



Evaluation of Eutrophic State of Alavian Dam Reservoir Using Statistical Methods and TSI and TLI Indices

Kamle Aghajanloo✉

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Maragheh University, Maragheh Iran, Email: aghajanloo@maragheh.ac.ir

Article Info

ABSTRACT

Article type: Research Article

Article history:

Received: Nov. 13, 2021

Revised: Feb. 28, 2022

Accepted: Sep. 3, 2022

Published online: Oct. 23, 2022

Keywords:

Eutrophication,
Non-algal turbidity,
Total nitrogen,
Total phosphorus

Eutrophication is a global environmental problem that poses a serious risk to the conservation of dams lake water quality, human health and aquatic ecosystems. Indicators for determining the nutritional status of water bodies allow to make decision and to implement management strategies for controlling eutrophication. TSI and TLI indices and statistical analysis on phosphorus (TP), nitrogen (TN), chlorophyll.a (Chl.a) and Secchi depth (SD) parameters were used to assess the Eutrophic state of Alaviyan Dam Reservoir during 1394 to 1398. The results of parameter analysis showed that the values of total TSI and total TLI index for the lake in 1398 were 53.5 and 4.8, respectively, and thus the lake was placed in the eutrophic category. TN was the main cause of worsening water quality in spring, while in autumn TP had a greater portion in declining water quality. In addition, the differences between the indices indicate that during the study period, phosphorus is not a factor that limits algal productivity and the mean value of 8.8 for the TN / TP ratio emphasizes that TN is the limiting factor of primary production. Studies also showed that in addition to algae, which block light from passing to lower levels of the lake, non-algal turbidity can also affect the growth of phytoplankton. The parameters of total nitrogen, total phosphorus, and chlorophyll-a. showed increased trend, which requires input nutrient controls into Alaviyan reservoir to preserve the water quality.

Cite this article: Aghajanloo, K. (2022). Evaluation of eutrophic state of Alavian Dam Reservoir using statistical methods and TSI and TLI indices. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (8), 1849-1862.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.333920.669132>



ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای مخزن سد علویان با استفاده از روش‌های آماری و شاخص‌های TSI و TLI

کامله آقاجانلو ✉

گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران، ایمیل: aghajanloo@maragheh.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تغذیه‌گرایی یک مشکل زیست‌محیطی جهانی است که خطری جدی برای حفظ کیفیت آب دریاچه سدها، سلامت انسان و اکوسیستم‌های آبی به‌شمار می‌رود. شاخص‌های تعیین وضعیت تغذیه‌ای توده‌های آبی امکان اتخاذ تصمیم و پیاده‌سازی استراتژی‌های مدیریتی در مورد کنترل تغذیه‌گرایی را فراهم می‌کنند. برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌گرایی دریاچه سدعلویان در طی سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۳۹۸ از شاخص‌های TSI و TLI و تجزیه و تحلیل آماری بر روی پارامترهای فسفر کل (TP)، نیتروژن کل (TN)، کلروفیل-ا (Chl.a) و عمق سکی (SD) استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل پارامترها نشان داد ارزش شاخص TSI کل و TLI کل برای دریاچه در سال ۱۳۹۸ به ترتیب ۵/۵۳ و ۴/۸ می‌باشد و به این ترتیب دریاچه در رده یوتروفیک جای گرفت. TN عامل اصلی حادثه شدن کیفیت آب در فصل بهار بود در حالی که در فصل پاییز TP سهم بیشتری در نزول سطح کیفی آب داشت. علاوه بر این، تفاوت بین شاخص‌ها نشان می‌دهد که در کل دوره آماری مورد مطالعه، فسفر عاملی نیست که بهره‌وری جلبک را محدود کند و مقدار میانگین ۸/۸ برای نسبت TN/TP تأکید می‌کند که TN عامل محدودکننده تولید اولیه می‌باشد. همچنین بررسی‌ها نشان داد علاوه بر جلبک‌ها که مانع عبور نور به سطوح پایین‌تر دریاچه می‌شوند، کدورت غیرجلبکی نیز می‌تواند رشد فیتوپلانکتون‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. روند تغییرات پارامترهای نیتروژن کل، فسفر کل و کلروفیل-ا صعودی ارزیابی گردید که ضرورت کنترل پارامترهای مغذی ورودی به مخزن سد علویان جهت حفظ کیفیت آب مخزن را طلب می‌کند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۱۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۸/۱

واژه‌های کلیدی:

تغذیه‌گرایی،
کدورت غیرجلبکی،
نیتروژن کل،
فسفر کل

استناد: آقاجانلو، کامله. (۱۴۰۱). ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای مخزن سد علویان با استفاده از روش‌های آماری و شاخص‌های TSI و TLI. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۸)، ۱۸۴۹-۱۸۶۲.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.333920.669132>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

مخازن سدها که با اهداف تأمین آب شرب و کشاورزی، کنترل سیلاب، تولید انرژی، تفریح و ماهیگیری احداث می‌شوند نقش مهمی در اکوسیستم آبی منطقه ایفا می‌کنند. اما عواملی همچون رشد بی‌رویه جمعیت، افزایش تولید محصولات کشاورزی و ورود بیش از حد مواد مغذی ناشی از فاضلاب‌های خانگی، کشاورزی و رواناب شهری به مخازن موجب کاهش کیفیت آب آنها می‌گردد (Cunha et al., 2013; Liu et al., 2016). علاوه بر این تغییرات کاربری اراضی در حوضه نقش مهمی در ورود رسوبات و مواد مغذی به توده‌های آبی ایفا می‌کنند (Shi et al., 2017; Zhang et al., 2019). ورود بیش از حد نیتروژن (P) و فسفر (N) به توده آبی موجب افزایش میزان مواد مغذی در آب موجب رشد جلبک‌ها و به دنبال آن تغییرات زیست‌توده جلبک‌ها می‌گردد. از تبعات مغذی شدن دریاچه‌ها می‌توان به افزایش رشد فیتوپلانکتون‌ها و سایر گیاهان آبی، اکسیژن‌زدایی از آب‌های عمیق‌تر به‌ویژه در زمان وقوع طبقه‌بندی دمایی و طیف وسیعی از اثرات نامطلوب بر موجودات زنده آب شیرین اشاره نمود (Abell et al., 2010).

در طول دهه‌های گذشته، مطالعات مربوط به تغذیه‌گرایی با تمرکز بر روی شناسایی عوامل ایجاد مشکل و سپس مدیریت کیفیت آب تکامل یافته است. رویکردهای متفاوتی برای ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای توده‌های آبی ارائه شده‌اند. نیتروژن کل (TN) و فسفر کل (TP) محرک‌های کلیدی برای تغذیه‌گرایی آب هستند که منجر به افزایش غلظت کلروفیل آ (Chl.a) می‌شوند (Li et al., 2021). از جمله روش‌های ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای دریاچه‌ها و مخازن استفاده از شاخص وضعیت تغذیه‌ای (TSI) و شاخص سطح تغذیه‌ای (TLI) است. در این روش‌ها با تعریف توابعی مشخص از پارامترهای دخیل در پدیده مانند TP، TN، کلروفیل آ (Chl.a) و عمق سکی (SD) شاخص عددی به دست می‌آید که با استناد به آنها می‌توان آب‌های سطحی را رده‌بندی نمود (Carlson, 1977; Kratzer and Brezonik, 1981). بررسی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که شاخص TSI عملکرد قابل اعتمادی را در برنامه‌های مدیریت دریاچه‌های مختلف و رده‌بندی تغذیه‌ای آنها داشته است (Li et al., 2021; Liu et al., 2019). در مطالعه صورت گرفته بر روی تالاب‌انزلی با استفاده از شاخص TSI وضعیت تالاب در رده هایپرترروف تا هایپرترروف‌حاد ارزیابی گردید و روند رو به توسعه این وضعیت نگران‌کننده اعلام شد (Fallah et al., 2018). در تعیین وضعیت تغذیه‌ای تالاب چغاخور با استفاده از شاخص تغذیه‌گرایی TSI از سه پارامتر TP، Chl.a و SD استفاده شد (Dehghannezhad et al., 2019). شاخص سطح تغذیه‌ای (TLI) دیگر شاخصی است که اولین بار برای تعیین وضعیت تروفیک آب‌های سطحی نیوزلند توسعه یافت (Burns et al., 1999) و بعدها کارایی آن توسط محققین مورد ارزیابی قرار گرفت (Li et al., 2021). کیفیت مخازن در غنا با استفاده از شاخص TLI مورد بررسی قرار گرفت و از آنجا که در این مخازن طرح توسعه پرورش ماهیان اجرا گردید، نتایج مطالعات برای تعیین میزان بار مغذی مجاز ورودی به مخزن برای جلوگیری از ایجاد شرایط مغذی مورد استفاده قرار گرفت (Agbeko et al., 2019). وضعیت تغذیه‌ای مخزن سد بورچکا در ترکیه را با شاخص حالت تغذیه‌ای (TSI) و شاخص سطح تغذیه‌ای (TLI) مورد بررسی قرار گرفت و بر این اساس شرایط مخزن را در رده مزوتروفیک طبقه‌بندی (Bilgin, 2020) نمود. (Wojtkowska and Bojanowski, 2021) با به‌کارگیری دو شاخص TSI و TLI وضعیت تغذیه‌ای دریاچه‌های لهستان را مورد بررسی قرار دادند و هر دو شاخص بیان‌کننده حالت تغذیه‌ای بالا برای توده‌های آبی مورد مطالعه بودند.

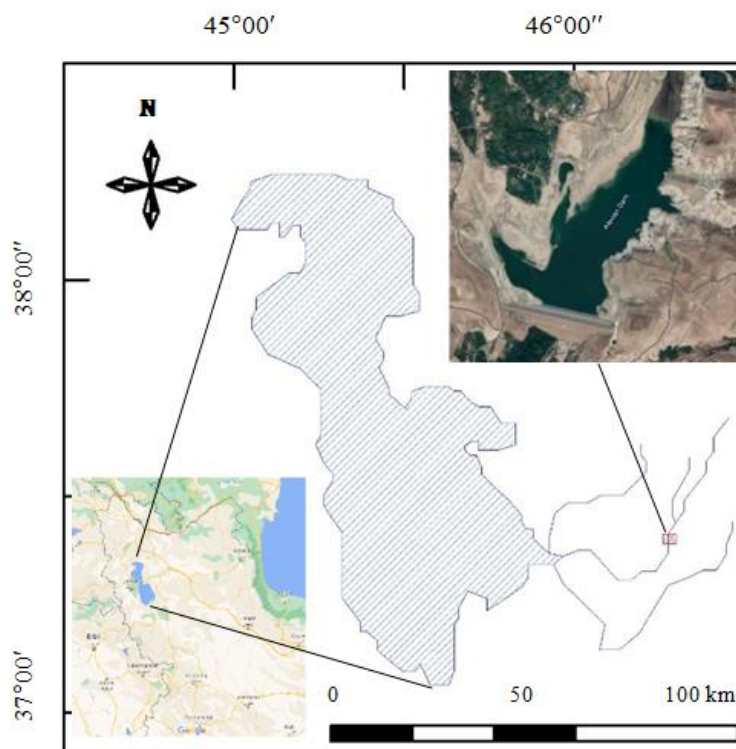
دریاچه سد علویان در حوضه رودخانه صوفی‌چای در منطقه آذربایجان شرقی قرار دارد. مطالعات انجام شده در زمینه بررسی تغییرات شاخص کیفی آب دریاچه در حدفاصل سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۳۹۸ با استفاده از شاخص WQI نشان داد در سال ۱۳۹۸ تقریباً در نیمی از سال وضعیت کیفی مخزن در شرایط فقیر و خیلی فقیر قرار می‌گیرد (Aghajanloo, 2021). همچنین افزایش سطح نیترات و کدورت در بازه زمانی مورد مطالعه نگران‌کننده اعلام شد. بر این اساس در پژوهش حاضر، بررسی وضعیت تغذیه‌گرایی این مخزن با استفاده از TSI و TLI هدف قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سد خاکی علویان در مختصات جغرافیایی $37^{\circ}26' N$ و $46^{\circ}15' E$ بر روی رودخانه صوفی‌چای در جنوب استان آذربایجان شرقی احداث شده است. این رودخانه که از ارتفاعات سه‌سهند سرچشمه می‌گیرد در نهایت به دریاچه ارومیه می‌ریزد. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی سد علویان نشان داده شده است. رودخانه صوفی‌چای در مسیر خود در بالادست سد از میان مناطق روستایی و باغات و اراضی کشاورزی بسیاری عبور

می‌کند. سپس در پایین دست پس از گذشتن از شهرهای مراغه و بناب به سمت دریاچه ارومیه ادامه مسیر می‌دهد. باتوجه به اهداف ساخت سد، تأمین آب شرب و کشاورزی شهرهای اطراف، کیفیت آب مخزن برای منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است. با این حال، در سال‌های اخیر فعالیت‌های انسانی در حوزه بالادست سد افزایش یافته است که تبعات آن کاهش کیفیت آب مخزن در سال‌های اخیر می‌باشد (Aghajanloo, 2021). شهرنشینی، تخلیه فاضلاب خانگی و صنعتی، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و رسوبات هدایت شده توسط رودخانه از منابع اصلی آلودگی آب در مخزن هستند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دریاچه سد علویان

به‌منظور ارزیابی وضعیت تغذیه‌ای دریاچه سد از داده‌های بیلان آبی و اطلاعات پایش کیفی منابع آب دریافتی از سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی استفاده شد. داده‌های کیفی در مخزن و در نقطه‌ای به فاصله ۱/۷۲۳ کیلومتری از بدنه سد به‌صورت ماهانه برداشت شده‌اند. به دلیل کامل تر بودن داده‌ها، بازه زمانی انتخابی در تحقیق حاضر سال ۱۳۹۴ الی ۱۳۹۸ در نظر گرفته شد. بررسی داده‌های تغییرات حجم و تراز آب مخزن در طی سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که هر ساله در فصل بهار تراز آب مخزن به بالاترین حد خود می‌رسد و در فصل تابستان به دلیل برداشت آب مورد نیاز برای بخش کشاورزی کاهش حجم آب مخزن رخ می‌دهد. بیشترین و کمترین حجم آب مخزن در دوره مطالعاتی به ترتیب ۴۶/۳۶ و ۷/۴۷ میلیون مترمکعب اندازه‌گیری شده است.

شاخص وضعیت تغذیه‌ای TSI

TSI برای اولین بار توسط Carlson (1977) برای تعیین روابط بین کلروفیل (Chl.a)، فسفر کل (TP) و عمق دیسک سکی (SD) در دریاچه‌های مناطق معتدل پیشنهاد شد. بعدها محققین پارامترهای دیگری مانند TN را در آن جای دادند (Cunha et al., 2013). بر این اساس ترکیبی از پارامترهای دخیل در پدیده از طریق روابط ریاضی، تبدیل به عددی در محدوده ۱ تا ۱۰۰ می‌شوند که به‌عنوان شاخص وضعیت تغذیه‌گرایی (TSI) شناخته می‌شود. برای محاسبه TSI از روابط (۱) الی (۵) استفاده می‌گردد که در آنها TP و TN به ترتیب فسفر کل و نیتروژن کل (میلیگرم بر لیتر) و Chl.a کلروفیل (میلیگرم بر مترمکعب) و SD عمق سکی (متر) می‌باشند. پس از محاسبه شاخص TSI با استفاده از جدول (۱) می‌توان آب را در چهار رده هایپرتروفیک، الیگوتروفیک، مزوتروفیک، یوتروفیک و هایپرتروفیک جای داد.

$$TSI_{TP} = 14.42 \times \ln(TP) + 4.1 \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$TSI_{TN} = 14.43 \times \ln(TN) + 54.4 \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$TSI_{Chl.a} = 9.81 \times \ln(Chl.a) + 30 \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$TSI_{SD} = -14.4 \times \ln(SD) + 60 \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$TSI_{Total} = (TSI_{TP} + TSI_{TN} + TSI_{SD} + TSI_{Chl.a}) / 4 \quad (\text{رابطه ۵})$$

جدول ۱- رده‌بندی وضعیت تغذیه‌ای آب با شاخص TSI (Carlson, 1977)

TN	TP	SD	Chl.a	TSI	وضعیت تروفیک
۹۰-۲۰	۳-۷۵/۰	۶۴-۱۶	۳۴/۰-۰۴/۰	۲۰-۰	هایپرالیگوتروفیک
۳۷۰-۹۰	۱۲-۳	۱۶-۴	۶/۲-۳۴/۰	۴۰-۲۰	الیگوتروفیک
۷۴۰-۳۷۰	۲۴-۱۲	۴-۲	۴/۶-۶/۲	۵۰-۴۰	مزوتروفیک
۱۴۷۰-۷۴۰	۴۸-۲۴	۲-۱	۲۰-۴/۶	۶۰-۵۰	یوتروفیک
۲۳۶۰-۱۴۷۰	۷۶۸-۴۸	۱۰-۶۲/۰	۱۱۸۳-۲۰	۱۰۰-۶۰	هایپرتروفیک

SD برحسب متر TN و TP برحسب میلیگرم بر مترمکعب

شاخص سطح تروفیک TLI

تحقیقات Burns *et al.*, (1999) با هدف تعیین سطوح تغذیه‌ای دریاچه‌ها در نیوزیلند انجام گرفت که منجر به ارائه شاخص سطح تروفیک (TLI) گردید. در جدول (۲) رده‌بندی کمی سطوح تغذیه‌ای این روش بر اساس مقادیر میانگین سالانه SD، Chl.a، TP و TN ارائه شده است. برای محاسبه مقدار TLI می‌توان از روابط (۶) الی (۱۰) استفاده نمود.

$$TLI_{TN} = -3.61 + 3.01 \times \log(TN) \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$TLI_{TP} = 0.218 + 2.92 \times \log(TP) \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$TLI_{SD} = 5.10 + 2.60 \times \log\left(\frac{1}{SD} - \frac{1}{40}\right) \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$TLI_{Chl.a} = 2.22 + 2.54 \times \log(Chl.a) \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$TLI_{Total} = (TLI_{TP} + TLI_{TN} + TLI_{Chl.a} + TLI_{SD}) / 4 \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

جدول ۲- رده‌بندی سطح تغذیه‌ای آب با شاخص TLI (Burns *et al.*, 1999)

TN	TP	SD	Chl.a	TLI	سطح تروفیک
۳۴-۱۶	۸/۱-۸۴/۰	۳۱-۲۴	۳۳/۰-۱۳/۰	۱-۰	هایپرمیکروتروفیک
۷۳-۳۴	۱/۴-۸/۱	۲۴-۱۵	۸۲/۰-۳۳/۰	۲-۱	میکروتروفیک
۱۵۷-۷۳	۰/۹-۱/۴	۱۵-۸/۷	۰/۲-۸۲/۰	۳-۲	الیگوتروفیک
۳۳۷-۱۵۷	۲۰-۹	۸/۷-۶/۳	۵-۲	۴-۳	مزوتروفیک
۷۲۵-۳۳۷	۴۳-۲۰	۶/۳-۶/۱	۱۲-۵	۵-۴	یوتروفیک
۱۵۵۸-۷۲۵	۹۶-۴۳	۶/۱-۷/۰	۳۱-۱۲	۶-۵	سوپرتروفیک
۱۵۵۸>	۹۶>	۷/۰<	۳۱>	۷-۶	هایپرتروفیک

SD برحسب متر TN و TP برحسب میلیگرم بر مترمکعب

انحراف شاخص حالت تغذیه‌ای

رویکرد گرافیکی دوعده‌ای اختلاف شاخص حالت تغذیه‌ای (Carlson and Havens, 2005) امکان تشخیص وضعیت تغذیه‌ای دریاچه، تعیین عوامل محدود کننده و تفسیر فرآیندهای مؤثر بر کلروفیل و غلظت مواد مغذی را فراهم می‌نماید (Bilgin, 2020). به‌طور کلی، در شرایطی که $TSI(Chl.a) > TSI(TN)$ و $TSI(TN) < TSI(TP)$ باشد مبین محدودیت نیتروژن می‌باشد و درمقابل $TSI(Chl.a) > TSI(TN)$ و $TSI(TN) > TSI(TP)$ نشان می‌دهد محدودیت فسفر وجود دارد (Carlson and Havens, 2005; Liu *et al.*, 2019). علاوه بر این از انحراف $TSI(Chl.a)$ و $TSI(SD)$ می‌توان برای تشخیص عامل کدورت بهره گرفت. به‌طوری‌که اگر $TSI(Chl) > TSI(SD)$ باشد موقعیت‌هایی را نشان می‌دهند که در آن کدورت جلبکی بالاتر کدورت ناشی از ریزدانه‌ها است. این پدیده در صورتی رخ می‌دهد که ذرات بزرگ (جلبک‌های

سبز آبی) غالب باشند و شفافیت کمتر تحت تأثیر ذرات باشد و یا زئوپلانکتون‌ها ذرات کوچک‌تر را مصرف می‌کنند و فقط اشکال بزرگ‌تر باقی می‌مانند. در مقابل $TSI(Chl) < TSI(SD)$ شرایط کدورت غیرجلبیکی را توصیف می‌کنند که در آن غلظت بالای مواد آلی محلول یا ذرات ریز رنگی می‌تواند دلیل شفافیت کم آب باشند. در این شرایط TN و TP عامل محدود کننده کارایی بیولوژیکی دریاچه سد نیستند و کدورت غیرجلبیکی می‌تواند رشد فیتوپلانکتون‌های آب را محدود کند (Wetzel, 2001; Matthews *et al.*, 2002).

نتایج و بحث

در جدول (۳) اطلاعات مربوط به حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف از معیار پارامترهای کیفی آب WT (دمای آب)، EC (هدایت الکتریکی)، COD (تقاضای اکسیژن شیمیایی)، DO (اکسیژن محلول)، NO_2 (نیتريت)، NO_3 (نیترات)، PO_4 (فسفات)، کدورت (Tur)، pH، TP، TN، Chl.a و SD ارائه شده است. پایش مداوم اکسیژن محلول به‌عنوان یکی از مهمترین شاخص‌های تأثیرگذار در کیفیت آب نقش مهمی در حفظ زندگی ماهیان و دیگر آبزیان ایفا می‌کند. عوامل متعددی همچون آلاینده‌های متقاضی اکسیژن و تغییرات دمایی می‌توانند در غلظت DO مؤثر باشند (Kuo *et al.*, 2006). بررسی مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد حداقل اکسیژن محلول آب مخزن ۵/۲۷ میلی‌گرم‌درلیتر بوده است که از حد مجاز استاندارد (2004) WHO برای آب آشامیدنی (۵ میلی‌گرم‌درلیتر) و استاندارد (2006) CCME کانادا به‌منظور حفاظت از اکوسیستم‌های آبی (۲ میلی‌گرم‌درلیتر) بالاتر می‌باشد. نتایج مطالعات (Aghajloo and Asadi, 2021) بر روی لایه‌بندی حرارتی مخزن سد علویان نشان داد در طی ماه‌های تیر و مرداد طبقه‌بندی قوی در آب رخ می‌دهد که می‌تواند باعث کاهش مقدار اکسیژن محلول تا میزان حدود ۵/۳ میلی‌گرم در لیتر در عمیق‌ترین بخش مخزن گردد که این مقدار بسیار نزدیک به تشکیل شرایط بی‌هوازی در عمق مخزن و افت سطح کیفی آب می‌باشد. همچنین باتوجه به جدول (۳) مقدار میانگین COD در دوره مطالعاتی برابر ۱۵/۹ میلی‌گرم‌برلیتر می‌باشد که بیشتر از حد مجاز استاندارد (2004) WHO (۱۰ میلی‌گرم‌برلیتر) است. سطوح بالای COD آب نشان‌دهنده آلودگی آلی در مخزن است (Mamun *et al.*, 2020). (Aghajloo (2021) در مطالعات کیفی خود پارامتر کدورت را مهمترین عامل کاهش کیفیت آب مخزن سد علویان در فصول بهار و پاییز به‌دلیل انتقال رسوبات از طریق رودخانه صوفی‌چای به مخزن در فصل‌های سیلابی دانست. میانگین کدورت آب در دوره مطالعاتی (جدول ۳) ۲۳/۸۴ NTU می‌باشد که اختلاف قابل‌توجهی با حدود مجاز اعلام شده در استاندارد WHO و استاندارد آبزیان (۵ NTU) دارد. بازدیدهای میدانی به‌عمل آمده از منطقه مورد مطالعه تجمع رسوبات در محل دلتای مخزن را نشان می‌دهد که می‌تواند در مواقع سیلابی مشکلات زیادی را برای کیفیت آب ایجاد نماید.

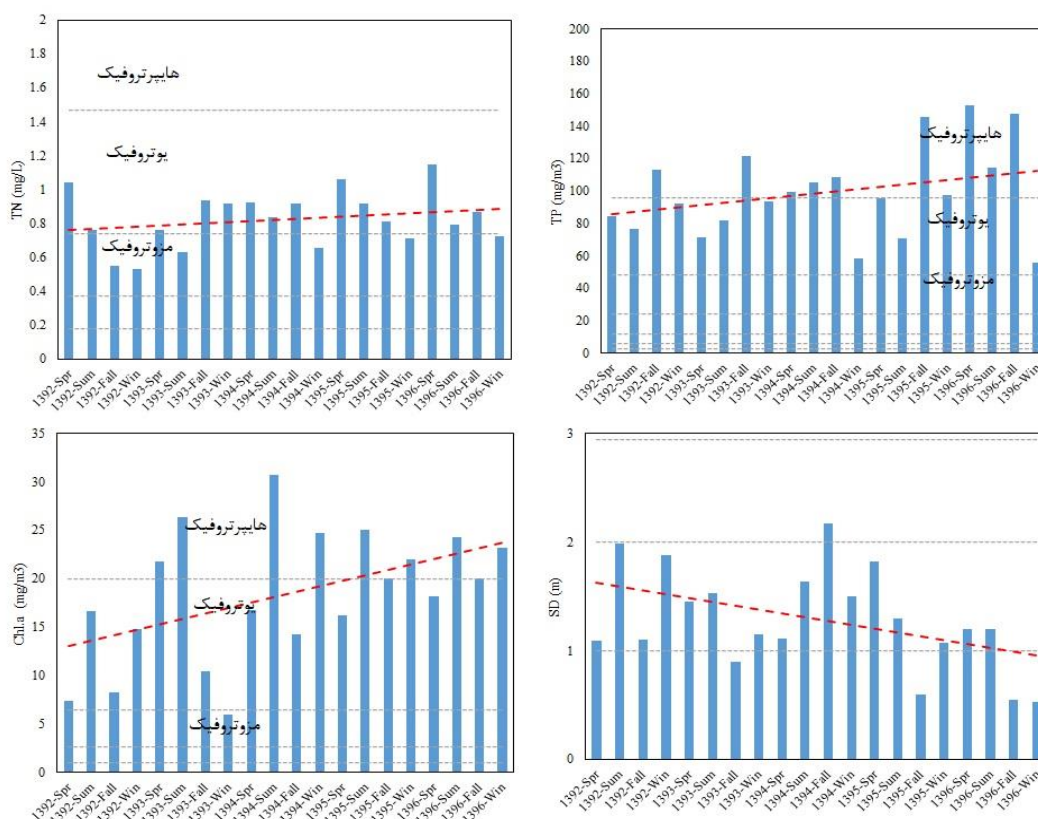
جدول ۳- مقادیر آماری پارامترهای کیفی دریاچه سد علویان در دوره مطالعاتی

پارامتر	WT	EC	COD	DO	NO_3	NO_2	PO_4
پارامتر	سانتی‌گراد	میکروزیمنس بر سانتیمتر	میلی‌گرم بر لیتر	میلی‌گرم بر لیتر	میلی‌گرم بر لیتر	میلی‌گرم بر لیتر	میلی‌گرم بر لیتر
میانگین	۱۲/۵	۱۷۹/۶	۱۵/۹۰	۶/۴۱	۰/۴۱	۰/۱۵	۰/۰۷۷
انحراف معیار	۴/۱۴	۳۶/۸	۲/۲۴	۰/۶۲	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۰۲۳
حداقل	۴/۰۸	۱۳۲/۶	۱۲/۷۱	۵/۲۷	۰/۱۸	۰/۱۰	۰/۰۴۱
حداکثر	۱۸/۶۲	۲۵۹/۲	۱۹/۹۰	۷/۳۵	۰/۷۲	۰/۳۰	۰/۱۲۱
پارامتر	PH	Chl.a	TN	TP	Tur	SD	
پارامتر	میلی‌گرم بر متر مکعب	میلی‌گرم بر لیتر	میلی‌گرم بر لیتر	میلی‌گرم بر لیتر	NTU	متر	
میانگین	۸/۱۲	۹/۴۰	۰/۴۱	۰/۰۵۰	۲۳/۸۴	۱/۷۵	
انحراف معیار	۰/۲۴	۳/۱۸	۰/۰۸	۰/۰۱۳	۱۰/۱۴	۰/۴۶	
حداقل	۷/۷۱	۴/۱۰	۰/۲۷	۰/۰۲۹	۱۰/۴۵	۱/۰۵	
حداکثر	۸/۵۶	۱۵/۳۶	۰/۵۸	۰/۰۷۶	۴۲/۴۲	۲/۷۹	

به‌منظور بررسی دقیق‌تر در شکل (۲) تغییرات میانگین فصلی پارامترهای TP، TN، Chl.a و SD به‌عنوان مهمترین پارامترها در تعیین وضعیت تغذیه‌ای دریاچه سد علویان برای سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۳۹۸ آورده شده است. نیتروژن و فسفر به‌عنوان مواد مغذی، کلروفیل آ. به‌عنوان معیاری از حضور جلبک‌ها و عمق سکی (SD) به‌عنوان معیاری از شفافیت و توانایی عبور نور در محیط‌های آبی انتخاب شده‌اند. همچنین در این شکل سطوح مختلف تغذیه‌ای پیشنهادی (Carlson (1977) (جدول ۱) برای هریک از پارامترها مشخص شده است. روند تغییرات پارامترها در شکل (۲) با خط‌چین نشان داده شده است.

باتوجه به مقادیر درج شده در جدول می‌توان دید نیتروژن کل (TN) در محدوده ۰/۲۷ تا ۰/۵۸ میلی‌گرم بر لیتر در سال ۱۳۹۴ تا ۰/۵۸ میلی‌گرم بر لیتر در سال ۱۳۹۸ متغیر است. با توجه به شکل (۲) می‌توان دید تقریباً در همه سالها بیشترین غلظت TN در فصل بهار اندازه‌گیری شده است و در فصل‌های دیگر سال روند کاهشی به خود می‌گیرد. دلیل افزایش غلظت نیتروژن کل به‌عنوان ترکیبی از نیترات، نیتريت و آمونیاک را می‌توان با افزایش استفاده از کودهای شیمیایی در اراضی کشاورزی بالادست حوضه سد مرتبط دانست. در فصل بهار، بارش‌های شدید موجب جاری شدن رواناب در سطح حوضه و اراضی کشاورزی آلوده به کودهای شیمیایی می‌گردد و در نهایت این آلاینده‌ها وارد مخزن سد می‌شوند. بررسی مقادیر میانگین سالانه TN مبین افزایش ۲۲/۶ درصدی این پارامتر در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۴ می‌باشد. Aghajloo (2021) در مطالعات خود به‌منظور ارزیابی کیفیت آب دریاچه سد علویان اعلام نمود اگرچه مقادیر نیترات آب در محدوده مجاز WHO قرار دارد اما افزایش غلظت این پارامتر در بازه ۵ ساله (۱۳۹۴-۱۳۹۸) قابل توجه می‌باشد. براساس سطوح تغذیه‌ای پیشنهادی Carlson (1977) برای نیتروژن کل، مخزن در ۳۰٪ موارد در شرایط مزوتروفیک و در ۷۰٪ موارد در شرایط الیگوتروفیک قرار دارد. بهترین شرایط از نظر نیتروژن کل در فصل زمستان هر سال برآورد می‌گردد.

دریاچه سد با دارا بودن غلظت فسفر کل در دامنه ۰/۰۲۹ تا ۰/۰۷۶ میلی‌گرم بر لیتر الی ۰/۰۷۶ میلی‌گرم بر لیتر در نیمی از فصل‌ها شرایط مزوتروفیک و در نیمی دیگر شرایط یوتروفیک را تجربه می‌کند. فسفر برخلاف هیدروژن قابلیت اتصال به رسوبات را دارد و همراه با ته‌نشینی رسوبات از ستون آب خارج می‌شود و با تعلیق مجدد رسوبات وارد چرخه می‌گردد (Carlson and Havens, 2005). با توجه به نتایج مطالعات Aghajloo and Asadi (2021) در فصل تابستان یک لایه‌بندی حرارتی قوی در مخزن سد علویان رخ می‌دهد و در فصل پاییز چرخش داخلی آب به‌وقوع می‌پیوندد. براین اساس می‌توان انتظار داشت چرخش آب موجب برهم خوردن رسوبات بستر و آزادسازی فسفر در ستون آب شده است. براین اساس افزایش غلظت TP در فصل پاییز توجیه می‌شود (شکل ۲). در نتیجه این افزایش غلظت فسفر، در فصل پاییز وضعیت دریاچه از حالت مزوتروفیک به یوتروفیک (براساس فسفر کل) نزول می‌کند. باتوجه به تغییرات میانگین سالانه غلظت TP می‌توان روند افزایشی ۳۰/۲ درصدی را در طول دوره مطالعاتی نتیجه گرفت که می‌تواند به حجم رسوبات ورودی و فرایندهای داخلی مخزن مرتبط باشد.



شکل ۲- تغییرات میانگین فصلی TP، TN، Chl.a و SD در طول سال‌های مورد مطالعه و رده‌بندی تغذیه‌ای پیشنهادی Carlson (1977)

در پاسخ به مواد مغذی ورودی به دریاچه سد، تغییرات پارامتر کلروفیل‌ا نشان‌دهنده دامنه تغییرات Chl.a از حدود ۴/۱۰ میلی‌گرم

در متمرکز در زمستان ۱۳۹۴ الی ۱۵/۳۶ میلیگرم در متمرکز در تابستان ۱۳۹۸ می‌باشد. مقایسه مقادیر میانگین فصلی کلروفیل-ا و با حدود پیشنهادی Carlson (1977) مبین سطح بالای این عامل در دریاچه سد است که موجب شده دریاچه در ۸۰٪ موارد به‌ویژه در نیمه دوم دوره مطالعاتی در رده توده‌های آبی یوتروف قرار بگیرد (شکل ۲). (Abedini *et al.*, (2018). در بررسی وضعیت تغذیه‌گرایی تالاب بین‌المللی انزلی دریافت که زیست‌توده فیتوپلانکتون‌ها در فصل تابستان افزایش می‌یابد. مشابه این نتیجه در مطالعه حاضر دیده می‌شود که در تابستان غلظت Chl.a نسبت به فصول دیگر افزایش داشته است. غلظت میانگین این پارامتر به در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۴ افزایش ۸۴/۱ درصدی نشان داده است. عمق سکی به‌عنوان معرف شفافیت آب، با مقدار حداقل ۱/۰۵ m در پاییز سال ۱۳۹۸ (بدترین شرایط) و مقدار حداکثر ۲/۷۹ m در تابستان سال ۱۳۹۴ (بهترین شرایط) برای دریاچه سد گزارش شده است. با مقایسه حدود پیشنهادی Carlson (1977) در ۷۰ درصد موارد آب در رده یوتروفیک قرار می‌گیرد.

شاخص وضعیت تغذیه‌ای TSI

در جدول (۴) مقادیر شاخص TSI تک‌پارامتری شامل TSI-TN، TSI-TP، TSI-Chl.a، TSI-SD و در نهایت مقدار معادل TSI کل آورده شده است. همچنین در این جدول براساس رده‌بندی پیشنهادی (جدول ۱) وضعیت تغذیه‌ای هر شاخص درج شده است. همچنان که در جدول (۴) دیده می‌شود براساس نتایج به‌دست آمده دامنه تغییرات شاخص TSI-TN مابین حداقل ۳۵/۴ و حداکثر ۴۶/۵ قرار می‌گیرد که بدین ترتیب تنها براساس این شاخص آب در وضعیت مزوتروفیک قرار می‌گیرد. قابل ذکر است بر اساس TSI-TN فصل بهار با مقدار میانگین ۴۴/۱ و زمستان با مقدار میانگین ۳۹/۳ بدترین و بهترین شرایط را دارند. بررسی مقادیر شاخص TSI-TP نشان می‌دهد که وضعیت آب همواره در شرایط یوتروفیک قرار دارد و فصل پاییز حادترین شرایط را دارد. ارزیابی مقادیر شاخص TSI کل مبین شرایط مزوتروفیک در ۱۵ درصد موارد و شرایط یوتروفیک در ۸۵ درصد موارد است. در این شرایط لایه هیپولیمنیون با کمبود اکسیژن همراه خواهد بود. همچنین می‌توان دید در سال ۱۳۹۸ نسبت به ابتدای بازه مطالعاتی وضعیت تغذیه‌ای دریاچه سد حادتر شده است و از شرایط مزوتروفیک به یوتروفیک تغییر وضعیت مشاهده می‌شود. (Amini and Ahmadi Nadoushan (2019) در مطالعات ارزیابی تغذیه‌گرایی تالاب بین‌المللی امیرکلاهی میزان شاخص TSI را برابر ۳۵/۳۷ به‌دست آوردند و تالاب را در رده مزوتروف جای دادند. ایشان دلیل وضعیت تالاب را با ورود مواد آلی و معدنی حاصل از رواناب‌های کشاورزی و مسکونی اطراف مرتبط دانستند.

جدول ۴- مقادیر TSI تک‌پارامتری و TSI کل دریاچه سد علویان در دوره مطالعاتی (۱۳۹۴-۱۳۹۸)

سال	فصل	TSI-TN	رده	TSI-TP	رده	TSI-Chl.a	رده	TSI-SD	رده	TSI-Total	رده
۱۳۹۴	بهار	۴۵/۰	M	۵۸/۱	E	۴۴/۷	M	۵۳/۸	E	۵۰/۴	E
	تابستان	۴۰/۵	M	۵۶/۸	E	۵۱/۴	E	۴۵/۲	M	۴۸/۵	M
	پاییز	۳۵/۸	M	۶۲/۴	E	۴۵/۶	M	۵۸/۶	E	۵۰/۶	E
	زمستان	۳۵/۴	M	۵۹/۴	E	۵۰/۲	E	۵۰/۸	E	۴۸/۹	M
۱۳۹۵	بهار	۴۰/۵	M	۵۵/۸	E	۵۴/۰	E	۴۹/۸	M	۵۰/۰	E
	تابستان	۳۷/۹	M	۵۷/۶	E	۵۵/۹	E	۴۹/۰	M	۵۰/۱	E
	پاییز	۴۳/۵	M	۶۳/۴	E	۴۶/۸	M	۵۶/۷	E	۵۲/۶	E
	زمستان	۴۳/۱	M	۵۹/۶	E	۴۴/۴	M	۵۳/۱	E	۱/۵۰	E
۱۳۹۶	بهار	۴۳/۳	M	۶۰/۵	E	۶۵/۶	E	۵۳/۶	E	۵۵/۷	E
	تابستان	۴۱/۸	M	۶۱/۳	E	۵۷/۴	E	۴۸/۸	M	۵۲/۳	E
	پاییز	۴۳/۱	M	۶۱/۷	E	۴۹/۸	M	۶۲/۳	E	۵۴/۳	E
	زمستان	۳۸/۴	M	۵۲/۸	E	۵۵/۵	E	۴۹/۳	M	۴۹/۰	M
۱۳۹۷	بهار	۴۵/۳	M	۵۹/۹	E	۵۱/۱	E	۵۱/۴	E	۵۱/۹	E
	تابستان	۴۳/۲	M	۵۵/۶	E	۵۵/۳	E	۴۶/۷	M	۵۰/۲	E
	پاییز	۴۱/۴	M	۶۶/۰	E	۵۳/۲	E	۵۹/۳	E	۵۵/۰	E
	زمستان	۳۹/۵	M	۶۰/۲	E	۵۴/۱	E	۵۴/۱	E	۵۲/۰	E
۱۳۹۸	بهار	۴۶/۵	M	۶۶/۷	E	۵۲/۹	E	۵۲/۵	E	۵۴/۶	E
	تابستان	۴۱/۱	M	۶۲/۵	E	۵۵/۵	E	۵۰/۸	E	۵۲/۵	E
	پاییز	۴۲/۴	M	۶۶/۲	E	۵۳/۷	E	۵۹/۳	E	۵۵/۴	E
	زمستان	۳۹/۸	M	۵۳/۸	E	۵۵/۱	E	۵۶/۸	E	۵۱/۴	E

E: یوتروفیک

M: مزوتروفیک

شاخص سطح تغذیه‌ای TLI

در جدول (۵) مقادیر شاخص TLI تک‌پارامتری شامل TLI-TN، TLI-TP، TLI-Chl.a، TLI-SD و در نهایت مقدار معادل TLI کل برای فصل‌های مختلف دوره مطالعاتی (۱۳۹۴-۱۳۹۸) ارائه گردیده است. همچنین در این جدول براساس رده‌بندی پیشنهادی (جدول ۳) سطح تغذیه‌ای هر شاخص درج شده است. همچنان که در جدول (۵) دیده می‌شود براساس شاخص TLI-TN شرایط آب در بهار (با میانگین ۴/۵) نسبت به بقیه فصول (با میانگین ۴/۲) بدتر است. این درحالی که است که با شاخص TLI-TP سطح تغذیه‌ای آب در محدوده ۴/۵ الی ۵/۷ متغیر می‌باشد که نشان از حالت یوتروفیک آب دارد. با استناد به این شاخص فصل پاییز (با میانگین ۵/۵) در شرایط حادثری نسبت به بقیه فصول (با میانگین ۵/۰) قرار دارد. بررسی مقادیر TLI کل با حداقل و حداکثر به ترتیب ۴/۴ و ۵/۰ آب را در سطح یوتروفیک قرار می‌دهد. در این شرایط رشد بیش از حد جلبک‌ها موجب کاهش شفافیت آب می‌گردد. قابل ذکر است مقدار TLI معادل در حدفاصل سال‌های ۱۳۹۴ الی ۱۳۹۸ روند افزایشی داشته است که حاکی از توسعه شرایط تغذیه‌گرایی در توده آبی می‌باشد.

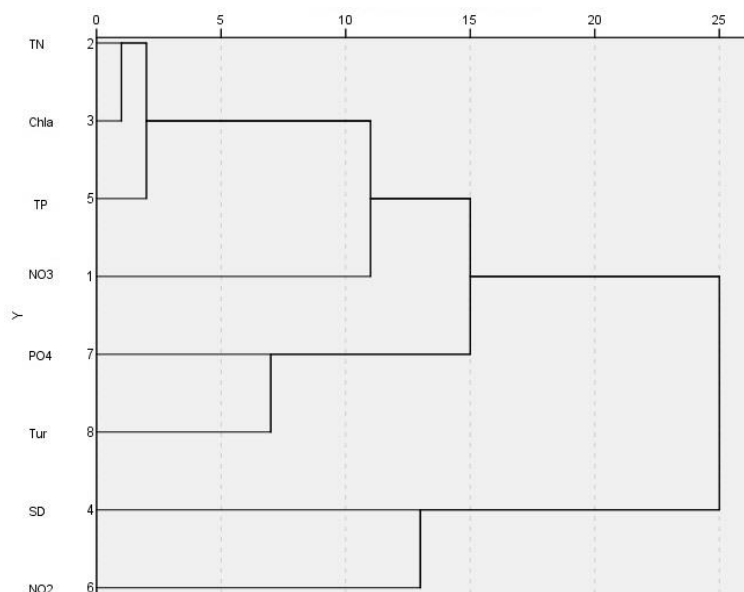
جدول ۵- مقادیر TLI تک‌پارامتری و TLI کل دریاچه سد علویان در دوره مطالعاتی (۱۳۹۴-۱۳۹۸)

سال	فصل	رده	TLI-TN	رده	TLI-TP	رده	TLI-Chl.a	رده	TLI-SD	رده	TLI-Total
۱۳۹۴	بهار	E	۴/۶	E	۵/۰	E	۳/۸	M	۴/۶	E	۴/۴
	تابستان	E	۴/۲	E	۴/۸	E	۴/۶	E	۳/۹	M	۴/۴
	پاییز	M	۳/۷	E	۵/۳	E	۳/۹	M	۴/۶	E	۴/۴
	زمستان	M	۳/۷	E	۵/۱	E	۴/۴	E	۴/۳	E	۴/۴
۱۳۹۵	بهار	E	۴/۲	E	۴/۸	E	۴/۹	E	۴/۲	E	۴/۵
	تابستان	M	۳/۹	E	۴/۹	E	۵/۱	E	۴/۲	E	۴/۵
	پاییز	E	۴/۴	E	۵/۴	E	۴/۰	E	۴/۸	E	۴/۷
	زمستان	E	۴/۴	E	۵/۱	E	۳/۸	M	۴/۵	E	۴/۴
۱۳۹۶	بهار	E	۴/۴	E	۵/۲	E	۴/۶	E	۴/۶	E	۴/۷
	تابستان	E	۴/۳	E	۵/۲	E	۵/۲	E	۴/۱	E	۴/۷
	پاییز	E	۴/۴	E	۵/۳	E	۴/۴	E	۴/۷	E	۴/۷
	زمستان	M	۴/۰	E	۴/۵	E	۵/۰	E	۴/۲	E	۴/۴
۱۳۹۷	بهار	E	۴/۶	E	۵/۱	E	۴/۵	E	۴/۴	E	۴/۷
	تابستان	E	۴/۴	E	۴/۷	E	۵/۰	E	۴/۰	M	۴/۵
	پاییز	E	۴/۲	E	۵/۷	E	۴/۸	E	۵/۰	E	۴/۹
	زمستان	E	۴/۱	E	۵/۱	E	۴/۹	E	۴/۶	E	۴/۷
۱۳۹۸	بهار	E	۴/۷	E	۵/۷	E	۴/۷	E	۴/۵	E	۴/۹
	تابستان	E	۴/۲	E	۵/۴	E	۵/۰	E	۴/۳	E	۴/۷
	پاییز	E	۴/۳	E	۵/۷	E	۴/۸	E	۵/۰	E	۵/۰
	زمستان	E	۴/۱	E	۴/۶	E	۵/۰	E	۴/۸	E	۴/۶

M : مزوتروفیک E : یوتروفیک

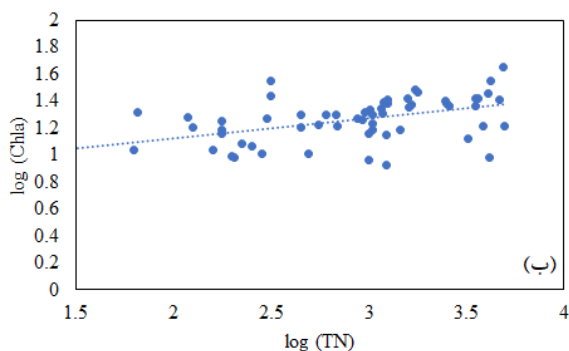
تجزیه و تحلیل عاملی پارامترهای کیفی آب

برای ارزیابی روابط بین ۱۳ پارامتر کیفیت آب از ضریب همبستگی پیرسون (جدول ۶) و تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی امکان استفاده از یک توصیف ریاضی از شباهت را برای گروه‌بندی تعدادی از معیارها در یک نمونه یا بین نمونه‌های مختلف فراهم می‌کند. محققین در استفاده از این روش برای طبقه‌بندی نمونه‌های آب تجربه‌های موفق داشته‌اند (Chadli and Boufala, 2021; Tiri et al., 2017). در این مطالعه برای اندازه‌گیری شباهت از روش Ward استفاده گردید این تکنیک برای پیوند، متمایزترین گروه‌ها را به‌نحوی ایجاد می‌کند که در آن هر عضو در گروه بیشتر شبیه اعضای دیگر گروه است تا اعضای خارج از گروه. همان‌گونه که انتظار می‌رفت رابطه منفی قوی میان DO با WT ($r = -0.70$) وجود دارد. در واقع افزایش دما موجب کاهش انحلال گاز اکسیژن در آب می‌گردد (Post et al., 2018). همچنین، DO با COD و مواد مغذی NO_2 ، TN و TP همبستگی معنادار و منفی داشت.

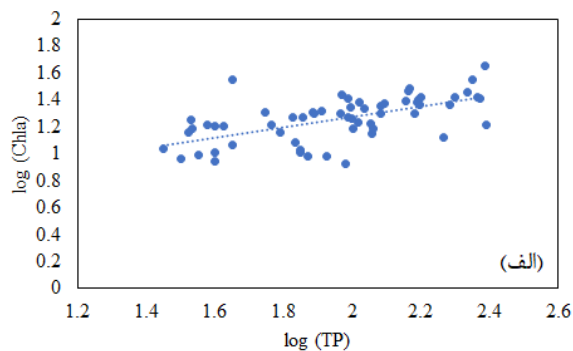


شکل ۳- دندوگرام پارامترهای کیفی آب دخیل در وضعیت تغذیه‌ای مخزن سد علویان

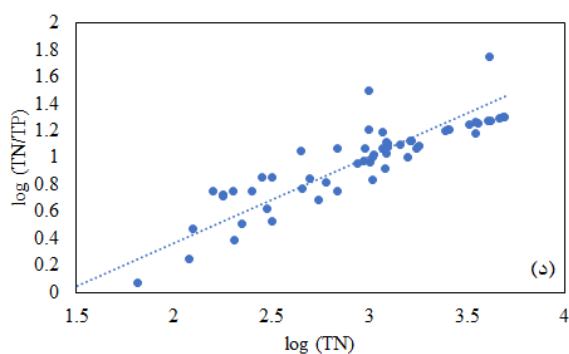
$$\log(\text{Chla}) = 0.145 \cdot \log(\text{TN}) + 0.844, R^2 = 0.41$$



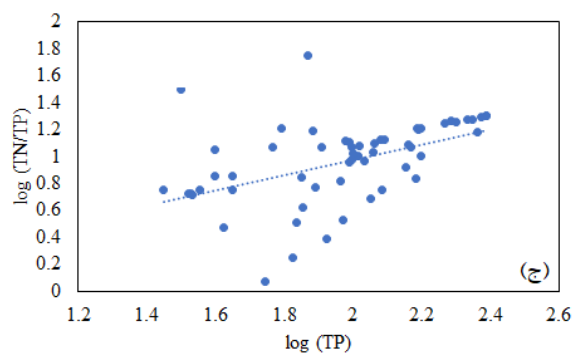
$$\log(\text{Chla}) = 0.385 \cdot \log(\text{TP}) + 0.512, R^2 = 0.36$$



$$\log(\text{TN}/\text{TP}) = 0.65 \log(\text{TN}) - 0.92; R^2 = 0.51$$



$$\log(\text{TN}/\text{TP}) = 0.56 \log(\text{TP}) - 0.15; R^2 = 0.12$$



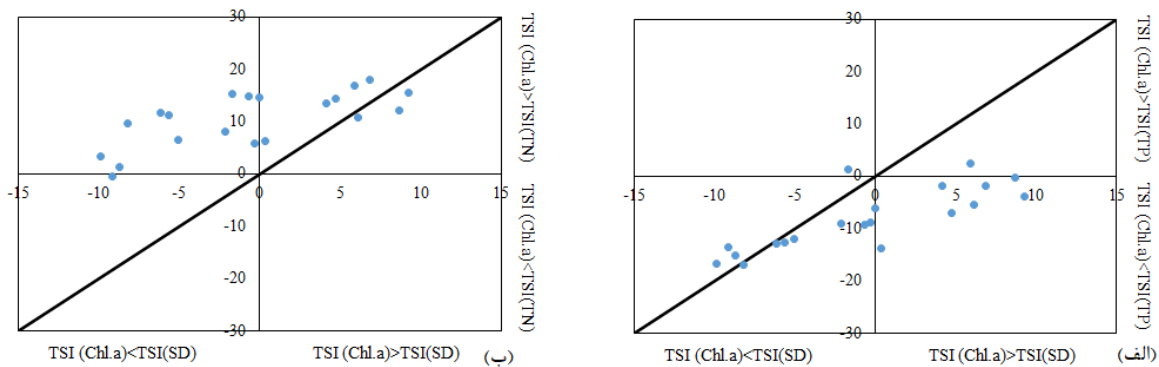
شکل ۴- تجزیه و تحلیل رگرسیون (الف) بین TP و Chl-a؛ (ب) بین TN و Chl-a؛ (ج) بین TP و TN/TP و (د) بین TP و TN/TP

انحراف شاخص حالت تغذیه‌ای

در شکل (۵) نمودارهای انحراف شاخص حالت تغذیه‌ای برای دوره مورد مطالعه رسم شده است. با بررسی شکل (۵-الف) دیده می‌شود که به‌طور تقریبی در همه فصل‌ها شرایط $\text{TSI}(\text{Chl}) < \text{TSI}(\text{TP})$ برقرار است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در دریاچه سد علویان فسفر عامل محدودکننده تولید فیتوپلانکتون‌ها نمی‌باشد. برخی عوامل مانند نیتروژن و یا چرای زوپلانکتونها می‌تواند زیست‌توده جلبک را محدود کند. به‌منظور تعیین دقیق‌تر عامل محدودکننده تغذیه‌گرایی مقادیر TSI دو ماده مغذی اصلی بررسی گردید. مقادیر میانگین فصلی

TSI(TN)- TSI(TP) در دامنه ۱۲/۳- در زمستان ۱۳۹۸ تا ۲۶/۵- در پاییز ۱۳۹۴، با مقدار میانگین ۱۸/۵- متغیر است. از طرفی دیگر در شکل (۵-ب) می‌توان دید شرایط $TSI(Chl) > TSI(TN)$ برقرار است. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت نیتروژن می‌تواند مهمترین عامل محدودکننده تغذیه‌گرایی در این دریاچه باشد. تحقیقات Bilgin (2020) با روش انحراف شاخص حالت تغذیه‌ای بر روی دریاچه سد بورشکا در ترکیه نشان داد در همه نمونه‌ها $TSI(Chl) > TSI(TP)$ ، $TSI(TP)$ و $TSI(TN)$ کوچکتر است. بنابراین نتیجه گرفت که مواد مغذی (TP یا TN) عوامل کلیدی محدود کننده کارایی بیولوژیکی دریاچه سد نیستند. علاوه بر این در تحقیق حاضر از آنجاکه TN/TP در دامنه ۴/۹ الی ۱۳/۰ با مقدار میانگین ۸/۸ متغیر است، تأکید می‌کند که TN عامل محدودکننده تولید اولیه می‌باشد (Seip *et al.*, 2000; Cunha *et al.*, 2021). بنابراین جهت حفظ کیفیت آب دریاچه اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی در راستای کنترل مصرف کود در اراضی کشاورزی بالادست جهت محدود کردن نیتروژن ورودی به آبراهه‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

نتیجه دیگری که از شکل (۵) می‌توان گرفت این است که باتوجه به شکل می‌توان دید در فصل‌های بهار و تابستان جلبک‌ها عامل تضعیف و کاهش نور هستند. این در حالی است که در فصل‌های پاییز و زمستان $TSI(Chl) < TSI(TP)$ می‌باشد و ذرات کوچک که لزوماً جلبک نیستند بر تضعیف نور غالب هستند. یعنی عامل کدورت غیرجلبکی در کنار رشد جلبک‌ها می‌تواند مانع از رسیدن نور به لایه‌های پایین‌تر باشد و رشد فیتوپلانکتون‌ها را با اختلال مواجه کند. (Abedini *et al.*, 2018) نیز پس از بررسی وضعیت تغذیه‌گرایی تالاب‌انزلی اعلام نمودند افزایش کدورت آب تالاب به دلیل زیست‌توده پلانکتونی و گل‌آلودگی می‌باشد. باتوجه به شرایط خاص دریاچه از نظر رسوبات تجمع یافته در ورودی دریاچه در برنامه‌ریزی پروژه‌های کاهش ذرات غیرجلبکی برای کنترل کدورت آب می‌بایست با احتیاط برخورد نمود.



شکل ۵- انحراف TSI های فصلی برای مخزن سد علویان بر اساس (الف) انحراف TSI (TP) و (ب) انحراف TSI (TN)

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر مطالعه کیفیت آب و وضعیت تغذیه‌گرایی دریاچه سد علویان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این مطالعه به شرح زیر می‌باشد. بررسی شاخص‌های TSI و TLI در دوره آماری ۱۳۹۴ الی ۱۳۹۸ مبین شرایط مغذی مخزن سد می‌باشد و روند افزایشی قابل مشاهده‌ای بر سیستم حاکم است. در نهایت این دریاچه در سال ۱۳۹۸ با میانگین شاخص TSI کل و TLI کل به ترتیب برابر ۵۳/۵ و ۴/۶ در سطح یوتروفیک رده‌بندی می‌شود. در بهار و تابستان TN و در پاییز TP سهم آشکارتری در بروز پدیده داشتند و به طور کلی در تابستان شرایط مخزن بهتر و در فصل پاییز حادتر ارزیابی گردید. همچنین برقراری رابطه تجربی $\log(TN/TP)$ با $\log(TN)$ و $\log(TP)$ به ترتیب ضریب همبستگی‌های ۰/۵۱ و ۰/۱۲ را نتیجه می‌دهد که مبین اهمیت بالاتر نیتروژن در تعیین وضعیت تغذیه‌ای مخزن می‌باشد. نتیجه تجزیه و تحلیل خوشه‌ای پارامترهای کیفی آب نشان می‌دهد کلروفیل.آ با نیتروژن کل و در مرحله بعد با فسفر کل در یک شاخه قرار می‌گیرند. بررسی انحراف شاخص حالت تغذیه‌ای نشان می‌دهد افزایش کدورت آب دریاچه سد علویان به دلیل دو عامل کدورت غیرجلبکی و زیست‌توده فیتوپلانکتون‌ها است. عوامل غالب در تضعیف نور در فصل پاییز کدورت غیرجلبکی ناشی از چرخش داخلی آب مخزن و در فصل تابستان افزایش تولیدات جلبک‌ها می‌باشند. براساس نتایج مطالعه حاضر رواناب آلوده به کودهای کشاورزی مهمترین عوامل تأثیرگذار بر تغذیه‌گرایی شناخته شد. بدین ترتیب انجام تحقیقات سیستماتیک برای به دست آوردن مدیریت پایدار اکوسیستم دریاچه ضروری به نظر می‌رسد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Abedini, A., Mirzajani, A. and Fallahi, M. (2018). Physicochemical conditions and trophic levels of the Anzali Wetland. *Iranian Fisheries Science Journal*, 26 (6), 113-123. (In Farsi)
- Abell, J. M., Özkundakci, D. and Hamilton, D. P. (2010). Nitrogen and phosphorus limitation of phytoplankton growth in New Zealand lakes: implications for eutrophication control. *Ecosystems.*, 13(7), 966-977. DOI: 10.1007/s10021-010-9367-9
- Agbeko, E., Adjei-Boateng, D., Agbo, N. W. and Agyemang, T. K. (2019). Trophic Status and Development of Aquaculture Management Areas (AMAs) For the two Major Reservoirs: Tono and Vea, in the Upper East Region of Ghana. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 10(563), 2. DOI: 10.4172/2155-9546.1000563
- Aghajanloo, K. and Asadi, Ali. (2021). Numerical simulation of Alavian Dam reservoir water quality with CE-QUAL-W2 software. *Journal of Wetland Ecobiology*. (In Press).
- Aghajanloo, K. (2021). Investigation of temporal changes in Alavian Dam reservoir water quality using WQI index, In: Proceedings of 19th Iranian Hydraulic Conference, 15-16 Feb., Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Farsi)
- Amini, S. and Ahmadi Nadoushan, M. (2019). Monitoring of the trophic state in Amirklayeh Wetland in order to management and protection. *Journal of Animal Environment*, 11(4), 345-350. (In Farsi)
- Bilgin, A. (2020). Trophic state and limiting nutrient evaluations using trophic state/level index methods: a case study of Borçka Dam Lake. *Environmental Monitoring Assessment*, 192(12).
- Burns N.M., Rutherford, J. C. and Clayton, J. S. (1999). A monitoring and classification system for New Zealand lakes and reservoirs. *Lake and Reservoir Management*, 15, 255-271.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22(2), 361-369.
- Carlson, R.E. and Havens, K.E. (2005). Simple graphical methods for the interpretation of relationships between trophic state variables. *Lake and Reservoir Management*, 21(1), 107-118.
- CCME, (2006). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life. Summary table. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Manitoba.
- Chadli, K. (2021). Assessment of water quality using Moroccan WQI and multivariate statistics in the Sebou watershed (Morocco). *Arabian Journal of Geosciences*, 14(1), 1-13.
- Cunha, D.G.F., Calijuri, M.C. and Lamparelli, M.C. (2013). A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI_{tr}). *Ecological Engineering*, 60, 126-134.
- Cunha, D.G.F., Finkler, N.R., Lamparelli, M.C., Calijuri, M.D.C., Dodds, W.K. and Carlson, R.E. (2021). Characterizing Trophic State in Tropical/Subtropical Reservoirs: Deviations among Indexes in the Lower Latitudes. *Environmental Management*, 68(4), 491-504.
- Dehghannezhad, R., Zamani-Ahmadmoodi, R., Shaluei, F. and Gharahi, N. (2019). Study of the trophic status of Choghakhor wetland using a trophic state index, in Chaharmahal and Bakhtiari Province, Iran. *Wetland Ecobiology*, 11(3), 5-14. (In Farsi)
- Dubey, D. and Dutta, V. (2020). Nutrient enrichment in lake ecosystem and its effects on algae and macrophytes. *Environment, Development and Sustainability*, 81-126. Springer, Singapore.
- Fallah, M., Ebrahimi, E. and Pirali, A. (2018). Investigation of the trophic state of Anzali International Wetland, using TSI. *Iranian Water Researches Journal*, 12(1). (In Farsi)
- Hickey, C.W. and Gibbs, M.M. (2009). Lake sediment phosphorus release management—decision support and risk assessment framework. *New Zealand. Marine and Freshwater Research*, 43(3), 819-856. DOI:10.1080/00288330909510043
- Kratzer, C.R. and Brezonik, P.L. (1981). A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Journal of the American Water Resources Association*, 17(4), 713-715.
- Liu, H., Pan, D. and Chen, P. (2016). A two-year field study and evaluation of water quality and trophic state of a large shallow drinking water reservoir in Shanghai, China. *Desalination and Water Treatment*, 57(29), 13829-13838.
- Liu, X., Zhang, G., Sun, G., Wu, Y. and Chen, Y. (2019). Assessment of lake water quality and eutrophication risk in an agricultural irrigation area: a case study of the Chagan Lake in Northeast China. *Water*, 11(11), 2380.
- Mamun, M., Kim, J. Y. and An, K. G. (2020). Trophic responses of the Asian reservoir to long-term seasonal and interannual dynamic monsoon. *Water*, 12(7), 2066.
- Matthews, R., Hilles, M. and Pelletier, G. (2002). Determining trophic state in Lake Whatcom, Washington



- (USA), a soft water lake exhibiting seasonal nitrogen limitation. *Hydrobiologia*, 468(1), 107-121.
- Li, M., Dong, J., Yang, H., Van Zwieten, L., Lu, H., ... and Jiang, X. (2021). A Critical Review of Methods for Analyzing Freshwater Eutrophication. *Water*, 13, 225. DOI:10.3390/w13020225
- Post, C.J., Cope, M.P., Gerard, P.D., Mastro, N.M., Vine, J.R., Stiglitz, R.Y., Hallstrom, J.O., Newman, J.C., Mikhailova, E.A., 2018. Monitoring spatial and temporal variation of dissolved oxygen and water temperature in the Savannah River using a sensor network. *Environmental Monitoring Assessment*, 190, 272.
- Seip, K. L., Jeppesen, E., Jensen, J. P. and Faafeng, B. (2000). Is trophic state or regional location the strongest determinant for Chl-a/TP relationships in lakes?. *Aquatic Science*, 62(3), 195-204.
- Shi, P., Zhang, Y., Li, Z., Li, P. and Xu, G. (2017). Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. *Catena*, 151, 182-190. DOI:10.1016/j.catena.2016.12.017.
- Tiri, A., Lahbari, N., & Boudoukha, A. (2017). Assessment of the quality of water by hierarchical cluster and variance analyses of the Koudiat Medouar Watershed, East Algeria. *Applied Water Science*, 7(8), 4197-4206.
- Varol, M. (2020). Use of water quality index and multivariate statistical methods for the evaluation of water quality of a stream affected by multiple stressors: A case study. *Environmental Pollution*, 266, 115417.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. Gulf Professional Publishing.
- WHO. (2004). *World Health Organization, Guidelines for drinking- water quality*, 3rd Edition, World Health Organization (WHO) Geneva.
- Zhang, J., Li, S., Dong, R., Jiang, C. and Ni, M. (2019). Influences of land use metrics at multi-spatial scales on seasonal water quality: a case study of river systems in the Three Gorges Reservoir Area, China. *Journal of Cleaner Production*, 206, 76-85. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.09.179