



University of Tehran

## Possible application of alcohol factory effluent and its removed suspended solids at different concentrations for production of green microalga *Scenedesmus quadricauda*

Milad Masoudi<sup>1</sup> | Omidvar Farhadian<sup>2\*</sup> | Eisa Ebrahimi Dorcheh<sup>3</sup>

1. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: [m.masoudi@na.iut.ac.ir](mailto:m.masoudi@na.iut.ac.ir)
2. Corresponding author, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: [omfarhad@iut.ac.ir](mailto:omfarhad@iut.ac.ir)
3. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: [ebrahimi@iut.ac.ir](mailto:ebrahimi@iut.ac.ir)

### ARTICLE INFO

#### Article type:

Research Article

#### Article History:

Received: 25 February 2025

Revised: 08 April 2025

Accepted: 28 May 2025

Published online: 08 July 2025

#### Keywords:

Alcohol effluent,  
Biomass,  
Microalgae,  
Suspended solids,  
Water quality.

### ABSTRACT

This study investigated the green microalga *Scenedesmus quadricauda* in alcohol factory effluent to determine cell density, growth, algal biomass, and bioremediation potential. The experiment carried out with seven treatments including; effluent at concentrations of 1%, 5% and 10% (v/v), effluent without suspended solids at the same concentrations 1%, 5% and 10%, and a control treatment using BBM medium. Each treatment was conducted in triplicate over 14 days in a completely randomized design. Algal cell density and growth rates ranged from  $1.03 \times 10^6$  to  $5.85 \times 10^5$  cells/mL and from 0.039 to 0.153 per day, respectively. The highest biomass production of 4777.5 mg/L was observed in the 1% effluent treatment, while biomass ranged from 1704.2 to 4198.6 mg/L in other treatments. At higher concentrations (5% and 10%), total suspended solids had no significant effect on biomass production; however, at a 1% concentration, the treatment containing suspended solids showed higher biomass production ( $P < 0.05$ ). Significant removal of phosphate and nitrate occurred across all treatments ( $P < 0.05$ ). The highest nitrate (96.45%) and phosphate (90.83%) removal efficiencies were observed in the 1% effluent treatment without suspended solids. The highest BOD<sub>5</sub> removal efficiency (95.01%) and the highest COD removal efficiency (98.13%) both in was achieved in the 10% alcohol effluent treatment.

**Cite this article:** Masoudi, M., Farhadian, O., Ebrahimi Dorcheh, E. (2025). Possible application of alcohol factory effluent and its removed suspended solids at different concentrations for production of green microalga *Scenedesmus quadricauda*. *Journal of Fisheries*, 78 (2), 135-147. DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2025.391120.1451>



© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2025.391120.1451>



دانشگاه تهران

## شیلات، مجله منابع طبیعی ایران

سایت نشریه: <https://jfisheries.ut.ac.ir>

شاپا الکترونیکی: ۷۸۰۹-۲۴۲۳

# امکان استفاده از پساب کارخانه الکل سازی و مواد جامد حذف شده آن در غلظت های مختلف برای تولید ریز جلبک سبز *Scenedesmus quadricauda*

میلاذ مسعودی<sup>۱</sup> | امیدوار فرهادیان<sup>۲\*</sup> | عیسی ابراهیمی درجه<sup>۳</sup>

۱. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: [m.masoudi@na.iut.ac.ir](mailto:m.masoudi@na.iut.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: [omfarhad@iut.ac.ir](mailto:omfarhad@iut.ac.ir)

۳. گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: [ebrahimi@iut.ac.ir](mailto:ebrahimi@iut.ac.ir)

## چکیده

## اطلاعات مقاله

### نوع مقاله:

پژوهشی

### تاریخ های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷

پروورش ریزجلبک *Scenedesmus quadricauda* در عصاره پساب کارخانه الکل سازی با هدف بررسی اثرات جامدات معلق بر تراکم سلولی، رشد و زیست توده جلبکی و ارزیابی پالایش زیستی انجام شد. آزمایش با ۷ تیمار شامل: تیمارهای پساب الکلی در غلظت های ۱، ۵ و ۱۰ درصد (حجم/حجم) و پساب الکلی بدون جامدات معلق ۱، ۵ و ۱۰ درصد و تیمار شاهد BBM هر کدام در ۳ تکرار برای یک دوره ۱۴ روزه در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تراکم جلبکی و رشد آن به ترتیب دامنه ای از  $1.0 \times 10^6$  تا  $5.85 \times 10^5$  سلول بر میلی لیتر و  $0.153 - 0.39$  در روز را داشت. بیشترین مقدار زیست توده با  $4777/5$  میلی گرم در لیتر در تیمار پساب الکلی ۱ درصد به دست آمد و در سایر تیمارها دامنه ای از  $4198/6 - 1704/2$  میلی گرم بر لیتر داشت. در غلظت زیاد (۵ و ۱۰ درصد) تأثیر جامدات معلق بر زیست توده قابل توجه نبود و در غلظت ۱ درصد دارای جامدات معلق زیست توده بیشتری داشت. حذف نیترات و فسفات به طور معنی داری در تمام تیمارها انجام شد. بیشترین درصد حذف نیترات و فسفات در تیمار الکلی ۱ درصد بدون جامدات معلق به ترتیب  $96/45$  درصد و  $90/83$  درصد به دست آمد. بیشترین حذف  $BOD_5$  ( $95/01$  درصد) و بیشترین حذف COD ( $98/13$  درصد) هر دو در تیمار پساب الکلی ۱۰ درصد به دست آمد.

### کلیدواژه:

پساب الکلی،

جامدات معلق،

ریزجلبک،

زیست توده،

کیفیت آب.

استاد: مسعودی؛ میلاذ، فرهادیان؛ امیدوار، ابراهیمی درجه؛ عیسی (۱۴۰۴). امکان استفاده از پساب کارخانه الکل سازی و مواد جامد حذف شده آن در غلظت های مختلف برای تولید ریز

جلبک سبز *Scenedesmus quadricauda*. نشریه شیلات، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۸ (۲)، ۱۴۷-۱۳۵. DOI:

<http://doi.org/10.22059/jfisheries.2025.391120.1451>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jfisheries.2025.391120.1451>



## ۱. مقدمه

ریز جلبک ها از طریق فتوسنتز و تثبیت نیتروژن به عنوان یکی از اجزای اصلی چرخه کربن (Sigeo, 2005; Falkowski and Raven, 2013) و چرخه نیتروژن (Fowler *et al.*, 2013) عمل می کنند. حذف عناصر موجود در پساب ها مثل نیترات و فسفات با استفاده از ریز جلبک ها، به دلیل مزایایی همچون تولید و افزایش زیست توده ارزشمند، بازچرخش مواد مغذی به ویژه نیتروژن و فسفر، عدم تولید آلودگی، کارایی مناسب و مقرون به صرفه بودن، فناوری ساده و کشت آسان همواره مورد توجه بوده اند (Voltolina *et al.*, 2004). رشد جلبک ها در آب های غنی از مواد مغذی مانند پساب ها یک پدیده عمومی است که در حذف انواع مواد معدنی و مواد حاصل از فعالیت های متابولیکی موجودات زنده، نقش بسیار مهمی دارد. ریز جلبک ها، توانایی بسیار مناسبی در پالایش زیستی پساب های حاصل از فعالیت های انسان در بخش های صنعتی، کشاورزی و شهری دارند. پالایش زیستی پساب ها با بهره گیری از ریز جلبک ها بسیار ارزان و کارآمد است و مطالعات نشان داده است که در حذف نیترات و فسفات، مواد معدنی و فلزات آلاینده مانند سرب و کادمیوم پتانسیل بسیار مناسبی دارند (Tam and Wong, 1989; Voltolina *et al.*, 2004; Heydari *et al.*, 2011; Farhadian and Heydari Gojani, 2020).

پساب های تولیدی در بخش های مختلف کشاورزی و صنعتی حاصل از منابع غنی و سرشار از مواد آلی مانند قندها و اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه و مواد معدنی مانند نیترات و فسفات هستند. رشد ریز جلبک ها روی این پساب ها باعث تولید زیست توده ریز جلبکی ارزشمند می شود که کاربردهای متنوعی دارد. برای مثال، پساب کارخانه های مواد غذایی و کارخانه های عمل آوری محصولات مانند کارخانه قند و الکل از جمله پساب های قابل استفاده برای محیط کشت های جلبکی اند (Martinez *et al.*, 2000; Oswald and Gotass, 1995). ریز جلبک ها با تصفیه پساب ها و توانایی کاهش نیتروژن، فسفات، فلزات سنگین و سایر ترکیبات سمی و تأمین انرژی خود از نور خورشید عملکرد بهتری در مقایسه با سایر روش های تصفیه پساب ها دارند. ریز جلبک ها با افزایش زیست توده در محیط دارای پساب، کاهش قابل ملاحظه ای در فسفات، نیتروژن و تقاضای اکسیژن بیوشیمیایی و شیمیایی دارند (Plöhn *et al.*, 2021).

در صنعت الکل سازی ماده اولیه تولید الکل، محصولات قندی اند. ملاس به عنوان یکی از مواد اولیه در کارخانه های الکل سازی، پسابی با pH اسیدی، رنگ قهوه ای تیره، مقدار COD زیاد (حدود ۹۰ هزار میلی گرم در لیتر) و مواد سمی مانند فنل ها را داراست. همچنین، رنگ پساب دارای رنگدانه مقاوم ملانوییدین به رنگ قهوه ای تیره است که قبل از دفع ایمن در محیط نیاز به پیش تصفیه دارد (Fitzgibbon *et al.*, 1995). ملانوییدین پلی مری طبیعی با وزن ملکولی زیاد و دارای نیتروژن است و حاصل واکنش بین گروه های آمینو (در ترکیب اسید آمینه) و کربونیل (در ترکیب قند) از مواد آلی است (Fujita *et al.*, 2000).

پساب کارخانه های تولیدی الکل محصول جانبی ستون های تقطیر الکل با حدود ۱۰ تا ۱۵ برابر حجم الکل تولیدی است. این پساب بار آلی زیادی دارد و تمایل بیشتر به فاز بخار داشته و به دلیل تشکیل پیوند هیدروژنی با آب می تواند از خاک عبور کرده و وارد آب های زیرزمینی شده و به منابع آبی نفوذ کند. همچنین، پساب صنعت الکل سازی، به دلیل استفاده از ملاس به عنوان خوراک، دارای مواد آلی زیاد BOD و COD بسیار زیاد، مواد سمی نظیر ترکیبات آروماتیک به ویژه فنل ها و pH اسیدی به شدت آلوده کننده محیط زیست هستند. دفع مستقیم این پساب ها در خاک باعث کاهش کیفیت خاک و نابودی محصولات کشاورزی می شود. تخلیه و رها سازی این پساب ها در محیط های آبی حیات آبریان را به خطر انداخته و بقا و تولید مثل آنها را (با توجه به رنگ قهوه ای پایدار) تهدید می نماید. مسئله تصفیه پساب واحدهای تولید الکل همواره به عنوان یک معضل چالش جهانی به شمار می آید (Pazouki *et al.*, 2006).

جامدات نامحلول و معلق در پساب کارخانه تولید الکل معمولاً شامل مخمرهای مصرفی در فرآیند تخمیر به صورت جامدات معلق، جامدات معلق معمولاً با اندازه های کوچک، پروتئین ها و چربی های حاصل از دانه های گیاهی یا مخمرها و مواد حاصل از مواد اولیه گیاهی با ساختار پیچیده و غیر قابل حل مانند سلولز، همی سلولز و لیگنین هستند (Satyawali and Balakrishnan, 2008).

اثرات منفی جامدات معلق پساب ها به ویژه در غلظت های زیاد و در محیط های آبی با عمق زیاد و یا در کشت های انبوه بر کاهش شدت نور بسیار اهمیت دارد. همچنین جامدات معلق با رسوب روی سطح جلبک ها و کاهش تبادل گازها مانند اکسیژن و

دی اکسید کربن می تواند بر کارایی فرآیند فتوسنتز تأثیر منفی داشته باشد (Boyd, 2020). از سوی دیگر، تأثیرات مثبت جامدات معلق را می توان در تولید و تحریک برخی متابولیت های ثانویه از طریق ایجاد تنش بر سلول های جلبکی بیان کرد (Huang et al., 2024). این تحقیق با هدف بررسی نقش جامدات معلق پساب کارخانه الکل سازی در رشد و زیست توده ریزجلبک سبز *S. quadricauda* و بررسی نقش پالایشگری آن انجام شد. آگاهی و دانش در زمینه جامدات معلق می تواند بر مدیریت کشت های جلبکی به لحاظ تأمین شدت نور مناسب، کدورت مناسب، طراحی سیستم های کشت و تولید متابولیت های ثانویه ارزشمند مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲. روش شناسی پژوهش

### ۲-۱. جمع آوری پساب کارخانه الکل سازی

پساب کارخانه اتانول از کارخانه پارس الکل اقلید با ماده اولیه ملاس، واقع در استان فارس، کیلومتر ۵ جاده سورمق-اقلید با طول جغرافیایی ۵۲ درجه، ۴۶ دقیقه و ۴۱ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه، ۵۹ دقیقه و ۳۹ ثانیه جمع آوری شد. جمع آوری پساب تصفیه نشده از خروجی کارخانه با نمونه برداری مقدار ۱۰ لیتر در آبان ماه سال ۱۴۰۲ انجام شد.

### ۲-۲. روش انجام آزمایش

حجم اولیه جلبکی گونه *S. quadricauda* از آزمایشگاه کشت جلبک دانشگاه صنعتی اصفهان تأمین شد. ریزجلبک سبز *S. quadricauda* در پساب خام اولیه تصفیه شده پس از رقیق سازی در غلظت های آزمایشی مورد نظر ۱، ۵ و ۱۰ درصد در دو حالت دارای جامدات معلق و بدون جامدات معلق (جدول ۱) به مدت ۱۴ روز کشت داده شد. به طور کلی ۷ تیمار شامل محیط کشت های BBM (شاهد) و تیمارهای پساب الکلی به دو صورت، سه تیمار دارای جامدات معلق و سه تیمار بدون جامدات معلق در سه غلظت مورد نظر ۱ درصد (۱۰ میلی لیتر در لیتر)، ۵ درصد (۵۰ میلی لیتر در لیتر) و ۱۰ درصد (۱۰۰ میلی لیتر در لیتر)، با اضافه کردن به ارلن مایرهای شیشه ای ۵ لیتری تهیه شد. سپس pH آغازین تمامی کشت های جلبکی در محدوده ۶/۸ به استفاده از محلول های غلیظ NaOH و HCl تنظیم شد. همه نمونه ها قبل از اضافه کردن حجم جلبکی به مدت ۱۵ دقیقه در دستگاه اتوکلاو (مدل ریحان طب کلاس S) با دمای ۱۲۱ درجه سانتی گراد اتوکلاو شدند. پس از اتوکلاو شدن و سرد شدن نمونه ها میزان ۵ درصد حجمی استوک اولیه جلبکی *S. quadricauda* با غلظت ۲×۱۶ سلول در میلی لیتر اضافه شد و کشت های حاصل در شرایط نوری مناسب تأمین شده از لامپ فلورسنت (۶۰ میکرو مول فوتون بر متر مربع بر ثانیه) و هوادهی ملایم با دوره نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی قرار گرفت. دمای آب کشت های جلبکی در دوره آزمایش ۲۵±۲ درجه سانتی گراد به طور ثابت کنترل گردید. آزمایش در یک دوره ۱۴ روزه، در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد.

جدول ۱- تیمارهای مورد آزمایش در کشت جلبک *S. quadricauda* در این تحقیق.

| تیمار             | شاهد  | پساب الکلی بدون جامدات معلق | پساب الکلی دارای جامدات معلق |
|-------------------|-------|-----------------------------|------------------------------|
| غلظت تیمار (درصد) | BBM   | ۱ ۵ ۱۰                      | ۱ ۵ ۱۰                       |
| شماره تیمارها     | ۱ ۲ ۳ | ۴                           | ۵ ۶ ۷                        |

### ۲-۳. شمارش سلول ها، محاسبه رشد ویژه و زیست توده جلبکی

شمارش سلول های ریزجلبک *S. quadricauda* روزانه با روش پیشنهادی Martinez و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از لام هموسیتمتر (مشخصات لام: عمق ۰/۱ میلی متر، مساحت کوچک ترین هر مربع روی لام ۰/۰۲۵ میلی متر مربع و تعداد مربعات بزرگ ۲۵ عدد که هر کدام شامل ۱۶ مربع کوچک) انجام شد. میزان رشد ویژه با رابطه زیر محاسبه شد (Heydari et al., 2011).

$$SG = (\ln N_2 - \ln N_1) / \Delta t$$

در این رابطه؛ N2: تعداد سلول های ریزجلبک در انتهای آزمایش، N1: تعداد سلول های ریزجلبک در ابتدای آزمایش و  $\Delta t$ : تغییرات زمان بر حسب روز هست.

برای اندازه گیری زیست توده خشک جلبکی در تیمارهای آزمایشی، از هر کدام از کشت ها یا واحدهای آزمایشی ۱۰۰ میلی لیتر محلول جلبکی برداشته شد و با کاغذهای صافی غشایی (۰/۴۵ میکرون) از قبل توزین شده، فیلتر گردید. کاغذ صافی حاوی جلبک های فیلتر شده در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد و مدت زمان ۴ ساعت خشک شد و پس از قرار گرفتن در دیسیکاتور و هم دما شدن با محیط آزمایشگاه، وزن خشک اندازه گیری و با به دست آوردن اختلاف وزن حاصل شده، زیست توده خشک جلبک محاسبه شد. برای محاسبه زیست توده خشک از رابطه زیر استفاده شد (Heydari et al., 2011).

$$DW \text{ (mg/ml)} = ((DW_A - DW_C)/V) \times 1000$$

در این رابطه؛  $DW_A$ : وزن خشک کاغذ صافی و جلبک،  $DW_C$ : وزن خشک کاغذ صافی قبل از فیلتر کردن جلبک و  $V$ : حجم نمونه اولیه از محلول جلبکی فیلتر شده می باشد.

## ۲-۴. اندازه گیری نیتрат، فسفات، BOD و COD

مقادیر نیترات با روش رنگ سنجی و با استفاده از معرف سولفانیلیک اسید و ethylenediamine N-(1-naphthyl) و در طول موج ۵۴۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل نانومینا UV-VIS UVISNM98) اندازه گیری شد. مقدار فسفات نیز با استفاده از روش رنگ سنجی با استفاده از معرف مولیبدات آمونیم و تشکیل کمپلکس فسفومولیبدات به رنگ آبی در طول موج ۸۸۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل JENWAY 6300) اندازه گیری شد (Baird et al., 2017).

مقدار اکسیژن خواهی بیوشیمیایی پنج روزه یا  $BOD_5$  با اضافه کردن مقادیر معین پساب به محلول آب رقیق سازی در ظروف ۳۰۰ میلی لیتری و تیره رنگ وینکلر اضافه شد. اندازه گیری مقدار اکسیژن محلول پس از ۵ روز نگهداری در انکوباتور با دمای ثابت ۲۰ درجه سانتی گراد؛ با اندازه گیری توسط اکسیژن متر در ابتدا و انتهای دوره ۵ روزه برآورد گردید. مقدار اکسیژن خواهی شیمیایی یا COD با استفاده از معرف های دی کرومات پتاسیم و سولفات نقره و با قرار گرفتن در راکتور COD به مدت ۲ ساعت و سپس با قرائت مقدار جذب نمونه ها در طول موج ۶۰۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر تعیین شد (Baird et al., 2017).

## ۲-۵. تجزیه و تحلیل آماری داده ها

این تحقیق با طراحی آزمایش با تیمارهای مختلف هر کدام با سه تکرار در قالب یک طرح کاملاً تصادفی به صورت تیمارهای مستقل با ۷ تیمار انجام شد (جدول ۱). تجزیه و تحلیل آماری داده ها با تجزیه واریانس یک طرفه به منظور مقایسه میانگین ها در بین تیمارها انجام شد. همچنین سطح معنی دار بودن با استفاده از آزمون دانکن در سطح خطای ۵ درصد و همچنین آزمون T Student جهت مقایسه نیترات و فسفات قبل از آزمایش و پس از آزمایش برای تیمارها به طور زوج مستقل انجام شد. کلیه آزمون های آماری با استفاده از نرم افزار آماری SPSS انجام شد. نمودارها نیز با نرم افزار Excel رسم شدند.

## ۳. یافته های پژوهش

### ۳-۱. مشخصات پساب خام

برخی از مشخصات اندازه گیری شده پساب خام کارخانه الکل سازی مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ ارائه شده است. میزان جامدات معلق و جامدات محلول به ترتیب برای پساب خام الکل سازی ۷۰۶۵۹/۲ و ۸۱۴۰/۸ میلی گرم بر لیتر بود. در پساب الکلی جامدات معلق به طور کیفی شامل موارد آلی معلق بود و درصد ذرات خاک و ماسه و یا سایر ذرات بسیار اندک ارزیابی شد. طبق استانداردهای ملی و جهانی پساب های با این میزان مواد جامد معلق از پساب های با آلودگی شدید طبقه بندی می شوند. همچنین از نظر مواد جامد محلول می توان این پساب های الکلی را به عنوان پساب های صنعتی در نظر گرفت که معمولاً آب مصرفی آنها از

منابع شور و نسبتاً شور دریاچه‌ها یا آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. براساس استانداردهای جهانی و ملی نباید چنین پساب‌هایی در محیط‌زیست تخلیه شوند و نیاز به تصفیه و یا پالایش دارند. مقادیر نیترات و فسفات کل به‌ترتیب  $952/40$  و  $138/20$  میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. میزان  $BOD_5$  و COD در پساب الکل‌سازی به‌ترتیب  $36200$  و  $101156$  میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. میزان pH  $5/15$  بود. نتایج پساب خام نشان می‌دهد که پساب‌های کارخانه الکل‌سازی پتانسیل استفاده به‌عنوان محیط کشت غنی از کربن، نیتروژن و فسفات و سایر مواد رشد را برای پرورش ریزجلبک *S. quadricauda* را دارد. تنها مشکل چنین پساب‌هایی مربوط به مقدار pH اسیدی آنها است که باید در زمان پرورش جلبک مورد توجه قرار گیرد و تنظیم شود تا پرورش جلبک در شرایط کاملاً مناسب انجام شود.

**جدول ۲- میانگین ( $\pm$  خطای استاندارد) برخی مشخصات اندازه‌گیری شده پساب‌های خام الکل‌سازی در این تحقیق. \* بدون واحد اندازه‌گیری.**

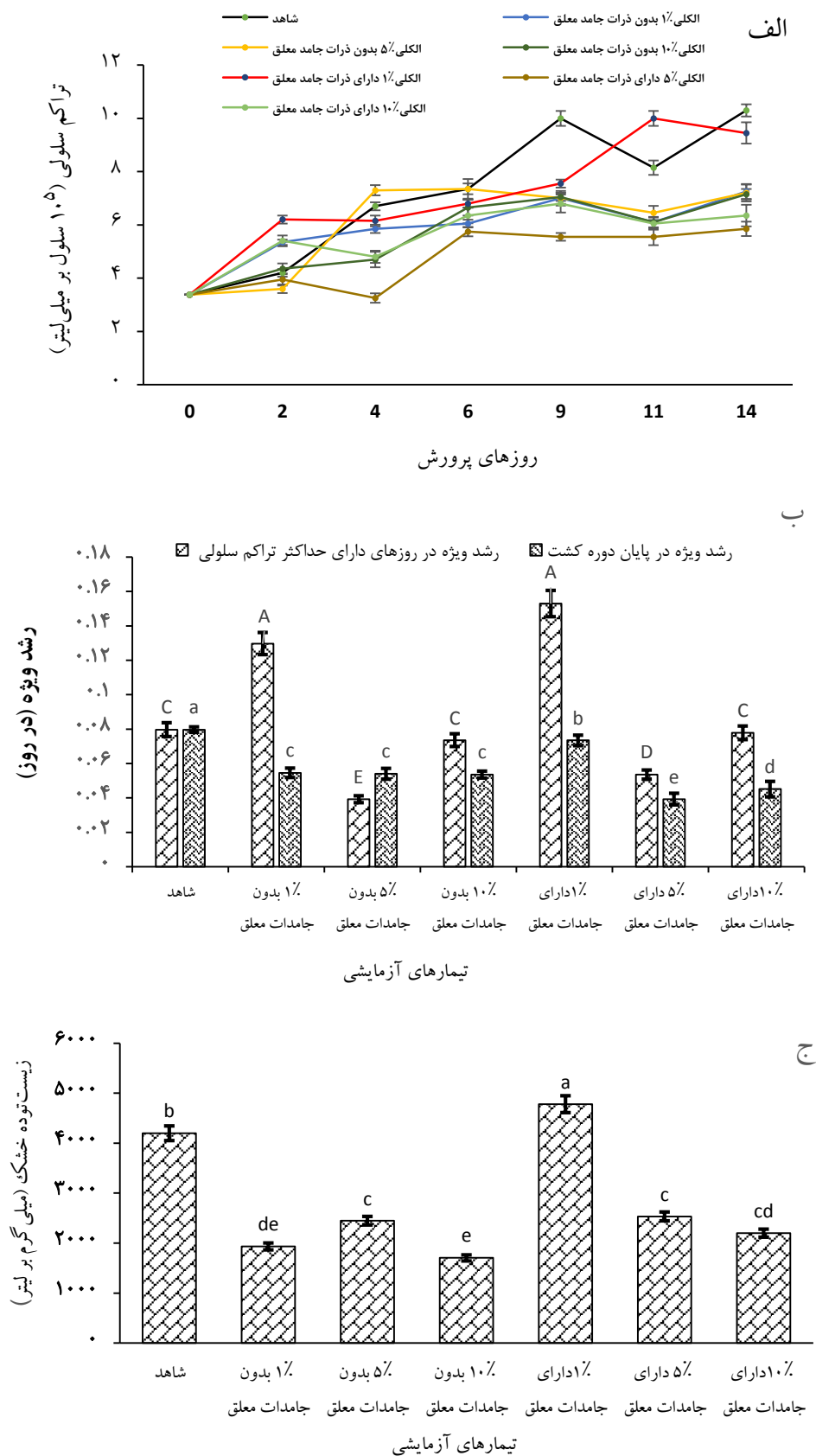
| مشخصات اندازه گیری شده (میلی گرم بر لیتر)     | پساب خام الکلی سازی |
|-----------------------------------------------|---------------------|
| جامدات معلق (TSS)                             | ۷۰۶۵/۳۵۳±۲/۲۶       |
| جامدات محلول (TDS)                            | ۸۱۴۰/۴۰۷±۸/۰۴       |
| نیترات                                        | ۹۵۲/۴۷±۴/۶۲         |
| فسفات کل                                      | ۱۳۸/۶±۲/۹۱          |
| تقاضای اکسیژن خواهی زیستی (BOD <sub>5</sub> ) | ۳۶۲۰۰±۱۸۱۰          |
| تقاضای اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)             | ۱۰۱۱۵۶ ±۵۰۵۷/۸      |
| pH*                                           | ۵/۵ ±۰/۲۶           |

### ۳-۲. تراکم سلولی، میزان رشد ویژه و زیست توده جلبکی

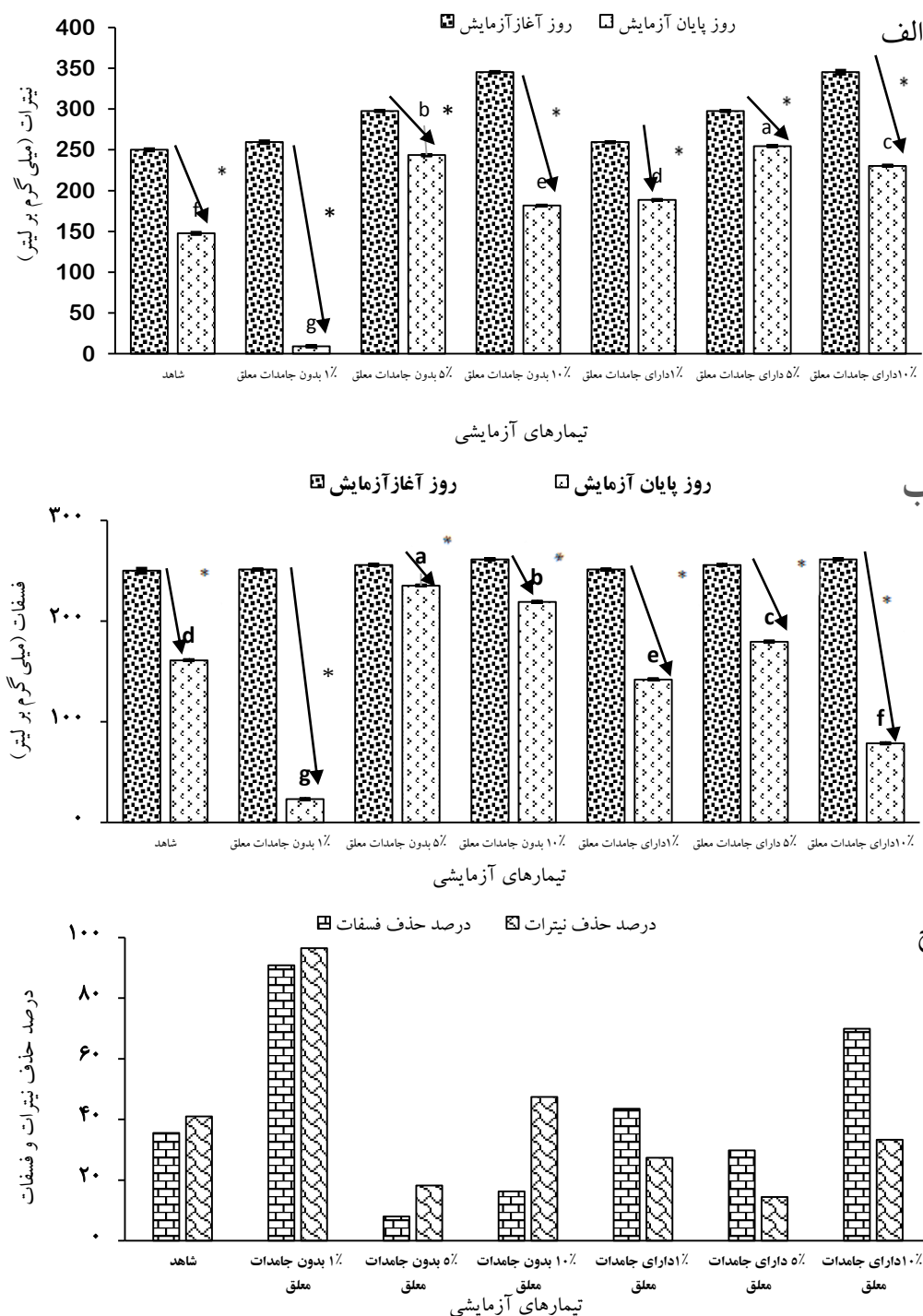
نتایج مربوط به تراکم سلولی جلبک *S. quadricauda* در طی روزهای مختلف آزمایش در شکل ۱-الف ارائه شده است. نتایج نشان داد که تراکم سلولی ریزجلبک *S. quadricauda* در تیمارهای مختلف، شاهد، پساب الکلی بدون جامدات معلق ۱، ۵ و ۱۰ درصد و پساب الکلی دارای جامدات معلق ۱، ۵ و ۱۰ درصد به ترتیب  $1.0 \times 10^6$ ،  $7.35 \times 10^5$ ،  $5.85 \times 10^5$ ،  $9.45 \times 10^5$ ،  $8.45 \times 10^5$  و  $7.15 \times 10^5$  و  $6.8 \times 10^5$  سلول بر میلی لیتر است. این مقادیر به ترتیب مربوط به روزهای ۱۴، ۶، ۱۴، ۶، ۱۴ و ۹ از دوره پرورش اندازه گیری شد. میزان رشد ویژه ریزجلبک *S. quadricauda* بر مبنای شمارش سلولی در تیمارهای مختلف آزمایشی محاسبه و در شکل ۱-ب ارائه شده است. نتایج نشان داد که میزان رشد ویژه در روز ۱۴ در تیمارهای آزمایش دامنه‌ای از  $0.153$  تا  $0.39$  در روز دارد. همچنین میزان رشد ویژه محاسبه شده برای روزهایی با حداکثر تراکم سلولی در تیمارهای مختلف آزمایشی دامنه‌ای از  $0.153$  تا  $0.39$  در روز داشت. میزان زیست توده خشک ریزجلبک *S. quadricauda* در تیمارهای مختلف آزمایشی در مرحله پایان دوره آزمایش (روز ۱۴) در شکل ۱-ج بیان شده است. نتایج نشان داد که میزان زیست توده خشک در تیمارهای مختلف دامنه‌ای از  $4.777/5$  تا  $17.04/2$  میلی گرم بر لیتر دارد. بیشترین میزان زیست توده در تیمار پساب الکلی ۱ درصد و کمترین میزان زیست توده در تیمار پساب الکلی ۱۰ درصد بدون جامدات نامحلول به دست آمد. در غلظت زیاد (۵ و ۱۰ درصد) تأثیر جامدات معلق بر زیست توده قابل توجه نبود اما در غلظت ۱ درصد تیمار دارای جامدات معلق، زیست توده بیشتری حاصل گردید ( $P < 0.05$ ).

### ۳-۳. میزان تغییرات نترات و فسفات

نتایج نشان داد که کاهش میزان نیترات از محدوده ۲۴/۳۴-۲۵۰ میلی گرم بر لیتر در آغاز پرورش به محدوده ۶۲/۲۵۴-۹/۱۹ میلی گرم بر لیتر در پایان دوره پرورش جلبک کاهش یافت (شکل ۲-الف). همچنین کاهش میزان فسفات از محدوده ۳۵/۲۶۱-۲۵۰ میلی گرم بر لیتر به محدوده ۲۶/۲۳۵-۲۳/۰۲ میلی گرم بر لیتر کاهش داشت (شکل ۲-ب). حذف فسفات و نیترات به طور معنی داری در تمام تیمارها انجام شد ( $P < 0.05$ ). بیشترین درصد حذف نیترات و فسفات در تیمار الکلی ۱ درصد بدون جامدات معلق به ترتیب ۴۵/۹۶ درصد و ۸۳/۹۰ درصد به دست آمد.



**شکل ۱-** نمودارهای میانگین ( $\pm$  خطای استاندارد) تراکم سلولی (الف)، میزان رشد ویژه (ب) و میزان زیست توده (ج) ریز جلبک *S. quadricauda*. میانگین هایی که دارای حداقل یک حرف متفاوت هستند، تفاوت معنی دار با سایر تیمارها دارند ( $P < 0.05$ ).



شکل ۲- نمودارهای میانگین ( $\pm$  خطای استاندارد) تغییرات نیترات (الف)، تغییرات فسفات (ب) و بازده حذف فسفات و نیترات (ج)

در پساب تیمارهای مختلف پس از پالایش زیستی توسط ریزجلبک *S. quadricauda* در پایان کشت.

در نمودارهای الف و ب مقایسه نیترات و فسفات قبل از آزمایش و پس از آزمایش با آزمون T-student با هم مقایسه شده‌اند و علامت \* نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار است و میانگین‌ها در روز پایان آزمایش فقط با آزمون دانکن مقایسه شده‌اند که حروف متفاوت وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارها را نشان می‌دهد ( $P < 0.05$ ).

### ۳-۴. تغییرات BOD و COD

تغییرات BOD<sub>5</sub> و COD تیمارهای مختلف پساب در جدول ۳ ارائه شده است. میزان درصد حذف BOD در تیمارهای پساب الکلی دامنه از ۹۸/۶۳-۹۵/۰۱ درصد بود. بیشترین مقدار BOD پس از کشت در تیمار پساب الکلی ۱۰ درصد و کمترین مقدار آن در

تیمار پساب الکی ۱ درصد بدون جامدات نامحلول به دست آمد. درصد حذف COD در تیمارهای پساب الکی دامنه از ۹۸/۱۳-۹۳/۶۳ درصد بود. بیشترین مقدار COD پس از کشت در تیمار پساب الکی ۱۰ درصد و کمترین مقدار آن در تیمار پساب الکل ۱ درصد بدون جامدات معلق حاصل شد.

جدول ۳- میانگین ( $\pm$  خطای استاندارد) تغییرات BOD<sub>5</sub> و COD در پساب تیمارهای مختلف پس از پالایش زیستی توسط ریز جلبک *S. quadricauda*

| نوع پساب         | غلظت پساب (درصد) | ابتدای کشت (میلی گرم بر لیتر) | انتهای کشت (میلی گرم بر لیتر) | بازده حذف (درصد)   |
|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| BOD <sub>5</sub> | ۱                | ۳۶۲±۱۸/۰۱ <sup>f</sup>        | ۱۸/۶±۰/۹۳ <sup>d</sup>        | ۹۴/۸ <sup>c</sup>  |
|                  | ۵                | ۱۸۱۰±۹۰/۵۰ <sup>d</sup>       | ۵۷/۷۵±۲/۸۹ <sup>b</sup>       | ۹۶/۸۱ <sup>b</sup> |
|                  | ۱۰               | ۳۶۲±۱۸۱ <sup>c</sup>          | ۵۹/۲۵±۲/۹۶ <sup>b</sup>       | ۹۸/۳۶ <sup>a</sup> |
|                  | ۱                | ۷۹۱/۶۶±۳۹/۵۸ <sup>e</sup>     | ۲۶/۴±۱/۳۳ <sup>c</sup>        | ۹۶/۶۶ <sup>a</sup> |
|                  | ۵                | ۳۹۳۹±۱۹۶/۹۵ <sup>b</sup>      | ۵۷±۲/۸۵ <sup>b</sup>          | ۹۸/۵۵ <sup>a</sup> |
|                  | ۱۰               | ۷۸۷۹/۳۳±۳۹/۹۶ <sup>a</sup>    | ۱۰۸±۵/۴۰ <sup>a</sup>         | ۹۸/۶۳ <sup>a</sup> |
| COD              | ۱                | ۱۰۱۱/۵۶±۵۰/۵۸ <sup>f</sup>    | ۴۲/۶۶±۲/۱۳ <sup>f</sup>       | ۹۵/۷۸ <sup>b</sup> |
|                  | ۵                | ۵۰۵۷/۸±۲۵۲/۸۹ <sup>d</sup>    | ۱۳۶±۶/۸ <sup>d</sup>          | ۹۷/۳۱ <sup>a</sup> |
|                  | ۱۰               | ۱۰۱۱۵/۶۰±۵۰۵/۷۸ <sup>b</sup>  | ۱۸۹/۳۳±۹/۴۷ <sup>b</sup>      | ۹۸/۱۳ <sup>a</sup> |
|                  | ۱                | ۱۳۱۹/۴۴±۵۶/۹۷ <sup>e</sup>    | ۸۶±۴/۳۰ <sup>e</sup>          | ۹۳/۶۳ <sup>c</sup> |
|                  | ۵                | ۶۵۶۵/۰±۳۲۸/۲۵ <sup>c</sup>    | ۱۷۲/۶۶±۸/۶۳ <sup>c</sup>      | ۹۷/۳۷ <sup>a</sup> |
|                  | ۱۰               | ۱۳۱۳۲/۲۲±۶۵۶/۶۱ <sup>a</sup>  | ۵۲۲/۶۶±۲۶/۱۳ <sup>a</sup>     | ۹۶/۰۳ <sup>a</sup> |

اعداد میانگین دارای حروف انگلیسی متفاوت در یک ستون، وجود تفاوت معنی دار بین تیمارها را نشان می دهند ( $P < 0/05$ ).

#### ۴. بحث و نتیجه گیری نهایی

در طی دوره ۱۴ روزه پرورش ریز جلبک *S. quadricauda*، کلیه تیمارهای آزمایشی روی پساب الکی در غلظت های مختلف و با جامدات و بدون جامدات معلق رشد و تولید مثل کردند و تشکیل جمعیت دادند که اندازه جمعیت (تراکم سلولی) آنها به طور دینامیک جمعیت در شکل ۱ ارائه شد. با در نظر گرفتن میزان تکثیر ریز جلبک *S. quadricauda* و افزایش آن تا روز ۶ پرورش که می توان آن را عملاً یک دوره تولید مثلی در نظر گرفت و همچنین افزایش برخی تیمارها (تیمار ۱ درصد با جامدات معلق) تا روز ۱۴ که می توان آن را دوره دوم تولید مثلی ریز جلبک *S. quadricauda* لحاظ کرد می توان گفت که افزایش تراکم و اندازه جمعیت جلبک مورد مطالعه تابعی از غلظت پساب الکی مورد استفاده و همچنین جامدات موجود در آن است.

در این تحقیق *S. quadricauda* کشت داده شده با پساب الکی نوعی مدل پرورش جلبک به صورت میگزوتروف است که از کربن آلی موجود در پساب برای انجام فرآیند فتوسنتز استفاده شده است و قابل مقایسه با تیمار شاهد یا BBM است که صرفاً از کربن معدنی (غیر آلی) استفاده شده است (نمودارهای شکل ۱).

میزان شمارش سلولی یا تراکم جلبکی معمولاً در ارزیابی عملکرد ریز جلبک ها به ویژه در شرایط آزمایشگاهی هر چند که مهم و ضروری است، اما به طور معمولی بررسی مقدار زیست توده در کشت های جلبکی نیز مورد اندازه گیری قرار می گیرد. مقدار زیست توده در تیمار پساب الکی ۱ درصد با جامدات معلق بیشترین بود و روند تولید زیست توده به ترتیب با افزایش غلظت پساب الکی کاهش داشت. در غلظت ۱ درصد دارای جامدات معلق، نسبت به تیمار با غلظت مشابه بدون جامدات معلق مقدار زیست توده تولیدی به صورت محسوسی بیشتر بود. می توان گفت که در غلظت های برابر از پساب، جامدات معلق با داشتن مواد آلی زیاده تر از جمله کربوهیدرات ها باعث رشد و تکثیر مناسب تر جلبک ها شده و در نهایت زیست توده بیشتری از نظر وزنی تولید می نماید. همچنین زیست توده تولیدی تیمارهای با غلظت ۵ و ۱۰ درصد با هم برابر و به طور معنی داری از تیمار ۱ درصد کمتر بوده که مهمترین دلیل احتمالی را به غلظت بیشتر تیمارها و به دنبال آن عدم نفوذ نور مناسب و مورد نیاز برای تولید فتوسنتزی مربوط می شود. اصولاً

جامدات معلق می‌توانند میزان نفوذ نور به ستون آب را کاهش دهند. ریز جلبک‌ها که برای فتوسنتز به نور نیاز دارند، ممکن است به دلیل کمبود نور رشد کمتری داشته باشند. این مسئله به‌ویژه در غلظت‌های بالای جامدات معلق یا در محیط‌های عمیق آب شدیدتر می‌شود (Boyd, 2020). در این خصوص AlMomani and Ormeci (۲۰۱۶) مطرح کردند، تغییرات در میزان رشد و زیست‌توده جلبکی می‌تواند دلایلی مختلف از جمله نفوذ نور به محیط کشت، تراکم جلبکی و چگالی یا محدودیت کربن غیرآلی داشته باشد. زیست‌توده تیمار پساب الکلی ۱ درصد نسبت به سایر تیمارها دارای اختلاف معنی‌دار بود. با توجه به میزان زیست‌توده برداشتی در پایان کشت؛ می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از این تیمار به جهت استفاده کمی زیست‌توده برای جایگزینی با محیط کشت BBM مناسب‌تر است. به‌طور مشابهی Daneshvar و همکاران (۲۰۱۸) در پرورش ریز جلبک *S. quadricauda* با استفاده از پساب صنایع لبنی به تأثیر مستقیم غلظت پساب بر تولید زیست‌توده جلبکی و کارایی حذف آلاینده‌ها پرداختند و زیست‌توده خشک در دوره ۱۲ روز پرورش به ۳۶۰ میلی‌گرم در لیتر گزارش دادند که در مقایسه با مطالعه حاضر بسیار کمتر بود. تفاوت را می‌توان به غلظت‌های پساب و نوع ترکیبات تشکیل‌دهنده آنها و همچنین تراکم آغازین کشت و حتی سیستم پرورش نسبت داد.

به‌لحاظ بوم‌شناختی در اکوسیستم‌های آبی، به‌ویژه در مناطقی که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و حتی تغییرات اقلیمی قرار دارند، جامدات معلق می‌توانند تأثیرات عمیق و پیچیده‌ای بر فرآیندهای زیستی و کیفیت زیست‌محیطی آب‌ها داشته باشند. مطالعه و بررسی‌های آزمایشگاهی روی عملکرد ریز جلبک‌ها در ارتباط با نقش جامدات معلق می‌تواند مکمل برخی از مطالعات میدانی و بوم‌شناختی در اکوسیستم‌های آبی باشد. این جامدات علاوه بر ایجاد کدورت و کاهش شفافیت آب، می‌توانند تأثیرات متناقضی نیز بر فعالیت‌های میکروبی و فرآیندهای زیستی محیط‌های آبی داشته باشد. برای مثال، در مطالعه‌ای که در مصب رود جینجیانگ در کشور چین انجام شد، مشخص گردید که غلظت‌های مختلف ذرات معلق تأثیرات متفاوتی بر ترشح پلی‌ساکاریدها در دو گونه ریز جلبک *Chlorella pyrenoidosa* و *Microcystis aeruginosa* داشته باشد (Liu et al., 2022). از سوی دیگر، تأثیرات جامدات معلق بر کیفیت آب و موجودات آبی در شرایط آلودگی زیاد، می‌تواند باعث تخریب اکوسیستم‌های آبی و کاهش منابع شیلاتی شود. به‌ویژه در شرایطی که جامدات معلق اندازه‌ها و ترکیب‌های مختلفی دارند، اثرات آنها بر موجودات آبی می‌تواند بسیار متفاوت باشد. به‌عنوان مثال، بررسی‌ها نشان می‌دهند که جامدات معلق علاوه بر کاهش شفافیت و اکسیژن محلول، به‌طور قابل توجهی باعث کاهش تنوع زیستی و آسیب به گونه‌های مختلف ماهی‌ها و بی‌مهرگان شود (Bilotta and Brazier, 2008).

مقایسه نتایج درصد حذف نیتрат و فسفات در غلظت‌های مختلف (شکل ۲) بیانگر آن است که درصد حذف نیترات در تیمارهای پساب الکلی بدون جامدات معلق به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای پساب الکلی دارای جامدات معلق هست. بنابراین می‌توان احتمال داد که حضور جامدات معلق از حذف بخشی از نیترات جلوگیری کرده است. بنابراین می‌توان گفت که برای حذف بیشتر نیترات در کشت با ریز جلبک *S. quadricauda* جداسازی جامدات معلق از محیط کشت آن در نظر گرفته شود. همچنین بیشترین مقدار حذف فسفات در تیمار پساب الکلی ۱ درصد بدون جامدات معلق اندازه‌گیری شد. در مقایسه با تیمار غلظت ۱ درصد با جامدات معلق، نشان می‌دهد که جامدات معلق تا حدودی مانع حذف فسفات توسط ریز جلبک *S. quadricauda* هستند. از سوی دیگر، در تیمارهای با غلظت‌های بیشتر (۵ و ۱۰ درصد) با جامدات معلق بر حذف فسفات اثر بیشتری داشتند. احتمال داده می‌شود که تیمارهای با جامدات معلق با غلظت‌های بیشتر با داشتن بقایای مخمرها بیشتر که در فرآیند تولید الکلی و پساب حاصل شده، توانایی بیشتری در حذف فسفات نسبت به تیمارهای مشابه بدون جامدات معلق داشته باشد و از این‌رو بقایای مخمرها قادر به جذب فسفات محلول از محیط آب هستند (Satyawali and Balakrishnan, 2008). از سوی دیگر می‌توان گفت که جذب سطحی ذرات و جامدات موجود می‌تواند باعث حذف بیشتر فسفات از محیط آبی شود که فرآیندی فیزیکی است. به‌طور مشابهی Nasrati و Gholizadeh (۲۰۱۹) بیان کردند که غلظت پساب الکلی ۱ درصد به‌ویژه در غلظت‌های کم می‌تواند بیشترین اثر را بر رشد ریز جلبک سبز-آبی *Spirulina plantensis* دارد. در واقع افزایش غلظت پساب الکلی ممکن است از جذب آب و مواد مغذی جلوگیری کرده و برخی از فعالیت‌های متابولیکی همانند فتوسنتز و تنفس و به‌دنبال آن رشد را کاهش دهد. همچنین می‌توان گفت که رشد ریز جلبک در پساب الکلی ۱ درصد زیادی از پارامترهای پساب همچون نیتروژن و فسفات کاهش می‌دهد.

(Gholizadeh and Nasrati, 2019). نتایج تحقیقات Li و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان داد، کشت *Chlorella vulgaris* با پساب الکل سازی تصفیه شده و بدون جامدات معلق منجر به حذف ۸۰ درصد نیتروژن و ۹۴ درصد فسفر میشود. Daneshvar و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که *S. quadricauda* توانایی حذف ۹۲ درصد از نیتروژن کل، ۱۰۰ درصد فسفات و ۷۷/۷ درصد از کربن را از پساب دارند. در تحقیقات Heydari و همکاران (۲۰۱۱) این نتیجه یافت شد که *S. quadricauda* در تیمارهای غنی از نیتروژن رشد داشته و این گونه را مناسب تصفیه پساب های غنی از نیتروژن بیان نمودند. فرآیند حذف نیترات و فسفات پساب ها با کشت ریز جلبک ها از جمله *Scenedesmus* در تحقیقات متعددی اثبات شده است (Oswald and Gotass, 1995; Martinez et al., 2000; Voltolina et al., 2004; Wang and Lan, 2011; Arora et al., 2021). کاهش میزان نیتروژن و فسفات را می توان به مصرف آن در سلول های جلبکی نسبت داد. در واقع، ریزجلبک ها نیتروژن و فسفر پساب ها را برای سنتز ملکول های ذخیره انرژی آدنوزین تری فسفات و آدنوزین دی فسفات و محتوای ژنتیکی هسته مصرف می کنند. همچنین شکل های فسفات غیر آلی مانند ارتوفسفات،  $\text{HPO}_4^{2-}$  و  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  مورد علاقه سلول های ریزجلبک ها برای مصرف هستند که از طریق انتقال دهنده های فسفر در غشای پلاسمای سلول جذب می کنند (Ahmed et al., 2022).

با توجه به اینکه در این تحقیق از غلظت های مختلف پساب کمتر از ۱۰ درصد کارخانه الکل سازی استفاده شد، میزان COD و BOD در ابتدا و انتهای دوره پرورش در تیمارهای آزمایشی مورد بررسی و اندازه گیری قرار گرفت تا میزان کاهش آن در پایان دوره به دست آید (جدول ۳). علت کاهش قابل ملاحظه و معنی دار در میزان COD و BOD را می توان به بهره وری زیست توده کربن آلی در پرورش با مدل میگزوتروپی در ریزجلبک ها نسبت داد (Wang and Lan, 2011). همچنین، Nagarajan و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیان کردند کاهش BOD و COD منوط به کاهش محتوای کربن محیط کشت ریزجلبک ها است. به طور کلی جذب و مصرف کربن و مواد آلی در ریزجلبک ها یک پدیده عمومی است. ریزجلبک ها موجب حذف مواد آلی مثل اوره و کربوهیدرات ها پساب هستند که به کاهش BOD و COD کمک می کند (Arora et al., 2021).

در بسیاری از سیستم های تصفیه طراحی شده برای کاهش بار مواد آلی از همکاری بین ریزجلبک ها و باکتری ها همراه با هوادهی استفاده می نمایند که نقش جامدات معلق به لحاظ تأثیراتی که بر افزایش میزان هوادهی و مصرف بیشتر انرژی و همچنین کاهش میزان تولید اکسیژن فتوسنتزی می شود که علت آن را می توان تا حدودی به کاهش نفوذ نور در آب و همچنین کاهش میزان فرآیند نیتریفیکاسیون آب نسبت داد (Foladori et al., 2020). از سوی دیگر می توان استنباط نمود که ریزجلبک ها در همکاری با سایر میکروارگانیسم ها مانند باکتری ها در پساب ها می توانند در تولید فلاک یا بیوفلاک موثر باشند و لذا میتوان توصیه نمود که در مطالعات بعدی نقش ریزجلبک ها در تولید زیست توده و حذف جامدات معلق بررسی گردد (Delrue et al., 2016).

## نتیجه گیری نهایی

به عنوان نتیجه گیری کلی می توان بیان کرد که پساب های کارخانه الکل سازی از نظر مواد اصلی تشکیل دهنده زیست توده جلبکی توانایی بسیاری در فراهم نمودن کربن، نیتروژن و فسفر و سایر عناصر مورد نیاز برای رشد و تولید جلبکی دارند و از آنها می توان به صورت کشت های میگزوتروپی استفاده نمود. همچنین استفاده از ریز جلبک ها باعث کاهش بار مواد نیتروژن دار و فسفردار در پساب خروجی کارخانه الکل سازی می شود و در صورت تصفیه این پساب ها به صورت هرچند ساده و پیش تصفیه ای و مقدماتی قبل از رهاسازی در محیط طبیعی، می تواند از ورود بیش از اندازه پساب های غنی از ترکیبات فسفات و نیترات به منابع آبی و حتی خاک جلوگیری کند. همچنین با توجه به کاهش میزان BOD و COD پساب کارخانه الکل سازی با استفاده از جلبک ها مانند *S. quadricauda* می توان توازن اکسیژنی آب را برای حیات آبزیان و ممانعت از آلودگی بیش از حد به واسطه ورود مستقیم چنین پساب هایی به محیط های آبی جلوگیری نمود.

## تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه صنعتی اصفهان برای فراهم نمودن شرایط و امکانات لازم این تحقیق تشکر می‌گردد. از سرکار خانم مهندس نرگس رجایی و جناب آقایان دکتر ابراهیم متقی و دکتر سعید اسداله نیز کمال تشکر را داریم.

## References

- Ahmed, S.F., Mofijur, M., Parisa, T.A., Islam, N., Kusumo, F., Inayat, A., Badruddin, I.A., Khan, T.Y., Ong, H.C., 2022. Progress and challenges of contaminant removal from wastewater using microalgae biomass. *Chemosphere* 286: 131656. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131656>
- AlMomani, F., Ormeci, B., 2016. Performance of *Chlorella vulgaris*, *Neochloris leoabundans*, and mixed indigenous microalgae or treatment of primary effluent, secondary effluent and centrate. *Ecological Engineering* 95: 280-289. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.038>
- Arora, K., Kaur, P., Kumar, P., Singh, A., Patel, S.K.S., Li, X., Yang, Y.H., 2021. Valorization of wastewater resources into biofuel and value-added products using microalgal system. *Frontiers in Energy Research* 250 p. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.646571>
- Baird, R., Rice, E., Eaton, A., 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, 1545 p.
- Bilotta, G. S., Brazier, R. E., 2008. Understanding the influence of suspended solids (SS) on water quality and aquatic biota. *Water Research* 42(12), 2849-2861. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018>
- Boyd, C.E., 2020. Suspended solids, color, turbidity, and light. *Water Quality: An Introduction*, pp. 119-133. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8_6)
- Daneshvar, E., Zarrinmehr, M. J., Koutra, E., Kornaros, M., Farhadian, O., Bhatnagar, A. 2019. Sequential cultivation of microalgae in raw and recycled dairy wastewater: microalgal growth, wastewater treatment and biochemical composition. *Bioresource Technology* 273, 556-564. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.059>
- Daneshvar, E., Zarrinmehr, M. J., Malekzadeh Hashtjin, A., Farhadian, O., Bhatnagar, A. 2018. Versatile application of freshwater and marine water microalgae in dairy wastewater treatment, lipid extraction and tetracycline biosorption. *Bioresource Technology* 268, 523-530. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.08.032>
- Delrue, F., Alvarez-Diaz, P. D., Fon-Sing, S., Fleury, G., Sassi, J. F. 2016. The environmental biorefinery: Using microalgae to remediate wastewater, a win-win paradigm. *Energies* 9 (3), 132-151. DOI: <https://doi.org/10.3390/en9030132>
- Falkowski, P.G., Raven, J.A., 2013. Aquatic Photosynthesis. Princeton University Press, New Jersey, US. 483 p.
- Fitzgibbon, F.J., Nigam, P., Singh, D., Marchant, R., 1995. Biological treatment of distillery waste for pollution-remediation. *Journal of Basic Microbiology* 35(5), 293-301. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.3620350504>
- Foladori, P., Petrini, S., Andreottola, G. 2020. How suspended solids concentration affects nitrification rate in microalgal-bacterial photobioreactors without aeration. *Heliyon* 6, e03088. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03088>
- Fowler, D., Coyle, M., Skiba, U., Sutton, M.A., Cape, J.N., Reis, S., Sheppard, L.J., Jenkins, A., Grizzetti, B., Galloway, J.N., 2013. The global nitrogen cycle in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 368(1621), 20130164. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0164>
- Farhadian, O., Heydari Gojani, B., 2020. Energy of Algae, Isfahan Industrial University Press, Isfahan, Iran, 246 p. (In Persian)
- Fujita, M., Ike, M., Kawagoshi, Y., Miyata, N., 2000. Biotreatment of persistent substances using effective microorganisms. *Water Science and Technology* 42(12), 93-106. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0247>
- Gholizadeh, M., Nasrati, M., 2019. Algal treatment of a mixture of urban wastewater and vinasse using *Spirulina platensis* microalgae. *Journal of Health and Environment, Quarterly Scientific-Research Journal, Iranian Association of Environmental Health* 3, 423-436. ID: <https://sid.ir/paper/145754/fa> (In Persian)

- Huang, S., Chen, Y., Wang, J., Lao, A., Huang, H., Wang, Z., Luo, X., Zheng, Z., 2024. Understanding the dynamics of *Microcystis* bloom: Unraveling the influence of suspended solids through proteomics and metabolomics approaches. *Science of the Total Environment* 908, 168079. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168079>
- Heydari, S., Farhadian, O., Soofiani, M., 2011. Biomass production and removal of ammonia and nitrite from fish farm effluent by cultivation of *Scenedesmus quadricauda* green algae. *Environment Science* 37(59), 15-28. DOR: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.10258620.1390.37.59.3.5> (In Persian)
- Li, F., Amenorfenyo, D.K., Zhang, Y., Zhang, N., Li, C., Huang, X., 2021. Cultivation of *Chlorella vulgaris* in membrane-treated industrial distillery wastewater: growth and wastewater treatment. *Frontiers in Environmental Science* 9, 770633. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.770633>
- Liu, J., Han, X., Xing, H., Nan, Y., Lin, J., He, J., Chen, S., Wei, Y., Guo, P., 2022. Effects of suspended particles on exopolysaccharide secretion of two microalgae in Jinjiang estuary (Fujian, China). *Journal of Marine Science and Engineering* 10(2), 277. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse10020277>
- Martinez, M.E., Sanches, S., Jimenes, J.M., Yousfi, F.E., Munoz, L., 2000. Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalgae *Scenedesmus obliquus*. *Bioresource Technology* 73, 263-272. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00121-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00121-2)
- Nagarajan, D., Kusmayadi, A., Yen, H.W., Dong, C.D., Lee, D.J., Chang, J.S., 2019. Current advances in biological swine wastewater treatment using microalgae-based processes. *Bioresource Technology* 289: 121718. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121718>
- Omori, M., Ikeda, T., 1984. *Methods in Marine Zooplankton Ecology*. John Wiley, New York, 332 p.
- Oswald, W.J., Gotass, H.B., 1995. Photosynthesis in sewage treatment. *Journal of the Sanitary Engineering Division American Society of Civil Engineers* 122, 73-105. DOI: <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0007483>
- Pazouki, M., Shayegan, J., Afshari, A., 2006. Investigation of wastewater treatment methods in alcohol production units. *Environment Science* 39, 19-32. DOR: <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.10258620.1385.32.39.3.0> (In Persian)
- Plöhn, M., Spain, O., Sirin, S., Silva, M., Escudero-Oñate, C., Ferrando-Climent, L., Allahverdiyeva, Y., Funk, C., 2021. Wastewater treatment by microalgae. *Physiologia Plantarum* 2, 568-578. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.13427>
- Satyawali, Y., Balakrishnan, M., 2008. Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal: a review. *Journal of Environmental Management* 86(3), 481-497. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.024>
- Sigee, D.C., 2005. *Freshwater Microbiology: Diversity and Dynamic Interaction of Microorganism in the Aquatic Environment*. Chichester, UK, Johan Wiley & Sons, p. 542.
- Tam, N.F.Y., Wong, Y.S., 1989. Wastewater nutrient removal by *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus* sp. *Environmental Pollution* 58, 19-34. DOI: [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(89\)90234-0](https://doi.org/10.1016/0269-7491(89)90234-0)
- Voltolina, D., Gómez-Villa, H., Correa, G., 2004. Biomass production and nutrient removal in semi continuous cultures of *Scenedesmus* sp. (Chlorophyceae) in artificial wastewater, under a simulated day-night cycle. *Vie Milieu* 54, 21-25. HAL ID: <https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-03217978v1>
- Wang, B., Lan, C.Q., 2011. Biomass production and Nitrogen and phosphorus removal by the green alga *Neochloris oleoabundans* in simulated wastewater and secondary municipal wastewater effluent. *Bioresource Technology* 102, 5639-5644. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.02.054>