

بررسی توان بیومس جلبک قهوه‌ای سارگاسوم *Sargassum ilicifolium* در جذب زیستی غلظت‌های مختلف یون نیتрат

- **الناز عرفانی فر***: مرکز تحقیقات شیلاتی آب‌های دور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، چابهار، ایران
- **زهرا امینی خوئی**: مرکز تحقیقات شیلاتی آب‌های دور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، چابهار، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۸

چکیده

ورود بیش از اندازه یون نیترات از طریق فاضلاب‌های شهری و کشاورزی به منابع آبی سطحی و زیر سطحی سبب شکل‌گیری پدیده یوتروفیکاسیون و به دنبال آن بلوم جلبکی و کاهش اکسیژن محلول اکوسیستم‌های آبی می‌شود. این تغییرات، سبب برهم خوردن تعادل زیستی در این زیست بوم‌ها و در نهایت مرگ و نابودی موجودات زنده آن‌ها می‌گردد. در حال حاضر، جاذب‌های متنوعی برای حذف و یا برداشت یون نیترات مازاد از محیط‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعه حاضر توان جلبک دریایی *Sargassum ilicifolium* به‌عنوان یک جاذب زیستی برای حذف یون نیترات 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* (۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ گرم) و غلظت ابتدایی یون نیترات (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر) در زمان تماس (۶۰-۱۰ دقیقه) بر روند حذف و برداشت یون نیترات از محیط آبی مورد آزمون گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که جلبک دریایی *S. ilicifolium* در مناسب‌ترین شرایط آزمایش دارای ظرفیت جذب نیترات به میزان ۵۶۰ میلی‌گرم بر گرم و هم‌چنین درصد حذف نیترات ۴۸٪ می‌باشد. مناسب‌ترین شرایط برای جذب نیترات در زمانی به‌دست آمد که مقدار بیوماس مصرفی جلبک ۰/۱ گرم در لیتر، pH: ۷ و غلظت اولیه نیترات ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر تنظیم شد. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که پودر خشک جلبک *S. ilicifolium* قابلیت مناسبی برای حذف یون نیترات از محیط‌های آبی داشته و جاذب زیستی مناسبی برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و کشاورزی می‌باشد.

کلمات کلیدی: *Sargassum ilicifolium*، جلبک دریایی، نیترات، جاذب زیستی



مقدمه

دارند که از جمله آن‌ها pH محلول، غلظت اولیه یون‌ها و میزان مصرف بیومس جاذب مورد استفاده می‌باشد. برای مثال pH محلول بر جذب سطحی و واکنش میان جاذب و یون‌های محلول دارد. در حقیقت در pHهای مختلف رقابت بر سر قرارگیری یون‌های محلول در جایگاه‌های خالی در دیواره سلولی جاذب متفاوت می‌باشد. در مقادیر pH بالاتر، یون‌های هیدروکسیل رقیب یون نیترات محلول می‌باشد (قانعیان، ۱۳۸۸). علاوه بر این غلظت‌های اولیه نیترات نیز فاکتور موثری بر میزان حذف نهائی نیترات می‌باشد. از طرفی کمیت و کیفیت بیومس جلبکی مورد استفاده نیز تاثیر قابل توجهی بر فرایند حذف نیترات دارد (Naddafi, ۲۰۱۱). در سواحل جنوبی کشور و به‌طور ویژه دریای عمان در استان سیستان و بلوچستان سالانه حدود ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ تن ماکرو جلبک دریایی توسط امواج به سواحل آورده می‌شود که بدون آن‌که هیچ استفاده‌ای از این منابع زیستی ارزشمند صورت گیرد مسبب آلودگی و شکل‌گیری مناظر ناپسند در سواحل عمان نیز می‌گردند (حافظیه، ۱۳۹۵). لذا بهره‌برداری از این منابع به‌عنوان جاذب‌های زیستی برای حذف آلودگی‌های شایع منابع آبی در این منطقه کمک قابل توجهی به اکوسیستم‌های در معرض خطر این مناطق خواهد کرد. جلبک قهوه‌ای، *Sargassum ilicifolium* یکی از جلبک‌های دریایی نسبتاً فراوان این منطقه است و همه ساله با طوفان‌های دریایی ذخایر عظیمی از آن به سواحل ریخته می‌شود (قرنجیک، ۱۳۹۱). در این مطالعه سعی بر آن است تا میزان کارایی و پتانسیل جلبک *S. ilicifolium* به‌عنوان جاذب زیستی برای حذف یون نیترات از محیط‌های آبی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی جاذب: 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 ۱۰۰ میکرون عبور داده شدند. برای جلوگیری از جذب رطوبت، مواد جاذب تا قبل از آزمایشات جذب در دسیکاتور نگهداری شدند (حافظیه، ۱۳۹۵).

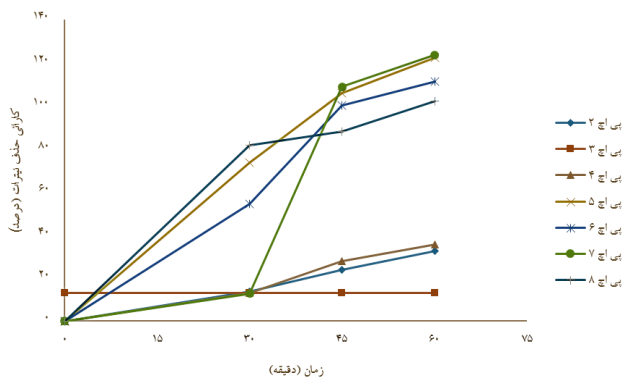
آماده‌سازی محلول‌های حاوی نیترات: در ابتدا برای ساخت محلول‌های مادر و غلظت‌های مختلف مورد نیاز آزمایش نیترات (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر) از نمک KNO₃ ساخت شرکت مرک استفاده شد سپس از هر محلول ۱۰۰ میلی‌لیتر برای هر یک از آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

یکی از شایع‌ترین آلوده‌کننده‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی مقادیر بالای یون نیترات می‌باشد (Stuart, ۲۰۰۶). فاضلاب‌های شهری و کشاورزی که حاوی مواد دفعی حیوانی و گیاهی و دارای نیتروژن آلی هستند به خاک دفع می‌شوند و از آن‌جاکه لایه سطحی خاک قادر به حفظ و نگهداری این ترکیبات نیست، این یون‌ها به آب‌های زیرزمینی راه می‌یابند (آزگلی، ۱۳۸۴). بنابراین در مناطقی که دفع نادرست فاضلاب از طریق چاه‌های جذبی انجام می‌شود، خطر انتشار پیوسته نیترات به آب‌های زیرزمینی وجود دارد (موحدیان، ۱۳۸۲). مصرف آب آشامیدنی و هم‌چنین سبزی و علوفه آلوده به مقادیر بالای نیترات سبب بروز مسمومیت و هم‌چنین بیماری‌های گوارشی و نهایتاً در مواردی منجر به بیماری سرطان می‌گردد (بدیعی‌نژاد، ۱۳۹۱). علاوه بر آن پسماندهای کشاورزی، خروجی پساب برخی صنایع مانند کارخانجات کاغذسازی و مهمات‌سازی حاوی مقادیر بسیار زیادی نیترات می‌باشد (Drizo, ۲۰۰۶). از طرفی سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند نفت و گاز در نیروگاه‌ها و ماشین‌ها و همه موتورهای با احتراق درون‌سوز اسیدنیتریک و آمونیاک تولید می‌کند که هوا را آلوده کرده به‌صورت باران‌های اسیدی به زمین باز می‌گرداند (بدیعی‌نژاد، ۱۳۹۱). وجود مقادیر بالاتر از استاندارد نیترات در آب آشامیدنی مورد استفاده اطفال به‌طور جدی باعث بروز بیماری متهموگلوبین (Met hemoglobinemia) یا سندروم نوزاد کبود (BlueBaby) می‌شود که در صورت مداومت در مصرف منجر به مرگ کودکان کم‌تر از شش ماه خواهد شد (بدیعی‌نژاد، ۱۳۹۱). بر همین اساس سازمان بهداشت جهانی، حداکثر غلظت مجاز یون نیترات در آب آشامیدنی را ۵۰ میلی‌گرم در لیتر در نظر گرفته است (WHO, ۲۰۰۳). لذا، برای دستیابی به منابع آبی با کیفیت و استاندارد جهانی ضروری است که مقادیر مازاد یون‌های نیترات از پساب‌های شهری و کشاورزی بازجذب و حذف گردد. برای این منظور از روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی استفاده می‌شود. تکنولوژی‌های موجود جهت حذف نیترات عمدتاً شامل فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی و استفاده از جاذب‌های زیستی مختلف می‌باشند (Reddad, ۲۰۰۲). استفاده از جاذب‌های زیستی گزینه نسبتاً ارزان و موثری برای جدا کردن یون‌های نیترات از محلول آبی می‌باشد. از میان جاذب‌های زیستی سه گونه پرکاربرد آن، یعنی باکتری‌ها، قارچ‌ها و جلبک‌ها معرفی شده‌اند (Jianyao, ۲۰۰۷). تاکنون مطالعات زیادی بر روی باکتری‌ها و قارچ‌ها در صنایع مختلف صورت گرفته است. اما در مورد پتانسیل استفاده از جلبک‌های ماکروسکوپی دریایی به‌ویژه در کشور گزارش‌های محدودی وجود دارد. در مورد عملکرد جاذب‌های زیستی چندین فاکتور اهمیت ویژه در میزان کارایی جاذب

نتایج

در این تحقیق اثرات چند فاکتور شامل pH محلول، غلظت اولیه یون نیتрат و مقدار بیوماس جلبک بر روی ظرفیت جذب و درصد حذف یون نیترات محلول مطالعه شد. در مرحله نخست که برای تعیین pH مناسب صورت گرفت، محیط‌های اسیدی، خنثی و بازی در دامنه pH (۲ تا ۸) مورد آزمون قرار گرفت. نتایج این آزمایش نشان داد بالاترین ظرفیت جذب و درصد حذف در pH: ۷ قابل مشاهده است. در مطالعه حاضر، با افزایش پی‌اچ، از ۲ تا ۷ ظرفیت جذب و درصد حذف یون نیترات افزایش یافت تا به میزان $123/64 \text{ mg g}^{-1}$ و $64/5\%$ در pH: ۷ رسید. در ادامه ظرفیت جذب با افزایش پی‌اچ کاهش یافت. پایین‌ترین درصد حذف نیترات در pH: ۲ و pH: ۸ به ترتیب به میزان ۵۹ و ۵۲ درصد به دست آمد (شکل ۱).

تغییرات غلظت نیترات در طول زمان در پی‌اچ مختلف



شکل ۱: میزان جذب نیترات در پی‌اچ مختلف

میزان جلبک مورد استفاده: مقادیر مختلف بیوماس جلبکی شامل $0.1, 0.3, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4$ و 0.4 گرم در لیتر برای آزمایشات ظرفیت جذب و راندمان حذف یون نیترات مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که یون نیترات حذف شده از فاز محلول وابسته به مقدار بیوماس جلبک مورد استفاده می‌باشد. در این آزمایش با افزایش مقدار بیوماس جلبک از 0.1 تا 0.4 گرم در لیتر در محلول مورد آزمایش ظرفیت جذب یون نیترات کاهش یافت به طوری که در مقدار بیوماس 1 g L^{-1} 0.1 ظرفیت جذب نیترات از 73 mg g^{-1} تا 48 mg g^{-1} به دست آمد و با افزایش مقدار بیوماس تا 1 g L^{-1} 0.4 به 1 mg g^{-1} نیترات کاهش یافت (شکل ۲). بالاترین درصد حذف نیترات از محلول‌های آبی در مقدار بیوماس 1 g L^{-1} 0.1 (73%) به دست آمد و در مقادیر بالاتر بیوماس در محلول‌های آزمایشی، تجمع و به هم چسبیدگی ذرات بیوماس موجب کاهش چشمگیر توانایی دیواره سلولی جلبک در جذب یون‌های مواد مغذی در داخل محلول

انجام آزمایشات جذب یون‌های نیترات: به منظور بررسی

میزان تاثیر عوامل متفاوت موثر بر ظرفیت جذب و روند حذف یون نیترات 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* ($0.1, 0.3, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4$ گرم) و غلظت‌های اولیه متفاوت یون نیترات (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر) در زمان تماس (۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه) مورد بررسی قرار گرفتند.

در اولین مرحله درصد حذف یون نیترات در محلول‌های آبی با pH متغیر بررسی شد تا pH مناسب آزمایشات بعدی مشخص گردد. در ادامه آزمایشات این متغیر ثابت نگه داشته شده و متغیر مقادیر مختلف جلبک از ($0.1, 0.3, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4$ گرم در لیتر به عنوان جاذب زیستی مورد آزمون قرار گرفت. در آزمایش سوم مقدار غلظت یون نیترات در محلول‌های جداگانه در محدوده ۳۵۰-۵۰ میلی‌گرم با مقادیر ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم بر لیتر تغییر یافت. آزمایشات در هر مرحله با ۳ تکرار انجام شد. هم‌چنین اثر مدت زمان بر روند هر یک از واکنش‌ها در حجم آبی ۱۰۰ میلی‌لیتر با نمونه‌برداری در زمان‌های ۰، ۱۵، 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 5000 rpm سانتریفیوژ شدند.

تجزیه و تحلیل: برای سنجش غلظت یون نیترات با روش

اسپکتروفتومتری و قرائت توسط دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. pH نمونه‌ها نیز با دستگاه pH متر پرتابل (مدل WTW 330i آلمان) اندازه‌گیری و ثبت گردید. ظرفیت جذب نیترات توسط جاذب زیستی جلبک *S. ilicifolium* اندازه‌گیری و محاسبه شد. ظرفیت جذب یون نیترات توسط جلبک از فرمول ذیل به دست می‌آید که در آن C_0 غلظت نمونه، C_e غلظت شاهد، V حجم محلول و M جرم جلبک می‌باشد.

$$q = (C_0 - C_e * V) / M \quad \text{رابطه یک:}$$

هم‌چنین درصد حذف از طریق معادله زیر به دست می‌آید (Craggs, ۱۹۹۷):

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

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



و حداکثر ظرفیت جذب نیترات ۵۶۰ در مقدار غلظت اولیه 350 mg L^{-1} به دست آمد. هم‌چنین حداکثر درصد حذف نیترات ۴۸٪ در 350 mg L^{-1} مشاهده شدند (شکل ۳). این نتایج به‌وضوح نشان می‌دهند که با افزایش غلظت یون‌ها در محلول‌های حاوی مواد مغذی، سرعت حذف بیولوژیکی توسط جلبک افزایش می‌یابد.

بحث

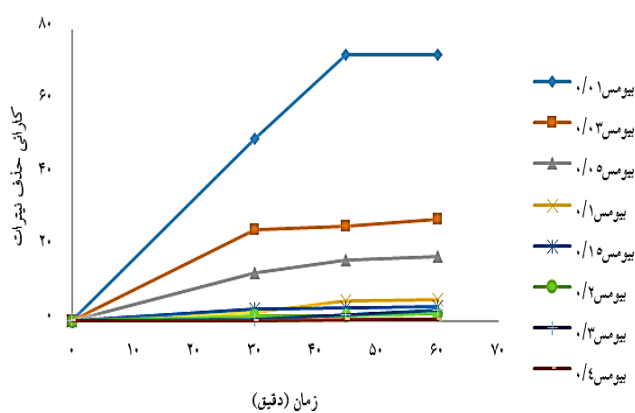
مطالعه حاضر با هدف بررسی پتانسیل جلبک *S. ilicifolium* به‌عنوان جاذب زیستی برای حذف یون نیترات از محلول‌های آب صورت گرفت. مطالعات متعدد در این زمینه نشان داده است که پی‌اچ محلول تاثیر قابل توجهی بر عملکرد جاذب‌های مختلف داشته و روند حذف یون نیترات از محیط‌های آبی را تغییر می‌دهد (Ngomsik, 2012). تغییرات ظرفیت جذب می‌تواند به‌میزان بارهای منفی سطح در pH بالاتر از ۷ و رقابت یون کلراید (ناشی از افزودن اسیدکلریدریک در پی‌اچ اسیدی ارتباط داشته باشد. همان‌طور که مشخص شد pH خنثی برای جذب نیترات مناسب بوده و اثرات متقابل بیوماس با نیترات در این شرایط مطلوب بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که بیوماس جلبک مورد آزمایش در آب‌های طبیعی یا جریان‌های فاضلاب معمول و خنثی مناسب برای حذف موثر نیترات می‌باشد و هر گونه تغییر در pH محلول‌های آبی از مقدار ۷، مانع از جذب مطلوب و بهینه یون‌های مغذی از محلول خواهد شد.

تغییرات pH محلول از پارامترهای مهم تاثیرگذار بر واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی محلول‌های آبی محسوب شده و از طریق بار سطحی جاذب و درجه یونیزاسیون مواد موجود در محلول و تفکیک گروه‌های عاملی روی مکان‌های جذب تاثیر چشم‌گیری دارد (قانعیان، ۱۳۸۸؛ Naddafi, 2011). مطالعات نشان داده است که در pH پایین، سایت‌های فعال موجود در جاذب (گروه‌های آمین) پروتونه شده و دانسیته بار مثبت موجود در سطح جاذب افزایش می‌یابد و هم‌چنین به‌دلیل این‌که بار جاذب در pH‌های بالاتر خنثی شده و جذب ثابتی به سمت آنیون‌های نیترات با بار منفی دارد، از طرفی جذب در pH اسیدی مرتبط با تخریب دیواره سلولی میکروارگانیسم مورد استفاده دارد (Wang, 2009؛ FARAH, 2013). مطالعات مرتبط با pH نشان می‌دهند که غلظت یون هیدروژن بر روی واکنش‌های پیچیده یا رفتار گروه‌های عاملی مختلف حاضر بر روی سطح سلولی جلبک تاثیرگذار بوده و موجب شکل‌گیری ترکیبات پیچیده در دیواره سلولی جلبک گردد.

مطالعه Soumya و همکاران (2015) بر روی حذف یون نیترات از محلول‌های آبی در مقادیر pH بین ۵ تا ۹ با استفاده از علف دریایی

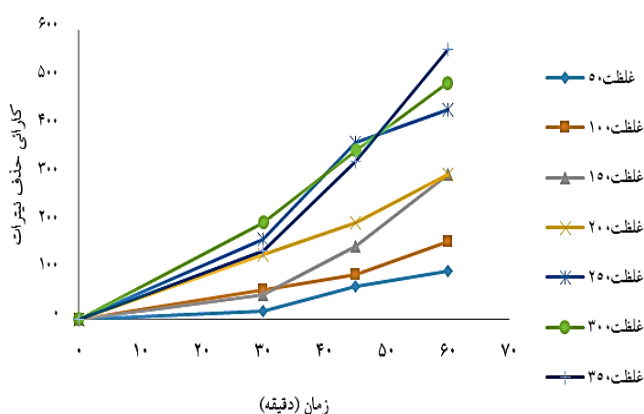
می‌گردد. بنابراین در مقدار بیوماس 1 g L^{-1} ۰/۴، درصد حذف برای نیترات ۱۹/۵٪ شد. ولی با توجه به این‌که همراه با افزایش مقدار بیوماس، ظرفیت جذب سیر نزولی شدید داشت. بنابراین در ادامه آزمایشات مقدار بیوماس بهینه برای حذف نیترات 1 g L^{-1} ۰/۱ در نظر گرفته شد. در واقع ظرفیت جذب و نتایج آن در آزمایشات جذب نسبت به نتایج مربوط به درصد حذف از اهمیت بالاتری در تعیین توانایی جاذب در پاک‌سازی آب‌های آلوده برخوردار است و در این مرحله به این نکته مهم توجه می‌گردد.

تغییرات نیترات در بیومس مختلف جلبک در طول زمان



شکل ۲: میزان جذب نیترات در بیومس مختلف

تغییرات غلظت نیترات در طول زمان



شکل ۳: میزان جذب نیترات در غلظت‌های مختلف نیترات

تعیین نسبت بهینه غلظت: در این آزمایشات، غلظت‌های اولیه نیترات از ۵۰ تا 350 mg L^{-1} میلی گرم بر لیتر مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد ظرفیت جذب و درصد حذف با افزایش غلظت‌های نیترات در محلول‌های آزمایشی، افزایش می‌یابند. بدین‌صورت که با افزایش غلظت اولیه از ۵۰ تا 350 mg L^{-1} میزان جذب از ۱۰۰ به ۵۶۰ افزایش یافت

جذب نیترات توسط بیوماس جلبک از محلول دارد (Gaur و Mehta, ۲۰۰۵). 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 (Soumya و همکاران, ۲۰۱۵). بنابراین با افزایش مقدار بیوماس، درصد حذف مواد مغذی کاهش می‌یابد و موجب کاهش کارایی دیواره سلولی جلبک می‌گردد (Soumya و همکاران, ۲۰۱۵). در مقادیر کم بیوماس جلبک، با توجه به نسبت بالای مکان‌های خالی روی دیواره سلولی برای جذب، درصد حذف با سرعت زیادی افزایش می‌یابد. در حقیقت با کاهش در مقدار جذب، مکان‌های جذب نسبت به تعداد یون‌های مواد مغذی حاضر در محلول خیلی زیاد و در دسترس هستند (Gaur و Mehta, ۲۰۰۵). به‌طور کلی، میزان جذب با کاهش مقدار بیوماس جلبک استفاده شده در محلول‌های مورد آزمایش افزایش می‌یابد و این مسئله توسط محققان دیگری نیز تایید شده است. در مطالعه Soumya و همکاران (۲۰۱۵) بر روی حذف نیترات از محلول‌های آبی با استفاده از علف دریایی *Cymodocea rotundata* حذف نیترات، حداقل (۰/۴۷/۵٪) در ۱ گرم بیوماس و حداکثر درصد حذف (۰/۶۱/۸٪) در ۰/۱ گرم بیوماس جاذب مشاهده گردید. بنابراین، مشابه تحقیق حاضر، حداکثر درصد حذف در حداقل مقادیر بیوماس جاذب به‌دست آمدند. مطالعه Bhat و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی جذب یون‌های فلزی از محلول‌های آبی حاوی جلبک قرمز *Catenella repens* با غلظت‌های بیوماس ۰/۱، ۰/۵، ۰/۱، ۱/۵ و ۲ گرم بر لیتر نشان داد، ظرفیت جذب همراه با افزایش مقدار بیوماس در محلول، کاهش یافت و بالاترین مقدار آن (۲۵۹ mg g⁻¹)، در مقدار بیوماس ۰/۲۵ g l⁻¹ به‌دست آمد. هم‌چنین با افزایش بیش‌تر در مقدار بیوماس مورد استفاده تا ۲g l⁻¹، کاهش در ظرفیت جذب اتفاق افتاد.

هم‌چنین Gaur و Mehta (۲۰۰۵)، از بیوماس جلبک برای حذف یون‌های فلزی از فاضلاب در یک مقاله مروری بیان داشتند که در بسیاری از تحقیقات، مقدار یون‌های جذب شده از محلول همراه با افزایش مقدار بیوماس، رو به کاهش خواهد بود. برای مثال Roy و همکاران (۱۹۹۳) برای حذف کادمیم توسط بیوماس *Chlorella minutissima* Gaur و Mehta (۲۰۰۵) برای جذب مس و نیکل توسط جلبک *Chlorella vulgaris* Gong و همکاران (۲۰۰۵) برای ظرفیت جذب سرب توسط *Hamdy Spirulina maxima* (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. Hayashi

Cymodocea rotundata نشان داد، بالاترین مقادیر درصد حذف نیترات (۰/۶۱/۸٪) زمانی به‌دست آمد که pH نمونه‌ها به ۸ رسید. در مطالعه‌ای دیگر، Kang و همکاران (۲۰۰۶) از جلبک *Haematococcus pluvialis* برای تصفیه فاضلاب استفاده کردند که ظرفیت جذب نیترات در پی‌اچ ۷/۵ معادل ۰/۱۰۰ بود. هم‌چنین Doria و همکاران (۲۰۱۲)، گونه جلبک *Scenedesmus acutus* را برای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب شهری مورد آزمون قرار دادند و بالاترین راندمان حذف نیترات ۰/۱۰۰٪ را در شرایط خنثی و پی‌اچ ۷ به‌دست آوردند. مطالعه Ogden و Ren (۲۰۱۴) بر روی جلبک *Nannochloropsis gaditana* نشان داد، ۰/۴۰٪ حذف یون نیترات در pH: ۷ قابل دستیابی است. Sabeti و همکاران (۲۰۱۸)، حذف نیترات از فاضلاب را با استفاده از ریزجلبک *Chlorella vulgaris* مورد آزمون قرار دادند و براساس نتایج، بیش‌ترین درصد حذف ۹۵٪ در مقدار pH: ۷/۵ به‌دست آمد. Mithra و همکاران (۲۰۱۲)، ماکرو جلبک *Caulerpa taxifolia* را برای حذف مواد مغذی در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در طول زمان ۲۴ ساعت، حداکثر حذف مواد مغذی در pH: ۷ مناسب بوده است. همان‌طور که اشاره شد در بیش‌تر موارد ظرفیت جذب جلبک‌ها در شرایط خنثی بالا بوده و این نکته دارای اهمیت ویژه است از آن جهت که حذف انواع مواد آلاینده بدون نیاز به تغییر در شرایط معمول و در شرایط نزدیک به خنثی قابل استفاده می‌باشد.

میزان جلبک مورد استفاده: مقادیر مختلف بیوماس جلبکی

شامل ۰/۰۱، ۰/۰۳، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ گرم در لیتر برای آزمایشات ظرفیت جذب و راندمان حذف یون نیترات مورد استفاده قرار گرفت. بالاترین درصد حذف نیترات از محلول‌های آبی در مقدار بیوماس ۰/۰۱ g l⁻¹ (۰/۷۳٪) به‌دست آمد و در مقادیر بالاتر بیوماس در محلول‌های آزمایشی، تجمع و به‌هم چسبیدگی ذرات بیوماس موجب کاهش چشمگیر توانایی دیواره سلولی جلبک در جذب یون‌های مواد مغذی در داخل محلول می‌گردد. بنابراین در مقدار بیوماس ۰/۴ g l⁻¹، درصد حذف برای نیترات ۱۹/۵٪ شد. ولی با توجه به این که همراه با افزایش مقدار بیوماس، ظرفیت جذب سیر نزولی شدید داشت. بنابراین در ادامه آزمایشات مقدار بیوماس بهینه برای حذف نیترات ۰/۰۱ g l⁻¹ در نظر گرفته شد. در واقع ظرفیت جذب و نتایج آن در آزمایشات جذب نسبت به نتایج مربوط به درصد حذف از اهمیت بالاتری در تعیین توانایی جاذب در پاک‌سازی آب‌های آلوده برخوردار است و در این مرحله به این نکته مهم توجه می‌گردد. بنابراین، ۰/۰۱ g l⁻¹ به‌عنوان مقدار بهینه بیوماس جلبک در ادامه آزمایشات انتخاب شد. بیش‌ترین درصد حذف مواد مغذی در کم‌ترین مقدار بیوماس نشان می‌دهد که فعل و انفعالات الکترواستاتیک بین دیواره سلولی، تاثیر منفی قابل توجهی بر ظرفیت



تشکر و قدردانی

از ریاست محترم وقت مرکز تحقیقات آب‌های دور چابهار دکتر سیدعباس حسینی و همکاران که در انجام مراحل این تحقیق یاری رساندند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱. آزرگلی، ا.، ۱۳۸۴. روند تغییرات نیترات در آبخوان منطقه یک شهرها و شهرک‌های غرب تهران. فصلنامه آب و محیط زیست. شماره ۶۲، صفحات ۳۵ تا ۴۱.
۲. بدیعی‌نژاد، ا.؛ غلامی، م.؛ جنیدی‌جعفری، ا. و عامری، ا.، ۱۳۹۱. بررسی عوامل موثر بر غلظت نیترات منابع آب شرب زیرزمینی شیراز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). نشریه طلوع بهداشت. دوره ۱۱، شماره ۲، صفحات ۴۷ تا ۵۶.
۳. حافظیه، م.؛ مرادی، ی.؛ پورکاظمی، م.؛ دادگر، ش. و شریفیان، م.، ۱۳۹۵. ترکیبات تقریبی - شیمیایی گیاه دریایی سارگاسوم مناطق مختلف ساحلی استان سیستان و بلوچستان. مجله علمی شیلات ایران. شماره ۴، صفحات ۲۹ تا ۴۰.
۴. قانعیان، م.ت.؛ غنی‌زاده، ق.؛ غلامی، م. و قادری‌نسب، ف.، ۱۳۸۸. جذب رنگ رادیواکتیو قرمز ۱۲۳ با پوسته تخم‌مرغ. نشریه طبیب شرق. دوره ۱۱، شماره ۴، صفحات ۲۵ تا ۳۴.
۵. قرنچیک، ب.؛ اژدری، د.؛ آذینی، م.؛ امینی‌راد، ت. و بلوچ، گ.، ۱۳۹۱. ارزیابی ذخایر گونه‌های اقتصادی گیاهان دریایی سواحل دریای عمان - استان سیستان و بلوچستان. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی موسسه تحقیقات شیلات ایران. ۱۵۹ صفحه.
۶. موحدیان، ح. و قنبرزاده، ش.، ۱۳۸۲. مقایسه نیترات و کربن آلی در منابع و شبکه توزیع آب آشامیدنی شهر اصفهان. مجموعه مقالات ششمین همایش کشوری بهداشت محیط. جلد ۱. صفحات ۱۲ تا ۱۷.
۷. 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. Journal of Hazardous Materials. Vol. 30, No. 2-3, pp: 28-35.
۸. Craggs, R.J.; McAuley, P.J. and Smith, V.J., 1997. Wastewater nutrient removal by marine microalgae grown on a corrugated raceway. Water Res. Vol. 31. pp: 1701-1707.
۹. Darbi, A.; Viraraghavan, T. and Butler, R., 2002. Corkal D. Batch studies on nitrate removal from potable water. Water Sa. Vol. 28, No. 3, pp: 19-22.

و همکاران (۲۰۰۸)، پتانسیل جلبک قرمز *Kappaphycus alvarezii* را برای حذف مواد مغذی مورد آزمایش قرار دادند.

تعیین نسبت بهینه غلظت: نتایج نشان داد ظرفیت جذب و درصد حذف با افزایش غلظت‌های نیترات در محلول‌های آزمایشی، افزایش می‌یابد. این نتایج به‌وضوح نشان می‌دهند که با افزایش غلظت یون‌ها در محلول‌های حاوی مواد مغذی، سرعت حذف بیولوژیکی توسط جلبک افزایش می‌یابد. بنابراین، قابل استفاده برای محلول‌های آبی آلوده و جریان‌های فاضلاب حاوی غلظت‌های بالای مواد مغذی می‌باشد. به‌طور مشابه در آزمایشات دیگری، *Neochloris oleoabundans* برای حذف نیترات توسط Wang و Lan (۲۰۱۱) نشان داد که افزایش غلظت اولیه نیترات، سرعت جذب نیترات را بالا می‌برد و به حداکثر مقدار $1/82 \text{ mg L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ در 140 mg L^{-1} نیترات رسید و افزایش بیش‌تر در غلظت نیترات تا 218 mg L^{-1} موجب کاهش در سرعت جذب نیترات در آزمایشات گردید.

دیگر محققان بر روی درصد حذف نیترات توسط مواد بیولوژیکی تحقیقاتی انجام داده‌اند و نتایج همه این کارها نشان می‌دهد که مقادیر بالای درصد حذف (بالا‌تر از ۹۰٪) در غلظت نیترات $40-200 \text{ mg L}^{-1}$ به‌دست آمدند. برای مثال Darbi و همکاران (۲۰۰۲) در سیستم ناپیوسته بر روی درصد حذف نیترات از آب شرب کار کردند و براساس نتایج آزمایشات، غلظت اولیه نیترات از 94 mg L^{-1} تا مقادیر خیلی پایین متغیر بود و درصد حذف حدود ۹۵٪ ثبت گردید. دیگر محققان شامل Zhou و همکاران (۲۰۱۱)، Liessens و همکاران (۱۹۹۳) و هم‌چنین Mohseni و Elliott (۱۹۹۸) درصد حذف نیترات را بررسی کردند و نتایج به‌ترتیب ۹۵٪ با غلظت اولیه 100 mg L^{-1} ، ۹۷٪ با غلظت اولیه 50 mg L^{-1} ، ۹۶٪ با غلظت اولیه 80 mg L^{-1} بودند. در آزمایش Ge و همکاران (۲۰۱۸)، جلبک آب شیرین *Spirogyra sp.* برای تصفیه فاضلاب شهری مورد بررسی قرار گرفت. راندمان حذف نیتروژن تا ۹۰ درصد و فسفر تا ۹۹ درصد گزارش شد. 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.

به‌منظور کاهش اثرات سوء و حذف نیترات، روش‌های بیولوژیکی نسبت به روش‌های فیزیکی‌شیمیایی بالاتری به‌علت تاثیر بالا و هزینه مناسب تصفیه برتر می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد که جلبک دریایی سارگاسوم می‌تواند به‌عنوان یک جاذب مؤثر برای حذف نیترات از محلول‌های آبی استفاده شود.

- prospect. Critical reviews in biotechnology. Vol. 25, No. 3, pp: 113-152.
۲۰. **Mithra, R.; Sivaramakrishnan, S.; Santhanam, P.; Dinesh Kumar, S. and Nandakumar, R., 2012.** Investigation on nutrients and heavy metal removal efficacy of seaweeds, *Caulerpa taxifolia* and *Kappaphycus alvarezii* for wastewater remediation. Journal of Algal Biomass Utilization. Vol. 3, No. 1, pp: 21-27.
۲۱. **Mohseni, B. and Elliott, D.J., 1998.** Ground water denitrification with alternative carbon sources. Water Science and Technology. Vol. 38, No. 6, pp: 237-243.
۲۲. **Naddafi, K. and Nabizadeh Nodehi, R., 2011.** Removal of reactive blue 29 dye from water by single-wall carbon nanotubes. Iranian journal of health and environment. Vol. 15, No. 4, pp: 359-368.
۲۳. **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. Vol. 15, No. 86, pp: 1-8.
۲۴. **Reddad, Z.; Gerente, C.; Andres, Y.; Le, M. and Cloirec, P., 2002.** Adsorption of several metal ions onto a low-cost biosorbent: kinetic and equilibrium studies. Environmental science & technology. Vol. 36, No. 9, pp: 2067-2073.
۲۵. **Ren, M. and Ogden, K., 2014.** Cultivation of *Nannochloropsis gaditana* on mixtures of nitrogen sources. Environmental Progress & Sustainable Energy. Vol. 33, No. 2, pp: 551-555.
۲۶. **Roy, D.; Greenlaw, P.N. and Shane, B.S., 1993.** Adsorption of heavy metals by green algae and ground rice hulls. Journal of Environmental Science & Health Part A. Vol. 28, No. 1, pp: 37-50.
۲۷. **Sabeti, M.B.; Hejazi, M.A. and Karimi, A., 2018.** Enhanced removal of nitrate and phosphate from wastewater by *Chlorella vulgaris*: Multi-objective optimization and CFD simulation. Chinese Journal of Chemical Engineering. Vol. 25, pp: 117-125.
۲۸. **Stuart, M.A.; Rich, F.J. and Bishop, G.A., 1995.** Survey of nitrate contamination in shallow domestic drinking water
۱۰. **Doria, E.; Longoni, P.; Scibilia, L.; Iazzi, N. and Cella, R., 2012.** Isolation and characterization of a *Scenedesmus acutus* strain to be used for bioremediation of urban wastewater. Journal of applied phycology. Vol. 1, No. 3, pp: 375-383.
۱۱. **Drizo, A.; Forget, C.; Chapuis, R.P. and Comeau, Y., 2006.** Phosphorus removal by electric arc furnace steel slag and serpentinite. Water Research. Vol. 40, No. 8, pp: 1547-1554.
۱۲. **Ge, S.; Madill, M. and Champagne, P., 2018.** Use of freshwater macroalgae *Spirogyra* sp. for the treatment of municipal wastewaters and biomass production for biofuel applications. Biomass and Bioenergy. Vol. 111, pp: 213-223.
۱۳. **Gong, R.; Ding, Y.; Liu, H.; Chen, Q. and Liu, Z., 2005.** Lead biosorption and desorption by intact and pretreated *Spirulina* maxima biomass. Chemosphere. Vol. 58, No. 1, pp: 125-130.
۱۴. **Hamdy, A.A., 2000.** Biosorption of heavy metals by marine algae. Current Microbiology. Vol. 41, No. 4, pp: 232-238.
۱۵. **Hayashi, L.; Yokoya, N.S.; Ostini, S.; Pereira, R.T.; Braga, E.S. and Oliveira, E.C., 2008.** Nutrients removed by *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in integrated cultivation with fishes in re-circulating water. Aquaculture. Vol. 277, No. 3-4, pp: 185-191.
۱۶. **Jiayao, C.; Makoto, T. and Guanqun, L., 2007.** Nitrate pollution of groundwater in the Yellow River delta, China. Hydrogeology Journal. Vol. 15, pp: 1605-1614.
۱۷. **Kang, C.D.; An, J.Y.; Park, T.H. and Sim, S.J., 2006.** Astaxanthin biosynthesis from simultaneous N and P uptake by the green alga *Haematococcus pluvialis* in primary-treated wastewater. Biochemical Engineering Journal. Vol. 31, No. 3, pp: 234-238.
۱۸. **Liessens, J.; Germonpré, R.; Beernaert, S. and Verstraete, W., 1993.** Removing nitrate with a methylotrophic fluidized bed: technology and operating performance. Journal-American Water Works Association. Vol. 85, No. 4, pp: 144-154.
۱۹. **Mehta, S.K. and Gaur, J.P., 2005.** Use of algae for removing heavy metal ions from wastewater: progress and



- wells of the inner coastal plain of Georgia. Groundwater. Vol. 33, No. 2, pp: 284-290.
۲۹. **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. African Journal of Biotechnology. Vol. 14, No. 16, pp: 1393-1400.
۳۰. **Wang, J. and Chen, C., 2009.** Biosorbents for heavy metals removal and their future. Biotechnology advances. Vol. 27, No. 2, pp: 195-226.
۳۱. **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. Vol. 102, No. 10, pp: 5639-5644.
۳۲. **WHO. 2003.** Guide lines for drinking water quality. 2th ed. Geneva.
۳۳. **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. Journal of Environmental Sciences. Vol. 23, No. 11. pp: 1761-1769.

