Archive of SID

ORIGINAL ARTICLE

Sanitary Wastewater Treatment Using Combined Anaerobic and Phytoremediation Systems

Mohammad Mahdi Emamjomeh[1],
Hamza Ali Jamali[2],
Maryam Moradnia[3],
Shaghayegh Mousavi[4],
Zeinab Karimi[5]

[1]Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Social Determinant of Health Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Qazvin University of Medical Science, Qazvin, Iran
[3] MSc Student in Environmental Health Engineering, Social Determinant of Health Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran
[4] MSc in Microbiology, Faculty of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran
[5] MSc in Environmental Engineering, Faculty of Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

(Received December 6, 2015 Accepted April 3, 2015)

Abstract

Background and purpose: Phytoremediation (constructed wetland) is one of the most appropriate technologies for wastewater treatment. The aim of this study was to evaluate the efficiency of the combined anaerobic and phytoremediation systems for sanitary wastewater treatment.

Materials and methods: This experimental study was performed during nine months to measure some parameters including COD, BOD_5, TSS, turbidity, total coliform, and intestinal nematode using combined anaerobic and phytoremediation systems. The samples of wastewater were randomly taken twice per month from the influent and effluent of the septic, wetland and control system. The parameters were measured based on both the Bailenger and standard methods for extermination of water and wastewater. The results were then compared with the Iranian effluent standards for irrigation.

Results: The results showed that by using the hybrid process of anaerobic and phytoremediation systems, the COD and TSS removal rates reached 80% each and the turbidity and BOD_5 removal rates were reported to be 90%. The removal efficiencies of total coliform and intestinal nematode were 99, 999% and 100%, respectively. In this study, the quality of the treated wastewater was found to be acceptable according to the Iranian effluent standards for irrigation.

Conclusion: The combined anaerobic and phytoremediation systems can be used as an efficient process for wastewater treatment.

Keywords: sanitary wastewater treatment, combined anaerobic and phytoremediation systems, constructed wetland

J Mazandaran Univ Med Sci 2016; 26(138): 140-150 (Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره بیست و ششم شماره ۱۳۸ تیر سال ۱۳۹۵ (۱۵۰-۱۴۰)

تصفیه فاضلاب بهداشتی به روش استفاده از سیستم های ترکیبی بی هوازی و گیاه پالایی

محمد مهدی امام جمعه[۱]
حمزه علی جمالی[۲]
مریم مرادنیا[۳]
شقایق موسوی[۴]
زینب کریمی[۵]

چکیده

سابقه و هدف: گیاه پالایی(وتلند) یکی از مناسب‌ترین تکنولوژی‌های کاربردی جهت تصفیه انواع فاضلاب ها است. هدف این تحقیق، بررسی کارایی سیستم ترکیبی بی‌هوازی و گیاه پالایی جهت تصفیه فاضلاب بهداشتی بود.

مواد و روش‌ها: این مطالعه به صورت آزمایشگاهی به مدت نه ماه جهت اندازه‌گیری و بررسی پارامترهای COD، BOD_5، TSS، کدورت، کل کلیفرم‌ها و نماتودهای روده‌ای به وسیله سیستم ترکیبی بی هوازی و گیاه پالایی مصنوعی انجام گردید. در هر ماه دو مرتبه از فاضلاب ورودی و پساب خروجی به صورت تصادفی و مرکب از قسمت‌های مختلف (ورودی به سپتیک، ورودی و خروجی از وتلند و شاهد) نمونه‌برداری شد. پارامترهای فوق بر اساس روش‌های ذکر شده در کتاب استاندارد متد و روش بیلنجر اندازه‌گیری و با استانداردهای زیست محیطی ایران جهت استفاده در آبیاری مقایسه گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با استفاده ازسیستم ترکیبی بی‌هوازی و گیاه پالایی درصد حذف هر یک از پارامترهای COD و TSS حدود ۸۰ درصد و هم‌چنین درصد حذف BOD_5 و کدورت حدود ۹۰ درصد است. درصد حذف کل کلیفرم‌ها و نماتود روده‌ای توسط این سیستم به ترتیب ۹۹/۹۹۹ و ۱۰۰ درصد بود. کیفیت فاضلاب تصفیه شده در این مطالعه مطابق با استاندارد قابل قبول ایران جهت استفاده مجدد از پساب برای آبیاری بود.

استنتاج: سیستم ترکیبی بی هوازی و گیاه پالایی به عنوان یک سیستم کارآمد می‌تواند در کاهش آلاینده‌های متداول فاضلاب، استفاده شود.

واژه های کلیدی: تصفیه فاضلاب بهداشتی، سیستم ترکیبی بی هوازی و گیاه پالایی، وتلند

مقدمه

سیستم‌های تصفیه طبیعی یکی از مناسب‌ترین تکنولوژی‌های تصفیه برای انواع فاضلاب هستند که در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این سیستم‌ها به انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشید، باد و انرژی ذخیره‌ای در توده‌های زیستی و خاک متکی هستند. از جمله سیستم‌های طبیعی می‌توان به سیستم‌های

مولف مسئول: مریم مردانیا– قزوین: دانشگاه علوم پزشکی قزوین E-mail: maryam.moradnia2000@gmail.com
۱. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر برسلامت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
۲. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
۳. دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر برسلامت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
۴. کارشناس ارشد میکروبیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
۵. کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
تاریخ دریافت : ۱۳۹۴/۹/۱۵ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۳۹۴/۹/۲۶ تاریخ تصویب : ۱۳۹۵/۱/۱۵

www.SID.ir

Archive of SID

طبیعی خاک، سیستم‌های آبزی و وتلندها اشاره کرد. پس از سیستم برکه‌های تثبیت، یکی از سیستم‌های تصفیه طبیعی که طی چند دهه اخیر در بسیاری از کشورهای دنیا، خصوصاً کشورهای توسعه یافته مورد توجه قرار گرفته است، سیستم تصفیه فاضلاب به کمک گیاهان (گیاه پالایی) و یا وتلند می باشد. امروزه درک توانایی گیاهان جهت کمک به تجزیه و تصفیه میکروارگانیسم‌های بیماریزا و همچنین حذف بسیاری از آلاینده ها، منجر به افزایش بکارگیری سیستم‌های گیاهی و دامنه وسیعتر تحقیقات در این خصوص شده است(۱) سیستم‌های وتلند به دلیل توانایی و مکانسیم چندگانه تصفیه (فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی)، طبیعی بودن سیستم، بهره‌برداری و نگهداری ساده و ارزان و همچنین راندمان بالای تصفیه، روز به روز در حال گسترش می‌باشد. نقش اصلی گیاهان در این سیستم تأمین اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌های هتروتروف در ناحیه ریشه، جذب مواد مغذی، افزایش و تثبیت هدایت هیدرولیکی بستر است. و تلندها به عنوان واحد تصفیه ثانویه با کارایی بالایی قادر به حذف انواع آلاینده‌ها هم‌چون موادآلی، مواد غیر آلی و انواع میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا تا حد قابل قبول می‌باشند(۲).

وتلندها به دو گروه طبیعی و مصنوعی طبقه‌بندی می‌گردند. سیستم‌های وتلند از لحاظ طراحی به سه دسته سطحی، زیر سطحی و هیبریدی تقسیم‌بندی می‌شوند. در حال حاضر وتلندها برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و روستایی، فاضلاب‌های تهنشین شده اولیه، فاضلاب‌های ثانویه (پساب حاصل از تصفیه بیولوژیکی)، کاهش آلاینده‌های سمی، تصفیه شیرابه مراکز دفن زباله، فاضلاب‌های تولیدی از استخراج معادن، تصفیه فاضلاب‌های صنعتی، حذف نوترینت‌ها از فاضلاب به‌کار می‌روند(۳). قبل از ورود فاضلاب به وتلند نیاز است که روی آن پیش تصفیه‌ای صورت پذیرد تا آلودگی آن را کاهش دهد. نظر به اهمیت سپتیک تانک در کاهش آلاینده‌های فاضلاب، از آن به عنوان گزینه مناسب و موقت دفع فاضلاب استفاده می‌شود(۴). بسیاری از مطالعات، کارایی سیستم‌های وتلند را نسبت به برکه‌های اختیاری بالاتر نشان داده‌اند(۵،۶). هم‌چنین وتلندها با جریان‌زیرسطحی نسبت به وتلندهای سطحی عموماً مقدار تصفیه بالاتری را نشان داده‌اند(۳).

یوسفی و همکاران، سیستم وتلند زیرسطحی با جریان افقی را به کمک گیاه فراگماتیس استرالیس، در کاهش آلاینده‌های فاضلاب شامل BOD_5، COD، TKN، TP و کدورت موثر نشان دادند. درصد کارایی حذف این آلاینده‌ها به ترتیب ۸۱/۴۷، ۷۸/۵، ۸۷/۸۷، ۷۶/۱۸ و ۹۷/۸ درصدگزارش گردید(۵). ترنگ وهمکاران نیز بالاترین درصد حذف BOD_5، COD و TSS از فاضلاب بهداشتی را توسط سیستم وتلند با جریان زیر سطحی به‌ترتیب ۸۳، ۸۴ و ۹۵ درصد گزارش کردند(۶). نتایج پژوهش قهرمانی و همکاران با هدف بررسی کارایی وتلند زیرسطحی برای تصفیه پارامترهای BOD_5، COD و TSS نشان داد که این سیستم ها توانایی حذف هر یک از این پارمتراها را به میزان ۶۷/۸۹، ۷۰/۹۹ و ۸۳/۸۶ درصد به ترتیب بر اساس ورودی BOD_5=۱۳۹/۱۸، COD=۱۳۹/۷۵ و TSS= ۳۰۷ میلی‌گرم در لیتر دارد(۷). مطالعات نشان داده‌اند که سیستم‌های ترکیبی وتلند با کارایی بالاتری قادر به حذف آلاینده‌های مختلف فاضلاب هستند. ملیان و همکاران در یک بررسی، سیستم‌های ترکیبی وتلند را برای تصفیه فاضلاب شهری کارآمد دانستند، به‌طوری‌که میانگین حذف برای هر یک از پارامترهای BOD_5، COD و SS به ترتیب ۸۶، ۸۰ و ۹۶ درصد به دست آمد(۸). هم‌چنین Xinshan و همکاران کارایی سیستم ترکیبی وتلند زیر سطحی با جریان افقی و جریان عمودی برای حذف آلاینده‌های BOD_5، COD را برای هر دو آلاینده ۹۴ درصد اعلام کردند(۹).

این مطالعه با هدف تصفیه فاضلاب بهداشتی با استفاده از سیستم‌های ترکیبی بی‌هوازی (سپتیک تانک) و گیاه پالایی به کمک وتلند جهت بررسی و اندازه‌گیری

www.SID.ir

Archive of SID

پارامترهای COD، BOD_5، TSS، کدورت، کل کلیفرم‌ها و نماتودهای روده‌ای انسان انجام گرفت.

مواد و روش ها

مشخصات سپتیک تانک و وتلند

این مطالعه به صورت تجربی با استفاده از سیستم ترکیبی بی‌هوازی و وتلند به صورت عملی در مقیاس واقعی انجام گرفت. دبی ورودی به سیستم سپتیک تانک برای جمعیت ۲۰۰ نفر و بر اساس زمان ماند ۲ الی ۴ روز بر اساس دبی حداقل و حداکثر فاضلاب تولیدی، ۳۲ متر مکعب در روز برآورد گردید. دو واحد سیستم وتلند و شاهد (بدون کشت گیاه) هر کدام به مساحت کل ۸۰ متر (مساحت کل ۱۶۰ متر مربع) و با عمق ۱ متر (۱ m ×۴m ×۲۰m) و زمان ماند ۱/۵ الی ۳ روز با توجه به دبی حداقل وحداکثر فاضلاب تولیدی، برای بررسی و اندازه‌گیری پارامترهای کیفی فاضلاب شامل COD، BOD_5، TSS، کدورت، کل کلیفرم‌ها ونماتودهای روده‌ای انسان انجام شد. گیاه مورد استفاده برای تصفیه فاضلاب در این مطالعه ترکیبی از نی محلی رودخانه فصلی منطقه شمال قزوین و گیاه وتیور (Vetiveria Zizonioides) بود. دلیل استفاده از دو نوع گیاه، به جهت مقاومت آن‌ها، در شروع زمان بهره برداری از سیستم ترکیبی در فصل سرما بود.

نمونه‌برداری و آنالیز آماری

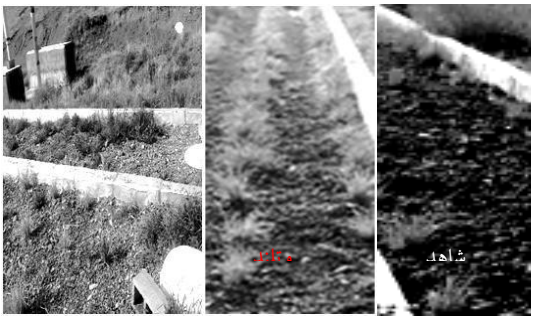
این مطالعه به صورت تجربی در یک دوره نه ماهه انجام پذیرفت. جامعه‌ی مورد مطالعه فاضلاب بهداشتی یکی از پادگان‌های آموزشی شهر قزوین بود. در ابتدا بازدیدهای میدانی با هدف اطلاع از میزان حجم فاضلاب تولیدی، نوع فاضلاب ورودی به سیستم تصفیه، چگونگی انتقال فاضلاب به سیستم بی‌هوازی و وتلند، اطلاع از خروجی‌های سیستم و چگونگی دفع آن به محیط زیست و تعیین ایستگاه‌های نمونه برداری در نقاط مختلف سیستم انجام گرفت. در هر ماه دو مرتبه از فاضلاب ورودی و پساب خروجی به صورت تصادفی و مرکب از ۵ قسمت (ورودی به سپتیک، ورودی به سیستم وتلند و شاهد، خروجی از وتلند و شاهد) نمونه‌برداری انجام گردید. تعداد کل ۲۷۰ نمونه در ۱۸ مرتبه نمونه‌برداری جمع‌آوری گردید. نمونه‌گیری با استفاده از ظروف مخصوص نمونه برداری فاضلاب (جهت آنالیز فیزیکی، شیمیایی و میکروبی) از نقاط نمونه‌برداری انجام و نمونه‌ها در کم‌تر از ۴۸ ساعت و در شرایط دمایی ۴- درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین منتقل گردید. شمارش تعداد تخم انگل‌های نماتود روده‌ای بر اساس روش Bailenger (۱۰) انجام گردید. در ابتدا حدود ۴ ساعت به نمونه‌ها اجازه ته‌نشینی داده شد، سپس ۹۰ درصد مایع رویی با استفاده از سیفون خارج شد و رسوب باقیمانده در کف لوله به چند لوله سانتریفیوژ منتقل شد. سپس در ۱۰۰۰ گرم به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. کل رسوب موجود در لوله‌های سانتریفیوژ مجددا به یک لوله وارد گردید و دوباره در ۱۰۰۰ گرم به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. در مرحله بعد یک برابر حجم رسوب تشکیل شده در مرحله دوم سانتریفیوژ، بافر استواستیک (pH= ۴/۵) و دو برابر حجم آن، استات استیل به لوله سانتریفیوژ اضافه گردید. پس از آن که نمونه توسط همزن کامل یکسان گردید، در ۱۰۰۰ گرم مجددا به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس رسوب نهایی در پنج حجم سولفات روی ۳۳ درصد مخلوط و معلق گردید. حجم این محلول نهایی ثبت گردید. سپس به وسیله پیپت پاستور، محصول نهایی به سه لام مک مستر با حجم ۰/۳ میلی لیتر منتقل و با استفاده از میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی ×۱۰ و ×۴۰ مشاهده گردید. تعداد تخم انگل‌ها در یک لیتر نمونه با استفاده از فرمول N=AX/PV برآورد گردید (N = تعداد تخم انگل در یک لیتر نمونه، A = میانگین تعداد تخم انگل شمارش شده، X = حجم محصول نهایی (میلی‌لیتر)، P = حجم لام مک مستر (۰/۳ میلی‌لیتر) و V = حجم نمونه اولیه (لیتر)). سایر پارامترهای مورد بررسی

www.SID.ir

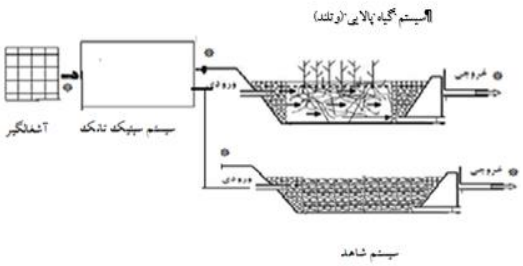
Archive of SID

در این مطالعه بنا بر روش‌های ذکر شده درکتاب استاندارد متد(۱۱) اندازه‌گیری و ثبت گردید. خطای آزمایش با استفاده از تکرار آزمایش کاهش داده شد. تجزیه و تحلیل نمونه‌ها با استفاده از روش آماری Paired Sample Test با کمک نرم‌افزار SPSS ۱۶ انجام شد. پارامترهای مورد بررسی با استانداردهای ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران (IRNDOE) جهت استفاده مجدد در آبیاری مقایسه گردید. تصاویر شماره ۱ و ۲ به ترتیب نمایی ازسیستم بی‌هوازی و وتلند و تصویر شماره ۳ نمایی از مسیر سیستم تصفیه فاضلاب و محل‌های برداشت نمونه را نشان می‌دهد.

تصویر شماره ۱: نمایی از سیستم بی هوازی (سپتیک تانک)



تصویر شماره ۲: نمایی از سیستم وتلند و شاهد



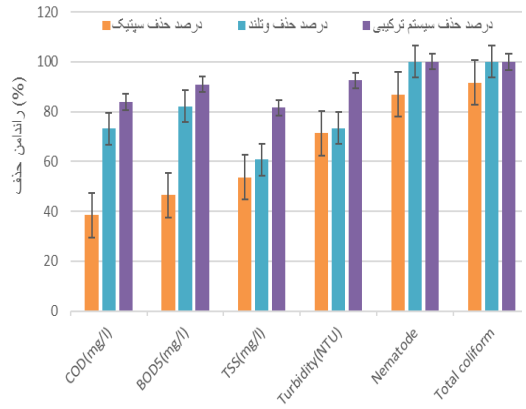
تصویر شماره ۳: مسیر تصفیه فاضلاب و محل های برداشت نمونه

یافته ها

پس از انجام آزمایشات و جمع آوری اطلاعات و آنالیزهای آماری، نتایج مطالعه به صورت جداول و نمودارهای زیر به طور خلاصه ارائه شد. کیفیت فاضلاب ورودی به واحدهای بی هوازی، سیستم وتلند مصنوعی و پساب خروجی از آن در طی نه ماه برای پارامترهای مورد مطالعه در جداول شماره ۱ و ۲ نشان داده شده است.

میانگین و انحراف معیار پارامترهای مطالعه برای فاضلاب ورودی به سیستم بی‌هوازی و وتلند و پساب خروجی نهایی از سیستم ترکیبی بی‌هوازی- وتلند و هم‌چنین استانداردهای زیست محیطی ایران جهت استفاده مجدد برای آبیاری در جدول شماره ۳ ارائه گردیده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که مقادیر COD، BOD_5 و کدورت پس از پیش تصفیه با سیستم سپتیک تانک بالاتر از استانداردهای زیست محیطی ایران جهت آبیاری و خروجی از سیستم ترکیبی بی‌هوازی- وتلند پایین تر از آن می باشند.

میانگین درصد حذف پارامترهای COD، BOD_5، TSS، کدورت، نماتود و کل کلیفرم‌ها توسط سیستم بی‌هوازی، وتلند و سیستم ترکیبی سیستم بی‌هوازی- وتلند در نمودار شماره ۱ نشان داده شده است.



نمودار شماره ۱: میانگین راندمان حذف پارامترهای COD، BOD_5، TSS، کدورت، نماتود و کل کلیفرم ها توسط سیستم بی هوازی، وتلند و سیستم ترکیبی سیستم بی هوازی – وتلند

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شماره ۱: کیفیت فاضلاب ورودی به سیستم بی هوازی و وتلند و پساب خروجی از آن از لحاظ پارامترهای COD، BOD_5، TSS (mg/l) و کدورت (NTU)

پارامتر / زمان نمونه برداری		COD (میلی گرم بر لیتر)			BOD_5 (میلی گرم بر لیتر)			TSS (میلی گرم بر لیتر)			کدورت (NTU)		
		۱*	۲*	۳*	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
آبان	هفته اول	۶۷۸	۳۴۲	۱۱۱	۵۲۳	۲۶۶	۵۸	۱۳۸	۶۸	۳۱	۶۹۶	۲۲۰	۵۳
	هفته سوم	۶۸۲	۳۳۴	۱۰۵	۵۱۱	۲۷۰	۶۱	۱۴۴	۶۹	۲۲	۷۰۲	۲۵۷	۵۵
آذر	هفته اول	۶۸۰	۳۴۳	۱۱۲	۵۲۱	۲۷۲	۵۲	۱۳۲	۶۷	۲۵	۷۱۲	۲۴۹/۵	۵۶
	هفته سوم	۶۸۵	۳۶۵	۱۰۰	۵۰۹	۲۷۳	۵۳	۱۵۴	۶۷	۲۷	۶۸۷/۵	۲۰۲	۵۲
دی	هفته اول	۶۵۶	۳۷۲	۱۰۲	۴۹۳	۲۶۹	۴۲	۱۲۳	۶۶	۳۹/۸	۶۷۲	۱۸۹	۴۸
	هفته سوم	۶۵۰	۳۷۷	۱۰۰	۴۹۰	۲۷۴	۴۳	۱۱۳	۶۲	۲۶/۱	۶۴۲	۲۱۲	۴۹
بهمن	هفته اول	۶۰۵	۳۷۴	۱۰۴	۴۹۰	۲۶۳	۴۴	۱۴۳	۶۵	۲۶	۵۸۳	۱۶۶	۴۴
	هفته سوم	۶۰۰	۳۶۸	۱۰۵	۴۸۸	۲۶۱	۴۶	۱۳۴	۶۴	۳۳/۳	۶۰۸	۱۵۳	۴۸
اسفند	هفته اول	۶۶۰	۳۷۱	۹۸	۴۸۹	۲۶۱	۴۳	۱۳۰	۶۷	۳۴/۱	۵۰۱	۱۶۰	۴۶
	هفته سوم	۶۸۷	۳۶۸	۹۶	۴۹۰	۲۵۷	۴۱	۱۳۰	۶۳	۳۵/۱	۵۱۸	۱۵۲	۴۵
فروردین	هفته اول	۶۵۶	۳۷۵	۹۸	۴۹۳	۲۵۵	۴۳	۱۴۲	۶۰	۴۲/۱	۶۲۴	۱۳۳	۴۳
	هفته سوم	۶۸۰	۳۷۶	۹۶	۴۹۰	۲۲۰	۴۳	۱۳۸	۵۹	۴۳/۵	۶۴۰	۱۵۶	۳۹
اردیبهشت	هفته اول	۴۹۳	۳۶۶	۹۳	۴۸۷	۲۲۱	۳۷	۱۳۵	۵۵	۱۶/۴	۵۸۳	۱۵۱	۴۱
	هفته سوم	۵۰۳	۳۷۸	۹۴	۴۹۰	۲۰۲	۳۹	۱۲۱	۵۷	۹/۲	۶۰۲/۵	۱۴۴	۳۵
خرداد	هفته اول	۴۵۶	۳۶۱	۸۴	۲۴۲	۱۵۹	۲۶	۱۲۵	۵۳	۸/۴	۵۰۱	۱۳۲	۳۳
	هفته سوم	۴۸۹	۳۷۲	۸۶	۲۵۳	۱۶۳	۲۵	۱۲۵	۵۵	۷/۸	۴۹۲	۱۳۸	۳۲
تیر	هفته اول	۵۲۰	۳۷۱	۸۰	۲۲۳	۱۳۴	۲۶	۱۲۰	۵۳	۸/۲	۴۲۰/۳	۱۱۲	۳۵
	هفته سوم	۵۱۸	۳۶۰	۷۸	۲۴۳	۱۳۷	۲۳	۱۲۴	۴۸	۷/۱	۴۱۳/۸	۱۲۱	۳۹

* (۱: فاضلاب ورودی به سیستم بی هوازی، ۲: پساب ورودی به وتلند، ۳: پساب خروجی از وتلند)

جدول شماره ۲: کیفیت فاضلاب ورودی به سیستم بی هوازی و وتلند و پساب خروجی از آن از لحاظ دو پارامتر کل کلیفرم (MPN/100ml) و نماتود روده ای (۱۰۰/عدد)

پارامتر / زمان نمونه برداری		کل کلیفرم MPN/100ml			نماتود (۱۰۰ml/عدد)		
		۱	۲	۳	۱	۲	۳
آبان	هفته اول	۹/۶E۸	۸/۶Ev	۱۰۲۰	۱	۰	۰
	هفته سوم	۸/۶E۸	۸/۴Ev	۱۰۸۱	۱	۱	۰
آذر	هفته اول	۸E۸	۷/۷Ev	۱۰۰۱	۲	۰	۰
	هفته سوم	۹E۸	۶/۳Ev	۱۲۲۲	۱	۰	۰
دی	هفته اول	۵/۷E۸	۶/۵۸Ev	۱۵۲۱	۱	۰	۰
	هفته سوم	۷/۳E۸	۶/۳Ev	۱۳۰۰	۲	۱	۰
بهمن	هفته اول	۶/۹E۸	۷/۰۲Ev	۱۶۵۱	۳	۰	۰
	هفته سوم	۸/۲E۸	۷/۴Ev	۱۷۶۷	۴	۰	۰
اسفند	هفته اول	۷/۹E۸	۷/۸۹Ev	۱۷۸۹	۲	۰	۰
	هفته سوم	۸E۸	۶/۹۷Ev	۱۷۳۳	۴	۱	۰
فروردین	هفته اول	۹E۸	۷/۲۳Ev	۱۵۰۱	۳	۰	۰
	هفته سوم	۶/۶E۸	۵/۱۲Ev	۱۰۱۲	۱	۰	۰
اردیبهشت	هفته اول	۵/۹E۸	۵/۰۱Ev	۸۸۵	۱	۰	۰
	هفته سوم	۸/۳E۸	۴/۱۸Ev	۹۰۲	۱	۰	۰
خرداد	هفته اول	۹/۱E۸	۳/۷۳Ev	۸۹۴	۳	۰	۰
	هفته سوم	۷E۸	۴/۰۴Ev	۹۵۶	۳	۲	۰
تیر	هفته اول	۴/۴E۸	۲/۹۹Ev	۹۹۲	۱	۰	۰
	هفته سوم	۲/۲E۸	۱/۱۸Ev	۸۸۷	۴	۰	۰

جدول شماره ۳: میانگین و انحراف معیار پارامترهای COD، BOD_5، TSS، کدورت، نماتود و کل کلیفرم ها توسط سیستم بی هوازی، وتلند و سیستم ترکیبی سیستم بی هوازی – وتلند

پارامتر	واحد	فاضلاب خام	خروجی شاهد (خاک)	راندمان حذف سیتم شاهد	ورودی به سیستم وتلند (خاک + گیاه)	خروجی از سیستم وتلند	استاندارد ایران برای آبیاری
COD	mg/l	۶۰۵/۴±۸۳/۷	۱۹۵±۶/۱۵	۴۶/۶	۳۶۵±۱۲/۸	۹۷/۸۸±۱۱/۶	۲۰۰
BOD_5	mg/l	۴۴۰/۲۷±۱۱۰/۷	۹/۶±۱۰۱	۵۶/۳	۲۳۰/۹±۵۰	۴۱/۳۸±۱۱	۱۰۰
TSS	mg/l	۱۳۱/۷۲±۱۰/۳	۳۴±۱/۸	۴۴/۳	۶۱±۶/۶۲۵	۲۴/۵±۱/۳	۱۰۰
کدورت	NTU	۵۸۸/۸±۹۴/۶	۵۲±۴/۶	۶۹/۲	۱۶۹/۳±۴۲/۷	۴۴±۷/۵	۵۰
نماتود	(۱۰۰ml/عدد)	۲/۱۱±۱/۱۸	۰/۰۵±۰/۰۱	۹۶/۳	۰/۵±۰/۲۷	۰	کمتر از ۱
کل کلیفرم	(MPN/100ml)	۷/۸۱ E۸±۱/۳۲E۸	۶/۶۸ E۵±۲E۴	۹۹	۵/۲ Ev±۶/۸E۷	۱/۲۲ E۳±۵۵۴۲	۱۰۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

مطابق نمودار شماره ۱ درصد حذف COD، BOD_5، TSS، کدورت، نماتود و کل کلیفرم ها توسط سیستم سپتیک بی‌هوازی به ترتیب ۳۸/۴۰، ۴۶/۵۰، ۵۶/۳، ۷۱/۴، ۸۶/۸۴، ۹۲/۴۴ درصد می‌باشد. درصد حذف پارامترهای مذکور توسط سیستم وتلند به ترتیب ۷۳/۱۲، ۸۲/۱۴، ۶۰/۷۶، ۷۳/۳۹، ۱۰۰ و ۹۹/۹۹ درصد به‌دست آمد. هم‌چنین سیستم ترکیبی بی‌هوازی- وتلند برای هر یک از پارامترهای ذکر شده با راندمان ۸۳/۸۶، ۹۰/۴۹، ۸۱/۵۳، ۹۲/۴۶، ۱۰۰ و ۹۹/۹۹۹ درصد کارایی بالاتری را نسبت به سیستم‌های سپتیک تانک و وتلند نشان داد.

بحث

از آن‌جا که استفاده از سیستم‌های تصفیه پیچیده برای جوامع کوچک از لحاظ اقتصادی به صرفه نیست، وتلندها گزینه ای مناسب برای تصفیه فاضلاب در این جوامع می‌باشند. مطابق نتایج به دست آمده، سیستم گیاه پالایی به کمک وتلند با کارایی بالاتری در مقایسه با سیستم بی‌هوازی سپتیک تانک در کاهش آلاینده‌های COD، BOD_5، TSS، کدورت، نماتود و کل کلیفرم‌ها نقش داشت. سیستم بی‌هوازی سپتیک تانک به جز کاهش TSS، به تنهایی قادر به پایین آوردن سایر پارامترهای مورد مطالعه به حد قابل قبول استاندارد نمی‌باشد. هم‌چنین سپتیک تانک قادر به کاهش بیش از log ۱ کل کلیفرم‌ها نمی‌باشد. پساب خروجی از سپتیک تانک به علت در برداشتن باکتری‌های بیماری‌زا، کیست و تخم انگل‌هایی که کاملاً از بین نرفته اند از نظر بهداشتی مخاطره انگیز می‌باشند. بنابراین معمولا از سیستم‌های سپتیک تانک به عنوان پیش تصفیه استفاده می‌شود. در این تحقیق کاهش تعداد تخم انگل‌های نماتود توسط سیستم بی‌هوازی سپتیک تانک ۸۶/۸۴ درصد گزارش گردید. اگرچه درصد بالای حذف نماتودها توسط سپتیک تانک به دلیل زمان ماند کافی و ته نشین شدن گزارش گردیده است اما سیستم سپتیک تانک قادر به حذف کامل آن‌ها نمی‌باشد. سازمان بهداشت جهانی بر مخاطره آمیز بودن عفونت‌های ناشی از انگل‌ها روده‌ای، هم برای کارگران و هم برای استفاده از این نوع پساب‌ها در آبیاری تاکید کرده است(۱۲). شافی و خطیب میزان حذف آلاینده‌های COD، BOD_5 و TSS را با استفاده از سیستم پیش تصفیه سپتیک تانک برای تصفیه فاضلاب بهداشتی را به‌ترتیب ۴۱، ۴۶ و ۵۹ درصد گزارش کردند(۴). نتایج مطالعه ذکر شده در راستای نتایج مطالعه حاضر می‌باشد. با توجه به این نتایج می‌توان بیان نمود که در سیستم‌های بی‌هوازی سپتیک تانک که به درستی طراحی شده باشند، با زمان ماند مناسب و نزدیک شدن رژیم جریان به جریان نهر گونه باعث افزایش حذف آلاینده‌ها در خروجی سیستم‌های گیاهی خواهند شد. مطالعات متعددی به نقش گیاهان و سیستم‌های وتلند برای حذف موثر موادآلی و غیرآلی اشاره کرده‌اند(۵،۳) در سیستم‌های گیاه پالایی به کمک وتلند با جریان زیر سطحی، علاوه بر گیاه، خاک نیز به کاهش آلاینده‌ها کمک می‌کند. از مکانیسم‌های اصلی کاهش مواد قابل تجزیه بیولوژیکی در وتلندها، فیلتراسیون، تبدیل بیولوژیکی BOD5 محلول توسط میکروارگانیسم به خصوص باکتری‌ها، جذب و لخته‌سازی و ته‌نشینی می‌باشد. فیلتراسیون و ته‌نشینی نیز از مکانیسم‌های ا صلی حذف کدورت و TSS توسط سیستم‌های وتلند می‌باشند(۱۳،۲). فرآیندهای حذف باکتری‌ها و انگل‌ها نیز شامل جذب سطحی، فیلتراسیون، ته نشینی، شکار، تجزیه طبیعی، ترشح آنتی بیوتیک، عمل ضد میکروبی میکروفلورای خاک و ریشه و همچنین دمای نامناسب می‌باشد(۱۴).

یوسفی و همکاران گزارش کردند که سیستم وتلند برای فاضلاب‌های ضعیف و یا فاضلاب مجتمع با غلظت COD در محدوده ۱۳۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر در دستیابی به محدوده استاندارد تخلیه به آب‌های سطحی و زیرزمینی موفق عمل کرده است(۵). میزان حذف BOD_5 توسط سازمان EPA به وسیله وتلند زیرسطحی ۵۰ تا ۹۰ درصد گزارش شده است(۱۵) هم‌چنین نتایج مطالعه مروری تشیعی و همکاران نشان داد که میانگین راندمان حذف

www.SID.ir

Archive of SID

BOD_5و TSS در تصفیه فاضلاب با وتلندهای زیرسطحی در سایر کشورها و ایران به ترتیب ۹۱/۶، ۸۱/۶ و ۷۷، ۸۳ درصد بود(۱۶). نتایج مطالعات ذکر شده تاییدکننده نتایج مطالعه حاضر می‌باشد. از آن‌جاکه شرایط آب و هوایی یکی از پارامترهای مهم در عملکرد سیستم تصفیه گیاه پالایی می‌باشد، بنابراین می‌توان گفت در شرایط آب و هوایی مشابه نتایج عملکرد سیستم‌های وتلند تقریبا همخوانی دارند. طبق نتایج به دست آمده از تحقیق احرامپوش و همکاران، سیستم وتلند مصنوعی زیرسطحی با گیاه نخل مرداب قادر به کاهش پارامترهای BOD_5، TSS، COD، کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی به میزان به ترتیب ۷۴، ۷۳، ۷۰، ۳۳ و ۳۸ درصد بود(۱۷). هم‌چنین نتایج مطالعه حاضر برای پارامترهای BOD_5 و COD بالاتر از تحقیق انجام شده توسط Trang (۶) و قهرمانی(۷) با هدف استفاده از سیستم وتلند مصنوعی برای فاضلاب بهداشتی بود که یکی از دلایل آن می‌تواند استفاده از سیستم ترکیبی و عملکرد بهتر این سیستم، نسبت به سیستم‌های تک واحدی می‌باشد.

Ge و همکاران راندمان حذف BOD_5، TSS و COD با استفاده از سیستم وتلند زیر سطحی با جریان افقی را به ترتیب ۷۴/۱، ۸۹/۵ و ۸۲/۲ درصد گزارش نمودند(۱۸). نتایج این مطالعه با پژوهش یوسفی و همکاران(۵) که از سیستم وتلند مصنوعی با گیاه نی فراگماتیس استرالیس بومی در شرایط اقلیمی مازندران و همچنین مطالعات مشابه دیگر(۱۹) هم‌خوانی دارد که یکی از علل آن می‌تواند استفاده از گیاه مقاوم به شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه و همچنین استفاده از وتلند با جریان افقی مشابه با مطالعه ذکر شده باشد. پژوهش‌های مختلف به‌کارگیری انواع سیستم‌های ترکیبی مانند سیستم هیبریدی وتلند- لاگون هوادهی(۲۰)، سیستم هیبریدی جریان افقی- عمودی(۲۱) و سیستم ترکیبی سپتیک تانک- وتلند زیرسطحی(۴) را برای حذف آلاینده‌های مختلف ازفاضلاب مانند BOD_5، COD و TSS موثر نشان داده‌اند. نتایج به دست آمده از این مطالعه بیانگر آن بود که سیستم ترکیبی بی‌هوازی- گیاه پالایی به کمک وتلند با کارآیی بالاتری نسبت به سیستم‌های بی‌هوازی سپتیک تانک و وتلند عمل کرده است. مطابق نتایج ارائه شده در جدول شماره ۳، سیستم ترکیبی بی هوازی- وتلند با تامین استاندارد های زیست محیطی ایران جهت مصارف آبیاری برای هر یک از پارامترهای COD، BOD_5، TSS، کدورت و نماتود ها عملکرد مناسبی را نشان داده است. عملکرد مناسب سیستم بی‌هوازی سپتیک تانک و همچنین حذف آلاینده‌ها در وتلند زیرسطحی به علت یکسان بودن شرایط بارگذاری، دارای خروجی نهایی نزدیک به استانداردهای زیست محیطی بود.

Cui و همکاران متوسط نرخ حذف COD و BOD_5 را توسط سیستم ترکیبی وتلند برای تصفیه جریان خروجی از سیستم سپتک تانک با استفاده از گیاه Cyprus Alternifolius و Schoenoplectus Lacustris را به ترتیب نزدیک به ۸۵ و ۸۲ درصد گزارش کردند و نتایج نشان‌دهنده بالارفتن کارایی حذف پارامترهای ذکر شده در سیستم‌های ترکیبی سپتیک تانک- وتلند بود(۲۲). نتایج مطالعه حاضر راندمان بالاتری را برای این دو پارامتر نشان داد.

Xinshan و همکاران سیستم ترکیبی وتلند با جریان زیرسطحی افقی و عمودی را در تصفیه فاضلاب خانگی موثر دانستند(۹). نتایج مطالعه مروری سیدی و همکاران نشان داد که سیستم‌های ترکیبی باعث حذف بیش‌تر آلاینده‌های BOD_5 و TSS نسبت به سیستم‌های وتلند مصنوعی به تنهایی می‌شوند(۳). هم‌چنین Seo و همکاران سیستم هیبریدی مصنوعی با جریان زیر سطحی افقی و عمودی برای فاضلاب کشاورزی را با استفاده از گیاه Thiobacillus Denitrificans برای حذف COD و TSS به ترتیب ۵۳ و ۹۱ درصد گزارش نمودند(۲۳). نتایج مطالعه حاضر راندمان بالاتری را برای حذف COD نشان داده است که می‌توان به مقاومت گیاه مورد استفاده، شرایط محیطی و نوسانات جریان ورودی نسبتاً

www.SID.ir

Archive of SID

پایدار اشاره نمود. میزان حذف کل کلیفرم و تخم انگل نماتود روده‌ای توسط سیستم ترکیبی سپتیک تانک- وتلند به ترتیب (5log) ۹۹/۹۹۹ و ۱۰۰ درصد گزارش شد. با توجه به نتایج ارائه شده (جدول شماره۳) جهت دستیابی به استانداردهای خروجی برای کل کلیفرم در پساب خروجی از سیستم ترکیبی بی‌هوازی- وتلند، به‌کارگیری واحد گندزدایی، پس از سیستم وتلند زیرسطحی، لازم خواهد بود.

شرفی و همکاران در مطالعه‌ای میانگین راندمان زدایش تخم انگل توسط سیستم وتلند مصنوعی را ۹۹/۷ تا ۱۰۰درصد گزارش کردند(۲۴). همچنین شافی و ختیب درصد حذف سیستم ترکیبی سپتیک تانک- وتلند مصنوعی برای حذف کل کلیفرم‌ها را log ۵ گزارش کردند(۴). نتایج تحقیق حاضر با مطالعات ذکر شده هم‌خوانی دارد. زیرا در سیستم‌های وتلند بر اثر فیلتراسیون بستر، درصد حذف تخم انگل‌ها و سایر عوامل میکروبی بالا می باشد. مشخص شده است که در سیستم‌های بدون گیاه، با اضافه نمودن گیاه به سیستم، حذف آلاینده‌ها بهتر انجام می‌گیرد(۲۵). مطابق نتایج مطالعه حاضر (جدول شماره ۳) سیستم وتلند مصنوعی در مقایسه با سیستم شاهد (بدون گیاه) برای حذف TSS و کدورت عملکرد محسوسی را نشان نداده است. اما برای COD و BOD_5، تفاوت زیادی در میزان حذف توسط سیستم وتلند و سیستم شاهد دیده شد. بنابراین می‌توان گفت که بسترخاک به دلیل سرعت نسبتاً پایین جریان و مساحت سطح فراوان نقش مهمی برای فیلتراسیون و کاهش TSS و کدورت دارد. با توجه به تجربیات فوق و کارآمدی روش‌های طبیعی تصفیه، در شرایط آب و هوایی ایران کارآیی سیستم‌های گیاه پالایی در کشور ما را نشان می‌دهد. آن‌چه که به‌عنوان دستاورد ارزشمند این پژوهش تلقی می‌شود، استفاده از تکنولوژی سازگار با محیط زیست، ساده و ارزان سیستم ترکیبی بی هوازی و گیاه پالایی به کمک وتلند برای تصفیه فاضلاب بهداشتی پادگان بود. هم‌چنین برخلاف اکثر مطالعات انجام شده در ایران که در مقیاس پایلوت و آزمایشگاهی کار شده است، در این مطالعه از سیستم گیاه پالایی به کمک وتلند مصنوعی به صورت عملی و کاربردی در مقیاس بزرگ و واقعی برای تصفیه فاضلاب جوامع کوچک کار شده است. از نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که سیستم ترکیبی بی‌هوازی- وتلند مصنوعی نقش مهمی در حفاظت از منابع آب‌های ذخیره منطقه مورد مطالعه دارد و با رعایت استانداردهای لازم و به کار گیری واحدهای گندزدایی ساده جهت مصارف آبیاری می‌توان استفاده کرد. هم‌چنین در این سیستم با توجه به طراحی جریان زیر سطحی فرصتی برای تولید مثل و تکثیر حشرات موذی وجود ندارد.

سپاسگزاری

این مقاله نتیجه طرح تحقیقاتی مصوب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین با کد اخلاق IR.QUMS.REC.1394.230 می‌باشد. نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مسئولین محترم دانشکده بهداشت جهت تامین بخشی از هزینه‌های انجام طرح و مسئولین محترم یکی از پادگان‌های آموزشی مستقر در استان و هم‌چنین مدیر عامل محترم شرکت آوادان سازه آرتا جناب آقای مهندس غلامعباس سرخانی به جهت اجرا و ساخت پایلوت بی‌هوازی و وتلند مصنوعی در مقیاس عملیاتی و بهره‌برداری از آن، اعلام می‌دارد.

References

1. Keddy PA. Wetland Ecology: principles and conservation. 2thed. Cambridge: Cambridge University Press; 2010.

2. Vymazal J. Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. Environ Sci Technol 2010; 45(1): 61-69.

www.SID.ir

Archive of SID

3. Sayadi M, Kargar R, Doosti M, Salehi H. Hybrid constructed wetlands for wastewater treatment: A worldwide review. Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences 2012; 2(4): 204-222.
4. Abdel-Shafy H, El-Khateeb MA. Integration of septic tank and constructed wetland for the treatment of wastewater in Egypt. Desalination and Water Treatment 2013; 51(16-18): 3539-3546.
5. Yousefi Z, Hoseini SM, Mohamadpur Tahamtan R, Zazouli MA. Performance evaluation of artificial wetland subsurface with horizontal flow in wastewater treatment. J Mazandaran Univ Med Sci 2013; 23(99): 12-25 (Persian).
6. Trang NTD, Konnerup D, Schierup H-H, Chiem NH, Brix H. Kinetics of pollutant removal from domestic wastewater in a tropical horizontal subsurface flow constructed wetland system: effects of hydraulic loading rate. Ecological engineering 2010; 36(4): 527-535.
7. Mehrizi EA, Sadani M, Farzadkia M, Kermani M,Ghahremani E, Nadafi K. Discussion and Comparison of Efficiency Natural Systems for Wastewater Treatment in Stabilization Pond and Artificial Wetland about Removal Organic Materials and Solids (TSS, BOD5, and COD) in Yazd's Sewage at 2009-2010. J Basic Appl Sci Res 2012; 2(2): 1270-1277.
8. Melián JH, Rodríguez AM, Arana J, Díaz OG, Henríquez JG. Hybrid constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in the Canary Islands. Ecological Engineering 2010; 36(7): 891-899.
9. Xinshan S, Qin L, Denghua Y. Nutrient removal by hybrid subsurface flow constructed wetlands for high concentration ammonia nitrogen wastewater. Procedia Environ Sci 2010; 2: 1461-1468.
10. Mara DD, Cairncross S. Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: measures for public health protection. Geneva, WHO, 1989.
11. Apha A. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Washington. American Public Health Association. 2005.
12. Water Sanitation Health. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Grey Water. Geneva, Switzerland: World Health Organization Press; 2006.
13. Akratos CS, Tsihrintzis VA. Effect of temperature, HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands. Ecological Engineering 2007; 29(2): 173-191.
14. Vymazal J. Constructed wetlands for wastewater treatment. Water 2010; 2(3): 530-549.
15. Mara D, Horan NJ. Handbook of water and wastewater microbiology. Massachusetts: Academic press; 2003.
16. Tashauee HR, Mahdavi M, Karakani F, Ghelmani SV, Ataifar H. Application of Horizontal Sub-Surface Flow Constructed Wetland for Treatment of Wastewater in Foreign Countries and Iran. Journal of Health System Research 2012; 7(6): 672-683 (Persian).
17. Ehrampoush M, HOSSEIN SD, Ebrahimi A, Ghaneian M, Lotfi M, Ghelmani V, et al. Evaluation of the Efficiency of Sub-Surface Constructed Wetland Methods in Wastewater Treatment in Yazd City in 2011. Toloo Behdasht 2013; 12(1): 33-43.
18. Ge Y, Wang XC, Zheng Y, Dzakpasu M, Xiong J, Zhao Y. Comparison of Slags and Gravels as Substrates in Horizontal Sub-

www.SID.ir

Archive of SID

surface Flow Constructed Wetlands for Polluted River Water Treatment. Journal of Water Sustainability 2014; 4(4): 247-258.

19. Kato K, Moriaka R, Hosokawa H, Osada H, Kanazawa K, Nozoe T. Preliminary studies on hybrid wetland systems for purification of milking parlor wastewater in northern part of Japan. International Symposium on Wetland Pollutant Dynamics and Control (WETPOL), Sep 4-8; 2005, Ghent, Belgium.
20. Yeh T, Wu C. Pollutant removal within hybrid constructed wetland systems in tropical regions. Water Sci Technol 2009; 59(2): 233-240.
21. Domingos S, Germain M, Dallas S, Ho G. Nitrogen removal from industrial wastewater by hybrid constructed wetland systems In 2th IWA-ASPIRE Conference and Exhibition, 28 October 31 November, Perth, Western Australia, 2007.
22. Cui L-h, Liu W, Zhu X-z, Ma M, Huang X-h, Xia Y-y. Performance of hybrid constructed wetland systems for treating septic tank effluent. J Environ Sci 2006; 18(4): 665-669.
23. Seo DC, Hwang SH, Kim HJ, Cho JS, Lee HJ, DeLaune RD, et al. Evaluation of 2-and 3-stage combinations of vertical and horizontal flow constructed wetlands for treating greenhouse wastewater. Ecological Engineering 2008; 32(2): 121-132.
24. Sharafi K, Drayat J, Khodadadi T, Asadi F, Poureshg Y. The efficiency comparison of constructed wetland and conventional activated sludge on removal of cysts and parasitic eggs-case study: Ghasr-e-Shirin and Kermanshah wastewater treatment plants. Journal of Health &Hygiene 2011; 2(3): 7-13.
25. Huddleston GM, Gillespie WB, Rodgers JH. Using constructed wetlands to treat biochemical oxygen demand and ammonia associated with a refinery effluent. Ecotoxicol Environ Saf 2000; 45(2): 188-193.

www.SID.ir