



بررسی وضعیت تروفي تالاب میانکاله با استفاده از شاخص TSI و TRIX

مریم میرهاشمی^۱، علی شاهنظری^{۱*}، کامران نصیر احمدی^۲

۱- گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵
بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹
پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۳
ارائه آنلاین: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳

کلمات کلیدی:

آلودگی
اکوسیستم آبی
تغذیه‌گرایی
کیفیت آب
مواد مغذی

خلاصه: مطالعه حاضر با هدف بررسی خصوصیات کیفی آب و وضعیت تغذیه‌گرایی تالاب میانکاله با استفاده از شاخص تروفي کارلسون (TSI) و TRIX انجام گرفته است. اندازه‌گیری پارامترهای ۶ فصل و ۸ دوره نمونه‌برداری در ۶ ایستگاه دهنه‌چقلی، بندر گز، قره‌سو، گلگاه، اسماعیل‌سای و میان‌قلعه انجام شده است. براساس نتایج ارائه شده ایستگاه‌های دهنه‌چقلی، قره‌سو، به‌ترتیب بیش‌ترین مقادیر فسفات (۰/۱۲ mg/l)، نیترات (۱۱/۰۴ mg/l)، کم‌ترین (۸۷ DO mg/l) و بیش‌ترین BOD (mg/l) (۱۴/۷۷) را به‌خود اختصاص داده‌اند که حاکی از وضعیت نامطلوب تالاب از نظر کیفی می‌باشد. محاسبه شاخص (TSI) براساس (TP) نشان می‌دهد که تالاب میانکاله در چهار ایستگاه دهنه‌چقلی، قره‌سو، گلگاه و میان‌قلعه در شرایط هایپرتروفیک (۷۰-۸۰) و در ایستگاه‌های بندرگز و اسماعیل‌سای در شرایط یوتروفیک (۶۰-۷۰) قرار دارد. از طرفی براساس (TN) به جز ایستگاه گلگاه که در شرایط هایپرتروفیک (۷۰-۸۰) قرار دارد، بقیه ایستگاه‌ها در شرایط هایپرتروفیک حاد (۸۰-۱۰۰) می‌باشند. همچنین براساس (P/N) تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه تالاب میانکاله در شرایط مزوتروفیک خفیف (۳۰-۴۰) قرار دارند. به‌طور کلی براساس شاخص TSI کل (۶۲/۲۹)، وضعیت تالاب در محدوده یوتروفیک (۶۰-۷۰) می‌باشد. نتایج به‌دست آمده برای TRIX نشان می‌دهد که دو ایستگاه دهنه‌چقلی و گلگاه در محدوده مزوتروفیک (۴-۵) و بقیه ایستگاه‌ها در محدوده الیگوتروفیک (۲-۴) قرار می‌گیرند که حاکی از وضعیت نامطلوب تالاب از نظر تروفي می‌باشد. عامل اصلی این شرایط تخلیه فاضلاب‌ها و زه‌آب‌های خروجی از واحدهای مختلف در حاشیه تالاب که حاوی مقادیر زیادی ترکیبات نیترات و فسفات هستند، می‌باشد.

پدیده تغذیه‌گرایی می‌باشد. تغذیه‌گرایی^۱ شرایطی در یک اکوسیستم آبی است که در آن غلظت بالای مواد مغذی موجب برانگیختن شکوفایی جلبکی می‌شود. در واقع مشخصه‌ی این پدیده شکوفایی جلبک سبز یا سبز آبی غالباً با بوی ناخوشایند و کاهش شدید اکسیژن محلول می‌باشد. این پدیده یکی از مسائل متداول در مدیریت کیفی پیکره‌های آبی است [۱].

امروزه زوال کیفیت منابع آب توسط پدیده تغذیه‌گرایی به‌دلیل ورود بیش از حد مواد مغذی بزرگترین تهدید برای کیفیت آب و بهداشت سیستم‌های آبی است. رشد سریع جمعیت افزایش مصرف انرژی و فعالیت‌های متنوع بشری موجب تسریع در غنی شدن اکوسیستم‌های آبی از مواد مغذی می‌شود. افزایش غلظت مواد مغذی می‌تواند منجر به رشد گیاهان آبی و شکوفایی جلبکی گردیده و اثرات نامطلوب زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی را با خود به همراه آورد [۲]. نیتروژن و فسفر از مهمترین عوامل موثر بر غنی

۱- مقدمه

آب عنصر اصلی بوم‌سازگان‌های تالابی است و هرگونه تغییر در مقدار و کیفیت فیزیکی و شیمیایی آن به‌طور مستقیم بر ویژگی‌های بوم‌شناختی و روابط عناصر زنده و غیرزنده بوم‌سازگان تأثیر می‌گذارد. فعالیت‌های انسانی در حاشیه تالاب، از قبیل کشاورزی، ایجاد صنایع در حریم تالاب، جاده‌سازی و خطوط حمل و نقل شهری و بین شهری، مناطق مسکونی و... منجر به نفوذ مواد آلی، فلزات سنگین، گل و رسوبات به داخل تالاب، شور شدن خاک اطراف تالاب، خاک‌کوبی و... می‌شود. این امر علاوه‌بر تخریب تالاب به‌عنوان یک زیستگاه، آثار سوء زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی فراوانی به همراه دارد. یکی از پدیده‌های نامطلوبی که در آب‌های سطحی به خصوص تالاب‌ها و دریاچه‌ها به دلیل رشد بیش از حد جلبک‌ها رخ می‌دهد،

1 Euttrification

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: aliponh@yahoo.com

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس <https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode> دیدن فرمائید.



شدن و آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشند. افزایش این عناصر باعث تشدید رشد جلبک‌ها شده، میزان اکسیژن آب را کاهش داده و تالاب را به مرحله مغذی نزدیک کرده و در نهایت از بین می‌برد. بنابراین با توجه به آثار سو این پدیده بر پیکره آبی و اکوسیستم منطقه باید به‌طور جدی مورد توجه مدیران و برنامه ریزان قرار گیرد [۳].

تعیین وضعیت و روند تروپی یک تالاب، اولین قدم برای توصیف شرایط عوامل غیرزنده و موجودات زنده آن می‌باشد. به وسیله تعیین وضعیت و روند غذایی یک پیکره آبی می‌توان شرایط آن را در آینده پیش‌بینی و نیاز به هرگونه اقدام را نیز آشکار نمود. متداول‌ترین و آسان‌ترین شیوه تعیین تروپی یک اکوسیستم آبی محاسبه شاخص تروپی آن بر اساس غلظت مواد مغذی و تولیدات گیاهی می‌باشد. یکی از معتبرترین مدل‌های بررسی وضعیت تروپی تالاب‌ها توسط Carlson (1976) ارائه شده و به شاخص تروپی TSI معروف است. در این شاخص طبقه‌بندی درجات تغذیه‌گرایی بر مبنای غلظت مواد مغذی و کلروفیل-a، شفافیت آب و شرایط اکسیژنی نزدیک بستر انجام می‌گیرد [۴]. مطالعات گسترده‌ای در ایران و سایر نقاط جهان برای ارزیابی وضعیت تروپی اکوسیستم‌های آبی با استفاده از این شاخص صورت گرفته است. که در ادامه به برخی از این مطالعات پرداخته می‌شود.

مخلوق و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی وضعیت کیفیت آب سد سنندج با استفاده از شاخص‌های کیفیت آب ایران (IRWQI) و شاخص سطح تروفیکی کارلسون (TSI) در پنج ایستگاه اندازه‌گیری پرداختند. براساس نتایج این پژوهش سطح تغذیه‌گرایی مخزن بر مبنای کلروفیل a در ایستگاه‌های مختلف مزوتروف بود در حالی که براساس سایر فاکتورها مانند فسفر، شفافیت و در صد اشباع اکسیژن در حالت یوتروف. یا هایپرتروف بود. میانگین شاخص کارلسون سطح تغذیه‌گرایی را در حالت مزوتروف (کیفیت خوب) و براساس شاخص کیفیت آب ایران این مخزن در طبقه بسیار خوب قرار داد [۵]. هویبین و همکاران در سال ۲۰۱۱، از شاخص تغذیه‌گرایی کارلسون جهت بررسی وضعیت کیفی دریاچه چوهاو استفاده کردند. نتایج نشان داد که شرق دریاچه در وضعیت مزوتروف بوده درحالی‌که غرب آن به علت ورود مقادیر زیاد انواع آلاینده صنعتی و فاضلاب‌های شهری و صنعتی وضعیت یوتروف دارد [۶]. سیگنیا و همکاران در سال ۲۰۱۶ وضعیت تغذیه‌گرایی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی دریاچه سد فیما در برزیل را مورد مطالعه قرار دادند و با استفاده از خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب دریاچه از طریق شاخص تغذیه‌گرایی کارلسون سطح تغذیه‌گرایی دریاچه را در حالت یوتروف تعیین کردند [۷].

شاخص TRIX^۱ نیز یکی از شاخص‌های پرکاربرد ارزیابی شرایط تروپی به‌خصوص در اکوسیستم‌های ساحلی می‌باشد. شاخص مقیاسی تریکس TRIX توسط ولن ویدر و همکارانش در اسل ۱۹۹۸ برای ارزیابی شرایط تغذیه‌گرایی آب‌های ساحلی آدریاتیک پیشنهاد گردید [۸]. در تعداد زیادی از مطالعات خارجی و خیلی محدود در مطالعات داخلی برای بررسی شرایط تغذیه‌گرایی اکوسیستم‌های ساحلی از این شاخص استفاده شده است. مهمت صالحی در سال ۲۰۱۳ به بررسی وضعیت تغذیه‌گرایی منطقه Cili-cian شمال غربی مدیترانه با استفاده از شاخص تریکس پرداخت. نتایج نشان داد که این منطقه در محدوده مزوتروف قرار دارد. اعمال مدیریت صحیح فاضلاب‌های ورودی به این منطقه می‌تواند مانع از تشدید شرایط تروپی آن شود [۹]. بیجوی ناندان و همکاران در سال ۲۰۱۴ وضعیت تروپی بخشی از سواحل شمال غربی هندوستان را با شاخص TRIX مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده قرار گرفتن بخش‌هایی از این منطق در وضعیت هایپر تروپی می‌باشد [۱۰]. سراجی در سال ۲۰۱۴ در تحقیقی شرایط تروپی سواحل عمان در آب‌های ایرانی محدوده استان هرمزگان را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد که بیشتر نواحی این منطقه در شرایط متوسط تا خوب تروپی قرار دارند [۱۱].

تالاب میانکاله یکی از تالاب‌های بین‌المللی شناخته شده در کشور به شمار می‌رود. که از نظر زیستگاه حیات وحش و تاثیراتی که بر وضعیت اجتماعی و اقتصادی مردم منطقه می‌گذارد از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی منجر به کاهش سطح آب تالاب شده است. از طرف دیگر توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در محدوده تالاب و تخلیه پساب این فعالیت‌ها در محیط تالاب منجر به کاهش کیفیت آب آن شده است. زه‌آب اراضی کشاورزی و فاضلاب‌های صنعتی منبع اصلی عناصر فسفر و نیتروژن می‌باشند. تداوم روند تخلیه فاضلاب‌های کشاورزی و صنعتی در محیط تالاب میانکاله با توجه به کاهش حجم آب تالاب بر اثر تغییرات اقلیم منجر به افزایش غلظت عناصر فسفر و نیتروژن به‌عنوان مهم‌ترین عوامل موثر بر پدیده تغذیه‌گرایی در تالاب می‌شود. لذا ارزیابی وضعیت تغذیه‌گرایی تالاب، شناسایی عوامل موثر بر این پدیده و ارائه راهکارهای مدیریتی برای جلوگیری از تشدید شرایط تالاب امری ضروری به‌شمار می‌رود. به‌همین منظور هدف از پژوهش حاضر نیز ارزیابی شرایط تغذیه‌گرایی تالاب میانکاله با استفاده از شاخص TSI و TRIX می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت تالاب میانکاله

Fig. 1. Location of Miankaleh wetland

زیست استان مازندران می‌باشد. اندازه‌گیری پارامترهای مذکور طی ۶ فصل و ۸ دوره نمونه‌برداری در ۶ ایستگاه دهنه‌چقلی، بندر گز، قره‌سو، گلوگاه، اسماعیل‌سای و میان‌قلعه انجام شده است. در بین پارامترهای مورد نیاز برای ارزیابی شاخص‌های TSI و TRIX اندازه‌گیری پارامتر کلروفیل a با محدودیت همراه بوده است. موقعیت و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در محیط تالاب به ترتیب در «شکل ۲» و «جدول ۱» ارائه شده‌اند.

۲-۱-۱- محاسبه شاخص TSI

به منظور بررسی وضعیت تغذیه‌گرایی تالاب، از شاخص تروفی کارلسون استفاده گردید. این شاخص توسط کارلسون در سال ۱۹۷۷ به منظور تعیین وضعیت تروفی دریاچه‌های آب شیرین ابداع شده است. مقدار این شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ است و در تعیین وضعیت تروفی با استفاده از شاخص TSI، دریاچه‌ها و محیط‌های آبی به چهار طبقه الیگوتروف، مزوتروف، یوتروف و هایپرتروف طبقه‌بندی می‌شوند «جدول ۲». بنابراین مقادیر پایین TSI بیانگر یک بدنه آبی الیگوتروف و مقادیر بالای TSI بیانگر وضعیت یوتروف دریاچه است. براساس مدل کارلسون با استفاده از میزان غلظت فسفات کل، نیتروژن کل و کلروفیل a- می‌توان سطح تروفی اکوسیستم‌های

۲- مواد و روش

ذخیره‌گاه زیست‌کره میانکاله با مساحتی در حدود ۶۸۸ کیلومتر مربع در منتهی‌الیه جنوب شرقی دریای خزر از شهرستان نکا به طرف شرق پیشروی داشته و در مختصات جغرافیایی $50^{\circ} 24' 53''$ تا $20^{\circ} 1' 54''$ طول شرقی و $36^{\circ} 24' 49''$ تا $36^{\circ} 45' 56''$ عرض شمالی با طول ۴۰ کیلومتر واقع شده است. این منطقه با وسعت ۶۸۸۰۰ هکتار تقریباً معادل ۲/۸۵ درصد مساحت استان مازندران را تشکیل می‌دهد. که بیش از ۷۳ / ۴۶ درصد آن را بوم سازگان‌های آبی خلیج میانکاله تشکیل می‌دهد. رودخانه‌های دائمی که به تالاب می‌ریزند شامل دو رودخانه قره‌سو و گز هستند. کاربری‌های اراضی حاشیه تالاب شامل: تاسیسات و ابنیه صید و صیادی و شیلات، اماکن شهری، اراضی کشاورزی، اماکن توریستی، تجاری و صنعتی می‌باشد [۱۲]. موقعیت تالاب میانکاله در «شکل ۱» ارائه شده است.

۲-۱- جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز

به منظور ارزیابی وضعیت تغذیه‌گرایی تالاب میانکاله با استفاده از شاخص TSI و TRIX اندازه‌گیری پارامترهای فسفات، نیتروژن کل، کلروفیل a و اکسیژن محلول ضروری می‌باشد. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه این شاخص‌ها شامل داده‌های اندازه‌گیری شده توسط اداره کل حفاظت محیط



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Fig. 2. Location of sampling stations

جدول ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری در تالاب میانکاله

Table 1. Geographical coordinates of sampling stations in Miankaleh wetland

ردیف	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی
۱	گلوگاه	۳۶° ۴۷' ۴۰" ۵۳° ۴۷' ۴۸"
۲	بندگز	۳۶° ۴۷' ۴۹" ۵۳° ۵۷' ۰۰"
۳	قره‌سو	۳۶° ۵۰' ۲۰" ۵۴° ۰۱' ۵۴"
۴	دهنه‌چپقلی	۳۶° ۵۵' ۵۵" ۵۴° ۰۲' ۱۷"
۵	میان قلعه	۳۶° ۵۱' ۵۹" ۵۳° ۴۹' ۱۱"
۶	اسماعیل‌سای	۳۶° ۴۹' ۳۷" ۵۳° ۳۸' ۰۱"

جدول ۲. تقسیم‌بندی استاندارد شاخص تغذیه‌گرایی [TSI]۱۴.

Table 2. Standard classification of TSI nutritional index [14]

محدوده TSI	کلاس کیفی آب
۰-۳۰	الیگوتروفیک
۳۰-۴۰	مزوتروفیک خفیف
۴۰-۵۰	مزوتروفیک
۵۰-۶۰	مزوتروفیک حاد
۶۰-۷۰	یوتروفیک
۷۰-۸۰	هایپر تروفیک
۸۰-۱۰۰	هایپر تروفیک حاد

۲-۱-۲- محاسبه شاخص TRIX

شاخص TRIX یکی از شاخص‌های مهم و رایج مورد استفاده برای ارزیابی وضعیت تروفیکی اکوسیستم‌های آبی بخصوص در سواحل است. پارامترهای این شاخص عبارتند از: میزان کرومیل - a (میلی‌گرم بر متر مکعب)، درصد کمبود اکسیژن از اکسیژن اشباع و پارامترهای کلی تغذیه‌ای شامل نیترات و فسفات کل (میلی‌گرم بر متر مکعب)، که بر اساس رابطه (۶) محاسبه می‌شود [۱۷].

$$TRIX = \frac{K}{n} \times \sum \left(\frac{M_i - L_i}{U_i - L_i} \right) \quad (6)$$

در رابطه فوق: M_i مقدار اندازه‌گیری شده از پارامتر موردنظر، U_i مقدار بیشینه، L_i مقدار کمینه پارامتر و n تعداد پارامترها است. مقادیر TRIX بین ۰ و K است. در این شاخص جهت نرمال‌سازی توزیع داده‌ها از تبدیل لگاریتمی استفاده می‌گردد و شکل معادله اصلی شاخص به صورت زیر است (رابطه ۷).

$$TRIX = \frac{K}{n} \times \sum \left(\frac{\log M_i - \log L_i}{\log U_i - \log L_i} \right) \quad (7)$$

تالابی را پیش‌بینی نمود [۱۳]. به منظور محاسبه این شاخص براساس مقادیر فسفات کل (TP)، نیترات کل (TN) و نسبت فسفات به نیترات (PN) از رابطه (۱) تا (۵) استفاده می‌شود [۱۶ و ۱۵]. در این معادلات نیترات کل برحسب میلی‌گرم در لیتر و فسفات کل برحسب میکروگرم در لیتر است. در جدول «جدول ۲» محدوده تغییرات این شاخص ارائه شده است.

$$TSI (TP) = 14.42 \ln(TP) + 4.15 \quad (1)$$

$$TSI (TN) = 14.43 \ln(TN) + 54.45 \quad (2)$$

$$TSI (PN) = 9.81 \ln(10^{PN}) + 30 \quad (3)$$

$$\log(pn) = 1.25 LOG_{XPN} \quad (4)$$

$$XPN = \left[P^{-2} \left[\frac{N - 150}{12} \right]^{-2} \right] - 0.05 \quad (5)$$

جدول ۳. طبقه بندی وضعیت تروفیکی براساس شاخص TRIX [۸].

Table 3. Classification of trophic status based on TRIX index [8]

محدوده شاخص TRIX	نوع سیستم	وضعیت تروفی
۴-۲	الیگوتروفیک	خوب
۵-۴	مزوتروفیک	متوسط
۶-۵	متوسط (مزو-یوتروف)	فقیر
۸-۶	یوتروفیک	بد

تروفی و ارزیابی میزان اثر هر یک از عوامل موثر بر آن از مهم ترین ابزار اعمال مدیریت و حفظ کیفیت پیکره های آبی محسوب می شود. در این بخش ابتدا مقادیر اندازه گیری شده پارامترهای فسفات، نیتروژن کل، DO و BOD با مقادیر مجاز این پارامترها مقایسه و تحلیل می شود. در بخش دوم و سوم به نتایج حاصل از محاسبه شاخص های TRIX و TSI پرداخته می شود.

۳-۱- نتایج تحلیل پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

به منظور مقایسه پارامترهای اندازه گیری شده با مقادیر مجاز در تالاب از «جدول ۴» استفاده شده است. رسم کلیه نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel 2013 صورت گرفته است. نتایج حاصل از اندازه گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی تالاب میانکاله براساس مقادیر میانگین پارامترها در «شکل ۴» ارائه شده است.

شکل (۳) مقادیر میانگین اندازه گیری شده پارامترهای فسفات کل، نیتروژن کل، DO و BOD را در ۶ ایستگاه مورد مطالعه نشان می دهد. همان گونه که در نمودار قابل مشاهده است، بیشترین مقدار (۰/۱۲ mg/l) فسفات مربوط به ایستگاه دهنه چپلی و کمترین مقدار (۰/۰۹ mg/l) فسفات مربوط به ایستگاه بندرگز می باشد. علت بالا بودن مقدار فسفات در ایستگاه دهنه چپلی می تواند به علت تخلیه پساب و فاضلاب مراکز تجاری و زه آب اراضی کشاورزی موجود در حاشیه این ایستگاه به محیط تالاب باشد. فسفات مربوط به ایستگاه بندرگز می باشد. میزان استاندارد فسفات در

برای دریای آدریاتیک مقدار تقریبی دامنه همه پارامترها (Log Ui- (LogLi برابر ۳، مقدار K برابر ۱۰ و تعداد پارامترها نیز ۴ است؛ که با جایگزین کردن این مقادیر در رابطه (۷) خواهیم داشت.

$$TRIX = \frac{K}{n} \times \left(\frac{\log(chla \times a\%D \times N \times PO_4)}{1.2} - \frac{(chla_{min} \times a\%D_{min} \times N_{min} \times PO_{4min})}{1.2} \right) \quad (8)$$

در نهایت، شاخص به صورت زیر پیشنهاد شده است (رابطه ۹).

$$\log(chla_{min} \times a\%D_{min} \times N_{min} \times PO_{4min}) = -1.5 \quad (9)$$

این شاخص به صورت عددی از ۰ تا ۸ مقیاس گذاری شده و محدوده وسیعی از شرایط تروفیکی از الیگوتروف تا یوتروف را پوشش می دهد «جدول ۳».

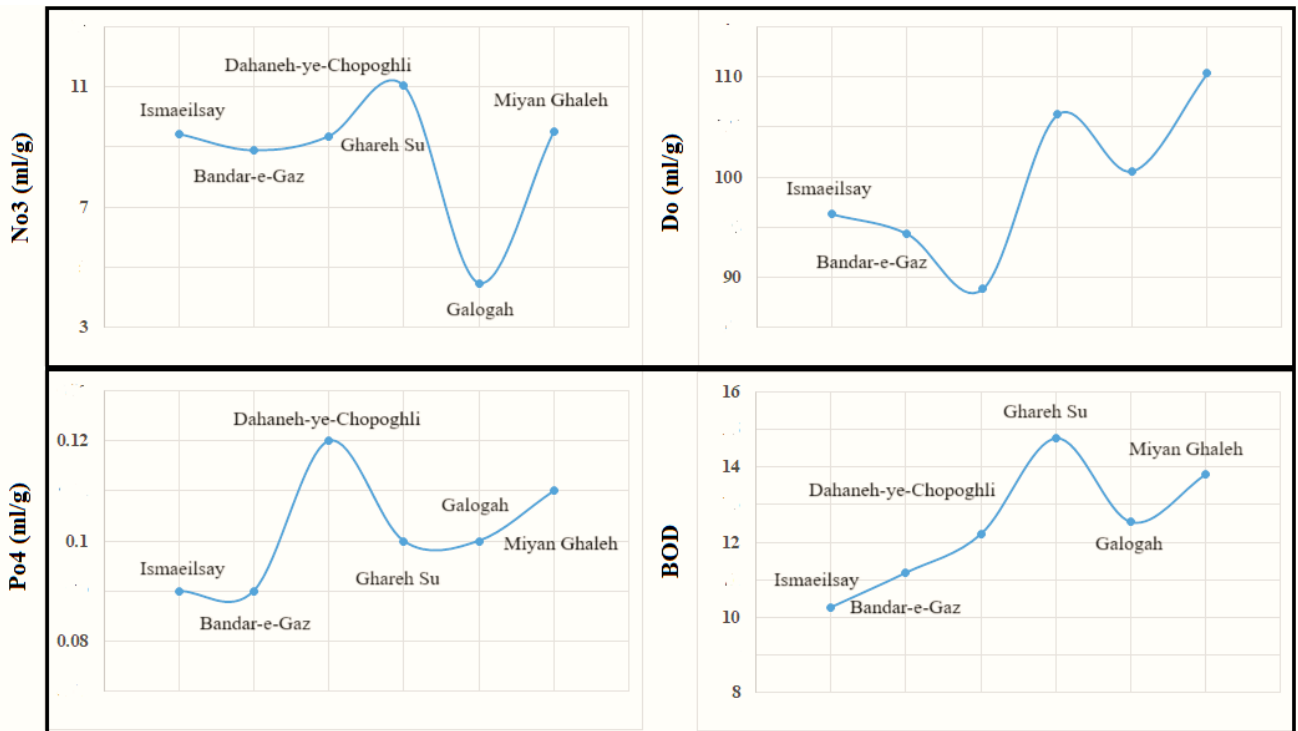
۳- نتایج و بحث

پایش دائمی یک نیاز اساسی جهت برنامه ریزی به منظور مدیریت صحیح و بهره برداری اصولی از تالابها و دریاچه ها به شمار می رود. بررسی شرایط

جدول ۴. مقادیر مجاز پارامترهای پارامترهای فسفات، نیترات، DO و BOD در آب تالاب میانکاله

Table 4. Permissible values of parameters of phosphate, nitrate, DO and BOD parameters in Mi-ankaleh wetland water

پارامتر	واحد	حداقل	حداکثر
فسفات	میلی گرم در لیتر	۰/۰۱۶	۰/۰۷۱
نیترات	میلی گرم در لیتر	۱/۸۱	۳۲/۴۶
اکسیژن محلول (DO)	میلی گرم در لیتر	۴۹/۸۰	۱۶۵/۰
اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD)	میلی گرم در لیتر	۸/۷۰	۳۲/۳۰



شکل ۳. مقادیر میانگین پارامترهای فسفات کل، نیترات کل، DO و BOD در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig. 3. Average values of total phosphate, total nitrate, DO and BOD parameters in the studied stations

میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه بیولوژیکی مواد آلی در فاضلاب را مشخص می‌کند. باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌های موجود در آب‌های طبیعی و فاضلاب‌ها از اکسیژن مواد آلی محلول در آب تغذیه کرده و انرژی لازم خود را بدست می‌آورند. وجد مقادیر زیاد این پارامتر نشان‌دهنده تجمع مواد آلی در آب و افزایش مصرف اکسیژن محلول آب و کاهش کیفیت آب می‌باشد. در بین ایستگاه‌ها مورد بررسی ایستگاه‌های قره‌سو و اسماعیل‌سای به ترتیب بیش‌ترین ($14/77 \text{ mg/l}$) و کم‌ترین ($10/28 \text{ mg/l}$) مقدار غلظت BOD را به خود اختصاص داده‌اند. در ایستگاه قره‌سو تخلیه زه‌آب اراضی کشاورزی که عمدتاً حاوی مقادیر زیادی نیترات و فسفات می‌باشد، می‌تواند علت بالا بودن مقدار BOD موجود در این ایستگاه باشد. که با توجه به محدوده مجاز ارائه شده در «جدول ۳» مقادیر این پارامتر در همه ایستگاه‌ها بیش‌تر از حداقل مجاز در تالاب می‌باشد. با توجه به این نتایج وضعیت تالاب میانکاله در شرایط تغذیه‌گرایی قرار گرفته است. چرا که مقدار فسفات به‌عنوان مهم‌ترین عامل در بروز این پدیده بیش‌تر از حد مجاز در تالاب می‌باشد. از طرف دیگر مقادیر بالای پارامتر BOD نشان‌دهنده افزایش فعالیت‌های شیمیایی میکروارگانیسم‌ها و مصرف اکسیژن محلول می‌باشد، که با تداوم این روند شرایط تالاب در وضعیت نامطلوبی از نظر تغذیه‌گرایی قرار خواهد گرفت.

۳-۲- نتایج حاصل از اعمال شاخص TSI

با توجه به محدودیت اندازه‌گیری مقادیر کلروفیل-a، محاسبه شاخص کارلسون براساس فسفات کل (TP)، نیترات کل (TN) و نسبت فسفات به نیترات (PN) صورت گرفت. نتایج حاصل از محاسبه این شاخص در «شکل ۴» ارائه شده است.

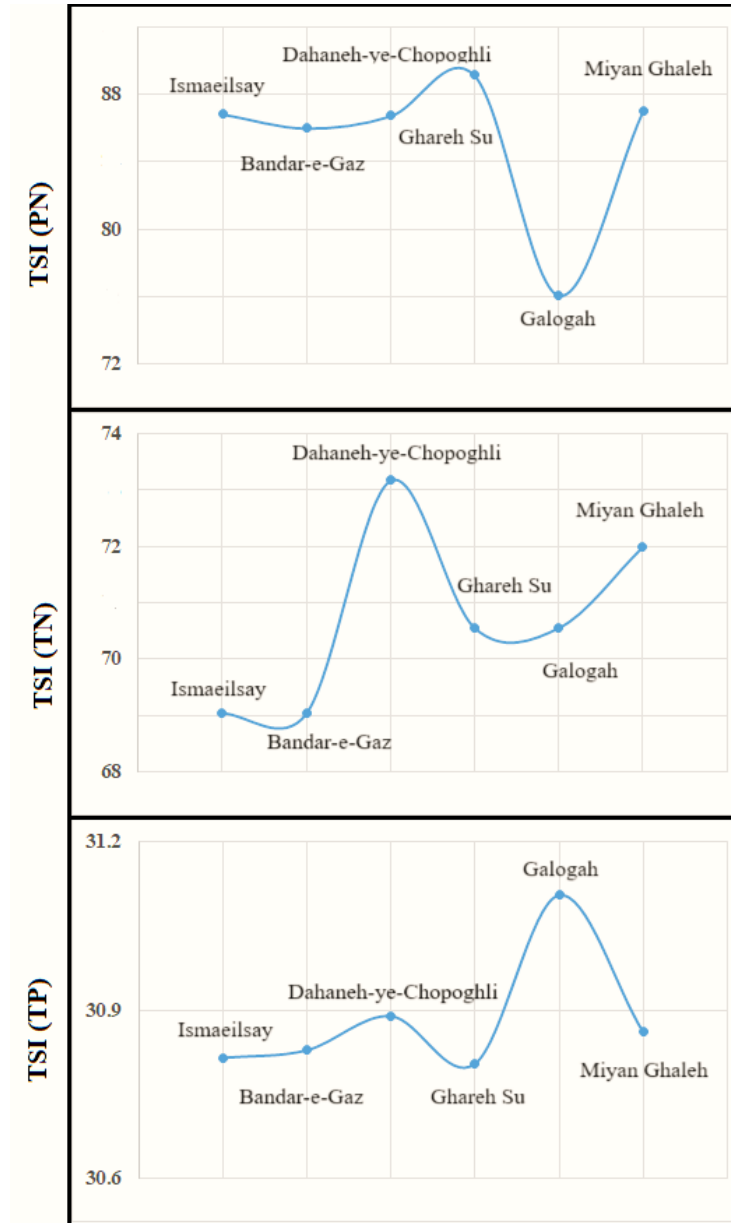
«شکل ۴» نتایج حاصل از محاسبه شاخص TSI براساس TP، TN و PN در ۶ ایستگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده بر اساس فسفات کل، بیش‌ترین مقدار ($73/18$) شاخص تروفی در ایستگاه دهنه‌چققلی و کم‌ترین مقدار ($69/03$) مربوط به ایستگاه‌های بندرگز و اسماعیل‌سای می‌باشد. مقادیر محاسبه شده برای شاخص تروفی براساس فسفات کل نشان می‌دهد که تالاب میانکاله در چهار ایستگاه دهنه‌چققلی، قره‌سو، گلوگاه و میان‌قلعه در شرایط هایپرتروفیک ($80-70$) و در ایستگاه‌های بندرگز و اسماعیل‌سای در شرایط یوتروفیک ($70-60$) قرار دارد. حاکم شدن شرایط هایپرتروفیک در ایستگاه‌های مذکور به علت غلظت بالای بار آلی فسفات می‌باشد. فعالیت‌های کشاورزی، آبی‌پروری و صنعتی

دریاچه‌ها و تالاب‌ها (کم‌تر از $0/1$ میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد، نتایج نشان می‌دهد که مقدار فسفات موجود در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه بیش‌تر از مقادیر استاندارد در تالاب میانکاله می‌باشد و روند افزایشی در سال‌های اخیر را بازگو می‌کند. فلاح و همکاران [۱۸] در ارزیابی وضعیت تروفی تالاب بین‌المللی انزلی دریافتند که مقادیر فسفات موجود در ایستگاه‌های مورد مطالعه بیش‌تر از حد مجاز استاندارد (کم‌تر از $0/1$ میلی‌گرم در لیتر) بوده و علت این امر را نیز وجود منابع آلودگی نقطه‌ای حاشیه تالاب بیان نمودند.

باتوجه به مقدار پارامتر نیتروژن کل محاسبه شده، ایستگاه‌های قره‌سو و گلوگاه به ترتیب بیش‌ترین ($11/04 \text{ mg/l}$) و کم‌ترین ($4/48 \text{ mg/l}$) مقادیر این پارامتر را به خود اختصاص داده‌اند. عبور رودخانه قره‌سو از نزدیکی اراضی کشاورزی و تخلیه زه‌آب خروجی این اراضی به محیط رودخانه علت زیاد بودن مقادیر نیترات موجود در این ایستگاه می‌باشد. مطالعه Lodh و همکاران [۱۹] روی دریاچه آنسینت هندوستان نشان داد که غلظت نیترات تحت تاثیر شکوفایی پلانکتون‌ها قرار دارد. این محققان مهم‌ترین منابع نیترات موجود در منابع آب و تالاب مورد بررسی را فعالیت‌های انسانی مانند تولید غذا، کشاورزی فاضلاب‌های صنعتی و خانگی بیان نمودند.

گیاهان و حیوانات از اکسیژن محلول به عنوان ابزاری برای بقا استفاده می‌کنند. در صورتی که مقدار زیادی از مواد آلی توسط میکروارگانیسم‌های مختلف تجزیه شوند، ممکن است سطح اکسیژن محلول کاهش یابد. با ادامه این فرآیند، میکروارگانیسم‌های موجود در آب، اکسیژن حل شده را مصرف می‌کنند و باعث کاهش سطح آن می‌شوند. براساس نتایج ارائه شده در «شکل ۳» مقادیر اکسیژن محلول، ایستگاه میان‌قلعه بیش‌ترین مقدار (110 mg/l) و ایستگاه دهنه‌چققلی کم‌ترین مقدار (87 mg/l) اکسیژن محلول را به خود اختصاص داده است. علت کاهش مقدار اکسیژن محلول در ایستگاه دهنه‌چققلی می‌تواند به علت وجود مقادیر زیاد مواد آلی ناشی از تخلیه پساب و فاضلاب‌های صنعتی حاشیه این ایستگاه و تجزیه آن‌ها به وسیله میکروارگانیسم‌ها باشد. به‌طور کل می‌توان وضعیت تالاب را از نظر اکسیژن محلول مناسب دانست چراکه مقادیر به‌دست آمده برای هرکدام از ایستگاه‌ها در محدوده مجاز ($49-165/80 \text{ mg/l}$) برای تالاب میانکاله قرار دارند. مهدی نسب [۲۰] در ارزیابی کیفیت آب و وضعیت تروفی تالاب بیشه‌دلان بروجد برای زیست‌آبزیان بیان نمودند که کاهش اکسیژن محلول در تالاب به‌علت وجود مواد آلی ناشی از تخلیه فاضلاب‌های صنعتی و همچنین زه‌آب اراضی کشاورزی موجود در حاشیه تالاب می‌باشد.

BOD یا میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیک، میزان اکسیژن مورد نیاز



شکل ۴. نمودار تغییرات شاخص تروفی کارلسون براساس TN، TP، و PN در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig. 4. Carlson trophic index changes based on TP, TN and PN in the studied stations

تروفی دریاچه می‌باشد. همین عوامل نیز تالاب یمانکاله را در وضعیت تروفی بوتروفیک قرار داده است.

۳-۳- نتایج حاصل از اعمال شاخص TRIX

در محاسبه این شاخص نیز کلروفیل-a حذف شده و شاخص براساس سه پارامتر نیترات، فسفات و درصد اشباع اکسیژن محلول محاسبه شده است. نتایج حاصل از اعمال این شاخص در «شکل ۵» ارائه شده است.

با توجه به نتایج ارائه شده در «شکل ۵»، بیش‌ترین مقدار (۵) شاخص TRIX مربوط به ایستگاه دهنه‌چقلی و کم‌ترین مقدار (۲/۳) به ایستگاه اسماعیل‌سای تعلق دارد. بنابر نتایج ارائه شده ایستگاه‌های گلوگاه و دهنه‌چقلی از نظر شرایط تروفی در محدوده مزوتروفیک (۴-۵) و ایستگاه‌های قره‌سو، اسماعیل‌سای، میان‌قلعه و بندر گز در محدوده الگوتروف (۲-۴) قرار دارند. از عوامل موثر در قرارگیری ایستگاه‌های دهنه‌چقلی و گلوگاه در محدوده خطرناک تغذیه‌گرایی می‌توان تخلیه فاضلاب واحدهای تجاری و صنعتی و تخلیه زه‌آب اراضی کشاورزی در حاشیه این دو ایستگاه را نام برد. شهربان شهیدی [۲۳]، وضعیت تروفی آب‌های سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از شاخص‌های OECD و TRIX در محدوده مزوتروفیک ارزیابی نمودند. این محققان علت این امر را مدیریت و کنترل پساب ورودی از مراکز صنعتی و اراضی کشاورزی به محیط آب‌های ساحلی بیان نمودند.

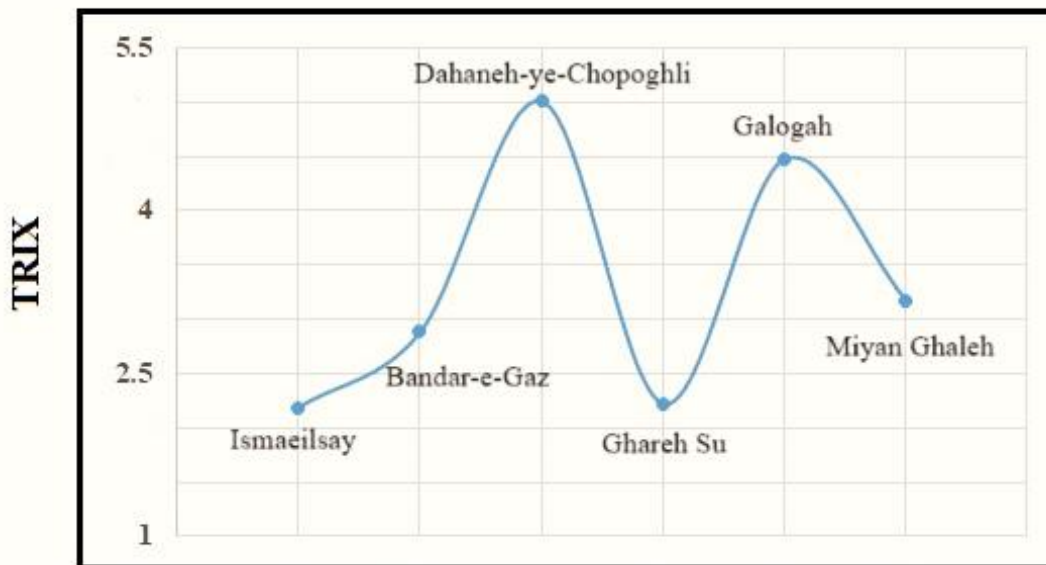
۳-۴- مقایسه شاخص‌های TSI و TRIX

با توجه به نتایج به‌دست آمده از محاسبه هر دو شاخص تالاب میانکاله در محدوده خطر و تشدید شرایط تغذیه‌گرایی قرار دارد. اما به‌طور کلی دقت شاخص TRIX در بررسی شرایط تغذیه‌گرایی تالاب میانکاله بیش‌تر می‌باشد. این امر به علت نحوه محاسبه این شاخص‌ها و پارامترهای مورد ارزیابی می‌باشد. در شاخص TRIX علاوه بر دو عامل اصلی بروز تغذیه‌گرایی در محیط‌های آبی پارامتر اکسیژن محلول نیز در محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجایی که مقدار درصد اشباع اکسیژن محلول در یک محیط آبی به تنهایی می‌تواند نشان‌دهنده شرایط تغذیه‌گرایی یک محیط باشد لذا شاخص TRIX با به‌کارگیری این پارامتر در محاسبات از دقت بیش‌تری برخوردار بوده است. از طرف دیگر با توجه به محدودیت اندازه‌گیری مقدار کلروفیل-a مقادیر هر دو پارامتر با خطاهای محاسباتی مواجه هستند.

حاشیه این ایستگاه‌ها منجر به افزایش بار فسفات و در نتیجه تشدید شرایط تروفی در این ایستگاه‌ها شده است.

نتایج محاسبه شاخص تروفی براساس مقادیر نیترات کل نشان می‌دهد که بیش‌ترین (۸۹/۱۳) و کم‌ترین (۷۶/۰۸) مقدار شاخص تروفی به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های قره‌سو و گلوگاه می‌باشد. براساس رده‌بندی ارائه شده در جدول (۲) به جز ایستگاه گلوگاه که در شرایط هایپرتروفیک (۷۰-۸۰) قرار دارد، بقیه ایستگاه‌ها در شرایط هایپرتروفیک حاد (۸۰-۱۰۰) قرار دارند. نتایج مطالعه فلاح و همکاران [۱۸] حاکی از آن است که وضعیت تروفی تالاب بین‌المللی انزلی نیز براساس مقدار فسفات کل (TP) و نیترات کل (TN) در اغلب ایستگاه‌ها در وضعیت هایپرتروفیک تا هایپرتروفیک حاد قرار دارد. این محققان انباشته شدن مقادیر زیاد بار مواد آلی بیش از ظرفیت خود پالایی تالاب را که ناشی از تخلیه پساب‌های صنعتی، تجاری و زه‌آب اراضی کشاورزی در محیط تالاب می‌باشد را علت این امر می‌دانند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده براساس نسبت فسفات به نیتروژن، ایستگاه گلوگاه دارای بیش‌ترین (۳۱/۱۰) مقدار و ایستگاه قره‌سو دارای کم‌ترین (۳۰/۸۰) مقدار شاخص در بین ۶ ایستگاه مورد بررسی می‌باشند. بر اساس این شاخص تالاب میانکاله در شرایط مزوتروفیک خفیف (۴۰-۳۰) قرار دارد. این شرایط در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه حاکم می‌باشد. [۲۱] Al-Abbawy به بررسی وضعیت تغذیه‌ای رودخانه‌ی شط‌العرب (اروندرو) با استفاده از شاخص وضعیت تغذیه‌ای (TSI) پرداخته و به این نتیجه رسید که رودخانه‌ی شط‌العرب (اروندرو) در شرایط مزوتروفیک قرار دارد. این محققان توانایی بالای خوبالایی رودخانه و همچنین جلوگیری از تخلیه پساب مراکز صنعتی و تجاری را عامل اصلی کنترل وضعیت تروفی رودخانه اعلام نمودند. از طرف دیگر برای بررسی وضعیت دقیق تالاب میانکاله بایستی شاخص TSI کل محاسبه شود. این شاخص براساس مقادیر هر سه شاخص محاسبه شده و با استفاده از رابطه (۶) به‌دست می‌آید. براساس مقدار شاخص تروفی کل (۶۲/۲۹) وضعیت کلی تالاب میانکاله در شرایط بوتروفیک (۶۰-۷۰) قرار دارد. Elmaci و همکاران [۲۲] به بررسی وضعیت تغذیه‌ای دریاچه‌ی Uluabat ترکیه پرداختند. سطح تغذیه‌ای دریاچه در شرایط شاخص تغذیه‌ای کارلسون ارزیابی شد و دریاچه در وضعیت بوتروفیک قرار داشت. قرارگیری دریاچه در وضعیت بوتروفیک نشان‌دهنده عدم کنترل مقادیر بار آلی ورودی به دریاچه می‌باشد. از دیدار مصرف کودهای فسفات و نیترات در اراضی کشاورزی و مراکز آبی‌پروری و صنعتی در حاشیه دریاچه عامل اصلی بالا رفتن مقادیر فسفات و نیترات و بالتبع تشدید شرایط



شکل ۵. مقادیر میانگین شاخص TRIX در ایستگاههای نمونه برداری شده

Fig. 5. Average values of the TRIX index in the sampled stations

می‌باشد. این وضعیت به دلیل گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در حاشیه تالاب و تخلیه پساب‌ها و زه‌آب‌های تولیدی آن‌ها در محیط تالاب رخ داده است. بنابراین کنترل و مدیریت تخلیه این پساب‌ها موثرترین راهکار برای بهبود وضعیت تالاب و جلوگیری از تشدید شرایط تغذیه‌گرایی آن می‌باشد. از طرفی با توجه به اینکه مصرف کودهای حاوی نیترات و فسفات در اراضی کشاورزی و مراکز آبی‌پروری منجر به تشدید شرایط تروپی تالاب شده است لذا جایگزینی کودهای ارگانیک می‌تواند علاوه بر کاهش با مواد آلی وضعیت تروپی تالاب را نیز بهبود بخشد. علاوه بر موارد ذکر شده می‌توان با ایجاد حوضچه‌های آرامش یا آبنندان آب رودخانه‌های تغذیه‌کننده تالاب نظیر قره سو و گز را قبل از ورود به تالاب تصفیه نمود. این امر مقادیر مواد مغذی ورودی به تالاب از طریق شستشوی اراضی کشاورزی توسط این رودخانه‌ها را کاهش و روند پدیده تغذیه‌گرایی را کند می‌نماید.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های این پژوهش از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان مازندران اخذ شده است. که پس از اخذ مجوز قابل ارائه می‌باشند.

۴- نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی، توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در حاشیه تالاب میانکاله منجر به کاهش کیفیت آب تالاب شده است. بر همین اساس در پژوهش حاضر وضعیت کیفی و تغذیه‌گرایی تالاب میانکاله با استفاده از شاخص کارلسون و TRIX مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست آمده از ارزیابی مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که مقادیر نیترات کل و BOD موجود در تالاب بیش‌تر از حداقل مجاز موجود در تالاب می‌باشند و مقادیر پارامتر DO در محدوده مجاز قرار دارد. مقادیر فسفات اندازه‌گیری شده بیش‌تر از حد مجاز در تالاب میانکاله می‌باشد. با توجه به مقادیر بالای فسفات و BOD وضعیت تالاب از نظر تغذیه‌گرایی در شرایط نامطلوبی قرار دارد. از طرف دیگر مقدار شاخص کارلسون کل (۶۲/۲۹) نشان‌دهنده قرار گرفتن تالاب در وضعیت یوتروفیک (۷۰-۶۰) می‌باشد. نتایج حاصل از ارزیابی شاخص TRIX نشان می‌دهد که ایستگاه‌های گلوگاه و دهنه‌چققی در محدوده مزوتروفیک (۴-۵) قرار دارند که حاکی از قرار گرفتن در محدوده خطرناک تغذیه‌گرایی می‌باشد. نتایج حاصل از ارزیابی هردو شاخص نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب تالاب و قرار گرفتن در محدوده خطرناک تغذیه‌گرایی

- [9] K. Mehmet Salih, S. Tugrul, M. Kocak, Assessment of the trophic status of the mersin bay waters (North eastern Mediterranean. MS. thesis. Department of chemical oceanography. Institute of Marine Sciences of Middle East Technical University. (2013) 93 p.
- [10] S. Bijoy Nandan, P.R. Jayachandran, O.K. Sreedevi, Spatio-Temporal pattern of primary production in a tropical coastal wetland (Kodungallur-Azhikode Estuary), South West Coast of India. *Journal of Coastal Development*. 17(2) (2014) 392-402.
- [11] F. Sarraji, Phytoplankton Community and water quality during pre and post monsoon in the Oman Sea (Part of Iranian waters). PhD thesis. University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia. (2014) 257 P.
- [12] M. Yahyai, S. Gergin, D. Ashpotish, M. Safaei, S. Propheti, The effect of environmental conditions on the catch per unit of fishing effort in coastal fin nets in the Miankale area of Golestan province. *Applied Fisheries Research* 8(3) (2021) 92-97. [In Persian]
- [13] N. Asadian ghahfarokhi, Investigating the trophy of Zayandeh Rood dam lake.in the two seasons of spring and summer in 2016. Master's thesis, Department of Environment, Environmental Pollution, Azad Aslami University,Isfahan branch (Khorasgan), Isfahan, (2017).
- [14] OECD. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control, OECD, Paris. (1982).
- [15] R. Kratzer, A Carlson-type trophic state index for nitrogen in florida lakes. *Water Resources Bulletin*.17 (1980) 713-715.
- [16] R. E. Carlson, A Throphic State Index for lakes. *Limnology and Oceanography*. 22 (1976) 363-369.
- [17] N. Zoriasatein, S. Jalili, F. Poor, Eavaluation of Ecological Quality Status with the Trophic Index (TRIX) Values in Coastal Area of Arvand, Northeastern of Persian Gulf, Iran. *World J Fish Mar Sci* 5 (2013) 257-62.
- [18] M. Fallah, A. Pir Ali Zafrehyi, I. Ebrahimi Darche, Assessing the status of Anzali International Wetland Trophies using the Carlson Index (TSI). *Iranian Water*
- [1] L. Olsson, S. Ye, X. Yu, M. Wei, K.W. Krauss, H. Brix, Factors influencing CO2 and CH4 emissions from coastal wetlands in the Liaohe Delta, Northeast China. *Bio geosciences*. Vol. 12 (2015) 4965-4977.
- [2] D. Ling, J. Q. Wu, Y. Pang, L. Li, G. Gao, D. W. Hu, Simulation study on algal dynamics based on ecological flume experiment in Taihu Lake,China. *Ecological Engineering* , 31 (2007) 200-206.
- [3] J. Samadi, Spatial-temporal modeling of qualitative characteristics and trophic status of Chaghakhor wetland using pollution indicators and deterministic techniques and GIS geostatistics. *Iran's water resources research*. 12(1) (2016) 122-132. [In Persian]
- [4] Elmaci, N. Ozengin , A. Teksoy, F.O. Topac, H.S. Baskaya, Evaluation of trophic state of lake Uluabat, Turkey. *Journal of environmental biology*, 30(5) (2009) 757-757.
- [5] Makhlogh, H. Nasraleh Zadeh Sarvi, F. Prafkande, H. Fazli, R. Mirzaei, H. Hosseinpour, A. R. Kihanpani, M. Dostdar, Water quality monitoring and nutritional phenomenon of Sanandaj Azad Dam lake using Iran's water quality index and Carlson's enrichment index, *Iranian Fisheries Scientific Journals*, 26(2) (2014) 69-78. [In Persian]
- [6] H. Huibin, B. Xi, J. Jiang, M. J. Heaphy, H. Wang, D. Li, Environmental heterogeneity analysis, assessment of trophic state and source identification in Chaohu Lake, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(8) (2011) 1333-42.
- [7] Cigagna, D. M. Bonotto, A. F. C. Monteiro, J. Sturaro, RTrophic state index (TSI) and physico-chemical characteristics of a shallow reservoir in southeast Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 75 (2016) 102- 113.
- [8] R.A. Volleinweider, F. Giovanardi, G. Montanari, A. Rinaldi, Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters,with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*. 9 (1998) 329-357

- India. International Journal of Scientific and Research Publication. Vol. 42)2014(, pp: 2250-3153.
- [20] Al -Abbawy, Assessment of trophic status for Shatt Al -Arab River using trophic state index (TSI) . Journal of Basrah Researches ((Sciences)) , 38(3) (2012), 36 -44.
- Research Journal, 12(1 (28)), (2017), 21-29. [In Persian].
- [19] R. Lodh, R. Paul, B. Kurmakar, M.K. Das, physicochemical studies of water quality with special reference to ancient lakes of Udaipur City, Tripura,

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. Mirhashmi, A. Shahnazari, K. Nasir Ahmadi, Investigating the trophy condition of Mi-ankaleh wetland using TSI and TRIX index, Amirkabir J. Civil Eng., 55(12) (2024) 2527-2540.

DOI: 10.22060/ceej.2023.22279.7944



