مقاله پژوهشی

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۹، تابستان ۱۴۰۳ (۱۲۵- ۱۰۷)

مطالعه امکان سنجی تثبیت لجن فاضلاب شهری با استفاده از گیاه‌پالایی

(مطالعه موردی: تصفیه خانه فاضلاب شهر کرمانشاه)

بهاره نوروزی [۱]

علی الماسی [۲]

رضا حاجی سید محمد شیرازی [*۳]

r-shirazi@srbiau.ac.ir

مجتبی سلمانی [۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۷ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۱**

چکیده

زمینه و هدف: گیاه پالایی نوعی تکنولوژی بر پایه استفاده از گیاهان است که کم هزینه و با محیط زیست سازگار است. هدف این مطالعه تعیین کارایی گیاهان گوجه فرنگی و پنبه در تثبیت لجن فاضلاب شهری با تاکید بر تثبیت کربن آلی و حذف فلزات سنگین سرب و کادمیوم می باشد.

روش بررسی: در این مطالعه تجربی آزمایشگاهی که در مقیاس پایلوت انجام شد، جهت دستیابی به اهداف تحقیق اقدام به کاشت گیاهان گوجه فرنگی و پنبه در بستر لجن ابگیری شده گردید. عملکرد گیاه پالایی با استفاده از سنجش تغییرات پارامترهای کربن آلی، pH، هدایت الکتریکی و فلزات سنگین سرب و کادمیوم طی مدت ۱۲۰ روز مورد سنجش قرار گرفت.

یافته ها: نتایج حاصل از آنالیزهای آماری نشان داد که پس از گذشت زمان ۱۲۰ روز راندمان تثبیت کربن آلی، حذف سرب و کادمیوم در گوجه فرنگی به ترتیب به میزان ۰/۴ ± ۳۵درصد، ۰/۳ ± ۷۴/۲۹ درصد و ۹۱/۴۲ درصد و در پنبه به ترتیب به میزان ۳/۷ ± ۳۸ درصد، ۳/۲ ± ۵۴/۹۳ درصد و ۰/۳ ± ۹۳/۲ درصد نسبت به کنترل کاهش معنا داری یافت. علاوه بر آن اختلاف میانگین کارایی گیاه پالایی در تیمارهای پنبه و گوجه فرنگی تا زمان ۳۰ روز با یکدیگر معنادار نبود ($p>0/05$).

بحث و نتیجه گیری: نتایج حاصله نشان داد استفاده از گیاه پالایی توسط گوجه فرنگی و پنبه، می تواند بعنوان گزینه ای جهت تثبیت لجن فاضلاب و کاهش آلاینده های فلزات سنگین آن در مقیاس وسیع استفاده گردد.

واژهای کلیدی: تثبیت لجن، گوجه فرنگی، پنبه، سرب، کادمیوم، کربن آلی.

۱- دانشیار گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۴- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

Human and Environment, No. 69, Summer 2024

The feasibility of sludge stabilization of municipal wastewater by phytoremediation (case study: Kermanshah wastewater treatment plant)

Bahareh Nowruzi [1]
Ali Almasi [2]
Reza Haji Seyed Mohammad Shirazi [3*]
r-shirazi@srbiau.ac.ir
Mojtaba Salmany [4]

Admission Date: November 2, 2022 Date Received: August 29, 2022

Abstract

Background and Objective: Phytoremediation is a low-cost and environmentally-friendly technology. The aim of this study was to determine the efficiency of tomato and cotton plants in stabilizing urban sewage sludge with an emphasis on organic carbon, lead and cadmium removal.

Material and Methodology: In this experimental study on pilot scale, in order to achieve the research objectives, we planted Tomato and Cotton plants in a condensed sludge bed. Also, a non-plant bed was considered as control bed. The performance of the phytoremediation was measured by the changes of organic carbon, pH, electrical conductivity and heavy metals of lead and cadmium during 120 days.

Findings: Results of statistical analysis showed that after 120 days, the removal efficiency of organic carbon, lead and cadmium in Tomato were 35 ± 0.4%, 74.29 ± 0.3% and 91.42% respectively and in Cotton were 38 ± 3.7%, 54.93 ± 3.2% and 93.2± 0.3% respectively. The difference in mean efficiency in Tomato and Cotton was not significant until 30 days ($p>0.05$). Moreover, the results of this study showed that the concentration of organic carbon, cadmium and lead in sludge treated with Tomato and Cotton plants was significantly lower than that of control treatment sludge.

Discussion and Conclusions: The results showed that the noted plants have a high ability to stabilize urban sewage sludge and eliminate organic carbon, lead and cadmium. Therefore, this method can be used as an option to stabilize sewage sludge and reduce its organic and inorganic pollutants on a large scale.

Key words: Sludge stabilization, Tomato, Cotton, Lead, Cadmium, Organic carbon.

1- Associate Professor, Department of Biotechnology, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Professor, Department of Environmental health engineering, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *(*Corresponding Author*)
4- Master of Science, Department of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

فاضلاب تقریباً ۹۹/۹ درصد آب و حدود یک دهم درصد مواد جامد در بردارد که بخشی از آن مواد آلی و بخش دیگر مواد معدنی جامد به حالت محلول یا معلق در آب می‌باشند. بوی بد فاضلاب اغلب به علت مواد آلی موجود در آن است. این مواد بیشتر قابل‌تجزیه میکروبی هستند و معمولاً تجزیه بیولوژیکی منجر به تولید بوی نامطبوع می‌شود. علاوه بر مشکل تولید بو، فاضلاب در بردارنده عوامل بیماری‌زا هستند که از نظر آلودگی محیط به‌ویژه منابع آب و خاک، فوق‌العاده اهمیت دارند (۱). فاضلاب با توجه به میزان آلاینده‌های موجود در آن و ترکیب آن‌ها، می‌تواند تهدیدی برای سلامت جامعه و فعالیت‌های مختلف انسانی باشد. دفع ایمن و بی‌خطر لجن فاضلاب یکی از نگرانی‌های مهم محیط زیستی محسوب می‌شود. در حال حاضر فقدان مدیریت اصولی بر لجن‌های دفعی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کشور موجب شده که در بیش‌تر موارد این لجن‌ها به‌صورت خام و تثبیت نشده به محیط راه‌یافته و خسارات زیادی را بر سلامت انسان و منابع محیط زیست وارد نمایند. آلودگی میکروبی و شیمیایی منابع آب، خاک و محصولات کشاورزی و شیوع بیماری‌های انگلی و مسمومیت‌های شیمیایی از عوارض دفع و یا استفاده غیر بهداشتی از فاضلاب خام و یا لجن‌های آن هست (۲).

امروزه به دلیل محدودیت‌های قانونی که در مورد روش‌های سوزاندن و دفن لجن فاضلاب در اراضی و اقیانوس‌ها به وجود آمده است، متخصصین محیط‌زیست برای رهایی از مشکلات ناشی از لجن تولید شده در تصفیه‌خانه‌ها، استفاده از آن را به‌عنوان کود در کشاورزی توصیه می‌کنند. این مواد به دلیل دارا بودن مقادیر قابل توجهی از ترکیبات آلی و مواد مغذی مورد نیاز گیاه می‌توانند به‌عنوان یکی از بهترین و ارزان‌ترین کودهای آلی برای اراضی کشاورزی مطرح باشند (۳). استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان کود در کشاورزی در بسیاری کشورها رایج شده است (۴). به طور مثال در خاک‌های مرکزی ایران که بیشتر تحت تأثیر اقلیم خشک و نیمه‌خشک هستند و کمبود آهن و روی مشاهده می‌شود استفاده از لجن فاضلاب مفید است (۵).

لجن فاضلاب بسته به منبع آن دارای یک سری ویژگی‌های مثبت یا منفی برای خاک است. از ویژگی‌های مثبت لجن می‌توان به بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک (هدایت هیدرولیکی، پایداری خاک‌دانه‌ها، تهویه، رطوبت خاک، تخلخل، ظرفیت نگهداشت آب در خاک)، افزایش عملکرد گیاه به دلیل بهبود قابلیت جذب بسیاری از عناصر غذایی و منبع غذایی مهم برای گیاهان به دلیل دارا بودن نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم اشاره نمود. به همین دلیل کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش عناصر در خاک و پوشش گیاهی می‌گردد و به‌علاوه باعث افزایش مواد آلی در خاک نیز می‌شود (۶).

در این خصوص وجود پتانسیل سمی عواملی از قبیل فلزات سنگین در لجن که مهم‌ترین فاکتور محدودکننده استفاده از آن‌ها هست، نباید از نظر دور بماند (۳، ۷و ۸). بسیاری از محققین کاهش کیفیت و عملکرد محصولات در کاربردهای بالای لجن فاضلاب را به دلیل وجود فلزات سنگین در لجن دانستند. در مطالعه نجات زاده و همکاران در سال ۱۳۹۶ با استفاده از گیاهان لولیوم، تاج خروس وحشی و سورگوم جهت گیاه پالایی خاک های آلوده، غلظت فلزات سنگین جذب شده در ریشه و ساقه درنمونه های برداشت شده تعیین گردید. نتایج این مطالعه نشان داد حداکثر و حداقل میزان غلظت فلزهای به ترتیب به خاک های اطراف مناطق صنعتی و جنگلی مربوط بوده است. طبق نتایج این پژوهش در خاک های قلیایی میزان جذب فلرات در ریشه گیاهان بیشتر از اندام هوایی بوده است (۹).

گیاه‌پالایی نوعی فنّاوری بر پایه استفاده از گیاهان است که کم‌هزینه و با محیط‌زیست سازگار است. روش پالایش خاک‌های آلوده توسط این روش شامل تخریب یا تغییر شکل مواد آلوده‌کننده، غیر متحرک‌سازی آلاینده‌ها برای کاهش تنش زیستی و جداسازی آلوده‌کننده‌ها از محیط است (۱۰، ۱۱). تاکنون برای حذف فلزات سنگین از آب‌های آلوده بسیاری از

انواع گونه‌های گیاهی فرا انباشت، شناسایی و معرفی‌شده است. معیارهای مختلفی برای انتخاب گونه های گیاهی در دستگاه‌های تالابی وجود دارند که به شرح زیر است: الف) سازگاری با شرایط اقلیمی، ب) قابلیت انتقال اکسیژن ، پ) مقاومت در برابر آلاینده‌ها، ت) بالابودن سرعت فتوسنتز، ث) قابلیت جذب آلاینده ها، ج) مقاومت در برابر آفات، چ) سهولت کنترل و برداشت گیاهان (۱۲). در مطالعه پونیدزیالک و همکاران در سال ۲۰۱۰ با عنوان" کارایی گیاه پالایی محصولات کشاورزی درکادمیوم، سرب و روی از خاک" نه نوع غله کلم سفید، هویج، لوبیا، جو، ذرت، یونجه، چغندر قرمز، کاسنی وکدو تنبل مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد در کاهش فلزات توسط گیاهان فوق ذرت و چغندر قرمز می توانند بعنوان اندیکاتور حذف کادمیوم، کلم و کدو تنبل برای حذف سرب و کلم برای روی شناخته شوند (۱۳). در مطالعه ساچکووا و همکاران در سال ۲۰۱۴ با هدف ارزیابی پتانسیل گیاه‌پالایی گیاهان بومی در طی احیای یک منطقه تأثیر گرفته از لجن فاضلاب، غلظت عناصر آهن، نیکل منگنز، مس، روی، سرب و کادمیوم مورد بررسی قرار گرفتند. در مجموع گیاهان بومی مورد مطالعه از توانایی گیاه پالایی بالایی در حذف آلاینده ها برخوردار بودند (۱۴). همچنین در مطالعه سالم و همکاران در سال ۲۰۱۶ ، قابلیت تجمع ۱۸ عنصر فلز سنگین از جمله سرب بر روی گیاه گوجه فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد گیاه فوق به خوبی قادر به کاهش فلزات سنگین از خاک می باشد (۱۵). ضمنا در مطالعه لیو و همکاران در سال ۲۰۱۵ با هدف تعیین کارایی استخراج گیاهی کادمیوم و روی از خاک کشاورزی آلوده به لجن فاضلاب، با استفاده از گیاهان Sedum plumbizincicola و Apiumgra ceolens خصوصیات فوتو شیمیایی خاک بطور مشخص با افزایش تعداد ساقه های گیاه افزایش یافت. تغییر در خصوصیات میکروبی خاک نشان داد که فعالیت آنزیمی خاک و محتوای میکروبی خاک بطور مشخصی تحت تاثیر رشد گیاهان است. مطابق نتایج حاصله با توجه به بیشترین میزان کادمیوم تجمع یافته در گیاهان می توان گفت از گیاهان مزبور میتوان بطور همزمان در تولید محصولات کشاورزی و پاکسازی خاک استفاده نمود (۱۶).

این امر که لجن تصفیه خانه های فاضلاب در برخی موارد و به ویژه در سال های اخیر در زمین های کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد و در تماس مستقیم با محصولات کشاورزی می باشد بسیار شایان توجه است. در حال حاضر یکی از چالش های اساسی و مهم در زمینه محیط زیست، افزایش تدریجی یا تجمع غلظت فلزهای سنگین به سبب عدم تجزیه آنها توسط میکروارگانیسم ها می باشد. این گونه فلزها با توجه به داشتن خواص و اثرهای بالقوه سیتوتوکسیک، کارسینوژنیک و موتاژنیک بر انسان و سایر موجودات زنده، حیات آنها را با خطرهای جدی مواجه ساخته است. لذا بررسی میزان فلزات سنگین در لجن فاضلاب به عنوان یکی از منابع عمده این فلزات که از فرایندهای مختلف تصفیه خانه های فاضلاب حاصل می شود و نیز روش های کاهش آن بسیار ضروری می نماید.

هدف اصلی از این مطالعه بررسی امکان پذیری تثبیت لجن فاضلاب شهری با استفاده از گیاه‌پالایی (مطالعه موردی تصفیه خانه فاضلاب شهر کرمانشاه) است. از آنجاییکه تاکنون مطالعه ای در زمینه عملکرد دو گیاه ی پنبه و گوجه فرنگی در حذف کل کربن آلی، سرب و کادمیوم فاضلاب شهری انجام نشده است، نتایج حاصل از این مطالعه می تواند کمک به سزایی در تصفیه فاضلابهایی با شد که در سال های اخیر در زمین های کشاورزی در تماس مستقیم با محصولات کشاورزی قرار می‌گیرند.

روش بررسی

خصوصیات شهر کرمانشاه و تصفیه خانه فاضلاب

کرمانشاه نهمین شهر پرجمعیت و یکی از کلان‌شهرهای ایران و مرکز استان کرمانشاه در ایران است که دارای جمعیتی بالغ بر ۹۴۷،۰۰۰ نفر در سرشماری سال ۱۳۹۵ و مساحت ۹۳،۳۸۹،۹۵۶ متر مربع است و مهم‌ترین شهر در منطقه مرکزی غرب ایران است. شهر کرمانشاه از شمال به کوه فرخشاد، از شمال غربی به کوه طاق بستان و از جنوب به سفید کوه منتهی می شود که در قسمت مرکزی استان کرمانشاه با موقعیت ۴۷ درجه و ۴ دقیقه شرقی و ۱۹ درجه و ۳۴ دقیقه

شـــمالی قرار دارد و دارای ۲۴۵۰۰ کیلومتر مربع گســـتردگی و ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا است.

تصـــفیه خانه کرمانشـــاه ۷۸ هکتار می باشـــد. فرایند تصـــفیه روش لجن فعال از نوع متعارف می‌باشـــد. یک واحد تلمبه خانه، لجن برگشـــتی و لجن مازاد جمع آوری شـــده از حوض‌های ته نشـــینی ثانویه را که به صـــورت مجرا به این واحد منتقل شـــده است را به چاله مقسم حوض های هـــــوادهی و لجن مازاد را به تاســـیســـات هضـــم لجن انتقال می‌دهد. این تلمبه خانه دارای ۵ واحد پمپ برگشتی هر یک بـه ظرفیت H/M^3 ۳۲۵ و ۳ واحد پمپ لجن مازاد هر یک به ظرفیت H/M^3 ۳۲۵ و تجهیزات جانبی شامل دبی سنج وکلید اتوماتیک و شیرآلات و اتصالات مربوطه می باشد.

خصوصیات لجن فاضلاب شهری

خصوصیات لجن قبل از بهره‌برداری در بستر کشت در آزمایشگاه دانشکده بهداشت (pH و هدایت الکتریکی) و آزمایشگاه جهاد دانشگاهی دانشگاه رازی (فلزات سنگین سرب و کادمیوم، کربن آلی) سنجش شد (جدول۱).

جدول ۱- خصوصیات لجن فاضلاب شهر کرمانشاه

Table 1. Characteristics of Kermanshah sewage sludge

پارامتر	واحد	مقدار
pH (لجن:آب =۲:۱)	-	۷/۵±۰/۰۵
هدایت الکتریکی (لجن:آب =۲:۱)	dS/m	۲/۸±۰/۱۵
کربن آلی	٪	۳۲/۶ ± ۰/۳
سرب (بر مبنای وزن تر لجن)	mg/kg	۵/۴۹±۰/۲۳
کادمیوم (بر مبنای وزن تر لجن)	mg/kg	۲/۱±۰/۱۱

بررسی توانایی گیاه پالایی گیاه گوجه فرنگی و پنبه

این مطالعه به منظور بررسـی توانایی گیاه پالایی گوجه فرنگی و پنبه در تثبیت لجن فاضـــلاب شـــهری انجام شـــد. لجن مورد اسـتفاده از تصـفیه خانه فاضـلاب شـهر کرمانشـاه تهیه گردید. انتخاب گیاه بر اساس رشد، سازگار بودن با محیط آلوده و بومی بودن بود.

به منظور بررســـی توانایی گیاه‌پالایی گوجه فرنگی و پنبه در تثبیت لجن فاضلاب شهری کرمانشاه، ابتدا لجن از تصفیه‌خانه شـــهر کرمانشـــاه برداشـــت گردیده و پس از آبگیری اولیه وارد دستگاه مکانیکی سانتریفیوژ دستی شد و با نیروی گریز از مرکز، آب داخل لجن و جامدات از یکدیگر جدا شدند. در این دستگاه ســـانتریفیوژ یک ســـبد نگهدارنده پارچه فیلتر و تجهیزات تسـهیل‌گر، به‌منظور چرخش سـبد فراهم بود. با چرخش سـبد دوغاب داخل سبد به سمت بیرون سبد در جهت شعاعی هدایت شـــد که در نتیجه مایع دوغاب از پارچه فیلتر عبور کرده و جامدات دوغاب در درون ســـبد روی پارچه فیلتر باقی ماند و کیک فیلتراســـیون را تشـــکیل داد. پس از تغلیظ لجن عملیات انتقال آن به بستر گلدان فراهم شد.

گلدان‌های پلاستیکی به شکل مستطیل (طول ۴۰ سانتیمتر، عرض ۳۰ ســـانتیمتر و عمق ۵۰ ســـانتیمتر) بودند که ۱۰ سانتی‌متر عمق بستر با ماسه پر شد و سپس ۵ سانتیمتر خاک روی آن ریخته شد و در انتها ۳۰ سانتیمتر لجن ابگیری شده به گلدان اضـافه شـد. در انتها در هر گلدان تیمار، اقدام به کاشـت گیاه در لایه لجن ابگیری شـــده در هر گلدان نمودیم. گلدان شاهد نیز بدون گیاه باقی ماند.

تصاویری از مراحل مختلف رشد گیاه در اشکال یک و دو آورده شده است. لازم به توضیح است گیاهان به‌طور منظم به صورت سیکل بسته با آب شهری آبیاری شدند. جهت تعیین مداخله میزان فلزات سنگین موجود در آب شهر در مطالعه، دو نمونه از آب شهری گرفته شد که نتایج آن نشان‌دهنده غیرقابل تشخیص بودن غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در آب بود.

عملیات نمونه‌برداری در طی مراحل رشد گیاه با فواصل زمانی منظم هر ۱۵ روز یک مرتبه به صورت ترکیبی انجام شد. به‌گونه‌ای که ظرف هر ۱۵ روز، از هر بستر سه نمونه در عمق ۵، ۱۵ و ۲۵ سانتیمتری از لجن فاضلاب (نسبت به سطح خاک) برداشت شد و بخوبی با یکدیگر مخلوط گردیدند و تبدیل به یک نمونه شدند. نمونه‌ها در ظروفی از جنس پلی‌اتیلن جهت انجام آزمایش در مجاورت یخ به آزمایشگاه حمل شده و مورد آزمایش قرار گرفت. در مجموع، با توجه به نمونه برداری ۱۵روز یکبار با سه مرتبه تکرار، در هر بستر تعداد ۲۴ نمونه ترکیبی اخذ گردید که با توجه به ۳ بستر مورد مطالعه، تعداد ۷۲ نمونه جمع‌آوری شد.

میزان کارایی گیاه در تثبیت لجن فاضلاب شهری با استفاده از پارامترهای pH، هدایت الکتریکی، کربن آلی، سرب و کادمیوم تعیین گردید. تمامی مراحل آزمایش در دمای محیط راهبری شد. پارامترهای pH و هدایت الکتریکی بلافاصله پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه توسط دستگاه pH متر (Inolab pH 7310P, WTW) اندازه‌گیری شد. سنجش میزان سرب و کادمیوم توسط دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی Trace (AI1200, Aurora, Canada) و کربن آلی با استفاده از روش والکلی - بلک[1] اندازه‌گیری شد (۱۷).

شکل ۱- گیاه گوجه فرنگی در مرحله رشد

Figure 1. Tomato plant in growth stage

شکل ۲- گیاه پنبه در مرحله رشد

Figure 2. Cotton plant in growth stage

سنجش pH و هدایت الکتریکی لجن

جهت انجام آزمایش pH در ابتدا از عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتیمتری لجن نمونه برداشت گردید. مقداری از لجن را در ظرفی ریخته و آب مقطر به نسبت حجمی ۱:۲ به آن اضافه کرده و آن را خوب هم زده تا اینکه لجن کاملاً از آب اشباع شود. سپس پروب pH متر را درون لجن اشباع قرار داده و pH نمونه موردنظر را پس از اینکه عدد pH متر ثابت شد یادداشت نمودیم. هدایت الکتریکی عصاره به‌وسیله‌ی هدایت متر (Inolab pH 7310P, WTW) که از قبل کالیبره شده بود اندازه‌گیری شد.

سنجش کربن آلی خاک

روش مورد استفاده در این مطالعه برای تعیین کربن آلی خاک روش والکلی- بلک(WB) بود که لجن را با اسید سولفوریک غلیظ و بی‌کرومات مجاور کرده و بعد از اتمام واکنش اکسیداسیون و احیاء، باقیمانده بی‌کرومات با فرو آمونیوم سولفات تیتر می‌گردد. در این روش، مقدار ۱۰ میلی‌گرم لجن را در ارلن مایر با حجم ۵۰۰ سی سی ریخته و به آن ده میلی‌لیتر بی‌کرومات پتاسیم یک نرمال اضافه و به‌آرامی تکان می‌دهیم تا ذرات در محلول پراکنده شوند. سپس ۲۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ را خیلی سریع به‌طور مستقیم به محلول اضافه نموده و به آرامی تکان می‌دهیم تا لجن با مواد مخلوط

1- Walkley–Black method

شـــود و به مدت نیم ســـاعت به حال خود باقی بماند. ســـپس دوبـ ست و پنجاه میلی‌لیتر آب مقطر ا ضافه نموده و بعد از سرد شـــدن ده قطره ارتوفنانترولین اضـــافه و با فرو آمونیوم ســـولفات تیتر نمودیم. در نزدیک به انتهای تیتراســـیون رنگ نمونه ســـبز کدر می‌باشـــد که با چند قطره اضـــافی آمونیوم ســـولفات در مجاورت اندیکاتور به رنگ قرمز در می‌آید (۱۸).

تهیه ع صاره لجن برای سنجش تو سط ا سپکتروفتومتر جذب اتمی

ابتدا ۰/۱ گرم از نمونه لجن برای هر تیمار، توزین نموده و پس از خرد شـــدن به لوله‌هایی با برچســـب مشـــخص منتقل گردید. ســـپس به منظور هضـــم نمونه‌ها به هر لوله ۲ ســـی ســـی اســـید نیتریک غلیظ ا ضافه و اجازه داده شد تا به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق باقی بمانند. سپس به آن‌ها ۲ سی سی آب اکسیژنه غلیظ اضـــافه نموده و به مدت ۲۰- ۱۵ دقیقه در بن ماری با حرارت حدود ۹۰ درجه حرارت داده شـــد. پس از شـــفاف شـــدن نمونه‌ها، با ا ستفاده از کاغذ صافی محلول صاف سازی شده و سپس با آب مقطر به حجم ۲۰ سی‌سی رسانیده شد. نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایشـــات در ظروف پلی‌اتیلنی و در دمای یخچال نگهداری گردیدند (۱۹) و در نهایت فلزات ســـنگین نمونه‌ها با اســـتفاده از اســـپکتروفتومتر جذب اتمی (Shimadzu, AA-7000, Japan) سنجش گردید.

تجزیه تحلیل آماری

جهت تجزیه تحلیل نتایج حاصـــل از آزمایش، میزان کارایی گیاهان پنبه و گوجه فرنگی در زمان‌های مختلف کاشـــت گیاه (۱-۱۲۰ روز) محا سبه شد. برای برر سی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف – اســـمیرنوف اســـتفاده شـــد. جهت مقایســـه کارایی گیاه پالایی، بســـتر گیاهان پنبه و گوجه فرنگی هر یک بطور جداگانه با بســـتر شـــاهد توســـط آزمون آماری t-test در ســـطح معناداری ۰/۰۵ ($p<0.05$) مقایســـه گردید. همچنین جهت مقای سه عملکرد بـ سترهای مختلف طی زمان‌های مختلف کشـــت از ۱ تا ۱۲۰ روز از آزمون آنالیز واریانس با اندازه های تکراری ا ستفاده شد. همچنین از نرم‌افزار Excel 2016 جهت رسم نمودارها استفاده گردید.

اندازه‌گیری‌های مکرر عبارتند از اندازه‌گیری‌ها بر روی یک متغیر م شخص برای هر م شاهده در چند و ضعیت مختلف. طرحی که به بررســـی و تحلیل این اندازه‌گیری‌ها می‌پردازد، را طرح‌های اندازه‌گیری مکرر می‌نامند. این طرح حالت تعمیم یافته آزمون مقایسه زوجی می‌باشد، با این تفاوت که بجای مقایسه یک گروه در دو وضـعیت، یک گروه در دو یا چند وضـعیت مورد مقایسـه قرار می‌گیرند. وقتی که اندازه‌گیری‌های یکسانی چند بار بر روی یک آزمودنی یا یک مورد انجام می‌گیرد، برای برر سی و مقایسه میانگین داده‌ها بین این چند بار اندازه‌گیری بایســـتی از آزمون تحلیل واریانس اندازه‌گیری‌های مکرر استفاده شود.

یافته ها

بستر شاهد

در این مطالعه بـ ستر شاهد در و ضعیت بدون کا شت گیاه قرار داده شد. به‌منظور ارزیابی بستر شاهد در طول زمان بهره‌برداری، پارامتر هایpH، هدا یت الکتریکی، کل کربن آلی، ســـرب و کادمیوم ردیابی شـــد (جدول دو). مطابق بررســـی‌های صـــورت گرفته مقادیر کل کربن آلی، ســـرب و کادمیوم پس از گذشـــت ز مان ۱۲۰ روز به ترتیب به ۰/۳۴±۲۶، ۰/۵۲±۵ و ۰/۰۱± ۲ کاهش یافت. هرچند که این کاهش معنادار نبود ($P>0/05$). تغییرات میزانpH و هدایت الکتریکی نیز در طول زمان معنادار نبود. بطوریکه شـــاهد تغییرات جزیی در مقادیر این دو پارامتر فیزیکوشـــیمیایی بودیم ($P>0/05$). همان‌گونه که از جدول دو برمی‌آ ید تغییرات هدا یت الکتریکی لجن به میزان DS/M ۰/۴۶ بود و pH نیز به میزان ۰/۳ تغییر یافت.

جدول ۲- خصوصیات لجن فاضلاب شهری در تیمار شاهد (انحراف معیار ± میانگین)

Table 2. Characteristics of urban sewage sludge in the control treatment (mean ± standard deviation)

زمان، روز	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	کل کربن آلی٪	سرب (بر مبنای وزن تر لجن) mg/kg	کادمیوم (بر مبنای وزن تر لجن) mg/kg
۱	۷/۵±۰/۰۵	۲/۸±۰/۱۵	۳۲/۶± ۰/۳	۵/۴۹۶±۰/۲۳	۲/۱ ±۰/۱۱
۱۵	۷/۵±۰/۰۱	۲/۸۷±۰/۱۵	۳۱/۴± ۰/۳۸	۵/۴۱±۰/۲۱	۲/۱±۰/۱۳
۳۰	۷/۴۶±۰/۰۳	۲/۹۶±۰/۱۵	۳۰/۰۱± ۰/۲۵	۵/۳۵±۰/۳	۲/۰۵±۰/۰۲
۴۵	۷/۴۱±۰/۰۵	۳/۰۱±۰/۱۵	۲۹/۲۹± ۰/۴۱	۵/۲۹±۰/۳۴	۲/۰۸±۰/۰۳
۶۰	۷/۳۸±۰/۱۱	۳/۰۵±۰/۱۵	۲۸/۰۲± ۰/۳۸	۵/۲۱±۰/۱۸	۲/۰۳±۰/۰۷
۷۵	۷/۳۲±۰/۱۲	۳/۱ ±۰/۱۵	۲۷/۹۸± ۰/۱۸	۵/۱۱±۰/۱۵	۲/۰۶±۰/۱
۹۰	۷/۳±۰/۱۶	۳/۱۵±۰/۱۲	۲۶/۷۸ ± ۰/۴۸	۵/۱±۰/۷۸	۲±۰/۱۵
۱۰۵	۷/۲۲±۰/۱۹	۳/۲۱ ±۰/۲۳	۲۶/۵۴ ± ۰/۱۸	۵/۰۳±۰/۶۴	۲/۰۳±۰/۰۷
۱۲۰	۷/۲±۰/۲۱	۳/۲۶±۰/۲۹	۲۶ ± ۰/۳۴	۵±۰/۵۲	۲ ±۰/۰۱

گیاه‌پالایی توسط گیاه گوجه فرنگی و پنبه

تغییرات pH و هدایت الکتریکی

نتایج حاصل از عملکرد گیاه گوجه فرنگی در تثبیت لجن بعد از پایداری در هر مرحله و نیز نمونه شاهد در جدول سه آورده شده است. داده های بدست آمده از این مطالعه نشان داد که میزان pH و هدایت الکتریکی در روز اول بترتیب برابر با ۷/۵ و ۲/۸ dS/m است. میزان pH روند کاهشی داشت و اختلاف آن نسبت به روز اول ۰/۷۱ بود. اختلاف میانگین تغییرات pH در نمونه شاهد با نمونه گیاه پالایی در تمامی روزها بجز روز اول معنادار بود (p<۰/۰۵). میزان هدایت الکتریکی در گیاه گوجه با گذشت زمان افزایش یافت و نسبت به لجن خام در روز اول ۰/۸۵ ds/m افزایش نشان داد. مطابق نتایج حاصله اختلاف میانگین تغییرات هدایت الکتریکی در نمونه شاهد با نمونه گوجه پس از گذشت ۱۵روز معنادار بود (p<۰/۰۵). گیاه پالایی تحت شرایط یکسان از الگوی تغییرات مشخصی در خصوصیات فیزیکو شیمیایی لجن پیروی میکرد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که زمان ماندهای مختلف بر میزان pH و هدایت الکتریکی لجن تاثیر دارد (p<۰/۰۵) به گونه ای که کاهش pH و افزایش هدایت الکتریکی با گذشت زمان معنادار بود.

نتایج حاصل از عملکرد گیاه پنبه بعد از پایداری در هر مرحله در جدول سه آورده شده است. باتوجه به جدول میزان pH در گیاه پنبه روند کاهشی داشت و اختلاف آن نسبت به نمونه روز اول، در پایان زمان ماند ۰/۶۳ است. روند کاهش میزان pH تا روز ۱۲۰ ادامه یافت. میزان هدایت الکتریکی در گیاه گوجه با گذشت زمان از یک روند افزایشی تبعیت نمود و نسبت به لجن خام ds/m ۱/۰۹ افزایش پیدا کرد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که زمان ماندهای مختلف بر میزان pH و هدایت الکتریکی لجن تاثیر دارد (p<۰/۰۵). به گونه ای که کاهش pH و افزایش هدایت الکتریکی با گذشت زمان معنی دار بود. مطابق نتایج حاصله تغییرات هدایت الکتریکی در نمونه شاهد با تغییرات مشاهده شده طی گیاه پالایی توسط پنبه اختلاف معناداری دارد (p<۰/۰۵). مطابق با آزمایشات انجام شده با افزایش زمان رسیدگی میزان pH کاهش یافته و کارایی فرایند افزایش می یابد. مطابق نتایج حاصله تغییرات pH در گروه شاهد با تغییرات در تیمار حاوی گیاه پنبه اختلاف میانگین معناداری دارد (p<۰/۰۵).

جدول ۳- بررسی تغییرات پارامترهای فیزیکو شیمیایی لجن فاضلاب شهری در تیمار پنبه و گوجه فرنگی

Table 3. Investigating changes in physico-chemical parameters of urban sewage sludge in the treatment of cotton and tomato

	گوجه فرنگی		پنبه	
زمان، روز	pH	هدایت الکتریکی(dS/m)	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)
۱	۷/۵ ± ۰/۰۵	۲/۸ ± ۰/۱۵	۷/۵ ± ۰/۰۵	۲/۸ ± ۰/۱۵
۱۵	۷/۴ ± ۰/۳	۲/۹۴ ± ۰/۵۴	۷/۴۸ ± ۰/۴	۲/۸۹ ± ۰/۴۷
۳۰	۷/۳۱ ± ۰/۱	۲/۷۲ ± ۰/۳۸	۷/۴۱ ± ۰/۱	۲/۹۸ ± ۰/۳۴
۴۵	۷/۲۲ ± ۰/۲	۲/۹۸ ± ۰/۲۴	۷/۲۵ ± ۰/۳	۳/۱۲ ± ۰/۱۲
۶۰	۷/۱۴ ±۰ /۴	۳/۱۲ ± ۰/۳۶	۷/۱۸ ± ۰/۲	۳/۲۹ ± ۰/۴۲
۷۵	۷/۰۳ ± ۰/۱	۳/۲۲ ± ۰/۲۸	۷/۰۸ ± ۰/۱	۳/۴۸ ± ۰/۱۱
۹۰	۶/۹۸ ± ۰/۳	۳/۳۵ ± ۰/۴۲	۷/۰۱ ± ۰/۴	۳/۶۷ ± ۰/۷۱
۱۰۵	۶/۸۷ ± ۰/۲	۳/۶۱ ± ۰/۲۸	۶/۹۹ ± ۰/۲	۳/۸۸ ± ۰/۵۵
۱۲۰	۶/۷۹ ± ۰/۴	۳/۶۵ ± ۰/۱۴	۶/۸۷ ± ۰/۳	۳/۸۹ ± ۰/۷۵

تغییرات کربن آلی

راندمان حذف کربن آلی در گیاه پالایی تو سط گوجه با گذ شت زمان رسیدگی روند افزایشی داشته و به ۳۹ درصد رسید. از روز ۷۵ ام روند حذف با شـــیب بیشـــتری افزایش یافت. بطور کلی راندمان حذف کل کربن آلی با گذشـــت زمان بطور معناداری افزایش یافت ($p<۰/۰۵$). همچنین تغییرات راندمان حذف کل کربن آلی در نمونه شاهد با نمونه گیاه پالایی پس از گذشت ۱۵ روز معنادار شد ($p<۰/۰۵$). میزان کربن آلی لجن ۳۲/۶ در صد بود که پس از گذشـــت زمان ۱۵، ۳۰، ۴۵ ،۶۰، ۷۵، ۱۰۵ و ۱۲۰روز بترتیب غلظت آن به میزان ۳۰/۶۴، ۲۹/۹۹، ۲۹/۰۱، ۲۷/۷۱، ۲۳/۱۴، ۲۱/۵۱، ۲۰/۸۶ و ۱۹/۸۸درصـــد کاهش یافت (جدول۴).

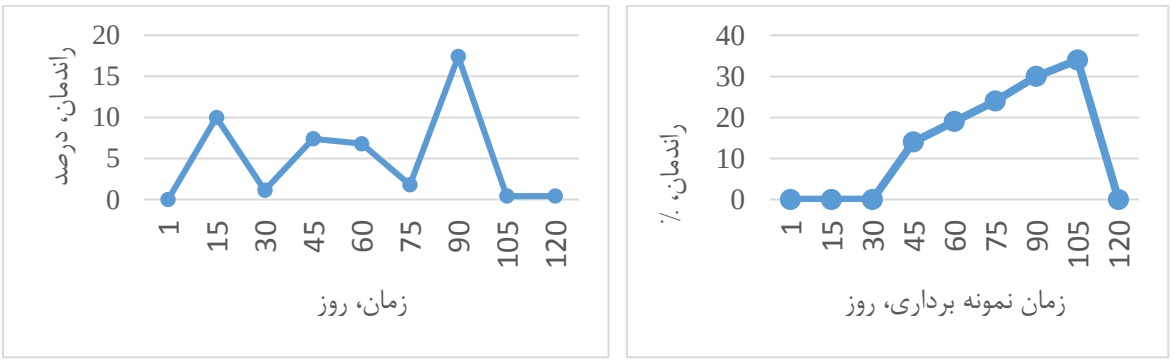
در مطالعه گیاه پالایی پنبه، غلظت کربن آلی در لجن خام برابر ۰/۳ ± ۳۲/۶ در صد به د ست آمد که در ۱۲۰ روز گیاه‌پالایی به ۰/۹۸ ± ۲۱/۲ درصد ر سید (جدول۴). راندمان حذف کربن آلی در گیاه‌پالایی توسط پنبه در طول ۱۲۰ روز روند افزایشی داشت و از ۱/۲ ± ۱۰درصـد در روز ۱۵ به ۳/۷ ± ۳۸ درصـد در روز ۱۲۰ رسـید. راندمان غیر تجمعی حذف کربن طی روزهای ۱۵-۱۲۰ به ترتیب برابر ۱۰/۱، ۱/۱۳، ۷/۴۱، ۶/۸۱، ۱/۷۹، ۱۷/۴۱، ۰/۴۴ و ۰/۴۵ درصـد حاصـل شـد (شـکل سـه). همان‌گونه که مشـــخص اســـت اختلاف راندمان حذف کربن آلی در روزهای مختلف بر اســـاس آزمون آنالیز واریانس معنادار بود ($p<۰/۰۵$). همچنین تغییرات راندمان حذف کربن آلی در بستر لجن شاهد با نمونه در تمامی روزها معنادار بود ($p<۰/۰۵$). بر اسـاس نتایج حاصـــله، روند تثبیت لجن فاضـــلاب شـــهری با توجه به پارامتر کربن آلی مطلوب گزارش گردید.

جدول ۴- تغییرات کربن آلی (انحراف معیار±میانگین) در لجن طی گیاه‌پالایی با تیمار گوجه فرنگی و پنبه

Table 4. Organic carbon changes (standard deviation ± mean) in sludge during phytoremediation with tomato and cotton treatments

	پنبه		گوجه فرنگی	
زمان، روز	غلظت کربن آلی ٪	راندمان تجمعی* ٪	غلظت کربن آلی ٪	راندمان تجمعی* ٪
۱	۳۲/۶ ± ۰/۳	-	۳۲/۶ ± ۰/۳	-
۱۵	۲۹/۳۴ ± ۱/۸	۱۰ ± ۱/۲	۲۹/۶۶ ± ۰/۵	۹ ± ۰/۲
۳۰	۲۹/۰۱ ± ۳/۱	۱۱ ± ۱/۴	۲۹/۰۱ ± ۰/۲	۱۱ ± ۰/۴
۴۵	۲۶/۸۶ ± ۲/۳	۱۷/۶ ± ۱	۲۷/۸۴ ± ۰/۷	۱۴/۶ ± ۰/۱
۶۰	۲۵/۰۳ ± ۳/۴	۲۳/۲ ± ۱/۸	۲۶/۱۷ ±۰/۴	۱۹/۷ ± ۰/۳
۷۵	۲۴/۵۸ ± ۱/۶	۲۴/۶ ± ۲/۵	۲۳/۱۴ ± ۰/۸	۲۴/۶ ± ۰/۵
۹۰	۲۰/۳ ± ۰/۸۹	۳۳/۷ ± ۲/۴	۲۲/۷۵ ± ۰/۳	۳۰/۲ ± ۰/۲
۱۰۵	۲۰/۲۱ ± ۲/۶	۳۷/۹ ± ۱/۸	۲۱/۳۲ ±۰ /۱	۳۴/۶ ± ۰/۱
۱۲۰	۲۱/۲ ± ۰/۹۸	۳۸ ± ۳/۷	۲۱/۱۹ ± ۰/۶	۳۵ ± ۰/۴

*راندمان گیاه پالایی طی مقایسه غلظت آلاینده در زمان های مختلف نمونه برداری با غلظت آلاینده در روز اول



شکل ۳- کارایی (غیر تجمعی) تیمار گوجه فرنگی (سمت راست) و پنبه (سمت چپ) در حذف کربن آلی از لجن فاضلاب شهری طی دوره های مختلف نمونه برداری

Figure 3. Efficiency (non-cumulative) of tomato (right) and cotton (left) treatments in removing organic carbon from municipal sewage sludge during different sampling periods

تغییرات فلزات سنگین

راندمان حذف سرب از لجن مازاد طی گیاه‌پالایی توسط گوجه فرنگی نسبتاً بالا بود به‌طوری‌که در روز ۱۲۰ راندمان کاهش آن نسبت به روز اول به ۰/۳ ± ۷۴/۲۹ رسید (جدول ۵). به طورکلی غلظت سرب با گذشت زمان از ۱ تا ۱۲۰ روز بترتیب به ۰/۲ ± ۵/۴۹، ۰/۴ ± ۵/۲۶، ۰/۶ ± ۵، ۰/۳ ± ۴/۵۱، ۰/۲ ± ۴/۲۷، ۰/۷ ± ۳/۷۴، ۰/۵ ± ۲/۱۲، ۰/۵۴ ± ۱/۸۹ و ۰/۶۲ ± ۱/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش یافت (جدول ۵). روند کاهش غلظت سرب باگذشت زمان معنادار بود ($p<0/05$).

ارزیابی کارایی غیر تجمعی گیاه گوجه فرنگی در حذف سرب نشان داد طی اول تا ۱۲۰ به ترتیب شاهد راندمان حذف سرب به میزان ۳/۷۳، ۵/۰۳، ۹/۷، ۵/۲۹، ۱۲/۴۸، ۴۳/۳۴، ۱۰/۵۱ و ۲۵/۵۱ درصد بودیم (شکل چهار). اختلاف میانگین راندمان

حذف سرب در گیاه شاهد با گیاه گوجه فرنگی در تمامی روزها معنادار بود (p<۰/۰۵).

غلظت کادمیوم نیز در لجن خام mg/Kg ۲/۱±۰/۱۱ بود که در روز ۱۲۰ به ۰/۱۸±۰/۰۳ رسید. راندمان حذف کادمیوم باگذشت زمان معنادار بود (p<۰/۰۵). راندمان غیر تجمعی گیاه گوجه فرنگی در حذف کادمیوم طی روزهای اول تا ۱۲۰ به ترتیب برابر ۳۶/۲۵، ۹/۷۷، ۱۷/۵، ۲۵/۲۵، ۲۹/۷۲، ۳۰/۷۶، ۳۶/۱۱ و ۲۱/۷۳ درصد بود (شکل چهار). اختلاف میانگین غلظت کادمیوم در بستر شاهد با گیاه گوجه فرنگی در تمامی روزها معنادار بود (p<۰/۰۵). درمجموع مطابق نتایج به‌دست‌آمده، روند تثبیت لجن فاضلاب شهری توسط گیاه گوجه فرنگی با توجه به پارامترهای سرب و کادمیوم بسیار مطلوب ارزیابی می‌گردد.

راندمان حذف فلزات سنگین سرب از لجن فاضلاب شهری طی گیاه پالایی توسط پنبه در طول انجام آزمایشات به طور قابل توجهی افزایش پیدا کرد و به ۵۴/۹۳ درصد رسید (جدول ۵ و شکل ۴). در نمونه شاهد روز اول این غلظت mg/Kg ۵/۴۹ بود که در نمونه دارای گیاه پنبه به عدد mg/Kg ۲/۴۷ رسید. مطابق آزمون آنووا مشخص گردید اختلاف میانگین راندمان حذف سرب با توجه به زمان رسیدگی گیاه متفاوت است (p<۰/۰۵). مطابق آزمون آنووا مشخص گردید اختلاف میانگین سرب در تیمار شاهد با نمونه گیاه پنبه معنادار بود (p<۰/۰۵).

مطابق نتایج، میزان سرب (mg/Kg) در مراحل مختلف نمونه برداری از ۱ تا ۱۲۰ روز بترتیب بصورت زیر تغییر یافت: ۰/۲۳ ± ۵/۴۹۶، ۰/۶ ± ۵/۳۱۷، ۰/۳ ± ۵/۰۰۱، ۰/۷ ± ۴/۵۴۱، ۰/۴ ± ۴/۱۱۱، ۰/۸ ± ۳/۴۳۶، ۰/۹ ± ۳/۰۰۳، ۰/۵ ± ۲/۴۹۴ و ۰/۶ ± ۲/۴۷۷. راندمان حذف فلز سنگین کادمیوم از لجن فاضلاب شهری طی گیاه پالایی توسط پنبه بسیار بالا بود و به عدد ۹۳/۲ درصد در انتهای دوره رسید و پنبه پتانسیل بسیار خوبی برای حذف کادمیوم از خود نشان داد. غلظت کادمیوم در لجن خام mg/Kg ۲/۱ ±۰/۱۱ بود اما با گذشت زمان ۱۲۰ روز به mg/Kg ۰/۱۵±۰/۰۴ رسید. راندمان حذف کادمیوم بترتیب در روزهای ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ ، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵ و ۱۲۰ برابر با ۳۲/۳، ۳۷/۲، ۴۰، ۵۴/۲، ۶۸/۶، ۷۵/۴؛ ۸۶/۶ و ۹۳/۲ درصد رسید (p<۰/۰۵).

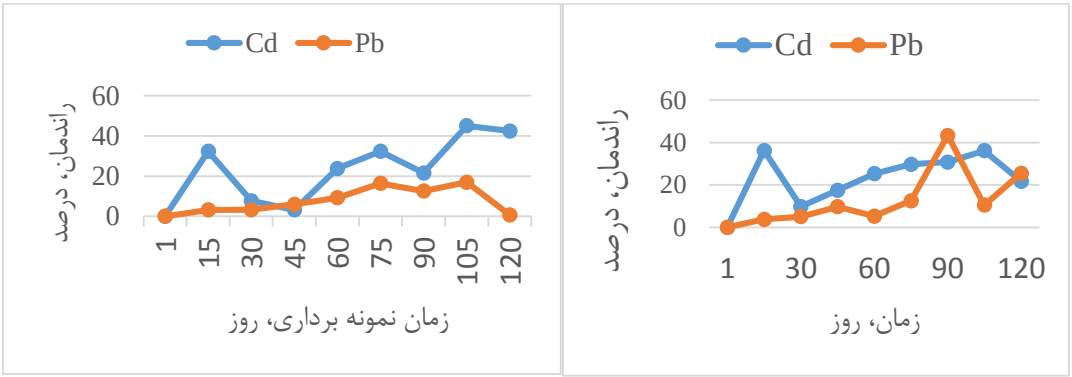
مطابق نتایج، میزان کادمیوم (mg/Kg) در مراحل مختلف نمونه برداری از ۱ تا ۱۲۰ روز بترتیب بصورت زیر تغییر یافت: ۰/۰۹±۱/۴۲، ۰/۲۱±۱/۳۱، ۰/۰۴±۱/۲۶، ۰/۰۱±۰/۹۶، ۰/۰۳±۰/۶۵، ۰/۰۶±۰/۵۱، ۰/۰۵±۰/۲۸ و ۰/۰۴±۰/۱۵. مطابق آزمون آنووا مشخص گردید اختلاف میانگین راندمان حذف کادمیوم با توجه به زمان رسیدگی گیاه متفاوت است (p<۰/۰۵). همچنین اختلاف میانگین غلظت آن در تیمار شاهد با نمونه گیاه پنبه معنادار بود (p<۰/۰۵).

جدول ۵- بررسی کارایی گیاه پنبه و گوجه فرنگی (انحراف معیار±میانگین) در حذف فلزات سنگین از لجن فاضلاب شهری

Table 5. Investigating the effectiveness of cotton and tomato plants (mean ± standard deviation) in removing heavy metals from urban sewage sludge

زمان، روز	پنبه				گوجه فرنگی			
	سرب		کادیوم		سرب		کادیوم	
	غلظت (بر مبنای وزن تر لجن)، mg/kg	راندمان تجمعی*، ٪	غلظت (بر مبنای وزن تر لجن)، mg/kg	راندمان تجمعی*، ٪	غلظت، mg/kg	راندمان تجمعی*، ٪	غلظت، mg/kg	راندمان تجمعی*، ٪
۱	۵/۴۹۶ ± ۰/۲۳	-	۲/۱ ±۰/۱۱	-	۵/۴۹۶ ± ۰/۲۳	-	۲/۱ ±۰/۱۱	-
۱۵	۵/۳۱۷ ± ۰/۶	۳/۲ ± ۰/۹۹	۱/۴۲±۰/۰۹	۳۲/۳ ± ۱/۲	۵/۲۶۵ ± ۰/۴	۴/۲ ± ۰/۲	۱/۳۳±۰/۱۹	۳۶/۲۵ ± ۰/۱
۳۰	۵/۰۰۱ ± ۰/۳	۹ ± ۲/۳	۱/۳۱±۰/۲۱	۳۷/۲ ± ۱/۴	۵ ± ۰/۶	۹ ± ۰/۴	۱/۲±۰/۳۱	۴۲/۵ ± ۰/۳
۴۵	۴/۵۴۱ ± ۰/۷	۱۷/۳ ± ۳/۵	۱/۲۶±۰/۰۴	۴۰ ± ۲/۳	۴/۵۱۵ ± ۰/۳	۱۷/۸ ± ۴/۱	۰/۹۹±۰/۰۵	۵۲/۵ ± ۰/۲
۶۰	۴/۱۱۱ ± ۰/۴	۲۵/۲ ± ۴/۲	۰/۹۶±۰/۰۱	۵۴/۲ ± ۱/۱	۴/۲۷۶ ± ۰/۲	۲۲/۱۹ ± ۲/۳	۰/۷۴±۰/۰۱	۶۴/۳ ± ۰/۵
۷۵	۳/۴۳۶ ± ۰/۸	۳۷/۴۸ ± ۴/۴	۰/۶۵±۰/۰۳	۶۸/۶ ± ۱/۵	۳/۷۴۲ ± ۰/۷	۳۱/۹ ± ۱/۵	۰/۵۲±۰/۰۴	۷۵ ± ۰/۴
۹۰	۳/۰۰۳ ± ۰/۹	۴۵/۳۶ ± ۲/۱	۰/۵۱±۰/۰۶	۷۵/۴ ± ۲/۲	۲/۱۲ ± ۰/۵	۶۱/۴۲ ± ۰/۴	۰/۳۶±۰/۰۳	۸۲/۵ ± ۰/۲
۱۰۵	۲/۴۹۴ ± ۰/۵	۵۴/۶۲ ± ۴/۳	۰/۲۸±۰/۰۵	۸۶/۶ ± ۱/۴	۱/۸۹۷ ± ۰/۵۴	۶۵/۴۸ ± ۰/۱	۰/۲۳±۰/۰۶	۸۸/۷ ± ۰/۹
۱۲۰	۲/۴۷۷ ± ۰/۶	۵۴/۹۳ ± ۳/۲	۰/۱۵±۰/۰۴	۹۳/۲ ± ۰/۳	۱/۴۱۳ ± ۰/۶۲	۷۴/۲۹ ± ۰/۳	۰/۱۸±۰/۰۳	۹۱/۲ ± ۰/۹

*راندمان گیاه پالایی طی مقایسه غلظت آلاینده در زمان های مختلف نمونه برداری با غلظت آلاینده در روز اول



شکل ۴-کارایی (غیر تجمعی) گیاه‌پالایی تیمار گوجه فرنگی (سمت راست) و پنبه (سمت چپ) در حذف فلزات سنگین از لجن فاضلاب شهری طی دوره های مختلف نمونه برداری

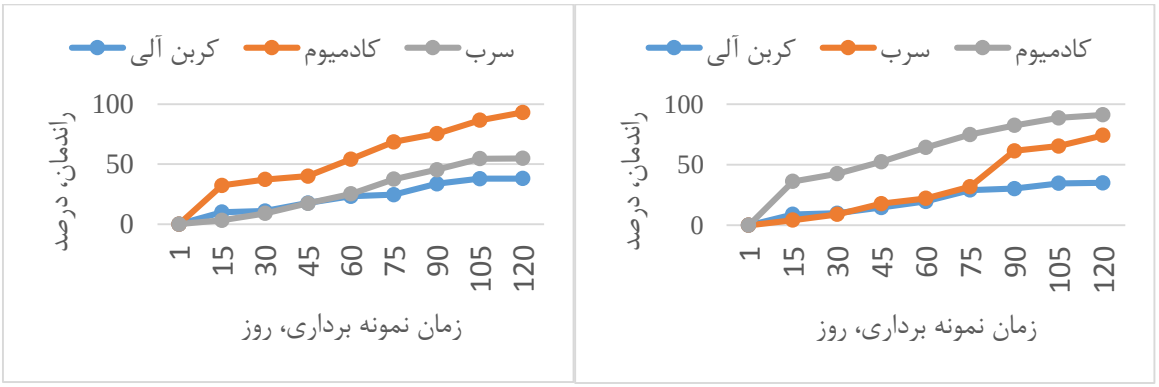
Figure 4. Efficiency (non-cumulative) of the phytoremediation of tomato (right) and cotton (left) treatments in removing heavy metals from urban sewage sludge during different sampling periods

عملکرد کلی گیاه‌پالایی در تیمار گوجه فرنگی

با توجه به نتایج حاصـــله کارایی گیاه گوجه فرنگی در حذف آلاینده‌ها به ترتیب زیر بود: کادمیوم> سرب> کربن آلی. کارایی حذف فلز سنگین سرب کمتر از کادمیوم بود (شکل ۵). با توجه به شکل ۵ کارایی گیاه پنبه در حذف کربن آلی و فلزات سنگین

به ترتیب زیر بود: کادمیوم> ســـرب > کربن آلی (p<۰/۰۵).

کارایی حذف فلز سنگین سرب کمتر از فلز سنگین کادمیوم بود.



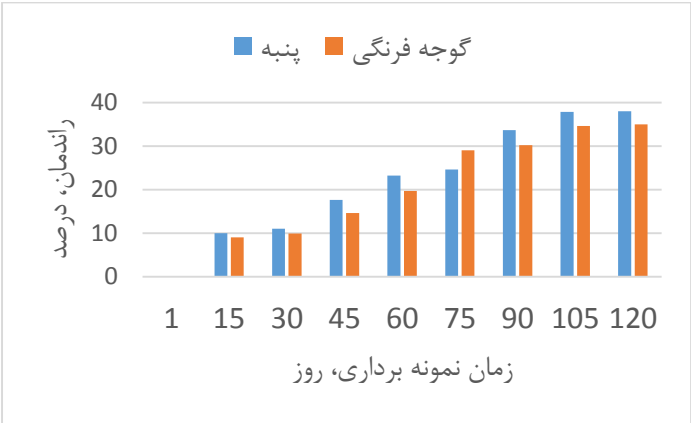
شکل ۵- عملکرد گیاه‌پالایی تیمار گوجه فرنگی (سمت راست) و پنبه (سمت چپ) در تثبیت لجن فاضلاب شهری

Figure 5. Phytoremediation performance of tomato (right) and cotton (left) treatment in urban sewage sludge stabilization

مقایســـه کارایی تیمارهای پنبه و گوجه فرنگی در تثبیت لجن فاضلاب

کربن آلی

راندمان حذف کربن آلی در تیمارهای پنبه و گوجه فرنگی تا زمان ۳۰ روز با یکدیگر معنادار نبود (p>۰/۰۵). بیشـــترین و کمترین میزان کارایی به ترتیب به میزان ۳/۷ ± ۳۸ در تیمار پنبه و ۱/۱ ± ۹ در تیمار گوجه فرنگی حاصل شد (شکل ۶).

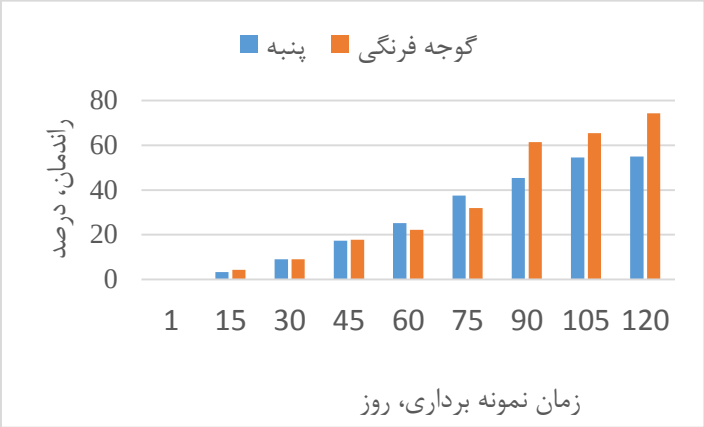


شکل ۶- مقایسه عملکرد گیاهان پنبه و گوجه فرنگی در حذف کربن آلی از لجن فاضلاب شهری

Figure 6. Comparing the performance of cotton and tomato plants in removing organic carbon from urban sewage sludge

سرب

راندمان حذف ســرب در پنبه و گوجه فرنگی از روز ۳۰ به بعد با یکدیگر معنادار بود (p<۰/۰۵). به‌طوری‌که پس از گذ شت ۱۲۰ روز از فرایند تثبیت لجن، بیشـــترین و کمترین میزان حذف ســـرب به ترتیب در تیمارهای گوجه (۰/۳ ± ۷۴/۲۹ ٪) و پنبه (۰/۹۹ ± ۳/۲) مشاهده شد (شکل ۷). درمجموع کارایی تیمار گوجه و پنبه در تثبیت لجن با توجه به حذف ســـرب مطلوب ارزیابی گردید.

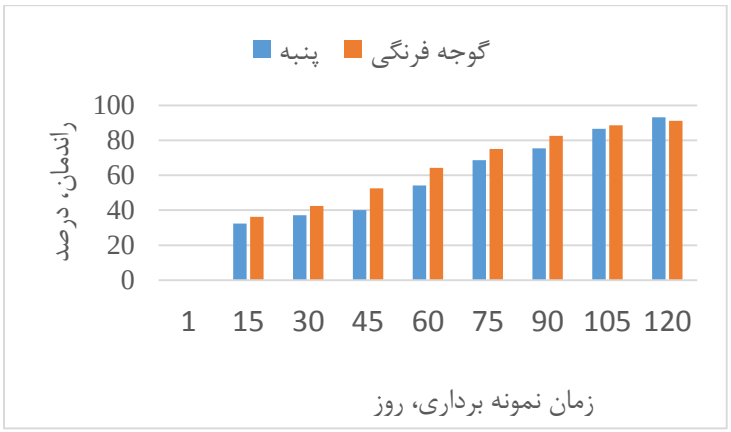


شکل ۷-کارایی گیاهان پنبه و گوجه فرنگی در حذف سرب از لجن فاضلاب شهری

Figure 7. Efficiency of cotton and tomato plants in removing lead from municipal sewage sludge

کادمیوم

اختلاف راندمان حذف کادمیوم در پنبه و گوجه فرنگی با یکدیگر معنادار بود ($p<۰/۰۵$) (شکل ۸). درمجموع کارایی تیمارهای پنبه و گوجه فرنگی در حذف فلز سنگین کادمیوم بسیار مطلوب ارزیابی گردید.



شکل ۸- کارایی گیاهان پنبه و گوجه فرنگی در حذف کادمیوم از لجن فاضلاب شهری

Figure 8. Efficiency of cotton and tomato plants in removing cadmium from municipal sewage sludge

بحث و نتیجه گیری

برای بررسی میزان کاهش یا حذف فلزات سنگین لجن فاضلاب تصفیه‌خانه شهر کرمانشاه، گیاه‌پالایی لجن با استفاده از گیاهان پنبه و گوجه فرنگی به‌صورت تجربی مورد آزمون قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد گیاهان پنبه و گوجه فرنگی در کاهش فلزات سنگین سرب و کادمیوم و تثبیت لجن فاضلاب شهری با مخاطرات کمتر یا فارغ از این مخاطرات مؤثر هست. همان‌طور که از نتایج برمیاید لجن فاضلاب مورداستفاده حاوی حدود ۳۲/۶ درصد کربن آلی می‌باشد. در مطالعه فتح العلومی و همکاران (۲۰) غلظت کربن آلی در لجن فاضلاب شهری ۲۰/۵۴ درصد به دست آمد. همچنین در مطالعه رئیسی و همکاران (۲۱) غلظت کربن آلی لجن فاضلاب شهری ۲۰ درصد به دست آمد. درحالی‌که در مطالعه ساچکووا و همکاران (۱۴) کل کربن لجن فاضلاب به میزان ۳۶ درصد گزارش گردید که نزدیک به مطالعه کنونی است. در مطالعه ناجی راد و همکاران میزان کربن آلی در لجن فاضلاب اکباتان، شوش و شهرک غرب در تهران به ترتیب برابر ۲۶/۳ ، ۲۸/۵ و ۲۶/۶ درصد به دست آمد (۲۲).

تفاوت در میزان مواد آلی مشاهده‌شده در مطالعات دیگران ممکن است ناشی از تفاوت در نوع فرایند تصفیه فاضلاب و نوع لجن باشد (۲۳; ۲۴). پایین بودن کربن آلی لجن مورداستفاده ممکن است به دلیل تداوم برگشت لجن در تصفیه‌خانه و تثبیت در حین فرایند باشد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اثر نوع گیاه و زمان کاشت بر میزان کاهش کربن آلی و تثبیت لجن در سطح احتمال ۵ درصد معنادار است ($p<۰/۰۵$). ظرفیت تثبیت مواد آلی توسط گیاه با افزایش دوره رشد گیاه افزایش یافت که این امر می‌تواند به دلیل توسعه پیکره گیاه، افزایش سطح ریشه و رشد گیاه باشد. تغییرات چشم گیری از آلاینده‌های آلی در بخش‌های مختلف گیاه رشد کرده بر روی لجن گزارش‌شده است (۲۵). مطابق مطالعات گذشته معمولاً گیاهانی که دارای توده زیستی بالاتری باشند، قادرند مقدار بیشتری از آلاینده‌ها را حذف نمایند (۲۶) که نتایج تحقیق حاضر با مطالعات مورد نظر مطابقت دارد زیرا تثبیت کربن آلی در بستر کشت پنبه که زیست‌توده بالاتری داشت تغییرات در جهت تثبیت کربن آلی بیشتر بود. در این راستا می توان بیان کرد که تغییرات نامنظم در حذف فلزات سنگین و میزان مواد آلی توسط گیاه پالایی به این دلیل است که گیاه مورد آزمایش در مراحل اولیه رشد نسبت به افزایش سطوح لجن در خاک حساس بوده ولی به مرور زمان که لجن در خاک باقی می ماند این حساسیت کاهش پیدا می کند و ترمیم رشد گیاه تا حدودی در مراحل پیشرفته رشد انجام می گیرد. همچنین کاهش فلزات توسط گیاه‌پالایی بستگی به غلظت در دسترس فلزات، تراجایی در آوند گیاهی و ذخیره در واکوئل‌های سلولی، جذب در بدنه ظاهری گیاه و فاکتورهای دیگر در این فرایند باشد که این موضوع در مطالعات گوپتا و سینها نیز تایید شده است (۲۷).

طی مطالعه مروری که نیسی و همکاران بر روی گیاه پالایی فلزات سنگین توسط گیاه آفتابگردان انجام دادند نشان دادند که گیاه فوق از کارایی خوبی در حذف مواد آلی برخوردار است. آنان در تحقیق خود نشان دادند که می توان از گیاه پالایی برای کاهش آلاینده های آلی بطور موفقیت آمیزی استفاده نمود که مطابق با نتایج مطالعه کنونی است (۲۸). در مطالعه طاهره رئیسی و همکاران با هدف قابلیت گیاه پالایی گیاه لوبیا در تعدادی از خاک های آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب شهری کربن آلی برابر ۲۰ درصد بدست آمد که با استفاده از گیاه پالایی به میزان قابل توجهی کاهش یافت (۲۱). در مطالعه عبدی و همکاران بررسی تاثیر گیاهان مختلف کود سبز بر میزان ماده آلی خاک مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، گیاهان سورگوم علوفه ای و شبدر سفید به ترتیب به دلیل بیوماس بیشتر و افزایش مواد آلی، بعنوان بهترین کود سبز در بین گیاهان مورد مطالعه معرفی می گردند (۲۹).

در مطالعه کسرایی و همکاران در سال ۱۳۸۹ با عنوان تأثیر لجن فاضلاب مجتمع پتروشیمی تبریز بر رشد گیاه گوجه فرنگی مشخص گردید که این گیاه قادر است حدود ۵ الی ۱۰ تن از این لجن را در خاک درطی یک دوره رشد تحمل نموده و عملکرد مثبتی از نظر تولید میوه و بیوماس اندام های هوائی ایجاد نماید (۳۰). به طورکلی میزان کربن آلی لجن بعد از گیاه‌پالایی گواه تثبیت مطلوب لجن در مطالعه حاضر است.

آلودگی خاک با فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در بسیاری از نقاط جهان هست. تکنولوژی های بسیاری جهت پاک‌سازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین گسترش‌یافته‌اند. در میان این فن‌ها، گیاه‌پالایی به‌عنوان یک روش پاک‌سازی مؤثر و ارزان عرضه‌شده است که در آن جذب و جمع‌آوری آلاینده‌ها در بافت‌های قابل برداشت گیاهی مدنظر هست. پاسخ گیاهان همچنین به فلزات سنگین در سیستم لجن – گیاه طبق مطالعات گذشته در قالب قدرت جذب، انتقال و مقاومت است. در این مطالعه غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در لجن فاضلاب شهری طی گذشت زمان کاهش یافت. رویکرد اخیر نشان داد گیاهان رشد کننده بر روی لجن فاضلاب شهری کرمانشاه، فلزات را در مقادیر بالا جذب و نهایتاً غلظت فلزات را در لجن کاهش می‌دهند. الگوی مشابه کاهش فلزات در گیاهان مختلف بسته به طبیعت و سطح آلاینده توسط دیگران گزارش شده است (۳۱). همان‌طور که در این مطالعه نشان داده

شد توانایی گیاهان برای کاهش فلزات سنگین بسته به نوع فلز و گونه گیاه متفاوت است ($p<۰/۰۵$). حذف فلزات سرب و کادمیوم با افزایش رشد گیاه افزایش یافت ($p<۰/۰۵$). میزان سرب و کادمیوم در لجن فاضلاب شهر تهران در مطالعه ناجی و همکاران به ترتیب ۲۲/۵ و ۴/۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد (۲۲). درحالی‌که مقادیر سرب و کادمیوم در مطالعه رحیمی آلاشتی و همکاران به ترتیب ۴/۹۸ و ۹۸/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد که بیش از مطالعه کنونی است. این تفاوت‌ها ناشی از تفاوت در نوع لجن، فرایند تصفیه فاضلاب، شرایط اقلیمی و... دارد (۳۲). در مطالعه آل آکیل و همکاران در سال ۲۰۱۰ توانایی گیاه‌پالایی نی در حذف فلزات سنگین از فاضلاب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد گیاه نی قادر به حذف مقادیر بالایی از سرب می‌باشد (۳۳). در مطالعه ساچکووا و همکاران در سال ۲۰۱۴ با هدف ارزیابی پتانسیل گیاه‌پالایی گیاهان بومی در طی احیای یک منطقه تأثیر گرفته از لجن فاضلاب، غلظت عناصر آهن، نیکل منگنز، مس، روی، سرب و کادمیوم موردبررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که عناصر موردبررسی به میزان بالایی حذف شدند. در برخی موارد افزایش راندمان حذف ماکرونوترینت ها به میزان حدود ۹۵ درصد نیز حاصل‌شده بود. عناصر جزئی به میران کمتری حذف شدند. درمجموع گیاهان بومی موردمطالعه از توانایی گیاه‌پالایی بالایی در حذف آلاینده ها برخوردار بود ند (۱۴). در مطالعه Frederick و همکاران که بر روی پتانسیل گیاه پالایی گوجه در خاک های کشاورزی انجام دادند تغییرات غلظت فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت. الگوی توزیع نشان دهنده قابلیت گیاه در انباشت غلظت های بالایی از فلزات آهن، نیکل و روی است (۳۴). در حالی که در مطالعه پارسافر و همکاران بر روی بررسی ضریب انتقال کادمیوم، روی، مس و سرب از خاک به گیاه سیب زمینی تحت تأثیر کاربرد فاضلاب، بیشترین و کمترین مقادیر ضریب انتقال عناصر سنگین به ترتیب در تیمارهای فاضلاب خام و آب معمولی دیده شد. هم چنین نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیب فاضلاب با آب معمولی می تواند از میزان اثرات زیان آور از قبیل جذب عناصر سنگین در خاک و انتقال این عناصر به گیاه کاربرد آنها به منظور آبیاری گیاهان خواهد کاست و در دراز مدت می توان از فاضلاب ها بدین صورت به عنوان منابع جدید آب استفاده نمود. زیرا بر اساس نتایج به دست آمده، استفاده از فاضلاب خام می تواند امکان آلودگی منابع خاک را افزایش دهد. هم چنین بر اساس این پژوهش، کادمیوم و سرب به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقادیر ضریب انتقال بودند (۳۵) .اختلاف در نتایج مطالعات گوناگون می تواند ناشی از تفاوت در نوع بستر (خاک، لجن و...)، نوع گیاه، شراط راهبری، شکل آلاینده و.... باشد. بنابر نتایج مطالعه کنونی می‌توان گفت گوجه فرنگی و پنبه به‌عنوان گیاهان کاهش‌دهنده کادمیوم و سرب از لجن فاضلاب می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

نتیجه‌گیری نهایی

در این پژوهش گیاهان گوجه فرنگی و پنبه از قابلیت بالایی در حذف فلزات سنگین به‌ویژه کادمیوم از لجن برخوردار بودند و نقش مهمی در تثبیت لجن با توجه به پارامتر کل کربن آلی ایفا نمودند. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب و کربن آلی در روزهای مختلف وجود دارد. همچنین تفاوت معناداری بین غلظت آلاینده‌ها در بستر شاهد و بستر گیاهان مشاهده شد. راندمان در مجموع کارایی تیمارهای مورد مطالعه در تثبیت لجن با توجه به حذف سرب و کادمیوم مطلوب ارزیابی گردید. در واقع می‌توان نتیجه گرفت که گیاه‌پالایی، فرایندی مقرون به صرفه، سبز و مورد قبول برای تصفیه لجن فاضلاب شهری است و با افزایش مطالعات در این زمینه می‌توان گامی نوین در راستای خدمت به کشور برداشت. تولید کمپوست و متراکم کردن، دو روشی است که برای مدیریت بیومس گیاهان آلوده توسط بسیاری از محققان پیشنهاد شد، اما بهترین روش برای مصرف بیومس های تولید شده توسط گیاه پالایی، تغییر و تبدیل های ترموشیمیایی است که در این روش بیومس به عنوان یک منبع انرژی مصرف تجاری دارد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از آزمایشگاه های دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات و

دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه در همکاری موثر و انجام هماهنگی های لازم در اجرای تحقیق فوق را ابراز می دارند.

References

1. Salgot M, Huertas E, Weber S, Dott W, Hollender J. Wastewater reuse and risk: definition of key objectives. Desalination. 2006;187(1):29-40.
2. Zahedi S, Romero-Güiza M, Icaran P, Yuan Z, Pijuan M. Optimization of free nitrous acid pre-treatment on waste activated sludge. Bioresource technology. 2018;252:216-20.
3. Muchuweti M, Birkett J, Chinyanga E, Zvauya R, Scrimshaw MD, Lester J. Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2006;112(1):41-8.
4. Mantovi P, Baldoni G, Toderi G. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. Water research. 2005;39(2):289-96.
5. Suthar S, Singh S. Feasibility of vermicomposting in biostabilization of sludge from a distillery industry. Science of the total environment. 2008;394(2):237-43.
6. Melin T, Jefferson B, Bixio D, Thoeye C, De Wilde W, De Koning J, et al. Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse. Desalination. 2006;187(1):271-82.
7. Holenda B, Domokos E, Redey A, Fazakas J. Dissolved oxygen control of the activated sludge wastewater treatment process using model predictive control. Computers & Chemical Engineering. 2008;32(6):1270-8.
8. Almasi A, Soleimani H, Mohammadi M, Hossaini H, Falahati MH. Evaluation of anaerobic stabilization pond for removal of pentachlorophenol from wastewater: Response surface methodology. Desalination and Water Treatment. 2018;129:62-8.
9. Nejatzadeh F, Gholami-Borujeni F. Evaluate the efficiency of phytoremediation of Lolium, Amaranth and Sorghum in cleaning up contaminated soil in Urmia area. New Cellularand Molecular Biotechnology Journal. 2017;7(26):81-92.
10. Vamerali T, Bandiera M, Mosca G. Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land. A review. Environmental Chemistry Letters. 2010;8(1):1-17.
11. Tangahu BV, Sheikh Abdullah SR, Basri H, Idris M, Anuar N, Mukhlisin M. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. International Journal of Chemical Engineering. 2011;2011.
12. Afzal M, Yousaf S, Reichenauer TG, Kuffner M, Sessitsch A. Soil type affects plant colonization, activity and catabolic gene expression of inoculated bacterial strains during phytoremediation of diesel. Journal of hazardous materials. 2011;186(2):1568-75.
13. Poniedziałek M, Sękara A, Jędrszczyk E, Ciura J. Phytoremediation efficiency of crop plants in removing cadmium, lead and zinc from soil. Folia Horticulturae. 2010;22(2):25-31.
14. Suchkova N, Tsiripidis I, Alifragkis D, Ganoulis J, Darakas E, Sawidis T. Assessment of hytoremediation

potential of native plants during the reclamation of an area affected by sewage sludge. Ecological engineering. 2014;69:160-9.
15. Salem NM, Albanna LS, Awaad A. Toxic heavy metals accumulation in tomato plant (Solanum lycopersicum). ARPN Journal of Agricultural and Biological Sciences. 2016;11:399-404.
16. Luo K, Ma T, Liu H, Wu L, Ren J, Nai F, et al. Efficiency of repeated phytoextraction of cadmium and zinc from an agricultural soil contaminated with sewage sludge. International journal of phytoremediation. 2015;17(6):575-82.
17. Karami M, Rezainejad Y, Afyuni M, Shariatmadari H. Cumulative and residual effects of sewage sludge on lead and cadmium concentration in soil and wheat. JWSS-Isfahan University of Technology. 2007;11(1):79-95.
18. Bolan N, Baskaran S, Thiagarajan S. An evaluation of the methods of measurement of dissolved organic carbon in soils, manures, sludges, and stream water. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1996;27(13-14):2723-37.
19. Black C, Evans D, White J, Ensminger L, Clark F. Method of soil analysis. Part II. Am Soc Agron, Madison, USA. 1965;1572.
20. Magnago RF, Berselli D, Medeiros P. TREATMENT OF WASTEWATER FROM CAR WASH BY FENTON AND PHOTO-FENTON OXIDATIVE PROCESSES. Journal of Engineering Science and Technology. 2018;13(4):838-50.
21. Raeisi T, Hosseinpur A R. Evaluation of alkaline phosphatase activity and availability of various P fractions for bean (Phaseolus vulgaris) in some calcareous soils amended with municipal sewage sludge. ejgcst. 2014; 5 (2):39-50.
22. Naji Rad S, Ghavidel A, Alikhani HA. The Investigation of Heavy Metal Content and Their Chemical Forms in Tehran Sewage Sludge for Agricultural Application. J.Env. Sci. Tech., 2018; 20 (1): 79-86.
23. Morel J-L, Echevarria G, Goncharova N. Phytoremediation of metal-contaminated soils: Springer Science & Business Media; 2006.
24. Zeng Z, Li T-q, Zhao F-l, He Z-l, Zhao H-p, Yang X-e, et al. Sorption of ammonium and phosphate from aqueous solution by biochar derived from phytoremediation plants. Journal of Zhejiang University Science B. 2013;14(12):1152-61.
25. Andreolli M, Lampis S, Poli M, Gullner G, Biró B, Vallini G. Endophytic Burkholderia fungorum DBT1 can improve phytoremediation efficiency of polycyclic aromatic hydrocarbons. Chemosphere. 2013;92(6):688-94.
26. Hooda V. Phytoremediation of toxic metals from soil and waste water. Journal of Environmental Biology. 2007;28(2):367.
27. Gupta AK, Sinha S. Phytoextraction capacity of the plants growing on tannery sludge dumping sites. Bioresource Technology. 2007;98(9):1788-94.
28. Mohammadi MJ. Phytoremediation of by Helianthus plant. Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences. 2014;2(2):55-65.
29. Abdi s, tajbakhsh m, rasouli sm, abdollahi mb. study the effect of different green manure plants on soil

organic matter and nitrogen in salinity condition. 2012.
30. Kasraei R., Saedi S. Effects of Tabriz petrochemical sewage sludge on tomato growth. 2010.
31. Ali H, Khan E, Sajad MA. Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. Chemosphere. 2013;91(7):869-81.
32. Rahimi AS, Bahmanyar M, Ghajar SM. The effects of sewage sludge application on pH, EC, OC, Pb and Cd in soil and lettuce and radish plants. 2011.
33. Al-Akeel K, Reynolds A, Choudhary A. Phytoremediation of Waterways Using Reed Plants. 2010.
34. Frederick Andal, Ching J. Phytoremediation Potential of Tomato (Lycopersicon Esculentum Mill) in Artificially Contaminated Soils. Presented at the DLSU Research Congress 2014 De La Salle University, Manila, Philippines March 6-8, 2014. 2014.
35. Parsafar N, Safar M. Investigation of Transfer Coefficients of Cd, Zn, Cu and Pb from Soil to Potato Under Wastewater Reuse. J Sci & Technol Agric & Natur Resour, Water and Soil Sci. 2014;17(66):199-210.