مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره شش، شهریور ماه ۱۴۰۱(۲۹-۱۵)

اثرات بیوچار (زغال زیستی) و گیاه پالایی بر فلزات سنگین کروم، آرسنیک و سرب در خاک آلوده به پسماند حفاری چاه‌های نفت

سارا شریفی حسینی [۱]

احمد لندی [۲]

سعید حجتی [۳*]

s.hojati@scu.ac.ir

نعمت الله جعفرزاده حقیقی فرد [۴]

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۱ **تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۸**

چکیده

زمینه و هدف: خاک و آب بر اثر فعالیت‌های بشر به سرعت در حال آلوده شدن با عناصر معدنی مانند آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، جیوه، منگنز نیکل، سرب و روی است. این فعالیت‌ها شامل معدنکاری، سوزاندن پسماندها، عملیات حفاری چاه‌های نفت، فعالیت های کشاورزی (مانند کاربرد حشره کش‌ها و لجن فاضلاب) می‌باشد. بیوچار از پیرولیز طیف گسترده‌ای از بقایای آلی تولید می‌شود. وسعت و محدوده افزایش تثبیت فلزات سنگین به‌وسیله بیوچار (زغال زیستی) در خاک‌های مختلف بستگی به مواد مغذی به کار رفته در تولید ماده اولیه بیوچار دارد. گیاه‌پالایی [۵]استفاده از گیاهان، جهت کاهش میزان، تحرک و سمیت آلاینده از خاک، آب زیرزمینی و یا دیگر محیط‌های آلوده استفاده شده است. مطالعه حاضر با هدف تعیین اثرات بیوچار و گیاه پالایی بر فلزات سنگین کروم، آرسنیک و سرب در خاک آلوده به پسماند حفاری چاه‌های نفت انجام گرفته است.

روش بررسی: در این تحقیق میزان تثبیت فلزات سنگین کروم، آرسنیک و سرب به‌وسیله بیوچار (زغال زیستی) تهیه شده از ضایعات نیشکر، بررسی شد. همچنین مقدار جذب فلزات سنگین کروم، آرسنیک و سرب توسط گیاهان سورگوم، آتریپلکس و کهورک مطالعه گردید. بیوچار ضایعات نیشکر با خاک آلوده به ۵۰٪ پسماند حفاری، در ۴ سطح تیماری (۰، ۰/۵، ۱ و ۲٪ وزنی) و سه تکرار مخلوط شد و بعد از ۲ ماه انکوباسیون (برای یکنواختی اجزای آلودگی در بافت خاک) در گلدان‌ها گذاشته و گیاهان سورگوم، آتریپلکس و کهورک در آن کشت شد؛

۱- دانش آموخته دکترای علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۴- استاد مرکز تحقیقات فناوری‌های محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

5- Phytoremediation

به طوری که برای هر گیاه یک ردیف ۱۲ تایی از گلدان‌ها و در کل برای سه گیاه مورد مطالعه ۳۶ گلدان تهیه گردید. تغییرات فلزات سنگین در گلدان‌ها به‌وسیله دستگاه ICP تعیین شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت کروم، آرسنیک و سرب در نمونه خاک اولیه آلوده به ۵۰٪ پسماند حفاری به ترتیب ۵۶، ۵۳/۴ و ۵۸۲ میلی گرم در کیلوگرم خاک بود. میانگین غلظت کروم، آرسنیک و سرب بعد از اعمال تیمار بیوچار به ترتیب به ۳۰، ۲۱/۵ و ۲۲۴ رسید. میانگین غلظت کروم، آرسنیک و سرب در خاک ۱۰ هفته پس از کشت سورگوم به ترتیب ۲۲، ۷/۲ و ۴۳، ده هفته بعد از کشت آتروپیلکس به ترتیب ۱۶، ۱۵/۳و ۱۴۱ و ده هفته بعد از کشت کهورک نیز به ترتیب ۱۸ ، ۱۹/۹ و ۱۹۲میلی گرم در کیلوگرم خاک اندازه گیری شد.

بحث و نتیجه گیری: تجزیه واریانس تغییرات کروم، آرسنیک و سرب در خاک گویاست که کشت گیاه و کاربرد بیوچار در خاک‌های آلوده به پسماند حفاری اثر کاهش معنی داری از لحاظ آماری بر غلظت قابل دسترس هر سه فلز سنگین مورد مطالعه در خاک دارد. تیمار گیاه کهورک با غلظت ۱٪ بیوچار برای کروم، گیاه سورگوم با غلظت ۲٪ بیوچار برای آرسنیک و سرب تیمار بهینه در جهت جذب و کاهش فلز آلاینده می‌باشد

واژه‌های کلیدی: بیوچار، گیاه پالایی، پسماند حفاری، فلزات سنگین.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No. 6, September, 2022

The influence of biochar and phytoremediation of Heavy Metals (Cr, As & Pb) in a soil contaminated by oil drilling waste

Sara Sharifi Hosseini[1]
Ahmad Landi[2]
Saied Hojati [3*]
s.hojati@scu.ac.ir
Neemat Jaafarzadeh [4]

Admission Date:November 22, 2017 Date Received: August 28, 2017

Abstract

Background and Objective: Soils and waters are frequently subject to contamination by inorganic elements including As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, and Zn, mainly due to anthropogenic activities, such as mining, incineration of wastes, drilling of petroleum shaft and agricultural practices (i.e., pesticides and sewage sludge application). Phytoremediation employs the use of plants to degrade, remediate and stabilize various environmental contaminants in soil, water and air. Biochar (BC) can be produced from a wide range of organic wastes via pyrolysis. It has great potential as an amendment for phytoremediation but its effects depend on the type of feedstock it derives from. This study was conducted to identify the effects of biochar addition and phytoremediation on As, Cr, and Pb concentrations in a soils polluted by oil drilling wastes.

Material and Methodology: The current study was carried out to examine the heavy metal immobilizing effect of biochar produced from sugar cane waste and subsequent heavy metal uptake by *Sorghum*, *Atriplex sp.* and *prosopis farcta*. Sugar cane wastage biochar was incorporated into four application rates (0, 0.5, 1 and 2 % (w/w)) and soil biochar mixtures were examined for an incubation period of 2 months (so that the contaminated material could be distributed evenly in the soil particles). Then pot trials were provided for cultivation of *Sorghum*, *Atriplex sp* and *Prosopis farcta* so that for each plant, a row of 12 pots and a total of 36 pots for the three under-study plants.

Findings: The results showed, average of Cr, As and pb concentration in contaminated soil is 56, 53.4 and 582 ppm. Average of Cr, As and pb concentration in contaminated soil is Amendment with BC is 30, 21.5 and 224. Average of Cr, As and pb concentration in contaminated soil is Amendment

1- Former Ph.D. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2- Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. **(Corresponding Author)*
3- Associate Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
4- Professor, Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

with *Sorghum* is 22, 7.2 and 43, Amendment with *Atriplex sp* is 16, 15.3 and 141, Amendment with *prosopis farcta* is 18, 19.9 and 192 ppm.

Discussion and Conclusion: Effective treatment of Cr was prosopis *farcta* and 1 % (w/w) biochar, *Sorghum* and 2 % (w/w) biochar for As and pb. Although heavy metal-contaminated soils can be reclaimed effectively by application of biochar, further research is needed to explore its long-term environmental and economic aspect to gain maximum benefits from this novel material.

Key words: biochar, phytoremediation, drilling waste.

مقدمه

برای انجام عملیات حفاری جهت ایجاد چاه‌های عمیق اکتشاف و استخراج نفت، نیاز به استفاده از گل‌های حفاری با ترکیبات مختلف است. طی حفاری یک حلقه چاه با عمق متوسط ۳۰۰۰ متر در حدود ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ تن پسماند تولید می‌شود که در حوضچه‌ای به نام پیت به مساحت ۱ تا ۱/۵ هکتار رها می‌شود و هیچ‌گونه بهره‌برداری و نگه‌داری از آنها صورت نمی‌گیرد (۱). پس از تخلیه؛ پسماند حفاری که عمدتاً از دو فاز جامد و مایع تشکیل شده است بر اساس نیروی وزن، ثقل و نشت، آلاینده‌ها در اعماق و لایه‌های مختلف خاک وارد شده و باعث آلودگی آن می‌شوند. این حجم بالای آلودگی باعث صدمات جبران ناپذیری به آب‌های سطحی و زیر سطحی و محیط‌های خاکی می‌شود. از انواع آلاینده‌های موجود در پسماند حفاری چاه‌های نفت و گاز می‌توان به فلزات سنگین (کروم، جیوه، آرسنیک، نیکل، کادمیوم، وانادیوم، باریم و ...) روغن ،گریس و هیدروکربن‌های نفتی اشاره کرد (۲) که تمامی در پایان کار در پیت دفن می‌گردد. خاک‌های مجاور سایت‌های آلوده به فلزات سنگین اغلب به‌وسیله نشست ذرات گرد و غبار و جریان رواناب‌ها از زهکش‌ها آلوده می‌شوند (۳ و ۴). وقتی چنین خاک‌هایی در کشاورزی به منظور تولید غذای مصرفی انسان استفاده می‌شود ؛ می‌تواند به عنوان بحرانی برای سلامت بشر باشد(۵ و ۶). بنابراین در این مورد باید تکنولوژی‌های پالایش زیستی- فیزیکی - شیمیایی توسعه پیدا کند (۷). جهت تثبیت فلزات سنگین افزودنی‌هایی مانند کمپوست، آهک و فسفات به کار می‌رود (۸ و ۹).

بیوچار از پیرولیز طیف گسترده‌ای از بقایای آلی تولید می‌شود. این ماده در زمینه‌های مختلف مانند تحقیقات توالی کربن در خاک(۱۰ و ۱۱) اصلاح‌گر فیزیکی -شیمیایی خاک (۱۲ و ۱۳) و جهت افزایش حاصلخیزی خاک و افزایش تولید مزرعه مفید و سودمند است (۱۴) وسعت و محدوده افزایش تثبیت فلزات سنگین به‌وسیله بیوچار در خاک‌های مختلف بستگی به مواد مغذی به کار رفته در تولید ماده اولیه بیوچار دارد (۱۵). با توجه به گستردگی کشت نیشکر در خوزستان و مشکلات سوزاندن بقایا در این منطقه در مطالعه حاضر از ضایعات نیشکر برای تولید بیوچار استفاده شد. در مطالعه‌ای میزان تحرک کادمیوم، سرب و روی و میزان جذب توسط گیاه در یک خاک معدنی تیمار شده با بیوچار ساقه نیشکر بررسی شد. بیوچار به نسبت ۱/۵ ، ۳ و ۵ ٪ وزنی با خاک آلوده به فلزات سنگین مخلوط شد. نتایج نشان داد کاربرد بیوچار غلظت قابل دسترس کادمیوم سرب و روی را کاهش داده و این امر منجر به کاهش قابل ملاحظه ی روی در زه‌آب شده است (۱۶).

گیاه‌پالایی[1] استفاده از گیاهان، یا دیگر ارگانیسم‌های فتوسنتزکننده، برای کاهش آلاینده‌های آلی یا غیر آلی در طبیعت، به ویژه آب و خاک است. این روش جهت پالایش سطوح وسیع آلودگی و نیز آلاینده‌های مختلف در مکان‌های کم عمق، خاک‌های آلوده و آب‌های سطحی و زیر سطحی آلوده بسیار مناسب است (۱۷). در این بررسی با توجه به دو مشکل مهم منطقه مورد مطالعه یکی بالا بودن آلودگی‌های پسماند حفاری و فلزات سنگین و دیگری شور بودن خاک منطقه گیاهانی انتخاب شد که توان مقابله با این شرایط را داشته باشند. گیاهان انتخابی سازگار با محیط زیست و شرایط محیطی بوده و برای انسان و دام به صورت مستقیم یا غیر

1- Phytoremediation

مستقیم خطر ندارند. در ضمن این گیاهان بعد از فصل نگه‌داری قادر به ادامه حیات در منطقه بوده و پایدار می‌باشند. کاربرد گونه‌های شوردوست برای پالایش فلزات سنگین از آن جایی که این گیاهان به طور طبیعی در خاک‌ها با عناصر سمی و به‌ویژه سدیم و کلر بالا زیست می‌کنند؛ بسیار سودمند و مفید است (۱۸). بنابراین با توجه به شرایط منطقه و مطالعات در این بررسی سه گیاه سورگوم، آتروپلکس وکهورک جهت گیاه پالایی انتخاب شد. اهداف تحقیق عبارتند از

- استفاده از تیمارهای زیستی مانند گیاهان سورگوم هالنپس، آتروپلکس و کهورک جهت کاهش آلودگی-های ناشی از پسماندهای حفاری
- به کارگیری تیمار کانی‌های کائولینیت-سپیولیت در محیط آلوده و بررسی کاهش آلاینده‌ها
- کاربرد بیوچار ضایعات نیشکر به عنوان تیمار اصلاحی وبررسی روند کاهش آلاینده‌ها
- بررسی اثرات متقابل تیمارها بر کاهش آلاینده‌های مورد مطالعه

مواد و روش ها

- آماده‌سازی نمونه‌ها

میدان نفتی مورد مطالعه، میدان نفتی آغاجاری می‌باشد. این میدان با مساحت ۳۸ هزار و ۸۵۰ هکتار و ذخیره نفت درجای ۲۶۴۲۸ میلیون بشکه در سال ۱۳۱۷ شمسی به بهره برداری رسید. تعداد چاه‌های این مخزن ۱۶۱ حلقه است که ۷۳ حلقه نفتی، ۳ حلقه گازی، ۳۶ حلقه مشاهده ای و بقیه تزریقی، توصیفی، معلق و متروکه و غیره است. این میدان در شهرستان آغاجاری در فاصله ۹۰ کیلومتری از جنوب شرق اهواز، در استان خوزستان قرار دارد.

چاه منتخب در این مطالعه چاه ۲۱۴ میدان نفتی آغاجاری (واقع در منطقه دره عباس) می‌باشد. با توجه به نبود آنالیز کامل از غلظت تمام فلزات سنگین در پسماندهای گل حفاری این چاه، در ابتدا یک آنالیز کامل از غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه پسماند گل حفاری چاه ۲۱۴ ، به‌وسیله دستگاه ICP[1] مدل Varian-735 در شرکت مطالعات مواد معدنی زرآزما انجام یافت و سپس با استانداردهای کیفیت منابع خاک ایران مقایسه و فلزات بیش از حدود استاندارد به عنوان فلزات سنگین آلاینده مورد بررسی انتخاب شد (جدول ۱). بر اساس این استاندارد فلزات آلاینده کروم، آرسنیک و سرب تعیین گردید. پیش از استفاده، پسماند گل حفاری ابتدا هوا خشک گردید. جهت کنترل کامل شرایط تحقیق، آلوده‌سازی نمونه‌های خاک به طور مصنوعی با پسماند گل حفاری انجام شد. به طوری که نمونه خاک غیر آلوده مزرعه انتخاب و برداشت شد (جدول ۲). سپس خاک‌ها به خوبی کوبیده و به صورت لایه‌ای نازک بر روی بستر پهن شده و با پسماند گل حفاری به غلظت ۵۰۰ گرم در هر کیلوگرم خاک (۵۰٪) آلوده شد. برای توزیع یکنواخت آلودگی در خاک مورد مطالعه، خاک-های آلوده به مدت ۱ ماه در دمای اتاق گرماگذاری و هر هفته مخلوط موجود به هم زده می‌شد.

-کاربرد کائولینیت

یکی از مشکلات خاک‌های آلوده به مواد نفتی آبگریزی است. آبگریزی در این خاک‌ها منجر به کاهش رشد گیاه، زایل کردن جریان آب سطحی و زیر سطحی و فرسایش خاک می‌گردد. از این رو جهت کاهش آبگریزی خاک از کائولینیت اشباع با سدیم استفاده شد. سدیم سبب دیسپرس شدن کانی و پوشش بیشتر مواد آبگریز می‌شود. مطالعات نشان داده است که کائولنیت نسبت به سایر کانی‌ها عملکرد بهتری را در اصلاح آبگریزی در خاک‌های آلوده به نفت نشان می‌دهد (۱۹). بر این اساس خاک آلوده به پسماند حفاری ابتدا به میزان ۲٪ وزنی با کائولینیت تیمار و به مدت ۱ ماه انکوباسیون گردید، سپس به میزان ۴ کیلوگرم توزین و در گلدانها قرار داده شد.

- تهیه بیوچار و تیمار نمونه ها با بیوچار

ضایعات نیشکر پس از آبشویی، یک هفته هوا خشک و سپس پودر شدند. پودر زیتوده به دست آمده در یک ظرف سرامیکی

1- Inductively Coupled Plasma (ICP)

قرار داه شده و از طریق کوره‌ی پیرولیز تحت اتمسفر گاز N_2 در یک ستون حرارتی ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت $5^{\circ}C/min$ تا رسیدن به پیک حرارتی مورد نظر در مدت زمان ۱۰۰ دقیقه به بیوچار تبدیل شد (۲۰). جهت بررسی اثرات تیمار بیوچار بر تثبیت فلزات مورد بررسی مقادیر مختلفی بیوچار (۰/۵، ۱ و ۲٪) به گلدان‌های مورد مطالعه اضافه و به مدت ۲ ماه انکوباسیون شد.

-گیاه پالایی

به هر گلدان تعداد ۲۰ بذر از سه گیاه مورد نظر سورگوم، آتریپلکس و کهورک اضافه شد و از هر تیمار سه تکرار آماده گردید. بدین منظور خاک آلوده به پسماند حفاری بعد از ۲ ماه انکوباسیون (برای یکنواختی اجزای آلودگی در بافت خاک) در گلدان‌ها گذاشته و گیاهان سورگوم، آتریپلکس و کهورک در آن کشت شد؛ به طوری که برای هر گیاه یک ردیف ۱۲ تایی از گلدان‌ها و در کل برای سه گیاه مورد مطالعه ۳۶ گلدان تهیه گردید.

منبع نور، نور طبیعی خورشید بوده است. آبیاری هفته‌ای ۲ تا ۳ بار در حد رطوبتی ظرفیت زراعی مزرعه انجام یافت، آبیاری در هر دفعه با سرعت بسیار کم انجام گرفت تا حداقل زه آب خارج شود. زهاب‌های خروجی نیز در نهایت جمع آوری و به هر گلدان اضافه شد (به سبب اینکه هدف از این مطالعه بررسی میزان جذب فلزات سنگین توسط گیاه است و خروجی زه‌آب در این هدف ایجاد اشکال می‌کند). از کودهای مغذی NPK براساس نیاز گیاهان در طول دوره رشد استفاده شد و ده هفته پس از تیماردهی میزان فلزات سنگین کروم، آرسنیک و سرب موجود در خاک دوباره مورد آنالیز قرار گرفت. جهت این کار، نمونه‌ها از نزدیکی عمق ریشه گیاهان برداشت شده، پس از هوا خشک کردن و عبور از الک ۷۰ مش، غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین نیز از دستگاه ICP معرفی شده، استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده های حاصل از تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی و به کمک نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ تجزیه و تحلیل شدند.

یافته‌های پژوهش

در جدول ۱ مشاهده می‌شود طبق استاندارد کیفیت منابع خاک ایران (۲۱) غلظت ۳ فلز سنگین کروم، آرسنیک و سرب بالاتر از استاندارد آلایندگی خاک ($pH>7$) می‌باشد و بنابراین آلاینده محسوب می‌شوند. در ارزیابی خطر وضعیت زیست محیطی و کیفیت منابع خاک (۲۱) در کابری جنگل و مرتع با درصد ماده آلی کمتر از ۱٪، درصد رس کمتر از ۳۰٪ و ۷ =pHکروم با غلظت آلایندگی ۲۶ میلی گرم در کیلوگرم در محدوده ی بدون خطر، آرسنیک با غلظت آلایندگی ۸۹/۶ میلی گرم در کیلوگرم در محدوده امکان وجود خطر، سرب با غلظت آلایندگی ۱۰۴۷ میلی گرم در کیلوگرم در محدوده خطر فوری قرار دارد.

جدول ۱- غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه پسماند گل حفاری چاه ۲۱۴ میدان نفتی آغاجاری و مقایسه با استاندارد کیفیت منابع خاک ایران (۲۱)

Table1. Heavy metals concentrations **(mg/kg)** in ***oil*** drilling waste in comparison with the soil quality in Iran.

غلظت فلز سنگین (mg/kg)	**Cr**	**Cd**	**As**	**Ni**	**Mo**	**Pb**	**Co**	**Ag**
پسماند	۲۶	۰/۴۷	۸۹/۶	۲۲	۲/۳۵	۱۰۴۷	۵	۱/۷
استاندارد آلایندگی برای کاربری مسکونی(۲۱)	۵	۲	۴۰	۱۱۰	۴۰	۷۶	۵۰	۱۰

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک و بیوچار به کار رفته در تحقیق

Table 2. Physicochemical properties of the soil used in this study

Biochar	Soil	Quality
۱۰/۲	۷/۵	pH
۰/۸۲	۵	EC (dS m-1)
۰/۷۲	۲۵	Ca (meq L-1)
۰/۶۵	۱۰/۲	Mg (meq L-1)
۴۶/۶	۴۶	Na (meq L-1)
۱۱/۲۰	۶	K (meq L-1)
۵۰/۴	۱۱/۷	CEC_ (cmolc kg-1)
ND	۳	Available P (mg kg-1)
۲۲/۷	ND	Water soluble P (mg L-1)
ND	۰/۵۷	Organic matter (g kg-1)
۲۰۵	ND	Total C (g kg-1)
۲	۱/۲۷	Total N (g kg-1)
۰/۰۲	۲۹	Cr
۲/۷	۲/۹	As
۰/۴۸	۷	Pb
ND	SANDY CLAY LOAM	Texture (%)

با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌کنیم که pH خاک خنثی تا کمی قلیایی است، شوری در حد متوسط و درصد ماده‌آلی خاک پائین و ۵۷/. درصد می‌باشد. پیش از شروع آزمایش، خاک برداشت شده از مزرعه به سبب شور بودن مورد ۳ مرحله آبشویی قرار داده شد تا هدایت الکتریکی آن به حدود ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر رسید. شوری یکی از اصلی ترین تنش‌های اسمزی است که رشد و تولید گیاه را از طریق تغییر در تعادل یونی و اسمزی محدود می‌کند (۲۲) . با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که pH بیوچار در حد خنثی، شوری متوسط، میزان کربن آلی بالا و ۲۰۵ گرم در کیلوگرم می‌باشد.

جدول ۳- غلظت فلزات سنگین آلاینده (میلی گرم در کیلوگرم) بعد از مدت ۲ ماه انکوباسیون در گلدان‌های مورد مطالعه

Table 3. Heavy metal concentration **(mg/kg)** with incubation 2 months

فلز سنگین	۱	۲	۳	۴	۵	۶
کروم	۲۹	۵۶	۵۴	۳۲	۲۸	۳۰
سرب	۷	۵۸۲	۵۶۵	۲۷۳	۲۲۲	۱۷۷
آرسنیک	۲/۹	۵۳/۴	۵۵/۷	۲۴/۶	۲۲/۸	۱۷/۱

۱-خاک ۲- خاک و پسماند به نسبت ۱:۱ ۳- نمونه ۲ + ۲٪ کائولنیت ۴- نمونه ۳ تیمار شده با ۵/.٪ بیوچار ۵- نمونه ۳ تیمار شده با ۱٪ بیوچار ۶- نمونه ۳ تیمار شده با ۲٪ بیوچار

جدول ۳ گویاست کـه تیمـار ۲٪ کائولینیـت اثـری در کـاهش میزان فلزات سنگین آلاینده نداشته اسـت. تیمـار ۰/۵٪ بیوچـار غلظت کروم، آرسنیک و سرب را حدودا به نصـف مقـدار اولیـه فلزات آلاینده در نمونه فاقد تیمار، کاسته است و از نظر آمـاری در سطح ۱٪ معنی دار اسـت. تیمـار ۱٪ بیوچـار تفـاوت معنـی داری با تیمار ۰/۵٪ بیوچار نداشته است. تیمار ۲٪ بیوچار غلظت سرب در خاک را بـه طـور معنـی داری بـه نسـبت نمونـه ۰/۵٪ بیوچار کاست اما در دو فلز دیگر این تفـاوت معنـی دار نیسـت.

جدول ۴- تجزیه واریانس تغییرات کروم در خاک

Table 3. Variance analysis of Cr changes in soil

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات	Fارزش	pr
گیاه	۲	۷۹۵/۸۶	۲۸۳/۶۷	<۰/۰۰۰۱
بیوچار	۳	۸۶/۹۱	۳۰/۹۸	<۰/۰۰۰۱
گیاه × بیوچار	۶	۵۱/۷۵	۱۸/۴۵	<۰/۰۰۰۱

تجزیه واریانس تغییرات کروم نشان دهنده اثر معنی دار تیمار گیاه پالایی و بیوچار در سطح ۱٪ از لحاظ آمـاری بـر غلظـت این فلز در خاک می باشد (جدول ۴). بدین معنی که بیوچـار موجب تثبیت کروم در خاک شد و در نتیجه غلظت کروم قابل دسترس در خاک کاهش قابل ملاحظه نشان داد. به طوری که از میزان میانگین ۵۴ میلی گرم در کیلـوگرم در نمونـه اولیـه خاک آلوده بـه ۵۰٪ پسـماند حفـاری بـه ۳۲ میلـی گـرم در کیلوگرم در نمونه تیمار شده با ۰/۵٪ بیوچار رسید. اگر چه تـا رسیدن به حدود استاندارد کیفیت منـابع خـاک ایـران بـرای خاک قلیایی که ۲ میلی گرم کروم در هرکیلوگرم خـاک مـی-باشد، فاصله دارد؛ لـیکن ایـن مقـدار کـاهش نیـز مفیـد و تـا حدودی اثرات مضر این آلاینده را در خاک می‌کاهد

جدول ۵- تجزیه واریانس تغییرات آرسنیک در خاک

Table 5. Variance analysis of as changes in soil

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات	Fارزش	pr
گیاه	۲	۲۶۱/۸۲	۵۵/۱۶	<۰/۰۰۰۱
بیوچار	۳	۲۴/۱۶	۵/۰۹	/۰۰۷۲
گیاه × بیوچار	۶	۵۵/۴۰	۱۱/۶۷	<۰/۰۰۰۱

تجزیه واریانس تغییرات آرسنیک در خاک اثر معنی دار گیاه را بر غلظت آرسنیک در خاک نشـان مـی‌دهـد. بـدین معنـی کـه کشت گیاه و استفاده از روش گیاه پـالایی غلظـت آرسـنیک در خاک را به نسبت قبل از کشت گیاه به طور معنـی دار از لحـاظ آماری کاسته است (جدول ۵). این مقدار قبل از گیاه پالایی در خاک‌های آلوده به پسماند گل حفاری حدود ۵۳ و بعد از گیـاه پالایی ۱۲ میلی گـرم در کیلـوگرم خـاک رسـیدکه بـه نسـبت استاندارد کیفیت منابع خـاک (حـدود اسـتاندارد آرسـنیک در خاک ۴۰ میلی گرم در خاک مـی‌باشـد) کـاهش بسـیار خـوبی داشته است. این جدول حاکی از اثر معنی دار تیمار بیوچـار بـر غلظت آرسنیک در خاک دارد و این تیمار نیـز اثـر کاهنـده بـر غلظت آرسنیک قابل دسترس در خاک داشت. اثرات متقابل نوع گیاه و بیوچار نیز اثر معنی داری بر کاهش غلظت آرسـنیک در خاک نشان می‌دهد.

جدول ۶- تجزیه واریانس تغییرات سرب در خاک

Table 6. Variance analysis of pb changes in soil

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات	F ارزش	pr
گیاه	۲	۲۸۷۴۶/۰۸	۴۴۰۳/۶۶	<۰/۰۰۰۱
بیوچار	۳	۳۳۵۸/۶۲	۵۱۴/۵۱	<۰/۰۰۰۱
گیاه × بیوچار	۶	۲۴۴/۳۷	۳۷/۴۴	<۰/۰۰۰۱

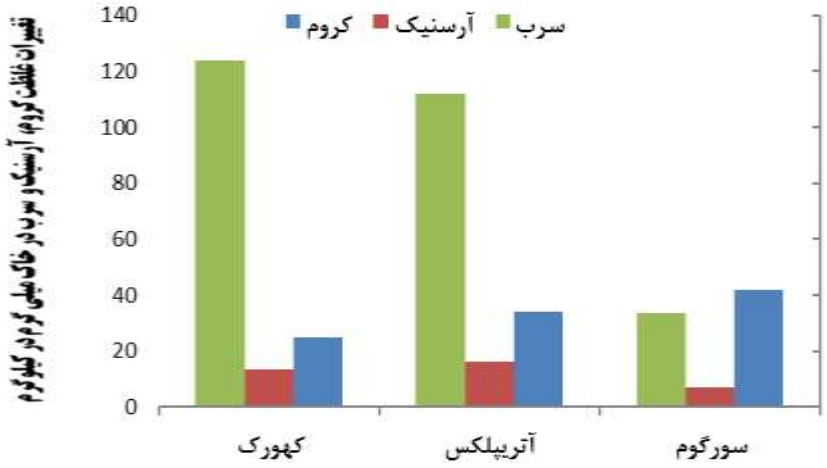
تجزیه واریانس تغییرات سرب در خاک گویاست که کشت گیاه و کاربرد بیوچار در خاک‌های آلوده به پسماند حفاری اثر کاهش معنی داری از لحاظ آماری بر غلظت سرب قابل دسترس در خاک دارند. اثرات متقابل گیاه و بیوچار نیز در سطح ۱٪ آماری معنی دار می‌باشد (جدول ۶).

نتایج مقایسه میانگین اثر نوع گیاه بر غلظت فلز کروم به روش دانکن حاکی از آن است که گیاه کهورک اثر بیشتری بر جذب کروم از خاک داشته و میانگین غلظت این فلز در نمونه‌های تیمار شده با کهورک ۲۴ و برای گیاه آتروپلکس ۳۴ و برای سورگوم ۴۱ میلی گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد. بنابراین گیاه کهورک نسبت به دو گیاه دیگر تیمار مناسبتری برای کاهش آلایندگی کروم از خاک می‌باشد (نمودار ۱).

نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف بیوچار بر میزان تثبیت فلز کروم حاکی از آن است که سطح سوم بیوچار (۱٪) اثر بهتری بر تثبیت این فلز داشته و سطوح چهارم (۲٪)، دوم (۰/۵) و اول (۰) به ترتیب اثر کمتری را در تثبیت کروم داشته اند (نمودار ۲). مقایسه میانگین نتایج حاصل از تحقیق به روش دانکن اثرات گیاه پالایی بر آرسنیک گویاست که گیاه آتروپلکس اثر کمتری به نسبت کهورک و سورگوم بر تثبیت آرسنیک داشته، اما سورگوم میانگین کاهش خوبی نشان داده و غلظت این فلز در نمونه های تیمار شده به این گیاه ۱۲ میلی گرم در کیلوگرم می‌باشد (نمودار ۱). گیاه سورگوم تیمار گیاه پالایی بهتری به نسبت دو گیاه دیگر برای پالایش آرسنیک از خاک است.

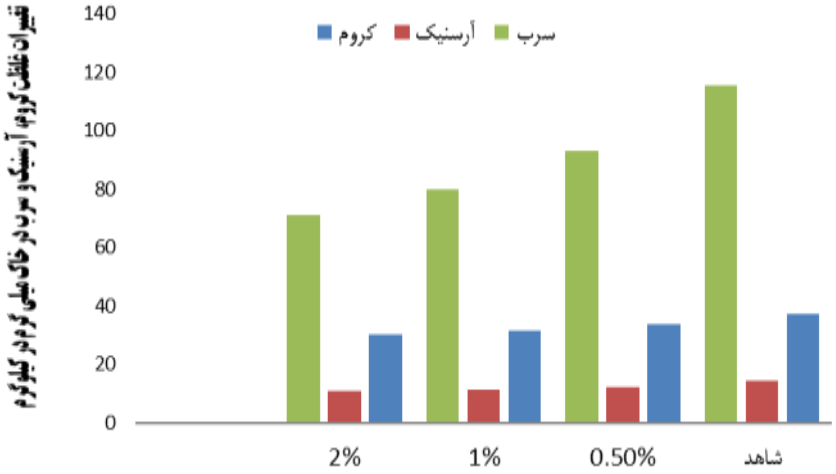
نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت تیمار بیوچار برای فلز آرسنیک گویای آن است که تیمار ۱٪ بیوچار اثر خوبی بر کاهش و تثبیت آرسنیک در خاک آلوده به پسماند حفاری داشته ولی با تیمار ۲٪ و ۰/۵ اختلاف معنی دار از لحاظ آماری نداشته، اما با نمونه شاهد اختلاف معنی داری از لحاظ آماری داشته است (نمودار ۲).

مقایسه میانگین نتایج حاصل از تحقیق به روش دانکن اثرات گیاه پالایی بر غلظت سرب که گیاه سورگوم منجر به تثبیت بیشتر در سرب شده و به ترتیب آتروپلکس و کهورک تثبیت کمتری را نشان دادند (نمودار ۱). نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت تیمار بیوچار بر کاهش و تثبیت سرب در نمونه های آلوده بازگو کننده این مطلب است که تیمار ۲٪ بیوچار به نسبت سایر تیمارها بر کاهش سرب در خاک اثر بهتری داشته است (نمودار ۲).



نمودار۱- تغییرات غلظت کروم، آرسنیک و سرب در خاک تحت اثر گیاه پالایی(کروم: سورگوم A، آتروپلکس B ،کهورک C - آرسنیک: آتروپلکسA ، کهورکB ، سورگوم C - سرب: کهورکA ، آتروپلکسB ، سورگوم C)

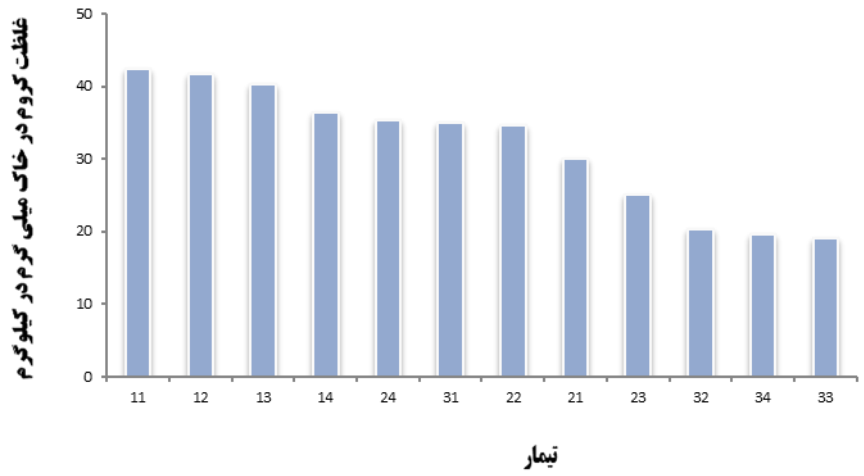
Figure 1. Variation in Cr, AS, Pb concentration **(mg/kg)** in soil as affected by Phytoremediation



نمودار۲- تغییرات غلظت کروم، سرب و آرسنیک در خاک تحت اثر غلظت مختلف بیوچار(کروم شاهدA ، ۰/۵٪ B ،۱٪C ، ۲٪ D آرسنیک: شاهدA ، ۰/۵٪ B، ۱٪ B، ۲٪ B - سرب: شاهدA ، ۰/۵٪ B، ۱٪ C، ۲٪ D)

Figire 2. Variation in Cr, AS, Pb concentration **(mg/kg)** in soil as affected by Biochar application rates (0, .5, 1, 2%) (W/W)

نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع گیاه و سطوح مختلف بیوچار بر میزان تثبیت فلز کروم گویاست که تیمار گیاه کهورک با ۱٪ بیوچار منجر به کاهش بیشتری در غلظت کروم خاک شده است (نمودار ۳).

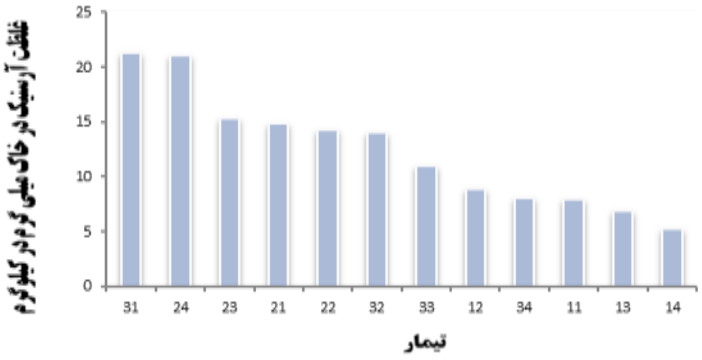


نمودار ۳- اثر متقابل گیاه و بیوچار بر تغییرات غلظت کروم

Figure 3. Cr concentration (mg/kg) affected by interaction between phytoremediation and biochar

۱۱-سورگوم و بدون تیمار بیوچار ۱۲- سورگوم و ۰/۵٪ بیوچار ۱۳- سورگوم و۱٪ بیوچار ۱۴- سورگوم و ۲٪ بیوچار ۲۱- آتروپلکس و بدون تیمار بیوچار ۲۲- آتروپلکس و۰/۵٪ بیوچار ۲۳- آتروپلکس و۱٪ بیوچار ۲۴- آتروپلکس با ۲٪ تیمار بیوچار ۳۱- کهورک و بدون تیمار بیوچار ۳۲- کهورک و ۰/۵٪ بیوچار ۳۳- کهورک و۱٪ بیوچار ۳۴- کهورک و ۲٪ بیوچار

بررسی اثرات متقابل گیاه و بیوچار نشان داد که کاربرد گیاه سورگوم همراه با غلظت ۲٪ بیوچار اثر کاهندگی خوبی بر غلظت آرسنیک در خاک داشت و تیمار بهینه برای پالایش آلایندگی این فلز از خاکهای آلوده می باشد (نمودار ۴).

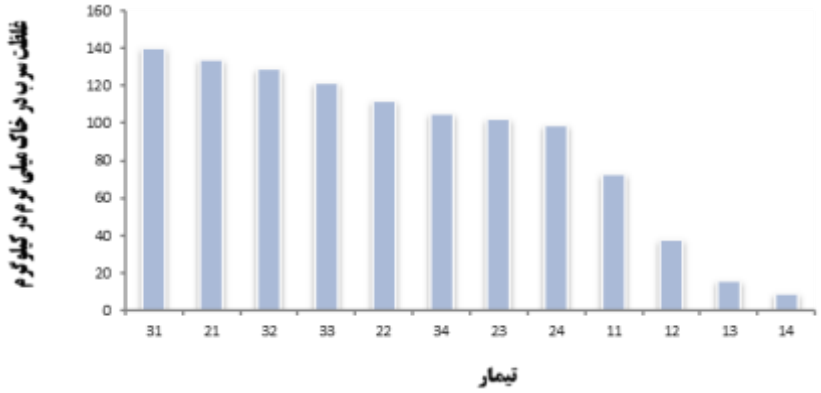


نمودار ۴- تغییرات غلظت آرسنیک تحت اثرات متقابل گیاه و بیوچار

Figure 4. As concentration (mg/kg) affected by interaction between phytoremediation and biochar

۱۱-سورگوم و بدون تیمار بیوچار ۱۲- سورگوم و ۰/۵٪ بیوچار ۱۳- سورگوم و۱٪ بیوچار ۱۴- سورگوم و ۲٪ بیوچار ۲۱- آتروپلکس و بدون تیمار بیوچار ۲۲- آتروپلکس و۰/۵٪ بیوچار ۲۳- آتروپلکس و۱٪ بیوچار ۲۴- آتروپلکس با ۲٪ تیمار بیوچار ۳۱- کهورک و بدون تیمار بیوچار ۳۲- کهورک و ۰/۵٪ بیوچار ۳۳- کهورک و۱٪ بیوچار ۳۴- کهورک و ۲٪ بیوچار

نتایج اثرات متقابل دو تیمار گیاه و بیوچار بر غلظت فلز سرب در خاک آلوده به پسماند حفاری نیز نشان می‌دهد که گیاه سورگوم با غلظت ۲٪ بیوچار بیشترین کاهش را در سرب قابل دسترس در خاک داشته و تیمار بهینه می‌باشد (نمودار ۵).



نمودار ۵- اثرات متقابل گیاه سورگوم و بیوچار برای فلز سرب

Figure 5. pb concentration **(mg/kg)** affected by interaction between phytoremediation and biochar

۱۱-سورگوم و بدون تیمار بیوچار ۱۲- سورگوم و ۰/۵٪ بیوچار ۱۳- سورگوم و۱٪ بیوچار ۱۴- سورگوم و ۲٪ بیوچار ۲۱- آتروپلکس و بدون تیمار بیوچار ۲۲- آتروپلکس و۰/۵٪ بیوچار ۲۳- آتروپلکس و۱٪ بیوچار ۲۴- آتروپلکس با ۲٪ تیمار بیوچار ۳۱- کهورک و بدون تیمار بیوچار ۳۲- کهورک و ۰/۵٪ بیوچار ۳۳- کهورک و۱٪ بیوچار ۳۴- کهورک و ۲٪ بیوچار

بحث و نتیجه گیری

-به دلیل وجود حجم عظیم چاه‌های نفت حفاری شده در منطقه‌ی آغاجاری و امیدیه در استان خوزستان،

-رهاسازی پسماندهای ناشی از حفاری بدون هیچ تمهیدات محیط زیست در پیت ها،

-خارج از حدود استاندارد بودن آلاینده های پسماندهای حفاری با توجه با آنالیزهای انجام شده؛

نتایج این مطالعه نشان داد که به کار بردن هر دو تیمار اصلاحی بیوچار و گیاه پالایی غلظت فلزات سنگین آلاینده در خاک را به طور معنی‌دار کاهش داده است.

در مطالعه‌ی اثر بیوچار و گیاه پالایی خاک آلوده به فلزات سنگین مشاهده کردند که گیاهان تحت اثر تیمار بیوچار کروم را در ناحیه ریشه تثبیت کردند و در واقع افزایش بیوچار منجر به تغییر شکل کروم شش ظرفیتی به نوع کم تحرک‌تر (کروم سه ظرفیتی) و کاهش کروم قابل دسترس در خاک شده است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (۲۳). کیم و همکاران (۲۵) در مطالعه‌ی اثرات کاربرد بیوچار بر تثبیت فلزات سنگین و جذب به‌وسیله گیاه کاهو در خاک‌های کشاورزی به این نتیجه رسیدند که کاربرد بیوچار و گیاه منجر به کاهش کلی در غلظت فلزات کادمیوم، مس، سرب و روی به ترتیب ۹۷٪، ۹۰ و ۱۰۰٪ شد که با مطالعه حاضر همخوانی دارد.

بررسی مقایسه میانگین اثر تیمارهای اصلاحی بر کاهش غلظت فلز سنگین و آلاینده ی کروم نشان داد که گیاه کهورک و تیمار ۱٪ بیوچار ضایعات نیشکر تیمار بهینه و کاراست.

در مطالعه حاضر نتیجه گرفته شد که برای کاهش غلظت فلز سنگین آرسنیک در خاک آلوده به پسماند حفاری، تیمار گیاه سورگوم همراه با تیمار ۱٪ بیوچار ضایعات نیشکر تیمار مناسب و مفیدی است. بسلی و همکاران (۴) گزارش دادند که آرسنیک بعد از افزایش بیوچار به خاک می‌تواند در زه‌آب خاک افزایش یابد اما انتقالش به گیاه کم می‌شود. این می‌تواند نشان دهنده‌ی این باشد که حداقل تعدادی از انواع بیوچارها می‌توانند خطر انتقال فلزات سنگین به گیاهان را کاهش دهند و انتقال مواد مغذی را در زنجیره غذایی ایمن‌تر کنند. اما آبشویی آرسنیک به آب‌های نزدیک بایستی مورد ملاحظه قرار گیرد که با مطالعه‌ی حاضر در یک راستا می‌باشد.

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که تیمار گیاه سورگوم با ۲٪ بیوچار بیشترین کاهش را در غلظت سرب قابل دسترس در خاک آلوده به پسماند حفاری منجر شده است. پوگا و همکاران (۱۶) در مطالعه اثرات متقابل گیاه پالایی و بیوچار بر غلظت فلزات کادمیوم سرب و روی نتیجه گرفتند که کاربرد بیوچار غلظت قابل دسترس کادمیوم، سرب و روی را در خاک آلوده

کاسته است. همچنین، تیمار با بیوچار میزان جذب گیاهی کادمیوم، سرب و روی را توسط لوبیا چیتی بیشتر از گیاه لوبیا مخملی کاهش داده است. در مطالعه حاضر نیز اثرات متقابل گیاه و بیوچار غلظت قابل دسترس فلزات سنگین کروم، آرسنیک و سرب را در خاک کاهش داد.

کاربرد بیوچار همراه با گیاه پالایی در خاکهای آلوده به فلزات سنگین منجر به افزایش حاصلخیزی خاک، تولید مزرعه، رشد گیاهان، حجم کربن و دسترسی مواد مغذی؛ پالایش و جذب فلزات سنگین توسط گیاهان می‌شود اما به مطالعات طولانی مدت زیست محیطی و بررسی از لحاظ جنبه اقتصادی برای حصول نهایت فایده نیازمند است (۲۸).

تشکر و قدردانی

هزینه‌های اجرای این پژوهش توسط معاونت پژوهشی، فناوری و ارتباط با جامعه دانشگاه شهید چمران اهواز (SCU.AS1396.365) پرداخت شده است.

References

1. Bahadori, m., 2011. "evalution operation of ***Waste*** drilling control in extension kish Gas field", *Proceedings of* 2th ***national*** conference on wastewater and solid ***waste*** management in oil and energy, Tehran, Iran, 29 December.(In Persian)
2. Bacon, J.R., Hewitt, I.J., 2005. Heavy metals deposited from the atmosphere on upland scottish soils:chemical and lead isotope studies of the association of metals with soil components. Geochimica cosmochimica acta,Vol. 68 (8), pp. 19-33.
3. Bech, j., Poschenrieder, C., Ilugany, M., Barcelo´, J., Tume, P., Tobias, F.J., Barranzuela, J.L., Va´squez, E.R., 1997. Arsenic and heavy metal contamination of soil and vegetation around a copper mine in northern peru. Sci total environ, Vol. 203, pp.83–91.
4. Lee, C.G., Chon, H.T., Jung, M.C., 2001. Heavy metal contamination in the vicinity of the Daduk Au-Ag-Pb-Zn mine in Korea. Appl Geochem, Vol. 16, pp.1377–1386.
5. Lee, J.S., Chon, H.T., Kim, K.W., 2005. Human risk assessment of As, Cd, Cu and Zn in the Abandoned Metal Mine Site. Environmental Geochemistry and Health, Vol.27, pp.185-191.
6. Liu, h., Probst, A., Liao, B., 2005. Metal contamination of soils and crops affected by the chenzhou lead/zinc mine spill (hunan,china). Sci total environ, Vol. 339, pp.153–166.
7. Mulligan, C.N., yong, R.N., Gibbs, B.F., 2001. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. Eng geol, Vol. 60, pp.193–207.
8. Kumpiene, J., Lagerkvist, A., Maurice, C., 2008. Stabilization of as, cr,cu, pb and zn in soil using amendments—a review. Waste manage, Vol. 28, pp.215–225.
9. Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpiene, J., Park. J., Makino, T., Kirkham, M.B., Scheckel, K., 2014. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils—to mobilize or to immobilize. Harzard Mater, Vol. 266, pp.141–166.
10. Lehmann, J., Gaunt, j., Rondon, M., 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—review. Mitig adapt strateg global change, Vol. 11,pp. 395–419.
11. Steiner, Ch., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J., Blum, W., Zech, W., 2007. Long term

effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant and Soil, Vol. 291, pp. 275–290

12. Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. biol fertil soils, Vol. 35, pp.219–230.
13. Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., luiza,˜ f.j., Petersen. J., Neves, E., 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil sci soc am, Vol. 70, pp.1719–1730.
14. Chan, K.Y., Xu, Z., 2009. Biochar: nutrient properties and their enhancement. In: Lehmann J, Joseph, S. (Eds.), Biochar for environmental management. Science and Technology. Earthscan, London, pp. 67–84.
15. Park, W.K., Park, N.B., Shin, J.D., Hong, S.G., Kwon, S.I., 2011b. Estimation of biomass resource conversion factor and potential production in agricultural sector. Korean J Environ Agric, Vol. 30, pp.252–260.
16. Puga, a.p., Abreu, A., Melo, c.a., Paz-Ferreiro, J., Beesley, L., 2015.Cadmium, lead, and zinc mobility and plant uptake in a mine soil amended with sugarcane straw biochar. Environ Sci. Pollut Res, Vol. 102, pp.88–95.
17. Krishnapillai, M., Sri Ranjan, R. Evaluating the phytoremediation potential of Atriplex Patula on saltcontaminated soil. CSAE/SCGR MeetingWinnipeg, June 26 - 29, 2005,Manitoba,Canada.
18. Eid, M.A., 2011. Halophytic plants for phytoremediation of heavy metals contaminated soil. American Science, Vol,7(8), pp.377-382.
19. McKissock, I., Walker, E., Gilkes, R. and Carter D. 2000. The influence of clay type on reduction of water repellency by applied clays: a review of some West Australian work. Journal of Hydrology, 231: 323-332.
20. Inyang, M., Gao,B., Yao, Y., Xue, Y., Zimmerman, A., 2012. Removal of heavy metals from aqueous solution by biochars derived from anaerobically digested biomass. Bioresource Technology,Vol, 110, pp.50-56.
21. Standards of Soil Quality and Guidance, Adjutancy of Human Environment, August, 2013. (In Persian)
22. Gholinezhad, E., ,The Effects of Salinity Stress on Related germination traits of wheat genotypes, Plan researches, Volume 27, Issue 2, Autumn 2014, Page 276-287.(In Persian)
23. Shyamala, L., karunakaran, R.J., 2017. Effect of biochar application on the chromium uptake of *canna indica* l. from chromium spiked soil. Pharmacognosy and Phytochemistry, Vol, 6(4), pp. 146-152.
24. Lebrun, M., Macri, C., Miard, F., hattab-hambli, N., motelica-heino, M., morabito, D., Bourgerie, S., 2016. Effect of biochar amendments on as and pb mobility and phytoavailability incontaminated mine technosols phytoremediated by salix. Geochemical Exploration, Vol, 16, pp.30331-4.

25. Kim, K,. Ok, Y.S., Owens, G., Kim, K.H., 2015. Effect of biochar on heavy metal immobilization and uptake by lettuce (lactuca sativa l.) in agricultural soil. Environmental Earth Sciences.s12665-015-4116-1.
26. Beesley, L., Marmiroli, M., Pagano, L., Pigoni, V., Fellet, G., Fresno, T., Vamerali, T., Bandiera, M., marmiroli, N., 2013. Biochar addition to an arsenic contaminated soil increases 25 arsenic concentrations in the pore water but reduces uptake to tomato plants (*solanum lycopersicum*l.). Sci. Total Environ. Vol., 454–455, pp.598–603.
27. Fellet, G., Marchiol, L., Delle vedove, G., peressotti, A., 2011. Application of biochar on mine tailings: effects and perspectives for land reclamation. Chemosphere, Vol. 83,pp.1262–1297.
28. Ferreiro,J.P., Lu, H., Fu,S., Méndez, A., G. Gascó, G., 2014. Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review. Solid Earth,Vol. 5, pp. 65-75.