

Leaching of Pb by dissolved organic carbon derived from sugarcane bagasse and poultry manure

Afsaneh Ghasemian Sorboni^{*1}, Fardin Sadegh-Zadeh², Mahdi Ghajar Sepanlu³,
Bahi Jalili⁴, Seyed Mostafa Emadi⁵

1. Corresponding Author, Ph.D. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, Sari Agriculture and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: a.gh.sorboni@gmail.com
2. Dept. of Soil Science and Engineering, Sari Agriculture and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: fardin.upm@gmail.com
3. Dept. of Soil Science and Engineering, Sari Agriculture and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: sepanlu@yahoo.com
4. Dept. of Soil Science and Engineering, Sari Agriculture and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: bahi_jalilis@yahoo.com
5. Dept. of Soil Science and Engineering, Sari Agriculture and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: mostafaemadi@gmail.com

Article Info

Article type:

Full Length Research Paper

Article history:

Received: 12.14.2020

Revised: 09.21.2021

Accepted: 09.28.2021

Keywords:

Dissolved organic carbon,
Leaching,
Pb,
Poultry manure,
Sugarcane bagasse

ABSTRACT

Background and Objectives: The leaching is an effective method for the removal of heavy metals using water or any other fluid. However, it is vital to identify the environmentally friendly leaching agent. The effectiveness of this technique depends on several factors. The researchers are looking for substances that have the least harmful impact on the environment. There is no reported study on the effects of dissolved organic carbon extract from poultry manure and sugarcane bagasse on leaching of Pb from contaminated soil. Therefore, the objective of this study was to investigate the leaching of Pb from mine contaminated soil as affected by dissolved organic carbon derived from poultry manure and sugarcane bagasse.

Materials and Methods: In this study, an experiment was conducted to evaluate the efficiency of dissolved organic carbon derived from poultry manure and sugarcane bagasse to remove Pb of contaminated soil. For this purpose, the leaching and batch equilibrium experiments with the ratio of 1:20 (soil: extract) and different concentrations of dissolved organic carbon (50, 100, 200, 400, 800, 1000, 2000 mg/l), pH (4, 6, 7, 8, 10) and time (0.5, 1, 2, 4 hours) were carried out. The best results of soil Pb leaching and batch equilibrium experiments were chosen for the leaching column (continuous and intermittent leaching) experiment. In both of continuous and intermittent leaching experiments, the Pb leaching with two types of extracts was investigated.

Results: The results showed that the application of dissolved organic carbon derived from poultry manure initiated highest Pb leaching from mine contaminated soil in the both of continuous and intermittent leaching experiments. The intermittent leaching, resulted in the highest amount of Pb leaching from the contaminated soil (135.65 mg/kg) compare to continuous leaching experiments. In leaching experiment, the content of Pb leaching by dissolved organic carbon derived from bagasse did not change considerably. In the batch equilibrium experiment, the highest Pb leaching (55 mg/kg) was related to the application of 2000 mg/l dissolved organic carbon derived from poultry manure at pH 8. The amount of Pb leaching with the application of 400 mg/l of dissolved organic carbon derived from sugarcane bagasse at pH 7 was 20 mg/kg.

Conclusion: According to the results, the application of dissolved organic carbon derived from poultry manure removed a significant content of Pb from mine contaminated soil. However, the application of dissolved organic carbon from this type of sugarcane bagasse for Pb leaching was not effective.

Cite this article: Ghasemian Sorboni, Afsaneh, Sadegh-Zadeh, Fardin, Ghajar Sepanlu, Mahdi, Jalili, Bahi, Emadi, Seyed Mostafa. 2022. Leaching of Pb by dissolved organic carbon derived from sugarcane bagasse and poultry manure. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12 (1), 141-158.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.18623.1998

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



آبشویی سرب از خاک آلوده توسط کربن آلی محلول استخراج شده از باگاس نیشکر و کود مرغی

افسانه قاسمیان سوربنی^{۱*}، فردین صادق زاده^۲، مهدی قاجار سپانلو^۳، بهی جلیلی^۴، سید مصطفی عمادی^۵

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: a.gh.sorboni@gmail.com
۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: fardin.upm@gmail.com
۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: sepanlu@yahoo.com
۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: bahi_jalilis@yahoo.com
۵. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: mostafaemadi@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: آبشویی خاک تکنیکی مؤثر جهت خروج فلزهای سنگین با استفاده از آب یا هر سیال دیگر است ولی باید توجه کرد که شناسایی عامل آبشویی سازگار با محیط زیست اهمیت بسیار بالایی دارد. کارایی این تکنیک به عوامل متعددی مربوط می شود اما پژوهشگران به دنبال موادی هستند که کمترین تأثیر مخرب را بر محیط زیست داشته باشد. با توجه به این که تاکنون پژوهشی روی اثر کربن آلی محلول استخراج شده از کود مرغی و باگاس نیشکر بر آبشویی سرب از خاک آلوده گزارش نشده است، هدف از این پژوهش بررسی آبشویی سرب از خاک آلوده توسط کربن آلی محلول استخراج شده از باگاس نیشکر و کود مرغی بود.
واژه های کلیدی: آبشویی، باگاس نیشکر، سرب، کربن آلی محلول، کود مرغی	مواد و روش ها: در این پژوهش آزمایشی جهت بررسی کارایی کربن آلی محلول استخراج شده از کود مرغی و باگاس نیشکر جهت خروج سرب از خاک آلوده معدن در نظر گرفته شد. بدین منظور آزمایش آبشویی گسسته و تعادلی به نسبت ۱:۲۰ (خاک : عصاره) در غلظت های مختلف کربن آلی محلول (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر)، pH (۴، ۶، ۷، ۸، ۱۰) و زمان (۰/۵، ۱، ۲، ۴ ساعت) انجام شد. بهترین نتایج آبشویی سرب خاک حاصل از آزمایش گسسته و تعادلی به ستون آبشویی (آبشویی پیوسته و غیر تعادلی) منتقل شد و با دو نوع آبشویی به صورت متوالی و متناوب در ستون خاک بررسی شد. در هر دو نوع آبشویی متناوب و متوالی میزان خروج سرب خاک آلوده در دو عصاره کود مرغی و عصاره باگاس نیشکر بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد، کاربرد عصاره کود مرغی در رژیم متناوب آزمایش پیوسته غیرتعادلی، موجب خروج بالاترین میزان سرب از خاک آلوده (۱۳۵/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) شد. در این آزمایش میزان خروج سرب توسط کربن آلی محلول ناشی از عصاره باگاس به دلیل ماهیت گروه‌های عاملی عصاره در تثبیت سرب تغییر زیادی نداشت. در آزمایش گسسته تعادلی، بیش‌ترین سرب خروجی (۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به کاربرد غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربن آلی محلول ناشی از عصاره کود مرغی در pH برابر ۸ بود. میزان سرب خروجی با کاربرد ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربن آلی محلول ناشی از عصاره باگاس نیشکر در pH برابر ۷ به میزان ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

نتیجه‌گیری: استفاده از کربن آلی محلول عصاره کود مرغی با توجه به ماهیت گروه‌های عاملی آن، میزان قابل توجهی از سرب خاک آلوده مدنظر را خارج کرد اما استفاده از این نوع باگاس نیشکر در آبشویی سرب در غلظت‌های مختلف کارایی چندانی نداشت.

استناد: قاسمیان سوربني، افسانه، صادق‌زاده، فردین، قاجار سپانلو، مهدی، جلیلی، بهی، عمادی، سید مصطفی (۱۴۰۱). آبشویی سرب از خاک آلوده توسط کربن آلی محلول استخراج شده از باگاس نیشکر و کود مرغی. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۲ (۱)، ۱۵۸-۱۴۱.

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.18623.1998



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

معدن‌کاوی و معدن‌کاری از صنعتی‌ترین بخش‌های تجارت امروز دنیا است که به‌تبع، اثرات خود را بر طبیعت وارد می‌کند. در اثر فعالیت‌های معدن‌کاری، رهاسازی باطله‌ها، آلودگی ناشی از برداشت ماده معدنی، آلودگی ناشی از فراوری محصول، ضعف آموزش و آگاهی زیست‌محیطی پرسنل معدن، خاک اطراف معدن آلوده می‌گردد. گسترش سریع این صنعت منجر به ورود و انباشت فلزهای سنگین در خاک‌ها شده است. اغلب فلزهای سنگین، برخلاف آلاینده‌های آلی، تجزیه بیولوژیکی یا شیمیایی نمی‌شوند و بنابراین در خاک ماندگار هستند (۱). نتیجه مستقیم حضور فلزهای سنگین در خاک، تهدید اکولوژیکی گیاهان و سایر جانداران در خاک‌های آلوده و در پی آن تهدید سلامت انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی است (۲).

سرب از جمله فلزهای سنگین است که به دلیل سمیت زیاد و تمایل به تجمع در بافت‌های موجودات زنده، در صورت ورود به سیستم بدن انسان، به دستگاه گوارش، قلب و سیستم عصبی تأثیر مضر می‌گذارد (۳). پیامدهای انباشت سرب در محیط زیست نگران‌کننده است و با توجه به این‌که میزان سرب در خاک غیرآلوده به طور میانگین ۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۴) بنابراین اصلاح خاک آلوده به سرب ضروری است. با توجه به عدم تخریب‌پذیری شیمیایی یا بیولوژیکی سرب، می‌توان از تکنیک ناپویاسازی^۱ یا پویاسازی^۲ آن برای اصلاح خاک‌های آلوده استفاده کرد. پویاسازی شامل شستن خاک آلوده با سیالاتی جهت خروج آلاینده‌ها از خاک است. آبشویی خاک آلوده تکنیکی جهت خروج فلزهای سنگین با استفاده از آب یا هر سیال دیگر می‌باشد. از

محاسن این روش آن است که برای ترکیبات مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کارایی این تکنیک به بافت و کانی‌شناسی و نفوذپذیری خاک بستگی دارد (۵). عامل‌های آبشویی متداول شامل آب یا آب به همراه مواد اصلاحی (۶)، اسیدهای آلی و معدنی (۷)، محلول نمک‌های آمونیومی (۸)، عامل کلات‌کننده (۹) و سورفکتانت (۱۰) هستند. ماکینو و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای به بررسی میزان کادمیوم (Cd) خاک شالیزار بعد از آبشویی با استفاده از کلرید کلسیم ۰/۱ مول بر لیتر پرداختند. نتایج آنان نشان داد که شستشو تأثیری بر رشد برنج نداشته ولی میانگین غلظت کادمیوم (Cd) موجود در دانه برنج و میزان کادمیوم (Cd) کل خاک کاهش یافته است (۱۱). در پژوهشی دیگر، بررسی کاربرد اسیدهای مختلف آلی و معدنی در خاکی که به‌طور مصنوعی در آزمایشگاه به آرسنیک آلوده شده بود، بیانگر کارایی این مواد در آبشویی آرسنیک بود به‌طوری‌که اسید فسفریک در غلظت ۹/۴ درصد در ۶ ساعت توانست ۹۹/۹ درصد آرسنیک را از خاک خارج کند (۱۲). مون و همکاران (۲۰۱۲)، نیز در مطالعه‌ای به ارزیابی آبشویی روی (Zn) در خاک آلوده توسط محلول‌های مختلف پرداختند. نتایج بیانگر این بود که میزان روی خاک با استفاده از اسید کلریدریک ۵۶ درصد به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته است (۱۳). مطالعات زیادی نیز نشان‌دهنده اثرات مؤثر کاربرد EDTA در حذف فلزهای سنگین از خاک آلوده می‌باشند. حیدری و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی به حذف فلزهای سنگین از خاک آلوده با استفاده از EDTA به روش ستونی پرداختند (۱۴). پوسیچا و لستان (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که کاربرد EDTA به همراه اصلاح‌کننده‌های آلی و غیرآلی میزان عناصر سنگین خاک و گیاه را کاهش داده است (۱۵). کاربرد Na₂EDTA همراه با اسیدهای آلی و معدنی موجب آبشویی آرسنیک و

1- Immobilization
2- Mobilization

در استان مازندران با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی جمع‌آوری شد. نمونه خاک پس از هوا خشک کردن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و در کیسه نایلونی جهت انجام آزمایش‌های لازم نگهداری شد. اسیدپتته فعال گل اشباع خاک با روش مک لین (۲۲)، ماده آلی خاک با روش والکی بلک (۲۳) و بافت خاک نیز به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد (۲۴). سرب و سایر عناصر سنگین قابل جذب خاک با روش دی اتیلن تری آمین پتتا استیک اسید (DTPA) (۲۵) عصاره‌گیری و سرب موجود در عصاره توسط دستگاه ICP اندازه‌گیری گردید.

تهیه عصاره باگاس نیشکر و کود مرغی

عصاره باگاس نیشکر: باگاس نیشکر تهیه شده از مزارع بهنمیر مازندران را در آون در دمای °C ۶۰ به مدت ۲۴ ساعت خشک نموده، پس از آسیاب نمودن از الک ۰/۵ عبور داده و ۲۰۰ گرم از پودرهای به دست آمده را در یک لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در جای تاریک قرار داده و به تناوب با همزن دستی همزده شد و بعد از گذشت زمان مورد نظر توسط کاغذ صافی فیلتر کرده و عصاره باگاس نیشکر در ظرف شیشه‌ای در یخچال نگهداری گردید. جهت آماده‌سازی عصاره کود مرغی نیز تمام مراحل مشابه باگاس نیشکر صورت پذیرفت (۲۶).

کربن آلی محلول: برای تعیین کربن آلی محلول عصاره باگاس و کود مرغی از روش والکی بلک استفاده شد (۲۷، ۲۸ و ۲۹).

۵ میلی‌لیتر از عصاره برداشته شد و به ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتر منتقل و سپس ۱۰ میلی‌لیتر بی‌کرومات پتاسیم IN و ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ به آن اضافه شد. پس از چند دقیقه ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر، ۸

کادمیوم خاک آلوده معدن شده است (۱۶). البته باید توجه داشت که استفاده از EDTA در محیط‌زیست به دلیل هزینه بالا و تجزیه ناپذیری می‌تواند سبب ایجاد مشکلاتی شود. هینک و همکاران (۱۹۹۷) در آزمایشی به ارزیابی تجزیه‌پذیری EDTA و DTPA پرداختند. نتایج آنان نشان داد که هر دو عامل کلات‌کننده فلزهای سنگین خاک در شرایط هوازی در برابر تجزیه مقاومت می‌کنند یا تحت تجزیه بیولوژیکی آهسته قرار می‌گیرند (۱۷). نتایج روسک و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان می‌دهد که اسیدهای قوی و سورفکتانت‌ها نیز بر فعالیت میکروبی خاک تأثیر منفی می‌گذارند (۱۸). در نتیجه باید به دنبال ماده‌ای برای آبتوبی عناصر آلاینده باشیم که اثرات منفی زیست محیط کم‌تری داشته باشد.

مواد آلی محلول از جمله موادی است که می‌تواند با جذب سطحی (۱۹) و تشکیل کمپلکس با فلزهای سنگین جذب این عناصر روی خاک را کاهش دهد (۲۰). با توجه به این که کربن آلی محلول مهم‌ترین بخش ماده آلی محلول است، بنابراین در این مطالعه از کربن آلی محلول حاصل از عصاره باگاس و عصاره کود مرغی جهت آبتوبی خاک آلوده استفاده شد. با توجه به مطالعات اولیه بر خاک معدن پاجی میانا واقع در استان مازندران و بالا بودن غلظت سرب قابل‌استخراج خاک (۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) با روش دی اتیلن تری آمین پتتا استیک اسید (DTPA) (۲۱)، هدف از این مطالعه بررسی میزان کاهش سرب در خاک‌های آلوده معدن پاجی میانا با نگاه ویژه به تکنیک آبتوبی با استفاده از غلظت‌های مختلف کربن آلی محلول عصاره باگاس نیشکر و کود مرغی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از خاک: خاک آلوده به سرب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری اطراف معدن سرب پاجی میانا واقع

اثر pH: عصاره باگاس نیشکر در غلظت بهینه ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و عصاره کود مرغی در غلظت بهینه ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به خاک در تیوپ‌های پلی‌اتیلنی ۵۰ میلی‌لیتری افزوده شد و میزان سرب عصاره‌ها در pHهای ۴، ۶، ۷، ۸، ۱۰ (تنظیم pH با استفاده از HCl و NH₄OH) و شیک در زمان یک ساعت با سرعت ۱۵۰ rpm و سانتریفیوژ کردن عصاره مورد ارزیابی قرار گرفت.

اثر زمان: عصاره باگاس نیشکر در غلظت بهینه ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH=۷ و عصاره کود مرغی در غلظت بهینه ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH=۸ در تیوپ‌های پلی‌اتیلنی ۵۰ میلی‌لیتری در زمان‌های ۰/۵، ۱، ۲، ۴ ساعت با سرعت ۱۵۰ rpm شیک شد و پس از سانتریفیوژ کردن عصاره‌ها آماده قرائت سرب گردید.

آبشویی پیوسته و غیرتعادلی: برای انجام آزمایش ستونی، ۲۰۰ گرم از خاک آلوده معدن در یک لوله PVC به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر ۴ سانتی‌متر ریخته شد. انتهای ستون برای نگهداری خاک توسط سه لایه کاغذ صافی و توری مسدود شد. بهترین غلظت کربن آلی محلول عصاره‌ها در کاهش سرب خاک در آزمایش گسسته و تعادلی به دو صورت به ستون خاک افزوده شد. ابتدا ۱۰۰۰ میلی‌لیتر از عصاره‌ها به صورت متوالی به ستون اضافه شد، زه‌آب حاصل از آزمایش در ظرف پلاستیکی جمع‌آوری شد و میزان سرب موجود در آن قرائت شد. در روش دوم در هر مرحله ۲۰۰ میلی‌لیتر از عصاره‌ها به صورت متناوب هر دو روز یکبار به ستون اضافه شد. پس از جمع‌آوری زه‌آب سرب عصاره‌ها در این روش نیز با دستگاه ICP قرائت شد.

تغییرات شکل‌های مختلف سرب در آبشویی پیوسته: شکل‌های مختلف سرب خاک قبل و بعد از

قطره معرف ارتوفناترولین فرو به محلول افزوده و با محلول ۰/۵ نرمال فروس‌آمونیم سولفات تیترا شد. نمونه شاهد بدون عصاره اندازه‌گیری شد.

اسیدیته عصاره‌ها با دستگاه pH متر (JENWAY 3520, IBI, 2015) و هدایت الکتریکی آنها توسط دستگاه EC متر (JENWAY 4510, IBI, 2015) قرائت شد. برای تعیین ساختار و شناسایی ترکیبات آلی عصاره‌ها از دستگاه طیف سنج FTIR (Agilent, Cary 630) استفاده شد.

آبشویی گسسته و تعادلی: آبشویی تعادلی برای دو عصاره باگاس نیشکر و کود مرغی در شرایط مختلف آبشویی شامل غلظت‌های مختلف کربن آلی محلول، pHهای مختلف و زمان آبشویی متفاوت انجام گردید. تمام آزمایش‌های آبشویی در تیوپ‌های پلی‌اتیلنی ۵۰ میلی‌لیتری، با ۲ گرم خاک و ۴۰ میلی‌لیتر عصاره مورد آزمایش به نسبت ۲۰:۱ جامد به مایع (خاک و عصاره باگاس/کود مرغی) صورت پذیرفت. نمونه‌ها بعد از حرکت دورانی با سرعت ۱۵۰ rpm در مدت زمان مشخص در دمای اتاق (۲۵ °C) به مدت ده دقیقه با دور ۴۰۰۰ برای جدایی فاز جامد و مایع سانتریفیوژ شد. غلظت سرب عصاره‌های صاف شده توسط دستگاه ICP آزمایشگاه مرکزی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری اندازه‌گیری گردید. تمام آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد.

اثر غلظت: پس از تعیین میزان کربن آلی محلول عصاره‌ها، محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) تهیه شد سپس عصاره‌ها به تیوپ‌های پلی‌اتیلنی ۵۰ میلی‌لیتر حاوی خاک منتقل شد. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۲۵ °C با سرعت ۱۵۰ rpm شیک شد. سپس محلول‌ها صاف و جهت قرائت سرب سانتریفیوژ شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک: برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این آزمایش در جدول ۱ آمده است. با توجه به این جدول شن ۵۶٪، سیلت ۳۰٪، رس ۱۴٪ و بافت خاک لوم شنی بوده است، pH خاک قلیایی، میزان سرب قابل جذب آن ۲۸۸/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. میزان سرب کل نیز حدود ۲۴۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که با توجه به میزان سرب کل در خاک غیرآلوده که ۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم (۳۱) می‌باشد و میزان بالای شکل قابل جذب و کل سرب در این آزمایش، بنابراین خاک آلوده بوده و نیاز به اصلاح دارد (۳۲).

آبشویی پیوسته در ستون آبشویی (بهترین تیمار در کاهش سرب خاک) با روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹)، اندازه‌گیری شد (۳۰). در روش استخراج متوالی به این روش، میزان سرب در ۵ شکل قابل تبادل، کربناتی، فرم اکسیدهای آهن و منگنز، آلی و باقی‌مانده ارزیابی شد.

آنالیز تحلیل آماری: داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه توسط نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد. برای تعیین معناداری میزان سرب در عصاره‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد ($P < 0/05$). جهت رسم نمودارها و شکل‌ها، از نرم‌افزار Excel و origin 2017 استفاده شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه.

Table 1. Selected physical and chemical characteristics of the studied soil.

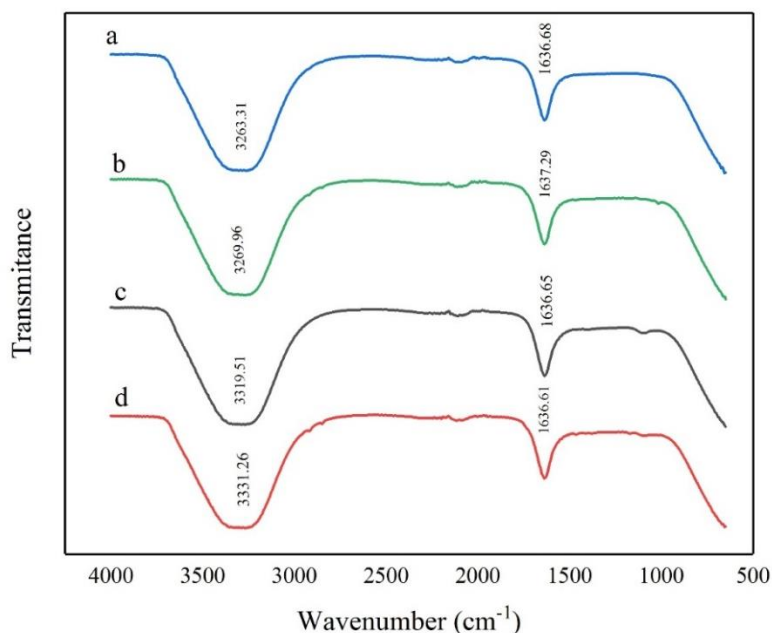
شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	مس قابل جذب (mg/kg)	منگنز قابل جذب (mg/kg)	کادمیوم قابل جذب (mg/kg)	آهن قابل جذب (mg/kg)	سرب قابل جذب (mg/kg)	ماده آلی (%)	EC (dS/m)	pH
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Copper (mg/kg)	Manganese (mg/kg)	Cadmium (mg/kg)	Iron (mg/kg)	Lead (mg/kg)	Organic matter (%)		
56	30	14	1.69	3.09	1.91	5.19	288.11	0.64	0.556	7.76

خاک آلوده معدن Mine Contaminated Soil

فلزی می‌باشد (۳۳). تغییرات طیف‌های هر دو عصاره قبل و بعد از آبشویی بیانگر واکنش‌هایی بین گروه‌های عاملی عصاره‌ها و یون‌های فلزی خاک می‌باشد. وجود پیک در $3263/31 \text{ cm}^{-1}$ در عصاره باگاس و پیک در $3319/51 \text{ cm}^{-1}$ در عصاره کود مرغی نمایانگر گروه هیدروکسیل (-OH) می‌باشد (۳۴، ۳۵) که پس از جذب سرب به ترتیب به پیک $3269/96 \text{ cm}^{-1}$ و 1636 cm^{-1} تغییر یافت. پیک 1636 cm^{-1} نشان‌دهنده کشش نامتقارن پیوند دوگانه (C=O) در گروه کربوکسیل می‌باشد (۳۶، ۳۷)، که در عصاره

خصوصیات شیمیایی باگاس و کود مرغی: با توجه به نتایج مشاهده شد که عصاره باگاس اسیدی ($\text{pH}=4/8$) و عصاره کود مرغی قلیایی ($\text{pH}=8/7$) بوده است. مقدار کربن آلی محلول عصاره باگاس تقریباً دو برابر عصاره کود مرغی بود (به ترتیب ۰/۷، ۰/۳۳ درصد). آنالیز گروه‌های عاملی نیز بیانگر طیف‌های مختلف در عصاره باگاس نیشکر و کود مرغی قبل و بعد از ورود به خاک آلوده بوده است (شکل ۱). این گروه‌های عاملی در ترکیبات شیمیایی آلی بیانگر وجود نقاط فعال برای جذب یون‌های

باگاس این پیک بعد از جذب سرب به $1637/29 \text{ cm}^{-1}$ تغییر کرد. حضور گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل به دلیل دارا بودن بار سطحی می‌تواند علت جذب سرب از خاک آلوده توسط عصاره‌های باگاس و کود مرغی باشد.



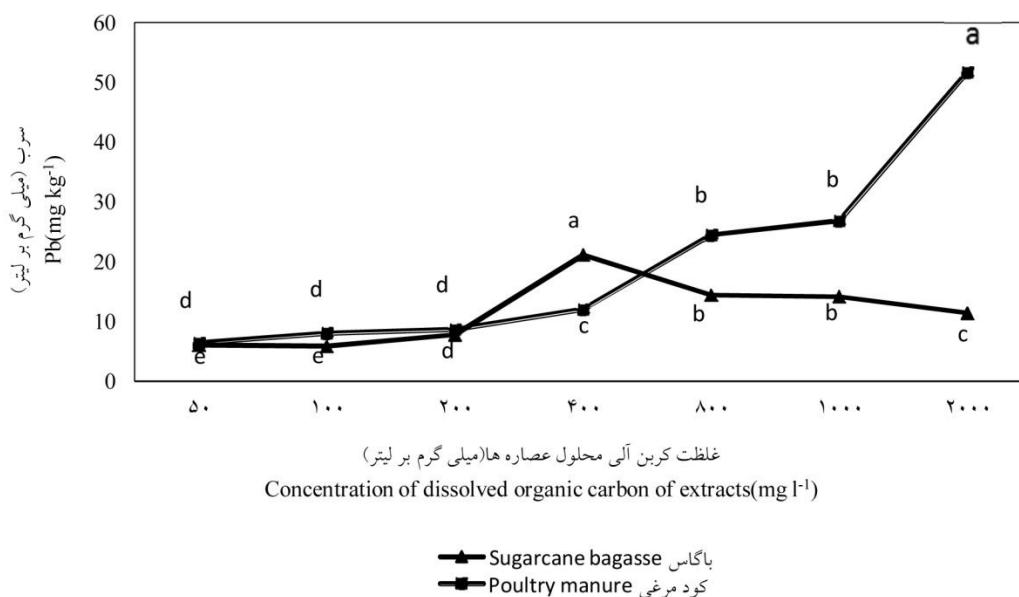
شکل ۱- طیف‌های FTIR دو نوع عامل آبشویی قبل و بعد از آبشویی a: عصاره باگاس قبل از جذب سرب، b: عصاره باگاس بعد از جذب سرب، c: عصاره کود مرغی قبل از جذب سرب، d: عصاره کود مرغی بعد از جذب سرب.

Figure 1. FTIR spectra of two types of leaching agents before and after leaching a: bagasse extract before Pb adsorption, b: bagasse extract after Pb adsorption, c: poultry manure extract before Pb adsorption, d: poultry manure extract after Pb adsorption.

کربن آلی محلول از ۵۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، افزایش یافت (شکل ۲). نتایج بیانگر این است که عصاره کود مرغی به دلیل دارا بودن گروه‌های عاملی مانند هیدروکسیل و کربوکسیل، توانسته با سرب قابل‌جذب خاک تشکیل کمپلکس داده و آن را از خاک آلوده خارج نماید (۳۹). بنابراین با افزایش غلظت کربن آلی محلول کود مرغی احتمال پیوند با سرب نیز افزایش یافته و سرب بیش‌تری آبشویی شد.

آبشویی گسسته و تعادلی سرب

اثر غلظت‌های مختلف کربن آلی محلول عصاره: غلظت یکی از عوامل مؤثر در آبشویی است، افزایش مقدار ماده و غلظت در محیط واکنش یک عامل تأثیرگذار است (۳۸)، بنابراین اثر غلظت‌های مختلف کربن آلی محلول عصاره‌های باگاس و کود مرغی برای بررسی میزان خروج سرب در دسترس از خاک آلوده مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان سرب در عصاره کود مرغی با افزایش غلظت



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف کربن آلی محلول عصاره باگاس و کود مرغی بر میزان سرب خروجی، حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن تفاوت معناداری ندارند.

Figure 2. Effect of different concentrations of organic carbon in bagasse extract and poultry manure on the amount of Pb leaching, the same letters are not significantly different according to Duncan's multi-domain test at $P \leq 0.05$.

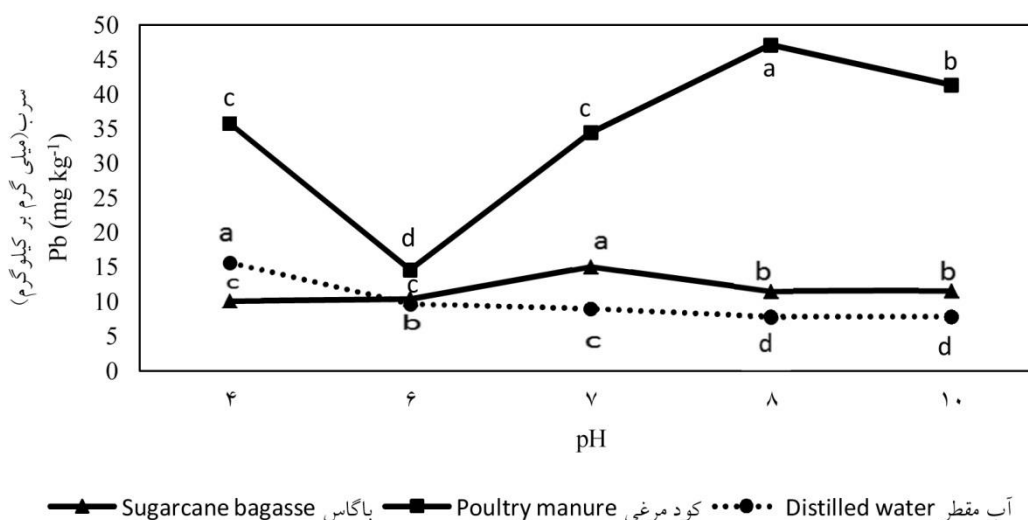
بودیم و میزان سرب قابل جذب خروجی کاهش یافت. احتمالاً با افزایش غلظت عصاره باگاس، سرب قابل جذب ترسیب شد. کربن آلی محلول موجود در باگاس نیشکر و کود مرغی هر کدام اثر متفاوتی در فراهمی سرب قابل جذب خاک نشان دادند. عصاره کود مرغی توانست با تشکیل کلات‌های قوی با سرب، باعث افزایش آبشویی سرب شود.

اثر pH: عامل مهمی در بررسی کارایی آبشویی به شمار می‌رود و نقش مهمی بر جذب و دفع سرب از کلونیدهای خاک دارد (۴۱). نتایج نشان می‌دهد که میزان غلظت سرب در عصاره باگاس نوسان زیادی نداشته و بیش‌ترین مقدار خروج سرب مربوط به $pH=7$ بوده است (شکل ۳). اما در عصاره کود مرغی با افزایش $pH=8$ میزان خروج سرب از خاک افزایش داشت اما در $pH=10$ این روند کاهش یافته است که می‌تواند به دلیل حلالیت پایین هیدروکسید سرب و

بیش‌ترین میزان خروج سرب در عصاره کود مرغی مربوط به غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کربن آلی محلول به میزان ۵۱/۷۲ میلی‌گرم بر لیتر بوده است که به عنوان غلظت بهینه برای ستون خاک استفاده شد. این روند در عصاره باگاس متفاوت بود از غلظت ۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر خروج سرب خاک افزایش نشان داد و ۲۱/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر سرب از خاک آلوده خارج شد اما با افزایش غلظت کربن آلی محلول به ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب خروجی به میزان معناداری ($P < 0.05$) کاهش یافت (شکل ۲)، این روند کاهش با افزایش غلظت تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر ادامه داشت و به میزان ۱۱/۴۱ میلی‌گرم بر لیتر رسید. باید توجه کرد که آبشویی علاوه بر نوع فلز به نوع عامل آبشویی نیز بستگی دارد (۴۰). برعکس کود مرغی، با توجه به ماهیت گروه عاملی در باگاس، با افزایش غلظت، ما با تثبیت سرب قابل جذب مواجه

بالاتر اسید فولویک نسبت به اسید هومیک در اسیدیته بالا اشاره کرد در نتیجه مقدار سرب خروجی بالا می‌رود (۴۳).

تشکیل کمپلکس‌های هیدروکسیل سرب باشد (۴۲). علت بالا رفتن آبشویی سرب در کود مرغی با اسیدیته بالاتر نسبت به باگاس نیشکر را می‌توان به حلالیت



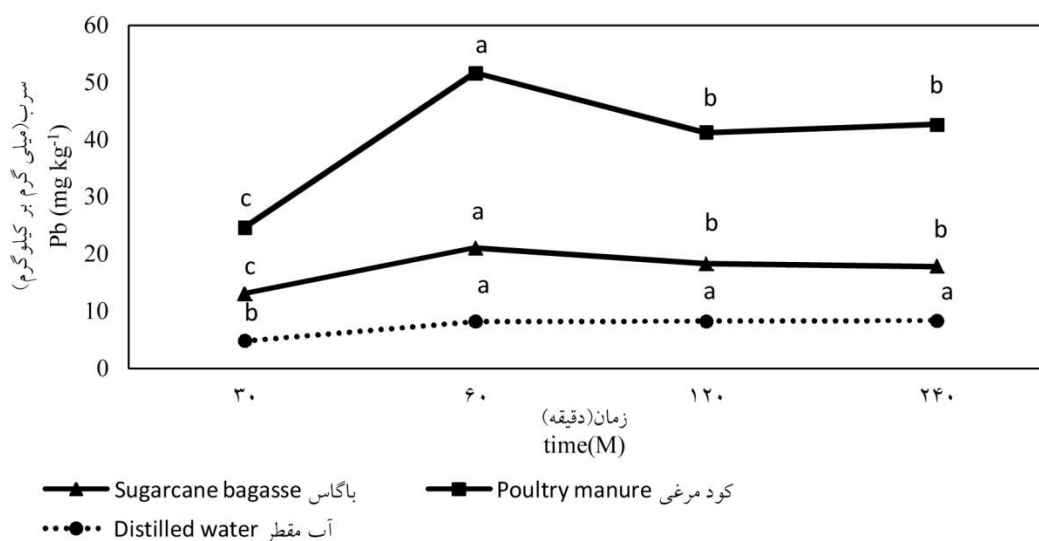
شکل ۳- اثر pH های مختلف بر میزان آبشویی سرب توسط عصاره‌های کود مرغی و باگاس نیشکر، حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن تفاوت معناداری ندارند.

Figure 3. Effect of pH in bagasse extract and poultry manure on the amount of Pb leaching, the same letters are not significantly different according to Duncan's multi-domain test at $P \leq 0.05$.

(شکل ۴). بالاترین میزان سرب در عصاره کود مرغی با غلظت کربن آلی محلول ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در pH=۸ بعد از یک ساعت، ۵۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده و بیش‌ترین میزان سرب حاصل از غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم عصاره باگاس نیشکر در pH=۷، ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. بعد از گذشت یک ساعت غلظت سرب در محلول در تماس با عصاره باگاس و کود مرغی به صورت معناداری کاهش یافت ($P < 0.05$).

افزایش میزان غلظت سرب در pH=۴ نیز به این دلیل است که در شرایط اسیدی یون‌های فلزی به‌راحتی از سطح کلویدهای خاک جدا و به حالت کمپلکس‌های محلول کربناتی در می‌آیند و یا جانشین H^+ گروه‌های عاملی سطح کلویدها می‌شوند (۴۴).

اثر زمان: آبشویی فلزهای سنگین از خاک آلوده تعادل در فرآیند جذب و دفع بوده که تابع زمان خواهد بود (۴۵). با توجه به نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین میزان سرب در عصاره‌ها بعد از ۶۰ دقیقه حاصل شد

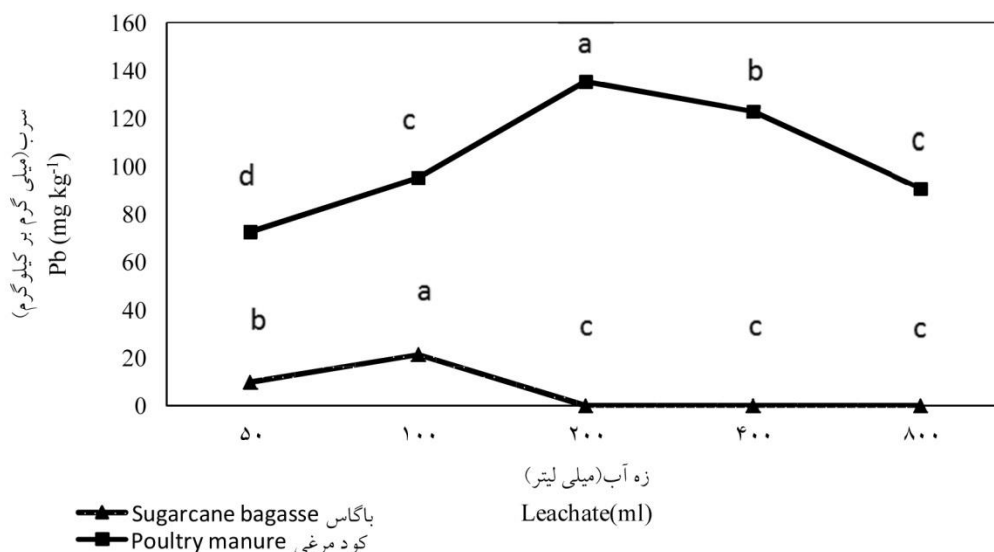


شکل ۴- اثر زمان‌های مختلف بر میزان آبتوی سرب توسط عصاره‌های کود مرغی و باگاس نیشکر، حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن تفاوت معناداری ندارند.

Figure 4. Effect of washing time in bagasse extract and poultry manure on the amount of Pb leaching, the same letters are not significantly different according to Duncan's multi-domain test at $P \leq 0.05$.

ولی با افزایش میزان زه‌آب خروجی، مقدار سرب عصاره‌ها کاهش یافت. میزان سرب در عصاره کود مرغی با غلظت کربن آلی محلول ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۵۳/۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در عصاره باگاس با غلظت کربن آلی محلول ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ۹/۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. روند کاهشی میزان سرب در عصاره باگاس به گونه‌ای بود که در ۴۰۰ میلی‌لیتر زه‌آب میزان سرب قابل جذب نزدیک به صفر رسید. افزایش میزان زه‌آب خروجی در ستون مربوط به کود مرغی نیز کاهش میزان سرب در زه‌آب را به همراه داشت.

باید توجه داشت فراهمی سرب با گذشت زمان کاهش می‌یابد که در این پژوهش نیز چنین بود. از جمله دلایلی که می‌توان اشاره کرد به انتشار به میکروپورها و فضاهای درون ذره‌ای و تغییر در نوع کمپلکس سطحی است (۴۶، ۴۷ و ۴۸). آبتوی پیوسته و غیرتعادلی: بهترین تیمارهای آبتوی تعادلی به ستون آبتوی منتقل شد. در این آزمایش به بررسی میزان سرب خروجی در ستون آبتوی در دو رژیم متوالی و متناوب پرداخته شد. نتایج حاصل از زه‌آب خروجی نشان داد که در رژیم متوالی، میزان سرب با افزایش زه‌آب تا ۲۰۰ میلی‌لیتر افزایش معناداری نشان داد ($P < 0.05$) (شکل ۵)،



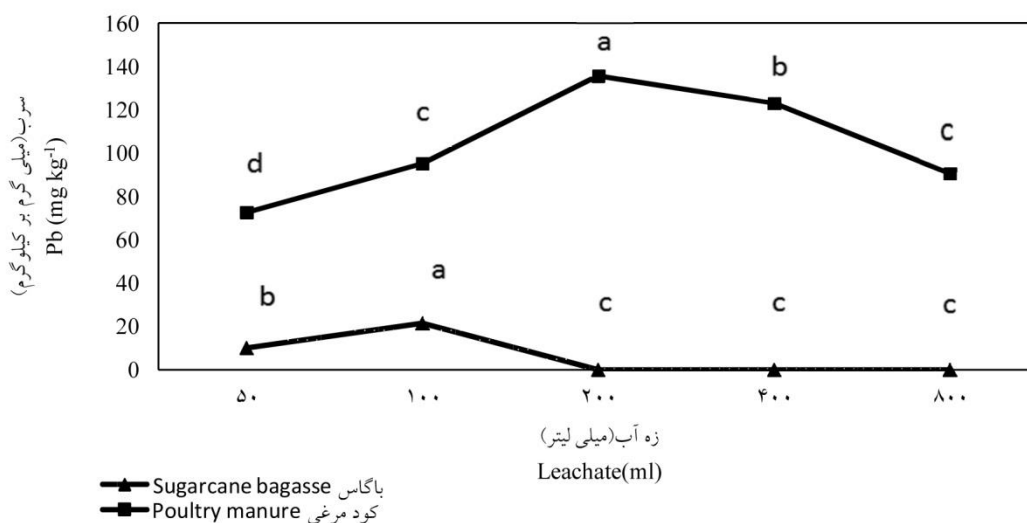
شکل ۵- اثر رژیم متوالی بر میزان غلظت سرب خروجی در آبشویی پیوسته و غیرتعدالی.

حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن تفاوت معناداری ندارند.

Figure 5. Effect of consecutive regime on the Pb leaching in continuous and Non-equilibrium leaching. The same letters are not significantly different according to Duncan's multi-domain test at $P \leq 0.05$.

مختلف با خاک پیوند ایجاد کرده است که بخشی از آن با تشکیل کمپلکس با گروه‌های عامل سطح خاک به سختی آبشویی می‌شوند اما بخشی از آن نیز با نیروی الکتروستاتیکی با بار سطحی خاک پیوند ایجاد می‌کند که به آسانی قابلیت شستشو دارند (۵۱، ۵۲). در رژیم متناوب بخشی از سرب که پیوند قوی‌تر با خاک داشت نیز وارد محلول شد و سرب محلول را افزایش داد.

نتایج در رژیم متناوب بیانگر این بوده است که میزان خروج سرب در عصاره کود مرغی افزایش قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به رژیم متوالی داشته است که با نتایج سایر پژوهش‌گران هماهنگی دارد (۴۹، ۵۰). بالاترین میزان سرب در ۲۰۰ میلی‌لیتر زه‌آب به میزان ۱۳۵/۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده و برای عصاره باگاس در ۱۰۰ میلی‌لیتر ۲۱/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در زه‌آب بوده است (شکل ۶). سرب به شکل‌های

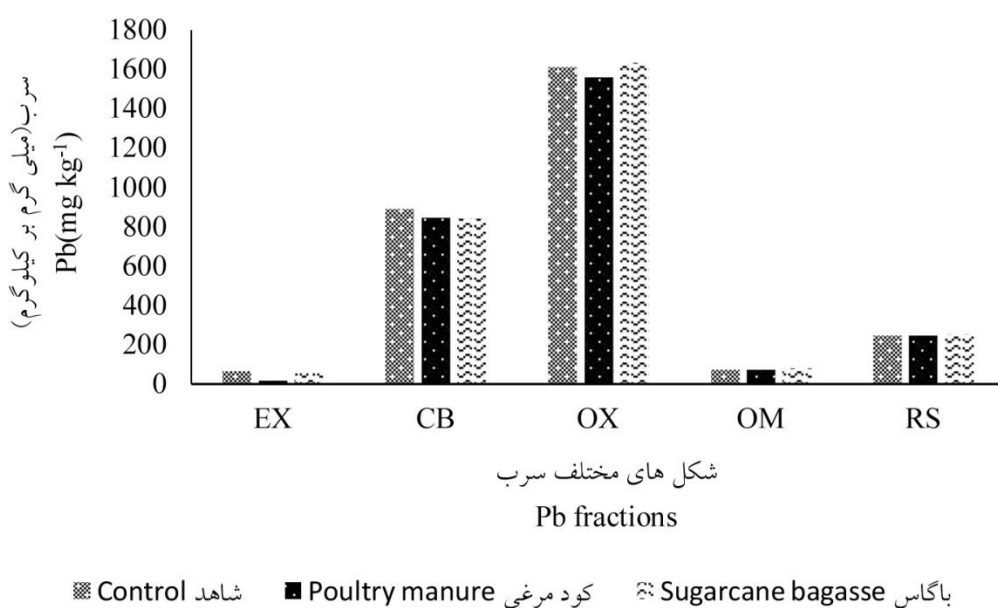


شکل ۶- اثر رژیم متناوب بر میزان غلظت سرب خروجی در آبخویی پیوسته و غیرتعادلی. حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن تفاوت معناداری ندارند.

Figure 6. Effect of intermittent regime on the Pb leaching in continuous and Non-equilibrium leaching. The same letters are not significantly different according to Duncan's multi-domain test at $P \leq 0.05$.

خروج شکل‌های مختلف سرب خاک و تشکیل کمپلکس‌های محلول دهد (۵۳، ۵۴) اما کاربرد باگاس با خصوصیات متفاوت شیمیایی نمایانگر این موضوع است که باگاس برای پویاسازی سرب خاک قابلیت زیادی نداشته و بهتر است برای ناپویاسازی از آن استفاده کرد. نتایج نشان داد که استفاده از باگاس شکل قابل جذب را به میزان اندک کاهش داده و با گذشت زمان شکل اکسیدی و آلی افزایش یافت.

تغییرات شکل‌های مختلف سرب در رژیم متناوب آبخویی پیوسته: نتایج نشان داد کاربرد کود مرغی برای خروج سرب قابل جذب در رژیم متناوب موجب تغییراتی در شکل‌های سرب خاک شده است (شکل ۷)، میزان سرب قابل جذب خاک با کاربرد کود مرغی به میزان زیادی کاهش داشت، شکل کربناتی و اکسیدی هم کاهش داشت اما شکل آلی و باقی‌مانده با توجه به مدت زمان دو هفته تغییر چندانی را نشان نداد. لیگاندهای آلی در کود مرغی می‌تواند عامل



شکل ۷- اثر عصاره باگاس و کود مرغی بر شکل‌های مختلف سرب خاک، EX: قابل تبادل، CB: کربناتی، OX: اکسیدی، OM: شکل آلی، RS: باقی‌مانده.

Figure 7. Effect of Poultry and Bagasse Extract on Pb fractions, EX: Exchangeable, CB: Carbonate-bond, OX: Oxide-bond, OM: Organic-bond, RS: Residue.

نیز بیانگر کارایی رژیم متناوب در بالا بردن میزان سرب خروجی توسط عصاره کود مرغی به میزان ۱۳۵/۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. با توجه به نتایج به‌دست آمده کربن آلی محلول عصاره کود مرغی توانایی خروج سرب خاک را دارد اما کربن آلی محلول عصاره باگاس توانایی ناپویاسازی سرب خاک را دارد.

نتیجه‌گیری کلی

با افزایش غلظت کربن آلی محلول عصاره کود مرغی به میزان ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در $\text{pH}=8$ میزان سرب خروجی در زه آب به میزان ۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش نشان داد ولی در عصاره باگاس با افزایش غلظت کربن آلی محلول روند نزولی در میزان سرب خروجی نمایان شد، به گونه‌ای که میزان سرب خروجی نزدیک صفر شد. نتایج آزمایش ستونی

منابع

1. Guo, G.L., Zhou, Q.X., Koval, P.V., and Belogolova, G.A. 2006. Speciation distribution of Pb and Cu in contaminated phaeozem in north-east China using single and sequential extraction procedures. *Soil Research*, 44: 2. 135-142.
2. Zhou, D.M., Hao, X.Z., and Xue, Y. 2004. Advances in remediation technologies of contaminated soils. *Ecology and Environmental Science*, 13: 2. 234-242.
3. Saleh, T.A., and Gupta, V.K. 2012. Column with CNT/magnesium oxide composite for lead (II) removal from water. *Environmental Science and Pollution Research*, 19: 4. 1224-1228.
4. Alloway, B.J. 2012. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Vol. 22. Springer Science and Business Media. 613p.

5. Sparks, D.L. 1993. Soil decontamination, P 671-680. In: Corn, M. (ed), "Hand book of Hazardous materials" Academic press, SanDiego, CA.
6. Dermont, G., Bergeron, M., Mercier, G., and Richer-Lafleche, M. 2008. Soil washing for metal removal: a review of physical/chemical technologies and field applications. *Journal of Hazardous Materials*. 152: 1. 1-31.
7. Makino, T., Sugahara, K., Sakurai, Y., Takano, H., Kamiya, T., Sasaki, K., and Sekiya, N. 2006. Remediation of cadmium contamination in paddy soils by washing with chemicals: selection of washing chemicals. *Environmental Pollution*, 144: 1. 2-10.
8. Nunez-Lopez, R.A., Meas, Y., Gama, S.C., Borges, R.O., and Olguin, E.J. 2008. Leaching of lead by ammonium salts and EDTA from *Salvinia minima* biomass produced during aquatic phytoremediation. *Journal of Hazardous Materials*. 154: 1-3. 623-632.
9. Hauser, L., Tandy, S., Schulin, R., and Nowack, B. 2005. Column extraction of heavy metals from soils using the biodegradable chelating agent EDDS. *Environmental Science and Technology*. 39: 17. 6819-6824.
10. Wang, S., and Mulligan, C.N. 2009. Rhamnolipid biosurfactant-enhanced soil flushing for the removal of arsenic and heavy metals from mine tailings. *Process Biochemistry*, 44: 3. 296-301.
11. Makino, T., Kamiya, T., Takano, H., Itou, T., Sekiya, N., and Sasaki, K. 2007. Remediation of cadmium-contaminated paddy soils by washing with calcium chloride-Verification of on-site washing. *Environmental Pollution*, 147: 1. 112-119.
12. Tokunaga, S., and Hakuta, T. 2002. Acid washing and stabilization of an artificial arsenic-contaminated soil. *Chemosphere*, 46: 1. 31-38.
13. Moon, D.H., Lee, J.R., Wazne, M., and Park, J.H. 2012. Assessment of soil washing for Zn contaminated soils using various washing solutions. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18: 2. 822-825.
14. Heydari, S., Ostan, Sh., Neyshaburi, M., and Reyhanitabar, A. 2016. Removal of heavy metals from contaminated soil by EDTA in soil profile. *Soil and Water Sciences*, 19: 72. 189-202. (In Persian)
15. Pocięcha, M., and Lestan, D. 2010. Using electrocoagulation for metal and chelant separation from washing solution after EDTA leaching of Pb, Zn and Cd contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 174: 1-3. 670-678.
16. Wei, M., Chen, J., and Wang, X. 2016. Removal of arsenic and cadmium with sequential soil washing techniques using Na₂EDTA, oxalic and phosphoric acid: optimization conditions, removal effectiveness and ecological risks. *Chemosphere*, 156: 252-261.
17. Hinck, M.L., Ferguson, J., and Puhaakka, J. 1997. Resistance of EDTA and DTPA to aerobic biodegradation. *Water Science and Technology*, 35: 2-3. 25-31.
18. Rousk, J., Brookes, P.C., and Bååth, E. 2009. Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization. *Applied and Environmental Microbiology*, 75: 6. 1589-1596.
19. Tsang, D.C., Lo, I.M., and Surampalli, R.Y. 2012. Chelating agents for land decontamination technologies. *American Society of Civil Engineers*. 284p.
20. Tipping, E. 2002. Cation binding by humic substances. *Cambridge University Press*. 444p.
21. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42: 3. 421-428.
22. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts, P 167-179. In: A.L. Page, (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Second Edition*, American Society of Agronomy, Inc., Madison, WI, USA, Agronomy Monograph No 9.
23. Nelson, D.W., and Somers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 539-579. In: A.L. Page, (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, second ed.*, Agronomy Monograph, vol. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.

24. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*. 54: 5. 464-465.
25. Lindsay, W.L., and Norvell, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society America Journal*. 42: 3. 421-428.
26. Hassantabar, S., Sadegh-Zadeh, F., Bahmanyar, M.A., and Jalili, B. 2018. Reclamation of saline-sodic soil with clay texture using dissolved organic carbon. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 8: 1. 159-174. (In Persian)
27. Baird, R.B., Eaton, A.D., Rice, E.W., and Bridgewater, L.L. 2017. Standard methods for the examination of water and wastewater. (23rd 2017/prepared and published jointly by American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, D.C: American Public Health Association. 545p.
28. Hassantabar, S., Sadegh-zadeh, F., Bahmanyar, M.A., and Jalili, B. 2018. Reclamation of saline-sodic soil with clay texture using dissolved organic carbon. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 8: 1. 159-174. (In Persian)
29. Nelson, D.W., and Somers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. P 539-579. In: A.L. Page, (ed.), *Methods of Soil Analysis*, Part 2, second ed., *Agronomy Monograph*, vol. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
30. Tessier, A., Campbell, P.G.C., and Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*. 51: 7. 844-851.
31. Alloway, B.J. 2012. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Vol. 22. Springer Science and Business Media. 613p.
32. Jalili, B., Sadegh-Zadeh, F., Jabari-Giashi, M., and Emadi, M. 2020. Lead bioimmobilization in contaminated mine soil by *Aspergillus niger* SANRU. *Journal of Hazardous Materials*, 393: 122375-122375.
33. Chakravarty, P., Sarma, N.S., and Sarma, H.P. 2010. Removal of lead (II) from aqueous solution using heartwood of *Areca catechu* powder. *Desalination* 256: 16-21.
34. Samsuri, A.W., Sadegh-Zade, F., and She-Bardan, B.J. 2014. Characterization of biochars produced from oil palm and rice husks and their adsorption capacities for heavy metals. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 11: 4. 967-976.
35. Wang, G., Zhang, S., Yao, P., Chen, Y., Xu, X., Li, T., and Gong, G. 2018. Removal of Pb (II) from aqueous solutions by *Phytolacca americana* L. biomass as a low cost biosorbent. *Arabian Journal of Chemistry*. 11: 1. 99-110.
36. Calero, M., Pérez, A., Blázquez, G., Ronda, A., and Martín-Lara, M.A. 2013. Characterization of chemically modified biosorbents from olive tree pruning for the biosorption of lead. *Ecological Engineering*, 58: 344-354.
37. Wang, G., Zhang, S., Yao, P., Chen, Y., Xu, X., Li, T., and Gong, G. 2018. Removal of Pb (II) from aqueous solutions by *Phytolacca americana* L. biomass as a low cost biosorbent. *Arabian Journal of Chemistry*. 11: 1. 99-110.
38. Chen, Y., Zhang, S., Xu, X., Yao, P., Li, T., Wang, G., Gong, G., Li, Y., and Deng, O. 2016. Effects of surfactants on low-molecular-weight organic acids to wash soil zinc. *Environmental Science and Pollution Research* 23: 5. 4629-4638.
39. Song, S., Zhu, L., and Zhou, W. 2008. Simultaneous removal of phenanthrene and cadmium from contaminated soils by saponin, a plant-derived biosurfactant. *Environmental Pollution*. 156: 3. 1368-1370.
40. Kim, E.J., Jeon, E., and Baek, K. 2016. Role of reducing agent in extraction of arsenic and heavy metals from soils by use of EDTA. *Chemosphere*, 152: 274-283.

41. Zou, Z., Qiu, R., Zhang, W., Dong, H., Zhao, Z., Zhang, T., Wei, X., and Cai, X. 2009. The study of operating variables in soil washing with EDTA. *Environmental Pollution*. 157: 1. 229-236.
42. Begum, Z.A., Rahman, I.M.M., Sawai, H., Mizutani, S., Maki, T., and Hasegawa, H. 2013. Effect of extraction variables on the biodegradable chelant-assisted removal of toxic metals from artificially contaminated European reference soils. *Water, Air, and Soil Pollution*. 224: 3. 1-21.
43. Essington, M.E. 2003. *Soil and water chemistry. An Integrative Approach*. CRC PRESS. 534p.
44. Begum, Z.A., Rahman, I.M.M., Tate, Y., Sawai, H., Maki, T., and Hasegawa, H. 2012. Remediation of toxic metal contaminated soil by washing with biodegradable aminopolycarboxylate chelants. *Chemosphere* 87: 10. 1161-1170.
45. Bradl, H.B. 2004. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*. 277: 1. 1-18.
46. Backes, C.A., McLaren, R.G., Rate, A.W., and Swift, R.S. 1995. Kinetics of cadmium and cobalt desorption from iron and manganese oxides. *Soil Science Society of America Journal*. 59: 3. 778-785.
47. Bruemmer, G.W., Gerth, J., and Tiller, K.G. 1988. Reaction kinetics of the adsorption and desorption of nickel, zinc and cadmium by goethite. I. Adsorption and diffusion of metals. *Journal of Soil Science*. 39: 1. 37-52.
48. McBride, M.B. 1994. *Environmental chemistry of soil*. Oxford University Press, New York. 400p.
49. Finzgar, N., and Le Stan, D. 2007. Multi-step leaching of Pb and Zn contaminated soils with EDTA. *Chemosphere*. 66: 5. 824-832.
50. Steele, M., and Pichtel, J. 1998. Ex-situ remediation of a metal-contaminated superfund soil using selective extractants. *Journal of Environmental Engineering*. 124: 7. 639-645.
51. Selim, H., Buchter, B., Hinz, C., and Ma, L. 1992. Modeling the transport and retention of cadmium in soils: Multireaction and multicomponent approaches. *Soil Science Society of America Journal*. 56: 4. 1004-1015.
52. Naidu, R., Bolan, N., Kookana, R., and Tiller, K. 1994. Ionic-strength and pH effects on the sorption of cadmium and the surface charge of soils. *European Journal of Soil Science*. 45: 4. 419-429.
53. Chang, A.C., Page, A.L., Warneke, J.E., and Grgurevic, E. 1984. Sequential extraction of soil heavy metals following a sludge application. *Journal of Environmental Quality*, 13: 1. 33-38.
54. Li, Z., and Shuman, L.M. 1997. Mobility of Zn, Cd and Pb in soils as affected by poultry litter extract-I. Leaching in soil columns. *Environmental Pollution*, 95: 2. 219-226.