



حذف نیتروژن آمونیومی و ارتوفسفات از پساب شهری با استفاده از سلول های تثبیت شده ریز جلبک

داریوش عربیان^{۱*}، پیوند امیری^۲

^۱ استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی، ^۲ کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی.

چکیده

سابقه و هدف: ارائه راهکارهای سودمند و طرح های هدفمند به دلیل کمبود منابع آب به منظور مصرف بهینه منابع آب و نیز ایجاد کیفیت مطلوب پساب ها ضروری است. این مطالعه با هدف ارزیابی حذف نیتروژن آمونیومی و ارتوفسفات از پساب شهری با استفاده از دو گونه ریزجلبک انجام شد.

مواد و روش ها: در ابتدا سلول های کشت شده ریز جلبک های کلرلا و اووسیستس با محلول سدیم آلزینات ۴ درصد مخلوط شدند. مخلوط حاصل به محلول کلسیم کلراید اضافه شد تا گویچه های از جنس آلزینات که حاوی سلول های ریز جلبک می باشد تشکیل شود. برای اندازه گیری رشد سلولی از روش شمارش با لام نئوبار استفاده شد. میزان حذف نیتروژن و ارتوفسفات از پساب به ترتیب با استفاده از روش جذب نوری با واکنش با معرف های نسلر و آرمسترانگ انجام گردید. **یافته ها:** گونه اووسیستیس پس از گذشت ۱۴ روز از تیمار حدود ۶۵/۲ درصد از نیتروژن آمونیومی محیط را حذف نمود. بازده کلی حذف ارتوفسفات نیز ۶۹ درصد بود. در تیمار ریز جلبک کلرلا تا روز چهارم حذف نیتروژن آمونیومی ۷۴/۳ درصد و در روز هفتم ۱۰۰ به درصد رسید. بازده کلی حذف ارتوفسفات نیز ۶۲/۲۷ درصد بود.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد که در شرایط طراحی شده جلبک کلرلا توانایی مناسبی در حذف نیتروژن و فسفر از پساب را دارد. **واژگان کلیدی:** کلرلا، اووسیستیس، پساب، نیتروژن آمونیومی، ارتوفسفات.

دریافت مقاله: اردیبهشت ماه ۹۶ پذیرش برای چاپ: تیر ماه ۹۶

مقدمه

تصفیه کامل تر پساب است (۳-۱). روش های مختلفی در تصفیه از جمله فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای حذف این آلاینده ها به کار رفته است. اما از میان روش های موجود فرآیندهای بیولوژیکی که در آن عوامل زیستی تأثیرگذار هستند، نسبت به روش های شیمیایی مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (۱ و ۴). در بیوتکنولوژی زیست محیطی بیشتر توجه بر ارگانیزم های تک سلولی به ویژه جلبک ها است که در کیفیت و کنترل آلودگی آب مؤثر می باشند (۵). عناصر ضروری در رشد جلبک ها، کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، فسفر و سولفور آهن می باشد که از

افزایش جمعیت و تقاضای آب به این معنی است که در آینده بسیار نزدیک باید از منابع آب آلوده شده بیشتری برای رفع نیازها استفاده نمود. سیستم تصفیه پساب شامل فرآیندهایی است که باعث کاهش اجزای تشکیل دهنده مشخصی از پساب تا اندازه قابل قبول می گردد. نگاه اجمالی به تاریخچه تصفیه نشان می دهد که تصفیه پساب ها در اوایل قرن بیستم و با حذف مواد معلق و آلی از پساب شروع شد. اما با گذشت زمان و پیدایش شرایط نامناسب زیست محیطی، تلاش متخصصان

(* آدرس برای مکاتبه: اصفهان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی علوم کاربردی.

محققان دیگری نیز در سال‌های اخیر تصفیه انواع پساب با استفاده از سلول‌های تثبیت ریزجلبک‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند (۱۸-۱۳). تحقیقاتی نیز در رابطه با استفاده همزمان از میکروجلبک‌های تثبیت شده و باکتری در تصفیه پساب صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به بررسی آمویزکا (Amavizca) و همکاران در سال ۲۰۱۷ اشاره کرد که منجر به افزایش راندمان حذف نیتروژن و فسفر گردیده است (۱۹).

هدف از این مطالعه ارزیابی دو گونه مختلف ریزجلبک کلرلا و اووسیستیس از نظر بازده حذف نیتروژن- آمونیومی و ارتوفسفات از پساب شهری بود. همچنین عملکرد گونه‌ای که بالاترین بازده حذف NH_4^+-N و $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ را داشت، در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

الف) تهیه و کشت ریزجلبک: در این مطالعه گونه‌های ریزجلبک کلرلا و اووسیستیس از مرکز کلکسیون شیلات انزلی تهیه گردیدند. واکشت ریزجلبک‌ها در محیط BG-11 که محیط کشت جلبک‌های سبز-آبی می‌باشد، صورت گرفت. ترکیبات این محیط در جدول ۱ نشان داده شده است (۲۰). پس از تهیه محیط کشت، ۱۰۰ میلی‌لیتر از آن در ارلن‌های استریل ریخته شد. مقداری از ریزجلبک‌های مورد مطالعه به آن اضافه شدند و در اتاق کشت در دمای 21°C و شدت نور ثابت ۱۰۰۰ لوکس قرار گرفتند. برای شمارش تعداد سلول از تئوبار هموسیتومتر استفاده شد.

ب) اندازه‌گیری نیتروژن و فسفر: اندازه‌گیری نیتروژن بر اساس میزان نیتروژن-آمونیومی و فسفر براساس ارتوفسفات با روش استاندارد اندازه‌گیری آب و پساب بر روی نمونه‌های پساب خروجی تصفیه‌خانه دانشگاه صنعتی مالک اشتر به وسیله اسپکترومتر مدل T80+ UV/VIS انجام شد.

ج) اندازه‌گیری نیتروژن-آمونیومی: به ۲ میلی‌لیتر از نمونه‌های حاوی غلظت‌های مختلف نیتروژن آمونیومی و نمونه پساب ۳۴۰ میکرولیتر معرف نسلر (که با حل کردن ۵۰ گرم پتاسیم یداید در ۵۰ میلی‌لیتر آب سرد و ۲۲ گرم کلرید جیوه در ۳۵۰

مواد معدنی حل شده در آب، پساب یا خود آب به دست می‌آورد (۵). کاربرد جلبک در تصفیه پساب براساس اصول اکوسیستم طبیعی نهاده شده، در نتیجه از نظر زیست محیطی مضر نمی‌باشد. همچنین قابلیت بازیافت مناسب مواد مغذی (نیتروژن و فسفر) از پساب را داشته و در صورت بازمصرف توده زیستی (biomass) تولیدی، هیچ گونه آلودگی ثانویه‌ای ایجاد نمی‌گردد (۶ و ۷).

در مقایسه با سیستم‌های لجن فعال، تکنولوژی ساده‌تر و مصرف انرژی کمتری داشته و تولید فتوستتزی اکسیژن می‌تواند جایگزین هوادهی مکانیکی در روش‌های متداول تصفیه شود (۶-۸). در تصفیه بیشتر از ریزجلبک‌هایی مانند کلرلا (*Chlorella*)، کلایدموناس (*Chlamydomonas*)، سینی دسمس (*Scenedesmus*) و اووسیستیس (*Oocystis*) استفاده می‌شود. این چهار گونه از گروه کلروفیت‌ها بوده و در بسیاری از آب‌های شیرین یافت می‌شوند (۵، ۹ و ۱۰). اووسیستیس، یک جلبک سبز میکروسکوپی است. به صورت کلنی‌هایی ۲ تا ۸ تک سلولی است که به صورت دسته‌ای می‌باشند. در این کلنی‌ها هر تک سلول می‌تواند به تنهایی زنده بماند و به فعالیت خود ادامه دهد. از آنجایی که ایران در لیست کشورهای قرار دارد که تا سال ۲۰۲۵ قطعاً با کمبود منابع آب مواجه خواهد شد، بنابراین ارائه راهکارهای سودمند و اجرای طرح‌ها در راستای کاهش و مصرف بهینه منابع آب موجود و نیز ایجاد کیفیت مطلوب پساب‌ها در کاربری‌های مختلف، امری لازم و ضروری است. در این زمینه تحقیقات مختلفی در کشورهای مختلف صورت گرفته است.

به عنوان نمونه جیسودا (*Jaysudha*) و همکاران در سال ۲۰۱۳ با استفاده از ریزجلبک تثبیت شده کلرلا سالینا به بازده ۹۹/۳۹ درصد دست یافتند. در حالی که با استفاده از سلول‌های آزاد تنها ۳۷ درصد حذف فسفات به دست آوردند (۱۱). در ایران نیز می‌توان به تحقیقات شاکر (*Shaker*) و همکاران در سال ۲۰۱۵ اشاره کرد که حذف ارتوفسفات (راندمان ۹۹ درصد) با استفاده از سلول‌های تثبیت شده کلرلا ولگاریس مورد بررسی قرار گرفت (۱۲).

جدول ۱: ترکیبات محیط کشت مورد استفاده.

Trace-element (در ۱ لیتر محلول)		محیط کشت BG-11	
ماده شیمیایی	میزان ماده (گرم)	ماده شیمیایی	میزان ماده (گرم)
H ₃ BO ₃	۲/۸۶	NaNO ₃	۱/۵
MnCl ₂ .4H ₂ O	۱/۸۱	K ₂ HPO ₄	۰/۰۴
ZnSO ₄ .7H ₂ O	۰/۲۲۲	MgSO ₄ .7H ₂ O	۰/۰۷۵
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	۰/۳۹	CaCl ₂ . 2H ₂ O	۰/۰۳۶
CuSO ₄ .5H ₂ O	۰/۷۹	Citric acid	۰/۰۰۶
Co (NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	۰/۰۴۹۴	Ferric ammonium citrate	۰/۰۰۶
		Na ₂ - EDTA	۰/۰۰۱
		Na ₂ CO ₃	۰/۰۰۲
		Trace-element solution	۱ میلی لیتر

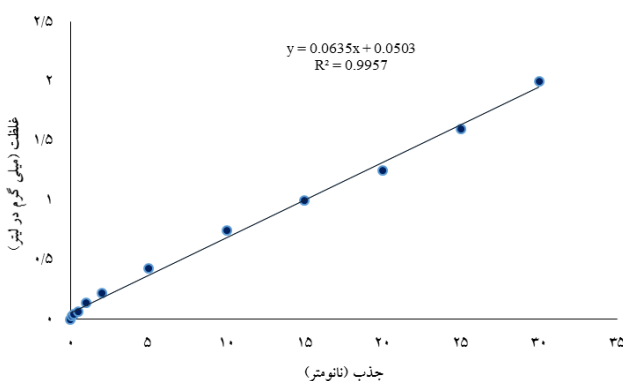
تارتارات پتاسیم آنتی مونی به آن اضافه گردید. محلول حاصل با گرما کردن حل شد. پس از خنک شدن به کمک آب مقطر تا حجم یک لیتر رقیق گردید (۶). همانند روش نیترات معادله دستگاه با استفاده از غلظت های مختلف K₂HPO₄ به دست آورده شد. غلظت های مورد استفاده ۰ - ۰/۱۲۵ - ۰/۲۵ - ۰/۵ - ۱ - ۲ - ۵ - ۱۰ - ۱۵ - ۲۰ - ۲۵ - ۳۰ میلی گرم بر لیتر بود. جذب حاصل ۰، ۰/۰۲۵۶، ۰/۰۴۴، ۰/۰۶۸، ۰/۱۴، ۰/۲۱۸، ۰/۴۲۵، ۰/۷۵، ۱/۰۲، ۱/۲۵، ۱/۶، ۲ به دست آمد (نمودار ۲). این معادله به صورت زیر بود (۲۱):

$$PO_4^{3-} - P \text{ Conc. (mg/L)} = A X_{880 \text{ nm}}$$

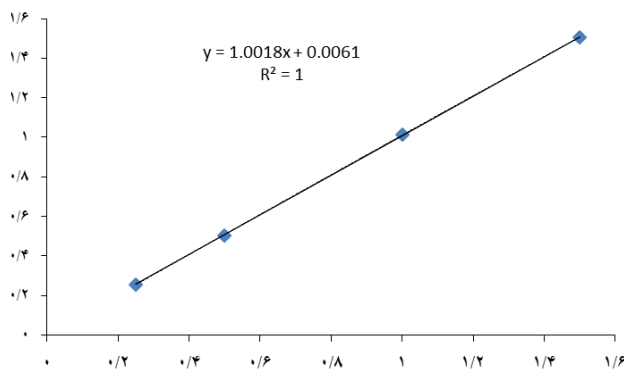
ه) اندازه گیری میزان کلروفیل *chl* در این آزمایش از سوسپانسیون جلبک و استون ۸۰ درصد استفاده گردید. ابتدا در هر لوله ۳ میلی لیتر از سوسپانسیون جلبک اضافه شد و به مدت

میلی لیتر آب مقطر (اشباع) به همراه ۲۰۰ میلی لیتر سود ۵ نرمال به دست آمده بود) اضافه گردید. منحنی استاندارد مربوطه در نمودار ۱ نشان داده شده است. همچنین غلظت های مورد استفاده ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵ میلی گرم بر لیتر بود. مقدار جذب آنها به ترتیب ۰/۲۵۶، ۰/۵۰۵، ۰/۷۸۵، ۱/۰۱۳، ۱/۲۵ و ۱/۵۰۶ به دست آمد.

د) اندازه گیری ارتوفسفات: به ۵۰ میلی لیتر از نمونه های حاوی غلظت های مختلف ارتوفسفات و نمونه پساب ۵ میلی لیتر محلول آرمسترانگ اضافه گردید. سپس ۱ میلی لیتر اسید آسکوربیک به مخلوط افزوده شد. پس از گذشت ۲۰ دقیقه جذب نوری نمونه ها در طول موج ۸۸۰ نانومتر بررسی گردید. برای تهیه محلول آرمسترانگ، ۱۲۲ میلی لیتر H₂SO₄ غلیظ با آب مقطر تا ۸۰۰ میلی لیتر رقیق گردید. در ادامه ۵۵/۱ گرم مولیبدات آمونیوم و ۰/۳ گرم



نمودار ۲: منحنی استاندارد فسفر.



نمودار ۱: منحنی استاندارد نیتروژن آمونیومی.

دستگاه قرار داده شدند و عدد مربوطه در طول موج ۶۰۰ نانومتر معادل مقدار سلول حسب میلی گرم در لیتر می‌باشد. به منظور بررسی عملکرد ریز جلبک ها در شرایط طبیعی و بدون اعمال هیچ گونه تغییرات در نمونه پساب، غلظت های نیتروژن-آمونومی و ارتوفسفات همان غلظت اولیه در نمونه اصلی پساب در نظر گرفته شد. میزان اولیه نیتروژن-آمونومی در پساب (در شرایط طبیعی) برابر ۴/۶ میکرومول در میلی لیتر و میزان ارتوفسفات ۸۲/۳۵ میلی گرم در لیتر اندازه گیری گردید (۲).

ز) تثبیت سلول های ریز جلبک: برای این منظور سلول های ریز جلبک درون محیط BG-11 کشت داده شدند. هر روز تعداد سلول های ریز جلبک شمارش شدند. زمانی که تعداد سلول ها به مقدار 1×10^6 در هر میلی لیتر رسید، حجم مساوی از سلول های ریز جلبک با حجم مساوی از محلول سدیم آلزینات ۴ درصد که قبلاً تهیه و اتوکلاو شده بود مخلوط گردید. سپس مخلوط حاصل به وسیله سرنگ به محلول کلراید کلسیم به صورت قطره قطره اضافه شد تا گویچه های آلزینات کلسیم حاوی سلول های ریز جلبک تشکیل شود. اندازه نهایی گویچه ها ۵ میلی متر بود. سپس تعداد ۳ عدد از این گویچه های آلزیناتی به ازای هر میلی لیتر از پساب، درون ارلن ریخته شد و ۵۰ میلی لیتر از پساب به آن اضافه گردید (۲۳).

یافته ها

با ترسیم منحنی رشد سلول های ریز جلبک زمان شروع رشد هر ریز جلبک و میزان رشد آن در طول مدت زمان مشخص (۱۴ روز) محاسبه گردید تا بتوان بهترین زمان را برای انجام آزمون انتخاب نمود. انتظار می رفت زمانی که ریز جلبک در فاز رشد لگاریتمی باشد، بهترین زمان برای انجام آزمایش و بررسی میزان حذف نیتروژن و فسفر توسط ریز جلبک باشد. با توجه به منحنی های رشد در نمودارهای ۳ و ۴ به طور متوسط شروع زمان رشد ریز جلبک های مورد آزمایش روز سوم در نظر گرفته شد.

الف) بازده حذف نیتروژن-آمونومی توسط گونه های مختلف

۱۰ دقیقه با سرعت ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. رومانند به آرامی جدا شد و به رسوب جلبک ۳ میلی لیتر استون ۸۰ درصد اضافه گردید. مخلوط حاصل ورتکس شد و سپس ۱۰ دقیقه مجدداً سانتریفیوژ گردید. رومانند جدا شد و جذب نور در طول موج های 668.2 و 646.8 نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه گیری گردید. سپس با فرمول ارائه شده میزان کلروفیل a بر حسب میلی گرم بر میلی لیتر سوسپانسیون محاسبه شد (۲۲).

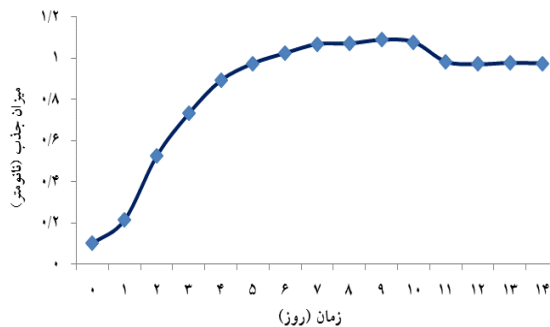
$$\text{Chl.a (mg/ml)} = 12.25 \times A_{668.2} - 2.79 \times A_{646.8}$$

ه) بررسی عملکرد ریز جلبک: نمونه های پساب از بخش خروجی تصفیه خانه دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهیه شد. نمونه ها پس از عبور از کاغذ صافی، ها در ارلن های درپوشیده ریخته شدند و در دستگاه اتوکلاو به مدت ۱۵ دقیقه در دمای 121°C استریل شدند. به هر ارلن حاوی ریزجلبک، مقدار ۱۰۰ میلی لیتر پساب استریل اضافه گردید. در اتاق کشت دما ثابت و 25°C بود. میزان شدت نور به صورت مداوم و توسط لامپ های مهتابی سفید رنگ که در بالای شیکر نصب شده بود 4150 lx (ca) در نظر گرفته شد. میزان شدت نور با استفاده از لوکس متر اندازه گیری گردید. همچنین میزان سرعت شیکر 130 rpm و به صورت مداوم بود. سه ارلن حاوی پساب به عنوان شاهد و برای هر نمونه ریز جلبک، سه ارلن حاوی پساب و ریز جلبک مورد آزمایش قرار گرفتند. برای تمامی گونه ها سه تکرار در نظر گرفته شد. در دوره ۱۴ روزه آزمون، در روزهای اول، سوم، ششم، هشتم، دهم، دوازدهم و چهاردهم ۳ میلی لیتر نمونه از هر ارلن برداشت شد و در آزمایشگاه اندازه گیری نیتروژن، فسفر و شمارش سلولی انجام شد. میزان کلروفیل a نیز در روز اول و آخر اندازه گیری شد (۳).

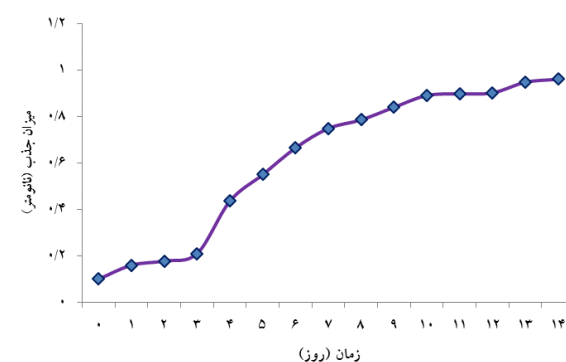
و) اندازه گیری میزان سلول و رسم منحنی رشد: به منظور اندازه گیری میزان سلول کاربردی اولیه برای هر تیمار، از دستگاه اسپکتروفتومتر و طول موج ۶۰۰ نانومتر استفاده شد. از محیط کشت BG-11 به عنوان شاهد در کالیبره کردن دستگاه استفاده شد. نمونه های ریزجلبک که در محیط کشت قرار داشتند در

آمونومیومی ثابت بود. به منظور بررسی دقیق تر نحوه تغییرات در مقادیر نیتروژن-آمونومیومی و عملکرد ریزجلبک ها، بازده حذف در دوره های ۴ روزه در جدول ۲ نشان داده شده است. بدین صورت که در قسمت الف مقدار عددی در روز اول از هر کدام از روز ها کم شده و در قسمت ب نیز به عنوان مثال مقدار عددی روز اول از روز چهارم و روز چهارم از روز هفتم و ... کم شده است. اعداد مثبت در جدول بیانگر بازده حذف و اعداد منفی بیانگر بازده افزایش در نیتروژن آمونیومی می باشد. بازده حذف در تمامی تیمارها مثبت شد که نشان دهنده کاهش در نیتروژن آمونیومی محیط می باشد. در تیمار ریز جلبک /اوسیسیتیس تا روز چهارم حذف نیتروژن آمونیومی ۲۰/۴۳ درصد و تا روز هفتم ۳۲/۶ درصد بود. همچنین حذف نیتروژن آمونیومی تا روز دهم ۳۹/۱ درصد است. بازده کلی حذف نیتروژن آمونیومی در تیمار به وسیله /اوسیسیتیس ۶۵/۲ درصد گزارش شد. در این تیمار میزان حذف نیتروژن آمونیومی بین روزهای اول تا چهارم، چهارم تا هفتم، هفتم تا دهم و دهم تا چهاردهم به ترتیب ۲۰/۴۳، ۵/۶، ۱۳ و ۲۴/۷ درصد بود. در تیمار ریز جلبک کلرلا تا روز چهارم حذف نیتروژن آمونیومی ۷۴/۳ درصد و تا روز هفتم ۱۰۰ درصد بود.

ب) بازده حذف ارتوفسفات توسط گونه های مختلف ریز جلبک در پساب شهری. مقادیر اندازه گیری شده ارتوفسفات نمونه ها در دوره ۱۴ روزه آزمایش در نمودار ۶ نشان داده شده است. متوسط مقدار اولیه ارتوفسفات در تیمارها ۸۲/۳۵ میلی گرم در لیتر بود. این میزان در مدت ۱۴ روز در تمام تیمارهای



نمودار ۳: منحنی رشد ریز جلبک /اوسیسیتیس در مدت زمان ۱۴ روزه.

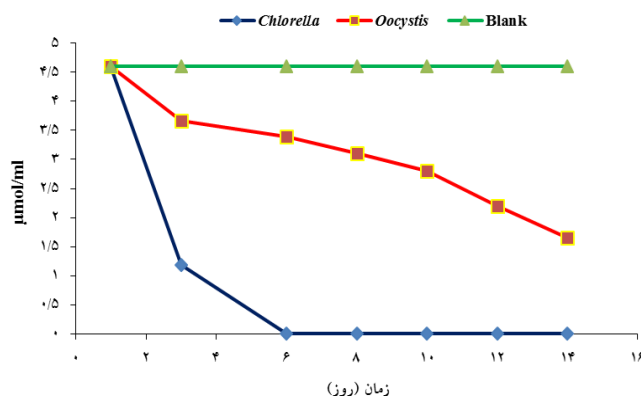
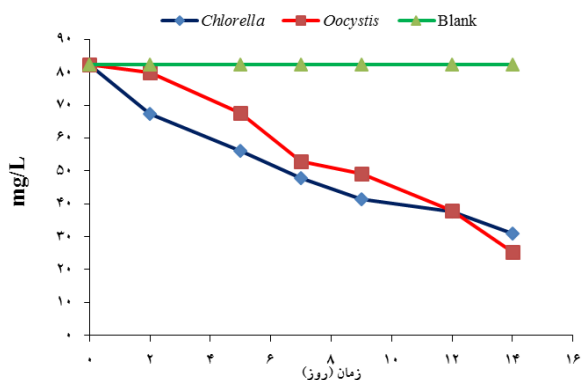


نمودار ۴: منحنی رشد ریز جلبک کلرلا در مدت زمان ۱۴ روزه.

ریز جلبک در پساب شهری: مقادیر اندازه گیری شده نیتروژن-آمونومیومی نمونه ها در مدت زمان ۱۴ روز و نحوه تغییرات در نمودار ۵ نشان داده شده است. متوسط مقدار اولیه نیتروژن-آمونومیومی در تیمارها، ۴/۶ میکرو مول در میلی لیتر بود. این میزان در مدت ۱۴ روز در تمامی تیمارهای حاوی ریزجلبک کاهش یافت و در تیمار ریزجلبک کلرلا به کمترین مقدار یعنی صفر در روز پنجم رسید. اما در تیمار شاهد (Blank) نیتروژن-

جدول ۲: بازده حذف نیتروژن - آمونیومی در تیمارهای مختلف در دوره های ۴ روزه در پساب تصفیه خانه فاضلاب.

تیمار (الف)	روز			
	۴-۱	۷-۱	۱۰-۱	۱۴-۱
شاهد	۰	۰	۰	۰
<i>Oocystis sp.</i>	(/۲۰/۴۳) ۰/۹۴	(/۳۲/۶) ۱/۵	(/۳۹/۱) ۲/۴	(/۶۵/۲) ۲/۹۴
<i>Chlorella sp.</i>	(/۱۰۰) ۴/۶	۴/۶	۴/۶	۴/۶
تیمار (ب)	۴-۱	۷-۴	۱۰-۷	۱۴-۱۰
شاهد	۰	۰	۰	۰
<i>Oocystis sp.</i>	(/۲۰/۴۳) ۰/۹۴	(/۵/۶) ۰/۵۶	(/۱۳) ۰/۳	(/۲۴/۷) ۱/۲
<i>Chlorella sp.</i>	(/۷۴/۳) ۶/۴	(/۱۰۰) ۰	۰	۰



نمودار ۶: تغییرات ارتوفسفات در تیمارهای مختلف در مدت ۱۴ روز در پساب شهری.

نمودار ۵: تغییرات نیتروژن-آمونومیومی در تیمارهای مختلف در مدت ۱۴ روز در پساب.

روز دهم ۴۰/۲۵ درصد است. بازده کلی حذف نیتروژن آمونیومی در تیمار به وسیله اووسیستیس ۶۹ درصد به دست آمد. در این تیمار میزان حذف ارتوفسفات بین روزهای اول تا چهارم، چهارم تا هفتم، هفتم تا دهم و دهم تا چهاردهم به ترتیب ۳، ۱۵/۴۲، ۲۲/۲ و ۲۸/۸ بود.

میزان کلروفیل *a* در تیمارهای مختلف ریزجلبک: مقادیر اندازه‌گیری شده کلروفیل *a* در روز اول برای ریزجلبک‌های کلرلا و اووسیستیس به ترتیب ۰/۴۸۵ و ۰/۵۶ بود. این میزان در روز چهاردهم آزمون برای تیمارهای مختلف ریزجلبک به ترتیب به ۰/۷۶۹ و ۰/۶۷۷ رسید.

بحث

به منظور بهبود کیفیت پساب خانگی و به حداقل رساندن آلاینده‌ها از جمله ترکیبات نیتروژن و فسفر، باید سیستم‌های

حالی ریزجلبک کاهش یافت. به طوری که در تیمارهای اووسیستیس به کمترین مقدار یعنی ۲۵/۴۶ میلی‌گرم در لیتر رسید. به منظور بررسی دقیق‌تر نحوه تغییرات در مقادیر ارتوفسفات و عملکرد ریزجلبک‌ها، بازده حذف در دوره‌های ۴ روزه در جدول ۳ ارائه شده است. در تیمار ریزجلبک کلرلا تا روز چهارم حذف ارتوفسفات ۱۸/۱ درصد و تا روز هفتم ۳۱/۷۷ درصد بود. همچنین حذف ارتوفسفات تا روز دهم ۴۹/۷۹ درصد است. بازده کلی حذف نیتروژن ارتوفسفات در تیمار به وسیله کلرلا ۶۲/۲۷ درصد بود. در این تیمار میزان حذف ارتوفسفات بین روزهای اول تا چهارم، چهارم تا هفتم، هفتم تا دهم و دهم تا چهاردهم به ترتیب ۱۸/۱، ۱۶/۶۷، ۲۶/۴۱ و ۲۴/۸۴ درصد گزارش شد. در تیمار ریزجلبک اووسیستیس تا روز چهارم حذف ارتوفسفات ۳ درصد و تا روز هفتم ۱۷/۹۸ درصد بود. همچنین حذف نیتروژن آمونیومی تا

جدول ۳: بازده حذف ارتوفسفات (mg/l) در تیمارهای مختلف در دوره‌های ۴ روزه در پساب تصفیه خانه فاضلاب.

تیمار (الف)	روز			
	۴	۷	۱۰	۱۴
شاهد	۰	۰	۰	۰
<i>Oocystis</i> sp.	۱۴/۸۱	۲۹/۵۳	۳۳/۱۵	(/۶۹) ۵۶/۸۹
<i>Chlorella</i> sp.	۲۶/۱۷	(/۳۱/۷۷) ۳۴/۶۴	(/۴۹/۷۹) ۴۱/۰۱	(/۱۸/۱) ۵۱/۲۸
تیمار (ب)	۴-۱	۷-۴	۱۰-۷	۱۴-۱۰
شاهد	۰	۰	۰	۰
<i>Oocystis</i> sp.	(/۳) ۱۴/۸۱	(/۱۵/۴۲) ۱۴/۷۲	(/۲۲/۲) ۳/۶۲	(/۲۸/۸) ۱۲/۴۴
<i>Chlorella</i> sp.	(/۱۸/۱) ۲۶/۱۷	(/۱۶/۶۷) ۸/۴۷	(/۲۶/۴۱) ۶/۳۷	(/۲۴/۸۴) ۱۰/۲۷

طور که در نمودارهای ۵ و ۶ دیده می‌شود از لحظه تعلقیح، حذف مواد آغاز می‌گردد. افزایش راندمان تصفیه با استفاده از سلول‌های تثبیت شده در بررسی‌های دیگر نیز مورد تایید قرار گرفته است (۱۱، ۱۲ و ۱۵). با این وجود برخی از محققان نیز یکی از معایب استفاده از حامل‌های تثبیت را محدودیت در نفوذ مواد غذایی دانسته اند (۱۵).

در این تحقیق از گویچه‌های ۵ میلی‌متری استفاده شد. در مطالعات دیگر نیز اندازه حدود ۴ تا ۵ میلی‌متر گویچه‌ها بیشترین راندمان در حذف نیتروژن و فسفر را داشته است. مشاهده شده که افزایش سایز گویچه‌ها و به دنبال آن مقدار سلول داخل گویچه‌ها، موجب کاهش راندمان حذف و نشت سلول‌ها به بیرون می‌شود. افزایش سایز گویچه‌ها با کاهش اندازه حفره‌ها همراه است. این امر باعث می‌شود که میزان کمتری از نیتروژن و فسفر به درون گویچه نفوذ کند. زیرا فرآیند حذف نیتروژن و فسفر ابتدا با جذب مواد در سطح گویچه‌ها و سپس نفوذ به درون گویچه‌ها و جذب در سطح سلول‌ها انجام می‌شود (۱۵).

مقایسه نتایج سلول‌های تثبیت شده در مقایسه با بررسی سلول‌های آزاد که توسط شاوکی (Shawky) و همکاران در سال ۲۰۱۵ انجام شده است، نشان می‌دهد که میزان حذف فسفر و نیتروژن در حالت تثبیت شده به شدت افزایش می‌یابد. دلیل این امر می‌تواند سطح تماس بیشتر با آلاینده‌ها باشد (۴). همچنین دلیل دیگر آن نیز می‌تواند توزیع یکنواخت سلول‌های ریزجلبک در حالت تثبیت شده باشد. به طوری که به دلیل سطح تماس یکنواخت، غلظت اولیه مواد مغذی تاثیر کمتری بر کاهش راندمان تصفیه دارد.

همچنین عدم تثبیت سلول‌ها موجب شسته شدن و حذف آنها در سیستم‌های پیوسته می‌گردد. محققان در سال‌های اخیر برای جلوگیری از این پدیده از تکنیک تثبیت با آلژینات استفاده می‌نمایند (۱۲-۱۶). در این پژوهش، عملکرد دو گونه ریزجلبک کلرلا و اووسیتیس به صورت تثبیت شده در ماتریکس آلژینات کلسیم به منظور حذف نیتروژن-آمونومی و ارتوفسفات از پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه

متداول تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به نحوی تغییر داده شوند که پساب کیفیتی مطابق و یا نزدیک خروجی به آب آشامیدنی سالم را داشته باشد. رسیدن به این هدف، مستلزم افزایش هزینه‌های سالانه تصفیه‌خانه در پی افزایش مصرف انرژی برای هوادهی در لاگون‌ها، افزایش مصرف مواد شیمیایی برای ترسیب و حذف برخی از آلاینده‌ها و افزایش میزان کلر برای ضدعفونی کردن پساب خروجی و غیره می‌باشد (۲۴-۲۷).

افزایش مصرف هر یک از عوامل یاد شده نه تنها هزینه‌های سنگینی به همراه دارد، بلکه می‌تواند بر سلامت انسان و شرایط محیط زیست اثرات منفی به جای گذارد. بنابراین سیستم‌های نوین تصفیه فاضلاب باید به نحوی طراحی و اجرا شوند که علاوه بر تأمین کیفیت مطلوب پساب خروجی برای کاربرد در زمینه‌های مختلف، هزینه‌های بهره‌برداری را کاهش داده و اثرات سوء برای انسان و محیط زیست نداشته باشد (۱۵ و ۲۸). یکی از این سیستم‌ها تصفیه با استفاده از سلول‌های آزاد یا تثبیت شده ریزجلبک‌ها است که به منظور تصفیه ثالثیه پساب بسیار مورد بررسی قرار گرفته است (۱، ۳-۱۹ و ۲۳-۳۴).

در فرآیند تیمار پساب‌ها با ریزجلبک‌ها مشکل اصلی شناسایی شده رسوب دادن و جمع‌آوری ریزجلبک‌ها پس از تصفیه پساب است. تثبیت ریزجلبک یکی از راه‌حل‌های مشکل رسوب ریزجلبک‌ها است. در این تحقیق نیز از روش تثبیت در آلژینات بهره گرفته شد. کاراگینان، کیتوزان و آلژینات پلیمرهای معمولی هستند که برای تثبیت ریزجلبک استفاده می‌شوند. گویچه‌های حاوی ریزجلبک به راحتی پس از استفاده قابلیت رسوب دارند (۲۹).

تاثیر سلول‌های تثبیت شده سینی دسمس / اوبلیکوس و کلرلا و لگاریس توسط روز-مارین (Ruiz-Marin) و همکاران در سال ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفته است. در هر دو گونه رشد فوری سلول‌ها پس از افزودن به پساب مصنوعی و پساب شهری مشاهده گردید. در واقع فاز سکون مشاهده شده در سلول‌های آزاد، در سلول‌های تثبیت شده دیده نمی‌شود (۳). این نتایج با یافته‌های این تحقیق هم‌خوانی دارد. همان

منفی مانند شدت نفوذ نور باشد. این نتایج با تحقیق انجام شده توسط ژانگ (Zhang) و همکاران در سال ۲۰۱۲ که بر روی سلول های تثبیت شده کلرلا انجام شده در یک راستا می باشد (۳۳). در تیمار با جلبک کلرلا پس از گذشت ۳ روز کل نیتروژن آمونیومی محیط حذف شد. این امر نشان دهنده توانایی بالاتر جلبک کلرلا در حذف نیتروژن آمونیومی نسبت به گونه اوسیسیتیس باشد. راندمان ۱۰۰ درصدی حذف نیتروژن آمونیومی در این تحقیق قابل مقایسه با نتایج شاکر (Shaker) و همکاران در سال ۲۰۱۵ می باشد. به طوری که حداکثر میزان حذف در آن تحقیق ۷۲٪ در مدت ۱۰ اعلام گردید (۱۲). اما نتایج جایسودا (Jaysudha) و همکاران در سال ۲۰۱۳ و عبدلحمید (Abdel-Hamed) و همکاران در سال ۲۰۰۷ با راندمان حذف ۹۸/۵ درصد به یافته های این پژوهش بسیار نزدیک است (۱۱ و ۱۵).

بیشترین میزان حذف نیتروژن آمونیومی از محیط در مورد ریز جلبک اوسیسیتیس در فاصله بین روزهای دهم تا چهاردهم از تیمار بود. دلیل آن این است که در این زمان سلول ها به حداکثر رشد خود رسیده اند.

این نتایج قابل مقایسه با نتایج عبدالرئوف (Abdel-Rauof) و همکاران در سال ۲۰۱۲، کاپاراپو (Kaparapu) و همکاران در سال ۲۰۱۶، لوپز (Lopes) و همکاران در سال ۲۰۰۸ و ژانگ (Zhang) و همکاران در سال ۲۰۱۲ است. این محققان نیز اثبات نمودند که بیشترین میزان حذف نیتروژن آمونیومی در زمان حداکثر رشد سلولی به دست می آید (۳۳-۳۰). همچنین حذف ۸۶ درصد و ۸۱ درصدی فسفر توسط کلرلا و سسینی دسمس و همچنین ۱۰۰٪ و ۹۸/۴٪ نیتروژن توسط این دو گونه مشاهده شده است (۳۱).

ریزجلبک اوسیسیتیس در مقایسه با گونه کلرلا، بالاترین بازده حذف مواد مغذی $(P - PO_4^{3-})$ و ریز جلبک کلرلا بالاترین بازده حذف مواد مغذی $(NO_3^- - NH_4^+)$ را دارد. بنابراین می توان فتوبیوراکتورها را به نحوی طراحی نمود که از کلرلا و اوسیسیتیس در حذف نیتروژن-نیتراتی و ارتوفسفات استفاده نمود و میزان ترکیبات نیتروژنی و فسفر را در پساب خروجی

صنعتی مالک اشتر بررسی شد. نتایج نشان داد که در مورد حذف ارتوفسفات بازده کلی حذف ریز جلبک اوسیسیتیس ۶۹ درصد است. این میزان در مقایسه با ریز جلبک کلرلا در یک دوره ۱۴ روزه که بازده کلی حذف ۶۲/۲۷ درصد را داشت، بالاتر بود. بررسی محققان دیگر نشان از راندمان های بالاتر حذف ارتوفسفات در مدت زمان کمتر دارد. شاکر (Shaker) و همکاران در سال ۲۰۱۵ راندمان ۹۹ درصدی را با استفاده از ریزجلبک تثبیت شده کلرلا در مدت ۱۰ روز به دست آوردند (۱۲).

همچنین جایسودا (Jaysudha) و همکاران در سال ۲۰۱۳ به راندمان ۹۹/۳۹ درصد حذف فسفات در مدت ۸ روز دست یافتند (۱۱). این نتیجه نشان می دهد که ریز جلبک اوسیسیتیس توانایی مناسبی در حذف ارتوفسفات از پساب نسبت به کلرلا دارد. همچنین بیشترین بازده حذف در مورد اوسیسیتیس بین روزهای دهم و چهاردهم اتفاق افتاد که برابر با ۲۸/۸ بود.

در مورد کلرلا بیشترین بازده حذف بین روزهای هفتم تا دهم اتفاق افتاد که مقدار ۲۴/۸۴ گزارش شد. افزایش میزان ارتوفسفات در محیط از روز دهم به بعد مربوط به آزاد شدن آن از صفحات آلژینات می باشد. آلژینات پلی ساکارییدی است که از جلبک های قهوه ای استخراج شده و در ساختار آن دو ترکیب آلفا-گلورونیک اسید و بتا-دی-مانورونیک اسید وجود دارد. در ساختار هر دو ترکیب یون سدیم وجود دارد. حضور آلژینات در محیط حاوی فسفات کلسیم، موجب می گردد که یون کلسیم در جای یون سدیم در ساختار آلژینات قرار گرفته و بر مقاومت صفحات تثبیت بیفزاید و با انحلال رسوبات، ارتوفسفات را افزایش دهد (۳۴).

همان طور که در نتایج آورده شده است از روز دهم به بعد سرعت حذف مواد کاهش یافت. دلیل آن می تواند وجود چندین فاکتور منفی مانند کمبود نور و یا نفوذ کمتر مواد غذایی باشد. در دوره زمانی روز پنجم تا دهم بیشترین شیب حذف مواد وجود دارد. علت این امر می تواند تعادل بین عوامل مثبت مانند دوره رشد لگاریتمی سلول و تکثیر داخل ژل و عوامل

مرحله سوم حذف نیتروژن و فسفر، حذف با استفاده از گونه کلرلا تثبیت شده که در کمتر از سه روز حذف ۱۰۰ درصدی نیتروژن را داشت. این زمان کوتاهتر از روش استخر جلبک با نرخ بالا (HRAP) است که ۶ روز زمان نیاز دارد. اما در مقایسه با روش های شیمیایی که ۱۲ ساعت زمان نیاز دارند، طولانی تر بود (۲۴). باید توجه داشت که عوامل مختلفی بر سرعت و راندمان تصفیه توسط ریزجلبک تاثیر گذارند. از این میان می توان به شدت نور، دوره روشنایی، دما، pH و غلظت اولیه مواد مغذی، اکسیژن محلول و ... اشاره نمود. همچنین مقدار اولیه ریزجلبک، نحوه تثبیت، درصد آلژینات در ژل و حجم ژل مصرفی در عملکرد ریزجلبک تأثیرگذار می باشد. بنابراین یافتن شرایط بهینه برای افزایش بازده حذف آلاینده ها و نیز تولید بیشتر توده زیستی مستلزم انجام تحقیقات بیشتر می باشد. بنابراین پیشنهاد می گردد که در پژوهش های آینده علاوه بر بررسی موارد یاد شده، تحقیقاتی در زمینه حذف فلزات سنگین، کاهش BOD و COD، حذف و کاهش عوامل بیماری زا و ... صورت گیرد تا با دست یابی به نتایج کامل تر و تعیین شرایط بهینه، احداث سیستم های نوین تصفیه پساب شهری و صنعتی در آینده ای نزدیک امکان پذیر گردد.

نتیجه گیری

مطالعه حاضر ثابت می کند که استفاده از سلول های تثبیت شده ریزجلبک برای تصفیه پساب یک روش قابل اطمینان برای تصفیه ثالثیه پساب ها است. با این حال تحقیقات بیشتری قبل از اجراء آن در فاز صنعتی لازم و ضروری است. همچنین گونه کلرلا کارایی بالایی در حذف نیتروژن آمونیومی دارد و گونه /ووسیتیس کارایی بالایی در حذف ارتوفسفات دارد. بنابراین در صورت استفاده همزمان (کشت مخلوط) از هر دو گونه می توان با راندمان بالای ۹۰ درصد به حذف نیتروژن آمونیومی و ارتوفسفات رسید. همچنین میکروجلبک های کشت شده در این فرایند امکان تولید بیودیزل را دارند. انجام همزمان این دو فرآیند موجب کاهش میزان انرژی و هزینه تولید بیودیزل می گردد.

کاهش داد. این نتایج با بررسی های سریرام (Sriram) و همکاران در سال ۲۰۱۲ در یک راستا هستند (۲۹). در مطالعه رویزمارین (Ruiz-Marin) و همکاران در سال ۲۰۱۰ نیز فعالیت کلرلا بیشتر از سینی دسمس بود که نشان دهنده آن است که گونه کلرلا ولگاریس توانایی بالاتری نسبت به دیگر ریزجلبک ها در حذف نیتروژن و فسفر از پساب دارد (۳). در این تحقیق در پایان دوره رشد و تصفیه میزان کلروفیل سلول اندازه گیری شد. نتایج نشان از افزایش میزان کلروفیل نسبت به شروع رشد داشت. آنالیز کلروفیل A در پایان تیمار پساب نشان دهنده آن است که سلول های ریز جلبک همچنان در پایان ۱۴ روز در درون ژل زنده هستند و میزان کلروفیل افزایش داشته است. دلایل این امر می تواند: ۱- رشد سلولی و تکثیر ۲- کاهش نور تابشی در اثر تثبیت و خود سایه اندازی و اثر ژل که باعث افزایش تولید پیگمان برای جذب بیشتر نور می شود و ۳- عمل تثبیت باعث افزایش میزان آنابولیس سلول و فعالیت فیزیولوژیکی شود که در نهایت موجب افزایش راندمان حذف مواد غیر آلی می گردد. (۳۳).

در تحقیق دیگر که توسط کومار (Kumar) و همکاران در سال ۲۰۱۲ صورت گرفت میزان کلروفیل در سلول های تثبیت شده و آزاد با هم مقایسه شد. یافته ها نشان داد که میزان کلروفیل از روز نهم در سلول های تثبیت شده افزایش می یابد. اما در سلول های آزاد ثابت است و در نهایت پس از گذشت ۱۵ روز به ۴/۴ میکروگرم می رسد (۲۸). در انتهای دوره رشد بر روی ژل، کلنی های کوچکی از سلول های ریزجلبک و یک لایه رنگ سبز ضخیم تشکیل شده بود. این یافته معمولاً در تحقیقات دیگر نیز مشاهده شده که سلول های کلرلا پس از خروج از ژل، کلنی های کوچکی از مجموع ۸ تا ۳۰ سلول تشکیل می دهند (۲۸).

با توجه به استانداردهای آب و پساب میزان فسفر و نیتروژن کل پساب شهری جهت تخلیه باید کمتر از ۲ ppm برای فسفر و ۱۵ ppm برای نیتروژن باشد. در این تحقیق با استفاده از ریزجلبک کلرلا ولگاریس به هر دو استاندارد مورد نظر رسیده شد. در مقایسه نتایج این تحقیق با سایر روش های تصفیه

تشکر و قدردانی

مالک اشتر به دلیل همکاری صمیمانه در اجرای این پژوهش

کمال امتنان را دارند.

نویسندگان این مقاله از همکاران ارجمند در دانشگاه صنعتی

References

1. Jena J, Ray S, Pandey S, Das T. Effect of COD/N ratio on simultaneous removal of nutrients and COD from synthetic high strength waste water under anoxic conditions. J Sci Ind Res. 2013; 72: 127-131.
2. Morais MG, Silva CK, Henrard AA, Costa JAV. Carbon dioxide mitigation by microalga in a vertical tubular reactor with recycling of the culture medium. Afr J Mic Res. 2015; 9(33): 1935-1940.
3. Ruiz-Marin A, Mendoza-Espinosa LG, Stephenson T. Growth and nutrient removal in free and immobilized green algae in batch and semi-continuous cultures treating real wastewater. Bioresource Technol. 2010; 101: 58-64.
4. Shawky HA, Abdel Gwad AM, Bayomi AM, Abdel Mottale MSA. Removal of ammonia and phosphate from water resources using free and immobilized microalgae. Int J Environ. 2015; 04 (03): 193-203.
5. Ebrahimi S, Kynejad MA. Environmental Engineering. 2003. Sahand University of Technology Press, Tabriz. [In Persian]
6. Lopes LDF, Taidi B, Pareau D. Nitrogen and phosphate removal from wastewater with a mixed microalgae and bacteria culture. Biotech Rep. 2016; 11: 18-26.
7. Abdel-Hameed MS, Abdel Hameed, Ebrahim OH. Biotechnological potential uses of immobilized algae. Int J Agric Bio. 2007; 9(1): 183-192.
8. Hernandez JP, de-Bashan LE, Bashan Y. Starvation enhances phosphorus removal from wastewater by the microalgae *Chlorella* spp. Coimmobilized with *Azospirillum brasilense*. Enzyme Micorbial Tech. 2006; 38: 190-198.
9. Selimoglu SM, Elibol M. Alginate as an immobilization material for MAb production via encapsulated hybridoma cells. Cr Rev Biotech. 2010; 30(2): 145-159.
10. Munoz R, Alvarez T, Munoz A, Terrazas E, Guieysse B, Mattiasson B. Sequential removal of heavy metals ions and organic pollutants using an algal-bacterial consortium. Chemosphere. 2006; 63: 903-911.
11. Jaysudha S, Sampathkumar P. Nutrient removal from tannery effluent by free and immobilized cells of marine microalgae *Chlorella salina*. Int J Environ Biol. 2014; 4(1): 21-26.
12. Shaker S, Nemati A, Montazeri-Najafabady N, Mobasher MA, Morowvat MH, Ghasemi Y. Treating urban wastewater: Nutrient removal by using immobilized green algae in batch cultures. Int J Phytoreme. 2015; 17(2): 1177-1182.
13. Trejo A, de-Bashana LE, Hartmann A, Hernandez JP, Rothballer M, Schmid M, Bashan Y. Recycling waste debris of immobilized microalgae and plant growth-promoting bacteria from

- wastewater treatment as a resource to improve fertility of eroded desert soil. *Environ Exp Bot.* 2012; 75: 65–73.
14. Vanessa E, Suarez B, Susan S, Sanchez V, Yeimy Y, PeraltaRuiz , Angel D, Delgado O, Andrés F, Solanod B, ArdilaAlvarez AM. Passive microalgae immobilization for wastewater treatment: study of residual glycerol consumption. *Chem Eng Trans.* 2016; 47: 463-468.
 15. Abdel Hameed MS. Effect of algal density in bead, bead size and bead concentrations on wastewater nutrient removal. *Afr J Biotech.* 2007; 6(10): 1185-1191.
 16. Mujtaba G, Kisay L. Treatment of real wastewater using co-culture of immobilized *Chlorella vulgaris* and suspended activated sludge. *Water Res.* 2017; 120: 174-184.
 17. Mujtaba G, Rizwana M, Kisay L. Removal of nutrients and COD from wastewater using symbiotic co-culture of bacterium *Pseudomonas putida* and immobilized microalga *Chlorella vulgaris*. *J Ind Eng Chem.* 2017; 49: 145-151.
 18. Sara P, Bermudez C, Gibran S, Nava A, Chandra R, Perez JSG, Angulo JRC, Markou G, Muylaert K, Rittman B. Nutrients utilization and contaminants removal. A review of two approaches of algae and cyanobacteria in wastewater. *Algal Res.* 2017; 24: 438-449.
 19. Amavizca E, Bashan Y, Ryu C, Farag MA, Bebout BM, Bashan LE. Enhanced performance of the microalga *Chlorella sorokiniana* remotely induced by the plant growth-promoting bacteria *Azospirillum brasilense* and *Bacillus pumilus*. *Sci Rep.* 2017; 7: 1-11.
 20. Morowvat MH. PCR amplification of *18S rRNA*, Single cell protein production and fatty acid evaluation of some naturally isolated microalgae. Pharm. D. thesis, 2008. 91.
 21. De Borba BM, Jack RF, Rohrer JS, Wirt J, Wang D. Simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus in environmental waters using alkaline persulfate digestion and ion chromatography. *J Chromatogr A.* 2014; 21: 131-137.
 22. Kubalová I, Ikeda Y. Chlorophyll measurement as a quantitative method for the assessment of cytokinin-Induced green foci formation in tissue culture. *J Plant Growth Regul.* 2017; 36(2): 516-521.
 23. Kanherkar SV, Late AM, Nalawade PM, Bhosaleanda BJ, Dhapate SA. Study of the efficiency of immobilized algal technology for wastewater treatment. *J Environ Sci Eng.* 2012; 54(1): 121-127.
 24. Shi J, Podola B, Melkonian M. Removal of nitrogen and phosphorus from wastewater using microalgae immobilized on twin layers: an experimental study. *J Appl Phycol* 2007; 19(5): 417-423.
 25. Moreira S M, Moriera-Santos M, Guilhermino L, Ribeiro R. Immobilization of the marine microalga *Phaeodactylum tricorutum* in alginate for in situ experiments: Bead stability and suitability. *Enzyme Microb Tech.* 2006; 38: 135-141.
 26. Moreno-Garrido I, Campana O, Lubia'n LM, Blasco J. Calcium alginate immobilized marine microalgae: Experiments on growth and short-term heavy metal accumulation. *Mar Pollut Bull.* 2005; 51: 823-929.

27. Moreno-Garrido I. Microalgae immobilization: Current techniques and uses. *Bioresource Tech.* 2008; 99(10): 3949-3964.
28. Kumar S, Saramma AV. Nitrate and Phosphate uptake by immobilized cells of *Gloeocapsa gelatinosa*, *J Mar Biol Ass India.* 2012; 54(1): 119-122.
29. Sriram S, Seenivasan R. Microalgae cultivation in wastewater for nutrient removal. *J Algal Biomass Utln.* 2012; 3(2): 9-13.
30. Abdel-Raouf N, Al-Homaidan AA, Ibraheem IBM. Microalgae and wastewater treatment. *Saudi J Biol Sci.* 2012; 19(3): 257-275.
31. Kaparapu J, Rao Gedda MN. Applications of immobilized algae. *J Algal Biomass Utln.* 2016; 7(2): 122-128.
32. Lopes EJ, Gimenes CH, Lacerda L MC. Effect of light cycles (night/day) on CO₂ fixation and biomass production by microalgae in photobioreactors. *Chem Eng Process.* 2008; 5572: 46-61.
33. Zhang E, Wang B, Ning Sh, Sun H, Yang B, Jin M, Hou L. Ammonia-nitrogen and orthophosphate removal by immobilized *Chlorella* sp. isolated from municipal wastewater for potential use in tertiary treatment. *Afr J Biotech.* 2012; 11(24): 6529-6534.
34. Zamani N, Noushdi M, Amin, SA, Ghasemi Y, Niyazi A. Nitrogen-nitrate and orthophosphate removal from wastewater using microalgae biotechnology. Second international symposium of environmental engineering, Tehran. 2009. [In Persian]



Removal of ammonium nitrogen and orthophosphate from urban wastewater by stabilized microalgae cells

Daryush Arabian¹, Peyvand Amiri²

¹Assistant Professor, Malek Ashtar University of Technology, University Institute of Applied science, Esfahan, Iran.

²M.Sc., Malek Ashtar University of Technology, University Institute of Applied Science, Esfahan, Iran.

Abstract

Background & Objectives: Provision of useful strategies and targeted plans in order to reduce the consumption of available water resources and also create good quality wastewater is necessary due to current lack of water resources. This study was carried out to investigate the removal of ammonium nitrogen and orthophosphate from urban wastewater using two microalgae strains.

Material & Methods: For this purpose cultured cells of *Chlorella* and *Oocystis* were mixed up with 4% sodium alginate solution. The resulting mixture was added to a solution of calcium chloride in order to form alginate globules containing microalgae cells. To measure cell growth, Neubauer Chamber counting method was used. The amount of nitrogen and orthophosphate removal was measured by light absorption method using Nessler's and Armstrong's reagents, respectively.

Results: *Oocystis* removed about 65.2 % of the ammonium nitrogen following 14 days of treatment. Moreover, the overall efficiency of the orthophosphate removal was 69 %. In case of *Chlorella*, the rate of ammonium nitrogen removal was 74.3 % following 4 days of treatment and reached 100% following 7 days of treatment. The overall orthophosphate removal efficiency was 62.27 %.

Conclusion: The results indicated that *Chlorella* has the convenient ability to remove nitrogen and phosphorus from wastewater in designed conditions.

Keywords: *Chlorella*, *Oocystis*, Waste water, Ammonium nitrogen, Orthophosphate.

Correspondence to: Daryush Arabian

Tel: +98 3136292357

E-mail: darabian@mut.ac.ir

Journal of Microbial World 2018, 10(4): 333-345.