

ارزیابی فسفر زیست‌فراهم جلبک (*Senedesmusobliquus*) با عصاره‌گیرهای شیمیایی در رسوبات رودخانه‌های غرب حوضه آبخیز دریاچه ارومیه

حامد ارفع نیا^{1*} - عباس صمدی² - فرخ اسدزاده³ - ابراهیم سپهر⁴

تاریخ دریافت: 1395/09/23

تاریخ پذیرش: 1395/11/12

چکیده

فسفر یک عنصر غذایی ضروری برای تمامی جانداران می‌باشد و در زیست‌بوم‌های آبی به شمشیر دولبه‌ای می‌ماند، که از سویی می‌تواند عامل محدودکننده رشد جانداران و در شرایط دیگر، موجب آلودگی و ایجاد پدیده سرشارسازی در پیکره‌های آبی شود. گزارش‌های مکتوب و عینی از پدیده شکوفایی جلبکی در تالاب‌ها و رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه وجود دارد. با توجه به عدم وجود پژوهشی جامع در رابطه با وضعیت فسفر زیست‌فراهم در رسوبات رودخانه‌ای در منطقه، این مطالعه با هدف ارزیابی مقدار فسفر زیست‌فراهم در 34 نمونه از رسوبات رودخانه‌ای و با استفاده از 7 روش عصاره‌گیری مختلف انجام و روش مناسب عصاره‌گیری با کاربرد آزمون جلبکی تعیین شد. نتایج نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات و به ویژه بافت آن‌ها دارای دامنه‌ی بسیار وسیعی است. میانگین مقادیر کمی فسفر استخراج شده با استفاده از روش‌های مختلف به ترتیب: بری 2 > دی تی پی ای > اولسن > هیدرواکسید سدیم > مهلیچ 3 > کالول بود. آزمون همبستگی موید رابطه معنی‌دار بین مقادیر فسفر استخراج شده در اغلب روش‌های عصاره‌گیری بود. علاوه بر همبستگی معنی‌داری ($r=0/93$, $P<0/001$) از نظر کمی مقدار فسفر استخراج شده به روش اولسن و مهلیچ 3 نیز مشابهت داشت. آزمون جلبکی نشان داد که در بین شاخص‌های مختلف فسفر زیست‌فراهم، مقدار فسفر عصاره‌گیری شده به روش کالول رابطه بسیار معنی‌داری ($r^2=0/67$, $P<0/001$) با جمعیت جلبک (*Senedesmusobliquus*) در محیط کشت وجود داشت. در مجموع براساس یافته‌های این پژوهش می‌توان روش کالول را به عنوان مناسب‌ترین روش ارزیابی فسفر زیست‌فراهم جلبکی در رودخانه‌های غرب دریاچه ارومیه پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: زیست‌فراهمی، رشد جلبک، استخراج، مناسب

مقدمه

فسفر به عنوان یکی از محرک‌های اصلی پدیده‌های سرشارسازی⁷ و شکوفایی جلبکی⁸ در محیط‌های آبی است. این پدیده‌ها سبب کمبود اکسیژن⁹ در محیط‌های آبی شده و متعاقب آن شکل‌های گوناگونی از آسیب‌های زیست محیطی مانند مرگ و میر آبزیان، کاهش تنوع زیستی و تغییر در شبکه غذایی می‌تواند بروز یابد (32 و 53). فسفر به طور عمده در اثر فرآیندهای فرسایش خاک و از طریق رسوبات وارد زیست‌بوم‌های آبی شده و از طریق تعادل پایدار بین فاز جامد رسوبات با آب متفدی و آب سطحی می‌تواند در اختیار موجودات زنده این محیط‌ها قرار گیرد (13 و 19). بر این اساس فرآیند آزاد شدن فسفر از رسوبات برای استفاده موجودات زنده اهمیت فراوانی داشته و تعیین بخش زیست‌فراهم فسفر رسوبات برای ارزیابی

فسفر به عنوان محدودکننده ترین عنصر غذایی پرمصرف در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها محسوب شده و وجود آن برای فعالیت‌های زیستی ضروری است. براساس شاخص ردفیلد⁵ نیاز قیاس‌سنجی⁶ فسفر در مقایسه با عنصر پرمصرف کربن و نیتروژن کمترین مقدار بوده (106 C: 16N: 1P) و در نتیجه اضافه‌شدن مقادیر کمی از آن به زیست‌بوم‌های آبی می‌تواند نتایج بسیار سوء زیست محیطی در بر داشته باشد (15، 37 و 41).

1، 2، 3 و 4- به ترتیب دانشجوی دکتری شیمی و حاصلخیزی خاک، استاد، استادیار و دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه
(Email: h_arfania82@yahoo.com) * نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jsw.v31i4.60469

5- Redfield

6- Stoichiometric need

7- Eutrophication

8- Algal bloom

9- Hypoxia

دریاچه به ویژه از بخش غربی آن حجم قابل توجهی از رسوبات را انتقال می‌دهند که این رسوبات در مسیر رودخانه‌ها سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی و از جمله شکوفایی جلبکی می‌شوند. از این رو آگاهی از زیست‌فراهمی فسفر در این رسوبات این رودخانه‌ها و ارتباط آن با رشد جلبک‌های بومی منطقه از قدم‌های اولیه و اساسی در راستای توسعه‌ی روش‌های ارزیابی زیست‌محیطی محسوب می‌شود.

بر این اساس پژوهش حاضر، با هدف بررسی ارتباط بین مقدار فسفر عصاره‌گیری شده از رسوبات به روش‌های مختلف با رشد جلبک (*Senedesmus obliquus*)، به عنوان جلبک بومی رودخانه‌های منطقه، صورت گرفته و طی آن تلاش شده تا طریق ایجاد همبستگی بین فسفر ناشی از عصاره‌گیرهای مختلف و رشد جلبک مذکور، عصاره‌گیر مناسبی برای ارزیابی فسفر زیست‌فراهم در رسوبات رودخانه‌های منطقه معرفی شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران واقع شده و در سال‌های اخیر بر مشکلات زیست‌محیطی ناشی از خشک شدن آن افزوده شده است. این دریاچه دارای 21 رودخانه فصلی و دائمی است که اغلب آن‌ها در بخش غربی و جنوب دریاچه واقع شده‌اند. رودخانه‌های غرب و جنوب دریاچه ارومیه از کوه‌های مرزی ایران با کشورهای ترکیه و عراق سرچشمه گرفته و با عبور از مناطق کشاورزی و بعضاً صنعتی با حرکت به سوی شرق به دریاچه ارومیه منتهی می‌شوند. احداث سد‌ها و افزایش مصرف آب در مسیر این رودخانه‌ها سبب تشدید فرآیند رسوب‌گذاری شده و شرایط مناسبی را برای پدیده‌هایی مانند شکوفایی جلبکی به ویژه در پایاب رودخانه‌ها فراهم آورده است. مهم‌ترین رودخانه‌های این بخش از دریاچه شامل رودخانه‌های نازلو چای، شهرچای، باراندوز چای، گدار چای، مهاباد چای، سیمینه چای و زولاچای می‌باشند که حوزه آبخیز مربوط به آن‌ها در شکل 1 ارائه شده است.

نمونه برداری و تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

نمونه‌های رسوب

در این پژوهش در مجموع 34 نمونه رسوب از کناره هفت رودخانه غرب دریاچه ارومیه، شامل نازلوچای (12 نمونه)، شهرچای (3 نمونه)، باراندوزچای (7 نمونه)، گدارچای (3 نمونه)، مهابادچای (3 نمونه)، سیمینه‌چای (4 نمونه) و زولاچای (2 نمونه) تهیه شدند. برای هر یک از نمونه‌های رسوب، از 3 نقطه در فواصل تقریبی 10 متری

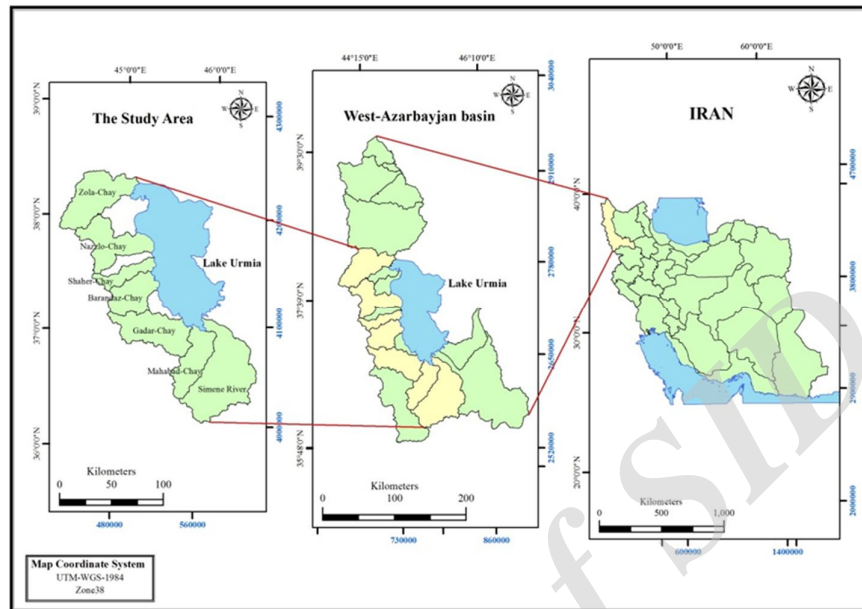
سلامت زیست‌بوم‌های آبی ضروری است (11).

در زیست‌بوم‌های آبیخشی از فسفر رسوبات که می‌تواند مورد استفاده جلبک‌ها باشد به عنوان فسفر زیست‌فراهم در نظر گرفته می‌شود. تعیین کمی فسفر زیست‌فراهم در رسوبات رودخانه‌ای از طریق آزمون جلبکی¹ امکان‌پذیر است. هر چند آزمون جلبکی به عنوان یک آزمایش دشوار و وقت‌گیر محسوب می‌گردد، اما مقدار فسفر زیست‌فراهم به دست آمده از آزمون جلبکی بهترین روش برای برآورد پتانسیل ایجاد شکوفایی جلبکی توسط رسوبات است (1) و (44). بر این اساس توسعه‌ی آزمون‌های ساده برای ارزیابی زیست-فراهمی فسفر در خاک‌ها و رسوبات ضروری است.

در طول دهه‌های اخیر روش‌های عصاره‌گیری فراوانی برای ارزیابی فسفر زیست‌فراهم خاک‌ها توسعه یافته‌اند که از میان آن‌ها می‌توان به روش‌هایی مانند مورگان (31)، مهلیچ 3 (29)، بری - کورتر 1 (4) و اولسن (34) اشاره نمود. در این راستا، تلاش‌های فراوانی نیز برای ایجاد همبستگی بین مقدار فسفر عصاره‌گیری شده با تک‌عصاره‌گیرهای شیمیایی و رشد جلبک در محیط‌های آبی صورت گرفته است (1، 11، 12، 14، 21 و 44). فسفر عصاره‌گیری شده با هیدروکسید سدیم 0/1 مولار یکی از اولین عصاره‌گیرهایی بود که برای ارتباط بین فسفر رسوبات با رشد جلبک پیشنهاد شد (8 و 40). با این حال ساگار (40) تاکید نمود که استفاده از این عصاره‌گیر ممکن است در نمونه‌هایی که جدیداً کود کلسیم فسفات دریافت کرده‌اند، سبب کم‌برآوردی فسفر زیست‌فراهم شده و برعکس در نمونه‌هایی که حاوی مقادیر بالایی از اکسیدهای آهن و آلومنیوم هستند، سبب بیش‌برآوردی گردد. نوارهای کاغذی پوشیده با اکسیدهای آهن از دیگر روش‌هایی است که همبستگی مطلوبی بین مقدار فسفر استخراج شده توسط آن با رشد جلبکی گزارش شده است (43 و 44). اندرسون و مگ‌داف (1) نیز با مقایسه تعدادی از عصاره‌گیرهای مختلف دریافتند که فسفر عصاره‌گیری شده به روش اولسن در مقایسه با سایر عصاره‌گیرها نظیر نوارهای کاغذی پوشیده با اکسیدهای آهن و مهلیچ 3، توانایی بیشتری در تبیین رشد جلبک دارد.

رودخانه‌ها به عنوان یکی از اجزای مهم زیست‌بوم‌های آبی محسوب شده و یکی از حلقه‌های اصلی پیوستار زمین - آب شیرین - آب شور می‌باشند (45). رودخانه‌ها از طریق انتقال ذرات کلوئیدی و فسفر متصل به آن‌ها نقش مهمی در چرخه فسفر رسوبات ایفا می‌نمایند. از این رو شناسایی روش‌های مناسب ارزیابی فسفر زیست‌فراهم در آن‌ها اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت. زیست‌بوم شکننده اطراف دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر در اثر افزایش فعالیت‌های کشاورزی با آسیب‌های فراوانی روبرو شده است. رودخانه‌های منتهی به این

مقداری رسوب از بستر رودخانه برداشته شده و از اختلاط آن‌ها یک نمونه مرکب حاصل شد. نمونه‌های رسوب پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا خشک شده و از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های نمونه‌برداری.
Figure 1- Geographical locations of study area and sampling river basins

جدول 1- روش‌های مختلف عصاره‌گیری فسفر زیست‌فراهم

Table 1- Different bioavailable phosphorus extraction methods

روش عصاره‌گیری Extraction method	زمان تکان دادن دقیقه Shaking time minute	ماده عصاره‌گیر Extraction reagent	نسبت آب به رسوب Sediment/water ratio	علامت اختصاری Abbreviation	منبع Reference
مورگان Morgan	30	0.7 M $\text{Na}_2\text{H}_2\text{O}_2 + 0.54 \text{ M}$ CH_3COOH , pH 4.8	1:10	Morgan-P	Morgan 1941
اولسن Olsen	30	0.5 M NaHCO_3 , pH 8.5	1:20	Olsen-P	Olsen et al 1954
بری 2 Bray II	5	0.4 M $\text{NH}_4\text{F} + 0.5 \text{ M}$ HCl	1:10	Bray II-P	Bray and Kurtz 1954
کاول Cowell	960	0.5 M NaHCO_3 , pH 8.5	1:50	Cowell-P	Cowell 1963
بی کربنات آمونیوم - دی تی بی ای AB-DTPA	15	1M $\text{NH}_4\text{HCO}_3 + 0.005 \text{ M}$ DTPA, pH 7.6	1:20	AB-DTPA-P	Soltanpour and Schwab 1977
مهلیچ 3 III	5	0.2 M $\text{CH}_3\text{COOH} + 0.0015$ $\text{NH}_4\text{F} + 0.25 \text{ M}$ $\text{NH}_4\text{NO}_3 + 0.013 \text{ HNO}_3 + 0.0001 \text{ M}$ EDTA	1:10	Mehlich III-P	Mehlich 1984
هیدروکسید سدیم NaOH	1020	0.1 M NaOH	1:100	NaOH-P	Sharpley 1991

عمومی مایع اضافه شد (17). سپس با استفاده از پیت پاستور و میکروسکو پاینورتحدود 20 سلول از محیط مایع جدا شده سپس به پلیتهای حاوی محیط کشت جامد آگار (کشت سریالی) انتقال یافته و خوابانیده شدند. کلتی‌های خالص بدست آمده پس از بررسی و شناسایی زیرمیکروسکوپ نوری به محیط مایع با حجم بالاتر 50 و 100 میلی‌لیتر انتقال داده شدند. در این مرحله از محیط کشت اختصاصی جلبک سندسموس بصورت بسته و به حجم 5 لیتر استفاده شد که مشخصات محیط کشت برای این جلبک در جدول 2 آورده شده است. جلبک‌ها تحت نور فلوسنت و مهتابی با شدت 90 وات بر مترمربع کشت شدند. در مرحله تثبیت رشد، جلبک مورد نظر به محیط کشت بدون فسفر وارد شد و به مدت یک ماه در این شرایط قرار داده شد تا علائم ظاهری کمبود فسفر مانند افزایش اندازه جلبک و گرد شدگی در زیر میکروسکوپ ظاهر گردد. در این مرحله 2 میلی‌لیتر از سوسپانسیون 5 به 1 رسوب به آب که قبلاً به مدت 1 ساعت در اتوکلاو قرار داده شده بود به 50 میلی‌لیتر از محیط کشت جلبک بدون فسفر در لوله‌های آزمایش 100 میلی‌لیتری اضافه شد. نمونه‌ها به طور مرتب و طی دو نوبت در هر روز به طور کامل مخلوط شدند. پس از یک ماه به منظور مقایسه رشد جلبک در نمونه‌های مختلف، تعداد جلبک‌ها با استفاده از لام نوبار و میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی 40× شمارش شدند.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در نمونه‌های رسوب شامل؛ بافت به روش هیدرومتری (3)، اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره 1:5 آب به رسوب (52)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم (46)، ماده آلی به روش والکی - بلک (36) و کربنات کلسیم فعال با استفاده از نمک اگزالات آمونیوم خنثی (20) تعیین شدند. به منظور بررسی زیست‌فراهمی فسفر در نمونه‌های رسوب، از 7 روش مختلف عصاره‌گیری شامل روش اولسن، روش کالول، روش مهلیچ 3، روش بری 2، روش بی کربنات آمونیوم - دی تی پی ای، روش مورگان و روش هیدروکسید سدیم 0/1 مولار استفاده شد. جزئیات مربوط به هر یک از روش‌های ذکر شده در جدول 1 ارائه شده است.

آزمون جلبکی

به منظور انجام آزمون جلبکی 17 نمونه‌ی رسوب از مجموع 34 نمونه انتخاب شدند. انتخاب نمونه‌ها براساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌ها و با استفاده از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی و آنالیز خوشه‌ای انجام شد. در ادامه ارتباط بین شاخص‌های مختلف زیست‌فراهمی فسفر در این نمونه‌ها و رشد جلبک، با استفاده از آزمون جلبکی با استفاده از گونه‌ی (*Senedesmus obliquus*) به عنوان جلبک بومی منطقه از آب رودخانه مهاباد در فصل تابستان نمونه‌برداری و به منظور بالابردن جمعیت جلبک به محیط کشت

جدول 2 - مشخصات ترکیب شیمیایی محیط کشت اختصاصی جلبک سندسموس
Table 2- The chemical composition of *Senedesmus obliquus* culture medium

محلول A	g L ⁻¹
Solution B	
NH ₄ NO ₃	25
KH ₂ PO ₄	7
MgSO ₄	4.5
محلول B	mg L ⁻¹
Solution A	
H ₃ BO ₃	715
ZnSO ₄ .7H ₂ O	55
CuSO ₄ .5H ₂ O	19
MnSO ₄ .7H ₂ O	635
Co(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	15
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	4
CaCl ₂ .6H ₂ O	1075
C ₆ H ₈ O ₇ .7H ₂ O	1325
FeC ₆ H ₅ O ₇	1325

زیست‌فراهم از رگرسیون ساده استفاده شد. کلیه محاسبات آماری این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار MINITAB 16 انجام گرفت.

در این پژوهش به منظور بررسی همبستگی بین متغیرهای مختلف از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. برای تحلیل چند متغیره ویژگی‌های رسوبات از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی، برای برقراری ارتباط بین رشد جلبک‌ها شاخص‌های مختلف فسفر

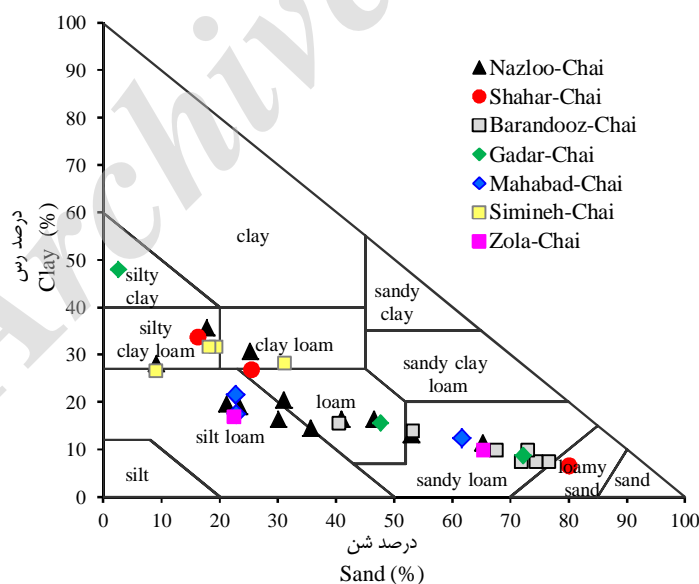
نتایج و بحث

ویژگی‌های نمونه‌های رسوب

نتایج برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های رسوب مطالعه شده در جدول 3 ارائه شده است. همچنین در شکل 2 دامنه‌ی کلاس‌های بافتی مربوط به نمونه‌ها نشان داده شده است. دامنه مقدار رس و سیلت در نمونه‌های رسوب به ترتیب از 6/5 تا 47/9 و 13/2 تا 64/2 درصد متغیر بود. مقدار کربنات کلسیم و ماده آلی نیز در رسوبات به ترتیب در محدوده‌ی 2/5-24/8 و 0/56-5/6 درصد قرار داشت. نمونه‌های رسوب از نظر بافتی دارای تنوع بسیار زیادی بوده و نمونه‌های رسوب مربوط به بالادست رودخانه‌ها اغلب درشت بافت بوده و در کلاس‌های بافتی شن لومی و لوم شنی قرار داشتند. در حالی که نمونه‌های رسوب پایین دست در اغلب رودخانه‌ها دارای بافت ریز در محدوده‌ی کلاس‌های رس سیلتی، لومرسی و لومرسی سیلتی قرار داشتند. به نظر می‌رسد فرآیند ترسیب انتخابی در امتداد رودخانه‌ها سبب این گونه تفکیک بافتی در طول مسیر شده باشد (28). در مجموع فراوانی ذرات سیلت و شن خیلی ریز در تمامی نمونه‌های رسوب نسبتاً بالا بود. به نظر می‌رسد حساسیت بالای این ذرات نسبت به فرسایش سبب شده که در اثر انتقال انتخابی ذرات خاک از اراضی بالادست، این ذرات در نمونه‌های رسوب فراوانی بیشتری داشته باشند (2). دامنه‌ی تغییرات pH و EC در نمونه‌ها اندک بوده و تمامی نمونه‌ها

دارای واکنش قلیایی و شوری نسبتاً پائینی بودند. رسوبات بالادست، آهک و آهک فعال کمتری نسبت به نمونه‌های پایین دست داشتند که این امر می‌تواند به دلیل عبور رودخانه‌ها از سازندهای آهکی منطقه باشد. آهک کل و آهک فعال رسوبات ارتباط معنی‌داری نشان دادند ($P < 0/05$, $r = 0/39$).

به منظور تحلیل دقیق‌تر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها، از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده شد. نتایج مربوط به وزن‌های هر یک از ویژگی‌ها به همراه مقادیر ویژه‌ی مربوطه در جدول 4 ارائه شده است. آنالیز مولفه‌های اصلی در نمونه‌های رسوب نشان داد که مولفه‌های اول و دوم با مقادیر ویژه‌ی بیش از یک، در مجموع 74 درصد از تغییرات ویژگی‌های نمونه‌های رسوب را توجیه می‌نمایند. در رابطه با مولفه‌ی سوم نیز مقدار ویژه نزدیک به یک و برابر با 0/95 بود که با در نظر گرفتن آن، سه مولفه‌ی اول در مجموع قادر به تبیین بیش از 83 درصد ویژگی‌های رسوبات هستند. با توجه به جدول 4 می‌توان بیان کرد که در مولفه‌ی اول مقدار سیلت و شن و در مولفه‌های دوم و سوم نیز pH و کربنات کلسیم حداکثر وزن‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. به عبارت دیگر ویژگی‌های مربوط به توزیع اندازه رسوبات به همراه مقدار آهک و pH بیشترین تاثیر را در تفکیک نمونه‌های رسوب داشته و به عنوان ویژگی‌های کلیدی رسوبات منطقه محسوب می‌شوند.



شکل 2- توزیع کلاس‌های بافتی نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای
Fig 2- Sediments textural classes distribution of river sediments

جدول 3- آمار توصیفی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات رودخانه‌های غرب حوضه آبخیز دریاچه ارومیه

Table 3- Statistical description of some physical and chemical properties of western river sediments of the Urmia Lake

آماره Statistics	EC	pH	مواد آلی Organic matter	آهک فعال Active calcium equivalence	آهک Carbonate calcium equivalence	شن خیلی ریز Very fine sand	رس Clay	شن Sand	سیلت Silt
	dSm ⁻¹	-			(%)				
حداقل Minimum	0.2	7.3	0.56	0.54	2.5	0.23	6.5	2.6	13.3
حداکثر Maximum	1.2	8	5.6	3.9	24.8	22.3	47.9	80.2	64.2
میانگین Average	0.4	7.6	1.8	2.2	15.9	10.7	19.2	40.4	40.4
انحراف معیار Standard Deviation	0.3	0.18	1.1	0.87	6	5.5	9.9	23.2	15.5

جدول 4- مشخصات مولفه‌ها یا ایجاد شده در روش تجزیه مولفه‌ها اصلی به همراه وزن‌های هر یک از ویژگی‌های رسوبات

Table 4- Results of the principal component analysis with the loadings of sediment properties

متغیر variable	مولفه اول PC1	مولفه دوم PC2	مولفه سوم PC3
کربنات کلسیم Calcium carbonate	-0.04	0.4	-0.64
مواد آلی Organic matter	0.24	-0.35	-0.22
اسیدیته pH	-0.16	0.47	0.18
هدایت الکتریکی EC	0.24	-0.39	-0.23
آهک فعال Active calcium carbonate	0.35	0.29	-0.24
رس Clay	0.38	0.24	0.25
سیلت Silt	0.41	0.1	-0.22
شن Sand	-0.44	-0.17	0.04
شن خیلی ریز Very fine sand	-0.35	-0.16	-0.5
فسفر اولسن Olsen-P	0.29	-0.33	0.13
مقادیر ویژه Eigenvalues	4.5	2.9	0.95
درصد واریانس % of variance	44.8	29.3	9.5
درصد تجمعی واریانس cumulative % of variance	44.8	74.1	83.6

اولسن، میانگین مقادیر فسفر در نمونه‌های رسوب کمتر از حد مجاز 20 میلی‌گرم بر کیلوم گرم بود. با این حال در برخی از نمونه‌های رسوب به ویژه رسوبات پایین دست، مقدار فسفر بیش از حد مجاز روش اولسن بود (27 و 48). به رغم تفاوت در مقدار فسفر عصاره‌گیری شده توسط روش‌های مختلف، اغلب این روش‌ها همبستگی مطلوبی با یکدیگر نشان دادند (جدول 6). در بین روش‌های مختلف، فسفر استخراج شده به روش بری 2، دارای کمترین مقدار همبستگی با سایر روش‌های عصاره‌گیری به ویژه روش اولسن بود. این همبستگی ضعیف بین روش اولسن و بری 2 قابل انتظار بود چرا که پژوهشگران متعددی بر این نکته تاکید نموده‌اند که روش بری 2، در نمونه‌های آهکی مقدار فسفر را به شدت

روش‌های مختلف عصاره‌گیری فسفر زیست‌فراهم

در جدول 5 آمار توصیفی مربوط به مقادیر فسفر استخراج شده توسط روش‌های مختلف عصاره‌گیری ارائه شده است. در مجموع نتایج نشان داد که مقدار فسفر قابل استخراج توسط روش‌های مختلف تفاوت قابل توجهی با یکدیگر دارد. و براساس میانگین فسفر استخراج شده از کل نمونه‌های رسوب ترتیب فراوانی مقدار فسفر عصاره‌گیری شده به شکل زیر است.

Cowell > Mehlich III > NaOH 0.1 M > Olsen > Morgan > AB-DTPA > Bray II

تفاوت مقادیر فسفر استخراج شده توسط روش‌های مختلف، نشان دهنده‌ی این واقعیت است که هر یک عصاره‌گیرها توانایی متفاوتی در استخراج فسفر از اجزای مختلف رسوبات دارند. براساس عصاره‌گیر

نمونه زیاد باشد، اشاره نموده‌اند (36 و 47). روش کاول و روش اولسن از نظر ترکیبات شیمیایی استفاده شده یکسان هستند و مقدار فسفر استخراج شده دو روش نیز همبستگی بسیار خوبی با یکدیگر نشان می‌دهد (شکل 3). با این حال به نظر می‌رسد که به دلیل تفاوت در نسبت آب به خاک و در نتیجه تفاوت در زمان تعادل بین دو روش، مقدار کمی فسفر استخراج شده به روش کاول، بیشتر از روش اولسن است (7).

غلظت کل فسفر در نمونه‌ها دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با فسفر استخراج شده با استفاده از تمامی عصاره‌گیرها به غیر از روش بری 1 بود. ژئو و همکاران (57) در رسوبات بستر سه دریاچه مختلف در انگلستان و چین، بین فسفر استخراج شده به روش اولسن و فسفر کل همبستگی معنی‌داری را مشاهده نموده‌اند. دلوکا و همکاران (9) مشاهده نمودند که مقدار فسفر کل دارای همبستگی معنی‌داری با فسفر عصاره‌گیری شده به روش‌های اولسن و مهلیچ 3 است. نتایج مشابهی توسط پالمر-فلگیت و همکاران (35)، یان و همکاران (55) و یان و همکاران (56) گزارش شده است.

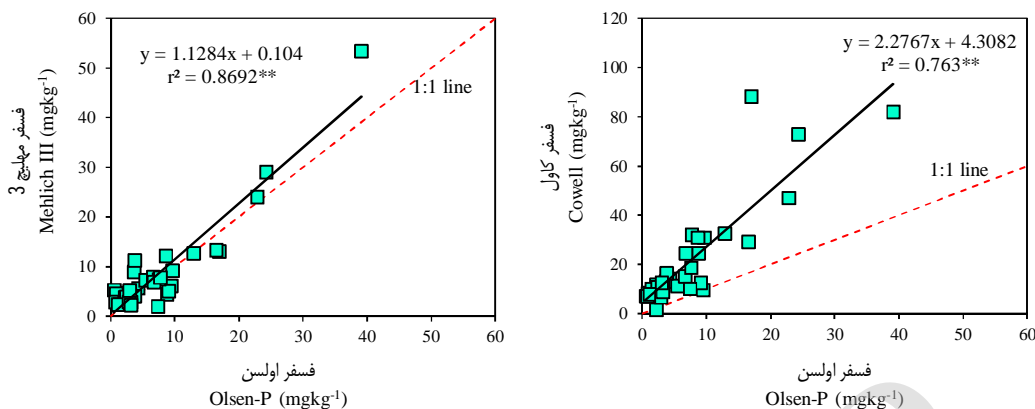
فسفر عصاره‌گیری شده با هیدروکسید سدیم 0/1 مولار که در برخی از منابع به عنوان فسفر زیست‌فراهم جلبک در نظر گرفته شده است (26 و 57)، به رغم همبستگی با روش اولسن از نظر مقدار کمی بیش از روش اولسن بود که با نتایج ژو و همکاران (57) همخوانی دارد. از سوی دیگر فسفر استخراج شده با هر دو عصاره‌گیر، همبستگی مطلوبی با غلظت کل فسفر دارد که مشابه گزارش لو و همکاران (22) در رسوبات تالاب‌های جنوب غرب چین می‌باشد. هیدرورکسید سدیم 0/1 مولار فسفر متصل با آلومنیوم و آهن و مواد آلی با اکسیدها را آزاد می‌کند (26). در کل هیدروکسید سدیم 0/1 مولار مقدار کمی فسفر نسبت به کل فسفر خارج ساخته است. در این زمینه برخی از پژوهشگران اشاره نموده‌اند که چرخه‌های خشک و مرطوب شدن می‌توانند فسفر قابل استخراج با هیدروکسید سدیم 0/1 مولار را کاهش دهند (26). با توجه به فصلی بودن رودخانه‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند حوضه آبخیز دریاچه ارومیه و وقوع چرخه-های خشک و مرطوب شدن در رودخانه‌های مورد پژوهش، ممکن است کم بودن مقدار فسفر استخراج شده با هیدروکسید سدیم 0/1 مولار مربوط به وقوع این چرخه‌ها باشد.

کم برآورد می‌نماید (25). با این حال نبود همبستگی بین مهلیچ 3 و بری 2 چندان قابل انتظار نبود چرا که انتظار عمومی این است که هر دوی این روش‌ها نتایج تقریباً مشابهی را برای ارزیابی فسفر ارائه می‌دهند (25). به نظر می‌رسد که ارتباط ضعیف بین روش بری 2 و مهلیچ 3 به pH نمونه‌های رسوب که بیش از 7/3 است، مربوط باشد (49). مالارینو (25) در این زمینه اقدام به گروه‌بندی نمونه‌های خاک بر مبنای pH نموده و مشاهده کرد که در pH های کمتر از 7/45 رابطه مطلوبی بین دو روش بری 2 و مهلیچ 3 وجود دارد اما برای نمونه‌های با pH بیش از 7/45 رابطه معنی‌داری بین فسفر استخراج شده از دو روش توسط وی گزارش نشد. سوتومیر-رامبرز و همکاران (49) نیز رابطه همبستگی مطلوبی بین فسفر استخراج شده از دو روش مذکور را برای تعدادی نمونه خاک با pH کمتر از 7/24 گزارش نمودند. با توجه به اینکه نمونه‌های رسوب این پژوهش نیز همگی دارای pH بیش از 7/3 بودند به نظر می‌رسد که دلیل این همبستگی ضعیف مربوط به pH نمونه‌ها باشد. حداکثر همبستگی نیز بین روش اولسن به ترتیب باروش‌های مهلیچ 3 و کوول مشاهده شد که ارتباط خطی بین این عصاره‌گیرها در شکل 3 نشان داده شده است (5). شکل 3 به روشی نشان می‌دهد که مقادیر فسفر استخراج شده به روش مهلیچ 3 علاوه بر همبستگی مطلوب با فسفر اولسن از نظر کمی نیز تنها با اندکی تفاوت، بیش از فسفر اولسن هستند. این امر موید این نکته است که روش مهلیچ 3 در شرایط رسوبات آهکی منطقه با روش اولسن قابل جایگزینی است (25). با این حال جلالی و جلالی (18) در نمونه‌های خاک زراعی، گزارش نمودند که عصاره‌گیر مهلیچ 3، فسفر بسیار بیشتری نسبت به عصاره‌گیر اولسن استخراج می‌نماید. به نظر می‌رسد که تفاوت نتایج مشاهده شده پژوهش حاضر با گزارش‌های جلالی و جلالی (18) به دلیل تفاوت در نوع نمونه‌ها باشد. این پژوهشگران از نمونه‌های خاک زراعی که به مدت 4 دهه، تحت کوددهی مداوم فسفر بوده‌اند، استفاده نموده‌اند. این شرایط سبب افزایش قابل توجه فسفر کل در نمونه‌های آن‌ها شده و با در نظر گرفتن این نکته که pH عصاره‌گیر مهلیچ 3 کمتر از روش اولسن است، مقدار قابل توجهی از فسفر به روش مهلیچ 3 استخراج شده است (36). برخی از پژوهشگران دیگر نیز به توانایی کمتر عصاره‌گیر اولسن نسبت عصاره‌گیرهای اسیدی، به ویژه زمانی که فسفر کل

جدول 5- آمار توصیفی مقادیر فسفر استخراج شده با روش‌های مختلف عصاره‌گیری

Table 5- Statistical description of phosphorus concentration extracted by different methods

آماره Statistics	Olsen	Cowell	Mehlich III	Morgan	Bray II	AB-DTPA	NaOH-0.1M	Total
حداقل Minimum	0.48	1.4	1.9	0.28	>0.01	0.16	0.2	264
حداکثر Maximum	39.1	88.4	53.4	19.8	11.6	23.4	20.9	658
میانگین Average	7.6	21.7	8.7	3.4	0.9	3.1	8.5	423
انحراف معیار Standard deviation	8.2	21.3	9.9	4.1	2.3	4.3	5.5	92.2



شکل 3- ارتباط بین فسفر اولسن با فسفر استخراج شده به روش‌های کاول و مهلیچ 3
Figure 3- Relationship of Olsen-P with Cowell-P and Mehlich-III-P

جدول 6- ضرایب همبستگی بین فسفر استخراج شده توسط روش‌های مختلف عصاره‌گیری (n=34)
Table 6- Correlation between extracted P by different sediment extraction methods (n=34)

	AB-DTPA	Olsen	Cowell	Melich III	Bray II	Morgan	NaOH 0.1 M	Total
AB-DTPA	1							
Olsen	0.67**	1						
Cowell	0.58**	0.87**	1					
Melich III	0.64**	0.93**	0.81**	1				
Bray II	0.05	0.03	-0.05	-0.03	1			
Morgan	0.50**	0.80**	0.78**	0.81**	-0.06	1		
NaOH 0.1 M	0.18	0.57**	0.65**	0.51**	0.12	0.36*	1	
Total	0.48**	0.67**	0.76**	0.69**	-0.07	0.65**	0.54**	1

** به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح احتمال $p < 0/01$ و $p < 0/05$

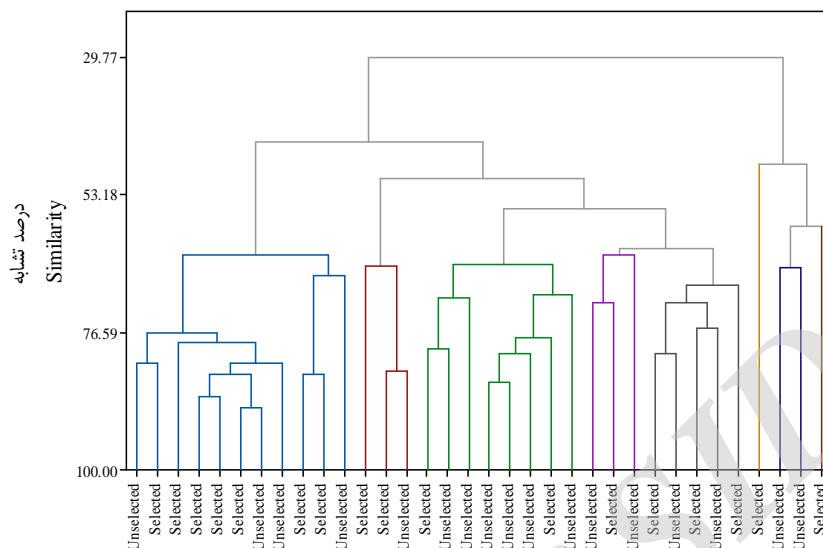
** and * Significant at 0.01 and 0.05 probability levels, respectively

بتواند از آن در طی یک دوره زمانی 24 ساعته و یا بیشتر استفاده کند. عموماً برای تعیین فسفر زیست‌فراهم جلبک از روش آزمون جلبکی استفاده می‌شود (30). جمعیت جلبکی در محیط‌های تیمار شده با نمونه‌های رسوب منتخب با یکدیگر متفاوت بوده و نتایج نشان داد که جمعیت جلبکی دارای همبستگی معنی‌داری با مقدار فسفر استخراج شده به روش‌های مختلف است (شکل 4). با این حال مشاهده شد که در بین روش‌های مختلف عصاره‌گیری، مقدار فسفر استخراج شده به روش کاول، دارای بیشترین همبستگی ($r^2=0/67, P<0/001$) با جمعیت جلبکی محیط است. پس از روش کاول دو روش مورگان ($r^2=0/50, P<0/01$) و اولسن ($r^2=0/46, P<0/01$) دارای بیشترین همبستگی با مقدار جمعیت جلبکی محیط بودند. این نتایج به روشی نشان می‌دهد که فسفر استخراج شده به روش کاول در مقایسه با سایر روش‌ها شاخص مناسب‌تری برای ارزیابی فسفر زیست‌فراهم جلبک در نمونه‌های رسوب مورد مطالعه است.

آزمون جلبکی

با توجه به تعداد زیاد نمونه‌های رسوب و با در نظر گرفتن این واقعیت که آزمون جلبکی یک آزمایش زمان‌بر و هزینه‌بر محسوب می‌گردد، اقدام به انتخاب تعدادی از نمونه‌ها برای ادامه پژوهش در زمینه آزمون جلبکی شد. گزینش نمونه‌های رسوب به نحوی صورت گرفت که این نمونه‌ها در برگیرنده‌ی ویژگی‌های غالب رسوبات منطقه باشند. برای انجام این کار اقدام به آنالیز خوشه‌ای نمونه‌ها بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رسوبات شد. به عبارت دیگر نمودار خوشه‌بندی رسوبات بر مبنای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها ترسیم و از خوشه‌های مختلف که نشان‌دهنده‌ی رسوباتی با ویژگی‌های متفاوت هستند، تعدادی نمونه متناسب با تعداد رسوب عضو هر خوشه انتخاب شد. بر این اساس 17 نمونه رسوب برای آزمون جلبکی برگزیده شد (شکل 4).

ساگر (40) فسفر زیست‌فراهم جلبک را معادل با مقداری از فسفر معدنی تعریف نموده‌اند که یک جمعیت جلبکی دچار کمبود فسفر



شکل 4- نمودار خوشه‌بندی نمونه‌های رسوب همراه با نمایش نمونه‌های منتخب برای آزمون جلبکی
Figure 4- Cluster analysis on sediment along with selection approach

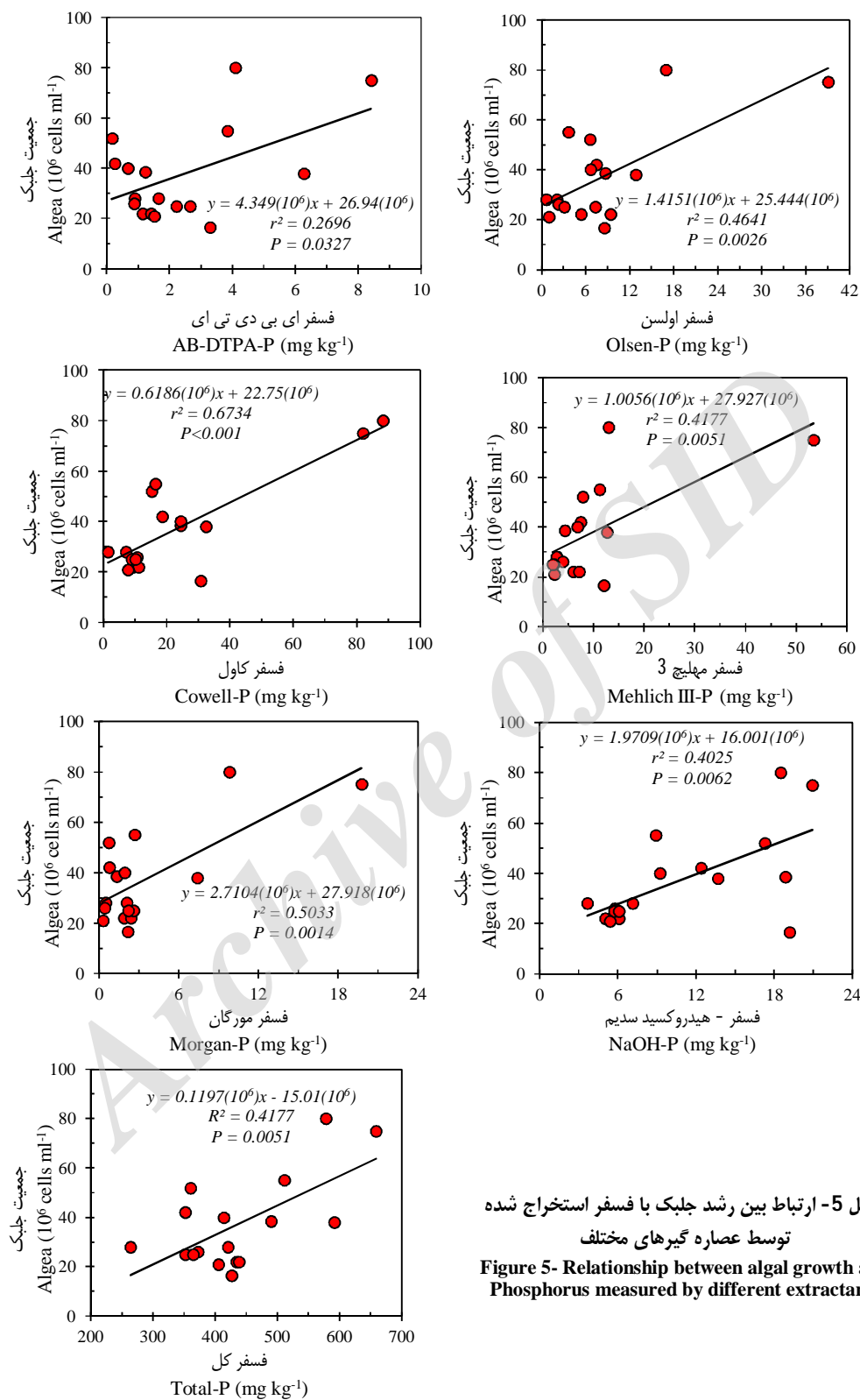
نظر می‌رسد که حساسیت اکسیدهای آهن و آلومینیوم نسبت به افزایش pH ناشی از کمبود اکسیژن از یک سو و تغییر ساختار اکسیدهای آهن یا تبدیل آهن فرفرئیک به فرفرو از سوی دیگر سبب می‌گردد که بخشی از فسفر این ترکیبات آزاد و در اختیار جلبک قرار گیرد. این فرآیند به صورت تقریبی مشابه با سازوکار عصاره‌گیری فسفر به روش هیدروکسید سدیم 0/1 مولار است (26).

نتیجه‌گیری کلی

بخش غربی حوضه آبریز دریاچه ارومیه به دلیل رشد فزاینده جمعیت و توسعه نامتوازن بخش کشاورزی در طول دو دهه‌ی اخیر با مشکلات زیست محیطی از جمله فرسایش خاک از اراضی بالادست و تولید رسوبات رودخانه‌ای با حجم زیاد مواجه بوده است که این رسوبات با حمل مواد غذایی از جمله فسفر مشکلات زیادی را در زمینه پدیده‌ی شکوفایی جلبکی در زیست‌بوم‌های رودخانه‌ای ایجاد نموده‌اند. این پژوهش با هدف بررسی زیست‌فراهمی فسفر در رسوبات به منظور تعیین راهکاری مناسب در جهت ارزیابی زیست‌محیطی رسوبات انجام شد.

به نظر می‌رسد که بخشی از همبستگی بالای روش کاول با جمعیت جلبکی مربوط به این نکته باشد که محیط رشد جلبک با استفاده از بی‌کربنات سدیم در pH=7/5 بافر می‌شود. با توجه به اینکه در روش کاول نیز، عصاره‌گیری تحت شرایط بافری با بی‌کربنات سدیم صورت می‌گیرد، می‌توان حدس زد که شرایط شیمیایی محیط در دو حالت شباهت تقریبی نسبت به هم دارند (1). در این زمینه ذکر این نکته ضروری است که از نظر محیط شیمیایی دو روش اولسن و کاول مشابه هم هستند. با این حال برتری روش کاول در شرایط آزمون جلبکی علاوه بر مشابهت شرایط شیمیایی می‌تواند به دلیل مشابهت در نسبت آب به رسوب محیط جلبک با عصاره‌گیری کاول و همچنین مشابهت این دو از نظر زمان تماس طولانی باشد.

برخی از پژوهشگران دیگر در این رابطه، فسفر قابل استخراج با هیدروکسید 0/1 مولار را به عنوان شاخص فسفر زیست‌فراهم جمعیت جلبکی معرفی نموده‌اند (14، 16، 26، 33، 54 و 57). در این پژوهش نیز همبستگی معنی‌داری بین فسفر عصاره‌گیری شده با هیدروکسید سدیم 0/1 مولار و رشد جلبک (*Senedesmus Obliquus*) مشاهده شد که می‌تواند نشان دهنده توانایی جلبک در استفاده از فسفر متصل به اکسیدهای آهن و آلومینیوم باشد. با توجه به احتمال وقوع شرایط کاهش در رودخانه به



شکل 5- ارتباط بین رشد جلبک با فسفر استخراج شده توسط عصاره گیرهای مختلف

Figure 5- Relationship between algal growth and Phosphorus measured by different extractants

دریاچه ارومیه پیشنهاد می‌شود. با توجه به پویا بودن چرخه‌ی فسفر در طبیعت و همچنین شرایط متغیر رودخانه‌ها از نظر وضعیت حوضه‌ی آبخیز، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی وضعیت کاربردی اراضی حوضه و ارتباط آن‌ها با تخلیه فسفر در رودخانه‌ها از دیدگاه تغییرات زمانی و مکانی مدنظر قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از زحمات و همکاری رئیس محترم پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه دانشگاه ارومیه، جناب آقای دکتر زینال‌زاده و مسئول آزمایشگاه جلبک شناسی، سرکار خانم مهندس عسل‌پیشه که زمینه انجام آزمون جلبکی را فراهم نمودند قدردانی و تشکر می‌نمایند.

نتایج نشان داد که رسوبات رودخانه‌ای بسته به موقعیت رودخانه تفاوت قابل توجهی از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دارند. این امر لزوم در نظر گرفتن متغیرهای ژئومورفولوژیکی در مدیریت رسوبات رودخانه‌ای را خاطر نشان می‌نماید. اغلب عصاره‌گیرهای فسفر به غیر از روش بری 2 برآورد نسبتاً مناسبی از مقدار فسفر زیست فراهم در رسوبات را ارائه می‌دهند. روش مهلیچ 3 و روش اولسن از نظر کمیّت فسفر استخراج شده، مشابه عمل نمودند که موید قابلیت جایگزینی آن‌ها نسبت به هم در رسوبات آهکی منطقه است. قابلیت بسیار مطلوب روش کاول در پیش‌بینی فسفر زیست‌فراهم آزمون در مقایسه با سایر روش‌ها با استفاده از آزمون جلبکی به اثبات رسید. بنابراین روش کاول به عنوان روش عصاره‌گیری مناسب در پیش‌بینی فسفر زیست‌فراهم رسوبات رودخانه‌ای در منطقه غرب

منابع

- 1- Anderson B.H. and Magdoff F.R. 2005. Autoclaving soil samples affects algal-available phosphorus, *Journal of Environmental Quality*, 34(6):1958-1963.
- 2- Asadzadeh F. and Samadi A. 2016. Analysis of Physicochemical Properties of Sediments Trapped in Successive Check Dams, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(2):293-306. (in Persian with English abstract).
- 3- Baucos G.J. 1962. Hydrometer methods improved for making particle size of soils, *Agronomy Journal*, 56:464-465.
- 4- Bray R.H. and Kurtz L.T. 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils, *Soil Science*, 59(1):39-46.
- 5- Buondonno A., Coppola E., Felleca D. and Violante P. 1992. Comparing tests for soil fertility: 1. Conversion equations between Olsen and Mehlich 3 as phosphorus extractants for 120 soils of south Italy 1, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 23(7-8):699-716.
- 6- Chamberlain W. and Shapiro J. 1969. On the biological significance of phosphate analysis; comparison of standard and new methods with a bioassay, *Limnology Oceanography*, 14(6):921-927.
- 7- Cowell J.D. 1963. The estimation of phosphorus fertilizer requirements of wheat in southern New South Wales by soil analysis, *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 3:190-197.
- 8- Cowen W.F. and Lee G.F. 1976. Phosphorus availability in particulate materials transported by urban runoff, *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 580-591.
- 9- DeLuca T.H., Glanville H.C., Harris M., Emmett B.A., Pingree M.R., de Sosa L.L., Morenà C. and Jones D.L. 2015. A novel biologically-based approach to evaluating soil phosphorus availability across complex landscapes, *Soil Biology and Biochemistry*, 88:110-119.
- 10- Ding-Sie T. and Appan, A. 1996. General characteristics and fractions of phosphorus in aquatic sediments of two tropical reservoirs, *Water Science and Technology*, 34(7-8):53-59.
- 11- Ekholm P. and Krogerus K. 2003. Determining algal-available phosphorus of differing origin: routine phosphorus analyses versus algal assays, *Hydrobiologia*, 492(1-3):29-42.
- 12- Ekholm P., Jouttijärvi T., Priha M., Rita H. and Nurmesniemi H. 2007. Determining algal-available phosphorus in pulp and paper mill effluents: Algal assays versus routine phosphorus analyses, *Environmental pollution*, 145(3):715-722.
- 13- Ekholm P. and Lehtoranta J. 2012. Does control of soil erosion inhibit aquatic eutrophication?, *Journal of Environmental Management*, 93(1):140-146.
- 14- Ellis B.K. and Stanford J.A. 1988. Phosphorus bioavailability of fluvial sediments determined by algal assays, *Hydrobiologia*, 160(1):9-18.
- 15- Elser J.J., Bracken M.E.S., Cleland E.E., Gruner D.S., Harpole W.S., Hillebrand H., Ngai J.T., Seabloom E.W., Surin J.B. and Smith J.E. 2007. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems, *Ecology Letters*, 10(12):1135-1142.
- 16- Fabre A., Qotbi A., Dauta A. and Baldy V. 1996. Relation between algal available phosphate in the sediments of the River Garonne and chemically determined phosphate fractions, *Hydrobiologia*, 335:43-48.
- 17- Guillard R.R. and Ryther, J.H. 1962. Studies of marine planktonic diatoms: I. *Cyclotella Nana* Hustedt, and *Detonula Confervacea* (CLEVE) Gran, *Canadian journal of microbiology*, 8(2):229-239.

- 18- Jalali M. and Jalali M. 2016. Relation between various soil phosphorus extraction methods and sorption parameters in calcareous soils with different texture, *Science of the Total Environment*, 566-567:1080-1093.
- 19- Joshi S.R., Kukkadapu R.K., Burdige D.J., Bowden M.E., Sparks D.L. and Jaisi, D.P. 2015. Organic matter remineralization predominates phosphorus cycling in the mid-bay sediments in the Chesapeake Bay, *Environmental science and technology*, 49(10):5887-5896.
- 20- Loeppert R.H. and Suarez D.L. 1996. Carbonate and Gypsum.p.437-474. In D. L. Sparks. (ed) *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods*. Soil Science Society of America, NO.5, Madison.
- 21- Li B. and Brett M.T. 2015. The relationship between operational and bioavailable phosphorous fractions in effluents from advance nutrient removal systems, *International Journal of Environmental Technology*, 12:3317-3328.
- 22- Lu D., Guo P., Ji J., Liu L. and Yang P. 2016. Evaluation of phosphorus distribution and bioavailability in sediments of a subtropical wetland reserve in southeast China, *Ecological Indicators*, 66:556-563.
- 23- Magdoff F.R., Hryshko C., Jokela W.E., Durieux R.P. and Bu Y. 1999. Comparison of phosphorus soil test extractants for plant availability and environmental assessment, *Soil Science Society of America Journal*, 63:999-1006.
- 24- Mallarino A.P. and Blackmer A.M. 1992. Comparison of methods for determining critical concentrations of soil test phosphorus for corn, *Agronomy Journal*, 84:850-856.
- 25- Mallarino A.P. 1995. Comparison of Mehlich-3, Olsen, and Bray-P1 procedures for phosphorus in calcareous soils. In *The 25th North Central extension-industry soil fertility conference*, St. Louis, Missouri.
- 26- McDowell R.W. and Sharpley, A.N. 2001. A comparison of fluvial sediment phosphorus (P) chemistry in relation to location and potential to influence stream P concentrations, *Aquatic Geochemistry*, 7(4):255-265.
- 27- McDowell R., Sharpley A., Brookes P. and Poulton P. 2001. Relationship between soil test phosphorus and phosphorus release to solution, *Soil Science*, 166(2):137-149.
- 28- Mehdizadeh L., Asadzadeh F. and Samadi A. 2015. Application of mathematical models to describe the particle size distribution of sediments behind successive check dams, *Watershed Engineering and Management*, 6(4):323-336. (in Persian with English abstract)
- 29- Mehlich A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15(12):1409-1416.
- 30- Miller W.E. and Greene J.C. 1978. The Selenastrum capricornutum Printz algal assay bottle test: Experimental design, application, and data interpretation protocol (Vol. 78, No. 18), Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Corvallis Environmental Research Laboratory.
- 31- Morgan M.F. 1941. Chemical soil diagnosis by universal soil testing. Bull. 450, Connecticut Agricultural Experiment Station. New Haven.
- 32- Officer C.B., Biggs R.B., Taft J.L., Cronin L.E., Tyler M.A. and Boynton, W.R. 1984. Chesapeake Bay anoxia: origin, development, and significance, *Science*, 223(6).
- 33- Okubo Y., Inoue T. and Yokota K. 2012. Estimating bioavailability of soil particulate phosphorus to *Microcystis aeruginosa*, *Journal of Applied Phycology*, 24:1503-1507.
- 34- Olsen S.R. and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. P. 403-430. In A.L., Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis, Part 2*. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- 35- Palmer-Felgate E.J., Jarvie H.P., Withers P.J., Mortimer R.J. and Krom M.D. 2009. Stream-bed phosphorus in paired catchments with different agricultural land use intensity, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 134(1):53-66.
- 36- Pizzeghello D., Berti A., Nardi S. and Morari F. 2011. Phosphorus forms and P-sorption properties in three alkaline soils after long-term mineral and manure applications in north-eastern Italy, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 141(1):58-66.
- 37- Redfield A.C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment, *American Scientist*, 46:205-221.
- 38- Robinson J.S., Sharpley A.N. and Smith S.J. 1994. Development of a method to determine bioavailable phosphorus loss in agricultural runoff, *Agriculture Ecosystem and Environment*, 47:287-297.
- 39- Rowell D.L., 1994. *Soil science: methods and application*, part 7: Measurement of the composition of soil solution.
- 40- Sager A. 1976. Availability of soil runoff phosphorus to algae. PhD. Thesis. Univ. of Wisconsin, Madison.
- 41- Schindler D.W., Hecky R.E., Findlay D.L., Stainton M.P., Parker B.R., Paterson M.J., Beaty K.G., Lyng M. and Kasian S.E.M. 2008. Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen results of a 37 year whole-ecosystem experiment, *Proceedings of the National Academy of Science, USA*, 105(32):11254-11258.
- 42- Sharpley A.N., Ahuja L.R., Yamamoto M. and Menzel R.G. 1981. The kinetics of phosphorus desorption from soil, *Soil Science Society of America Journal*, 45:439-496.
- 43- Sharpley A.N., Troeger W.W. and Smith S.J. 1991. The measurement of bioavailable phosphorus in agricultural runoff, *Journal Environmental Quality*, 20(1):235-238.
- 44- Sharpley A.N. 1993. An innovative approach to estimate bioavailable phosphorus in agricultural runoff using iron oxide-impregnated paper, *Journal of Environmental Quality*, 22(3):597-601.
- 45- Sharpley A., Jarvie H.P., Buda A., May L., Spears B. and Kleinman P.J.A. 2013. Phosphorus legacy: Overcoming

- the effects of past management practices to mitigate future water quality impairment, *Journal Environmental Quality*, 42: 1308-1326.
- 46- Sims J.T. 1996. Lime requirement. p.491-516. In D. L. Sparks. (ed) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. SSSA, NO.5, Madison.
- 47- Sims J.T. 2000. Soil test phosphorus: Olsen P. In: Pierzynski G.M. (Ed.), *Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals and Waters*. Southern Cooperative Series Bull.No. 396. Kansas State University of Manhattan, pp. 20-21
- 48- Sims J.T., Maguire R.O., Leytem A.B., Gartley K.L. and Pautler M.C. 2002. Evaluation of Mehlich 3 as an agri-environmental soil phosphorus test for the Mid-Atlantic United States of America, *Soil Science Society of America Journal*, 66(6):2016-2032.
- 49- Sotomayor-Ramírez D., Martínez G.A., Mylavarapu R.S., Santana O. and Guzman, J.L. 2004. Phosphorus soil tests for environmental assessment in subtropical soils, *Communications in soil science and plant analysis*, 35(11-12):1485-1503.
- 50- Soltanpour P.A. and Schwab, A.P., 1977. A new soil test for simultaneous extraction of macro-and micro-nutrients in alkaline soils 1, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 8(3):195-207.
- 51- Rowell D.L., 1994. *The preparation of saturation extracts and the analysis of soil salinity and sodicity*. Soil science methods and applications. ed. DL Rowell. Longman Group, UK.
- 52- Thomas G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity. p.475-490. In D. L. Sparks. (ed) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*, SSSA, NO.5, Madison.
- 53- Upreti K., Joshi S.R., McGarth J. and Jaisi. D.P. 2015. Factors controlling phosphorus mobilization in a coastal plain tributary to the Chesapeake Bay, *Soil Science Society of America Journal*, 79:826-837.
- 54- Wang X. 2012. Phosphorus Fractionation and Bio-availability in Surface Sediments from the Middle and Lower Reaches of the Yellow River, *Procedia Environmental Sciences*, 12:379-386.
- 55- Yan X., Wang D., Zhang H., Zhang G. and Wei Z. 2013. Organic amendments affect phosphorus sorption characteristics in a paddy soil, *Agriculture Ecosystems and Environment*, 175:47-53.
- 56- Yan X., Wei Z., Wang D., Zhang G. and Wang J. 2015. Phosphorus status and its sorption-associated soil properties in a paddy soil as affected by organic amendments, *Journal of Soils and Sediments*, 15(9):1882-1888.
- 57- Zhou Q., Gibson C.E. and Zhu Y. 2001. Evaluation of phosphorus bioavailability in sediments of three contrasting lakes in China and the UK, *Chemosphere*, 42(2):221-225.

Archive

Estimating Bioavailable Phosphorus by Some Chemical Extraction Methods for Algae (*Senedesmus obliquus*) in Western River Sediments of the Lake Urmia Basin

H.Arfaania^{1*} - A. Samadi² - F. Asadzadeh³ - E. Sepehr⁴

Received: 13-12-2016

Accepted: 31-01-2017

Introduction: Phosphorus (P) is an essential nutrient for all life forms. In aquatic environments, P is a double-edged sword. In some areas, habitat biodiversity is strongly limited by low P bioavailability, while in others, P inputs in excess of plant needs have led to pollution of water bodies and eutrophication. There is little information available on P status in river sediments by single chemical extraction and its correlation with algae growth in Iran. This study was performed to select proper single chemical extraction methods by algal bioassay. The quantity of P estimated by different extractions methods depends on sediment characteristics such as calcium carbonate, pH, clay and organic matter contents. Therefore, this study was conducted in western rivers of the Lake Urmia to get an insight into P status in sediments by using single chemical and biological P assay.

Materials and Methods: The Lake Urmia basin has the second largest water resources in Iran with Mediterranean climate. It also has the largest hypersaline lake in the world. There is a significant phytoplankton growth and also some dense algal blooms occurring during years with low salinity in wetlands and lagoons. Thirty four river sediment samples from seven main rivers of the Lake Urmia basin were collected from depth of 0-10 cm to evaluate algae (*Senedesmus obliquus*) P bioavailability by single chemical extraction. Selection of extractants based on different mechanism of extraction. Cluster analysis was conducted on 17 sediment samples selected for algal bioassay. Pearson simple correlation and multivariate analysis were also performed.

Results and Discussion: Average total P concentrations of the sediments were 343-654, 456 mg kg⁻¹. Sodium bicarbonate 0.5 M extractable P (Olsen-P) varied from 0.48 to 8.42 mg kg⁻¹. Sediments from upper reach had considerably higher total and bioavailable P concentration in comparison with lower reach sediment. The low reach sediments of two rivers had higher Olsen extractable P than the threshold value of 20 mg kg⁻¹ indicating possible release which poses a threat to aquatic environment. Upper reach sediments had higher restoration potential, but algal bloom was observed in low reach part of rivers, particularly Simineh and Mahabad Chai. Land use changes, discharge of sewage from rural and urban section, industrial activity and cycling of river borne P are the main reasons for algal bloom in wetlands and lagoons around the lake. Principal component analysis (PCA) performed on the data identified three PC which explained 83.3% of total variation and silt and sand had higher loading values. Active calcium carbonate equivalent (ACCE) was negatively correlated with sand in the first PC. Different extractions were positively correlated with each other. The Mehlich III and Olsen-P extraction methods were significantly correlated and the predicted values were same. The average rank order of P extraction by single extractants was Cowell > Mehlich III > NaOH 0.1 M > Olsen > Morgan > AB-DTPA > Bray II. Extractants had different long-term and short-term potential to extract algal available P. The Cowell extractable P concentrations of sediments varied from 1.44 to 88.0 mg kg⁻¹. This extractant was correlated significantly with algal growth and selected as the best P single extraction method among all extractants. The high correlation between 0.1 M NaOH and algae growth indicates the sensitivity of P bioavailability to redox conditions in river system. Algae (*Senedesmus obliquus*) was able to use P from different sediment components because its growth was correlated with Cowell, Mehlich III, NaOH 0.1M, Olsen and Morgan.

Conclusion: Legacy P (sediment P) evaluation by chemical extractants gives new insight into P bioavailability in river sediments of the Urmia Lake. The results of this work showed that Cowell extractant could be used to estimate algal available P in studied river sediments. Similarity between Olsen-P and Mehlich-P in estimating bioavailable P suggests that Mehlich III-P can be substituted for Olsen-P in studied sediments. For sustainable P management, monitoring P status by single chemical extraction methods is necessary. Phosphorous fertilizer application around the Lake Urmia basin lands should be conducted based on the P soil test to avoid any aquatic pollution. Care must be taken in lower reach river sediments because of fragile ecosystems such as

1, 2, 3 and 4-Ph.D student of Soil Chemistry and Fertility, Professor, Assistant Professor and Associated Professor of Soil Science, Urmia University
(*-Corresponding Author Email: h_arfania82@yahoo.com)

wetlands and lagoons. Further investigations are also needed to evaluate legacy P bioavailability by temporal and spatial variability.

Keywords: Bioavailability, Extraction, Algal Growth, suitable

Archive of SID