

# Improving Isfahan Landfill Leachate Quality by Phytoremediation Using Vetiver and Phragmites Plants in Green Space Irrigation

J. Abedi Koupai<sup>1</sup>, M. A. Jamalian<sup>2</sup>, M. M. Dorafshan<sup>2</sup>

1. Prof. Dept. of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran  
(Corresponding Author) Koupai@cc.iut.ac.ir

2. Former Graduate Student, Dept. of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(Received May 18, 2019 Accepted Oct. 26, 2019)

## To cite this article:

Abedi Koupai, J., Jamalian, M. A., Dorafshan, M. M. 2020. "Improving Isfahan landfill leachate quality by phytoremediation using Vetiver and Phragmites plants in green space irrigation" Journal of Water and Wastewater, 31(3), 101-111. Doi: 10.22093/wwj.2019.186145.2867. (In Persian)

## Abstract

Considering the severe shortage of water resources in Iran, the utilization of treated municipal wastewater in the agricultural sector is an effective way for supplying water requirement of plants and reducing environmental pollution. Phytoremediation is an environmentally- friendly method to eliminate many pollutants. Vetiver (*Vetiver zizanioides* L. Nash) and reed plant (*Phragmites australis*) are two special plants for phytoremediation because of their unique physiological and morphological characteristics. The present research was carried out to improve the quality of leachate by vetiver and reed plant and, using hydroponic system evaluate their efficiency in the removal of contaminants. For this purpose a pilot study (containers containing 200 L leachate) was conducted including two plants, two densities, four retention times (3, 7, 14, 21 day) and control (with no plants). All experiments were performed with three replications. At the end of each period, BOD, COD, nitrate and phosphate were determined and evaluated. Results showed that the amount of COD, BOD, phosphate and nitrate was decreased by 68, 60, 82 and 83%, respectively, for the vetiver grass after 21 days. Also, results showed that the amount of COD, BOD, phosphate and nitrate was decreased by 65, 30, 60 and 63%, respectively, for the reed plant after 21 days. Finally, the results indicated that the best density for the treatment of vetiver grass and reed plant was a density of 4 in a closed environment. According to the results of this study, the vetiver plant and the reed plant have good potential to reduce pollutants.

**Keywords:** Bioremediation, Leachate Treatment, Hydroponic, Phragmites.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۱، شماره ۳، صفحه: ۱۱۱-۱۰۱

## بهبود کیفیت شیرابه محل دفن پسماند شهر اصفهان به روش گیاه پالایی با استفاده از گیاهان وتیور و نی به منظور استفاده در آبیاری فضای سبز

جهانگیر عابدی کوپایی<sup>۱</sup>، محمدعلی جمالیان<sup>۲</sup>، محمد مهدی درافشان<sup>۲</sup>

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

(نویسنده مسئول) koupai@cc.iut.ac.ir

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

پذیرش ۹۸/۸/۴

دریافت ۹۸/۲/۲۸

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

عابدی کوپایی، ج.، جمالیان، م.، درافشان، م.، ۱۳۹۹، "بهبود کیفیت شیرابه محل دفن پسماند شهر اصفهان به روش گیاه پالایی با استفاده از گیاهان وتیور و نی به منظور استفاده در آبیاری فضای سبز" مجله آب و فاضلاب، ۳۱(۳)، ۱۱۱-۱۰۱. Doi: 10.22093/wwj.2019.186145.2867

### چکیده

با توجه به کمبود شدید منابع آب در کشور، بهره برداری از فاضلاب‌های تصفیه شده شهری در بخش کشاورزی، روش مؤثری در برطرف نمودن نیاز آبی گیاهان و همچنین کاهش آلودگی محیط زیست است. گیاه پالایی، به عنوان روشی طبیعی، با مخاطرات زیست محیطی کمتر برای رفع بسیاری از آلاینده‌ها، معرفی شده است. گیاه وتیور گراس (*Vetiver zizanioides L. Nash*) و گیاه نی (*Phragmites australis*) را می توان به عنوان دو گیاه مناسب به سبب ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک دارای پتانسیل بالا در زمینه تصفیه فاضلاب‌ها و احیای زمین‌های با ارزش نام برد. پژوهش حاضر در راستای بهبود کیفیت شیرابه زباله با استفاده از گیاهان وتیور گراس و نی و کشت آن به صورت هیدروپونیک در محیط شیرابه زباله و ارزیابی کارایی آن در حذف و پالایش آلاینده‌ها انجام شد. به این منظور، پایلوتی به حجم کلی ۲۰۰ لیتر از جنس فایبرگلاس تهیه شد. همچنین در تیمارها از دو تراکم گیاهی (۲ تایی و ۴ تایی بر ۹۶۰ سانتی متر مربع) و تیمار شاهد (بدون گیاه) و چهار زمان ماند (۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز)، در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. در پایان هر دوره، COD، نیترات و فسفات اندازه گیری و بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان کاهش COD، BOD، فسفات و نیترات پس از مدت ۲۱ روز برای مخزن حاوی گیاه وتیور به ترتیب ۶۸، ۶۰، ۸۲ و ۸۳ درصد و برای مخزن حاوی گیاه نی به ترتیب ۶۵، ۳۰، ۶۰ و ۶۳ درصد بود. همچنین، بهترین تراکم در انجام پالایش توسط گیاه وتیور گراس و گیاه نی در محیط بسته، تراکم ۴ تایی بوده است. بر اساس نتایج این پژوهش، گیاهان وتیور گراس و نی پتانسیل خوبی در بهبود کیفیت شیرابه محل دفن پسماند دارند.

**واژه‌های کلیدی:** زیست پالایی، تصفیه شیرابه، هیدروپونیک، وتیور، نی

### ۱- مقدمه

پارامترهای اصلی مانند BOD، COD، نسبت BOD به COD، pH، جامدات معلق (SS)، نیتروژن آمونیوم و فلزات سنگین نشان داده می شود. با گذشت زمان از دفن زباله‌ها، نسبت BOD به COD به سرعت کاهش می یابد (Chian and Dewalle, 1976). این عمل به آزاد شدن مداوم مقدار زیادی از مولکول‌های آلی از پسماندهای

در محل دفن زباله شهری، مواد از نظر فیزیکی در سه فاز مشاهده می شوند: فاز جامد (زباله)، فاز مایع (شیرابه) و فاز گاز (بیوگاز). شیرابه به عنوان یک سیال مایع شناخته شده است که تولید آن نتیجه نفوذ بارش‌ها در میان پسماندها، فرایند بیوشیمیایی در پسماندها و محتوای آبی خود پسماندها است. خصوصیات شیرابه به وسیله



ریشه‌های این گیاه بیش از ۶۰ سانتی‌متر است. ساقه این گیاه ترد و دارای آوندهای متخلخل است. ارتفاع ساقه نی بیش از ۵۰ سانتی‌متر است و ممکن است تا ۸ متر نیز برسد.

در پژوهشی در سال ۲۰۰۰، میزان حذف فسفر توسط سیستم نیزار زیرسطحی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حذف فسفر توسط این سیستم بیش از ۸۰ درصد بوده است و غلظت خروجی فسفر به میزان ۰/۱۴ تا ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر کاهش پیدا کرده است (Brooks et al., 2000).

در سال ۲۰۰۸، پژوهشی با هدف بررسی بازده و تیورگراس به‌روش هیدروپونیک برای تصفیه فاضلاب شهری در کشور تایلند انجام شد. در این پژوهش، از دو فاضلاب خانگی با دو بار آلودگی زیاد و کم استفاده شد و زمان‌بندی‌های انتخابی ۳، ۵ و ۷ روز بود. نتایج نشان داد که سیستم و تیور توانایی زیادی در حذف نترات کل، فسفر کل و BOD فاضلاب دارد. به این صورت که در فاضلاب با غلظت زیاد، مقدار حذف به ترتیب ۹۱/۵-۹۰/۵ درصد، ۳۵/۹-۱۷/۸ درصد و ۶۲/۵-۶۲ درصد بیشتر از فاضلاب با غلظت کم بوده است. همچنین، نتیجه گرفته شد که سیستم تالابی با گیاهان شناور (هیدروپونیک) کارایی نسبتاً مناسبی در حذف فسفر داشته است (Boonsong and Chansiri, 2008).

در سال ۲۰۰۹، پژوهشی به‌منظور بررسی تأثیر گیاه نی در حذف آلودگی پساب در تالاب مصنوعی قرار گرفت. مطابق نتایج، در پساب خروجی از تالاب، مقادیر TSS، TDS، BOD و COD را به ترتیب به میزان ۹۰، ۷۷، ۹۵ و ۶۹ درصد کاهش یافتند (Baskar et al., 2009). در پژوهشی در سال ۲۰۱۲، عملکرد میزان رشد گیاه و تیور در شرایط تغذیه از ترکیبات نیتروژنی غیرآلی در مقایسه با سه گونه گیاه آبزی سرخس آبی<sup>۴</sup>، گونه‌ای از نیلوفر<sup>۵</sup> و گونه‌ای از نخل مرداب<sup>۶</sup>، پیرامون حذف مواد مغذی و قابلیت جذب در چین، مورد مقایسه قرار گرفت. بر اساس مشاهدات تجربی و آزمایشگاهی چنین نتیجه گرفته شد که میزان نرخ رشد نسبی در حدود ۰/۰۲ در واحد روز بوده و گیاه در خصوص جذب آمونیم تمایل بیشتری نسبت به نترات از خود نشان می‌دهد (Jampeetong et al., 2012).

جامد منجر می‌شود. در نتیجه، شیرابه‌های قدیمی تشکیل شده از نسبت کمتر BOD به COD برخوردارند (Lema et al., 1988). مراحل تصفیه شیرابه شامل روش‌های فیزیکی (روش شناورسازی، انعقاد و لخته‌سازی)، شیمیایی (اکسیداسیون شیمیایی، تبخیر و اسمز معکوس)، بیولوژیک (بی‌هوازی و هوازی) و طبیعی است که منجر به حذف محلول‌ها و مواد آلی و بعضی از مواد مغذی از شیرابه می‌شود. اغلب روش‌های تصفیه شیمیایی شیرابه مستلزم صرف هزینه‌های زیادی است. ولی روش گیاه‌پالایی به‌عنوان یک روش ارزان قیمت و سازگار با محیط‌زیست در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران را به خود جلب نموده است.

گیاهان ایده‌آل برای گیاه‌پالایی باید ویژگی‌های متعددی از قبیل توانایی رشد در محیط آلوده، رشد سریع، زیست‌توده با کیفیت بالا، برداشت آسان و قابلیت تجمع طیف وسیعی از آلاینده‌ها و فلزات سنگین را در خود داشته باشند (Jabeen et al., 2009). در حال حاضر، هیچ گیاه شناخته‌شده‌ای نیست که تمام این معیارها را برآورده کند. گیاه‌پالایی یک رویکرد بلندمدت برای تمیز کردن محیط از آلاینده‌هاست (Sas-Nowosielska et al., 2008). موفقیت گیاه‌پالایی بستگی به عوامل مختلف مانند پتانسیل گیاه برای جذب آلاینده‌ها و مقدار آلاینده‌های موجود در محیط دارد (Vara Prasad and De Oliveira Freitas, 2003). گیاه‌پالایی در مکان‌های بسیار وسیعی که روش‌های دیگر پالایش و اصلاح ممکن است مقرون‌به‌صرفه یا عملی نباشد، می‌تواند برای آلودگی‌های سطحی مفید باشد (Khan et al., 2000).

وتیورگراس<sup>۱</sup> از تیره گندمیان<sup>۲</sup> و فاقد استولون یا ریزوم است. این گیاه دارای سیستم ریشه حجیم با ساختارهای ظریف است که می‌تواند به‌سرعت رشد کند و گاهی اوقات، عمق ریشه در سال اول می‌تواند به ۳ تا ۴ متر برسد. این گیاه ریشه‌ای عمیق دارد که می‌تواند باعث مقاومت فوق‌العاده گیاه به خشکی شده و سبب می‌شود که با جریانات قوی آبی و بادی به‌سختی کنده شود.

گیاه نی<sup>۳</sup> نیز یکی از گیاهان چندساله و با سیستم ریزوم وسیع است. این گیاه یک گونه مهاجم است که گونه‌های دیگر موجود در تالاب را حذف می‌کند (Truong and Hart, 2001). عمق

<sup>4</sup> Cucullat L. Salvinia

<sup>5</sup> Ipomoea aquatic L.

<sup>6</sup> Cyperus involucratus L.

<sup>1</sup> Vetiver zizanioides L. Nash

<sup>2</sup> Poaceae

<sup>3</sup> Phragmites australis



آلاینده‌ها در ریشه و سپس در برگ‌ها و ساقه‌ها ذخیره شدند (Mustapha et al., 2018).

در پژوهشی به ارزیابی حذف فلزات سنگین (مس، آهن، منگنز، سرب و مس) از آب‌های آلوده توسط گیاه و تیورگراس پرداخته شد. نتایج نشان داد که حذف آهن بیشتر از سرب، سرب بیشتر از مس، مس بیشتر از منگنز و منگنز بیشتر از مس بوده است. همچنین مطالعات حاکی از آن بود که هر چقدر طول ریشه گیاه بزرگ‌تر باشد، به دلیل افزایش سطح، جذب بیشتر خواهد بود و انباشته شدن فلزات سنگین درون ریشه بیشتر از ساقه است (Suelee et al., 2017).

پژوهش‌های دیگری در تصفیه شیرابه محل دفن پسماند به روش گیاه‌پالایی توسط گیاهانی همچون لویی<sup>۴</sup>، خردل سفید<sup>۵</sup>، عدسک پر ریشه<sup>۶</sup>، ستاره مرداب<sup>۷</sup> گزارش شده است (Song et al., 2018, Vaverková et al., 2018, Bharathiraja et al., 2018, Kumar and Chopra, 2018).

لذا در این پژوهش، امکان تصفیه شیرابه محل دفن پسماند شهر اصفهان با استفاده هم‌زمان از گیاهان و تیورگراس و نی به روش گیاه‌پالایی، به منظور استفاده در آبیاری فضای سبز مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش از علف و تیور و گیاه نی استفاده شد. اجرای طرح در مرکز دفن پسماند شهر اصفهان واقع در گردنه زینل در زون ۳۹ جنوبی به مختصات X: 577024 و Y: 3609230 انجام پذیرفت. همچنین کلیه آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه کنترل کیفیت سازمان مدیریت پسماند شهرداری اصفهان صورت گرفت.

پس از کشت گیاهان در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان، کلیه آن‌ها به مرکز دفن پسماند شهر اصفهان انتقال پیدا کردند و بعد از شسته شدن ریشه‌ها و جدایی آن‌ها از خاک به منظور مستقر کردن آن‌ها در محیط هیدروپونیک، به مدت دو هفته درون آب شرب به سبب جدا شدن گل‌ولای محصور بین ریشه‌ها، نگهداری و پرورش داده شدند.

نتایج یک آزمایش گلدانی برای بررسی حذف کادمیم و مس توسط سیستم و تیور برای دو نوع خاک ورتی سول حاوی مقدار زیادی رس مونت‌موریلونیت و اکسی سول حاوی تجمع زیرسطحی رس در سال ۲۰۱۴ در فرانسه منتشر شد. دو نمونه خاک ورتی سول و اکسی سول در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر در دو ایستگاه مختلف جمع‌آوری و تیورها در آن کاشته شدند. تعداد ۱۸ گلدان خاک اکسی سول و ۱۸ گلدان خاک ورتی سول و ۳۶ گلدان نیز بدون مس و کادمیم (به‌عنوان شاهد) انتخاب شدند. زیست توده و تیور، ترکیبات فلزی، تمام عناصر فلزی قابل استخراج خاک و کلرید منیزیم خاک، طی شش ماه در حضور دو غلظت متفاوت فلز، بررسی شدند. تیمار اول دارای ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس و ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم و تیمار دوم حاوی ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مس و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم بود. نتایج نشان‌دهنده توانایی و تیور برای گیاه‌پالایی مس و کادمیم در این دو نوع خاک بود (Abaga et al., 2014).

در سال ۲۰۱۵ طی تحقیقاتی در کشور سوئیس، ارزیابی مزایای زیست‌محیطی سیستم پالایش زیستی توسط برگ‌های گیاه و تیور نسبت به سیستم‌های دیگر مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه برگ‌های و تیور از طریق آنالیزهای آزمایشگاهی نشان داد که گیاه و تیور سرشار از سلولز (۳۲/۶ درصد)، همی سلولز (۳۱/۵ درصد) و لیگنین (۱۷/۳ درصد) است، که می‌تواند به‌عنوان یک ماده برای پالایش زیستی استفاده شود (Raman and Gnansounou, 2015).

گیاه‌پالایی خاک‌ها از دهه‌های گذشته مورد توجه بوده، ولی گیاه‌پالایی محلول‌ها (مانند پساب‌ها و فاضلاب‌ها) اخیراً با توجه به اثرات زیست‌محیطی استفاده مجدد از آن‌ها مورد توجه قرار گرفته است (Albaho and Green, 2000, Zorrig et al., 2012, Rabhi et al., 2010, Ravindran et al., 2007).

در پژوهشی در سال ۲۰۱۸، از سه گیاه نخل مرداب<sup>۱</sup>، لویی<sup>۲</sup> و علف دوروا<sup>۳</sup> برای حذف آلاینده‌ها در پساب فاضلاب استفاده شد. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد در حذف آلاینده‌ها به ترتیب گیاه لویی، نخل مرداب و علف دوروا است. همچنین بیشترین مقادیر

<sup>4</sup> Typha gustifolia L.

<sup>5</sup> Sinapis alba L.

<sup>6</sup> Spirodela polyrrhiza L.

<sup>7</sup> Trapa natans L.

<sup>1</sup> Cyperus alternifolius L.

<sup>2</sup> Tifa Latifolia L.

<sup>3</sup> Cynodon dactylon L.



مشخص، مجدداً مقدار اکسیژن محلول قرائت شد. میزان نیترات موجود در نمونه‌های برداشت شده به روش اسپکتروسکوپی (مدل V-530) و با محلول HCl تعیین شد. فسفات موجود در نمونه‌ها به روش اسپکتروفتومتری و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Jasco V-530) اندازه‌گیری شد. آزمایش‌های فسفات نیز براساس تعدادی شناساگر انجام شد که عبارت بودند از: اسیدسولفوریک، تارتارات، آمونیوم مولیدات و آسکوربیک اسید.

نتایج آزمایش توسط نرم‌افزار SAS 9.4 بررسی شد. راندمان حذف با استفاده از اختلاف مقادیر مخزن فاقد گیاه (شاهد) و مخزن‌های تراکم دو و چهارتایی هر گیاه تقسیم بر مقدار شاهد به دست آمد. همچنین برای مقایسه نتایج ظروف هیدروپونیک با همدیگر از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

میزان حذف آلاینده‌ها از محیط شیرابه زباله‌ها در چهار فاکتور نوع گیاه، تراکم، زمان ماند و اثرات متقابل آن‌ها سنجش شد. همچنین هدف فرعی در این بخش، شناسایی میزان حذف ترکیبات در طول مدت آزمایش بود، تا فرایند نحوه مصرف ترکیبات مختلف و از همه مهم‌تر تحلیل زمان ماند هیدرولیکی بهینه میسر باشد، زیرا تعیین زمان ماند می‌تواند به‌عنوان نتیجه فنی این پژوهش برای بخش فضای سبز به‌منظور استفاده از گیاه و تیور و نی به‌عنوان واحد تصفیه شیرابه زباله مورد استفاده قرار گیرد. تجزیه و تحلیل پارامترهای اندازه‌گیری شده نشان داد که در اکثر ترکیبات سه فاکتور نوع گیاه، تراکم و زمان، دارای سطوح معنی‌داری در سطح ۱ درصد می‌باشند. همچنین اثرات ساده نوع گیاه، زمان ماند و تراکم بوته‌ای نیز معنی‌دار شده است که حاکی از مؤثر بودن این عوامل در بهبود کیفیت شیرابه است. جدول ۱، تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

#### ۳-۱- بررسی $BOD_5$

هدف اصلی تصفیه شیرابه، حذف ترکیبات آلی است. هرچه آلودگی بیولوژیکی آب بیشتر باشد، مقدار  $BOD$  هم به مراتب زیادتر است (Vaverková et al., 2018).

تیمارهای این پژوهش شامل فاکتور (عامل) نوع گیاه در دو سطح، عامل زمان در پنج سطح و عامل تراکم بوته‌ای در دو سطح بود. برای ایجاد تکرار در آزمایش، سه مخزن در نظر گرفته شد. همچنین به‌منظور مشخص شدن تأثیر گیاهان مورد استفاده بر بهبود کیفیت شیرابه، از تیمار شاهد (تیمار بدون گیاه) استفاده شد. به این منظور، پایلوتی به حجم کلی ۲۰۰ لیتر از جنس فایبرگلاس تهیه شد. همچنین در تیمارها از دو تراکم گیاهی (۲ تایی و ۴ تایی بر ۹۶۰ سانتی متر مربع) و تیمار شاهد (بدون گیاه) استفاده شد. شرایط در تمامی مخزن‌ها کاملاً یکسان بود. بنابراین آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد.

بعد از یک دوره رشد دو هفته‌ای گیاهان در محیط آب آشامیدنی، به سبب سازگاری با محیط، مخازن از آب خالی شدند و مجدداً از شیرابه زباله پر شدند تا زمان‌های ماند مختلف و تأثیر آن‌ها بر جذب و حذف پارامترهای شیمیایی مختلف مورد بررسی قرار گیرد. آزمایش در محیطی کاملاً باز انجام شد. به‌منظور شناورسازی و استقرار گیاهان در سطح شیرابه درون مخازن، یونولیت‌هایی به قطر دهانه مخازن فراهم شد و گیاهان درون آن‌ها جایگذاری شدند. به دلیل تحکیم گیاهان در جای خود، محیط ریشه گیاهان با نخ به یونولیت‌ها آویزان شدند.

گرفتن خروجی از مخازن، هر بار از عمق ۷۰ سانتی‌متری انجام می‌شد و سپس آزمایش‌های لازم روی آن‌ها انجام می‌گرفت. تمامی روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای تحقیق حاضر بر اساس استاندارد APHA انجام شد (Dull and Wernstedt, 2010). هدایت الکتریکی و pH نمونه در لحظه شروع آزمایش‌ها به ترتیب ۸/۴ دسی زیمنس بر متر و ۸/۳ بود.

آزمایش COD به روش تقطیر باز و به کمک دستگاه کندانسور مدل Jasco V-530 انجام شد. وسایل و محلول‌های مورد استفاده در این آزمایش شامل دی‌کرمات پتاسیم، اسید سولفوریک، شناساگر فروئین و محلول استاندارد سولفات مضاعف آمونیوم و آهن بود.

برای اندازه‌گیری  $BOD_5$  از بطری‌های مخصوص استفاده شد. اکسیژن محلول نمونه بعد از رقیق‌سازی و افزودن مواد مغذی، به روش وینکار اندازه‌گیری شد و پس از آن درون دستگاه انکوباتور مدل Fan Azma Gostar به مدت ۵ روز و در شرایط محیطی



چهارتایی گیاه نی در زمان ماند ۷ روزه تفاوت معنی داری ندارد. میزان کاهش BOD<sub>5</sub> در طول زمان با نتایج بونسانگ و همکاران مطابقت داشت. به طوری که با برقراری زمان ماند بیشتر، امکان بازیابی شرایط مناسب برای بهبود کیفیت فاضلاب در کاهش BOD<sub>5</sub> فراهم شد (Boonsong et al., 2008). همچنین، در آزمایش های ترانگ و همکاران نیز نتایج مشابهی حاصل شد. آن ها به این نتیجه رسیدند که با افزایش زمان ماند، میزان BOD<sub>5</sub> به مرور روند کاهشی بیشتری خواهد داشت (Truong et al., 2001). گارسیا و همکاران نیز کاهش ۸۵ درصدی BOD<sub>5</sub> را در تالاب مصنوعی حاوی پساب فاضلاب با استفاده از گیاه و تیور گزارش دادند (García et al., 2013).

### ۳-۲- بررسی COD

جداول ۴ و ۵ مقدار راندمان حذف COD توسط گیاهان و تیور و گیاه نی در زمان های ماند ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز را نمایش می دهند. با توجه به جداول ۴ و ۵، مقدار COD در روز سوم به میزان ۶۰

جداول ۲ و ۳، راندمان حذف BOD<sub>5</sub> توسط گیاه و تیور و گیاه نی در زمان های ماند ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز را نمایش می دهد. راندمان حذف با استفاده از اختلاف BOD<sub>5</sub> مخزن فاقد گیاه (شاهد) و مخزن های تراکم ۲ و ۴ تایی هر گیاه تقسیم بر مقدار شاهد به دست آمده است.

باتوجه به جداول ۲ و ۳، با افزایش زمان ماند، فعالیت باکتری ها در محیط افزایش می یابد و در نتیجه مقدار مواد آلی کم می شود که این موضوع کاهش BOD<sub>5</sub> را در پی دارد. برای گیاه و تیور و گیاه نی تفاوت معنی داری بین تراکم ۲ تایی و ۴ تایی مشاهده شد. اگرچه گیاه به خودی خود قادر به کاهش BOD<sub>5</sub> نیست، اما به دلیل حجم بالای ریشه های و تیور و گیاه نی و همچنین رشد باکتری ها در آن، این پارامتر به خوبی کاهش یافته است. در نهایت، برای فاکتور شیرابه زباله می توان کاهش ۶۳ درصدی BOD<sub>5</sub> را برای گیاه و تیور و کاهش ۳۳ درصدی BOD<sub>5</sub> را برای گیاه نی در روز ۲۱ مشاهده کرد. همچنین می توان دریافت که از لحاظ آماری میزان حذف BOD برای تراکم دوتایی گیاه و تیور در زمان ماند ۳ روزه با تراکم

جدول ۱- تجزیه واریانس پارامترهای اندازه گیری شده (COD, BOD, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> و NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Table 1. Analysis of variance of measured parameters (BOD, COD, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

| SV                    | df | Mean of Squared |            |                                      |                                     |
|-----------------------|----|-----------------|------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
|                       |    | BOD (mg/L)      | COD (mg/L) | PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (mg/L) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L) |
| Plant                 | 1  | 196934.4**      | 1091201**  | 2.37**                               | 9715.6**                            |
| Time                  | 4  | 1205620.3**     | 4545951**  | 9.98**                               | 4370.3**                            |
| Density               | 2  | 734210.5**      | 20040615** | 24.8**                               | 71391.7**                           |
| Plant× Time           | 4  | 18759.9**       | 190083**   | 0.18**                               | 709.4**                             |
| Plant× Density        | 2  | 49737.9**       | 276003**   | 0.6**                                | 2428.9**                            |
| Time× Density         | 8  | 47486.4**       | 1365360**  | 1.72**                               | 4592**                              |
| Plant× Time × Density | 8  | 4776.7**        | 48012**    | 0.06**                               | 180**                               |

ns: not significant \* : P<0.05 \*\* : P<0.01

جدول ۲- میانگین راندمان حذف BOD<sub>5</sub> توسط گیاه و تیور

Table 2. BOD<sub>5</sub> removal efficiency by *Vetiver zizanioides*

| Residence time (day) | Control (mg/L)      | 2 Plants (mg/L)    | Removal efficiency (%) | 4 Plants (mg/L)     | Removal efficiency (%) |
|----------------------|---------------------|--------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| 0                    | 1153 <sup>b</sup>   | 1153 <sup>b</sup>  | 0                      | 1153 <sup>b</sup>   | 0                      |
| 3                    | 1207.7 <sup>a</sup> | 836 <sup>e</sup>   | 30.8                   | 806.7 <sup>i</sup>  | 33.2                   |
| 7                    | 1108.7 <sup>c</sup> | 754 <sup>j</sup>   | 32                     | 738 <sup>k</sup>    | 33.4                   |
| 14                   | 822.3 <sup>h</sup>  | 375.3 <sup>p</sup> | 54.4                   | 363.3 <sup>pq</sup> | 55.8                   |
| 21                   | 810.3 <sup>i</sup>  | 320 <sup>r</sup>   | 60.5                   | 301 <sup>rs</sup>   | 62.9                   |

Numbers with one common letter have no significant difference based on the 5% LSD test.



جدول ۳- میانگین راندمان حذف BOD<sub>5</sub> توسط گیاه نیTable 3. BOD<sub>5</sub> removal efficiency by *Phragmites australis*

| Residence time (day) | Control (mg/L)      | 2 Plants (mg/L)     | Removal efficiency (%) | 4 Plants (mg/L)    | Removal efficiency (%) |
|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| 0                    | 1153 <sup>b</sup>   | 1153 <sup>b</sup>   | 0                      | 1153 <sup>b</sup>  | 0                      |
| 3                    | 1207.7 <sup>a</sup> | 1000.7 <sup>d</sup> | 17.1                   | 931.7 <sup>e</sup> | 22.9                   |
| 7                    | 1108.7 <sup>c</sup> | 858 <sup>f</sup>    | 22.6                   | 836 <sup>g</sup>   | 24.6                   |
| 14                   | 822.3 <sup>h</sup>  | 590.7 <sup>l</sup>  | 28.2                   | 561 <sup>n</sup>   | 31.8                   |
| 21                   | 810.3 <sup>gi</sup> | 578.7 <sup>m</sup>  | 28.6                   | 541 <sup>n</sup>   | 33.2                   |

جدول ۴- میانگین راندمان حذف COD توسط گیاه وتیور

Table 4. COD removal efficiency by *Vetiver zizanioides*

| Residence time (day) | Control (mg/L)      | 2 Plants (mg/L)     | Removal efficiency (%) | 4 Plants (mg/L)     | Removal efficiency (%) |
|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| 0                    | 2895 <sup>d</sup>   | 2895 <sup>d</sup>   | 0                      | 2895 <sup>d</sup>   | 0                      |
| 3                    | 3622.3 <sup>a</sup> | 1567 <sup>l</sup>   | 56.7                   | 1458.7 <sup>m</sup> | 59.7                   |
| 7                    | 2813 <sup>e</sup>   | 1093.7 <sup>n</sup> | 61.1                   | 996 <sup>pq</sup>   | 64.6                   |
| 14                   | 2963.7 <sup>c</sup> | 1016.3 <sup>o</sup> | 65.7                   | 965.7 <sup>r</sup>  | 67.4                   |
| 21                   | 2982 <sup>b</sup>   | 952.7 <sup>s</sup>  | 68.1                   | 908 <sup>t</sup>    | 69.6                   |

جدول ۵- میانگین راندمان حذف COD توسط گیاه نی

Table 5. COD removal efficiency by *Phragmites australis*

| Residence time (day) | Control (mg/L)      | 2 Plants (mg/L)     | Removal efficiency (%) | 4 Plants (mg/L)     | Removal efficiency (%) |
|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| 0                    | 2895 <sup>d</sup>   | 2895 <sup>d</sup>   | 0                      | 2895 <sup>d</sup>   | 0                      |
| 3                    | 3622.3 <sup>a</sup> | 1818 <sup>f</sup>   | 49.8                   | 1794 <sup>g</sup>   | 50.5                   |
| 7                    | 2813 <sup>e</sup>   | 1732 <sup>h</sup>   | 38.4                   | 1707.7 <sup>i</sup> | 39.3                   |
| 14                   | 2963.7 <sup>c</sup> | 1623.7 <sup>j</sup> | 45.2                   | 1590.7 <sup>k</sup> | 46.3                   |
| 21                   | 2982 <sup>b</sup>   | 1004.3 <sup>p</sup> | 66.3                   | 991 <sup>q</sup>    | 66.8                   |

چهاردهم و بیست و یکم داشت که این موضوع با نتایج بونسانگ و همکاران نیز همخوانی دارد (Boonsong et al., 2008). کومینو و همکاران راندمان حذف ۸۰ درصدی را در مطالعه تالاب‌ها گزارش دادند (Comino et al., 2011). با توجه به اینکه COD در برگیرنده کل مواد آلی است، لذا مقدار عددی آن از BOD بیشتر است و هرچه اختلافشان بیشتر باشد، نشان‌دهنده وجود آن دسته از مواد آلی است که توسط اعمال بیولوژیکی موجودات زنده قابل اکسید شدن، نیستند (Noykova et al., 2002). از عوامل حذف COD در تالاب‌های مصنوعی، فیلتر فیزیکی و تجزیه است. در این میان نقش گیاه، انتقال اکسیژن به ناحیه ریزوسفر و کمک به تجزیه مواد آلی است (Gagnon et al., 2012).

درصد برای گیاه وتیور و ۵۰ درصد برای گیاه نی کاهش یافته است که می‌توان گفت این میزان به دلیل حجم بالای ریشه‌های گیاهان بوده است. در مورد کاربرد بالای حجم ریشه‌ها و تراکم بالاتر، تیمارهای حاوی گیاه وتیور در روز ۲۱ به‌طور میانگین ۶۹ درصد و تیمارهای حاوی گیاه نی ۶۶ درصد کاهش COD را داشته‌اند. می‌توان گفت تراکم ۴ تایی گیاه وتیور در زمان ماند ۷ روزه با تراکم ۲ و ۴ تایی گیاه نی در زمان ماند ۲۱ روزه از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری ندارد. ترانگ و همکاران در آزمایش‌های خود به کاهش ۷۰ درصدی COD در محیط تالابی دست یافتند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Truong et al., 2001). کاهش COD در روزهای ابتدایی روند کاهشی بیشتری نسبت به روزهای هفتم،



جدول ۶- میانگین راندمان حذف فسفات توسط گیاه وتیور

Table 6. Phosphate removal efficiency by *Vetiver zizanioides*

| Residence Time (day) | Control (mg/L)   | 2 Plants (mg/L)   | Removal efficiency (%) | 4 Plants (mg/L)   | Removal efficiency (%) |
|----------------------|------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| 0                    | 3.2 <sup>b</sup> | 3.2 <sup>b</sup>  | 0                      | 3.2 <sup>b</sup>  | 0                      |
| 3                    | 4 <sup>a</sup>   | 1.6 <sup>fg</sup> | 60.8                   | 1 <sup>kji</sup>  | 74.4                   |
| 7                    | 3.3 <sup>b</sup> | 1 <sup>kj</sup>   | 71.6                   | 0.8 <sup>kl</sup> | 75.6                   |
| 14                   | 2.7 <sup>c</sup> | 0.9 <sup>kl</sup> | 68.1                   | 0.5 <sup>mn</sup> | 79.8                   |
| 21                   | 2.5 <sup>c</sup> | 0.8 <sup>ml</sup> | 68.6                   | 0.4 <sup>n</sup>  | 82.7                   |

جدول ۷- میانگین راندمان حذف فسفات توسط گیاه نی

Table 7. Phosphate removal efficiency by *Phragmites australis*

| Residence time (day) | Control (mg/L)   | 2 Plants (mg/L)   | Removal efficiency (%) | 4 Plants (mg/L)    | Removal efficiency (%) |
|----------------------|------------------|-------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| 0                    | 3.2 <sup>b</sup> | 3.2 <sup>b</sup>  | 0                      | 3.2 <sup>b</sup>   | 0                      |
| 3                    | 4 <sup>a</sup>   | 2.1 <sup>d</sup>  | 46.9                   | 1.9 <sup>dc</sup>  | 52.1                   |
| 7                    | 3.3 <sup>b</sup> | 1.8 <sup>fe</sup> | 45.1                   | 1.5 <sup>hg</sup>  | 56.2                   |
| 14                   | 2.7 <sup>c</sup> | 1.3 <sup>hi</sup> | 53.1                   | 1.1 <sup>kji</sup> | 60                     |
| 21                   | 2.5 <sup>c</sup> | 1.2 <sup>ji</sup> | 52.6                   | 1 <sup>kj</sup>    | 60.2                   |

قارچ‌های میکوریزی<sup>۱</sup> که در همکاری با ریشه بسیاری از گیاهان رشد می‌کنند، تسهیل می‌شود. همچنین از لحاظ آماری میزان کاهش فسفات در تراکم ۴ تایی گیاه وتیور در زمان ماند ۳ روزه با تراکم ۲ و ۴ تایی گیاه وتیور در زمان ماند ۷ روزه، همچنین تراکم ۲ تایی گیاه وتیور در زمان ماند ۱۴ روزه و تراکم ۴ تایی گیاه نی در زمان ماند ۲۱ روزه تفاوت معنی‌داری ندارد. در آزمایش‌های ژانگ و همکاران، نتایج حاصل از بررسی روند حذف فسفات از فاضلاب شهری در کشور چین، مشابه این پژوهش بوده است. به‌طوری‌که به‌صورت دوره‌ای، به‌طور میانگین، این ترکیبات به‌ترتیب به میزان ۸۷ درصد، ۸۰ درصد و ۸۰ درصد کاهش یافته‌اند (Zhang et al., 2014).

### ۳-۴- بررسی غلظت نیترات

حضور نیتروژن در شیرابه زباله‌ها عموماً به شکل نیتروژن آمونیاکی و یا نیتروژن آلی است. کل نیترات برای گیاهان قابل استفاده نیست و عامل اصلی فرایند حذف نیترات، شیمیایی است (Truong et al., 2001). جداول ۸ و ۹ مقدار راندمان حذف نیترات توسط گیاه وتیور و گیاه نی در زمان‌های ماند ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز را نمایش می‌دهند.

### ۳-۳- بررسی غلظت فسفات

فسفات از جمله آلاینده‌های شیمیایی است که از طریق شیرابه زباله‌ها، فاضلاب‌های شهری و صنعتی و زه‌آب‌های کشاورزی وارد منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. جداول ۶ و ۷ مقدار راندمان حذف فسفات توسط گیاهان وتیور و گیاه نی در زمان‌های ماند ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز را نمایش می‌دهند.

طبق جداول ۶ و ۷ غلظت فسفات پس از ۲۱ روز به کمتر از ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر رسید که برای گیاه وتیور با تراکم ۴ تایی معادل ۸۲ درصد و برای گیاه نی ۶۰ درصد کاهش را نشان می‌دهد. البته روند نزولی غلظت فسفات بیشتر در روز سوم قابل مشاهده است. همچنین مشاهده می‌شود که گیاه پس از سه روز با انجام عملیات فتوسنتز، با مصرف مواد مورد نیاز مانند فسفات، باعث حذف آن از محیط شده است. با توجه به جداول ۶ و ۷ مشخص می‌شود که گیاه وتیور نسبت به گیاه نی، فسفات بیشتری مصرف کرده است. فرایند حذف فسفر در شیرابه به سه صورت جذب گیاهی، ترسیب شیمیایی و روش بیولوژیک صورت می‌گیرد (Truong et al., 2001). فسفر از طریق تارهای کشنده ریشه، پوست خارجی و نوک ریشه وارد گیاه می‌شود. جذب آن توسط

<sup>1</sup> Mycorrhiza





## جدول ۸- میانگین راندمان حذف نیترات توسط گیاه وتیور

Table 8. Nitrate removal efficiency by *Vetiver zizanioides*

| Residence time (day) | Control (mg/L)     | 2 Plants (mg/L)   | Removal efficiency (%) | 4 Plants (mg/L)   | Removal efficiency (%) |
|----------------------|--------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| 0                    | 121 <sup>d</sup>   | 121 <sup>d</sup>  | 0                      | 121 <sup>d</sup>  | 0                      |
| 3                    | 144 <sup>c</sup>   | 84.1 <sup>i</sup> | 41.6                   | 78.2 <sup>j</sup> | 45.7                   |
| 7                    | 120.7 <sup>d</sup> | 50.1 <sup>m</sup> | 58.5                   | 38.9 <sup>o</sup> | 67.8                   |
| 14                   | 155.9 <sup>b</sup> | 42.3 <sup>n</sup> | 72.9                   | 32 <sup>p</sup>   | 79.5                   |
| 21                   | 171.5 <sup>a</sup> | 33.4 <sup>p</sup> | 80.5                   | 28.3 <sup>q</sup> | 83.5                   |

## جدول ۹- میانگین راندمان حذف نیترات توسط گیاه نی

Table 9. Nitrate removal efficiency by *Phragmites australis*

| Residence time (day) | Control (mg/L)     | 2 Plants (mg/L)    | Removal efficiency (%) | 4 Plants (mg/L)    | Removal efficiency (%) |
|----------------------|--------------------|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| 0                    | 121 <sup>d</sup>   | 121 <sup>d</sup>   | 0                      | 121 <sup>d</sup>   | 0                      |
| 3                    | 144 <sup>c</sup>   | 114.1 <sup>e</sup> | 20.8                   | 107.9 <sup>f</sup> | 25.1                   |
| 7                    | 120.7 <sup>d</sup> | 98.7 <sup>g</sup>  | 18.2                   | 89.8 <sup>h</sup>  | 25.6                   |
| 14                   | 155.9 <sup>b</sup> | 80.5 <sup>j</sup>  | 48.4                   | 72.9 <sup>k</sup>  | 53.2                   |
| 21                   | 171.5 <sup>a</sup> | 72.1 <sup>k</sup>  | 58                     | 63 <sup>l</sup>    | 63.3                   |

چون نیترات جزو مواد مغذی گیاه وتیور و نی محسوب می شود، این پارامتر به دلیل مصرف تقریباً ثابت ماند. تروننگ و همکاران نیز در آزمایش های خود به کاهش ۸۰ درصدی نیترات در محیط تالابی دست یافتند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Truong et al., 2001). حقیقتاً و همکاران با بررسی تغییرات نیترات در طی چندین ماه بروی تالاب ترکیبی در برخی از ماه ها با راندمان حذف نیترات منفی مواجه شدند (Haghshenas-Adarmanabadi et al., 2016)

نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که بر اساس استاندارد WHO و USEPA برای مصارف کشاورزی، غلظت مقادیر BOD و COD و نیترات در محدوده مجاز قرار ندارند ولی غلظت فسفات بر اساس این دو استاندارد در محدوده مجاز قرار می گیرد (USEPA, 2012, WHO, 2006)

## ۴- نتیجه گیری

انجام مطالعات پیلوتی نشان داد که استفاده از فرایند گیاه پالایی با گونه وتیورگراس و نی با شرایط اقلیمی و آب و هوایی اصفهان سازگار است. همچنین، فاکتور تیمارهای حاوی گیاه وتیور کارایی بهتری نسبت به تیمارهای حاوی گیاه نی داشتند. با توجه به پژوهش

همان طور که در جداول ۸ و ۹ مشاهده می شود، تیمارهای حاوی دو گیاه وتیور و نی به خوبی سبب کاهش نیترات به خصوص برای گیاه وتیور در روز هفتم شده اند. در زمان ماند ۳ روزه، کارآمدی نیترات در تیمارهای حاوی گیاه وتیور به بیش از ۴۵ درصد و برای تیمارهای حاوی گیاه نی به ۲۵ درصد رسید. این روند در روز هفتم برای تیمارهای با تراکم ۴ تایی گیاه وتیور به اوج خود یعنی حدود ۶۷ درصد رسید. همچنین، در تیمارهای حاوی گیاه نی، بیشترین کاهش در روز ۲۱ مشاهده شد که میانگین آن ۶۳ درصد بود. برای تیمارهای حاوی گیاه وتیور، ۸۳ درصد کاهش نیترات برای زمان ۲۱ روز به دست آمد. همچنین، مشاهده شد که گیاه وتیور درصد بیشتری از نیترات را نسبت به گیاه نی کاهش می دهد. همچنین می توان گفت از لحاظ آماری میزان کاهش نیترات در تراکم ۴ تایی گیاه وتیور در زمان ماند ۳ روزه با تراکم ۲ تایی گیاه نی در زمان ماند ۱۴ روزه، همچنین تراکم ۴ تایی گیاه وتیور در زمان ماند ۱۴ روزه با تراکم ۲ تایی گیاه وتیور در زمان ماند ۲۱ روزه تفاوت معنی داری نداشتند. طبق مطالب گفته شده، می توان نتیجه گرفت که در این پژوهش فرایند جذب نیترات، جذب توسط گیاه و جذب میکروبی بوده است. در نواحی اطراف ریشه گیاه، شرایط هوازی است. از طرفی،



بود.

با توجه به نتایج این مطالعه، استفاده از روش گیاه‌پالایی برای حذف مقادیر BOD، COD، نیترات و فسفات به‌عنوان یک روش مکمل برای تصفیه شیرابه‌ها پیشنهاد می‌شود. البته اجرای این طرح نیاز به مطالعات تکمیلی و دیگر خصوصیات شیمیایی شیرابه دارد تا کارایی آن افزایش یابد.

### ۵- قدردانی

از دانشگاه صنعتی اصفهان و سازمان مدیریت پسماند شهرداری اصفهان برای حمایت مالی و تدارکاتی از انجام این پژوهش تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

حاضر، برای نمونه‌هایی که پس از مدت ۲۱ روز به‌میزان استانداردهای مورد نظر نرسیدند، راهکارهایی نظیر افزایش تراکم بوته و یا افزایش زمان ماند پیشنهاد می‌شود.

این پژوهش نشان داد که بهترین تراکم بوته‌ای در انجام پالایش شیرابه زباله توسط گیاه وتیور و نی در محیط بسته، تراکم گیاهی ۴ بوته‌ای بر ۹۶۰ سانتی‌متر مربع بود. همچنین، نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که بهترین زمان ماند، زمان ماند ۲۱ روزه است. بررسی تغییرات مقدار حذف BOD<sub>5</sub> و COD، نشان از کارایی بسیار زیاد گونه وتیورگراس و نی در حذف این آلاینده‌ها داشت. بهترین راندمان حذف برای BOD<sub>5</sub> بدون در نظر گرفتن تراکم و نوع گیاه، مربوط به زمان ماند ۲۱ روزه بود ولی در رابطه با COD، زمان ماند ۷ روزه بدون تأثیر تراکم و نوع گیاه، بهترین حالت

## References

- Abaga, N. O. Z., Dousset, S., Mbengue, S. & Munier-Lamy, C. 2014. Is vetiver grass of interest for the remediation of Cu and Cd to protect marketing gardens in Burkina Faso? *Chemosphere*, 113, 42-47.
- Albaho, M. S. & Green, J. L. 2000. Suaeda salsa, a desalinating companion plant for greenhouse tomato. *HortScience*, 35, 620-623.
- Baskar, G., Deeptha, V. & Rahaman, A. A. 2009. Root zone technology for campus waste water treatment. *Journal of Environmental Research and Development*, 3, 695-705.
- Bharathiraja, B., Jayamuthunagai, J., Praveenkumar, R. & Iyyappan, J. 2018. Phytoremediation techniques for the removal of dye in wastewater. In: *Bioremediation: applications for environmental protection and management*. Springer.
- Boonsong, K. & Chansiri, M. 2008. Domestic wastewater treatment using vetiver grass cultivated with floating platform technique. *AU Journal of Technology*, 12, 73-80.
- Brooks, A. S., Rozenwald, M. N., Geohring, L. D., Lion, L. W. & Steenhuis, T. S. 2000. Phosphorus removal by wollastonite: a constructed wetland substrate. *Ecological Engineering*, 15, 121-132.
- Chian, E. S. & Dewalle, F. B. 1976. Sanitary landfill leachates and their leachate treatment. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 102, 411-431.
- Comino, E., Riggio, V. & Rosso, M. 2011. Mountain cheese factory wastewater treatment with the use of a hybrid constructed wetland. *Ecological Engineering*, 37, 1673-1680.
- Dull, M. & Wernstedt, K. 2010. Land recycling, community revitalization, and distributive politics: an analysis of EPA brownfields program support. *Policy Studies Journal*, 38, 119-141.
- Gagnon, V., Chazarenc, F., Kōiv, M. & Brisson, J. 2012. Effect of plant species on water quality at the outlet of a sludge treatment wetland. *Water Research*, 46, 5305-5315.
- García, J. A., Paredes, D. & Cubillos, J. A. 2013. Effect of plants and the combination of wetland treatment type systems on pathogen removal in tropical climate conditions. *Ecological Engineering*, 58, 57-62.
- Haghshenas-Adarmanabadi, A., Heidarpour, M. & Tarkesh-Esfahani, S. 2016. Evaluation of horizontal-vertical subsurface hybrid constructed wetlands for tertiary treatment of conventional treatment facilities effluents in developing countries. *Water, Air, and Soil Pollution*, 227, 28.
- Jabeen, R., Ahmad, A. & Iqbal, M. 2009. Phytoremediation of heavy metals: physiological and molecular mechanisms. *The Botanical Review*, 75, 339-364.



- Jampeetong, A., Brix, H. & Kantawanichkul, S. 2012. Effects of inorganic nitrogen forms on growth, morphology, nitrogen uptake capacity and nutrient allocation of four tropical aquatic macrophytes (*Salvinia cucullata*, *Ipomoea aquatica*, *Cyperus involucratus* and *Vetiveria zizanioides*). *Aquatic Botany*, 97, 10-16.
- Khan, M. A., Ungar, I. A. & Showalter, A. M. 2000. The effect of salinity on the growth, water status, and ion content of a leaf succulent perennial halophyte, *Suaeda fruticosa* (L.) Forssk. *Journal of Arid Environments*, 45, 73-84.
- Kumar, V. & Chopra, A. 2018. Phytoremediation potential of water caltrop (*Trapa natans* L.) using municipal wastewater of the activated sludge process-based municipal wastewater treatment plant. *Environmental Technology*, 39, 12-23.
- Lema, J., Mendez, R. & Blazquez, R. 1988. Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: a review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 40, 223-250.
- Mustapha, H. I., Van Bruggen, J. & Lens, P. 2018. Fate of heavy metals in vertical subsurface flow constructed wetlands treating secondary treated petroleum refinery wastewater in Kaduna, Nigeria. *International Journal of Phytoremediation*, 20, 44-53.
- Noykova, N., MuÈller, T. G., Gyllenberg, M. & Timmer, J. 2002. Quantitative analyses of anaerobic wastewater treatment processes: identifiability and parameter estimation. *Biotechnology and Bioengineering*, 78, 89-103.
- Rabhi, M., Ferchichi, S., Jouini, J., Hamrouni, M. H., Koyro, H.-W., Ranieri, A., et al. 2010. Phytodesalination of a salt-affected soil with the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. to arrange in advance the requirements for the successful growth of a glycophytic crop. *Bioresource Technology*, 101, 6822-6828.
- Raman, J. K. & Gnansounou, E. 2015. LCA of bioethanol and furfural production from vetiver. *Bioresource Technology*, 185, 202-210.
- Ravindran, K., Venkatesan, K., Balakrishnan, V., Chellappan, K. & Balasubramanian, T. 2007. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 2661-2664.
- Sas-Nowosielska, A., Kucharski, R., Pogrzeba, M., Krzyżak, J., Kuperberg, J. & Japenga, J. 2008. Phytoremediation technologies used to reduce environmental threat posed by metal-contaminated soils: theory and reality In: *Simulation and Assessment of Chemical Processes in a Multiphase Environment*, Barnes, M. & Kharytonov, M. (Eds), Springer.
- Song, U., Waldman, B., Park, J. S., Lee, K., Park, S.-J. & Lee, E. J. 2018. Improving the remediation capacity of a landfill leachate channel by selecting suitable macrophytes. *Journal of Hydro-environment Research*, 20, 31-37.
- Suelee, A. L., Hasan, S. N. M. S., Kusin, F. M., Yusuff, F. M. & Ibrahim, Z. Z. 2017. Phytoremediation potential of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) for treatment of metal-contaminated water. *Water, Air, and Soil Pollution*, 228, 158.
- Truong, P. & Hart, B. 2001. *Vetiver system for wastewater treatment*, Office of the Royal Development Projects Board, Burleigh Heads, Australia.
- USEPA 2012. *Guidelines for water reuse*. EPA/600/R-12/618.
- Vara Prasad, M. N. & De Oliveira Freitas, H. M. 2003. Metal hyperaccumulation in plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6, 285-321.
- Vavřková, M. D., Adamcová, D., Radziemska, M., Voběrková, S., Mazur, Z. & Zloch, J. 2018. Assessment and evaluation of heavy metals removal from landfill leachate by *Pleurotus ostreatus*. *Waste and Biomass Valorization*, 9, 503-511.
- WHO 2006. *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*, World Health Organization, USA.
- Zhang, D. Q., Jinadasa, K., Gersberg, R. M., Liu, Y., Ng, W. J. & Tan, S. K. 2014. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in developing countries—a review of recent developments (2000–2013). *Journal of Environmental Management*, 141, 116-131.
- Zorrig, W., Rabhi, M., Ferchichi, S., Smaoui, A. & Abdelly, C. 2012. Phytodesalination: a solution for salt-affected soils in arid and semi-arid regions. *Journal of Arid Land Studies*, 22, 299-302.

