بررسی مقایسه‌ای شاخص‌های کیفیت آب دریاچه سد شهید رجایی (استان مازندران-ساری)

حسن نصراله‌زاده ساروی[1]، آسیه مخلوق[2]، زهرا یعقوب‌زاده[3]، مریم قیاسی[4]

۱- دانشیار بخش اکولوژی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری
(نویسنده مسئول) ۳۳۴۶۲۵۱۰ (۰۱۱) hnsaravi@gmail.com
۲- کارشناس ارشد آزمایشگاه پلانکتون، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری
۳- مربی پژوهشی بخش بیوتکنولوژی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری
۴- استادیار بخش بهداشت و بیماری‌های آبزیان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری

(دریافت ۹۴/۹/۲۷ پذیرش ۹۵/۱/۲۰)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام شود:

Narollahzadeh Saravi, H., Makhlough, A., Yaghobzadeh, Z. & Ghiyasi, M. 2017", omparative study of water quality indices in shahid rajaee dam reservoir (Sari, Mazandarn Province)", *Journal of Water and Wastewater* , Vol. 28 No. 2 (108), 78-88. (In Persian)

چکیده

دریاچه‌ها و مخازن سدها برای اهداف مختلفی از جمله کنترل سیلاب، تولید انرژی، تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت، کشتیرانی، پرورش ماهی و تفریحات آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا حفظ کیفیت آب، بهره‌برداری مناسب و پایدار سدها را امکان‌پذیر می‌سازد. براین اساس مطالعه حاضر با هدف تعیین و مقایسه کیفیت آب دریاچه سد شهید رجایی (مازندران- ساری) با استفاده از پارامترهای غیر زیستی (فیزیکوشیمیایی) و زیستی (کلروفیلa، شانون، ساپروپی، میکروب و قارچ) انجام شد. در این تحقیق چهار ایستگاه اندازه‌گیری کیفی آب انتخاب شد و در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۱ بررسی شد. شاخص کیفیت آب براساس هفت متغیر فیزیکوشیمیایی، شاخص تروفیکی TSI براساس مواد مغذی، شفافیت آب و کلروفیل آ و شاخص شانون و ساپروبی بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد حداقل سطح تروفیکی در ماه‌های شهریور و بهمن (اولیگوتروف) و حداکثر آن در ماه‌های تیر و مرداد (یوتروف) بوده است. بر اساس شاخص کیفیت آب، آب این مخزن در همه ماه‌ها در طبقه خوب قرار گرفت. کیفیت آب بر اساس شاخص شانون و ساپروبی نشان داد که آب در ماه‌های تیر و مرداد نسبت به ماه‌های دیگر دارای کیفیت پایین‌تری بوده و در حد آلودگی متوسط تا شدید قرار داشته است. همچنین میزان شمارش عوامل قارچی و میکربی در ماه‌های گرم سال (تیر و مرداد) به‌طور معنی‌داری در تمامی ایستگاه‌ها بیشتر بوده است. این مطالعه نشان داد که بررسی تعیین کیفیت آب (خصوصاً منابع آب شرب) با استفاده توأم از پارامترهای زیستی و غیر زیستی نتایج کامل‌تر و قابل اطمینان‌تری را ارائه می‌دهد. در مجموع، به‌منظور پیشگیری از وقوع پرغذایی، شکوفایی جلبکی و کنترل بار میکربی، قارچی و منابع فسفری و آلی سد، کنترل فعالیت‌های جوامع انسانی در اطراف و یا در مسیر رودخانه‌های منتهی به سد به‌خصوص در ماه‌های فصل تابستان از نکات کلیدی محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب، شاخص‌های زیستی، شاخص‌های غیر زیستی، سد شهید رجایی، ساری، مازندران

۱- مقدمه

کنترل سیلاب و تنظیم جریان آب در پایین‌دست و تغذیه آب‌های زیرزمینی، تولید انرژی برق-آبی، تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعتی، کشتیرانی، ماهی‌گیری و تفریحات آبی از معمول‌ترین اهداف احداث سد محسوب می‌شوند. لذا دریاچه‌ها و مخازن سد را می‌توان از جمله منابع مهم آب‌های سطحی دانست (Saeedi et al. 2013). بررسی جامع کیفیت آب بر اساس همه فاکتورهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب نتایج قابل اعتمادی را ارائه می‌دهد (Moshood Keke 2008).

پارامترها و شاخص‌های کیفیت آب توسط محققان مختلف در سدهای گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است. شکوهی و همکاران گزارش کردند که کیفیت آب دریاچه سد آیدغموش با استفاده از شاخص(NSFWQI[1]) برای مصارف مختلف مناسب بوده است

[1] NSFWQI= The National Sanitation Foundation Water Quality Index

Archive of SID
www.SID.ir

(Shokohi et al. 2011). در ارزیابی وضعیت کیفی دریاچه سد دز با استفاده شاخص‌های WQI[1] و TSI[2] مشخص شد که آب مخزن به‌منظور انواع مصارف عمومی مطلوب بوده و فقط جهت آب شرب نیاز به تصفیه پیشرفته دارد (Javid et al.). Asar et al. در سال ۱۳۹۲ نیز بر کیفیت آب دریاچه سد دز (بر اساس پارامترهای شاخص NSFWQI) نشان داد که آب این دریاچه برای استفاده‌های مختلف مناسب است (Asar et al. 2013). Monavary et al. در سال ۱۳۹۲ گزارش کردند که دریاچه سد کرج در ماه‌های گرم سال دارای افزایش زیست توده جلبکی بوده است و تراکم فیتوپلانکتون با افزایش عمق تغییر نشان داد بیشترین تعداد فیتوپلانکتون به دیاتومه‌ها به ویژه *Cyclotella* مربوط بوده است. در این بررسی تراکم فیتوپلانکتون با عوامل شیمیایی ارتباط معنی داری را نشان نداد (Monavari et al. 2013). Anasori et al. در سال ۱۳۸۶ با مقایسه کیفیت آب دریاچه سد حسنلو با استانداردهای کیفیت شیمیایی آب آشامیدنی سازمان جهانی بهداشت[3] پیش‌بینی نمودند که آب این سد در حداکثر تراز آبی بر اساس خواص شیمیایی برای مصارف شرب قابل استفاده خواهد بود. لذا با احداث تصفیه‌خانه متداول می‌توان از آب آن برای تأمین آب شرب اجتماعات اطراف استفاده نمود (Anasori et al. 2017). مطالعه Daniali در سال ۱۳۸۶ نشان داد که عوامل مختلفی از جمله آب و هوا، بارندگی، دبی آب ورودی، مشخصات مختلف حوضه آبخیز و از همه مهم‌تر نوع بهره‌برداری از اراضی اطراف مسیر آب از سرچشمه تا ورود به مخزن سد (کشاورزی، مرغداری، آبزی پروری و غیره) مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تغییرات کیفی آب سد می‌باشند (Daniali 2007).

Saeedi et al. در سال ۱۳۹۲ عنوان نمودند که در مخزن سد شهید رجایی در اکثر فصول سال غلظت اکسیژن محلول در لایه‌های سطحی بیش از ۵ میلی‌گرم در لیتر است و مدل‌سازی تغییرات اکسیژن محلول و درجه حرارت آب از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ بیانگر لایه‌بندی حرارتی و اکسیژنی در مخزن سد در فصل گرما بوده است (Saeedi et al. 2013).

در ایران استفاده از پارامترها و شاخص‌های زیستی برای ارزیابی کیفیت آب سدها در موارد محدودی دیده می‌شود (Nikonahad et al. 2009). در حالی که استفاده از فاکتورهای غیر زیستی در تعیین کیفیت آب اگرچه لازم است، اما کافی نیست (Welch 1992). بنابراین مطالعه حاضر برای نخستین بار در سد شهید رجایی با هدف بررسی مقایسه‌ای وضعیت کیفیت آب دریاچه سد شهید رجایی (مازندران-ساری) بر اساس شاخص‌های مختلف شامل شاخص کیفیت آب (WQI)، TSI، شاخص تنوع گونه‌ای شانون و ساپروبی که مجموعه‌ای از شاخص‌های زیستی و غیرزیستی می‌باشد، صورت گرفت. همچنین در این تحقیق از بار میکربی و قارچی نیز در بررسی کیفیت آب استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

سد مخزنی شهید رجایی (سد تجن ساری) در مسیر رودخانه تجن ایجاد شده که سرشاخه‌های سفید رود و شیرین رود به آن می‌ریزند. این مطالعه در سال ۱۳۹۱ در چهار ایستگاه: ورودی سرشاخه شیرین‌رود، ورودی سرشاخه سفید رود، تلاقی دو سرشاخه و نزدیک تاج سد انجام شد. نمونه‌برداری در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان به‌صورت فصلی و در تابستان به‌دلیل افزایش احتمال وقوع شکوفایی جلبکی به‌صورت ماهانه صورت پذیرفت. موقعیت جغرافیایی و نیز مشخصات هر ایستگاه در شکل ۱ و جدول ۱، آمده است. نمونه‌برداری در ایستگاه نزدیک به تاج سد (دارای عمق ۸۰ متر) در سه لایه سطحی، ۱۵ و ۳۰ متر و در سایر ایستگاه‌ها در لایه سطحی انجام شد.

داده‌های این تحقیق از طرح (Nasrollahzadeh et al. 2015) و زیر طرح‌های (Nasrollahzadeh et al. 2015)، (Makhlough et al. 2013)، (Yaghobzadeh et al. 2015) و (Ghiyasi et al. 2015) که در سال ۱۳۹۱ در دریاچه سد شهید رجایی اقتباس شده

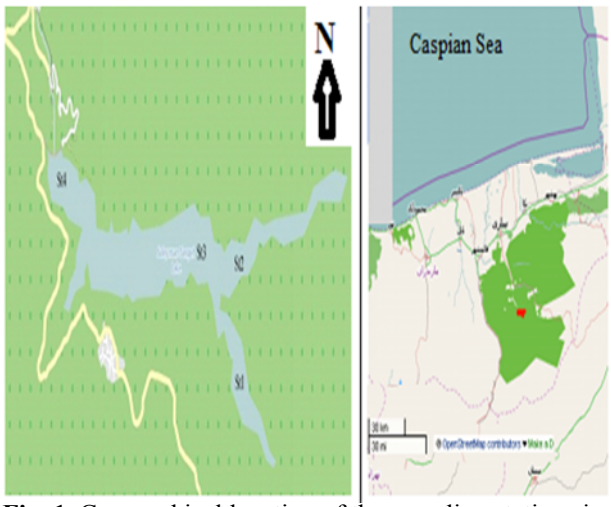

Fig. 1. Geographical location of the sampling stations in Shahid Rajaei Reservoir (Mazandaran, Sari, 1391)

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاههای نمونه‌برداری در دریاچه سد شهید رجایی (مازندران- ساری، سال ۱۳۹۱)

[1] Water Quality Index
[2] Trophic State Index
[3] World Health Organization (WHO)

www.SID.ir
Archive of SID

Table 1. Geogaphical location of the sampling stations in Shahid Rajaei Reservoir (Mazandaran, Sari, 1391)

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در دریاچه سد شهید رجایی (مازندران- ساری، سال ۱۳۹۱)

Stations number	Stations	Eastern longitude	Northen latitude
1	Shirin-rood entrance	36.13.31	53.17.12
2	Sefid-rood entrance	36.14.52	53.18.17
3	Cross of Shirin-rood and Sefid-rood	36.14.28	53.11.16
4	Near tower	36.14.39	53.14.14

است. جزئیات کامل روش بررسی پارامترهای محیطی و شاخص‌های مختلف در این گزارش‌ها آمده است. شاخص کیفیت آب (WQI) بر اساس نیترات، فسفات، هدایت الکتریکی[1]، BOD_5، pH، COD و اشباعیت اکسیژن محلول و شاخص تروفیکی TSI براساس مواد مغذی نیتروژن و فسفر، شفافیت آب و کلروفیل آ محاسبه شده است (Nasroolahzadeh et al. 2.15). شاخص تنوع گونه‌ای شانون و ساپروبی از طریق فرمول‌های زیر محاسبه شد (Mokhlough et al. 2015).

شاخص تنوع گونه‌ای که از ویژگی‌های ساختار جمعیتی است، به تعداد گونه‌ها (غنای گونه‌ای) و نیز تراکم بستگی دارد. شاخص شانون یکی از متداول‌ترین شاخص‌های تنوع گونه‌ای است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \qquad (۱)$$

که در آن

H' شاخص شانون و واحد آن nits per individual است و P_i فراوانی نسبی گونه است.

شاخص ساپروبی معرف آلودگی با مواد آلی است که می‌توانند توسط باکتری‌ها مورد تجزیه قرار گیرند و آلودگی با سموم و یا سایر آلاینده‌ها را نشان نمی‌دهد. هر چه این شاخص بزرگ‌تر باشد، بیانگر مقاومت بالاتر فیتوپلانکتون‌های موجود در مقابل مواد آلاینده (مواد آلی، کمبود اکسیژن محلول و وجود سولفید هیدروژن) است. پس از تعیین گونه‌های غالب، شاخص ساپروبی در هر ماه و ایستگاه بر اساس اعداد ساپروبی هر گونه محاسبه شد

$$S = \frac{\sum(h_i \times s_i)}{\sum h_i} \qquad (۲)$$

که در این رابطه

S شاخص ساپروبی، s_i شاخص ساپروبی هر گونه، h_i میزان فراوانی نسبی هر گونه که در یکی از ۶ کلاس قرار می‌گیرد: ۱= ۲-۱>، ۲=۳-۲، ۳= ۱۰-۴، ۵= ۲۰-۱۰، ۷= ۴۰-۲۰، ۹= ۱۰۰-۴۰. در این مطالعه دو گروه از متغیرها یعنی متغیرهای مستقل (ایستگاه‌ها، ماه‌ها) و متغیرهای وابسته (کلیه پارامترهای زیستی و غیرزیستی) در نظر گرفته شدند. داده‌ها بر اساس یکی از فرایندهای لگاریتم طبیعی رتبه‌بندی انتقال داده و سپس با رسم نمودار Q-Q و آزمون شاپیرو-ویلک نرمال بودن آن تأیید شد. برای تجزیه و تحلیل آماری از آزمون‌های پارامتریک بر روی داده‌های نرمال شده استفاده شد. بر روی داده‌های انتقال یافته و نرمال، آزمون‌های پارامتریک ANOVA انجام شد. در ضمن آزمون‌های آماری در سطح ۵ و ۱ درصد صورت گرفت.

۳- نتایج

نتایج تغییرات میانگین برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و کلروفیل a درایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف در جدول ۲ آمده است. بیشترین و کمترین دمای هوا و آب به ترتیب مربوط به ماه‌های مرداد و بهمن بود. بیشترین و کمترین اکسیژن محلول به ترتیب در ماه‌های تیر و آبان ثبت شد. بیشترین BOD_5 و COD به ترتیب در ماه‌های بهمن و تیر مشاهده شد. بیشترین مقدار مواد مغذی در ماه‌های مختلف مشاهده شد و بیشترین کلروفیل در ماه تیر ثبت شد.

بر اساس جدول ۳ سطوح تروفیکی در دریاچه در ایستگاه‌های مختلف از مزوتروف تا هایپرتروف تغییر نمود ضمن آن که بر اساس راهنمای WHO (1996) و بر اساس درصد اشباعیت اکسیژن در لایه ۱۵ متر در ایستگاه نزدیک به تاج در ماه‌های خرداد و تیر به ترتیب حداقل و حداکثر سطوح تروفیکی یعنی اولیگو (۹۰٪>) و هایپرتروف (۱۰-۰ درصد) دیده شد (WHO 1992). در این لایه سطح تروفیکی بر اساس فاکتور فوق در ماه‌های مرداد (یوتروف)، شهریور (مزو-یوتروف)، آبان و بهمن (مزوتروف) بوده است. اما بررسی این فاکتور در لایه ۳۰ متر از این ایستگاه نشان داد که در همه ماه‌ها سطح تروفیکی در کلاس مزوتروف (۸۹-۴۰ درصد) بوده است. بر اساس حداقل درصد اشباعیت اکسیژن در کل دوره نمونه‌برداری در لایه ۱۵ متر و ۳۰ متر دریاچه به ترتیب در طبقات هایپرتروف و مزوتروف قرار گرفت (WHO 1992).

در طی دوره مطالعاتی در مخزن سد مجموعاً ۱۰۷ گونه فیتوپلانکتون شناسایی شد که بیشترین تعداد گونه‌ها در شاخه کلروفیتا (۲۸ گونه) و باسیلاریوفیتا (۲۷ گونه) قرار گرفت. مقایسه مقدار ماهانه نشان داد که ماه‌های خرداد و بهمن نسبت به ماه‌های دیگر از شاخص‌های تنوع گونه‌ای (شانون) بالایی برخوردار بودند در حالی که در مردادماه، این دو شاخص به کمترین میزان خود

[1] Electric Conductivity (EC)

Archive of SID
www.SID.ir

Table 2. Mean variations (± standard error) of the physico-chemical parameters and chlorophyl a at Shahid Rajaei Reservoir (2012)

جدول ۲- تغییرات میانگین (±خطای معیار) پارامترهای فیزیکوشیمیایی و کلروفیلa در دریاچه سد شهید رجائی(سال ۱۳۹۱)

Months	June	July	August	September	November	February
Water Temperature (^oC)	23.75 ±0.25	26.13±0.13	27.00±0.01	24.00±0.10	18.45±0.49	8.80±0.41
Air temperature (^oC)	28.00±0.01	27.75±0.48	31.00±0.01	23.05 ±0.61	19.43±0.22	6.93±0.64
DO[1] (mg/L)	11.52±0.45	12.96±0.66	9.96±1.25	10.32±0.23	8.84±0.41	9.32±0.42
SD[2] (m)	1.18±0.38	1.18±0.38	1.04±0.22	3.83±1.17	1.75±0.43	2.88±1.03
BOD_5 (mg/L)	1.72±0.48	4.84±0.75	4.16±0.85	3.56±0.66	1.72±0.15	5>
COD (mg/L)	4.50±0.92	9.55±0.39	9.28±1.17	7.00±2.22	3.03±0.31	0.21±1.88
pH	8.32±0.05	8.80±0.04	8.47±0.02	8.30±0.04	8.87±0.01	8.54±0.08
PO_4^3/P (mg/L)	0.006±0.001	0.011±0.002	0.015±0.002	0.017±0.001	0.023±0.001	0.027±0.001
NO_2^-/N (mg/L)	0.010±0.001	0.002۰±0.000	0.005±0.000	0.003±0.000	0.002±0.0000	0.003±0.000
NH_4^+/N (mg/L)	0.055±0.010	0.038±0.002	0.027±0.004	0.020±0.001	0.013±0.002	0.014±0.004
NO_3^-/N (mg/L)	0.191±0.007	0.235±0.011	0.162±0.014	0.134±0.001	0.142±0.010	0.151±0.004
EC (ms/cm)	0.523±0.057	0.435±0.010	0.478±0.005	0.515±0.003	0.538±0.009	0.431±0.126
Chl-a (mg/m^3)	6.44±2.16	81.40±27.88	4.90±1.51	4.35±0.39	8.32±3.16	2.61±0.13

Table 3. Trophic states based on the single-parameter method at Shahid Rajaei Reservoir (2012)

جدول ۳- سطح تروفیکی به روش تک پارامتری در دریاچه سد شهید رجایی (سال ۱۳۹۱)

Stations	Annual mean of Chl-a (µg/l)	Maximum Chl-a (µg/l)	Annual mean of SD (m)	Minimum of SD (m)
1	29.08(Hypertroph)	139(Hypertroph)	1.35(Hypertroph)	1 (Eutroph)
2	23.13(Eutroph)	110(Hypertroph)	0.79(Hypertroph)	0.2(Hypertroph)
3	5.61(Mesotroph)	10(Mesotroph)	2.42(Eutroph)	1(Eutroph)
4	14.20(Eutroph)	67(Eutroph)	3.33(Mesotroph)	1.5(Eutroph)
Total	18.00(Eutroph)	139(Hypertroph)	-	-

Table 4. Variations in Species Diversity Index (Shannon Index), Saprobic Index, and WQI index a Shahid Rajaei Reservoir (2012)

جدول ۴- تغییرات شاخص تنوع گونه‌ای (شاخص شانون)، شاخص ساپروپی و شاخص WQI در دریاچه سد شهیدرجایی (سال ۱۳۹۱)

Stations	Shannon index	Saprobity index	WQI index	TSI index
1	1.18	2.01	82	38
2	1.08	2.05	83	47
3	0.92	2.09	82	31
4	1.37	1.95	82	29
Months				
June	2.80	1.93	85	48
July	1.12	2.04	77	65
August	0.58	2.24	79	65
September	2.24	2.05	79	36
November	1.68	1.99	79	47
February	2.77	1.93	74	37
Layers(meter)				
surface	1.37	1.95	82	29
15	1.59	2.1	65	51
30	1.83	2.0	71	46

[1] Dissolved Oxygen (DO)
[2] Secchi Disk (SD)

www.SID.ir

Table 5. Geometric means of microbial parameters for different months and stations at Shahid Rajaei Reservoir (2012)

جدول ۵- میانگین هندسی پارامترهای میکربی در ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف در دریاچه سد شهیدرجایی (سال ۱۳۹۱)

Stations	Total count (CFU/100ml)	Coliform count (CFU/100ml)	Fecal streptococci count (CFU/100ml)	Clostridium perfringens count (CFU/100ml)
1	406019	162	NG	7
2	455316	6	NG	NG
3	40964	29	NG	7
4	394976	38	NG	5
Months				
June	160054	NG	NG	NG
July	141861	NG	NG	NG
August	6061547	308	NG	NG
September	6101559	234.3	NG	3600
November	58857	13	NG	NG
February	3310	12	NG	NG
Total	233861	32	NG	4

(No Growth) NG

Table 6. Comparison of average fungal colonies (CFU.L-1) separated from the water sample taken at each station at Shahid Rajaei Reservoir during different months (2012)

جدول ۶- مقایسه میانگین پرگنه‌های قارچی جدا شده ($CFU.L^{-1}$) از نمونه آب هر ایستگاه طی ماههای مختلف در دریاچه سد شهید رجایی (سال ۱۳۹۱)

Months	Station1	Station2	Station3	Station4
June	88± 533	34±520	87±500	64± 810
July	95±787	36±847	14± 814	12±1031
August	52±934	31± 932	2± 962	115±2237
September	62±426	70± 397	32± 457	68±827
November	23±270	24± 279	8±397	53±611
February	11± 199	11±195	2±294	5±503

(۰/۵۸) رسیدند (جدول ۴). این تغییرات در بین ماه‌ها معنی‌دار بوده است ($P<0/05$). آزمون آنوا اختلاف معنی‌داری را در مقادیر شاخص‌های شانون بین ایستگاه‌ها نشان نداد. همچنین بررسی ستون عمودی آب در ایستگاه نزدیک به تاج سد بیانگر بالابودن این دو شاخص در لایه‌های غیر سطحی بود.

محاسبه شاخص ساپروبی بر اساس میانگین تراکم گونه‌های غالب فیتوپلانکتون (*Fragilaria sp.*، *Cyclotella meneghiniana*، *Navicula sp.*، *Ceratium hirundinella*، *Goniaulax digitale*، *Goniaulax polyedra*، *Goniaulax spinifera*، *Gloeocapsa sp.*، *Scenedesmus bijuga*، *Schroederiasetigera*، *Oocystisparva*)، بیانگر آلودگی متوسط (β-مزو ساپروبیک) بوده است. میانگین ساپروبی در هر ایستگاه و در هر ماه به‌جز مرداد نیز در سطح ساپروبیک β-مزو ساپروبیک قرار گرفت. در مردادماه درجه آلودگی در کلاس α-mesosaprobic تا β-mesosaprobic (حد بحرانی آلودگی) جای گرفت. در بهمن‌ماه هر چند که میانگین عدد ساپروبی بیانگر حد متوسط آلودگی بود اما بررسی هر ایستگاه در این ماه نشان داد که میزان آلودگی مواد آلی در ایستگاه‌های ۱ و ۲ کاهش داشت و کلاس این دو ایستگاه در اولیگوساپروبیک تا β-مزوساپروبیک (اندک آلوده) قرار داشت. بر اساس این شاخص‌ها، آب در مخزن سد بهترین کیفیت (عالی) را در ماه‌های خرداد و بهمن و بدترین کیفیت را به ترتیب در ماه‌های مرداد (آلوده) و تیر (آلودگی متوسط) داشت. بررسی کلی ایستگاه‌ها نیز نشان داد که ایستگاه‌های ۱ و ۴ در طبقه ۳ (آلودگی اندک) و ایستگاه ۲ در طبقه ۵ (آلوده) از کیفیت آب جای گرفتند. محاسبات نشان داد که این شاخص حداقل و حداکثر میزان شاخص کیفیت آب (WQI) را به‌ترتیب در ماه‌های بهمن ۷۴ و خرداد ۸۵ داراست. به هر حال آب سد بر اساس مقدار عددی این شاخص در همه ماه‌ها و ایستگاه‌ها در محدوده آب با کیفیت خوب قرار گرفت.

حداکثر و حداقل میانگین هندسی تعداد کل میکرب به‌ترتیب در ماه‌های شهریور (۶۱۰۱۵۵۹ CFU[1]/100ml) و بهمن (۳۳۱۰ CFU/100ml) به‌دست آمد. در بررسی ایستگاهی حداکثر و حداقل میانگین هندسی تعداد کل میکرب به ترتیب در ایستگاه‌های ۲ (شاخه سفیدرود) (۴۵۵۳۱۶ CFU/100ml) و ۳ (تلاقی دو شاخه سفیدرود و شیرین) (۴۰۹۶۴ CFU/100ml) بوده است (جدول ۵).

مقایسه میانگین پرگنه‌های قارچی جدا شده و درصد فراوانی آنها در ماه‌های مختلف در جدول‌های ۶ و ۷ آورده شده است.

[1] Colony Forming Units

Archive of SID
www.SID.ir

همانطوری‌که جدول ۶ نشان می‌دهد بیشترین مقدار در ماه مرداد در آسپرژیلوس دارای درصد فراوانی بالایی بوده است (شکل ۲).

ایستگاه ۴ یعنی نزدیک تاج سد مشاهد شد. در میان انواع قارچ‌ها،

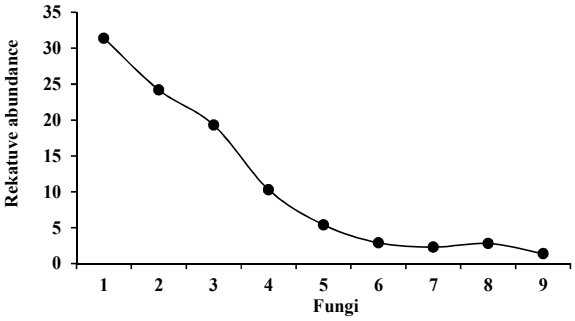

Fig. 2. Density values of the major fungal agents at Shahid Rajaei Reservoir (1391)

شکل ۲- مقادیر درصد تراکم عوامل قارچی عمده، در دریاچه سد شهیدرجایی (سال ۱۳۹۱)

۱: *آسپرژیلوس*[1]، ۲: *مخمر*[2]، ۳: *پنی سیلیوم*[3]، ۴: *کلادوسپوریوم*[4]، ۵: *موکور*[5]، ۶: *فوزاریوم*[6]، ۷: *آلترناریا*[7]، ۸: *هایف استریل*[8]، ۹: *پسیلومایسس*[9].

۴- بحث

نقش مخزن سدها از جنبه‌های مختلف زیست محیطی قابل بررسی است. دریاچه سد شهید رجایی طبق طبقه‌بندی مک آلستر و همکاران در سال ۲۰۰۱ بر اساس حجم آبی و مساحت، جزو سدهای بسیار بزرگ پراهمیت در استان مازندران است که آب آن در راستای صنایع مختلف از جمله کشاورزی، تولید برق و نیز کنترل سیل مورد بهره‌برداری قرار گرفته و بزودی به‌عنوان منبع آب شرب نیز مورد استفاده قرار خواهد گرفت (McAllister et al. 2011). لذا ضروری است که به‌منظور پیشگیری از خطرات تهدید کننده سلامتی و خسارات اقتصادی و انسانی ناشی از آن، کیفیت مناسب آب این سد قبل از ارائه به مردم تعیین و تضمین شود. زمینه‌سازی این امر مهم با بررسی همزمان عوامل مختلف زیستی و غیرزیستی و شاخص‌های کیفی مربوطه عملی می‌شود.

میانگین غلظت اکسیژن محلول لایه سطحی۱۰/۴۸ (±۰/۳۷) با محدوده ۶/۲ تا ۱۴/۴ میلی‌گرم در لیتر در مقایسه با استانداردهای اروپایی، کانادایی و روسی بالاتر بوده که نشان دهنده کیفیت مناسب و تلاطم مناسب آب سد (در لایه سطحی) در ایستگاه‌های مورد بررسی است (جدول ۷). سعیدی و همکاران در سال ۱۳۹۲ گزارش کردند که در سد مخزنی شهید رجائی لایه‌بندی حرارتی می‌تواند یکی از دلائل ایجاد شرایط بی‌هوازی در کف مخزن و جلوگیری از انتقال عمودی اکسیژن محلول در عمق باشد (Saeedi et al. 2013). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در ماه‌های گرم سال (تیر، مرداد و شهریور) همراه با تشکیل لایه‌بندی حرارتی در این دریاچه یک لایه‌بندی اکسیژنی نیز شکل گرفت. به‌طوری که درصد اشباع لایه سطحی در ماه خرداد (۱۳۸درصد)، ۱۵ متر (۰درصد) و ۳۰ متر (۶۲ درصد) و در مرداد و شهریور در اعماق مشابه به‌ترتیب (۱۴۵درصد، ۱۹درصد و ۵۳ درصد) و (۱۲۹درصد، ۴۰ درصد و ۴۸درصد) تغییرات زیادی مشاهده گردید. همانطوری که نتایج نشان می‌دهد در تابستان (فصل گرم) در لایه ۱۵ متری در ایستگاه نزدیک تاج (ایستگاه ۴) درصد اشباع اکسیژن افت داشته است اما در لایه پایین‌تر (عمق ۳۰ متر) بر خلاف انتظار، افزایش درصد اشباعیت اکسیژن نسبت به لایه ۱۵ متری ثبت شد. این افزایش احتمالاً به‌دلیل نزدیکی این لایه (۳۰ متری) به دریچه خروجی سد در فصل زراعی (فصل تابستان) است که به‌طور متوسط ۱۰ تا ۱۵ مترمکعب بر ثانیه آب تخلیه می‌کند. این تخلیه آب، تلاطم و جابجایی را در لایه ۳۰ متر سبب شد که نهایتاً موجب افزایش درصد اشباعیت اکسیژن شده است. اما در فصول سرد (ماه‌های آبان و بهمن) که اختلاط دمایی مخزن برقرار است، اکسیژن محلول و درصد اشباعیت آن نیز در کل مخزن تقریباً همگن می‌شود به‌طوری که در میزان درصد اشباعیت اکسیژن در آبان از لایه سطحی (۸۶ درصد) به ۱۵ متر (۸۰ درصد) و ۳۰ متر (۷۱ درصد) و نیز در بهمن ماه در اعماق مشابه (۷۴ درصد، ۶۸ درصد و ۶۰ درصد) تغییرات کمی مشاهده شد. مقایسه مقدار میانگین BOD_5 در مطالعه حاضر با استانداردهای مختلف جدول ۷ بیانگر آن است که این پارامتر در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور بیش از ۳ میلی‌گرم در لیتر بوده است که این میزان از حد مجاز استاندارد روسی بیشتر بوده است اما ماههای خرداد، آبان و بهمن غلظت BOD_5 کمتر از ۳ بوده که نشان از کیفیت مناسب‌تر آب در این ماه‌ها دارد (جدول ۷) (Chapman 2002)

میانگین غلظت یون فسفات در سد مخزنی رجائی ۰/۰۵۰ (±۰/۰۰۴) با دامنه نوسان ۰/۰۹۳ – ۰/۰۱۱ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد که میانگین آن در حد استاندارد اروپا بوده اما

[1] *Aspergillus*
[2] *Yeast*
[3] *Penicillum*
[4] *Cladosporium*
[5] *Mucor*
[6] *Fusarium*
[7] *Alternaria*
[8] *Striell hypha*
[9] *Paecilomyces*

Archive of SID
www.SID.ir

Table 7. Standard and maximum allowable values for reservoir physico-chemical parameters
جدول ۷- مقادیر استاندارد و حداکثر مجاز پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب مخازن سدها

Parameter	Unit	Europe	Canada	Russa
DO	mg/L	5-9	5-9.5	4-6
NH_4^+/N	mg/L	0.005-0.025	1.37-2.2	0.05
NO_3^-	mg/L			40
NO_2^-	mg/L	0.01-0.03	0.06	0.08
PO_4^{3-}	mg/L	0.50		
BOD_5	mg/L	3-6		3

حداکثر میزان آن تقریباً دو برابر ثبت شد. نتایج میانگین غلظت یون نیتریت (۰/۰۰۲±۰/۰۳۶) در ایستگاه‌های مختلف از تحقیق حاضر و مقایسه با حد مجاز در جدول ۷ نشان می‌دهد که کمتر از حد مجاز کشورهای کانادا و روسیه بوده است اما از حد مجاز اروپا کمی بیشتر بوده است. میانگین یون نیترات در ایستگاه‌های مختلف سال کم بوده است (۳/۳±۰/۱۵) که فاصله بسیار زیادی از استاندارد روسی داشته است (جدول ۷). میانگین ازت آمونیمی قابل ملاحظه بوده است به‌طوری که نزدیک به ۵۰ درصد از ازت معدنی را به خود اختصاص داده است و به همین دلیل میزان ازت نیتراتی این سد نسبت به دیگر سدها کمتر بوده است.

پدیده یوتروفیکاسیون یا غنی شدن سیستم‌های آبی با مواد مغذی، یک فرایند طبیعی در بدنه آبی است که شامل افزایش تراکم و رشد نامطلوب جلبکی می‌شود (Iran Water 2012). در مطالعه حاضر وضعیت تروفیکی مخزن سد بر اساس WHO بیانگر وجود شرایط مختلف از مزوتروف تا یوتروف بوده است (جدول ۳). به عقیده کارلسون و بعضی دیگر از محققان در تعیین وضعیت تروفی بر مبنای یک پارامتر، شاخص به‌دست آمده از کلروفیل آ شناخت بهتری را نسبت به شاخص تعیین شده بر اساس غلظت فسفر کل و شفافیت فراهم می‌کند و در مطالعه حاضر نیز این پارامتر تمایز بیشتری را در شرایط تروفیکی بین ایستگاه‌ها نشان داده است، به‌طوری‌که ایستگاه تلاقی را از سایر ایستگاه‌ها جدا نموده است که احتمالاً به افزایش عمق در این قسمت نسبت به دو ایستگاه قبلی مربوط می‌شود (Mottaws et al. 2002; An & Park 2003; Lee et al. 2010)

Carlson در سال ۱۹۹۱ مفهوم تفاوت مقادیر TSI را با فراهم کردن یک رویکرد گرافیکی دو بعدی به‌منظور ارزیابی نوع و درجه محدودیت در اکوسیستم دریاچه‌ها توسعه داد، به گونه‌ای که اگر TSI CHLa[1] کمتر از TSI SD[2] باشد، نشان می‌دهد که یک عاملی غیر از عامل جلبکی در کاهش نفوذ نور سهیم است و یا زمانی که TSI CHLa برابر یا بزرگ‌تر از TSI TP[3] باشد، معمولاً فسفر برای رشد جلبکی محدود کننده بوده است (Carlson 1991). در بررسی ایستگاهی مطالعه حاضر میانگین TSI CHLa بزرگ‌تر از میانگین TSI TP به‌دست آمده و میانگین TSI CHLa کمتر از TSI SD ثبت شده است. همچنین در مطالعه حاضر میانگین سالانه TSI CHLa (۴۹/۲۹) بزرگ‌تر از TSI TP (۴۲/۵۷) و کمتر از TSI SD (۵۳/۵۵) به‌دست آمده است. شفافیت آب وابسته به مقدار مواد معلق و محلول در آب است. مواد در آب از جامدات معلق معدنی، پلانکتون‌ها، مواد هیومیک[4] و مواد محلول رنگی تشکیل شده است (Sanden & Hakansson 1996). بنابراین وضعیت دریاچه و تولیدات بیولوژیکی بر شفافیت آب مؤثرند. از نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان نمود که با توجه به بزرگ‌تر بودن TSI SD نسبت به TSI CHLa عاملی غیر از عامل جلبکی در کاهش نفوذ نور سهیم بوده است که می‌تواند علاوه بر عامل جلبکی، مربوط به مواد معلق و مواد هیومیک نیز باشد.

تعدادی زیادی از محققان ارزیابی‌های چند پارامتری را به‌دلیل چند بعدی بودن پدیده یوتروفیکاسیون جامع‌تر از شاخص‌های تروفیکی تک متغیره می‌دانند. به این ترتیب شاخص TSI کل که بر اساس مجموعه‌ای از پارامترهای زیستی (کلروفیل)، فیزیکی (شفافیت) و شیمیایی (نوترینت‌های فسفاتی و نیتروژنی) است نسبت به سایرین برتری می‌یابد (Xu 2008; Sawant & Chavan 2013). بر اساس شاخص TSI کل به‌دست آمده در سد شهیدرجایی حداقل سطح تروفیکی در بهمن ماه (اولیگوتروف) بود در حالی که ماه‌های فصل تابستان دارای بیشترین مقدار از شاخص تروفیکی (یوتروف) بوده‌اند. مقایسه ایستگاهی این شاخص در این سد بیانگر مناسب‌ترین شرایط تروفیکی در ایستگاه نزدیک به تاج سد بوده است که شاید از لحاظ بهره‌برداری و انتقال جهت آب شرب شرایط بهتری از سایر قسمت‌های مخزن داشته باشد.

محاسبه کیفیت آب بر اساس شاخص شانون در فیتوپلانکتون

[1] Trophic State Index Chlorophyll-a
[2] Trophic State Index Secchi Disk
[3] Trophic State Index Total Phosphorous
[4] Humic Materials

Archive of SID
www.SID.ir

نشان داد که ماه‌های تیر و مرداد نسبت به ماه‌های دیگر دارای کیفیت پایین‌تری بوده و در حد آلودگی متوسط-شدید قرار داشته‌اند. بررسی ایستگاهی این شاخص بیانگر کمترین آلودگی (اندک آلوده) در ایستگاه‌های ۱ و ۴ بوده است. نتایج حاصل از برآورد کیفیت آب بر اساس گونه‌های فیتوپلانکتون مقاوم به آلودگی مواد آلی (شاخص ساپروبی) نیز بیانگر بیشترین آلودگی (حد بحرانی) در ماه مرداد بوده است. این برآورد در ایستگاه‌ها نشان داد که تنها در ماه بهمن، ایستگاه‌های ورودی شیرین رود و سفیدرود آلودگی کاهش داشته و در سطح اندک آلوده بوده‌اند و در غالب موارد آلودگی متوسط مواد آلی وجود داشته است و حتی در ماه مرداد به حد بحرانی از آلودگی رسید. سلادک در سال ۱۹۷۹ این سطح از آلودگی را غیر مستقیم دلیلی بر وضعیت یوتروف در اکوسیستم دانست (Sladecek 1979).

بر اساس شاخص کیفیت (WQI)، آب این مخزن در همه ماه‌ها در طبقه خوب قرار گرفت. طبق تعاریف کیفیت آب‌های موجود در این طبقه به ندرت از سطح مطلوب خارج می‌شود و در صورت استفاده از آن برای آب شرب نیازمند تصفیه متداول است و برای پرورش ماهی و سایر گونه‌های حساس آبی و برای تفریحات آبی و شنا نیز مناسب است (Shokohi et al. 2011; Mohebi et al. 2014). این تعریف تا حد زیادی با تعریفی که از شاخص ساپروبی به‌دست آمده است، مطابقت دارد. زیرا نتیجه شاخص ساپروبی نشان داد آب مخزن در همه موارد بجز مرداد (حدبحرانی آلودگی با مواد آلی) در طبقه دارای کیفیت آلودگی متوسط با مواد آلی قرار گرفت. طبق تعریف رات و همکاران در سال ۱۹۹۷ در این طبقه معمولاً آلودگی با مواد آلی تحت تأثیر انشعابات رودخانه‌ای ایجاد می‌شود، اما با این‌حال میزان اکسیژن آب هنوز خوب است و گونه‌های مختلف ماهی وجود دارد (Rott et al. 1997). در حالی که در آب دارای حد بحرانی آلودگی با مواد آلی، کاهش اکسیژن محلول در آب تحت تأثیر آلودگی زیاد ورودی‌های رودخانه‌ای، ممکن است زمینه مرگ ماهیان را فراهم نماید ضمن اینکه تعدادی از گونه‌های جلبکی تمایل شدید به افزایش تراکم تا حد تشکیل لایه بر سطح آب را دارند.

اصولاً میزان سطح تروفیکی مستقیماً به‌عنوان شاخص کیفیت آب محسوب نمی‌شود اما از این شاخص همچون شاخص شانون می‌توان به‌صورت غیر مستقیم برای ارزیابی کیفیت آب استفاده نمود. در مطالعه حاضر کیفیت آب در ایستگاه‌ها بر اساس TSI از خوب تا عالی طبقه‌بندی می‌شود ولی در مقایسه بین ماه‌ها مشخص شد که تیر و مرداد نسبت به ماه‌های دیگر کمترین کیفیت را داشته‌اند و به حد متوسط از کیفیت آب رسیده‌اند. اما حساسیت طبقه‌بندی WHO در سال ۱۹۹۶ (طبقه‌بندی تک پارامتری) بیش از TSI (طبقه‌بندی چند پارامتری) بوده و مخزن سد شهید رجایی در طی دوره نمونه‌برداری بر اساس حداقل شفافیت و میانگین کلروفیل-آ در کیفیت متوسط (یوتروف) قرار گرفت. هر چند که در این طبقه‌بندی، چشم‌انداز سطح تروفیکی بر اساس حداکثر میزان کلروفیل به آب دارای کیفیت بسیار بد (هایپر تروف) نیز رسید. پارامترهای این طبقه‌بندی یعنی کلروفیل و شفافیت تا حد زیادی با نتایج به‌دست آمده از کیفیت آب بر اساس شاخص شانون همراهی می‌کند. این مطلب نشان می‌دهد که بررسی فاکتورهای شیمیایی به تنهایی نمی‌تواند وضعیت اکوسیستم را به درستی نشان دهد. زیرا در بسیاری از موارد، نتایج شیمی بر خلاف نتایج زیستی اختلال چندانی را در سطح کیفی آب نشان نمی‌دهند (Makhlough 2008).

سد شهید رجایی یک سد چند منظوره است، لذا حفظ کیفیت آن برای تأمین همه اهداف اندکی پیچیده است. زیرا اهداف تعیین کننده، حدود مرزی فاکتورها می‌باشند. عموماً ویژگی‌های میکربی آب آشامیدنی مبنای قضاوت در مورد تعیین قابلیت شرب آب‌ها از نقطه نظر بیولوژیکی قرار می‌گیرد. بر اساس مقادیر استاندارد مختلف و میانگین هندسی به‌دست آمده از شمارش میکربی کل در ماه‌های مختلف به‌خصوص مرداد و شهریور، تماس بدنی با دریاچه چندان مناسب نیست و از این جهت آب بهترین کیفیت را در بهمن ماه دارا بوده است (Shahriyari et al. 2008). میانگین هندسی به‌دست آمده از میکرب کل در کل دوره (233861 CFU/100ml) نیز بیانگر شرایط نامناسب آب برای تماس‌های بدنی انسان است. اما به نظر می‌رسد که کیفیت بهداشتی آب در غالب ایستگاه‌ها و ماه‌ها بر پایه کلیفرم کل برای تماس‌های بدنی انسان مناسب است و آب فقط در ماه‌های مرداد و شهریور در ایستگاه‌های ۳ و ۴ بر اساس USEPA کیفیت نامناسبی را دارا است در حالی که بر اساس GaEPD همواره مناسب بوده است (USEPA 1997 & Georgia Department 1997). زیرا میانگین هندسی شمارش کلیفرم در ماه‌های خرداد تا شهریور 51/100ml و در آبان- بهمن 12/100 ml شد که هر دو کمتر از حد بحرانی (۲۰۰ و ۴۰۰۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر) استاندارد GaEPD در سال ۱۹۹۷ بوده‌اند. به این ترتیب هر چند در محاسبه شاخص کیفیت آب (WQI)، پارامتر شمارش کلیفرم منظور نشد اما تا حدود زیادی با نتایج کیفیت به‌دست آمده از طبقه‌بندی WQI مطابقت داشته است. عدم رشد استرپتوکوک گوارشی در همه موارد و نیز *کلستریدیوم پرفرژنس* در غالب موارد نیز بر کیفیت آن از این نظر صحه گذاشته است.

بیشترین میزان شمارش عوامل قارچی در ماه‌های گرم سال (تیر و مرداد) در تمامی ایستگاه‌ها رخ داده است. از سوی دیگر بیشترین

Archive of SID
www.SID.ir

پرگنه شمارش شده در ماه‌های مختلف مربوط به ایستگاه نزدیک به تاج سد است. بهترین رشد عوامل قارچی در حرارت ۱۵ تا ۲۵ درجه سلسیوس رخ می‌دهد، هرچند این ارگانیسم‌ها قادر به زندگی در حرارت‌های بسیار پایین (کمتر از ۴ درجه سلسیوس) هستند، لیکن برای تکثیر و تولید اسپور نیاز به حرارت‌های بیشتر دارند (Pietkainen et al. 2005; Donald et al. 1994). نتایج نشان داد که میزان عوامل قارچی شمارش شده صرف‌نظر از ماه نمونه‌برداری، عمدتاً در ایستگاه نزدیک به تاج سد وجود داشته است. در محیط‌های آبی عدم وجود جریان آب عاملی مؤثر بر شکل‌گیری توده‌های قارچی است. زیرا این امر سبب انباشته شدن ترکیبات آلی شده و شرایط را برای جاسازی قارچ‌ها بر روی این مواد فراهم می‌نماید (USEPA 2006). این مسئله کمتر بودن پرگنه‌های قارچی در سرشاخه و محل تلاقی را می‌تواند توجیه کند. در این بررسی بیشترین درصد فراوانی مربوط به آسپرژیلوس و پنیسلیوم بود. این دو جنس اصلی‌ترین تولیدکننده‌های سموم قارچی (مایکوتوکسین‌ها) هستند که اگرچه میزان این متابولیت‌ها در آب اندک است، لیکن همین مقادیر اندک در درازمدت قادر به ایجاد بیماری در انسان، آبزیان و سایر موجودات مصرف کننده آب هستند (Fog Nielsen 2003). به‌علاوه این قارچ‌ها در شبکه توزیع آب لوله‌کشی شده سبب اکسید شدن لوله‌های آب شده و با تولید ترکیبات مختلف، طعم و بوی آب را نیز تغییر می‌دهند (Mayashi et al. 2011).

۵- نتیجه‌گیری

مقایسه مقدار استاندارد و حداکثر مجاز پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب سد شهید رجایی نشان داد که پارامترهای اکسیژن محلول، BOD، نیتریت و فسفات به‌خصوص در ماه‌های گرم سال در محدوده مجاز ارائه شده توسط برخی کشورها نبوده به‌طوری‌که کاهش کیفیت آب سد را سبب شده است. در مطالعه حاضر وضعیت تروفیکی مخزن سد بر اساس شاخص کارلسون (شاخص تروفیکی کل) بیانگر وجود شرایط مختلف از مزوتروف تا یوتروف بوده و در کلیه ماه‌های فصل تابستان وضعیت یوتروف ثبت شد. همچنین محاسبه کیفیت آب بر اساس شاخص شانون و شاخص ساپروبی تجمع فیتوپلانکتون نشان داد که ماه‌های تیر و مرداد نسبت به ماه‌های دیگر دارای کیفیت پایین‌تری بوده و در حد آلودگی متوسط-شدید قرار داشته اند. اما بر اساس شاخص کیفیت (WQI)، آب این مخزن در همه ماه‌ها در طبقه خوب قرار گرفت. همچنین بر اساس مقادیر استاندارد مختلف و میانگین هندسی به‌دست آمده از شمارش میکروب کل، در غالب ماه‌ها به‌خصوص مرداد و شهریور تماس بدنی با آب دریاچه چندان مناسب نمی‌باشد ضمن آنکه بیشترین میزان شمارش عوامل قارچی در تمامی ایستگاه‌ها در ماه‌های گرم سال (تیر و مرداد) رخ داده است. این مطالعه نشان داد که بررسی تعیین کیفیت آب (خصوصاً منابع آب شرب) با استفاده توأم از پارامترهای زیستی و غیرزیستی نتایج کامل‌تر و قابل اطمینان‌تری را ارائه می‌دهد. ضمناً به‌منظور پیشگیری از وقوع پرغذایی، شکوفایی جلبکی و کنترل بار میکربی، قارچی و منابع فسفری، آلی در دریاچه سد، کنترل فعالیت‌های جوامع انسانی در اطراف و یا در مسیر رودخانه‌های منتهی به سد از نکات کلیدی محسوب می‌شود.

۶- قدردانی

این مقاله بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان بررسی پارامترهای زیستی وغیر زیستی جهت تعیین کیفیت آب سد شهید رجایی- استان مازندران (ساری) بوده که در سال ۱۳۹۱ در پژوهشکده اکولوژی دریای خزر انجام شد. به این وسیله از مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور که زمینه علمی و آزمایشگاهی و نیز سازمان آب منطقه‌ای استان مازندران که پشتیبانی مالی این تحقیق را فراهم آورده‌اند کمال سپاسگزاری به‌عمل می‌آید. همچنین از کلیه همکاران و دست‌اندرکاران محترم در بخش اکولوژی و نیز پرسنل نمونه‌بردار پژوهشکده و سد شهید رجایی قدردانی فراوان می‌شود.

۷- مراجع

An, K.G., and Park, S.S., 2003, "Influence of seasonal Monsoon on the trophic state deviation in an Asian reservoir", *Water, Air and Soil Pollution*, 145(1), 267-287.

Anasori, S., Mahvi, A.H., Noori, J., Nabizadeh, A., Vaezi, F. & Aghapour, A.A., 2007, "Predicting water quality of Hasanlu dam in the maximum level of water lake for the purpose drinking and health purposes", *Urmia Medicines Journal*, 4(70), 624-629. (In Persian)

Asar, S., Rajabzadeh, Gh.A. & Mohammadi, R.M., 2013, "Study on water quality of Dez lake using NSF index", *Journal of Wetland Ecobiology,* 6(2), 79-92. (In Persian)

Archive of SID
www.SID.ir

Carlson, R.E., 1991, "Expanding the trophic state concept to identify non-nutrient limited lakes and reservoirs", *In Enhancing the States Lake Management Programs*, *Proc. of conference*, Chicago, 59-71.

Chapman, D., 2002, *Water quality assessment- a quide to the use of biota sediment and water in environmental monitoring*, Chapman and Hall, London.

Daniali, S.R., 2007, "Study on Factors affecting of dam Khamiran water quality", *Sciences and Environmental Engineering*, 44, 44-52. (In Persian)

Donlan, R.M., Pipes, W.O. & Yohe, T.L., 1994, "Biofilm formation on cast iron substrata in water distribution systems", *Water Research*, 28(6), 1497-1503.

Fog Nielsen, K., 2003, "Mycotoxin production by indoor molds", *Fungal Genetic Biology*, 39(2),103-107.

Georgia Department of Natural Resources, 1997, *Water quality in Georgia, 1994-95*, Atlanta, Ga., Environmental Protection Division.

Ghiyasi, M., Nasrollahzadeh, H.S., Yaghobzadeh, Z., Pourgholam, R., Makhlough, A. & Behrozi, Sh., 2015, *Study on qualitative and quantitative of fungi in the water of Shahid Rajaee dam (Mazandaran-Sari) during 2012-2013*, IFRO Publisher, Tehran. (In Persian)

Iran Water Resources Management Company, 2012, *Eutrophcation of reservoir and strategic of confront environment and water quality resources section*, IWRMC Publisher, Tehran, Iran. (In Persian)

Javid, A.H., Mirbagheri, A. & Karimian, A., 2014, "Water quality assessment of Dez lake using WQI and TSI indices", *Iranian Journal of Health and Environment*, 4(4),133-142. (In Persian)

Lee, J., Kim, J.M., Kim, D.S., Hwang, S.J., and An, K.G., 2010, "Nutrients and chlorophyll a dynamics in a temperate reservoir influenced by Asian Monsoon along with in situ nutrient enrichment bioassays", *Limnology*, 11(1), 49-62.

Makhlough, A., 2008, "Water quality characteristics of Mengkuang reservoir based on phytoplankton community structure and physico-chemical analysis", MSc Thesis, University Sains Malaysia.

Makhlough, A., Nasrollahzadeh, H.S., Afraei, M.A., Farabi, M.V., Yaghobzadeh, Z. & Ghiyasi, M., 2015, *Study on water quality of Shahid Rajaee dam (Mazandaran-Sari) base on phytoplankton community structure during 2012-2013*, IFRO Publisher, Tehran. (In Persian)

Matthews, R., Hilles, M., and Pelletier, G., 2002, "Determining trophic state in lake Whatcom, Washington (USA), a soft water exhibiting seasonal nitrogen limitation", *Hydrobiologia*, 468(1),107-121.

Mayahi, S., Mosavi, B., Hedayati, M., Movahedi, M. & Shokohi, T., 2011, "Mycoflora assessment in drinking tap water (Sari, Iran)", *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*, 13(4), 114-119. (In Persian)

McAllister, D.E., Craige, J.F., Davidson, N., Delany, S., and Seddon, M., 2001, "Biodiversity impacts of large dams", Background paper Nr.1, prepared for IUCN/UNEP/WCD.

Mohebi, L.R., Azalvaghefi, K., Montazer, A., Abtahi, M., Okati, S. & Gholamniya, R., 2014, "The development of a new indicator of the quality of drinking water (MD WQI) and its use in the assessment of groundwater quality of Iran", *Iranian Journal of Health and Environment*, 6(2), 187-200. (In Persian)

Monnavary, S.M., Noori, J. & Sohrabnia, N., 2013, "Phytoplankton assembly effect in Karaj reservoir water quality", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 24, No.2 (86), 19-30. (In Persian)

Moshood Keke, M., 2008, "Assessment of the water quality of Oyun reservoir, Offa, Nigeria, using selected physico- chemical parameters", *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 8, 309-319.

Archive of SID

www.SID.ir

Nasrollahzadeh, H.S., Afraei, M.A., Vahedi, F., Makhlough, A., Yaghobzadeh, Z. & Ghiyasi, M., 2015, *Study on water quality of Shahid Rajaee dam (Mazandaran-Sari) base on physic-chemical parameters during 2012-2013*, IFRO Publisher, Tehran. (In Persian)

Nasrollahzadeh, H.S., Makhlough, A., Yaghobzadeh, Z. & Ghiyasi, M., 2015, *Study on water quality of Shahid Rajaee dam (Mazandaran-Sari) base on biotic and abiotic parameters during 2012-2013*, IFRO Publisher, Tehran. (In Persian)

Nikonahad, A., Loazed, H. & Kazambeigi, V., 2009, "Compare indicators of water quality in the Karaj dam to choose the best index", *Iranian Journal of Water Research*, 3(4),69-73. (In Persian)

Pietkainen, J., Pettersson, M. & Baath, E., 2005, "Comparison of temperature effects on soil respiration and bacterial and fungal growth rates", *FEMS Microbial Ecology*, 52(1),49-58.

Rott, E., Hofmann, G., Pall, K., Pfister, P. & Pipp, E., 1997, *Indication directories for algae in Austrian water source, part I : Sapro by indication water economic cadaster,* Federal Ministry Finland, Forestry, Wein, Austria.

Saeedi, P., Mehrdadi, N., Ardestani, M. & Baghvand, A., 2013, "Simulation of thermal stratification and dissolved oxygen using Ce–Qual-W2 model (Case study: Shahid Rejaeei dam", *Journal of Environmental Studies*, 39(4), 171-180. (In Persian)

Sanden, P. & Håkansson, B., 1996, "Long-term trends in Secchi depth in the Baltic Sea", *Limnology and Oceanography*, 41(2), 346-351.

Sawant, R., & Chavan, N., 2013, "Water quality status of Mahagaon reservoir from Gadhinglaj tahsil from Mahamrashtra", *International Journal of Science, Environment and Technology*, 2(6), 1196-1204.

Shahryari, A., Kabir, M.J. & Golfirozy, K., 2008, "Evaluation of microbial pollution of Caspian sea at the Gorgan Gulf ", *Journal of Gorgan University of Medical Sciences*, 10(2), 69-73. (In Persian)

Shokohi, R., Hosienzadeh, A., Roshanaei, Gh., Alipour, M. & Hoseizadeh, S., 2011, "Study on water quality of Aidoghmoush Lake using the Water Quality Index (NSFWQI) and balance of nutrients", *Iranian Journal of Health and Environment*, 4(4), 439-450. (In Persian)

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

US EPA, 1997, *Guidelines for preparation of the comprehensive state water-quality assessments 305b reports and electronic updates*, Washington, D.C., Office of Water, EPA-841-B-97-002a, variously paginated.

USEPA., 2006, *Causes of total coliform-positive occurrences in distribution systems*, USA.

Welch, E.B., 1992, *Ecological effects of wastewater, applied limnology and pollutant effect*, 2nd Ed., Chapman and Hall, London.

WHO. (1996). *Guidelines for drinking-water quality, health criteria and other supporting information*, 2nd Ed., Geneva.

Xu, F.L., 2008, "Trophic classification for lakes, In: Jorgensen SE, Fath BD(eds)", *Ecological Indicators*, 5, 3594-3601.

Yaghobzadeh, Z., Nasrollahzadeh, H.S., Pourgholam, R., Makhlough, A., Ghiyasi, M. & Behrozi, Sh., 2015, *Study on qualitative and quantitative of microbs indicators in the Shahid Rajaee dam (Mazandaran-Sari) during 2012-2013*, IFRO Publisher, Tehran. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir