استفاده از زیست راکتور جلبکی به‌منظور کاهش بار آلودگی پساب خروجی مزارع پرورش ماهی

- **مجید عسکری‌حصنی***: گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران
- **سیدعلی‌اکبر هدایتی**: گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- **امیر قادرمرزی**: گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- **مجتبی پولادی**: گروه شیلات، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- **سمیه زنگی‌آبادی**: گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران
- **نبات نقش بندی**: گروه زیست شناسی. دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۷

چکیده

فیتوپلانکتون‌ها و جلبک‌ها در محیط‌های آبی به‌عنوان اولین حلقه زنجیره غذایی و تولیدکننده غذا برای سایر موجودات محسوب می‌شوند. این موجودات در فرآیند فتوسنتز، مواد مغذی (N و P) مورد نیاز خود را از محیط آبی دریافت می‌کنند. در این مطالعه میزان پالایش پساب دفعی ماهی در آب توسط ریزجلبک *Chlorella vulgaris* در یک‌دوره ۱۸ روزه مورد بررسی قرار گرفت. پژوهش حاضر در سیستم آزمایشگاهی و بر روی پساب خروجی مزارع پرورش ماهی انجام گرفت. بدین‌منظور یک راکتور نیمه‌صنعتی با حجم ۵ لیتر طراحی شد که مجهز به یک تیغه هم‌زن، صفحه متخلخل و یک کمپرسور می‌باشد. استوک جلبک مورد نیاز در محیط آزمایشگاهی کشت گردید و به تراکم مورد نظر رسید. سپس به محفظه بیوراکتور که حاوی پساب ماهی بود تزریق شد. نتایج میانگین نیترات، نیتریت،فسفات، آمونیوم، TDS، TSS و BOD به‌ترتیب برابر با ۱/۹۴، ۲/۲۲، ۰/۳۹، ٤/۱۱، ۲/۰۲، ۱/۹٤، ۲/۳۹ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. هم‌چنین مقادیر PH و هدایت الکتریکی برابر با ۷/۵۲ و ۱۳۱۵ میکروموس بر سانتی‌متر ثبت شد. بدین‌ترتیب می‌توان گفت فیلم جلبکی به‌صورت کارآمدی در فضای راکتور قادر به کاهش بار آلاینده بوده است، به‌نحوی که در این پژوهش روند کاهشی آن در طول دوره مواجهه افزایش داشته است. از سوی دیگر در انتهای دوره مواجهه تمام پارامترها به‌جز فسفات تقریباً به نصف کاهش یافته است. این نتیجه بیانگر آن است که راکتور جلبکی می‌تواند به‌طور موثری بار آلی پساب مزارع ماهی را کاهش دهد.

کلمات کلیدی: راکتور جلبکی، مزارع ماهی، پساب، *Chlorella vulgaris*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: mahesni@uk.ac.ir

مقدمه

با توجه به محدود بودن منابع آبی و گسترش روزافزون واحدهای صنعتی، آلوده شدن منابع آبی یکی از مشکلات اقتصادی اجتماعی روز به‌حساب می‌آید. در این راستا فاضلاب‌های حاصل از مزارع آبزی‌پروری به‌دلیل دارا بودن ترکیبات متفاوت در مقادیر مختلف موجب ایجاد آلودگی در محیط اطراف شده است. پساب مزارع پرورش ماهی می‌تواند به‌عنوان یک منبع آلودگی در محیط زیست باشد (Naylor و همکاران، ۱۹۹۸). موفقیت سیستم‌های زیستی در تصفیه فاضلاب منوط به ایفای نقش بهینه زیست جاذب‌ها در این سیستم‌ها می‌باشد. از بین روش‌های تصفیه می‌توان به تصفیه به کمک ریزجلبک‌ها اشاره کرد که در عین ساده بودن نسبت به سایر روش‌های همانند: برکه‌های تصفیه کننده، لجن فعال و... از لحاظ انرژی و تجهیزات مورد نیاز بسیار مقرون به‌صرفه می‌باشند (De la Noue و همکاران، ۲۰۰۸). ریزجلبک‌ها دارای نیروی بالایی برای تصفیه پساب‌های مزارع پرورش ماهی می‌باشند. Chevalier و همکاران (۲۰۰۵) جلبک سبز *Scenedesmus quadricauda* را برای آزمایش حذف آمونیاک مورد استفاده قرار دادند و دریافتند که ریزجلبک‌هایی مانند سندسموس، به‌علت رشد بالا، در سیستم‌های پرورشی و فناوری ساده و ارزان، تولید آن‌ها می‌توانند به‌عنوان گزینه مناسب در تصفیه پساب‌ها مورد استفاده قرار گیرند (Voltolinaet و همکاران، ۲۰۰۴). مزیت استفاده از جلبک‌ها در سیستم‌های تصفیه پساب این است که به‌علت باز چرخش مواد غذایی و مصرف آن‌ها توسط جلبک‌ها، احتمال وقوع یوتریفیکاسیون و سایر خسارات اکولوژیکی کاهش می‌یابد (Hammoda و همکاران، ۱۹۹۵). Zhang و همکاران (۲۰۰۸) مشاهده کردند که جلبک سندسموس و *Chlorella vulgaris* حدود ۱۰۰ درصد ازت، فسفر و آمونیاک را در مرحله تصفیه نهایی حذف می‌نماید. Yalcin و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که ریزجلبک‌ها می‌توانند به عنوان حذف‌کنندگان موثر فسفات و نیترات موجود در پساب درنظر گرفته شوند. کارایی جلبک‌ها در تصفیه پساب‌ها تابع نوع گونه، حجم توده جلبکی، pH، هوادهی و زمان مناسب برای حداکثر فعالیت جلبک بر روی پساب می‌باشد. Kızılkaya و همکاران (۲۰۱۲) از جلبک‌های زنده *Scenedesmus quadricauda* و *Neochloris pseudoalveolaris* برای جذب فلزات سنگین کبالت (II)، کادمیوم (II)، سرب (II)، کروم (III)، نیکل (II) و منگنز (II) استفاده کردند و نتایج نشان داد که هر دو جلبک توانایی بالایی برای جذب این فلزات دارند. هم‌چنین میزان جذب کروم و منگنز توسط این جلبک‌ها بالاتر از سایر عناصر ثبت شده است. Terry و همکاران (۲۰۰۲) از جلبک زنده و مرده *Scenedesmus abundans* برای حذف فلز کادمیوم (II) و مس (II) استفاده کردند و برای بررسی اثر رقابتی دو فلز، ازجلبک برای حذف ترکیب این دو فلز با هم استفاده شد نتایج نشان داد که میزان جذب این دو فلز هیچ اثر رقابتی با هم ندارند. بنابراین می‌توان کادمیوم و مس را همزمان با هم توسط این جلبک از پساب‌ها حذف کرد. لذا هدف از این مطالعه بررسی روند کاهش بار پساب خروجی مزارع پرورش ماهی با استفاده از تلفیق فیلم جلبکی و استوک نانو ذره‌ای بوده است.

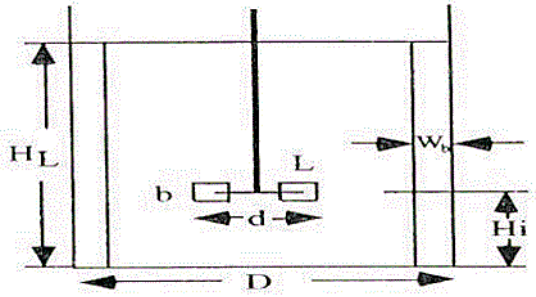
مواد و روش‌ها

در این تحقیق در فضای راکتور میزان جذب آلاینده‌های موجود در پساب با کمک فیلم جلبکی سنجیده شد که مراحل انجام به‌شرح زیر است:

کشت جلبک: ریزجلبک *Chlorella vulgaris* از محیط طبیعی (از لاگون‌های پرورش ماهی تالاب گمیشان) گردآوری گردید و پس از شناسایی در آزمایش مورد نظر به‌کار گرفته شد و با استفاده از شرایط نور پیوسته ۵۰ µmol photons m^{-2} s^{-1} و دمای ۲۵ ºC کشت داده شد. برای کشت جلبک محیط کشت مصنوعی استفاده گردید. ترکیب شیمیایی مواد اصلی محیط کشت مصنوعی شامل NaNO3, ; MgSO4.7H2O, 0.17 mM; ۲,۹۴ mM; CaCl2. 2H2O, 0.05 mM ۳۱,۲۹ K2HPO4, 0.30 mM; KH2PO4, NaCl, 0.43 mM; , CaCO mM, بود. دیگر ریزمغذی‌ها مطابق فرمول محیط کشت BG11 فراهم گردیدند. ریزجلبک *Chlorella vulgaris* درحجم ۱۰۰ میلی‌لیتر در ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتر در محیط کشت مصنوعی غنی شده با همراه ریزمغذی‌ها کشت داده شد. کشت به‌صورت ناپیوسته و به‌مدت ۱۰ روز ادامه یافت. نور مورد نیاز از لامپ فلوئورسنت مهتابی با تابش از بالا تامین شد و کشت‌ها به‌وسیله هم‌زن مدل رومیزی با سرعت rpm ۱۵۰ هم‌زده شد. نوردهی از بالا مقدار ۵۰ µmolphotons m^{-2} s^{-1} را به صورت مداوم برای ریزجلبک فراهم شد. اندازه‌گیری و تنظیم نور به کمک لوکس متر (TES-1339, Sweden) اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری میزان رشد *Chlorella vulgaris* و تولید زیست توده جلبکی، روزانه از کشت‌ها نمونه‌گیری شد و دانسیته نوری کشت‌های *Chlorella vulgaris* در طول موج ۶۵۰ nm با اسپکتروفوتومتر (Beckman, DU 530, USA) اندازه‌گیری گردید. این روش ادامه یافت تا استوک جلبکی مورد نظر به تراکم و حجم مورد نظر برسد.

طراحی بیوراکتور: برای طراحی یک بیوراکتور نیمه صنعتی در حالت ناپیوسته، حجم بیوراکتور را به‌صورت اختیاری برابر ۵ لیتر قرار داده شد و محاسبات طراحی بر روی آن انجام گردید. طبق استاندارد

موجود برای راکتورهای مخزنی می‌توان ابعاد بیوراکتور را طراحی کرد (Fogler، ۲۰۰۶).



شکل ۱: استاندارد ابعاد راکتور مخزنی (Fogler، ۲۰۰۶)

نسبت‌های ابعاد راکتور:

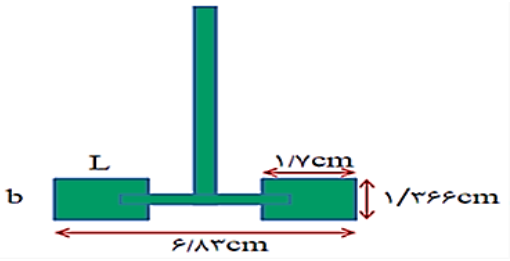
$D = H_L$, $d = H_i$, $d/D = 1/3$, $L/d = 1/4$, $b/d = 1/5$

طبق استاندارد فوق برای ابعاد یک بیوراکتور ۵ لیتری نیمه‌صنعتی خواهیم داشت:

$H_L = 20.5$ cm, $D = H_L = 20.5$ cm, $d = H_i = 6.83$ cm,
$b = 1.366$ cm, $L = 1.7$ cm, $W_b = 1.43$ cm

W_b شامل لوله $\frac{1}{8}$ اینچی که با توجه به استاندارد لوله معادل ۱/۰۳ سانتی‌متر قطر خارجی لوله و شیشه دو جداره هرکدام به ضخامت ۰/۲ سانتی‌متر می‌باشد.

همزن و نوع مورد استفاده آن برای بیوراکتور طراحی شده: در حالت آزمایشگاهی برای هموژن کردن جلبک از دستگاه هموژنایزر با ۱۴۰۰۰ دور در دقیقه استفاده گردید. جهت تأمین این شرایط برای بیوراکتور ۵ لیتری مورد نظر، همزن طراحی شده از نوع توربینی و به ابعاد زیر بود:



شکل ۲: نمایی از همزن طراحی شده

با توجه به نیاز واکنش و استاندارد ابعاد بیوراکتور و پره، نسبت قطر پره به قطر مخزن پره توربینی برابر ۰/۳ تا ۰/۵می‌باشد. بنابراین مناسب‌ترین پره برای بیوراکتور طراحی شده از نوع توربینی انتخاب گردید. مهم‌ترین پارامتر برای همزن طراحی شده، توان مورد نیاز همزن می‌باشد که با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (Holland، ۱۹۹۵):

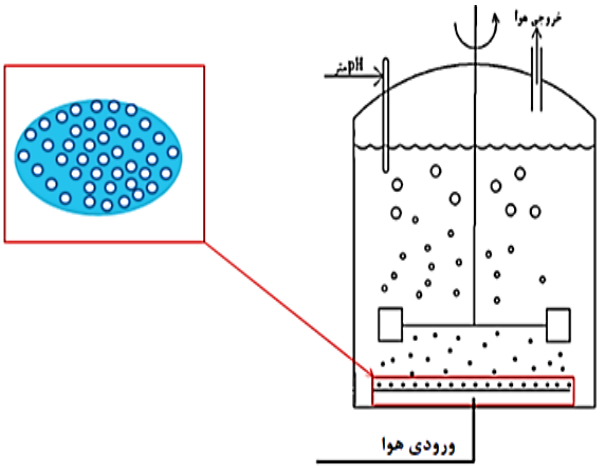
$$P_A = P_0 \rho N^3 D_A^5$$

ρ: چگالی، P_0: فشار ستون هوا، N: طول جریان، D: عمق جریان، μ : جریان ویسکوزیته

برای محاسبه P_0 به عدد رینولدز (Reynolds number) اختلاط نیاز داریم. عدد رینولدز برای این همزن با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود:

$$Re_M = \frac{\rho N D_A^2}{\mu} = \frac{(۱۰۰۰ \times ۲/۱۶۷ \times (۰/۰۶۸۳^2))}{۰.۱} = ۱۰۱/۰۹$$

جریان هوای داخل بیوراکتور: جلبک کلرلا یک جلبک هوازی است. بنابراین نیاز به جریان هوا در داخل بیوراکتور می‌باشد. برای این کار هوا با استفاده از یک کمپرسور، توسط لوله‌ای $\frac{1}{8}$ اینچی با دمای ۲۸ °C به سطح پایین بیوراکتور منتقل می‌شود. در ورودی هوا به داخل بیوراکتور یک صفحه متخلخل هم قطر با قطر داخلی بیوراکتور برای پخش یکنواخت هوا در تمامی حجم مایع داخل بیوراکتور طراحی شده است. در این میان مهم‌ترین پارامتر برای عملکرد مناسب در طراحی، فشار هوای ورودی به‌داخل بیوراکتور می‌باشد، به‌نحوی که از نفوذ مایع داخل بیوراکتور به لوله هوا جلوگیری کرده و مانع جریان عکس مایع شود. تأمین این حالت توسط کمپرسور انجام می‌گیرد که فشار مورد نیاز برای کمپرسور نسبت به ارتفاع سیال داخل بیوراکتور محاسبه می‌شود.

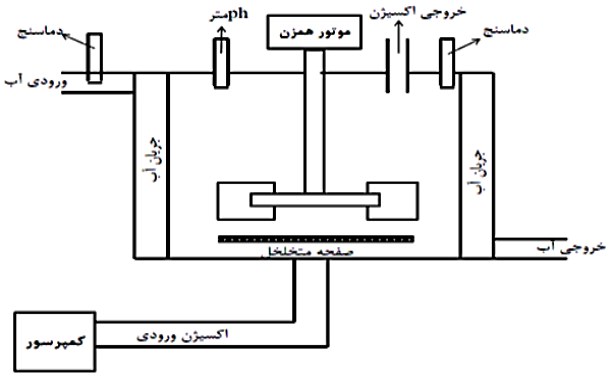


شکل ۳: نمایی از تزریق هوا به بیوراکتور و نفوذ در سیال

با استفاده از رابطه زیر می‌توان فشار وارد شده از طرف مایع داخل بیوراکتور به هوای ورودی لوله را محاسبه کرد:

$$p = \rho g h + p_0 = ۱۰۰۰ \times ۹.۸ \times ۰.۱۴۳۵/۱۰۱۳۲۵ + ۱ = ۱.۰۱۴ \text{ atm}$$

ρ: چگالی، G: شتاب گرانشی، H: ارتفاع ستون مایع، P_0 فشار ستون هوا



شکل ۴: نمایی کلی از بیوراکتور طراحی شده

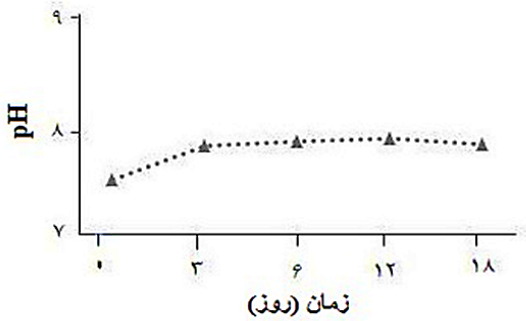
اندازه‌گیری چهار فاکتور نیترات، نیتریت، فسفات، آمونیوم و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD) به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Nano color از نوع UV/VIS ساخت کشور آلمان انجام گردید. هم‌چنین پارامترهای pH، EC و مواد جامد معلق (TDS) و مواد جامد محلول به‌وسیله دستگاه مولتی‌متر متراهم (Metrohm 780) ساخت کشور سوئد اندازه‌گیری و ثبت شد.

نتایج

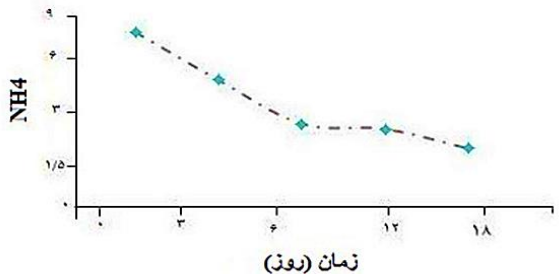
میزان PH در طول آزمایش در فاز قلیایت بوده و این روند در طول دوره مواجهه بین دو مقدار ۷-۸ ثابت بوده است (شکل ۵). می‌توان گفت که راکتور زیستی تا حدودی مانع از تجمع ترکیباتی از قبیل ترکیبات آمونیاکی شده است زیرا افزایش این ترکیبات هم سمی بوده و هم باعث اسیدی شدن شرایط فضای راکتوری می‌شود (شکل ۶). هم‌چنین ریزجلبک‌ها قادر بودند ذرات معلق را تا حد زیادی کاهش دهند. در زمان‌های ابتدایی به‌دلیل تولید ترکیبات آمونیومی ناشی از دفعیات ماهی و پلیت‌های غذایی که مصرف نشده در سطح بالایی بوده اما به مرور زمان ریزجلبک‌های موجود در فضای سیال راکتوری میزان آمونیوم را تا حد زیادی کاهش دادند (شکل ۷). از سوی دیگر میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیک در طول دوره از یک روند نسبتاً ثابتی پیروی نمود (شکل ۸).

جدول ۱: میانگین پارامترهای فیزیکوشیمیایی پساب خروجی مزارع پرورش ماهی در فضای راکتور حاوی فیلم جلبکی

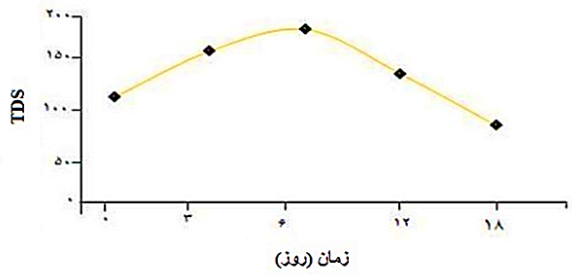
پارامتر	TSS	TDS	NH4	PO4	NO3	NO2	EC	pH	BOD
میانگین ± انحراف معیار	۱/۹۴±۰/۴۴	۱/۸۰±۰/۳۸	۴/۱۱±۰/۲۱	۰/۳۹±۰/۱۵	۱/۹۴±۰/۴۸	۲/۲۲±۰/۴۵	۱/۳۱±۰/۲۵	۷/۵۲±۰/۱۱	۲/۳۹±۰/۴۷



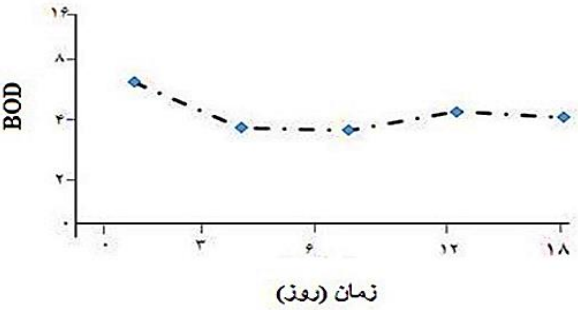
شکل ۵: میزان تغییرات pH در طول دوره نمونه‌برداری



شکل ۷: روند تغییرات آمونیوم (NH4) در طول دوره نمونه-برداری (میلی‌گرم بر لیتر)

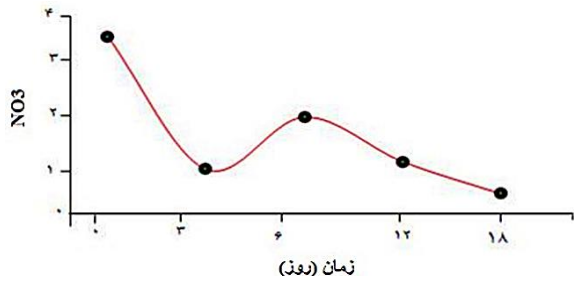


شکل ۶: میزان تغییرات کل مواد جامد معلق (TDS) در طول دوره نمونه‌برداری (میلی‌گرم بر لیتر)

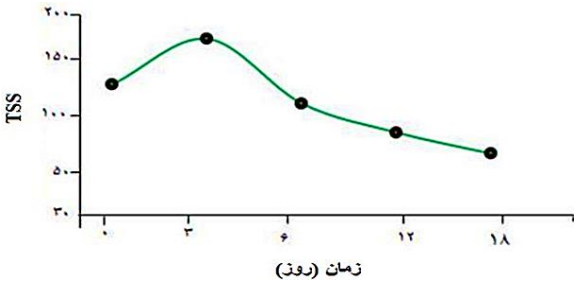


شکل ۸: روند تغییرات BOD در طول دوره نمونه‌برداری (میلی-گرم بر لیتر)

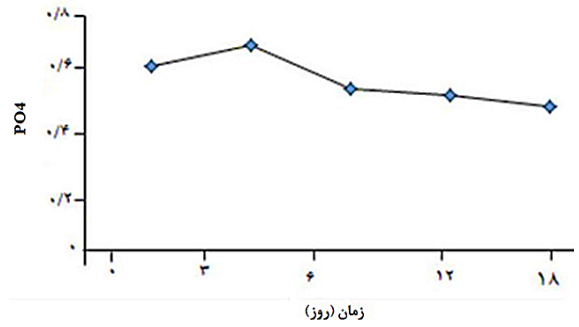
با توجه به شکل ۹ توان راکتور زیستی در جذب نیترات در حد مطلوب بوده است، به‌طوری‌که در طول دوره مواجهه میران غلظت نیترات دارای روند کاهشی بوده است. میزان غلظت مواد جامد محلول روند کاهشی را نشان داده که این امر موید جذب آلاینده توسط فیلم زیستی بوده است (شکل ۱۰). میزان حذف فسفات توسط راکتور روند افزایشی داشته است که ناشی از جذب فسفات توسط فیلم جلبکی بوده است (شکل ۱۱). علاوه بر این میزان هدایت الکتریکی در طول مواجهه افزایش اندکی را نشان داده است (شکل ۱۲). با توجه به شکل ۱۳ می‌توان بیان نمود که راکتور توان خوبی در جذب نیتریت داشته است و در طول دوره مواجهه روند کاهشی نسبتاً زیادی را نشان داده است.



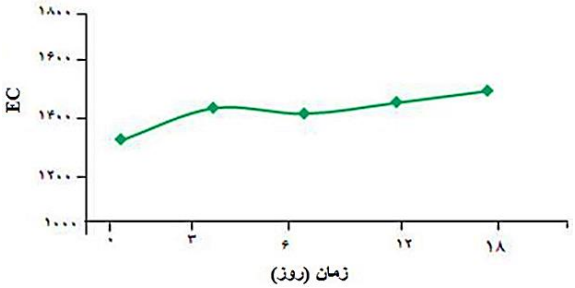
شکل ۹: روند تغییرات نیترات (NO_3) در طول دوره نمونه‌برداری (میلی‌گرم بر لیتر)



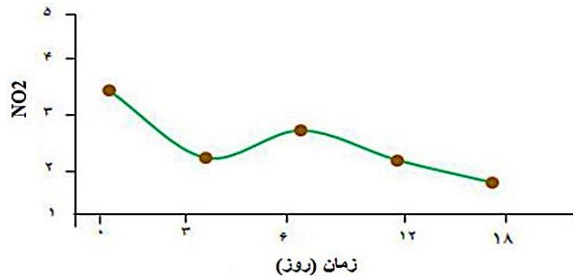
شکل ۱۰: روند تغییرات کل مواد جامد محلول (TSS) در طول دوره نمونه‌برداری (میلی‌گرم بر لیتر)



شکل ۱۱: روند تغییرات فسفات (PO_4) در طول دوره نمونه‌برداری (میلی‌گرم بر لیتر)



شکل ۱۲: روند تغییرات هدایت الکتریکی (EC) در طول دوره نمونه‌برداری (میکروموس بر سانتی‌متر مربع)



شکل ۱۳: روند تغییرات نیتریت (NO2) در طول دوره نمونه‌برداری (میلی‌گرم بر لیتر)

بحث

رشدچشمگیر جلبک‌ها درآب‌های غنی از مواد غذایی یک پدیده عمومی است که نقش مهمی در حذف انواع مواد معدنی و مواد حاصل از فعالیت‌های متابولیکی موجودات زنده دارد (Geetha و همکاران، ۱۹۹۴). مقایسه ساده غلظت‌های ابتدایی و نهایی مواد غذایی می‌تواند مبنایی برای ارزیابی جلبک‌ها به‌عنوان بازیافت‌کنندگان مواد مغذی باشد (Voltolina و همکاران، ۲۰۰۴). سیستم مدار بسته تصفیه پساب توسط جلبک بدین‌صورت است که پساب غنی از نیتروژن و فسفر به همراه دی اکسیدکربن و انرژی خورشید، شرایط مناسبی را برای رشد و تکثیر ریزجلبک‌ها فراهم می‌کند که سرانجام منجر به تولید زیست توده مفید جلبکی و کاهش نیتروژن و فسفر پساب خواهد شد (Tom و Wong، ۱۹۸۹). یافته‌های حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که راکتورجلبکی قادر بود بار آلودگی پساب خروجی مزارع پرورشی ماهی را تا حد زیادی کاهش دهد. به‌طوری‌که روند کاهشی در طول مواجهه با فیلم جلبکی در همه پارامترها مشاهده گردید. بیش‌ترین راندمان سیستم در کاهش آمونیوم و کم‌ترین میزان راندمان حذفی در فسفات مشاهده شد. نتایج تحقیق حاضر نشان دادکه پارامترهای TDS،TSS، NH4، PO4 وBOD در طول دروره مواجهه دارای روند کاهشی بودند، به گونه‌ای که میزان پارامترهای فوق در ابتدای مواجهه به‌ترتیب ۲/۳۳، ۲/۱۴، ۷/۷۲، ۰/۵۱ و ۳/۵۷ میلی‌گرم برلیتر بودند، اما در

انتهای دوره مواجهه به‌ترتیب ۱/۶۷، ۱/۸۴، ۳/۱۱، ۰/۳۴ و ۲/۶۹ میلی‌گرم بودند. میزان آمونیوم در انتهای دوره مواجهه بیش از ۲ برابر کاهش یافت و به‌جز فسفات سایر پارامترها تقریباً به نصف مقدار اولیه کاهش یافتند. هم‌چنین مقادیر پارامترهای NO3، NO2 ، PH و EC به‌ترتیب ۲/۹۶ ، ۳/۰۷ میلی‌گرم بر لیتر، ۷/۶۱ و ۱۴۲۴ میکروموس برسانتی‌متر اندازه‌گیری شدند و در انتهای دوره ۱/۸۴، ۲/۳۶ میلی‌گرم بر لیتر، ۷/۴۶ و ۱۲۹۱ میکروموس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. ممکن است که یکی از دلایل توان جذب بالا توسط فیلم جلبکی در فضای راکتوری ظرفیت تجملی (luxury consumption) میکروجلبکی بوده باشد که علی‌رغم اشباع شدن به‌صورت فشرده مواد مورد نیاز خود را ذخیره می‌کنند. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان گفت که راکتور جلبکی به‌نحوه کارامدی میزان بار آلی موجود در پساب مزارع پرورش ماهی را کاهش داده است. نتایج سایر مطالعات نیز کارایی بالای جلبک‌ها در جذب مواد مغذی را نشان می‌دهد. Martin و همکاران(۱۹۸۵)حذف روزانه ۲ میلی‌گرم در لیتر از آمونیوم را در کشت‌های دارای جلبک لاتینرا در محیط‌های تحت کنترل گزارش کردند که نتایج آن‌ها با مطالعه حاضر هم‌سو می‌باشد. Gonzales و همکاران (۱۹۹۷) نشان دادند که گونه *Scenedesmus dimorphus* نسبت به گونه *Chlorella vulgaris* در حذف آمونیاک پساب در طول تصفیه زیستی دارای کارایی بالاتری است. Martinez و همکاران (۲۰۰۰) نشان دادند که جلبک سبز *S. obliquus* توان فوق‌العاده‌ای برای رشد درون پساب دارد، زیرا قادر به تحمل محدوده وسیعی از دما و pH است. Sreesai و Pakpain (۲۰۰۷) بیان نمودند که گونه *Chlorella vulgaris* میزان ۵۵ درصد فسفر کل را از محیط کشت در انتهای دوره حذف نموده است. در نهایت می‌توان گفت که مطالعه حاضر با تمام مطالعات فوق هم‌سو بوده است. لذا با توجه به افزایش ورود پساب‌های حاوی مواد فسفاته و نیتراته به اکوسیستم‌های آبی و خطر یوتریفیکاسیون در آن‌ها که منجر به تغییر ساختار اکوسیستم می‌شود، می‌توان از راکتورهای زیستی برای جذب مواد مغذی پساب‌ها استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از زحمات آقایان دکترعلی جافر و مهندس علی‌اصغر نعیمی که در انجام هرچه بهتر این پروژه یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

۱. **Chevalier, P. and De la Noue, J., 1985.** Efficiency of immobilized hyperconcentrated algae for ammonium and orthophosphate removal from wastewaters. Biotechnology Letters. Vol. 7, pp: 395-400.

۲. **Geetha, P.K.; Baena, S. and Green, J.C., 1994.** Rubber effluent treatment in a high-rate algal pond system. In: Phang, S.M., Lee, Y.K., Borowitzka, M., Whitton, B. (eds.). Proceeding of the 1st Asia-Pacific Conference on algal Biotechnology. University of Malaya, Kuala Lumpur. pp: 306-312.

۳. **Gonzales, L.E.; Canizares, R.O. and Baena, S., 1997.** Efficiency of ammonia and phosphorus removal from a Colombian agroindustrial wastewater by the microlagae *Chlorealla vulgaris* and *Scenedesmus dimorphus*. Bioresource Technology. Vol. 60, pp: 259-262.

۴. **Hamoda, N.F.Y. and Wong, Y.S., 1989.** Wastewater nutrient removal by *Chlorella pyrenoidosa* & *Scenedesmus* sp. Environmental Pollution. Vol. 58, pp: 19-34.

۵. **Kızılkaya, B.; Türker, G.; Akgül, R. and Doğan, F., 2012.** Comparative Study of Biosorption of Heavy Metals Using Living Green Algae *Scenedesmus quadricauda* and *Neochloris pseudoalveolaris*: Equilibrium and Kinetics. Journal of Dispersion Science and Technology. Vol. 33, No. 3, pp: 410-419.

۶. **Martin, C.; De la Noun, J. and Picard, G., 1985.** Intensive cultivation of freshwater microalgae on aerated pig manure. New Biotechnology. Vol. 7, pp: 245-259.

۷. **Martinez, M.E.; Yang, J. and Correa, G., 2000.** Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalgae *Scenedesmus obliqus*. Bioresoure Technology. Vol, 73, pp: 263-272.

۸. **Naylor, R.; Goldberg, R.; Mooney, H.; Beveridge, M.; Clay, J.; Folke, C.; Kautsky, N.; Hubchenco, J.; Primavera, J. and Williams, M., 1998.** Natures subside to shrimp and salmon farming. Science. Vol. 283, 883-884.

۹. **Sreesai, S. and Pakpain, P., 2007.** Nutrient recycling by Chlorella vulgaris from septage effluent of the Bangkok city, Thailand. Science Asia. Vol. 33, pp: 293-299.

۱۰. **Tam, N.F.Y. and Wong, Y.S., 1989.** Wastewater nutrient removal by *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus* sp. Enviromental Pollution. Vol. 58, pp: 19-34

۱۱. **Terry, P.A. and Stone, W., 2002.** Biosorption of cadmium and copper contaminated water by *Scenedesmus abundans*. Chemosphere. Vol. 47, pp: 249-255.

۱۲. **Voltolina, D.; Gmez-Villa, H. and Correa, G., 2004.** Biomass production and nutrient removal in semicontinuous cultures of *Scenedesmus* sp. (Chlorophyceae) in artificial wastewater, under a simulated day-night cycle. Vie Milieu Life and Environment. Vol. 54, pp: 21-25.

۱۳. **Yalcin, T.; Naz, M. and Turkmen, M., 2006.** Utilization of different nitrogen sources by cultures of Scenedesmus *acuminatus*. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol. 6, pp: 123-127.

۱۴. **Zhang, E.; Wang, B.; Wang, Q.; Zhang, S. and Zhao, B., 2008.** Ammonia–nitrogen and orthophosphate removal by immobilized *Scenedesmus* sp. isolated from municipal wastewater for potential use in tertiary treatment. Bioresource Technology. Vol. 99, No. 9, pp: 3787-3793.