این دو گونه دارای رشد آهسته ای هستند (Pollinger, ; Armstrong and Kudela, 2006 1988). بر اساس مطالعه نصراله زاده و همکاران (1394) میزان اکسیژن در لایه های پایینی سد در این ماه ها کاهش یافت لذا، ۳- خروج از کیست و ورود به مرحله رویشی را از این لحاظ نیز دچار مشکل نمود (Perez and Castillo, 2002). مسیر کاهشی دما از مرداد به بعد، تراکم *Cyclotella meneghiniana* را نیز بشدت در مسیر کاهشی قرار داد و به گونه های پیروفیتا بخصوص *Goniaulax polyedra* شانس برتری یافتن بر *Cyclotella meneghiniana* را داد. اما تحت تاثیر کاهش شدید دما در بهمن، تراکم در هر سه گونه غالب بشدت کاهش یافت. زیرا حتی خروج و رشد کیست پیروفیتا از رسوب نیز در دمای پایین بهمن ماه بسیارمحدود می گردد (Bravo and Anderson, 1994). لذا کاهش تراکم در هر یک از سه گونه ی غالب فوق سبب گردید که در بهمن (همانند خرداد ماه) تعداد گونه های بیشتری در ایجاد ۷۰درصد از تراکم کل فیتوپلانکتون مشارکت کنند و بر افزایش شاخص شانون در این ماه اثر مثبت داشته باشند.

در یکی از منابع آب شیرین در استرالیا، در ۴ سال متوالی شکوفایی نسبتا" طولانی (۱۲ روز) *Cyclotella meneghiniana* در آب راکد و دارای دمای بیش از ۲۳^{o}C و عدم محدودیت مواد مغذی بخصوص نیتروژن، گزارش شده است. رشد سریع تر در درجه حرارت های بالاتر، ماندگاری طولانی (retention time) آب و جریان های آبی کم اجازه گسترش شکوفایی را می دهد (Mitrovic *et al.*, 2010). با توجه به آن که در سد شهید رجایی نیز شرایط محدودیت نیتروژنی برای رشد فیتوپلانکتون در بعضی از ما ه ها وجود ندارد، لذا در صورت مدیریت نادرست سد، امکان شکوفایی گونه فوق افزایش می یابد. در مورد گونه هایی مثل *Ceratium hirundinella* (دارای کیست) نیز، حتی اگر درجه حرارت و دسترسی به نور در طی سال تامین باشد باز هم پتانسیل افزایش تراکم تحت تاثیر عوامل اکولوژیکی نظیر میزان اکسیژن در لایه پایینی و نیز رژیم هیدرولیکی در دریاچه سد وجود دارد (Perez and Castillo, 2002). افزایش جریان آب وقوع شکوفایی و نیز دوره شکوفایی را کم می کند. این تکنیک مدیریتی بخصوص در مواردی که درجه حرارت به مدت طولانی در ۲۸-۲۳ درجه سانتیگراد است ، اهمیت دارد (Mitrovic *et al.*, 2010)، زیرا حتی فیتوپلانکتون های دارای رشد آهسته همچون *Goniaulax polyedra* (Sorokin, 1999) و *Ceratium hirundinella* (Ginkel *et al.*, 2001) نیز سابقه شکوفایی داشته اند.

علاوه بر میزان جریان آب، حجم آب پشت سد نیز از عوامل تاثیر گذار بر کیفیت آب بوده است. چنانکه آزمون همبستگی پیرسون نشان داد با افزایش حجم باران (تجمعی) و آب پشت سد در مخزن از سویی افزایش بعضی از گونه ها و از سوی دیگر کاهش شاخص ساپروبی روی داده است که نهایتا" سبب افزایش کیفیت آب گردید. همچنین مشخص گردیده است افزایش گونه هایی همچون *Goniaulax digitale* و *Goniaulax polyedra* با افزایش سطح تروفیکی رابطه مستقیمی داشته و به بیان دیگر کاهش سطح کیفیت آب را سبب می گردند.

برآورد شاخص ساپروبی نشان داد که در غالب موارد آلودگی متوسط مواد آلی وجود داشته است و حتی در مرداد در بعضی از نمونه ها به حد بحرانی از آلودگی رسید. به عقیده Sladecek (۱۹۷۹) این سطح ازآلودگی غیر مستقیم دلیلی بر وضعیت یوتروف در اکوسیستم می باشد. در مطالعه زارعی (۱۳۹۰) بر روی منابع آبی ایران، بیشترین درصد گونه ها (۴۲ درصد) شاخص محیط -ß

mesosaprobic بوده اند. در این مطالعه نیز حدود ۴۵ درصد از گونه های مورد ارزیابی در گروه ß-mesosaprobic جای داشتند. وجود ۱۸ درصدی از مجموع گونه های شاخص محیط α-mesosaprobic تا ß –mesosaprobic (حد بحرانی آلودگی) و α-mesosaprobic (آلودگی کامل) از نکات قابل توجه کیفیت آب در سدشهید رجایی می باشد.

بر اساس نتایج بدست آمده از PCA در دریاچه سد شهید رجایی شاخص های شانون و ساپروبی در مولفه اول قرار دارند، لذا در تعیین کیفیت آب بیشترین ارزش را دارند. وجود ارتباط مثبت بین شاخص ساپروبی و گونه ی *Cyclotella meneghiniana* در مولفه اول، بیانگر آن است که این گونه شاخص ارزشمندی برای سنجش آلودگی آلی در سد شهید رجایی محسوب می شود. بخصوص آن که ارتباط منفی معناداری را با کاهش شاخص شانون (به عبارتی کاهش کیفیت آب) نیز نشان داده است. این آزمون همچنین بیانگر آن است که دو گونه *Goniaulax polyedra* و *Goniaulax digitale* هر چند با کاهش شاخص شانون اثر منفی بر کیفیت آب داشته اند ولی در مولفه دوم جای دارند و از طریق افزایش سطح تروفیکی (مواد مغذی غیر آلی) بر کاهش کیفیت آب اثر گذاشته اند (Bellinger and Sigee, 2010) و به عبارتی گونه های شاخص سطح تروفیکی در دریاچه فوق محسوب می گردند. در این آزمون *Ceratium hirundinella* با شاخص های کیفیت آب ارتباط معنا داری را نشان نداده است ولی ارتباط مثبت آن با *Goniaulax polyedra* در مولفه چهارم، غیرمستقیم، احتمال شاخص سطح تروفیکی را برای این گونه در این اکوسیستم مطرح می کند. *Goniaulax spinifera* اگرچه در مولفه آخر جای گرفت و ارتباط معناداری را نیز با تغییرات شاخص های کیفیت آب و یا سایر پارامترها نشان نداد، اما حضور معنا دار آن در نتایج آزمون با توجه به پتانسیل تولید سم (Paz *et al.*, 2008) در این گونه مهم می باشد. در استنباط کلی بر اساس آنالیز آماری چند متغیره (PCA) افزایش تراکم فیتوپلانکتون همراه با کاهش کیفیت آب (افزایش شاخص تروفیکی و ساپروبی و کاهش شاخص شانون) بوده است. به نحوی که افزایش تراکم پیروفیتا با افزایش شاخص تروفیکی، افزایش باسیلاریوفیتا با افزایش شاخص ساپروبی و افزایش تراکم در هر دو شاخه ی باسیلاریوفیتا و پیروفیتا با کاهش شاخص شانون همراه بوده است.

نتایج آزمون همبستگی پیرسون و آنالیز آماری چند متغیره (PCA) بین گونه های غالب فیتوپلانکتون و تعدادی از پارامترهای غیرزیستی و شاخص های کیفیت آب در بسیاری از موارد همخوانی داشته اند و بر نتایج بدست آمده صحه گذاشته شد. به هر حال قضاوت بر صحت نتایج آزمون های مختلف آماری تا حد زیادی بر اساس شواهد موجود در اکوسیستم صورت می گیرد.

تشکر و قدردانی

این پروژه بوسیله سازمان آب منطقه ای مازندران تامین مالی گردید. از پرسنل بخش اکولوژی پژوهشکده اکولوژی دریای خزر برای آنالیز نمونه های زیستی و غیر زیستی تشکر می کنیم. همچنین از مدیر و کارکنان محترم سد شهید رجایی جهت همکاری در نمونه برداری قدردانی می گردد.

منابع

استکی، ع.، ۱۳۸۲. تاثیر احداث سد بر تغییرات دما، pH ، شوری، قلیاییت و سختی آب در رودخانه حنا (سمیرم)، مجله علمی شیلات ایران، ۱۲ (۱): ۲۰-۱.

عالی شاملو، ا.ع.، ناصری، س. و ندافی، ک. ۱۳۸۳. پایش کیفی آب مخزن سد گیلارلو، مجله آب و فاضلاب، ۱۵ (۳:۵۱): ۲۲-۲۷.

عصار، س.، رجب زاده، ق.ا. و محمدی، ر.م.، ۱۳۹۲. بررسی کیفیت آب دریاچه سد دز با استفاده از شاخص کیفیت آب NSF، اولین همایش ملی جغرافیا، شهرسازی و توسعه پایدار. ۱۷ صفحه.

سعیدی، پ.، مهردادی، ن.، اردستانی م. و باغوند ا.، ۱۳۹۲. شبیه سازی لایه بندی حرارتی و غلظت

اکسیژن محلول با استفاده از مدل CE–Qual-W2 (مطالعه موردی: مخزن سد شهید رجائی) مجله محیط شناسی، ۳۹(۴): ۱۸۰-۱۷۱.

شکوهی، ر.، حسین زاده، ا.، روشنایی، ق.، علیپور، م. و حسین زاده، س.، ۱۳۹۰. بررسی کیفیت آب دریاچه پشت سد آیدغموش با استفاده از شاخص ملی کیفیت آب (NSFWQI) و تغییرات پارامترهای کیفی آب، مجله سلامت و محیط ایران، ۴ (۴): ۴۳۹ - ۴۵۰.

زارعی، د.ب.، ۱۳۹۰. جلبک های اکوسیستم های آبی ایران ، پیام علوی، دانشگاه اصفهان، ۳۲۳ صفحه.

نصراله زاده، ح.س.، مخلوق، آ.، یعقوب زاده، ز، قیاسی، م. ۱۳۹۴. کیفیت آب سد شهید رجایی (مازندران-ساری) براساس پارامترهای زیستی و غیر زیستی. موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، ۹۸ صفحه.

نصیری، ر.، ۱۳۸۸. آموزش گام به گام SPSS17. مرکز فرهنگی نشر گستر. تهران، ۳۴۴ صفحه.

APHA, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. American publication Health Association: Washington DC, USA. 1113P.

Armstrong, M. and Kudela, R., 2006. Evaluation of California isolates of *Lingulodinium polyedrum* for the production of yessotoxin. African Journal of Marine Science, 28(2): 399–401.

Bellinger, E.G. and Sigee, D.C., 2010. Freshwater algae-Identification and use as bioindicators, 2010, Wiley-Blacwell. 271P.

Bluman, A.G., 1998. Elementary statistics: a step by step approach. Tom Casson publisher, 3rd edition. USA : 749P.

Bravo, I. and Anderson, D.M., 1994. The effects of temperature, growth medium and darkness on excystment and growth of the toxic dinoflagellate Gymnodinium catenatum from northwest Spain. Journal of Plankton Research, 16(5):513-525.

Celik, K., 2013. The relationships between chlorophyll-a dynamics and certain physical and chemical variables in the temperate eutrophic Çaygören Reservoir, Turkey, Iranian Journal of Fisheries Sciences, 12 (1):127-139.

Chapman, D., 1996. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. 2nd edition, Published on Behalf of United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization World Health Organization, United Nations Environment Programme, Published by E&FN Spon an imprint of Chapman & Hall, UNESCO/WHO/UNEP, Great Britain at the University Press, Cambridge. 64P.

Chorus I. and Bartram J., 1999. Toxic cyanobacteria in water, A guide to their health consequences, monitoring and management. UK. E & FN Son. 416P.

Farhadian, O., Kolivand, S., Mahmoudi, KM., Ebrahimi, D.E. and Mahboobii, S.N., 2013. Nutritional value of freshwater mesozooplankton assemblages from Hanna Dam Lake, Iran, during a one-year study, Iranian Journal of Fisheries Sciences, 12(2):301-319.

Gil, C.B., Restrepo, R.J.J., Boltovskoy, A. and Vallejo, A., 2012. Spatial and temporal change characterization of Ceratium furcoides (Dinophyta) in the equatorial reservoir Riogrande II,

Colombia, Acta Limnologica Brasiliensia, 24(2): 207-219.

Ginkel, V.C.E., Hohls, BC. and Vermaak, E., 2001. A Ceratium hirundinella (O.F. Müller) bloom in Hartbeespoort Dam, South Africa, Water SA, 27(2): 269-276.

Habit, R.N. and Pankow, H., 1976. Algenflora der Ostsee II, Plankton. Gustav Fischer Verlag.: Jena University Rostock Publication. Germany, 385P.

Hartley, B.H.G., Barber, J.R.C. and Sims, P., 1996. An Atlas of British Diatoms. Biopress Limited, Bristol. UK, 601P.

Hecky, R.E. and Kilham, P., 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. Limnology and Oceanography, 33(4, part 2): 796-822.

Jabbari, M.M. and Boustani, F., 2011. Assessment of Water Pollution of Kowsar Dam Reservoir, World Academy of Science, Engineering and Technology, 5 (12): 12-27.

Mitrovic, S.M., Hitchcock, J.N., Davie, A.W. and Ryan, D.A., 2010. Growth responses of *Cyclotella meneghiniana* (Bacillariophyceae) to various temperatures, Short communiation, Journal of Plankton Research, 32 (8): 1217-1221.

Mivehchi, M.R., Ahmadi, M.T. and Hajmomeni, A., 2003. Effective Techniques for Arch Dam Ambient Vibration Test: Application on Two Iranian Dams JSEE, 5(2): 23-34.

Moss, B., 1998. Ecology of fresh waters, man and medium, past to future. Third edition. Blackwell Science. UK. 572P.

Nather Khan, I.S.A., 1991. Effect of urban and industrial wastes on species diversity of the diatom community in a tropical river, Malaysia. Hydrobiologia, 224: 175-184.

Olrik, K., 1994. Phytoplankton ecology. Determining factors for the distribution of phytoplankton in freshwaters and the sea. Denmark: Danish Environmental Protection Agency. Miljøproject no. 251.183.

Paz, B., Daranas, A.H., Norte, M., Riobo, P., Franco, J.M. and Fernandez, J.J., 2008. Yessotoxins, a Group of Marine Polyether Toxins: an Overview, Marine Drugs, 6 (2): 73-102.

Perez, M.G. and Castillo, S.P., 2002. Winter dominance of *Ceratium hirundinella* in a southern north-temperate reservoir, Journal of Plankton Research, 24(2): 89-96.

Pollingher, U., 1988. Freshwater armored dinoflagellates: Growth, reproduction, strategies, and population dynamics. In SANDGREN, CD., ed. Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press. UK, pp.134-174.

Reynolds, C.S., 1997. Vegetation Processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. Ecology Institute. Germany, 371P.

Reynolds, C.S., 2006. The ecology of phytoplankton. Cambridge University Press. UK. 551P.

Sapozhnikov, V.N., Agativa, A.E., Arjanova, N.V., Nalitova, E.A., Mardosova, N.V., Zobarowij, V.L. and Bandarikov, E.A., 1988. Methods of hydrochemical analysis of the major nutrients. VNIRO publisher: Moscow, Russia. 105P.

Siapatis, A., Giannoulaki, M., Valavanis, V.D., Palialexis, A., Schismenou, E., Machias, A. and Somarakis, S., 2008. Modelling potential habitat of the invasive ctenophore *Mnemiopsis leidyi* in Aegean Sea. Hydrobiologia, 612:281–295.

Sigua, G.C., Williams, M.J. Coleman, S.W. and Starks, R., 2006. Nitrogen and Phosphorus Status of Soils and Trophic State of Lakes Associated with Forage-Based Beef Cattle Operations in Florida. Journal of Environmental Quality, 35: 240–252.

Sladecek, V., 1979. The future of the saprobity system. Hydrobiologia, 25:518-537.

Simeonov, V., Sarbu, C., Massart, D.L. and Tsakovski, S., 2001. Danube River Water Data Modelling by Multivariate Data Analysis. Springer-verlag. Mikrochim. Acta, 137: 243-248.

Sorokin, Y., 1999. Aquatic microbial ecology, a textbook for students in environmental sciences.: Backhuys publishers, Leiden. Netherlands, 252P.

Thomas, C.R., 1997. Identifying marine phytoplankton. Publication Harcourt Brace Company. London, UK, 858 P.

Sze, P., 1998. A biology of the alge. WCB Ncgraw Hill, Boston, Massachusetts. USA, 278 P.

Wehr, J.D. and Sheath, R.G., 2003. Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification. Academic Press. USA, 950P.

Wetzel, R.G. and Likens, G.E., 2000. Limnological Analyses. New York: Springer-Verlag. USA, 429P.

Wu, R.S.S., Siu, W.H.L., and Shin, P.K.S., 2005. Induction, adaptation and recovery of biological responses: Implications for environmental monitoring. Marine Pollution Bulletin, 51:623–634.

Yap, S.Y., 1997. Classification of a Malaysian river using biological indices: a preliminary attempt. Environmentalist, 17 (2):79-86.

Yeng, C.K., 2006. A study on limnology and phytoplankton biodiversity of Ahning Recervoir, Kedah. M.Sc. thesis, University Sains Malaysia.

Study on changes of biotic and abiotic parameters, and other biological indices in Shahid Rajaei Reservoir using mono and multivariate statistical analysis

Nasrollahzadeh Saravi H.[1*]; Makhlough A.[1]; Vahedi F.[1]; Rezaei M.[1]

*hnsaravi@yahoo.com

1-Caspian Sea Ecology Research Center (CSERC), Iranian Fisheries Research Institute (IFRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), P.O. Box: 961

Received: May 2015 Accepted: December 2015

Keywords: Environmental parameters, Phytoplankton, Biotic indices, Shahid Rajaei Dam, Sari, Mazandaran

Abstract

The Shahid Rajaei Reservoir constructed for various purposes such as drinking water supply. In this context, and also because of the importance of the bloom events and eutrophication process in dams, this paper is to survey the relations between some of physicochemical parameters and phytoplankton composition and density, chlorophyll-a and some water quality indices (Trophic, Saproby, Shannon) using mono and multivariate statistical analysis. Water samples collected from 4 stations during May, June, July, August, September, November and February in 2012-2013. According to the results, the maximum concentration of dissolved inorganic nitrogen, chlorophyll-a, phytoplankton abundance, trophic and saproby indices observed in a month of summer which it was accompanied to the minimum value of species diversity index (Shannon). Pearson analysis revealed direct correlation between abundance of *Goniaulax polyedra*, *Goniaulax digitale* and trophic index. In the other words, higher abundance of the two species decreased the water quality. Also based on the PCA analysis, the significant correlation observed between abundance of *Cyclotella meneghiniana* with Shannon and saproby indices which were negative and positive, respectively. This result indicates to the relation of degradation of water quality with increasing the abundance of *Cyclotella meneghiniana*. Meanwhile, the presence of the three parameters (abundance of *Cyclotella meneghiniana*, Shannon and saproby indices) in first component of PCA indicated the important role of *Cyclotella meneghiniana* and two biological indices in determining of water quality in Shahid Rajaei Reservoir.

* Corresponding author