تعیین وضعیت تروفی دریاچه گهر با استفاده از شاخص *TLI*

منیر غیاث آبادی[۱]*، رضوان موسوی ندوشن[۲]، سید محمد رضا فاطمی[۳] و سید علی جوزی[۴]
۱ و۲- گروه شیلات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
۳- گروه بیولوژی دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
۴- گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۲۰

چکیده

دریاچه گهر تنها دریاچه مرتفع کوهستانی ایران به فرم دانه تسبیحی(Paternoster) با منشاء یخچالی می باشد. تحقیق حاضر برای اولین بار با هدف تعیین وضعیت تروفی دریاچه گهر با استفاده از شاخص TLI صورت پذیرفت. این پژوهش به مدت یک سال از اردیبهشت ماه ۱۳۸۹ لغایت اردیبهشت ماه ۱۳۹۰ با نمونه برداری ماهانه در دوره بدون یخبندان از دو دریاچه گهر بزرگ و گهر کوچک انجام شد. نمونه برداری از لایه سطحی آب(عمق ۰/۵متری) در دو ایستگاه، یکی در ناحیه مرکزی دریاچه گهر بزرگ و دیگری در حاشیه دریاچه گهر کوچک انجام پذیرفت. پارامترهای اندازه گیری شده به منظور تعیین تروفی دریاچه شامل کلروفیل a، عمق شفافیت، نیترات کل و فسفات کل بودند. جهت تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزارهای آماری Excel و SPSS استفاده شد. بر اساس نتایج بدست آمده در دریاچه کوچک، میانگین غلظت کلروفیلa برابر ۲/۹۶میکروگرم در لیتر، نیترات کل برابر ۸۰۱میکروگرم درلیتر و فسفات کل برابر ۲۵/۳میکروگرم درلیتر و در دریاچه بزرگ، میانگین مقدار کلروفیلa برابر ۱/۶میکروگرم درلیتر، نیترات کل برابر ۹۷۶/۵میکروگرم درلیتر، فسفات کل برابر ۲۴/۲میکروگرم در لیتر و عمق شفافیت ۶/۸ متر محاسبه گردید. در بررسی ماهانه، بر اساس شاخص TLI دریاچه گهر بزرگ در وضعیت مزوتروف و دریاچه گهر کوچک در وضعیت یوتروف قرار داشت.

واژگان کلیدی

دریاچه گهر، دریاچه دانه تسبیحی، وضعیت تروفی، TLI، استان لرستان

* نگارنده پاسخگو: Monir.ghiass84@yahoo.com

مقدمه

یخچال ها یکی از عوامل ایجاد دریاچه ها هستند که با توده های یخ و ایجاد مانع باعث انباشت آب و ایجاد دریاچه های یخچالی می شوند(Wetzel,2001). اغلب دریاچه های یخچالی در مناطق مرتفع کوهستانی واقع شده، دارای آب شفاف و الیگوتروف و سرشار از اکسیژن هستند(Wetzel, 2001). دریاچه های الیگوتروف معمولاً عمیق بوده، دارای شیب زیاد در کناره ها و اغلب دارای حوزه آبریز کوچکی می باشند(Wehr & Sheath, 2003). شفافیت آب این دریاچه ها به دلیل تراکم پایین فیتوپلانکتون است، گرچه از تنوع بالایی برخوردار اند(Wehr & Sheath, 2003). دریاچه گهر تنها دریاچه مرتفع کوهستانی ایران به فرم Paternoster یا دانه تسبیحی است(غیاث آبادی،۱۳۹۱). علت این نامگذاری دوتکه بودن دریاچه و اتصال آنها توسط یک نهر ارتباطی می باشد(Wetzel, 2001). دریاچه گهر منشاء یخچالی داشته و دارای سازه های کارستیک می باشد(Yarahmadi *et al*., 2012). سازه های کارست دارای سنگ بستر قابل حل از جنس کربنات کلسیم (آهک) و دولومیت بوده و دریاچه های واقع در این مناطق دریاچه های کارست یا انحلالی نامیده می شوند (Wehr & Sheath, 2003). این دریاچه ها معمولاً ریخت شناسی خاصی دارند، بیشتر آنها دارای حوزه های گرد، دیواره های پرشیب و عمق نسبی زیاد هستند(Wehr & Sheath, 2003). نرخ بالای معدنی شدن، ناشی از انحلال سنگ های آهکی بستر، باعث ایجاد یک لایه بندی پایدار یونی در دریاچه های کارست می شود. این لایه بندی ناشی از غلظت بالای عناصر (یون ها) و شیب یا اختلاف غلظت مواد در ستون آب و بستر دریاچه می باشد. به طوری که حتی در گردش های بهاره و پاییزه، ظاهراً گردش آب تا اعماق معینی انجام شده و به عمق بستر نمی رسد. به همین علت آنیون های کربنات و بی کربنات انحلال یافته در این قسمت به لایه اپی لیمنیون راه نمی یابند. بنابراین منبع کربن مورد استفاده در تولیدات اولیه فیتو پلانکتون های اپی لیمنیون دریاچه تنها از طریق CO_2 اتمسفر تامین می گردد و لذا کربن عامل محدود کننده تولید در دریاچه خواهد بود(Miracle *et al*.,1992).

استفاده از دورسنجی ماهواره ای ازجمله روش های تعیین وضعیت تروفی دریاچه هاست. این روش تعیین تروفی تنها در سیر یوتروفی و افزایش قابلیت تولید دریاچه عملکرد مناسبی داشته و حداکثر کارآیی آن در زمانی است که دریاچه یوتروف شده باشد(Baban, 1996). لذا برای تعیین دقیق میزان تروفی دریاچه ها، خصوصاً در مراحل اولیه الیگو یا مزوتروفی استفاده از شاخص های تروفی ضروری است (Baban, 1996). شاخص TLI(Trophic Level Index)(Burns & Bryers, 2000) برای تعیین میزان تروفی تالاب ها تعریف شده است. این شاخص بر اساس چهار متغیر کلروفیل a (CA)، عمق رویت سشی (SD)، فسفات کل (TP) و نیترات کل (TN) وضعیت تروفی دریاچه ها را مشخص می نماید. با اینحال هریک از این متغیر ها به تنهایی نیز می توانند بیانگر میزان تروفی دریاچه ها باشند (Burns & Bryers, 2000). دریاچه گهر بزرگ تنها دریاچه عمیق مناطق کوهستانی ایران است و با توجه به ظواهر موجود از جمله زلالی آب، عمق زیاد و دامنه دمایی اندک منطقه، به نظر می رسد که این دریاچه الیگوتروف است. به نظر می رسد دریاچه گهرکوچک با عمق کم و پوشش گیاهان آبزی در تمام سطح، دریاچه ای یوتروف باشد. این تحقیق برای نخستین بار با هدف تعیین وضعیت تروفی دریاچه گهر با استفاده از شاخص TLI صورت پذیرفت.

مواد و روش کار

دریاچه گهر یک دریاچه ی دوکاسه است. این دریاچه در قلب منطقه حفاظت شده اشترانکوه در استان لرستان واقع شده است. دریاچه گهر کوچک یا دریاچه اول در بالادست و ارتفاع بالاتری نسبت به دریاچه بزرگ یا دریاچه دوم واقع شده است. دریاچه گهر بزرگ در ارتفاع ۲۳۶۰ متری از سطح دریا واقع شده است. این دریاچه در فاصله ۴۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان دورود در موقعیت جغرافیایی ۳۳ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۳ ثانیه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۷ دقیقه و ۲ ثانیه طول شرقی قرار دارد. دریاچه گهر بزرگ با مساحت ۸۵ هکتار، طول ۱۷۰۰ متر، عرض متوسط حدود ۵۰۰ متر و دارای بیشترین عمق در ناحیه مرکزی دریاچه، ۲۸ متر می باشد. مساحت حوزه

آبخیز دریاچه گهر بزرگ ۵۲/۵ کیلومتر مربع می باشد. دریاچه دوم یا دریاچه کوچک در قسمت شرقی گهر بزرگ و در ناحیه بالادست و در فاصله ۱۷۰۰ متری از آن واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۲۴۵۰ متر، مساحت تقریبی ۷/۵ هکتار با طول ۵۰۰ متر و عرض ۱۵۰ متر است. حداکثر عمق آن نیز در حدود ۴ متر می باشد. این دریاچه دارای جزایر و شبه جزایر فراوانی است که به آن ظاهری آبگیر مانند داده است. سطح دریاچه گهرکوچک همواره دارای پوشش گیاهی می باشد. خروجی دریاچه کوچک به صورت جویباری به گهر بزرگ وارد شده، در واقع یکی از منابع تامین آب گهر بزرگ محسوب می شود. جریان ورودی به دریاچه بزرگ ۲۸۰ و جریان خروجی از دریاچه حداقل ۵۷۰ لیتر در ثانیه است. علت تفاوت در دبی جریان ورودی و خروجی دریاچه وجود چشمه های متعدد در اطراف و بستر دریاچه بزرگ است. سطح دریاچه گهر بزرگ در فصل زمستان دچار یخبندان می شود(غیاث آبادی،۱۳۹۱).

کیفیت آب دریاچه ها معمولاً در قالب میزان تروفی بیان می شود. میزان تروفی یک دریاچه به درجه غنای نوترینتی خصوصاً عناصر نیتروژن و فسفر وابسته است(Baban, 1996). برای تعیین دقیق سطح تروفی یک دریاچه اندازه گیری چندین پارامتر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ضروریست(Baban,1996). بر اساس نظر Wollenweider (1967) با اندازه گیری میزان پارامترهای فسفات کل (TP)، عمق رویت سشی و کلروفیل a می توان به وضعیت تروفی دریاچه دست یافت (Wetzel, 2001)(جدول۱).

جدول۱- وضعیت تروفی دریاچه ها با استفاده از مقادیر فسفات کل، کلروفیل **a** و عمق شفافیت (**Wetzel,2001**)

پارامتر	الیگوتروف	مزوتروف	یوتروف
میانگین فسفرکل(میکروگرم درلیتر)	۸	۲۶/۷	۸۴/۴
محدوده فسفرکل (میکروگرم درلیتر)	۳ –۱۷/۷	۱۰/۹ – ۹۵/۶	۱۶ – ۳۸۶
میانگین کلروفیلa (میکروگرم درلیتر)	۱/۷	۴/۷	۱۴/۳
محدوده کلروفیلa (میکروگرم درلیتر)	۰/۳ – ۴/۵	۳– ۱۱	۳ – ۷۸
میانگین عمق شفافیت(متر)	۹/۹	۴/۲	۲/۴۵
محدوده عمق شفافیت(متر)	۵/۴ – ۲۸/۳	۱/۵ – ۸/۱	۰/۸ –۷

با توجه به دو تکه بودن دریاچه تعیین تروفی هر دو دریاچه گهر کوچک و گهر بزرگ در دستور مطالعه قرار گرفت. مختصات جغرافیایی دریاچه های مذکور توسط دستگاه موقعیت یاب GPS مدل Garmin-60CSX ، ساخت کشور آمریکا تعیین شدند(جدول۲). این پژوهش به مدت یک سال از اردیبهشت ماه ۱۳۸۹ لغایت اردیبهشت ماه ۱۳۹۰ با نمونه برداری ماهانه در دوره بدون یخبندان از دو دریاچه گهر بزرگ و گهر کوچک انجام شد.

جدول۲- مختصات جغرافیایی و عمق کل ایستگاه های نمونه برداری دریاچه گهر، ۱۳۹۱

نام ایستگاه	طول شرقی	عرض شمالی	عمق کل(متر)
گهر کوچک	۴۹°۱۸′ ۷۷۰′′	۳۳°۱۷′ ۶۲۴′′	۴
مرکز گهر بزرگ	۴۹°۱۷′ ۰۷۶′′	۳۳°۱۸′ ۳۰۴′′	۲۴/۵

دمای آب لایه سطحی توسط دماسنج دیجیتال بر حسب درجه سانتی گراد میزان اکسیژن محلول لایه سطحی توسط اکسی متر پرتابل Jenway ساخت کشور انگلستان بر حسب میلی گرم درلیتر، و میزان اسیدیته(pH) لایه سطحی توسط پی اچ متر پرتابل Jenwey ساخت کشور انگلستان در هر ایستگاه در محل اندازه گیری و ثبت گردید. جهت تعیین عمق رویت از صفحه سچی(Secchi Disk) استفاده شد. به دلیل سختی مسیر دسترسی به دریاچه گهر کوچک، نبود امکانات لازم منجمله قایق و پوشش انبوه گیاهان آبزی در سطح دریاچه گهر کوچک، استفاده از صفحه سچی و تعیین عمق دید در این دریاچه امکان پذیر نبود.

برای اندازه گیری پارامترهای شیمیایی از هر ایستگاه ۱ لیتر آب ناحیه سطحی (عمق۰/۵متر) توسط نمونه بردار روتنر برداشت و به آزمایشگاه شرکت آبزی پرور شیراز انتقال یافتند. برای جلوگیری از تغییر خواص شیمیایی آب، نمونه ها توسط ۱۴ قطره اسید سولفوریک غلیظ تثبیت شدند(Wetzel & Likens, 2000).

نیترات کل (TN) با روش کجدال (Kejeldon Method) ، اندازه گیری نیترات با روش سولفات اسید بروسین و نیتریت به روش Diazotization Method و HACH سنجش شدند. برای اندازه گیری آمونیوم، از معرف فنل، محلول بافر و معرف، سنجش فسفات کل (TP) به روش اسید اسکوربیک (رنگ سنجی) ، و غلظت فسفر محلول آب به روش اسید آسکوربیک و رنگ سنجی اندازه گیری شد. سنجش سیلسس با دستگاه اسپکتروفوتومتر، و کلروفیل a به روش مونوکروماتیک (Lorenzen,1967) با استفاده از کاغذ صافی واتمن G/F یا Sartorius نیترات سلولز با قطر منافذ ۰/۴۵ میکرون محصول کشور آلمان سنجش شد (Wetzel & Likens, 2000).

در این تحقیق از دستگاه سانتریفیوژ Universal مدل RJ16 ساخت شرکت پارس آزما-ایران و از دستگاه اسپکتروفتومتر PG Instruments Ltd مدل T80 ساخت کشور انگلستان استفاده شد.

جهت تعیین وضعیت تروفی بر اساس هر پارامتر از فرمول های زیر استفاده گردید (Burns & Bryers, 2000).

میزان تروفی TLI بر حسب میزان کلروفیلa (CA)

$$TLc = ۲/۲۲ + ۲/۵۴ \times \log (Chl.a)$$

میزان تروفی TLI برحسب عمق رویت سچی (SD)

$$TLs = ۵/۱۰ + ۲/۲۷ \times \log (1/SD - 1/40)$$

میزان تروفی TLI برحسب میزان فسفات کل (TP)

$$TLp = ۰/۲۱۸ + ۲/۹۲ \times \log (TP)$$

میزان تروفی TLI بر حسب میزان نیترات کل (TN)

$$TLn = -۳/۶۱ + ۳/۰۱ \times \log (TN)$$

میانگین مقادیر این چهار رابطه بیانگر میزان تروفی هر دریاچه است.

$$TLI = \sum [TLI (TP) + TLI (TN) + TLI (CA) + TLI (SD)] / ۴$$

البته هریک از پارامترها نیز به تنهایی گویای میزان تروفی خواهند بود. در دریاچه گهر کوچک بدلیل عدم امکان تعیین عمق رویت، شاخص TLI براساس سه پارامتر کلروفیلa، فسفات کل و نیترات کل به صورت زیر محاسبه گردید.

$$TLI = \sum [TLI (TP) + TLI (TN) + TLI (CA)] / ۳$$

مقادیر شاخص TLI و متغیر های مربوط به آن در جدول (۳) آمده است. این شاخص دریاچه ها را به ۷ گروه تقسیم بندی می کند(Burns & Bryers, 2000).

جدول۳- مقادیر شاخص **TLI** ودسته های تروفی مربوط به آن(**Burns & Bryers, 2000**)

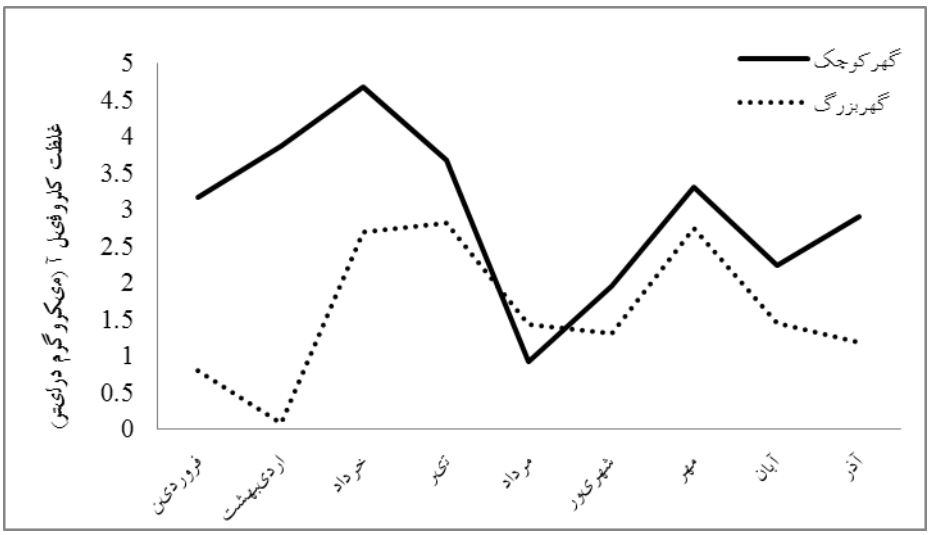
وضعیت تروفی	غنای نوترینتی	عدد تروفی	کلروفیل a (میکروگرم درلیتر)	عمق شفافیت (متر)	فسفات کل (میکروگرم درلیتر)	نیترات کل (میکروگرم درلیتر)
اولترامیکروتروف	مطلقاً خالص	۱/۰تا۰/۰	<۰/۳۳	>۲۵	<۱/۸	<۳۴
میکروتروف	خیلی کم	۲/۰تا۱/۰	۰/۳۳-۰/۸۲	۲۵-۱۵	۱/۸-۴/۱	۳۴-۷۳
الیگوتروف	کم	۳/۰تا۲/۰	۰/۸۲-۲/۰	۱۵-۷	۴/۱-۹	۷۳-۱۵۷
مزوتروف	متوسط	۴/۰تا۳/۰	۲-۵	۷-۲/۸	۹-۲۰	۱۵۷-۳۳۷
یوتروف	زیاد	۵/۰تا۴/۰	۵-۱۲	۲/۸-۱/۱	۲۰-۴۳	۳۳۷-۷۲۵
سوپرتروف	خیلی زیاد	۶/۰تا۵/۰	۱۲-۳۱	۱/۱-۰/۴	۴۳-۹۶	۷۲۵-۱۵۵۸
هایپرتروف	اشباع	>۶/۰	>۳۱	<۰/۴	>۹۶	>۱۵۵۸

از برنامه Excel برای رسم نمودارها، و از برنامه SPSS و آزمون آماری ANOVA جهت آنالیز آماری داده هاو تعیین معنی داری اختلافات بین دو دریاچه استفاده گردید.

نتایج

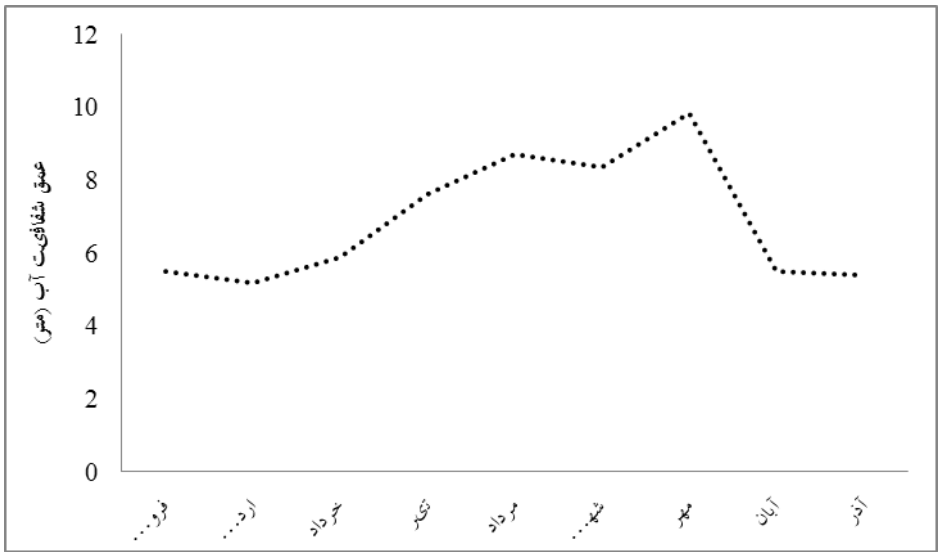
با توجه به بررسی های انجام شده مشخص گردید که دریاچه گهر بزرگ دریاچه ای با عمق حداکثر ۲۸متر، آب شفاف و آبی رنگ، و دریاچه گهرکوچک دریاچه ای کم عمق(حداکثر ۴متر عمق) با ظاهر تالابی و پوشیده از گیاهان آبزی است. جنس های *Myriophyllum* و *Potamogeton* گیاهان آبزی غالب دریاچه گهرکوچک در مدت مطالعه بودند.

بر اساس نتایج بدست آمده مشخص شد که حداکثر میزان کلروفیلa در مدت مطالعه در دریاچه گهر کوچک در خردادماه (۴/۶۷میکروگرم درلیتر) و حداقل آن در مردادماه (۰/۹۲میکروگرم درلیتر) بود. میانگین کلروفیل a در دریاچه کوچک در مدت مطالعه ۱/۱۲± ۲/۹۶ میکروگرم در لیتر محاسبه شد. در دریاچه گهر بزرگ حداکثر میزان کلروفیلa در تیرماه(۲/۸۲میکروگرم درلیتر) و حداقل آن در اردیبهشت ماه (۰/۰۸میکروگرم درلیتر) مشاهده شد. میانگین کلروفیل دریاچه بزرگ در مدت مطالعه $\mu g.l^{-1}$ ۱/۶ میکروگرم درلیتر محاسبه گردید (شکل۱). اختلاف معنی داری بین مقادیر کلروفیل دو دریاچه در ماه های مختلف مشاهده نگردید($P>0/05$).



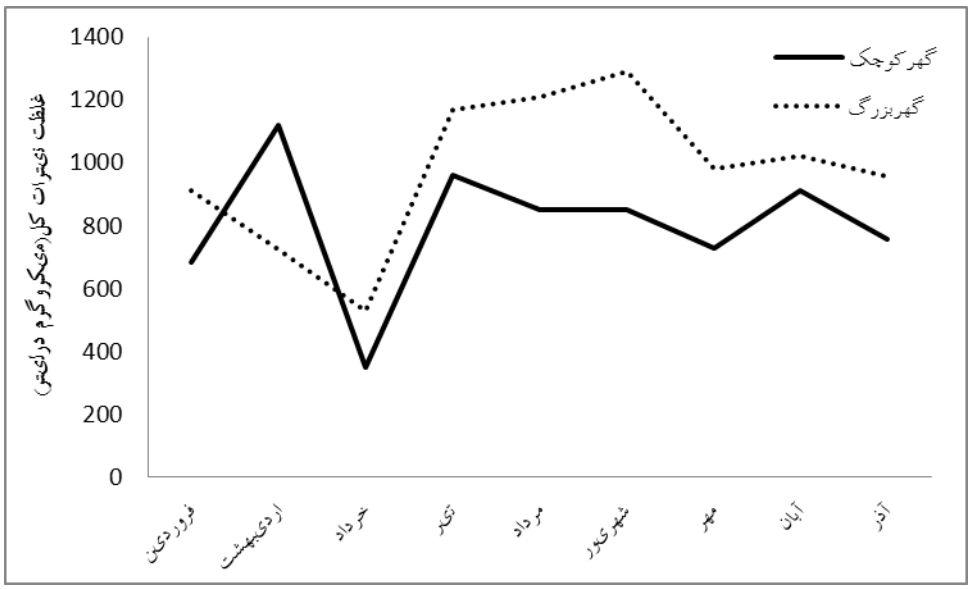
شکل۱- نمودار تغییرات زمانی کلروفیل**a** در دریاچه گهردر دوره بدون یخبندان در دوره مطالعه،۱۳۹۰-۱۳۸۹

در دریاچه گهر بزرگ حداکثر عمق شفافیت (SD) در مهرماه (۹/۸متر) و حداقل آن در اردیبهشت ماه (۵/۲متر) بود. میانگین عمق رویت سشی درمدت مطالعه ۶/۸ متر محاسبه گردید (شکل۲).



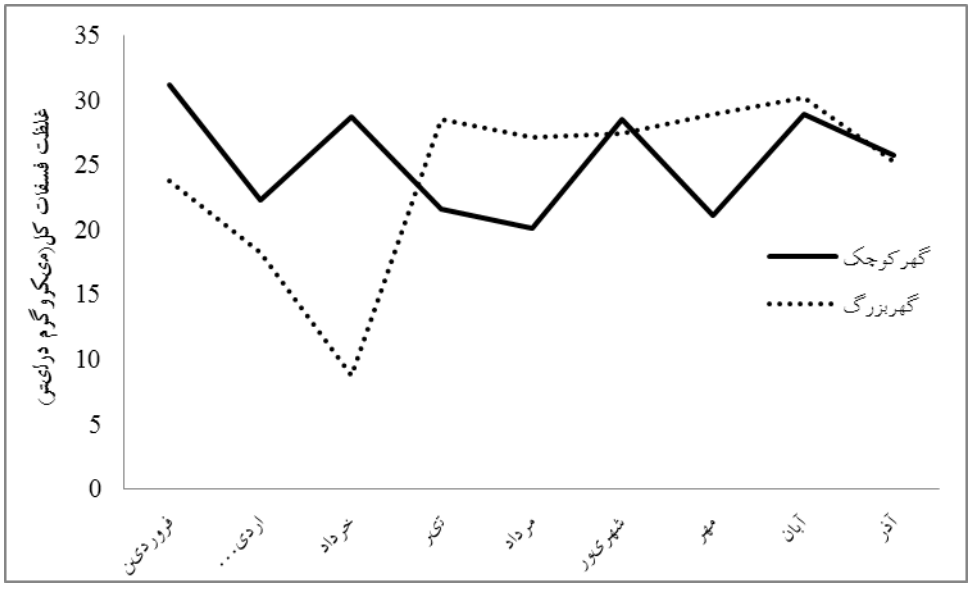
شکل۲- نمودار تغییرات زمانی عمق شفافیت دریاچه گهر بزرگ در دوره بدون یخبندان در مدت مطالعه،۱۳۹۰-۱۳۸۹

در گهر کوچک غلظت نیترات کل (TN) در اردیبهشت ماه حداکثر (۱۱۲۰میکروگرم درلیتر) و در خرداد ماه حداقل (۳۵۰میکروگرم درلیتر) بود. میانگین نیترات کل در مدت مطالعه ۲۱۴/۴۴± ۸۰۱ میکروگرم درلیتر محاسبه شد. در دریاچه بزرگ نیترات کل (TN) در شهریور ماه حداکثر(۱۲۹۰میکروگرم در لیتر) و در خرداد ماه حداقل (۵۲۸ میکروگرم در لیتر) بود. میانگین نیترات کل در مدت مطالعه ۹۷۶/۵میکروگرم در لیتر محاسبه شد (شکل۳). اختلاف معنی داری بین مقادیر نیترات کل دو دریاچه در ماه های مختلف مشاهده نگردید($P>0/05$).



شکل۳- نمودار تغییرات زمانی غلظت نیترات کل دریاچه گهر در دوره بدون یخبندان درمدت مطالعه،۱۳۹۰-۱۳۸۹

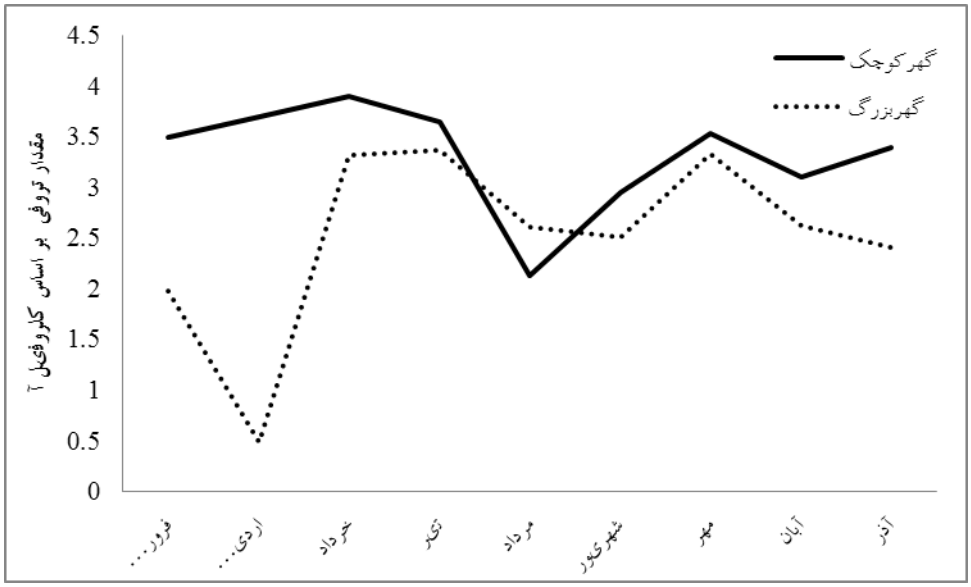
در دریاچه گهر کوچک غلظت فسفات کل (TP) در فروردین ماه حداکثر (۳۳/۳میکروگرم درلیتر) و در مردادماه حداقل (۲۰/۱میکروگرم درلیتر) بود. مقدار میانگین فسفات کل در مدت مطالعه ۴/۱۳± ۲۵/۳ میکروگرم در لیتر محاسبه شد. در دریاچه گهر بزرگ فسفات کل (TP) در آبان ماه حداکثر (۳۰/۲میکروگرم درلیتر) و در خردادماه حداقل (۸/۷میکروگرم درلیتر) بود. مقدار میانگین فسفات کل در مدت مطالعه ۲۴/۲ میکروگرم در لیتر محاسبه گردید (شکل۴). اختلاف معنی داری بین مقادیر فسفات کل دو دریاچه در ماه های مختلف مشاهده نشد($P>0/05$).



شکل۴- نمودار تغییرات زمانی غلظت فسفات کل دریاچه گهر در دوره بدون یخبندان درمدت مطالعه،۱۳۹۰-۱۳۸۹

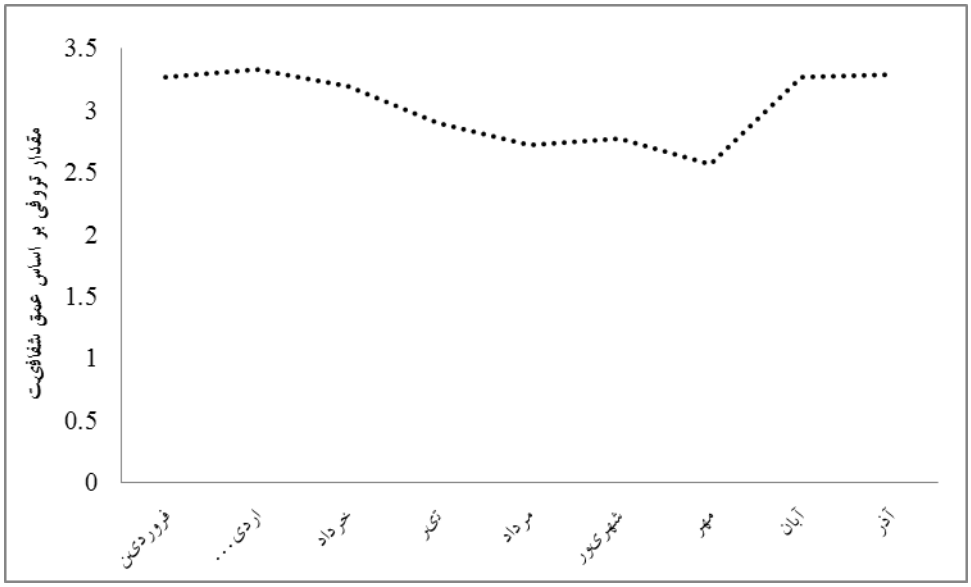
نسبت Red Field یا نسبت نیترات کل به فسفات کل(N:P) در دوره مطالعه برای دریاچه های گهرکوچک و گهربزرگ به ترتیب ۳۱ و ۴۰ بوده است.

بر اساس شاخص TLc (تروفی براساس کلروفیل a) بیشترین رقم شاخص در دریاچه گهر کوچک مربوط به خرداد(۳/۸۹) ، کمترین رقم مربوط به مرداد ماه(۲/۱۲) بود. میانگین این شاخص طی دوره نمونه برداری ۰/۵۳±۳/۳۱ محاسبه گردید. حداکثر رقم TLc در دریاچه بزرگ مربوط به تیرماه(۳/۳۶) ، حداقل آن مربوط به اردیبهشت ماه(۰/۴۸) و میانگین این شاخص برابر ۲/۷۳ محاسبه شد(شکل۵). بین مقادیر شاخص TLc دو دریاچه در ماه های مختلف اختلاف معنی داری دیده نشد($P>0/05$).



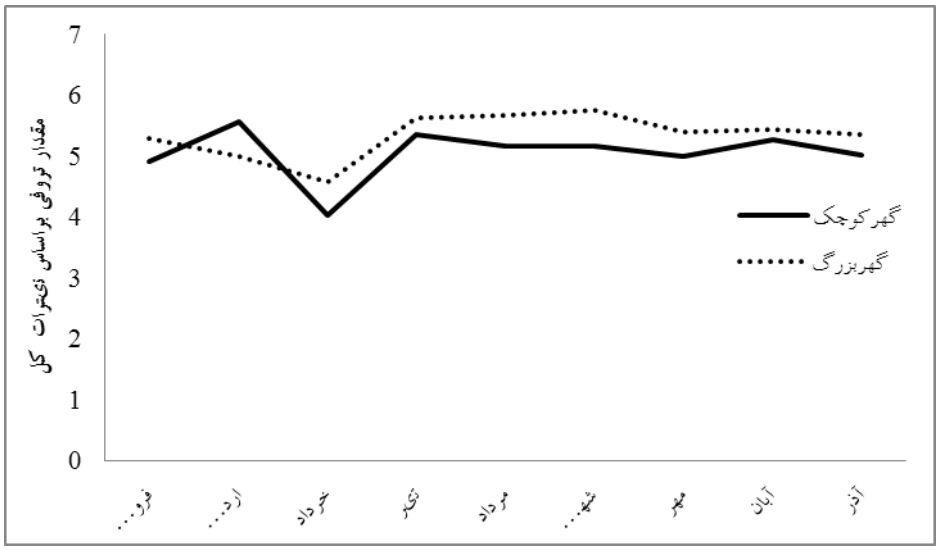
شکل۵- نمودار تغییرات زمانی شاخص TLI بر اساس کلروفیل a (TLc) در دوره بدون یخبندان در مدت مطالعه،۱۳۹۰-۱۳۸۹

بر اساس شاخص TLs (تروفی براساس عمق شفافیت) بیشترین رقم شاخص در گهر بزرگ در اردیبهشت ماه (۳/۳۳) کمترین رقم در مهر ماه(۲/۵۶) بود. میانگین این شاخص طی دوره نمونه برداری برابر ۳/۰۱ محاسبه گردید (شکل۶).



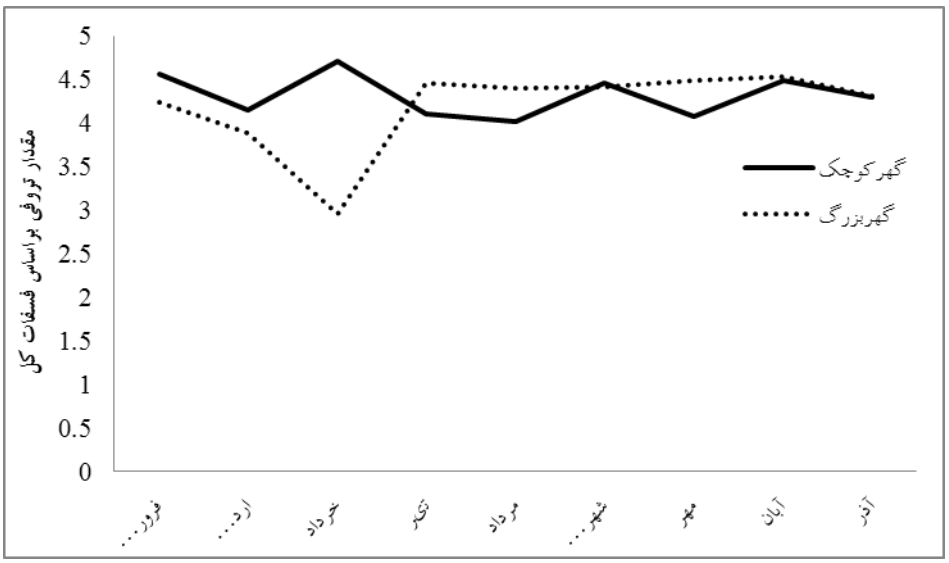
شکل۶- نمودار تغییرات زمانی شاخص **TLI** بر اساس عمق شفافیت(**TLs**) دریاچه گهر بزرگ در دوره بدون یخبندان درمدت مطالعه،۱۳۹۰-۱۳۸۹

بر اساس شاخص TLn (تروفی بر پایه نیترات کل) بیشترین مقدار شاخص گهر کوچک در اردیبهشت ماه برابر ۵/۵۶ ، کمترین رقم در خرداد ماه برابر ۴/۰۳ و میانگین این شاخص طی دوره نمونه برداری ۰/۴۳±۵/۰۵ محاسبه گردید. حداکثر شاخص TLn در گهر بزرگ در شهریورماه برابر ۵/۷۵ ، حداقل آن مربوط به خرداد ماه برابر ۴/۵۸ و مقدار میانگین آن در دوره مطالعه برابر ۵/۳۸ محاسبه شد(شکل۷). بین مقادیر شاخص TLn دو دریاچه در ماه های مختلف اختلاف آماری معنی داری مشاهده نشد($P>0/05$).



شکل۷- نمودار تغییرات زمانی شاخص TLI بر اساس غلظت نیترات کل(TLn) در دوره بدون یخبندان درمدت مطالعه،۱۳۹۰-۱۳۸۹

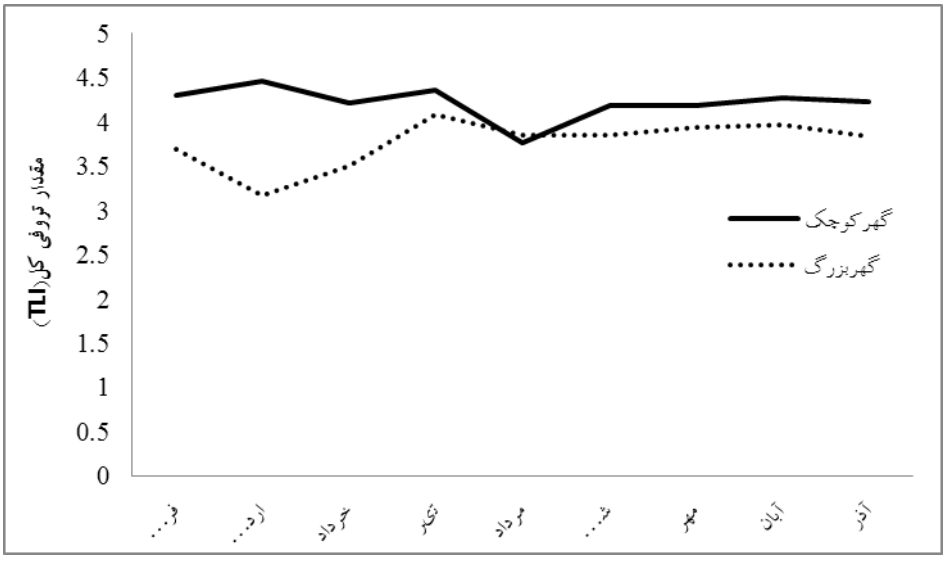
بر اساس شاخص TLp (تروفی برپایه فسفات کل) بیشترین رقم شاخص گهر کوچک در خرداد ماه برابر ۴/۷۱ ، کمترین مقدار در مرداد ماه برابر۴/۰۱ بود. میانگین این شاخص طی دوره نمونه برداری ۰/۲۴±۴/۳۱ محاسبه گردید. حداکثر مقدارTLp گهر بزرگ در آبانماه برابر ۴/۵۳ ، حداقل آن در خرداد ماه برابر ۲/۹۶ و میانگین این شاخص ۴/۲۵ محاسبه شد(شکل۸). اختلاف معنی داری بین مقادیر TLp دو دریاچه در ماه های مختلف مشاهده نگردید($P>0/05$).



شکل۸- نمودار تغییرات زمانی شاخص **TLI** بر اساس غلظت فسفات کل(**TLp**) در دوره بدون یخبندان درمدت مطالعه،۱۳۹۰-۱۳۸۹

بر اساس شاخص TLI برمبنای میانگین تروفی مبتنی بر کلروفیل a، غلظت نیترات کل و فسفات کل– در گهر کوچک بیشترین رقم تروفی در اردیبهشت ماه برابر۴/۴۶ ، کمترین رقم در مرداد ماه(۳/۷۶) و میانگین این شاخص طی دوره نمونه برداری۰/۱۹± ۴/۲۲ محاسبه گردید(شکل۹).

بر اساس شاخص TLI برمبنای میانگین تروفی مبتنی بر کلروفیل a، عمق رویت، غلظت نیترات کل و فسفات کل، در گهر بزرگ حداکثر میزان تروفی در تیر ماه برابر ۴/۰۸ ، کمترین مقدار در اردیبهشت ماه برابر ۳/۱۷ و میانگین این شاخص طی دوره نمونه برداری ۳/۸۴ محاسبه گردید(شکل۹).



شکل۹- نمودار تغییرات زمانی شاخص **TLI** بر اساس میانگین غلظت کلروفیل **a**، عمق رویت، غلظت نیترات کل و فسفات کل در دوره بدون یخبندان درمدت مطالعه،۱۳۹۰-۱۳۸۹

بحث و نتیجه گیری

براساس نتایج بدست آمده از دریاچه گهرکوچک، مقدار میانگین سالانه کلروفیل a درمدت مطالعه، ۱/۱۲±۲/۹۶ میکروگرم درلیتر بود(شکل۱). میانگین سالانهٔ غلظت نیترات کل و فسفات کل در دریاچه گهرکوچک به ترتیب ۲۱۴/۴۴±۸۰۱ و ۴/۱۳±۲۵/۳ میکروگرم در لیتر محاسبه شد(شکل های۳و۴). با محاسبه میزان تروفی دریاچه گهرکوچک مشخص شد که مقدار میانگین شاخص بر اساس کلروفیل a (TLc) در مدت مطالعه ۰/۵۳±۳/۳۱ بود(شکل۵). مقادیر میانگین سالانه شاخص در این دریاچه بر مبنای نیترات کل(TLn) و فسفات کل(TLp) به ترتیب۰/۴۳±۵/۰۵ و ۰/۲۴±۴/۳۱ بدست آمد(شکل های۷و۸). مقدار میانگین سالانه شاخص بر پایه سه پارامتر کلروفیل a، نیترات کل و فسفات کل(TLI)برابر ۰/۱۹±۴/۲۲ محاسبه شد(شکل۹).

براساس جدول طبقه بندی تروفی Vollenweider (1967)(جدول۱) دریاچه گهر کوچک بر اساس غلظت کلروفیل a و فسفات کل مزوتروف است. نسبت نیترات کل به فسفات کل در دریاچه گهر کوچک ۳۱ ، و شاخص های TLn (۰/۴۳±۵/۰۵)و TLp (۰/۲۴±۴/۳۱) می باشند. لذا تروفی گهر کوچک بر اساس نیترات کل و فسفات کل بیانگر شرایط یوتروفی دریاچه کوچک است. با توجه به مسیر سخت دسترسی، دوری دریاچه گهر کوچک از مناطق مسکونی و عدم دریافت پساب های صنعتی، کشاورزی و یا فاضلاب های شهری، بالابودن نسبی مواد مغذی فسفات و به ویژه نیترات دریاچه، می تواند به علت شیب زیاد حوزه آبخیز و شستشوی بستر رودخانه تاپله باشد. پوشش گیاهی انبوه دریاچه گهرکوچک باعث می شود که موادمغذی ورودی توسط گیاهان آبزی دریاچه مصرف شده و با توجه به ایجاد سایه توسط گیاهان آبزی و عدم نفوذ نور به درون ستون آب دریاچه، مانع رشد فیتوپلانکتون گردد. در دریاچه های کم عمق، تولید اولیه بوسیله ترکیبی از جمعیت های فیتوپلانکتونی و گیاهان غوطه ور مشخص می گردد. ساختار جمعیتی تولیدکنندگان اولیه متاثر از غلظت فسفر آب بوده و ممکن است بین دو حالت غلبه فیتوپلانکتونی یا گیاهان غوطه و در ردیاچه های عمیق تغییر کند. به طوری که ماکروفیت های معلق در آب در دریاچه های بزرگ، زمانی که غلظت نوترینت های آب کم (فسفات کل کمتر از ۲۵میکروگرم در لیتر) و نسبت N:P بیش از ۱۰:۱ باشد غالب می شوند (Wetzel,2001). هنگامی که میزان مقادیر فسفر و نیتروژن افزایش یابد، گیاهان معلق بزرگتر مانند *Myriophyllum* و تعدادی از گونه های *Potamogeton* غالب می شوند (Wetzel,2001). غلبه همیشگی گیاهان آبزی *Myriophyllum* و *Potamogeton* در دریاچه گهر کوچک نیز تنها به دلیل پایین بودن غلظت فسفات کل(۴/۱۳±۲۵/۳میکروگرم درلیتر) و بالا بودن نسبت نیترات کل به فسفات کل(N:P=۳۱) می باشد.

باتوجه به رقم شاخص TLc (۰/۵۳±۳/۳۱) بدست آمده مشخص شد که دریاچه گهر کوچک وضعیت مزوتروف دارد(جدول۳). با توجه به پوشش گیاهی دائمی دریاچه گهرکوچک، این دریاچه از جمله دریاچه های plant-associate بوده و همین امر نیز علت پایین بودن میزان کلروفیلa فیتوپلانکتون(۱/۱۲±۲/۹۶میکروگرم درلیتر) دریاچه است. از اینرو شاخص تروفی براساس کلروفیل a (TLc)، درمدت مطالعه پایین(۰/۵۳±۳/۳۱)و بیانگر شرایط مزوتروفی دریاچه گهر کوچک بودند.

شرایط دریاچه گهر کوچک یعنی عمق کم، غلبه گیاهان آبزی، پایین بودن مقادیر کلروفیل و فسفات کل با خصوصیات دریاچه چغاخور همخوانی نشان می دهد. دریاچه چغاخور در استان چهارمحال بختیاری نیز با دارا بودن مقدار کلروفیل a (۲/۹میکروگرم در لیتر) و فسفات کل پایین (۲۵میکروگرم در لیتر) ، دریاچه ای با غلبه گیاه آبزی جنس *Myriophyllum* است (موسوی و همکاران،۱۳۸۷). در نهایت بر اساس شاخص TLI بر مبنای کلروفیلa، نیترات کل و فسفات کل- مشخص گردید دریاچه گهر کوچک وضعیت یوتروف دارد.

براساس نتایج بدست آمده دریاچه ی گهر بزرگ، مقدار میانگین سالانه کلروفیل a در مدت مطالعه، ۰/۹۵±۱/۶ میکروگرم درلیتر (شکل۱)، میانگین عمق شفافیت آن درمدت مطالعه۱/۷±۶/۸ متر بود(شکل۲). میانگین سالانه غلظت نیترات کل و فسفات کل در دریاچه گهر بزرگ به ترتیب ۲۴۰/۲۵±۹۷۶ و ۶/۸±۲۴/۲ میکروگرم درلیتر محاسبه شد(شکل های۳و۴). با محاسبه میزان تروفی

دریاچه گهر بزرگ مشخص شد که مقدار میانگین شاخص بر اساس کلروفیل a (TLc)در مدت مطالعه ۰/۹±۲/۷۳ (شکل۵) و میانگین شاخص شهریور براساس عمق شفافیت(TLs) در مدت مطالعه ۰/۲۹±۳ بود(شکل۶). میانگین سالانه شاخص تروفی بر مبنای نیترات کل(TLn) و فسفات کل(TLp) به ترتیب۰/۳۶±۵/۳۸ و ۰/۴۹±۴/۲۵ (شکل های۷و۸) و میانگین سالانه شاخص تروفی بر اساس پارامتر های کلروفیل a، نیترات کل و فسفات کل(TLI) ۰/۲۷±۳/۸ محاسبه شد(شکل۹).

بر اساس جدول تقسیمات تروفی Vollenweider دریاچه گهر بزرگ بر اساس غلظت کلروفیلa و عمق شفافیت الیگوتروف و بر اساس غلظت فسفات کل مزوتروف بود. با توجه به اینکه نسبت نیترات کل به فسفات کل در دریاچه بزرگ ۴۰ بود، به نظر می رسد فسفات کل در دریاچه گهر بزرگ نسبت به دریاچه کوچک محدودکنندگی بیشتری داشته است.

دریاچه گهر بزرگ از نظر شاخص TLs (۰/۲۹±۳)مزوتروف بود(جدول۳). باتوجه به بالا بودن عمق شفافیتِ (۱/۷±۶/۸) دریاچه، علت اصلی مزوتروف بودن دریاچه بر اساس شاخصTLs، غلبه فصول پر باران بر فصول آفتابی بوده و کدورت آب ناشی از بارندگی در فصول بهار و پاییز باعث کاهش نسبی میانگین عمق شفافیت طی مدت مطالعه شده است(شکل۲)(غیاث آبادی،۱۳۹۱). خطای حاصل از وجود ذرات معلّق یا کدورت غیر زیستی عمق رویت صفحه سشی و بدنبال آن نفوذ نور در آب را کاهش می دهد(Carlson,1977). هرچند به دلیل بادخیزی منطقه اشترانکوه و وزش باد در اغلب روزهای نمونه برداری عمق شفافیت کمتر از حالت واقعی ثبت و طی مدت مطالعه نوسان زیادی داشته است(از حداقل ۵/۲متر در اردیبهشت ماه تا حداکثر ۹/۸متر درمهرماه)؛ به نظر می رسد میانگین شفافیت دریاچه گهر بزرگ(۱/۷±۶/۸متر) با هیچ دریاچه طبیعی در ایران قابل مقایسه نبوده و چنین شفافیتی تنها در دریاچه های پشت سد خصوصاً در مراحل ابتدایی احداث مشاهده گردد(غیاث آبادی،۱۳۹۱).

مقدار شاخص TLc براساس کلروفیل a با رقم ۰/۹±۲/۷۳ شرایط دریاچه گهر بزرگ را الیگوتروف نشان داد(جدول۳). پایین بودن مقدارکلروفیل a همراه با شفافیت آب دریاچه و بالا بودن عمق رویت گهر بزرگ را در شرایط الیگوتروفی نشان می دهد. میرزاجانی و همکاران(۱۳۹۱) غلظت مشابهی از کلروفیلa (۱/۶-۰/۵ میکروگرم در لیتر) در دریاچه تهم استان زنجان گزارش داده و آن را در دریاچه های الیگوتروف طبقه بندی نمودند.

اما بر اساس شاخص TLn و TLp (ارقام تروفی به ترتیب ۲۵برابر /۲۴۰±۹۷۶ و ۶/۸±۲۴/۲) (شاخص مبتنی بر نیترات کل و فسفات کل) دریاچه گهر بزرگ وضعیت یوتروف دارد(جدول۳). هرچند مواد مغذی دریاچه گهر بزرگ در مقایسه با دریاچه های طبیعی ایران و حتی دریاچه های پشت سد بسیار ناچیز است(غیاث آبادی،۱۳۹۱)، این دریاچه از نظر شاخص TLI با رقم ۰/۲۷±۳/۸ میانگین شاخص تروفی بر مبنای کلروفیلa، عمق شفافیت، نیترات کل و فسفات کل، وضعیت مزوتروف دارد(جدول۳). با توجه به عمق زیاد(۲۸متر) دریاچه گهر بزرگ، مقادیر پایین کلروفیل(a ۰/۹۵±۱/۶)و شفافیت بالای آب دریاچه(عمق رویت ۱/۷±۶/۸ متر) ؛ قراردادن دریاچه گهر در دسته دریاچه های مزوتروف خالی از اشکال نیست. چنانچه نسبت بالای N:P نیز (N:P=۴۰) گویای محدودیت عنصر فسفر بود. که این امر مانع بروز شکوفایی فیتوپلانکتونی شده و تراکم فیتوپلانکتون پایین نگه داشته می شود(غیاث آبادی،۱۳۹۱). بنابراین قرار گرفتن دریاچه گهر بزرگ در دسته دریاچه های مزوتروف تنها به دلیل بالا بودن نسبی غلظت های فسفر کل نسبت به کل نیترات است یعنی فقر فسفات عامل محدود کننده رشد محسوب می شود. در نهایت می توان چنین نتیجه گرفت که غلظت مواد مغذی دریاچه گهر بزرگ نسبت به دریاچه های مشابه پایین بوده و براساس نسبت Red field دریاچه دارای محدودیت عنصر فسفات است. غلظت پایین کلروفیلa نیز موید محدودیت موادمغذی و شرایط الیگوتروفی دریاچه بود(غیاث آبادی). از این رو می توان دریاچه گهر بزرگ را از دید شاخص TLI بر اساس کلروفیل a و عمق شفافیت الیگوتروف، و بر پایه پارامترهای کلروفیل a ، عمق شفافیت، فسفات کل و نیترات کل مزوتروف نامید.

سپاسگزاری

با سپاس از ریاست محترم اداره کل محیط زیست استان لرستان و منطقه حفاظت شده اشترانکوه، جناب آقایان

مهندس بازگیر و مهندس بهلولی که همواره حامی اعضای تیم تحقیقاتی بوده و از هیچ کوششی دریغ ننمودند. و با تشکر ویژه از محیط بانان و همیاران محیط زیست منطقه اشترانکوه- دریاچه گهر که انجام این تحقیق طاقت فرسا بدون همراهیشان غیر ممکن بود.

منابع

موسـوی ندوشـن، ر. ، فـاطمی، م. ، اسـماعیلی سـاری، ع. و وثوقی، غ. ۱۳۸۷. تعیین وضعیت تروفی و پتانسیل تولید ماهی در دریاچه چغـاخور. مجلـه علمـی شـیلات، ۲(۲) قابل دسترسی در : www. sid. ir.

میرزاجـانی، ع. ، عباسـی، ک. ، سـبک آرا، ج. ، مکـارمی، م.، عابدینی، ع. و صیادبورانی، م. ۱۳۹۱. لیمنولوزی دریاچـه الیگـو-مزوتـروف تهـم در اسـتان زنجـان. مجلـه زیسـت شناسی ایران، ۵(۱): ۸۹-۷۴.

غیاث آبادی، م. ۱۳۹۱. بررسی ساختار جمعیت پلانکتـونی و تعیین وضـعیت تروفـی یـک دریاچـه Paternoster- دریاچه گهر- بـا اسـتفاده از شـاخص TLI. پایـان نامـه کارشناسی ارشد رشـته شـیلات. دانشـگاه آزاد اسـلامی، واحد تهران شمال.

Baban, S. M. J. 1996. Trophic classification and ecosystem checking of lakes using remotely sensed information. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 41(6), 939-957.

Burns, N. & Bryers, G. 2000. Protocol for monitoring trophic levels of New Zealand lakes and reservoirs. Lakes Consulting, Pauanui.

Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography. 22(2):361-369.

Miracle, M. R. ,Vicente, E. & Pedros-Alio, C. 1992. Biological studies of Spanish meromictic and stratified karstic lakes. Madrid. Limnetica, 8: 59-77.

Wehr, J. D. & Sheath, R. G. 2003. Freshwater algae of North America. Academic Perss. New York.

Wetzel, R. G. & Likens, G. E. 2000. Limnological analysis. 3rd edition. Springer-Verlag, New York.

Wetzel, R. G. 2001. Limnology: Lake and river ecosystems. 3rd edition. Academic Press, San Diego.

Yarahmadi, A. M., Moghimi, E, Servati, M. R. & Kardavani, P.2012. Geomorphologic evidences of the influence of glacier sediments in lake formation, Case Study: the formation of Gahar Lake, in Iran. International Research Journal of Applied and Basic Sciences, 3 (2): 224-233.