

Original article

Effect of Changes in Biomass Concentration and Light Cycle on *Chlorella Vulgaris* Microalgae in Nitrate and Phosphate Removal from Municipal Wastewater

Elham Movahed¹
Keivan Saeb^{1*}
Farshid Pajoum Shariati²
Aptin Rahnavard¹

- 1- Department of Environment, Faculty of Environment, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran
- 2- Department of Chemical Engineering, Faculty of Petroleum and Chemical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

*Corresponding author: Keivan Saeb, Department of Environment, Faculty of Environment, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran

Email: keivansaeb@gmail.com

Received: 12 May 2021

Accepted: 14 July 2021

ABSTRACT

Introduction and purpose: Municipal wastewater effluents contain high amounts of nitrate and phosphate nutrients. Microalgae have been considered as a bioreactor to absorb nutrients in wastewater due to their environmental friendliness and ability to produce valuable products. In the present study, the effects of light-dark cycles and microalgae biomass concentrations on the nitrate and phosphate removal from municipal wastewater were investigated.

Methods: In this study, *Chlorella vulgaris* (green microalgae) was first cultured in a membrane photobioreactor with a light intensity of 300 μmol photons in three light cycles (12 h light-12 h dark, 16 h light-8 h dark, and 24 h light and 0-h dark). Afterward, the best light cycle in municipal wastewater effluent was investigated at constant concentrations of microalgae (0.5 g L⁻¹, 1 g L⁻¹, and 1.5 g L⁻¹).

Results: According to the results, the highest growth rate (2.3 g L⁻¹) and the highest amount of nitrate and phosphate removal (87% and 86%) were obtained in the 24-0 light cycle. Following that, the concentration of 1 g L⁻¹ of microalgae in the 24-0 light cycle was recorded as the highest amount of nitrate and phosphate removal from municipal wastewater (91% and 87%, respectively).

Conclusion: The results indicated that light-dark cycles and initial concentrations of microalgal inoculation could have an undeniable effect on the growth of microalgae. Moreover, it could have a significant impact on the removal of nitrate and phosphate from municipal wastewater through microalgae cultivation. This removal percentage increased with the optimization of light conditions and biomass concentration.

Keywords: Biomass concentration, Light cycle, Microalgae, Municipal wastewater effluent, Nitrate and phosphate removal

► **Citation:** Movahed E, Saeb K, Pajoum Shariati F, Rahnavard A. Effect of Changes in Biomass Concentration and Light Cycle on *Chlorella Vulgaris* Microalgae in Nitrate and Phosphate Removal from Municipal Wastewater. Journal of Health Research in Community. Summer 2021;7(2): 31-41.

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر تغییرات غلظت زیست توده و سیکل نوری بر روی ریزجلبک کلرلا ولگاریس در حذف نیترا ت و فسفات از پساب فاضلاب شهری

چکیده

الهام موحد^۱
کیوان صائب^{۲*}
فرشید یزوم شریعتی^۱
آپتین راهنورد^۱

مقدمه و هدف: پساب‌های خروجی از فاضلاب شهری حاوی مقادیر زیادی مواد مغذی نیترا ت و فسفات است؛ ریزجلبک‌ها به دلیل سازگاری با محیط‌زیست و توانایی تولید محصولات با ارزش، به‌عنوان یک زیست واکنشگر برای جذب مواد مغذی موجود در پساب مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعه حاضر تأثیر سیکل‌های نوری و غلظت زیست توده ریزجلبک بر حذف نیترا ت و فسفات از پساب فاضلاب شهری بررسی شد.

روش کار: در این تحقیق ابتدا ریزجلبک کلرلا ولگاریس در یک زیست راکتور نوری غشایی با شدت نور ۳۰۰ میکرومول فوتون در سه سیکل نوری (۱۲ ساعت روشنایی - ۱۲ ساعت تاریکی، ۱۶ ساعت روشنایی - ۸ ساعت تاریکی، و در سیکل نهایی ۲۴ ساعت روشنایی) کشت داده شد. سپس بهترین سیکل نوری در پساب فاضلاب شهری در غلظت‌های ثابت ریزجلبک (۱/۵، ۱، ۰/۵) گرم بر لیتر بررسی شد.

یافته‌ها: با توجه به نتایج به‌دست آمده، بیشترین نرخ رشد (۲/۳ گرم بر لیتر) و بیشترین مقدار حذف نیترا ت و فسفات (۸۷ و ۸۶ درصد) در سیکل نوری ۲۴-۰ به دست آمد. در ادامه غلظت ۱ گرم بر لیتر از ریزجلبک در سیکل ۲۴-۰ بیشترین مقدار حذف نیترا ت و فسفات از پساب فاضلاب شهری سنتزی به ترتیب ۹۱ و ۸۷ درصد ثبت شد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد سیکل‌های تاریکی و روشنایی و غلظت‌های اولیه تلقیح ریزجلبکی تأثیر انکارناپذیری بر رشد ریزجلبک‌ها داشته است. همچنین تأثیر قابل توجهی در حذف نیترا ت و فسفات از فاضلاب شهری از طریق کشت ریزجلبک‌ها داشته است که با بهینه کردن شرایط نوری و غلظت زیست توده این درصد حذف افزایش یافته است.

کلمات کلیدی: پساب فاضلاب شهری، حذف نیترا ت و فسفات، ریزجلبک، سیکل نوری، غلظت زیست توده

۱. گروه محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران
۲. گروه مهندسی شیمی، دانشکده نفت و مهندسی شیمی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: کیوان صائب، گروه محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران

Email: keivansaeab@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۳

◀ **استناد:** موحد، الهام؛ صائب، کیوان؛ یزوم شریعتی، فرشید؛ راهنورد، آپتین. بررسی تأثیر تغییرات غلظت زیست توده و سیکل نوری بر روی ریزجلبک کلرلا ولگاریس در حذف نیترا ت و فسفات از پساب فاضلاب شهری. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، تابستان ۱۴۰۰، دوره ۷، شماره ۲، ۴۱-۳۱.

مقدمه

امروزه با افزایش جمعیت و مصرف روزافزون منابع، تولید ضایعات و پساب توسط بشر بیشتر شده است، به‌طوری‌که پساب‌ها

(سندورم کودک آبی) در نوزادان [۶] و سایر اختلالات مانند فشار خون، گواتر، سرطان معده، نقص‌های سیتوژنیک و نقص‌هایی در زادوولد شود [۷]. از همین رو کنترل مقادیر این مواد مغذی در منابع آبی اهمیت فراوانی دارد.

فاضلاب شهری معمولاً حاوی ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر فسفر کل است که از این مقدار، ۱ الی ۵ میلی‌گرم بر لیتر فسفر آلی است. سهم افراد در تولید فسفر رو به افزایش است؛ زیرا فسفر یکی از تشکیل‌دهنده‌های اصلی مواد شوینده است. سهم تولید فسفر توسط افراد در روز، متغیر و در حدود ۰/۶۵ تا ۴/۸ گرم به ازای هر نفر با می‌انگینی در حدود ۲/۱۸ گرم است [۸].

طی سالیان گذشته روش‌های مختلفی برای تبدیل و حذف نیتروژن و فسفر از فاضلاب به کار گرفته شده که از آن جمله می‌توان به روش‌های فیزیکی-شیمیایی و بیولوژیک اشاره کرد. با توجه به اینکه کاربرد سیستم‌های فیزیکی-شیمیایی در مقایسه با روش‌های بیولوژیکی هزینه‌بر و نگهداری از آن‌ها بسیار مشکل است، استفاده از روش‌های بیولوژیکی در فرایند نیتروژن و فسفرزایی ترجیح داده می‌شود [۹،۱۰].

ریزجلبک به‌عنوان مصرف‌کننده آلاینده‌ها به‌عنوان زیست واکنشگر و مکمل روش زیست راکتور غشایی استفاده می‌شود. در واقع به‌طور هم‌زمان از سیستم ریزجلبک به‌منظور تصفیه تکمیلی فاضلاب شهری و فرایند رشد زیست توده استفاده خواهد شد. در ریزجلبک‌ها، مواد مغذی فسفات و نیترات غنی شده است و از آن در مصارفی مانند خوراک دام، مواد دارویی و آرایشی و رنگ‌دانه می‌توان استفاده کرد [۱۱،۱۲].

کاربرد ریزجلبک‌ها برای تصفیه پساب‌ها مزایای متعددی دارند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به عدم ایجاد خطرات زیست‌محیطی با تکیه بر اصول اکوسیستم‌های طبیعی، فناوری ساده، کارایی بالا، عدم ایجاد آلودگی ثانویه در صورت استفاده از توده زیستی تولیدی و توانایی ریزجلبک‌ها در بازچرخش مؤثر مواد مغذی (نیتروژن، فسفر و سایر آلاینده‌ها) موجود در

و چگونگی دفع آن‌ها از چالش‌های بشر در عصر جدید است. از سوی دیگر، مسئله بهینه‌سازی آب و حفظ پاکیزگی منابع آن ضرورتی اساسی است. اهمیت این موضوع به‌خصوص برای کشور ایران که علاوه بر شرایط اقلیمی خشک، جمعیت رو به رشد و صنعتی رو به توسعه دارد، دوچندان است. در چنین شرایطی برای دستیابی به توسعه پایدار، لازم است در کنار تلاش برای حفظ منبع آب موجود و پاکیزه نگه‌داشتن آن‌ها، اقداماتی در زمینه تصفیه پساب صنایع و فاضلاب‌های شهری و کشاورزی صورت گیرد؛ بنابراین، تصفیه پساب‌ها به طریقی که به معضل جدیدی منجر نشود، سال‌هاست که مورد تحقیق و پژوهش قرار دارد [۱،۲].

از میان آلاینده‌های مختلف موجود در پساب‌های صنعتی و کشاورزی، حذف آلاینده‌های نیتروژن و فسفر به دلیل اثرات سوئی که در محیط‌زیست برجای می‌گذارد، اهمیت بسیاری دارد [۳]. برای درک اهمیت موضوع حذف نیتروژن و فسفر، همین مطلب کافی است که در بسیاری از کشورهای پیشرفته جهان، مقررات سختی برای استاندارد نیتروژن خروجی در نظر گرفته شده است. طبق استانداردهای بین‌المللی بهداشت، حد مجاز نیتريت برای آب آشامیدنی ۰/۰۰۴ میلی‌گرم بر لیتر، حد مطلوب آن صفر میلی‌گرم بر لیتر، حد مجاز نیترات برای آب آشامیدنی ۴ میلی‌گرم بر لیتر و حد مطلوب آن صفر میلی‌گرم بر لیتر است. مطابق استانداردهای بین‌المللی بهداشت حد مجاز فسفات برای آب آشامیدنی ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر و حد مطلوب آن ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر است [۴].

ورود یون‌های نیترات و فسفات به محیط‌های آبی باعث غنی شدن و بروز پدیده پرغذایی (یوتروفیکاسیون) محیط آبی می‌شود. این غنی‌شدن موجب تأثیر بر ساختار و عملکرد اکوسیستم و در نتیجه به‌هم‌خوردن پایداری، تنوع زیستی و تعادل اکوسیستم می‌شود [۵]. از سوی دیگر، غلظت بیشتر از حد مجاز نیترات در محیط‌های آبی به‌ویژه آب آشامیدنی اثرات منفی کوتاه و بلندمدتی بر انسان دارد که ممکن است موجب ایجاد بیماری متهمو گلوبینمیا

پساب ثانویه اشاره کرد [۱۳].

راکتورهای غشایی زیستی شامل یک راکتور بیولوژیکی با زیست توده معلق و یک جداکننده جامد با فیلترهای غشایی از نوع میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون است که مختصراً زیست راکتور غشایی نامیده می‌شود. این سیستم زیست راکتورها ممکن است با رشد هوازی یا بی‌هوازی معلق برای تصفیه از زیست توده‌های فعال استفاده شوند. هدف از چنین سیستم‌هایی برای ترکیب یک راکتور و سیستم فیلتراسیون است که در یک مجموعه فرایندی واحد برای تصفیه فاضلاب ایجاد شوند [۱۴]. در این سیستم‌ها فیلتراسیون غشایی جایگزین فرایندهای ته‌نشینی، فیلتر شنی و گندزدایی به کاررفته در روش‌های مرسوم لجن فعال شده است. این سیستم‌ها به‌طور گسترده مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و نتایج گویای مؤثر بودن آن‌ها در حذف آلاینده‌های آلی و معدنی بوده است. سهولت کنترل فعالیت‌های بیولوژیکی، پساب خروجی با کیفیت بالا و عاری از باکتری و پاتوژن‌ها، نیاز به فضای کم و تحمل نرخ بارگذاری بالا از جمله مزایای راکتورهای غشایی هستند [۱۵].

سیستم زیست راکتور غشایی در حقیقت موجب حذف دو مرحله شفاف‌سازی ثانویه و گندزدایی در فرایند قدیمی لجن فعال شده است. با این حال راندمان حذف نیترات در سیستم‌های معمول لجن فعال و همچنین زیست راکتورهای غشایی بین ۲۰ تا ۷۰ درصد گزارش شده است. تصفیه فاضلاب توسط ریزجلبک نیازمند رشد بالای ریزجلبک است و دانستن فاکتورهایی که بر رشد جلبک‌ها تأثیر دارند، الزمی است. نرخ رشد ریزجلبک‌ها وابسته به عوامل بهینه برای کشت ریزجلبک‌ها است که شامل دما، شوری، مواد مغذی، شدت نوردهی، دوره نوری و pH است [۱۶، ۱۷].

حییبی و همکاران یک سیستم استخر روباز از جنس پلکسی گلس شفاف با حجم کلی ۷۲ لیتر و سطح کلی تابش ۰/۳۸۳ متر مربع طراحی کردند و با کشت گونه کلرلا سالینا (Chlorella Salina) در آن به زیست توده تولیدی ۱/۳۵ گرم بر لیتر و حداکثر

نرخ ویژه رشد ۰/۷۴ بر واحد روز، در طول دوره کشت ۱۱ روزه رسیدند. همچنین در طول دوره کشت ریزجلبک حذف ۱۰۰ درصدی نیترات و ۴۵ درصدی فسفات حاصل شد [۱۸]. تیموری و همکاران به مطالعه حذف نیترات و فسفات از خروجی پساب سنتزی لبنی به کمک جلبک کلرلا سالینا پرداختند و نتایج نشان‌دهنده حذف ۱۰ درصدی نیترات و ۹۱ درصدی فسفات بود [۱۹]. Berkessa و همکاران به بررسی تصفیه فاضلاب نساجی با استفاده از زیست راکتور غشایی پویا پرداختند و نشان دادند زیست راکتور غشایی پویا کارایی زیادی در حذف COD، مواد معلق و رنگ از پساب دارد [۲۰]. همچنین leng و همکاران در مطالعه مروری به بررسی امکان استفاده از فناوری و قابلیت ریزجلبک‌ها در حذف آنتی‌بیوتیک‌ها از فاضلاب پرداختند و مکانیسم‌های زیستی این روش تصفیه را بررسی کردند [۲۱].

در این تحقیق از مزیت ریزجلبک به‌عنوان مصرف‌کننده مواد مغذی برای زیست واکشگر درون زیست راکتور غشایی استفاده شد و تأثیر سیکل‌های نوری (۱۲-۱۲، ۸-۱۶، ۰-۲۴) و غلظت ریزجلبک (۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم بر لیتر در حذف نیترات و فسفات از پساب فاضلاب شهری بررسی شد.

روش کار

در این کار تحقیقاتی در یک دوره ۱۵ روزه به بررسی روند حذف نیترات و فسفات توسط میکروجلبک‌ها در سیکل‌های نوری مختلف (۰-۲۴، ۱۲-۱۲، ۱۶-۸) در زیست راکتور نوری غشایی پرداخته و سیکل ۰-۲۴ به‌عنوان حالت بهینه تشخیص داده شد. در مرحله بعدی در یک دوره ۹ روزه سه غلظت مختلف (۰، ۱ و ۱/۵ گرم بر لیتر) تحت سیکل نوری ۰-۲۴ به‌منظور حذف نیترات و فسفات از پساب شهری به روش تجربی و در مقیاس آزمایشگاهی بررسی شد. تمامی آزمایش‌ها سه مرتبه تکرار شده است.

گونه ریز جلبک

در این پژوهش از گونه کلرلا ولگاریس تهیه شده از بانک جلبکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران استفاده شده است.

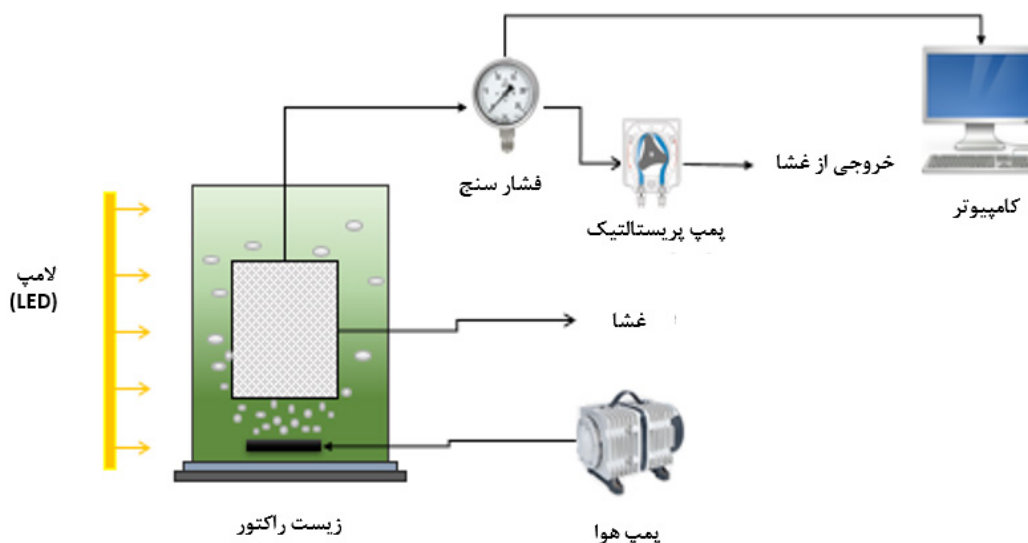
زیست راکتور نوری غشایی

سیستم موجود در شکل ۱ به حجم ۵ لیتر شامل یک محفظه به طول ۱۴، عرض ۶ و ارتفاع ۶۰ سانتی متر است. چرخش مایع با توزیع کننده هوا صورت می گیرد. روی بدنه ۳ شیر با قطر ۱/۲ اینچ برای نمونه گیری ریز جلبک و به منظور بررسی متغیرهای مختلف در محلول تعبیه شده است. این سیستم از پلکسی گلس به ضخامت ۸ میلی متر ساخته شده است. غشا با سایز منافذ ۰/۴ میکرون به طول ۲۵ سانتی متر در عرض ۱۳/۵ سانتی متر و ضخامت ۵ میلی متر در داخل محفظه ای متحرک از جنس پلکسی گلس تیره قرار گرفته است. برای سیستم هوادهی با فاصله ۵ سانتی متر در قسمت پایین غشا استفاده شده است. سیستم هوادهی ثابت و با قطر منافذ ۱ میلی متر است. در این سیستم محدوده فلاکس جریان روی سطح

غشا ۱۶ تا ۲۲ لیتر بر متر مربع بر ساعت است که با توجه به نوع غشا قابل کنترل است. برای کنترل گرفتگی به وسیله فشارسنج، اختلاف فشار دوسر غشا اندازه گیری و با پمپ پرستالتیک مقدار دبی مورد نظر از داخل غشا تنظیم شد. در این سیستم از لامپ ال ای دی استفاده شده است که با شدت ۳۰۰ میکرومول فوتون در فاصله ۲۰ سانتی متری از زیست راکتور قرار گرفت. همچنین سیکل های نوری به وسیله یک تایمر به هدف تنظیم ساعت های روشنایی و تاریکی (۰-۲۴، ۸-۱۶، ۱۲-۱۲) طراحی شد.

محیط کشت

در این پژوهش از محیط کشت سبز-آبی (BG-۱۱) برای گونه کلرلا استفاده شده است. با توجه به جدول ۱ ابتدا محلول ۱ در ۹۶۰ میلی لیتر آب مقطر حل شد. ۱ میلی لیتر از محلول ۴ و ۵ به آن اضافه شد. سپس ۱ میلی لیتر از محلول ۳ در یک ظرف جداگانه با ۲۰ میلی لیتر آب مقطر رقیق شد و در انتها ۲۰ میلی لیتر از محلول ۲ اضافه شد. اجزای موجود در این محیط کشت برای تهیه یک لیتر از محیط کشت است [۲۲].



شکل ۱: شماتیک زیست راکتور نوری غشایی حاوی ریز جلبک

جدول ۱: ترکیبات موجود در محیط کشت

| نوع ماده | وزن به ازای هر ۱۰۰۰ سی سی محیط کشت |
|---|------------------------------------|
| محلول (۱) | |
| NaNO ₃ | ۱/۵ گرم |
| MgSO ₄ .7H ₂ O | ۰/۰۷۵ گرم |
| Na ₂ CO ₃ | ۰/۰۲ گرم |
| آب مقطر | ۹۶۰ میلی لیتر |
| محلول (۲) | |
| K ₂ HPO ₄ .3 H ₂ O | ۰/۰۴ گرم |
| آب مقطر | ۲۰ میلی لیتر |
| محلول (۳) | |
| Citrate ferric ammonium | ۰/۶ گرم |
| Citric acid | ۰/۶ گرم |
| آب مقطر | ۱۰۰ میلی لیتر |
| محلول (۴) | |
| Na ₂ Mg.EDTA (Triplex III) | ۰/۱ گرم |
| آب مقطر | ۱۰۰ میلی لیتر |
| محلول (۵) | |
| CuSO ₄ .5H ₂ O | ۰/۰۸ گرم |
| H ₃ BO ₃ | ۲/۸۶ گرم |
| NaMoO ₄ .2H ₂ O | ۰/۳۹ گرم |
| MnCl ₂ .2H ₂ O | ۱/۸۱ گرم |
| Co (NO ₃) ₂ .6H ₂ O | ۰/۰۴۹ گرم |
| ZnSO ₄ .7H ₂ O | ۰/۲۲۲ گرم |
| آب مقطر | ۱۰۰۰ میلی لیتر |

تهیه پساب سنتزی

فاضلاب سنتزی استفاده شده در این تحقیق با توجه به میزان مواد مغذی استخراج شده از جدول ۲ موجود در خروجی فاضلاب تصفیه شده از زیست راکتور غشایی در تصفیه خانه فاضلاب شهر تهران تهیه شد. غلظت نیترات و فسفات در این فاضلاب شهری به ترتیب ۳۴ و ۸ میلی گرم بر لیتر در نظر گرفته شد و به منظور تهیه

پساب مورد نظر به میزان ۰/۰۴۶ گرم سدیم نیترات و ۰/۰۱۴ گرم دی پتاسیم فسفات به ازای هر لیتر آب مقطر افزوده شد.

روش های آنالیز

اندازه گیری وزن خشک سلولی (گرم بر لیتر) از طریق سانتریفیوژ ۱۰ میلی لیتر ریزجلبک به مدت ۳۰ دقیقه و با سرعت

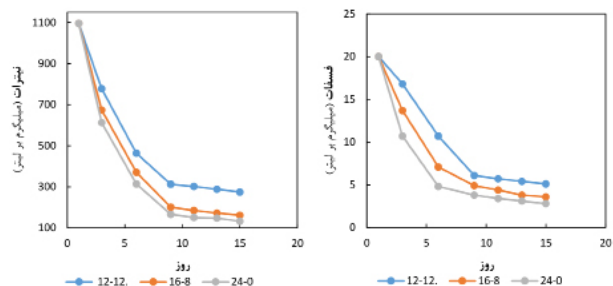
جدول ۲: نتایج سنجش پساب خروجی از فاضلاب شهری شهر تهران

| pH | کدورت NTU | نیتрат (NO ₃ ⁻) | فسفات (PO ₄ ⁻³) | میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD) | میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) | کل مواد جامد معلق (TSS) |
|------|-----------|--|--|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| ۷/۱۵ | ۱۴/۷ | ۳۴ میلی گرم بر لیتر | ۸ میلی گرم بر لیتر | ۱۴ میلی گرم بر لیتر | ۴۰ میلی گرم بر لیتر | ۱۱/۶ میلی گرم بر لیتر |

گرم بر لیتر به خود اختصاص داد و سیکل ۱۲-۱۲ در روز دوازدهم به مقدار ۱/۵۲ گرم بر لیتر رسید. همچنین روند تغییرات وزن خشک در سیکل ۲۴-۰ سیر صعودی تری به ترتیب نسبت سیکل ۱۶-۸ و ۱۲-۱۲ را نشان می دهد.

حذف مواد مغذی در سیکل های نوری

نمودار ۲ تغییرات نیترات و فسفات را بر حسب تغییرات زمان در یک دوره ۱۵ روزه کشت در سه سیکل ۱۶-۸، ۲۴-۰ و ۱۲-۱۲ برای انتخاب بهینه ترین سیکل نوری در این آزمایش در حذف نیترات و فسفات موجود در محیط کشت و استفاده از آن در پساب فاضلاب شهری سنتزی نشان می دهد. همان طور که مشاهده شد سیکل ۲۴-۰ بیشترین مقدار کاهش در نیترات و فسفات به ترتیب از ۱۰۹۶ و ۲۰ میلی گرم بر لیتر به ۱۳۲ و ۲/۸ میلی گرم بر لیتر را داشت. در تمام سیکل های نوری تا روز ۹ مقدار نیترات و فسفات کاهش یافت و در سیکل ۲۴-۰ (۸۲ درصد در نیترات و ۸۱ درصد در فسفات) حذف داشت. سپس تا روز پانزدهم روند کاهش شیب کندتری به خود گرفت و بیشترین مقدار حذف نیترات و فسفات



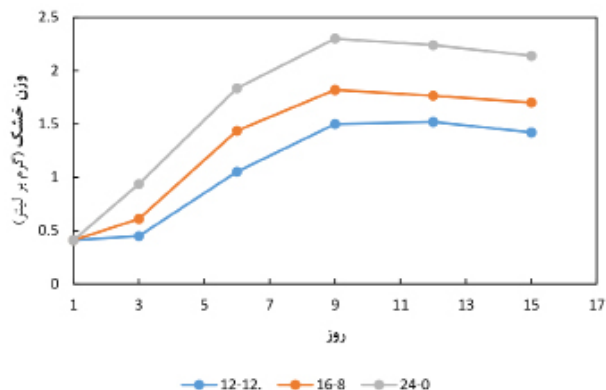
نمودار ۲: منحنی تغییرات نیترات و فسفات در سیکل های نوری متفاوت در محیط کشت BG-۱۱ بر حسب زمان

۱۰ هزار دور بر دقیقه انجام شد و پس از آن در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۴۰ دقیقه خشک شد. سپس به وسیله ترازو وزن خشک محاسبه شد [۲۳]. نیترات و فسفات نیز با استفاده از روش های اندازه گیری نوری با دستگاه اسپکتروفوتومتر HACH (DR5۰۰۰) در فواصل زمانی دو روز به دست آمد. روش اندازه گیری نیترات و فسفات از کتاب روش های استاندارد آب و فاضلاب (روش ۱-۳۵۲ برای نیترات و روش ۳-۳۵۲ برای فسفات) اقتباس شده است [۲۳].

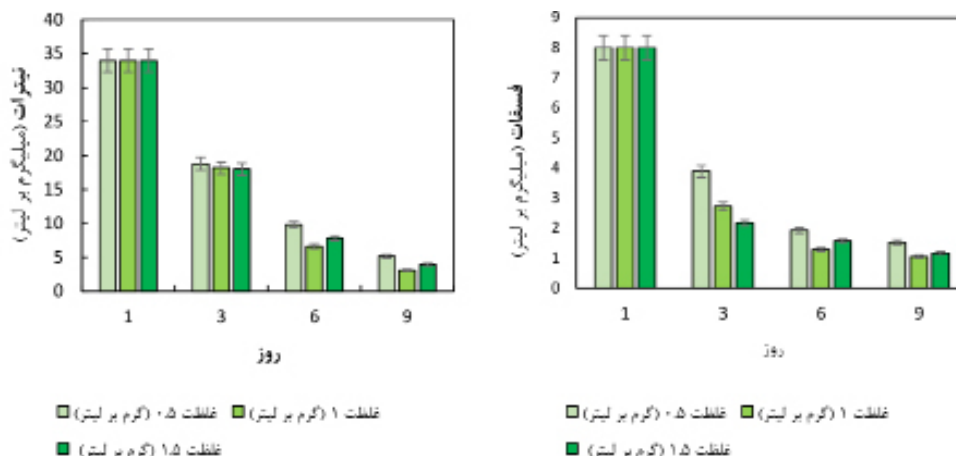
یافته ها

رشد ریز جلبک

با توجه به نمودار ۱ تغییرات وزن خشک ریز جلبک بر حسب تغییرات روز مشاهده شد که در روز نهم سیکل های ۲۴-۰ و ۱۶-۸ بیشترین وزن خشک ریز جلبک را به ترتیب با مقدار ۲/۳ و ۱/۸۲



نمودار ۱: تغییرات وزن خشک کلرلا ولگاریس در سیکل های متفاوت بر حسب تغییرات زمان



نمودار ۳: منحنی حذف نیترات و فسفات در غلظت‌های متفاوت در سیکل نوری (۰-۲۴) بر حسب زمان

(۸۷ و ۸۶ درصد) در سیکل نوری ۰-۲۴ به دست آمد.

حذف مواد مغذی از پساب فاضلاب شهری سنتزی

نمودار ۳ نشان‌دهنده تغییرات نیترات و فسفات در غلظت‌های ۱/۵ و ۱ (۰/۵) گرم بر لیتر ریز جلبک در سیکل ۰-۲۴ در پساب فاضلاب شهری بر حسب تغییرات زمان است. همان‌طور که مشاهده شد در روز سوم غلظت ۱/۵ گرم بر لیتر بیشترین مقدار حذف نیترات و فسفات را به ترتیب ۴۷ و ۷۳ درصد نسبت به دو غلظت دیگر داشت، ولی در ادامه روزهای ششم و نهم غلظت ۱ گرم بر لیتر از ریز جلبک در سیکل ۰-۲۴ بیشترین مقدار حذف نیترات و فسفات از پساب فاضلاب شهری سنتزی به ترتیب ۹۱ و ۸۷ درصد ثبت شد.

بحث و نتیجه گیری

نور یکی از متغیرهای اصلی در رشد ریز جلبک است [۱۱]. بهینه بودن نور در رشد ریز جلبک بسیار مهم است. Jacob-Lopes و همکاران اظهار داشتند بین شدت نور و بهره‌وری زیست توده رابطه خطی وجود دارد و هنگامی که از نور مداوم (۰-۲۴) استفاده

شود، بیشترین بهره‌وری زیست توده مشاهده می‌شود. با این وجود، این متغیرها (بهره‌وری زیست توده و رژیم تاریکی و روشنایی) به گونه‌های ریز جلبک بسیار وابسته هستند. هیچ معیار دائمی وجود ندارد که نور مداوم یا مخلوطی از رژیم خاموش تأثیر مهمی بر تولید زیست توده و حذف مواد مغذی دارد [۲۴]. افزایش شدت نور تا نقطه اشباع نور که سلول‌های ریز جلبکی بیشترین فعالیت فتوسنتزی خود را دارند امکان پذیر است و باعث تولید حداکثر زیست توده می‌شود. در شدت نور بیشتر از نقطه اشباع، فعالیت فتوسنتز و تولید زیست توده از ریز جلبک‌ها به‌عنوان یک نتیجه عکس عمل می‌کند و باعث متوقف شدن رشد می‌شود. عزیزی و همکاران تغییرات نوری اعم از سیکل تاریکی و روشنایی و شدت نوری را در رشد ریز جلبک تأثیرگذار می‌دانند و با شدت نوری ۳۰۰ میکرومول فوتون و سیکل نوری ۰-۲۴ بهترین نتیجه رشد در ریز جلبک کلرلا ولگاریس را اعلام کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. در این تحقیق سیکل نوری ۰-۲۴ بهترین نتیجه را در افزایش وزن خشک داشت [۲۵].

با مقایسه روند تغییرات در نمودار ۱ (وزن خشک) و نمودار ۲ (تغییرات نیترات و فسفات) مشاهده شد که با افزایش وزن خشک ریز جلبک در سیکل‌های نوری، با کاهش مقدار نیترات و فسفات

ریزجلبک *Scenedesmus obliquus* در ۷ روز توانستند نیترات و فسفات را با راندمان ۷۰ تا ۸۰ درصد حذف کنند [۳۳]. Chen و همکاران در مطالعه‌ای حذف فسفر و نیتروژن را از پساب خروجی سیستم هضم بی‌هوازی با استفاده از یک زیست راکتور نوری غشایی جدید (جلبک‌های کلرلا و سندسموس) بررسی کردند و مشخص شد سیستم مذکور کارایی زیادی دارد و می‌تواند به‌عنوان پایه تئوری به‌منظور استفاده کاربردی در تصفیه فاضلاب‌های مختلف استفاده شود [۳۴].

در این پژوهش کشت ریزجلبک کلرلا و لگاریس در زیست راکتور نوری با پساب سنتزی فاضلاب شهری (پساب خروجی از زیست راکتور غشایی) برای تصفیه تکمیلی فاضلاب‌های شهری مطالعه شد که حاوی مقدار زیادی نیترات و فسفات بود. همچنین عواملی مانند سیکل تاریکی-روشنایی و غلظت اولیه ریزجلبک بررسی شد که باعث بهینه‌شدن رشد ریزجلبک در زیست راکتور نوری با پساب سنتزی فاضلاب شهری می‌شود. با توجه به نتایج ترکیب سیکل نوری (۰-۲۴) با غلظت اولیه ۱ گرم بر لیتر بهینه‌ترین و بیشترین درصد حذف نیترات و فسفات را از پساب سنتزی فاضلاب شهری داشت. همچنین با توجه به رشد ریزجلبک در پساب سنتزی و ارزش زیست توده جلبکی و استخراج مواد با ارزش از ریزجلبک می‌توان پساب فاضلاب شهری را به‌عنوان محیط کشت ارزان‌قیمت در نظر گرفت.

قدردانی

این مقاله از پایان‌نامه نویسنده اول با کد اخلاق مصوب در پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تنکابن به شماره IRI.IAU.TON.REC.1400.010 گرفته شده است. بدین‌وسیله از تمامی افرادی که در اجرای این پژوهش ما را یاری رساندند، تقدیر و تشکر می‌شود.

محیط کشت همراه بوده است. Leonardos و همکاران نشان دادند بین فتوستتزر و افزایش وزن خشک جلبک با حذف نیترات و فسفات رابطه مستقیم وجود دارد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت [۲۶]. جذب نیترات و فسفات توسط سلول‌های ریزجلبکی به برخی از متغیرها مانند غلظت کل فسفر و نیتروژن و ساختارهای شیمیایی آن‌ها، وضعیت فیزیولوژیکی سلول‌ها یا متغیرهای محیطی مانند تابش نور، pH و غیره بستگی دارد [۲۷].

در کار تحقیقاتی حاضر میزان تلقیح اولیه ۱ گرم بر لیتر ریزجلبک نتایج مطلوب‌تری را نسبت به تلقیح ۰/۵ و ۱/۵ نشان داد. طبق نتایج Xu و همکاران حذف مواد مغذی توسط سلول‌های ریزجلبکی مطابق با تراکم سلولی و فعالیت محیطی است. تلقیح ریزجلبک‌ها به محیط کشت جدید (پساب فاضلاب شهری) با تنش برای سلول‌های جلبکی همراه است و نیازمند زمان برای هماهنگی با محیط جدید و شروع فعالیت متابولیکی است [۲۸]. Uggetti و همکاران در تحقیقی درباره تأثیر غلظت اولیه کلرلا بر رشد سلولی دریافتند که غلظت‌های بالا در رشد اولیه کند بود، اما به‌طور قابل توجهی تولید زیست توده را افزایش داده است [۲۹]. با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش هاشمی و همکاران، هنگامی که کشت میکروجلبک در غلظت‌های بالا شروع شود، تعداد زیاد سلول‌ها باعث افزایش غلظت سلولی در محیط کشت می‌شود که این خود می‌تواند در شدت‌های ثابت نوری، نفوذ کمتر نور را به اعماق کشت ریزجلبک به همراه داشته باشد و باعث کندشدن رشد سلولی ریزجلبک شود [۳۰].

Ruiz Marin و همکاران در پژوهشی با ریزجلبک *Scenedesmus obliquus* که روی فاضلاب شهری سنتزی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که این ریزجلبک قادر به حذف ۱۰۰ درصد نیترات و ۸۴ درصد فسفات است [۳۱]. Wang و همکاران در مطالعه خود روی فاضلاب شهری نشان دادند با ریزجلبک کلرلا می‌توان تا ۹۰ درصد از مواد مغذی (نیترات، فسفات، نیتروژن) را حذف کرد [۳۲]. در تحقیقات دیگری، Shen و همکاران با

References

1. Park JB, Craggs RJ, Shilton AN. Wastewater treatment high-rate algal ponds for biofuel production. *Bioresour Technol* 2011; 102(1): 35-42.
2. Jetten MS, Horn SJ, van Loosdrecht MC. Towards a more sustainable municipal wastewater treatment system. *Water Sci Technol* 1997; 35(9): 171-80.
3. Rashed MN. Adsorption technique for the removal of organic pollutants from water and wastewater. *Organ Pollutants Monitor Risk Treat* 2013; 7: 167-94.
4. Environmental Protection Agency (EPA). Antimony: an environmental and health effects assessment. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Drinking Water; 1984.
5. Gürevin C, Erturk A, Albay M. Predicting the effects of sediment based internal nutrient loads on eutrophication in Küçükçekmece Lagoon for rehabilitation planning. *Int J Sediment Res* 2017; 32(4): 527-54.
6. Ward MH, Jones RR, Brender JD, De Kok TM, Weyer PJ, Nolan BT, et al. Drinking water nitrate and human health: an updated review. *Int J Environ Res Public Health* 2018; 15(7): 1557.
7. Choi JH, Maruthamuthu S, Lee HG, Ha TH, Bae JH. Nitrate removal by electro-bioremediation technology in Korean soil. *J Hazard Mater* 2009; 168(2-3): 1208-16.
8. Parsons SA, Smith JA. Phosphorus removal and recovery from municipal wastewaters. *Elements* 2008; 4(2): 109-12.
9. Hoffmann JP. Wastewater treatment with suspended and nonsuspended algae. *J Phycol* 1998; 34(5): 757-63.
10. Kesaano M, Sims RC. Algal biofilm-based technology for wastewater treatment. *Algal Res* 2014; 5: 231-40.
11. Luo Y, Le-Clech P, Henderson RK. Simultaneous microalgae cultivation and wastewater treatment in submerged membrane photobioreactors: a review. *Algal Res* 2017; 24: 425-37.
12. Keramati A, Azizi S, Hashemi A, Shariati FP. Effects of flashing light-emitting diodes (LEDs) on membrane fouling in a reciprocal membrane photobioreactor (RMPBR) to assess nitrate and phosphate removal from whey wastewater. *J Appl Phycol* 2021; 33(3): 1513-24.
13. Molinuevo-Salces B, Riaño B, Hernández D, García-González MC. Microalgae and wastewater treatment: advantages and disadvantages. In *Microalgae biotechnology for development of biofuel and wastewater treatment*. Singapore: Springer; 2019. P. 505-33.
14. Bornare JB, Kalyan Raman V, Sonde RR. Application of anaerobic membrane bioreactor (AnMBR) for low-strength wastewater treatment and energy generation. *Indust Wastewater Treat Recycling Reuse* 2014; 21: 399-434.
15. Bolzonella D, Fatone F, di Fabio S, Cecchi F. Application of membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse in the Mediterranean region: focusing on removal efficiency of non-conventional pollutants. *J Environ Manage* 2010; 91(12): 2424-31.
16. Richmond A. *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. Oxford: Blackwell Science; 2004.
17. Hashemi A, Shariati FP, Sohani E, Azizi S, Hosseinifar SZ, Amrei HD. CO₂ biofixation by *Synechococcus elongatus* from the power plant flue gas under various light-dark cycles. *Clean Technol Environ Policy* 2020; 22(8): 1735-43.
18. Habibi A, Teymouri A, Delavari Amrei H, Pajoum Shariati F. A novel open raceway pond design for microalgae growth and nutrients removal from treated slaughterhouse wastewater. *Pollution* 2018; 4(1): 103-10.
19. Teymouri SA, Habibi A, Pajoum Shariati F, Nematzadeh GA, Delavari Amrei H. Nitrate and phosphate removal from treated dairy wastewater using microalgae *Chlorella salina*. *Modares J Biotechnol* 2019; 10(2): 183-6.
20. Berkessa YW, Mereta ST, Feyisa FF. Simultaneous removal of nitrate and phosphate from wastewater using solid waste from factory. *Appl Water Sci* 2019; 9(2): 1-10.
21. Leng L, Wei L, Xiong Q, Xu S, Li W, Lv S, et al. Use of microalgae based technology for the removal of antibiotics from wastewater: a review. *Chemosphere* 2020; 238: 124680.
22. Azizi S, Hashemi A, Pajoum Shariati F, Bonakdarpour B, Safamirzaei M. Fouling identification in reciprocal membrane photobioreactor (RMPBR) containing *Chlorella vulgaris* species: Hydraulic resistances assessment. *J Chem Technol Biotechnol* 2021; 96(2): 404-11.

23. Federation WE, APH Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC: American Public Health Association (APHA); 2005.
24. Jacob-Lopes E, Scoparo CH, Lacerda LM, Franco TT. Effect of light cycles (night/day) on CO₂ fixation and biomass production by microalgae in photobioreactors. Chem Eng Proc Proc Intensifcat 2009; 48(1): 306-10.
25. Azizi S, Bayat B, Tayebati H, Hashemi A, Pajoum Shariati F. Nitrate and phosphate removal from treated wastewater by *Chlorella vulgaris* under various light regimes within membrane flat plate photobioreactor. Environ Prog Sustainable Energy 2021; 40(2): e13519.
26. Leonardos N, Geider RJ. Responses of elemental and biochemical composition of *Chaetoceros muelleri* to growth under varying light and nitrate: phosphate supply ratios and their influence on critical N: P. Limnol Oceanogr 2004; 49(6): 2105-14.
27. Hernandez JP, de-Bashan LE, Bashan Y. Starvation enhances phosphorus removal from wastewater by the microalga *Chlorella* spp. co-immobilized with *Azospirillum brasilense*. Enzyme Microb Technol 2006; 38(1-2): 190-8.
28. Xu L, Weathers PJ, Xiong XR, Liu CZ. Microalgal bioreactors: challenges and opportunities. Eng Life Sci 2009; 9(3): 178-89.
29. Uggetti E, Sialve B, Latrille E, Steyer JP. Anaerobic digestate as substrate for microalgae culture: the role of ammonium concentration on the microalgae productivity. Bioresour Technol 2014; 152: 437-43.
30. Hashemi A, Moslemi M, Pajoum Shariati F, Delavari Amrei H. Beta-carotene production within *Dunaliella salina* cells under salt stress condition in an indoor hybrid helical-tubular photobioreactor. Can J Chem Eng 2020; 98(1): 69-74.
31. 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. Bioresour Technol 2010; 101(1): 58-64.
32. Wang L, Min M, Li Y, Chen P, Chen Y, Liu Y, et al. Cultivation of green algae *Chlorella* sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant. Appl Biochem Biotechnol 2010; 162(4): 1174-86.
33. Shen QH, Jiang JW, Chen LP, Cheng LH, Xu XH, Chen HL. Effect of carbon source on biomass growth and nutrients removal of *Scenedesmus obliquus* for wastewater advanced treatment and lipid production. Bioresour Technol 2015; 190: 257-63.
34. Chen X, Li Z, He N, Zheng Y, Li H, Wang H, et al. Nitrogen and phosphorus removal from anaerobically digested wastewater by microalgae cultured in a novel membrane photobioreactor. Biotechnol Biofuels 2018; 11(1): 1-11.