مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره سوم، خرداد ماه ۱۴۰۳(۱۳۹-۱۲۹)

بررسی توانایی ریزجلبک زنده *Dunaliella salina* برای حذف فسفات و نیترات از فاضلاب‌ها

ملیحه امینی [1*]
Amini.malihe@ujiroft.ac.ir
نرجس اکاتی [2]
زهرا امینی خوئی [3]
الناز عرفانی‌فر [4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۱۱ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲**

چکیده

زمینه و هدف: استفاده از ریزجلبک‌ها راهکاری موثر در فرآیند تصفیه پیشرفته فاضلاب به منظور حذف مواد مغذی می‌باشد. در این مطالعه ریزجلبک زنده *Dunaliella salina* پس از کشت برای انجام یک سری آزمایش‌های ناپیوسته و حذف نیترات و فسفات از فاضلاب استفاده شد.

روش بررسی: اثر تغییر غلظت نیترات و فسفات (۱۳-۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر) در محیط کشت بر میزان حذف این مواد مغذی در دوره رشد ۱۲ روزه توسط جلبک *D.salina* در آزمایشگاه مرکز تحقیقات آب‌های دور چابهار در سال ۱۳۹۷ مورد بررسی قرارگرفت.

یافته ها: براساس نتایج بیشترین میزان حذف نیترات و فسفات توسط *D. salina* به ترتیب ۵۱/۵٪ و ۹۳/۴٪ به دست آمدند. بالاترین میزان حذف مواد مغذی پس از نمونه شاهد در ۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد. میزان حذف فسفات در همه غلظت‌ها از نیترات بالاتر بود و این نشان می‌دهد که جلبک *D. salina* قابلیت رشد و سازگاری بالاتری در فاضلاب‌های آلوده به فسفات دارد. البته میزان حذف نیترات نیز قابل توجه و کاربردی در سیستم‌های تصفیه فاضلاب است. مدل‌های تعادلی Langmuir و Freundlich نیز در رابطه با نحوه جذب یون‌های مواد مغذی از محلول توسط ریزجلبک زنده بررسی شدند. فرآیند جذب با مدل تعادلی Langmuir با میزان R^2 ۰/۸۷ و ۰/۵۶ به ترتیب برای نیترات و فسفات مطابقت بیشتری داشت.

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، کرمان، ایران. *(مسوول مکاتبات)
۲- استادیار گروه علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، سیستان و بلوچستان، ایران.
۳- استادیار موسسه تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم شیلات ایران، مرکز تحقیقات شیلات آب‌های دور، چابهار، سیستان و بلوچستان، ایران.
۴- کارشناس موسسه تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم شیلات ایران، مرکز تحقیقات شیلات آب‌های دور، چابهار، سیستان و بلوچستان، ایران

بحث و نتیجه گیری: نتایج این تحقیق نشـان داد که زیسـت توده *D.salina* ، بیوجاذبی مناسـب برای حذف و جذب یون‌های نیترات و فسفات از محلول‌های آبی و فاضلاب‌ها است.

واژه‌های کلیدی: فاضلاب، فسفات، نیترات، میزان حذف، *Dunaliella salina*.

J. Env. Sci. Tech., Vol 26, No. 3, July, 2024

Investigation of the ability of living microalgae *Dunaliella salina* for phosphate and nitrate removal from wastewater

Malihe Amini [1*]
Amini.malihe@ujiroft.ac.ir
Narjes Okati [2]
Zahra Amini khoei [3]
Elnaz Erfani far[4]

Admission Date: June 23, 2021 Date Received: March 31, 2021

Abstract

Background and Objective: The use of microalgae is an effective path in the process of advanced wastewater treatment in order to remove nutrients. In this study, living microalgae, *Dunaliella salina* was cultivated and then used in a series of batch experiments for the removal of nitrate and phosphate from wastewater.

Material and Methodology: The effect of changes in NO_3^- and PO_4^{3-} concentrations (2.5-13 mg/l) on the removal efficiency using *D. salina* was evaluated during the 12-day growth period in the laboratory of Offshore Fisheries Research Center, Chabahar, 2017.

Findings: Results indicated that the maximum nitrate and phosphate removal efficiency using *D. salina* were 51.5% and 93.4%, respectively. The range of initial nitrate and phosphate concentrations were 0, 2.5, 5, 7.5, 10 and 12 mg/l and among them, the highest efficiency of nutrients removal after the control sample was obtained in 2.5 mg / l concentration of nitrate and phosphate. Phosphate removal efficiency was higher than nitrate at all concentrations and this shows that living microalgae *D. salina* has a good compatibility for growth in phosphate-contaminated wastewater. However, nitrate removal percentage is also significant and applicable to wastewater treatment systems. The Langmuir and Freundlich equilibrium models were also investigated in absorption process from solutions by living microalgae and the results of experiments were more consistent with Langmuir equilibrium model with R^2 levels of 0.87 and 0.56 for nitrate and phosphate, respectively.

Discussion and Conclusion: The results of this investigation suggested that *D. salina* is suitable as a biosorbent material for recovery and biosorption of nitrate and phosphate ions from aqueous solutions and wastewaters.

Key words: Wastewater, Phosphate, Nitrate, Removal percentage, *Dunaliella salina*.

1- Associate Professor of Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, kerman, Iran. *(*Corresponding Author*)
2- Assistant Professor of Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Sistan and Balochestan, Iran.
3-Assistant Professor of Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iranian Fisheries Science Research Institute, Offshore Fisheries Research Center, Chabahar, Sistan and Balochestan, Iran.
4- Expert of Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iranian Fisheries Science Research Institute, Offshore Fisheries Research Center, Chabahar, Sistan and Balochestan, Iran

مقدمه

تجمع بیش از حد مواد مغذی تخلیه شده به آب‌های سطحی موجب مشکلات زیست‌محیطی جدی می‌شود که بر سلامت موجودات آبی اثر می‌گذارد و به تبع آن بر حیوانات و انسان هم تاثیرگذار خواهد بود. بنابراین لازم است تا این مواد برای کاهش مضراتشان از فاضلاب حذف شوند (۱). ازت یکی از عناصر مهم واکنش های بیولوژیکی است و در ترکیبات دارای انرژی زیاد مانند آمینواسیدها و آمین‌ها که به نام ازت آلی خوانده می‌شوند، وجود دارد. تجزیه هوازی مواد آلی ازت‌دار منجر به تشکیل نیتریت و نیترات می شود. فسفر نیز در فاضلاب به صورت آلی و معدنی وجود دارد. علاوه بر این شوینده‌ها و مواد پاک‌کننده نیز از منابع عمده فسفر در فاضلاب‌ها می‌باشند (۲). بنابراین فاضلاب شهری به عنوان منبعی از مواد آلی و مغذی است که باعث تقویت رشد جلبک‌ها می‌شود (۳).

روش‌های حذف بیولوژیکی دارای برتری‌هایی نسبت به روش‌های فیزیکوشیمیایی به علت تاثیر بالا و هزینه مناسب تصفیه می‌باشد. بنابراین روش‌های بیولوژیکی (۴) و استفاده از ریز جلبک‌ها با توانایی بالا در تصفیه فاضلاب دارای اهمیت بالایی است (۵). بسیاری از گونه‌های جلبکی، به آلودگی‌های موجود در فاضلاب‌ها مقاومند و سریعاً در محیط غنی از نیتروژن و فسفر مستقر می‌شوند و با استفاده از این مواد برای رشد می‌توانند موجب حذف نیتروژن و فسفر فاضلاب گردند و این نشان می‌دهد که سیستم پرورش ریزجلبک‌ها می‌تواند به عنوان جایگزین بخشی از فرآیندهای تصفیه فاضلاب و به منظور حذف مواد مغذی به کار گرفته شود (۲).

Dunaliella جلبک تک یاخته‌ای است که در آب‌های شور ساحلی و آبگیرهای صخره‌ای زندگی می‌کند. این جلبک برای زندگی در آب‌های شور و غلیظ سازگار شده و یکی از گونه‌های حیاتی مقاوم به نمک است که تاکنون شناخته شده‌است. این جلبک در زمان عادی که شوری دریاچه کمتر است؛ رنگدانه سبز تر شح می‌کند و با بالا رفتن شوری و یا تبخیر شدید آب برای سازگاری با این شوری از خود رنگ دانه قرمز ترشح می‌کند. با توجه به سازگاری بالای جلبک مورد بحث در طیفی از آب‌ها با مقادیر مختلف نمک و املاح، می‌توان از این جلبک برای تصفیه آلاینده‌های آب و فاضلاب بهره برد (۶). کاربرد ریز جلبک‌ها در تصفیه فاضلاب بر اساس اصول اکوسیستم‌های طبیعی بنا نهاده شده‌است که مزایای متعددی دارد. از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به عدم ایجاد خطرات زیست‌محیطی با تکیه بر اصول اکوسیستم‌های طبیعی، عدم ایجاد آلودگی ثانویه در صورت استفاده از زیست توده (زیست توده) تولیدی و توانایی ریزجلبک‌ها در بازچرخش مؤثر مواد مغذی موجود در فاضلاب‌های ثانویه اشاره کرد.

از آن‌جایی‌که در مناطق خشک و نیمه خشک دسترسی به منابع آب با کیفیت خوب با محدودیت همراه است، لذا بهره‌برداری از فاضلاب برای آبیاری بسیار با اهمیت است و البته استفاده و برگشت آن به محیط یرای استفاده مجدد نیازمند فرآیند تصفیه نیز خواهد بود. کار با جلبک زنده *D. salina* برای حذف نیترات و فسفات تاکنون انجام نشده است، لذا این موضوع بسیار حائز اهمیت بوده و مطالعه حاضر با هدف تعیین میزان حذف یون‌های نیترات و فسفات توسط ریزجلبک زنده *D. salina* از فاضلاب انجام گرفته است که در همین راستا، مدل‌های تعادلی Langmuir و Freundlich نیز برای درک بهتر فرآیند جذب بررسی شده‌اند.

روش بررسی

۱- تهیه و خالص‌سازی ریزجلبک *D. salina*

نمونه‌برداری اولیه در سال ۱۳۹۷ از آب شور تالاب لیپار واقع در استان سیستان و بلوچستان با هدف جمع‌آوری جلبک میکرو سکوپی *D. salina* انجام شد. نمونه‌های آب جمع‌آوری شده به آزمایشگاه مرکز تحقیقات آب‌های دور چابهار انتقال داده شد و پس از مشاهده با میکروسکوپ به کمک کلیدهای شناسایی، جلبک *D. salina* تشخیص و حضور آن در نمونه آب تالاب تایید شد. در مرحله بعد جداسازی و خالص‌سازی این جلبک با استفاده از روش رقیق‌سازی متوالی در لوله‌های آزمایش صورت گرفت. بعد از حصول اطمینان از خلوص جلبک‌های جداسازی شده، کشت خالص جلبک انجام شد (۷).

۲- کشت جلبک *D. salina*

جلبک *D. salina* در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد در محیط کشت مایع در حال هوادهی رشد داده شد. با افزودن مقدار معین از مواد مغذی (جدول ۲-۱) (۸) و سیلیکات به آب دریای استریل شده با شوری ۳۷-۳۵ میکرو گرم بر لیتر و قرار دادن در اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ اتمسفر به مدت ۱۵ دقیقه، محیط کشت F/2 برای رشد و کشت جلبک آماده شد. pH محیط کشت جلبک *D. salina* با اضافه کردن نیتریک اسید و سود ۱ مولار در مقدار ۷ تنظیم شد. ابتدا جلبک در ظروف ۲۰ میلی لیتری و سپس در حجم‌های ۵۰۰ میلی لیتری در محیط‌های کشت یاد شده، قرار داده شد. محیط کشت دارای دوره روشن و تاریکی ۱۶ و ۸ ساعت به طور متناوب بود.

جدول ۱- ترکیب محیط کشت جلبک *D. salina*

Table 1. Composition of *D. salina* algae culture medium

NaCl	تنظیم شوری	NO_2EDTA	۱۸۹ میلی گرم
$MgCl_2$	۱/۵ گرم	$FeCl_3$	۲۴۴ میلی گرم
$MgSO_4$	۰/۵ گرم	H_3BO_3	۶۱ میلی گرم
KCl	۰/۲ گرم	$(NH_4)_6M_7O_4$	۳۸ میلی گرم
$CaCl_2$	۰/۲ گرم	$CuSO_4$	۶ میلی گرم
KNO_3	۱گرم	$CoCl_2$	۵/۱ میلی گرم
$NaHCO_3$	۰/۰۴۳ گرم	$ZnCl_2$	۴/۱ میلی گرم
KH_2PO_4	۰/۰۳۵ گرم	$MnCl_2$	۴/۱ میلی گرم
Fe solution	۱۰ میلی لیتر	HCl	تنظیم pH
Trace element solution	۱۰ میلی لیتر	آب مقطر	۹۸۰ میلی لیتر

۳- آماده‌سازی محلول‌های حاوی نیترات و فسفات

محلول مادر مواد مغذی نیترات و فسفات با استفاده از نمک‌های KNO_3 و K_2HPO_4 در آب مقطر با غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر تهیه شد. در ادامه محلول مادر برای ساخت محلول‌هایی با غلظت های کمتر برای انجام آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفتند. غلظت های اولیه مختلف (۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰ و ۱۳ میلی‌گرم بر لیتر در کنار نمونه شاهد) برای محلول‌های مورد آزمایش حاوی نیترات و فسفات آماده شدند. ۱ لیتر از محلول‌های آماده شده برای هر آزمایش در ارلن ۲/۵ لیتری قرار گرفتند.

۴-انجام آزمایش‌ها

اثر تغییر در مقدار غلظت یون‌های نیترات و فسفات (۱۳-۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر) بر میزان حذف این مواد مغذی توسط جلبک زنده *D. salina* در بازه زمانی ۱۲ روزه مورد بررسی قرار گرفت. مقدار جلبک زنده در نظر گرفته شده برای هر آزمایش (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) در زمان صفر به محلول حاوی نیترات و فسفات در ارلن اضافه گردید و محلول در تمام مدت انجام آزمایش تکان داده شد تا بیشترین میزان تماس زیست‌توده جلبک با محلول فراهم گردد. در زمان‌های ۰، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ روز، مقدار ۵ میلی لیتر از محلول تصفیه شده جدا و در سانتریفیوژ با تعداد دور ۱۰۰۰۰rpm به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد و سپس محلول جدا شده از زیست توده جلبک برای تخمین مقدار غلظت‌های نیترات و فسفات استفاده شد. آزمایش ها در هر غلظت در سه تکرار انجام و مقادیر میانگین به دست آمدند. در ادامه بالاترین میزان حذف که مربوط به انتهای زمان آزمایش با غلظت متفاوتی از نیترات و فسفات در پایان ۱۲ روز بود به عنوان نتیجه گزارش گردید.

۵- روش‌های آنالیز نمونه‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها

مقدار میزان حذف یون‌های نیترات و فسفات با استفاده از نسبت غلظت یون‌های نیترات و فسفات جذب شده در زمان نهایی به غلظت‌های اولیه یون‌های نیترات و فسفات در محلول محاسبه گردید که در معادله (۱) بررسی شده‌است:

$$R = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (۱)$$

که در آن، R (%) میزان جذب یون‌ها توسط زیست توده جلبک، C_0 (میلی‌گرم بر لیتر) غلظت اولیه یون‌های نیترات و فسفات و Ce (میلی‌گرم بر لیتر) غلظت نهایی یون‌های نیترات و فسفات در محلول‌های آزمایشی بودند (۹).

مدل تعادلی Langmuir با معادله (۲) بررسی شده‌است:

$$q = q_{\max}(\frac{bC_{eq}}{1+bC_{eq}}) \quad (۲)$$

که در آن، q_{max} (میلی‌گرم در گرم) حداکثر مقدار یون های نیترات و فسفات جذب شده در غلظت تعادلی، C_{eq} (میلی‌گرم بر لیتر) غلظت تعادلی یون‌های جذب شده در محلول و b اندازه گیری میل ترکیبی جذب و یا کارایی بیوجاذب است. پارامتر q_{max} حداکثر ظرفیت جذب توسط بیوجاذب را در زمانی نشان می‌دهد که سطح آن به طور کامل توسط یون‌های موجود در محلول اشغال شود. همچنین نشان‌دهنده تعداد کل محل‌های اتصال (در واحد وزن) درگیر در جذب یون‌ها توسط بیوجاذب است (۱۰).

مدل تعادلی Freundlich با معادله (۳) بررسی شده‌است:

$$q = K_F C_{eq}^{\frac{1}{n}} \quad (۳)$$

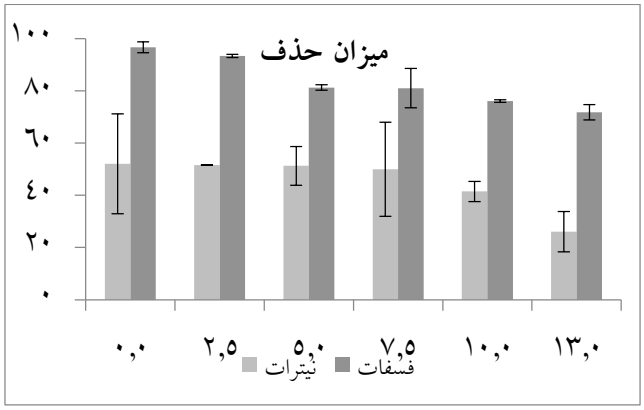
که در آن q_e (میلی‌گرم در گرم) مقدار یون‌های جذب شده در حالت تعادلی و C_{eq} (میلی‌گرم بر لیتر) غلظت تعادلی یون‌های جذب شده در محلول و K_F و n به ترتیب ثابت‌های ظرفیت جذب و شدت جذب هستند (۱۱).

در این پژوهش ابتدا داده‌ها وارد نرم افزار Excel و سپس با استفاده از این نرم افزار جداول و شکل‌های مورد نیاز ترسیم شدند. اندازه‌گیری غلظت‌های نیترات و فسفات توسط روش اسپکتروفتومتریک و رنگ‌سنجی به ترتیب در طول موج‌های ۲۰۵ و ۴۰۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر UV/Vis (Perkin Elmer, Lambda 25, USA) انجام شد. دستگاه اسپکتروفتومتر با طیف فرابنفش (300 Evolution, United Kingdom) برای این کار مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها

۱- اثر غلظت اولیه یون‌های نیترات و فسفات بر میزان جذب توسط جلبک زنده

در این آزمایش‌ها، غلظت اولیه نیترات و فسفات از ۲/۵ تا ۱۳ میلی‌گرم بر لیتر مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این‌که از ریزجلبک زنده برای حذف ترکیبات مغذی در این آزمایش‌ها استفاده شده، بنابراین نسبت به کارهای تصفیه بیولوژیکی که با زیست توده مرده میکرواگانیسم‌ها انجام شده‌اند (۸)، حساست بیشتری به افزایش غلظت مواد مغذی وجود خواهد داشت. نتایج نشان دادند که میزان حذف با افزایش در غلظت نیترات و فسفات در محلول‌های آزمایشی، کاهش می‌یابد. حداکثر میزان حذف نیترات و فسفات به ترتیب ۵۱/۵٪ و ۹۳/۴٪ در مقدار غلظت اولیه ۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر مواد مغذی به دست آمدند. (شکل ۳-۱). هرچند که با افزایش غلظت یون‌های مواد مغذی در محلول از ۲/۵ تا ۱۳ میلی‌گرم بر لیتر میزان حذف این یون‌ها از محلول کاهش می‌یابد ولی اعداد گزارش شده میزان حذف را در غلظت ۱۳ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب برای نیترات و فسفات، ۲۶٪ و ۷۱/۸٪ و در حد قابل قبولی خصوصا در مورد فسفات که عامل اصلی وقوع پدیده جلبکی ست، نشان دادند.

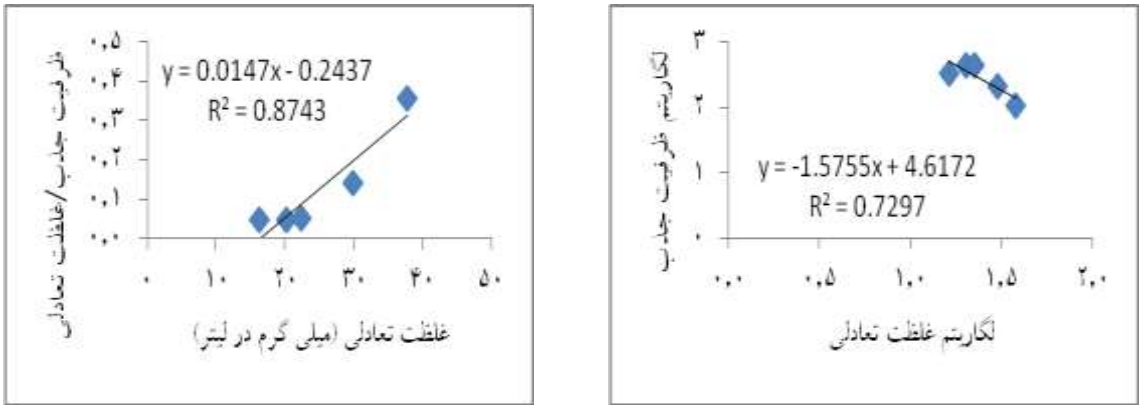


شکل ۱- اثر غلظت اولیه یون‌های نیترات و فسفات بر میزان حذف توسط ریزجلبک زنده *D. salina*

Figure 1. Effect of initial concentration of nitrate and phosphorus ions on removal percentage by living microalgae *D. salina*

۲- بررسی میزان مطابقت مدل های تعادلی با کارایی جذب توسط جلبک زنده

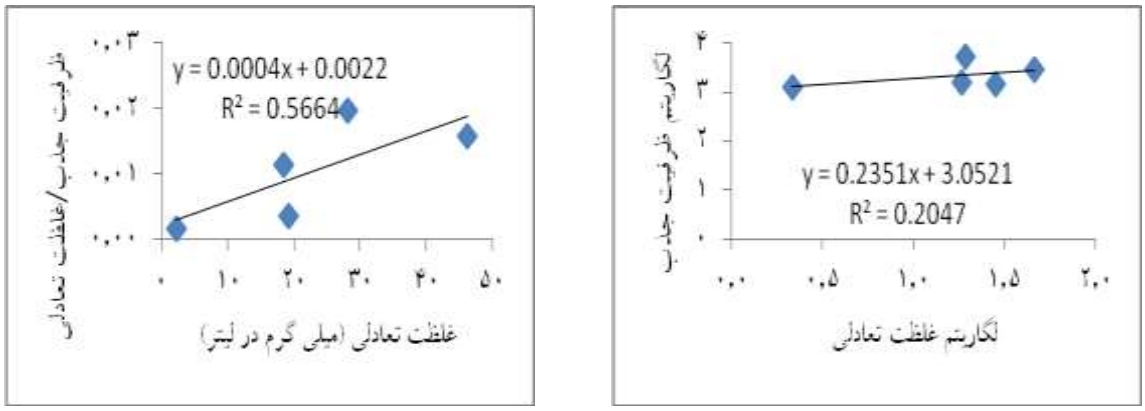
در این تحقیق نتایج بیشتر با مدل تعادلی Langmuir مطابقت دارند تا مدل Freundlich. مقادیر محاسبه شده مدل‌های تعادلی در شکل ۲ برای نیترات و شکل۳ برای فسفات نشان داده شده‌اند. R^2 برای مدل تعادلی Langmuir ۰/۸۷ و ۰/۵۶ و در مورد مدل تعادلی Freundlich ۰/۷۲ و ۰/۲۰ به ترتیب برای نیترات و فسفات محاسبه شد. بنابراین نتایج در مطالعه حاضر با مدل تعادلی Langmuir مطابقت بیشتری داشت.



(a) (b)

شکل ۲- مدل‌های تعادلی Langmuir (a) و Freundlich (b) در مورد فرآیند جذب یون‌های نیترات

Figure 2. Langmuir (a) and Freundlich (b) equilibrium models for nitrate ion absorption process



(a) (b)

شکل ۳- مدل‌های تعادلی Langmuir (a) و Freundlich (b) در مورد فرآیند جذب یون‌های فسفات

Figure 3. Langmuir (a) and Freundlich (b) equilibrium models for phosphorus ion absorption process

بحث

۱- اثر غلظت اولیه یون‌های نیترات و فسفات بر میزان جذب توسط جلبک زنده

نتایج گزارش شده در مورد میزان بالای حذف مواد مغذی توسط جلبک زنده *D. salina* خصوصا برای فسفر بسیار مطلوب و حائز اهمیت است، چرا که نیترات همان‌طور که از منابع مختلفی به محیط‌های آبی راه می‌یابد، راه‌های بیشتری هم نسبت به فسفر برای تجزیه و تبدیل شدن به N_2 و حذف آلودگی از منابع آب دارد، اما فسفر که عموما در اثر استفاده از شوینده‌ها وارد منابع آبی می‌گردد، جز استفاده و تجزیه توسط میکروارگانیسم‌ها منبع تخلیه دیگری ندارد. بنابراین توانایی بالای ریزجلبک زنده *D. salina* در حذف فسفر بسیار مطلوب و مثبت ارزیابی می‌گردد. هرچند که کارایی آن نسبت به زیست توده مرده برای حذف مواد مغذی در غلظت‌های بالا، کمتر و با کاهش همراه است (۱۲).

میزان حذف بالای مواد مغذی دارای مطلوبیت بیشتری در سیستم‌های تصفیه فاضلاب می‌باشد، اما در مورد میکروارگانیسم‌های زنده محدودیت‌هایی نظیر تغییر در pH، به هم خوردن موازنه مواد برای استفاده توسط موجود زنده موجب وارد آمدن تنش به موجود و کاهش کارایی میکروارگانیسم در حذف آلاینده‌های مختلف در منابع آبی می‌گردد. البته تعدادی از مطالعات نیز نشان داده‌اند که میکروارگانیسم‌ها در محدوده‌های مختلفی از املاح موجود در آب توانایی رشد و فعالیت را دارا هستند. برای مثال *Haematococcus pluvialis* یک گیاه سبز آب‌های شیرین است که در محدوده غلظت ۳۲ تا ۱۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیترات رشد می‌کند. تغییر در غلظت‌های اولیه نیترات تاثیرات مختلفی بر میزان حذف نیترات خواهد داشت و عموما گونه‌های جلبکی می‌توانند در غلظت‌های حد پایین تا مقادیر بالای نیترات و فسفات رشد کنند، بنابراین، گونه‌های مختلف هر کدام قابلیت خاص خود را برای جذب غلظت‌های بالای این عناصر خواهند داشت (۱۳).

در غلظت‌های پایین‌تر یون‌ها، مکان‌های جذب فعال در سطح جاذب به اندازه کافی در دسترس می‌باشند، بنابراین میزان جذب مستقل از غلظت یون‌های موجود در محلول است. اما در غلظت‌های بالای یون‌ها، تعداد یون‌ها در مقایسه با مکان‌های جذب فعال بیشتر می‌باشند، بنابراین میزان حذف یون‌ها وابسته به غلظت اولیه یون‌ها در محلول می‌باشد و با افزایش بیش از حد آن کاهش می‌یابد (۱۴). در تحقیق حاضر نیز با توجه به این‌که از گونه جلبک زنده برای جذب یون های نیترات و فسفات استفاده شده است، با افزایش غلظت یون‌های مواد مغذی در محلول از ۲/۵ تا ۱۳ میلی‌گرم بر لیتر، میزان حذف این یون‌ها از محلول کاهش می‌یابد ولی اعداد گزارش شده میزان حذف را حتی در غلظت ۱۳ میلی‌گرم بر لیتر نیز به ترتیب برای نیترات

و فسفات، ۲۶٪ و ۷۱/۸٪ نشان دادند که خصوصا در مورد فسفات هنوز هم میزان حذف بالا و قابل قبول می‌باشد.

داربیل[1] و همکاران (۲۰۰۲) در سیستم ناپیوسته بر روی میزان حذف نیترات از آب شرب کار کردند و براساس نتایج آزمایش‌ها، غلظت اولیه نیترات از مقادیر خیلی پایین تا ۹۴ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود و میزان حذف حدود ۹۵٪ ثبت گردید (۱۵). دیگر محققان شامل زو[2] و همکاران (۲۰۱۱)، زائو[3] و همکاران (۲۰۱۱)، نیز میزان حذف نیترات را بررسی کردند و نتایج به ترتیب ۹۵٪ با غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۹۷٪ با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بودند (۱۷،۱۶). بنابراین مواد بیولوژیکی و میکروارگانیسم‌ها قادر به تصفیه فاضلاب در طیفی از مقادیر مختلف مواد مغذی می‌باشند. این نکته بسیار مطلوب برای تصفیه فاضلاب‌هایی با مقادیر متفاوت از مواد آلاینده مختلف می‌باشد.

نتایج تحقیق حاضر برای میزان حذف در رابطه با فسفات حدود ۹۳٪/۴ و بسیار مطلوب بود و حتی با افزایش در غلظت اولیه فسفر نیز میزان حذف فسفر قابل توجه بود. سوی میا[4] و همکاران (۲۰۱۵) در رابطه با حذف فسفر از فاضلاب توسط جلبک *Chlorella vulgaris* کار کردند و نتایج نشان داد که حداکثر میزان حذف فسفر ۷۰/۹٪ بود (۱۸). اسرسای و پاک پاین[5] (۲۰۰۷)، نیز اعلام کردند که گونه *C. vulgaris* ٪۵۵ میزان فسفر کل را از محیط کشت در انتهای دوره حذف کرد (۱۹). بنابراین جلبک *C. vulgaris* توانایی کاهش فسفات از فاضلاب را دارد و می‌تواند برای کاهش فسفات در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد. البته در تحقیق حاضر حذف فسفر بالای ۹۰٪ ثبت شده است بنابراین می‌توان از این جلبک (*Dunaliella salina*) برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی مواد مغذی استفاده کرد. لی[6] و همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که جلبک *Scenedesmus sp.*، در غلظت‌های پایین فسفات توانایی رشد و جذب فسفات را دارا هستند ولی به طور کلی سرعت جذب با میزان مواد مغذی موجود در محیط رابطه مستقیم دارد (۲۰). خیلی از گونه‌های آلگی خصوصا *Chorella* و *Scenedesmus* به آلودگی‌ها مقاوم‌اند و قابلیت رشد و تغذیه بر روی مواد مغذی را نیز دارند (۲۱). بنابراین سیستم پرورش ریزجلبک‌ها می‌تواند به عنوان جایگزین بخشی از فرآیند تصفیه فاضلاب برای حذف مواد مغذی در کنار استفاده از ریزجلبک های تکثیر شده برای پرورش آبزیان باشد.

۲- بررسی میزان مطابقت مدل‌های تعادلی با کارایی جذب توسط جلبک زنده

هر یک از مدل‌ها دارای مبانی و فرضیات مخصوص به خود می باشند. لذا با همخوانی هر یک از مدل‌ها با داده‌های تجربی، می‌توان فرض کرد که فرآیند جذب نیز براساس مبانی همان مدل رخداده است و فرضیات حاکم بر ایزوترم در فرآیند جذب مورد نظر نیز صدق می‌کند. برای نمونه در صورتی که مدل ایزوترم جذب Langmuir با داده‌های آزمایشگاهی به خوبی مطابقت داشته باشد، می‌توان گفت که جذب تک لایه صورت گرفته است، چرا که مبنای این مدل بر فرض جذب تک لایه استوار است (۲۲).

ایزوترم جذب Langmuir نیز فقط در تعداد محدودی از جایگاه‌های معین و همسان اتفاق می‌افتد. در هر یک از این جایگاه‌های فعال، هیچ ممانعت فضایی میان بیوجاذب و جذب شونده وجود ندارد. بنابراین ایزوترم Langmuir براساس جذب همگن یا یکنواخت است. در این مدل بخشی از سطح مورد بررسی قرار می‌گیرد که در هنگام اشباع تعادلی قادر به جذب مولکول دیگری نباشد (۱۱). همین‌طور، مدل جذب Freundlich بر مبنای جذب چند لایه بوده و اگر این مدل با داده‌های آزمایشگاهی مطابقت داشته باشد می‌توان گفت جذب چندلایه اتفاق افتاده‌است (۲۲). این مدل تجربی قابلیت استفاده برای جذب چندلایه با توزیع ناهمگن گرما و جذب بر سطح ناهمگن را دارد (۱۰).

1- Darbil
2- Zhou
3- Zhao
4- Soumya
5- Sreesai & Pakpain
6- Li

نتیجه‌گیری

تجمع مواد آلی و مغذی حاوی کربن، نیتروژن و فسفر تخلیه شده به آب‌های سطحی موجب مشکلات زیست‌محیطی جدی می‌گردد که بر سلامت موجودات آبی اثر می‌گذارد و به تبع آن بر حیوانات و انسان هم تاثیرگذار خواهد بود. در مطالعه حاضر از جلبک *Dunaliella salina* طی انجام آزمایش‌ها ناپیوسته به منظور تصفیه فاضلاب و حذف نیترات و فسفات استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها بسیار مطلوب و بیشترین میزان حذف نیترات و فسفات در غلظت بهینه نیترات و فسفات ۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر، به ترتیب ۵۱/۵٪ و ۹۳/۴٪ به دست آمدند. البته با وجود این‌که با افزایش غلظت مواد مغذی، میزان حذف کاهش یافت، اما در بالاترین غلظت (۱۳ میلی‌گرم بر لیتر نیترات و فسفات) میزان حذف به ۲۶٪ برای نیترات و ۷۱/۸٪ برای فسفات رسید که همچنان قابلیت کاربرد جلبک زنده *D. salina* را در فرآیند تصفیه مواد مغذی از فاضلاب تایید می‌نماید. مدل تعادلی Langmuir با نتایج جذب مواد مغذی توسط ریزجلبک زنده مطابقت بیشتری نشان داد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

References

1. Abolhassani, M., Hosseini, A., Ghorbani, R., Vince, A., 2016a. Phosphate and nitrate removal from urban wastewater by *Scenedesmus obliquus* algae cultivation and algal biomass production. Journal of Aquatic Ecology, *Vol. 5*(4). (In Persian)
2. Ahmadpour, N., Sayadi, M., Falahi Kappourchali, M., Rezaei, M., 2015. Microalgae removal from municipal wastewater effluent in vitro. Journal of Biotechnology, *Vol.* 6(2). (In Persian)
3. Jafari, S., Hosseini, A., 2015. Performance of *Cyanobacter spirulina* on removal of orthophosphate from simulated wastewater. Journal of Marine Science and Technology Research, *Vol.* 10(3). (In Persian)
4. Lemaire, R., Yuan, Z., Blackall, LL., Crocetti, GR., 2008. Microbial distribution of *Accumulibacter* spp. and *Competibacter* spp. in aerobic granules from a lab-scale biological nutrient removal system. Environmental Microbiology, *Vol. 10, pp.* 354-363.
5. Abolhasani, M., Hosseini, A., Ghorbani, R., Vince, A., 2016 b. Feasibility of biomass production and phosphate and nitrate removal from urban wastewater by *Chlorella vulgaris* algae cultivation. Journal of Aquaculture Development, *Vol. 10(2)*. (In Persian)
6. Manaf fer, R., Ghorbani, S., 2015. Algal bloom in northwest of Urmia Lake (Barry Station). Journal of Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology), Vol. 28(1). (In Persian)
7. Arbabi, S., Akbary, P., Amini khoei, Z., 2020. Evaluation of flocculation induced by pH increase on harvest efficiency and fatty acids content of microalgae *Dunaliella salina*, isolated from Lipar lagoon- Chabahar. Iranian Scientific Fisheries Journal, Vol. 29(6), pp. 109-120. (In Persian)
8. Amini, M., Younesi, H., Bahramifar, N., 2013. Biosorption of U(VI) from Aqueous Solution by *Chlorella vulgaris*: Equilibrium, Kinetic, and Thermodynamic Studies. Journal of environmental engineering, *Vol.* 139, *pp.* 410-421.
9. Amini, M., Younesi, H., 2009. Biosorption of Cd(II), Ni(II) and Pb(II) from aqueous solution by dried biomass of *Aspergillus niger*: Application of

response surface methodology to the optimization of process parameters. CLEAN - Soil, Air, Water, *Vol.* 37(10), pp. 776- 786.

10. Shahryari, Z., Soltani Goharrizi, A., Azadi, M., 2010. Experimental study of methylene blue adsorption from aqueous solutions onto carbon nano tubes. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, *Vol.* 2(2), *pp.* 16-28.
11. Foo, KY., Hameed, BH., 2010. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. Chemical Engineering Journal, *Vol.* 156, *pp.* 2–10.
12. Amini, M., Amini Khoei, Z., Erfanifar, E., 2019. Nitrate (NO_3^-) and phosphate (PO_4^{3-}) removal from aqueous solutions by microalgae *Dunaliella salina*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, *Vol. 1*9.
13. Kang, CD., An, JY., Park, TH., Sim, SJ., 2006. Astaxanthin biosynthesis from simultaneous N and P uptake by the green alga *Haematococcus pluvialis* in primary treated wastewater. Biochemical Engineering Journal. *Vol.* 31(3), *pp.*234-38.
14. Sanati, AM., Bahramifar, N., Mehraban, Z., Younesi, H., 2014. Lead removal from aqueous solution using Date-Palm leaf ash in batch system. Journal of water and wastewater, Vol. 4, pp. 51-58. (In Persian)
15. Darbil, D., Viraraghavan, T., Butler, R., Corkal, D., 2002. Batch studies on nitrate removal from potable water. Water SA, Vol. 28, pp. 319–322.
16. Zhou, W., Sun, Y., Wu, B., Zhang, Y., Huang, M., Miyanaga, T., et al. 2011. Autotrophic denitrification for nitrate and nitrite removal using sulfur lime stone. Journal of Environmental Science, Vol. 23, pp. 1761–1769.
17. Zhao, Y., Feng, C., Wang, Q., Yang, Y., Zhang, Z., Sugiura, N., 2011. Nitrate removal from groundwater by cooperating heterotrophic with autotrophic denitrification in a biofilm–electrode reactor. Journal of Hazardous Materials, Vol. 192, pp. 1033–1039.
18. Soumya, GN., Manickavasagam, M., Santhanam, P., Dinesh Kumar, S., Prabhavathi, P., 2015. Removal of phosphate and nitrate from aqueous solution using seagrass *cymodocea rotundata* beads. African journal of biotechnology, Vol. 14(16), pp. 1393-1400.
19. Sreesai, S., Pakpain, P., 2007. Nutrient recycling by *Chlorella vulgaris* from septage effluent of the Bangkok city, Thailand. Science Asia, Vol. 33, pp. 293-299.
20. Li, X., Hu, HY., Yang, J., 2010. Lipid accumulation and nutrient removal properties of a newly isolated freshwater microalga, *Scenedesmus* sp. LX1, growing in secondary effluent. New Biotechnology, Vol. 27, pp. 59-63.
21. Tam, NFY., Wong, YS., 2000. Effect of immobilized microalgae bead concentrations on wastewater nutrient removal. Environmental Pollution, Vol. 107, pp. 145-151.
22. Nematollah zade, A., 2017. An approach for the explicit determination of adsorption isotherms constants and its validation by experimental data. Journal of Separation Science and Engineering, Vol. 8(2), pp. 31-41. (In Persian)