Journal of Research in Environmental Health

Volume 8, Issue 1, Spring 2022

Efficiency Investigation of Chlorella Vulgaris Algae in Removal of Nitrogen, Phosphorus and Chemical Oxygen Demand from Municipal and Industrial Wastewaters

Mohammad Javad Chaboki
MSc student of Environmental Health Engineering, Environmental Health Engineering Department, Faculty of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Ali Asghar Najafpoor
Professor, Environmental Health Engineering Department, Faculty of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Ziaeddin Bonyadi
Assistant Professor, Environmental Health Engineering Department, Faculty of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Aliakbar Dehghan
*Assistant Professor, Environmental Health Engineering Department, Faculty of Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran. (Corresponding Author): Email: dehghanaa@mums.ac.ir

Received: 2021/10/23
Accepted: 2022/01/18

Document Type: Research article

ABSTRACT

Background and Aim: Human activities, especially in the construction and agriculture, introduce large amounts of nitrogen, phosphorus, and organic matter into aquatic ecosystems.

Material and Methods: In this study, the municipal and industrial wastewater samples were obtained from wastewater treatment plant No. 1 of Park and Abad, and wastewater treatment plant of Kalat industrial park, respectively. Before starting the reactor, the wastewater samples were allowed to settle for 2 h to remove coarse suspended solids, and then sterilized in the autoclave. Chlorella Vulgaris was purchased from Jahad Daneshgahi of Mashhad and grown in specific culture media under temperature 25±2°C, photoperiod of 14 h light, and 10 h dark, monochrome light with the intensity of 5000±350 lux, pH of 7-8.5 and time of 10 d. The solution was then transferred to three 10 L reactors filled with municipal, industrial, and culture media and aerated for 10 days under sterile conditions in the presence of light. COD, total phosphorous, total nitrogen, pH, and chlorophyll a were measured in 100 mL samples collected from reactors at predefined time intervals (every 2 days).

Results: The removal efficiency of COD, total nitrogen, and phosphorus in municipal, industrial, and culture media by Chlorella Vulgaris was 63.69, 12.52, and 13.79%, 66.57, 34, and 50.18%, respectively. According to results, the efficacy of algae to remove COD was higher than other parameters, while that for total nitrogen was lowest. The efficacy of algae to remove the pollutants from industrial was better than those in domestic wastewater.

Conclusion: This study's results showed that municipal and industrial media could be a suitable culture media for growing Chlorella Vulgaris algae. Moreover, it has the ability to remove the nutrients from wastewaters.

Keywords: Nutrients removal, Microalgae, Chlorella vulgaris, municipal and industrial wastewater

▶ **Citation:** Chaboki MJ, Najafpoor AA, Bonyadi Z, Dehghan A. Efficiency investigation of chlorella vulgaris algae in removal of nitrogen, phosphorus and chemical oxygen demand from municipal and industrial wastewaters. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Spring 2022; 8(1): 59-67.

بررسی کارایی ریزجلبک کلرلا ولگاریس در حذف نیتروژن، فسفر و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی از فاضلاب‌های شهری و صنعتی

محمد جواد چابکی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

علی‌اصغر نجف‌پور
استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

ضیاءالدین بنیادی
استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

علی‌اکبر دهقان
* استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.
(نویسنده مسئول): پست الکترونیک:
dehghanaa@mums.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸
نوع مقاله: مقاله پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: فعالیت‌های انسانی به‌ویژه در کشاورزی و ساخت، مقادیر زیادی نیتروژن، فسفر و مواد آلی وارد اکوسیستم‌های آبی نموده است. این غنی شدن توسط مواد مغذی و یوتریفیکاسیون منابع آبی می تواند روی ساختار و عملکرد اکوسیستم اثر گذاشته و علاوه بر آسیب به تنوع زیستی، پایداری و تعادل آن اکوسیستم را نیز بهم بریزد. لذا مطالعه حاضر به بررسی حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، نیتروژن کل و فسفر کل توسط جلبک کلرلاولگاریس پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه نمونه‌های فاضلاب شهری و صنعتی به‌ترتیب از تصفیه‌خانه پرکندآباد شماره ۱ مشهد و تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک صنعتی کلات تهیه گردید. جلبک کلرلا ولگاریس در محیط کشت اختصاصی تحت شرایط نور سفید تک‌رنگ با روشنایی ۵۰۰۰±۳۵۰ لوکس، تناوب نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی، درجه حرارت ۲۵±۲ درجه سانتی‌گراد و pH نزدیک به خنثی (۷-۸/۵) در مدت زمان ۱۰ روز تکثیر شد. سپس ۱ لیتر از محلول فوق به راکتورهایی به حجم ۱۰ لیتری حاوی نمونه بارگذاری گردید و در مجاورت نور به‌مدت ۱۰ روز هوادهی شد. در فواصل زمانی معین نمونه‌هایی از راکتورها جهت اندازه‌گیری پارامترهای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، نیتروژن کل، فسفر کل، pH و مقدار کلروفیل گرفته شد.

یافته‌ها: راندمان حذف جلبک کلرلا ولگاریس برای COD، نیتروژن کل و فسفر کل در فاضلاب شهری ۶۳/۶۹٪، ۱۲/۵۲٪ و ۱۳/۷۹٪ و برای فاضلاب صنعتی ۶۶/۵۷٪، ۳۴٪ و ۵۰/۱۸٪ بود. بر اساس یافته‌ها، کارایی جلبک در حذف مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی بیشتر و برای نیتروژن کل کمتر از بقیه آلاینده‌ها بود. همچنین در فاضلاب شهری کمترین کارایی در حذف نیتروژن کل بود. کارایی جلبک در حذف آلاینده‌ها در فاضلاب صنعتی بهتر از فاضلاب شهری بود.

نتیجه‌گیری: محیط فاضلاب شهری و صنعتی می‌تواند یک محیط مناسب برای رشد و تکثیر جلبک کلرلا ولگاریس باشد. همچنین این ریزجلبک توانایی حذف مواد مغذی موجود در پساب را دارد.

کلید واژه‌ها: حذف مواد مغذی، ریزجلبک، کلرلا ولگاریس، فاضلاب شهری و صنعتی

◀ **استناد:** چابکی م ج، نجف‌پور ع، بنیادی ض، دهقان ع. بررسی کارایی ریزجلبک کلرلا ولگاریس در حذف نیتروژن، فسفر و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی از فاضلاب‌های شهری و صنعتی. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. بهار ۱۴۰۱؛۸(۱): ۵۹-۶۷.

مقدمه

رشد فزاینده جمعیت و مصرف آب برای مصارف گوناگون کشاورزی، صنعتی و خانگی، در نهایت تولید حجم زیاد فاضلاب را به‌همراه دارد. این مهم سبب مصرف بیشتر منابع آب شیرین می‌گردد و بعد از آن، چالش مدیریت فاضلاب تولیدی را به‌دنبال دارد (۱). در مورد مدیریت فاضلاب صنعتی، راهکارهایی جهت جلوگیری از تولید یا کاهش مواد آلاینده وجود دارد، اما به‌دلیل در دسترس نبودن راهکاری آسان به‌منظور جلوگیری از تولید یا کاهش آلاینده‌های فاضلاب صنعتی، این فاضلاب دارای بار آلودگی زیادی است (۲). در کشور ما چهار فرآیند لجن فعال، برکهٔ تثبیت، لاگون هوادهی و فیلتر چکنده، متداول‌ترین روش‌های تصفیهٔ فاضلاب شهری می‌باشند که بیش از ۹۰٪ تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در کشور، از یکی از این چهار فرآیند استفاده می‌کنند (۳)، اما با تصفیه نادرست فاضلاب و یا به‌عبارتی دیگر بهره‌برداری نامناسب از سیستم تصفیه، آلاینده‌هایی در پساب فاضلاب شهری وجود دارند که مهم‌ترین آنها مواد مغذی (نیتروژن و فسفر)، فلزات سنگین، هیدروکربن‌ها، مواد آلی و میکروارگانیسم‌های پاتوژن‌ها هستند (۴). در سال‌های اخیر ریزجلبک‌ها به‌عنوان یک سیستم جایگزین برای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب مورد توجه قرار گرفته‌اند. ریزجلبک‌ها، میکروارگانیسم‌های فتوسنتزی هستند که به‌دلیل ساختار چندسلولی یا سلولی ساده می‌توانند به سرعت رشد کرده و در شرایط سخت زندگی کنند (۵). ریزجلبک‌ها توانایی جذب نیتروژن و فسفر را در غلظت‌های بسیار کم دارند. با استفاده از این توانایی و پتانسیل بازیابی نیتروژن و فسفر از زیست توده جلبک، ریزجلبک‌ها جایگزین مناسب و پایدارتری برای سیستم‌های موجود تصفیه پیشرفته مانند فیلترها که به یک منبع کربن آلی نیاز دارند و دی اکسیدکربن را منتشر می‌کنند، هستند (۶). روش تصفیه زیستی یک دانش توسعه‌یافته و سازگار با محیط زیست است که با تغییر طراحی سیستم‌های رشد معلق صورت می‌پذیرد (۷).

ریزجلبک‌ها، گروهی از موجودات تک‌سلولی یا چندسلولی ساده با توانایی مصرف دی‌اکسیدکربن محیط می‌باشند. عناصر مورد نیاز برای رشد ریزجلبک ها شامل کلر، منیزیوم، کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، گوگرد، فسفر، پتاسیم، سدیم و کلسیم می باشد، همچنین ریزجلبک ها برای رشد نیاز به ریزمغذی هایی مانند روی، مس، منگنز، آهن و کبالت دارند. با توجه به فراهم بودن عناصر مورد نیاز برای رشد در پساب زیستی، این محیط برای رشد ریزجلبک مناسب می‌باشد. ریزجلبک‌ها در محیط‌های غنی از مواد غذایی قابلیت رشد دارند و با استفاده از این منابع پروتئین، نوکلئیک اسید و مقدار چشم‌گیری لیپید تولید می‌کنند. لیپید به‌عنوان ماده اولیه‌ای برای تولید سوخت‌های زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌دلیل بهره‌وری بالا، تولید زیست توده بیشتر و نرخ رشد بالاتر ریزجلبک‌ها در مقایسه با منبع‌های دیگر و همچنین به‌دلیل تکثیر فراوان در مقیاس گسترده و در شرایط آسان و همچنین به‌علت تداخل نداشتن با سایر حوزه‌ها که مهم‌ترین آن حوزه غذا می‌باشد، کشت ریزجلبک در پساب دارای منافع دو سویه تولید ریزجلبک و تصفیه همزمان پساب می‌باشد (۸).

در سال‌های اخیر مطالعات گوناگونی در زمینه استفاده از فاضلاب‌های شهری به‌عنوان محیطی جهت تولید بیومس و حذف مواد مغذی به چاپ رسیده است (۹-۱۲)، اما تاکنون مطالعه‌ای در زمینه استفاده از فاضلاب‌های صنعتی به‌عنوان محیط کشت انجام نشده است. گونه‌های جلبک کلرلا به‌طور گسترده‌ای جهت تصفیه فاضلاب استفاده شده است و توانایی آشکاری در حذف نیتروژن، فسفر و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی با زمان‌های ماند مختلف از ۱۰ ساعت تا ۴۲ روز دارد. این گونه‌ها قادرند به‌صورت یک مرحله ثانویه یا پیشرفته جایگزین فرآیند لجن فعال در کاهش مواد مغذی و تولید بیومس گردند (۱۳)، لذا مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی این جلبک در حذف نیتروژن، فسفر و COD از فاضلاب‌های شهری و صنعتی انجام شد.

روش کار

جلبک زنده خالص کلرلا ولگاریس از جهاد دانشگاهی مشهد به‌میزان ۱ لیتر و محیط کشت حاوی جلبک با غلظت ۱/۵ گرم در لیتر

تهیه شد. به منظور تهیه هوای استریل برای رآکتورها، از ۲ پمپ هوای آکواریوم با ظرفیت هوادهی ۳/۵ لیتر در دقیقه استفاده شد. پمپ‌ها داخل محفظه‌ای از جنس ام دی اف پوشش‌دار قرار گرفتند. سطح داخل محفظه و وسایل مورد استفاده به‌وسیله الکل ۷۰ درصد ضدعفونی شدند؛ بدین‌ترتیب هوای ورودی به محفظه، راهی به‌جز عبور از فیلتر هپا[1] نداشت. برای اطمینان از خروج هوای غیراستریل از محفظه فیلتر، قبل از تزریق هوا به رآکتورها، پمپ به‌مدت چند ساعت روشن شد تا هوای موجود در محفظه خارج شود. جلبک‌ها در بطری‌های استریل شده به‌وسیله اتوکلاو حاوی محیط کشت BG-۱۱ که محیط اختصاصی برای رشد این جلبک است، زیر نور سفید تک‌رنگ با روشنایی ۵۰۰۰±۳۵۰ لوکس، تناوب نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۱۰ ساعت تاریکی و درجه حرارت ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد و pH نزدیک به خنثی (۷-۸/۵)، در زمان ۱۰ روز تکثیر شدند. به‌منظور تأمین دمای مورد نیاز، ظروف کشت در آکواریوم حاوی مقداری آب قرار گرفتند و به‌وسیله بخاری الکتریکی با قابلیت تنظیم دما، دمای مورد نظر تأمین شد (۱۴).

این مطالعه بر روی دو نمونه ۱۰ لیتری فاضلاب شامل فاضلاب شماره ۱ (از خروجی واحد هوادهی تصفیه‌خانه پرکندآباد شماره ۱) و فاضلاب شماره ۲ (قبل از تصفیه هوازی و بعد از تصفیه بی‌هوازی تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی کلات) انجام شد. به‌منظور حذف ذرات معلق درشت، باکتری‌ها و جلبک‌های بومی، ابتدا ظروف حاوی نمونه به‌مدت ۱ ساعت در حالت سکون قرار داده شدند و سپس توسط فیلتر پارچه‌ای صاف و سپس به منظور استریل شدن، اتوکلاو شدند (۱). همچنین مقدار ۱۰ لیتر از محیط کشت BG-۱۱ در اتوکلاو استریل شد. سپس هر ۲ روز یک‌بار به‌وسیله پیپت ۱۲۰ میلی‌لیتر نمونه برداشته شد. تا روز دهم در مجموع ۶ نمونه از هر ظرف برداشت گردید و در کنار یخ به آزمایشگاه منتقل گردید. اندازه‌گیری پارامترهای نیتروژن کل، فسفر کل و COD بر اساس کتاب استاندارد متد انجام گرفت.

یافته‌ها

مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی ریزجلبک کلرلا ولگاریس در تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی انجام گرفت. غلظت COD، نیتروژن کل و فسفر کل در مواجهه با ریزجلبک کلرلا ولگاریس در روزهای مختلف در فاضلاب شهری و صنعتی و نمونه شاهد در جداول ۱ تا ۳ آورده شده است.

جدول ۱. میانگین غلظت COD، نیتروژن کل و فسفر کل در روزهای مختلف در نمونه شاهد

پارامتر	واحد	زمان (روز)					
		۰	۲	۴	۶	۸	۱۰
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	mg/L	۵۰	۴۵	۴۳	۴۱	۴۱	۳۸
نیتروژن کل	mg/L	۹/۳	۸/۶	۸/۳	۸/۲	۸/۲	۷/۹
فسفر کل	mg/L	۱۷	۱۶/۴	۱۶/۲	۱۶/۱	۱۶/۲	۱۵/۸
pH	---	۷/۷	۸/۳	۸/۵	۸/۸	۹	۸/۸

جدول ۲. میانگین غلظت COD، نیتروژن کل و فسفر کل در روزهای مختلف در فاضلاب شهری

پارامتر	واحد	زمان (روز)					
		۰	۲	۴	۶	۸	۱۰
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	mg/L	۳۲۵	۱۴۵	۱۵۵	۱۴۰	۱۲۱	۱۱۸
نیتروژن کل	mg/L	۵۴/۳	۴۸/۹	۴۸/۱	۴۷/۶	۴۸	۴۷/۵
فسفر کل	mg/L	۱۱/۶	۱۱/۳	۱۰/۵	۹/۸	۱۱/۱	۱۰
pH	---	۶/۸	۷/۵	۸	۸/۳	۸/۱	۸/۵

با توجه به جدول ۲، غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی تا روز چهارم در حال کاهش بود و سپس در روز چهارم افزایش یافته و سپس تا روز دهم رو به کاهش بود. میزان نیتروژن کل نیز تا روز ششم کاهش و در روز هشتم افزایش و سپس کاهش یافته بود. مقدار فسفر کل تا روز ششم کاهش یافته و سپس در روز هشتم افزایش و سپس در روز دهم کاهش یافته بود.

جدول ۳. غلظت COD، نیتروژن کل و فسفر کل در روزهای مختلف در فاضلاب صنعتی

پارامتر	واحد	زمان (روز)					
		۰	۲	۴	۶	۸	۱۰
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	mg/L	۱۰۵۰	۷۳۵	۴۲۰	۳۵۰	۴۰۵	۳۵۱
نیتروژن کل	mg/L	۷۴/۷	۵۸/۳۷	۴۷	۴۵/۲	۵۱	۴۹/۳
فسفر کل	mg/L	۱۶/۳	۸/۷	۷/۸	۸/۴	۸/۸	۸/۱۲
pH	---	۶	۷/۱	۷/۷	۸/۱	۸/۲	۸/۳

1. HEPA (High Efficiency Particulate Absorbing Filter)

با توجه به جدول ۲ و ۳، غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در فاضلاب صنعتی بسیار بیشتر از فاضلاب شهری بود. غلظت این آلاینده تا روز هشتم رو به کاهش بود و در روز هشتم افزایش و در نهایت در روز دهم کاهش یافته بود. میزان نیتروژن کل تا روز هشتم رو به کاهش و سپس در روز هشتم افزایش یافته و در نهایت در روز دهم کاهش یافت. میزان فسفر کل در روزهای اول تا ششم کاهش یافته، اما در روزهای ششم تا دهم افزایش یافته بود.

در جداول ۴ تا ۶، میزان رشد کلروفیل a در روزها و نمونه‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۴. غلظت کلروفیل a، b و کارتنوئید در نمونه شاهد

پارامتر	واحد	زمان (روز)					
		۰	۲	۴	۶	۸	۱۰
کلروفیل a	mg/L	۳۵/۶۴	۴۲/۳۸	۴۶/۰۵	۴۸/۲۳	۵۰/۲۰	۴۷/۶
کلروفیل b	mg/L	۲۹/۳۸	۲۹/۹۵	۳۴/۶۲	۳۲/۱۵	۴۶/۴۸	۳۳/۲۸
کارتنوئید	mg/L	۵/۹۸	۶/۳۵	۷/۲۵	۶/۷۳	۷/۸۴	۷/۵۲

جدول ۵. غلظت کلروفیل a، b و کارتنوئید در فاضلاب شهری

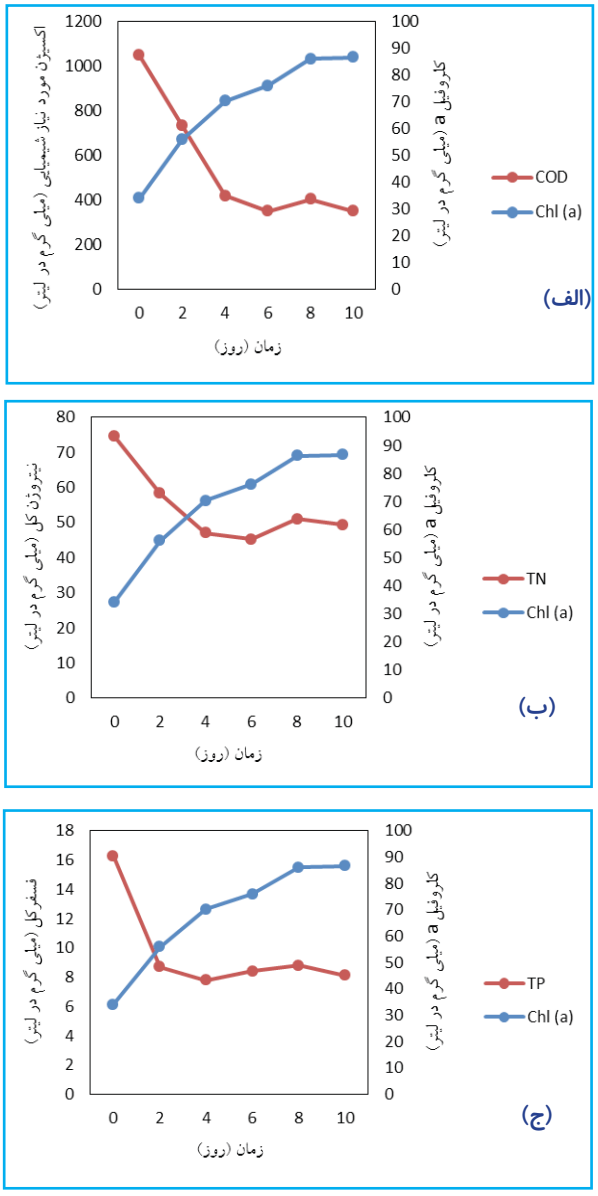
پارامتر	واحد	زمان (روز)					
		۰	۲	۴	۶	۸	۱۰
کلروفیل a	mg/L	۳۴/۳۴	۳۹/۲۱	۴۴/۲۳	۵۸/۹	۵۱/۱۸	۵۲/۵
کلروفیل b	mg/L	۲۷/۸۴	۲۸/۵۴	۳۰/۳۳	۳۴/۰۴	۳۰/۴۶	۶۳/۷۱
کارتنوئید	mg/L	۴/۸۳	۷/۹۴	۶/۱۷	۷/۳۸	۶/۴۵	۹/۲۲

جدول ۶. غلظت کلروفیل a، b و کارتنوئید در فاضلاب صنعتی

پارامتر	واحد	زمان (روز)					
		۰	۲	۴	۶	۸	۱۰
کلروفیل a	mg/L	۳۴/۰۹	۵۵/۹۶	۷۰/۳۳	۷۶/۰۹	۸۶/۲۲	۸۶/۷۲
کلروفیل b	mg/L	۳۰/۱۶	۴۵/۸۶	۲۴//۲۵	۳۹/۲۲	۳۷/۸۱	۴۳/۷۹
کارتنوئید	mg/L	۵/۸۴	۷/۸۰	۹/۰۶	۱۰/۱۱	۱۰/۲۶	۵/۸۱
رنگدانه کل	mg/L	۶۲/۹۲	۱۱۶/۸۲	۱۰۸/۶۳	۹۴/۵۳	۱۴۸/۶۶	۱۳۶/۳۵

با توجه به جدول ۴ تا ۶، مقدار کلروفیل a، b و کارتنوئید در زمان ۱۰ روزه اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج این جدول، با افزایش زمان، غلظت جلبک با جذب آلاینده‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته بود.

در نمودار ۱ مقایسه غلظت COD و نیتروژن کل و فسفر کل در نمونه فاضلاب صنعتی با غلظت کلروفیل کل نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش جذب آلاینده‌ها در مواجهه با جلبک از میزان آلاینده‌ها کاسته شده و غلظت کلروفیل با جذب آلاینده‌ها افزایش یافته بود.



نمودار ۱. مقایسه (الف) غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، (ب) غلظت نیتروژن کل، (ج) غلظت فسفر کل و کلروفیل a در روزهای مختلف در فاضلاب صنعتی

در فاضلاب شهری راندمان حذف جلبک کلرلا ولگاریس برای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، نیتروژن کل و فسفر کل به‌ترتیب ۶۳/۶۹٪، ۱۲/۵۲٪ و ۱۳/۷۹٪ و در فاضلاب صنعتی به‌ترتیب ۶۶/۵۷٪، ۳۴٪ و ۵۰/۱۸٪ بود.

بحث

طبق جدول ۱ که آلاینده‌های فاضلاب شهری از جمله اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، نیتروژن کل و فسفر کل در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف در مواجهه با جلبک کلرلا ولگاریس قرار گرفتند، غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در روز صفر ۳۲۵ میلی‌گرم در لیتر، ۲ روز بعد به ۱۴۵ میلی‌گرم در لیتر و در روز چهارم به ۱۵۵ میلی‌گرم در لیتر رسید. مشاهده گردید که از روز چهارم تا روز دهم مقدار این آلاینده به‌صورت خطی رو به کاهش بود. مقدار نیتروژن کل در روز صفر ۵۴/۳ میلی‌گرم در لیتر بود که این آلاینده تا روز ششم روند کاهشی را داشت، اما از روز ششم تا روز هشتم رو به افزایش بوده و سپس در روز دهم از مقدار آن کاسته شد. اثر جلبک در کاهش مقدار فسفر کل در فاضلاب شهری به این‌صورت بود که روز صفر ۱۱/۶ میلی‌گرم در لیتر بود که تا روز هشتم روند کاهشی داشت و به یک‌باره در روز هشتم به مقدار ۱۱/۱ میلی‌گرم در لیتر رسید که حتی از مقدار اولیه نیز بیشتر بود و در نهایت در روز دهم به ۱۰ میلی‌گرم در لیتر رسید. بر اساس جدول ۲، در صورت تماس جلبک کلرلا ولگاریس با فاضلاب صنعتی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف، مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در روز صفر ۱۰۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود که تا روز هشتم روند کاهشی داشت و مقدارش در روز هشتم به ۴۰۵ میلی‌گرم در لیتر رسید و سپس در روز دهم از مقدار آن کاسته شد و به مقدار ۳۵۱ میلی‌گرم در لیتر رسید. مقدار نیتروژن کل در روز صفر ۷۴/۷ میلی‌گرم در لیتر بود که پس از اینکه روند کاهشی را تا روز ششم طی کرد، در روزهای ششم و هشتم افزایش یافت و سپس در روز دهم مقدار آن کاهش یافت. مقدار فسفر کل از روز صفر که ۱۶/۳ میلی‌گرم در لیتر بود تا روز چهارم به ۷/۸ میلی‌گرم در لیتر رسید و از روز ششم به مقدار ۸/۴ میلی‌گرم در لیتر و در نهایت تا روز دهم به‌صورت ثابتی در مقدار ۸/۱۲ میلی‌گرم در لیتر باقی ماند.

در این مطالعه نمونه فاضلاب شهری بعد از واحد هوادهی انجام شد. با توجه به مطالعات، کاربرد یا وجود ریزجلبک در حذف ارتوفسفات از پساب تأثیرگذار است و اثر هوادهی در نمونه‌های حاوی ریزجلبک اعم از تثبیت شده و آزاد، به مراتب از نمونه بدون ریزجلبک بیشتر است. حذف مواد مغذی توسط سلول‌های ریزجلبکی مطابق با تراکم سلولی و فعالیت متابولیکی‌شان و شرایط محیطی می‌باشد. در مطالعه عزیز و همکار تحت عنوان مقایسه بین قابلیت ریزجلبک در تصفیه فاضلاب شهری یا خانگی و پساب صنعتی، ریزجلبک گونه‌های کلرلا تحت شرایط محیطی همچون pH، درجه حرارت، نور و تاریکی رشد کردند و در طی ۱۵ روز قادر بودند به‌طور میانگین ۵۰-۶۰٪ از مواد مغذی را حذف کنند (۱۵).

در تحقیقات انجام شده، اثرات دما و زمان در حذف نیتروژن محلول و فسفات، رشد ریزجلبک‌ها و محصول نهایی بررسی شده است. مکانیسم‌های حیاتی و غیرحیاتی برای بهتر کردن عملکرد جلبک در تولید بیومس و تصفیه فاضلاب دخالت دارند. افزایش دما از ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد باعث رشد بالاتری می‌شود که به افزایش در غلظت ریزجلبک‌ها و بیومس تولیدی منجر می‌شود. این میزان رشد عمدتاً تحت تأثیر دما است و مقدار کمتری مربوط به زمان می‌باشد (۵)، اما نمی‌توان گفت زمان در حذف مواد مغذی تأثیر ناچیزی دارد. چنانچه در مطالعه حسنی و همکاران که در خصوص سینتیک حذف ازت و فسفر از فاضلاب شهری توسط راکتور ناپیوسته متوالی بیوفیلمی با بستر ثابت صورت گرفت، با افزایش زمان ماند هیدرولیکی، راندمان حذف فسفر افزایش داشت؛ به‌طوری‌که در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر با افزایش زمان ماند از ۲ به ۳/۵ ساعت، بازده حذف فسفر از ۵۶/۹ به ۸۳/۴ درصد افزایش پیدا کرد، این در حالی بود که با افزایش زمان ماند از ۲ به ۳/۵ ساعت در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف فسفر

از ۵۱/۹ به ۷۱/۱ درصد افزایش نشان داد. همچنین با افزایش زمان ماند هیدرولیکی، راندمان حذف ازت نیز افزایش داشت؛ به‌طوری‌که در غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر با افزایش زمان ماند از ۲ به ۳/۵ ساعت، راندمان حذف ازت از ۷۴/۸ به ۸۱ درصد افزایش پیدا کرد، در حالی که با افزایش زمان ماند از ۲ به ۳/۵ ساعت در غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حذف ازت از ۹۳/۵ به ۹۸/۸ درصد افزایش داشت. علت این امر تقدم تمایل میکروارگانیسم‌ها در اکسیداسیون کربن نسبت به نیتروژن است (۱۶).

در مطالعه حاضر، در فاضلاب‌های شهری و صنعتی با در نظر گرفتن ۱۰ روز یا ۲۴۰ ساعت از گذشت مواجهه ریزجلبک کلرلاولگاریس و آلاینده‌های مورد نظر، آلاینده‌ها کاهش یافتند و همچنین با اندازه‌گیری کلروفیل a و b نشان داد که با گذشت زمان، از میزان آلاینده‌ها کم شده و بر غلظت کلروفیل افزوده شده است. عوامل دیگری همچون مواد تشکیل دهنده محیط کشت و شرایط محیطی همچون غلظت اولیه مواد مغذی، شدت نور، میزان فسفر/نیتروژن و گونه جلبک به‌کار رفته، به‌صورت خیلی مؤثری بر حذف نیتروژن و فسفر تأثیر دارند (۱۷). در مطالعه تایدی و همکاران، مقدار تجزیه نیتروژن بالایی بین ۷۲-۸۳٪ مشاهده شد. ۷۲-۸۳٪ از نیتروژن در فاضلاب به شکل آمونیوم (NH_4^+) بود و بالاترین میزان حذف آمونیوم در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاده بود. تمام یون‌های فسفات از فاضلاب در این مطالعه در زمان ۱۰۰ تا ۱۵۰ ساعت به‌طور کامل حذف شدند. بالاترین میزان حذف فسفات در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۲ ساعت اتفاق افتاده بود (۵). در این مطالعه، میزان نیتروژن کل در فاضلاب شهری بعد از ۲ روز یا ۴۸ ساعت از میزان ۵۴/۳ میلی‌گرم در لیتر به میزان ۴۸/۹ میلی‌گرم در لیتر و در فاضلاب صنعتی بعد از زمان ۴ روز یا ۹۶ ساعت از میزان ۷۴/۷ میلی‌گرم در لیتر به میزان ۴۷ میلی‌گرم در لیتر رسید، در خصوص فسفات در فاضلاب شهری بعد از گذشت ۶ روز یا ۱۴۴ ساعت از میزان ۱۱/۶ میلی‌گرم در لیتر به ۹/۸ میلی‌گرم در لیتر رسید و در فاضلاب صنعتی از میزان ۱۶/۳ میلی‌گرم در لیتر به میزان ۸/۴ میلی‌گرم در لیتر رسید که بیشترین مقدار حذف را نشان داد. غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در روزهای نخست کاهش شدیدتری داشت که می‌تواند علاوه بر جذب سلولی، ناشی از جذب سطحی نیز باشد. در خصوص نیتروژن کل و فسفر کل در روزهای اول کاهش و سپس در روزهای بعد افزایش یافت و در نهایت مقدار اولیه کاهش نشان داد. این اتفاق با این واقعیت توضیح داده می‌شود که نیتروژن آلی از منابع غیرآلی شامل نیترات، نیتریت و آمونیاک به‌وجود می‌آید که با جذب توسط جلبک کلرلا ولگاریس، از حالت غیرآلی به حالت آلی تبدیل می‌شود. نیتروژن غیرآلی از بین غشای پلاسما عبور می‌کند که این اتفاق باعث تبدیل نیترات به نیتریت و نیتریت به آمونیاک توسط آنزیم رداکتاز و فرودکسین می‌شود که موجب کاهش در اشکال نیتروژن غیرآلی می‌شود. آمونیاک جذب شده توسط کلرلا ولگاریس نیاز به انرژی بسیار زیاد برای تبدیل به شکل‌های دیگر نیتروژن غیرآلی همچون نیترات ندارد. بنابراین، حذف نیترات اتفاق نمی‌افتد تا زمانی که حداکثر آمونیاک مصرف شود. بنابراین، فاضلاب‌هایی همچون صنعتی و در رتبه بعدی فاضلاب شهری که حاوی غلظت‌های بالای آمونیاک هستند، منجر به رشد سریع کلرلا ولگاریس شده و جذب سریع NH_4-N نیتروزن آمونیاکی اتفاق می‌افتد که این یک مرحله کلیدی در تصفیه فاضلاب است. فسفر آلی در اسیدهای نوکلئیک، چربی‌ها و پروتئین‌ها یافت می‌شود و نقش حیاتی را در رشد و متابولیسم و انتقال انرژی برای ترکیباتی همچون آدنوزین تری‌فسفات ایفا می‌کند. فسفر غیرآلی همچون PO_4-P در حضور $H_2PO_4^-$ از فاضلاب با فرآیند فتوفسفریلاسیون حذف می‌شود. این اتفاق در کلروپلاست‌های کلروفیل موجود در ریزجلبک کلرلا ولگاریس، آدنوزین تری‌فسفات ایجاد می‌کند (۱). به‌نظر می‌رسد که فسفات از محیط با مکانیسم‌های مختلف تجزیه می‌شود؛ شروع حذف با جذب سطحی به سلول‌های سطحی، جذب توسط بیومس برای یک قسمت از یون‌های فسفات و رسوب شیمیایی برای قسمت دیگر اتفاق می‌افتد که می‌تواند در اثر افزایش قلیائیت محیط باشد. در مطالعه وانگ و همکاران، کلرلا ولگاریس در فاضلاب مربوط به

صنایع پرورش خوک با غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی ۱۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت بیومس ۲/۴۹ گرم در لیتر و بیومس تولیدی از ۱/۷۴ گرم در لیتر در روز حاوی کربوهیدارت به‌دست آمد که این مطالعه نشان داد غلظت بیومس و بیومس تولید شده در صورتی که مقدار مواد مغذی در فاضلاب بیشتر باشد، بالاتر می‌رود که این نشان‌دهنده این است که رشد بیومس به کارایی حذف مواد مغذی زنجیره‌های ریزجلبک بستگی دارد (۱۸).

در این مطالعه راندمان حذف جلبک کلرلا ولگاریس برای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، نیتروژن کل و فسفر کل در فاضلاب شهری به‌ترتیب ۶۳/۶۹٪، ۱۲/۵۲٪ و ۱۳/۷۹٪ بود. کارایی جلبک در حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی نیز بیشتر از بقیه آلاینده‌ها بود و در حذف نیتروژن کل کمترین مقدار بود. در فاضلاب صنعتی، راندمان حذف جلبک کلرلا ولگاریس برای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، نیتروژن کل و فسفر کل به‌ترتیب ۶۶/۵۷٪، ۳۴٪ و ۵۰/۱۸٪ بود. مشاهده می‌شود که اثر جلبک در کاهش مقدار اکسیژن مورد نیاز شیمیایی بیشتر از بقیه آلاینده‌ها بوده است و همچون فاضلاب شهری، کمترین کارایی جلبک در حذف نیتروژن کل بوده است. کارایی جلبک در حذف آلاینده‌ها در فاضلاب صنعتی بهتر از فاضلاب شهری بوده است که ممکن است به‌علت نوع و غلظت سوبسترای موجود در فاضلاب صنعتی باشد و همچنین میزان بالای مواد معلق که می‌توانند جذب سطح سلول جلبک شوند. در مطالعه مارتینز و همکاران در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۸۸ ساعت، ۱۰۰٪ آمونیوم حذف شد (۱۹). در مطالعه وانگ و همکاران در فاضلاب خام، ۸۳٪ آمونیوم در تماس با جلبک کلرلا ولگاریس حذف شد (۲۰). این مطالعات نشان می‌دهند که آمونیوم به‌عنوان منبع نیتروژن برای جلبک‌ها استفاده می‌شود و همچنین دما و زمان بر روی تجزیه آمونیوم مؤثر هستند. بحث در خصوص دما در اهداف این مطالعه نمی‌باشد، اما افزایش دما، کارایی حذف آلاینده‌های مورد هدف را بیشتر می‌کند، بنابراین پیشنهاد می شود دما به‌عنوان یک فاکتور بسیار مؤثر در مطالعات مربوط به حذف آلاینده‌ها توسط جلبک نیز مدنظر قرار بگیرد؛ به‌طوری که در مطالعه جانسن و همکاران، کارایی حذف فسفر بین ۷۰-۹۵٪ در تابستان و ۲۵٪ در زمستان گزارش شد (۲۱). در مطالعه حاضر راندمان حذف نیتروژن کل و فسفر کل در مقایسه با اکسیژن مورد نیاز شیمیایی بسیار پایین بود که علت آن را می‌توان در مطالعه چانگ و همکاران توضیح داد که راندمان حذف نیتروژن کل در صورتی که میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی بسیار بالا باشد، کمتر است (۲۲). در مطالعه لیت و همکاران که در مورد اثر ریزجلبک‌ها در تصفیه مخلوط فاضلاب شهری و صنعتی انجام شد، حذف فسفات ۴۰-۶۰٪ و حذف آمونیاک (NH_3) برابر ۱۰۰٪ بود. نتایج این مطالعه نشان داد که حذف آمونیاک (NH_3) در عدم وجود هوا، باعث کاهش در نسبت نیتروژن به فسفر و همچنین جذب مواد مغذی و تولید بیومس می‌شود (۲۳).

نتیجه گیری

در این مطالعه که اثر ریزجلبک کلرلا ولگاریس در حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و مواد مغذی نیتروژن و فسفر کل بررسی شد، شرایط مناسب برای رشد جلبک و حذف مواد مغذی از جمله دمای بهینه رشد ۲۵ درجه سانتی‌گراد، زمان ۱۰ روز و pH خنثی (۷-۸/۵) در نظر گرفته شد. حذف مواد مغذی از فاضلاب توسط جلبک‌ها، به‌عنوان یک روش دوست‌دار محیط زیست و کاربردی برای تولید بیومس بسیار مؤثر بوده و از طرفی بیومس تولیدی می‌تواند برای تولید متان، کمپوست، تولید سوخت‌های مایع، خوراک دام و تولید مواد شیمیایی استفاده گردد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان طرح تحقیقاتی مصوب به شماره ۹۸۰۹۱۲ می‌باشد. بدین‌وسیله از تمامی اساتید و دوستانی که ما را در نگارش این پژوهش یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Mayhead E, Silkina A, Llewellyn CA, et al. Comparing nutrient removal from membrane filtered and unfiltered domestic wastewater using Chlorella vulgaris. Biology. 2018;7(1):12.
2. Ruiz J, Álvarez P, Arbib Z, et al. Effect of nitrogen and phosphorus concentration on their removal kinetic in treated urban wastewater by Chlorella vulgaris. International journal of phytoremediation. 2011;13(9):884-96.
3. Fataei E, Torabian A, Hosseinzadeh Kalkhoran M, et al. Selection of Optimum Municipal Wastewater Treatment Process Using AHP (Case Study: Ardebil, Tabriz, and Uremia). Health journal. 2014; 4(3): 260-272 (Persian).
4. Akpor O, Otohinoyi D, Olaolu D, et al. Pollutants in wastewater effluents: impacts and remediation processes. International Journal of Environmental Research and Earth Science. 2014;3(3):050-9.
5. Delgadillo-Mirquez L, Lopes F, Taidi B, et al. Nitrogen and phosphate removal from wastewater with a mixed microalgae and bacteria culture. Biotechnology Reports. 2016;11:18-26.
6. Boelee N, Temmink H, Janssen M, et al. Nitrogen and phosphorus removal from municipal wastewater effluent using microalgal biofilms. Water research. 2011;45(18):5925-33.
7. Paserh, F., Borghei, S. M., Hosseini, S. N., et al. Effective removal of phosphorus from sewage using a modified biological method. Journal of Environmental Science and Technology, 2017; 19(4): 1-13.
8. Akhavan-mahdavi M, Gheshlaghi R, Saghi G, et al. Wastewater treatment and biodiesel production using microalgae Obtained from municipal wastewater on a semi-industrial scale: Case study of Mashhad effluent. Iranian Journal of chemistry and chemical engineering. 2020; 38(2): 305-319 (Persian).
9. Ruiz, J., Alvarez, P., Arbib, Z., et al. Effect of nitrogen and phosphorusconcentrationontheirremovalkineticintreated urban wastewater by Chlorella vulgaris. International journal of phytoremediation, 2011;13(9): 884-896.
10. Ahmadpour N, sayadi MH, Fallahi M, et al. Removal of phosphate by microalgae from the effluent Municipal wastewater in laboratory conditions. Tarbiat modarres journal of biotechnology, 2016; 6(2): 49-54 (Persian).
11. Mayhead, E., Silkina, A., Llewellyn, C. A., et al. Comparing nutrient removal from membrane filtered and unfiltered domestic wastewater using Chlorella vulgaris. Biology, 2018; 7(1), 12.
12. Kim, J., Lingaraju, B. P., Rheaume, R., et al. Removal of ammonia from wastewater effluent by Chlorella vulgaris. Tsinghua science and technology, 2010; 15(4), 391-396.
13. Colak O, Kaya Z. A study on the possibilities of biological wastewater treatment using algae. Doga Biyolji Serisi. 1988;12(1):18-29.
14. Sepehri A, Sarrafzadeh M-H, Avateffazeli M. Interaction between Chlorella vulgaris and nitrifying-enriched activated sludge in the treatment of wastewater with low C/N ratio. Journal of Cleaner Production. 2020;247:119164.
15. Aziz M, Ng W. Feasibility of wastewater treatment using the activated-algae process. Bioresource Technology. 1992;40(3):205-8.
16. Khosravi M, Hasani AH, Khani MR, et al. Synthetic Analysis of Nitrogen and Phosphorous Removal from Municipal Wastewater Using Sequencing Batch Bio-film Reactor with Fixed Bed. 2016; 17(4): 59-73.
17. Aslan S, Kapdan IK. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. Ecological engineering. 2006;28(1):64-70.
18. Wang Y, Guo W, Yen H-W, et al. Cultivation of Chlorella vulgaris JSC-6 with swine wastewater for simultaneous nutrient/COD removal and carbohydrate production. Bioresource technology. 2015;198:619-25.
19. Martınez M, Sánchez S, Jimenez J, et al. Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga Scenedesmus obliquus. Bioresource technology. 2000;73(3):263-72.
20. Wang L, Min M, Li Y, et al. Cultivation of green algae Chlorella sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant. Applied biochemistry and biotechnology. 2010;162(4):1174-86.
21. Larsdotter K, la Cour Jansen J, Dalhammar G. Phosphorus removal from wastewater by microalgae in Sweden–a year-round perspective. Environmental technology. 2010;31(2):117-23.
22. Chen C-Y, Kuo E-W, Nagarajan D, et al. Cultivating Chlorella sorokiniana AK-1 with swine wastewater for simultaneous wastewater treatment and algal biomass production. Bioresource technology. 2020;302:122814.
23. de Souza Leite L, Hoffmann MT, Daniel LA. Microalgae cultivation for municipal and piggery wastewater treatment in Brazil. Journal of Water Process Engineering. 2019;31:100821.