موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور

پژوهشکده اکولوژی دریای خزر

گزارش مرحله ای :

بررسی آب دریاچه سد شهید رجائی با تاکید بر پتانسیل شکوفائی جلبک های مضر و سمی

کارفرما:

شرکت آب منطقه ای مازندران

مشاور:

پژوهشکده اکولوژی دریای خزر

مقدمه:

دریاچه ها و مخازن پشت سد از جمله منابع مهم آبهای سطحی هستند و به عنوان منابع آبی مناسب به منظور آبیاری، تامین آب آشامیدنی و نیز پرورش ماهی در نظر گرفته می شوند. مخازن سد ها نقش مهمی در جنبه های مختلف زیست محیطی ایفا می کنند. این مخازن می توانند به عنوان جمع کننده مواد بر جای مانده از رودخانه ها عمل کنند، از تغییرات زیاد پارامترهای کیفیت (مانند شوری) آب رودخانه جلوگیری کنند و کیفیت آب را با مدیریت صحیح اصلاح کنند. مخازن سدها، یکی از انواع دریاچه های بشر ساخت هستند که برای برآورده کردن نیازهای آبی مختلفی به وجود می آیند. اگر چه فرایندهای لیمنولوژیکی تعیین کننده در شرایط کیفی آب در دریاچه مصنوعی (مخازن سد ها) و طبیعی مشابه می باشد، ولی هیدرودینامیک مخازن سدها، مشخصات کیفی آب آنها را از دریاچه های طبیعی متفاوت می کند. لایه بندی در مخازن سدها ناشی از لایه بندی آب حاصل از تفاوت در چگالی آب در اعماق مختلف می باشد. این تفاوت چگالی بر اثر دما و میزان جامدات محلول آب رخ می دهد.

نسبت مواد مغذی قابل حل در تابستان و زمستان می تواند به عنوان شاخصی جهت شدت نسبی فعالیت فیتوپلانکتون درمخزن باشد. افزایش تدریجی مواد مغذی منجر به افزایش توان تولیدی بیولوژیکی شده و در اغلب موارد به اثرات نامطلوبی مثل شکوفایی جلبکی می گردد پدیده شکوفایی جلبکی از شایع ترین و مهم ترین مشکلات در دریاچه های پشت سد محسوب می گردد. زیرا همانند آلودگی های میکربی ممکن است سبب مسمومیت و شیوع بیماری در جوامع انسانی و یا سایر موجودات زنده در منطقه گردد. با این تفاوت که در حال حاضر غالب مراکز بهداشتی و درمانی حتی در صورت تشخیص مسمومیت، تجربه و امکانات درمان مسمومیت جلبکی را در اختیار ندارند. این زنگ خطری است که در صورت شکوفایی گسترده در منبع و دریاچه آب آشامیدنی هزینه زیاد درمانی و حتی

مرگ را در منطقه بدنبال داشته باشد. مبارزه با اثرات نامطلوب یوتروفیکاسیون اغلب بسیار پرهزینه است از این رو دانستن جزئیات تغییرات کیفیت آب سد بسیار مهم است.

اگرچه بررسی بیولوژیکی منابع آبی در ایران گاها" به صورت دوره ای و یا به هنگام وقوع حوادث انجام گردیده است ولی تنها محدود به شمارش اشرشیا کلی (عفونت مدفوعی باکتریایی) بوده است. اما وقوع حوادث متنوع در سدها نشان می دهد که بررسی میکربی اگرچه لازم است ولی کافی نیست و ضروری است که بررسی جلبکی نیز به برنامه های پایش اضافه گردد. بررسی فاکتورهای شیمیایی نیز به تنهایی نمی تواند وضعیت اکوسیستم را به درستی نشان دهد. زیرا در بسیاری از موارد نتایج شیمی اختلال چندانی را در سطح کیفی آب نشان نمی دهند. چنانکه بر اساس گزارش وزارت نیرو (۱۳۹۳) آب تمامی رودخانه ها از نظر شیمیایی، بر پایه پارامترهای هدایت الکتریکی، کلر و دبی و دیاگرام شولر، برای هدف شرب در حد نرمال می باشند ولی این نتیجه آلودگی میکربی و بیولوژیکی را شامل نمی گردد و آب رودخانه ها از این دیدگاه دارای آلودگی هستند. ضمن آنکه غالبا" اطلاعات بدست آمده محدود به دوره و زمان کوتاه است در حالی که اطلاعات بیولوژیکی بر زمان طولانی تری دلالت میکند

سد مخزنی شهید رجائی

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 قرار دارد. عملیات احداث سد در سال ۱۳۷۵ خاتمه یافت، به موازات آن در سال ۱۳۷۷ بهره برداری از سد انحرافی و شبکه آبیاری و زهکشی آغاز شد . این سد از نوع بتنی ۲ قوسی با سرریز آزاد و ارتفاع آن از پی ۱۳۸ متر و از بستر ۱۱۶ متر می باشد. طول تاج آن نیز ۴۲۷ متر، حجم مخزن ۱۶۰ میلیون متر مکعب، مساحت دریاچه ۵۲۰ هکتار و طول دریاچه ۸۵۰۰ متر است می باشد. انوری فر و همکاران، ۱۳۸۹). عمق دریاچه در نقاط کم عمق حدود ۲ تا ۶ متر و در نقاط عمیق حدود ۶۵ تا ۸۰ متر برآورد می گردد.

دریاچه ای که در پشت سد شهید رجایی پس از آبگیری ایجاد می شود، در قسمت جنوبی به ۲ شاخه تقسیم می گردد که یکی مربوط به رودخانه شیرین رود و دیگری مربوط به رودخانه گرم رود می باشد. در سد شهید رجایی سیکل لایه بندی تابستانه و اختلاط زمستانه به این صورت است که بازه زمانی آذر تا بهمن لایه های مختلف عمقی اختلاط حرارتی را تجربه می کنند و لایه بندی حرارتی در مخزن شکسته می شود. در مخزن سد شهید رجایی تراز تخلیه نیروگاه و کشاورزی که به فاصله ۲۵ تا ۳۵ متری از کف مخزن قرار دارد نیز در شکل گیری لایه بندی حرارتی این مخزن تاثیر گذار است

پیشینه مطالعاتی

-گزارش مسمومیت و بیماری های ناشی از آب آلوده به سم جلبکی از قبیل مرگ دام، ظهور علائمی نظیر سردرد، درد عضلانی و پیچش های شکمی، تهوع، اسهال، گلودرد و تاول در محل لب ها در افراد بر اثر شنا کردن و قایق سواری در آب، ضعف عضلانی، درد و بزرگ شدن کبد، مرگ ازکشورهای مختلف: کانادا (۱۹۵۹)، انگلستان (۱۹۸۹) و برزیل (۱۹۷۷). 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 صورت گرفت. در این دریاچه استفاده از سولفات مس در هر بار افزایش جلبکی منجر به جایگزینی گونه فوق با 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. علت اصلی افت کیفیت آب دریاچه، اغتشاشات ناشی از به هم خوردن سیستم لایه بندی دمایی 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).

بررسی کیفیت آب دریاچه سد دز (شهرستان اندیمشک، استان خوزستان)با استفاده از شاخص کیفیت آب NSF انجام گردید و پارامترهای نیترات، فسفات، PH, TDS, BOD، کدورت کلیفرم مدفوعی، دما و اکسیژن محلول در آن مورد استفاده قرار گرفتند. 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).

-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. افزایش ۵۰ درصدی برداشت آب ، نیروی جریانات خروجی را افزایش می دهد و اختلاط قائم بیشتری در مخزن تولید می کند. 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). - تحقیق در مورد پیامد ها و اثرات زیست محیطی رخ داده بر روی نتایج کمی بدست آمده از روش ماتریس، پس از احداث سد شهید رجایی نشان داد که ۲۴ درصد از پیامدها مثبت و ۷۶ درصد منفی بوده اند که پراکندگی آن ها از نظر کیفی در محدوده پیامدهای مفید خیلی خوب تا ناچیز و پیامدها ی تخریبی خیلی زیاد تا ناچیز قرار گرفت. تخریب جنگل ها، کشاورزی و اسکان جمعیت از دلایل اصلی

افزایش رسوبگذاری و تغییرات کیفی آب مخزن تعیین گردید. لذا مدیریت مسئولانه در واحد های بالا دست سد، جهت کنترل فرسایش و حجم رسوبگذاری بسیار با اهمیت است (نظریها و علی نژاد،۱۳۸۱)

-مطالعه انوری فر و همکاران (۱۳۸۹) در سد شهید رجایی بیانگر جدایی ژنتیکی سیاه ماهی در بالادست و پایین دست سد تحت تاثیر احداث سد بوده است (انوری فرو همکاران،۱۳۸۹)

موقعیت ایستگاه ها و زمان نمونه برداری

سد مخزنی شهید رجایی (سد تجن ساری) در مسیر رودخانه تجن ایجاد شده که سرشاخه های سفید رود و شیرین رود به آن می ریزند. در این مطالعه نمونه برداری در ۶ ماه (خرداد، تیر، مرداد، شهریور، آبان و بهمن) از سال ۱۳۹۱ در ۴ ایستگاه ورودی سرشاخه شیرین رود ، ورودی سرشاخه سفید رود، تلاقی دو سرشاخه و تاج سد انجام شد. همچنین نمونه برداری در ایستگاه تاج سد با عمق ۸۰ متر در ۳ لایه ۰، ۱۵ و ۳۰ متر انجام شد.

در سد شهید رجایی (مازندران- ساری، سال ۱۳۹۱) جدول۲-۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه های نمونه برداری

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 اندازه گیری عوامل فیزیکوشیمیایی

دمای آب با استفاده از دماسنج جیوه آلمانی, تعیین pH آب بوسیله دستگاه pH متر (مدل WTW 320 آلمانی) و اندازه گیری اکسیژن محلول و BOD به روش یدومتری یا وینکلر صورت پذیرفت. تعیین TDS و EC با استفاده از دستگاه CONDUCTIVITY / TDS METER مدل HACH آمریکایی صورت پذیرفت. اندازه گیری TSS با استفاده از پمپ خلا های ساخت شرکت GAST آمریکایی و شرکت MEDAP آلمانی با فیلتر سلولزی استات ۰/۴۵ میکرومتر واندازه گیری مواد باقیمانده با ترازوی آلمانی BOSCH (دقت ۰/۰۰۰گرم)، یون کلرید به روش آرگنومتریک یا موهر، سختی ها (کل، کلسیم و منیزیم) به روش کمپلکسومتری، قلیائیت ها به روش تیتراسیون با اسید کلریدریک،آمونیوم به روش هیپوکلریت، فسفات به روش مولیبدات، نیتریت و نیترات به روش ستون کاهشی و نفتیل سولفانید (با استفاده از اسپکتروفوتومتر CECEIL مدل CE 1020 انگلیسی) اندازه گیری گردید. شفافیت با استفاده از صفحه دایره ای سشی دیسک و کلروفیل آ نیز توسط استن استخراج و میزان جذب آن در طول موج های مختلف با اسپکتروفوتومتر قرائت شد.

فیتوپلانکتون و کلروفیل

نمونه ها در لایه های سطحی بصورت مستقیم بوسیله بطری جمع آوری گردید و در لایه های ۱۵ و ۳۰ متری به وسیله نمونه بردار نسکین (حداکثر حجم ۲ لیتر) صورت گرفت. حجمی معادل۵۰۰ سی سی از آب به بطری های شیشه ای منتقل گردیده و با فرمالین تا حجم نهایی ۲-۰/۵ درصد تثبیت گردید. نمونه ها به منظور بررسی های کیفی و کمی به آزمایشگاه پلانکتون در پژوهشکده اکولوژی دریای خزر منتقل گردیدند.

نمونه ها ی آب پس از انتقال به آزمایشگاه با روش رسوب دهی و سانتریفوژ مراحل آماده سازی را در زمان معین طی نمودند. پس از آماده سازی اولیه، نمونه ها مورد بررسی کیفی و کمی قرار گرفتند. در مرحله کمی تراکم هر یک از گونه ها به تفکیک ثبت گردید. در نهایت با توجه به ضریب رقت، تراکم در متر مکعب محاسبه گردید. کلروفیل آ نیز با روش استخراج با استن و اندازه گیری میزان جذب آن در طول موج های مختلف با اسپکتروفوتومتر و با توجه به فرمول های مربوطه تعیین شد.

میکروب:

برای جداسازی و شمارش باکتریها، ابتدا از نمونه های اخذ شده رقتهای سریال(رقتهای$^{-۲}$۱۰،$^{-۳}$۱۰،$^{-۱۰}$۱۰)تهیه گردید، سپس نمونه ها در محیطهای اختصاصی KF (برای استرپتوکوک مدفوعی) ، SPS (برای کلستریدیوم پرفرنجنس) ، ECC کروم آگار (برای کلی فرمها و اشریشیا کلی) و استاندارد پلیت کانت آگار (برای باکتریهای هتروتروف) کشت داده شد و پس از انکوباسیون در دمای ۳۰ درجه بمدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت ، شناسایی و شمارش گردیدند.

قارچ:

نمونه برداری با استفاده از شیشه های کدر در سمباده ای استریل انجام و نموه ها در کنار یخ در کوتاهترین زمان به آزمایشگاه پژوهشکده منتقل گردید. پس از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه ، از هر نمونه آب با استفاده از سرم فیزیولوژی استریل رقت های $^{-۱}$۱۰و$^{-۲}$۱۰ تهیه و سپس از رقتهای فوق به میزان ۵۰۰ میکرولیتر در محیط سابرو دکستروز آگار(SD) حاوی آنتی بیوتیک (۴۰ ملی گرم جنتامایسین و ۱۰۰میلی گرم کلرامفنیکل در هر لیتر برای جلوگیری از رشد باکتری) در سه تکرار کشت داده شد و نمونه ها در دمای ۳۰ – ۲۷ درجه سانتیگراد به مدت ۵ –

۳ روز گرمخانه گذاری گردید. درطول این مدت پلیتها هرروز از نظر رشد قارچی موردبازبینی قرار گرفتندوتعدادکلنیهای رشدیافته ثبت ودرپایان براساس واحدColony Forming Unit(CFU) درهر ۱۰۰ میلیلیترگزارش شدند.جهت شناسایی عوامل قارچی پس از شمارش ازپزگنه های خالص مجددا در محیط سابرودکستروزآگار کشت داده شد و پس از گرمخانه گذاری به مدت ۵ روز ابتدا با لاکتوفن کاتن بلو رنگ آمیزی گردید و پس از حصول اطمینان از خلوص پرگنه از آن کشت روی لام(اسلاید کالچر) تهیه گردید شناسایی قارچهادرحد جنس ودرموارد موردنیاز درحدگونه به کمک روشهای استاندارد قارچ شناسی بااستفاده از ساختمان ظاهری واندازه کلنیهای رشدیافته انجام شد.

شاخص شانون:

در این نوع طبقه بندی اعداد بدست آمده از محاسبات شاخص شانون (H') در ۵ طبقه آماری مرتب می شوند. بطوریکه حداکثر میزان بدست آمده از شاخص شانون در کلاس ۱ یعنی کیفیت "عالی" قرار میگیرد و پس از آن طبقه بندی به ترتیب شامل: کلاس ۲ (خوب)، کلاس ۳ (آلودگی اندک) ، کلاس ۴ (آلودگی متوسط) و کلاس ۵ (آلودگی شدید) می باشد.

شاخص ساپروبی:

این شاخص معرف آلودگی با مواد آلی است که می توانند توسط باکتری ها مورد تجزیه قرار گیرند و آلـودگی بـا سموم و یا سایر آلاینده ها را نشان نمی دهد. هر چه این شاخص بزرگتر باشد، بیـانگر مقاومـت بـالاتر فیتوپلانکتـون های موجود در مقابل مواد آلاینده (مواد آلی، کمبود اکسیژن محلول و وجود سولفید هیدروژن) اسـت (اسـماعیلی، ۱۳۷۹).

پس از تعیین گونه های غالب شاخص ساپروبی در هر ماه و ایستگاه بر اساس اعداد ساپروبی هر گونه محاسبه گردید (Pantle & Buck,1955)و سپس با مقایسه با جدول ۲-۴ ، طبقه بندی کیفی آب صورت گرفت.

$$S = \frac{\sum(h_i \times s_i)}{\sum h_i}$$

S = شاخص ساپروبی، s_i = شاخص ساپروبی هر گونه، h_i = میزان فراوانی نسبی هر گونه که در یکی از ۶ کلاس قرارمی گیرد: ۱= ۲-۱> ، ۲=۳-۲ ، ۳= ۱۰-۴ ، ۵= ۲۰-۱۰ ، ۷= ۴۰-۲۰ ، ۹= ۱۰۰-۴۰

شاخص کیفیت آب:

در میان شاخص مختلف WQI که در جهان عرضه شده است، شاخصی که توسط NSF (National Sanitation Foundation) بیان شده است به طور گسترده در سراسر جهان مورد استفاده قرار می گیرد (Ott, 1978 ; محبی و همکاران، ۱۳۹۲). در این سیستم با توجه به مقادیر پارامترهای مربوطه (نیترات، آمونیوم، فسفات، درصد اشباع اکسیژن، pH، EC، سختی کل، BOD5، COD و تعدادکلی فرم مدفوعی) شاخص عددی جدیدی (i) از روی نمودارها و یا فرمول های استاندارد استخراج می گردد وسپس با جاگذاری اعداد فوق در فرمول های مربوطه و با توجه به ضریب ثابت وزنی (wi) هر یک از پارامترها یک عدد بعنوان شاخص کیفیت آب ارائه می گردد. عدد بدست آمده که بین ۰ تا ۱۰۰ قرار می گیرد، منبع آبی را در یکی از ۷ کلاس کیفی طبقه بندی می کند: کمتر از ۱۵ (خیلی بد)، ۲۹/۹ -۱۵ (بد)، ۴۴/۹-۳۰ (نسبتا" بد)، ۵۵-۴۵ (متوسط)، ۷۰-۵۵/۱ (نسبتا" خوب)، ۸۵-۷۰/۱ (خوب) و بیشتر از ۸۵ (بسیار خوب). لازم به ذکر است که برای محاسبه شاخص کیفیت آب استفاده از همه پارامترهای فوق الزامی نیست. چنانکه در گزارش حاضر به علت عدم وجود داده های کلیفرم مدفوعی امکان استفاده از این پارامتر مهیا نبود.

آنالیز آماری:

در این مطالعه دو گروه از متغیرها یعنی متغیر های مستقل (ایستگاه ها، ماه ها) و متغیرهای وابسته (کلیه پارامترهای زیستی و غیرزیستی) در نظر گرفته شدند. داده ها بر اساس یکی از فرایند های لگاریتم طبیعی رتبه بندی انتقال داده و سپس با رسم نمودار Q-Q و آزمون شاپیرو-ویلک نرمال بودن آن تایید گردید . 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 (ANOVA) انجام شد. در ضمن آزمون های آماری در سطح ۵ و ۱ درصد صورت گرفت. آزمون همبستگی (Pearson Correlation) نیز برای تعیین ارتباط بین پارامترها و شاخص های مختلف استفاده گردید. در بررسی داده های غیر نرمال از آزمون غیر پارامتریک استفاده شد. 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. در ابتدا آزمون شایستگی داده ها (کفایت نمونه برداری) تحت آزمون کیزرمایر (KMO[2]) انجام می شود. دامنه نوسان KMO بین صفر تا یک است. مقدار ویژه (Eigenvalue) اساسا روابط بین مجموعه ای از متغیرها را بصورت خلاصه نشان می دهد. بار عاملی (Loading factor) نیز ضریب همبستگی یک متغیر با یک عامل را نشان می دهد. سپس جهت تحلیل از روش مولفه های اصلی با تعیین همبستگی بین متغیرها استفاده شد. در صورت مشخص نشدن دسته عامل برای متغیر،از طریق دوران عاملی واریماکس استخراج جدید صورت پذیرفت.

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.

[1] Principal Component Analysis
[2] Kaiser-Meyer-Olkin Test

نتایج:

فیتوپلانکتون کل

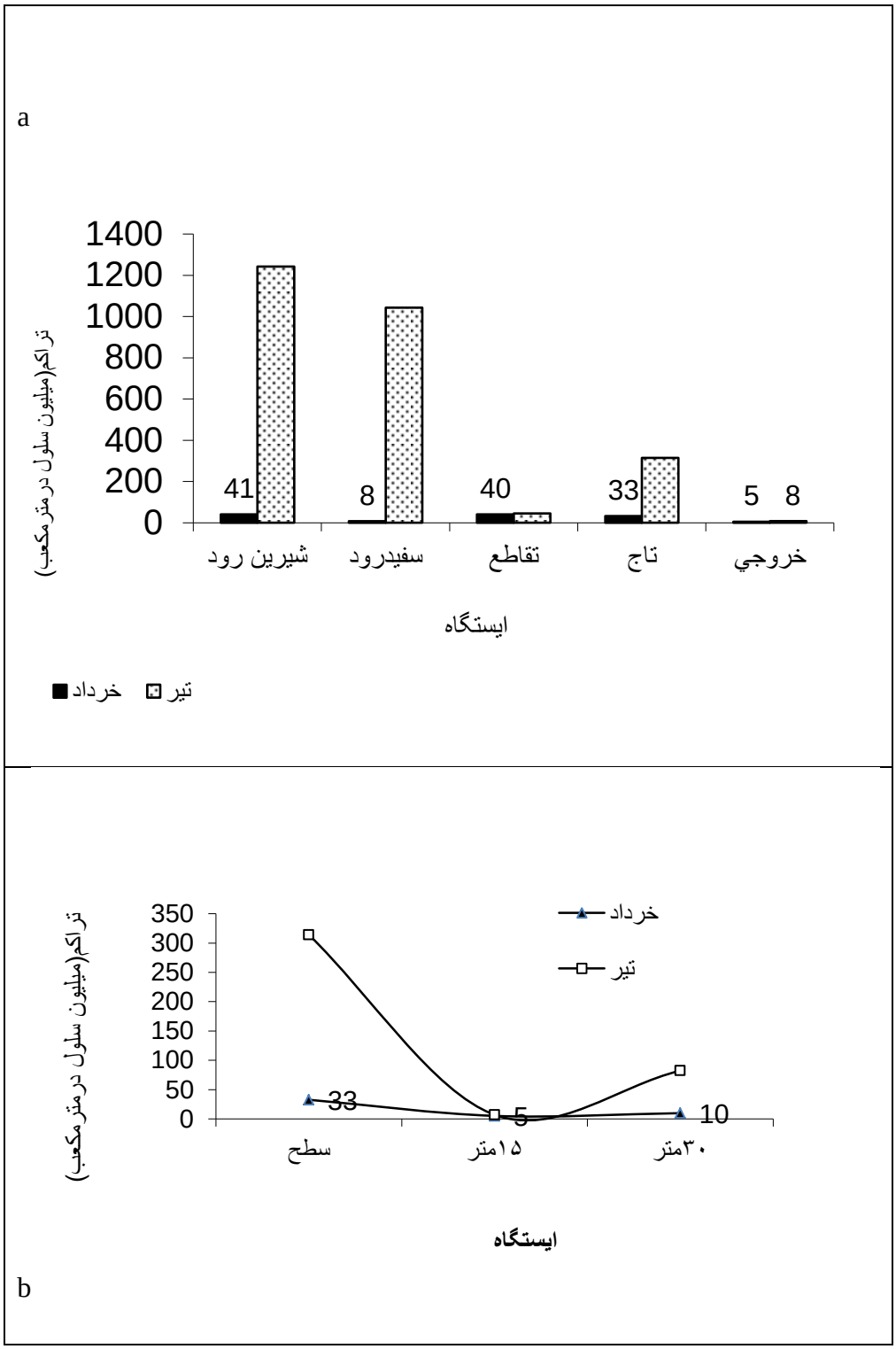
-خرداد

تراکم فیتوپلانکتون در دریاچه پشت سد از ۸ (در سرشاخه سفیدرود) تا ۴۱ (سرشاخه شیرین رود) میلیون سلول درمترمکعب متغیر بود.به نظر می‌رسد که تراکم در دریاچه پشت سد (به جزدر سرشاخه سفیدرود) چندان متغیر نبود. تراکم در ایستگاه خروجی نسبت به پشت سد کم تر بود و به ۵ میلیون سلول درمترمکعب رسید. تراکم در نزدیکی تاج از سطح به عمق ۱۵ متر حدود ۱۲ برابر کاهش یافت. با آنکه تراکم در عمق ۳۰ متر تقریبا" دو برابر افزایش یافت ولی نسبت به لایه سطحی همچنان میزان کم تری را شامل بوده است.

-تیر

در این ماه برخلاف خرداد ماه، سفیدرود نیز نظیر شیرین رود از تراکم بالایی برخوردار بود، در حالی که در تقاطع این دو ورودی ازرودخانه ها تراکم حدود ۲۵ برابر کاهش یافت و به ۴۵ میلیون سلول درمترمکعب رسید. در نزدیکی تاج اگرچه نسبت به تقاطع تراکم افزایش یافت، اما همچنان تراکم کمتری نسبت به سفیدرود و شیرین رود ثبت گردید.

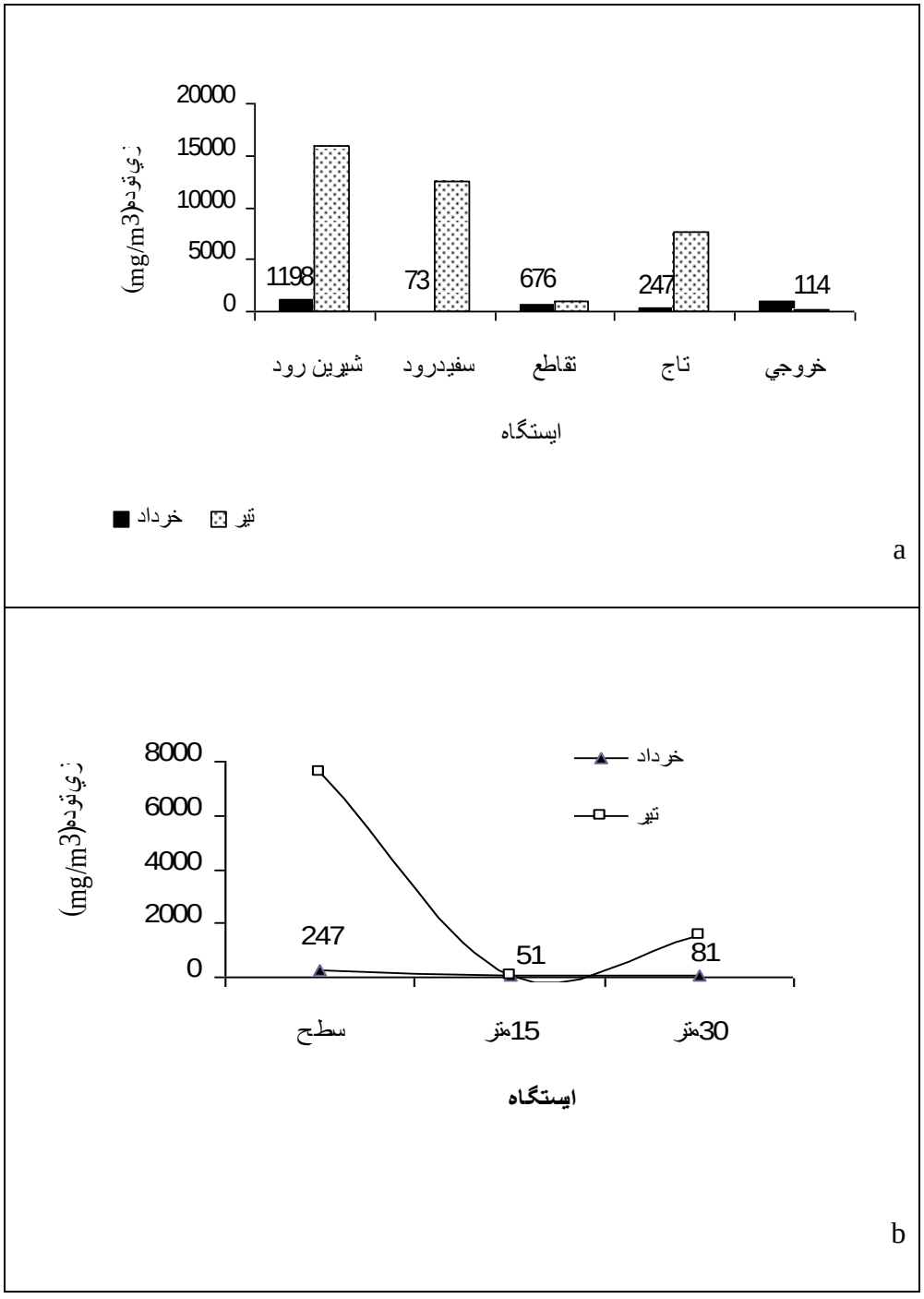
مقایسه دو ماه فوق نشان می دهد که صرف نظر از تغییرات بین ایستگاهی در هرماه، تراکم فیتوپلانکتون در تیر ماه افزایش بسیار زیادی نسبت به خرداد نشان داد. بیشترین افزایش به میزان ۱۳۰ برابر در ورودی سفیدرود بود و در ایستگاههای تقاطع و خروجی تراکم تنها ۱/۵-۱/۱ برابر افزایش نشان داد.



نمودار۱- تغییرات تراکم فیتوپلانکتون (a): :در لایه سطحی، b: در ستون عمودی از دریاچه پشت سد شهید رجایی

در ماههای خرداد و تیر در سال۱۳۹۱

تغییرات زی توده در لایه سطحی و ستون عمودی آب در سد شهید رجایی در نمودار ۲ نشان داده شده است.

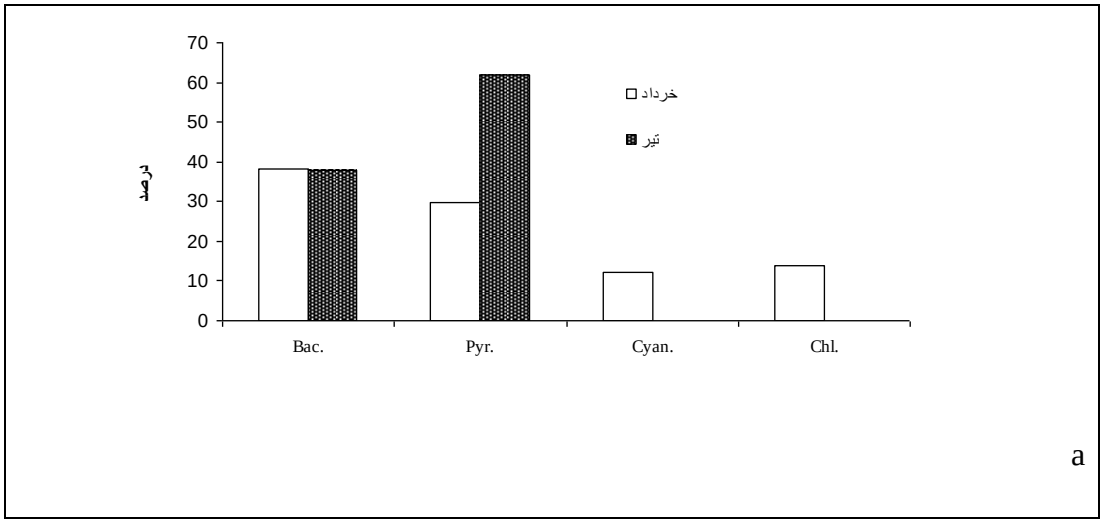


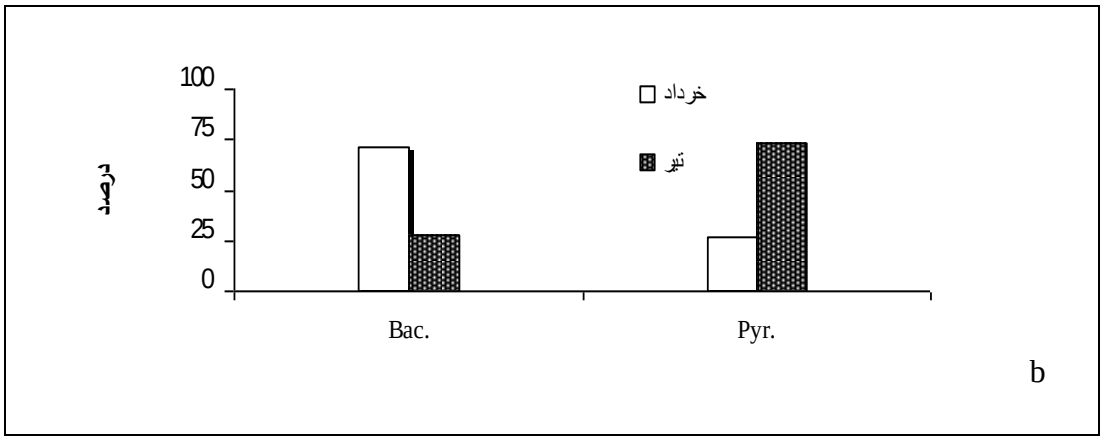
نمودار۲- تغییرات زی توده a:در لایه سطحی و b: در ستون عمودی آب از از دریاچه پشت سد شهید رجایی در ماههای خرداد و تیر در سال۱۳۹۱

شاخه های فیتوپلانکتون

-خرداد

فیتوپلانکتون مشاهده شـده در ایـن مـاه در شـاخه هـای باسـیلاریوفیتا (Bacillariophyta)، پیروفیتـا(Pyrrophyta)، سـیانوفیتا (Cyanophyta)، کلروفیتـا (Chlorophyta)، اگلنوفیتـا (Euglenophyta)، کریزوفیتـا(Chrysophta و زانتوفیتا (Xantophyta) طبقه بندی گردیدند اما سه شاخه آخر تنها حدود ۶ درصد از تراکم کل را شامل شدند. در حالی که شاخه های باسیلاریوفیتا، پیروفیتا،کلروفیتا و سیانوفیتا به ترتیب با ۳۸، ۳۰، ۱۴ و ۱۲درصد مشارکت بیشتری در تشکیل تراکم فیتوپلانکنونی داشته اند (نمودار ۳).





نمودار۳–درصد تراکم (a) و زی توده (b) شاخه های عمده در لایه سطحی از دریاچه پشت سد شهید رجایی در ماههای خرداد و تیر در سال ۱۳۹۱

باسیلاریوفیتا نه تنها در مجموع ایستگاهها، بلکه در هر یک ایستگاهها نیز عموماً جمعیت غالب را تشکیل داد، بجز در محل تقاطع دو سر شاخه شیرین رود و سفید رود (ایستگاه ۳) و ۱۵در عمق متری در ایستگاه نزدیک به تاج (ایستگاه ۵) که به ترتیب پیروفیتا و کلروفیتا شاخه نخست غالب گردیدند.

در بین ایستگاههای نمونه برداری شده باسیلاریو فیتا کم ترین مشارکت (۱۱درصد) را در تراکم فیتوپلانکنونی درعمق ۱۵ متراداشت. در حالی که در سر شاخه های شیرین رود و سفیدرود مشارکت آن در حداکثر میزان (بیش از ۵۰درصد) مشاهده شد.

پیروفیتا کم ترین و بیشترین درصد مشارکت را به ترتیب در شیرین رود(۹درصد) و محل تقاطع دو سر شاخه(۵۴درصد) نشان داد ، در بقیه موارد درصد مشارکت آن از ۲۵ تا ۳۵درصد از جمعیت کل فیتوپلانکتون متغیر بود.

سیانوفیتا درصد مشارکت نسبتا" متغیری را نشان دادند، به طوری که در عمق ۱۵ متـری (ایسـتگاه ۵) جمعیتـی از آن ثبت نگردید، در حالی که در لایه سطحی نزدیک تا حدود ۲۰درصد از تراکم کل را تشکیل داد و در ردیف شاخه های عمده در این ایستگاه قرار گرفت. در سایر موارد تراکم آن از ۷ تا ۱۲ درصد از تراکم کل متغیر بود.

کلروفیتا بیشترین درصد مشارکت (۴۷درصد) از تراکم را در ایستگاه ۵ نشان داد. صرف نظر از ایستگاه ۳ که درصد مشارکت کلروفیتا به حداقل (۸درصد) رسید. دربقیه موارد از ۱۳ تا ۴۷ درصد از تراکم را تشکیل داد.

بـه نظـر مـی رسـد کـه در عمـق ۱۵ متـری در نزدیکـی تـاج تغییـرات زیـادی در درصـد تـراکم چهارشـاخه عمـده (باسیلاریوفیتا، پیروفیتا، سیانوفیتا و کلروفیتا) رخ داده است. بطوری که در این لایه نسبت به لایه سطحی شاخه هـای باسیلاریوفیتا و سیانوفیتا به شدت کاهش ، پیروفیتا و کلروفیتا افزایش داشتند.

جدول۱- تغییرات ایستگاهی درصد تراکم و زی توده شاخه های عمده فیتوپلانکتون در سد شهید رجایی در خرداد و تیر۱۳۹۱

ایستگاه	فاکتور	Bacillariophyta		Pyrrophyta		Cyanophyta		Chlorophyta		بقیه شاخه ها	
		خرداد	تیر	خرداد	تیر	خرداد	تیر	خرداد	تیر	خرداد	تیر
ورودی شیرین رود	A	59	۷۷	9	۲۳	12	۰	16	۰	4	۰
	B	93	۶۰	6	۴۰	-	۰	-	۰	1	۰
ورودی سفیدرود	A	55	۰	25	۱۰۰	8	۰	12	۰	0	۰
	B	51	۰	48	۱۰۰	-	۰	1	۰	0	۰

تلاقی ورودی رود ها	A	27	۲۳	54	۷۵	7	۰	8	۱	1	۰
	B	13	۱۰	86	۹۰	–	۰	–		–	۰
لایه سطح نزدیک تاج	A	21	۱۲	26	۸۸	21	۰	19	۰	6	۰
	B	27	۵	68	۹۵	2	۰	1	۰	2	۰
لایه ۱۵متر نزدیک تاج	A	12	۲۴	35	۴۷	0	۰	47	۲۱	6	۷
	B	2	۱۸	96	۸۱	0	۰	2		–	۱
لایه ۳۰مترنزدیک تاج	A	41	۴۹	27	۴۹	8	۰	24	۱	–	۰
	B	28	۲۶	71	۷۴	–	۰	–	<0.1	–	۰
خروجی	A	41	۸	29	۹۲	12	۰	18	۰	–	۰
	B	97	۵	3	۹۵	–	۰	–	۰	–	۰

تیر

در تیر ماه برخلاف خرداد در غالب ایستگاهها پیروفیتا بیشترین درصد از تراکم کل فیتوپلانکتون را تشکیل داد. بطوری که باسیلاریوفیتا تنها در ورودی شیرین رود با ۷۶ درصد مشارکت بیشترین سهم را دارا گردید. البته در عمق ۳۰ متری در ایستگاه نزدیک تاج درصد مشارکت آن (۴۹درصد) اندکی از پیروفیتا بیشتر گردید. درصد مشارکت پیروفیتا در اکثر ایستگاههابصورت غالبیت مطلق (بین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد) بوده است و تنها در ورودی شیرین رود با

۲۲ درصد حداقل میزان را نشان داد. در اعماق ۱۵ و ۳۰ متری نزدیک تاج نیز با ۴۷ و ۴۹ درصد مشارکت در رتبه نخست از سهم تراکمی قرار گرفت.

علی رغم افزایش شدید پیروفیتا در این ماه، سیانوفیتا نقش چندانی در تشکیل تراکم فیتوپلانکتونی نداشته اند. کلروفیتا نیز بیشترین میزان (۲۱درصد) را در عمق ۱۵ متری نشان داد. ولی در بقیه ایستگاهها حداکثر به ۱/۵ درصد مشارکت رسید. بطوریکه در غالب ایستگاههای دو شاخه پیروفیتا و باسیلاریوفیتا عمده ترین شاخه ها بوده اند. در این ماه نیز عمق ۱۵ متری نسبت به لایه سطحی تغییرات واضحی را در افزایش درصد شاخه های باسیلاریوفیتا، کلروفیتا و کاهش پیروفیتا نشان داده است.

مقایسه تراکم شاخه در بین دو ماه خرداد و تیر نشان داد که باسیلاریوفیتا تنها در ورودی شیرین رود و نیز در عمق ۳۰ متری در ایستگاه نزدیک به تاج حدود ۱/۳ درصد برابر افزایش نشان داد در حالی که این شاخه مانند سایر شاخه ها (بجز پیروفیتا) در همه ایستگاهها درصد آن کاهش داشته است. مقایسه میانگین درصد تراکم شاخه ها در بین دو ماه خرداد وتیر (لایه سطحی از ایستگاههای مربوط به دریاچه پشت سد) نشان می دهد که افزایش تراکم فیتوپلانکتون عمدتاً تحت تاثیر تراکم پیروفیتا بوده است.

گونه‌های فیتوپلانکتون

خرداد

در این ماه ۴۹ گونه شناسایی شد که باسیلاریوفیتا با ۱۹ گونه بیشترین تعداد را شامل گردید. سیانوفیتا و کلروفیتا هر یک با ۹ گونه و پیروفیتا با ۶ گونه در مراحل بعدی از نظر تعداد گونه قرار داشتند. سایر شاخه ها یعنی اگلنافیتا، کریزوفیتا و زانتوفیتا بطورکلی ۶ گونه را شامل شدند(جدول۲). چگونگی حضور و غیاب گونه ها در هر یک از ایستگاهها در جدول ۳ آمده است.

جدول۲- تعداد گونه ها در شاخه های مختلف فیتوپلانکتون در سد شهید رجایی در خرداد و تیر ۱۳۹۱

ماه	Bacillariophyta	Pyrrophyta	Cyanophyta	Chlorophyta	Euglenophyta	Chryso. & Xantophyta
خرداد	19	6	9	9	4	2
تیر	8	10	1	3	4	1

جدول۳- حضور و غیاب گونه های مختلف فیتوپلانکتون در ایستگاه های مختلف سد شهید رجایی در خرداد و تیر ۱۳۹۱.

ایستگاه	1		2		3		4-1		4-2		4-3		5	
ماه	خ	ت	خ	ت	خ	ت	خ	ت	خ	ت	خ	ت	خ	ت
Cocconeis placentula	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cyclotella meneghiniana	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
Cymatopulura solea	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cymbella cymbiformis	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Cymbella tumida	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cymbella ventricosa	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	*Diatomea vulgaris*
-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	*Fragilaria capucina*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	*Fragilaria sp.*
-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*Gomphonema olivacum*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	*Melosira varians*
-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	*Navicula cryptocephal*
-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	*Navicula papula*
-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	*Navicula sp.*
-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	*Navicula spp.*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	*Nitzschia acicularis*
-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	*Nitzschia sigma*
-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	+	*Nitzschia sp.*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	*Nitzschia spp.*
-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	*Nitzschia sublinaris*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	*Nitzschia tenirustris*

+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*Syndra ulna*
-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	*Thalassionema nitzschioides*
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*Ceratium hirundiella*
-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	*Exuviaella cordata*
-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	*Glenodinium lenticula*
-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	*Glenodinium sp.*
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	*Goniaulax polyedra*
-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	*Goniaulax digitale*
-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	-	*Gymnodinium sp.*
+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	*Peridinium achromaticum*
-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*Peridinium inconspicuum*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	*Peridinium latum*
-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	*Peridinium sp.*
-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	-	*Peridinium tricoidum*

-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	*Aphanotece elabens*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	*Aphanotece sp.*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	*Dactylococeopsis acicuularis*
-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	*Dactylococeopsis raphidiopsis*
-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+	*Dactylococeopsis smithii*
-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	*Gleocapsa sp.*
-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*Lyngbya sp.*
-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*Oscillatoria sp.*
-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*Synechococcus type*
-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	*Chlamydomonas sp.*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	*Gonium sp.*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	*Oocystis parva*
-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	*Oocystis parva*
-	-	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	*Oocystis solitaria*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	*Oocystis sp.*

-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*Other Chlorophyta*
-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*Scenedesmus bijuga*
-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	*Schroederia setigera*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	*Sphaerocystis sp.*
-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*Tetraedron tumidulum*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	*Euglena gracilis*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+	*Euglena variable*
-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	*Phacus longicaudatus*
-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	*Phacus sp.*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	*Trachelomonas spicolafra*
-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	*Tracholeamonas sp.*
-	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	+	-	*Dinobryon sertularia*
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	*Tribonema viride*

۱= ورودی شیرین رود، ۲= ورودی سفیدرود، ۳= تلاقی ورودی رود ها، ۱-۴= لایه سطح نزدیک تاج، ۲-۴= لایه ۱۵متر نزدیک تاج، ۳-۴= لایه ۳۰مترنزدیک تاج، ۵= خروجی، خ=خرداد، ت=تیر.

در بیشتر ایستگاهها در لایه سطحی در دریاچه پشت سد، یعنی در ایستگاههای ۲، ۳ و ۴ گونه ی *Cyclotella meneghiniana* بیش از ۸۰درصد از شاخه باسیلاریوفیتا را تشکیل داد. ولی در ایستگاهها ۱ ، گونه ی فوق تنها ۲۵ درصد از تراکم را شامل شد و ۲۷درصد باقی مانده مربوط به *Navicula sp.* بود. در ایستگاه خروجی (ایستگاه۵) نیز این گونه تنها ۲۹ درصد از باسیلاریوفیتا را شامل شد. در این ایستگاه گونه‌ی *Cymbella cymbiformis* با ۲۹ درصد تراکمی معادل با *Cyclotella meneghiniana* را شامل شد. در ایستگاههای ۱و۵ نسبت به ایستگاههای دیگر، تراکم باسیلاریوفیتا در بین تعدا زیادتری از گونه ها توزیع شده بود. در عمق ۱۵ متری از پشت سد باسیلاریوفیتا تنها با حضور یک گونه(*Thalassionema nitzschioides*) شکل گرفت ولی در عمق ۳۰متری تعداد گونه ها به ۷ گونه رسید که به ترتیب *Cyclotella meneghiniana*، *Nitzschia sp.*، *Nitzschia sublinaris*، *Navicula cryptocephal*، *Navicula papula* و *Nitzschia sigma* به ترتیب با ۳۵، ۲۵، ۱۵، ۱۰، ۱۰، ۵ و ۵ درصد تراکم غالب بسیلاریو فیتا را تشکیل دادند.

در شاخه پیروفیتا گونه های Goniaulax polyedra، Goniaulax digitale، Ceratium hirundiella و *Peridinium achromaticum* عمده تراکم پیروفیتا را تشکیل دادند.

شاخه سیانوفیتا در صورت حضور عمدتاً با *Gleocapsa sp* شکل گرفت. . لازم به ذکر است که در عمق ۱۵ متری گونه ای از سیانوفیتا ثبت نگردید و گونه های عمق ۳۰ متر نیز از سطح متفاوت و شامل *Lyngbya sp.*، *Oscillatoria sp.* و Synechococcus type بوده است. کلروفیتا در لایه سطحی عمدتا" *Oocystis solitaria* را دربر گرفت ولی در لایه های ۱۵ و ۳۰ متر عمدتا" شامل *Schroederia setigera* بود. اگلنافیتا نیز در لایه

سطحی عمدتا" *Phacus* و *Trachelomonas* را شامل شد. در لایه ۱۵ متری نیز *Trachelomonas* ثبت گردید ولی در لایه ۳۰ متری هیچ گونه ای از اگلنافیتا گزارش نشد.

-تیر

در تیر ماه تعداد کل گونه ها کم تر از خرداد شد و به ۲۷ عدد رسید. بطوریکه پیروفیتا و باسیلاریوفیتا به ترتیب با ۱۰ و ۸ گونه بیشترین تعدا از گونه ها را بدست آوردند. بقیه شاخه ها هر یک از ۱-۴ گونه را شامل شدند.

در این ماه Cyclotella meneghiniana در همه ایستگاهها اعم از سطحی ، عمقی در دریاچه پشت سد و خروجی گونه غالب در شاخه باسیلاریوفیتا بوده است. بطوریکه از ۶۰ تا ۱۰۰ درصد از تراکم شاخه فوق را تشکیل داد. از میان سایر گونه های باسیلاریوفیتا تنها Syndra ulna با ۳۳ درصد مشارکت در ورودی شیرین رود نقش پررنگ تری در تشکیل تراکم باسیلاریوفیتا نشان داد.

گونه های *Ceratium hirundiella* و *Goniaulax polyedra* در این ماه سهم عمده ای را در تراکم پیروفیتا داشته اند. نتایج نشان داد که در ایستگاههای تلاقی ورودی دو رودخانه، لایه های سطح و ۳۰ متری از ایستگاه نزدیک به تاج بیش از ۷۶ درصد از تراکم پیروفیتا را شکل داد. در ورودی شیرین رود *Goniaulax polyedra* و *Ceratium hirundiella* به ترتیب با ۵۷ و ۴۰ درصد تراکم پیروفیتا را شکل بخشیدند. مشارکت *Goniaulax polyedra* در تراکم پیروفیتا در ایستگاههای ورودی سفیدرود و نیز خروجی به شدت افزایش یافت و به ترتیب به ۹۹ و ۸۳ درصد رسید. در عمق ۱۵ متر از ایستگاه نزدیک تاج گونه ی *Peridinium achromaticum* نیز به میزان ۱۸ درصد در تراکم پیروفیتا حضور یافت.

در این ماه سیانوفیتا تنها با یک گونه (*Dactylococeopsis* smithii) در ایستگاه شیرین رود حضور داشته است. کلروفیتا نیز در غالب ایستگاهها همانند خرداد ماه عمدتا" با دو گونه *Schroederia setigera* و *Oocystis solitaria* شکل گرفت ولی درصد مشارکت *Schroederia setigera* (۱۰۰-۶۶ درصد) بیش از *Oocystis solitaria* بود. اما در لایه سطحی از ایستگاه نزدیک به تاج همراه با *Schroederia setigera* (۸۰ درصد) گونه ی *Chlamydomonas sp.* (۲۰ درصد) نیز در تشکیل تراکم کلروفیتا موثر بوده است.

از شاخه اگلنافیتا هیچ گونه ای در ایستگاههای تلاقی، ۱۵ متری و خروجی ثبت نگردید و در ایستگاههای دیگر نیز تنها ۱-۲ گونه از آن (*Euglena variable*، *Euglena gracilis*، *Phacus sp* و *Phacus longicaudatus*) مشاهده شد. در ایستگاههای ورودی شیرین رود و لایه ۱۵ متری از ایستگاه نزدیک تاج حضور تک گونه ای از شاخه کریزوفیتا (*Dinobryon sertularia*) نیز ثبت گردید.

با مقایسه گونه های غالب در ماههای خرداد و تیر مشخص می شود که گونه های *Cyclotella meneghiniana*، *Goniaulax polyedra*، *Ceratium hirundiella*، *Peridinium achromaticum*، Schroederia *setigera*، *Oocystis solitaria* و *Phacus* به عنوان گونه های غالب در هر شاخه مطرح بوده اند.