

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره ده، دی ماه ۹۹

تولید بیوچارهای مختلف و تاثیر آنها در حذف یونهای کادمیم (Cd^{II})، نیکل (Ni^{II}) و سرب (Pb^{II}) از آب آبیاری

کیومرث صیادیان^۱

عبدالامیر معزی^۲

علی غلامی^{۳*}

ali.gholami54@gmail.com

ابراهیم پناه پور^۳

کامران محسنی فر^۴

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۷/۴/۱۳

چکیده

زمینه و هدف: امروزه خطر آلودگی آبهای سطحی و زیر زمینی با عناصر سنگین به نگرانی جهانی تبدیل شده است. بنابر این مطالعه فعلی با هدف ارزیابی انواع و مقادیر مختلف بیوچار بر مقدار فلزات سنگین آب آبیاری به اجرا گذاشته شده است. روش بررسی: برای این هدف دوازده بیوچار مختلف با استفاده از ۶ نوع زیتوده شامل کاه گندم، کاه نخود، بقایای ذرت، برگ و ساقه نی، تفاله زیتون و تفاله چغندر قند در دو دمای ۵۰۰ و ۷۰۰°C و در شرایط کمبود اکسیژن تولید شد. بر اساس نتایج سطح ویژه، ظرفیت تبادل کاتیونی و طیف سنجی مادون قرمز، بیوچارهای کاه گندم، برگ و ساقه نی و بقایای ذرت که در ۷۰۰°C تولید گردیدند، برای انجام آزمایش های بعدی انتخاب شدند. سپس تاثیر نه سطح مختلف این بیوچارها بر میزان عناصر سنگین (کادمیم، نیکل و سرب) آب آبیاری با استفاده از طرح کاملا تصادفی (CRD) در سه تکرار مورد پژوهش قرار گرفت. یافته ها: نتایج نشان داد که افزایش دما به طور معنی داری عملکرد و درصد ترکیبات مواد فرار را کاهش داد، اما اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی، سطح ویژه و درصد خاکستر افزایش یافت. به علاوه نتایج معلوم نمود که انواع بیوچار و مقادیر مصرفی آنها توانسته است به طور معنی داری مقدار عناصر سنگین در آب آبیاری را کاهش دهد.

۱- دانشجوی دکتری خاکشناسی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران؛ دانشجوی دکتری گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲- دانشیار خاکشناسی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران
۳- دانشیار خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران (مسوول مکاتبات)
۴- استادیار خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

Archive of SID

بحث و نتیجه گیری: افزایش سطح ویژه، ظرفیت تبادل کاتیونی و اسیدیته منجر به حذف عناصر سنگین از آب آبیاری شد. مصرف MB_{700} (در مقایسه با WB_{700} و RB_{700}) (در مقایسه با MB_{700} و RB_{700}) توانست به طور معنی داری به ترتیب کادمیم و نیکل را کاهش دهد در حالیکه تاثیر MB_{700} و WB_{700} در حذف سرب از RB_{700} چشمگیر تر بود. بیشینه کاهش کادمیم، نیکل و سرب مربوط به مصرف ۳۲ گرم بیوچار در لیتر بود.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، کادمیم، نیکل، سرب.

Different Biochars Production and Their Effect on Removal of Cd^(II), Ni^(II) and Pb^(II) from Irrigation water

Kiomars Sayyadian¹

Abdolamir Moezzi²

Ali Gholami^{3*}

ali.gholami54@gmail.com

Ebrahim Panahpour³

Kamran Mohsenifar⁴

Admission Date: April 10, 2019

Date Received: July 4, 2018

Abstract

Background and Objective: Today, hazard of surface and underground water contamination with heavy metals has led to a global concern. Therefore, the current study was carried out to assess the effects of different types and rates of biochar on irrigation water heavy metals content.

Method: For this purpose, 12 different biochars were produced using 6 different biomasses including wheat stubble, pea stubble, maize residual, reed stem and leaves, olive meal and beet pulp at 500 and 700 °C under low oxygen condition. According to specific area results, cation exchange capacity and infrared spectrophotometry, wheat stubble, reed stem and leaves and residual maize biochars, which produced at 700 °C were selected for further studies. Then effect of nine levels of these biochars on irrigation water heavy metals (cadmium, nickel and lead) content were investigated using a completely randomized design (CRD) with three replicates.

Findings: The results indicated that increase in temperature significantly reduce biochars yield, volatile compound percentage but increase acidity, cation exchange capacity, specific area and ash percentage. In addition, the results revealed that biochars and their applied doses could significantly reduce heavy metals content in irrigation water.

Discussion and Conclusion: Increase in specific area, cation exchange capacity and acidity led to heavy metals elimination from irrigation water. Application of MB₇₀₀ (compared with WB₇₀₀ and RB₇₀₀) and WB₇₀₀ (compared with MB₇₀₀ and RB₇₀₀) could significantly reduce cadmium and nickel, respectively, whereas the effect of MB₇₀₀ and WB₇₀₀ in eliminating of lead was more pronounced than RB₇₀₀. The maximum cadmium, lead and Nickel reduction was related to apply 32 g per liter biochar.

Keyword: Biochar, Cadmium, Nickel and Lead.

1- Department of Soil Science, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran; Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2- Associate Professor, Department of Soil Science, Chamran University of Ahvaz, Iran

3- Associate Professor, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. *(Corresponding author)

4- Assistant Professor, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

مقدمه

بخشی از آلودگی آبهای سطحی و زیر زمینی ناشی از حضور فلزات سنگین در این آبها است که طی چند دهه گذشته موجب افزایش نگرانیهای جهانی شده است (۱). فلزات سنگین از طریق فاضلابهای خانگی و صنعتی نظیر صنایع فلزی و آبکاری، رنگرزی، معدن، دباغی، باتری، کاغذ، تولید آفتکشها و غیره به تدریج به درون این آبها، آزاد میگردند (۴-۱). به موازات کاهش منابع آبی در جهان تقاضا برای استفاده از آبهای بازیافت شده رو به افزایش است. اما آبهای بازیافتی می توانند خطر افزایش عناصر سنگین را برای اراضی مورد استفاده و آبهای زیر زمینی به دنبال داشته باشند (۵). از این رو ضروری است که این آبها قبل از مصرف در کشاورزی پالایش شوند. پالایش آب برای کاهش عناصر سنگین با روشهای متداول مانند ترسیب شیمیایی، تبادل یونی، استفاده از روشهای الکترو شیمیایی و فیلتراسیون از طریق غشا صورت میگیرد (۳،۴،۶،۷،۱۰). اما این روشها دارای معایب قابل توجهی مانند هزینه زیاد، جذب ناقص عناصر سنگین، مصرف زیاد انرژی و تولید بقایای سمی هستند (۳،۴). یکی دیگر از رویکردها برای حذف یا کاهش غلظت آلایندهها در آب، استفاده از یک ماده جاذب و ارزان قیمت است که قابلیت جذب مقدار زیادی از این عناصر را داشته باشد (۳،۴،۹،۱۰). بیوچار به عنوان یک ماده جاذب، فرآوردهای است که در اثر گرما کافت (pyrolysis) مواد آلی در شرایط فقدان یا کمبود اکسیژن در دمای بین ۳۵۰-۷۰۰ درجه سانتی گراد تولید می شود (۸،۱۰). بیوچار به دلیل داشتن منافذ ریز فراوان، ظرفیت تبدالی کاتیونی (CEC) و سطح ویژه بالا (۸۱۱) می تواند به عنوان جایگزینی مناسب برای جذب موثر مواد آلاینده در آب مصرف گردد (۸). گویلی و همکاران (۲۰۱۶)

افزایش سطح ویژه، تخلخل، pH و مواد معدنی بیشتر منتج می گردد، لذا می تواند در جذب آلایندههای فلزی در آب آبیاری موثر باشد (۱۳). هدف از انجام این پژوهش تولید انواعی از بیوچار با استفاده از بقایای گیاهی است که بتواند عناصر آلاینده مانند کادمیم، نیکل و سرب را از آب آبیاری کاهش دهد. برای این منظور ابتدا انواعی از بیوچار را تولید و ضمن بررسی ویژگیهای فیزیکوشیمیایی آنها، سه نوع بیوچار با سطح ویژه و CEC زیاد و همچنین گروه های عاملی اکسیژن دار انتخاب شد.

روش بررسی

روش بررسی شامل دو مرحله مختلف بود. مرحله اول شامل تولید انواع مختلف بیوچار و بررسی ویژگیهای فیزیکوشیمیایی آنها به منظور انتخاب سه نوع بیوچار بر اساس سطح ویژه، pH، CEC و نتایج طیف سنجی مادون قرمز بود. در مرحله دوم به بررسی اثرات مقادیر مختلف سه نوع بیوچار انتخابی، بر حذف یا کاهش آلاینده های فلزی پرداخته شد.

در مرحله اول با استفاده از ۶ نوع زیتوده در دو دمای ۵۰۰ و ۷۰۰°C و در شرایط کمبود اکسیژن، دوازده بیوچار مختلف با استفاده از کاه و کلش گندم (WB₇₀₀ و WB₅₀₀)، برگ و ساقه نی (RB₇₀₀ و RB₅₀₀)، بقایای ذرت (MB₇₀₀ و MB₅₀₀)، کاه نخود (CB₇₀₀ و CB₅₀₀)، تفاله ریتون (OB₇₀₀ و OB₅₀₀) و تفاله چغندر قند (SB₇₀₀ و SB₅₀₀) تولید شد. انواع زیتوده به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۶۰°C خشک و سپس به مدت ۲ ساعت در شرایط کمبود اکسیژن در دماهای مورد نظر در داخل کوره الکتریکی با نرخ گرمادهی ۸°Cmin⁻¹ قرار داده شدند. بعد از پایان زمان گرماکافت و رسیدن دمای محصولات تولیدی به دمای محیط اطراف، آنها خرد شدند و جهت آزمایشهای فیزیکوشیمیایی از الک نیم میلی متری عبور داده شدند. سپس ویژگیهای فیزیکوشیمیایی بیوچارهای تولیدی شامل اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، سطح ویژه، درصد مواد فرار (Volatile matter)، درصد خاکستر و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) در آزمایشگاه تعیین گردید. میزان درصد عملکرد بیوچار با استفاده از نسبت وزن بیوچار تولیدی

در آزمایش دوم اثرات مقادیر مختلف سه نوع بیوجار WB₇₀₀، RB₇₀₀ و MB₇₀₀ بر کاهش آلاینده های فلزی در آب آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی اثرات سه نوع تیمار بیوجار (WB₇₀₀, RB₇₀₀, MB₇₀₀) در ۹ سطح مختلف (شامل مقادیر ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ گرم در لیتر) به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) در سه تکرار بر کاهش عناصر آلاینده ی فلزی در آب آبیاری بررسی شد. غلظت عناصر سنگین کادمیم، نیکل و سرب در آب آبیاری به ترتیب ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ میکروگرم بر لیتر (μgL^{-1}) بود. از هر سه نوع بیوجار، مقادیر ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۶ و ۳۲ گرم با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و به ظروف پلاستیکی درب دار منتقل گردید. سپس یک لیتر آب آلوده به عناصر سنگین، به آنها اضافه و نمونه ها به مدت ۴ ساعت شیکر شدند. در پایان این مرحله نمونه ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف و سپس سانتریفوژ شدند و در مرحله آخر مجدداً یک بار دیگر نمونه ها صاف گردیدند تا امکان باقی ماندن ذرات ریز بیوجار در محلول کاهش یابد. با اندازه گیری باقی مانده میزان کادمیم، نیکل و سرب در محلول صاف شده، میزان جذب عناصر سنگین بر روی سطوح بیوجار تعیین شد. میزان اسیدیته و مقادیر کادمیم، نیکل و سرب باقیمانده در ۷۱ نمونه عصاره (۲۷ تیمار در سه تکرار) به ترتیب با استفاده از pH متر Metrohm (مدل ۶۹۱) و دستگاه ICP (Varian VISTA-MAX) اندازه گیری شدند. مقدار عناصر غذائی و فلزات سنگین نمونه های WB₇₀₀، RB₇₀₀ و MB₇₀₀ با روش هضم در هیدرروژن پر اکسید (H₂O₂) و اسید سولفوریک (H₂SO₄) تعیین گردیدند (۱۷). اندازه گیری عناصر غذائی و فلزات سنگین تمام نمونه ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی Perkin Elmer مدل ۱۱۰۰D صورت گرفت، در حالی که سدیم و پتاسیم نمونه ها به ترتیب با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر Jenway مدل PFP7 و اسپکتروفتومتر Apel مدل PD303S اندازه گیری شدند. داده ها با استفاده از نرم افزارهای SAS و MSTATC تجزیه و مقایسه میانگین ها با روش LSD انجام گرفت.

به وزن اولیه زیتوده محاسبه شد (۱۴). تعیین درصد مواد فرار و خاکستر با روش ASTM D5142 (۱۵) صورت گرفت. در این روش برای تعیین درصد مواد فرار ۱ گرم بیوجار با دقت ۰/۱ میلی گرم توزین و به کروزه چینی منتقل گردید. سپس کروزه ها به مدت ۶ دقیقه در داخل کوره الکتریکی در دمای ۹۵۰ °C قرار داده شدند. درصد خاکستر با روشی مشابه اما در دمای ۷۵۰ °C و به مدت شش ساعت تعیین گردید. نمونه ها بعد از سرد شدن در داخل دسیکاتور، با دقت ۰/۱ میلی گرم توزین شدند. سپس با در دست داشتن وزن اولیه و وزن نهائی درصد مواد فرار و خاکستر آنها تعیین گردید. برای تعیین اسیدیته نمونه ها، ۲ گرم بیوجار توزین شد و با ۴۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط و بعد از انجام ۲ ساعت شیکر، نمونه ها با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف و اسیدیته آنها با استفاده از pH متر METrohm (مدل ۶۹۱) قرائت گردید. برای تعیین هدایت الکتریکی، ۵ گرم بیوجار با ۵۰ میلی لیتر آب مقطر مخلوط و بعد از چهار ساعت شیکر، مخلوط نمونه ها صاف و هدایت الکتریکی آنها با دستگاه شوری سنج (Jenway) مدل ۴۰۱۰ ساخت کشور انگلستان قرائت شد. ظرفیت تبادل کاتیونی با روش Song and Guo (۱۶) و سطح ویژه با روش Brunauer- Emmett- Teller (BET) و گروه های عاملی بیوجار با استفاده از روش طیف سنجی مادون قرمز (FT-IR) با دستگاه طیف سنج (Broker wortex) ایتالیائی در دامنه طیف ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ cm^{-1} تعیین گردید. برای بررسی ویژگی های فیزیکوشیمیائی بیوجارهای تولیدی، نتایج داده های آزمایشگاهی با استفاده از نرم افزارهای SAS و MSTATC به صورت فاکتوریل در قالب یک طرح کاملاً تصادفی (CRD) در سه تکرار آنالیز و مقایسه میانگین ها با روش LDS صورت گرفت. سپس بر اساس نتایج به دست آمده از این آزمایش و نتایج آزمایش طیف سنجی مادون قرمز، سه نوع بیوجار WB₇₀₀، RB₇₀₀ و MB₇₀₀ با داشتن بیشترین سطح ویژه، CEC و گروه های عاملی اکسیژن دار مانند کربوکسیل (COOH) و هیدروکسیل (OH⁻) برای انجام آزمایش دوم انتخاب شدند.

یافته‌ها

نتایج یافته‌های مربوط به ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی بیوپچارهای تولیدی (جدول ۱) نشان داد که با افزایش دمای گرماکافت از ۵۰۰ به ۷۰۰°C عملکرد و درصد مواد فرار بیوپچار کاهش یافته، در صورتی که میزان خاکستر، اسیدیته و هدایت الکتریکی آنها به طور معنی داری افزایش یافتند ($p < 0.05$). بیشترین و کمترین درصد عملکرد، مربوط به WB500 و SB700 به ترتیب با ۳۴/۱۷٪ و ۲۴/۷٪ بود. اسیدیته بیوپچارهای تولیدی بین ۹/۰۶ تا ۱۰/۱۴ و هدایت الکتریکی آنها بین ۱۶۷/۷ تا ۷۶۰ میلی‌زیمنس (Millisiemens) بر متر متغیر بود. بیشینه میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی بیوپچارها به ترتیب با ۱۰/۱۴ و ۷۶۰ میلی‌زیمنس بر متر مربوط به CB700 و کمینه آنها به ترتیب با ۹/۰۶ و ۱۶۷/۷ میلی‌زیمنس بر متر متعلق به RB500 و MB500 بود. نتایج داده‌ها (جدول ۱) مشخص نمود که افزایش دما منتج به افزایش معنی دار سطح ویژه، درصد خاکستر و کربن تثبیت شده کلیه بیوپچارها و CEC نمونه‌های WB700، RB700 و MB700 شده ($p < 0.05$)، در حالی که CEC بیوپچارهای SB، CB و OB با افزایش دما به طور معنی داری کاهش یافت. بیشینه درصد خاکستر و کربن تثبیت شده به ترتیب با ۲۹/۹۱ و ۶۸/۵۵٪ مربوط به WB700 و OB700 و کمینه آنها به ترتیب با ۷/۴۷ و ۳۳/۵۷٪ متعلق به OB500 و WB500 بود. با افزایش دمای گرماکافت، سطح ویژه کلیه بیوپچارها افزایش یافت ($p < 0.05$). بیشترین سطح ویژه (۲۴۱/۱ متر مربع بر گرم) مربوط به RB700 و کمترین آن با ۳/۲۹ متر مربع بر گرم مربوط به RB500 بود.

نتایج مربوط به اثر انواع و مقادیر مختلف بیوپچار (شکل ۱ و جدول ۲) بر کاهش آلاینده‌های فلزی (Cd, Ni, Pb) در آب آبیاری نشان داد که اثر این تیمارها به کاهش معنی دار کادمیم، نیکل و سرب منتج شده است. مقایسه میانگین‌های سه نوع بیوپچار WB700، RB700 و MB700 (شکل ۱) نشان داد که اثر آنها در کاهش غلظت آلاینده‌های فلزی در آب آبیاری، متفاوت و معنی دار بود ($p < 0.05$). نتایج مربوط به اثر انواع بیوپچار در کاهش کادمیم آب آبیاری مشخص نمود که بین این

سه تیمار اختلاف آماری معنی داری وجود داشته است و بیشترین راندمان (بهروری) کاهش کادمیم با ۹۲/۵٪ به MB700 و کمترین آن به WB700 با ۸۴/۴٪ تعلق داشت. همچنین اثر انواع بیوپچار بر کاهش نیکل آب نشان داد که اثر WB700 در مقایسه با MB700 و RB700 معنی دار بوده است، اما بین تیمارهای MB700 و RB700 اختلاف آماری معنی داری وجود نداشت. بیشترین راندمان کاهش نیکل در آب آبیاری با ۸۵/۶٪ مربوط به WB700 و کمترین آن به ترتیب با ۸۲/۸ و ۸۲/۶٪ مربوط به تیمارهای MB700 و RB700 بود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد در حالی که تاثیر MB و WB در حذف سرب آب آبیاری یکسان بوده، اما در مقایسه با RB موجب کاهش معنی دار سرب شده است ($p < 0.05$). بیشترین و کمترین راندمان کاهش سرب در آب آبیاری با ۹۲/۲ و ۹۱/۷٪ به ترتیب متعلق به MB700 و RB700 بود.

نتایج حاصل از این تحقیق (جدول ۲) معلوم نمود که با افزایش مقادیر بیوپچارهای مصرفی تا سطح ۳۲ گرم در لیتر، از میزان کادمیم، نیکل و سرب در آب کاسته شده ($p < 0.05$)، اما، بین این تیمار و تیمار ۱۶ گرم در لیتر تفاوت آماری معنی داری وجود نداشت. با افزایش میزان بیوپچار اسیدیته آب آبیاری هم افزایش یافت ($p < 0.05$) (جدول ۲). بیشینه و کمینه میزان اسیدیته آب آبیاری به ترتیب به مصرف ۳۲ گرم بیوپچار در لیتر (با اسیدیته ۸/۹۹) و مصرف ۰/۱ گرم بیوپچار در لیتر (با اسیدیته ۶/۵۷) مربوط بود (جدول ۲). همچنین تاثیر انواع بیوپچار بر اسیدیته آب آبیاری نشان داد که اختلاف آماری معنی داری بین میانگین‌های سه نوع بیوپچار وجود داشته است ($p < 0.05$). اسیدیته آب آبیاری ناشی از مصرف WB700، MB700 و RB700 به ترتیب ۷/۹۰، ۷/۷۲ و ۷/۶۰ بود (شکل ۲). نتایج مربوط به طیف سنجی مادون قرمز نشان داد که افزایش دما در دامنه 3780 cm^{-1} به دلیل دهیدراتاسیون زیتوده منجر به کاهش طیف (O-H stretching) در WB700 و MB700 شد (شکل ۳a و ۳c). دامنه 1035 cm^{-1} به C-O Stretching و دامنه ۱۳۲۸ تا ۱۳۸۹ به C-H bending و دامنه ۲۹۲۵ و 2360 cm^{-1} به الکین‌ها و الکانها اختصاص یافته است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی بیوچارهای مورد مطالعه (میانگین سه تکرار)

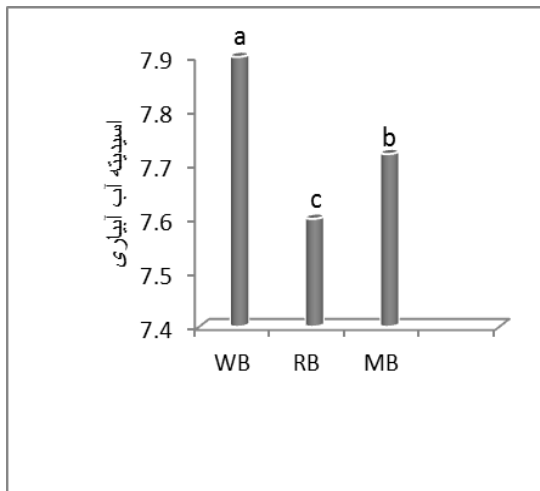
Table 1. Physical and chemical characteristics of studied biochars (values are mean of three replicates)

		بیوچار	WB	RB	MB	CB	OB	SB	LSD (%)
عملکرد	%	۵۰۰°C	۳۴/۱۷	۲۷/۸۰	۲۹/۵۳	۳۳/۹۳	۲۹/۷۰	۳۱/۲۰	۱/۷۸
		۷۰۰°C	۲۹/۰۷	۲۵/۷۰	۲۵/۱۷	۳۰/۰۰	۲۷/۸۰	۲۴/۷۰	
اسیدیته		۵۰۰°C	۹/۳۹	۹/۰۶	۹/۳۵	۹/۴۱	۹/۱۴	۹/۳۰	۰/۴۳
		۷۰۰°C	۱۰/۱۳	۹/۷۴	۹/۹۷	۱۰/۱۴	۹/۷۸	۱۰/۰۸	
خاکستر	%	۵۰۰°C	۲۵/۸۶	۸/۹۸	۹/۵۰	۱۵/۷۰	۷/۴۷	۱۷/۸۹	۱/۶۲
		۷۰۰°C	۲۹/۹۱	۱۲/۴۸	۱۲/۴۷	۲۲/۱۶	۹/۷۵	۱۵/۳۶	
مواد فرار		۵۰۰°C	۴۰/۵۷	۴۳/۹۷	۴۳/۲۰	۴۷/۹۰	۲۸/۲۰	۳۵/۹۳	۳/۳۳
		۷۰۰°C	۳۲/۲۸	۳۶/۰۵	۲۴/۸۴	۲۷/۴۸	۲۱/۷۰	۳۱/۵۹	
کربن تثبیت شده		۵۰۰°C	۳۳/۵۷	۴۷/۰۵	۴۷/۳۰	۳۶/۴۰	۶۴/۳۳	۴۶/۱۸	۳/۹۰
		۷۰۰°C	۳۸/۰۵	۵۱/۴۷	۶۲/۶۹	۵۰/۳۶	۶۸/۵۵	۵۳/۰۵	
هدایت الکتریکی	mS/m	۵۰۰°C	۴۱۰/۰	۴۱۰/۳	۱۶۷/۷	۵۴۰/۰	۲۰۶/۰	۴۰۰/۳	۳۹/۹۲
		۷۰۰°C	۵۷۸/۳	۴۶۲/۳	۲۱۴/۳	۷۶۰/۰	۳۹۸/۷	۶۳۱/۳	
سطح ویژه	m ² g ⁻¹	۵۰۰°C	۴/۱۴	۳/۳۹	۵/۲۸	۳/۴۱	۶/۶۴	۳/۴۰	۴/۱۲
		۷۰۰°C	۱۴۲/۲	۲۴/۱۱	۹۷/۸۹	۲۳/۱۷	۸۲/۳۹	۱۱/۱۸	
ظرفیت تبادل کاتیونی	Cmkg ⁻¹	۵۰۰°C	۱۶/۱۷	۱۲/۸۶	۱۸/۹۰	۲۲/۸۴	۱۷/۲۵	۲۵/۷۸	۱/۹۸
		۷۰۰°C	۲۰/۵۲	۱۹/۷۷	۲۱/۶۰	۱۱/۰۱	۱۱/۴۷	۱۱/۸۲	

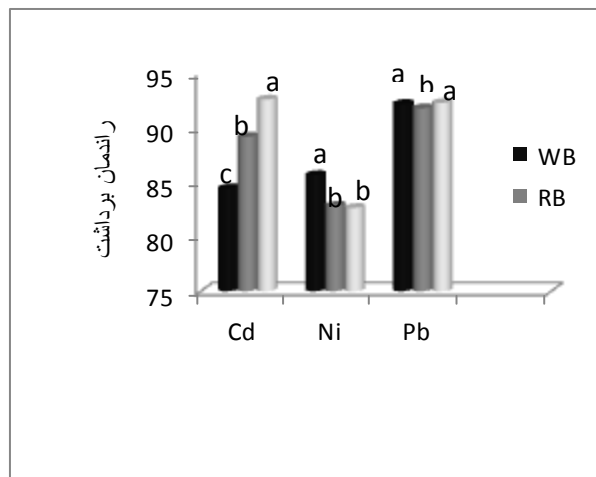
جدول ۲- اثر سطوح مختلف بیوچار بر حذف کادمیم، نیکل، سرب و اسیدیته آب آبیاری (میانگین سه تکرار)

Table 2. Effect of different biochar rates on removal Cd, Ni, Pb and irrigation water pH (values are mean of three replicates)

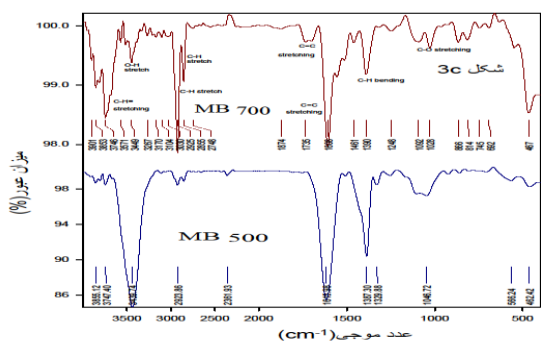
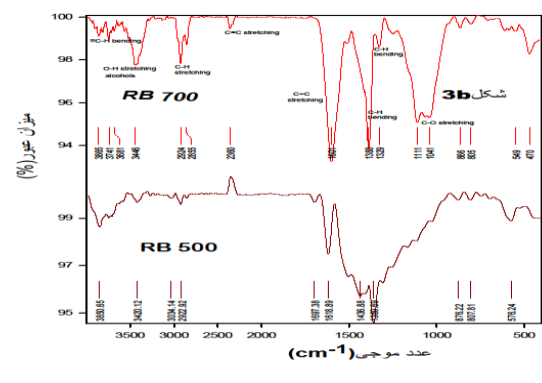
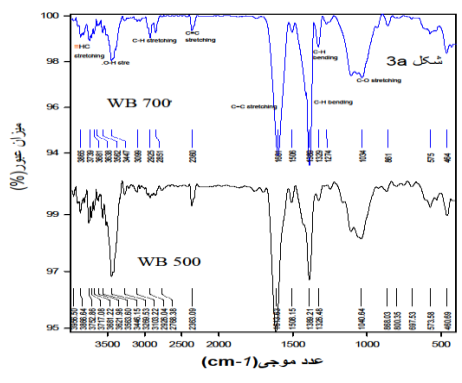
تیمارها	Cd(μgL ⁻¹)			Ni(μgL ⁻¹)			Pb(μgL ⁻¹)			pH		
	WB	RB	MB	WB	RB	MB	WB	RB	MB	WB	RB	MB
۰/۱۰ gL ⁻¹	۲۴۲/۷	۲۰۲/۱	۱۵۱/۰	۵۸۲/۰	۶۹۴/۶	۶۸۸/۷	۴۳۶/۹	۴۵۳/۱	۴۲۰/۸	۶/۹۱	۶/۵۷	۶/۷۳
۰/۲۵ gL ⁻¹	۲۲۰/۹	۱۸۳/۱	۱۲۸/۶	۵۴۹/۰	۶۶۳/۲	۶۵۵/۴	۳۳۰/۳	۳۵۲/۷	۳۲۶/۸	۷/۰۹	۶/۸۰	۶/۹۸
۰/۵۰ gL ⁻¹	۲۰۰/۴	۱۵۶/۹	۱۰۷/۶	۵۰۷/۳	۳۶۲/۰	۶۱۲/۳	۲۴۰/۵	۲۵۷/۱	۲۳۳/۹	۷/۳۴	۷/۰۸	۷/۲۲
۱/۰۰ gL ⁻¹	۱۷۶/۷	۱۳۱/۹	۸۸/۸	۴۶۸/۹	۵۵۵/۴	۵۶۷/۱	۱۴۵/۹	۱۷۶/۴	۱۴۵/۹	۷/۵۸	۷/۳۳	۷/۴۷
۲/۰۰ gL ⁻¹	۱۵۵/۰	۱۰۷/۶	۷۰/۲	۴۳۱/۰	۵۱۱/۰	۵۱۹/۸	۹۳/۲	۱۰۳/۹	۱۰۳/۱	۷/۸۱	۷/۵۷	۷/۷۱
۴/۰۰ gL ⁻¹	۱۳۵/۴	۷۸/۱	۵۱/۶	۳۹۱/۴	۴۷۴/۴	۴۷۷/۸	۶۴/۲	۶۸/۱	۷۶/۶	۸/۲۰	۷/۸۳	۷/۹۵
۸/۰۰ gL ⁻¹	۱۰۷/۱	۵۹/۵	۳۳/۰	۳۵۷/۶	۴۱۹/۸	۴۳۳/۹	۵۱/۶	۴۰/۹	۴۵/۹	۸/۴۷	۸/۱۳	۸/۲۲
۱۶/۰۰ gL ⁻¹	۹۱/۶۳	۴۱/۶	۲۵/۶	۳۱۸/۷	۳۶۶/۱	۳۹۲/۲	۳۸/۲	۲۴/۷	۲۸/۴	۸/۷۱	۸/۴۰	۸/۴۷
۳۲/۰۰ gL ⁻¹	۷۳/۳۷	۲۳/۳	۱۶/۷	۲۸۹/۶	۳۳۶/۶	۳۶۲/۹	۲۶/۷	۱۴/۰	۱۷/۸	۸/۹۹	۸/۶۸	۸/۷۶
LSD (%)	۱۸/۴			۳۰/۸			۱۷/۹			۰/۱۵		



شکل ۲- تاثیر انواع بیوجار بر اسیدیته آب
Figure 2. Effect of bichars type on water pH



شکل ۱-تاثیر انواع بیوجار بر حذف عناصر سنگین
Figure 1. Effect of Biochars type on removal heavy metal



شکل ۳- نتایج طیف سنجی مادون قرمز انواع بیوجار در دو دمای ۵۰۰ و ۷۰۰°C
Figure 3. Results of FTIR spectra of biochars type at two temperature of 500 and 700 °C

جدول ۳- نتایج تجزیه سه نوع بیوچار

Table 3. Chemical composition of biochar

انواع بیوچار	mgkg ⁻¹							gkg ⁻¹				
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Fe	Mn	P	K	Ca	Mg	Na
WB700	۰/۶۳	۲/۲	۲/۱	۲۰	۸۵	۳۶۰	۱۵۶	۳/۶	۲۹/۷	۸/۲	۶/۵	۶/۸
RB700	۰/۲۷	۱/۱	۱/۳	۱۷	۷۳	۳۱۰	۱۴۸	۳/۰	۱۸/۸	۱۰/۴	۷/۷	۵/۷
MB700	۰/۷۱	۲/۶	۲/۷	۲۷	۸۹	۳۹۵	۱۷۵	۴/۲	۳۸/۰	۹/۰	۶/۹	۴/۹

بحث در باره نتایج

پالایش آب

همان طور که در بخش نتایج نشان داده شده استفاده از زیتوده های مختلف (کاه و کلش گندم، برگ و ساقه نی و بقایای ذرت) برای تولید بیوچار، اثرات متفاوت و معنی داری بر کاهش کادمیم، نیکل و سرب در آب آبیاری داشت (شکل ۱). بیوچار با سازو کارهای متفاوتی بر جذب عناصر فلزی سنگین تاثیر می گذارد. یکی از این عوامل تاثیر گذار نوع زیتوده مصرفی برای تولید بیوچار است (۲۴). به طور کلی خصوصیات فیزیکوشیمیایی بیوچار متناسب با نوع زیتوده، روش فرآوری (گرماکافت کند یا گرماکافت سریع)، میزان دمای نهایی در فرایند تولید بیوچار، زمان نکه داری آن در این دما، نرخ حرارت دهی، و فشار راکتور، متفاوت خواهد بود (۱۰). نوع زیتوده به دلیل تفاوتی که در سطح ویژه، ساختار تخلخلی و گروه های عاملی بیوچار ایجاد می کند، دارای تفاوت های قابل توجهی برای جذب آلاینده ها است، لذا با تغییر نوع زیتوده، این ویژگیها می توانند تغییر نمایند (۲۴). سازوکار دیگر در کاهش آلاینده های فلزی توسط بیوچار افزایش چشمگیر سطح ویژه و خلل و فرج آنها است (۲۵). بنا بر این بسیار محتمل است که بیوچار های WB700, RB700, MB700 به ترتیب با سطح ویژه ۱۴۲/۲، ۲۴۲/۱ و ۹۷/۹ متر مربع بر گرم، در کاهش کادمیم، نیکل و سرب آب بسیار موثر باشند. عامل موثر دیگر در جذب آلاینده ها، نقش گروه های عاملی اکسیژن دار مانند کربوکسیل (COOH)، هیدروکسیل (OH) و فنلیک است که می توانند به طور موثری عناصر آلاینده را جذب کنند (۲۶). نتایج این پژوهش نشان دهنده وجود گروه های عاملی اکسیژن دار از جمله هیدروکسیل (در دامنه طیف ۳۳۰۰ تا cm⁻¹

ویژگی های بیوچار

نتایج این پژوهش نشان داد که درصد عملکرد و مواد فرار بیوچار ها در اثر افزایش دمای گرماکافت کاهش یافته است. کاهش عملکرد و مواد فرار بیوچار می تواند ناشی عمل شکستن ترکیبات آلی (مانند سلولز، همی سلولز و لیگنین) و خروج این ترکیبات به صورت گاز و آب باشد (۱۴ و ۱۸). با افزایش دمای گرماکافت اسیدیته و درصد خاکستر کلیه بیوچار ها به طور معنی داری افزایش یافت. عامل مهم در افزایش اسیدیته بیوچار، می تواند ناشی از افزایش درصد خاکستر (جدول ۱) و مواد معدنی سرشار از اکسیدها و هیدرواکسیدهای قلیائی در زمان فرایند گرماکافت باشد (جدول ۳). افزایش اسیدیته بیوچار در حضور مقادیر زیاد سدیم، منیزیم، و پتاسیم (جدول ۳) دور از انتظار نبود. خاکستر حاصل از تولید بیوچار به دلیل غنی بودن از اکسید ها و هیدروکسیدهای فلزات قلیائی و حلالیت زیاد آنها در آب می تواند به افزایش اسیدیته و هدایت الکتریکی بیوچار منتج شود (۲۱-۱۹). با افزایش دمای گرماکافت از ۵۰۰ به ۷۰۰ °C سطح ویژه کلیه بیوچار ها و CEC بیوچار های WB700, RB700, MB700 به طور معنی داری افزایش یافت. عامل مهم افزایش سطح ویژه، تخریب مواد آلی و تشکیل منافذ و کانالهائی در بیوچار در طی فرایند گرماکافت است (۲۲) در حالی که افزایش CEC می تواند به تغییر بارهای منفی وابسته به pH (۲۱) و افزایش سطح ویژه مرتبط باشد. لزوم بیار و همکاران (۱۰) و ژوزف و همکاران (۲۳) نشان دادند که تولید بیوچار در دمای بالا منجر به افزایش زیاد سطح ویژه و تولید محصولی با قدرت جذب کنندگی بالا می شود.

پروتون های موجود در محلول (H_3O^+ , H^+) کاهش یافته و مقادیر بیشتری از عناصر کادمیم، نیکل و سرب روی سطوح بیوپچار جذب گردند. یک افزایش در pH بیوپچار، بارهای منفی سطح آن را افزایش می دهد. به این دلیل، میزان بارهای منفی سطوح بیوپچار همواره متغیر است. بنا بر این اثر قدرت یونی بر جذب عناصر سنگین روی سطوح بیوپچار، بسته به میزان pH می تواند مثبت یا منفی باشد. اصولاً اسیدیته یکی از عوامل مهم در فرایند جذب عناصر سنگین روی سطوح بیوپچار در محلول های آبی محسوب می شود و این اثر بستگی به نوع بیوپچار، نوع ماده آلاینده و مقدار بیوپچار (۱،۲،۱۱،۲۴) و گروه های عاملی (۲۸) دارد. نتایج این پژوهش (جدول ۲) معلوم نمود که با افزایش مقدار بیوپچار، جذب کادمیم، نیکل و سرب به دلیل از یاد مکنهای جذبی (۲۶،۲۹،۳۰) و افزایش اسیدیته (۲۷) افزایش یافته است. رشید و همکاران (۲۶) نشان دادند که افزایش مقدار بیوپچار مصرفی می تواند مقدار آلاینده های فلزی و آلی را در پساب های صنعتی کاهش دهد. زمان تماس بیوپچار با آب در این پژوهش ۴ ساعت بود اما افزایش زمان تماس ممکن است منتج به جذب بیشتر آلاینده ها گردد (۱۱).

نتیجه گیری

بر خلاف آلاینده های آلی، آلاینده های فلزی مانند کادمیم، نیکل و سرب دارای قابلیت زیست تخریبی نبوده و با تجمع در اندام های زیستی خطر ابتلا به سرطان را به شدت افزایش می دهند (۶). با توجه به خطرات ناشی از ورود این عناصر به رنجیره غذایی (از طریق آب آبیاری یا خاک)، ممکن است کاهش حد اکثری این عناصر آلاینده مورد نظر باشد. اما کاهش حداکثری مستلزم کاربرد بیشتر بیوپچار و صرف هزینه های بیشتری است. کاهش آلاینده های فلزی (کادمیم، نیکل و سرب) تحت تاثیر نوع و مقدار بیوپچار مصرفی متفاوت بود. علی رغم این که مصرف ۳۲ گرم WB_{700} ، MB_{700} و RB_{700} در لیتر به ترتیب باعث کاهش حد اکثری کادمیم، نیکل و سرب گردید، اما اختلاف آماری معنی داری بین آنها و مصرف ۱۶ گرم RB_{700} ، WB_{700} و WB_{700} وجود نداشت. بنابر این برای کاهش یا حذف کادمیم، مصرف ۱۶ گرم RB_{700} در لیتر و برای کاهش

در ترکیبات بیوپچار است (شکل ۳b، ۳a و ۳c). احمد و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند وقتی دمای گرماکافت از $500^{\circ}C$ بیشتر شود، در آن صورت ترکیبات بیوپچار، عمدتاً به شکل آروماتیکی است و میزان ترکیبات قطبی آن کمتر می شود (۲۵). ترکیبات آروماتیک به دلیل دارا بودن H و O موجود در گروه های عاملی، تاثیر بیشتری بر جذب آلاینده ها دارند. جذب و دفع الکترواستاتیکی یکی دیگر از ساز و کارها برای جذب آلاینده ها بر روی سطوح بیوپچار عنوان شده است (۲۶). سطح بیوپچار به طور طبیعی دارای مقدار زیادی بار منفی است. این بار منفیمی تواند کاتیونهای با بار مثبت (مانند کادمیم، نیکل، سرب و ...) را جذب کند (۲۷). مکانیسم مهم دیگر برای جذب عناصر سنگین توسط بیوپچار، اسیدیته (pH) و قدرت یونی است (۲۷). اسیدیته سه نوع بیوپچار تولیدی (WB_{700} ، MB_{700} ، RB_{700}) به ترتیب ۱۰/۱۳، ۹/۷۴ و ۹/۹۷ واحد بوده (جدول ۱) که نشان دهنده قلیائیت شدید آنها است. زمانی که اسیدیته افزایش می یابد بارهای منفی روی سطوح بیوپچار به دلیل تفکیک گروه های عاملی هیدروکسیل (OH) موجود در ترکیبات فنلیک، افزایش می یابد (۲۷). رفتار گروه های عاملی (عمدتاً گروه های اکسیژن دار) به تغییرات اسیدیته بستگی دارد و در pH های اسیدی گروه های عاملی دهنده پروتون هستند و حضور مقادیر زیادی H^+ و H_3O^+ در محلول های آبی، منجر به رقابت با کاتیون ها برای جذب بر روی مکان های جذبی در بیوپچار می گردد و در نتیجه دفع الکترواستاتیکی، مقادیر کمتری عناصر فلزی آلاینده بر سطح بیوپچار جذب می شود (۱ و ۲۴). اما با افزایش اسیدیته، این رقابت کاهش یافته و مقدار بیشتری از عناصر فلزی آلاینده جذب بیوپچار می شوند (۱). در این پژوهش وقتی مقادیر مختلف بیوپچار با آب آلوده به عناصر سنگین (با اسیدیته ۶/۵۰) مخلوط گردیدند، اسیدیته آب به تدریج از ۶/۵۷ به ۸/۹۹ افزایش یافت (جدول ۲). در شرایط کمی اسیدی به دلیل حضور مقادیر بیشتری H^+ و H_3O^+ در محلول، ممکن است جذب عناصر سنگین در نتیجه دفع الکترواستاتیکی کاهش یافته باشد. اما افزایش مقدار بیوپچارها به افزایش بیشتر pH محلول منتج گردید و در این شرایط ممکن است رقابت بین عناصر سنگین و

4. Inyang, M., Gao, B., Yao, Y., Xue, Y., A.N.Zimmerman, A.N., Pullammanappallil, P. and Cao, X., 2012. Removal of heavy metals from aqueous solution by biochar derived from anaerobically digested biomass. *Bioresour, Technology*.
5. [5] Alkhashman, O., 2009. Chemical evaluation of Ma a sewage effluents and its reuse in irrigation purposes, *Water Resour. Manag*, 23, pp 1041-1053.
6. Fu, F. and Wang, Q., 2011. Removal heavy metal ions from wastewater: a review. *Journal of Environmental management*, 92(3), 407-418.
7. Rao, R. A. K. and Ikram, S., 2011. Sorption studies of Cu on gooseberry fruit (*Emblca officinalis*) and its removal from electroplanting wastewater, *Desalination*, 277(1):390-398.
8. Komkiene, J., Baltreinaite, E., 2016. Biochar as adsorbent for removal heavy metal ions [Cadmium (II), Copper (II), Lead (II), Zink (II)] from aqueous phase. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 13, pp 471-482.
9. Leung, W. C., Wang, M. F. , Chau, H., Lo, W., Leung, C. K., 2000. Removal and recovery of heavy metals by bacteria isolated from activated sludge treating industrial effluents and municipal wastewater, *Water Sci. Technol.* 41(12), pp 233-240.
10. Elzobair, K., 2013. Biochar effects on soil microbial communities and resistance of enzymes to stress (thesis), Department of Soil and Crop Science, Colorado State University.
11. Chavda S.B., Pandya, M.J., 2014. Evaluation of removal TDS, COD and

یا حذف نیکل و سرب مصرف ۱۶ گرم WB₇₀₀ در لیتر توصیه می‌گردد. باید خاطر نشان ساخت که بیوچار یک اصطلاح کلی است و هنوز استاندارد جهانی برای آن تعریف نشده است (۳۱). لذا ویژگی‌های بیوچار به نوع زیتوده، نرخ حرارت دهی مواد خام، دمای نهائی در فرایند گرماکافت، زمان نگهداری آن در این دما، فشار راکتور، مقدار هوا و بخار اضافه شده به کوره، بستگی دارد. بنابر این، توصیف یک سیستم طبقه بندی که در ضمن سادگی از قابلیت پوشش دادن تمامی خواص مربوط به بیوچار و شرایط حاکم بر تولید آن، برخوردار باشد، مشکل و به نوعی امکان ناپذیر است (۳۱). با این توضیح، نتایج این پژوهش برای انواعی از بیوچار که مطابق روش ارائه شده در این تحقیق، تولید شده باشد، قابل تسری برای کلیه آبهای آبیاری آلوده و پسابهای صنعتی است.

ضایعات کشاورزی و جنگل معمولاً سوزانده می‌شود، اما می‌توان از این مواد برای تهیه بیوچار به عنوان یک جاذب ارزان قیمت استفاده نمود تا مشکلات محیط زیستی ناشی از آتش زدن بقایا هم مرتفع گردد (۱۱).

Reference

1. Adil, S., Mashiatullah, A., Asma, M., Abid, J. and Ghaffar, A., 2014. Heavy metal removal efficiency of paper mulberry biochar and commercially available silica powder from simulated industrial wastewater. *Iranica Journal of Energy & Environment*, 5(4): 446-452.
2. Emenike, P.C., Omole, D.O., Ngene, B.U. and Tenebe, I.T., 2016. Potentially of agricultural adsorbent for sequestering of metal ions from wastewater. *Global J. Environ.Sci.Manage.*, 2(4):411- 442.
3. Barakat, M.A., 2011. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of chemistry*, 4, 361-377.

- Multiscale visualization of the structural and characteristic changes of sewage sludge biochar oriented towards potential agronomic and environmental implication, Scientific Report. www.nature.com/Scientificreport
19. Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M., and Ro, K. S., 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure sources on physiochemical characteristic of biochar, *Bioresource Technol.*, 107, pp 419-428.
 20. Novak, J., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J. W., Steiner, C., Das, K. C., Ahmenda, M., Rehrah, D., Watts, D. W., Busscher, W. J., and Harry, S., 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on loamy sand, *Annals Environ Sci.*, 3, pp 195-206.
 21. da Silva, I. C., Basilo, J.J.N., Fernandes, L.C., Colen, F., Sampaio, R.A., Frazá, L.A., 2017. Biochip from different residues on soil properties and common bean production, *Sci: Agric.* V74, n.5, pp 378-382.
 22. Zhao, S.X., Ta, N.T., Wang, X.D., 2017. Effect of temperature on structural and physicochemical properties of biochip with apple tree branches as feedstock material. *Energies*, 10, 1293. www.mdpi.com/Journal/energies
 23. Joseph, S. D., Arbestain, M.C., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C.H., Hook, J., L. V. Zwieten, L.V., Kimber, S., Cowie, A., Singh, B.P., Lehmann, L., Foidl, N., Smernik, R.J. and Amonette, J.E., 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil, *Australian heavy metals from wastewater using biochar*. *IJIRT Volume 1 Issue 9*.
 12. Gavili, A., S. A. A. Mosavi, A. A. Kamkar Haghghi. 2016. Effect of Cattle manure and drought stress on growth characteristic and water use efficiency of spinach under greenhouse condition. *Journal of Water Research in agriculture*.30.2(2):243-259
 13. Li, H., Dong, X., Evandro, B., Silva, D., Letuzia, M., Oliveira, D., Chen, Y. and Q. Lena. 2017. Mechanisms of metal sorption by biochars: Biochar characteristics and Modifications. *Elsevier..Chemosphere* 178 (2017) 466e478
 14. Sadaka, S., Sharara, M.A., Ashworth, A., Keyser, P., Allen, F., Wright, A., 2014. Characterization of biochar from switchgrass carbonization. *Energies* 7, pp548-567. doi: 10.3390/en7020548
 15. ASTM International. D5142, Standard Test Method for Proximate Analysis of the analysis Sample of Coal and Koke Instrumental Procedures In American Society for Testing and Material; ASTM International, USA, 2009.
 16. Song, W. and Guo, M., 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperature. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 94, pp 138-145.
 17. Wolf, B., 1982. The comprehensive system of lead analysis and its use for diagnosing crop nutrient status. *Comm Soil Sci. Plant Anal.* 13, pp 1035-1059.
 18. Zhang, J., Lu, F., Zhang, H., Shao, L., Chen, D. and P. He, P., 2015.

- biochar derived from residues. *Bioresour. Technol.* 102, 10293-10298
28. Kumar, R. S., 2012. Global environmental changes and its adverse on human health: A sociological concern. *J. Ecosyst. Ecogr.*, 01(S1).
29. Thavamani, S.S., Rajkumar, R., 2013. Removal of heavy metal Cr(II), Pb(II) and Ni(II) from aqueous solution by adsorption on alumina. *Res. J. Chem Sci.*, 3(8), pp 44-48.
30. Okoya A.A., Akinyele, A.B., Ofoezie, I.E., Amuda, O.S., Alayande, O.S. and Makinde, O.W. 2014. Adsorption of heavy metal ions chitosan grafted cocoa husk char. *African Journal of Pure and applied Chemistry*, Vol. 8(10), PP 147-161.
31. Moezzi, A., Khademalrasoul, A., Biria, M., 2017. "Biochar and its application", first ed. Shahid Chamran University, Ahvaz, pp.257.
- Journal of Soil Research, 48, pp 501-5015.
24. Tan X., Liu, T., Zeng, G., Wang, X., Hu, X. and Gu, Y., 2015. Application of biochar for removal of pollutants aqueous solution, *Chemosphere*, 125, pp 70-85.
25. Ahmad, M., A. U. Rajapaksha, J. E. Lim, M. Zheng, M. Bolan, D. Mohan, M. Vithanage, S. S. Lee. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water. *Chemosphere* 99, 19-33
26. Rasheed, A., S. Sana, S.R. Kashif, Z. Umer and M. Khatoon. 2017. To evaluate the efficiency of char and biochar for waste water treatment. *Journal of waste recycling* vol. 2 No2:7
27. Xu, R. K., S. C. Xiao, J. H. Yuan, A. Z. Zhao. 2011. Adsorption methylene violet from aqueous solutions by the