



مجله علمی کاربردی و پژوهشی آب

بهره‌برداری و پرورش آبزیان

جلد نهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۹

۱-۱۱

<http://japu.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/japu.2020.16608.1498

مقاله کامل علمی - ترویجی

حذف یون فسفات از محلول‌های آبی با استفاده از جلبک قهوه‌ای *Sargassum ilicifolium* به‌عنوان جاذب زیستی

*الناز عرفانی فر^۱ و زهرا امینی‌خوئی^۲

^۱ کارشناس بخش اکولوژی، مرکز تحقیقات شیلاتی آب‌های دور، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، چابهار، ایران،

^۲ استادیار و عضو هیأت علمی، مرکز تحقیقات شیلاتی آب‌های دور، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، چابهار، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۳

چکیده

یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های غیرآلی یون فسفات است که با مقادیر متفاوتی در فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی یافت می‌شود و امکان ورود به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی را دارند. امروزه جاذب‌های متنوعی برای حذف و یا برداشت مازاد این عناصر از محیط‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعه حاضر توان جلبک دریایی *Sargassum ilicifolium* به‌عنوان یک جاذب زیستی برای حذف یون فسفات مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش دامنه متنوعی از تغییرات pH شامل (۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸)، مقدار بیومس ابتدایی جلبک *S. ilicifolium* (۰/۰۱، ۰/۰۳، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۴ گرم) و غلظت ابتدایی یون فسفات (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر) در زمان تماس (۰-۶۰ دقیقه) بر روند حذف و برداشت یون فسفات از محیط آب شور مورد بررسی قرار گرفت. سنجش غلظت فسفات با روش اسپکتروفتومتری به‌ترتیب در طول موج ۸۹۰ nm صورت گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که بیش‌ترین ظرفیت جذب فسفات توسط *S. ilicifolium* ۶۵۳/۳۳ mg g⁻¹ و هم‌چنین بیش‌ترین درصد حذف فسفات توسط *S. ilicifolium* ۷۱/۷۹ درصد به‌دست آمد. این نتایج در مقادیر pH ۲، مقدار بیوماس جلبک ۰/۰۱ g L⁻¹ و غلظت اولیه فسفات ۳۵۰ mg L⁻¹ به‌دست آمدند. به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که پودر خشک جلبک *S. ilicifolium* قابلیت مناسبی برای حذف یون فسفات از محیط‌های آبی داشته و جاذب زیستی مناسبی برای استفاده در تصفیه فاضلاب‌های شهری و کشاورزی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: جاذب زیستی، جلبک دریایی، فسفات، *Sargassum ilicifolium*

* مسئول مکاتبه: elnaz_ Erfani@yahoo.com

مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل کمبود منابع آب ایده استفاده مجدد از آب اهمیت زیادی پیدا کرده است؛ اما وجود بعضی کاتیون و آنیون‌ها از جمله کرومات، نترات و فسفر ممکن است در آب تصفیه‌شده ایجاد مشکل کند (لین و جانگ، ۲۰۰۲). فسفر به شکل‌های مختلفی از جمله ارتوفسفات، پلی فسفات و فسفر آلی در فاضلاب‌ها یافت می‌شود که فسفات یکی از آلاینده‌های مهم غیرآلی موجود در فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی می‌باشد. هم‌چنین میزان متوسط فسفر در فاضلاب شهری برابر با ۱۶-۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و در خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری غلظت آن به حدود ۵-۲ میلی‌گرم در لیتر کاهش می‌یابد (مزنر و بنس مایلی، ۲۰۰۹؛ پینار و همکاران، ۲۰۱۰). فاضلاب‌های شهری و کشاورزی که حاوی مواد دفعی حیوانی و گیاهی و دارای نیتروژن آلی هستند به آب‌های زیرزمینی راه می‌یابند. بنابراین در شهرهایی که دفع نادرست فاضلاب از طریق چاه‌های جذبی انجام می‌شود مشکل تولید پیوسته فسفات و انتشار آن به آب‌های زیرزمینی وجود دارد. بنابراین، برای دستیابی به منابع آبی با کیفیت و استاندارد جهانی ضروری است که مقادیر مازاد یون‌های فسفات از پساب‌های شهری و کشاورزی باز جذب و حذف گردد (محمدیاری و بلاد، ۱۳۸۷).

اغلب فسفات عامل کنترل‌کننده در بروز پدیده یوتریفیکاسیون است که حذف آن از فاضلاب شهری دارای اهمیت است (دریزو و همکاران، ۲۰۰۶). به همین دلیل لازم است که فسفات موجود در پساب‌های شهری و صنعتی با استفاده از روش‌های مناسب حذف گردیده و به حد استاندارد رسانده شود تا از بروز این پدیده خطرناک جلوگیری گردد (سمیتا و آشوک، ۲۰۰۶). برای این منظور از روش‌های

مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی استفاده می‌شود. تکنولوژی‌های موجود جهت حذف فسفات عمدتاً شامل فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی و استفاده از جاذب‌های زیستی می‌باشد. استفاده از جاذب‌های زیستی گزینه نسبتاً ارزان و مؤثری برای جدا کردن یون‌های فسفات از محلول آبی می‌باشد. از میان جاذب‌های زیستی سه گونه پرکاربرد آن، یعنی باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها معرفی شده‌اند (ردد و همکاران، ۲۰۰۹). تاکنون مطالعات زیادی بر روی باکتری‌ها و قارچ‌ها در صنایع مختلف صورت گرفته است (جیانائوو و همکاران، ۲۰۰۷؛ علوی و همکاران، ۱۳۹۲). اما در مورد پتانسیل استفاده از جلبک‌های ماکروسکوپی دریایی به‌ویژه در کشور ما گزارش‌های محدودی وجود دارد.

در مورد عملکرد جاذب‌های زیستی چندین فاکتور اهمیت ویژه در میزان کارایی جاذب دارند که از جمله آن‌ها pH محلول، غلظت اولیه یون‌ها و میزان مصرف بیومس جاذب مورد استفاده می‌باشد (ندافی و نبی‌زاده، ۲۰۱۱).

سالانه در مناطق مختلف خلیج چابهار از استان سیستان و بلوچستان حدود ۵۰۰ تا ۷۰۰ تن گیاه دریایی سارگاسوم به سواحل می‌ریزد بدون آن‌که هیچ استفاده‌ای از این منبع ارزشمند غذایی صورت گیرد و مسبب آلودگی و شکل‌گیری مناظر نازیبا در سواحل عمان نیز می‌گردند (حافظیه، ۱۳۹۵). بنابراین بهره‌برداری از این منابع به‌عنوان جاذب‌های زیستی برای حذف آلودگی‌های شایع منابع آبی در این منطقه کمک قابل‌توجهی به اکوسیستم‌های در معرض خطر این مناطق خواهد کرد. جلبک قهوه‌ای سارگاسوم گونه *S. ilicifolium* از خانواده Sargassaceae در سواحل جنوبی کشور با تاکید بر سواحل استان سیستان و بلوچستان (بخش ایرانی دریای عمان) از گستردگی نسبتاً وسیعی برخوردار است و همه ساله با

انجام آزمایش‌های جذب یون‌های فسفات: به‌منظور بررسی میزان تأثیر عوامل متفاوت مؤثر بر ظرفیت جذب و روند حذف یون فسفات متغیرهای pH، در دامنه (۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸) (تنظیم شده توسط اسیدکلریدریک و سود در ابتدای هر آزمایش و پس از آن کنترل نشده است)، مقادیر مختلف پودر خشک جلبک *S. ilicifolium* (۰/۱، ۰/۰۳، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ گرم) و غلظت‌های اولیه متفاوت یون فسفات (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر) در زمان تماس (۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفتند.

در اولین مرحله درصد حذف یون فسفات در محلول‌های آبی با pH متغیر بررسی شد تا pH مناسب آزمایش‌های بعدی مشخص گردد. در ادامه آزمایش‌ها این متغیر ثابت نگه داشته شده و متغیر مقادیر مختلف جلبک از (۰/۱، ۰/۰۳، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ گرم در لیتر به‌عنوان جاذب زیستی مورد آزمون قرار گرفت. در آزمایش سوم مقدار غلظت یون فسفات در محلول‌های جداگانه در محدوده ۳۵۰-۵۰ میلی‌گرم با مقادیر ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تغییر یافت. آزمایش‌ها در هر مرحله با سه تکرار انجام شد. همچنین اثر مدت زمان بر روند هر یک از واکنش‌ها در حجم آبی ۱۰۰ میلی‌لیتر با نمونه‌برداری در زمان‌های ۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه پس از شروع آزمایش اندازه‌گیری و ثبت شد. در هر زمان نمونه‌برداری، محلول‌های مورد آزمایش پس از برداشت به مدت ۵ دقیقه با دور ۵۰۰۰ rpm سانتریفیوژ شدند.

تجزیه و تحلیل: برای سنجش غلظت یون فسفات با روش اسپکتروفتومتری و قرائت توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. pH نمونه‌ها نیز با دستگاه pH متر پرتابل (مدل WTW 330i آلمان)

طوفان‌های دریایی ذخایر عظیمی از آن‌ها به سواحل ریخته می‌شود (قرنجیک و همکاران، ۱۳۹۱). این جلبک دارای ظرفیت بالا برای جذب مواد مغذی معدنی است و استفاده از آن با توجه به این‌که به وفور در مناطق ساحلی جنوب کشور در دسترس می‌باشد یک روش مقرون به صرفه و مناسب قابل اجرا است. هدف از این مطالعه بررسی میزان کارایی و پتانسیل جلبک *S. ilicifolium* به‌عنوان جاذب برای حذف فسفات از محیط‌های آبی است. همچنین عوامل مؤثر بر فرآیند حذف از جمله pH، بیومس جاذب، غلظت فسفر، زمان تماس بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

جلبک *S. ilicifolium* از ساحل خلیج چابهار در زمان جزر جمع‌آوری شده و به مرکز تحقیقات شیلاتی آب‌های دور- چابهار منتقل شد. سپس جلبک‌ها شستشو و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و به کمک دستگاه آسیاب پودر شدند. برای افزایش کارایی پودر جلبک و بهبود سطح تماس ذرات در جذب یون‌ها، ذرات از خلال الک با مش صد میکرون عبور داده شدند. برای جلوگیری از جذب رطوبت، مواد جاذب تا قبل از آزمایش‌های جذب در دسیکاتور نگهداری شدند (حافظیه، ۱۳۹۵).

آماده‌سازی محلول‌های حاوی فسفات: در ابتدا برای ساخت محلول‌های مادر و غلظت‌های مختلف مورد نیاز آزمایش فسفات (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر) از نمک فسفات پتاسیم هیدراته^۱ ساخت شرکت مرک استفاده شد، سپس از هر محلول ۱۰۰ میلی‌لیتر برای هر یک از آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

1- KH₂PO₄

را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از طرف دیگر با بمباران سطح جاذب با یون‌های هیدروژن و هیدروکسیل باعث تغییر بار سطحی جاذب می‌گردد. به این ترتیب فرایند حذف را تحت تأثیر قرار می‌دهد (زامپاراس و همکاران، ۲۰۱۱). از این رو مطالعه اثر pH در جذب فسفر در pH های مختلف (۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸) با غلظت فسفات ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و بیومس جاذب ۰/۰۵ گرم در لیتر انجام شد. نتایج پژوهش‌های متعدد نشان داده است که pH محلول تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد جاذب‌های مختلف داشته است و روند حذف یون فسفات از محیط‌های آبی را تغییر می‌دهد (نگومسیک و همکاران، ۲۰۱۲). هم‌چنین نتایج این مطالعه بیانگر آن است که میزان جذب شامل ظرفیت جذب و درصد حذف با بالا رفتن مقدار pH، از ۲ تا ۸ کاهش می‌یابد و به بیش‌ترین مقدار ظرفیت جذب 1 mg g^{-1} و ۱۱/۴۲ درصد حذف ۹۶/۷۷ درصد برای فسفات در مقدار pH ۲ می‌رسد. درصد‌های حذف کم‌تر برای جلبک در pH ۸ (۹۲/۷۹ درصد) تا ۶ (۹۶/۲۷ درصد) برای فسفات به‌دست آمد (شکل ۱). مقدار pH محلول از پارامترهای مهم تأثیرگذار بر واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی محلول‌های آبی محسوب می‌شود (قانعیان و همکاران، ۱۳۸۸) و هم‌چنین نقش مهمی در کل فرآیند و ظرفیت جذب دارد و بار سطحی جاذب و درجه یونیزاسیون مواد موجود در محلول و تفکیک گروه‌های عاملی روی مکان‌های جذب تأثیر چشم‌گیری دارد. در این مطالعه راندمان حذف فسفات در pH های اسیدی بالا بوده و با افزایش pH راندمان حذف کاهش پیدا کرده است. دلیل بالا بودن راندمان حذف در pH های اسیدی را می‌توان این‌گونه بیان نمود که در pH های کم، سایت‌های فعال موجود در جاذب (گروه‌های آمین) پروتونه شده و دانسیته بار مثبت موجود در سطح

اندازه‌گیری و ثبت گردید. ظرفیت جذب فسفات توسط جاذب زیستی جلبک *S. ilicifolium* اندازه‌گیری و محاسبه شد.

ظرفیت جذب یون فسفات توسط جلبک از رابطه ذیل به‌دست می‌آید که در آن C_e غلظت نمونه، C_0 غلظت شاهد، V حجم محلول و M جرم جلبک می‌باشد.

$$q = (C_0 - C_e * V) / M \quad (1)$$

هم‌چنین درصد حذف از طریق رابطه زیر به‌دست می‌آید (کراگس، ۱۹۹۷).

$$\% \text{ Removal} = (C_0 - C_e) / C_0 * 100 \quad (2)$$

در نهایت داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار EXCEL بررسی و شکل‌های آن رسم گردید.

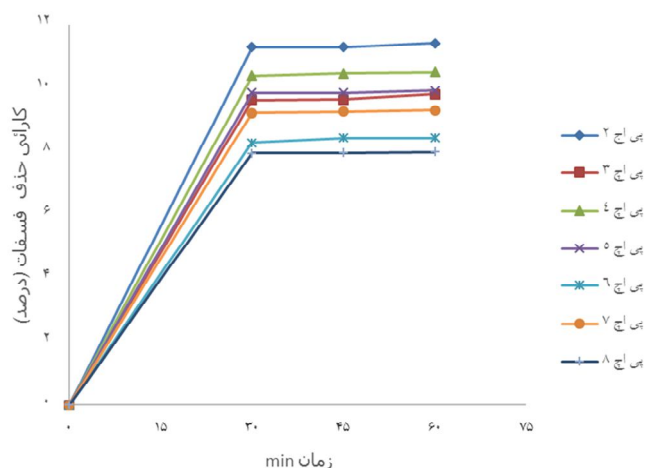
نتایج و بحث

در مطالعه حاضر، توانایی بیوماس جلبک *S. ilicifolium* به‌عنوان جاذب در تصفیه فاضلاب‌های حاوی مواد مغذی مورد بررسی قرار گرفت و اثرات چند فاکتور شامل pH محلول، غلظت یون فسفات و مقدار بیوماس جلبک روی میزان ظرفیت جذب و درصد حذف یون فسفات مطالعه شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ظرفیت جذب فسفات توسط *S. ilicifolium* 1 mg g^{-1} و هم‌چنین بیش‌ترین درصد حذف فسفات توسط *S. ilicifolium* ۷۱/۷۹ درصد مشاهده شده است. این نتایج در مقادیر pH ۲، مقدار بیوماس جلبک 0.01 g L^{-1} و غلظت اولیه فسفات 350 mg L^{-1} به‌دست آمدند.

راندمان حذف فسفات با تغییرات pH اغلب pH در فرآیند جذب آلاینده‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند. pH محلول از یک طرف گونه‌های یونی آلاینده موردنظر

میزان ظرفیت جذب و درصد حذف یون فسفات با مقدار pH ارتباط مستقیمی وجود داشته باشد که می‌تواند مرتبط با تخریب دیواره سلولی بیوماس در مقادیر پایین pH باشد.

جاذب افزایش می‌یابد و هم‌چنین به دلیل این‌که بار جاذب در pH های بالاتر خنثی شده و جذب ثابتی به سمت آنیون‌های فسفات با بار منفی دارد، بنابراین حذف در pH اسیدی بهتر صورت می‌گیرد (فراه و الجدی، ۲۰۱۳؛ وانگ و چن، ۲۰۰۹). ممکن است بین



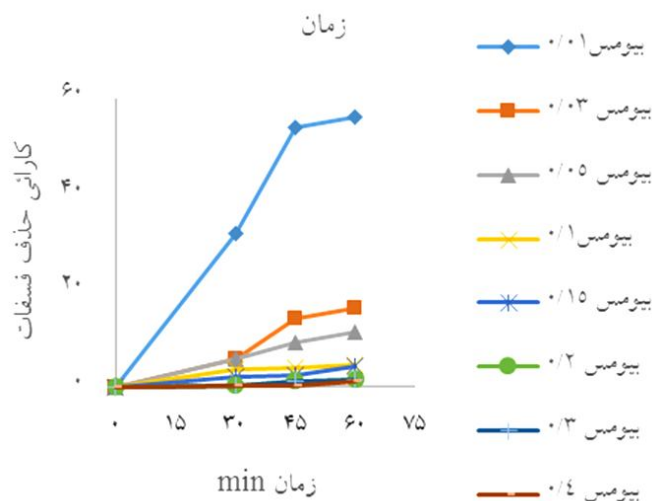
شکل ۱- تعیین بی‌اج بهینه در میزان حذف فسفات.

موجب کاهش چشم‌گیر توانایی دیواره سلولی جلبک در جذب یون‌های مواد مغذی در داخل محلول می‌گردد. بنابراین در مقدار بیوماس 0.4 g L^{-1} ، درصد حذف برای فسفات ۷۵/۳۸ درصد شد. ولی با توجه به این‌که همراه با افزایش مقدار بیوماس، ظرفیت جذب سیر نزولی شدید داشت. بنابراین در ادامه آزمایش‌ها مقدار بیوماس بهینه برای حذف فسفات 0.1 g L^{-1} در نظر گرفته شد. بنابراین، 0.1 g L^{-1} به‌عنوان مقدار بهینه بیوماس جلبک در ادامه آزمایش‌ها انتخاب شد. مقادیر بالای بیوماس جلبک ممکن است موجب افزایش تجمع ذرات و روی هم قرار گرفتن آن‌ها گردد. در نتیجه گروه‌های عاملی نمی‌توانند با یون‌ها جفت شوند و مواد آلاینده را از محلول جذب کنند و درصد حذف مواد مغذی کاهش می‌یابد و موجب کاهش کارایی دیواره سلولی جلبک می‌گردد

راندمان حذف فسفات با تغییر بیوماس جلبک: مقادیر مختلف بیوماس جلبک شامل 0.1 g L^{-1} ، 0.3 g L^{-1} ، 0.5 g L^{-1} ، 0.7 g L^{-1} ، 1.0 g L^{-1} ، 1.5 g L^{-1} و 2.0 g L^{-1} برای آزمایش‌های جذب استفاده شدند. نتایج نشان داد مقدار یون فسفات حذف شده از فاز محلول وابسته به مقدار بیوماس جلبک استفاده شده قرار می‌گیرد و با افزایش مقدار بیوماس جلبک موجود در محلول، ظرفیت جذب یون فسفات کاهش می‌یابد به طوری‌که در مقدار بیوماس 0.1 g L^{-1} ظرفیت جذب فسفات 56 mg g^{-1} به دست آمد و با افزایش مقدار بیوماس تا 0.4 g L^{-1} به $1/22 \text{ mg g}^{-1}$ فسفات کاهش یافت (شکل ۲). بالاترین درصد حذف فسفات از محلول‌های آبی در مقدار بیوماس 0.1 g L^{-1} (۸۶/۱۵ درصد) به دست آمد و در مقادیر بالاتر بیوماس در محلول‌های آزمایشی، تجمع و بهم چسبیدگی ذرات بیوماس

میزان جذب با کاهش مقدار بیوماس جلبک استفاده شده در محلول‌های مورد آزمایش افزایش می‌یابد و این مسأله توسط پژوهشگران دیگری نیز تأیید شده است.

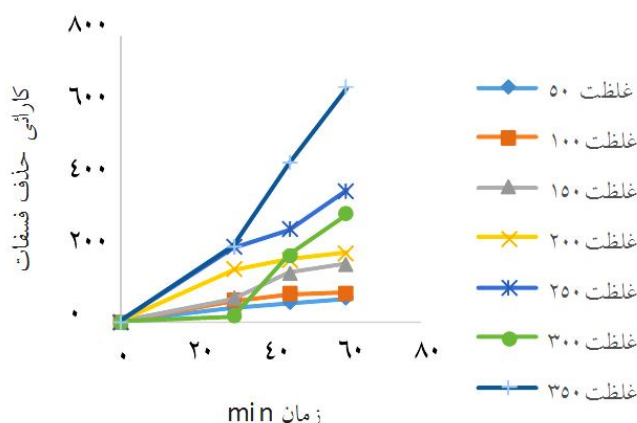
(سومیا و همکاران، ۲۰۱۵). در حقیقت با کاهش در مقدار جاذب، مکان‌های جذب نسبت به تعداد یون‌های مواد مغذی حاضر در محلول خیلی زیاد و در دسترس هستند (مهتا و گور، ۲۰۰۵). به‌طورکلی،



شکل ۲- تعیین بیومس بهینه در حذف فسفات.

فسفات $653/33$ در مقدار غلظت اولیه 350 mg L^{-1} به‌دست آمد. همچنین حداکثر درصد حذف فسفات $71/79$ درصد در 350 mg L^{-1} مشاهده شدند (شکل ۳). این نتایج نشان می‌دهند غلظت‌های بالای یون‌های مواد مغذی هیچ اثر نامطلوبی بر سلول‌های جلبک ندارند و با افزایش غلظت یون‌ها در محلول‌های حاوی مواد مغذی، باعث افزایش سرعت حذف بیولوژیکی توسط جلبک می‌گردد. بنابراین، بیوماس جلبک سارگاسوم قابل‌استفاده برای محلول‌های آبی آلوده و جریان‌های فاضلاب حاوی غلظت‌های بالای مواد مغذی می‌باشد.

راندمان حذف با تغییر غلظت فسفات: حذف فسفات به‌وسیله جلبک سارگاسوم در محلول آبی حاوی غلظت ۵۰ تا 350 میلی‌گرم بر لیتر در تمامی مراحل مورد آزمایش قرار گرفت. در این آزمایش‌ها، غلظت‌های اولیه فسفات از ۵۰ تا 350 میلی‌گرم بر لیتر مورد بررسی قرار گرفتند. براساس نتایج به‌دست آمده در غلظت‌های پایین ≥ 350 میلی‌گرم بر لیتر بازده حذف نسبتاً پایین می‌باشد. نتایج نشان داد ظرفیت جذب و درصد حذف با افزایش غلظت‌های فسفات در محلول‌های آزمایشی، افزایش می‌یابند. بدین‌صورت که با افزایش غلظت اولیه از ۵۰ تا 350 میزان جذب از $653/33$ به $653/33$ افزایش یافت و حداکثر ظرفیت جذب



شکل ۳- تعیین غلظت بهینه در حذف فسفات.

بیشتر در مقدار بیوماس مورد استفاده تا 2 g l^{-1} ، کاهش در ظرفیت جذب اتفاق افتاد (بات و همکاران، ۲۰۰۸). پاک‌پین و سری‌سای (۲۰۰۷) بیان نمودند جلبک *Chlorella vulgaris* ۵۵ درصد میزان فسفر کل را از محیط کشت در انتهای دوره حذف کرد (پاک‌پین و سری‌سای، ۲۰۰۷). اصلان و کاپدان (۲۰۰۶) از گونه اسپیرولینا برای تصفیه فاضلاب استفاده کردند، فاضلاب ۲ درصد رقیق شده هوازی حاوی فاضلاب خوکی بود که درصد حذف فسفر ۹۶ درصد بود (اصلان و کاپدان، ۲۰۰۶) در حالی که در این پژوهش تحت شرایط محیطی مناسب سارگاسوم ۷۱/۷۹ درصد از فسفات را حذف کنند. در مطالعه سامیا و همکاران (۲۰۱۵) بر روی حذف فسفات از محلول‌های آبی با استفاده از علف دریایی *Cymodocea rotundata* حذف فسفات، حداقل ۴۷/۵ درصد) در ۱ گرم بیوماس و حداکثر درصد حذف (۶۱/۸ درصد) در ۰/۱ گرم بیوماس جذب مشاهده گردید (سامیا و همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین، مشابه پژوهش حاضر، حداکثر درصد حذف در حداقل مقادیر بیوماس جذب به دست آمدند. لی و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند، که *Scenedesmus sp.* با وجود غلظت‌های پایین فسفات توانایی رشد و

مطالعاتی که توسط آردمیز و همکاران (۲۰۰۶) در چین بر روی تصفیه فاضلاب کاواسکی و همکاران (۲۰۱۰) بر روی حذف فسفر به وسیله هیدروکسید آلومینیوم و کاستالدی و همکاران (۲۰۱۰) روی حذف فسفر به وسیله گل قرمز از نظر تأثیر pH انجام دادند، همخوانی دارد و مشخص شد که محدوده ۲ تا ۳ بهترین دامنه برای حذف فسفر مناسب است. راندمان حذف در این محدوده از pH (در این مطالعه pH برابر ۲) به حداکثر خود می‌رسد. در مطالعه حاضر با افزایش pH از ۳ تا ۸، راندمان حذف کاهش یافت. دلیل این امر وجود یون‌های فسفات، هم‌چنین غالب شدن یون‌های منفی هیدروکسیل است که با یون‌های فسفر رقابت می‌کند و بر جاذب جذب می‌شود. همین امر باعث کاهش کارایی فرایند می‌شود. در مطالعه حاضر بهترین راندمان حذف در pH برابر ۲ است.

مطالعه بات و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی جذب یون‌های فلزی از محلول‌های آبی حاوی جلبک قرمز *Catenella arepens* با غلظت‌های بیوماس ۰/۱، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ گرم بر لیتر نشان داد، ظرفیت جذب همراه با افزایش مقدار بیوماس در محلول، کاهش یافت و بالاترین مقدار آن (259 mg g^{-1})، در مقدار بیوماس 0.25 g l^{-1} به دست آمد. هم‌چنین با افزایش

به‌دست آمدند. برای مثال داربی و همکاران (۲۰۰۲) در سیستم ناپیوسته بر روی درصد حذف فسفات از آب شرب کار کردند و براساس نتایج آزمایش‌ها، غلظت اولیه فسفات از 94 mg L^{-1} تا مقادیر خیلی‌پایین متغیر بود و درصد حذف حدود ۹۵ درصد ثبت گردید (داربی و همکاران، ۲۰۰۲). دیگر پژوهشگران شامل ژو و همکاران (۲۰۱۱)، لایسنس و همکاران (۱۹۹۳) و همچنین محسنی و البوت (۱۹۹۸) درصد حذف فسفات را بررسی کردند و نتایج به‌ترتیب ۹۵ درصد با غلظت اولیه 100 mg L^{-1} ، ۹۷ درصد با غلظت اولیه 50 mg L^{-1} ، ۹۶ درصد با غلظت اولیه 80 mg L^{-1} و ۹۸ درصد با غلظت اولیه 40 mg L^{-1} بودند.

مطالعه چنگالی و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که اسپروولینا در پساب‌های غنی از مواد غذایی رشد می‌کند و به‌عنوان جایگزینی برای تصفیه ثانویه مناسب می‌باشد. ابوالحسنی و همکاران (۱۳۹۵) بیان داشتند جلبک کلرلا ولگاریس و سندسموس در تیمارهای مختلف غنی از فسفات رشد و با توجه به‌میزان بالا و رشد مناسب، این گونه نیروی بالقوه مناسبی برای تصفیه زیستی پساب دارد. بنابراین مواد بیولوژیکی و میکروارگانیسم‌ها قادر به تصفیه فاضلاب در مقادیر بالای ماده مغذی می‌باشند. این نکته بسیار مطلوب برای تصفیه فاضلاب‌هایی با مقدار بالای مواد آلاینده می‌باشد. از آن‌جا که یکی از آثار نامطلوب افزایش میزان فسفات در اکوسیستم‌های آبی تحریک رشد گیاهان ناخواسته مانند جلبک‌ها و ماکروفیت‌ها است، حذف مازاد این یون از اکوسیستم‌های آبی لازم و ضروری است. معایب مهم فرآیندهای تصفیه متعارف شامل: (۱) بازده متغیر با توجه به مواد مغذی قابل‌حذف؛ (۲) هزینه بالا؛ (۳) فرایندهای شیمیایی رایج اغلب منجر به آلودگی ثانویه می‌شوند. مطالعه حاضر استفاده از ماکروجلبک *S. ilicifolium* را برای

جذب همان مقدار فسفات را داراست ولی سرعت جذب با میزان مواد مغذی موجود در محیط رابطه مستقیم دارد (سین و همکاران، ۲۰۱۰). داماس و همکاران (۱۹۹۸) حذف کامل فسفر توسط *Phormidium bohneri* را گزارش کردند. همچنین، مهتا و گور (۲۰۰۵)، از بیوماس جلبک برای حذف یون‌های فلزی از فاضلاب در یک مقاله مروری بیان داشتند که در بسیاری از پژوهش‌ها، مقدار یون‌های جذب‌شده از محلول همراه با افزایش مقدار بیوماس، رو به کاهش خواهد بود (مهتا و گور، ۲۰۰۵). برای مثال، روی و همکاران (۱۹۹۳) برای حذف کادمیم توسط بیوماس *Chlorella minutissima*، مهتا و گور (۲۰۰۱) برای جذب مس و نیکل توسط جلبک *Chlorella vulgaris*، گونگ و همکاران (۲۰۰۵) برای ظرفیت جذب سرب توسط *Spirulina maxima* حامدی در سال ۲۰۰۰ برای جذب کروم، کبالت، نیکل، مس و کادمیم توسط چهار گونه مختلف جلبک، در همه آن‌ها آورده شده است که افزایش در غلظت بیوماس موجب کاهش جذب به‌ازای هر گرم بیوماس جاذب می‌گردد، بنابراین کاهش ظرفیت جذب و درصد حذف اتفاق می‌افتد. به‌طور مشابه در آزمایش‌های دیگری، *Neochloriso leoabundans* برای حذف فسفات توسط وانگ و لن (۲۰۱۱) نشان داد که افزایش غلظت اولیه فسفات، سرعت جذب فسفات را بالا می‌برد و به حداکثر مقدار $1/82 \text{ mg L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ در 140 mg L^{-1} فسفات رسید و افزایش بیش‌تر در غلظت فسفات تا 218 mg L^{-1} موجب کاهش در سرعت جذب فسفات در آزمایش‌ها گردید (وانگ و لن، ۲۰۱۱). دیگر پژوهشگران بر روی درصد حذف فسفات توسط مواد بیولوژیکی پژوهش‌هایی انجام داده‌اند و نتایج همه این کارها نشان می‌دهد که مقادیر بالای درصد حذف (بالاتر از ۹۰ درصد) در غلظت‌های اولیه فسفات $200-40 \text{ mg L}^{-1}$

آمد. جلبک‌ها به دلیل داشتن پلی ساکاریدها، پروتئین‌ها یا چربی‌ها در سطوح دیواره سلولی با داشتن گروه‌های فعالی چون هیدروکسیل آمین، کربوکسیل و سولفات، به راحتی محل‌هایی برای اتصال با یون‌های مختلف را به وجود می‌آورند. از طرفی جلبک‌ها به دلیل رشد سریع‌تر از گیاهان خشکی، گستره وسیع‌تر زیستگاهی، مساحت مورد نیاز کم‌تر برای رشد و تکثیر و توانایی تجمع زیاد یون‌های مختلف در خود جذب زیست‌محیطی مناسبی تشخیص داده شده‌اند. با توجه به بازده بالای جذب زیستی این جلبک و هم‌چنین در دسترس بودن مقادیر قابل توجه از آن در مناطق ساحلی جنوب کشور توصیه می‌شود این جلبک در مقیاس وسیع برای پاکسازی و کاهش مازاد یون فسفات از منابع آبی مورد استفاده گیرد.

سپاسگزاری

از ریاست محترم وقت مرکز تحقیقات آب‌های دور چابهار دکتر سید عباس حسینی و همکاران که ما را در انجام مراحل این پژوهش یاری رساندند صمیمانه سپاسگزاری می‌نمائیم.

حذف یون فسفات از محیط‌های آبی را توصیه می‌کند. به این دلیل که دارای ظرفیت بالا برای جذب مواد مغذی معدنی است و استفاده از آن به دلیل این که به وفور در مناطق ساحلی جنوب کشور در دسترس می‌باشد یک روش مقرون به صرفه و مناسب قابل اجرا است. بنابراین سارگاسوم می‌تواند داوطلب بالقوه‌ای برای حذف فسفات در تصفیه‌خانه فاضلاب محسوب شود. و می‌تواند به عنوان یک جاذب مؤثر برای حذف فسفات از محلول‌های آبی استفاده شود.

رهیافت ترویجی

در فرآیند جذب زیستی، از توانایی مواد زیستی برای تجمع یون‌های مازاد و حذف آن‌ها از محیط پیرامون بهره گرفته می‌شود. مطالعه حاضر استفاده از ماکرو جلبک *S. ilicifolium* به عنوان جاذب زیستی برای حذف یون فسفات از محیط آبی را توصیه می‌کند. نتایج این مطالعه نشان داد که در صورت بهینه کردن فاکتورهای تأثیرگذار بر فرآیند جذب مانند پی‌اچ، مقدار بیومس جاذب و غلظت اولیه یون فسفات شرایط مناسب برای حذف این یون از محیط آبی توسط ماکرو جلبک *S. ilicifolium* فراهم خواهد

منابع

1. Abolhassani, M., Hosseini, S.A., Ghorbani, R., and Vince, A. 2016. The feasibility of biomass production and the removal of nitrate and phosphate from urban wastewater by cultivating *Chlorella vulgaris* algae. *Aquacul. Dev. J. Resour.* 10: 2. 1-7.
2. Abolhassani, M., Hosseini, S.A., Ghorbani, R., and Vince, A. 2016. Removal of nitrate and phosphate from urban wastewater by cultivating *Senedesmus* algae and producing algal biomass. *Aqua. Ecol. J. Resour.* 5: 4. 33-39.
3. Alawi, B., Soleimani, M., Ahmadzadeh, M., and Soleimani, Q. 2013. Solubility of phosphate and synergistic efficacy of bacteria isolated from the rhizosphere of Siblings. *Science and Technology of Greenhouse Cultivars. Resour.* 4: 13. 61-71.
4. Aslan, S., and Kapdan, I.K. 2006. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological engineering.* 1: 28. 1. 64-70.
5. Bhat, S.V., Melo, J.S., Chaugule, B.B., and D'souza, S.F. 2008. Biosorption characteristics of uranium (VI) from aqueous medium onto *Catenella repens*, a red alga. *J. Hazard. Mater.* 30: 158. 2-3. 628-35.

6. Castaldi, P., Silveti, M., Garau, G., and Deiana, S. 2010. Influence of the pH on the accumulation of phosphate by red mud (a bauxite ore processing waste). *J. Hazard. Mater.* 15:182. 1-3. 266-72.
7. Changani, Z., Modarres, A., and Afsharzadeh, S. 2011. Wastewater Treatment Using *Spirulina platensis* Micro-Algal Culture. The First National Conference on Pulp, Kerman.
8. Craggs, R.J., McAuley, P.J., and Smith, V.J. 1997. Wastewater nutrient removal by marine microalgae grown on a corrugated raceway, *Water Res.* 31: 1701-1707.
9. Darbi, A., Viraraghavan, T., Butler, R., and Corkal, D. 2002. Batch studies on nitrate removal from potable water. *Water Sea.* 28: 3. 319-22.
10. Drizo, A., Forget, C., Chapuis, R.P., and Comeau, Y. 2006. Phosphorus removal by electric arc furnace steel slag and serpentinite. *Water Research.* 1: 40. 8. 1547-54.
11. Dumas, A., Laliberte, G., Lessard, P., and De La Noüe, J. 1998. Biotreatment of fish farm effluents using the cyanobacterium *Phormidium bohneri*. *Aquacultural Engineering.* 1: 17. 1. 57-68.
12. Farah, Jy., and Elgendy, N. 2013. Performance, kinetics and equilibrium in biosorption of anionic dye Acid Red 14 by the waste biomass of *Saccharomyces cerevisiae* as a low-cost biosorbent. *Turk. J. Engin. Environ. Sci.* 30: 37. 2. 146-61.
13. Garanik, B., Aghdari, D., Azini, M., Aminrad, T., and Balouch, Gh. 2012. Estimation of Economic Reserves of Marine Plants of the Oman Sea Coast - Sistan and Baluchestan Province. Final report of the research project of the Fisheries Research Institute of Iran. 159p.
14. Ghaneian, M.T., Ghanizadeh, G., Gholami, M., and Ghaderinasab, F. 2010. Application of eggshell as a natural sorbent for the removal of reactive red 123 dye from synthetic textile wastewater. *Zahedan J. Res. Med. Sci. Resour.* 1: 11. 4-11.
15. Hafezieh, M. 2014. Nutritional value of Chabahar Bay (Oman Sea) *Sargassum lentifolium*. *Iran. Sci. Fish. J. Resour.* 23: 1. 31-40.
16. Hamdy, A.A. 2000. Biosorption of heavy metals by marine algae. *Current Microbiology.* 1: 41. 4. 232-8.
17. Irdemez, S., Demircioğlu, N., and Yildiz, Y.S. 2006. The effects of pH on phosphate removal from wastewater by electrocoagulation with iron plate electrodes. *J. Hazard. Mater.* 21: 137. 2. 1231-5.
18. Jianyao, C., Makoto, T., and Guanqun, L. 2007. Nitrate pollution of groundwater in the Yellow River delta, China. *Hydrogeol. J.* 15: 1605-1614.
19. Kawasaki, N., Ogata, F., and Tominaga, H. 2010. Selective adsorption behavior of phosphate onto aluminum hydroxide gel. *J. Hazard. Mater.* 15: 181. 1-3. 574-9.
20. Liessens, J., Germonpre, R., Beernaert, S., and Verstraete, W. 1993. Removing nitrate with a methylophilic fluidized bed: technology and operating performance. *J. Amer. Water Work Assoc.* 85: 4. 144-54.
21. Lin, S.H., and Juang, R.S. 2002. Heavy metal removal from water by sorption using surfactant-modified montmorillonite. *J. Hazard. Mater.* 92: 3. 315-26.
22. Mehta, S.K., and Gaur, J.P. 2005. Use of algae for removing heavy metal ions from wastewater: progress and prospects. *Critical reviews in biotechnology.* 1: 25. 3. 113-52.
23. Mehta, S.K., and Gaur, J.P. 2001. Characterization and optimization of Ni and Cu sorption from aqueous solution by *Chlorella vulgaris*. *Ecological Engineering.* 1: 18. 1. 1-3.
24. Mezenner, N.Y., and Bensmaili, A. 2006. Kinetics and thermodynamic study of phosphate adsorption on iron hydroxide-eggshell waste. *Chem. Engin. J.* 15: 147. 2-3. 87-96.
25. Mohammad Yari, N., and Blaador, A. 2008. Investigating the Performance of the Mixture Treatment Plant (MBBR) Biofilm of the Mobile Platform of Urban and Industrial Wastewater Case Study: Perkandabad Wastewater Treatment Plant, Mashhad. *J. Water Sewage. Resour.* 1: 19. 38-48.

26. Mohseni-Bandpi, A., and Elliott, D.J. 1998. Groundwater denitrification with alternative carbon sources. *Water Science and Technology*. 1: 38. 6. 237-43.
27. Naddafi, K., and Nabizadeh Nodehi, R. 2011. Removal of reactive blue 29 dye from water by single-wall carbon nanotubes. *Iran. J. Health Environ.* 15: 3. 4. 359-68.
28. Ngomsik, A.F., Bee, A., Talbot, D., and Cote, G. 2012. Magnetic solid-liquid extraction of Eu (III), La (III), Ni (II) and Co (II) with maghemite nanoparticles. *Separation and purification technology*. 15: 86. 1-8.
29. Pinar, A.K., Cengiz, K., and Olgun, G. 2010. Preparation of quaternized dimethyl amine ethyl methacrylate grafted nonwoven fabric for the removal of phosphate. *J. Rad. Physic. Chem.* 79: 4. 233-237.
30. Reddad, Z., Gerente, C., Andres, Y., and Cloirec, P. 2002. Adsorption of several metal ions onto a low-cost biosorbent: kinetic and equilibrium studies. *Environmental science and technology*. 1: 36. 9. 2067-2073.
31. Roy, D., Greenlaw, P.N., and Shane, B.S. 1993. Adsorption of heavy metals by green algae and ground rice hulls. *J. Environ. Sci. Health Part A*. 1: 28. 1. 37-50.
32. Smita, S., and Ashok, K.S. 2006. Biological phosphate removal by model based continuous cultivation of *Acinetobacter calcoaceticus*. *J. Proc. Biochem.* 41: 3. 624-630.
33. Soumya, G.N., Manickavasagam, M., Santhanam, P., Kumar, S.D., and Prabhavathi, P. 2015. Removal of phosphate and nitrate from aqueous solution using seagrass *Cymodocea rotundata* beads. *Afric. J. Biotechnol.* 14: 16. 1393-400.
34. Sreesai, S., and Pakpain, P. 2007. Nutrient recycling by *chlorella vulgaris* from septage effluent of the Bangkok city, Thailand. *Science Asia*. 33: 3. 293.
35. Wang, B., and Lan, C.Q. 2011. Biomass production and nitrogen and phosphorus removal by the green alga *Neochloris oleoabundans* in simulated wastewater and secondary municipal wastewater effluent. *Bioresource Technology*. 1: 102. 10. 3639-5644.
36. Wang, J., and Chen, C. 2009. Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology advances*. 1: 27. 2. 195-226.
37. Xin, L., Hong-Ying, H., and Jia, Y. 2010. Lipid accumulation and nutrient removal properties of a newly isolated freshwater microalga, *Scenedesmus sp.* LX1, growing in secondary effluent. *New biotechnology*. 28: 27. 1. 59-63.
38. Xiong, J., Qin, Y., Islam, E., Yue, M., and Wang, W. 2011. Phosphate removal from solution using powdered freshwater mussel shells. *Desalination*. 2: 276. 1-3. 317-21.
39. Zamparas, M., Gianni, A., Stathi, P., Deligiannakis, Y., and Zacharias, I. 2012. Removal of phosphate from natural waters using innovative modified bentonites. *Applied Clay Science*. 1: 62. 101-6.
40. Zhou, W., Sun, Y., Wu, B., Zhang, Y., Huang, M., Miyanaga, T., and Zhang, Z. 2011. Autotrophic denitrification for nitrate and nitrite removal using sulfur-limestone. *J. Environ. Sci.* 1: 23. 11. 1761-9.

