DOI: 10.22059/ijswr.2021.312841.668783 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۳، خرداد ۱۴۰۰ (ص ۶۹۱-۶۷۷)

Impact of Climatic Variations and Physical and Chemical Variables of Water on Phytoplankton Communities of Aras Dam Lake

HADIS GOLMOHAMMADIAN[1], ZAHRA AGHASHARIATMADARI[*1], ZEINAB SHARIATMADARI[2], JAVAD BAZRAFSHAN[1], FEREIDON MOHEBI[3]

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Department of Plant Science and Biotechnology, Faculty of Biological Sciences and Technology, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran.
3. National *Artemia* Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Urmia, Iran

(Received: Nov. 10, 2020- Revised: Jan. 2, 2021- Accepted: Jan. 27, 2021)

ABSTRACT

Climate is an important influential element in the field of environment; So that the optimal management of aquatic and terrestrial ecosystems is not possible without serious attention to climatic conditions. In recent decades, water bloom of aquatic ecosystems has grown significantly. This risen growth is due to natural changes in climate patterns and distribution mechanisms of species, affected by environmental factors. The Goals of this study, as a retrospective research, are; a) evaluation of changes in the dominant pattern of phytoplankton communities in Aras Dam Lake in 2008 and 2013, b) investigation of the impact of meteorological, physical and chemical factors on phytoplankton population growth in the study area. Data sampling was carried out seasonally in three positions, namely Dam entrance, middle of lake and Dam output. At each gaging position, data were collected to identify and count phytoplankton and to analyze several water chemical factors. Satellite data were received from the MODIS sensor and chlorophyll a images were obtained. The highest levels of chlorophyll a in summer of 2008 and 2013 were 12.71 and 10 (mg/m^3), respectively. Results showed that the abundance of phytoplankton had a high correlation with the concentration of chlorophyll. In summer, the high temperatures and pH affect bloom of Cyanobacterial communities. Usually, Cyanobacterial blooms were related to high values of temperature, pH and high concentration of the dissolved oxygen in summer. The results of principal component analysis and multiple regression showed that the air temperature is the most important factor in chlorophyll changes. The correlation coefficient between chlorophyll and air temperature was calculated to be 0.72. Change in the dominant pattern of phytoplankton communities towards Cyanobacterial pattern was observed in Aras Dam Lake, showing domination of Cyanophyta branch in all seasons of 2008 compared to 2013. This result may be caused by changes in the temperature and precipitation patterns over the study area.

Keywords: Climate Change, Phytoplankton, Harmful Algal Bloom, Cyanobacteria.

* Corresponding Author's Email: zagha@ut.ac.ir

تأثیر تغییرات آب و هوایی و متغیرهای فیزیکی و شیمیایی آب بر اجتماعات فیتوپلانکتونی دریاچه سد ارس

حدیث گل‌محمدیان[۱]، زهرا آقا شریعتمداری*[۱]، زینب شریعتمداری[۲]، جواد بذرافشان[۱]، فریدون محبی[۳]

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران،کرج، ایران.

۲. گروه علوم و زیست فناوری گیاهی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳. مرکز تحقیقات آرتمیای کشور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۰- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۸)

چکیده

اقلیم از عناصر مهم تأثیرگذار در عرصه محیط زیست است و مدیریت بهینه زیست‌بوم‌های آبی و خشکی بدون توجه به شرایط اقلیمی امکان‌پذیر نیست. در دهه‌های اخیر شکوفایی جلبکی اکوسیستم‌های آبی رشد قابل‌توجهی داشته است. به نظر می‌رسد این افزایش ناشی از تغییرات الگوهای آب و هوایی و تأثیر آن بر توزیع و فراوانی گونه‌های فیتوپلانکتونی است. از مهمترین اهداف پژوهش حاضر به‌عنوان پژوهشی گذشته‌نگر می‌توان به این موارد اشاره نمود: الف) تعیین جوامع غالب فیتوپلانکتونی و ارزیابی تغییرات الگوی پراکنش آنها در دریاچه سد ارس در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲؛ و ب) بررسی تأثیرعوامل هواشناسی و فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب بر رشد جمعیت فیتوپلانکتون‌ها در دریاچه سد ارس. در این مطالعه، نمونه‌برداری به صورت فصلی و از سه ایستگاه ورودی سد، وسط دریاچه و خروجی سد انجام شد. در هر ایستگاه نمونه‌هایی برای شناسایی و شمارش فیتوپلانکتون‌ها و آنالیز فاکتورهای شیمیایی آب جمع‌آوری شدند. داده‌های ماهواره‌ای از سنجنده MODIS دریافت شد و بر مبنای آن مقادیر کلروفیل a به دست آمد. بالاترین میزان کلروفیل a در تابستان سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ به‌ترتیب با مقادیر ۱۲/۷۱ و ۱۰ (میلی‌گرم بر مترمکعب) ثبت گردید. نتایج نشان داد که فراوانی فیتوپلانکتون‌ها همبستگی بالایی با غلظت کلروفیل زیست‌بوم آبی دارد. نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چندگانه نشان داد، دمای هوا بیشترین سهم را در تغییرات غلظت کلروفیل دارد. به‌طوریکه ضریب همبستگی بین میزان کلروفیل و دمای هوا ۰/۷۲ محاسبه گردید. همچنین نتایج نشان‌دهنده تغییر الگوی جوامع فیتوپلانکتونی در منطقه بسوی غلبه نسبی سیانوباکتری‌ها در تمام فصول سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۸۷ است. به نظر می‌رسد تغییرات الگوی دما و بارش منطقه را می‌توان از عوامل اصلی تأثیرگذار در ارتباط با این تغییر به‌شمار آورد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات آب و هوایی، فیتوپلانکتون، بلوم جلبکی مضر، سیانوباکتری.

مقدمه

در دهه‌های اخیر شکوفایی جلبکی، به‌ویژه شکوفایی جلبک‌های تولیدکننده سم، در زیست‌بوم‌های ساحلی جهان رشد قابل‌توجهی داشته است. یکی از عوامل مهم مؤثر بر توسعه جوامع سیانوباکتریایی و شکل‌گیری بلوم‌های جلبکی، تغییرات آب و هوایی، به ویژه افزایش دمای هوا و به دنبال آن افزایش دمای آب است (Zhang *et al*., 2012; Wagner and Adrian, 2009). می‌توان گفت، شرایط هواشناسی از عوامل مهم شکل‌گیری و توسعه اجتماعات جلبکی هستند؛ تا آنجا که متغیرهای هواشناسی به‌عنوان عواملی تعیین‌کننده در توسعه بلوم‌های جلبکی شناخته می‌شوند (Elliott, 2012; Reichwaldt and Ghadouani, 2012). بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که افزایش دمای آب و هوا در محدوده‌ای معین، احتمال وقوع شکوفایی سیانوباکتریایی را افزایش می‌دهد و می‌تواند سبب افزایش رشد جلبک‌ها و شکوفایی برخی گونه‌های نامطلوب و خطرساز شود. همچنین به نظر می‌رسد برخی تغییرات در الگوی بارندگی و برخورداری یک منطقه از الگوهای بارش متغیر منجر به ایجاد شرایط مساعد رشد سیانوباکتری‌ها در منابع آبی خواهد شد (Reichwaldt and Ghadouani, 2012).

در مطالعه‌ای، عوامل مؤثر بر نوسانات جمعیتی فیتوپلانکتون‌های خلیج فارس (سواحل استان بوشهر) طی زمستان و بهار ۱۳۹۲-۱۳۹۱ ارزیابی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که علاوه بر توسعه معمول جوامع فیتوپلانکتونی در یک اکوسیستم آبی، تغییرات آب و هوایی می‌تواند وقوع، شدت و اثرات رویدادهای شکوفایی جلبکی گونه‌های مضر را تغییر دهد (Mohsenizadeh *et al*, 2014). در مطالعه‌ای دیگر، تأثیر عوامل

* نویسنده مسئول: zagha@ut.ac.ir

محیطی، به‌ویژه بار مغذی منابع آب، بر نوسانات فیتوپلانکتونی سد ارس بررسی گردید (Mohebbi *et al*. 2015, 2016). بررسی تغییرات زمانی- مکانی، تنوع و غنای گونه‌ای فیتوپلانکتون‌ها در دریاچه سد منجیل نیز نشان داد که ترکیب گونه‌ای دارای تغییرات زمانی بوده و فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی را می‌توان از مهمترین عوامل تعیین‌کننده در این ارتباط به‌شمار آورد (Yousefi *et al*., 2016). بررسی توالی فصلی فیتوپلانکتون‌های دریاچه سد یامچی در استان اردبیل و ارتباط آن با پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب از دیگر مطالعاتی است که در این زمینه انجام گرفته است (Panahi *et al*., 2019). بر اساس نتایج این تحقیق، از نظر توالی فصلی دیاتوم‌ها در جمعیت پاییزی و اوایل بهار، جلبک‌های سبز و دینوفلاژله‌ها در جمعیت تابستانی و سیانوباکتری‌ها در اواخر تابستان غالب بودند. همچنین نتایج آنالیز PCA نشان داد که پارامترهای دما، غلظت سیلیس، سولفات و اکسیژن محلول مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار روی پراکنش فیتوپلانکتونی در دریاچه بودند. در مطالعه‌ای دیگر، غالب بودن جوامع سیانوباکتری‌ها در سواحل جنوبی دریای خزر و در فصل تابستان گزارش گردید (Bigham *et al*., 2016). مطالعه برخی از چشمه‌های آب گرم استان هرمزگان نیز وجود رابطه مستقیم بین دما و تنوع گونه‌ای سیانوباکتری‌ها را نشان داده است، به نحوی که چشمه‌های آب گرم با دمای بالا تنوع کمتر و چشمه‌های آب گرم با دمای پایین تنوع بیشتری از جلبک‌های سبز-آبی را نشان می‌دادند (Arman *et al*., 2015). در مجموع می‌توان گفت، عوامل متعدد اکولوژیکی می‌توانند به صورت روزانه، هفتگی، ماهانه و فصلی بر ساختار فلور جلبکی اکوسیستم‌های آبی تأثیر گذار باشند.

امروزه فیتوپلانکتون‌ها به‌عنوان نخستین شاخص وجود آلاینده‌ها در اکوسیستم‌های آبی مطرح می‌شوند. به‌عبارت دقیق‌تر، فیتوپلانکتون‌ها از شاخص‌های بیولوژیک کم هزینه و در-دسترس هستند (Hamzehei, 2012). همچنین، جوامع فیتوپلانکتونی و تغییرات آنها را می‌توان شاخصی از تغییرات محیطی بلندمدت و کوتاه‌مدت در زیست‌بوم‌های آبی به‌شمار آورد. ذخیره و حفظ منابع آبی سالم در بلندمدت نیازمند درک صحیح از عوامل مؤثر در افزایش بلوم‌های جلبکی است (Wongsai and Luo, 2007). بدین ترتیب، تلاش‌های قابل‌توجهی در سطح جهانی به‌منظور شناخت عوامل محیطی مربوط به این پدیده برای مدیریت بهتر منابع آب شیرین صورت گرفته است (Trojanowska and Izydorczyk, 2010; Le Vu *et al*., 2010). تحقیقات صورت گرفته نشانگر آنند که هر دو گروه عوامل درون زا (به عنوان مثال مواد مغذی، درجه حرارت آب) و عوامل بیرونی (درجه حرارت هوا، تابش خورشیدی، سرعت باد و جهت باد) می‌توانند نقش مهمی در توسعه بلوم‌های جلبکی، به‌ویژه بلوم سیانوباکتری‌ها ایفا کنند (Howard, 1994). شکوفایی سیانوباکتریایی یکی از شایع‌ترین و در عین‌حال جدی‌ترین انواع شکوفایی جلبکی در اکوسیستم‌های آب شیرین است که دارای انتشاری جهانی بوده در بسیاری از موارد منشأ ایجاد مسمومیت آبزیان است (Zamyadi *et al*, 2012., Bartram and Chorus, 1999).

متغیرهای هواشناسی زمانی اهمیت بیشتری می‌یابند که هدف، طراحی یک سیستم هشداردهنده در ارتباط با شکل‌گیری بلوم‌های جلبکی در منابع آب شرب باشد (Hu *et al*., 2009). نوسان‌های کوتاه مدت این متغیرها در رابطه با وقوع بلوم‌های جلبکی عاملی تعیین‌کننده معرفی شده است (Wu *et al*., 2013). بر اساس تحقیقات صورت گرفته، متغیرهای مختلف هواشناسی مانند دمای هوا (Elliott, 2012; Reichwaldtand, 2012, Ghadouani, 2012; Zhang *et al*.,2012)، بارندگی (Reichwaldt and Ghadouani, 2012)، ساعات آفتابی (Zhang *et al*., 2012) جریان باد (Liu *et al*., 2012; Guoa *et al*., 2019) با شکل‌گیری بلوم سیانوباکتری‌ها و توسعه جوامع آنها مرتبط است (Zhang *et al* 2012a,b;. برخی مطالعات نشانگر آنند که دیگر متغیرهای هواشناسی مانند رطوبت نسبی، حداقل دمای روزانه و مقدار تابش خورشیدی نیز با تراکم سیانوباکتری‌ها ارتباط دارند (Hu *et al*., 2009).

مواد مغذی و آب و هوا محرک‌های شناخته شده تغییرات در اکوسیستم های آب شیرین هستند (Ko *et al*., 2017; Monchamp *et al*., 2018). فیتوپلانکتون‌های موجود در دریاچه های آب شیرین شاخصی از تنوع زیستی و تغییرات محیطی می-باشند (Cupertino *et al*., 2019; Mateo *et al*., 2015; Wang *et al*., 2016). تجزیه و تحلیل مشاهدات ده ساله بلوم سیانوباکتری‌ها در دریاچه ورز در شمال ایتالیا نشان داد که سیانوباکتری‌ها حجم زیستی قابل توجهی از جامعه فیتوپلانکتون-ها را دارند و تسلط آنها در در این جوامع از سال ۲۰۱۰ به بعد مشاهده شد (Chirico *et al*., 2020). در مطالعه تنوع مکانی-زمانی گروه‌های فیتوپلانکتونی در یک دریاچه اتروفیک کم عمق مشاهده گردید که در طول فصل مرطوب، مقادیر زیاد مواد مغذی، دمای بالا و بارندگی شدید باعث ایجاد تغییرات مکانی در جوامع فیتوپلانکتون می شود (Jin *et al*., 2020). علاوه بر فاکتورهای هواشناسی، فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب نظیر دمای آب، pH، شفافیت، سختی آب، اکسیژن محلول، کربنات و بی‌کربنات، فسفر کل و نیتروژن کل را نیز می‌توان از عوامل تعیین کننده

ساختار اجتماعات فیتوپلانکتونی در فصول مختلف سال به‌شمار آورد.

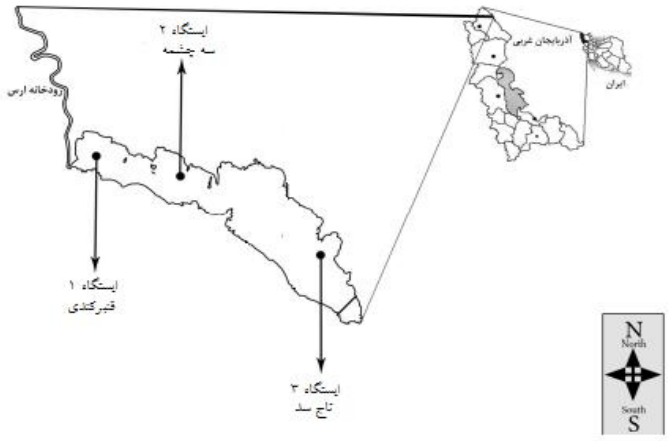
رودخانه ارس یکی از بزرگترین رودخانه‌های شمال غرب ایران و حوضه آبریز دریای خزر می‌باشد. علی‌رغم نقش مهم این رودخانه در منطقه به عنوان منبع اصلی تأمین آب برای مصارف مختلف، کیفیت آب دریاچه پُشت سد ارس از منظر زیستی و تغییرات جمعیتی فیتوپلانکتون‌ها در مطالعات معدودی مورد توجه قرار گرفته است. تاکنون در ایران مطالعه‌ای در خصوص تأثیر متغیرهای آب و هوایی بر رشد جوامع فیتوپلانکتونی این اکوسیستم آب شیرین صورت نگرفته است. بنابراین این پژوهش می‌تواند در ارزیابی جمعیت فیتوپلانکتونی با توجه به تغییر عوامل آب و هوایی و محیطی موجود تأثیرگذار باشد. مهم‌ترین اهداف پژوهش، عبارتند از:

- ارزیابی تغییرات الگوی غالب جوامع فیتوپلانکتونی در دریاچه سد ارس در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲.
- بررسی تأثیر عوامل هواشناسی و فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب بر گسترش جوامع فیتوپلانکتونی دریاچه سد ارس.

مواد و روش‌ها

ایستگاه‌های نمونه‌برداری

رودخانه ارس با مختصات جغرافیایی ′۷ و °۳۹ عرض شمالی و ′۲۰ و °۴۵ طول شرقی یکی از بزرگترین رودخانه‌های شمال غرب ایران و حوضه آبریز دریای خزر و تأمین‌کننده بخش مهمی از آب منطقه است. در این پژوهش سد ارس در استان آذربایجان غربی به‌عنوان نماینده‌ای از اکوسیستم‌های آبی موجود در شمال‌غرب ایران در نظر گرفته شد.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سد ارس

به طور کلی ایستگاه‌های نمونه برداری بر اساس یک روش آماری با معیارهای مربوط به هدف پروژه انتخاب می‌شوند. روش آماری مستلزم تعداد زیادی ایستگاه نمونه‌برداری است. با این وجود، در اکثر برنامه‌های پایش به دلیل محدودیت منابع تنها تعداد حداقلی از ایستگاه‌ها انتخاب می شوند. این مکان‌ها با در نظر گرفتن اهداف نمونه‌برداری انتخاب می‌شوند تا نمایانگر جمعیت واقعی فیتوپلانکتونی در سیستم آبی مورد نظر باشند (Mohebbi *et al.*, 2016). در مطالعه حاضر، نمونه‌برداری به صورت فصلی و در مجموع از سه ایستگاه واقع در طول شاخه اصلی سد صورت گرفت (شکل ۱). گزینش ایستگاه‌های نمونه-برداری با توجه به اهداف مطالعه، با درنظرگیری فاکتورهایی نظیر موقعیت قرارگیری و ورودی‌های پساب به حوزه آبی مورد نظر صورت گرفت. موقعیت و عنوان ایستگاه‌های مطالعاتی عبارتند از: ورودی سد (ایستگاه قنبر کندی)، وسط دریاچه (ایستگاه سه چشمه) و خروجی سد (ایستگاه تاج سد). ایستگاه‌های مذکور هر یک معرف شرایط محیطی پیرامون خود بوده و محدوده وسیعی را شامل می‌شوند. مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری در سد ارس

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی	
		عرض	طول
۱	قنبرکندی	″۵۲ ′۱۰ °۳۹ شمالی	″۲۷ ′۱۸ °۴۵ شرقی
۲	سه چشمه	″۲۲ ′۱۰ °۳۹ شمالی	″۹۲ ′۱۷ °۴۵ شرقی
۳	تاج سد	″۳۳ ′۷ °۳۹ شمالی	″۹۲ ′۲۲ °۴۵ شرقی

شیوه نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در دو دوره زمانی شامل سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ انجام شد و این پژوهش از نوع گذشته‌نگر می‌باشد. این نمونه‌برداری‌ها در تمام فصل‌های سال و با هدف ارزیابی زیستی جوامع فیتوپلانکتونی و تعیین متغیرهای فیزیکی و شیمیایی آب صورت گرفت.

نمونه‌برداری از اعماق مختلف آب هر ایستگاه (عمق ۱، ۲ و ۳ متری از سطح آب)، در طول شاخه اصلی سد و با کمک نمونه‌بردار روتنر[1] صورت گرفت. روند عمومی نمونه‌برداری در هر ایستگاه شامل برداشت سه نمونه از عمق‌های یک، دو و سه متری آب هر ایستگاه، همگن کردن آنها و تهیه یک نمونه آب از این مخلوط بود. به منظور به حداقل رساندن آسیب وارده به فیتوپلانکتون‌های موجود در نمونه‌های آب، بخشی از هر نمونه به وسیله فرمالین ۴ درصد تثبیت شد و بخشی نیز جهت انجام آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی، بدون تثبیت توسط فرمالین، در شرایط فاقد نور و خنک نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شد. داده‌های مربوط به اختصاصات فیزیکی آب هر ایستگاه نظیر دما، pH و شفافیت آب، و نیز داده‌های مربوط به اختصاصات شیمیایی آب ایستگاه‌های مطالعاتی نظیر نیتروژن کل، فسفر کل، کربنات، بی‌کربنات، اکسیژن محلول، کلسیم و منیزیم در راستای اهداف مطالعه از مرکز تحقیقات آرتمیای کشور، موسسه تحقیقات شیلات ایران، ارومیه دریافت شد. دمای آب به‌وسیله دماسنج جیوه‌ای، میزان pH آب توسط pH متر دیجیتال Jenway و میزان شفافیت آب با صفحه سشی در هنگام نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند. در هنگام برداشت نمونه آب، اکسیژن محلول آب توسط اکسی‌متر قابل‌حمل اندازه‌گیری گردید. جهت اندازه‌گیری غلظت یون کلسیم، ۵۰ میلی‌لیتر از نمونه آب برداشته شده و ۲ میلی‌لیتر سود نرمال، و به اندازه نوک اسپاتول معرف موراکسید به آن افزوده شد. سپس محلول به‌دست آمده با EDTA ۰/۰۱ مولار تیتر شد تا رنگ محلول بنفش شود. در این مرحله، بر اساس مقدار EDTA مصرفی مقدار کلسیم محاسبه گردید. مقدار منیزیم نمونه آب نیز بر اساس حجم EDTA مصرفی برای آزمایش کلسیم و سختی کل محاسبه شد. جهت تعیین غلظت نیتروژن کل و فسفر، هضم نمونه‌ها به وسیله پرسولفات پتاسیم در دستگاه اتوکلاو انجام شد و اندازه گیری ازت کل با استفاده از ستون کاهشی کادمیم با معرف سولفانیل آمید در طول موج ۵۴۳ نانومتر صورت گرفت. اندازه‌گیری فسفر کل نیز با استفاده از معرف کلرید قلع در طول موج ۶۹۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. نتایج ارزیابی‌ها در جدول‌های (۲، ۳و ۴) ارائه شده است.

بررسی جوامع فیتوپلانکتونی

شمارش جلبک‌ها با استفاده از محفظهٔ شمارش ۵ میلی‌لیتر Utermohl و میکروسکوپ اینورت Nikon مدل TS100 با بزرگنمایی ۴۰۰× به وسیله روش Utermohl (1958) انجام گرفت. در هر نمونه حداقل ۵۰ میدان دید یا ۱۰۰ عدد از فراوان‌ترین فیتوپلانکتون‌ها مورد شمارش قرار گرفت. شناسایی نمونه‌های فیتوپلانکتونی بر اساس صفات شاخص هر تاکسون و با استفاده از کلیدهای شناسایی Prescott(1962)، Tiffany and Britton (1971) و Bellinger (1992) انجام شد. فاکتورهایی نظیر ترکیب تاکسونومیکی جوامع فیتوپلانکتونی، غنای گونه‌ای، غالبیت و تنوع گونه‌ای در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. تنوع گونه ای بوسیله شاخص (Shannon and Weaver, 1963) و با استفاده از فرمول زیر تعیین شد:

$$H' = \Sigma\, Pi\, ln\,(Pi) \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن $Pi = n/N$ ، N: کل تعداد فیتوپلانکتونها، n: تعداد افراد هر گونه می‌باشد.

ارزیابی متغیرهای محیطی و شیمیایی آب و متغیرهای هواشناسی

متغیرهای هواشناسی از نزدیک‌ترین ایستگاه به محل نمونه‌برداری یعنی ایستگاه جُلفا در مقیاس روزانه استخراج شدند. متغیرهای مورد نظر عبارت بودند از: بارش، دمای هوا، جهت و سرعت باد و ساعات آفتابی. ارتباط این متغیرها با میزان کلروفیل کل آب و فراوانی جوامع فیتوپلانکتونی با استفاده از روش رِگرسیون چندگانه ارزیابی شد. یکی از روش‌های مرسوم در تحلیل چند متغیره، تکنیک رگرسیون خطی چندگانه (MLR) است. بر اساس تحلیل رگرسیونی، یک رابطه خطی بین متغیر وابسته با یک (رگرسیون خطی ساده) یا چند (رگرسیون خطی چندگانه) متغیر مستقل برقرار می‌شود.

تکنیک آماری تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی (Principal Component Analysis)، روشی از آنالیزهای چند متغیره آماری است که تعداد کمتری از عوامل را از میان عوامل اولیه گزینش می‌کند، به طوری که تعدادی از اطلاعات کم‌اهمیت حذف می‌شوند (zare, 2010). اولین مؤلفه اساسی استخراج شده، بیشترین مقدار پراکندگی داده‌ها را در مجموعه داده‌ها در نظر می‌گیرد، بدان معنی که اولین مؤلفه حداقل با تعدادی از متغیرها همبسته

1- Ruttner

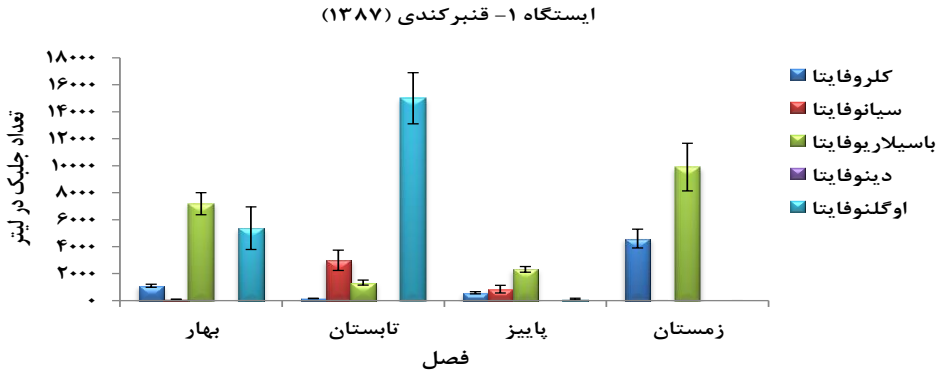
است. دومین مولفه استخراج شده دو ویژگی مهم دارد، اول اینکه این مؤلفه بیشترین مجموعه داده‌ها که توسط مؤلفه اول محاسبه نشده است را در نظر می گیرد و دوم اینکه با مؤلفه اول همبستگی ندارد. به عبارتی، همیشه مولفه اصلی اول بیشترین مقدار واریانس و مولفه‌های آخر کمترین واریانس را شرح می‌دهند. در این تحقیق، از روش PCA برای گروه‌بندی متغیرها در تعدادی مولفه اصلی استفاده شد که هر مولفه اصلی، ویژگی خاصی از داده‌ها را در فضای چند متغیره بیان می‌کند.

در این پژوهش، از داده‌های سنجنده Modis ماهواره Aqua جهت پایش ماهواره‌ای میزان کلروفیل آب استفاده شد. با توجه به دقت مناسب و کارآیی بیشتر داده‌های سنجنده Modis با تفکیک مکانی ۱ کیلومتر در مقیاس روزانه، این سنجنده برای ارزیابی‌های مطالعه حاضر در نظر گرفته شد. این داده‌ها با عضویت در سایت سازمان فضایی ایالات متحده (ناسا) و از بخش ocean color این سایت تهیه شد. با توجه به اینکه داده‌ها در سطوح ۰، ۱، ۲ و ۳ بصورت روزانه قابل برداشت می باشند، برای اهداف مختلف از داده‌های یک سطح خاص استفاده می‌شود. در اینجا تصاویر سطوح ۱ و ۲ که تصحیح شده‌اند و دربرگیرنده داده‌های کلروفیل-آ می‌باشند، آنالیز و از نرم افزار SeaDAS (SeaWiFS Data Analysis System) جهت استخراج داده‌ها استفاده شده است که خروجی آن شامل الگوریتم‌هایی برای تخمین کلروفیل-آ، دما و غیره می‌باشد. خروجی نرم‌افزار SeaDAS برای هر متغیر، در برگیرنده داده‌های میانگین، میانه، مینیمم، ماکزیمم، انحراف معیار، واریانس و ضریب تغییرات می‌باشد.

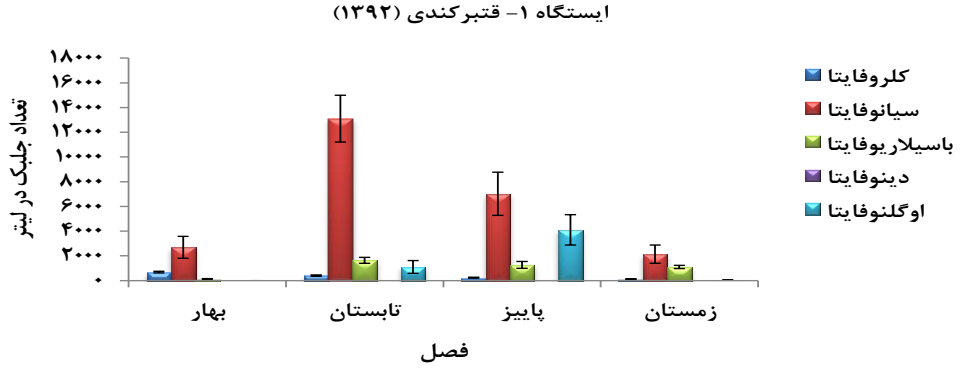
نتایج و بحث

ارزیابی فراوانی جوامع فیتوپلانکتونی

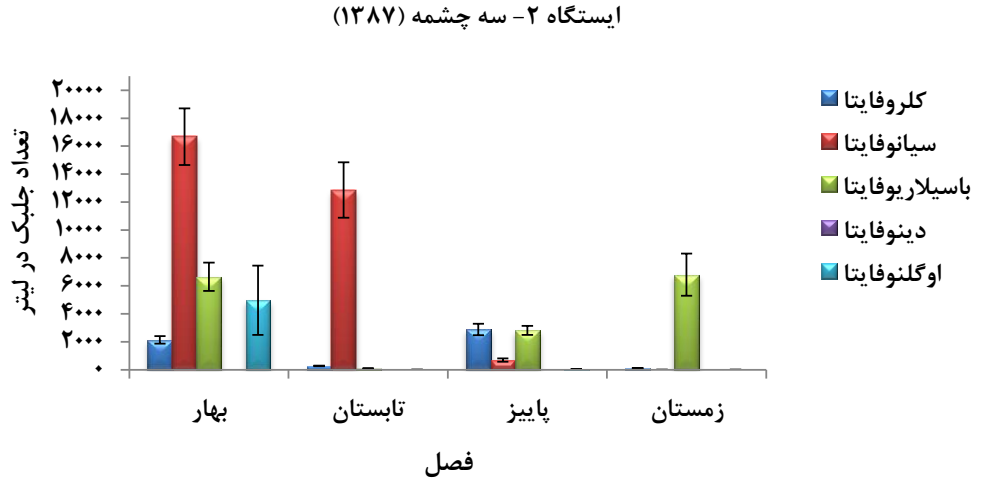
در این مطالعه ارزیابی فراوانی جوامع فیتوپلانکتونی در قالب پنج شاخه کلروفایتا، سیانوفایتا، باسیلاریوفایتا، دینوفایتا و اوگلنوفایتا انجام و درصد فراوانی هر شاخه در هر فصل تعیین گردید. مقایسه فراوانی جوامع فیتوپلانکتونی برای سه ایستگاه انتخابی در دو دوره مطالعاتی (سال ۱۳۸۷، سال ۱۳۹۲) در نمودارهای (۱تا ۶) نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در ایستگاه قنبرکندی در سال ۱۳۸۷ در فصل بهار شاخه باسیلاریوفایتا با ۵۲/۳ درصد، در فصل تابستان شاخه اوگلنوفایتا با ۸۵/۵ درصد، در فصل پاییز شاخه باسیلاریوفایتا با ۵۹/۴ درصد و در فصل زمستان شاخه باسیلاریوفایتا با ۶۸/۳ درصد؛ بیشترین درصد فراوانی را از کل فراوانی به خود اختصاص داده‌اند. در این ایستگاه، در سال ۱۳۹۲ در تمام فصول شاخه سیانوفایتا به ترتیب با ۷۶/۵، ۸۰/۷، ۵۵/۴ و ۶۳ درصد در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان بیشترین درصد فراوانی را به خود اختصاص داده بودند.



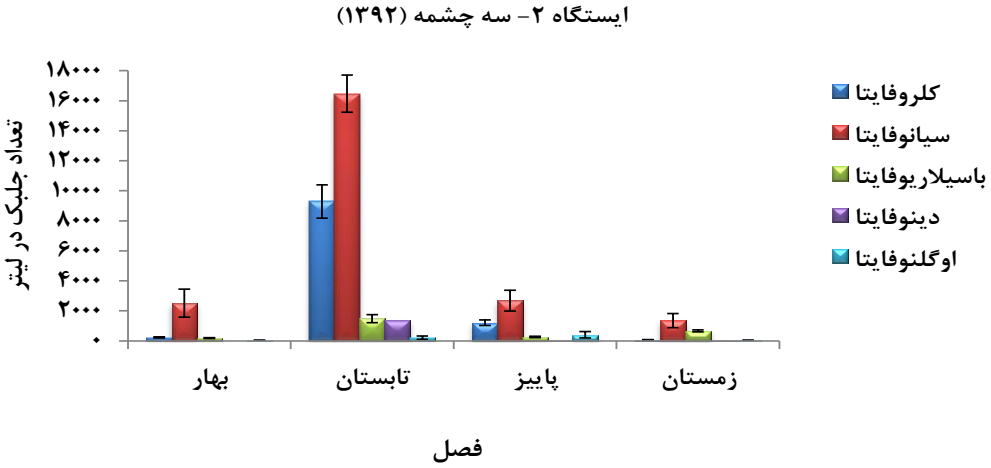
نمودار ۱- فراوانی جوامع فیتوپلانکتونی سال ۱۳۸۷ در ایستگاه قنبرکندی



نمودار ۲- فراوانی جوامع فیتوپلانکتونی سال ۱۳۹۲ در ایستگاه قنبرکندی



نمودار ۳- فراوانی جوامع فیتوپلانکتونی سال ۱۳۸۷ در ایستگاه سه چشمه



نمودار ۴- فراوانی جوامع فیتوپلانکتونی سال ۱۳۹۲ در ایستگاه سه چشمه

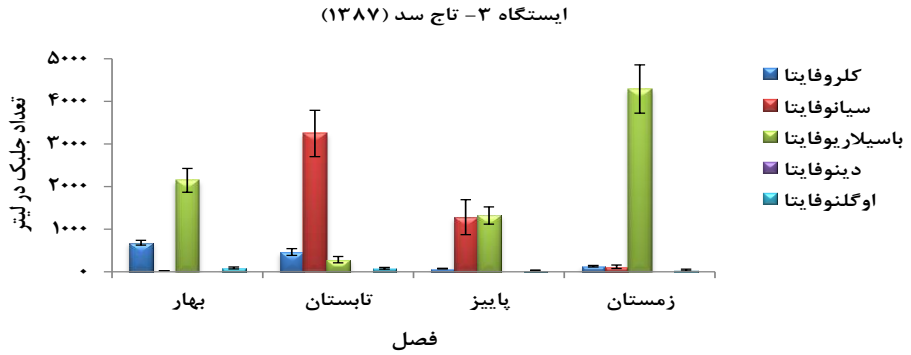
در ایستگاه سه چشمه در سال ۱۳۸۷ در فصل بهار شاخه سیانوفایتا با ۵۴/۸ درصد، در فصل تابستان شاخه سیانوفایتا با ۹۷/۲ درصد، در فصل پاییز شاخه کلروفایتا با ۴۴/۸ درصد و در فصل زمستان شاخه باسیلاریوفایتا با ۹۸/۲ درصد؛ بیشترین درصد فراوانی را از کل فراوانی به خود اختصاص داده بودند. در این ایستگاه، در سال ۱۳۹۲ در تمامی فصول سال اعم از بهار، تابستان، پاییز و زمستان شاخه سیانوفایتا به ترتیب با ۸۴/۸، ۶۶/۵، ۵۸/۵ و ۶۲/۶ درصد بیشترین درصد فراوانی را به خود اختصاص داده بودند.

در ایستگاه تاج سد در سال ۱۳۸۷ در فصل بهار شاخه باسیلاریوفایتا با ۷۳/۲ درصد، در فصل تابستان شاخه سیانوفایتا با ۷۹/۵ درصد، در فصل پاییز شاخه باسیلاریوفایتا با ۴۸/۹ درصد و در فصل زمستان شاخه باسیلاریوفایتا با ۹۸/۵ درصد؛ بیشترین درصد فراوانی را از کل فراوانی به خود اختصاص داده بودند. در این ایستگاه، در سال ۱۳۹۲ در تمام فصول سال شاخه سیانوفایتا به ترتیب با ۷۳، ۶۱/۷ و ۷۷/۱ درصد در فصل بهار، پاییز و زمستان بیشترین درصد فراوانی را از کل فراوانی داشته است.

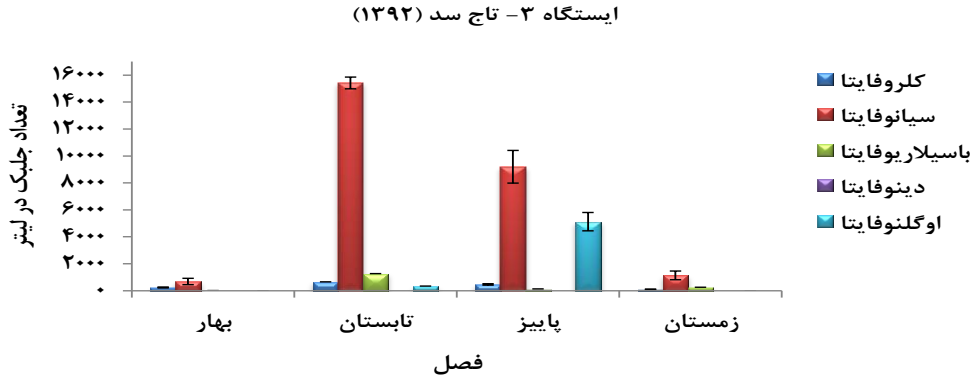
بر اساس مطالعه فصلی صورت گرفته، نوع جوامع غالب فیتوپلانکتونی در دو دوره زمانی مطالعاتی تغییر کرده است. همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، الگوی غالب حضور فیتوپلانکتون‌ها در دریاچه سد ارس در سال ۱۳۸۷ نسبت به سال ۱۳۹۲ در تمام فصول به غالبیت سیانوفایتا تغییر پیدا کرده است.

ارزیابی اثر متغیرهای فیزیکی و شیمیایی روی جمعیت فیتوپلانکتونی

متغیرهای محیطی مورد ارزیابی در این پژوهش عبارت بودند از: دمای آب، کدورت آب، کلسیم، کربنات، اکسیژن محلول، بی‌کربنات، منیزیم، فسفر کل،کلروفیل a، شفافیت، pH، قلیائیت کل. جدول‌های (۳ تا ۵) مقادیر اندازه‌گیری شده متغیرهای شیمیایی آب و کلروفیل a را در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ نشان می‌دهد.



نمودار ۵- فراوانی جوامع فیتوپلانکتونی سال ۱۳۸۷ در ایستگاه تاج سد



نمودار ۶- فراوانی جوامع فیتوپلانکتونی سال ۱۳۹۲ در ایستگاه تاج سد

جدول ۲: تغییرات الگوی غالب جوامع فیتوپلانکتونی در دریاچه سد ارس

ایستگاه	بهار ۸۷	تابستان ۸۷	پاییز ۸۷	زمستان ۸۷	بهار ۹۲	تابستان ۹۲	پاییز ۹۲	زمستان ۹۲
قنبرکندی	باسیلاریوفیتا	اوگلنوفیتا	باسیلاریوفیتا	باسیلاریوفیتا	سیانوفایتا	سیانوفایتا	سیانوفایتا	سیانوفایتا
سه چشمه	سیانوفیتا	سیانوفیتا	کلروفیتا	باسیلاریوفیتا	سیانوفایتا	سیانوفایتا	سیانوفایتا	سیانوفایتا
تاج سد	باسیلاریوفیتا	سیانوفیتا	باسیلاریوفیتا	باسیلاریوفیتا	سیانوفایتا	سیانوفایتا	سیانوفایتا	سیانوفایتا

جدول ۳- مقادیر فصلی اندازه‌گیری شده متغیرهای شیمیایی آب و کلروفیل آ در ایستگاه قنبرکندی

فصل (ایستگاه ۱)	کلروفیل (میلی‌گرم بر متر مکعب)	دمای آب (°C)	اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	فسفر (میلی‌گرم بر لیتر)	شفافیت (متر عمق نفوذ نور)	بی‌کربنات (میلی‌گرم بر لیتر)	کربنات (میلی‌گرم بر لیتر)	کدورت (میلی‌گرم بر لیتر)	pH	کلسیم (میلی‌گرم بر لیتر)	منیزیم (میلی‌گرم بر لیتر)
بهار ۸۷	۷/۰۱	۱۹/۴	۸/۵۸	۱/۰۴	۱۹۳	۱۷۲	۲۰/۶۷	۳۰۰	۷/۵	۲۲/۱۳	۶۱/۸۸
بهار ۹۲	۴/۷۷	۲۶/۵	۸/۲	۱/۰۳	۲۲۴	۱۷۶	۴۸	۳۱۴	۸/۴	۴۵/۶	۴۸/۶۲
تابستان ۸۷	۱۵/۴۷	۲۵/۹۵	۱۱/۱۶	۱/۱۸	۲۱۶	۱۸۶	۳۰	۲۹۷	۸/۷	۳۲/۲۷	۵۲/۳۴
تابستان ۹۲	۱۰/۵۷	۲۰/۵	۱۲	۰/۴	۲۲۲	۲۰۲	۲۰	۳۷۰	۸/۳	۵۰/۴	۵۹/۳
پاییز ۸۷	۶/۵۷	۱۴/۱۵	۱۲/۶۳	۰/۵۲	...	...	...	۵۲۰	۸/۷	۶۴/۸	۸۲/۶۵
پاییز ۹۲	۸/۹۲	۹	۳/۲	۰/۵۲	۳۳۰	۲۹۸	۳۲	۴۶۴	۸/۲	۸۸	۵۹/۳
زمستان ۸۷	۳/۴۱	۸/۱۷	۱۴/۲	۰/۷۴	...	...	...	۳۷۸	۸/۵	۴۵/۰۷	۶۴/۴۹
زمستان ۹۲	۳/۲۳	۱۳/۵	۳/۵۲	۰/۴۴	۲۶۶	۲۳۴	۳۲	۴۱۶	۸/۴	۶۸	۵۹/۸

در مطالعه حاضر، در ایستگاه‌های قنبرکندی و تاج سد دمای آب در فصول بهار و زمستان ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۸۷ بیشتر است، در حالیکه دمای آب در پاییز و تابستان این سال کاهش نشان می‌دهد. در ایستگاه سه چشمه در تمام فصول سال ۱۳۹۲ افزایش دمای آب نسبت به زمان مشابه در سال ۱۳۸۷ مشاهده می‌شود. به‌طور کلی، افزایش فراوانی فیتوپلانکتونی در فصل تابستان در ایستگاه‌های مورد بررسی را می‌توان به افزایش دمای آب و شدت تابش نور در این شرایط فصلی نسبت داد.

حضور زیست‌توده جلبکی در مقادیر بالاتر از حد مجاز در آب مخزن سدها سبب ایجاد نوسانات قابل توجهی در pH آب می‌شود. مقدار pH در هر سه ایستگاه فقط در فصل بهار ۱۳۹۲ نسبت به بهار ۱۳۸۷ افزایش نشان داده است و در فصل‌های دیگر مقدار آن نسبت به سال ۱۳۸۷ کاهش پیدا کرده است. به طور کلی در تمام ایستگاه‌ها pH در محدوده بالاتر از ۸ بوده و آب

حالت قلیایی دارد. لازم به ذکر است، pH قلیایی شرایط مناسبی را برای توسعه جوامع سیانوباکتریایی فراهم می‌سازد.

کدورت بیان‌کننده میزان شفافیت آب است و می‌تواند شاخصی از حضور ذرات معلق حاصل از مواد آلی، معدنی، جلبک‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها در آب باشد. کدورت زیاد آب سبب جلوگیری از تابش نور کافی به درون آب، کاهش رشد گیاهان مولد اکسیژن و فتوسنتز می‌شود. بر اساس داده‌های ارائه شده در جداول ۳ تا ۵ میزان کدورت غالباً در تمام فصول در سال ۱۳۹۲ افزایش پیدا کرده است.

جدول ۴- مقادیر فصلی اندازه‌گیری شده متغیرهای شیمیایی آب و کلروفیل a در ایستگاه سه چشمه

فصل (ایستگاه ۲)	کلروفیل (میلی‌گرم بر متر مکعب)	دمای آب (°C)	اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	فسفر (میلی‌گرم بر لیتر)	شفافیت (متر عمق نفوذ نور)	بی‌کربنات (میلی‌گرم بر لیتر)	کربنات (میلی‌گرم بر لیتر)	کدورت (میلی‌گرم بر لیتر)	pH	کلسیم (میلی‌گرم بر لیتر)	منیزیم (میلی‌گرم بر لیتر)
بهار ۸۷	۷/۰۱	۲۱/۴۵	۹/۰۳	۱/۶	۱۸۱	۱۶۵	۱۶	۲۷۳	۷/۴	۳۱/۲	۵۰/۳۹
بهار ۹۲	۴/۷۷	۲۳	۴/۰۸	۰/۵۱	۲۷۸	۲۴۲	۳۶	۴۱۶	۸/۵	۶۲/۴	۵۷/۸۵
تابستان ۸۷	۱۵/۴۷	۲۶/۲۳	۱۲/۴۱	۱/۲۵	۲۰۶	۱۵۹	۴۶/۶۷	۳۰۳	۸/۵	۳۳/۰۷	۶۰/۲۸
تابستان ۹۲	۱۰/۵۷	۲۷	۷/۹	۱/۲۲	۲۱۸	۱۷۸	۴۰	۳۲۰	۸/۴	۸۸	۶۲/۷۱
پاییز ۸۷	۶/۵۷	۱۳/۳	۱۰/۳۱	۰/۵۹	...	...	...	۴۵۵	۸/۴	۵۷/۸۷	۷۴/۳۸
پاییز ۹۲	۸/۹۲	۱۹/۵	۸/۸	۰/۳۹	۲۵۰	۲۴۲	۸	۳۹۴	۸/۲	۷۱/۲	۵۷/۸
زمستان ۸۷	۳/۴۱	۴/۷۳	۱۵/۱۷	۰/۸۴	...	...	...	۳۸۹	۹/۳	۶۰/۹۷	۵۲/۸۲
زمستان ۹۲	۳/۲۳	۸	۷/۲۸	۰/۴۲	۳۱۰	۲۹۰	۲۰	۴۷۸	۸/۱	۶۸	۵۹/۸

جدول ۵- مقادیر فصلی اندازه‌گیری شده متغیرهای شیمیایی آب و کلروفیل a در ایستگاه تاج سد

فصل (ایستگاه ۳)	کلروفیل (میلی‌گرم بر متر مکعب)	دمای آب (°C)	اکسیژن محلول (میلی‌گرم بر لیتر)	فسفر (میلی‌گرم بر لیتر)	شفافیت (متر عمق نفوذ نور)	بی‌کربنات (میلی‌گرم بر لیتر)	کربنات (میلی‌گرم بر لیتر)	کدورت (میلی‌گرم بر لیتر)	pH	کلسیم (میلی‌گرم بر لیتر)	منیزیم (میلی‌گرم بر لیتر)
بهار ۸۷	۷/۰۱	۱۹/۴	۹/۹۷	۱/۴۸	۱۸۷	۱۶۷	۲۰	۲۸۷	۷/۶	۲۶/۴	۵۳/۷۶
بهار ۹۲	۴/۷۷	۲۱	۳/۳۶	۰/۳۷	۲۶۴	۲۲۸	۳۶	۴۰۴	۸/۲	۶۴	۵۹/۳
تابستان ۸۷	۱۵/۴۷	۲۵/۸۷	۹/۱۹	۰/۸	۲۲۷	۱۸۲	۴۴	۲۹۳	۸/۴	۳۳/۰۷	۵۱/۲۱
تابستان ۹۲	۱۰/۵۷	۲۰	۱۲/۸	۰/۲۷	۲۳۲	۲۰۴	۲۸	۳۹۰	۸/۳	۵۸/۴	۵۹/۳
پاییز ۸۷	۶/۵۷	۱۳/۱۷	۱۱/۱۷	۰/۵۸	۲۶۰	...	...	۴۰۷	۸/۳	۵۴/۱۳	۶۵/۹۵
پاییز ۹۲	۸/۹۲	۸	۶/۴	۰/۴۲	۳۱۶	۲۸۸	۲۸	۴۷۶	۸/۱	۹۰/۴	۶۰/۷۷
زمستان ۸۷	۳/۴۱	۵/۱۳	۱۶/۲۸	۰/۹۶	۲۶۲	...	...	۴۱۳	۸/۵	۶۰/۵۳	۶۳/۵۳
زمستان ۹۲	۳/۲۳	۱۶	۸/۵	۱/۲۱	۲۱۴	۱۷۸	۳۶	۳۱۲	۸/۳	۵۲	۴۴/۲

رشد گیاهان در اغلب مخازن و رودخانه‌ها بستگی به میزان فسفر قابل جذب دارد. مقدار فسفر کل به عنوان شاخص کیفیت آب در دریاچه‌های بسیاری از کشورهای پیشرفته مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان فسفر اندازه‌گیری شده در تمام ایستگاه‌ها و در تمامی فصول سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۸۷ کاهش یافته است و تنها افزایش جزئی در ایستگاه تاج سد، در فصل زمستان سال ۱۳۹۲ دیده شد. بر اساس نتایج موجود، مقدار کلسیم نیز به عنوان شاخصی از سختی آب، در هر سه ایستگاه و در تمامی فصول سال ۱۳۹۲ افزایش چشمگیری نشان می‌دهد.

تحلیل عاملی متغیرهای محیطی

در اینجا از روش تحلیل عاملی با دوران Varimax برای داده‌های میزان کلروفیل آب و در مجموع ۱۱ متغیر فیزیکی و شیمیایی آب انجام شده است و هدف تشخیص مهم‌ترین متغیرهای محیطی و شیمیایی آب مؤثر در میزان کلروفیل آب می‌باشد. یکی از آماره‌هایی که می‌توان از طریق آنها به تشخیص مناسب بودن داده‌ها برای انجام آزمون تحلیل عاملی پی برد، استفاده از ضریب KMOاست که مقدار آماره بیشتر از ۰/۵ بیانگر مناسب بودن داده‌ها برای انجام تحلیل عاملی است. نتایج این آنالیزها عبارتند از:

ایستگاه شماره ۱ (قنبر کندی): در این ایستگاه مقدار آماره KMO برابر ۰/۵۲ به دست آمد. نتایج محاسبات مقدار ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها نشان می‌دهد که چهار عامل قابلیت تبیین واریانس‌ها را دارند. اگر عامل‌های به دست آمده را با روش Varimaxچرخش دهیم، عامل‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۲۸/۱، ۲۲/۵۳، ۱۵/۸۸ و ۱۳/۴۹ و در مجموع ۸۰ درصد از واریانس را در بردارند. تغییرات مقادیر ویژه در ارتباط با عامل‌ها نشان می‌دهد که از عامل چهارم به بعد تغییرات مقدار ویژه کم می‌شود، پس می‌توان چهار عامل را به عنوان عوامل مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارند، استخراج کرد. تفسیر بارهای عاملی بدون چرخش ساده نیست. بنابراین دوران

عامل ها سبب می‌شود قابلیت تفسیر آن‌ها افزایش یابد. جدول (۶) ماتریس دوران‌یافته اجزا را نشان می‌دهد که شامل بارهای عاملی هریک از متغیرها در چهار عامل باقی مانده پس از دوران می باشد. هر چقدر مقدار قدر مطلق این ضرایب بیشتر باشد، عامل مربوطه نقش بیشتری در کل تغییرات واریانس متغیر مورد نظر دارد. در این جدول مقادیر معنی‌دار برجسته شده‌اند.

ایستگاه شماره ۲ (سه چشمه): در این ایستگاه مقدار آماره KMO برابر ۰/۵۴ به دست آمد. نتایج محاسبات مقدار ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها نشان می‌دهد که سه عامل قابلیت تبیین واریانس‌ها را دارند. چرخش عامل‌های به دست آمده بیانگر این است که، عامل‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ۳۹/۹، ۱۸/۶۴ و ۱۷/۸۶ و در مجموع ۷۶ درصد از واریانس را در بردارند. پس می‌توان سه عامل را به عنوان عوامل مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارند، در نظر گرفت.

ایستگاه شماره ۳ (تاج سد): در این ایستگاه مقدار آماره KMO برابر ۰/۵۳ به دست آمد. نتایج محاسبات مقدار ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها نشان می‌دهد که دو عامل قابلیت تبیین واریانس‌ها را دارند. چرخش عامل‌های به دست آمده بیانگر این است که، عامل‌های اول و دوم به ترتیب ۶۸/۵۹ و ۲۴/۴۷ و در مجموع ۹۳ درصد از واریانس را در بردارند. پس می‌توان دو عامل را به عنوان عوامل مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارند، در نظر گرفت.

جدول ۶- ماتریس چرخش یافته عامل‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه ۱	مؤلفه			
	۱	۲	۳	۴
کلروفیل	**-۰/۹۷**	**۰/۷۸۸**	۰/۰۷۶	۰/۱۲۰
دمای آب	-۰/۳۸	**۰/۷۳۲**	۰/۱۴۶	۰/۱۹۸
اکسیژن محلول	-۰/۲۷۲	-۰/۲۰۸	**۰/۵۶۷**	**-۰/۶۲۱**
فسفر	-۰/۴۳۹	۰/۴۴۶	-۰/۴۵۹	۰/۱۳۸
شفافیت	**۰/۹۳۹**	-۰/۰۴۴	-۰/۰۸۱	۰/۰۲۷
بی کربنات	**۰/۹۴۳**	-۰/۰۳۲	-۰/۰۳۳	-۰/۲۴۴
کربنات	-۰/۰۷۴	-۰/۰۱۷	-۰/۰۲۱	**۰/۸۶۸**
کدورت	**۰/۶۵۰**	-۰/۰۵۵	۰/۱۶۴	۰/۱۹۶
pH	۰/۰۷۶	۰/۱۱۸	**۰/۹۵۲**	-۰/۰۱۸
کلسیم	**۰/۶۷۴**	-۰/۲۷۶	۰/۳۰۶	۰/۲۷۴
منیزیم	۰/۱۰۲	**-۰/۶۸۱**	۰/۲۰۸	۰/۳۱۵

ادامه جدول ۶

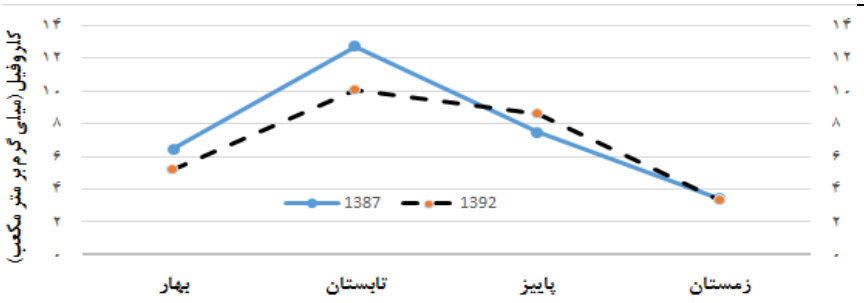
ایستگاه ۲	مؤلفه		
	۱	۲	۳
کلروفیل	**-۰/۶۸۲**	۰/۲۲۰	-۰/۲۲۹
دمای آب	**-۰/۶۹۵**	۰/۰۲۰	**-۰/۵۲۰**
اکسیژن محلول	-۰/۱۲۲	-۰/۱۳۹	**۰/۸۶۴**
فسفر	**-۰/۶۶۹**	۰/۰۷۰	۰/۰۰۵
شفافیت	**۰/۸۱۰**	۰/۰۰۱	-۰/۲۰۷
بی کربنات	**۰/۸۸۳**	-۰/۳۱۰	-۰/۰۸۰
کربنات	-۰/۱۱۸	**۰/۸۴۹**	۰/۲۸۶
کدورت	**۰/۸۲۵**	۰/۳۰۲	۰/۰۷۹
pH	۰/۱۳۳	۰/۳۰۵	**۰/۷۱۲**
کلسیم	**۰/۶۲۱**	۰/۴۴۶	۰/۰۷۴
منیزیم	-۰/۰۵۵	**۰/۸۸۱**	-۰/۱۶۰

ادامه جدول ۶

ایستگاه ۳	مؤلفه	
	۱	۲
کلروفیل	-۰/۱۵۵	-۰/۴۹۳
دمای آب	**-۰/۵۰۱**	-۰/۴۱۵
اکسیژن محلول	-۰/۰۲۹	**۰/۵۰۱**
فسفر	**-۰/۵۵۵**	-۰/۱۷۰
شفافیت	**۰/۹۳۷**	-۰/۱۲۰
بی کربنات	**۰/۸۰۹**	**-۰/۵۴۱**
کربنات	۰/۲۴۸	۰/۰۵۷
کدورت	**۰/۸۳۴**	**۰/۵۵۱**
pH	۰/۰۷۳	۰/۳۳۴
کلسیم	**۰/۶۱۹**	۰/۳۰۱
منیزیم	۰/۰۹۵	۰/۴۹۶

تغییرات غلظت کلروفیل-آ و ارتباط آن با فراوانی جوامع فیتوپلانکتونی

از داده‌های ماهواره‌های سنجنده‌های Modis جهت پایش ماهواره ای میزان کلروفیل-آ در این پژوهش استفاده شده است که خروجی آن شامل الگوریتم‌هایی برای تخمین کلروفیل-آ و چندین شاخص دیگر می‌باشد. در اینجا با استفاده از نرم افزار SeaDAS مقادیر کلروفیل-آ در مقیاس روزانه و برای دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ استخراج شده است (نمودار ۷).



نمودار ۷- میزان کلروفیل در فصل های مختلف سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ در دریاچه ارس

نوسانات غلظت کلروفیل آ در دریاچه سد ارس در فصول مختلف سال، الگوی خاصی را نشان می‌دهد که در آن بالاترین میزان در فصل تابستان سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ و به ترتیب برابر ۱۲/۷۱ و ۱۰ (میلی‌گرم بر مترمکعب) می‌باشد. کمترین میزان کلروفیل نیز در فصل زمستان سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ به ترتیب با مقادیر ۳/۴۱ و ۳/۳۲ (میلی‌گرم بر مترمکعب) گزارش گردید. تغییرات فصلی میزان کلروفیل-آ با تغییر فصلی تراکم فیتوپلانکتون‌ها در سد ارس مطابقت نشان می‌دهد. به علاوه، فراوانی فیتوپلانکتون‌ها همبستگی بالایی با غلظت کلروفیل آ دارد (این نتیجه با نمودارهای ا تا ۶ همخوانی دارد).

بررسی اثر متغیرهای هواشناسی بر میزان کلروفیل کل آب

مدل رگرسیون چندگانه

در این پژوهش مقدار کلروفیل به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای هواشناسی به عنوان متغیرهای مستقل به مدل رگرسیون چندگانه وارد شدند. به منظور رفع مشکل هم خطی از مدل رگرسیونی به روش گام به گام استفاده شده است. در رگرسیون گام به گام تمامی متغیرهای مستقل وارد مدل می‌شوند و آن متغیر مستقلی که تأثیر چندانی بر متغیر وابسته نداشته باشد از مدل حذف می‌شود. مقادیر ضریب همبستگی بین میزان کلروفیل (متغیر وابسته) و میانگین دمای هوا (متغیر مستقل) برابر ۰/۷۲ و ضریب تعیین معادل ۰/۵۲ محاسبه شده است (جدول ۷). با توجه به مقادیر به‌دست آمده، به نظر می‌رسد که مدل رگرسیونی مدلی مناسب است. چراکه هر چه این مقادیر به ۱ نزدیک‌تر باشند، مدل بیانگر رابطه قوی‌تری بین متغیر وابسته و مستقل است. به بیان دیگر مدل رگرسیونی توانسته درصد بیشتری از تغییرات متغیر وابسته را تحت پوشش قرار داده یا بیان کند.

جدول ۷: خلاصه مدل رگرسیونی

مدل	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	خطای استاندارد برآورد شده	دوربین-واتسون
۱	۰/۷۱۹	۰/۵۱۷	۳/۱۲۵۰۹	۰/۸۶۱

با توجه به خروجی مدل مشاهده می‌کنیم که تنها متغیر میانگین دمای هوا به معادله رگرسیونی وارد شده است و این متغیر به تنهایی ۷۲ درصد از تغییرپذیری متغیر میزان کلروفیل را بیان می‌کند. متغیرهای دیگر نتوانستند از معیار مورد نظر عبور کنند و از مدل حذف می‌شوند. بنابراین متغیر میانگین دمای هوا بهترین پیشگو برای میزان کلروفیل است.

در جدول (۸)، با توجه به بزرگ بودن F و مقدار Sig=0.000<0.05 نتیجه می‌گیریم که مدل رگرسیونی مناسب خواهد بود.

جدول ۸- جدول ANOVA

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	معنی-داری
رگرسیون	۳۷۵/۷۱۰	۱	۳۵۷/۷۱۰	۳۸/۴۷۰	۰/۰۰۰
باقیمانده	۳۵۱/۵۸۳	۳۶	۹/۷۶۶		
کل	۷۲۷/۲۹۲	۳۷			

در جدول (۹) برآورد ضرایب و خصوصیات مربوط به آزمون آن‌ها دیده می‌شود.

جدول ۹- مدل رگرسیونی و آزمون آماری ضرایب رگرسیون

مدل	ضرایب غیراستاندارد		ضرایب استاندارد	آماره t	معنی-داری	آمار همخوانی	
	B	خطای استاندارد	بتا			آستانه تحمل	VIF
ثابت	۳/۵۸۴	۰/۷۹۷		۴/۵۰۰	۰/۰۰۰		
میانگین دمای هوا	۰/۲۷۱	۰/۰۴۴	۰/۷۱۹	۶/۲۰۲	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰

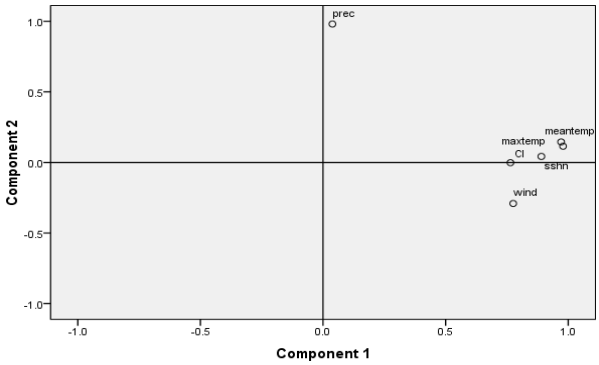
مطابق جدول (۹)، هر ضریبی که دارای Beta بزرگتری باشد، در مدل رگرسیونی از اهمیت بیشتری نیز برخوردار است. به این ترتیب مشخص می‌شود که متغیر میانگین دمای هوا (Beta=0.72)بهترین متغیر برای پیش‌گویی متغیر وابسته یعنی کلروفیل است. بنابراین متغیر دمای هوا، متغیری است که بیشترین سهم را در بیان تغییرات متغیر پاسخ دارد، و این سهم حدود ۷۲ درصد است.

آزمون تحلیل عاملی

در اینجا مقدار آماره KMO برابر ۰/۶۹است. نتایج مقدار ویژه و واریانس متناظر با عامل‌ها نشان می‌دهد که دو عامل قابلیت تبیین واریانس‌ها را دارند. اگر این عامل‌ها را با روش Varimax چرخش دهیم، عامل‌های اول و دوم به ترتیب ۶۴/۶۹ و ۱۸/۰۲ و در مجموع ۸۲/۷۲ درصد از واریانس را در بردارند. جدول (۱۰) ماتریس جدول عامل‌های چرخش یافته است که شامل بارهای عاملی هریک از متغیرها در دو عامل باقیمانده می‌باشد. هر چه قدر مطلق این ضرایب بیشتر باشد، عامل مربوطه نقش بیشتری در کل تغییرات واریانس متغیر مورد نظر دارد. در این جدول مقادیر معنی دار برجسته شده‌اند.

جدول ۱۰- ماتریس چرخش یافته عامل‌ها

متغیر	مؤلفه	
	۱	۲
کلروفیل	**۰/۷۶۴**	-۰/۰۰۲
سرعت باد	**۰/۷۷۶**	-۰/۲۹۱
میانگین دمای هوا	**۰/۹۷۹**	۰/۱۱۵
ماکزیمم دمای هوا	**۰/۹۷۱**	۰/۱۴۵
بارش	۰/۰۳۸	**۰/۹۸۰**
ساعات آفتابی	**۰/۸۹۰**	۰/۰۴۲



نمودار ۸- آنالیز مؤلفه های اصلی مقدار کلروفیل و متغیرهای هواشناسی

نمودار (۸) نشان می‌دهد که میانگین دمای هوا، بیشینه دمای هوا، تعداد ساعات آفتابی، میزان کلروفیل و سرعت باد متغیرهایی هستند که بیشترین تغییرات را روی اولین محور در آنالیز مولفه‌های اصلی ایجاد می‌کنند. در حالیکه میزان بارش همبستگی معنی‌دار و زیادی با دومین محور دارد.

بحث

امروزه آلودگی‌های زیست‌محیطی، منابع ایجاد کننده آنها و چگونگی کنترل آلودگی‌ها در طبیعت از جایگاه ویژه‌ای در مسیرهای تحقیقاتی پیش‌رو برخوردارند. شکوفایی جلبکی در اکوسیستم‌های آبی به‌عنوان یکی از پدیده‌های زیست‌محیطی آسیب‌رسان و مهم در دهه‌های اخیر معرفی شده است. به نظر می‌رسد روند رو به رشد شکل‌گیری بلوم‌های جلبکی می‌تواند ناشی از تغییر الگوهای آب و هوایی و نیز تغییر شرایط محیطی باشد. برای بررسی این موضوع، ارزیابی تغییرات الگوی غالب جوامع فیتوپلانکتونی در دریاچه سد ارس، به موازات ارزیابی تأثیرعوامل هواشناسی و فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب بر رشد جوامع فیتوپلانکتونی در این زیست‌بوم آبی صورت گرفت.

محسن‌زاده و همکاران (۲۰۱۴) عوامل مؤثر بر نوسانات فیتوپلانکتون‌های خلیج فارس (سواحل استان بوشهر) را طی زمستان و بهار ۱۳۹۲-۱۳۹۱ ارزیابی کردند (Mohsenizadeh *et al*, 2014). در این تحقیق، در مجموع ۴۵ جنس از نمونه‌های فیتوپلانکتونی شناسایی شدند. نتایج این تحقیق نشان می‌داد که علاوه بر توسعه معمول فیتوپلانکتون‌ها در یک اکوسیستم آبی، از آنجا که رشد، سمیت و توزیع شکوفایی جلبکی گونه‌های مضر با شرایط زیست‌محیطی ارتباط تنگاتنگی دارد، تغییرات آب و هوایی می‌تواند وقوع، شدت و اثرات رخداد این گونه‌ها را تغییر دهد. محبی و همکاران (۲۰۱۶) نیز فیتوپلانکتون‌های مخزن سد ارس را به منظور ارزیابی کیفیت آب، بررسی کردند (Mohebbi *et al*, 2016). این مطالعه در محدوده زمانی آگوست ۲۰۱۳ تا مه ۲۰۱۴ و به منظور تعیین ارتباط میان نوسانات فصلی جوامع فیتوپلانکتونی با عوامل محیطی در مخزن سد ارس انجام شد. نتایج نشان داد که با توجه به بار زیاد مواد مغذی موجود در مخزن سد ارس، سیانوباکتری‌ها از جایگاه ویژه‌ای در میان جوامع فیتوپلانکتونی موجود برخوردارند. در مطالعه‌ای دیگر، سیانوباکتری‌ها به عنوان نمونه غالب فیتوپلانکتونی در سد ارس با بیشترین تراکم ۷۴ درصد معرفی شدند (Mohebbi *et al*, 2015). بررسی تغییرات زمانی- مکانی، تنوع و غنای گونه‌ای فیتوپلانکتون‌ها در دریاچه سد منجیل نشان داد که ترکیب گونه-ای دارای تغییرات زمانی بوده و فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی مهم‌ترین عامل این تغییرات تعیین گردیدند (Yousefi *et al*., 2016). در این مطالعه نیز، عوامل محیطی به عنوان عوامل اصلی تعیین کننده شکل‌گیری و توسعه جوامع سیانوباکتریایی معرفی شدند.

دمای آب یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر توالی فصلی فیتوپلانکتون‌هاست. اهمیت این عامل زیست‌محیطی، به‌ویژه در ارتباط با برخی نمونه‌های فیتوپلانکتونی که از نیاز دمایی بیشتری برخوردارند، قابل مشاهده است. یکی از علل اصلی توسعه برخی اجتماعات فیتوپلانکتونی در فصل تابستان را می‌توان به تأثیر همین عامل محیطی نسبت داد (Ke *et al*., 2006; Abrantes *et al*, 2008). در ایستگاه‌های قنبرکندی و تاج سد دمای آب در بهار و زمستان سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۸۷ افزایش نشان می‌دهد، در حالیکه دمای آب در پاییز و تابستان سال ۱۳۹۲ در مقایسه با زمان مشابه در دوره مطالعاتی سال ۱۳۸۷ کاهش یافته است. در ایستگاه سه چشمه نیز در سال ۱۳۹۲، در تمامی فصول می‌توان شاهد افزایش دمای آب در مقایسه با سال ۱۳۸۷ بود. به‌طور کلی در فصل تابستان به دلیل افزایش دمای هوا، و به تبع آن، افزایش دمای آب و همچنین افزایش شدت تابش نور، فعالیت-های فیتوپلانکتونی افزایش می‌یابد. در مطالعه فصلی صورت گرفته در یک بازه زمانی پنج ساله، نوع جوامع غالب فیتوپلانکتونی تغییر یافته است. الگوی غالب حضور فیتوپلانکتون‌ها در دریاچه سد ارس در سال ۱۳۸۷ نسبت به سال ۱۳۹۲ در تمام فصول به غالبیت سیانوفایتا تغییر پیدا کرده است. بخش مهمی از این تغییر می‌تواند ناشی از تغییر شرایط هواشناسی و هیدرولوژی حاکم بر منطقه باشد. این موضوع با نتایج مطالعه محبی و همکاران (۲۰۱۵) که به منظور بررسی و کنترل فیتوپلانکتون‌های غالب در دریاچه سد ارس انجام شده است، تطابق دارد (Mohebbi *et al*, 2015). پژوهش مذکور نشان داد که در طول دوره مطالعه، سیانوباکتری‌ها دارای بیشترین تراکم، و یا به عبارت دقیق‌تر ۷۴ درصد از کل تراکم، بودند. همچنین شناسایی جلبک‌های سبز-

آبی برخی از چشمه‌های آب گرم استان هرمزگان رابطه مستقیم بین دما و تنوع گونه‌ای را نشان داده است، به نحوی که در چشمه-های آب گرم با دمای بالا تنوع کمتر و چشمه‌های آب گرم با دمای پایین تنوع بیشتر جلبک‌های سبز آبی مشاهده شد (Arman *et al*., 2015). در مطالعه تنوع مکانی- زمانی گروه‌های فیتوپلانکتونی در یک دریاچه اتروفیک کم عمق از مناطق خشک مشاهده گردید که در طول فصل مرطوب، مقادیر زیاد مواد مغذی، دمای بالا و بارندگی شدید باعث ایجاد تغییرات مکانی در جوامع فیتوپلانکتون می شود (Jin *et al*., 2020). تجزیه و تحلیل مشاهدات ده ساله بلوم سیانوباکتری‌ها در دریاچه ورز در شمال ایتالیا نشان داد که سیانوباکتری‌ها حجم زیستی قابل توجهی از جامعه فیتوپلانکتون‌ها را دارند و تسلط آنها در در این جوامع از سال ۲۰۱۰ به بعد مشاهده شد (Chirico *et al*., 2020).

مقادیرpH در طی سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ بالاتر از ۸ بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر، مقادیر pH در طول دوره مطالعاتی و در تمامی ایستگاه‌ها در محدوده قلیایی قرار داشت. لازم به ذکر است که pH قلیایی یکی از عوامل اصلی توسعه جوامع فیتوپلانکتونی، به‌ویژه جوامع سیانوباکتریایی، در زیست‌بوم‌های آبی است (Bera *et al*., 2014) . بر اساس مطالعات پیشین، زیست‌توده جلبکی در مقادیر بیشتر از حد مجاز در آب مخزن سدها سبب ایجاد نوسانات قابل توجهی در pH آب می شوند. مقدار pH در هر سه ایستگاه فقط در فصل بهار ۱۳۹۲ نسبت به بهار ۱۳۸۷ افزایش داشته است و در فصل‌های دیگر مقدار آن نسبت به سال ۱۳۸۷ کاهش یافته است.

Elliott (۲۰۱۲) چگونگی تأثیر تغییر اقلیم بر سیانوباکتری‌های آب‌های شیرین دریاچه‌هایی در انگلیس، سودان و نیوزلند را مورد بررسی قرار داد. نتایج این مطالعه بیانگر این بود که تغییرات اقلیمی بر جوامع فیتوپلانکتونی دریاچه‌ها اثرگذار است و افزایش فراوانی نسبی سیانوباکتری‌ها در شرایط تغییر اقلیم سال‌های آینده، قابل انتظار است. بسیاری از مطالعات نشان می-دهد دمای بالای آب احتمال وقوع شکوفایی سیانوباکتریایی را افزایش می‌دهد. به عبارتی، افزایش دمای آب و هوا در محدوده‌ای معین، می‌تواند سبب افزایش رشد جلبک‌ها و شکوفایی برخی گونه‌های نامطلوب و خطرساز شود. همچنین به نظر می‌رسد برخی تغییرات در الگوی بارندگی منجر به ایجاد شرایط مساعد رشد سیانوباکتری‌ها خواهد شد. علاوه بر تأثیر عامل بارندگی بر توسعه جوامع سیانوباکتریایی، الگوهای بارش متغیر منطقه می‌تواند موجب افزایش غلظت سم سیانوباکتری‌ها در منابع آبی گردد (Reichwaldt and Ghadouani, 2012). این نتایج با نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر مطابقت دارد و مقایسه فراوانی جوامع فیتوپلانکتونی برای سه ایستگاه انتخابی در سال ۱۳۸۷ با سال ۱۳۹۲ نشانگر تغییر نوع جوامع غالب فیتوپلانکتونی است. فرضیه‌ای وجود دارد که بیان می‌کند افزایش فراوانی بلوم‌های سیانوباکتری‌ها تا حدودی به تغییرات آب و هوایی و افزایش دمای هوا مربوط می‌شود (Zhang *et al*., 2012; Wagner and Adrian, 2009). مطالعات نشان می‌دهند که اغلب سیانوباکتری‌ها دارای رشد بهینه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد هستند و بسیاری از بلوم‌ها در دمای ۲۵ در جه سانتی‌گراد یا بیشتر رشد بهینه داشته-اند (Reynolds, 2006). در گزارشی از جلبک‌های سبز-آبی ساحل جنوبی دریای خزر بیشترین تنوع و فراوانی جلبک‌های سبز-آبی در فصل تابستان گزارش شد (Bigham *et al*., 2016). توالی فصلی فیتوپلانکتون‌های دریاچه سد یامچی در استان اردبیل و ارتباط آن با پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب نیز توسط (Panahi *et al*., 2019) مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج نشاندهنده توالی فصلی تاکسون‌های مختلف و غلبه هر یک از شاخه‌های جلبکی در فصول خاص بود. در مطالعه حاضر نتایج رگرسیون چندگانه نشان داد که متغیر میانگین دمای هوا بهترین متغیر برای پیش‌گویی میزان کلروفیل است. بنابراین می‌توان گفت که دمای هوا متغیری است که بیشترین سهم را در بیان تغییرات کلروفیل دارد، این سهم حدود ۷۲ درصد است.

نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان تغییرات عوامل عوامل فیزیکی-شیمیایی آب و متغیرهای هواشناسی را در توزیع و تنوع جوامع فیتوپلانکتونی دخیل دانست. دما و pH بالا و غلظت بالای اکسیژن محلول در فصل تابستان معمولاً باعث شکوفایی سیانوباکتری‌ها در آب‌های شیرین می‌شوند. بالاترین میزان کلروفیل a در تابستان سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۲ به ترتیب برابر ۱۲/۷۱ و ۱۰ (میلی‌گرم بر مترمکعب) مشاهده شد. نتایج آنالیز مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون چندگانه نشان داد، دمای هوا بیشترین سهم را در تغییرات غلظت کلروفیل دارد. ضریب همبستگی بین میزان کلروفیل و دمای هوا ۰/۷۲ محاسبه گردید. این شرایط در دریاچه سد ارس با تغییر الگوی غالب جوامع فیتوپلانکتونی به سمت غالبیت الگوی سیانوباکتری‌ها مشاهده می شود و نتایج بیانگر غالبیت شاخه سیانوفایتا در تمام فصول سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۸۷ می-باشد. این تغییر را می‌توان ناشی از تغییرات الگوی دما و بارش منطقه دریاچه سد ارس دانست.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد."

REFERENCES

Abrantes, N. Antunes, S. C. Pereira, M. J. and Gonçalves, F. (2008) Seasonal succession of cladocerans and phytoplankton and their interaction in a shallow eutrophic lake (Lake Vela, Portugal). Acta Oecologica. 29, 54–64.

Arman, M. Riyahi, H. and Sonboli, A. (2015) Identification of blue-green algae and assessment of their ecological relationship in Chah-Ahmad hot spring of Hormozgan Province. Journal of Aquatic Ecology. 4(4): 79-71. (In Farsi)

Bartram, J. and Chorus, I. (1999) Toxic Cyanobacteria in Water: aGuide to Their Public Health Consequence s, Monitoring and Management. WHO, London.

Bellinger, E.D. (1992) A key to common algae. The Institution of water and Environmental Management, London. 138pp.

Bera, A. Bhattacharya, M.CH. Patra, B. and Sar, U. K. (2014) Phytoplankton density in relation to physico- chemical parameters of Kangsabati Reservoir, West Bengal, India. International Journal of Current Research 6, 6989-6996.

Bigham savestani. S, Zareidarki. B, Patimar. R, and Jorjani. E. (2016) Report of blue-green algae from the south coast of the Caspian Sea (Noor city). Journal of Aquatic Ecology.2016 (2) 6, 116-123. (In Farsi)

Chirico, N. António, Diana C. Pozzoli, L. Marinov, D. Malagó, A. Sanseverino, I. Beghi, A, Genoni, P. Dobricic, S. and Lettieri, T. (2020) Cyanobacterial Blooms in Lake Varese: Analysis and Characterization over Ten Years of Observations. Water 2020, 12, 675; doi:10.3390/w12030675.

Cupertino, A. Gücker, B. Von Rückert, G. and Figueredo, C.C. (2019) Phytoplankton assemblage composition as an environmental indicator in routine lentic monitoring: taxonomic versus functional groups. Ecol. Ind. 101, 522–532.

Elliott, A.J. (2012) Is the future bluegreen? A review of the currentmodel predictions of how climate change could affect pelagicfreshwater cyanobacteria. Water Res. 46 (5), 1364 e1371 .

Guoa, Ch. Zhua, G. Qina, B. Zhanga, Y. Zhua, M. Xua, H. Chena, Y. and Paerlb, Hans W. (2019) Climate exerts a greater modulating effect on the phytoplankton community after 2007 in eutrophic Lake Taihu, China: Evidence from 25 years of recordings. Ecological Indicators 105 (2019) 82–91.

Hamzehei, S. (2012) Field Study and Numerical Simulation of Developing Red Tide in the Northern Strait of Hormuz. Ph.D Thesis Physical Oceanography.

Howard, A. (1994) Problem cyanobacteria blooms: explanationand simulation modeling. Trans. Inst. Br. Geogr. 19 (2),213e 224 .

Hu, W. Connell, D. Mengersen, K. and Tong, S. (2009) Weathervariability, sunspots, and the blooms of cyanobacteria.EcoHealth 6 (1), 71 e 78.

Jin, Ye. Yu, Ruihong. Zhang, Zhuangzhuang. Zhang, Qi. Li, Meixia. Cao, Zhengxu. Wu, and Linhui Hao, Yanling. (2020) Spatiotemporal variability of phytoplankton functional groups in a shallow eutrophic lake from cold, arid regions. Environ Monit Assess (2020) 192: 371.

Ke, Z. X. Xie, P. and Guo, L. G. (2006). Controlling factors of spring–summer phytoplankton succession in Lake Taihu (Meiliang Bay, China). Hydrobiologia. 607, 41–49.

Ko, C.Y. Lai, C.C. Hsu, H.H. and Shiah, F.K. (2017). Decadal phytoplankton dynamics in response to episodic climatic disturbances in a subtropical deep freshwater ecosystem. Water Res. 109, 102–113.

Le Vu, B. Vinc, on-Leite B. Lemaire, B.J. Bensoussan, N. Calzas, M. Drezen, C. Deroubaix , J.F. Escoffier, N. Degres, Y. Freissinet, C. Groleau, A. Humbert, J.F. Paolini , G. Prevot, F. Quiblier, C. Rioust, E. and Tassin, B. (2010). High-frequencymonitoring of phytoplankton dynamic s within the Europeanwater framework directive: application to metalimneticcyanobacteria. Biogeochemistry 106 (2), 229e 242.

Mateo, P. Leganés, F. Perona, E. Loza, V. and Fernández-Piñas, F. (2015) Cyanobacteria as bioindicators and bioreporters of environmental analysis in aquatic ecosystems. Biodivers. Conserv. 24, 909–948.

Mohebbi, F. Riahi, H. Sheidaei, M. and Shariatmadari, Z. (2016) Phytoplankton of Aras dam reservoir (Iran): an attempt to assess water quality. Iranian Journal of Fisheries Sciences. 15(4) 1318-1336. (In Farsi)

Mohebbi, F. Riahi, H. Sheidaei, M. Shariatmadari, and Z. Manaffar, R. (2015) Environmental control of the dominant phytoplankton in Aras Reservoir (Iran): A multivariate approach. Lakes and Reservoirs: Research and Management 2015 20 : 206–215. (In Farsi)

Mohsenizadeh, F. Negarestan, H. and Savari, A. (2014) Factors affecting phytoplankton fluctuations in the Persian Gulf) Bushehr coastal waters) during winter and spring 2012 – 2013. isfj. 2014; 23 (2): 91-101. (In Farsi)

Monchamp, M.E. Spaak, P. Domaizon, I. Dubois, N. Bouffard, D. and Pomati, F. (2018) Homogenization of lake cyanobacterial communities over a century of climate change and eutrophication. Nat. Ecol. Evol. 2, 317–324.

Panahi Mirzahasanlou, J. Ramazanpour, Z. and Imanpour, J. (2019) Seasonal sequence of phytoplankton of Yamchi dam lake in Ardabil province and its relationship with physicochemical parameters of water. Journal of Aquatic Ecology. 2019 (2) 9, 22-31. (In Farsi)

Prescott, G.W. (1962). Algae of western great lakes area. W.M.C. Brown Company Publishing, Iowa, USA. 933pp.

Reichwaldt, S.E. and Ghadouani, A. (2012) Effects of rainfall patternson toxic cyanobacterial blooms in a changing climate:between simplistic scenarios and complex dynamics. WaterRes. 46 (5), 1372e

1393.
Reynolds, C.S. (2006) The Ecology of Phytoplankton. New York: Cambridge University Press.
Shannon, C.E. and Weaver, W. (1963) The Mathematical theory of communication. University of Illinois press, Urbana, Illinois, USA. 125 pp.
Tiffany, L.H. and Britton, M.E. (1971). The algae of Illinois. Hanfer Publishing Company, New York. USA. 407pp.
Trojanowska, A.A. and Izydorczyk, K. (2010) Phosphorus fractionstransformation in sediments before and after cyanobacterialbloom: implications for reduct ion of eutrophicationsymptoms in dam reservoir. Water Air Soil Pollut. 211 (1 e 4),287e 298.
Wagner, C. and Adrian, R. (2009) Cyanobacteria dominance:quantifying the effect s of climate change. Limno l. Oceanogr.54 (2), 2460 e 2468 .
Wang, J.J. Pan, F.Y. Soininen, J. Heino, J. and Shen, J. (2016) Nutrient enrichment modifies temperature-biodiversity relationships in large-scale field experiments. Nat. Commun. 7, 9.
Wongsai, S. and Luo, K. (2007) Understanding environment al factorsassociated with cyanobact rial bloom. In: Paper Presented atthe 3rd IASTED International Conference on EnvironmentalModel ling and Simulation, EMS 2007, Honolulu , HI, UnitedStates .
Yousefi. E. Rahimi bashar. M.R. Torabi. H. Taghipour. SH. Farokhroz. M. and Taghavi. H. (2016) Temporal and special variations of physicochemical factors and special richness of phytoplanktons in Manjil reservoir. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). Volume 30 (2017), Issue 3. (In Farsi)
Zare , M. A. (2010) Multivariate analysis methods in spss software. University of Tehran.
Zamyadi, A. MacLeod, L.S. Fan, Y. McQuaid, N. Dorner, S. Sauve, S. and Prevost, M. (2012) Toxic cyanobacterialbreakt hrough and accumulation in a drinking water plant: amonitoring and treatment challenge. Water Res. 46 (5), 1511 e 1523 .
Zhang, M. Duan, H. Shi, X. Yu, Y. and Kong, F. (2012) Contributionsof meteor logy to the phenology of cyanobacterial blooms:implications for future climate change. Water Res. 46 (5), 442 e 452.