کاهش آلودگی پساب صنعتی توسط جلبک سبز(*اسپیروژیر*) و جلبکهای سبز- آبی (*اسیلاتوریا* و *آنابنا*)

اکبر مستأجران [۱] سیما یحیی‌آبادی [۲] گیتی امتیازی [۳]

(دریافت ۸٤/۱۰/۲۷ پذیرش ۸۵/۲/۲٦)

چکیده

در این تحقیق اثر جلبکهای سبز و سبز- آبی در کاهش بار آلودگی فاضلابهای صنعتی با استفاده از برکه‌های تثبیت مورد بررسی قرار گرفت. جهت انجام این تحقیق از سه جلبک *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* و پساب کارخانه‌های روغن نباتی ناز، قند و کشتارگاه اصفهان استفاده گردید. نمونه‌های جلبکی، جمع‌آوری و خالص شده و به نمونه‌های فاضلاب جمع آوری شده در برکه اضافه گردید و پس از گذشت زمانهای ۱۵، ۲۰ و ۵۵ روز، پارامترهای pH ، BOD_5 و COD در این فاضلابها اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که نوع فاضلاب، جلبک، زمان ماند و اثر متقابل آنها بر کاهش BOD_5 و COD در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. ولی تغییرات pH در اثر تیمارهای مختلف در همه حالات فوق‌الذکر معنی‌دار نیست. نتایج حاصل از مقایسه میانگینها نیز بیانگر این نکته است که نمونه‌های تیمار شده با جلبک نسبت به شاهد دارای BOD_5 و COD کمتری است که در این میان جلبکهای *آنابنا* و *اسیلاتوریا* از جلبکهای سبز-آبی نسبت به جلبک *اسپیروژیر* از جلبکهای سبز اثر بیشتری را نشان می‌دهد. با افزایش زمان ماند، پارامترهای فوق‌الذکر نسبت به شاهد، کاهش بیشتری نشان می‌دهد. مقادیر کاهش BOD_5 و COD در شاهد(بدون استفاده از جلبک) قابل توجه و متأثر از زمان ماند و نوع فاضلاب بود.

واژه‌های کلیدی: *جلبک، اسپیروژیر، اسیلاتوریا، آنابنا، BOD_5 ، COD، فاضلابهای صنعتی.*

Reduction of High Organic Loading of Industrial Wastewater Using Green Algae (*Spirogyra Sp.*) and Blue- Green Algae (*Oscillatoria Sp.* and *Anabaena Sp.*)

Akbar Mostajeran[1], Sima Yahyabady[2], Gitti Emtiazi[3]

(Received Jan. 17, 2006 Accepted May 16, 2006)

Abstract

In this research the effects of algae on reduction of organic loading of industrial wastewaters were evaluated using stabilization ponds. For this reason, the blue-green algae (*Oscillatoria sp*. and *Anabaena sp.*) and green algae *(spirogyra sp.)* were collected, purified, identified and then added to the wastewater samples collected from slaughterhouse, sugar plant and vegetable oil refinery. The wastewater parameters such as pH, BOD_5 and COD were measured at four different intervals of 15, 20 and 55 days. The data were analyzed using ANOVA and the Duncan's multiple test range to compare the mean values. The results indicated that the effects of different treatments (wastewater, algae or retention time) and their interactions are not statistically significant on pH of the wastewaters; however, the BOD_5 and COD were affected significantly by different treatments and their interactions. Although the BOD_5 and COD of treated samples with algae have lower values with respect to BOD_5 and COD's of the controls, the *Anabanea* sp. and *Osilatoria* sp. are more effective on reducing BOD_5 and COD of wastewater compared to *spirogyra sp*.

Keywords: *Algae, Spirogyra, Oscillatoria, Anabaena, BOD_5, COD, Industrial Wastewater.*

۱- دانشیار گروه زیست‌شناسی دانشگاه اصفهان- mostajerana@yahoo.com
۲- استاد یار گروه زیست شناسی دانشگاه آزاد فلاورجان
۳- استاد گروه زیست شناسی دانشگاه اصفهان

1- Associate Professor of Biology Dept., University of Isfahan mostajerana@yahoo.com
2- Assistant Professor of Biology Dept., Azad University of Falavarjan
3- Professor of Biology Dept., University of Isfahan

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

با توجه به محدود بودن منابع آب و گسترش روز افزون واحدهای صنعتی، گسترش فاضلابهای صنعتی و آلوده شدن منابع آب یکی از معضلات اجتماعی- اقتصادی روز به حساب می‌آید [۱]. در این راستا، فاضلابهای حاصل از کارخانه‌ها و مراکز تولیدی نیز به دلیل دارا بودن ترکیبات متفاوت در مقادیر مختلف، مشکلاتی را در روند تصفیه فاضلاب ایجاد می‌کند. برای مثال کارخانه‌های ریسندگی و بافندگی دارای پساب حاوی ترکیبات شوینده؛ صنایع شیمیایی، حاوی ترکیبات آلی و عناصر سنگین؛ کشتارگاهها، دارای هموگلوبین زیاد؛ کارخانه‌های قند، حاوی پس مانده‌های چغندر قند و فاضلاب کارخانه‌های روغن نباتی حاوی پس مانده‌های دانه‌های روغنی می‌باشند [۲، ۳ و ۴]. نتایج حاصل از بررسی تفاوت بار آلودگی و خصوصیات پسابهای صنعتی استان تهران نیز بیانگر صحت مطلب فوق‌الذکر است [۵].

موفقیت سیستم‌های طبیعی و مصنوعی، در تصفیه فاضلاب، منوط به ایفای نقش بهینه موجودات زنده در این سیستم‌ها می‌باشد [۶ و ۷]. از بین روشهای تصفیهٔ طبیعی می‌توان به برکه‌های تثبیت که در عین ساده بودن از عملکرد بالایی نیز برخوردارند و نسبت به سایر روشها مانند لجن فعال و صافیهای چکنده از لحاظ انرژی و تجهیزات مورد نیاز بسیار مقرون به صرفه می‌باشند اشاره نمود [۱، ۸ و ۹]. برکه‌های تثبیت برای اولین بار در سال ۱۹۰۱ در شهر سان‌آنتونیو تگزاس استفاده شد. این برکه به نام دریاچه میشل به مساحت ۲۷۵ هکتار به عمق ۱۴۰ سانتی‌متر، هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این ترتیب برکه تثبیت به عنوان یک روش وارد سیستم تصفیه فاضلاب شد و در سال ۱۹۲۸ در ایالت داکوتای شمالی در امریکا برای اولین بار برکه‌ای براساس اصول علمی ساخته شد [۱۰].

گرچه تاریخ استفاده از برکه‌های تثبیت قدمت زیادی ندارد، لکن تا سال ۱۹۷۵ تعداد ۳۸ کشور از برکه‌های تثبیت برای تصفیه فاضلاب استفاده کرده‌اند [۱۱]. یکی از دلایل عدم استقبال تمام کشورها از این روش، علی‌رغم هزینه کم و مصرف انرژی پایین، شرایط اقلیمی و وضعیت توپوگرافی این مناطق است. در شرایط مرطوب و پر باران، محدودیتهایی در استفاده از این روش وجود دارد، ولی در مناطق گرم و خشک نظیر ایران دارای راندمان بالایی است. در همین راستا برکه‌های تثبیت به عنوان یک روش تصفیه فاضلاب در ایران در حال توسعه می‌باشد به طوری که در سال ۱۳۵۶ در شاهین شهر اصفهان چند برکه احداث شد و در سال ۱۳۵۷ از برکه‌های تثبیت در فولاد شهر اصفهان جهت تصفیه فاضلابهای شهری استفاده شد [۱۲] و اخیراً نیز مطالعات و یا احداث برکه‌های تثبیت زیادی در کشور از جمله در شرق اصفهان در دست اقدام است [۱۳].

فیتوپلانکتون‌ها و جلبکها در محیطهای آبی به عنوان اولین حلقه زنجیره غذایی و تولید کننده غذا از طریق فتوسنتز برای سایر موجودات محسوب می‌شوند [۱ و ۱۴]. به همین دلیل در سالهای اخیر از این موجودات، در مقیاس وسیعی در سیستم‌های تصفیه فاضلاب استفاده شده است [۱۴، ۱۵ و ۱۶]. با افزایش فتوسنتز توسط جلبکها در محیط فاضلاب و زیاد شدن اکسیژن، شرایط هوازی شکل گرفته و در نتیجه شرایط شکسته شدن ترکیبات آلی توسط میکروارگانیسم‌های هوازی فراهم می‌گردد [۷، ۱۱ و ۱۶].

در بعضی از کشورها نظیر استرالیا، فاضلابهای صنایع پتروشیمی با استفاده از برکه‌های تثبیتی که دارای جلبک هستند تصفیه می‌شوند [۱، ۱۱ و ۱۵]. در این راستا تحقیقات آزمایشگاهی برای حذف ترکیبات فنلی توسط برکه‌های تثبیت نشان می‌دهد که این برکه‌ها می‌توانند این ترکیبات را حذف و یا تعدیل کنند. پال پاراسرت و همکاران[1] در سال ۱۹۹۵ گزارش کردند که مقدار فنل ورودی به برکه تثبیت ۵۰۰ میلی گرم در لیتر بوده که میزان ۹۹ درصد آن در برکه تثبیت حذف گردیده است و با افزایش غلظت فنل ورودی تا ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر، موجب حذف آن به میزان ۲۸ درصد شده است [۱۷]. کروزیک[2] در سال ۱۹۹۴ با استفاده از فرآورده‌های جلبکی و آنزیم‌های باکتریایی جهت تحریک جمعیت میکروبی برای کاهش مواد آلی و حذف بوهای نامطبوع در تصفیه فاضلاب کارخانه قند، سبب کاهش COD خروجی نسبت به شاهد گردید [۱۵]. در ایران نیز برای حذف کاهش بار آلودگی، از روشهای مختلف تصفیه فاضلاب خصوصاً روشهای بیولوژیکی استفاده می‌شود که در این روشها به طور عمده باکتری‌های هوازی و غیر هوازی ملاک هستند [۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸].

با توجه به تأثیر مثبت جلبکها در تصفیه فاضلاب به دلیل تولید اکسیژن و ایجاد شرایط مناسب برای باکتری‌های هوازی و شرایط اقلیمی مناسب ایران برای استفاده از برکه‌های تثبیت از یک طرف و کمبود اطلاعات پیرامون برکه‌های تثبیت با تزریق جلبک، این تحقیق انجام شد.

در این تحقیق نقش گونه‌های مختلف جلبک در کاهش بار آلودگی فاضلابهای صنایع مختلفی همچون کشتارگاه، کارخانه قند و کارخانه روغن نباتی مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه اثر سه جلبک *اسپیروژیر*[3] از جلبکهای سبز

[1] Polprasert et al.
[2] Kruzic
[3] *Spirogyra Sp.*

Archive of SID
www.SID.ir

و *آنابنا* [1] و *اسیلاتوریا* [2] از جلبکهای سبز - آبی که از جلبکهای رایج و در ضمن مقاوم در اکوسیستم‌های اصفهان می‌باشند در سه زمان ماند ۱۵، ۲۰ و ۵۵ روز در کاهش BOD_5 و COD به عنوان شاخص بار آلی فاضلابهای صنایع فوق‌الذکر و همچنین تغییرات pH آنها مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روشها

نمونه‌های حاوی جلبک از نقاط مختلفی نظیر آب رودخانه زاینده‌رود، حومه شهر اصفهان و محوطه گلخانه تحقیقاتی دانشگاه اصفهان که دارای اکوسیستم متفاوتی هستند جمع‌آوری و جهت از بین بردن آلودگی باکتریایی، این نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه تحت تأثیر اشعهٔ ماوراء بنفش قرار داده شدند [۱۶ و ۱۸].

جهت تهیهٔ محیط کشت جامد، ۰/۷ گرم آگار به ۱۰۰ میلی لیتر از محیط کشت [3]، اضافه گردید و بعد از حل شدن آگار، محیط مذکور در $121^{\circ}c$ به مدت ۲۰ دقیقه در دیگ بخار [4] قرار گرفت [۱۹]. آنگاه تحت شرایط استریل، مخلوطهای جلبکی به طور مجزا به پتری دیش‌های [5] محتوی محیط کشت جامد منتقل گردیدند. بعد از گذشت دو روز که ریسه‌های جلبک در سطح محیط جامد پخش شدند با استفاده از تیغ استریل، ریسه‌های پخش شده از روی محیط جامد جدا گردیده و جهت خالص‌سازی و تکثیر به محیطهای مایع Chu No.10 به طور جداگانه منتقل گردیدند. نمونه‌های خالص شده با استفاده از منابع موجود به طور کامل کلید شده و جلبکهای *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* تا حد جنس شناسایی شدند [۸ و ۱۶]. ارلن‌های محتوی محیط کشت مایع همراه با ریسه‌های سه نمونه جلبک شناسایی شده در درون محفظهٔ رشد بر روی دستگاه همزن [6] قرار گرفته و pH محیط با استفاده از HCl و NaOH روی ۷/۵ تنظیم گردید. بعد از گذشت ۱۰-۷ روز توده‌های جلبکی نمایان شدند و سه محیط خالص از سه گونه جلبک به دست آمد.

جلبکها با استفاده از دستگاه سانتریفوژ از محیط کشت جدا شدند و هر کدام در سه تکرار به میزان ۱، ۲ و ۳ گرم وزن تر در لیتر محیط کشت مایع تلقیح اضافه شدند. لوله‌های آزمایش حاوی جلبک و محیط کشت مایع تلقیح در درون اتاقک کشت (رژیم نوری ۱۶:۸ و دمای ۲ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد و pH = ۷/۵) قرار داده شدند. شاخصهای فیزیولوژیکی یعنی میزان کلروفیل a و b با استفاده از روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری و بیوماس جلبکی هر ۵ روز یک بار اندازه‌گیری شد [۲۰]. این کار به مدت ۷۵ روز ادامه یافت و منحنیهای رشد هر کدام از جلبکها با توجه به میزان کلروفیل رسم گردید. به این ترتیب مشخص گردید که بهترین میزان تلقیح، دو گرم وزن تر جلبک در لیتر است. با توجه به افزایش قابل توجه میزان کلروفیل‌های a و b و بیوماس جلبکی تا روز پانزدهم الی بیستم و ادامه روند افزایش با شدت کمتر تا روز پنجاه و پنجم، این زمانها به عنوان زمان ماند در تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که از روز پنجاه و پنجم تا روز هفتاد و پنجم شاخصهای رشد جلبک رو به کاهش نهاد و هر سه جلبک نیز روند مشابهی را نشان دادند.

پس از تعیین زمان ماند و آماده شدن جلبکهای مورد نیاز، نسبت به انتقال نمونه‌های فاضلاب از کشتارگاه، کارخانه قند و کارخانه روغن نباتی ناز واقع در اصفهان در تکرارهای متعدد به آزمایشگاه اقدام گردید. پس از مخلوط کردن نمونه‌های هر فاضلاب (در بدو ورود)، مقدار pH، BOD_5 و COD آنها اندازه‌گیری شد [۲۱]. سپس با استفاده از روش آماری فاکتوریل و طرح کاملاً تصادفی اثر سه جلبک *آنابنا*، *اسیلاتوریا*، *اسپیروژیر* بر روی تغییرات pH، BOD_5 و COD سه نوع فاضلاب مربوط به کارخانه روغن نباتی، قند و کشتارگاه با سه زمان ماند ۱۵، ۲۰ و ۵۵ روز در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. برای انجام آزمایش، ۲ گرم در لیتر جلبک خالص شده (با توجه به غلظت مناسب از آزمایش اولیه) به یک لیتر فاضلاب که در ظروف شیشه‌ای مخصوص قرار داشت اضافه شد. ظروف در درجه حرارت ۵ ± ۲۵درجه سانتی‌گراد در داخل گلخانه نگهداری شده و در انتهای هر زمان ماند مقدار pH، BOD_5 و COD نمونه‌های تیمار شده با استفاده از دستورالعملهای موجود در مرجع روشهای استاندارد اندازه گیری و ثبت گردید [۲۱].

۳- نتایج

نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای pH، BOD_5 و COD نمونه‌های تیمار شده با جلبکهای *آنابنا*، *اسپیروژیر* و *اسیلاتوریا* در زمانهای ماند ۱۵، ۲۰ و ۵۵ روز و همچنین نتایج حاصل از آنالیز واریانس و مقایسه میانگینها به روش دانکن در جدولهای ۱ تا ۶ ارائه شده است. تغییرات پارامترهای فوق الذکر در اثر تیمارهای مختلف، در ذیل بررسی شده است.

۳-۱- تغییرات pH پساب صنایع تحت تیمار

مقدار pH فاضلاب خروجی کارخانه روغن نباتی، کشتارگاه و کارخانه قند به ترتیب ۷/۱، ۷/۶ و ۸/۰ اندازه‌گیری شده است که با افزایش زمان ماند و فعالیت جلبکی، مقدار pH افزایش نشان

---

[1] *Anabaena Sp.*
[2] *Oscillatoria Sp.*
[3] Chu No. 10, nutrient media contain; (g l^{-1}) Ca $(No_3)_2$, 0.04; K_2HPO_4, 0.005-0.01;$MgSO_4.7H_2O$, 0.025; Na_2CO_3, 0.02; Na_2SiO_3, 0.025; $FeCl_3$, 0.0008
[4] Autoclave
[5] Petrie Dish
[6] Shaker

Archive of SID
www.SID.ir

می‌دهد. افزایش جزئی pH در تمام نمونه‌ها در قیاس با شاهد نیز قابل مشاهده‌است (جدول ۱). گرچه تغییراتی در مقدار pH مشاهده می‌شود، لکن تیمارهای مختلف نظیر جلبک، زمان ماند و نوع فاضلاب و همچنین اثر متقابل آنها بر روی pH از لحاظ آماری اثر معنی‌داری را نشان نمی‌دهد (جدول ۲). این مطلب بیانگر این است که تغییرات pH در طی فرآیند ماند در برکه‌های تثبیت قابل اغماض بوده و اگر تغییری نیز مشاهده می‌شود، از لحاظ آماری، علت خاصی را نمی‌توان برای آن عنوان نمود. گرچه تغییرات pH و اثر تیمارهای مختلف از لحاظ آماری معنی‌دار نیست، لکن افزایش pH فاضلابهای مختلف برای جلبک *آنابنا* و *اسیلاتوریا* بیشتر از بقیه می‌باشد به طوری که مقدار آن به طور متوسط به اندازه ۰/۵ واحد افزایش می یابد. لازم به ذکر است که در مطالعات انجام شده در بعضی از تحقیقات، سیکل تغییرات pH را در شبانه روز گزارش نموده‌اند [۲۲] ولی در این تحقیق با عنایت به عدم معنی‌دار بودن تغییرات pH از لحاظ آماری در تیمارهای مختلف از بحث پیرامون این تغییرات خودداری شده است.

۳-۲- تغییرات BOD_5 پساب صنایع تحت تیمار

نتایج حاصل از آنالیز واریانس تیمارهای مختلف بیانگر معنی‌دار بودن اثر گونه‌های جلبک، زمان ماند و نوع فاضلاب به صورت مستقل بر میزان تغییرات BOD_5 در سطح یک درصد می‌باشد. نه تنها تیمارهای فوق الذکر هر کدام به نوبه خود تأثیر در کاهش BOD_5 دارند، بلکه اثرات متقابل آنها نیز در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد (جدول ۲) به طوری که بین گونه جلبک، نوع فاضلاب و زمان ماند اثر متقابل مشاهده می‌شود. لذا جهت استفاده از جلبک، لازم است به نوع فاضلاب و زمان ماند مناسب توجه شود.

طبق نتایج به دست آمده در این تحقیق اختلاف اثر تیمارهای مختلف در میانگین مقادیر BOD_5 به صورت مجزا برای نوع

جدول ۱- مقدار pH فاضلاب کارخانه‌های روغن‌نباتی، قند و کشتارگاه، تحت تأثیر جلبکهای *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* در زمان ماند ۱۵، ۲۰ و ۵۵ روز

تیمار	روغن نباتی			کارخانه قند			کشتارگاه		
	۱۵ روز	۲۰ روز	۵۵ روز	۱۵ روز	۲۰ روز	۵۵ روز	۱۵ روز	۲۰ روز	۵۵ روز
شاهد	۷/۱۵	۷/۲۱	۷/۲۴	۸/۱۰	۸/۱۵	۸/۱۰	۷/۷۵	۷/۸۰	۷/۸۴
آنابنا	۷/۲۵	۷/۳۰	۷/۸۰	۸/۲۵	۸/۴۰	۸/۸۰	۷/۸۹	۸/۰۰	۸/۳۰
اسیلاتوریا	۷/۴۰	۷/۴۰	۷/۶۷	۸/۱۲	۸/۲۰	۸/۷۵	۷/۸۰	۷/۹۲	۸/۰۲
اسپیروژیر	۷/۱۷	۷/۲۲	۷/۳۳	۸/۱۲	۸/۱۶	۸/۱۴	۷/۷۷	۷/۸۲	۷/۹۲

تذکر: مقادیر pH در فاضلابهای خروجی کارخانه روغن نباتی، کارخانه قند و کشتارگاه به ترتیب ۷/۱، ۸/۰ و ۷/۶ اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- آنالیز واریانس اثر تیمارهای مختلف بر روی pH، BOD_5 و COD فاضلابهای مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	مقدار F		
		برای pH	برای BOD_5	برای COD
تیمار	۳۵	۰/۸ ns	۲۸۴/۷**	۲۸۷/۹ **
گونه جلبک	۳	۲/۵ ns	۲۲۱/۱**	۹۱/۹ **
زمان ماند	۲	۰/۴ ns	۱۷۶۳/۶**	۱۹۲۸/۵ **
فاضلاب	۲	۴/۵ ns	۲۰۲۳/۳**	۲۰۴۳/۵ **
فاضلاب × گونه	۶	۲/۲ ns	۲۴/۹**	۹/۰ **
فاضلاب × زمان	۴	۲/۲ ns	۳۵۶/۰**	۴۲۶/۵ **
گونه × زمان	۶	۰/۹ ns	۴/۴**	۸/۵**
فاضلاب× گونه× زمان	۱۲	۱/۰ ns	۱۰/۷**	۳/۷**
خطا	۷۲			
مقدار کل	۱۰۷			

علامت ** نشانه معنی‌دار بودن در سطح ۱ درصد و ns نشانه معنی‌دار نبودن اثر تیمارهاست.

Archive of SID
www.SID.ir

فاضلاب، نوع جلبک و زمان ماند، معنی‌دار محاسبه شده است(جدول ۳). این مطب بیانگر این است که اگر اثر متقابل تیمارها در نظر گرفته نشود می‌توان عنوان نمود که در طبیعت خصوصیات فاضلابهای مورد تحقیق، اثر جلبکها و زمان ماند متفاوت هر کدام دارای BOD_5 متفاوتی هستند که از لحاظ آماری اختلاف آنها معنی‌دار می‌باشد. در این راستا فاضلاب خروجی کارخانه قند با مقدار BOD_5 معادل ۹۰۸ میلی‌گرم در لیتر کمترین و کشتارگاه با مقدار BOD_5 برابر با ۶۰۲۱ میلی‌گرم در لیتر بیشترین مقدارBOD_5 خروجی را دارا می‌باشند. این در حالی است که متوسط BOD_5 فاضلابهای مختلف در طول آزمایش (جدول ۳- الف) به ترتیب ۱۹۱۳، ۱۵۰۰ و ۳۶۳ میلی‌گرم در لیتر برای کشتارگاه، کارخانه‌های روغن نباتی و قند محاسبه شد که از لحاظ آماری اختلاف آنها در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. جلبکهای مختلف نیز مقدار BOD_5 را در مقادیر متفاوتی نسبت به شاهد در نمونه‌های تیمار شده کاهش می دهند. این اختلاف در عملکرد در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشند(جدول ۳- ب). بیشترین مقدار کاهش BOD_5 را جلبک *آنابنا* و کمترین کاهش را جلبک *اسپیروژیر* باعث شده‌اند. در شرایط عدم وجود جلبک (شاهد)، متوسط BOD_5 در طول آزمایش ۱۶۹۷ و در زمان وجود جلبکهای *اسپیروژیر*، *اسیلاتوریا* و *آنابنا* به ترتیب ۱۲۴۱، ۱۰۶۱ و ۱۰۳۶ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد. در همین راستا با افزایش زمان ماند (جدول ۳-ج) میزان BOD_5 کاهش یافت به طوری که با افزایش زمان ماند از ۱۵ روز به ۵۵ روز متوسط مقدار BOD_5 از ۱۸۳۸ به ۴۱۲ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت، این در حالی است که BOD_5 فاضلاب در زمان خروج، به طور متوسط ۳۳۳۷ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد.

تیمارهای مختلف نظیر نوع فاضلاب با زمان ماند و نوع جلبک، در کاهش BOD_5 اثر متقابل از خود نشان می‌دهند (جدول ۴). به طور مثال در فاضلاب کارخانه روغن نباتی ناز بیشترین کاهش BOD_5 در زمان ماند ۱۵ روز نسبت به شاهد (بدون جلبک) توسط جلبک *آنابنا* به مقدار ۳۲/۵ درصد و با افزایش زمان ماند به ۲۰ روز *آنابنا* و *اسیلاتور* با ۳۶/۵ درصد کاهش، مؤثرترین جلبک بودند و با افزایش زمان ماند به ۵۵ روز *اسیلاتوریا* با بیشترین‌کاهش BOD_5 (۵۸/۵ درصد) قابل ذکر است. در هر حالت جلبک *اسپیروژیر* کمترین اثر را ۱۱ درصد در کاهش BOD_5 فاضلاب کارخانه روغن‌نباتی، نسبت به شاهد داشته است. در همین راستا در زمانهای ماند کوتاه (۱۵ روز) و یا طولانی (۵۵روز) جلبکهای *اسیلاتوریا* و *آنابنا* به طور مشابه بیشترین تأثیر را در کاهشBOD_5 نسبت به شاهد داشته‌اند.

مقدار کاهش BOD_5 در زمان ماند ۵۵ روز برای کارخانه روغن نباتی نسبت به BOD_5 فاضلاب خروجی این کارخانه به ترتیب ۸۳/۱، ۹۲/۱، ۹۳/۰ و ۸۵/۱ درصد برای شاهد و جلبکهای *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* می‌باشد. گرچه ارقام فوق قابل توجه و میزان کاهش BOD_5 در شرایط مختلف بسیار زیاد می‌باشد ولی نکته مهم، کاهش مقدار BOD_5 در شاهد یعنی تیمار بدون جلبک با مقدار ۸۳/۱ درصد می‌باشد (شکل ۱). در حقیقت با افزودن جلبک به برکه تثبیت فقط ۱۰درصد کاهش بیشتر BOD_5 را برای زمان ماند ۵۵ روز سبب شده و عمده کاهش از ماند فاضلاب در برکه نتیجه شده است.

فاضلاب کارخانه قند نیز با زمان ماند و نوع جلبک اثر متقابل نشان می‌دهد. به طور مثال در زمان ماند ۱۵ روز، جلبک *اسیلاتوریا* با ۴۱/۳ درصدکاهش بیشتر BOD_5 نسبت به شاهد، (بدون جلبک) بهترین عملکرد را از خود نشان می‌دهد و اگر زمان ماند به ۵۵ روز افزایش یابد جلبک آنابنا با ۸۴ درصد کاهش بیشتر BOD_5 نسبت به شاهد از عملکرد خوبی برخوردار است. در این شرایط جلبک *اسپیروژیر* کمترین کاهش BOD_5 را در زمان ماند نشان می‌دهد.

مقدار کاهش BOD_5 در زمان ماند ۵۵ روز برای کارخانه قند

جدول ۳- میانگین مقادیر BOD_5 در طول آزمایش بر حسب میلی‌گرم در لیتر برای: (الف) فاضلابهای مختلف؛ (ب) نوع جلبک؛ (ج) زمانهای ماند

نوع فاضلاب	میانگین	نوع جلبک	میانگین	زمان ماند	میانگین
کشتارگاه	۱۹۱۳ [a]	شاهد	۱۶۹۷[a]	زمان خروج	۳۳۳۷[a]
روغن نباتی	۱۵۰۰ [b]	*اسپیروژیر*	۱۲۴۱[b]	۱۵	۱۸۳۸[b]
قند	۳۶۳ [c]	*اسیلاتوریا*	۱۰۶۱[c]	۲۰	۱۵۲۵[c]
--	--	*آنابنا*	۱۰۳۶[d]	۵۵	۴۱۲[d]

(الف) فاضلابهای مختلف (ب) نوع جلبک (ج) زمانهای ماند

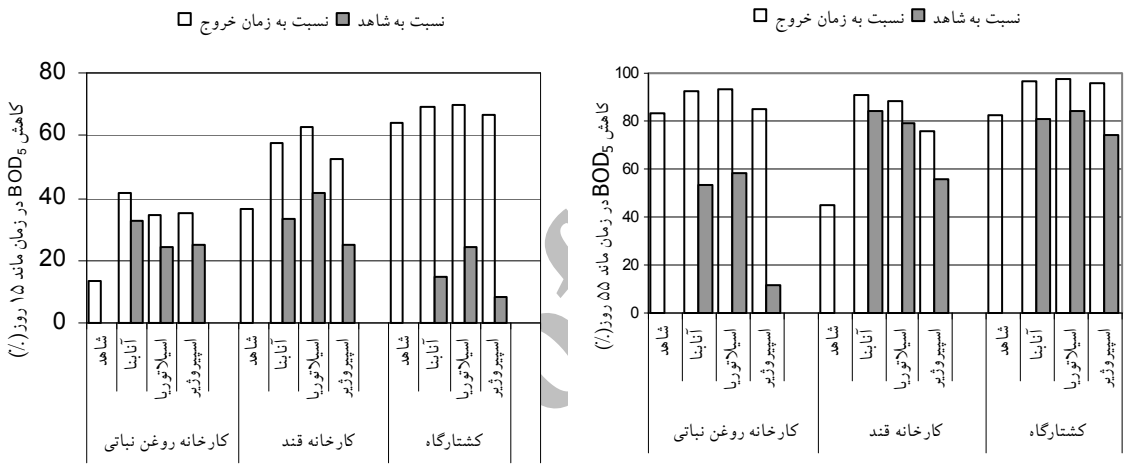
تذکر : مقایسه میانگینها به روش آزمون دانکن انجام گرفته است و حروف مشابه بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴- مقدار BOD_5 فاضلاب کارخانه‌های روغن‌نباتی، قند و کشتارگاه(mg/L) تحت تأثیر زمانهای ماند ۱۵، ۲۰ و ۵۵ روز و جلبکهای *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر*

تیمار	روغن نباتی			کارخانه قند			کشتارگاه		
	۱۵ روز	۲۰ روز	۵۵ روز	۱۵ روز	۲۰ روز	۵۵ روز	۱۵ روز	۲۰ روز	۵۵ روز
شاهد	۲۶۷۷	۲۶۷۳	۵۲۱	۵۷۹	۵۳۲	۵۰۱	۳۲۷۳	۲۹۲۵	۱۵۹۳
آنابنا	۱۸۰۸	۱۶۹۸	۲۴۴	۳۸۷	۳۷۹	۸۰	۲۷۸۸	۱۶۰۰	۳۰۶
اسیلاتوریا	۲۰۱۷	۱۶۹۸	۲۱۶	۳۴۰	۳۲۹	۱۰۴	۲۷۰۰	۱۸۴۰	۲۵۵
اسپیروژیر	۲۰۰۷	۱۹۷۷	۴۶۰	۴۳۴	۴۳۱	۲۲۱	۳۰۰۰	۲۲۲۵	۴۰۸

تذکر: میانگین مقادیر BOD_5 فاضلاب خروجی کارخانه روغن نباتی، کارخانه قند و کشتارگاه به ترتیب ۳۰۸۳، ۹۰۸ و ۶۰۲۱ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- در صد کاهش BOD_5 فاضلاب، در ۱۵ و ۵۵ روز ماند در اثر وجود جلبک

نسبت به BOD_5 فاضلاب خروجی این کارخانه برای تیمارهای شاهد و جلبکهای *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* به ترتیب ۴۴/۸، ۹۱/۹، ۸۸/۵ و ۷۵/۷ درصد می‌باشد که در این فاضلاب برعکس فاضلاب کارخانه روغن نباتی، زمان ماند بدون استفاده از جلبک اثر بسیار کمتری را روی کاهش BOD_5 داشته است به طوری که مقدار کاهش در شاهد، ۴۴/۸درصد و با وجود جلبک مقدار کاهش به ۹۱/۹درصد (برای *آنابنا*) نسبت به BOD_5 فاضلاب خروجی می‌رسد.

اثر متقابل جلبک و زمان ماند در فاضلاب کشتارگاه نیز قابل مشاهده است. به طوری که در زمان ماند ۱۵ روز، *اسیلاتوریا* با ۲۴/۵ درصد کاهش بیشتر BOD_5 نسبت به شاهد (بدون جلبک) بیشترین اثر را داشته است و با افزایش زمان ماند به ۵۵ روز کلیه جلبکها اثر مشابه ولی قابل توجهی را در کاهش BOD_5 نشان می‌دهند. مقدار کاهش BOD_5 در زمان ماند ۵۵ روز برای فاضلاب کشتارگاه نسبت به BOD_5 فاضلاب خروجی به ترتیب ۷۳/۵، ۹۴/۹، ۹۵/۸ و ۹۳/۲ درصد برای شاهد و جلبکهای *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* اندازه‌گیری شده است. کاهش BOD_5 در فاضلاب کشتارگاه نظیر فاضلاب کارخانه روغن نباتی بدون استفاده از جلبک قابل توجه است به طوری که کاهش BOD_5 در تیمار بدون جلبک ۷۳/۵درصد و با استفاده از جلبک (مثلاً *آنابنا*) حدود ۲۰درصد کاهش بیشتر BOD_5 را شاهد هستیم.

در صورتی که به دلیل وجود مشکلاتی نظیر محدودیت در فضا و زمان، مدت زمان ماند کوتاه‌تری برای استفاده از برکه مطرح باشد، (مثلا کمتر از ۲۰ روز) در این حالت شرایط کاهشBOD_5 به دلیل وجود جلبک در برکه بسیار محسوس‌تر از عدم استفاده از آن می‌باشد. به طور مثال در فاضلاب کشتارگاه، جلبک *اسیلاتوریا* و *آنابنا* با زمان ماند ۱۵ روز بیشترین کاهش BOD_5 را به میزان ۷۰درصد نسبت به BOD_5 فاضلاب خروجی و ۲۴/۵ درصد

www.SID.ir

نسبت به شاهد، از خود نشان داده‌اند. این در حالی است که درصد کاهش بیشتر BOD_5 توسط جلبکهای *آنابنا* و *اسپیروژیر* به ترتیب ۱۴/۸۱ و ۸/۳۴ درصد نسبت به شاهد می‌باشد.

در فاضلاب کارخانه روغن نباتی عدم وجود جلبک در زمان ماند ۱۵ روز سبب کاهش ۱۳/۲درصد از BOD_5 فاضلاب ورودی می‌شود با افزودن جلبک به فاضلاب مقدار کاهش BOD_5 به مقدار ۴۱/۴درصد برای *آنابنا* و ۳۵درصد برای *اسپیروژیر* و *اسیلاتوریا* اندازه‌گیری شد. این مقادیر کاهش نسبت به شاهد (عدم وجود جلبک) به ترتیب ۳۲/۵، ۲۴/۶ و ۲۵ درصد برای جلبک *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* می‌باشد.

در فاضلاب کارخانه قند به دلیل زمان ماند ۱۵ روز در شرایط عدم وجود جلبک کاهش BOD_5 فاضلاب ورودی ۳۶/۲درصد اندازه‌گیری شد. مقادیر کاهش برای زمان ماند ۱۵ روز با وجود جلبک به ترتیب ۵۷/۴، ۲۶/۶ و ۵۲/۲ درصد نسبت به فاضلاب ورودی برای *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* می‌باشد. که این مقادیر نسبت به شاهد(عدم وجود جلبک) با زمان ماند ۱۵ روز به ترتیب ۳۲، ۴۱/۳ و ۲۵ درصد کاهش بیشتر BOD_5 برای جلبکهای فوق‌الذکر محاسبه شد.

در فاضلاب کشتارگاه شرایط مناسب‌تری برای جلبک *اسیلاتوریا* نسبت به سایر جلبکها وجود دارد. به طوری‌که این جلبک سبب کاهش بیشتر BOD_5 به مقدار۲۴/۵ درصد نسبت به شاهد در زمان ماند ۱۵ روز می‌شود. کمترین اثر را جلبک *اسپیروژیر* با کاهندگی حدود ۸/۴ درصد نسبت به شاهد دارا می‌باشد.

۳-۳- تغییرات COD پساب کارخانه‌ها

نتایج حاصل از آنالیز واریانس تیمارهای مختلف (جدول ۲) بیانگر معنی‌دار بودن اثر گونه‌های جلبک و زمان ماند و نوع فاضلاب و اثر متقابل آنها بر میزان کاهش COD در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد. وضعیت COD در پساب خروجی صنایع مورد تحقیق بسیار متفاوت و از کمترین مقدار COD، مربوط به کارخانه قند یعنی ۱۵۳۲ میلی‌گرم در لیتر تا بیشترین مقدار برای کشتارگاه با ۸۰۲۳ میلی‌گرم در لیتر متغیر بود. مقادیر COD این صنایع حتی برای کارخانه قند که مقدار آن کمتر از سایرین می‌باشد بسیار بالا و در مقایسه با متوسط COD ورودی فاضلابهای شهری نیز بسیار زیاد می‌باشد. لذا این گونه فاضلابها تأثیر زیادی در افزایش COD فاضلاب شهری دارند. در نتیجه اختصاص هزینه بیشتری برای تصفیه آنها لازم می‌باشد.

بررسی اثر هر تیمار روی کاهش COD به صورت مستقل بدون توجه به اثر متقابل آنها (جدول ۵) نشان دهنده این است که میانگین COD فاضلاب کشتارگاه (۳۵۰۴/۸ میلی‌گرم در لیتر) در طول آزمایش دارای بیشترین مقدار بوده و با مقادیرCOD کارخانه‌های روغن نباتی(۲۴۸۸) و قند (۹۸۳) اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهند(جدول ۵- الف)، همچنین میزان متوسط COD در طول آزمایش در تیمار جلبکی (جدول ۵- ب) نیز متفاوت و از کمترین مقدار برای *آنابنا* (۲۰۲۴ میلی‌گرم در لیتر) تا بیشترین مقدار برای *اسپیروژیر* (۲۴۰۳ میلی‌گرم در لیتر) قابل مشاهده است. در زمانهای ماند مختلف یعنی ۱۵، ۲۰ و ۵۵ روز (جدول ۵- ج) نیز اختلاف بین مقادیرCOD ، از لحاظ آماری معنی‌داری می‌باشد.

مقدار کاهش COD در فاضلاب روغن نباتی در اثر زمان ماند ۵۵ روز نسبت به فاضلاب خروجی برای شاهد و جلبکهای *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* به ترتیب ۶۷/۰، ۸۴/۹، ۸۶/۸ و ۷۰/۵درصد محاسبه شده است که کاهش COD بدون جلبک(۶۷درصد) و با وجود جلبک (۸۶/۸ درصد) قابل توجه است. اثر جلبک در کاهش COD در زمان ماند ۵۵ روز برای جلبکهای مختلف، ارقام متفاوتی است به طوری که مقدار کاهش بیشتر COD در اثر وجود جلبک نسبت به شاهد (عدم وجود جلبک) به ترتیب ۵۹/۹، ۵۴/۱، و ۱۰/۶ درصد توسط جلبکهای *اسیلاتوریا*، *آنابنا* و *اسپیروژیر* می‌باشد (شکل ۲).

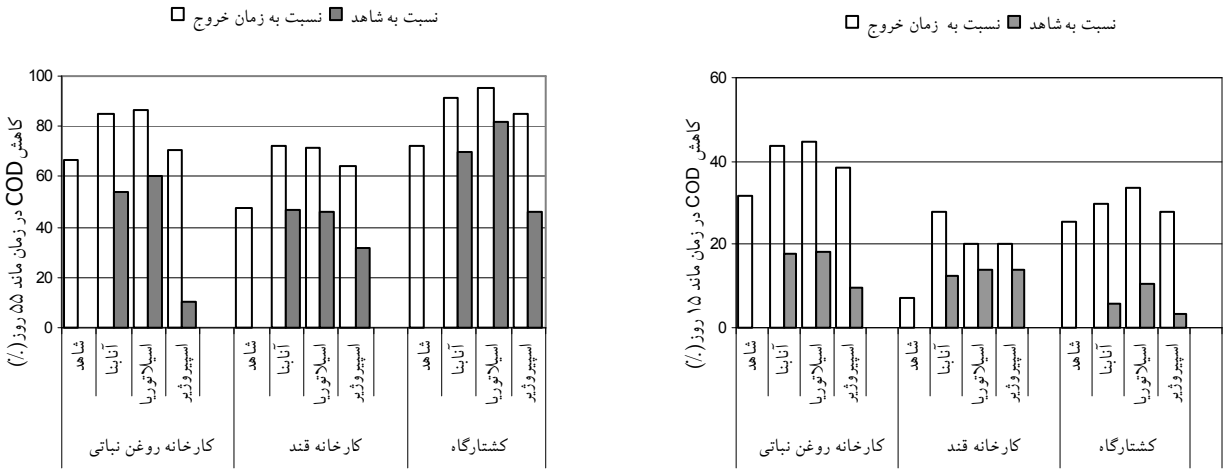
جدول ۵- میانگین مقادیر COD در طول آزمایش بر حسب میلی‌گرم بر لیتر برای (الف) فاضلابهای مختلف؛ (ب) نوع جلبک؛ (ج) زمانهای ماند

نوع فاضلاب	میانگین	نوع جلبک	میانگین	زمان ماند	میانگین
کشتارگاه	۳۵۰۵[a]	شاهد	۲۷۲۷[a]	زمان خروج	۴۹۵۱[a]
روغن نباتی	۲۴۸۸[b]	*اسپیروژیر*	۲۴۰۳[b]	۱۵	۳۳۶۶[b]
قند	۹۸۳[c]	*اسیلاتوریا*	۲۱۴۷[c]	۲۰	۲۶۴۶[c]
--	--	*آنابنا*	۲۰۲۵[d]	۵۵	۹۶۴[d]

(الف) فاضلابهای مختلف (ب) نوع جلبک (ج) زمانهای ماند

تذکر : مقایسه میانگینها به روش آزمون دانکن انجام گرفته است و حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۲– درصد کاهش COD پساب، در ۱۵ و ۵۵ روز ماند در اثر وجود جلبک

جدول ۶ – مقدار و درصد تغییرات COD فاضلاب کارخانه‌های روغن‌نباتی، قند و کشتارگاه (mg/L) تحت تأثیر زمان ماند ۱۵، ۲۰ و ۵۵ روز و جلبکهای *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر*

تیمار	روغن نباتی			کارخانه قند			کشتارگاه		
	۱۵ روز	۲۰ روز	۵۵ روز	۱۵ روز	۲۰ روز	۵۵ روز	۱۵ روز	۲۰ روز	۵۵ روز
شاهد	۳۶۰۸	۳۵۲۳	۱۷۴۹	۱۴۲۰	۱۲۵۹	۸۰۲	۵۹۷۲	۳۹۴۵	۲۲۵۲
آنابنا	۲۹۷۳	۲۹۳۷	۸۰۲	۱۱۰۵	۱۰۹۹	۴۲۶	۵۶۳۶	۳۶۶۷	۶۷۱
اسیلاتوریا	۲۹۴۵	۲۸۲۲	۷۰۰	۱۲۲۶	۱۱۲۰	۴۳۶	۵۳۳۵	۳۱۵۲	۴۰۳
اسپیروژیر	۳۲۶۶	۲۹۷۳	۱۵۶۲	۱۲۲۶	۱۲۲۵	۵۴۷	۵۷۸۰	۳۸۲۳	۱۲۱۸

تذکر: میانگین مقادیر COD فاضلاب خروجی کارخانه روغن نباتی، کارخانه قند و کشتارگاه به ترتیب ۵۲۹۸، ۱۵۳۲ و ۸۰۳۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

مقدار کاهش COD در فاضلاب کارخانه قند در اثر زمان ماند ۵۵ روز به ترتیب ۴۷/۶، ۷۲/۲، ۷۱/۵ و ۶۴/۳ درصد برای شاهد، جلبکهای *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* محاسبه شده است که زمان ماند بدون استفاده از جلبک کاهش کمتری را در کاهش COD، نسبت به کارخانه روغن نباتی داشته است. اثر جلبک در کاهش COD در زمان ماند ۵۵ روز متفاوت بود و به ترتیب ۴۶/۹، ۴۶/۰ و ۳۱/۸ درصد کاهش بیشتر در نمونه‌های تیمار شده با *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* نسبت به شاهد مشاهده گردید. جلبک *آنابنا* در زمانهای ماند مختلف بیشترین درصد کاهش COD را در مقایسه با سایر جلبکها در این فاضلاب از خود نشان داد.

مقدار کاهش COD در فاضلاب کشتارگاه در اثر زمان ماند ۵۵ روز بدون جلبک(شاهد) ۷۱/۹۴ درصد و با استفاده از جلبک به ترتیب ۹۱/۶۴، ۹۴/۹۸ و ۸۴/۸۲ درصد برای *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* اندازه‌گیری شده است که تفاوتی برابر با ۲۱درصد به ازای حضور جلبک مشاهده می‌شود. اثرگذاری جلبکها در کاهش COD در زمان ماند ۵۵ روز متفاوت است به طوری که جلبک *آنابنا* ۷۰/۲، جلبک *اسیلاتوریا* ۸۲/۱ و جلبک *اسپیروژیر* ۴۵/۹ درصد کاهش بیشتری را نسبت به شاهد در COD ایجاد کردند.

در صورتی که زمان ماند فاضلاب در برکه، به زمانهای کوتاه مثلاً ۱۵ روز کاهش یابد اثر جلبک و زمان ماند روی کاهش COD متفاوت و دارای اثر متقابل است. به طوری که مقدار COD فاضلاب کارخانه‌های روغن نباتی ناز در زمان ماند ۱۵ روز به ترتیب ۱۸/۳، ۱۷/۶ و ۹/۵ درصد توسط جلبک *اسیلاتوریا*، *آنابنا* و *اسپیروژیر* نسبت به شاهد کاهش بیشتری را نشان دادند.

اثر جلبکهای *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* بر فاضلاب کارخانه قند در زمان ماند ۱۵ روز مشابه بود و هر دو موجب کاهش بیشتر COD به مقدار ۱۳/۷ درصد شدند. اما جلبک *آنابنا* موجب کاهش بیشتر (۱۲/۷درصد) نسبت به شاهد بود.

مقدار COD در فاضلاب کشتارگاه نیز نشان می‌دهد که جلبک

Archive of SID

www.SID.ir

اسیلاتوریا در زمان ماند ۱۵ روز با میزان ۱۰/۶۶ درصد بیشترین کاهش را در COD داشته است و جلبکهای *آنابنا* و *اسپیروژیر* به ترتیب ۵/۶۲ و ۳/۲۱ درصد کاهش بیشتری را در COD نسبت به شاهد سبب شده‌اند.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که فاضلاب خروجی کشتارگاه اصفهان دارای بیشترین مقدار BOD_5 و COD به ترتیب ۶۰۲۱ و ۸۰۲۳ میلی‌گرم در لیتر و کارخانه قند اصفهان با ۹۰۸ و ۱۵۳۲ میلی‌گرم در لیتر دارای کمترین مقدار BOD_5 و COD می‌باشند (جدولهای ۴ و ۶). مقایسه مقادیر BOD_5 و COD بسیار بالای این صنایع نسبت به متوسط BOD_5 و COD فاضلابی‌که به تصفیه‌خانه فاضلاب وارد می‌شود بیانگر تأثیر بسیار زیاد بار آلودگی فاضلابهای شهری توسط این صنایع و در نتیجه افزایش هزینه‌های تصفیه‌خانه‌ها برای تصفیه بار آلودگی اضافی این صنایع می‌باشد. مشابه چنین نتایجی برای فاضلابهای خروجی صنایع مختلف توسط سایر محققین نیز گزارش شده است[۲، ۴، ۵ و ۸].

برکه‌های تثبیت بدون تیمارهای اضافی در شماره ساده‌ترین فرآیندهای تصفیه فاضلاب به حساب آمده که دارای راندمان بسیار بالا در حذف ارگانیسم‌های بیماری‌زا، ترکیبات مسموم و بار آلی بالا می‌باشند که بیشتر برای فاضلابهای صنعتی نظیر کشتارگاه‌ها، صنایع لبنی و کنسرو سازی استفاده می‌شوند [۳، ۷، ۲۰ و ۲۱]. نتایج حاصل از این تحقیق نیز مشابه با گزارش سایر محققین در مورد برکه‌های تثبیت می‌باشد. در این تحقیق برکه‌های بدون جلبک باعث کاهش BOD_5 فاضلاب کارخانه‌های روغن نباتی، قند و کشتارگاه به ترتیب ۱۳/۲، ۳۶/۲ و ۶۳/۷ درصد در زمان ماند ۱۵ روز شد. در صورت افزایش زمان ماند به ۵۵ روز، برکه‌های عاری از جلبک سبب کاهش BOD_5 به ترتیب ۸۳/۱، ۴۴/۸ و ۷۳/۵ درصد می‌شوند. در همین راستا مقادیر کاهش COD نیز قابل توجه است به طوری که در زمان ماند ۱۵ روز COD فاضلابهای کارخانه روغن نباتی و قند و کشتارگاه به ترتیب ۳۱/۹، ۷/۳ و ۲۵/۶ درصد کاهش یافته و در زمان ماند ۵۵ روز در برکه‌های عاری از جلبک مقدار کاهش COD به ترتیب برابر با ۶۷/۰، ۴۷/۶ و ۷۲/۰ درصد می‌باشد.

بررسی‌های انجام شده در این تحقیق نشان داد که گونه‌های جلبکی *آنابنا*، *اسیلاتوریا* و *اسپیروژیر* که از آبهای شهر اصفهان و حومه جدا و خالص‌سازی شده‌اند قادر به کاهش BOD_5 و COD فاضلاب کارخانه‌های روغن نباتی ناز، قند و کشتارگاه اصفهان در مقادیر متفاوت می‌باشند ولی افزایش جزئی pH در طول آزمایش از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد. نتایج حاصل از مقایسه مقادیر BOD_5 و COD برای شاهد(بدون جلبک) و تیمارهایی که جلبک استفاده شده است نشان‌دهنده این است‌که BOD_5 و COD فاضلابهای مختلف در اثر ماند در برکه به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد و استفاده از جلبک، شدت کاهش BOD_5 و COD را افزایش می‌دهد ولی مقدار کاهش به ازای زمان ماند و همچنین اثر جلبک در فاضلابهای مختلف متفاوت است.

جلبک *اسیلاتوریا* در فاضلاب کارخانه روغن نباتی و کشتارگاه بهترین عملکرد را در کاهش BOD_5 و COD نشان داد. حال آن که جلبک *آنابنا*، در نمونه کارخانه قند عملکرد بهتری را عاید نموده است. جلبک *اسپیروژیر* کمترین عملکرد را در کاهش BOD_5 در سه نمونه فاضلاب سه کارخانه از خود نشان داد ولی تأثیر آن در کاهش COD بیشتر از BOD_5 می‌باشد. چنین مطالبی بیانگر این است که جهت استفاده از جلبک در تصفیه فاضلاب بایستی از جلبکهایی که بیشترین اثر را در زمان ماند کمتر دارند استفاده شود. برای سه فاضلاب مورد تحقیق جلبک *آنابنا* و یا *اسیلاتوریا* بیشترین اثر را در کاهش BOD_5 و COD دارند ولی برای سایر فاضلابها و همچنین انواع دیگر جلبکها لازم است تحقیقات بیشتری انجام گیرد.

علاوه بر تحقیق انجام شده، تحقیقات دیگری نیز توسط سایر محققین پیرامون استفاده از جلبکها در تصفیه فاضلابها برای مقاصد مختلفی صورت گرفته است [۲۳ و ۲۴]. حذف نیتروژن از فاضلاب و همچنین استفاده از جلبکها در تصفیه کارخانه‌های صنایع چوب و کاغذ نشان دهنده مفید بودن جلبکها در این موارد بوده است [۲۳ و ۲۴]. گوپتا[1] در تحقیق خود از بیوماس گونه‌های مختلف جلبک *اسپیروژیر* جهت حذف Cu (VI) از محیطهای آبی استفاده و نتیجه را مناسب گزارش نمود [۲۵]. از سوی دیگر تحقیقات بر روی جلبکهای سبز-آبی نشان داده است که این جلبکها قادر به حذف نیترات از آبهای زیرزمینی می‌باشند و در این زمینه کارآیی زیادی دارند [۲۶]. همچنین متا و همکاران[2] در سال ۲۰۰۱ گزارش کرده‌اند که جلبک سبز *Chlorell Vulgaris* قادر به حذف دو فلز نیکل (Ni) و مس (Cu) می‌باشد [۲۷]. علاوه بر آن گزارش شده است که جلبکهای دریایی نیز در حذف فلزات سنگین مس مؤثر بوده‌اند [۲۸].

از مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که علاوه بر اثر مثبتی که جلبکها روی کاهش BOD_5 و COD دارند می توانند باعث کاهش فلزات سنگین در پساب تصفیه شده شوند که بیشتر در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد . براین اساس در صورت محدودیت در استفاده از زمان ماند طولانی می‌توان از جلبکها برای

[1] Gupta
[2] Mehta et al.

Archive of SID
www.SID.ir

کاهش شاخصهای آلودگی استفاده نمود. در صورت محدودیت در استفاده از جلبک و یا انتخاب نوع جلبک، حداقل می‌توان از نگهداری فاضلاب در برکه‌های تصفیه خصوصاً با شرایط آب و هوایی موجود در ایران استفاده نمود که موجب کاهش مقادیر قابل توجهی از BOD_5 و COD خروجی فاضلاب، متناسب با زمان ماند و نوع فاضلاب می‌شود.

۵- مراجع

1- Cave, S. (1991). "A green revolution down at the sewer ponds." *J. Our Planet*, 3,10-11.

۲- ترکیان، ا.، موحدیان، ح.، امینی، م. م.، و سید صالحی، م. (۱۳۷۶). "کاربرد فرآیند UASB در کاهش بار آلودگی فاضلاب کشتارگاه اصفهان." *م. آب و فاضلاب*، ۲۲، ۱۳-۲۳.

۳- فرزاد کیا، م. (۱۳۸۳). "بررسی کارآیی برکه‌های تثبیت در تصفیه فاضلاب کشتارگاه شهر کرمانشاه." *م. آب و فاضلاب*، ۵۱، ۱۰-۱۵.

۴- محسن، ا.، و بازاری، ح. (۱۳۸۰). "تصفیه بیولوژیکی فاضلاب کارخانه شیر پاستوریزه ساری با روش SBR." *م. آب و فاضلاب*، ۳۹، ۲۸-۳۲.

۵- ترابیان، ع.، و مهجوری، م. (۱۳۸۳). "بررسی وضعیت فاضلابهای صنعتی- تولیدی در صنایع استان تهران." *م. آب و فاضلاب*، ۵۰، ۳۴-۴۴.

۶- ناهید، پ.، و کاظمی، ا. (۱۳۸۳). "بهینه سازی فعالیت میکروارگانیسم‌ها در تصفیه بیولوژیکی فاضلابهای نفتی پالایشگاه تهران." *م. آب و فاضلاب*، ۵۰، ۲۳-۲۸.

۷- قیصری، ع. (۱۳۸۰). "تغییرات اکسیژن محلول در برکه‌های تثبیت اختیاری." *م. آب و فاضلاب*، ۳۹، ۳۳-۳۷.

۸- احمدی، م.، تجریشی، م.، و ابریشم‌چی، ا. (۱۳۸۴). "مقایسه فنی و اقتصادی روشهای متداول تصفیه فاضلاب صنایع قند در ایران." *م. آب و فاضلاب*، ۵۳، ۵۴-۶۱.

9- Oswald, W.J. (1995). "Ponds in the 21st century. " *J. Water Sci. and Technology*, 31 (12), 1-8.

۱۰- گلونیا، ا.ا. ترجمه قاسمی، م. (۱۳۶۵). *راهنمای تثبیت فاضلاب*، انتشارات سازمان جهانی بهداشت.

11- Dinges, R. (1982). *Natural systems for water pollution control*, Van Nostrand Reinhold, Environmental Engineering Series, New York.

۱۲- دهقان، م. (۱۳۶۳). *برکه‌های تثبیت در پولادشهر*، کمیته تحقیقات آب و خاک اصفهان.

۱۳- قیصری، ع. (۱۳۶۳). *تاریخچه به وجود آمدن برکه‌های تثبیت*، کمیته تحقیقات آب و فاضلاب اصفهان.

14- Aziz, M.A. (1993). "Industrial wastewater treatment using an activated algae reactor." *J. Water Sci. and Technology*, 28 (?),71-76.

15- Kruzic, A.P. (1994). "Natural treatment systems." *J. Water Environ. Research*, 66 (?), 357-361.

16- Lee, R.E. (1989). *Phycology*, 2nd Ed., Cambridge University Press.

17- Polprasert, C., and Sookhanick, S. (1995). "Upgrading of facultative ponds to treat a toxic organic wastewater." *J. Water Sci. and Technology*, 31 (12), 201-210.

18- Gebhardt, J., and Nierzwicki, S. (1991). "Identification of a common cyanobacterial symbiont associated with *Azolla sp.* through molecular and morphological characterization of free living and symbiotic cyanobacteria." *J. APPl. Envir. Microbiology*, 57 (5), 2141-2146.

19- Christopher, S.L., Chapman, D.j., and Kremer, B.P. (1988). *Experimental phycology*, Cambridge University Press.

20- Holt, J. G., Krieg, N.R., Sneath, P.H.A., Staley, J. T., and Williams, S.T. (1994). *Bergey's manual determinative bacteriology*, 9th Ed., Williams and Wilkins, Baltimore, USA.

21-APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21st Ed., APHA Press, Washington DC.

22- Reed, Sc., Crites, R.W., and Middlebrooks, E.J. (1995). *Natural systems for waste management and treatment*, 2nd Ed., 75-90, Mc Graw- Hill, New York.

23- Tarlan, E., Yetis, U., and Dilek, F.B. (2002). "Algal treatment of pulp and paper industry wastewater in SBR system." *J. Water Sci. & Technology*, 45(12), 151- 158.

24- Tarlan, E., Dilek, F.B., and Yetis, U. (2002). "Effectiveness of algae in the treatment of a wood–based pulp and paper industry wastewater." *J. Bioresource Technology*, 84(1), 1-5.

25- Gupta, V.K., Shirvastava, A.K., and Jain, N. (2001). "Biosorption of chromium (VI) from aqueous solutions by green algae *Spirogyra Species*." *J. Water Res*., 35(17), 4072-85.

26- Qiang, Hu., Waster Hoff, P., and Vermaas, W. (2000). "Removal of nitrate from ground water by cyanobacteria: Quantitative assessment of factors influencing nitrate uptake." *J. Appl. Envir. Microbiol*., 66(1), 133-139.

27- Mehta, S.K., and Gaur, J.P. (2001). "Removal of Ni and Cu from single and binary metal solutions by free and immobilized *Chlorella Vulgaris*." *European J. of protistology*, 37(3), 261-271.

28- Vijayaraghavan, K., Raj Jepan, J., Palanivelu, K., and Velan, M. (2004). "Copper removal from aqueous solution by marine green algae Ulva reticulate." *Electronic J. of Biotechnology*, 7(1), 61-71.

Archive of SID

www.SID.ir