تصفیه بیولوژیکی فاضلاب با استفاده از گیاهان آبزی انتخاب شده

ترجمه : حمیده جوادی *

چکیده

میزان رفع آلودگی توسط تعدادی از ماکروفیت‌ها و جلبک‌هایی از قبیل ایکورنیا - کراسیپس [1]، میکروسیستیس - آراگینوس [2]، سندزموس - فالکتوس [3]، کلرلا - ولگاریس [4] و کلامیدوموناس - میرابیلیس [5] برای ارزیابی نقش بالقوه آنها در تصفیه فاضلاب در شرایط آزمایشگاهی مورد آزمایش قرار گرفتند. فاضلاب شهر واراناسی [6] که با فاضلاب حدود ۱۲۰۰ صنایع کوچک ترکیب می‌شود برای این آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش در سه مرحله انجام شد: مرحله اول محیط کشت اول سنبله آبزی، مرحله دوم کشت جلبکی و نهایتاً محیط کشت دوم سنبله آبزی بود. برای محیط کشت اول سنبله آبزی ۱۰ عدد گیاه سنبله آبزی به مدت ۱۵ روز درون مخزن فاضلاب رشد یافتند. در مرحله دوم، گونه‌های جلبکی در درون فاضلاب به مدت ۵ روز کشت شدند در حالی که در مرحله سوم، دوباره گیاهان سنبله آبزی برای تصفیه بیشتر به مدت ۹ روز در فاضلاب کشت داده شدند. این سه مرحله کشت آبی باعث کاهش زیاد BOD به اندازه ۹۶/۹٪، مواد معلق ۷۸/۱٪، قلیائیت کل ۷۴/۶٪ PO_4-P ۸۹/۲٪، NO_3-N ۸۱/۷٪ اسیدیته ۷۳/۳٪، NH_4-N ۹۵/۱٪، COD ۷۷/۹٪، سختی ۶۸/۶٪ و باکتری‌های کلی فرم ۹۹/۲٪ شد. غلظت اکسیژن محلول نیز به اندازه ۷۰٪ افزایش یافت.

مقدمه

در سال‌های اخیر، فاضلاب خانگی و فاضلاب‌های صنعتی به عنوان منبع مشترک آلودگی محسوب می‌شوند. در شهر واراناسی هر روز حدود ۱۲۶ مترمکعب فاضلاب خانگی تولید و با فاضلاب‌های صنعتی ترکیب شده و به درون رودخانه گانگا [7] تخلیه می‌شود. در ناحیه تخلیه شدن فاضلاب، تجزیه میکروبی مواد موجود در فاضلاب باعث بالا رفتن BOD (اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی) و به وجود آمدن شرایط بی‌هوازی می‌شود که ورود موجودات آبزی به این شرایط بی‌هوازی باعث ایجاد آلودگی و انتشار بوهای بد شده و تحت این شرایط زندگی موجودات آبزی غیر ممکن و آب‌های طبیعی و حیات پرور نابود و کیفیت آب هم از بین می‌رود و در نتیجه مقادیر زیادی از آب‌ها به صورت غیر قابل استفاده در می‌آید. با توجه به توضیحات بالا تصفیه مناسب فاضلاب‌ها امری ضروری و فوری می‌باشد.

ماکروفیت‌های آبی می‌توانند برای حذف مواد موجود در

---

* - عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان آذربایجان‌شرقی

1- Eichhornia Crassipes
2- Microcystis aeruginosa
3- Scenedesmus falcatus
4- Chlorella Vulgaris
5- Chlamydomonas mirabilis
6- Varanaci
7- Ganga

فاضلاب‌های خانگی و صنعتی استفاده شوند [۴، ۱۸، ۲۰، ۲۵، ۲۷ و ۳۱]. هم‌چنین در سال‌های اخیر جلبک‌ها به طور گسترده در سیستم‌های تصفیه استفاده شده‌اند [۶، ۲۲، ۲۳ و ۲۸]. ماکروفیت‌های آبی می‌توانند به طور مؤثری برای کاهش درجات آلودگی در خود آب استفاده شوند [۴، ۷، ۱۱، ۱۴، ۲۰، ۲۱ و ۲۶] و جرم زنده[1] ماکرفیت‌های آبی ممکن است برای تولید بیوگاز [۲۴]، تغذیه حیوانی [۳]، فیبر [۱۵] و کود گیاهی [۱۷] استفاده شود. استفاده از گیاه سنبله آبزی نه تنها باعث کاهش BOD شده بلکه باعث کاهش مواد معلق، NO_3-N، PO_4-P، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سایر مواد معدنی نیز می‌شود [۳۰]. سنبله آبزی می‌تواند مواد سمی از قبیل کادمیوم، سرب، نیکل، جیوه، مس، کروم، نقره، فنل و مواد سرطان‌زا را جذب کند. این گیاهان آبزی می‌توانند این عناصر را در غلظت‌های بین ۴۰۰۰ و ۲۰۰۰۰ برابر غلظت موجود در آب جذب کنند [۳۱]. تأثیر وجود مواد مغذی بر روی گیاه سنبله آبزی و رسوب مواد توسط توماس[2] و همکاران [۲۹] در سال ۱۹۸۹ مطالعه شده است.

با وجود این، بیشتر مطالعات گذشته به استفاده از یک‌نوع ماکروفیت آبی یا جلبک برای تصفیه فاضلاب محدود شده است. در این مطالعه، روش اصولی تصفیه فاضلاب برای ارزیابی توان گیاه سنبله آبی و جلبک‌هایی از قبیل میکروسیستیس - آراگینوس، سندزموس - کوآدریکادا[3]، کلرلا، ولگاریس و اگلنا - ویریدس[4] در بهبود کیفیت آب طراحی گردیده است.

مواد و روش‌ها

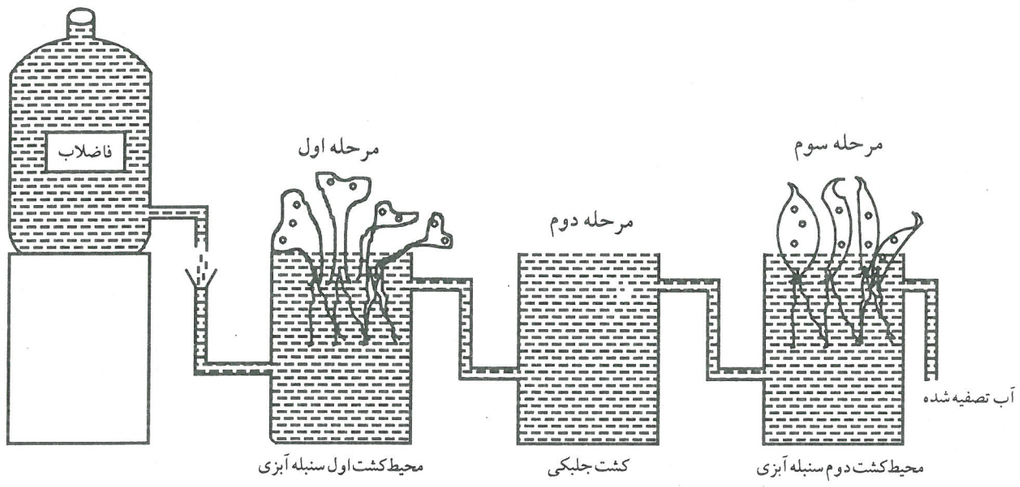
فاضلاب شهر وارانسی (که ترکیبی است از فاضلاب شهری و فاضلاب‌های صنعتی) بین ساعت ۶ و ۷ صبح از محلی به نام راجگت نالا[5] جمع شد. نمونه‌ای از این فاضلاب به آزمایشگاه آورده و به‌کمک بهم‌زنهای مکانیکی مخلوط شد. بعد از صاف کردن، فاضلاب هموژن به درون ظرف ۳۵ لیتری منتقل و به مدت ۲ ساعت به حالت ساکن قرار داده شد تا مواد معلق آن ته‌نشین شوند. بعد از ته‌نشین شدن، فاضلاب به درون بطری دهان باز ۲۰ لیتری منتقل گردید و اجازه داده شد تا از طریق نصب تجربی همچنان که در شکل ۱ نشان داده شده جریان پیدا کند.

مرحله اول تصفیه: فاضلاب از بطری دهان باز توسط یک لوله ۱/۲۵ سانتی‌متری که توسط یک شیر درجه‌دار تنظیم شده بود وارد محیط کشت اول سنبله آبزی شد. حجم آب موجود در داخل مخزن ۲۰۰ لیتر بود. ده عدد از گیاه سنبله آبزی طوری در داخل فاضلاب کشت شدند که سطح آن را بپوشانند. سپس گیاهان در معرض نور خورشید قرار داده شدند. هرس گیاهان پیر هفته‌ای یکبار طوری انجام گرفت که ۲۰٪-۱۵٪ سطح آب داخل مخزن خالی از گیاهان باقی بماند. سنبله آبزی به مدت ۱۵ روز در داخل این فاضلاب نگه داشته شد.

مرحله دوم تصفیه: فاضلاب تصفیه شده از مخزن کشت اول سنبله آبزی توسط یک لوله که به ۸ سانتی‌متری پایین سطح مخزن وصل شده بود وارد محیط کشت جلبکی شد. گنجایش این مخزن جلبکی در حدود ۶۰ لیتر بود. جلبک‌ها به مدت ۵ روز در داخل فاضلابی که قسمتی از آن در محیط کشت اول سنبله آبزی تصفیه شده بود کشت داده شدند.

مرحله سوم تصفیه: بعد از پنج روز فاضلاب از مخزن کشت جلبکی وارد مخزن دوم کشت سنبله آبزی شد. گنجایش این مخزن ۲۰۰لیتر بود. گیاه سنبله آبزی به مدت ۹ روز در این محیط، کشت داده شد. بعد از این مدت، فاضلاب تصفیه شده از محیط کشت دوم سنبله آبزی به صورت آب تصفیه شده خارج گردید. نمونه‌هایی از آب هر روز صبح از شیر هر یک از مخزن‌های تصفیه جمع شد. همه پارامترها از قبیل مواد معلق، قلیائیت کل، BOD، COD[6] (اکسیژن مورد نیاز شیمیایی)، EC[7] (هدایت الکتریکی)، اسیدیته، NO_3-N، PO_4-P، سختی کل، کادمیوم، باکتری‌های کلیفرم، غلظت فیتوپلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها با استفاده از دستورالعمل کتاب استاندارد متد اندازه گیری شد [۱]. اکسیژن محلول (DO[8]) به وسیله دستگاه اندازه گیری اکسیژن ملکولی اندازه گیری گردید و

1- Bio mass
2- Thomas
3- Scenedesmus - quadricauda
4- Euglena - Viridis
5- Rajghat - nala
6- Chemical oxygen demand
7- Electrical conductivity
8- Dissolved oxygen



شکل ۱ - تصفیه بیولوژیکی فاضلاب با استفاده از گیاه سنبله آبزی و گونه‌های جلبکی

برای اندازه گیری غلظت کادمیوم، مس، آهن، نیکل، سرب و روی در نمونه‌های آب از روش اسپکتروفتومتر (مدل IL751) استفاده شد.

جمعیت فیتوپلانکتون و زئوپلانکتون موجود در آب در سه مرحله مختلف کشت آبی اندازه گیری شد. تعداد فیتوپلانکتون‌ها با استفاده از روش میکروترانسکت[1] که توسط لاکی[2] در سال ۱۹۳۸ ارائه و سپس در سال ۱۹۷۴ توسط ادموندسون[3] اصلاح شد تخمین زده شد [۸ و ۱۳]. تعداد زئوپلانکتون با استفاده از روش قینجران[4] [۱۲] و باکتری‌های کلیفرم توسط تست احتمالی و تأییدی مک‌کانکی[5] محاسبه گردید [۱].

اختلاف معنی‌دار آماری در داده‌ها با در نظرگرفتن روزها برای پارامترهای مختلف با استفاده از تست F (نسبت واریانس) ملاحظه شد.

نتایج و بحث

میانگین اطلاعات به دست آمده در مدت زمان بیش از ۶ماه آزمایش در جدول ۱ داده شده است.

مرحله اول (محیط کشت اول سنبله آبزی)

نتایج پارامترهای فیزیکوشیمیایی و باکتریولوژیک از قبیل مواد معلق، pH، قلیائیت کل، BOD، هدایت الکتریکی، COD، اسیدیته، NO_3-N، PO_4-P، سختی کل و تعداد باکتری‌های کلیفرم در مدت زمان ۱۵ روز این مرحله همگی کاهش یافته و کیفیت آب در کشت اول سنبله آبزی بهبود یافت. مواد معلق از ۳۲۰ میلی‌گرم در لیتر به ۱۳۵ میلی‌گرم در لیتر و BOD از ۳۱۰ به ۷۰ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافت. کاهش معنی‌داری در pH، قلیائیت کل، هدایت الکتریکی، COD، NO_3-N، NH_4-N، PO_4-P، سختی کل و باکتری‌های کلیفرم مشاهده گردید. pH و غلظت DO در ساعت ۹ و ۱۳ ثبت شده بود. pH از ۶/۴۵ به ۷/۶۹ و غلظت اکسیژن محلول از ۰/۶۴ به ۱/۴ میلی‌گرم در لیتر تغییر یافت. غلظت ثبت شده برای فیتوپلانکتون‌ها 775×10^3 تعداد در هر لیتر بود. این کاهش در غلظت فیتوپلانکتون‌ها احتمالاً به این علت بود که گیاه سنبله

1- Microtransect method
2- Lackey
3- Edmondson
4- Jhingran
5- MacConkey

آبزی با محدود کردن نفوذ نور خورشید به درون مخزن مانع از رشد جلبکها می‌شد. جمعیت زئوپلانکتون در کشت اول سنبله آبزی فقط ۲۹۰ عدد در هر لیتر بود. همچنین در این مرحله از تصفیه کاهشی در غلظت کادمیوم از ۱/۹ به ۰/۹۶ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شد. فاضلاب به دست آمده از مرحله اول تصفیه فاقد بوی ناخوشایند بود.

مرحله دوم تصفیه (کشت جلبکی)

کیفیت آب به دست آمده از محیط کشت اول سنبله آبزی از نظر BOD، مواد معلق، PO_4-P، NO_3-N، NH_4-N، COD و تعداد باکتری‌های کلیفرم کاملاً خوب و مناسب بود. در حالی که غلظت DO برای بهبود کیفیت آب کافی نبود. به این دلیل، جلبک‌هایی از قبیل کلرلا ولگاریس، میکروسیستیس - آراگینوس، سندزموس - فالکتوس[1] و کلامید وموناس - میرابیلیس[2] به منظور افزایش غلظت DO از طریق فعالیت فوتوسنتزی آنها در مرحله دوم کشت داده شدند. نتایج به دست آمده بعد از ۵ روز نگهداری محیط کشت جلبکی به قرار زیر بود:

کاهش بیشتر غلظت BOD از ۷۰ میلی گرم در لیتر به ۴۰/۵ میلی‌گرم در لیتر

کاهش قلیائیت کل از ۴۷۰ میلی گرم در لیتر به ۲۹۰ میلی‌گرم در لیتر

کاهش PO_4-P از ۴/۶۵ میلی گرم در لیتر به ۳/۰۵ میلی‌گرم در لیتر

کاهش NH_4-N از ۳۹/۴ میلی گرم در لیتر به ۱۶/۵ میلی‌گرم در لیتر

کاهش COD از ۵۶۷ میلی گرم در لیتر به ۴۵۰ میلی‌گرم در لیتر

کاهش EC از ۰/۸۵ دسی‌زیمنس بر متر به ۰/۷۷۵ دسی‌زیمنس بر متر

کاهش سختی کل از ۶۴ میلی‌گرم در لیتر به ۴۹/۵ میلی‌گرم در لیتر

کاهش تعداد باکتری‌های کلیفرم از $2/14\times10^5$ به $0/76\times10^5$ عدد در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر

کاهش زیاد غلظت کلسیم از ۰/۹۶ میلی‌گرم در لیتر به ۰/۶۸ میلی‌گرم در لیتر

همین طور تشکیل محیط کشت جلبکی بعد از محیط کشت اول سنبله آبزی آنها باعث بهبود کیفیت کلی پساب شد. با وجود این، رشد و تکثیر جلبک‌ها باعث افزایش مواد معلق از ۱۳۵ میلی‌گرم در لیتر به ۲۰۵ میلی‌گرم در لیتر شد. pH در ساعت ۹ صبح ۷/۲۵ و در ساعت ۱۳، ۹/۰۴ بود. این افزایش pH در ساعت ۱۳ شاید به دلیل زیاد بودن فعالیت فتوسنتزی در طول روز بود که نتیجتاً باعث کاهش CO_2 در پساب شد. مقدار DO پساب در ساعت ۹ صبح، ۳/۶۲ میلی‌گرم در لیتر بود که در ساعت ۱۳ به ۱۴/۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافت. این افزایش ناشی از فعالیت فتوسنتزی جلبک‌ها بود و باعث می‌گردید اکسیژن فاضلاب به حالت فوق اشباع ظاهر شود. تعداد فیتوپلانکتونها از 775×10^3 به 1598×10^4 عدد در هر لیتر و تعداد زئوپلانکتونها از ۲۱۰ به ۶۷۵۹ عدد در هر لیتر افزایش یافت.

با توجه به نتایج فوق، پساب به دست آمده از محیط کشت جلبکی از نظر BOD، NO_3-N، PO_4-P، NH_4-N، pH، DO، COD، سختی، هدایت الکتریکی و تعداد باکتری‌های کلیفرم و زئوپلانکتونها در حد مطلوب بود. ولی غلظت مواد معلق افزایش یافت و این به علت حضور سلول‌های جلبکی بود. بنابراین چون پساب برای تخلیه نامناسب بود قبل از تخلیه آن، برای کاهش مواد معلق از محیط کشت دوم سنبله آبزی استفاده شد.

مرحله سوم (محیط کشت دوم سنبله آبزی)

جداسازی سلول‌های جلبکی معلق، از فاضلاب تصفیه شده خیلی مشکل است. فرایندهایی که به وسیله آنها می‌توان جلبک‌ها را از فاضلاب جداکرد شامل شناورسازی، سانتریفوژ کردن، استفاده از صافی‌های فشاری به همراه میکرواسترینر[3] می‌باشند. تمام این روش‌ها گران هستند و به ندرت در مقیاس تجارتی استفاده می‌شوند.

در این مرحله پساب به دست آمده از محیط کشت جلبکی برای تصفیه وارد محیط کشت دوم سنبله آبزی شد. گیاهان سنبله

1- Scenedesmus falcatus
2- Chlamydomonas mirablis
3- Microstrainer

آبزی کشت شده در این مرحله پرنشاط، سبز تیره و سالم بودند. در طول این مرحله تمام آلودگی‌ها به مقدار زیادی کاهش یافت. در نهایت کیفیت پسابی که از مخزن تخلیه شد، خوب بود.

آنالیز کمی در این مرحله نتایج زیر را نشان داد:

غلظت BOD ۹/۶۵ میلی‌گرم در لیتر

غلظت مواد معلق ۷۰/۵ میلی‌گرم در لیتر

قلیائیت کل ۳۶/۴ میلی‌گرم در لیتر

غلظت PO_4-P ۱/۱۴ میلی‌گرم در لیتر

غلظت NO_3-N ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر

غلظت NH_4-N ۳/۱۴ میلی‌گرم در لیتر

سختی کل ۳۶/۴ میلی‌گرم در لیتر

تعداد باکتری‌های کلیفرم $0/114\times10^5$ تعداد در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر بود و غلظت اکسیژن محلول از ۰/۴ به ۱۲/۱ میلی‌گرم در لیتر رسید و غلظت کادمیوم به ۰/۲۷ میلی گرم در لیتر کاهش یافت. غلظت فیتوپلانکتون‌ها از 1598×10^4 به 1235×10^3 عدد در هر لیتر رسید که کاهش مطلوبی را نشان می‌دهد. با وجود این افزایش در غلظت زئوپلانکتون‌ها از ۶۷۵۹ به ۱۰۹۴۶ عدد در هر لیتر دیده شد. باکتری‌های کلیفرم از $0/76\times10^5$ به $0/114\times10^5$ عدد سلول در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر کاهش یافت. تجزیه واریانس تمام پارامترهای فیزیکوشیمیایی و بیولوژیک با در نظر گرفتن زمان، اختلاف معنی‌دار را نشان داد (جدول ۱).

در طول این آزمایش، کاهش معنی‌دار فقط در غلظت NO_3-N فاضلاب بعد از کاهش غلظت NH_4-N ثبت شد. این اختلاف احتمالاً به علت استفاده جلبک‌ها از NH_4-N است که بعداً نیتریت و نیترات را به درون فاضلاب رها می‌کنند.

چوالیر و نویه[1] در سال ۱۹۸۵ مشاهده کردند که مقادیر زیادی از مواد مغذی در شرایط ناهمگن توسط سلول‌های جلبکی جذب می‌شوند [۵]. این امر نشان دهنده حذف مؤثر مواد مغذی در طول تصفیه می‌باشد.

در سال ۱۹۸۱ آاوال و سینگ[2] متوجه شدند که گیاه سنبله آبزی بسیاری از مواد تشکیل دهنده فاضلاب را به طور فیزیکی به درون خود می‌کشد در حالی که حذف، در نتیجه تجمع بیولوژیکی می‌تواند به اندازه ۲۰۰۰۰ برابر جذب فیزیکی برسد [۲]. در طول جذب، ذرات کلوئیدی موجود در فاضلاب‌ها پیوسته در سطح تارهای کشنده سنبله آبزی بهم برخورد کرده و بعد از این که بارالکتریکی خود را از دست می‌دهند متراکم می‌شوند. ذرات متراکم، ذرات کلوئیدی زیادی را با خود حمل کرده و نهایتاً ته‌نشین می‌شوند. به نظر می‌رسد که این بیشتر یک پدیده فیزیکی باشد تا یک پدیده شیمیایی. همراه با ذرات کلوئیدی ممکن است با کتری‌های کلیفرم نیز به این ذرات چسبیده و همراه با آن ته‌نشین شوند. این امر باعث کاهش زیاد تعداد باکتری‌های کلیفرم می‌شود.

چسبندگی ذرات معلق و کلوئیدی در فاضلاب ممکن است به روش‌های مختلف از جمله اضافه کردن الکترولیت، تبخیر یا خنک کردن انجام گیرد [۹]. همین طور چسبندگی ذرات کلوئیدی ممکن است ناشی از جذب آب از طریق سطح ریشه‌ها توسط گیاه باشد. عمل چسبندگی ممکن است به این صورت نیز انجام گیرد که ریشه‌ها برخی مواد را که عاملین هضم کننده برای کلوئیدها هستند جذب کنند. حذف مواد آلی قابل تجزیه هم‌چنین توسط فعالیت گروهی تعداد زیادی از باکتری‌های هوازی که در سطح ریشه‌های گیاه رشد می‌کنند انجام می‌گیرد. این باکتری‌های هوازی اکسیژن مورد نیاز خود را از آوندهای ساقه گیاه می‌گیرند.

آزمایش حاضر با استفاده از سنبله آبزی و تعدادی از گونه‌های جلبکی (کلرلا - ولگاریس، سندزموس، کوادریکادا، میکروسیستیس - آراگینوس، اوگلنا - ویریدیس) نشان داد که استفاده از گیاهان آبزی برای تصفیه فاضلاب، یک روش ارزان و مناسب می‌باشد. این گیاهان با رشد کنترل شده می‌توانند سیستم‌های پیشرفته تصفیه فاضلاب را به صورت با ارزش و مؤثر در آب و هوای گرم و معتدل ایجاد کنند. نتایج این تحقیق کاربرد این روش را در مقیاس تجاری با توجه به ملاحظات اقتصادی مطلوب نشان می‌دهد. موادگیاهی به دست آمده از این نوع سیستم می‌تواند بیشتر برای تولید محصولات قابل استفاده مثل کود گیاهی، کاغذ و سایر محصولات استفاده شود. از طرفی در نتیجه هضم بی‌هوازی محصولات، توده زنده، ۳۷۴ لیتر گاز متان به ازای یک کیلوگرم گیاه خشک تولید می‌کند. از یک هکتار زمین ۶۰۰ کیلوگرم ماده خشک گیاه در هر روز تولید

1- Chevalier and Noue
2- Aowal & Singh

جدول ۱ - تصفیه بیولوژیکی فاضلاب با استفاده از گیاه سنبله آبزی و کشت جلبکی

خواص	فاضلاب	کشت اول سنبله آبزی		کشت جلبکی		کشت دوم سنبله آبزی		ارزش‌های F ($p<0/001$) df=۳
	خانگی	۱۵ روز نگهداری	درصد کاهش	۵ روز نگهداری	درصد کاهش	۳ روز نگهداری	درصد کاهش	
مواد معلق (میلی‌گرم در لیتر)	۳۲۰±۱۰/۵	۱۳۵±۷/۵	۵۷/۸					
pH در ساعت ۹ صبح	۸/۶۵±۰/۶۰	۶/۴±۰/۲	۲۵/۴					
pH در ساعت ۱۳ صبح	۹/۰۵±۰/۶۵	۷/۷±۰/۴	۱۵/۰					
DO (میلی‌گرم در لیتر) در ساعت ۹	هیچ	۰/۶±۰/۰۳	–					
DO (میلی‌گرم در لیتر) در ساعت ۱۳	هیچ	۱/۴±۰/۱	–					
فلیانت کل (برحسب $CaCo_3$ میلی‌گرم در لیتر)	۶۷۰±۳۶/۷	۴۷۰±۲۶/۷	۲۹/۹					
BOD (میلی‌گرم در لیتر)	۳۱۰±۱۷/۵	۷۰±۷/۸	۷۷۴					
Ec (میکروزیمنس)	۱۰۲۰±۴۶/۷	۸۵۰±۳۲/۴	۱۸/۲					
COD (میلی‌گرم در لیتر)	۷۶۷±۲۶/۷	۵۶۷±۲۴/۲	۲۶/۱					
اسیدیته (برحسب $CaCo_3$)	۷۶/۵±۰/۲	۴۹/۵±۶/۸	۳۵/۳					
NO_3-N (میلی گرم در لیتر)	۱/۶۴±۰/۱۴	۰/۶۴±۰/۰۹	۶۱/۰					
NH_4-N (میلی گرم در لیتر)	۶۳/۵±۷/۲	۳۹/۴±۴/۹	۳۸/۰					
PO_4-P (میلی گرم در لیتر)	۱۰/۶±۱/۷	۴/۹±۰/۹	۵۶/۱					
سختی کل (برحسب $CaCo_3$ میلی‌گرم در لیتر)	۱۱۶/۰±۱۶/۲	۶۴/۰±۶/۹	۴۴/۸					
کادمیوم (میلی‌گرم در لیتر)	۱/۶±۰/۶	۱/۰±۰/۴	۴۰					
باکتری‌های کلیفرم (سلول در ۱۰۰ میلی‌لیتر)	۱۴×۱۰۵±۱۹۹	۲/۱۴×۱۰۵±۱۹۳	۸۴/۷					
غلظت فیتوپلانکتون (تعداد در هر لیتر)	–	۷۷۵×۱۰^3±۲۱۰	–					
غلظت زئوپلانکتون (تعداد در هر لیتر)	–	۲۹۰±۲۴	–					
مواد معلق (میلی‌گرم در لیتر)				۲۰۵±۱۲/۳	–	۷۰/۵±۸/۲	۷۸/۱	۱۸۶۹/۷
pH در ساعت ۹ صبح				۷/۳±۰/۳	۱۶/۲	۷/۶±۰/۴	–	۵۰۸۲/۲
pH در ساعت ۱۳ صبح				۹/۰±۰/۳	۰/۱۱	۸/۴±۰/۳	۶/۶	۶۴۰/۸
DO (میلی‌گرم در لیتر) در ساعت ۹				۳/۶±۰/۱	–	۴/۴±۰/۲	–	۴۳۳۴/۲
DO (میلی‌گرم در لیتر) در ساعت ۱۳				۱۴/۵±۲/۰	–	۱۲/۱±۱/۷	–	۱۷۲۰/۹
فلیانت کل (برحسب $CaCo_3$ میلی‌گرم در لیتر)				۲۹۰±۳۰/۲	۵۶/۷	۱۷۱±۲۶/۷	۷۴/۶	۸۷۶۷/۴
BOD (میلی‌گرم در لیتر)				۴۰/۵±۵/۹	۸۶/۹	۹/۶±۱/۷	۹۶/۹	۳۶۸۴/۸
Ec (میکروزیمنس)				۷۷۵±۴۱/۴	۲۵/۵	۶۵۰±۲۹/۴	۳۷/۵	۱۹۴۸/۹
COD (میلی‌گرم در لیتر)				۴۵۰±۲۹/۰	۴۱/۳	۱۷۵±۱۶/۵	۷۷/۲	۴۷۴۷/۳
اسیدیته (برحسب $CaCo_3$)				۴۳/۵±۷/۱۰	۴۳/۱	۲۰/۴±۷/۴	۷۳/۳	۲۲۰۴/۸
NO_3-N (میلی گرم در لیتر)				۰/۳۵±۰/۰۷	۷۸/۶	۰/۳۰±۰/۰۸	۸۱/۷	۲۵۶۵/۶
NH_4-N (میلی گرم در لیتر)				۱۶/۵±۱/۴	۷۴/۰	۳/۱±۱/۱	۹۵/۱	۱۲۰۰/۵
PO_4-P (میلی گرم در لیتر)				۳/۱±۰/۲	۷۱/۲	۱/۱±۰/۱	۸۹/۲	۴۶۴۱/۲
سختی کل (برحسب $CaCo_3$ میلی‌گرم در لیتر)				۴۹/۵±۷/۵	۵۷/۳	۳۶/۴±۴/۶	۶۸/۶	۲۰۴۶/۷
کادمیوم (میلی‌گرم در لیتر)				۰/۷±۰/۵	۲۹/۲	۰/۳±۰/۳	۶۰/۳	۳۵۷۶/۶
باکتری‌های کلیفرم (سلول در ۱۰۰ میلی‌لیتر)				۰/۷۶×۱۰۵±۱۲۶	۹۴/۶	۰/۱۱×۱۰۵±۱۲۰	۹۹/۲	۱۲۳/۷
غلظت فیتوپلانکتون (تعداد در هر لیتر)				۱۵۹×۱۰^4±۳۴۰	–	۱۲۳۵×۱۰^3±۳۰۷	۹۲/۳	۹۷۴۱/۵
غلظت زئوپلانکتون (تعداد در هر لیتر)				۶۷۵۹±۳۷	–	۱۰۹۴۶±۴۷	–	۷۵۰۲/۴

می‌شود که از این مقدار گیاه خشک ۲۲۴۴۰۰ لیتر بیوگاز تولید می‌شود که اگر گیاهان دارای فلزات سنگین باشند نسبت تولیدات گاز بیشتر می‌شود. به عنوان مثال وقتی گیاه سنبله آبزی فلزات سنگین از قبیل نیکل و کادمیوم داشته باشد حجم گاز متان در بیوگاز ۹۱/۹٪ افزایش می‌یابد.

سیستم سه مرحله‌ای تصفیه فاضلاب شرح داده شده ارزانترین و اقتصادی‌ترین روشی است که می‌تواند در آب و هوای گرم و معتدل به کار گرفته شود.

منابع و مراجع

1- APHA, AWWA, and WPCE. (1985). " *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ",Byrd Progress, Springfield, New York.

2- Aowal, A.F.S.A., and Singh, J. (1981). " *Water Hyacinth for Treating Dairy Waste* ", Proc. Environ. Guidelines for Selected Projects, 16 - 18 Oct., PP. 1-5.

3- Bagnall, L.O., Baldwin, J.A., and Hentges, J.F. (1974). " *Processing and Storage of Water Hyacinth Silage*", Hyacinth Control J., 12: 73-79.

4- Boyd, C.E. (1968). " *Fresh Water Palnts: A Potential Source of Protein* ", Econ. Bot., 22: 359-368.

5- Chevalier, P., and Noue, J.D. (1985). " *Efficiency of Immobilized Hyperconcentration Algae from Ammonium and Orthophosphate Removal from Wastewater* ", Biotech. Lett., 7: 395-400.

6- Christensen, E.R., Scherrig, J., and Dixon, P.S. (1979). " *Effects of Manganese, Copper and Lead on Selenastrum Capricorhutum and Chlorella Stigmatophora* " , Water Research, 13: 79-92.

7- De Busk, T.A., Reddy, K.R., Hayes, T.D., and Schwegier, Jr. B.R. (1989). " *Performance of a Pilot - Scale Hyacinth - Based Secondary Treatment System* ", J. Wat. Poll. Cont. Fed., 61: 1217-1224.

8- Edmondson, W.J. (1974). " *Fresh Water Biology* ", John Wiley & Sons, Inc., New York.

9- Glasstone, S. (1965). " *Text Book of Physical Chemistry* ", 2nd edn.

10- Haque, A., and Sharma, S. (1986). " *Water Hyacinth to Fight Water Pollution* ", Science Reporter, Dec., 757-762.

11- Hauser, J.R. (1984). " *Use of Water Hyacinth Aquatic Treatment Systems for Ammonia Control and Effluent Polishing* ", J. Wat. Poll. Cont. Fed., 56: 219-226.

12- Jhingran, V.G., Natrajan, A.V., Banerjee, S.M., and David, A. (1969). " *Methodology on Reservoir Fisheries Investigation in India* ", Bull. Cent. In. Fish Res. Inst., 13: 108-112.

13- Lackey, I.B. (1938). " *Public Heath Reports* ", 53, 2080-2093.

14- Lakshman, G. (1979). " *An Ecosystem Approach to the Treatment of Wastewater* ", J. Environ. Qual., 8: 853-861.

15- Nolan, W.J., and Kirmse, D.W. (1974). " *The Paper Making Properties of Water Hyacinth* ", Hyacinth Control J., 12: 90-97.

16- Ovon, G., Porath, D., and Wildschut, I.R. (1936). " *Wastewater Treatment and Renovation by Different Duckweed Species* ", J. Environ. Engineers, 112: 247-263.

17- Parra, J.V., and Hortenstein, C.C. (1974). " *Plant Nutritional Content of Some Florida Water Hyacinth and Response by Pearl Millet to Incorporation of Water Hyacinth in Three Soil Types* ", Hyacinth Control J., 12: 85-90.

18- Paverly, J.H. (1983). " *Element Accumulation and Release by Macrophytes in a Wetland Stream* ", J. Environ. Qual., 14: 137-143.

19- Reddy, K.R. (1983). " *Fate of Nitrogen and Phosphorus in a Wastewater Retention Reservoir Containing Aquatic Macrophytes* ", J. Environ. Qual., 12: 137-141.

20- Reddy, K.R., Sutton, D.L., and Bowes, C.E. (1983). " *Biomass Production of Fresh Water Aquatic Plants in Florida* ", Proc. Soil Crop Sci. Soc. Fl., 42: 28-40.

21- Reddy, K.R., and De Busk, W.F. (1985). " *Nutrient Removal Potential of Selected Aquatic Macrophytes* ", J. Environ. Qual., 14: 459-462.

22- Rodrignes, A.M., and Oliveira, J.F.S. (1987). " *Treatment of Wastewater from the Tomato Concentrate Industry in High Rate Algal Ponds* ", Wat. Sci. Tech., 19: 43-49.

23- Shelef, G., Azov, Y., Moraine, R., and Oron, G. (1980). " *Algal Mass Production as an Integral Part of a Wastewater Treatment and Reclamation System* ", In Algae Biomass Production and Use, ed. G. Shelef and C.J. Soader, Elsevier North Holland Biomedical Press, Amsterdam, PP. 163-189.

24- Shialipour, A., & Smith, P.H. (1984). " *Conversion of Biomass into Methane Gas* ", Biomass, 6: 85-94.

25- Shukla, S.C., and Tripathi, B.D. (1989). " *Biological Treatment of Domestic Wastewater by Water Hyacinth and Algal Culture* ", Science and Culture, 55: 209-211.

26- Stowell, R.M., Ludwing, R., Colt, J., and Tchobanoglous, G. (1981). " *Concept in Aquatic Treatment System Design* ", ASGE, J. Environ. Eng. Div., 107: 919-940.

27- Sutton, D.L., and Ornes, W.B. (1975). " *Phosphorus Removal from Static Effluent Using Duckweed*", J. Environ. Qual., 4: 367-370.

28- Tam, N.F.Y., and Wong, Y.S. (1989). " *Wastewater Nutrient Removal by Chlorella Pyrenoidosa and Scenedesmus sp*", Enviorn. Poult., 58: 19-34.

29- Thomas, A., De Busk, W.F., and Forrest, E.D. (1989). " *Effect of Nutrient Availability on Water Hyacinth Satnding Crop and Detritus Deposition* ", Hydrobiologia, 174: 151-159.

30- Tripathi, B.D., Sivastava, J., and Mista, K. (1990). " *Impact of Pollution on the Elemental Composition of Water Hycinth (Eichhornia Crassipes Mart, Solms.) and Lemna (Lemnaminor L.) in Various Ponds of Varanasi*", Science and Culture, 55: 301-308.

31- Wolverton, B.C., and McDonald, R.C. (1979). " *Upgrading Facultative Wastewater Lagoons with Vascular Aquatic Plants* ", J. Wat. Poll. Cont. Fed., 51: 305-313.