

تأثیر بیوچار بر جذب سرب و کادمیم لجن فاضلاب کارخانه‌های کاغذ توسط آفتابگردان (*Heliantus Annus L.*)

ابوالفضل حجازی زاده¹، احمد غلامعلی زاده آهنگر²، مریم قربانی^{3*}

تاریخ دریافت: 94/10/18 تاریخ پذیرش: 94/10/29

¹- دانش‌آموخته سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده آب‌و خاک، دانشگاه زابل

²- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده آب‌و خاک، دانشگاه زابل

³- مربی گروه علوم خاک، دانشکده آب‌و خاک، دانشگاه زابل

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: maryamghorbani@uoz.ac.ir

چکیده

استفاده از لجن فاضلاب به‌عنوان کود در زمین‌های کشاورزی علاوه بر داشتن برتری‌های اقتصادی، گزینه مناسبی برای رفع مشکل مدیریت لجن فاضلاب است. از محدودیت‌های اصلی مصرف لجن فاضلاب وجود غلظت بالای فلزات سنگین مانند سرب و کادمیم هست. بیوچار با دارا بودن لیگاندهای آلی می‌تواند با فلزات سنگین کمپلکس‌هایی ایجاد کرده و با کاهش تحرک این فلزات در خاک، از انتقال آن‌ها به گیاهان بکاهد. هدف از این پژوهش بررسی اثر بیوچار بر جذب سرب و کادمیم موجود در لجن فاضلاب کارخانه‌ها کاغذ توسط آفتابگردان بود. به این منظور آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با 3 تکرار اجرا گردید. عامل‌ها شامل لجن فاضلاب کارخانه‌ها کاغذ در 4 سطح صفر، 15، 20 و 25 گرم در کیلوگرم خاک و بیوچار در 4 سطح صفر، 5، 10 و 15 گرم در کیلوگرم خاک بودند. نتایج نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب کارخانه‌ها کاغذ موجب افزایش معنادار غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی و ریشه آفتابگردان شد. نتایج همچنین نشان داد کاربرد بیوچار موجب کاهش معنادار (در سطح احتمال 1 درصد) غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی و ریشه آفتابگردان گردید.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، فلزات سنگین، لجن فاضلاب

Effect of Biochar on Lead and Cadmium Uptake from Applied Paper Factory Sewage Sludge by Sunflower (*Heliantus annus* L.)

A Hejazizadeh¹, A Gholamalizadeh Ahangar², M Ghorbani^{3*}

Received: 8 January 2015 Accepted: 19 January 2016

¹Former M.Sc., Student, Soil Sciences Dept. Faculty of Soil and Water Eng. University of Zabol, Iran

² Assoc. Prof., Soil Sciences Dept. Faculty of Soil and Water Eng. University of Zabol, Iran

³ Lecture., Soil Sciences Dept, Faculty of Soil and Water Engineering, University of Zabol, Iran

* Corresponding Author, Email: maryamghorbani@uoz.ac.ir

Abstract

Application of sewage sludge in agricultural lands as a fertilizer is a suitable selection for solving management problems of sewage sludge disposal, besides its economic benefits. One of the main limiting factors to use sewage sludge is its high content of heavy metals such as lead and cadmium. Biochar with organic ligands can create complex with heavy metals and makes them immobile in soil, and reduces their transport to plants. The aim of this study was to investigate the influence of the Biochar on lead and cadmium uptake from a Paper Factory sewage sludge by the Sunflower (*Heliantus annus*). For this purpose, a factorial greenhouse experiment as a complete randomized design with three replications was conducted. Four levels of sewage sludge with 0, 15, 20 and 25 (g kg⁻¹ of the soil) and four levels of Biochar with 0, 5, 10 and 15 (g kg⁻¹ of the soil) were used in order to investigate the sewage sludge influence. The results showed that the use of sewage sludge led to a significant increase of the lead and cadmium concentrations in the Sunflower shoots and roots. The results also showed that application of Biochar led to a significant decrease (at 1% probability level) of lead and cadmium concentrations at the shoots and roots of Sunflower.

Keywords: Biochar, Heavy metals, Sewage sludge

مقدمه

واکنش‌های احیا، ظرفیت طبیعی برای کاهش تحرک فلزات دارند، ولی با افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک، این آلاینده‌ها می‌توانند متحرک شده و در نتیجه آلودگی‌هایی برای محصولات کشاورزی و آب‌های زیرزمینی ایجاد نمایند (شی و همکاران 2009). بیشتر فلزات سنگین برخلاف آلاینده‌های آلی، دچار تجزیه بیولوژیکی یا شیمیایی نمی‌شوند. بنابراین، مدت‌زمان طولانی در خاک باقی می‌مانند. نتیجه مستقیم انباشتگی فلزات 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

منبع اصلی فلزات سنگین خاک، مصرف پساب‌های شهری و صنعتی، کودهای شیمیایی، لجن حاصل از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و معادن استخراج فلزات است. مهم‌ترین فلزات سنگین موجود در فاضلاب‌ها سرب، کادمیم، نیکل، کروم، قلع و آرسنیک می‌باشند (چنی و همکاران 2001). پتانسیل آزادسازی فلزات سنگین از لجن و تجمع فلزات سنگین در سطوح سمی در بخش فوقانی خاک، محدودیت اصلی استفاده از لجن فاضلاب است (کواریول و همکاران 2006). گرچه خاک‌ها با سازوکارهای مختلف مانند رسوب، جذب سطحی و

در حال حاضر اصلاح‌کننده‌های آلی یک انتخاب قابل قبول در جهت زیست‌پالایی خاک به‌شمار می‌روند و کاربرد آن‌ها در خاک می‌تواند روشی برای دفع اصولی پسماندها باشد. کربوکسیل، فنولیک هیدروکسیل و دیگر گروه‌های عاملی که شامل اکسیژن‌های سطحی‌اند، بیوچار را قادر می‌سازند تا آلاینده‌ی حاصل از آلاینده‌های آلی را کاهش دهد (یو و همکاران 2009).

بیوچار بر روی سطوح خود دارای گروه‌های عاملی است و بار منفی گروه‌های عاملی در طول زمان و در طی اکسایش در خاک افزایش می‌یابد (چنج و همکاران 2007). با توجه به کاربرد گسترده لجن فاضلاب و برتری‌های ویژه این کود آلی، به‌نظر می‌رسد یافتن روشی برای رفع مشکل جذب فلزات سنگین موجود در لجن توسط گیاهان ضروری است. تاکنون مطالعات زیادی بر روی اثرهای مثبت و منفی لجن فاضلاب در سطح کشور صورت گرفته است (واثقی و همکاران 1382)، اما مطالعات در زمینه رفع مشکل فلزات سنگین اندک بوده است (انصاری مهابادی و همکاران 2007، محمدی ثانی و همکاران 1390). در این پژوهش سعی بر آن است که با تجزیه لجن فاضلاب کارخانه کاغذ، از این ماده به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک استفاده نمود. البته وجود فلزات سنگین در لجن و پساب فاضلاب ممکن است استفاده از این مواد را محدود گرداند. در دهه‌های اخیر تلاش‌هایی برای تولید و به‌کار بردن مواد ارزان‌قیمت برای حذف آلودگی ناشی از فلزهای سنگین از آب‌ها و پساب‌ها و لجن‌های شهری و صنعتی صورت گرفته است. از جمله این مواد بیوچار است که برای کم کردن زیست‌فراهمی کاتیون‌های فلزهای سرب و کادمیم موجود در لجن فاضلاب کارخانه‌ها کاغذ از آن استفاده شده است. نتایج مطالعات نیسی و همکاران (1393) نشان داد آفتابگردان پتانسیل استخراج گیاهی بالاتری نسبت به بسیاری از گیاهان دارد. آن‌ها همچنین بیان کردند بیشترین جذب سرب و کادمیم در ریشه آفتابگردان بوده است. در یک

(خداوردیلو و حمزه نژاد تقلیدآباد 1390). یکی از روش‌های کنترل آلاینده‌ی لجن فاضلاب استفاده از روش غیرفعال‌سازی شیمیایی فلزات سنگین در خاک است. این روش با کاهش حلالیت فلزات سنگین باعث کاهش غلظت آن‌ها در گیاه می‌شود (محمدی ثانی و همکاران 1389). بیشتر روش‌های فیزیکی یا فیزیکوشیمیایی که برای بهسازی خاک‌های آلوده به کار می‌روند، نه‌تنها ساختمان فیزیکی خاک را تخریب نموده و فعالیت‌های بیولوژیکی خاک را متوقف می‌سازند، بلکه آلودگی‌های ثانویه‌ای را در خاک ایجاد می‌کنند که نیازمند پالایش هستند (آدریانو 2001). تثبیت شیمیایی فلزات سنگین به‌دلیل هزینه کم و سرعت زیاد نسبت به روش‌های دیگر برتری دارد. به‌سازها از طریق سازوکارهای جذب سطحی، واکنش‌های اسید و باز، رسوب، اکسایش و احیا، کمپلکس شدن، تبادل کاتیونی و هوموسی شدن باعث غیر پویا شدن و تثبیت فلزات سنگین در خاک می‌شوند (محمدی ثانی و همکاران 1390). به‌ساز مناسب، تحرک و فراهمی آلاینده را به‌سرعت کاهش داده و از آبشویی و جذب به‌وسیله گیاهان و جانداران خاک می‌کاهد (انصاری مهابادی و همکاران 2007، محمدی ثانی و همکاران 1390). بیوچار ترکیب پایداری از کربن، ماده‌ای متخلخل و بسیار ریز دانه است که در دمای کم تا متوسط (650-450 درجه سلسیوس)، تحت شرایطی با اکسیژن محدود تولید می‌شود (ساهی و همکاران 2009). بیوچار¹ از تجزیه حرارتی زیست‌توده در فرآیند پیرولیز² تولید می‌شود. بیوچار در سالیان اخیر به‌دلیل موضوع جهانی تغییرات آب و هوایی و مدیریت خاک بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات و بررسی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که بیوچار قادر است به‌عنوان جاذب، فلزات سنگین را از آب حذف کند (موهان 1990).

1 Biochar

2 Pyrolysis

سرب قابل جذب خاک با DTPA عصاره‌گیری و توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (لیندزی و نورول 1987). لجن فاضلاب مورد استفاده از کارخانه کاغذ نیشابور تهیه گردید. برای اندازه‌گیری pH و EC لجن فاضلاب از نسبت 1:5 لجن به آب استفاده شد. غلظت کل سرب و کادمیم در نمونه لجن با روش هضم با اسید فلئوئوریدریک و تیزاب سلطانی (اسیدنیتریک و اسید کلریدریک با نسبت 1 به 3) اندازه‌گیری شد (هوسنر 1996). بیوپچار مورد نیاز از تکه‌های چوب درخت چنار و در یک کوره پیروولوسیس دست‌ساز تولید و سپس خرد و از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد و تجزیه شیمیایی بر روی آن انجام گرفت (حمزئی و همکاران 1391). پس از اعمال سطوح مختلف بیوپچار، صفر، 5، 10 و 15 گرم در کیلوگرم لجن، مخلوط به دست آمده به منظور انجام واکنش‌های شیمیایی در دما و رطوبت ثابت به مدت 15 روز نگهداری شد. آنگاه لجن فاضلاب پیش تیمار شده، در مقادیر صفر، 15، 20 و 25 گرم لجن (نجفی و مردمی 1390) در کیلوگرم خاک گلدان (با وزن 2 کیلوگرم) افزوده شد. داخل هر گلدان 10 عدد بذر آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) رقم پا کوتاه کشت شد و پس از استقرار گیاهان، شمار بوته‌ها به 5 عدد تنک گردید. در طول دوره رشد رطوبت خاک گلدان‌ها به روش وزنی در محدوده FC حفظ شد. 45 روز پس از کشت، عملیات برداشت گیاهان انجام شد. پس از برداشت گیاهان، اندام‌های هوایی و ریشه از هم جدا شد و در آون به مدت 72 ساعت در دمای 70 درجه سلسیوس، خشک گردید (بلک و اوانس 1965). برای تعیین غلظت عنصر سرب و کادمیم در بخش هوایی و ریشه آفتابگردان از روش هضم با HNO_3 غلیظ و آب‌اکسیژنه 30 درصد استفاده گردید (بنتون و کیس 1990) و غلظت سرب و کادمیم در عصاره گیاه به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل UNICAM919AA تعیین گردید. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از

آزمایش‌گلدانی به منظور بررسی قابلیت جذب سرب از خاک آلوده به سرب توسط سه گیاه یونجه، آفتابگردان و ذرت مشخص شد که گیاه آفتابگردان نسبت به ذرت و یونجه از توانائی بالاتری جهت حذف سرب از خاک برخوردار است (محبی و همکاران 1389). همچنین آفتابگردان یکی از گیاهان رایجی است که در منطقه کشت می‌شود. از این رو، این پژوهش با هدف بررسی کاهش زیست‌فراهمی فلزات سرب و کادمیم موجود در لجن فاضلاب کارخانه‌ها کاغذ از طریق کاربرد بیوپچار و توسط آفتابگردان به انجام رسید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت گلخانه‌ای با کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب کارخانه‌ها کاغذ و بیوپچار در خاک و کشت گیاه آفتابگردان، به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با 3 تکرار انجام شد. عامل‌ها شامل لجن فاضلاب کارخانه‌ها کاغذ در 4 سطح صفر، 15، 20 و 25 گرم در کیلوگرم خاک و بیوپچار در 4 سطح صفر، 5، 10 و 15 گرم در کیلوگرم خاک بودند. خاک مورد استفاده از عمق صفر تا 30 سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل تهیه و پس از هوا خشک نمودن و عبور از الک دو میلی‌متری، برخی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین گردید (جدول 1). بافت خاک به روش هیدرومتری (دی 1965)، کربن آلی به روش والکی‌بلاک (آلیسون 1965)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک با هدایت‌سنج الکتریکی (رودن، 1982)، pH خاک به روش الکتروود شیشه‌ای در عصاره اشباع خاک (توماس 1996)، نیتروژن کل به روش کج‌لادال (برمنز 1996)، فسفر قابل جذب به روش عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم (اولسن و همکاران 1954)، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-2100) و پتاسیم قابل جذب با استفاده از روش عصاره‌گیری با استات‌آمونیم (حلمک و اسپارکس 1996) و قرائت با دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شد. میزان کادمیم و

سرب و کادمیم موجود در لجن فاضلاب شده و قابلیت استفاده از لجن فاضلاب در خاک مورد مطالعه را افزایش دهد. خداوردیلو و صمدی (2011) بیان کردند که کربنات کلسیم فعال از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک در جذب و نگهداری کادمیم در خاک‌های آهکی است. pH بالای خاک باعث رسوب سرب به صورت هیدروکسید، فسفات یا کربنات می‌شود (کاباتا پندیاس و پندیاس 2001). یافته‌های واتقی و همکاران (1382) نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب در خاک‌های آهکی از نظر آلودگی فلزات سنگین خطر کمتری دارد.

نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک، لجن فاضلاب و بیوجار مورد استفاده: برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول 1 ارائه شده است. pH خاک یکی از عوامل کنترل‌کننده فراهمی فلزات سنگین در خاک می‌باشد. pH خاک مورد مطالعه قلیایی (pH=7/2) بود، در نتیجه می‌تواند باعث کاهش فراهمی فلزاتی مانند

جدول 1- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه.

گروه بافت خاک	شن	رس	سیلت	pHe	ECe	OC	نیترژن کل	پتاسیم	فسفر	سرب	کادمیم
	(%)	(%)	(-)	(dS m ⁻¹)	(%)	(%)	(%)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)
لوم شنی	69	7	24	7/2	1/6	2/7	0/063	185	12	1/34	0/05

شیمیایی و فیزیکی خاک بگذارد. pH لجن مورد مطالعه شیمیایی (pH=6/83) کمی اسیدی بود. pH اسیدی برای لجن در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (افیونی و همکاران 1377، واتقی و همکاران 1384).

نتایج جدول 2 نشان می‌دهد مقدار کربن آلی لجن مورد مطالعه قابل توجه بود. این مقدار کربن آلی (14/5 درصد) می‌تواند علاوه بر جبران کمبود ماده آلی در خاک‌های کشاورزی، آثار مطلوبی بر ویژگی‌های

جدول 2- مقایسه غلظت برخی فلزات سنگین در لجن مورد استفاده با استانداردهای بین‌المللی.

متغیر	واحد	لجن مورد استفاده	حد مجاز استاندارد USEPA503t	حد مجاز استاندارد اروپا ¹	حد مجاز استاندارد آلمان ¹	حد مجاز استاندارد کانادا ¹
pH(1:5)	(-)	6/83	-	-	-	-
EC(1:5)	(dS m ⁻¹)	4/23	-	-	-	-
کربن آلی	(%)	14/5	-	-	-	-
سرب کل	(mg kg ⁻¹)	67	300	750-1200	900	500
کادمیم کل	(mg kg ⁻¹)	2/5	39	20-40	5-10	20

(پیچ و همکاران 1982)، ¹ دامنه کمتر برای pH کوچکتر از 7 و دامنه بیشتر برای pH بالاتر از 7 (گورک 1992)

محیطزیست آمریکا، اروپا، آلمان و کانادا کمتر می‌باشد، که این امر نکته مثبتی در بکار بردن لجن فاضلاب تلقی

غلظت سرب و کادمیم در لجن فاضلاب مورد استفاده از حد مجاز استانداردهای آژانس حفاظت

می‌گردد (جدول 2). باین‌حال باید توجه داشت کاربرد طولانی‌مدت و مقادیر زیاد لجن می‌تواند موجب انباشته شدن این عناصر در خاک گردد (آنتونیدس و آلووی

2003). برخی از ویژگی‌های بیوپچار مورد استفاده در جدول 3 نشان داده شده است.

جدول 3- برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوپچار.

سرب کل	کادمیوم کل	OC	pH	ECe
(mg kg ⁻¹)	(%)	(-)	(dS m ⁻¹)	
0/4	0/1	4/26	8/4	3/7

برهمکنش لجن فاضلاب و بیوپچار بر وزن خشک ریشه، اندام‌هوایی و کادمیم ریشه معنادار نبود اما اثرات ساده هر یک از تیمارها بر صفات مذکور در سطح یک درصد معنادار بود (جدول 4). وزن خشک ریشه گیاه در

سطح 25 گرم لجن نسبت به شاهد 51/87 درصد کاهش معنادار نشان داد و البته بین سطوح 20 و 25 گرم لجن تفاوت معناداری دیده نشد (جدول 5).

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی و ریشه آفتابگردان.

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	غلظت سرب در اندام هوایی	غلظت سرب در ریشه	غلظت کادمیم در اندام هوایی	غلظت کادمیم در ریشه
لجن	3	1/17**	3/54**	0/197**	40/260**	0/009**	0/039**
بیوپچار	3	0/06**	0/14**	0/03**	0/044**	0/014**	0/013**
لجن* بیوپچار	9	0/006 ^{ns}	0/01 ^{ns}	0/006**	0/008**	0/001**	0/0008 ^{ns}
خطا	30	0/008	0/013	0/003	0/0002	0/0003	0/0006
ضریب تغییرات	-	10/40	5/66	1/24	0/28	7/03	8/89

^{ns}, *, ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح 5 و 1 درصد

همچنین بیشترین مقدار کادمیم ریشه (0/35 میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه) در سطح 25 گرم لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک مشاهده شد که نسبت به سطح شاهد اختلاف معنادار نشان داد (جدول 5). البته در سطوح 15 و 20 گرم لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک، مقدار کادمیم ریشه نسبت به سطح شاهد به ترتیب 38 و 42 درصد افزایش معنادار داشت (جدول 5). افیونی و همکاران (1998) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به وسیله

کاهو و اسفناج دریافتند، لجن فاضلاب موجب افزایش معنادار غلظت مس، روی و سرب قابل عصاره‌گیری به وسیله EDTA در خاک و جذب این فلزات توسط گیاه شد. کسکین و همکاران (2010) نشان دادند، لجن فاضلاب موجب افزایش غلظت سرب در گونه‌ای از گیاهان علفی گردید. سینگ و اگراوال (2010) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر تجمع فلزات سنگین در برنج دریافتند لجن فاضلاب موجب افزایش غلظت سرب در ریشه، ساقه، برگ و دانه برنج گردید.

جدول 5- نتایج مقایسه میانگین‌های وزن خشک ریشه و اندام هوایی در سطوح مختلف لجن.

لجن فاضلاب	وزن خشک ریشه (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)	کادمیم ریشه (mg kg^{-1})
0	1/33 ^{a*}	2/80 ^a	0/21 ^c
15	0/82 ^b	1/82 ^b	0/29 ^b
20	0/70 ^c	1/75 ^b	0/30 ^b
25	0/64 ^c	1/68 ^c	0/35 ^a

* در هر ستون اعدادی که دارای حروف لاتین یکسان هستند در سطح احتمال 5 درصد معنادار نمی‌باشند

احتمال یک درصد معنادار می‌باشد (جدول 6). نتایج جدول 6 نشان می‌دهد که کمترین مقدار کادمیم ریشه (0/25 میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه) در سطح 15 گرم بیوچار در کیلوگرم خاک به دست آمد که نسبت به سطح شاهد 22 درصد کاهش معنادار نشان داد. البته مقدار کادمیم در سطح مذکور با سطح 10 گرم بیوچار در کیلوگرم خاک تفاوت معناداری نداشت.

برخلاف لجن فاضلاب، افزایش در سطوح بیوچار وزن خشک ریشه را افزایش داد، به طوری که وزن خشک ریشه در سطح 10 گرم بیوچار در کیلوگرم خاک 1/2 برابر وزن خشک ریشه در سطح شاهد شد (جدول 6). وزن خشک اندام هوایی در تیمار 10 گرم بیوچار در کیلوگرم خاک در مقایسه با شاهد 9 درصد افزایش داشت که این افزایش از لحاظ آماری در سطح

جدول 6- نتایج مقایسه میانگین‌های وزن خشک ریشه و اندام هوایی در سطوح مختلف بیوچار.

بیوچار	وزن خشک ریشه (g)	وزن خشک اندام هوایی (g)	کادمیم ریشه (mg kg^{-1})
0	0/78 ^{b*}	1/89 ^c	0/32 ^a
5	0/85 ^b	1/98 ^c	0/30 ^b
10	0/94 ^a	2/06 ^{ab}	0/26 ^c
15	0/93 ^a	2/15 ^a	0/25 ^c

* در هر ستون اعدادی که دارای حروف لاتین یکسان هستند در سطح احتمال 5 درصد معنادار نمی‌باشند

می‌دهد که اثر متقابل لجن و بیوچار بر غلظت سرب در اندام هوایی و ریشه آفتابگردان و غلظت کادمیم در اندام هوایی آفتابگردان معنادار بود (جدول 4). نتایج نشان داد در سطح 15 گرم لجن در کیلوگرم خاک، غلظت سرب اندام هوایی در سطح 15 گرم بیوچار در کیلوگرم خاک به میزان 4/2 درصد نسبت به سطح صفر بیوچار کاهش معنادار نشان داد (جدول 7).

حسین و همکاران (2010) به مطالعه تأثیر کاربرد بیوچار حاصل از لجن فاضلاب، بر گوجه‌فرنگی گیلاسی (*Lycopersicon esculentum*) پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که اضافه کردن بیوچار، میانگین وزن خشک تولید ساقه را از 61/9 به 73/8 گرم افزایش داد و عملکرد محصول در مقایسه با تیمار شاهد 64 درصد بیشتر بود. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان

جدول 7- اثر سطوح مختلف بیوچار بر غلظت سرب و کادمیم بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در اندام هوایی و ریشه آفتابگردان در سطوح مختلف لجن فاضلاب.

لجن فاضلاب	بیوچار	سرب اندام هوایی	سرب ریشه	کادمیم اندام هوایی
(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)		(mg kg ⁻¹)	
15	0	1/42 ^{gh*}	4/30 ^g	0/26 ^{cd}
	5	1/39 ^{gh}	4/27 ^g	0/26 ^{cd}
	10	1/39 ^{gh}	4/27 ^g	0/25 ^{de}
	15	1/36 ^h	4/23 ^h	0/21 ^{fg}
20	0	1/52 ^{bc}	6/49 ^d	0/30 ^b
	5	1/47 ^{de}	6/47 ^d	0/29 ^{bc}
	10	1/45 ^{de}	6/43 ^e	0/23 ^{ef}
	15	1/44 ^{ef}	6/39 ^f	0/23 ^{ef}
25	0	1/57 ^a	7/71 ^a	0/33 ^a
	5	1/54 ^a	7/69 ^a	0/29 ^{bc}
	10	1/54 ^a	7/51 ^b	0/22 ^{ef}
	15	1/50 ^d	7/42 ^c	0/20 ^{gh}

* در هر ستون اعدادی که دارای حروف لاتین یکسان هستند در سطح احتمال 5 درصد معنادار نمی‌باشند

سطح 25 گرم لجن در کیلوگرم خاک، غلظت سرب ریشه در سطح 15 گرم بیوچار در کیلوگرم خاک نسبت به سطح شاهد به مقدار 3/8 درصد کاهش معنادار نشان داد (جدول 7). این اثر کاهشی بیوچار در مورد غلظت کادمیم در اندام هوایی نیز صادق است، به این نحو که در سطح 25 گرم لجن در کیلوگرم خاک، غلظت کادمیم اندام هوایی در سطح 15 گرم بیوچار در کیلوگرم خاک 39/4 درصد نسبت به سطح صفر بیوچار کاهش معنادار نشان داده است (جدول 7). کادمیم در گیاهان بسیار متحرک است، اگرچه انتقال کادمیم در بافت‌های گیاهی ممکن است محدود باشد، زیرا کادمیم به راحتی در مکان‌های تبادل ترکیبات فعال موجود در دیواره سلولی نگهداری می‌شود (کاباتا-پندیاس و پندیاس 2001). برون‌تی و همکاران (2011) بیان نمودند تجمع بیشتر فلزات کروم، مس، سرب و روی در ریشه نسبت به اندام هوایی نشان‌دهنده سازوکار تحمل گیاه در غلظت‌های بالای فلزات در خاک می‌باشد. کرمی و

همچنین در سطح 20 گرم لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک، غلظت سرب در سطوح 20 و 25 گرم بیوچار در کیلوگرم خاک نسبت به سطح صفر بیوچار به ترتیب 5/2 و 4/45 درصد کاهش معنادار نشان داد (جدول 7). کاربرد بیوچار موجب کاهش معنادار (در سطح 1 درصد) غلظت سرب در ریشه آفتابگردان شد که بیانگر آن است که بیوچار کارایی زیادی در کاهش غلظت سرب در ریشه آفتابگردان داشت. با افزودن بیوچار به خاک، کاهش غلظت در هر 3 سطح لجن مشاهده گردید. نتایج نشان داد در سطح 15 گرم لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک، غلظت سرب در ریشه آفتابگردان در سطح 15 گرم بیوچار در کیلوگرم خاک به میزان 1/6 درصد نسبت به سطح صفر بیوچار کاهش معنادار نشان داد، و در سطح 20 گرم لجن فاضلاب در کیلوگرم خاک، غلظت سرب در ریشه در سطح 15 گرم بیوچار در کیلوگرم خاک نسبت به سطح صفر 1/54 درصد کاهش معنادار یافت. همچنین در

مانع از انتقال فلزات به اندام هوایی می‌شود. این امر یک نکته مثبت تلقی می‌گردد که از انتقال فلزات سنگین به زنجیره غذایی جلوگیری می‌کند. مطالعاتی که توسط بسلی و همکاران (2010) بر روی بیوچار تهیه‌شده از زباله سبز و کود مرغی انجام شد، نشان داد که با افزایش سطح اصلاح‌کننده، غلظت کادمیم و مس در گیاه خردل هندی کاهش یافت. بیوچار سبب عدم تحرک و تثبیت فلزات شده و همین عامل می‌تواند سبب کاهش غلظت فلز در گیاه شود. همچنین تشکیل گروه‌های عاملی کربوکسیلیک و گروه‌های عاملی آروماتیک هیدروکسید در طول اکسیداسیون بیوچار، CEC خاک را افزایش می‌دهد و احتمالاً باعث تشکیل کمپلکس‌های پایدار بیوچار- فلز سنگین در خاک می‌شود (لیانگ و همکاران 2006).

همچنین ژنگ و همکاران (2012) نشان دادند بعد از استفاده از بیوچار، غلظت کادمیم در ریشه های برنج کاهش یافت. بیوچار سبب عدم تحرک و تثبیت فلزات شده و همین عامل می‌تواند سبب کاهش غلظت فلز در گیاه شود. همچنین تشکیل گروه‌های عاملی کربوکسیلیک و گروه‌های عاملی آروماتیک هیدروکسید در طول اکسیداسیون بیوچار، CEC خاک را افزایش می‌دهد و احتمالاً باعث تشکیل کمپلکس‌های پایدار بیوچار- فلز سنگین در خاک می‌شود (لیانگ و همکاران 2006). در این بررسی همبستگی‌های قوی و منفی بین غلظت کادمیوم و سرب در ریشه و وزن ریشه به‌دست آمد که بیان‌گر این قضیه است که افزایش غلظت کادمیم و سرب در ریشه می‌تواند وزن ریشه را کاهش دهد (جدول 8). همچنین جدول 8 نشان می‌دهد که این رابطه معکوس بین غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی گیاه و وزن خشک بخش هوایی گیاه نیز صادق است. انباشته شدن فلزات سنگین در محیط ریشه سبب کاهش جذب آب و مواد غذایی، کاهش انتقال آب و برهم خوردن تعادل آب، مهار فعالیت آنزیم‌ها، کاهش متابولیسم سلولی، کاهش فتوسنتز، تنفس و تعرق، کمبود نیتروژن

همکاران (1386)، گزارش کردند که کاربرد تیمارهای بیوچار و کمپوست در یک خاک آلوده به فلزات سنگین، غلظت مس و سرب را در محلول خاک کاهش داد و موجب کاهش فراهمی زیستی این دو عنصر شد. غلظت آستانه بحرانی فلزات سنگین در گیاهان در منابع متفاوت گزارش شده است. بسلی و همکاران (2010) گزارش دادند که بیوچاری که از چوب سخت تشکیل شده است، به‌صورت معناداری غلظت کادمیم قابل استخراج را در خاک کاهش می‌دهد. ژانگ و همکاران (2013) اظهار کردند که بیوچار با بالا بردن pH خاک می‌تواند سبب کاهش تحرک فلزات سنگین در خاک شود. نام‌گی و سینگ در سال 2010 در بررسی‌هایی که انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که کاهش معناداری در غلظت کادمیم موجود در اندام هوایی گیاه ذرت در سطح 15 گرم بیوچار در کیلوگرم خاک حاصل از چوب فعال رخ داد که می‌تواند به‌علت تشکیل کمپلکس فلز-آلی باشد. بررسی‌های صورت گرفته توسط دبلا و همکاران (2012) نشان داد که کاهش معنی‌داری در آبشویی روی و کادمیوم از خاک رخ داد، آن‌ها دلیل این عمل را به تشکیل کمپلکس‌های ترکیبات آلی موجود در بیوچار با فلزات سنگین مرتبط دانستند. بررسی‌های انجام‌شده توسط بناویدز و همکاران (2005) نشان داد که ریشه محتوی کادمیم بیشتری نسبت به اندام‌هوایی بود، چون اولین اندام گیاه که در تماس با کادمیم قرار می‌گیرد و می‌تواند کادمیم بیشتری جذب نماید ریشه است. یون‌های کادمیم در بافت‌های ریشه رسوب می‌کنند و کمتر به سمت اندام‌های هوایی حرکت می‌کنند. بنابراین، این نقش ریشه بسیار مهم است، زیرا ریشه‌ها می‌توانند به‌عنوان محل اصلی برای رسوب‌گیری و غیر فعال‌سازی فلزات عمل نمایند. نتایج مشابهی توسط واتقی و همکاران (1380) و کاستالدی و همکاران (2005) گزارش شده است. سینگ و همکاران (2004) تجمع بیش‌تر فلزات سنگین در ریشه‌ها را به کمپلکس شدن این فلزات با گروه‌های سولفیدرل نسبت دادند که

همکاران (2012) نشان دادند بعد از استفاده از بیوچار، غلظت کادمیم در ریشه‌های برنج کاهش یافت. کاهش رشد ناشی از سمیت کادمیم، به دلیل کاهش فتوسنتز، تنفس، کاهش متابولیسم کربوهیدرات‌ها و ایجاد کلروز است (مویا و همکاران 1993).

و فسفر و در نتیجه مهار رشد، تسریع پیری و حتی مرگ گیاه می‌گردد (رادتیک و همکاران 2000). قادریان و جمالی حاجیانی (1389)، گزارش دادند که با افزایش غلظت کادمیم در محلول غذایی، وزن خشک ریشه به-طور معنی‌دار کاهش یافت. همچنین ژنگ و

جدول 8- ضریب همبستگی (r) بین صفات اندازه‌گیری شده (n=48).

	وزن ریشه	وزن بخش هوایی	غلظت سرب اندام هوایی	غلظت سرب ریشه	غلظت کادمیم اندام هوایی	غلظت کادمیم ریشه
وزن ریشه	1/00	0/975**	-0/920**	-0/802**	-0/743**	-0/891**
وزن بخش هوایی		1/00	-0/894**	-0/723**	-0/699**	-0/857**
غلظت سرب اندام هوایی			1/00	0/833**	0/717**	0/876**
غلظت سرب ریشه				1/00	0/505*	0/734**
غلظت کادمیم اندام هوایی					1/00	0/812**
غلظت کادمیم ریشه						1/00

*, ** به ترتیب معنی‌داری در سطح 5 و 1 درصد

نتیجه‌گیری کلی

توسط آفتابگردان داشت. با توجه به کارایی بیوچار در کاهش مقدار جذب سرب و کادمیم توسط آفتابگردان و تهیه آسان آن و همچنین برتری‌های اقتصادی استفاده از این اصلاح‌کننده، کاربرد آن به همراه لجن فاضلاب کارخانه کاغذ توصیه می‌شود. همان‌طوری که در مقاله نیز ذکر شد، به دلیل کمپلکس‌هایی که ترکیبات آلی موجود در بیوچار با فلزات سنگین تشکیل می‌دهند و سبب عدم تحرک آن‌ها می‌شوند، در نتیجه امکان استفاده از لجن فاضلاب کارخانه‌ها کاغذ را به عنوان کود در بخش کشاورزی افزایش می‌دهند. با این وجود، پژوهش‌های بیشتر به‌ویژه در شرایط مزرعه‌ای در این زمینه نیاز است.

کاربرد لجن فاضلاب تا سطح 25 گرم در کیلوگرم خاک موجب افزایش غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی آفتابگردان شد، با این وجود غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی آفتابگردان کمتر از غلظت آستانه سمیت بود. با توجه به تجمع فلزات سنگین مانند سرب در ریشه گیاهان، کاربرد ترکیباتی که شامل مقادیری از فلزات سنگین می‌باشد مانند لجن فاضلاب، در کشت گیاهان مانند هویج که از ریشه آنها در تغذیه استفاده می‌گردد، توصیه نمی‌گردد. یافته‌های این پژوهش نشان داد کاربرد بیوچار موجب کاهش غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی و ریشه آفتابگردان شد و بیوچار کارایی خوبی برای کاهش جذب فلزات سنگین سرب و کادمیم

منابع مورد استفاده

افیونی م، رضایی نژادی و خیامباشی ب، 1377. اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به‌وسیله کاهو و اسفناج. مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، جلد 2، شماره 1، صفحه‌های 19 تا 30.

- بهمنیار مع، 1385. تأثیر مصرف فاضلاب در آبیاری گیاهان زراعی بر میزان برخی از عناصر سنگین خاک و گیاهان. مجله مطالعات زیست محیطی، جلد 33، شماره 44، صفحه‌های 19 تا 26.
- حمزئی ا، لکزیان ا، آستارایی ع و فتوت ا، 1391. تأثیر بیوجار و فاضلاب بر غلظت کادمیوم قابل جذب خاک و رشد گیاه ماش. مجموعه مقالات سومین همایش ملی جامع مدیریت جامع منابع آب. 20 و 21 شهریورماه، ساری.
- خداوردیلو ح و حمزه‌نژاد تقلیدآباد ر، 1390. جذب و واجذب سرب و تاثیر تر-خشک شدن متناوب بر توزیع فلز در دو خاک با ویژه‌گی‌های متفاوت، مجله دانش آب و خاک، جلد 21، شماره 1 صفحه‌های 149 تا 163.
- قادریان م و جمالی حاجیانی ن، 1389. بررسی مقاومت، جذب و انباشتگی کادمیوم در گیاه. مجله زیست‌شناسی گیاهی، جلد 2، شماره 6، صفحه‌های 87 تا 98.
- کریمی م، رضایی‌نژاد ی، افیونی م و شریعتمداری ح، 1386. اثرات تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب شهری بر غلظت عناصر سرب و کادمیوم در خاک و گندم. مجله آب و خاک (مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، جلد 11، شماره 1، صفحه‌های 79 تا 95.
- محبی ع، هاروتونیان س و معزی ع، 1389. بررسی قابلیت جذب سرب توسط گیاهان ذرت، یونجه و آفتابگردان. چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، آبان 1389.
- محمدی‌ثانی م، آستارایی ع، فتوت ع و لکزیان ع، 1389. غیرپویاسازی سرب و روی در ضایعات معدن به‌وسیله ژئولیت و سوپر فسفات تریپل و تأثیر آن بر رشد گندم. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد 8، شماره 6، صفحه‌های 956 تا 964.
- نجفی ن و مردمی س، 1390. اثر غرقاب، لجن فاضلاب و کود دامی بر ویژگی‌های رشد گیاه آفتابگردان در یک خاک شن لومی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 25، شماره 6، صفحه‌های 1264 تا 1276.
- نیسی ع، وثوقی م، محمدی ب، محمدی م، نعیم‌آبادی ا و هاشم‌زاده ب، 1393. گیاه‌پالایی فلزات سنگین توسط آفتابگردان؛ یک مطالعه مروری. فصلنامه علمی دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، جلد 2، شماره 2، صفحه‌های 55 تا 66.
- واثقی س، افیونی م، شریعتمداری ح و مبلی م، 1380. تأثیر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در کاهو و اسفناج در خاک‌های با pH متفاوت. مجله علوم و فنون باغبانی، جلد 2، شماره‌های 3-4، صفحه‌های 125 تا 142.
- واثقی س، افیونی م، شریعتمداری ح و مبلی م، 1382. اثر لجن فاضلاب و pH خاک بر قابلیت جذب عناصر کم مصرف و فلزات سنگین. مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، جلد 7، شماره 3، صفحه‌های 95 تا 106.
- واثقی س، افیونی م، شریعتمداری ح و مبلی م، 1384. اثر لجن فاضلاب بر غلظت برخی عناصر کم مصرف و ویژگی‌های شیمیایی خاک. مجله آب و فاضلاب، شماره 53، صفحه‌های 15 تا 22.
- Adriano DC, 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metal. 2nded. Springer Verlag, New York, 879p.
- Allison LE, 1965. Organic carbon. Pp. 1372-1376. In: Black CA, Evans DD, White LJ, Ensminger LE and Clark FE (eds). Methods of Soil Analysis. Part 2, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Ansari Mahabadi A, Hajabbasi MA, Khademi H and Kazemian H, 2007. Soil cadmium stabilization using an Iranian natural zeolite. Geoderma 137: 388-393.
- Antoniadis V and Alloway BJ, 2003. Influence of time on the plant availability of Cd, Ni, and Zn after sewage sludge has been applied to soils. Agrochimica 47: 81-93.
- Beesley L, Moreno-Jiménez E and Gomez-Eyles J, 2010. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. Environ Pollution 158: 2282- 2287.
- Black CA and Evans DD, 1965. Pp. 770. In: White JL, Ensminger LE and Clark FE (eds). Methods of Soil Analysis. Part 1, Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Benavides MP, Gallego SM and Tomaro ML, 2005. Cadmium toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology 17: 21- 34.
- Benton J and Case VW, 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. Pp. 389-428. In: Westerman, RL. (ed). Soil Testing and Plant Analysis. 3rd ed. Book Series No. 3. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI, USA.
- Bremner JM 1996. Nitrogen-total. Pp. 1085- 1122. In: Sparks DL. Method of Soil Analysis. Part 3, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

- Brunetti G, Karam F, Rovira PS, Nigro F and Sensi N, 2011. Greenhouse and field studies on Cr, Cu, Pb and Zn phytoextraction by brassica napus from contaminated soils in the Apulia region, southern Italy. *Geoderma* 160: 517-523.
- Castaldi P, Santona L and Melis P, 2005. Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupin growth. *Chemosphere* 60: 365-371.
- Channey R, Baker A, Malik Y and Brown J, 2001. Phytoremediation of soil metals. current opinion in plant biology 36:115-121.
- Chiang KY, Huang HJ and Chang CN, 2007. Enhancmet of heavy metal stabilization by different amendments during sewage sludge composting process. *Environmental Engineering and Management journal* 17(4): 249-256.
- Day PR, 1965. Particle fractionation and particle size analysis. Pp. 545-567, In: Black CA, Evans DD, White LJ, Ensminger LE and Clark FE (eds), *Methods of Soil Analysis. Part 1*, American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Debela F, Thring RW and Arocena JM, 2012. Immobilization of heavy metals by co-pyrolysis of contaminated soil with woody biomass. *Water Air and Soil Pollution* 223:1161-1170.
- Gworek B, 1992. Lead inactivation in Soils by zeolites. *Plant and Soil* 143: 71-74.
- Helmke PA and Sparks DL, 1996. Lithium, sodium, potassium, cesium, and rubidium. Pp. 551-574, In: Sparks DL (ed). *Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods and Processes*. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Hossain MK, Strezov V, Chan KY and Nelson PF, 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere* 78: 1167-1171.
- Hossner LR, 1996. Dissolution for total elemental analysis. Pp. 49-64. In: Sparks DL, (ed). *Methods of Soil Analysis, Part 3*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Kabata-Pendias A and Pendias H, 2001. *Trace Element in Soil and Plant*, Third Edition. CRC Press Boca Raton Washington, 618p.
- Keskin B, Bozkurt MA and Akdeniz H, 2010. The effects of sewage sludge and nitrogen fertilizer application on nutrient (*Bromus inermis leys*). *Journal of Animal and Veterinary Advances* 9(5): 896-902.
- Khodaverdiloo H and Samadi A, 2011. Batch equilibrium study on sorption, desorption, and immobilization of cadmium in some semiarid-zone soils as affected by soil properties. *Journal of Soil Research* 49(5): 444-454.
- Liang B, Lehmann J, Solomon D, Kinyangi J, Grossman J, O'Neill B, Skjemstad JO, Thies J, Luizao FJ, Petersen J and Neves EG, 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Science Society of Americ Journal*. 70: 1719-1730
- Lindsay WL and Norvell WA 1987. Development of DTPA Soil test for Zinc, Iron, Manganese and Copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421-428.
- Mohan D, 1990. Inorganic contaminants of surface water. *journal of contaminant hydrology* 14: 295- 296.
- Moya JL, Ros R and Picazo I, 1993. Influence of cadmium and nickel on growth, net photosynthesis and carbohydrate distribution in rice plants. *Photosynthesis Research* 36: 75- 80.
- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS and Dean LA, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular 939*, US Gov. Printing Office, Washington, DC.
- Page AL, Miller RH, and Do Keeney R, 1982. *Chemical and Microbiological Properties*. P.167. *Method of Soil Analysis, Part 2*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Querol X, Alastuey A and Moreno N, 2006. Immobilization of heavy metals in polluted soils by the addition of zeolitic material synthesized from coal fly ash. *Chemosphere*. 62: 171-180.
- Radotic K, Ducic T and Mutavdzic D, 2000. Changes in peroxidase activity and isoenzymes in spruce needles after exposure to different concentrations of cadmium. *Environmental and Experimental Botany* 44: 105-113.
- Rhoades JD, 1982. Soluble salts. Pp. 167-179. In: Page AL(ed). *Methods of soil analysis, Part 2*. 2nd ed. Agron. monoger. 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Shi WY, Shao HB, Li H, Shao MA and Du S, 2009. Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. *Journal of Hazardous Materials* 170: 1-6.
- Singh RP and Agrawal M, 2010. Variations in heavy metal accumulation, growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 632-641.
- Sohi S, Lopez-Capel E, Krull E and Bol R, 2009. Biochar's role in soil and climate change: a review of research needs. *CSIRO Land and Water Science Report* 59: 1- 57.
- Singh S, Saxena R, Pandey K, Bhatt K and Sinha S, 2004. Response of antioxidants in sunflower (*Helianthus annuus L.*) grown on different amendments of tannery sludge: its metal accumulation potential. *Chemosphere* 57: 1663-1673.
- Thomas GW, 1996. *Soil pH and Soil Acidity*. In: Sparks DL(ed). *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, WI.

- Yu XY, Ying GG and Kookana RS, 2009. Reduced plant uptake of pesticides with biochar additions to soil. *Chemosphere* 76: 665–671.
- Zheng RL, Cai C, Liang J, Huang H, Chen Q, Huang Z, Arp YZ, P HH and Sun GX, 2012. The effects of biochars from rice residue on the formation of iron plaque and the accumulation of Cd, Zn, Pb, As in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings, *Chemosphere* 89: 856–863.
- Zhang X, Wang H, He L, Lu K, Sarmah A, Li J, Nathi S, Bolhan, Pei J, and Huang H, 2013. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *journal environmental science pollution research* 20: 8472-8483.