

بررسی توانایی جذب نیترات و فسفات از پساب استخرهای پرورش ماهیان گرمابی

استان خوزستان توسط ریز جلبک *Chlorella vulgaris*

- لاله آذر: گروه مهندسی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
- نرگس جوادزاده*: گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
- رضا جلیلزاده: گروه مهندسی محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: خرداد ۱۳۹۸

چکیده

فاضلاب‌ها می‌توانند منابع آبی را آلوده نمایند به همین علت امروزه تاکید بسیاری بر تصفیه و پاک‌سازی فاضلاب‌ها و پساب‌ها می‌شود. یکی از روش‌های کاربردی در تصفیه فاضلاب، استفاده از گیاهان از جمله میکروجلبک‌ها می‌باشد که با استفاده از نور خورشید، مواد مغذی فاضلاب را مصرف کرده و آن را به توده‌های زیستی مفید تبدیل می‌کنند. لذا در این پژوهش قابلیت حذف برخی پارامترهای آلودگی پساب با استفاده از میکروجلبک *Chlorella vulgaris* مورد آزمایش قرار گرفت. بدین منظور برای رشد میکروجلبک از آب مقطر اتوکلاو شده و محیط کشت TMRL استفاده شد، پساب مورد استفاده از استخر پرورش ماهیان گرمابی استان خوزستان تهیه گردید. رشد میکروجلبک در تیمار شاهد و تیمار پساب هر ۴۸ ساعت یک‌بار و در شرایط آزمایشگاهی ثابت (دمای ۲۳-۲۷ درجه سانتی‌گراد، شوری ۲۰ ppt و شدت نوری ۲۵۰۰ لوکس) در بازه زمانی ۱۵ روز محاسبه شد. شاخص‌های BOD، COD، نیترات، نیتريت و فسفات هر ۴۸ ساعت یک‌بار اندازه‌گیری و محاسبه شدند. نتایج حاصل از آنالیز آماری بین بازه‌های زمانی مختلف در تعداد ریزجلبک در تیمار شاهد تغییر معنی‌داری نشان داد به‌طوری‌که بالاترین تعداد جلبک در روز یازدهم مشاهده شد ولی از روز چهاردهم به بعد کاهش نسبی یافت، همچنین نتایج حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار در میزان حذف BOD و COD در کشت ریزجلبک بود به‌طوری‌که کم‌ترین میزان این دو فاکتور در روز دهم مشاهده گردید. نیترات باقی‌مانده نیز به‌ترتیب در روز سوم و دهم بیش‌ترین و کم‌ترین میزان را به‌خود اختصاص داد. میزان نیتريت نیز در روز سوم بالاترین و در روز پانزدهم پایین‌ترین مقدار را داشت، فسفات نیز در روزهای سوم، پنجم، دهم و پانزدهم نسبت به روز اول کاهش معنی‌دار نشان داد. این نتایج، توانایی ریزجلبک را در کاهش ازت و فسفر پساب و امکان کاربرد آن جهت تصفیه پساب نشان داد، به‌نظر می‌رسد که این ریزجلبک قادر است برای حذف نیترات و فسفات و نیز تولید زیست توده جلبکی در سیستم‌های پالایش پساب خروجی استخرهای پرورش ماهی، قبل از ورود به محیط طبیعی مورد استفاده قرار گیرد، همچنین پساب استخر می‌تواند به‌عنوان محیط کشتی مناسب برای تولید انبوه این جلبک مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: کلرلا، BOD، COD، نیترات، فسفات، پساب



مقدمه

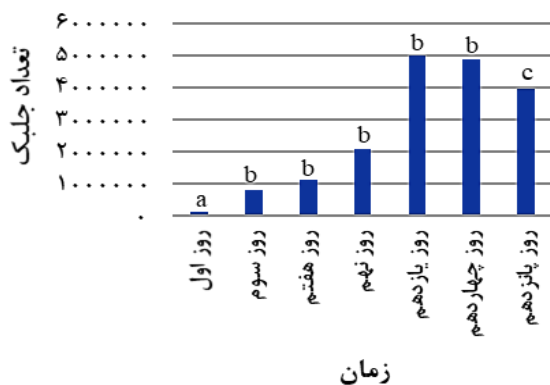
امروزه ازدیاد جمعیت انسانی و مصرف بی‌رویه منابع، منجر به تولید ضایعات و به‌دنبال آن پساب و فاضلاب بیش‌تری شده است که دفع این آلاینده‌ها یکی از مشکلات بشر امروزی است. پساب‌ها معمولاً دارای مقادیر بالایی از مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر می‌باشند که رهاسازی آن‌ها در محیط‌های طبیعی می‌تواند منجر به یوتریفیکاسیون آب‌ها گردد. بنابراین نیاز مبرم به تصفیه پساب‌ها وجود دارد. یکی از روش‌های تصفیه پساب استفاده از روش تصفیه بیولوژیکی است که دارای مزایای متعددی می‌باشد از آن جمله می‌توان به عدم ایجاد خطرات زیست‌محیطی با تکیه بر اصول اکوسیستم‌های طبیعی، عدم ایجاد آلودگی ثانویه و هم‌چنین توانایی ریز جلبک‌ها در باز چرخش مواد مغذی موجود در پساب‌های ثانویه اشاره کرد (Martinez و همکاران، ۲۰۰۰). تصفیه پساب به‌وسیله کشت‌های جلبکی ابزاری ارزان و کارآمد برای حذف مواد غذایی و فلزات آلاینده، به‌خصوص فلزات سنگین می‌باشد که خود باعث ایجاد ایمنی اکولوژی در اکوسیستم‌های آبی می‌شوند (Wong و Tam، ۱۹۹۶). ریز جلبک‌ها از گروه گیاهان آبی می‌باشند و امروزه کاربرد وسیعی در علم زیست‌فناوری دارند. این فتوسنتز کنندگان میکروسکوپی، تقریباً در تمام آب‌های کره زمین یافت می‌شوند. اهمیت این گروه از موجودات زنده در ارزش بالای تغذیه‌ای، پتانسیل تولید ترکیبات زیست فعال با کاربردهای متنوع در صنایع غذایی و داروسازی، کاربرد به‌عنوان ماده خام جهت استخراج سوخت‌های زیستی سازگار با محیط زیست، کاربرد در پایش آلاینده‌های زیست‌محیطی و... می‌باشد (آخوندیان و میرحسن‌نیا، ۱۳۹۶). ریز جلبک *Chlorella* متعلق به شاخه کلروفیتا بوده و به‌صورت تک‌سلولی بسیار کوچک و کروی است. تمامی گونه‌های آن در آب‌های شیرین و خاک و بعضی دیگر به‌صورت هم‌زیست در ساختار گل‌سنگ‌ها دیده می‌شوند. این ریز جلبک دارای رشد سریع بوده و مقاومت زیادی در مقابل شرایط و تنش‌های محیطی دارد (Lee و Lee، ۲۰۰۱) و به‌دلیل توان تحمل شرایط نامساعد محیطی در تصفیه فاضلاب از آن استفاده می‌شود. فاضلاب و پساب به‌دلیل وجود مواد مغذی می‌توانند به‌عنوان یک محیط کشت غنی برای کشت این ریز جلبک استفاده گردند (باقری و معصومی‌زاده، ۱۳۹۵). درخصوص قابلیت ریز جلبک‌ها در تصفیه پساب‌ها مطالعات زیادی انجام گرفته است از جمله می‌توان به مطالعه فرهادیان و همکاران (۱۳۹۳) با عنوان تاثیر غلظت‌های مختلف فسفر بر زیست توده و رشد در جلبک سبز *Chlorococum*، افشاری و همکاران (۱۳۹۳) استفاده از پساب ثانویه شهری به‌عنوان محیط کشت جایگزین برای پرورش ریز جلبک *Tetraselmis suecica*، احمدپور و همکاران (۱۳۹۴) حذف فسفات به‌وسیله ریز جلبک‌ها از پساب خروجی فاضلاب شهری

در شرایط آزمایشگاهی، ابوالحسنی و همکاران (الف ۱۳۹۵) امکان سنجی تولید زیست‌توده و حذف فسفات و نیترات از پساب شهری به‌وسیله کشت جلبک *Chlorella vulgaris*، ابوالحسنی و همکاران (ب ۱۳۹۵) حذف فسفات و نیترات از پساب شهری به‌وسیله کشت جلبک *Scenedesmus obliquus* و تولید زیست‌توده جلبکی، شریعتی و طاهری (۱۳۹۵) حذف نیتروژن و فسفات از فاضلاب شهری توسط ریز جلبک *C. vulgaris* و تعیین معادله سینتیکی رشد، عباسی‌بیرگانی و همکاران (۱۳۹۶) تصفیه بیولوژیکی فاضلاب خانگی با استفاده از ریز جلبک *C. vulgaris* در مقیاس آزمایشگاهی، نجمی و همکاران (۱۳۹۵) بررسی اثر ریز جلبک‌های *S. obliquus* و *C. vulgaris* استخراج شده از فاضلاب و تاثیر آن بر روی حذف برخی پارامترهای آلودگی پساب خانگی، باقری و معصومی‌زاده (۱۳۹۵) رشد ریز جلبک *Chlorella* در آب دریا و فاضلاب غیراستریل، De-bashan و همکاران (۲۰۰۲) حذف یون‌های آمونیوم و فسفر از فاضلاب مصنوعی توسط *Chlorella*، Abe و همکاران (۲۰۰۲) حذف نیترات، نیتريت، آمونیوم و فسفات از آب توسط *Jinsookim, Trentepohlia aurea* و همکاران (۲۰۱۰) حذف آمونیاک از پساب فاضلاب توسط *Chlorella*، Arbib و همکاران (۲۰۱۲) ریز جلبک *Chlorella* برای حذف مواد مغذی (ازت و فسفر) از فاضلاب شهری و کاهش CO₂، Ravipratapsingh (۲۰۱۷) کارایی حذف *Chlorella* از پساب شهری برای کاهش یونیزاسیون اشاره کرد. امروزه استفاده از انواع کودهای شیمیایی، داروها و سموم در آبی پروری بسیار رایج است که می‌تواند تاثیرات نامطلوبی بر محیط زیست داشته باشد. لذا تحقیق حاضر با هدف مطالعه قابلیت ریز جلبک کلرلا در جذب نیترات و فسفات موجود در پساب استخرهای پرورش ماهیان گرمابی استان خوزستان انجام پذیرفت.

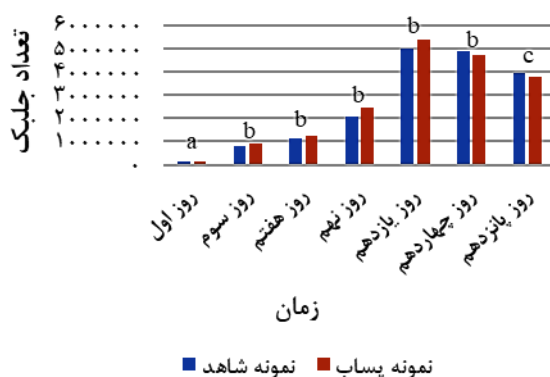
مواد و روش‌ها

استوک ریز جلبک کلرلا از مرکز تکثیر میگو و ماهیان دریایی شهرستان کلاهی در استان هرمزگان تهیه شد، پس از انتقال به آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، در ارلن‌های ۲۰۰۰ میلی‌لیتری حاوی آب مقطر استریل شده (شامل ۱۹۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۰۰ میلی‌لیتر استوک) پرورش داده شد. محیط کشت مورد استفاده در این تحقیق، محیط TMRL بود (باقری و معصومی‌زاده، ۱۳۹۵). سلول‌های ریز جلبک به کمک لام نئوبار و میکروسکوپ دوچشمی مانیتوردار به‌طور روزانه شمارش گردید تا به حداکثر رشد خود (میزان ۱۰^۵) رسیدند. سپس جهت بررسی قابلیت حذف نیترات و فسفات، به پساب اضافه شدند. پساب مورد استفاده در تحقیق حاضر از استخرهای پرورش ماهیان گرمابی استان خوزستان، شهرستان دزفول تهیه گردید.

روز سوم نسبت به روز اول و روز پنجم نسبت به روز اول افزایش معنی دار نشان داد ($P < 0.05$) و بین میزان این فاکتور در روزهای دهم و پانزدهم نسبت به روز اول تغییر معنی دار یافت نشد ($P > 0.05$)، کمترین میزان هر دو فاکتور در روز دهم مشاهده گردید (اشکال ۳ و ۴).



شکل ۱: تعداد ریز جلبک کلرلا در تیمار شاهد



شکل ۲: مقایسه تعداد ریز جلبک کلرلا در تیمار شاهد و پساب

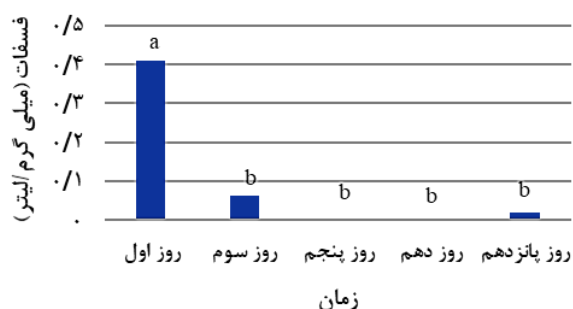
نتایج حاصل از میزان نیتريت باقی مانده در کشت ریز جلبک کلرلا تغییرات معنی دار نشان داد ($P < 0.05$)، به طوری که میزان نیتريت در روزهای دهم و پانزدهم نسبت به روز اول کاهش معنی دار داشت ($P < 0.05$). میزان نیتريت باقی مانده نیز در روزهای سوم و پنجم نسبت به روز اول افزایش معنی دار نشان داد ($P < 0.05$) ولی بین میزان نیتريت در روزهای دهم و پانزدهم نسبت به روز اول تغییر معنی دار یافت نشد ($P > 0.05$). نیتريت باقی مانده به ترتیب در روز سوم و دهم بیشترین و کمترین میزان را به خود اختصاص داد. میزان نیتريت نیز در روز سوم بالاترین و در روز پانزدهم پایینترین مقدار را داشت، میزان فسفات در روزهای سوم، پنجم، دهم و پانزدهم نسبت به روز اول کاهش معنی دار نشان داد ($P < 0.05$) ولی بین میزان فسفات در روز پنجم نسبت به روز دهم و پانزدهم تغییرات معنی دار دیده نشد ($P > 0.05$) (اشکال ۵ تا ۷).

جمع آوری پساب پس از مرحله ته نشینی انجام گرفت و به منظور از بین بردن بار آلودگی میکروبی، به کمک دستگاه اتوکلاو مدل Ecotec cs21 با دمای ۱۲۱ درجه سانتی گراد به مدت ۱۵ دقیقه و در فشار ۱/۵ اتمسفر استریل گردید و بعد از خنک شدن و تنظیم شوری، از آن استفاده شد (افشاری و همکاران، ۱۳۹۳). ریز جلبک کلرلا در تیمار پساب با دو تکرار به همراه تیمار شاهد (در کل یک تیمار پساب و یک تیمار شاهد) در شرایط یکسان محیطی، دما (۲۷-۲۳ درجه سانتی گراد)، روشنایی (۲۵۰۰-۵۰۰) لوکس به کمک لامپ فلورسنت با فاصله ۱۵-۱۰ سانتی متر به صورت ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی، طی دوره ۱۵ روزه برای بررسی قابلیت حذف ازت و فسفر کشت داده شد، در تمام مدت مطالعه هوادهی توسط پمپ هوا انجام گرفت. هر ۴۸ ساعت یک بار میزان شوری، pH، دما، نیتريت، نیتريت، فسفات، BOD و COD اندازه گیری شد. میزان نیتريت، نیتريت و فسفات در ابتدا با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ از توده زنده جلبک جدا شد و سپس توسط روش های استاندارد اندازه گیری با اضافه کردن معرف های مختلف و قرائت میزان جذب نمونه به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر ماورا بنفش تعیین گردید (APHA، ۱۹۹۵). تجزیه و تحلیل آماری داده ها با آنالیز واریانس یک طرفه انجام شد و برای مقایسه میانگین ها از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد استفاده شد.

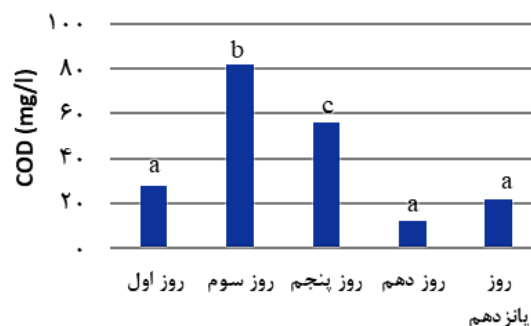
نتایج

اشکال ۱ و ۲ نتایج مربوط به تعداد ریز جلبک کلرلا در نمونه شاهد و مقایسه آن با تیمار پساب را نشان می دهند. نتایج بیانگر وجود تغییرات بین بازه های زمانی مختلف در تعداد ریز جلبک کلرلا در نمونه شاهد بود، به طوری که تعداد ریز جلبک در روزهای سوم تا پانزدهم نسبت به روز اول افزایش معنی داری داشت ($P < 0.05$) ولی از روز چهاردهم کاهش نسبی یافت، تعداد ریز جلبک در روز پانزدهم نسبت به روز یازدهم کاهش معنی داری نشان داد ($P < 0.05$). بالاترین تعداد جلبک در روز یازدهم مشاهده شد. مقایسه آماری بین دو تیمار شاهد و پساب ریز جلبک کلرلا اختلاف معنی داری در میزان رشد ریز جلبک مذکور نشان نداد ($P > 0.05$). نتایج حاصل از آنالیز واریانس حاکی از وجود اختلاف معنی دار در میزان حذف BOD در کشت ریز جلبک کلرلا بود ($P < 0.05$)، به طوری که میزان BOD اندازه گیری شده در روز سوم نسبت به روز اول افزایش معنی دار، روز دهم نسبت به روز اول کاهش معنی دار و روز پانزدهم نسبت به روز اول افزایش معنی دار نشان داد ($P < 0.05$) ولی بین میزان این فاکتور در روز پنجم نسبت به روز اول تغییر معنی دار یافت نشد ($P > 0.05$). تغییرات میزان حذف COD نیز معنی دار بود ($P < 0.05$)، به طوری که میزان COD اندازه گیری شده در

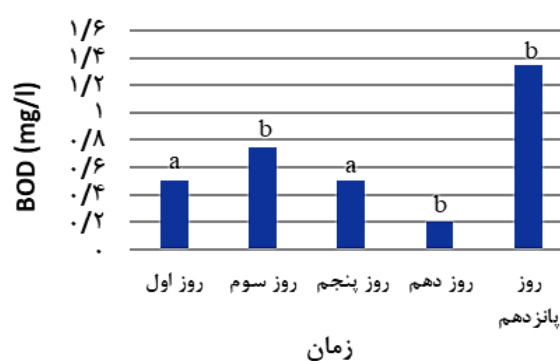




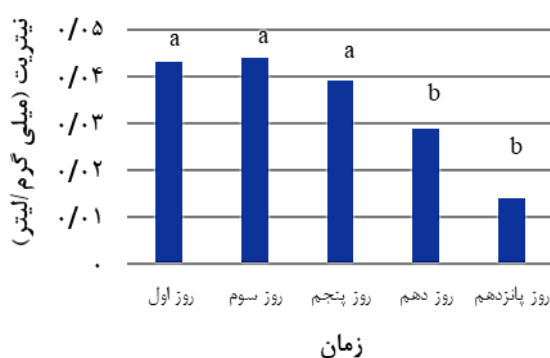
شکل ۷: میزان فسفات باقی مانده در پساب



شکل ۳: میزان حذف BOD در طول مدت آزمایش



شکل ۴: میزان حذف COD در طول مدت آزمایش



شکل ۵: میزان نیترات باقی مانده در پساب



شکل ۶: میزان نیتريت باقی مانده در پساب

بحث

ورود مواد آلاینده به آبها و تجمع آنها در آبزیان به علت خطراتی که برای انسان و دیگر موجودات به همراه دارد بخش مهمی از آلودگی محیط زیست را شامل می شود. کنترل، کاهش بار آلودگی و تصفیه فاضلابها از دیدگاه سلامت و بهداشت عمومی، پیش گیری از نابودی آبزیان و جلوگیری از به هم خوردن زنجیره غذایی در اکوسیستم حائز اهمیت است (منزوی، ۱۳۹۲). افزایش جمعیت و مصرف روزافزون منابع منجر به تولید ضایعات و فاضلاب بیش تری توسط بشر گردیده است. به طوری که فاضلابها و چگونگی دفع آنها از چالش های بشر در عصر جدید می باشد. فاضلابها به علت مواد تشکیل دهنده آنها (مدفوع انسانی و حیوانی، شوینده ها، ضایعات کشتارگاهی و...) دارای مقادیر بالایی از مواد مغذی هم چون نیتروژن و فسفر می باشند و رهاسازی آنها در آب های طبیعی می تواند منجر به یوتروف شدن این آبها گردد. در اکثر مواقع رفع آلودگی از محیط، سخت تر و غیر اقتصادی تر از حفظ محیط زیست در مقابل آلوده شدن می باشد و این خود لزوم استفاده از سیستم های تصفیه فاضلاب را گوشزد می کند. این مسئله موجب شده تا دانشمندان از طریق روش های مختلف بار آلودگی فاضلاب آلوده شده به محیط را کاهش دهند. یکی از موثرترین روشها که در چند سال اخیر مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از گیاهان در تصفیه فاضلاب به صورت گسترده است (Munoz و Guieysse, ۲۰۰۶). استفاده از جلبکها جهت تصفیه فاضلاب سریع ترین و کم هزینه ترین روشی است که به طور موثر می تواند مواد فاسد و خطرناک را به مواد ارزشمند زیستی تبدیل کند (کیانمهر، ۱۳۸۷). جلبکها برای انجام فعالیت های متابولیسم خود نیترات و فسفات را مصرف کرده و اکسیژن آزاد می کنند، اکسیژن آزاد شده به باکتری های هوازی کمک می کند تا در تجزیه مواد خام فاضلاب فعال باشند (Monzavi, ۲۰۰۹). تصفیه انواع فاضلابها به کمک میکرو جلبکها یک روش دوستدار محیط زیست است، زیرا در این فرایند هیچ آلاینده ثانویه ای تولید نمی شود



و همچنین توده زیستی تولیدی نیز بازیابی شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد (Rawat و همکاران، ۲۰۱۱). مواد مغذی مورد نیاز جلبک‌ها به سه دسته عناصر درشت مغذی (نیتروژن، فسفر، کربن)، عناصر ریز مغذی (آهن، روی، مس، منگنز، مولیبدن و غیره) و ویتامین‌ها (ویتامین ب۱۲، تیامین و بیوتین) تقسیم می‌شوند. نیتروژن و فسفر، رشد و تولید جلبک را در بیش‌تر محیط‌های طبیعی محدود می‌کنند. زمانی که نیتروژن و فسفر در عملیات آبی‌پروری افزوده شوند، کربن محدودیت پیدا می‌کند. بنابراین با هوادهی مخازن پرورش، محدودیت کربن تا حدودی بر طرف می‌شود. این سه عنصر در رشد جلبک‌ها مهم هستند. نرخ‌های رشد ریزجلبک‌ها به شرایط محیطی از قبیل غلظت‌های ماده مغذی، دسترسی نور، دما و آشفستگی آب وابسته می‌باشد. بسیاری از گونه‌های جلبک‌های سبز در غلظت‌های بالای ماده مغذی از دیاد پیدا می‌کنند رشد و تولید جلبک‌ها تابع دامنه غلظت نیترات و فسفات در محیط‌های طبیعی و نیز در شرایط پرورش در خشکی است (شکوری و بلوچ، ۱۳۹۵). نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که تعداد جلبک در تیمار شاهد در روزهای سوم تا پانزدهم نسبت به روز اول افزایش معنی‌داری داشته ولی از روز چهاردهم کاهش نسبی یافت، مقایسه آماری بین دو تیمار شاهد و پساب جلبک اختلاف معنی‌داری در میزان رشد نشان نداد. باقری و معصومی‌زاده (۱۳۹۵) با تحقیق در مورد بررسی رشد ریزجلبک کلرلا در آب دریای استریل شده و فاضلاب غیراستریل نشان دادند که رشد در کلیه تیمارهای فاضلاب غیراستریل کم‌تر از آب دریای استریل شده بوده است. درضمن رشد ریزجلبک بعد از روز ۱۴ کاهش معنی‌دار نشان داد، علت آن ورود جلبک به فاز کاهش رشد بود که مشابه نتایج تحقیق حاضر می‌باشد، البته تحقیق نام برده شده در تیمارهای مختلف ویتامینه و محیط کشت‌های مختلف کانوی و TMRL صورت پذیرفت ولی در تحقیق حاضر ریزجلبک کلرلا در محیط کشت TMRL و پساب استریل شده از استخر پرورش ماهیان استان خوزستان بررسی شد. افشاری و همکاران (۱۳۹۳) با تحقیق در مورد پساب ثانویه شهری و تعیین بهترین غلظت پساب، جهت رشد ریزجلبک *Tetraselmis Suecica* نشان دادند که میزان رشد برای دو تیمار ۴۰٪ و ۶۰٪ پساب ثانویه شهری تصاعدی است و نمی‌توان فاز تاخیری را در نمودار رشد آنان مشاهده نمود، با این حال افزایش تعداد جلبک در تیمارهای مختلف محتوی حجم‌های متفاوت پساب (۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد) گزارش شده است. ابوالحسنی و همکاران (الف ۱۳۹۵) با تحقیق روی امکان‌سنجی تولید زیست‌توده و حذف فسفات و نیترات از پساب شهری به‌وسیله کشت ریزجلبک *Chlorella vulgaris* در پساب‌هایی با صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد رقت، کاهش رشد ریزجلبک را از روز دهم به بعد اعلام نمودند، هم‌چنین ابوالحسنی و همکاران (ب ۱۳۹۵) با تحقیق روی حذف فسفات



و نیترات از پساب شهری به‌وسیله کشت ریزجلبک *Scenedesmus obliquus* و تولید زیست‌توده جلبکی در پساب‌هایی با صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد رقت، نتیجه گرفتند که این جلبک بر روی کلیه تیمارهای آزمایش شده از پساب رشد خوبی داشته است. در مطالعه نجیمی و همکاران (۱۳۹۵) با عنوان بررسی اثر ریزجلبک‌های *S. obliquus* و *C. vulgaris* استخراج شده از فاضلاب و تاثیر آن بر روی حذف برخی پارامترهای آلودگی پساب خانگی افزایش تعداد جلبک و کاهش آلاینده‌های نیترات و فسفات گزارش گردید. فرهادیان و همکاران (۱۳۹۳) با تحقیق روی تاثیر غلظت‌های مختلف فسفر بر زیست‌توده و رشد ریزجلبک سبز *Chlorococum* از استخرهای پرورش ماهی با تیمارهای مختلف و اضافه کردن ۲۵ میلی گرم فسفر به محیط کشت BBM به این نتیجه رسیدند که افزایش تراکم ریزجلبک *Chlorococum* در تمام تیمارهای آزمایشی استفاده شده تقریباً یکسان بود و نشان داد که بالاترین تراکم جمعیت جلبک در شرایط آزمایش طراحی شده در روز ۱۲ پرورش است. (حیدری و همکاران ۱۳۹۰) با تحقیق روی تولید زیست‌توده و حذف آمونیاک و نیتريت از پساب کارگاه پرورش ماهی توسط کشت ریزجلبک *S. quadricauda* با تیمارهای مختلف (پساب رقیق‌شده، پساب خام و پساب غلیظ‌شده) با محیط کشت BBM و بازه زمانی ۲۱ روزه به این نتیجه رسیدند که تعداد سلول ریزجلبک از روز ۱۴ به بعد دچار کاهش شد. هم‌چنین Arbib و همکاران (۲۰۱۲) با تحقیق روی ریزجلبک *Chlorella* برای حذف مواد مغذی (ازت و فسفر) از فاضلاب شهری و کاهش CO₂ به این نتیجه رسیدند که این ریزجلبک در فاضلاب شهری کشت می‌شود و تولید زیست‌توده می‌کند و قادر به حذف نیترات و فسفات می‌باشد که نتایج کلیه تحقیقات ذکر شده با تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. تلقیح ریزجلبک‌ها به محیط کشت جدید (پساب) توام با بروز تنش برای سلول‌های ریزجلبکی است و معمولاً آن‌ها نیازمند زمان برای آداپتاسیون، رفع تنش، تنظیم فعالیت متابولیکی و سطوح آنزیمی خود هستند (افشاری و همکاران، ۱۳۹۳). شاخص BOD در پساب استخر پرورش ماهی استان خوزستان، در روزهای سوم و پانزدهم نسبت به روز اول افزایش معنی‌دار و روز دهم نسبت به روز اول کاهش معنی‌دار نشان داد. تغییرات میزان حذف COD نیز معنی‌دار بود، به‌طوری که میزان COD اندازه‌گیری شده در روز سوم نسبت به روز اول و روز پنجم نسبت به روز اول افزایش معنی‌دار نشان داد و بین میزان این فاکتور در روز دهم و پانزدهم نسبت به روز اول تغییر معنی‌دار یافت نشد. در کل شاخص‌های BOD و COD در تحقیق حاضر از روزهای سوم تا دهم روند کاهشی داشت و علت افزایش معنی‌دار آن در روز پانزدهم از بین رفتن جلبک و کاهش چشمگیر تعداد آن می‌باشد. عباسی بیرگانی و همکاران (۱۳۹۶) با تحقیق در مورد تصفیه بیولوژیکی فاضلاب خانگی با استفاده از ریزجلبک *C. vulgaris* در مقیاس آزمایشگاهی

نشان دادند که در شرایط بهینه رشد، ریز جلبک در زمان ۷۲ ساعت قادر به حذف ۸۲٪ از BOD فاضلاب می‌باشد هم‌چنین ایشان اعلام کردند ریز جلبک *C. vulgaris* می‌تواند برای مقاصد مختلفی از جمله کاهش BOD و حذف نیتروژن و فسفر موجود در فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد. نجیمی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی اثر ریز جلبک‌های *S. obliquus* و *C. vulgaris* استخراج شده از فاضلاب و تاثیر آن بر روی حذف برخی پارامترهای آلودگی پساب خانگی عنوان نمودند که نمونه‌های تیمار شده با جلبک، BOD را بیش‌تر کاهش می‌دهند که نتایج تحقیقات فوق با تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر در رابطه با فاکتور شیمیایی نیتريت در بازه‌های زمانی تحقیق، کاهش معنی‌داری به دست آمد. حیدری و همکاران (۱۳۹۰) با تحقیق روی تولید زیست‌توده و حذف آمونیاک و نیتريت از پساب کارگاه پرورش ماهی توسط کشت ریز جلبک *S. quadricauda* با تیمارهای مختلف (پساب رقیق شده، پساب خام و پساب غلیظ شده)، با محیط کشت BBM و بازه زمانی ۲۱ روزه به این نتیجه رسیدند که این ریز جلبک در پساب رقیق شده به همراه محیط کشت (L+BMM) بهترین میانگین را برای کاهش آمونیاک و نیتريت پساب دارد. در تحقیق افشاری و همکاران (۱۳۹۳) با عنوان استفاده از پساب ثانویه شهری به عنوان محیط کشت جایگزین برای پرورش ریز جلبک *T. suecica*، میزان حذف نیتريت برابر با ۵۶/۳ درصد گزارش شد و در تمامی تیمارها، کم‌ترین مقدار را در سیزدهمین روز نشان داد، در واقع بیش‌ترین حذف در پایان دوره پرورش مشاهده گردید. کم‌ترین میزان نیتريت نیز در روز سیزدهم پرورش و در تراکم بالا مشاهده شد به عبارت دیگر بالاترین تراکم جلبکی با پایین‌ترین میزان آلاینده نیتريت ارتباط مستقیم دارد، که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. هم‌چنین Abe و همکاران (۲۰۰۲) با تحقیق روی حذف نیتريت، آمونیم و فسفات از آب توسط ریز جلبک *Trentepohlia aurea* به این نتیجه رسیدند که این ریز جلبک با افزودن نیتريت به خوبی رشد می‌کند. Kim و همکاران (۲۰۱۰) با تحقیق روی حذف آمونیاک از پساب توسط ریز جلبک *Chlorella* به این نتیجه رسیدند که این ریز جلبک با افزایش میزان جذب نیتروژن در طی کشت با استفاده از فاضلاب، نیتروژن را از بین می‌برد، در نتیجه مصرف یون‌های بی‌کربنات، کادمیوم و pH محیط کشت افزایش می‌یابد که این می‌تواند یک فرصت برای استفاده از فاضلاب به منظور کشت ریز جلبک‌ها برای هدف دوگانه حذف مواد مغذی و تولید سوخت‌های زیستی باز کند. میزان نیتريت باقی‌مانده در کشت ریز جلبک کلرلا در روز سوم نسبت به روز اول افزایش معنی‌داری نشان داد که علت آن عدم رشد کافی ریز جلبک و کمبود تعداد آن به منظور کاهش نیتريت محیط بود ولی با افزایش تعداد جلبک از روز سوم به بعد (همان‌طور که در شکل ۱ مشخص شده است)، میزان نیتريت باقی‌مانده

در محیط کاهش یافت، البته افزایش نامحسوسی در روز پانزدهم وجود داشت که علت آن کم شدن تعداد ریز جلبک به علت شروع فاز مرگ و میر آن‌ها بود. همین روند در مورد میزان فسفات باقی‌مانده در محیط از روز سوم به بعد دیده شد و میزان فسفات در روزهای سوم، پنجم، دهم و پانزدهم نسبت به روز اول کاهش معنی‌دار نشان داد. شریعتی و طاهری (۱۳۹۵) با تحقیق روی حذف نیتروژن و فسفات از فاضلاب شهری توسط ریز جلبک *C. vulgaris* و معادله سنتیکی رشد آن نتیجه گرفتند که روند کاهش نیتريت در دو روز اول بیش‌تر از روزهای بعد بود. ایشان هم‌چنین اعلام کردند نتایج کاهش فسفات از الگوی مشابه نیتريت تبعیت می‌کند، اگرچه میزان کاهش آن کم‌تر از نیتريت است، در فاضلاب‌های شهری مقدار فسفات معمولاً کم‌تر از منابع نیتروژن است و از طرفی جلبک‌ها به نیتروژن بیش‌تر از فسفات نیاز دارند. ابوالحسنی و همکاران (ب) (۱۳۹۵) با تحقیق روی حذف فسفات و نیتريت از پساب شهری به وسیله کشت جلبک *S. obliquus* و تولید زیست توده جلبکی نتیجه گرفتند که این جلبک باعث کاهش میزان نیتريت و فسفات در پساب شد. در تحقیق افشاری و همکاران (۱۳۹۳) با عنوان استفاده از پساب ثانویه شهری به عنوان محیط کشت جایگزین برای پرورش ریز جلبک *T. suecica*، میزان حذف نیتريت از پساب برابر با ۸۰ درصد در روز دهم گزارش شد. میزان نیتريت در تمامی تیمارها به جز تیمار شاهد، از روز اول تا روز دهم کاهش یافت ولی از روز دهم تا سیزدهم، افزایش میزان نیتريت مشاهده گردید. کم‌ترین میزان نیتريت پساب در روز دهم و در تیمار با تراکم بالا مشاهده شد. میزان حذف فسفات نیز برابر با ۷۱/۸ درصد گزارش شد. میزان فسفات در کلیه تیمارها از روز اول تا چهارم دوره پرورش افزایشی ناگهانی نشان داد، سپس میزان آن در همه تیمارها تا روز دهم کاهش یافت. اگرچه پس از آن میزان فسفات در تراکم‌های پایین و متوسط افزایش پیدا نمود، اما کاهش در تیمار با تراکم بالا تا آخرین روز پرورش ادامه داشت. هم‌چنین ریز جلبک تتراسلمیس به منظور رشد خود از مواد مغذی پساب استفاده می‌کند و با جذب این مواد، سبب کاهش غلظت آن‌ها در پساب می‌گردد. سلول‌های فیتوپلانکتونی ابتدا نیتريت را جذب می‌کنند و سپس در صورت عدم وجود نیتريت کافی، نیتريت را به نیتريت تبدیل کرده و از آن استفاده می‌کنند زیرا ابتدا کاهش در غلظت نیتريت اتفاق افتاده است (افشاری و همکاران، ۱۳۹۳). نجیمی و همکاران (۱۳۹۵) نیز در بررسی اثر ریز جلبک‌های *S. obliquus* و *C. vulgaris* استخراج شده از فاضلاب و تاثیر آن بر روی حذف برخی پارامترهای آلودگی پساب خانگی بر تاثیر ریز جلبک کلرلا در کاهش میزان نیتريت و فسفات پساب تاکید نمودند. هم‌چنین ابوالحسنی و همکاران (الف) (۱۳۹۵) با تحقیق روی امکان‌سنجی تولید زیست‌توده و حذف فسفات و نیتريت از پساب شهری به وسیله کشت جلبک



- C. vulgaris* اعلام کردند که این جلبک قادر است در انتهای دوره (روز پانزدهم) میزان فسفات و نترات پساب را کاهش دهد این نتایج در راستای نتایج تحقیق حاضر می باشد. فرهادیان و همکاران (۱۳۹۳) با تحقیق روی تاثیر غلظت های مختلف فسفر بر زیست توده و رشد جلبک سبز *Chlorococum* از استخرهای پرورش ماهی با تیمارهای مختلف و اضافه کردن ۲۵ میلی گرم فسفر به محیط کشت BBM به این نتیجه رسیدند که افزایش تراکم جلبک در تمام تیمارهای آزمایشی تقریباً یکسان بود و بالاترین تراکم جمعیت جلبک در روز دوازدهم دوره پرورش، هم زمان با کاهش میزان فسفر پساب در این روز بود. این نتایج با گزارش شریعتی و طاهری (۱۳۹۵) با تحقیق روی حذف نیترژن و فسفات از فاضلاب شهری توسط ریزجلبک *C. vulgaris* و معادله سنتتیک رشد آن نیز مطابقت دارد. ایشان اعلام کردند نتایج کاهش فسفات از الگوی مشابه نترات تبعیت می کند، اگرچه میزان کاهش آن کم تر از نترات است، در فاضلاب های شهری مقدار فسفات معمولاً کم تر از منابع نیترژن است و از طرفی نیاز جلبک ها به نیترژن بیش تر از فسفات است. De-bashan و همکاران (۲۰۰۲) با تحقیق روی حذف یون های آمونیوم و فسفر از فاضلاب مصنوعی توسط *Chlorella* به این نتیجه رسیدند که این ریزجلبک پتانسیل درمان فاضلاب حاوی آمونیوم و فسفر به عنوان آلاینده اصلی را دارا می باشد. Ravipratap (۲۰۱۷) با تحقیق روی کارایی *Chlorella* جهت حذف آلاینده های پساب شهری به این نتیجه رسیدند که ریزجلبک ها در حذف فسفات و نیترژن از فاضلاب شهری، غنی از مواد مغذی بسیار متمرکز هستند. کاهش یا حذف مواد مغذی محیط کشت توسط ریزجلبک ها با تراکم سلولی آن ها رابطه دارد. جذب نیترژن توسط ریزجلبک همراه با افزایش محتوای پروتئین سلولی آن می باشد (افشاری و همکاران، ۱۳۹۳). به طور کلی در تحقیق حاضر ریزجلبک کلرلا با جذب نترات، نیتريت، فسفات و هم چنین کاهش میزان BOD و COD نشان داد که می تواند به عنوان یک جاذب موثر برای حذف آلاینده ها در پساب استخر پرورش ماهیان گرمابی استان خوزستان استفاده شود. به نظر می رسد که این ریزجلبک قادر به تولید زیست توده جلبکی در سیستم های پالایش پساب خروجی استخرهای پرورش ماهی، قبل از ورود به محیط طبیعی مورد استفاده قرار گیرد، یعنی می توان جهت پرورش ریزجلبک کلرلا از پساب این استخرها به عنوان محیط کشت جایگزین استفاده نمود.
- منابع**
- ابوالحسنی، م.ه.؛ حسینی، س.ع.؛ قربانی، ر. و وینسه، ا. ۱۳۹۵ الف. امکان سنجی تولید زیست توده و حذف فسفات و نترات از پساب شهری به وسیله کشت جلبک کلرلا و ولگاریس *Chlorella*
 - ابوالحسنی، م.ه.؛ حسینی، س.ع.؛ قربانی، ر. و وینسه، ا. ۱۳۹۵ ب. حذف فسفات و نترات از پساب شهری به وسیله کشت جلبک *Scenedesmus obliquus* و تولید زیست توده جلبکی. مجله بوم شناسی آبزیان. سال ۵، شماره ۴، صفحات ۳۳ تا ۳۹.
 - احمدپور، ن.؛ صیادی، م.ح.؛ فلاحي کپورچالي، م. و رضایی، م. ۱۳۹۴. حذف فسفات به وسیله ریزجلبک ها از پساب خروجی فاضلاب شهری در شرایط آزمایشگاهی. زیست فناوری دانشگاه تربیت مدرس. سال ۶، شماره ۲، صفحات ۴۹ تا ۵۴.
 - آخوندیان، م. و میرحسن نیا، س.د. ۱۳۹۶. تنوع زیستی ریز جلبک ها، ظرفیتی بالقوه در فناوری های زیستی و محیطی. فصلنامه انسان و محیط زیست. سال ۱۹، شماره ۴۱، صفحات ۳۹ تا ۷۰.
 - افشاری، ع.؛ یحیوی، م. و سجادی، م.م. ۱۳۹۳. استفاده از پساب ثانویه شهری به عنوان محیط کشت جایگزین برای پرورش ریز جلبک *Tetraselmis suecica*. نشریه اقیانوس شناسی. سال ۵، شماره ۱۸، صفحات ۷۹ تا ۸۵.
 - باقری، ش. و معصومی زاده، س.ز. ۱۳۹۵. بررسی رشد میکرو جلبک *Chlorella sp* در آب دریا و فاضلاب غیراستریل. مجله علمی شیلات ایران. سال ۲۶، شماره ۲، صفحات ۱۵۳ تا ۱۶۳.
 - حیدری، ص.؛ فرهادیان، ا. و محبوبی صوفیانی، ن. ۱۳۹۰. تولید زیست توده و حذف آمونیاک و نترات از پساب کارگاه پرورش ماهی به وسیله کشت جلبک سبز *Scenedesmus quadricauda*. محیط شناسی. سال ۳۷، شماره ۵۹، صفحات ۱۵ تا ۲۸.
 - شریعتی، م. و طاهری، ر. ۱۳۹۵. حذف نیترژن و فسفات از فاضلاب شهری توسط ریزجلبک *Chlorella vulgaris* و تعیین معادله سینتتیک رشد آن. مجله زیست شناسی کاربردی دانشگاه الزهراء. سال ۲۹، شماره ۲، صفحات ۱۱۷ تا ۱۳۰.
 - شکوری، الف. و بلوچ، گ. ۱۳۹۵. تاثیر غلظت های مختلف نترات و فسفات بر رشد جلبک سبز *Ulva rigida* در تانک های ۴۰ لیتری در فضای باز. مجله اقیانوس شناسی. سال ۷، شماره ۲۸، صفحات ۳۶-۲۹.
 - عباسی بیرگانی، م.؛ علیزاده، ر.؛ طهماسبی انفرادی، س. و سلطانین، س. ۱۳۹۶. تصفیه بیولوژیکی فاضلاب خانگی با استفاده از میکرو جلبک *Chlorella vulgaris* در مقیاس آزمایشگاهی. مجله محیط زیست و مهندسی آب. سال ۳، شماره ۲، صفحات ۱۴۴ تا ۱۵۶.
 - کیانمهر، ه. ۱۳۸۷. بیولوژی جلبک ها. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۳۶ صفحه.
 - فرهادیان، ا.؛ فلاحي، س.م. و محبوبی صوفیانی، ن. ۱۳۹۳. تاثیر غلظت های مختلف فسفر بر زیست توده و رشد جلبک سبز *Chlorococum*. مجله زیست شناسی ایران. سال ۲۷، شماره ۳، صفحات ۴۷۸ تا ۴۸۹.



۱۳. منزوی، م. ت.، ۱۳۹۲. فاضلاب شهری - تصفیه فاضلاب. انتشارات دانشگاه تهران. ۲۶۶ صفحه.
۱۴. نجیمی، ز.؛ سلیمی، ل.؛ وریانی، م.، ۱۳۹۵. بررسی اثر ریز جلبک‌های *Scenedesmus obliquus* و *Chlorella vulgaris* استخراج شده از فاضلاب و تاثیر آن بر روی حذف برخی پارامترهای آلودگی پساب خانگی. اولین کنفرانس بین‌المللی آب. محیط زیست و توسعه پایدار. ۱۴ صفحه.
۱۵. Abe, K.; Imamaki, A. and Morio., H., 2002. Removal of nitrate, nitrite, ammonium and phosphate ions from water by the aerial microalga *Trentepohlia aurea*. Journal of applied phycology. Vol. 14, No. 2, pp: 129-134.
۱۶. APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater 19th edition. American Public Health Association. pp: 83-113.
۱۷. Arbib, Z.; Ruiz, J.; Alvarez, P.; Garrido, C.; Barragan, J. and Perales, J.A., 2012. Chlorella stigmatophora for urban wastewater nutrient removal and CO2 abatement. International Journal of Phytoremediation. Vol. 14, No. 7, pp: 714-725.
۱۸. De-bashan, L.E.; Moreno, M.; Hernandez, J.P. and Bashan, Y., 2002. Removal of ammonium and phosphorus ions from synthetic wastewater by the microalgae *Chlorella vulgaris* coimmobilized in alginate beads with the microalgae growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*. Journal of Water Research. Vol. 36, No. 12, pp: 2941-2948.
۱۹. kim, J.; Lingaraju, B.; Rheume, R.; Lee, J. and Siddiqui, K., 2010. Removal of Ammonia from Wastewater Effluent by *Chlorella Vulgaris*. Tsinghua science and Thechnolgy. Vol. 14, No. 4, pp: 391-396.
۲۰. Lee, K. and Lee, C.G., 2001. Effect of light/dark cycles on wastewater treatments by microalgae. Biotechnology and Bioprocess Engineering. Vol. 6, pp: 194-199.
۲۱. Martinez, M.E.; Sanchez, S.; Jimenez, J.M.; Yoysfi, F.E. and Munoz, L., 2000. Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater by the microalga *Scenedesmus obliquus*. Bioresource Technology. Vol. 73, pp: 263-272.
۲۲. Munoz, P. and Guieysse, B., 2006. Algalbacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review. Water research. Vol. 40, pp: 2799-2815.
۲۳. Ravipratap, S.; Rohan, B. and Sibi, G., 2017. Nurennt Removal Efficiencies of *Chlorella vulgaris* from urban Wastewater for Reduced Eutrophication. Journal of Environmental Protection. Vol. 8, No. 1, pp: 1-11.
۲۴. Rawat, I.; Kumar, R.R.; Mutanda, T. and Bux, F., 2011. Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. Appl. Energy. Vol. 88, No. 10, pp: 3411-3424.
۲۵. Tam, N.F.Y. and Wong, Y.S., 1996. Effect of ammonia concentrations on growth of *Chlorella vulgaris* and nitrogen removal from media. Bioresource Technology. Vol. 57, pp: 59-66.

