Archive of SID

نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۵۲، شماره ۳ (پاییز ۱۴۰۱)، یادداشت پژوهشی، ۱۹۵-۲۰۱ پیاپی ۱۰۸

بررسی عملکرد میکروجلبک در بخش‌های مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب با به‌کارگیری آنالیز آماری

الهام قائمی[۱]، عبدالرضا کرباسی*[۲]، بهنوش امین‌زاده گوهرریزی[۳]

[۱] کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست- آب و فاضلاب، دانشگاه تهران
[۲] دانشیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
[۳] استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۶، پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۱۷، نشر آنلاین: ۱۳۹۸/۶/۱۷

چکیده

به‌طورکلی مدیریت منابع آب و فاضلاب برای دستیابی به توسعه اقتصادی پایدار امری ضروری است. امروزه به‌علت توانایی بالقوه پساب‌ها در آلوده‌سازی منابع غذایی و آب‌ها و همچنین امکان رشد انواع مختلف میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا درون آن‌ها، تأکید زیادی بر جمع‌آوری و رفع آلودگی از انواع پساب انجام می‌گیرد. از این‌رو لازم است علاوه بر استفاده از روش‌های کارآمد در تصفیه فاضلاب روش‌هایی توسعه یابند که به لحاظ اقتصادی نیز مقرون به‌صرفه می‌باشند. یافتن یک روش مناسب برای تصفیه فاضلاب و تخلیه ایمن آن به منابع آبی یک چالش بزرگ می‌باشد زیرا نیازمند در نظر داشتن مسائل مختلف فنی و اقتصادی است. یکتایی هر یک از این مسائل انتخاب یک روش مناسب برای تصفیه پساب را بسیار مشکل می‌سازد. استفاده از ریزجلبک‌ها برای تصفیه انواع فاضلاب شهری، کشاورزی و صنعتی روشی بسیار مناسب می‌باشد زیرا جلبک‌ها با استفاده از فتوسنتز، نور خورشید را به توده‌های زیستی مفیدی تبدیل کرده که مواد مغذی نظیر نیتروژن و فسفر را مصرف کرده و از پدیده تغذیه گرایی در منابع آبی جلوگیری می‌کنند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که میزان حذف پارامترهایی چون نیتروژن کل، نیتروژن آمونیاکی، فسفر کل و اورتو فسفات از پساب شهری به‌ترتیب ۸۷/۵٪، ۹۹/۴٪، ۸۱/۲۵ و ۸۶/۹۵٪ می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: ریزجلبک، نیتروژن، فسفات، محیط زیست، آلودگی.

۱- مقدمه

صنعتی‌سازی و رشد روزافزون جمعیت بشر طی یک قرن گذشته موجب نابودی بسیاری از اکوسیستم‌های مورد بهره‌برداری بشر شده است. به‌عنوان مثال ورود انواع فاضلاب به آب‌های آزاد و رودخانه‌ها به‌عنوان اولین عامل کاهش کیفیت منابع آبی در دسترس انسان شناخته شده‌اند. حجم آلاینده‌های همراه با این فاضلاب‌ها از جمله جامدات معلق کل[۱]، اکسیژن‌خواهی زیستی[۲] و اکسیژن خواهی شیمیایی[۳] تا ده‌ها هزار میلی‌گرم در هر لیتر می‌رسد (Chan و همکاران، ۲۰۰۹). این در حالی است که ورود فاضلاب به منابع آب سطحی و زیرزمینی منجر به نابودی همین منابع محدود خواهد شد و نیاز به بازیابی و بازچرخانی پساب در صنعت و کشاورزی برای کاهش صدمات وارده به محیط زیست کاملاً محسوس است. امروزه دولت‌ها قوانین سخت‌گیرانه‌ای را برای کنترل و مدیریت فاضلاب‌ها وضع کرده و به اجرا گذاشته‌اند (Chan و همکاران، ۲۰۰۹). به‌طورکلی مدیریت منابع آب و فاضلاب‌ها برای دستیابی به توسعه اقتصادی پایدار امری ضروری است. از این‌رو لازم است علاوه بر استفاده از روش‌های کارآمد در تصفیه فاضلاب روش‌هایی توسعه یابند که به لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه هستند. استفاده از ریزجلبک‌ها برای تصفیه انواع فاضلاب شهری، کشاورزی و صنعتی روشی مقرون به‌صرفه می‌باشد (de Godos و همکاران، ۲۰۱۰؛ Di Termini و همکاران، ۲۰۱۱؛ Muñoz و همکاران، ۲۰۰۶).

امروزه استفاده از ریزجلبک‌ها در تصفیه فاضلاب بسیار موردتوجه محققان قرار گرفته است. زیرا ریزجلبک‌ها می‌توانند

1. Total Suspended Solids (TSS)
2. Biological Oxygen Demand (BOD5)
3. Chemical Oxygen Demand (COD)

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۲-۲۳۹۵۳۶۵
آدرس ایمیل: ghaemi.elham@ut.ac.ir (ا. قائمی)، akarbasi@ut.ac.ir (ع. کرباسی)، bamin@ut.ac.ir (ب. امین‌زاده گوهرریزی).

www.SID.ir

Archive of SID

علاوه بر تصفیه فاضلاب توده زیستی زیادی برای دستیابی به مواد ارزشمند و انرژی تولید کرده و از ورود دی‌اکسید کربن به جو جلوگیری نمایند (Olguin، ۲۰۰۳). همچنین تصفیه انواع فاضلاب‌ها به‌کمک ریزجلبک‌ها یک روش دوست‌دار محیط زیست است زیرا در این فرآیند هیچ آلاینده ثانویه‌ای تولید نمی‌شود. توده زیستی تولیدی نیز بازیابی شده و مورداستفاده قرار می‌گیرد (Olguin، ۲۰۰۳؛ Rawat و همکاران، ۲۰۱۱).

امروزه تصفیه زیستی آلاینده‌ها با استفاده از جلبک‌ها کاربردهای بسیاری دارد که شامل حذف مواد غذایی و ترکیبات آلی از پساب‌ها، جدا کردن زنوبیوتیک‌ها[4] و ایجاد تبدیلات زیستی بر ساختار شیمیایی آن‌ها، تعدیل پساب‌های اسیدی و حاوی فلزات سنگین، جدا کردن و جذب دی‌اکسیدکربن و سنجش ترکیبات سمی توسط حسگرهای زیستی بر پایه سیستم‌های ریزجلبکی است (فرامرزی و همکاران، ۱۳۸۹).

انتشار مواد آلی و معدنی به محیط زیست در نتیجه فعالیت-های شهری، کشاورزی و صنعتی منجر به آلودگی آلی و معدنی منابع آبی می‌گردد. روش‌های معمول تصفیه مقدماتی و ثانویه این پساب‌ها به‌منظور کاهش بار آلودگی با ته‌نشینی و با اکسیداسیون ذرات آلی موجود در آن‌ها، به‌طور گسترده مورداستفاده قرار گرفته است. نتیجه نهایی یک خروجی صاف تقریباً پاکیزه می‌باشد که می‌توان آن را در آب‌های طبیعی تخلیه کرد. به‌هرحال این خروجی دارای ذرات معدنی، نیتروژن و فسفر می‌باشد که منجر به یوتریفیکاسیون و مشکلات بلندمدت ناشی از مواد مقاوم آلی و فلزات سنگین تخلیه‌شده به آب‌ها می‌باشد. کشت میکروجلبک‌ها یک گام مناسب برای تصفیه فاضلاب می‌باشد زیرا یک تصفیه زیستی پیشرفته همراه با تولید مقادیر قابل‌توجهی بیومس[5] می‌باشد که می‌تواند برای مقاصد گوناگون مورداستفاده قرار گیرد (Abdel-Raouf و همکاران، ۲۰۱۲).

روش‌های متعددی برای تصفیه بیولوژیکی انواع فاضلاب به کمک ریزجلبک‌ها وجود دارد که برخی هوازی و برخی دیگر بی‌هوازی هستند. تاکنون مطالعات زیادی روی بازده حذف مواد آلاینده به‌ویژه نیتروژن، فسفر و تا حدی فلزات سنگین از فاضلاب به کمک ریزجلبک‌ها انجام شده است (Rawat و همکاران، ۲۰۱۱).

متداول‌ترین ریزجلبک‌های مورداستفاده در تصفیه فاضلاب، انواع سویه‌های Chlorella، Scenedesmus و Spirulina هستند. همچنین توانایی Nannochloropsis، Botryococcus و برخی سیانوباکتری‌ها[6] در حذف مواد مغذی از فاضلاب در پژوهش‌های مختلفی موردبررسی قرار گرفته است (Aslan و Kapdan، ۲۰۰۶).

طبق گزارش Aslan و Kapdan (۲۰۰۶) هزینه عملیاتی پایین، امکان بازچرخانی فسفر و نیتروژن جذب‌شده در توده زیستی جلبکی به‌صورت کود، عدم تولید حجم بالای لجن و تخلیه پساب حاوی اکسیژن از واحد تصفیه به منابع آب از جمله مزایای استفاده از ریزجلبک‌ها در حذف مواد مغذی می‌باشند (Aslan و Kapdan، ۲۰۰۶).

۲- روش تحقیق

جلبک مورداستفاده در این تحقیق گونه کلرلا وولگاریس[7] می‌باشد که از رودخانه تجن جداسازی شده و برای بررسی و کشت به آزمایشگاه دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران منتقل شد. پساب استفاده‌شده در این پروژه نیز از چهار بخش ورودی، ته‌نشینی اولیه، ته‌نشینی ثانویه و خروجی قبل از کلرزنی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب تهیه شد. هدف از انتخاب این چهار بخش، یافتن مکان مناسب برای کشت جلبک می‌باشد تا هم میزان رشد توده سلولی بالا بوده و هم میزان حذف آلاینده‌ها بیش‌ترین راندمان ممکن را دارا باشد.

قبل از انتخاب مناسب‌ترین محیط کشت برای پرورش میکروجلبک موردنظر، توجه به این نکته که آب محل انتخاب این میکروجلبک دارای چه خصوصیاتی است الزامی می‌باشد. با توجه به شرایط جغرافیایی منطقه و مواد مغذی موردنیاز، محیط کشت BG-۱۱ انتخاب شد. جدول (۱) نمایانگر مواد مورداستفاده در این محیط کشت می‌باشد.

برای تهیه محیط کشت به‌میزان ml ۱۰۰ از محلول شماره (۱)، ml ۱۰ از محلول‌های شماره (۲) تا (۸) و ml ۱ از محلول شماره (۹) تهیه شده و در نهایت حجم محلول به lit ۱ می‌رسد. برای ایجاد اختلاط بین محلول‌ها نیز از همزن مغناطیسی استفاده شد. بعد از آماده‌سازی محیط کشت، pH محلول را به هفت رسانیده و سپس برای استریلیزه کردن آن، محلول به‌مدت ۹۰ دقیقه در اتوکلاو[8] قرار گرفت. در نهایت با استفاده از گونه جلبک اولیه و محیط کشت آماده شده پرورش جلبک تا میزان مورد نیاز برای استفاده در فرآیند تصفیه صورت گرفت.

دستگاهی که برای کشت میکروجلبک‌ها در نظر گرفته شد نیز یک فتوبیوراکتور[9] از نوع ستون حبابی می‌باشد. مطالعاتی در خصوص طراحی فتوبیوراکتور صورت گردید که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از نوردهی سیستم و اختلاط و هوادهی.

همان‌طور که می‌دانیم نوع و شدت نور، بر فرآیند فتوسنتز بسیار تأثیرگذار است. نور خورشید بسته به این‌که در چه قسمتی از روز بتابد به رنگ‌های سفید یا زرد دیده می‌شود اما در واقع

4. Xenobiotics
5. Biomass
6. Cyanobacteria
7. Chlora-Vulgaris
8. Auto-Clave
9. Photo bio-reacdtor

www.SID.ir

Archive of SID

می‌توان گفت که نور خورشید طیف کاملی از رنگ‌ها است که هر یک طول موج مخصوص به خود دارند. شدت نور موردنیاز در فتوبیوراکتور بستگی به نوع گونه جلبکی مورداستفاده دارد. باتوجه به مطالعات صورت گرفته در میان منابع مختلف در این پروژه از یک لامپ استوانه‌ای سفید رنگ درون آبی ۳۰ سانتی‌متری با توان شش وات و شدت نور ۹۰ لومن استفاده گردید.

جدول ۱- محیط کشت BG-11

ترکیبات اصلی	مقدار در هر لیتر
$NaNO_3$	۱۵ گرم
	مقدار در ۵۰۰ میلی‌لیتر
K_2HPO_4	۲ گرم
$MgSO_4.7H_2O$	۳/۷۵ گرم
$CaCl_2.2H_2O_2$	۱/۸ گرم
سیتریک اسید	۰/۰۳ گرم
آمونیوم فریک سیترات سبز	۰/۰۳ گرم
$EDTANa_2$	۰/۰۵ گرم
Na_2CO_3	۱ گرم
ترکیبات فرعی	مقدار در هر لیتر
H_3BO_3	۲/۸۶ گرم
$MnCl_2.4H_2O$	۱/۸۱ گرم
$ZnSO_4.7H_2O$	۰/۲۲ گرم
$Na_2MO_4.2H_2O$	۰/۳۹ گرم
$CuSO_4.5H_2O$	۰/۰۸ گرم
$Co(NO_3)_2.6H_2O$	۰/۰۵ گرم

از دیگر پارامترهای مهم در طراحی یک فتوبیوراکتور اختلاط می‌باشد. افزایش اختلاط باعث بالاتر رفتن راندمان حذف آلاینده‌ها و رشد بیشتر میکروجلبک‌ها می‌گردد. ازاین‌رو در طراحی از یک پخش‌کننده هوای کروی در کف فتوبیوراکتور با قابلیت ایجاد حباب‌هایی با قطر کم‌تر از یک میلی‌متر استفاده گردید.

بعد از بررسی‌های انجام‌شده برای به حداقل رسیدن عوامل مخرب برای رشد جلبک و همچنین وجود جلبک کافی برای تصفیه پساب، این‌گونه استنباط شد که ترکیب درصد حجمی مناسب ۲۰٪ جلبک در مقابل ۵۰٪ پساب می‌باشد. در نهایت برای یک دوره ۱۲ روزه کشت میکروجلبک درون پساب صورت گرفت و در طول این دوره بررسی پارامترهای موردنظر صورت گرفت.

برای انجام صحیح آزمایش‌ها جداسازی میکروجلبک‌ها از پساب ضروری است. در نتیجه برای این منظور محلول را مستقیماً به سانتریفیوژ[10] منتقل نموده و به کمک نیروی گریز از مرکز زیست‌توده را از محلول جدا می‌کنیم. تقریباً تمام انواع گونه‌های میکروجلبکی را می‌توان با سانتریفیوژ با کارایی بالا از محیط کشت جدا نمود.

در این آزمایش از یک سانتریفیوژ با سرعت ۸۰۰۰ دور بر دقیقه استفاده گردید. روش کار به این صورت می‌باشد که محلول میکروجلبک‌ها درون هشت لوله فالکون ۱۸ میلی‌لیتری ریخته شد. فالکون‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه درون سانتریفیوژ قرار گرفتند. در انتها سوپرنتانت[11] باقی‌مانده برای آزمایش مورداستفاده قرار گرفت. برای انجام آزمایش‌های مربوط به نیتروژن کل، نیتروژن آمونیاکی، فسفر کل و اورتو فسفات از دستگاه Spectrophotometer Hach DR۵۰۰۰ و راکتور DRB ۲۰۰ ساخت کشور آلمان و نیز برای بررسی pH تمامی محلول‌ها از دستگاه pH متر ۶۹۱ Metrohm ساخت کشور سوئیس استفاده شده و تمامی روش‌های مورداستفاده برای انجام آزمایش‌ها مطابق استانداردها بوده است. هر آنالیز آماری شامل سه مرحله است:

۱- توصیف داده‌ها (نمایش و خلاصه کردن داده‌ها)

۲- آزمون فرضیات (نتیجه‌گیری در مورد گروه بزرگ‌تر (جامعه) از روی اطلاعات به‌دست‌آمده در یک نمونه)

۳- ارزیابی روابط (مطالعه روابط بین متغیرها)

در حقیقت تحلیل آماری شیوه‌ای است که با استفاده از آن‌ها از داده‌های جمع‌آوری‌شده به زبان ریاضی نتیجه‌ای استنباط می‌کنیم. ما نیز به‌منظور یافتن بهترین عملکرد برای حذف ذرات مغذی در بین چهار بخش انتخابی از تصفیه‌خانه از تحلیل آماری داده‌ها به‌کمک نرم‌افزار spss استفاده کردیم. برای رسیدن به این مطلوب در ابتدا از آزمون Paired t-test استفاده شد. این آزمون زمانی استفاده می‌شود که ما یک گروه را دو بار اندازه‌گیری نماییم و هدف، بررسی تأثیر روش مورداستفاده قبل و بعد از به‌کارگیری روش می‌باشد. براساس آزمون t زوج شده ما ابتدا یک بار پارامترهای موردبررسی را قبل از کشت میکروجلبک‌ها اندازه‌گیری نموده و سپس یک بار دیگر همان پارامترها را پس از کشت جلبک‌ها اندازه‌گیری کردیم. در حقیقت در این روش ما هر پارامتر را کنترل خودش منظور می‌نماییم. این کار موجب می‌شود که اگر تفاوتی بین میانگین قبل از کشت با میانگین بعد از کشت جلبک‌ها مشاهده شود این تفاوت ناشی از اثر تصفیه باشد نه عوامل مخدوش‌کننده دیگر. در هر آزمون آماری یک فرضیه اولیه وجود دارد که آن را فرضیه صفر یا H_0 می‌گویند و به‌عنوان فرض عدم اختلاف شناخته می‌شود. در برابر این فرضیه، فرض H_1 یا فرض مقابل وجود دارد (ادعای مطرح‌شده) که به‌عنوان فرض وجود تفاوت یا اختلاف شناخته می‌شود. در پروژه موردمطالعه از فرض صفر یا H_0 این‌گونه استنباط می‌شود که میانگین پارامترهای موردبررسی قبل و بعد از کشت میکروجلبک برابر است. فرض مقابل یا H_1 نیز بدان معناست که میانگین پارامترهای موردبررسی قبل و بعد از کشت میکروجلبک متفاوت (کم‌تر) است. همچنین

10. Centrifuge

11. Supernatants

www.SID.ir

Archive of SID

در هر آزمون فرضیه، از دیدگاه آماری، مرتکب دو نوع خطا می‌شویم، خطای نوع اول که با α نمایش داده می‌شود، عبارت است از رد فرض صفر (به اشتباه) وقتی فرض صفر درست باشد. خطای نوع دوم نیز که با β نمایش داده می‌شود عبارت است از پذیرش فرض صفر (به اشتباه) وقتی فرض مقابل درست باشد. در بین دو خطای مطرح‌شده خطای نوع اول یا α مهم‌تر از خطای نوع دوم یا β می‌باشد به‌همین دلیل ما α را قبل از شروع آزمایش ثابت فرض می‌کنیم. معمولاً مقدار α در اختیار پژوهشگر است و برابر ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شود. ازآنجایی‌که آزمون t براساس میانگین‌ها کار می‌کند، باید نگران اثرات احتمال داده‌های پرت باشیم، چراکه میانگین حسابی، به مقادیر کوچک و بزرگ که از بقیه فاصله دارند، بسیار حساس است اما میانه چنین نیست. در نتیجه برای کنترل خطای این آزمون، بعد از انجام آزمون t جفت شده، آزمون ویلکاکسون[12] نیز مورداستفاده قرار گرفت. از نظر تئوری آزمون ویلکاکسون بدین‌صورت عمل می‌کند که ابتدا مقادیر قبل و بعد را از هم کم کرده و سپس مقادیر قدر مطلق این اختلاف‌ها را مرتب کرده و به آن‌ها رتبه می‌دهد و آمار آزمون t جفت شده را براساس این رتبه‌ها به‌دست می‌آورد.

۳- نتایج و بحث

میکروجلبک‌های موجود در رآکتور توسط پساب که منبعی مناسب حاوی انواع ذرات معدنی حل‌شده موردنیاز برای رشد جلبک‌ها می‌باشند، تغذیه می‌شوند. ازآنجایی‌که میکروجلبک‌ها علاوه بر آمونیوم و فسفات نیازمند مواد ریزمغذی[13] نظیر سیلیکا، کلسیم، منیزیم، کبالت، پتاسیم، روی، آهن، منگنز، سولفور و مس می‌باشند، می‌توان این‌گونه دریافت که پساب شهری که مورداستفاده برای رشد میکروجلبک‌ها می‌باشد حاوی این مواد بوده است(Christenson و Sims، ۲۰۱۱).

میکروجلبک‌ها با مصرف کربن معدنی به‌دست‌آمده توسط فتوسنتز و مصرف CO_2 رشد می‌کنند. سیستم بافری بی‌کربنات-کربنات در محیط کشت می‌تواند CO_2 موردنیاز برای فتوسنتز را از طریق واکنش‌های زیر فراهم نماید (Ruiz-Martinez و همکاران، ۲۰۱۲):

$$2HCO_3^- \leftrightarrow CO_3^{2-} + H_2O + CO_2 \quad (۱)$$

$$HCO_3^- \leftrightarrow CO_2 + OH^- \quad (۲)$$

$$CO_3^{2-} \leftrightarrow H_2O + CO_2 + 2OH^- \quad (۳)$$

همان‌گونه که می‌دانیم در حین فرآیند فتوسنتز ریزجلبک‌ها CO_2 مصرف می‌شود، در نتیجه حوضچه‌های تصفیه قلیایی می‌شوند. همچنین با کاهش منبع کربنی، جذب بی‌کربنات‌ها از فاضلاب، توسط ریزجلبک‌ها افزایش می‌یابد و pH زیاد می‌شود. در نتیجه روند افزایش pH در طول این آزمایش کاملاً قابل‌قبول و توجیه‌پذیر می‌باشد. مقدار نیتروژن آمونیاکی از چهار بخش ورودی، ته‌نشینی اولیه، ته‌نشینی ثانویه و خروجی به‌ترتیب از مقادیر ۵۰، ۳۵/۵، ۲۲/۵ و ۲۰ به ۰/۳، ۰/۲۴، ۰/۶۳ و ۰/۱۶رسیده است که نشان‌دهنده ۹۹/۴٪، ۹۹/۳۲٪، ۹۷/۲ و ۹۹/۲ درصد حذف می‌باشد. روند تغییرات pH در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲- روند تغییرات pH

pH	ورودی	ته‌نشینی اولیه	ته‌نشینی ثانویه	خروجی
روز اول	۸/۱۱	۷/۷۵	۷/۶۷	۷/۶۲
روز سوم	۸/۴۳	۷/۹۷	۸/۲۲	۸/۲۶
روز پنجم	۸/۹۱	۸/۸۲	۸/۶۴	۸/۴۱
روز هشتم	۸/۹۷	۸/۷۱	۸/۷۱	۸/۵۷
روز دهم	۹/۰۶	۸/۸۷	۸/۸۷	۸/۷۴
روز دوازدهم	۹/۲۵	۹/۰۴	۹/۰۴	۸/۹۸

کاهش نیتروژن آمونیاکی از پساب توسط جلبک‌ها به‌علت مصرف مستقیم نیتروژن آمونیاکی می‌باشد (Tam و همکاران، ۱۹۹۰). گزارش شده که مصرف NH_3 تنها به‌شرط قلیایی بودن محلول در دماهای بالا (Reeves، ۱۹۷۲) و وجود مقادیر بالای اوره در پساب امکان‌پذیر است (Matusiak و همکاران، ۱۹۷۶). بنابراین به‌علت وجود مقادیر بالای اوره در پساب شهری، میزان بالای حذف را می‌توان به این مورد مربوط دانست.

نتایج به‌دست‌آمده برای آزمون نمونه‌های جفت شده برای نیتروژن آمونیاکی در جدول (۳) و آمار تست برای نیتروژن آمونیاکی در جدول (۴) نشان داده شده است. مقادیر sig به‌دست‌آمده از چهار بخش ورودی، ته‌نشینی اولیه، ته‌نشینی ثانویه و خروجی از آزمون T-Test انجام شده در مورد نیتروژن آمونیاکی عبارت‌اند از ۰/۱۰۳، ۰/۰۹۲، ۰/۱۳۸ و ۰/۱۱۶ که همگی بزرگ‌تر از مقدار α در نظر گرفته شده است. می‌توان نتیجه گرفت که فرض H_0 در این آزمون رد نمی‌شود. اما بعد از انجام آزمون ویلکاکسون و با توجه به مقادیر sig به‌دست‌آمده (۰/۰۴۳، ۰/۰۴۳، ۰/۰۱۳۸ و ۰/۰۴۳) نشان می‌دهد فرض H_1 برای همه بخش‌ها به‌جز ته‌نشینی ثانویه قابل‌قبول است. در نتیجه می‌توان گفت که کشت جلبک برای بخش‌های ورودی، ته‌نشینی اولیه و خروجی کارآمد بوده و موجب کاهش نیتروژن آمونیاکی در این بخش‌ها شده است.

12. Wilcoxon

13. Micronutrients

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- آزمون نمونه‌های جفت شده برای نیتروژن آمونیاکی

		t	df	Sig. (tailed)
Pair 1	نمونه شاهد ورودی و نمونه ورودی	۱/۹۹	۵	۰/۱۰۳
Pair 2	نمونه شاهد ته‌نشینی اولیه و نمونه ته‌نشینی اولیه	۲/۰۸	۵	۰/۰۹۲
Pair 3	نمونه شاهد ته‌نشینی ثانویه و نمونه ته‌نشینی ثانویه	۱/۷۷	۵	۰/۱۳۸
Pair 4	نمونه شاهد خروجی و نمونه خروجی	۱/۹۰	۵	۰/۱۱۶

جدول ۴- آمار تست برای نیتروژن آمونیاکی

	نمونه شاهد ورودی و نمونه ورودی	نمونه شاهد ته‌نشینی اولیه و نمونه ته‌نشینی اولیه	نمونه شاهد ته‌نشینی ثانویه و نمونه ته‌نشینی ثانویه	نمونه شاهد خروجی و نمونه خروجی
Z	-۲/۰۲۳	-۲/۰۲۳	-۱/۴۸۳	-۲/۰۲۳
Asymp. Sig.(tailed)	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۱۳۸	۰/۰۴۳

میزان اورتوفسفات[14] نیز در چهار بخش ورودی، ته‌نشینی اولیه، ته‌نشینی ثانویه و خروجی از ۱۸/۴، ۱۵/۴، ۶/۸ و ۶/۶ به ۲/۴، ۲/۷، ۱/۸ و ۲/۱ رسیده که برابر ۸۶/۹۵٪، ۸۲/۴۷٪، ۷۳/۵۳٪ و ۶۸/۱۸٪ حذف است که بیش‌ترین میزان این حذف در ۵ روز اول و در بخش ورودی و ته‌نشینی اولیه صورت گرفته است.

آزمون T-Test برای پارامتر اورتوفسفات نیز انجام شده و مقادیر سیگما به‌دست‌آمده از چهار بخش ورودی، ته‌نشینی اولیه، ته‌نشینی ثانویه و خروجی ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۹، ۰/۰۲۲ و ۰/۰۸۹ است که تنها مقدار به‌دست‌آمده در بخش خروجی بزرگ‌تر از مقدار α در نظر گرفته شده است و درنتیجه می‌توان گرفت که فرض H_0 در این بخش رد نمی‌شود. اما بعد از انجام آزمون ویلکاکسون و با توجه به مقادیر sig (۰/۰۴۳، ۰/۰۴۳، ۰/۰۴۳ و ۰/۰۸۹) نشان می‌دهد فرض H_1 برای همه بخش‌ها قابل‌قبول است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این آزمون می‌توان نتیجه گرفت که کشت جلبک برای همه بخش‌ها کارآمد بوده و موجب کاهش اورتوفسفات در این بخش‌ها شده است.

کاهش نیتروژن ناشی از مصرف مواد مغذی توسط جلبک‌ها و باکتری‌ها در طول رشد می‌باشد. فراریت برخی گونه‌های آمونیاکی در pH بالا دلیل دیگری برای حذف نیتروژن می‌باشد.

کاهش نیتروژن ناشی از مصرف مواد مغذی توسط جلبک‌ها و باکتری‌ها در طول رشد می‌باشد. فراریت برخی گونه‌های آمونیاکی در pH بالا دلیل دیگری برای حذف نیتروژن می‌باشد.

جدول ۵- آزمون نمونه‌های جفت شده برای اورتوفسفات

		t	df	Sig. (tailed)
Pair 1	نمونه شاهد ورودی و نمونه ورودی	۴/۷۸	۵	۰/۰۰۵
Pair 2	نمونه شاهد ته‌نشینی اولیه و نمونه ته‌نشینی اولیه	۴/۰۹	۵	۰/۰۰۹
Pair 3	نمونه شاهد ته‌نشینی ثانویه و نمونه ته‌نشینی ثانویه	۳/۲۷	۵	۰/۰۲۲
Pair 4	نمونه شاهد خروجی و نمونه خروجی	۲/۱۱	۵	۰/۰۸۹

جدول ۶- آمار تست برای اورتوفسفات

	نمونه شاهد ورودی و نمونه ورودی	نمونه شاهد ته‌نشینی اولیه و نمونه ته‌نشینی اولیه	نمونه شاهد ته‌نشینی ثانویه و نمونه ته‌نشینی ثانویه	نمونه شاهد خروجی و نمونه خروجی
Z	-۲/۰۲۳	-۲/۰۲۳	-۲/۰۲۳	-۱/۷۵۳
Asymp. Sig. (tailed)	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۱۳۸	۰/۰۵

این مطالعه و تحقیقات انجام‌شده توسط Wang نشان می‌دهند که گونه کلرلا می‌تواند آمونیوم و یا نیترات، دو منبع اولیه نیتروژن برای بسیاری از ارگانیسم‌ها را مصرف کند (Wang و همکاران، ۲۰۱۰). میزان TN نیز از ۳۶، ۲۵، ۲۸ و ۲۰ از چهار بخش ورودی، ته‌نشینی اولیه، ته‌نشینی ثانویه و خروجی ۷، ۵، ۶ و ۴ رسیده است که برابر ۸۷/۵٪، ۸۶/۴۹٪، ۷۶٪ و ۸۳/۳۳٪ حذف می‌باشد. بیش‌ترین میزان نیتروژن در پساب نیتروژن آمونیاکی می‌باشد که به‌آسانی توسط جلبک‌ها قابل‌استفاده می‌باشد. برخی از عناصر آلی که نمی‌توانند به نیتروژن آمونیاکی تبدیل شده و توسط جلبک‌ها حذف شوند همچنان باقی خواهند ماند. نکته قابل‌توجه این است که نسبت N:P موردنیاز برای رشد جلبک‌ها حدوداً بین ۱/۲± ۵/۴ می‌باشد (Ruiz-Martinez و همکاران، ۲۰۱۲) که این نسبت در ورودی و ته‌نشینی اولیه تقریباً برقرار است اما با برهم خوردن این میزان در سایر بخش‌ها تعادل وجود مقادیر کافی مواد مغذی برای رشد میکروجلبک‌ها نیز بر هم خورده و با کمبود مواد مغذی مواجه خواهیم شد. نتایج به‌دست‌آمده برای آزمون نمونه‌های جفت شده برای نیتروژن کل در جدول (۷) و آمار تست برای نیتروژن کل در جدول (۸) نشان داده شده است. با انجام آزمون T-Test برای پارامتر نیتروژن کل و مشاهده مقادیر sig به‌دست‌آمده از چهار بخش ورودی، ته‌نشینی

14. Orthophosphate

www.SID.ir

Archive of SID

اولیه، ته‌نشینی ثانویه و خروجی (۰/۰۱۳، ۰/۰۱۳، ۰/۴۴۸ و ۰/۸۸۴) که مقدار به‌دست‌آمده در بخش ته‌نشینی ثانویه و خروجی بزرگ‌تر از مقدار α در نظر گرفته شده است و می‌توان نتیجه گرفت که فرض H_0 در این آزمون برای این بخش رد نمی‌شود. بعد از انجام آزمون ویلکاکسون و با توجه به مقادیر sig به‌دست‌آمده (۰/۰۴۳، ۰/۰۴۲، ۰/۰۴۹۶ و ۱/۰۰۰) نشان می‌دهد که فرض H_1 برای تمامی بخش‌ها به‌جز خروجی قابل‌قبول است. در نتیجه می‌توان گفت که کشت جلبک برای همه بخش‌ها به‌جز خروجی کارآمد بوده و موجب کاهش نیتروژن کل در این بخش‌ها شده است.

جدول ۷- آزمون نمونه‌های جفت شده برای نیتروژن کل

		t	df	Sig. (tailed)
Pair 1	نمونه شاهد ورودی و نمونه ورودی	۳/۸۱	۵	۰/۰۱۳
Pair 2	نمونه شاهد ته‌نشینی اولیه و نمونه ته‌نشینی اولیه	۳/۸۱	۵	۰/۰۱۳
Pair 3	نمونه شاهد ته‌نشینی ثانویه و نمونه ته‌نشینی ثانویه	۰/۸۲۲	۵	۰/۴۴۸
Pair 4	نمونه شاهد خروجی و نمونه خروجی	-۰/۱۵۴	۵	۰/۸۴۴

جدول ۸- آمار تست برای نیتروژن کل

	نمونه شاهد ورودی و نمونه ورودی	نمونه شاهد ته‌نشینی اولیه و نمونه ته‌نشینی اولیه	نمونه شاهد ته‌نشینی ثانویه و نمونه ته‌نشینی ثانویه	نمونه شاهد خروجی و نمونه خروجی
Z	-۲/۰۲۳	-۲/۰۲۳	-۰/۶۸۰	۰/۰۰۰
Asymp. Sig. (tailed)	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۹۶	۱/۰۰

مقدار TP در چهار بخش ورودی، ته‌نشینی اولیه، ته‌نشینی ثانویه و خروجی به‌ترتیب از مقادیر ۱۶/۷، ۷/۱، ۱/۶ و ۱/۵ به ۳/۱۳، ۱/۶۸، ۰/۹ و ۰/۷۸ کاهش یافت میزان حداکثر حذف به ۸۱/۲۵٪ رسیده که در بخش ورودی است. این میزان حذف می‌تواند وابسته به توانایی بالای این‌گونه میکروجلبکی در مقابل مقادیر بالای فسفر باشد. کاهش مقدار فسفر به‌طور پیوسته‌ای ادامه دارد. نتایج به‌دست‌آمده برای آزمون نمونه‌های جفت شده برای فسفر کل در جدول (۹) و آمار تست برای فسفر کل در جدول (۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۹- آزمون نمونه‌های جفت شده برای فسفر کل

		t	df	Sig. (tailed)
Pair 1	نمونه شاهد ورودی و نمونه ورودی	۴/۲۵	۵	۰/۰۰۸
Pair 2	نمونه شاهد ته‌نشینی اولیه و نمونه ته‌نشینی اولیه	۲/۶۳	۵	۰/۰۴۶
Pair 3	نمونه شاهد ته‌نشینی ثانویه و نمونه ته‌نشینی ثانویه	۱/۸۲	۵	۰/۱۲۸
Pair 4	نمونه شاهد خروجی و نمونه خروجی	-۰/۵۱	۵	۰/۶۳۱

جدول ۱۰- آمار تست برای فسفر کل

	نمونه شاهد ورودی و نمونه ورودی	نمونه شاهد ته‌نشینی اولیه و نمونه ته‌نشینی اولیه	نمونه شاهد ته‌نشینی ثانویه و نمونه ته‌نشینی ثانویه	نمونه شاهد خروجی و نمونه خروجی
Z	-۲/۰۲۳	-۱/۷۵۳	-۱/۴۸۳	-۰/۴۰۵
Asymp. Sig. (tailed)	۰/۰۴۳	۰/۰۵۰	۰/۱۳۸	۰/۶۸۶

در نهایت با به‌کارگیری آزمون T-Test برای پارامتر فسفر کل و مشاهده مقادیر sig به‌دست‌آمده از چهار بخش ورودی، ته‌نشینی اولیه، ته‌نشینی ثانویه و خروجی (۰/۰۰۸، ۰/۰۴۶، ۰/۱۲۸ و ۰/۶۳۱) می‌توان این‌گونه برداشت کرد که مقدار به‌دست‌آمده در بخش‌های ته‌نشینی ثانویه و خروجی بزرگ‌تر از مقدار α در نظر گرفته شده است بنابراین فرض H_1 در این آزمون برای این بخش‌ها رد نمی‌شود. بعد از انجام آزمون ویلکاکسون و با توجه به مقادیر sig به‌دست‌آمده (۰/۰۴۳، ۰/۰۵۰، ۰/۱۳۸ و ۰/۶۸۶) همان نتایج را نشان داده و می‌توان نتیجه گرفت که کشت جلبک برای دو بخش ورودی و ته‌نشینی اولیه کارآمد بوده و موجب کاهش فسفر کل در این بخش‌ها شده است.

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از ریزجلبک‌ها به‌منظور تصفیه پساب شهری به‌علت حذف CO_2 از گازهای خروجی از صنایع به‌وسیله تثبیت زیستی جلبک و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تصفیه پساب به‌وسیله حذف NH_4^+، NO_3^- و PO_4^{3-} که جلبک به‌عنوان مواد غذایی برای رشد از آن‌ها استفاده می‌کند و استفاده از بیومس باقی‌مانده برای تولید انرژی و به‌عنوان خوراک دام و کود می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مناسب و مقرون به‌صرفه مدنظر قرار گیرد.

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل آماری spss نشان‌دهنده کارآمدی بیشتر این روش تصفیه برای بخش‌های ورودی و

www.SID.ir

Archive of SID

تهنشینی اولیه می‌باشد. همچنین با توجه به مقادیر بالای ذرات مغذی مورداستفاده میکروجلبک‌ها برای رشد در بخش ورودی، متناسب بودن نسبت N:P برای رشد میکروجلبک‌ها و همچنین اقتصادی بودن روش‌های به‌کاررفته برای جداسازی میکروجلبک‌های مورداستفاده در بخش ورودی، مناسب‌ترین قسمت جهت کشت و پروش میکروجلبک‌ها بخش ورودی تصفیه‌خانه می‌باشد.

۵- قدردانی

در انتها از همکاری و مساعدت‌های آزمایشگاه دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران تقدیر و تشکر می‌گردد.

۶- مراجع

فرامرزی م ع، فروتن‌فر ح، شکیبایی م، "بیوتکنولوژی ریز جلبک‌ها"، انتشارات دانشگاه علوم پزشکی تهران.

Abdel-Raouf N, Al-Homaidan A, Ibraheem IBM, "Microalgae and wastewater treatment: A review", Saudi Journal of Biological Sciences, 2012, 19, 257-275.

Aslan S, Kapdan I, "Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae", Ecological Engineering, 2006, 28, 64-70.

Chan Y, Chong M, Law C, Hassell DG, "A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater", Chemical Engineering Journal, 2009, 155, 1-18.

Christenson L, Sims R, "Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts", Biotechnology Advances, 2011, 29, 686-702.

de Godos I, Vargas V, Blanco S, González M, Soto R, García-Encina P, Becares E, Muñoz R, "A comparative evaluation of microalgae for the degradation of piggery wastewater under photosynthetic oxygenation", Bioresource Technology, 2010, 101, 5150-5158.

Di Termini I, Prassone A, Cattaneo C, Rovatti M, "On the nitrogen and phosphorus removal in algal photobioreactors", Ecological Engineering, 2011, 37, 976-980.

Matusiak K, Przytocka-Jusiak M, Leszczyńska-Gerula K, Horoch M, "Studies on the Hurification of wastewater from the nitrogen fertilizer industry by intensive algal cultures. II: Removal of nitrogen from wastewater", Acta Microbiol Pollut, 1976, 25, 361-374.

Muñoz R, Guieysse B, "Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review", Water Research, 2006, 40, 2799-2815.

Olguin E "Phycoremediation: key issues for cost-effective nutrient removal processes", Biotechnology Advances, 2003, 22, 81-91.

Rawat I, Ranjith Kumar R, Mutanda T, Bux F, "Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production", Applied Energy, 2011, 88, 3411-3424.

Reeves T, "Nitrogen removal", Water Pollution Control Federation, 1972, 44, 1895.

Ruiz-Martinez A, Martin Garcia N, Romero I, Seco A, Ferrer J, "Microalgae cultivation in wastewater: nutrient removal from anaerobic membrane bioreactor effluent", Bioresource Technology, 2012, 126, 247-253.

Tam NFY, Wong YS, "The comparison of growth and nutrient removal activated sewages", Environmental Pollution, 1990, 65, 93-108.

Wang L, Min M, Li Y, Chen P, Chen Y, Liu Y, Wang Y, Ruan R, "Cultivation of green algae Chlorella sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant", Applied Biochemistry and Biotechnology, 2010, 162, 1174-1186.

www.SID.ir

Archive of SID

University of Tabriz

Journal of Civil and Environmental Engineering
Volume 52 (2022), Issue 3 (Autumn), 195-201

EXTENDED ABSTRACT

Evaluation of Microalgae Performance in Different sectors of Wastewater Treatment Plant Using Statistical Analysis

Elham Ghaemi, Abdolreza Karbasi *, Behnoosh Aminzadeh Goharrizi

Faculty of Environmental Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 18 March 2015; **Accepted:** 09 September 2019

Keywords:
Microalgae, Nitrogen, Phosphate, Environment, Pollution.

1. Introduction

Industrialization and growth of population during the last century has led to destruction of many ecosystems used by mankind. Entrance of different kinds of sewage to open water and rivers is known as the first factor reducing the quality of water resource available for mankind. The volume of pollutants in the sewage including total suspended solid, biological oxygen demand and chemical oxygen demand, reached tens of thousands milligrams per liter (Chan et al., 2009).

Generally, in order to achieve sustainable economic development, water resources and wastewater management are necessary. Hence, it is necessary to use cost effective methods beside practical methods. Using microalgae for treatment of different kinds of municipal, agricultural and industrial wastewater is an affordable method (de Godos et al., 2010; Di Termini et al., 2011; Muñoz and Guieysse, 2006). Nowadays using microalgae in wastewater treatment has gained lots of attention, since microalgae can produce large amounts of biomass in order to attain valuable products and energy besides wastewater treatment and also prevent carbon dioxide from entering the atmosphere. Furthermore, treatment of different kinds of wastewater by means of microalgae is an environmental friendly method, because in this process no secondary pollutant is produced. The produced biomass is also recycled and used (Olguin, 2003; Rawat et al., 2011).

2. Methodology

Algae used for this study was Chlorella vulgaris strains, which was isolated from Tajan River and transferred to the laboratory of Faculty of Environment University of Tehran, for examination and cultivation.

Wastewater was obtained from four different sections of Shahrak-Qods sewage treatment plant including input, primary sedimentation, secondary sedimentation, and output before chlorination. The aim of choosing these four sectors is to find the right place for cultivating algae, in which it could have a high amount of both cell mass and growth rate and the most possible efficiency for pollutant removal.

Before choosing the most suitable medium for the considered microalgae cultivation, it is necessary to consider the characteristics of the microalgae aborigine culture media. Due to the geographical conditions and required nutrients, BG-11 medium was selected.

Finally, using initial algae species and prepared culture medium, the algae was started to be cultivated up to the amount required for use in the treatment process.

The device applied for microalgae cultivation was a bubble column photo-bioreactor. It should be noted that, in order to prevent entry of the additional materials into the photo-bioreactor, Para film was used as the cylinder cover.

* Corresponding Author
E-mail addresses: ghaemi.elham@ut.ac.ir (Elham Ghaemi), akarbasi@ut.ac.ir (Abdolreza Karbasi), bamin@ut.ac.ir (Behnoosh Aminzadeh Goharrizi).

www.SID.ir

Archive of SID

Studies were also conducted for photo-bioreactor designing such as system lighting, mixing, and aeration.

After several investigations for minimizing the destructive factors for algae growth and in the presence of sufficient algae for wastewater treatment, it was concluded that the appropriate mixture volume is 20% algae versus 80% waste water. In fact, before the initial disturbance of wastewater and microalgae, the solution was placed in an autoclave for wastewater sterilizing.

To correctly perform the tests, it is essential to separate microalgae from the culture medium or wastewater. Consequently, the solutions were directly transferred to the centrifuge and the biomass was separated from the solutions by centrifugal force.

3. Results and discussion

During the microalgae photosynthesis process, carbon dioxide is consumed; therefore, the treatment ponds become alkaline.

TP content in four sections of input, primary sedimentation, secondary sedimentation, and output, respectively, decrease from 16.7, 7.1, 1.6 and 1.5 to 3.13, 1.68, 0.9, and 0.78. The maximum removal reaches 81.25% which is in the input and much higher than the values reported in other studies. The removal rates can be related to the high ability of this microalgae species against the high amount of phosphorus.

Nitrogen reduction arises from the use of nutrients by both algae and bacteria during growth. Volatility of some ammonia nitrogen forming at high pH is another reason for nitrogen removal. This study showed that Chlorella species can consume ammonium or nitrate, the primary source of nitrogen for many organisms (Wang et al., 2010). TN rates also decrease from 36, 25, 28, and 20 in four parts of inputs, primary sedimentation, secondary sedimentation, and output to 7, 5, 6, and 4 which is equal to 87.5%, 86.49%, 76%, and 83.33% removal rate. The maximum amount of nitrogen in the wastewater is ammonia nitrogen, which can be easily used by algae.

The amount of ammonia nitrogen in these four sections changes from 50, 35.5, 22.5, and 20 to 0.3, 0.24, 0.63 and 0.16 respectively. Reduction of ammonia nitrogen from wastewater using algae is due to the direct consumption of ammonia nitrogen and NH_3 (Tam and Wong, 1990).

Ortho-phosphate levels also decrease from 18.4, 15.4, 6.8, and 6.6 to 2.4, 2.7, 1.8, and 2.1 in the four sections of input, primary sedimentation, secondary sedimentation and output, respectively, which was 86.95%, 82.47%, 73.53%, and 68.18% removal rate. Maximum removal rate was during the first 5 days and in input and primary sedimentation sections.

4. Conclusions

Comparing the results obtained from different parts of the treatment plant indicates that this treatment method is mostly effective for input and primary sedimentation. Also, due to the high levels of nutrient particulates used by microalgae for their growth in the input, the proportional ratio of N:P for microalgae growth, and economical methods used for separating microalgae in the input, the most suitable place for cultivation and breeding microalgae is the input of the treatment plant.

5. References

Chan Y, Chong M, Law C, Hassell DG, "A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater", Chemical Engineering Journal, 2009, 155, 1-18.

de Godos I, Vargas V, Blanco S, González M, Soto R, García-Encina P, Becares E, Muñoz R, "A comparative evaluation of microalgae for the degradation of piggery wastewater under photosynthetic oxygenation", Bioresource technology, 2010, 101, 5150-5158.

Di Termini I, Prassone A, Cattaneo C, Rovatti M, "On the nitrogen and phosphorus removal in algal photobioreactors", Ecological Engineering, 2011, 37, 976-980.

Muñoz R, Guieysse B, "Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: a review", Water research, 2006, 40, 2799-2815.

Olguin E "Phycoremediation: key issues for cost-effective nutrient removal processes", Biotechnology Advances, 2003, 22, 81-91.

Rawat I, Ranjith Kumar R, Mutanda T, Bux F, "Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production", Applied Energy, 2011, 88, 3411-3424.

Tam NFY, Wong YS, "The comparison of growth and nutrient removal activated sewages", Environmental Pollution, 1990, 65, 93-108.

Wang L, Min M, Li Y, Chen P, Chen Y, Liu Y, Wang Y, Ruan R, "Cultivation of green algae Chlorella sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant", Applied Biochemistry and Biotechnology, 2010, 162, 1174-1186.

www.SID.ir