مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸

ص ۶۰۸-۵۹۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۲۱
تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۸/۰۶

مطالعهٔ تأثیرگذاری مواد افزودنی بر ویژگی‌های شیمیایی ماسه‌های روان

❖ **علی یزدان‌پناهی؛** دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران ، کرج، ایران.

❖ **خالد احمدالی*؛** استادیار دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

❖ **سلمان زارع؛** استادیار دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

یکی از موادی که در دهه‌های اخیر به عنوان اصلاح‌کنندهٔ خاک مورد توجه محققین قرار گرفته است، بایوچارها هستند. در این تحقیق به منظور بررسی اثر افزودن بایوچارهای طبیعی و بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری بر ویژگی‌های خاک شنی تهیه شده از تپه‌های ماسه‌ای کاشان، آزمایشی در شرایط گلخانه به صورت فاکتوریل و در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل بایوچار طبیعی در سطوح (۰، ۱، ۳ و ۵ درصد)، بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری در سطوح (۰، ۱، ۳ و ۵ درصد) بود که در مجموع ۱۶ بستر حاصل شد. آنالیز شیمیایی برای خاک و بایوچارها به طور جداگانه و همچنین برای ۱۶ بستر حاصل از ترکیب نسبت‌های مختلف این مواد، در سه تکرار انجام گرفت. نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسهٔ میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده (هدایت الکتریکی، pH، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و مادهٔ آلی) نشان داد که این ویژگی‌ها تحت تأثیر سطوح مختلف بایوچار طبیعی اختلاف معنی‌داری داشتند. افزودن بایوچارها سبب کاهش مقدار pH خاک در برخی تیمارها گردید و تیمار ۵ بیشترین کاهش را داشت. مقدار قابلیت هدایت‌الکتریکی، کلسیم، منیزیم، پتاسیم و مادهٔ آلی تحت تأثیر هر دو نوع بایوچار افزایش ۵/۵، ۳/۹، ۲/۴، ۱/۹ و ۳/۷ برابری نسبت به شاهد پیدا کرد. در کل می‌توان بیان کرد که تیمار۱۳ (خاک+۵٪ بایوچار طبیعی+۵٪ بایوچار کمپوست زباله) بیشترین تأثیر را بر ویژگی‌های خاک مورد مطالعه گذاشته است. به عنوان یک گزینهٔ اجرایی می‌توان استفاده از بایوچارهای مورد مطالعه را به‌عنوان منبع حاوی کلسیم، منیزیم، پتاسیم و مادهٔ آلی، در اصلاح خاک‌ها و مدیریت حاصل‌خیزی مدنظر قرار داد.

کلید واژگان: بایوچار طبیعی، ماسه‌بادی، بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری، اصلاح خاک

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۰۹۸۲۶۳۲۲۳۰۴۴+
Email: khahmadauli@ut.ac.ir

۱. مقدمه

عدم وجود پوشش گیاهی مناسب، کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک و نیز عدم مدیریت صحیح استفاده از بقایای گیاهان، در اقالیم خشک و نیمه‌خشک نظیر قسمت عمدهٔ سطح کشورمان ایران، سبب کمبود مواد آلی شده است، طوری که بیشتر خاک‌های کشور کمتر از یک درصد مادهٔآلی دارند [۳]. کمبود مواد آلی سبب کاهش پایداری ساختمان خاک، پوسته‌پوسته شدن آن و در نهایت ایجاد خاکی سخت و متراکم می‌شود [۱۱]. از طرفی دیگر اغلب خاک‌های کشور آهکی و دارای واکنش قلیایی هستند و اکثر گیاهان در این خاک‌ها با مشکل تغذیهٔ عناصر پرمصرف (به‌ویژه فسفر) و کم‌مصرف روبه‌رو هستند. یکی از روش‌های افزایش مقدار قابل‌جذب این عناصر در گیاهان، افزودن مواد آلی به خاک است [۱۲]. مواد آلی نقش قابل ملاحظه‌ای در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تأمین برخی از عناصر غذایی موردنیاز گیاه داشته و می‌توان از آن‌ها برای اصلاح ویژگی‌های نامطلوب خاک و افزایش پایدار محصول استفاده کرد [۳۲].

مواد آلی وضعیت عناصر غذایی در خاک را به دلیل جذب سطحی و واکنش‌های کمپلکسی تحت تأثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل در دهه‌های اخیر کشاورزان مدام در تلاش بوده‌اند تا با تأمین نیاز غذایی گیاه، به‌ویژه از طریق بازگرداندن بقایای آلی به خاک و یا سوزاندن بقایای گیاهان، تولید محصول را تا حد امکان افزایش دهند [۲۳]. علاوه بر این، شناخت عوامل مؤثر در حفظ و نگهداری مادهٔ آلی در خاک، جهت اتخاذ شیوه‌های مدیریتی مناسب برای افزایش سطح مادهٔ آلی در خاک لازم و ضروری است. یکی از راه‌های افزایش مقدار مادهٔ آلی در خاک‌های زراعی، استفاده از کودهای آلی مانند کود حیوانی می باشد، اما کاربرد این ماده نمی‌تواند جواب‌گوی نیازهای خاک‌های زراعی باشد؛ بنابراین برای افزایش مقدار مادهٔ آلی خاک، استفاده از منابع آلی مانند ضایعات کشاورزی، کمپوست‌ها، مواد زائد شهری و لجن فاضلاب‌ها ضروری است، تا ضمن افزایش تولیدات زراعی، توسعهٔ پایدار در کشاورزی میسر شود [۳۰، ۲۴].

در دههٔ اخیر استفاده از ماده‌ای به نام بایوچار به‌عنوان اصلاح‌کنندهٔ خاک مورد توجه پژوهشگران مختلف در سراسر دنیا قرارگرفته است [۶]. این ماده را می‌توان از هر زیست‌توده‌ای از جمله پساندهای صنعتی، زراعی، جنگلی، خانگی (زباله) و کودهای حیوانی تهیه کرد [۸]. بایوچار ماده‌ای ریزدانه، متخلخل و غنی از کربن است و به روش تجزیهٔ گرمایی از زیست‌توده‌ها در شرایط اکسیژن محدود و در دمای کمتر از ۷۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تهیه می‌شود [۱۸]. کاربرد بایوچار هم از جنبه‌های کشاورزی و هم از لحاظ محیط‌زیستی می‌تواند مفید واقع گردد [۲۴]. کیفیت مواد اولیهٔ خام و شرایط پیرولیز[1](تجزیه) مهم‌ترین فاکتورهای کنترل‌کنندهٔ خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و ساختاری بایوچار تولیدی هستند [۵]. بایوچار در درجهٔ اول از حلقهٔ آروماتیک کربنی تک و فشرده تشکیل شده است که با توجه به سطح ویژه و چگالی بار زیاد آن در مقایسه با مواد آلی، ظرفیت بالاتری در جذب کاتیون‌ها دارد [۳۷]. کاربرد این ماده علاوه بر بهبود کربن آلی خاک، می‌تواند نقش مهمی در افزایش ظرفیت نگهداری آب [۲]، بهبود تهویهٔ خاک، افزایش درصد اشباع بازی خاک، افزایش نگهداری و قابلیت دسترسی مواد غذایی، کاهش نیاز به کودهای شیمیایی و آبشویی مواد غذایی [۱۳، ۲۰، ۳۹]، افزایش رشد و عملکرد گیاهان ایفا کند [۱۷]. به لحاظ ماندگاری خواص، بایوچار می‌تواند به‌عنوان یک ذخیرهٔ کربنی برای صدها تا هزاران سال در خاک باقی بماند [۲۱، ۳۵، ۴۴]. این ماده با ترسیب کربن تأثیر عمده‌ای در کاهش گازهای گلخانه‌ای و بهبود پدیدهٔ گرمایش جهانی دارد [۴۷].

در زمینهٔ بررسی اثرات بایوچارهای مختلف بر خصوصیات خاک تحقیقات خارجی و داخلی زیادی صورت گرفته که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد.

[1] Pyrolysis

نتایج پژوهشی نشان داد که افزودن بایوچار خاکستر چوب به خاک رسی، موجب بهبود ساختمان خاک، ظرفیت نگهداری آب، هدایت هیدرولیکی اشباع و تهویهٔ خاک موردنظر می‌شود [۲۲]. در تحقیقی دیگر از تأثیر فوق‌العادهٔ بایوچار بر چرخهٔ عناصر و جلوگیری از هدرروی کربن، نیتروژن و فسفر در خاک بیان گردیدکه نتایج آن‌ها نشان داد که بایوچار دارای دامنه‌ای از شکل‌های عناصر غذایی بوده که با سرعت‌های متفاوتی آزاد شده و تأثیرات متفاوتی را بر حاصلخیزی خاک‌دارند [۲۷]. در پژوهشی دیگری که به بررسی اثر بایوچار بر عملکرد سویا و تغییرات عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (NPK) در گیاه و خاک در مرکز تحقیقات گرگان پرداختند. نتایج نشان داد که بایوچار در هر دو سطح ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش ارتفاع و عملکرد بیولوژیکی سویا و نیز افزایش عناصر غذایی NPK در خاک شد [۱۶]. همچنین در رابطه با بررسی تأثیر بایوچار حاصل از برگ خرما بر خصوصیات فیزیکی خاک با بافت لوم شنی، نتایج نشان داد که بایوچار علاوه بر تأثیر مثبت بر خصوصیات فیزیکی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری، قادر است که منافذ ذخیره و انتقال خاک را با تشکیل منافذ ثانویه و نیز تغییر اندازه و تراکم خاکدانه‌های خاک افزایش دهد [۳۱]. در بررسی دیگری که بر روی اثرات بایوچار بر خواص فیزیکی خاک بود به این نتیجه رسیدند که کاربرد ۱ تا ۲ درصد (w/w) بایوچار سبب کاهش چگالی ظاهری خاک، افزایش تخلخل خاک، افزایش نفوذپذیری خاک، سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک گردید [۴]. همچنین در بررسی که بر روی اثرات بایوچار و ضایعات برنج بر عملکرد خاک، تجزیهٔ کربن (Cseq)[1] و کاهش گازهای گلخانه‌ای در شمال شرقی تایلند پرداختند، نتایج نشان داد که بایوچار و ضایعات برنج باعث افزایش کیفیت خاک و عملکرد برنج و نیز کاهش گازهای گلخانه‌ای شد [۴۰]. همچنین تحقیق در زمینهٔ بررسی اثر بایوچار باگاس نیشکر بر خصوصیات شیمیایی خاک نشان داد که افزودن بایوچار باگاس نیشکر در تمامی سطوح طی هشت ماه دورهٔ آزمایش، باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی، ازت کل، فسفر قابل جذب، ظرفیت تبادل آنیونی، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک گردید [۷]. نتایج پژوهشی در رابطه با بررسی اثر افزایش بایوچار به خاک در کاهش تجمع کادمیوم در کاهو، نشان داد که مصرف بایوچار در خاک، باعث کاهش جذب کادمیوم در کاهو می‌شود [۴۷]. در نهایت در تحقیقی که بر روی تأثیر بایوچار بر جذب کلسیم در گندم کاشته شده در خاک آلوده به کادمیوم تحت تنش خشکی پرداختند، به این نتیجه رسیدند که بایوچار تولیدشده از بقایای برنج، می‌تواند به‌عنوان یک اصلاح در خاک آلوده به فلز سنگین برای بهبود رشد گندم و کاهش غلظت‌های کادمیوم در شرایط نیمه‌خشک استفاده شود [۱].

انجام مطالعات گوناگون بر بایوچارهای مختلف و بررسی اثر این ماده از جهات گوناگون حاکی از نقش مؤثر و مفید آن در اصلاح خاک، افزایش عملکرد گیاه، کاهش اثرات آلودگی‌های منابع آب و خاک و... است. با توجه به‌مرور منابع ملاحظه می‌گردد که تاکنون مطالعهٔ چندانی در رابطه با بررسی اثر سطوح مختلف بایوچار طبیعی و نیز بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های ماسه بادی که خاک غالب در عرصه‌های طبیعی بیابانی است، انجام نشده است. لذا هدف از این پژوهش بررسی تأثیر سطوح مختلف بایوچار تولید شده از کمپوست زبالهٔ شهری و بایوچار طبیعی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک ماسه بادی می‌باشد.

۲. روش شناسی

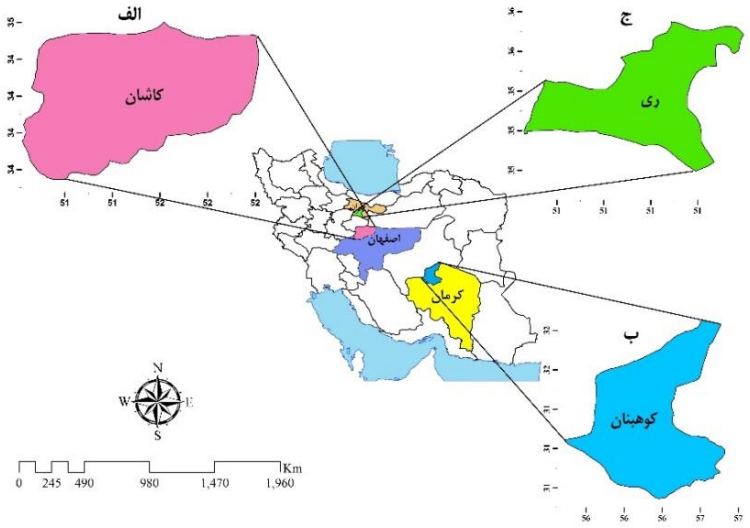
۱،۲. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

خاک مورد استفاده در این تحقیق از تپه‌های ماسه‌ای

[1] Carbon sequestration

بیابان‌های کاشـــان تهیه گردید. شـــکل (۱-الف) موقعیت منطقهٔ تهیهٔ خاک را نشـــان می‌دهد. نمونه‌های خاک در آزمایشـــگاه پس از هوا خشـــک شـــدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، به‌طور یکنواخت مخلوط شد.

بایوچار طبیعی که در فرآیندی طبیعی در طول ۶۵۰ میلیون سال پیش تشکیل گردیده [۴۳]، به صورت آماده از یک معدن واقع در شهر ستان کوهبنان واقع در ا ستان کرمان تهیه شد (شکل (۱-ب)). همچنین کمپوست زبالهٔ شـــهری تازه از مجتمع دفع و پردازش آراد کوه واقع در جنوب شهر کهریزک (شکل۱-ج) تهیه شد و پس از هوا خشک کردن، جهت یکنواخت کردن، ذرات خرد و از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شد.



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ تهیه (الف) خاک، (ب) بایوچار طبیعی و (ج) کمپوست زبالهٔ شهری

۲.۲. تولید بایوچار

نمونه‌های کمپوســـت زباله جهت تولید بایوچار پس از توزین، به مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب دانشگاه تهران منتقل شـد. برای این منظور ابتدا مواد اولیهٔ کمپوسـت زبالهٔ شهری در داخل قوطی‌های فلزی به ابعاد ۵۰ ×۳۰ سانتی‌متر قرار داده شد و در داخل کورهٔ الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجهٔ سـانتی‌گراد به مدت سـه سـاعت حرارت داده شـد. مشـهود نبودن خاکستر روی بایوچار تولید شده نشان دهندهٔ صحت روش اسـتفاده‌شـده برای تولید بایوچار و موفقیت در حذف اکسیژن ا ست که در این مطالعه این امر محقق شد. شکل (۲) کمپوست زبالهٔ شهری و بایوچار تولیده شده از کمپوست زبالهٔ شهری می‌باشد.

شکل ۲. بایوچار تولیده از کمپوست زبالهٔ شهری

۳،۲. آماده‌سازی بستر کشت و طرح آزمایشی

این مطالعه به‌صورت فاکتوریل با عامل نسبت‌های مختلف خاک و مواد افزودنی (بایوچار طبیعی و بایوچار تولید شده از کمپوست زباله شهری)، در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار، در فضای گلخانهٔ دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. فاکتورهای در نظر گرفته‌شده شامل فاکتور بایوچار طبیعی در چهار سطح (۰، ۱، ۳ و ۵ درصد) و بایوچار تولیدشده از کمپوست زبالهٔ شهری در چهار سطح (۰ ، ۱، ۳ و ۵ درصد) می‌باشد. تیمارهای مختلف بسترهای کاشت شامل ۱۶ سطح به‌صورت زیر است: تیمار اول: شاهد (خاک بدون مواد افزودنی)، تیمار دوم: خاک به‌علاوهٔ ۱ درصد بایوچار طبیعی، تیمار سوم: خاک به‌علاوهٔ ۱ درصد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۱ درصد بایوچار زبالهٔ شهری، تیمار چهار: خاک به‌علاوهٔ ۱ در صد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۳ در صد بایوچار زبالهٔ شهری، تیمار پنج: خاک به‌علاوهٔ ۱ درصد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۵ درصد بایوچار زبالهٔ شهری، تیمار شش: خاک به‌علاوهٔ ۳ درصد بایوچار طبیعی، تیمار هفت: خاک به‌علاوهٔ ۳ در صد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۱ در صد بایوچار زبالهٔ شهری، تیمار هشت: خاک به‌علاوهٔ ۳ در صد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۳ درصد بایوچار زبالهٔ شهری، تیمار نه: خاک به‌علاوهٔ ۳ درصد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۵ درصد بایوچار زبالهٔ شهری، تیمار ۱۰: خاک به‌علاوهٔ ۵ درصد بایوچار طبیعی، تیمار ۱۱: خاک به‌علاوهٔ ۵ درصد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۱ درصد بایوچار زبالهٔ شهری، تیمار ۱۲: خاک به‌علاوهٔ ۵ درصد بایوچار طبیعی به‌علاوه ۳ درصد بایوچار زبالهٔ شهری، تیمار ۱۳: خاک به‌علاوهٔ ۵ درصد بایوچار طبیعی به‌علاوهٔ ۵ درصد بایوچار زبالهٔ شهری، تیمار ۱۴: خاک به‌علاوهٔ ۱ درصد بایوچار زبالهٔ شهری، تیمار ۱۵: خاک به‌علاوهٔ ۳ درصد بایوچار زبالهٔ شهری، تیمار ۱۶: خاک به‌علاوهٔ ۵ درصد بایوچار زبالهٔ شهری بود. در این تحقیق از گلدان‌های شش کیلوگرمی به قطر ۲۰ و ارتفاع ۲۱ سانتی‌متر استفاده گردید. در کف گلدان‌ها مقدار یک کیلوگرم قلوه‌سنگ و شن در کف گلدان‌ها جهت تسهیل زهکشی ریخته شد. سپس خاک ماسه بادی را پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری، با نسبت‌های وزنی ذکر شده، با بایوچار طبیعی و بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری مخلوط گردید. پس از آماده‌سازی سطوح ۱۶ گانهٔ بستر خاک جهت کشت گلخانه‌ای، مقداری از خاک آن را جهت انجام آزمایش‌های شیمیایی از هر بستر در سه تکرار برداشت شد.

۴،۲. آنالیزهای آزمایشگاهی خاک و بایوچارها

بافت خاک به روش هیدرومتری [۹]، قابلیت هدایت الکتریکی و pH خاک و بایوچارها به ترتیب در عصارهٔ اشباع و عصارهٔ ۱:۵، با EC متر [۳۲] و pH متر [۴۰]، پتاسیم قابل‌استفاده توسط استات‌آمونیوم ۱ مولار [۱۰] و قرائت با دستگاه فلیم فتومتر، کلسیم و منیزیم عصارهٔ خاک به روش تیتراسیون با کلسیمتر [۲۶] اندازه‌گیری شد.

۱،۴،۲. محتوای عناصر غذایی بایوچار

پتاسیم و سدیم با روش هضم با اسید (هضم‌تر) و فلیم فتومتر [۳۵]، کلسیم و منیزیم با روش کلسیمتری [۲۶] اندازه‌گیری شد.

۲،۴،۲. محتوای خاکستر

محتوای خاکستر بایوچار طبق روش استاندارد ASTM D-2866 اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ۵ گرم نمونهٔ خشک آون را داخل ظرف بوته چینی ریخته و به مدت ۸ ساعت در دمای ۵۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد حرارت، در محیط با اکسیژن کافی قرار داده شد. بعد از این زمان بوته را داخل دسیکاتور در دمای اتاق قرار داده تا سرد شود و دوباره وزن گردید. محتوای خاکستر از رابطهٔ ۱ محاسبه شد [۳۸]:

رابطهٔ ۱

$$Ash\ Content\ (\%) = \frac{Ash\ (g)}{Oven\ dried\ test\ speciment\ (g)} \times 100$$

در رابطهٔ فوق: Ash Content محتوای خاکستر، Ash وزن خاکستر و Oven dried test speciment وزن بایوچار خشک شده در دمای ۱۰۵ درجهٔ سانتی‌گراد در داخل آون می‌باشد.

۵،۲. آنالیز آماری داده‌ها

بررسی اثر سطوح مختلف بایوچارهای طبیعی و کمپوست زباله شهری بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، از طریق محاسبه جدول تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون دانکن در سطح معنی داری ۱ و ۵ درصد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22.0، انجام شد.

۳. نتایج

۱،۳. ویژگی‌های خاک و بایوچارهای مورد استفاده

خاک مورد استفاده فراوان‌ترین خاک در اغلب بیابان‌های ایران می‌باشد، به‌طوری که اکثر تپه‌های شنی و مناطق درگیر با پدیدهٔ گرد و غبار دارای خاک ماسه‌بادی هستند. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده (تیمار شاهد) در جدول (۱) ارائه شده است. خاک مورد استفاده دارای بافت شنی است و قابلیت هدایت الکتریکی و pH، به ترتیب کم و نزدیک به خنثی بود. بعضی از ویژگی‌های شیمیایی بایوچارهای تولید شده در جدول (۲) نشان داده‌شده است. بر اساس جدول ملاحظه می‌شود که بایوچار طبیعی و بایوچار کمپوست زباله دارای pH قلیایی می‌باشند. مقدار شوری در بایوچار کمپوست زباله شهری نسبت به بایوچار طبیعی بیشتر بود. مقادیر کلسیم و منیزیم بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری به ترتیب حدود ۱۲ و ۳/۵ برابر بایوچار طبیعی می‌باشد.

۲،۳. تأثیر بایوچارها بر خصوصیات خاک

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بایوچار طبیعی و کمپوست زبالهٔ شهری بر خصوصیات خاک شنی در جدول (۳) نشان داده‌شده است. با توجه جدول (۳) مشاهده می‌شود که بایوچارها، دارای تأثیر معنی‌داری بر میزان pH، هدایت الکتریکی و همچنین عناصر کلسیم، منیزیم و پتاسیم می‌باشند که در ادامه به تأثیر بایوچار طبیعی و کمپوست زبالهٔ شهری بر خصوصیات خاک موردمطالعه می‌پردازیم.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

ردیف	ویژگی	واحد	مقدار
۱	pH	-	۷/۲۷
۲	هدایت الکتریکی	(dS/m)	۱/۳۰
۳	ماسه	(٪)	۹۱
۴	رس	(٪)	۷
۵	سیلت	(٪)	۲
۶	کلاس بافت خاک	-	شنی
۷	کلسیم	$(meq.L^{-1})$	۱۰/۶۷
۸	منیزیم	$(meq.L^{-1})$	۱۰/۶۷
۹	سدیم	(٪)	۰/۰۳۲
۱۰	پتاسیم	(ppm)	۳۰۳/۸
۱۱	ماده آلی	(٪)	۰/۳۳

جدول ۲. برخی ویژگی شیمیایی بایوچارهای مورد آزمایش

ویژگی	واحد	بایوچار طبیعی	بایوچار زبالهٔ شهری
pH	-	۸/۱۴	۷/۵۵
هدایت الکتریکی	($dS.m^{-1}$)	۶/۹۹	۹/۶۲
کلسیم	($meq.L^{-1}$)	۱۰/۶۷	۱۲۴
منیزیم	($meq.L^{-1}$)	۱۸	۶۴
سدیم	(٪)	۰/۰۱۲	۰/۰۲۴
پتاسیم	(ppm)	۳۶۰/۸	۲۴۹۴/۰۲
محتوای خاکستر	(٪)	۸۷/۳۳	۷۸/۴۷

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر بایوچارهای طبیعی وکمپوست زبالهٔ شهری بر ویژگی‌های برخی عناصر خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		pH	هدایت الکتریکی	کلسیم	منیزیم	ماده آلی	پتاسیم
		(-)	($dS.m^{-1}$)	($meq.L^{-1}$)	($meq.L^{-1}$)	(٪)	(ppm)
بایوچار طبیعی	۳	۰/۰۳	۳/۵۶ **	۱۴۲/۷۵ *	۳۲/۷۵	۰/۲۵ **	۳۷۳۳/۹۲
بایوچار کمپوست زباله	۳	۰/۱۰ *	۴۹/۶۱ **	۱۲۱۰/۷۵ **	۳۰۹/۶۴ **	۰/۷۲ **	۹۷۳۹۴/۹۷ **
زباله × طبیعی	۹	۰/۱۲ **	۰/۵۳ **	۵۴/۰۸ *	۷۱/۳۴ **	۰/۰۴	۲۶۹۸/۸۱
تکرار	۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۱۳/۵۸	۱۴۰/۰۸ **	۰/۰۲	۱۳۷۴/۸۶
خطا	۳۰	۰/۰۳	۰/۱۲	۱۷/۰۵	۱۷/۴۲	۰/۰۳	۳۳۳۰/۲۳

** و *: معنی‌داری به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد

۳،۳. واکنش خاک (pH)

بایوچارهای افزوده شده سبب تغییر معنادار pH نمونه‌های خاک در سطح ۱ درصد شدند (جدول۳). همچنین نتایج مقایسهٔ میانگین مربوط به pH (جدول۴) نشان داد که در بین تیمارهای مورد بررسی به جز تیمار ۲ و ۵ تفاوت معناداری وجود ندارد. در اغلب تیمارها با افزودن بایوچار، pH افزایش یافته که مقدار این افزایش عمدتاً به نوع مادهٔ اولیه‌ای که بایوچار از آن تولید می‌شود، مرتبط است. همچنین بیشترین pH مربوط به تیمارهای ۲ (خاک + ۱ درصد بایوچار طبیعی) و ۷ (خاک + ۳ درصد بایوچار طبیعی + ۱ درصد بایوچار زبالهٔ شهری) بوده که به ترتیب افزایش ۶/۵ و ۵/۹ در صدی را به همراه داشت.

۴،۳. هدایت الکتریکی (EC)

نتایج تجزیه واریانس (جدول۳) نشان داد که افزودن در صدهای مختلف بایوچار به خاک سبب افزایش معنادار EC نمونه‌های خاک در سطح ۱ درصد شدند.

نتایج مقایسهٔ میانگین (جدول۴) مربوط به EC نشان داد که در بین تیمارهای مختلف، تفاوت معناداری وجود دارد و تیمار شاهد کمترین و تیمار ۱۳ (خاک + ۵ درصد بایوچار طبیعی + ۵ درصد بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری) بیشترین EC را داشته است. از علت‌های این افزایش با توجه به نتایج آزمایشات بایوچار (جدول۲)، بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری، خود دارای میزان زیادی عناصر محلول می‌باشد که ممکن است این عناصر از سطح بایوچار به درون محلول آزاد شده باشد و دلیل افزایش هدایت الکتریکی خاک نسبت به خاک شاهد باشد.

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین اثر بایوچارهای طبیعی وکمپوست زبالهٔ شهری بر ویژگی‌های برخی عناصر خاک

شماره تیمارها	pH (-)	هدایت الکتریکی (dS/m)	کلسیم ($meq.L^{-1}$)	منیزیم ($meq.L^{-1}$)	پتاسیم (ppm)	مادهٔ آلی (٪)
۱	۷/۲۷ cde *	۱/۳۰ i	۱۰/۶۷ fg	۱۰/۶۷ de	۳۰۳/۸۴ i	۰/۳۳ f
۲	۷/۷۴ a	۲/۱۸ h	۱۶ ef	۵/۳۳ e	۳۳۵/۴۹ ghi	۰/۴۸ ef
۳	۷/۶۲ abc	۳/۱۵ fg	۱۲/۶۷ f	۱۷/۳۳ acd	۳۷۹/۸۰ e-i	۰/۶۲ df
۴	۷/۳۶ cde	۵/۳۵ d	۳۴ b	۱۶/۶۷ acd	۴۷۴/۷۵ a-e	۰/۷۴ cde
۵	۷/۰۴ e	۶/۸۰ b	۳۲/۶۷ bc	۲۲/۶۷ ab	۴۹۳/۷۴ a-d	۱/۱۶ a
۶	۷/۳۴ cde	۳/۰۳ g	۵/۳۳ g	۱۵/۳۳ bcd	۳۷۹/۸۰ e-i	۰/۵۹ def
۷	۷/۷۰ ab	۳/۸۱ e	۲۰/۶۷ de	۱۷/۳۳ acd	۴۳۰/۴۴ c-h	۰/۶۲ def
۸	۷/۴۱ acd	۵/۲۴ d	۲۶/۶۷ bcd	۱۲ cde	۴۴۳/۱۰ c-f	۱/۰۱ abc
۹	۷/۲۹ cde	۷/۶۹ a	۲۸/۶۷ bc	۲۴ a	۵۸۲/۳۶ ab	۰/۹۰ a-d
۱۰	۷/۳۹ acd	۳/۷۲ ef	۱۳/۳۳ ef	۱۹ bcd	۳۲۹/۱۶۰ hi	۰/۷۱ cde
۱۱	۷/۴۵ acd	۴/۱۵ e	۲۵/۳۳ de	۷/۳۳ e	۳۸۶/۱۳ d-i	۱/۰ abc
۱۲	۷/۲۹ cde	۶/۰۸ c	۳۱/۳۳ bc	۱۲ cde	۴۴۹/۴۳ b-f	۱/۰۹ ab
۱۳	۷/۳۳ cde	۷/۲۴ ab	۴۱/۳۳ a	۲۴ a	۵۵۷/۰۴ ab	۱/۲۳ a
۱۴	۷/۱۸ de	۳/۱۰ g	۱۵/۳۳ ef	۵/۳۳ e	۳۵۴/۴۸ f-i	۰/۵۱ ef
۱۵	۷/۴۷acd	۵/۱۹ d	۳۰ bc	۲۰ abc	۴۹۳/۷۴ a-d	۰/۸۰ b-e
۱۶	۷/۴۵acd	۶/۷۹ b	۲۷/۳۳ bcd	۱۸ acd	۵۳۸/۰۵ abc	۱/۰۴ abc

*: داده‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند، از نظر آماری اختلاف معنی‌دار با یکدیگر ندارند.

۵،۳. منیزیم و کلسیم

افزودن بایوچار به خاک تأثیر معناداری بر میزان کلسیم و منیزیم به ترتیب در سطح ۵ و ۱ درصد داشته است (جدول۳). با توجه به نتایج مقایسهٔ میانگین (جدول۴)، مشاهده می‌شود که افزودن بایوچار به خاک سبب افزایش غلظت عناصر کلسیم (به جز تیمار ۶) و منیزیم (به جز تیمارهای ۲، ۱۱ و ۱۴) شده است. در رابطه با غلظت منیزیم و کلسیم بیشترین غلظت، در تیمار ۱۳ مشاهده شد که به ترتیب افزایش ۱۲۴ و ۲۸۷ درصدی نسبت به شاهد را به دنبال داشته است.

۶،۳. پتاسیم

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول (۳)) ملاحظه می‌گردد که اثر کاربرد بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری بر مقدار پتاسیم خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود. درحالی‌که با توجه به مقایسهٔ میانگین‌ها در جدول(۴)، در بین تیمارهای مختلف خاک تفاوت معناداری به جز ۱، ۵ و ۱۳ نبود. همچنین بیشترین مقدار پتاسیم در تیمار ۹ و کمترین در تیمار۱ (شاهد) اختصاص داشت که تیمار ۹ افزایش ۹۱ درصدی را نسبت به شاهد

به همراه داشته است.

۷،۳. مادهٔ آلی

جدول (۳) تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر کاربرد بایوچار کمپوست زبالهٔ شهری بر مقدار مادهٔ آلی خاک دارای تأثیر معناداری در سطح ۱ بود. با توجه به مقایسهٔ میانگین‌ها در جدول (۴)، ملاحظه می‌شود که تیمارهای مختلف خاک ۱۳، ۵ و ۱ تفاوت معناداری با بقیهٔ تیمارها دارند. همچنین تیمارهای ۵ و ۱۳ بیشترین مقدار مادهٔ آلی خاک را نسبت به تیمار شاهد داشتند که این دو تیمار به ترتیب افزایش ۳/۵ و ۳/۷ برابری نسبت به شاهد داشتند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

به‌طورکلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزودن بایوچار سبب تغییرات در برخی ویژگی‌های خاک مانند قابلیت هدایت الکتریکی، pH و مقدار کربن آلی و همچنین قابلیت استفادهٔ برخی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف (به‌خصوص پتاسیم) می‌گردد. همچنین با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش مشاهده می‌شود که افزودن بایوچار به خاک سبب افزایش pH در برخی از تیمارهای خاک شده است. معمولاً بایوچارهای تولید شده در دمای بالا دارای pH بالا هستند و برخی از مواد اولیه (نظیر آزولا، باگاس، سبوس برنج، کمپوست زبالهٔ شهری) نیز دارای pH بالایی می‌باشند که این امر با نتایج [۲۵ و ۴۶] مطابقت دارد. همچنین افزودن بایوچار به خاک باعث افزایش هدایت‌الکتریکی در تیمارها گردیده که این امر با نتایج [۱۵] که، افزایش EC را به علت زیاد بودن مقدار املاح درکمپوست و لجن فاضلاب گزارش کردند، مطابقت دارد. با افزودن بایوچارها به خاک، مقدار کلسیم و منیزیم در همه تیمارها افزایش یافت که با نتایج [۱۴ و ۳۴] که به ترتیب از بایوچار تهیه شده از ضایعات درخت اکالیپتوس و بایوچار تهیه شده از چوب خرد شدهٔ درخت بلوط و گردو استفاده کردند، مطابقت دارد. مقدار پتاسیم با افزودن بایوچارها به خاک، باعث افزایش در همهٔ تیمارها گردید. افزایش قابل‌ملاحظه مقادیر پتاسیم با کاربرد انواع بایوچارهای استفاده‌شده در این پژوهش نشان می‌دهد که می‌توان بایوچار را به‌عنوان یک منبع حاوی پتاسیم در مدیریت حاصلخیزی این عنصر در خاک‌های دچار کمبود پتاسیم مدنظر قرار داد و مطالعات بیشتری را روی آن انجام داد. که در [۲۸] افزایش ۴/۴ تا ۷ برابری پتاسیم را در نتیجهٔ افزودن بایوچار حاصل از بقایای گندم، پنبه، ذرت و کنجد به یک خاک آهکی گزارش گردید، که این افزایش با کاربرد بایوچار گندم و کنجد بیشتر از بایوچار ذرت و پنبه بود. افزایش پتاسیم در نتیجهٔ کاربرد بقایای گیاهی و بایوچار به ترکیب آن‌ها به‌ویژه مقدار پتاسیم موجود در آن‌ها، سرعت آزادسازی پتاسیم و تأثیر مولکول‌های آلی بر آزادسازی پتاسیم از کانی‌های خاک ارتباط دارد [۲۹]. همچنین این امر با نتایج [۱۴ و ۳۴] که افزایش پتاسیم خاک توسط کاربرد بایوچار در خاک را گزارش دادند، مطابقت دارد. در نهایت در بین تیمارهای مختلف، تیمار ۱۳ بیشترین تأثیر را در خصوصیات خاک موردمطالعه گذاشته است.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند که از پشتیبانی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور در تأمین اعتبار این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

References

[1] Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Mahmood, A., Zia-ur-Rehman, M., and Qayyum, M. F. (2018). Biochar application increased the growth and yield and reduced cadmium in drought stressed wheat grown in an aged contaminated soil. Ecotoxicology and environmental safety, 148, 825-833.

[2] Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M., and Wessolek, G. (2013). Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. Geoderma, 202, 183-191.

[3] Asghari, Sh. (2011). Effects of Tabriz Petrochemical Sewage Sludge on Organic Carbon, Aggregate Stability Indices and Consistency Limits of a Semiarid Soil. Journal of Water and Soil, 25(3), 530-539.

[4] Aslam, Z., Khalid, M., and Aon, M. (2014). Impact of biochar on soil physical properties. Scholars Journal of Agriculture and Veterinary, 4, 280-284.

[5] Beheshti, M., Alikhani, H.A., Motesharezadeh, B., and Mohammadi, L. (2016). Quality variations of cow manure biochar generated at different pyrolysis temperatures. Iranian Journal of Soil and Water Research, 47(2), 259-267.

[6] Behnam, H., Farrokhian Firouzi, A. and A.A. Moezzi, A.A. (2016). Effect of sugarcane bagasse biochar and compost on some soil mechanical properties. Journal of Water and Soil Conservation, 23(4), 235-250.

[7] Divband Hafshejani, L., Naseri, A.A., Hooshmand, A., Abassi, F. and Soltani Mohammadi, A. (2017). Effect of Sugarcane Bagasse Biochar Application on Chemical Properties a Sandy Loam Soil. Journal of Irrigation Science and Engineering, 40(1), 63-72.

[8] Fathi Gerdelidani, A., Mirseyed Hosseini, H., and Farahbakhsh, M. (2016). Some effects of spent mushroom compost and bagasse biochar on alkaline phosphatase activity and phosphorus availability in some calcareous soils. Iranian Journal of Soil and Water Research, 46(4), 801-82.

[9] Gee, G. W., and Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis1. Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods (methodsofsoilan1), 383-411.

[10] Helmke, P. A., and Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods, (methodsofsoilan3), 551-574.

[11] Hemmat, A., Aghilinategh, N., & Sadeghi, M. (2010). Shear strength of repacked remoulded samples of a calcareous soil as affected by long-term incorporation of three organic manures in central Iran. Biosystems engineering, 107(3), 251-261.

[12] Karami, M., Afyuni, M., Rezaee Nejad, Y., and Khosh Goftarmanesh, A.M. (2009). Cumulative and Residual Effects of Sewage Sludge on Zinc and Copper Concentration in Soil and Wheat. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, 12(46), 639-654.

[13] Laird, D. A. (2008). The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality All rights reserved. No part of this periodical may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. Agronomy journal, 100(1), 178-181.

[14] Laird, D. A., Fleming, P., Davis, D. D., Horton, R., Wang, B., and Karlen, D. L. (2010). Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. Geoderma, 158(3-4), 443-449.

[15] Lakhdar, A., Scelza, R., Scotti, R., Rao, M. A., Jedidi, N., Gianfreda, L., & Abdelly, C. (2010). The effect of compost and sewage sludge on soil biologic activities in salt affected soil. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 10(1), 40-47.

[16] Lal Arab, M., Astaraee, A., and lakzian, A. (2015).The effect of biochar on soybean growth characteristics and soil chemical properties. The first international and fourth notional conference of Irans Environmental and Agricultural Research. Hamedan. IRAN. 1-9.

[17] Lal, R. (2011). Sequestering carbon in soils of agro-ecosystems. Food policy, 36, S33-S39.

[18] Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: science, technology and implementation: Routledge.

[19] Lehmann, J., Czimczik, C., Laird, D., and Sohi, S. (2009). Stability of biochar in soil. Biochar for environmental management: science and technology, 183-206.

[20] Lehmann, J., da Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and soil, 249(2), 343-357.

[21] Liu, Z., Chen, X., Jing, Y., Li, Q., Zhang, J., and Huang, Q. (2014). Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. Catena, 123, 45-51.

[22] Lu, S. G., Sun, F. F., & Zong, Y. T. (2014). Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). Catena, 114, 37-44.

[23] Mary, B., Recous, S., Darwis, D., and Robin, D. (1996). Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. Plant and Soil, 181(1), 71-82.

[24] Masto, R. E., Kumar, S., Rout, T. K., Sarkar, P., George, J., and Ram, L. C. (2013). Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity. Catena, 111, 64-71.

[25] Masulili, A., Utomo, W. H., and Syechfani, M. S. (2010). Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. Journal of Agricultural Science, 2(1), 39.

[26] Miller, J. J., and Curtin, D. (2008). Electrical conductivity and soluble ions. Section 15 in MR Carter and EG Gregorich, eds. Soil sampling and methods of analysis.

[27] Mukherjee, A., and Zimmerman, A. R. (2013). Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. Geoderma, 193, 122-130.

[28] Najafi-Ghiri, M. (2015). Effect of Different Biochars Application on Some Soil Properties and Nutrients Availability in a Calcareous Soil. Iranian Journal of Soil Research, 29(3), 352-358.

[29] Najafi-Ghiri, M., and Boostani, H.R. 2017. Effect of application of crop and licorice root residues and their biochars on potassium status of a calcareous soil. Journal of Water and Soil Conservation, 24(3), 77-93.

[30] Nazmi, L., Shabanpour, M., and Hashemi, K. (2012). Effect of type and amount of organic wastes on properties of two types of soil. Journal of Soil and Water. 25: 93-102.

[31] Nowroozi, M., Tabatabaei, H., Nouri, M.R. and Motaghian, H.R. (2017). Short-term effects of biochar produced from date palm's leaves on moisture retention in sandy loam soil. Journal of Water and Soil Resources Conservation, 6(2), 137-150.

[32] Razzaghi, F., and Rezaie, N. (2017). Effects of different levels of biochar on soil physical properties with different textures, Journal of Water and Soil Resources conservation, 7(1), 75-88.

[33] Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods, (methodsofsoilan3), 417-435.

[34] Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramírez, J., and Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (Phaseolus vulgaris L.) increases with bio-char additions. Biology and fertility of soils, 43(6), 699-708.

[35] Ryan, J., Estefan, G., and Rashid, A. (2007). Soil and plant analysis laboratory manual. ICARDA.

[36] Singla, A., Dubey, S. K., Singh, A., & Inubushi, K. (2014). Effect of biogas digested slurry-based biochar on methane flux and methanogenic archaeal diversity in paddy soil. Agriculture, ecosystems & environment, 197, 278-287.

[37] Sombroek, W., Ruivo, M. D. L., Fearnside, P. M., Glaser, B., and Lehmann, J. (2003). Amazonian dark earths as carbon stores and sinks. In Amazonian Dark Earths (pp. 125-139). Springer, Dordrecht.

[38] Song, W., & Guo, M. (2012). Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. Journal of analytical and applied pyrolysis, 94, 138-145.

[39] Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J. L. V., Blum, W. E., and 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, 291(1-2), 275-290.

[40] Thammasom, N., Vityakon, P., Lawongsa, P., and Saenjan, P. (2016). Biochar and rice straw have different effects on soil productivity, greenhouse gas emission and carbon sequestration in Northeast Thailand paddy soil. Agriculture and Natural Resources, 50(3), 192-198.

[41] Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods, (methodsofsoilan3), 475-490.

[42] Yazdanpanahi, A., Jafari, M., Ahmadaali, Kh, and Zare, S. (2018). Investigating the effects of biochar on soil amendment of arid and semi-arid areas. International Conference on Natural Resources Management in Developing Countries. IRAN. 1-11.

[43] Yazdanpanahi, A., Ahmadaali, Kh, Mohamad Jafari, M., and Shabani Omran, T. (2018). Investigating the effect of natural and urban waste compost biochars on hydraulic parameters in sandy soils. Journal of Range and Watershed Management (In press).

[44] Yu, O. Y. (2017). The effects of biochar as a soil amendment on soil quality and plant growth.

[45] Zamani babgohari, J., Afyouni, M., Khoshgoftarmanesh, A.H., and Eshghizadeh, H. 2011. Effect of sewage sludge of polyacryl factory, municipal solid waste compost and cow manure on soil properties and yield of corn. Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 14(54), 153-165.

[46] Zheng, J., Stewart, C. E., and Cotrufo, M. F. (2012). Biochar and nitrogen fertilizer alters soil nitrogen dynamics and greenhouse gas fluxes from two temperate soils. Journal of environmental quality, 41(5), 1361-1370.

[47] Zheng, R., Sun, G., Li, C., Reid, B. J., Xie, Z., Zhang, B., and Wang, Q. (2017). Mitigating cadmium accumulation in greenhouse lettuce production using biochar. Environmental Science and Pollution Research, 24(7), 6532-6542.