# اثر تجمع فیتوپلانکتون‌ها بر کیفیت آب سد کرج

سید مسعود منوری[۱]  جعفر نوری[۲]  نوشین سهراب‌نیا[۳]

(دریافت ۹۰/۷/۲۸  پذیرش ۹۰/۱۲/۲۳)

## چکیده

**فیتوپلانکتون‌ها اهمیت زیادی در کنترل وضعیت اکو سیستم‌های آب دارند. هدف از این مطالعه، بررسی وجود رابطه بین تراکم فیتوپلانکتون‌ها و مواد مغذی به‌ویژه نیترات و فسفات و سایر عوامل مؤثر بود. بر این اساس، دریاچه سد کرج به‌عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شد. به این منظور، یک سال نمونه‌برداری از دریاچه سد کرج صورت گرفت و عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن اندازه‌گیری شدند. میزان نفوذ نور خورشید در عمق آب، با استفاده از دیسک سشی اندازه‌گیری شد. در این مطالعه مشخص گردید که دریاچه سد کرج دارای لایه‌بندی حرارتی است. این دریاچه در ماههای گرم سال دارای تراکم زیست توده جلبکی بوده و همچنین تعداد فیتوپلانکتون‌ها با افزایش عمق تغییر می‌یابند. بیشترین تعداد فیتوپلانکتون در سال ۱۳۸۹ مربوط به دیاتومه به‌ویژه سیکلوتلا بود. بررسی تعداد فیتوپلانکتون‌ها با عوامل شیمیایی نشان داد ارتباطی بین کاهش و افزایش میزان آنها و تعداد فیتوپلانکتون‌ها وجود ندارد.**

***واژه‌های کلیدی***: سد کرج، لایه‌بندی حرارتی، کیفیت آب ، فیتوپلانکتون، دیاتومه

# Phytoplankton Assembly Effect in Karaj Reservoir Water Quality

*Seyed Masood Monnavary [1]  Jaafar Noori [2]  Noushin Sohrabnia[3]*

*(Received Oct. 20, 2011  Accepted March 13, 2012)*

## Abstract

Phytoplankton plays a major role in monitoring aquatic ecosystems. The purpose of this study was to investigate the relationship between the density of phytoplankton and the nutrients, especially nitrates and phosphates and other effective parameters in Karaj dam as a case study. For this purpose, in 2010, Karaj dam was sampled during a year and physical, chemical and biological factors were measured. The penetration depth of sunlight into the water, was measured using Sechei disk. The results of this study demonstrated that there is a thermal stratification in Karaj reservoir. The density of phytoplankton in this lake increased in hot weather of the year and it also varies as the depth increases. In 2010, the most population in phytoplankton community of the lake was formed by Diatoma and specially Cyclotella. No relationship was found between the number of phytoplankton and the amount of chemical factors in this study.

***Keywords:*** Karaj Dam, Thermal Stratification, Water Quality , Phytoplankton, Diatoma.

۱- استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- استاد گروه مدیریت محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۳- کارشناس ارشد مدیریت محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران (نویسنده مسئول) ۰۹۱۲۳۹۴۹۸۱۷ nsohrabnia@hotmail.com

1. Assist. Prof. of Environmental Sciences, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran
2. Prof. of Environmental Management, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran
3. M.Sc. of Environmental Management, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran (Corresponding Author) 09123949817 nsohrabnia@hotmail.com

## ۱- مقدمه

ایران با میانگین بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر، دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است [۱] بنابراین حفاظت از منابع آبی برای آن اهمیت بسزایی دارد. سیستم‌های طبیعی حوضه‌های آبریز و مخازن، علی‌رغم ظاهر ساده از پیچیدگی بسیاری برخوردار هستند. به‌نحوی که می‌توان آنها را در زمره پیچیده‌ترین سیستم‌های مطرح در مهندسی قلمداد نمود [۲]. فیتوپلانکتون در ساختار و فعالیت اکوسیستم آبهای شیرین نقش مهمی ایفا می‌کند. کیفیت و کمیّت فیتوپلانکتون‌ها تا قسمتی به بار مغذی بستگی دارد. بنابراین استفاده از فیتوپلانکتون به‌منظور ارزیابی کیفیت آب (به‌خصوص ارزیابی تجمع انباشتگی مواد مغذی آب) از دیرباز وجود داشته است [۳]. فیتوپلانکتون‌ها، شاخص زیستی بالقوه‌ای برای کیفیت و تغییرات آب در مقابل تأثیرات منطقه‌ای و جهانی نظیر مواد غذایی و یا آلاینده‌های سمّی، دما، افزایش ماورابنفش (UV) و تهاجم گونه‌ها به‌شمار می‌روند [۴]. اوتریفیکاسیون منجر به افزایش رشد گیاهان آبزی و اغلب باعث شکوفایی جلبکها می‌شود [۵]. اوتریفیکاسیون می‌تواند ترکیبت گونه‌های اکوسیستم را تغییر دهد. گونه‌های مخصوص جلبک باعث مشکلات طعم و بو در آب آشامیدنی می‌گردد [۶]. مهم‌ترین جلبکهای شکوفا شده جلبکهای سبز- آبی هستند. جلبک‌ها می‌توانند به یکی از دو شکل عمومی پلانکتونی یا چسبیده وجود داشته باشند [۷]. مهم‌ترین جلبک‌ها، دیاتومه، کلروفیسه و سیانوفیسه هستند. دیاتومه که دیواره سلولی آنها دارای سیلیس است و به‌صورت دیواره ثانویه در آنها دیده می‌شود. کلروفیسه که در آن رنگدانه‌ای که فتوسنتز را انجام می‌دهد کلروفیل a و b است. این سلول‌ها از نوع یوکاریوت هستند [۸]. در سیانوفیسه سلول‌ها از نوع پروکاریوت هستند. واحد رنگدانه تحت عنوان سی- فیکوسیانین و سی- فیکواریتیرین به اضافه کلروفیل a است و هیچ غشایی برای رنگدانه ندارند [۹].

کیفیت آبها معمولاً با پارامترهایی مانند pH، اکسیژن محلول و غلظت ترکیبات ویژه ارزیابی می‌گردد [۱۰]. برخی دیگر از عوامل مهم که معمولاً در ارزیابی کیفیت آب مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارت‌اند از فسفر، نیتروژن، اکسیژن محلول، کلروفیل a، شفافیت، pH و دما. رشد گیاهان در بیشتر مخازن و رودخانه‌ها بستگی به‌میزان فسفر قابل جذب در رودخانه دارد و در بیشتر برنامه‌ها، مجموع حداکثر بار کل روزانه اندازه‌گیری فسفر در برنامه پایش گنجانده شده است [۱۱]. بار داخلی فسفر یعنی فسفر رها شده از کف دریاچه و مخازن، به‌ویژه مخازنی که دارای لایه‌بندی هستند، نقش مهم و غیر قابل انکاری در کنترل کیفیت آب مخزن دارد [۶]. نیتروژن عامل مهمی در ارزیابی کیفیت منابع آبی است و عامل محدود کننده است. این وضعیت در منابع آبی که دارای نسبت پایین N/P هستند، ایجاد می‌شود. نیتروژن بیشتر عامل محدود کننده در رودخانه‌ها است [۱۱]. نیترات محصول نهایی تجزیه باکتریایی است که باید به طریقی از سیستم حذف شود زیرا تجمع آن در محیط آبی و در شرایط دما و pH می‌تواند منجر به تولید ترکیبات سمی‌تر شود که دارای سمیتی به مراتب بالاتر از نیترات هستند [۱۲]. اکسیژن محلول از جمله شاخص‌های مهم تأثیرگذار است که به‌منظور تعیین اولیه وضعیت آبزیان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۱]. کلروفیل a که جزء بیشتر جلبک‌ها است که به آسانی قابل اندازه‌گیری است و معرف مناسبی برای زیست توده جلبک می‌باشد. کلروفیل a یک شاخص است، زیرا جلبک چه به‌صورت مستقیم (شکوفایی جلبک) و چه به‌صورت غیر مستقیم (کاهش/افزایش اکسیژن محلول و افزایش کدورت) سبب ایجاد بیشتر مشکلات مرتبط با تغذیه گرایی می‌شود [۱۱]. شفافیت: برای تعیین غلظت مواد غذایی (تراکم فیتوپلانکتون‌ها) در محیط آبی از روشی بسیار ساده و درعین حال مؤثر استفاده می‌شود. در این روش از وسیله‌ای به نام سشی دیسک استفاده می‌شود. این وسیله شامل یک صفحه دایره‌ای شکل فلزی دو رنگ (سفید و سیاه) و یک میله فلزی است که برحسب سانتی‌متر مدرج شده است [۱۳]. pH : زیست توده جلبکی در مقادیر بالاتر از حد مجاز سبب ایجاد نوسانات قابل توجهی درpH می‌شوند [۱۱]. pH آب شیرین از ۲ تا ۹ متغیر است. با وجودی که بیشتر میکروارگانیسم‌ها در آبهایی با pH خنثی بهتر رشد می‌کنند ولی تعداد کمی از آنها در آبهایی با اسیدیته بالا یا قلیایی بالا یافت شده اند [۱۴]. دما: در محیط‌های آبی، دما از صفر تا ۱۰۰ درجه سلسیوس تغییر می‌کند. بیشتر میکروارگانیسم‌ها در دماهای متوسط زیست می‌کنند[۱۴].

تلاشهایی که برای ارزیابی کیفی منابع آب صورت گرفته است بسیار فراوان‌اند که بیشتر به‌صورت مدل‌سازی ریاضی ارائه شده‌اند. مک اون[1] در سال ۱۹۲۹، از اولین کسانی بود که ضریب انتقال حرارت برای پروفیل حرارتی در زمان تشکیل لایه‌بندی حرارتی را تخمین زد . ارتل[2] در سال ۱۹۵۴ یک مدل دیفیوژنی برای تشکیل ترموکلاین با فرض کردن یک ضریب ثابت مستقل از عمق و زمان برای دیفیوژن به‌دست آورد. هاچیسون[3] در سال ۱۹۵۷ خصوصیات حرارتی دریاچه‌ها و مخازن را مورد مطالعه قرار داد [۱۵].

مدل‌های شبیه‌سازی مخازن ابتدا در سال ۱۹۵۳ در ایالت متحده آمریکا با مطالعات مهندسان ارتش آمریکا برای شش مخزن روی رودخانه میسوری آغاز شد [۱۶]. از سال ۱۹۷۹ تا ۱۹۸۷ آزمایشگاه بارسنز در دانشگاه MIT مطالعه وسیعی روی دریاچه

[1] Macoun
[2] Ertel
[3] Hutchinson

بالتون در مجارستان برای شبیه‌سازی کیفی دریاچه‌ها انجام دادند. ونیستا ونون[1] در سال ۱۹۹۱، گزارش میزان نیاز اکسیژنی رسوبات پنج دریاچه کاملاً لایه‌بندی شده در تابستان را بین سال ۱۹۸۵تا ۱۹۸۸ ارائه دادند. گالراند و همکاران[2] در سال ۱۹۹۲ یک مدل برای مطالعه در روند تغذیه‌گرایی دریاچه‌ها ارائه دادند که این مدل امکان شبیه‌سازی غلظت فسفر و فیتوپلاتکنون را برای سالهای مختلف بدون محاسبات پیچیده به‌وجود آورد.

در ایران گروه مطالعاتی دریاچه‌ها در دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف با استفاده از مدل HEC-5Q تأثیر افزایش ارتفاع سد بوکان را بر تغییرات اکسیژن محلول و لایه‌بندی حرارتی در مخزن سد مدل‌سازی نمود. همچنین آب منطقه‌ای تهران بخش معاونت مطالعات پژوهش، طرح مطالعاتی کاهش آلودگی حوزه آبریز سد لتیان را درسال ۱۳۸۲ ارائه نموده است[۱۵].

از مطالعات انجام شده در زمینه مخازن سد و ارزیابی کیفی آنها در ایران می‌توان به مطالعه تفرج نوروز و همکاران اشاره نمود که در آن با استفاده از داده‌های کمّی و کیفی جمع‌آوری شده، پدیده لایه‌بندی حرارتی مخزن سد کندک مورد بررسی قرار گرفته است [۱۷]. در مطالعه عیسی‌زاده با تمرکز بر روی فسفر ناشی از رهاسازی رسوب و بررسی عوامل مؤثر بر این رهاسازی در سد مخزنی لتیان، سعی در مدل‌سازی فسفر در سد مخزنی لتیان گردیده است [۶]. در مطالعه تجریشی و همکاران ضمن بررسی و ارزیابی وضعیت کیفی آب مخزن سد لتیان باتوجه به اندازه‌گیری‌های به‌عمل آمده مشخص گردید که این سد به سمت تغذیه‌گرایی پیش می‌رود و با توجه به ورود قابل توجه فسفر، نیتروژن عامل محدود کننده به شمار می‌آید [۱۸].

در سایر کشورها یکی از نمونه‌های کار شده، در کشور پرتغال است که انواع خصوصیات آب و حالتهای اکولوژیک مرتبط آن در سدها مشخص گردیده است. هدف اصلی از این مطالعه تعیین حالتهای اکولوژیک و ارزیابی آن با استفاده از فیتوپلانکتون‌ها به‌عنوان شاخص کیفیت آب، در مخزن سدهای شمال و مرکز پرتغال بوده است. در این مطالعه ۳۴ مخزن در چهار فصل طی هشت سال مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پارامترهای محیط‌زیستی و بیولوژیکی از سال ۱۹۹۶ تا سال ۲۰۰۴ در آزمایشگاههای محیط زیست و شیمی پرتغال، مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق دما، کدورت، هدایت الکتریکی، pH و اکسیژن محلول در محل با دستگاههای پرتابل اندازه‌گیری شده است. بررسی نفوذ نور در ستون آب با روش سشی دیسک انجام شد. در آزمایشگاه آهن، غلظت مغذی‌ها، BOD ۵ روزه، سیلیس کل، کلروفیل کل، کلیفرم گوارشی و باکتری‌های مصرف کننده سولفات، اندازه‌گیری شده است [۱۸]. در بررسی دیگری که در دریاچه کینرت در اسرائیل انجام گردیده است با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی از پارامترهای شاخص، مدل‌های ریاضی تعریف گردیده است. در این مقاله تأثیر تغییرات احتمالی بارگذاری مواد مغذی بر اکوسیستم دریاچه کینرت بررسی گردیده است. مدل مورد استفاده در این تحقیق، بر پایه تلفیق الگوی اکوسیستم دریاچه‌ای DYRESM-CAEDYM و مجموعه متغیرهای اکوسیستمی به‌کار رفته در سیستم سنجشی شاخص‌های کیفی آب بوده است. ویژگی‌های ظاهری اکوسیستم که مطابق با مدل‌های شبیه‌سازی ارائه می‌شود، با داده‌هایی مورد مقایسه قرار می‌گیرد که به‌طور مستقیم صحت و درستی مدل را مورد تأیید قرار می‌دهند. بازده الگو که با داده‌های دریاچه به‌خوبی مطابقت دارد، تأثیر اختلاف غلظت بارگذاری مواد مغذی نیتروژن و فسفر و تغییرات درونی عمده دریاچه، TN و TP و پویایی و ساختار اجتماع جلبکها را نشان می‌دهد. بازده مدل و داده‌های دریاچه، نشان دهنده رابطه‌ای قوی، بین بارگذاری نیتروژن و مقادیر TN دریاچه است. وجود چنین رابطه‌ای برای فسفر چندان قطعی نیست و تنها ارتباطی ضعیف بین بارگذاری فسفر و TP موجود در دریاچه به‌چشم می‌خورد [۲۰].

نمونه دیگر، بررسی تغییرات فصلی زیست توده جلبک‌ها در سه دریاچه زیاوی، چامبو و اواسا در اتیوپی است. در این مقاله تأکید شده است که جمعیت فیتوپلانکتون‌ها پایه چرخه حیات است. تغییر بیومس فیتوپلانکتون‌ها، ترکیبات گونه‌ها و الگوی تولید اولیه، می‌تواند بر جمعیت ماهیان تأثیر داشته باشد. این دریاچه‌ها در مرکز و جنوب دره رنیت قرار دارند. نمونه‌برداری از آنها به‌صورت ماهانه انجام می‌گرفت. متغیرهای در نظر گرفته شده شامل هدایت الکتریکی، pH، قلیائیت، فسفر کل، نیترات کل و همچنین اندازه‌گیری کلروفیل a بوده است [۲۱]. پایش کیفی دریاچه سد کرج بنا به درخواست سازمان آب منطقه‌ای تهران بیش از ۱۵ سال است که بر روی دریاچه سد کرج به‌صورت ماهانه انجام می‌گیرد و پارامترهای شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیکی آب مخزن آن اندازه‌گیری می‌شود. در سال ۱۳۸۱ آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب با در دست داشتن نتایج آزمایش‌ها، مطالعه‌ای بر روی لایه‌بندی حرارتی داشته است که مشخص گردید این دریاچه با توجه به عمق نسبتاً زیادی که دارد دارای لایه‌بندی حرارتی به‌ویژه در تابستان است. همچنین در طرح مطالعاتی دیگری تحت عنوان طرح جلوگیری و کاهش آلودگی رودخانه کرج که توسط سازمان حفاظت محیط زیست و شرکت مهندسین مشاور ارزیابان محیط انجام شده است، مطالعاتی در زمینه ساختار و محیط اطراف سد صورت گرفته است.

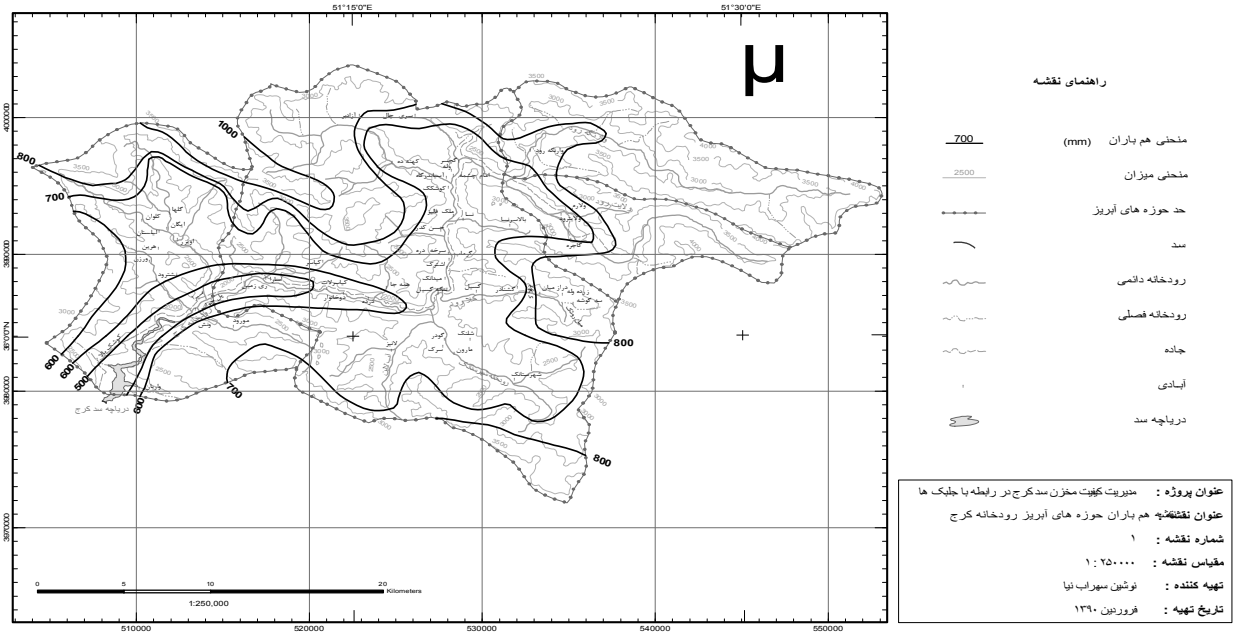
[1] Venista Venom
[2] Garland et al.

همچنین طرح ارزیابی و تجزیه و تحلیل لیمونلوژیک دریاچه سد امیرکبیر (سد کرج) توسط یوسف شاهی انجام شده است.

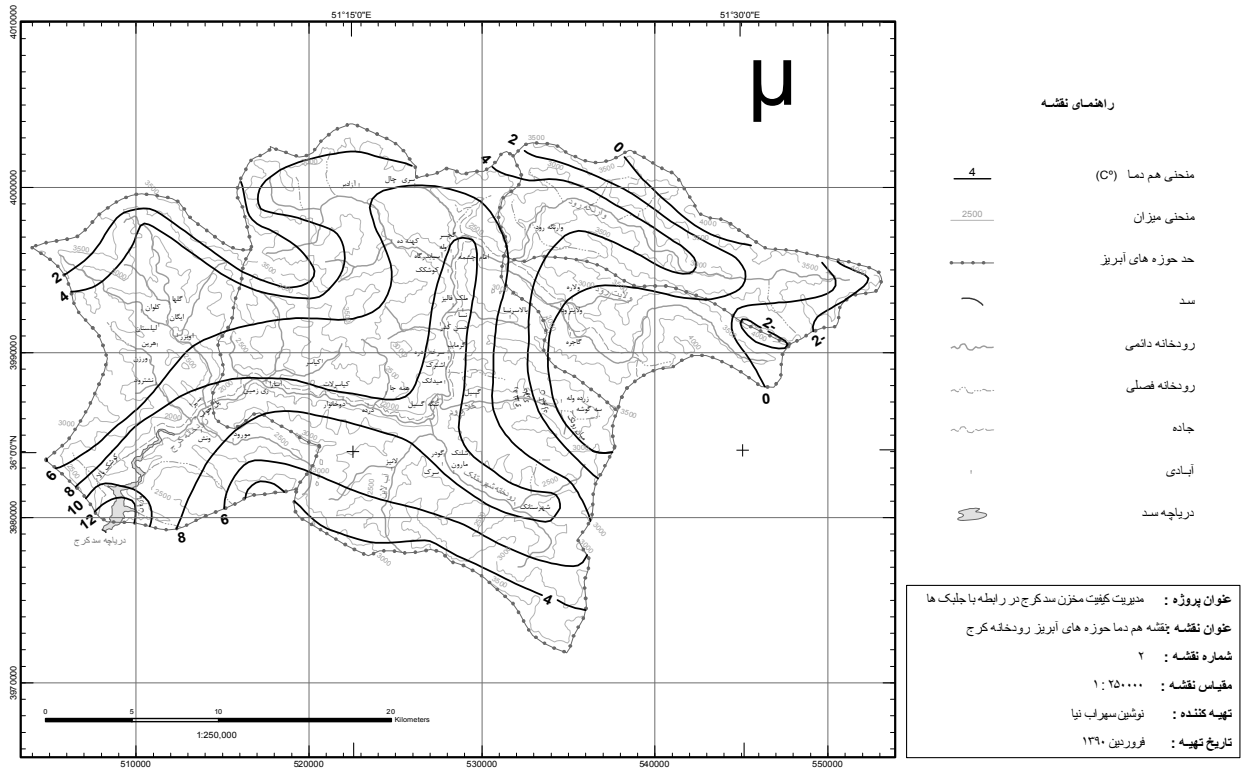
هدف از این مطالعه شناسایی فیتوپلانکتون‌های سد کرج و تأثیر آنها بر اکوسیستم آبی منطقه و همچنین بررسی داشتن ارتباط با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی بود تا به این وسیله بتوان حالت مغذی شدن یا در معرض خطر بودن این دریاچه را تعیین نمود و از فیتوپلانکتون‌ها به‌عنوان یکی از شاخصهای ارزیابی محیط‌های آبی استفاده کرد.

## ۲- مطالعه موردی

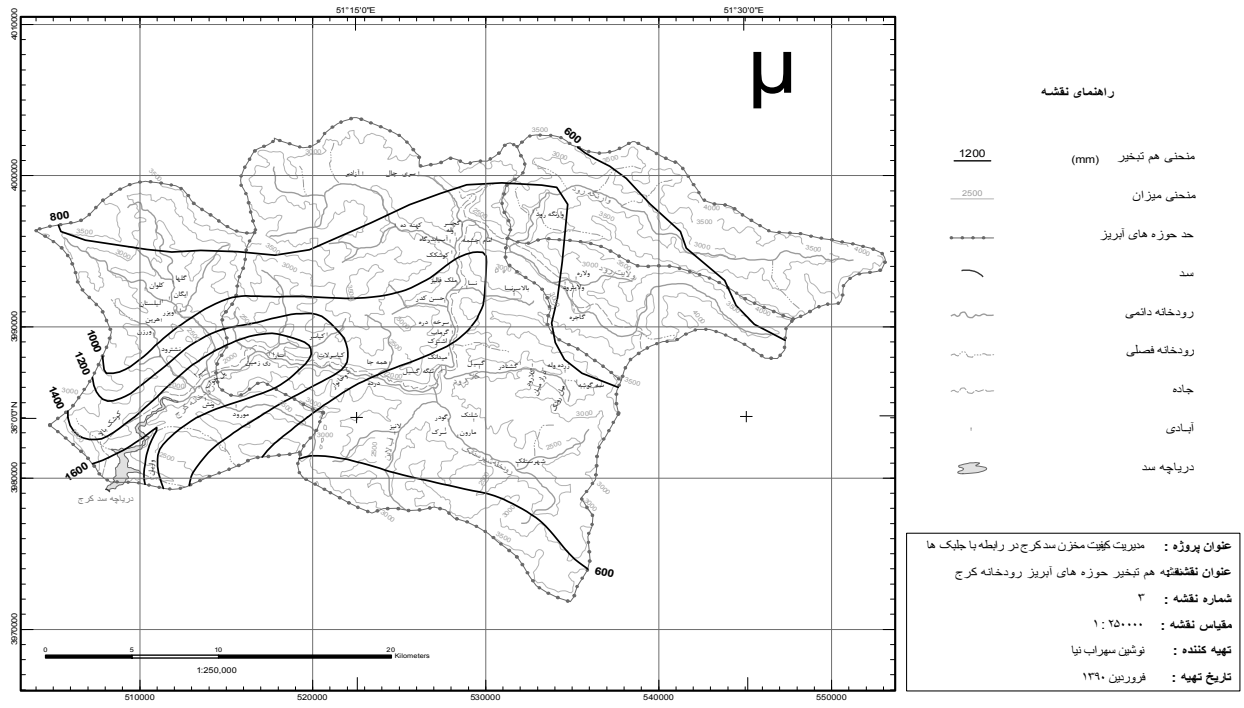
مطالعه موردی در این مقاله دریاچه سد کرج بود. موقعیت حوضه آبریز رودخانه کرج تا محل احداث سد بین طول‌های جغرافیایی (شرقی) برابر ۵۱ درجه و ۲ دقیقه و ۳۵ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۳۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه و عرض‌های (شمالی) برابر ۳۵ درجه و ۵۳ دقیقه و ۲۳ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه و ۴۰ ثانیه قرار دارد. مساحت آن در این پهنه برابر ۸۲۰ کیلومتر مربع است [۲۲]. دریاچه سد کرج در طول تقریبی دریاچه برابر ۹ کیلومتر و عرض تقریبی ۰/۲۷۵ کیلومتر واقع شده و مساحت آن حدود ۲/۴۷۵ کیلومتر مربع است [۲۳]. سد کرج در شمال غربی تهران در مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه و ۱۸ ثانیه عرض شمالی بر روی رودخانه کرج احداث شده است. مختصات سد در سیستم UTM برابر است با ۵۰۸۱۰۰ = x متر (طول شرقی) و ۳۹۷۹۱۰۰=y متر (عرض شمالی). ارتفاع سد از کف رودخانه نسبت به دریای آزاد ۱۶۰۵ متر است. طول تقریبی دریاچه سد کرج برابر ۹ کیلومتر و عرض تقریبی آن ۰/۲۷۵ کیلومتر و مساحت آن حدود ۲/۴۷۵ کیلومترمربع است. سد کرج یا سد امیرکبیر بر روی رودخانه کرج احداث شده است[۲۳]. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز که از نقشه‌های هواشناسی به مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ اطلس منابع آب حوضه آبریز مرکزی، برای دوره شاخص ۴۰ ساله منتهی به سال آبی ۸۵-۸۴ تهیه شده توسط دفتر تحقیقات و منابع آب کشور (تماب) در محدوده حوضه آبریز رودخانه کرج تا سد امیرکبیر استخراج گردید، به این شرح است: نقشه هم باران سالانه دوره شاخص ۴۰ ساله منتهی به سال آبی ۵۸-۸۴ حوضه آبریز رودخانه کرج تا محل سد کرج که بر روی شکل ۱ ارائه گردیده است. دامنه تغییرات منحنی هم باران سالانه (متوسط ۴۰ ساله) در این بخش بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر است. نقشه هم دمای سالانه که در دوره شاخص ۴۰ ساله در حوضه آبریز کرج تا محل سد امیرکبیر بین صفر درجه سلسیوس تا ۱۲/۴ درجه سلسیوس تغییر می‌کند (شکل ۲). نقشه هم تبخیر سالانه در دوره شاخص ۴۰ ساله در شکل ۳ ارائه شده است. دامنه تغییرات تبخیر سالانه در سطح حوضه آبریز بین ۶۰۰ میلی‌متر (در ارتفاعات مشرف به حد حوضه آبریز) تا ۱۶۰۰ میلی‌متر است [۲۴].




**شکل ۱**- نقشه هم باران حوضه‌های آبریز رودخانه کرج[۲۴و۲۵]




**شکل ۲**- نقشه هم دما حوضه‌های آبریز رودخانه کرج[۲۴و۲۵]




**شکل ۳**- نقشه هم تبخیر حوضه‌های آبریز رودخانه کرج[۲۴ و۲۵]

## ۳- مواد و روشها

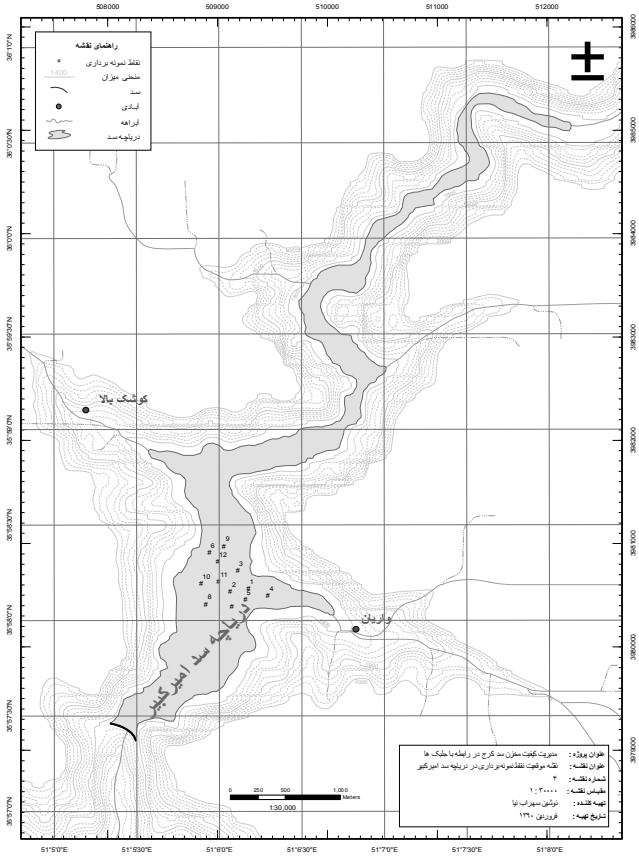
### ۳-۱- نمونه‌برداری از آب مخزن سد کرج

محلهای نمونه‌برداری، بر روی شکل ۴، مشخص گردیده است. نمونه‌برداری از اعماق دریاچه سد به‌صورت ماهانه برای آزمون‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی انجام شده‌اند. موقعیت نقاط نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه موقعیت یاب ماهواره‌ای (GPS) تعیین شدند. به‌منظور نمونه‌برداری از اعماق دریاچه از دستگاه نمونه‌برداری کمرر استفاده شد. نمونه‌برداری از سطح و تا عمق ۵۰ متری هر ۱۰ متر انجام گرفت و برای هر بار نمونه‌برداری ۶ نمونه تهیه گردید (تعداد سه نمونه برای هر عمق). نمونه‌برداری به‌صورت ماهانه بنا به درخواست سازمان آب منطقه‌ای تهران و طرح مطالعاتی مد نظرشان انجام شد و داده‌ها نیز بر همین اساس آزمایش و دسته‌بندی شدند. ضمن اینکه در تعدادی از مقالات برای بررسی فصلی تجمع فیتوپلانکتون‌ها به نمونه‌برداری ماهانه اشاره شده است [۲۱]. روش نمونه‌برداری بر اساس بخش B ۱۰۲۰۰ کتاب استاندارد متد انجام شد.

### ۳-۲- آزمایش‌های بیولوژیکی

در این تحقیق نیز درآزمایش‌های بیولوژی نوع و تعداد پلانکتون‌ها مشخص گردید. از روش فیلتراسیون غشایی برای آماده‌سازی نمونه استفاده گردید. روش آماده‌سازی نمونه به این صورت است که آب با حجم مشخص (یک لیتر ) فیلتر شد. اندازه منافذ فیلتر برای پلانکتون‌ها ۰/۸ میکرون است. پس از اتمام فیلتراسیون، فیلتر از روی قیف برداشته شد و در یک میلی لیتر آب مقطر شستشو داده شد تا محتویات فیلتر در آن شسته شود. سپس با استفاده از پیپت، نمونه شسسته شده به لام منتقل شد و با میکروسکوپ نوری و بزرگنمایی 100X مشاهده گردید. سلول‌های مرده و یا تکه‌های دیاتومه شکسته به حساب آورده نمی‌شد. ولی دیاتومه‌های دارای مرکز خالی به‌صورت مجزا به‌عنوان "دیاتومه‌های میانی مرده[1] و یا دیاتومه‌های مرده[2] شمرده و برای تبدیل شمارش نسبی گونه‌های دیاتومه به شمارش در میلی لیتر استفاده شد. بزرگنمایی در شمارش و شناسایی پلانکتون بسیار مهم است. لام‌های سدویک رفتر (S-R)

[1] Dead Centric Diatoms
[2] Pennate




**شکل ۴**- موقعیت نقاط نمونه برداری در دریاچه سد امیرکبیر[۲۴ و۲۵]

وسیله‌ای است که عموماً برای شمارش پلانکتون‌ها به‌کار می‌رود. ابعاد این لام ۵۰×۲۰ میلی‌متر در عمق ۱ میلی‌متر بود که مساحتی معادل ۱۰۰۰ میلی‌متر مکعب و حجمی معادل ۱۰۰۰ میلی‌مترمکعب و یا ۱میلی لیتر را ایجاد می‌کند. در نمونه‌هایی که دارای تعداد زیادی پلانکتون هستند (۱۰ پلانکتون یا بیشتر در هر میدان)، به‌جای شمارش خطی از شمارش میدانی استفاده می‌شود. پلانکتون‌ها به‌صورت تصادفی در میدان‌ها (معادل یک گرید ویپل) شمارش گردیدند. تعداد میدان‌های شمرده شده بستگی به دانسیته پلانکتون دارد.

تعداد پلانکتون‌ها در هر میلی لیتر با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$NO/ml \frac{C \times 1000mm^3}{A \times D \times F} \qquad (۱)$$

که در این رابطه

C تعداد ارگانیسم‌های شمرده شده، A سطح یک فیلد ( مساحت ویپل) بر حسب میلی‌متر مربع، D عمق هرفیلد ( عمق لام S-R ) بر حسب میلی‌متر، F تعداد فیلدهای شمارش شده است.

تعداد سلول‌ها در هر میلی لیتر در فاکتور تصحیح، تقسیم یا ضرب شده و نتیجه، برای نمونه‌های رقیق یا غلیظ شده به‌دست آورده شد. در این مطالعه به‌جای اندازه‌گیری کلروفیل a، فیتوپلانکتون‌ها شمارش شده و در ۱۰۰ میلی‌لیتر محاسبه گردیده است.

### ۳-۳- آزمایش‌های پارامترهای شیمیایی

پارامترهای شیمیایی و فیزیکی که اندازه‌گیری شدند شامل موارد زیر بود: pH که با دستگاه pH متر پس از تنظیم آن با بافرهای خاص اندازه‌گیری گردید. کدورت با استفاده از دستگاه کدورت سنج اندازه‌گیری گردید و واحد آن NTU است. هدایت الکتریکی که با دستگاه هدایت سنج اندازه‌گیری شد و واحد آن µmhos/cm است. نیترات($NO_3$) و فسفات کل ($PO_4$) که با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر DR-2000 وروش رنگ سنجی بر حسب میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شدند [۲۴].

### ۳-۴- اندازه‌گیری میزان نفوذ نور خورشید

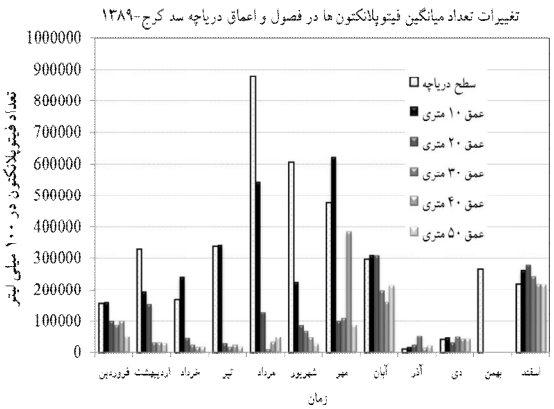
یکی از اندازه‌گیری‌های انجام شده از شهریور تا اسفند ۱۳۸۹ مربوط به میزان نفوذ نور خورشید از طریق دیسک سشی بود که نتایج آن در جدول ۱ و شکل ۵ نشان داده شده است.

### ۳-۵- روش آماری

برای آنالیز آماری از روش تجزیه و تحلیل داده‌های تکراری استفاده شد که موارد در نرم افزار SPSS اجرا شد. رسم نمودارها در نرم‌افزار Excel انجام شد.

**جدول ۱**- دیسک سشی- دریاچه سد کرج ۱۳۸۹

| عمق دیسک سشی به متر | تاریخ | تعداد میانگین فیتوپلانکتون سطح دریاچه |
|---|---|---|
| ۱/۳۵ | ۸۹/۶/۱۴ | ۶۰۷۱۰۴ |
| ۲/۰۴ | ۸۹/۷/۱۱ | ۴۷۵۹۰۴ |
| ۲/۱۵ | ۸۹/۸/۱۰ | ۲۹۸۶۲۴ |
| ۲/۷۰ | ۸۹/۹/۱۴ | ۱۲۵۹۲ |
| ۲/۵۰ | ۸۹/۱۰/۱۲ | ۴۱۵۴۴ |
| ۲ | ۸۹/۱۲/۸ | ۲۱۸۶۲۴ |




**شکل ۵**- تغییرات تعداد میانگین فیتوپلانکتون‌ها در فصلهای و اعماق دریاچه سد کرج-۱۳۸۹

## ۴- نتایج

بر اساس آزمایش‌های انجام گرفته ، نتایج به شرح زیر به‌دست آمد :

### ۴-۱- تعداد فیتوپلانکتون‌ها

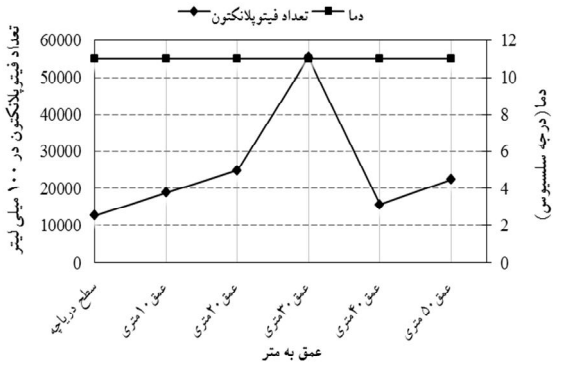
شکل ۵ نشان می‌دهد که بیشترین تعداد فیتوپلانکتون در ماه مرداد و در سطح دریاچه موجود بود. البته رشد جلبک‌ها در تابستان و در دمای بالاتر بیشتر است. در سه ماه اردیبهشت، خرداد و تیر بیشترین تعداد فیتوپلانکتون در عمق ۱۰ متری مشاهده شد. اندازه‌گیری دما در اعماق مختلف نشان می‌دهد در ماه مهر در عمق ۴۰ متری افزایش دما روی داد که به‌دنبال آن افزایش تعداد فیتوپلانکتون نیز رخ داده است. در ماههای آذر، دی و اسفند دما در تمام اعماق به حالت ثابت در می‌آید.

در آنالیز آماری مشخص می‌شود بین تعداد فیتوپلانکتون‌ها در ماههای مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد (p=.000) که این تفاوت بین تعداد فیتوپلانکتون‌ها در میان عمق‌های مختلف نیز دیده شد (p=.000) تغییرات تعداد فیتوپلانکتون‌ها در عمقهای مختلف در یک ماه (برای تمامی ماهها) نیز با هم تفاوت معنی‌داری داشتند (p=.000) در مقایسه تعداد فیتوپلانکتون‌های هر ماه برای

عمقهای مختلف مشخص گردید که تمامی عمقها با هم تفاوت معنی‌دار دارند.

### ۴-۲- تغییرات دمایی و تعداد فیتوپلانکتون‌ها

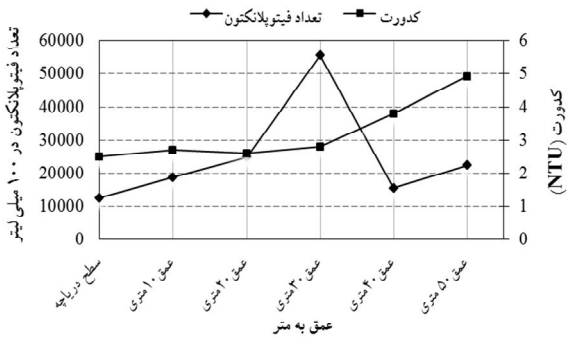
اندازه‌گیری دما در اعماق و فصلهای مختلف در ارتباط با فیتوپلانکتون‌ها نشان می‌دهد که در ماههای گرم سال با افزایش عمق، دما کاهش یافته و با همین نسبت تعداد فیتوپلانکتون‌ها نیز در عمق کاهش می‌یابند. اما در ماههای سرد سال به‌ویژه در آذر ماه دما در تمام عمق‌ها یکسان است و تعداد فیتوپلانکتون‌ها نیز روند کاهشی را نسبت به تابستان نشان می‌دهند و از نظم خارج می‌شوند. در شکل ۶ این تغییرات در ماه آذر نشان داده شده است.




**شکل ۶**- تغییرات تعداد میانگین فیتوپلانکتون و دما نسبت به عمق- آذر ۱۳۸۹- دریاچه سد کرج

### ۴-۳-کدورت و تعداد فیتوپلانکتون‌ها

نتایج مربوط به اندازه‌گیری کدورت نشان داده است که در ماههای گرم سال و تا شهریور ماه بین تعداد فیتوپلانکتون و کدورت رابطه مستقیم وجود دارد. اما این تناسب در ماههای سرد سال وجود ندارد. شکل ۷ نشان‌دهنده این موضوع در ماه آذر است.



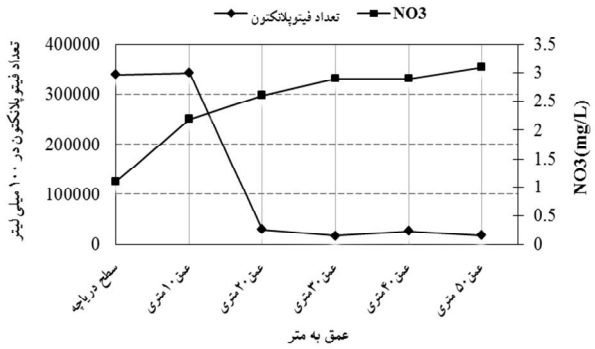

**شکل ۷**- تغییرات تعداد میانگین فیتوپلانکتون و کدورت نسبت به عمق-آذر ۱۳۸۹- دریاچه سد کرج

### ۴-۴- pH و تعداد فیتوپلانکتون

نتایج اندازه‌گیری pH مشخص می‌کند در ماههای فروردین تا خرداد با کاهش فیتوپلانکتون در اعماق، pH افزایش می‌یابد. در ماههای گرم سال و تا مهرماه با کاهش pH، فیتوپلانکتون نیز کاهش می‌یابد. در ماههای سرد سال آشفتگی در مقدار pH در اعماق مشاهده می‌شود که نمی‌توان رابطه خاصی بین آن و تعداد فیتوپلانکتون پیدا نمود.

### ۴-۵- مقدار نیترات و تعداد فیتوپلانکتون

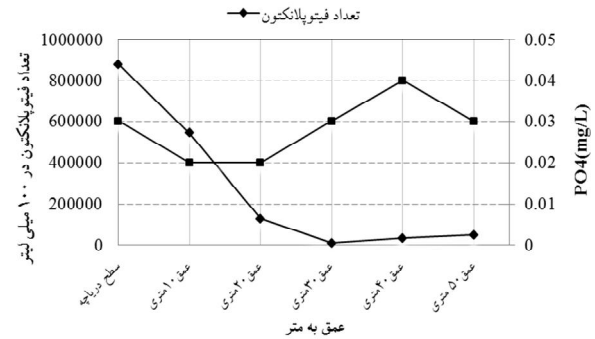
$NO_3$ نیز در این طرح به‌عنوان یکی دیگر از عوامل رشد فیتوپلانکتون‌ها در نظر گرفته شد. شکل ۸ نشان می‌دهد که با وجود بیشترین تعداد فیتوپلانکتون در ماه گرم سال، غلظت نیترات رابطه‌ای با این افزایش نداشته است.




**شکل ۸**- تغییرات تعداد میانگین فیتوپلانکتون و نیترات نسبت به عمق- تیر ۱۳۸۹- دریاچه سد کرج

### ۴-۶- مقدار فسفات و تعداد فیتوپلانکتون

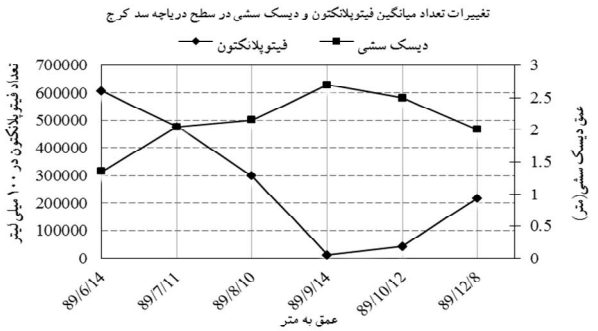
مقادیر اندازه‌گیری شده فسفات، در ماهها و اعماق مختلف بسیار ناچیز است و تقریباً در هیچ موردی نمی‌توان رابطه مستقیمی بین فسفات و تعداد فیتوپلانکتون برقرار نمود. شکل ۹ رابطه غلظت فسفات با فیتوپلانکتون را نشان می‌دهد که ارتباط مستقیمی نیست.




**شکل ۹**- تغییرات تعداد میانگین فیتوپلانکتون و فسفات نسبت به عمق- مرداد ۱۳۸۹- دریاچه سد کرج

### ۴-۷- میزان نفوذ نور خورشید

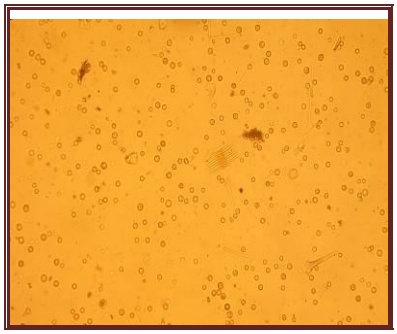
یکی از اندازه‌گیری‌های انجام شده از شهریور تا اسفند ۱۳۸۹ مربوط به میزان نفوذ نور خورشید از طریق دیسک سشی است که نتایج آن در جدول ۱ و شکل ۱۰ نشان داده شده است. این رابطه با تعداد میانگین فیتوپلانکتون سطح در نظر گرفته شده است، زیرا عمق اندازه‌گیری شده نفوذ نور خورشید در محدوده نزدیک به سطح قرار داشته است. از نظر عمق دیسک سشی محدوده تغییرات عمق، بین ۱/۳۵ تا ۲/۷۰ متر است.




**شکل ۱۰**- تغییرات تعداد میانگین فیتوپلانکتون و دیسک سشی در سطح دریاچه سد کرج

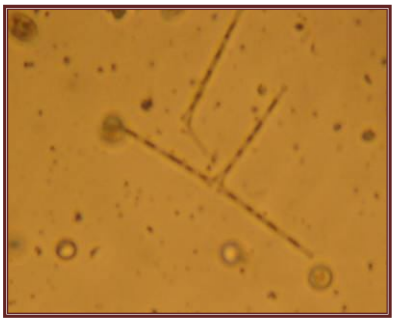
### ۴-۸- فیتوپلانکتون‌های شناسایی شده دریاچه سد کرج

در این مطالعه علاوه بر شمارش فیتوپلانکتون‌ها به شناسایی انواع آن نیز پرداخته شد. بیشترین فیتوپلانکتونی که در نمونه‌ها مشاهده شدند شامل موارد زیر است: دیاتومه‌ها بیشترین تعداد جمعیت فیتوپلانکتون را در این مطالعه داشته‌اند و از میان دیاتومه‌ها، جنس‌های سیکلوتلا، آسترونلا، فراژیلاریا، سیندرا، آنکیسترودسموس بیشترین جمعیت را داشته‌اند. از این میان نیز جمعیت غالب در همه فصلها و همه عمق‌ها با سیکلوتلا بوده است و در بعضی نمونه‌ها تعداد آنها چنان زیاد بود که شمارش را مشکل می‌ساخت. قابل ذکر است که دیاتومه سیکلوتلا مربوط به آبهای تمیز بوده اما با تجمع خود به‌ویژه در تصفیه‌خانه‌ها، می‌تواند باعث گرفتگی صافی‌ها شود[۷]. سایر دیاتومه‌ها با جمعیت بسیار پایین‌تری نسبت به سیکلوتلا مشاهده شده‌اند. از سایر جنس‌ها که تعداد بسیار کمی داشتند صرف نظر شد. پس از سیکلوتلا، استرونلا بیشترین جمعیت را به‌خود اختصاص می‌دهد. شکلهای ۱۱ تا ۱۵ نمونه‌ای از دیاتومه‌های سد کرج که در این مطالعه شناسایی شدند را نشان می‌دهند. جمعیت کلروفیسه در مقایسه با دیاتومه‌ها کمتر بوده است اما نمی‌توان از آنها چشم پوشید. از مهم‌ترین انواع شناسایی شده در این مطالعه سراتیوم، پیریدینیوم، کلروکوکوم، اسیستیس می‌باشند. تصویر کلروفیسه‌های شناسایی شده در شکلهای ۱۶ تا ۱۹ مشخص است. در شرایط مساعد بعضی از انواع آنها به‌ویژه سراتیوم و پیریدینیوم ممکن است بسیار افزایش یابند. تعداد سیانوفیسه مشاهده شده در نمونه‌ها بسیار اندک است به‌طوری که در محاسبات جمعیت فیتوپلانکتونی در نظر گرفته نشدند.

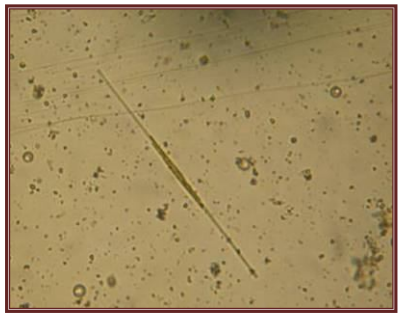


شکل ۱۱- دیاتومه سیکلوتلا
دریاچه سد کرج – بزرگنمایی × ۴۰۰

شکل ۱۲- دیاتومه فراژیلاریا
دریاچه سد کرج - بزرگنمایی × ۲۰۰



شکل ۱۳-دیاتومه – آسترونلا
دریاچه سد کرج - بزرگنمایی × ۲۰۰

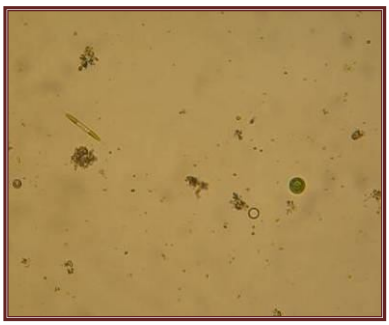


شکل ۱۴- دیاتومه آنکیسترودسموس
دریاچه سد کرج - بزرگنمایی × ۲۰۰

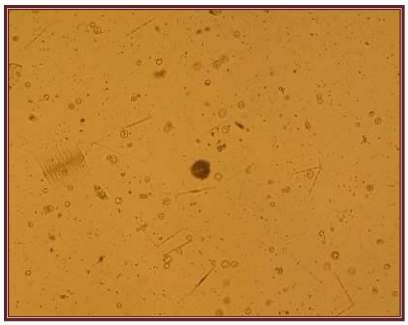
شکل ۱۵- دیاتومه سیندرا - دریاچه سد کرج
- بزرگنمایی × ۴۰۰

شکل ۱۶- کلروفیسه – سراتیوم دریاچه
سد کرج بزرگنمایی × ۴۰۰

شکل ۱۷- کلروفیسه –ااسیستیس دریاچه
سد کرج- بزرگنمایی × ۴۰۰



شکل۱۸- شماره ۱ دیاتومه
شماره ۲ کلروفیسه کلروکوکوم-
دریاچه سد کرج –بزرگنمایی ×۲۰۰



شکل ۱۹- پیریدنیوم دریاچه
سد کرج -بزرگنمایی ×۲۰۰

## ۵- بحث

### ۵-۱- ارتباط دما و تعداد فیتوپلانکتون‌ها

تعداد فیتوپلانکتون در ماههای گرم سال با دما نسبت مستقیم دارد. هر چه دما در اعماق کاهش می‌یابد تعداد فیتوپلانکتون‌ها نیز کاهش می‌یابند. نتایج نشان می‌دهند که این دریاچه در تابستان دارای لایه‌بندی حرارتی می‌شود. در پروژه تحقیقاتی آزمایشگاه آب و فاضلاب در سال ۱۳۸۱ نیز همین نتیجه به‌دست آمد که دریاچه دارای لایه‌بندی حرارتی در تابستان است. لایه‌بندی حرارتی در ماههای سرد سال از بین می‌رود و همه اعماق دارای دمای یکسانی می‌شوند. نکته قابل توجه در مورد تعداد فیتوپلانکتون این است که بر خلاف ماههای گرم سال، در ماههای سرد بیشترین تعداد در عمق ۳۰ متری مشاهده می‌شود و این می‌تواند مبین این موضوع باشد که شاید با گردش آب، روند کاهشی تعداد فیتوپلانکتون‌ها نیز به‌هم خورده است.

### ۵-۲- ارتباط کدورت و فیتوپلانکتون

در ماههای گرم سال با افزایش فیتوپلانکتون، افزایش کدورت نیز رخ می‌دهد. در واقع بیشتر مقدار کدورت احتمالاً مربوط به‌وجود همین میکروارگانیسم‌ها است اما در ماههای سرد و از مهرماه به بعد این قاعده به‌هم خورده و در بعضی از مواقع به رابطه برعکس تبدیل می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که احتمالاً کدورت در این ماهها مربوط به جامدات معلق و ناشی از افزایش املاح و گل و لای می‌باشد و جمعیت فتیوپلانکتون‌ها را کاهش می‌دهد.

### ۵-۳- ارتباط pH و فیتوپلانکتون

با توجه به نتایج به‌دست آمده، بین تعداد فیتوپلانکتون و pHارتباطی نمی‌توان برقرار نمود. در حالی که این پارامتر یکی از شاخصهای ارزیابی مخازن است.

### ۵-۴- ارتباط نیترات و تعداد فیتوپلانکتون

از نظر میزان نیترات نیز این دریاچه غلظت بالایی ندارد و با توجه به نتایج اندازه‌گیری شده نیز نمی‌توان بین جمعیت فیتوپلانکتون و غلظت نیترات ارتباطی نشان داد.

### ۵-۵- ارتباط فسفات و تعداد فیتوپلانکتون

با توجه به نتایج این عامل نیز در حال حاضر نقش تعیین کننده‌ای در افزایش فیتوپلانکتون‌ها در دریاچه سد کرج ندارد. اما در نتایج مشابه مانند، در مخازن در حال مغذی شدن این عامل به‌عنوان یک پارامتر تعیین کننده و مغذی به‌شمار می‌رود.

### ۵-۶- ارتباط سشی دیسک و فیتوپلانکتون

نتایج نشان می‌دهد این دریاچه می‌تواند تجمع زیست توده جلبکی را به‌ویژه در ماههای گرم سال داشته باشد. در کل با توجه به اینکه غلظت فسفر و نیترات بالا نیست، اما نتایج دیسک سشی نشان می‌دهد که این دریاچه از نظر زیست توده جلبکی در برخی شرایط دارای تجمع بالایی است.

در مطالعه کابسینها و همکاران[1] در کشور پرتغال به‌طور کلی مخازن بررسی شده از نظر تروفیک در منطقه ائوتروفیک تا هایپرائوتروفیک قرار می‌گیرند که با غلظت بالای فسفر و عبور نور کم مشخص می‌شود و مخازنی که در حال مغذی شدن هستند تغییراتی در متغیرهایی مانند هدایت الکتریکی، سختی، نیترات، کلر، سولفات و pH داشته‌اند و برعکس این تغییرات به‌طور آشکاری در گروه مخازنی که سالم بودند کم شده است [۱۹].

با توجه به اطلاعات به‌دست آمده و با توجه به جدول ۲ دریاچه سد کرج از نظر میزان نفوذ خورشید و تعداد فیتوپلانکتون‌ها در تابستان، از نوع دریاچه‌های شاداب نیست اما به‌علت غلظت پایین

[1] Kasinha et al.

نیترات و فسفات نیز حالت مغذی نداشته و در حالت بینابینی قرار دارد.

**جدول ۲**- انواع دریاچه‌ها [۶]

| پارامتر | الیگوتروفیک | مزوتروفیک | اوتروفیک |
|---|---|---|---|
| فسفر کل ( µg/L) | <۱۰ | ۱۰-۲۰ | ۲۰< |
| نیتروژن کل ( µg/L) | <۴۰۰ | ۴۰۰-۷۰۰ | ۷۰۰< |
| عمق سشی (cm) | <۴۰۰ | ۲۰۰-۴۰۰ | <۲۰۰ |

## ۶- نتیجه‌گیری

دریاچه سد کرج دارای انواع متنوعی از فیتوپلانکتون‌ها است. وجود انواع فیتوپلانکتون در یک نمونه، نشانه تنوع گونه‌ها می‌باشد. دیاتومه سیکلوتلا که بیشترین تعداد را این مطالعه به‌خود اختصاص داده است، مربوط به آبهای تمیز بوده اما با تجمع خود به‌ویژه در تصفیه‌خانه‌ها، می‌تواند باعث گرفتگی صافی‌ها شود. در واقع نیاز به راهکارهای مدیریتی برای حفاظت هرچه بیشتر این محیط آبی وجود دارد تا از بروز مشکلات در آینده جلوگیری به‌عمل آید. اندازه‌گیری اکسیژن محلول، کلروفیل a، فسفات و نیترات کل نتایج بهتری برای تصمیم‌گیری و مدل سازی ارائه خواهند داد.

## ۷- قدردانی

نمونه‌برداری و آزمایش‌ها توسط آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب استان تهران انجام شد و داده‌ها و اطلاعات مربوط به این امور بود. به این وسیله از کلیه همکاران و مدیریت محترم آزمایشگاه تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

## ۸- مراجع

1- Mortazavi, S.M., Soleimani, K., and Ghafari Movafagh, F. (2010). "Water resource management and land sustainable the case study in Rafsanjan in Iran." *Water and Wastewater*, 78, 126-131. (In Persian)

2- Borhani Darian, A., and Moradi, A.M. (2010). "Application of ant-colony-based algorithms to multi- reservoir water resources problems." *J. of Water and Wastewater*, 76, 81-91. (In Persian)

3-Pasztaleniec, A., and Poinewozik, M. (2009). "Phytoplankton based assessment of the ecological statues of four shallow lakes (eastern poland) according to water framework directive comparison of approach." *Limnologica*, 40, 251-259.

4-Rolland, A., Bertrand, F. , Maumy M., and Jacquet, S. (2009). "Assessing phytoplankton structure and spatio – temporal dynamic in a freshwater ecosystem using a powerful multiway statistical analysis." *J. of Water Res*., 43 (13), 3155-3168.

5- Kargar, M. (2004). *Study in thermal stratification and water quality effect and eutrophication incidence in hana reservoir*, Amir Kabir University, Tehran. (In Persian)

6- Eesazadeh, S. (2004). *Amount phosphate release measurement from sediment and making model in latian reservoir*, Sharif University, Terhan. (In Persian)

7- Yaghmaeeyan, K., and Feiz Bakhsh, Kh. (2002). *Problem organism in water identification and treatment*, AWWA Manual, Translated , Lithography by Dibagaran, Tehran. (In Persian)

8-Bilgrami, K.S., and Saha L.C. (2002). *A textbook of algae T* , CBS Pub., New Dehli.

9-Vashishta, B.R. , and Sinha A.K., and Singh V.P. (2002). *Botany for degree students, Part-I :Algae*, S. Chand and Company LTD., New Dehli.

10- Sadani, M., Movahedian, H., Jaberian, B. , Faraji, M., and Abooi E. (2000). "Evaluation of crude oil toxicity in Zayandehrud dam water treated from Isfahan water treatment plant using magna and bioassay." *J. of Water and Wastewater*, 79, 76-80. (In Persian)

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

12- Saljoghi, Z.Sh., Malekpour, A. , Rafiee, Gh., Imani, A., and Bakhtiary, M. (2011). "Remaval of nitrite and nitrate from recirculation aquaculture system effluent (RAS) by modified bentonites." *J. of Water and Wastewater*, 78, 46-54. (In Persian)

13-Nazarimehr, M. (2010). <http://www.garmabi.com> (Nov. 10, 2011).

14- Cerus, M., and Saba, S. (2005). *Microbiology examination for water and wastewater*, Translation by Shah Hosseini Sh. , Moezi A.M., Iran University of Science and Technology, Tehran. (In Persian)
15- Water and Energy Research Center. (2003). *Decrease pollution study project in cathering ground basin latian reservoir*, Tehran Water Organization, Tehran.
16- Momeni, E. (2005). *Determine rule for exploitation multipurpose reservoir from using of dynamic analysis*, Sharif University, Tehran. (In Persian)
17- Tafaroj Norooz, A., Shafaee Bajestan, M., and Eyzadjoo, F. (2008). *Biological parameters study and making model in kondak reservoir*, Tehran. (In Persian)
18- Tajrishi, M., Abrishamchi, A. , Eesazadeh, S., and Ahmadi, M. (2005). *Latian reservoir water situation and options evaluation for quality improvement* , Sharif University, Tehran. (In Persian)
19-Cabecinha, E., Cortes, R., Cabral, J. A., Ferreia, T., Lourenco, M., and Angelo, P. M. (2009). "Multi-scale approach using phytoplankton, as a first step towards the definition of the ecological status of reservoirs." *Ecological Modeling*, 220, 2559-2569.
20-Gal, G., Hipsey, M.R , Parparov, A., Waganer, V., and Zohary, T. (2009). "Implementation of ecological modeling as an effective management and investigation toll: Lake kinneret as a case study." *Ecological Modeling*, 220, 1697-1718.
21-Ahlgren, G., and Tilahun, G. (2009). *Seasonal variation in phytoplankton biomass and primary production in the ethiopian rift valley lakes ziway, awassa and chamo- the basis for fish production*, Ecology and Management of ELAM Water.
22- Abde Ali, A. (2006). *Water source and related problems in Karaj*, Jahad-e-Daneshgahi, Pub., Tehran. (In Persian)
23-Environment Assessors. (2005). *Survey of Karaj river basin pollution sources*, Tehran. (In Persian)
24- Geological Survey of Iran. (2005) *.1:250000 geological map of karaj river basin*, Tehran. (In Persian)
25- Iran Water Resources Research Center. (2005-2006). *Water resources atlas, geological map*, Tehran. (In Persian)
26-APHA. (2005). *Standard methods for examination of water and wastewater*, 21th Ed., American Public Health Association, Washington, D.C.