



تصفیه شیرابه کارخانه کمپوست در تالاب مصنوعی افقی با استفاده از گیاه وتیور

رضا بخشوده^۱، امیر سلطانی محمدی^{۲*}، نادعلی علوی^۳، حسین قنواتی^۴

^۱ گروه مهندسی عمران محیط زیست، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
^۲ گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
^۳ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
^۴ بخش بیوتکنولوژی میکروبی، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۹ بهمن ۱۳۹۲
بازنگری: ۲۴ مرداد ۱۳۹۳
پذیرش: ۲۶ مهر ۱۳۹۳
ارائه آنلاین: ۵ آبان ۱۳۹۴

کلمات کلیدی:

شیرابه
تالاب مصنوعی افقی
وتیور
مواد آلی
ترکیبات نیتروژنه

چکیده: هدف اصلی این پژوهش، بررسی کارایی سامانه تالاب مصنوعی برای حذف مواد آلی و ترکیبات نیتراته از شیرابه پسماند کارخانه کمپوست اصفهان است. این پژوهش، در مقیاس آزمایشگاهی و بر روی تالاب مصنوعی افقی با جریان زیرسطحی انجام گرفت. در این سامانه (که بستر آن را شن و ماسه تشکیل داده و گیاه وتیور در آن کاشته شده بود)، شدت جریان و زمان ماند به ترتیب برابر با ۱۰ لیتر بر روز و ۵ روز در نظر گرفته شد. مدت زمان انجام آزمایشها بر روی تالاب مصنوعی افقی ۶۰ روز بود. بر اساس نتایج این تحقیق، راندمان حذف BOD₅ و COD، نیترات، نیتروژن کل و آمونیاک برای تالاب اصلی به ترتیب برابر با ۳۰، ۳۴، ۴۰، ۵۰ و ۲۶ درصد و برای تالاب شاهد به ترتیب برابر با ۹، ۳۳، ۱۹، ۳۷ و ۸ درصد بدست آمد که نشان‌دهنده کارایی تالاب مصنوعی افقی و گیاه وتیور در حذف آلودگی‌ها در تصفیه شیرابه است.

۱- مقدمه

افزایش جمعیت، گرایش مردم به الگوهای مصرف‌گرایانه و توسعه تجاری و صنعتی، از جمله عواملی است که در دهه اخیر سبب افزایش سریع تولید پسماندهای جامد شهری و صنعتی در اکثر کشورهای جهان شده است [۱]. در حین جمع‌آوری، انتقال و دفع پسماند و همچنین تبدیل پسماند به کود کمپوست^۱، شیرابه تولید می‌شود که حاوی غلظت بالایی از آلودگی‌ها است و به عنوان یک معضل جدی برای محیط زیست مطرح می‌شود [۲-۶]. شیرابه حاصل از پسماندهای شهری، آلاینده‌های زیادی از جمله فلزهای سنگین، مواد آلی و غیرآلی مانند آمونیاک، سولفات و نیترات دارد. تصفیه شیرابه پسماند یکی از چالش‌های زیست محیطی مهم است. تصفیه شیرابه پسماندهای جامد با روش‌های رایج (مانند لجن فعال^۲، اسمز معکوس^۳، نانو فیلتراسیون و انعقاد شیمیایی) نیازمند فناوری و هزینه‌های

راه‌اندازی و نگهداری بالایی است. بنابراین، استفاده از تالاب‌های مصنوعی به عنوان یک راه حل مناسب به منظور تصفیه شیرابه به عنوان جایگزین مناسب برای روش‌های معمول مورد توجه است [۷-۱۰]. از جمله مزایای روش تالاب نسبت به سایر روش‌های تصفیه فاضلاب، می‌توان به عملکرد ساده، هزینه پایین ساخت، عدم تجمع حشرات و عدم تولید بوی نامطبوع اشاره نمود. سامانه‌های تصفیه طبیعی (مانند تالاب‌های مصنوعی)، در عین فناوری پایین دارای راندمان بالایی هستند [۱۱، ۱۲].

تالاب‌های مصنوعی خود به دو دسته تقسیم می‌شوند: تالاب مصنوعی با جریان زیر سطحی^۴ (SSF) و تالاب مصنوعی با جریان روستحی^۵ (FWS). جریان فاضلاب در تالاب‌های زیرسطحی می‌تواند به صورت جریان افقی و جریان عمودی باشد [۱۳-۱۵]. تالاب‌ها از شن، ماسه و خاک با دانه‌بندی مناسب پر می‌شود و این بستر، سطح مناسبی را برای رشد گیاهان و میکروب‌ها ایجاد می‌کند [۱۶-۱۸]. در تالاب‌ها سازوکارهای متعدد و متنوع فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منجر به حذف آلودگی می‌شوند. مهمترین

¹ compost

² activated sludge

³ reverse osmosis

⁴ Subsurface Flow

⁵ Free Water Surface

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: a_soltani60@yahoo.com

جدول ۱: کیفیت شیمیایی شیرابه خام کارخانه کمپوست اصفهان

Table 1. The chemical characteristic of raw leachate of Isfahan compost facility

واحد	میانگین	مؤلفه
۴/۸(±۰/۲۲)	-	pH
۱۰۴۰۰۰(±۳۳۵۰)	(mg/lit)	COD
۶۹۰۰۰(±۲۷۹۳)	(mg/lit)	BOD
۲۷(±۱/۵)	(ds/m)	EC
۷۱۸۵۰(±۵۴۹۰)	(mg/lit)	TDS
۱۴۸۰(±۱۲۰)	(mg/lit)	ازت کل
۳۲۰(±۴۵)	(mg/lit)	آمونیاک
۴۱۰۰(±۳۳۲)	(mg/lit)	نیترات

ارتفاع بوده و از جنس ورق ضد زنگ هستند. ۲۵ سانتی متر اول و آخر تالاب به وسیله شن با تخلخل ۰/۸۸۵ و ۱۰۰ سانتی متر میانی آن به وسیله ماسه با تخلخل ۰/۲۵ پر شده است.

در سامانه اول (که به عنوان شاهد در نظر گرفته شده)، هیچ گیاهی در آن بکار نرفته؛ اما در سامانه دوم از گیاه وتیور با چگالی ۱۰ عدد در هر متر مربع استفاده شده است. در مرحله بعد، هر دو تالاب به وسیله شیرابه تا سطح بستر پر می‌شوند. تالاب‌ها در محیط آزمایشگاه کارخانه کمپوست اصفهان واقع شده‌اند و آزمایش‌ها بر روی این سامانه از فوریه ۲۰۱۳ تا می ۲۰۱۳ ادامه داشته است. در ابتدای کار، سامانه به وسیله شیرابه رقیق شده آبیاری شده و بعد از چند روز، آبیاری به وسیله شیرابه اصلی شروع شد. نمونه‌برداری از ورودی و خروجی تالاب‌ها هر پنج روز یک‌بار انجام گرفت. کلیه تحلیل نمونه‌ها بر اساس کتاب روش‌های استاندارد آزمایش آب و فاضلاب^۵ انجام شده است [۲۸].

۲-۳- مشخصات گیاه وتیور

وتیور گیاهی از خانواده گرامینه با قدمتی چند هزار ساله است. این گیاه موارد استفاده متعددی از جمله استخراج روغن از ریشه، تولید اسانس از ریشه و استفاده از برگ‌ها و ریشه‌ها دارد. این گیاه در اکثر خاک‌ها رشد می‌کند. اما بهترین خاک برای رشد مطلوب آن، خاک شنی لومی غنی با زهکشی مطلوب است. وتیور گیاهی چند ساله بوده و ریشه‌های عمودی آن تا عمق ۳ متری نیز نفوذ می‌کند. این گیاه در دمای ۱۸ تا ۲۵ درجه رشد مطلوبی داشته و تا دمای ۱۵- درجه سانتی‌گراد را نیز تحمل می‌کند. بر بررسی مجموعه عوامل فوق، می‌توان نتیجه گرفت که این گیاه در بخش‌های قابل توجهی از ایران قابل کشت است.

سازوکار حذف آلاینده‌ها در تالاب‌های با جریان زیرسطحی توسط فیلتراسیون فیزیکی جامدهای معلق توسط توده بیولوژیکی، تراکم پوشش گیاهی مناسب و سرعت کم جریان حاصل می‌شود [۱۹،۲۰]. گیاهان استفاده‌شده اغلب نی، کتایل^۱ و وتیور هستند. سایر سازوکارها شامل رسوب شیمیایی و جذب مواد مغذی مانند نیترات و فسفات به وسیله خاک، شکار شدن و مرگ پاتوژن‌ها^۲ است [۲۱،۲۲].

سامانه تالاب می‌تواند مقادیر بالایی از اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و بیوشیمیایی (BOD و COD)، جامدهای معلق (SS)، نیتروژن و همچنین فلزهای سنگین، عناصر کمیاب و پاتوژن‌ها را حذف کند [۱۱،۲۳،۲۴]. مطالعات زیادی در ارتباط با تأثیر تالاب‌های مصنوعی بر روی شیرابه پسماند انجام گرفته و در بیشتر این مطالعات، غلظت ورودی BOD5 و COD به ترتیب در محدوده ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ و ۷۰۰ تا ۲۰۰۰ است. به عنوان نمونه، سرانو و همکاران^۳ غلظت BOD و COD را به ترتیب ۱۳۳۹ و ۲۱۷۸ میلی‌گرم بر لیتر گزارش کردند [۲۵،۲۶]. در مطالعات دیگر، کاتو و همکاران^۴ و سعید و همکاران غلظت COD ورودی را به ترتیب ۲۴۰۰ و ۱۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش دادند [۱۸،۲۷].

شیرابه استفاده‌شده در این مطالعه، دارای غلظت بالایی از آلاینده‌های BOD5 و COD و EC، نیترات، آمونیاک و غیره بوده (جدول ۱) و هدف این مطالعه، بررسی تأثیر این عوامل متفاوت بر کارایی و راندمان حذف آلاینده‌ها است و این مسئله، این تحقیق را از سایر پژوهش‌های انجام‌شده در سطح جهان و ایران متمایز می‌نماید.

۲-۲ مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات شیرابه

شیرابه استفاده‌شده در این پژوهش، شیرابه تازه کارخانه کمپوست اصفهان است. روزانه مقدار ۱۰۰۰ تن پسماند وارد محیط کارخانه شده و با انجام فرآیند حمل و نقل و پردازش برای عملیات و فرآیند کمپوست در کارخانه، ۱/۲ لیتر شیرابه در ثانیه (معادل ۴۰ هزار لیتر شیرابه در روز) به طور متوسط تولید می‌شود. مشخصات شیرابه بیانگر غلظت متغیر این مؤلفه در طول مدت مطالعه است. به طور مثال، میانگین (محدوده) غلظت COD و BOD و آمونیاک به ترتیب برابر با ۱۰۰۸۰۰ (۱۰۰۰۰۰ تا ۱۱۳۰۰۰)، ۶۹۰۰۰ (۶۵۰۰۰ تا ۷۵۰۰۰) و ۳۲۰ (۲۷۰ تا ۳۹۰) میلی‌گرم بر لیتر است (جدول ۱).

۲-۲- ساخت و راه‌اندازی تالاب‌ها

مطالعه در دو حوضچه با جریان زیرسطحی و افقی صورت گرفته است. این تالاب‌ها دارای ۱۵۰ سانتی‌متر طول، ۵۰ سانتی‌متر عرض و ۵۰ سانتی‌متر

¹ Cattile

² pathogens

³ L. Serrano et al.

⁴ K. Kato et al.

⁵ Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 1992

همین کارخانه نیز مؤید این مطلب است [۴۶]. در مطالعه انجام شده توسط نجفی^۲ در سال ۲۰۰۵ در تصفیه‌خانه شهر مشهد، مقدار COD بین ۵۸۰۰۰ تا ۱۵۶۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است [۳۳]. در این تصفیه‌خانه، شیرابه حاصله از محل دفن قدیمی است و مشاهده می‌شود که به دلیل گذر زمان و تجزیه مواد آلی تجزیه‌پذیر زیستی در طول یک دوره طولانی، مقدار COD در مقایسه با شیرابه تازه کارخانه کمپوست به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. همچنین مطالعات متعددی در سطح جهان طیف وسیعی از شیرابه‌های بار آلی کم (۲۰۰ تا ۱۰۰۰) و بار آلی زیاد (۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰) را گزارش نموده‌اند. به دلیل حضور مقادیر قابل توجهی از مواد آلی در شیرابه و در اثر هیدرولیز این مواد به اسیدهای آلی فرار، شیرابه حاصله مانند همه شیرابه‌های تازه در فاز اسیدی قرار دارد. بر اساس نتایج حاصله، pH شیرابه در گستره ۴/۶ تا ۵/۲ قرار داشته است. مقادیر EC ورودی در این مطالعه، ۲۷ تا ۳۳ دسی‌زیمنس بر متر بوده که نشان‌دهنده شوری زیاد شیرابه است. علت افزایش TDS و EC در شیرابه‌های تازه (مانند شیرابه کارخانه کمپوست)، کاهش pH و افزایش حلالیت انواع آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در پسماند در شیرابه است. در شکل ۱ غلظت ورودی و خروجی شوری در تالاب‌های اصلی و شاهد نشان داده شده است.

۳-۲- حذف BOD₅ و COD

COD و BOD از شاخص‌های مهم در تعیین آلودگی شیرابه و تخلیه شیرابه تصفیه‌شده به منابع آب هستند. همچنین کنترل این مؤلفه‌ها در تعیین کارایی سامانه‌های تصفیه شیرابه دارای اهمیت بسیاری است. زیرا ورود مقادیر بیش از حد استاندارد سبب تخریب منابع آب و خاک می‌شود. بر اساس نتایج بدست‌آمده در طول دوره راهبری سامانه، ۳۰ درصد از BOD₅ به طور میانگین در تالاب اصلی از شیرابه حذف شده و در هفته ابتدایی، بیشترین مقدار حذف مشاهده شد (۳۶ درصد). در تالاب شاهد نیز بیشترین حذف در هفته اول بوده و مقدار آن برابر با ۱۲ درصد بود. میانگین BOD₅ ورودی برای تالاب‌ها ۶۹۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین خروجی در تالاب شاهد و اصلی به ترتیب برابر با ۶۳۰۰۰ و ۴۸۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود (شکل ۳). نتایج آزمون ANOVA بیان می‌کند که غلظت BOD₅ در خروجی به طور قابل توجهی ($P < 0.05$) از غلظت ورودی آن در شیرابه کمتر است و این موضوع، بیانگر حذف BOD₅ از شیرابه است. کلوچک و نیتیسروات^۳ در سال ۲۰۰۵ و ژوپاسچیک و همکاران^۴ در سال ۲۰۰۹ با استفاده از تالاب‌های مصنوعی به ترتیب حذف ۷۲/۵ و ۶۲/۵ را بدست آوردند [۳۴، ۳۵].

میانگین COD ورودی برابر با ۱۰۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است؛ در حالی که مقدار خروجی آن برای تالاب شاهد و اصلی به ترتیب در محدوده ۷۹۰۰۰ تا ۸۹۰۰۰ و ۶۳۰۰۰ تا ۷۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است (شکل ۴).

آستانه مقاومت شوری این گیاه ۸ دسی‌زیمنس بر متر است. در مقایسه با بیشتر گیاهان مقاوم به شوری، این گیاه مقاومت بالاتری داشته و مقاومت بالایی را نیز به کادمیم، مس، سرب و روی دارد. هر کدام از این عناصر، در قسمت‌های مختلف گیاه تقسیم می‌شوند [۲۹].

به دلیل ویژگی‌های فیزیولوژیکی منحصر بفرود گیاه وتیور (مانند مقاومت در دماهای ۲۰- تا ۵۵+، مقاومت در برابر pH بین ۳/۵ تا ۱۲/۵، مقاومت در برابر غلظت بالای فلزهای سنگین Cd و Cr و Ni و Cu و Pb و Hg و Se و As و قابلیت رشد در خاک‌های اسیدی، قلیایی و شور)، از این گیاه به منظور تصفیه شیرابه در این تحقیق استفاده شده است [۳۲-۳۰].

۲-۴- روش‌های تحلیل نمونه‌ها

کارایی سامانه‌ها به وسیله اندازه‌گیری موادآلی و غیرآلی ارزیابی می‌شود. نیترات و آمونیاک به وسیله دستگاه اسپکتوفوتومتر مدل Perkin Elmer و COD با استفاده از روش تقطیر بازگشتی و BOD₅ نمونه‌های شیرابه با روش تیتراسیون یا روش سدیم آزید اندازه‌گیری شد [۲۸].

۲-۵- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تمامی داده‌ها با استفاده از برنامه SPSS (نسخه ۱۹/۰) تحلیل شدند. در تمامی آزمون‌ها سطح معناداری با $P \leq 0.05$ تعریف شد. از آزمون ANOVA برای بررسی گیاه وتیور در دو سامانه تالاب اصلی و تالاب شاهد و از آزمون T زوجی برای مقایسه بین ورودی و خروجی شیرابه در تالاب‌ها برای هر کدام از آلاینده‌ها استفاده شد.

۳-۳- بحث و نتایج

۳-۱- ترکیبات شیرابه

شیرابه مایعی است که در اثر ورود آب‌هایی مانند آب باران، روان‌آب، زه‌آب و یا آب زیرزمینی به داخل توده پسماند و یا در اثر تراوش آب و رطوبت موجود در توده پسماند تولید می‌شود. مواد محلول و معلق موجود در داخل توده پسماند در حین حضور و یا عبور آب در داخل پسماند، به آن وارد می‌شوند.

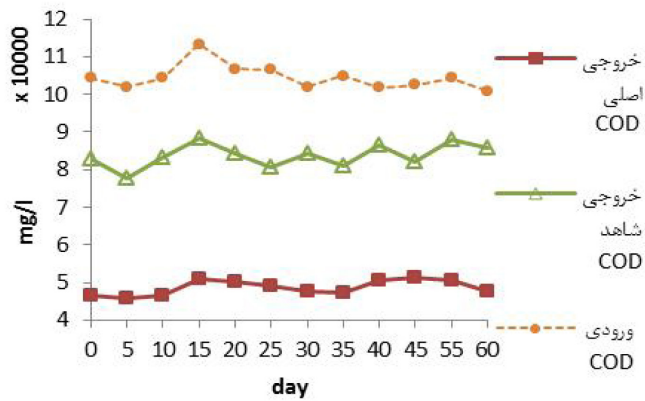
کیفیت شیرابه یکی از عوامل مهم در انتخاب روش تصفیه مناسب است و به ترکیب پسماند و عمر شیرابه مورد مطالعه بستگی دارد. بر اساس ارزیابی‌های انجام شده بر روی شیرابه کارخانه کمپوست اصفهان و همان‌گونه که در جدول نیز مشاهده می‌شود، میانگین مقدار COD برابر با 10400 ± 3350 میلی‌گرم بر لیتر و کمینه و بیشینه مقدار COD به ترتیب برابر با ۱۰۰۸۰۰ و ۱۱۳۳۰۰ شد. علت وجود COD بالا در این شیرابه، به دلیل تازه‌بودن شیرابه و همچنین درصد قابل توجه مواد آلی و رطوبت بالای موجود در پسماند شهر اصفهان (حدود ۷۰ درصد) است. مطالعه انجام شده در سال ۲۰۱۰ توسط حبیب‌اللهی^۱ و بخشوده و همکاران در سال ۲۰۱۶ در

² Najafi

³ P. Klomjek and S. Nitisoravut

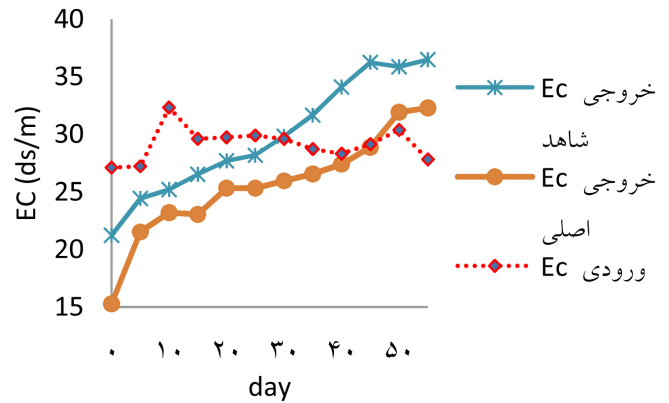
⁴ M. Zupancic et al.

¹ Habibollahi



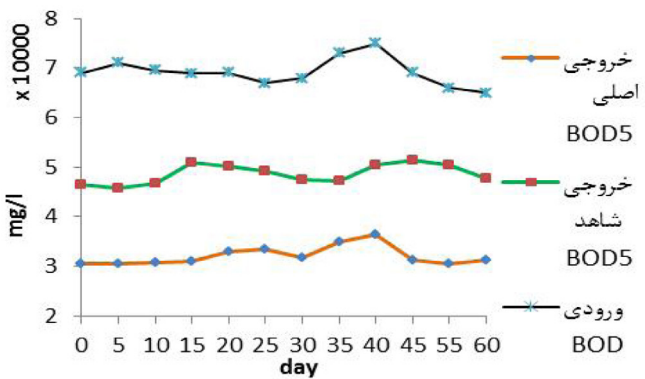
شکل ۲: نمودار غلظت ورودی و خروجی COD در تالاب شاهد و اصلی

Fig. 2. The inlet and outlet COD concentration of Vetiver and Control CWs



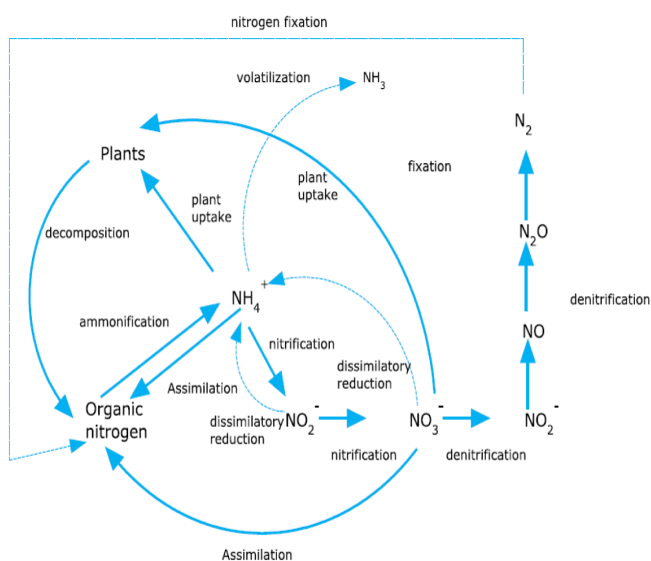
شکل ۱: نمودار غلظت ورودی و خروجی EC در تالاب شاهد و اصلی

Fig. 1. The inlet and outlet EC concentration of Vetiver and Control CWs



شکل ۳: نمودار غلظت ورودی و خروجی BOD5 در تالاب شاهد و اصلی

Fig. 3. The inlet and outlet BOD5 concentration of Vetiver and Control CWs



شکل ۴: چرخه نیتروژن در تالابها

Fig. 4. Nitrogen cycle in wetlands

بیشترین مقدار حذف در تالاب اصلی با راندمان ۴۳ درصد، در هفته دوم رخ داد و پس از آن، این مقدار به ۳۲ درصد کاهش یافت و از هفته پنجم به بعد نیز نرخ نسبتاً ثابتی را دنبال می‌کند. در تالاب شاهد، در ابتدا ۲۳ درصد حذف COD انجام شده است و با گذشت زمان، این مقدار به ۱۵ درصد می‌رسد. نتایج آزمون ANOVA بیان می‌کند که غلظت COD در خروجی به طور قابل توجهی ($P < 0.05$) از غلظت ورودی آن در شیرابه کمتر است و این موضوع، بیانگر حذف COD از شیرابه است. عمل فتوستنز توسط گیاه تولید اکسیژن می‌کند که از طریق نیترات‌سازی و معدنی شدن مصرف می‌شود. سازوکارهای دیگر برای حذف شامل تجزیه میکروبی است که تأثیر مستقیم بر نقش گیاه در حذف این مؤلفه‌ها دارد. همچنین ته‌نشینی، رسوب و فیلتراسیون مواد جامد معلق در بسترهای شن و ماسه‌ای، جذب توسط گیاه و وجود میکروارگانیسم‌ها در شرایط هوازی، بی‌هوازی و اختیاری سبب حذف این مؤلفه‌ها از شیرابه پسماند در تالاب‌ها می‌شود. همان‌طور که از شکل‌های ۳ و ۴ مشخص است، حذف کمتر غلظت آلاینده‌ها در خروجی در ابتدای کار و با توجه به سازگار نبودن گیاه و تیور مشاهده می‌شود که راندمان حذف با گذشت زمان افزایش یافته است. در تالاب اصلی، راندمان حذف برای BOD و COD از روز ۴۵ تا انتهای کار با توجه به خشک شدن قسمتی از برگ‌های گیاه کاهش یافت. دلیل دیگر برای کاهش راندمان حذف در روزهای پایانی را می‌توان با توجه به نتایج مربوط به تالاب شاهد بیان نمود. در روزهای پایانی با توجه به اشباع شدن بستر تالاب شاهد و فیلتراسیون ضعیف‌تر مواد معلق در بستر، راندمان حذف کاهش یافت. این امر برای تالاب اصلی نیز صادق است. نتایج ارزیابی‌های انجام شده در ارتباط با COD با نتایج آزمایش‌های یالکوک و اوگورلو^۱ در سال ۲۰۱۰ و همچنین وجوچوسکا و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۰ مطابقت دارد. همچنین زوریتا و

¹ A. Yalcuk and A. Ugurlu

² E. Wojciechowska et al.

اشباع شدن بستر تالاب و مرگ میکروارگانیسم‌ها، کاهش راندمان حذف به وجود خواهد آمد. در تالاب اصلی با توجه به نقش گیاه در رساندن اکسیژن به بستر تالاب توسط ریشه، شرایط هوازی در بستر ایجاد می‌شود و علاوه بر فعالیت میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی، فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی نیز وجود خواهد داشت (نیتراژزایی). همچنین جذب توسط ریشه گیاه نیز سبب حذف آمونیاک می‌شود. در ابتدای کار با توجه به عدم سازگاری گیاه با شرایط آبیاری به وسیله شیرابه، حذف ۲۰ درصدی اتفاق خواهد افتاد و با گذشت زمان و سازگار شدن گیاه با شرایط نیز افزایش راندمان به وجود خواهد آمد. راندمان حذف در هفته‌های پایانی با توجه خشک شدن قسمتی از برگ‌های گیاه، روند نزولی به خود می‌گیرد.

نتایج آزمون ANOVA بیان می‌کند که غلظت آمونیاک در خروجی به طور قابل توجهی ($P < 0.05$) از غلظت ورودی آن در شیرابه کمتر است و این موضوع، بیانگر حذف آمونیاک از شیرابه خواهد بود.

نتایج پایش یالکوک و اوگرلو و همچنین آکینبل و همکاران^۲ برای حذف آمونیاک به ترتیب برابر با ۵۰ درصد و محدوده ۲۹/۸ تا ۵۳/۸ است [۳۶، ۳۸]. وایمازل^۳ در سال ۲۰۰۲ حذف آمونیاک را در کشورهای چک و دانمارک به ترتیب ۴۲/۷ و ۳۲/۹ درصد گزارش کرد [۳۹]. زوریتا و همکاران^۴ در سال ۲۰۰۹ با استفاده از تالاب‌های مصنوعی، غلظت آمونیاک را از ۱۵/۷ به ۸/۹ میلی‌گرم بر لیتر رساندند که نشان‌دهنده حذف ۴۸/۶ درصدی است [۳۷]. همچنین لی و همکاران^۵ در سال ۲۰۱۴ این مقدار را ۵۱/۳ درصد گزارش کرد [۴۰]. سرانو و همکاران^۶ و آکینبل و همکاران به وسیله تالاب چندگانه توانستند تا به ترتیب ۵۵/۴ و ۷۴ درصد آمونیاک پساب ورودی را حذف کنند [۲۵].

۳-۳-۲- حذف نیتراژ

نیتراژ محصول نهایی تثبیت هوازی ترکیبات نیتروژن‌دار و به عنوان پایدارترین ترکیب اکسیژن‌دار آن‌ها محسوب می‌شود که به مقدار زیاد در آب محلول است. از نظر شیمیایی، این ترکیب واکنش‌پذیر نبوده و تنها میکروب‌ها قادر به احیای آن به نیتريت هستند [۳۶، ۴۱].

در ارتباط با نیتراژ، غلظت نیتراژ خروجی در تالاب شاهد و اصلی در هفته اول به ترتیب برابر با ۳۰۳۰ و ۳۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر شد که بیانگر حذف ۳۸ و ۳۵ درصدی است (شکل ۶). با گذشت زمان و از روز ۱۰ تا ۳۵، مقدار خروجی در تالاب شاهد در حدود ۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر است؛ در حالی که برای تالاب اصلی با رسیدن غلظت نیتراژ به مقدار ۲۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، حذف ۴۳ درصد اتفاق می‌افتد. بنابراین، میانگین حذف نیتراژ در تالاب شاهد و اصلی به ترتیب برابر با ۳۴ و ۴۰ درصد است. نتایج

همکاران^۱ با حذف ۷۵/۵ درصدی، COD را از ۲۴۷/۵ میلی‌گرم بر لیتر به ۵۱/۷ میلی‌گرم بر لیتر رساندند [۱۰، ۳۶، ۳۷].

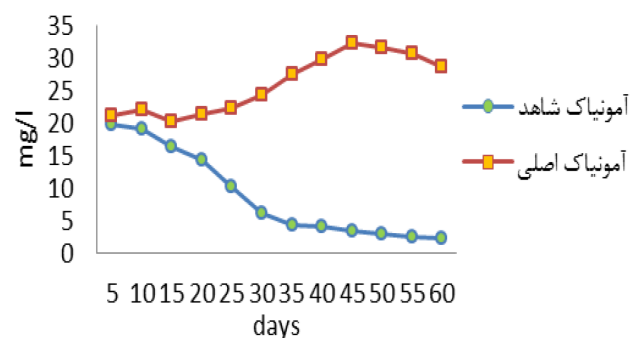
۳-۳-۳- حذف نیتراژ، آمونیاک و ازت کل

ترکیبات نیتروژن در شیرابه به چهار شکل آمونیاک، نیتريت، نیتراژ و نیتروژن آلی موجود است. ترکیبات نیتروژن یکی از مهم‌ترین عوامل آلودگی در شیرابه بوده و تأثیر مستقیمی بر کاهش میزان اکسیژن محلول دارد. همچنین بسته به نوع نیتروژن موجود می‌تواند سبب سمی شدن آب‌های پذیرنده شود. علاوه بر این، ورود نیتراژ به آب‌های سطحی نیز سبب رشد بیش از حد انواع جلبک‌ها می‌شود که با کاهش اکسیژن موجود در آب موجب از بین رفتن موجودات آبی از جمله ماهی‌ها می‌شود. سازوکارهای کلی حذف و تبدیل ترکیبات نیتروژن در شکل ۴ نشان داده شده است.

۳-۳-۱- حذف آمونیاک

آمونیاک مهم‌ترین ترکیب هیدروژنه ازت است که در طبیعت از تجزیه مواد آلی ازت‌دار حاصل می‌شود. میانگین آمونیاک ورودی به تالاب‌ها برابر با ۳۲۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده که نسبت به مطالعات انجام‌شده دارای غلظت بالاتری است. حذف آمونیاک در تالاب شاهد و اصلی در هفته اول نسبتاً یکسان و برابر با ۲۱ درصد است. اما تأثیر گیاه در حذف آمونیاک از هفته سوم به وضوح دیده می‌شود؛ به طوری که راندمان حذف در تالاب شاهد ۵ درصد و تالاب اصلی ۳۰ درصد بود و این مقدار به ۳۴ درصد در هفته پنجم رسید. راندمان حذف آمونیاک در تالاب اصلی با گذشت هفته پنجم کاهش یافته و در هفته آخر نیز این مقدار به ۲۷ درصد می‌رسد (شکل ۵). با توجه به نتایج بدست‌آمده از تالاب شاهد و تالاب اصلی، نقش گیاه و تیور در حذف آمونیاک به خوبی مشخص است. در تالاب شاهد، عوامل حذف آمونیاک شامل ته‌نشینی، فیلتراسیون توسط بستر تالاب و فعالیت میکروارگانیسم‌های اغلب بی‌هوازی است. همان‌طور که دیده می‌شود، در ابتدای کار بیشترین راندمان حذف در طول دوره مطالعه وجود خواهد داشت و با گذشت زمان و

^۱ F. Zurita et al.



شکل ۵: نمودار راندمان حذف آمونیاک در تالاب شاهد و اصلی

Fig. 5. The NH₃ removal efficiency in Vetiver and

Control CWs

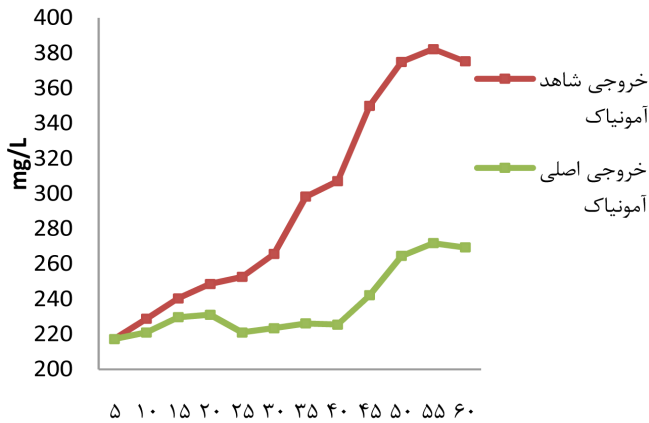
² Akinbile et al.

³ J. Vymazal

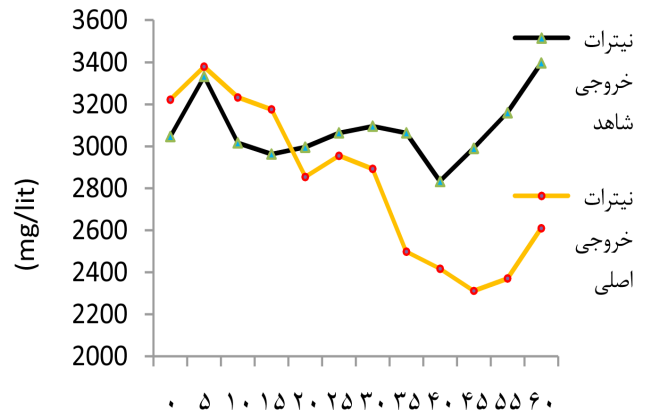
⁴ Zurita et al.

⁵ Li et al.

⁶ L. Serrano et al.



شکل ۷: نمودار غلظت خروجی آمونیاک در تالاب شاهد و اصلی
Fig. 7. The NH_4 concentration in the outlet of Vetiver and Control CWs



شکل ۶: نمودار غلظت خروجی نیترات در تالاب شاهد و اصلی
Fig. 6. The NO_3 concentration in the outlet of Vetiver and Control CWs

۲۵ درصد از نیترات را حذف کردند [۲۶].

۳-۳-۳ حذف ازت کل

ازت کل در شیرابه یک ماده مغذی برای ادامه حیات گیاهان و موجودات است. با افزایش غلظت ازت کل، میزان اکسیژن محلول کاهش می‌یابد و سبب مرگ گیاهها و جانوران می‌شود. کل ازت در شیرابه معادل با مجموع کل غلظت‌های آمونیاک، نیتريت، نیترات و ازت آلی است. میانگین ازت کل ورودی برابر با ۱۴۸۰ میلی‌گرم بر لیتر است. طی عبور شیرابه در مدت ۵ روز (زمان ماند)، به ترتیب ۴۹/۷ و ۳۸ درصد از ازت کل در تالاب‌های اصلی و شاهد حذف شدند (جدول ۲). زوریتا و همکاران^۵ حذف ازت کل را ۵۳/۷ درصد گزارش کردند و غلظت ورودی ازت کل در این مطالعه، برابر با ۲۸/۷ میلی‌گرم بر لیتر بود [۳۷]. نتایج آزمون ANOVA بیان می‌کند که غلظت ازت کل در خروجی به طور قابل توجهی ($P < 0.05$) از غلظت ورودی آن در شیرابه کمتر است و این موضوع، بیانگر حذف ازت کل از شیرابه است.

⁵ F. Zurita et al.

آزمون ANOVA بیان می‌کند که غلظت نیترات در خروجی به طور قابل توجهی ($P < 0.05$) از غلظت ورودی آن در شیرابه کمتر است و این موضوع، بیانگر حذف نیترات از شیرابه خواهد بود. در هفته‌های پایانی و با توجه به اشباع شدن بستر در تالاب شاهد و خشک شدن قسمتی از گیاه، راندمان حذف کاهش یافته است. سازوکارهای دخیل در حذف نیترات در بخش ۳-۲ توضیح داده شده است.

میزان حذف نیترات در تحقیق مارتینز کروز و همکاران^۱ (۲۰۰۶) به ترتیب برابر با ۹۰/۲۳ و ۸۹/۴۷ درصد برای گیاه خزه و نی شد و بر اساس این نتیجه، پیشنهاد می‌شود تا نیتريت‌ها به سرعت به نیترات‌ها اکسید شوند که در نتیجه، سریع‌تر توسط ماکروفیت‌ها^۲ جذب می‌شوند [۴۲]. شوتز و همکاران^۳ (۲۰۰۵) نیز میزان حذف نیترات را ۶۵/۵ درصد گزارش نموده‌اند [۴۳]. همچنین سعید و همکاران^۴ (۲۰۱۲) با استفاده از تالاب مصنوعی افقی

¹ Martinez-Cruz et al

² Macrophyte

³ B. Shutes et al.

⁴ T. Saeed et al.

جدول ۲: غلظت ورودی، خروجی و راندمان حذف ازت کل در تالاب‌های شاهد و اصلی (ازت بر حسب درصد)

Table 2. The inlet, outlet, and removal efficiency of TN in Vetiver and Control CWs (TN (%))

میانگین	روز												ازت کل
	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	صفر	
ورودی	۰/۱۴۸	۰/۱۷۱	۰/۱۶۴	۰/۱۶۹	۰/۱۷۲	۰/۱۶۵	۰/۱۵۷	۰/۱۶۳	۰/۱۵۶	۰/۱۳۵	۰/۱۵۲	۰/۱۴۶	۰/۱۷۵
خروجی شاهد	۰/۰۹۳	۰/۱۳۶	۰/۱۴۰	۰/۱۳۴	۰/۱۳۲	۰/۱۱۰	۰/۱۰۴	۰/۱۱۰	۰/۱۰۶	۰/۰۸۶	۰/۰۷	۰/۰۴۹	۰/۳۳۶
راندمان شاهد	۳۸	۲۰	۱۵	۲۰	۲۳	۳۳/۶	۳۳/۸	۳۲/۷	۳۲	۳۶/۶	۵۴/۱	۶۶/۸	۸۰/۸
خروجی اصلی	۰/۰۷۴	۰/۰۹۸	۰/۰۹۷	۰/۰۹۸	۰/۰۹۸	۰/۰۸۸	۰/۰۸۹	۰/۰۹۸	۰/۰۹۲	۰/۰۷۵	۰/۰۵۸	۰/۰۴۷	۰/۰۲۶
راندمان اصلی	۴۹/۷	۴۲/۲	۴۰/۸	۴۱/۶	۴۲/۶	۴۶/۵	۴۳	۳۹/۹	۴۱	۴۴/۳	۶۷/۷	۶۸/۲	۸۵/۱

جدول ۳: نمونه‌هایی از تصفیه انواع فاضلاب به وسیله تالاب مصنوعی افقی [۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۲۴، ۲۵، ۳۹]

Table 3. Treatment of wastewater with horizontal constructed wetlands

BOD ₅		COD		TN		NH ₄ -N		TSS		منبع				
ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی					
۹۸	۱۹	۹۷۹	-	-	-	-	-	۶۷/۳	۱۶	۴۹	۵۳/۶	۱۰۴	۲۲۴	۱
۸۶/۹	۶۷	۵۱۳	-	-	-	۵۱/۸	۵۳	۱۱۰	۴۲	۴۸/۷	۸۴	۸۹/۱	۳۳	۳۰۴
۸۶/۶	۵۶	۴۲۷	-	-	-	۴۷/۴	۸۰	۱۵۲	-	-	-	۸۱/۳	۳۲	۱۷۱
۹۴/۸	۶	۱۱۵	-	-	-	۲۵/۳	۱۶/۸	۲۲/۵	۲۷/۷	۱۲/۵	۱۷/۳	۹۵/۹	۶/۴	۱۵۸
۸۰/۷	۳۲	۱۷۸	۶۳/۲	۷۶	۲۸۷	۳۹	۲۹/۸	۵۳	۲۱/۱	۱۷/۱	۲۸/۴	۶۸/۱	۲۲/۳	۱۱۳
۶۰/۱	۲۵۴	۶۵۲	۶۳/۱	۷۸۹	۱۸۵۶	۲۷/۸	۱۰۲	۱۳۸	۲۸	۴۸/۶	۶۵/۲	۷۱/۶	۱۲۸	۲۳۹
۳۲/۸	۹۶	۱۵۵	۲۴/۹	۶۹۸	۹۳۳	۳۳/۱	۱۲۶	۲۱۱	۳۸/۷	۹۸	۱۶۲	۷۷/۷	۸۶	۳۹۱
۲۹/۶	۴۸۶۲۰	۶۹۲۰۰	۳۳/۳	۶۹۷۴۶	۱۰۴۵۱۵	۴۲/۵	۸۰۶	۱۴۸۰	۲۵/۱	۲۳۵/۷	۳۱۷/۵	۳۵/۵	۵۴۹	۸۴۸

تذکر: مؤلفه‌های شیمیایی بر حسب میلی‌گرم بر لیتر است.

پ) میانگین غلظت نیترات ورودی در شیرابه اصفهان برابر با 332 ± 410 میلی‌گرم بر لیتر است. راندمان حذف توسط سامانه تالاب مصنوعی برابر با ۴۰ درصد شد.

ت) میانگین غلظت آمونیاک ورودی 45 ± 32 است. در این مطالعه، آمونیاک در تالاب اصلی به میزان ۲۵ درصد حذف شده است.

قدردانی

این پژوهش با حمایت‌های مالی و آزمایشگاهی شهرداری اصفهان و سازمان مدیریت مواد زائد جامد شهرداری اصفهان انجام گرفت. بنابراین، نویسندگان این مقاله به این وسیله از این سازمان محترم به خاطر همکاری ارزشمندشان تشکر و قدردانی می‌نمایند.

مراجع

- [1] A., Shojaei, The Pilot Study of Removing Heavy Metals from Landfill by Zeolite, Master Thesis, Civil Department, Sharif University of Technology, 2009 (in Persian).
- [2] G., Blight; A., Fourie; Leachate Generation in Landfills in Semi-arid Climates, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, Vol. 137, No. 4, pp. 181-188, 1999.
- [3] M. S., Bowman; T. S., Clune; B. G., Sutton; Sustainable Management of Landfill Leachate by Irrigation, *Water, Air and Soil Pollution*, Vol. 134, No. 1-4, pp. 81-96, 2002.
- [4] M., El-Fadel; A. N., Findikakis; J. O., Leckie;

نتایج بدست‌آمده از این مطالعه با نتایج مطالعات وایمازل (۲۰۰۵)، گسینس و همکاران^۱ (۲۰۰۵) و ملمن و همکاران^۲ (۲۰۰۳) همخوانی دارد. در جدول ۳ نمونه‌های دیگری از تصفیه انواع فاضلاب به وسیله تالاب مصنوعی افقی ذکر شده است [۲۴، ۴۴، ۴۵]. سرانو و همکاران (۲۰۱۱) و کاتو و همکاران^۳ (۲۰۱۰) با استفاده از تالاب‌های چندگانه (افقی-عمودی) توانستند تا به ترتیب ۵۲ و ۳۹ درصد از TN را حذف کنند [۲۵].

۴- جمع‌بندی

در این مطالعه با توجه به غلظت بسیار بالای آلاینده‌های موجود در شیرابه کارخانه کمپوست اصفهان، سامانه تالاب مصنوعی افقی مقدار قابل توجهی از این آلاینده‌ها را حذف کرد. نتایج به صورت زیر هستند:

الف) مقدار COD شیرابه اصفهان 3350 ± 10400 میلی‌گرم و مقدار BOD آن 2793 ± 6900 میلی‌گرم بر لیتر بدست آمد. دلیل مقادیر بالای COD و BOD مشاهده‌شده شیرابه اصفهان، بالا بودن میزان پسماندهای مواد غذایی در پسماندهای شهری کشورهای در حال توسعه (۴۰ تا ۸۵ درصد) نسبت به کشورهای پیشرفته (حدود ۱۵ درصد) است. میانگین حذف COD و BOD در این مطالعه برابر با ۳۴ و ۳۰ درصد بود.

ب) میانگین غلظت نیتروژن کل برابر با 120 ± 1480 میلی‌گرم بر لیتر شد که با استفاده از سامانه تالاب مصنوعی، این مقدار به میزان ۵۰ درصد کاهش یافته است.

¹ Gasiunas et al.

² Mealeman et al.

³ Kato et al.

- [17] R., Kadlec; Comparison of Free Water and Horizontal Subsurface Treatment Wetlands, *Ecological Engineering*, Vol. 35, No. 2, pp. 159-174, 2009.
- [18] T., Saeed; G., Sun; A Review on Nitrogen and Organics Removal Mechanisms in Subsurface Flow Constructed Wetlands: Dependency on Environmental Parameters, Operating Conditions and Supporting Media, *Journal of Environmental Management*, Vol. 112, pp. 429-448, 2012.
- [19] C. L., Hurst; Modelling the Environmental Fate of Microorganisms, *American Society for Microbiology*, 1991.
- [20] Y., Li; G., Zhu; W. J., Ng; S. K., Tan; A Review on Removing Pharmaceutical Contaminants from Wastewater by Constructed Wetlands: Design, Performance and Mechanism, *Science of the Total Environment*, Vols. 468-469, pp. 908-932, 2014.
- [21] A., Carty; M., Scholz; K., Heal; F., Gouriveau; A., Mustafa; The Universal Design, Operation and Maintenance Guidelines for Farm Constructed Wetlands (FCW) in Temperate Climates, *Bioresource Technology*, Vol. 99, No. 15, pp. 6780-6792, 2008.
- [22] K., Sakadevan; H. J., Bavor; Nutrient Removal Mechanisms in Constructed Wetlands and Sustainable Water Management, *Water Science and Technology*, Vol. 40, No. 2, pp. 121-128, 1999.
- [23] H., Brix; Treatment of Waste Water in the Rhizosphere of Wetland Plants-The Root-zone Method, *Water Science and Technology*, Vol. 19, Nos. 1-2, pp. 107-118, 1987.
- [24] J., Vymazal; Horizontal Sub-surface Flow and Hybrid Constructed Wetlands Systems for Waste Water Treatment, *Ecological Engineering*, Vol. 25, No. 5, pp. 478-490, 2005.
- [25] J., Serrano; D., Dela-Varga; I., Ruiz; M., Soto; Winery Waste Water Treatment in a Hybrid Constructed Wetland, *Ecological Engineering*, Vol. 37, No. 5, pp. 744-753, 2011.
- [26] T., Saeed; R., Afrin; A. A., Mueyed; G., Sun; Treatment of Tannery Waste Water in a Pilot-scale Hybrid Constructed Wetland System in Bangladesh, *Chemosphere*, Vol. 88, No. 9, pp. 1065-1073, 2012.
- [27] K., Kato; T., Inoue; H., Ietsugu; T., Koba; H., Sasaki; N., Miyaji; K., Kitagawa; P. K., Sharma; T., Nagasawa; Performance of Six Multi-stage Hybrid Wetland Systems for Treating High-content Waste Water in the Cold Climate of Hokkaido, Japan, *Ecological Engineering*, Vol. 51, pp. 256-263, 2013.
- [28] A., Apha; WPCF 1998, *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, Vol. 20, 2005.
- Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling, *Journal of Environmental Management*, Vol. 50, No. 1, pp. 1-25, 1997.
- [5] H., Robinson; J., Gronow; Groundwater Protection in the UK: Assessment of the Landfill Leachate Source-term, *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, Vol. 6, No. 2, pp. 229-236, 1992.
- [6] P., Kjeldsen; M. A., Barlaz; A. P., Rooker; A., Baun; A., Ledin; T. H., Christensen; Present and Long-term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol. 32, No. 4, pp. 297-336, 2002.
- [7] J. L., Schnoor; L. A., Licht; S. C., McCutcheon; N. L., Wolfe; L. H., Carreira; Phytoremediation of Organic and Nutrient Contaminants, *Environmental Science and Technology*, Vol. 29, No. 7, pp. 318A-323A, 1995.
- [8] T. H., Christensen; R., Cossu R., Stegmann; Landfilling of Waste: Leachate, *Taylor and Francis*, 1992.
- [9] S., Speer; P., Champagne; B., Anderson; Pilot-scale Comparison of Two Hybrid-passive Landfill Leachate Treatment Systems Operated in a Cold Climate, *Bioresource Technology*, Vol. 104, pp. 119-126, 2012.
- [10] E., Wojciechowska; M., Gajewska; H., Obarska-Pempkowiak; Treatment of Landfill Leachate by Constructed Wetlands: Three Case Studies, *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 19, No. 3, pp. 643-650, 2010.
- [11] R., Kadlec; S., Wallace; Treatment Wetlands, Boca Raton, *CRC Press*, 2nd Edition, 2009.
- [12] D. A., Hammer; Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural, *CRC Press*, 1989.
- [13] R. H., Kadlec; R. L., Knight; J., Vymazal; H., Brix; P., Cooper; R., Haberl; Constructed Wetlands for Pollution Control, Process, Performance, Design and Operation, *IWA Scientific and Technical Report*, 2000.
- [14] W., Zhi; G., Ji; Constructed Wetlands, 1991-2011: A Review of Research Development, *Current Trends and Future Directions, Science of the Total Environment*, Vol. 441, pp. 19-27, 2012.
- [15] J., Vymazal; L., Kropfelova; Removal of Organics in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-surface Flow: A Review of the Field Experience, *Science of the Total Environment*, Vol. 407, No. 13, pp. 3911-3922, 2009.
- [16] J. A., Thurston; K. E., Foster; M. M., Karpiscak; C. P., Gerba; Fate of Indicator Microorganisms, Giardia and Cryptosporidium in Subsurface Flow Constructed Wetlands, *Water Research*, Vol. 35, No. 6, pp. 1547-1551, 2001.

- Leachate Treatment Using Sub-surface Flow Constructed Wetland by *Cyperus Haspan*, *Waste Management*, Vol. 32, No. 7, pp. 1387-1393, 2012.
- [39] J., Vymazal; The Use of Sub-surface Constructed Wetlands for Waste Water Treatment in the Czech Republic: 10 Years Experience, *Ecological Engineering*, Vol. 18, No. 5, pp. 633-646, 2002.
- [40] F., Li; L., Lu; X., Zheng; X., Zhang; Three-stage Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands for Organics and Nitrogen Removal: Effect of Aeration, *Ecological Engineering*, Vol. 68, pp. 90-96, 2014.
- [41] J. J., Chang; S. Q., Wu; Y. R., Dai; W., Liang; Z. B., Wu; Nitrogen Removal from Nitrate-laden Wastewater by Integrated Vertical-flow Constructed Wetland Systems, *Ecological Engineering*, Vol. 58, pp. 192-201, 2013.
- [42] P., Martinez-Cruz; A., Hernandez-Martinez; R., Soto-Castor; A. E., Herrera; J. R., Levario; Use of Constructed Wetlands for the Treatment of Water from an Experimental Channel at Xochimilco, Mexico Empleo de Humedales Artificiales Para el Tratamiento de Aguas de un Canal Experimental de Xochimilco, Mexico, *Hidrobiologica*, Vol. 16, No. 3, pp. 211-219, 2006.
- [43] B., Shutes; J., Ellis; D., Revitt; L., Scholes; Constructed Wetlands in UK Urban Surface Drainage Systems, *Water Science and Technology*, Vol. 51, No. 9, pp. 31-37, 2005.
- [44] A. F., Meuleman; R., van Logtestijn; G. B., Rijs; J. T., Verhoeven; Water and Mass Budgets of a Vertical-flow Constructed Wetland Used for Wastewater Treatment, *Ecological Engineering*, Vol. 20, No. 1, pp. 31-44, 2003.
- [45] V., Gasiunas; Z., Strusevicius; M. S., Struseviciene; Pollutant Removal by Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands in Lithuania, *Journal of Environmental Science and Health*, Vol. 40, Nos. 6-7, pp. 1467-1478, 2005.
- [29] G. R., Hanks; *Narcissus and Daffodil: The Genus Narcissus*, *CRC Press*, 2003.
- [30] P., Truong; B., Hart; N., Chomchalow; S., Sombatpanit; P. R. V., Network; *Vetiver System for Waste Water Treatment*, *Office of the Royal Development Projects Board*, 2001.
- [31] P., Truong; T. T., Van; E., Pinners; *Vetiver System Applications Technical Reference Manual*, *The Vetiver Network International*, 2008.
- [32] S., Sripen; S., Techapinyawat; S., Chantawat; Possibility of Using Vetiver Grass from Different Ecotypes for Waste Water Treatment, Poster Paper Presented at *ICV-2*, 2000.
- [33] S., Danesh; M., Yazdanbakhsh; M., Hossein dokht; J., Abedini; The Review of Characteristic Landfill Leachate (Mashhad), *The 4th National Solid Waste Conference*, Mashhad, Iran, 2008.
- [34] P., Klomjek; S., Nitorisavut; Constructed Treatment Wetland: A Study of Eight Plant Species under Saline Conditions, *Chemosphere*, Vol. 58, No. 5, pp. 585-593, 2005.
- [35] M. Z., Justin; M. Z., Zupancic; Combined Purification and Reuse of Landfill Leachate by Constructed Wetland and Irrigation of Grass and Willows, *Desalination*, Vol. 246, No. 1-3, pp. 157-168, 2009.
- [36] A., Yalcuk; A., Ugurlu; Comparison of Horizontal and Vertical Constructed Wetland Systems for Landfill Leachate Treatment, *Bioresource Technology*, Vol. 100, No. 9, pp. 2521-2526, 2009.
- [37] F., Zurita; J., De-Anda; M. A., Belmont; Treatment of Domestic Waste Water and Production of Commercial Flowers in Vertical and Horizontal Subsurface-flow Constructed Wetlands, *Ecological Engineering*, Vol. 35, No. 5, pp. 861-869, 2009.
- [38] C. O., Akinbile; M. S., Yusoff; A., Ahmad-Zuki; Landfill

Please cite this article using:

R., Bakhshoodeh, N., Alavi, A., Soltani, H., Ghanavati, T., Bajoul, "Treatment of High Polluted Leachate by Subsurface Flow Constructed Wetland with Vetiver". *Amirkabir J. Civil Eng.*, 49(1) (2017) 139-147.

DOI: 10.22060/ceej.2015.496

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

