مقاله پژوهشی

فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۶۶، پاییز ۱۴۰۲ (۴۶- ۲۱)

نقش بیوچار در اصلاح خاک‌های متأثر از املاح

یونس شکوهی‌فر[۱]

رضا حسن‌پور[۲*]

reza.hassanp@gmail.com

بهمن خوشرو[۳]

حسین بشارتی[٤]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۳۰ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۸/۱۱**

چکیده

زمینه و هدف: تجمع املاح در خاک یک تهدید عمده برای تولید کشاورزی و پایداری اکوسیستم می‌باشد. هزینه تحمیل‌شده به بهره‌وری کشاورزی به‌دلیل شوری و سدیمی بودن خاک بسیار بالا بوده و انتظار می‌رود در آینده با گسترش مناطق متأثر از املاح افزایش یابد. در دهه اخیر تمرکز زیادی بر روی استفاده از بیوچار در سیستم‌های زراعی با هدف اولیه تثبیت کربن آلی در خاک و درنتیجه کاهش گازهای گلخانه‌ای اتمسفر و همچنین اصلاح و افزایش حاصلخیزی خاک شده است. ولی این مطالعات اغلب در خاک‌های غیرشور انجام گرفته است و نیاز به انجام این تحقیقات در خاک‌های متأثر از املاح نیز وجود دارد.

روش بررسی: به‌دلیل کمبود تحقیقات انجام‌شده در مورد نقش بیوچار در خاک‌های متأثر از املاح، در این مقاله ابتدا یک نمای کلی از وسعت و مشکلات خاک‌های متأثر از املاح ارائه گردید. سپس به بررسی تحقیقات انجام‌شده در مورد تاثیر بیوچار بر ویژگی‌های خاک، ترسیب کربن و اصلاح خاک‌های متأثر از املاح پرداخته شد و شکاف‌های مطالعاتی و پژوهشی در این زمینه مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: کاربرد بیوچار در خاک باعث ترسیب کربن در خاک می‌شود و انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر را کاهش می‌دهد. در خاک‌های متأثر از املاح، بیوچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده آلی خاک ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را بهبود می‌دهد و درنتیجه باعث تعدیل اثرات نمک بر خاک و گیاه می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری: ترسیب کربن و بهبود کیفیت خاک دو مزیت کلی گزارش‌شده کاربرد بیوچار در خاک می‌باشد. نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه متفاوت هستند که به منبع تهیه بیوچار و روش تهیه آن، ویژگی‌های خاک و شرایط انجام آزمایش بستگی دارد. بنابراین مطالعات مختلفی برای شناخت کامل مکانسیم‌های تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های خاک‌های متأثر از املاح و اصلاح آنها نیاز است. ارائه راه‌حل کاربردی با انجام چند پژوهش میسر نیست ولی توسعه یافته‌های علمی در این زمینه می‌تواند سیاست‌های آینده را جهت‌دار کند.

واژه‌های کلیدی: اصلاح خاک، بیوچار، شوری خاک، کربن آلی.

۱- دانشجوی دکترای شیمی و حاصلخیزی خاک، گروه خاک‌شناسی، دانشگده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان).

۲- محقق بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز. * (مسوول مکاتبات)

۳- محقق پسادکترای بخش تحقیقات بیولوژی خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب ، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

۴- استاد پژوهش بخش تحقیقات بیولوژی خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

Human and Environment, No. 66, Autumn 2023

The Role of Biochar in the Remediation of Salt-Affected Soils

Younes Shukuhifar[1]
Reza Hassanpour[2*]
reza.hassanp@gmail.com
Bahman Khoshru[3]
Hossein Besharati[4]

Admission Date: November 20, 2022 Date Received: March 20, 2021

Abstract

Background and Objective: Salts accumulation in soil is a major threat to agricultural production and ecosystem sustainability. The cost imposed on agricultural productivity due to salinity and sodicity is very high and is expected to increase in the future with the expansion of salt-affected areas. In the last decade, a great focus has been made on the application of biochar in farming systems with the primary aim of organic carbon sequestration in soil and subsequently reducing greenhouse gases emission to air and also reclaim soils, and increasing soil fertility. But these studies often were in non-saline soils and it is needed to study the biochar effect in salt-affected soils.

Material and Methodology: Due to the lack of research on the role of biochar in salt-affected soils, this paper first provides an overview of the extent and problems of these soils. Then, the researches on the effect of biochar on soil properties, carbon sequestration, and remeduatuib if sakt-affected soils were reviewed and study and research gaps in this field were investigated.

Findings: The application of biochar in the soil causes the sequestration of carbon in the soil and reduces the emission of greenhouse gases into the atmosphere. In the salt-affected soils, biochar, as an organic soil amendment, improves the physical, chemical, and biological properties of the soil, thereby mitigating the effects of salt on soil and plants.

Discussion and Conclusion: Carbon sequestration and improvement of soil quality are the two reported general benefits of biochar application in soil. The results of researches in this field are different depending on the source and method of biochar preparation, soil properties, and experiment conditions. Therefore, various studies are needed to fully understand the mechanisms of biochar effect on the properties of salt-affected soils and their remediation. It is not possible to provide a practical solution by doing some research, but developing scientific findings in this field can guide future policies.

Keywords: Biochar, Organic Carbon, Soil Remediation, Soil Salinity.

1- PhD Student in Soil Chemistry and Fertility, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran

2- Researcher, Soil and Water Research Department, East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Tabriz, Iran. *(*Corresponding Author*)

3- Postdoctoral Researcher, Research Department of Soil Biology, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Karaj, Iran

4- Research Professor, Research Department of Soil Biology, Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Karaj, Iran

مقدمه

در سال‌های اخیر به‌دلیل تغییرات جهانی اقلیم و نیاز به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، حفظ کربن آلی خاک از اهمیت دوچندانی برخوردار شده است (۱). افزایش مقدار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر و تغییرات آب‌وهوایی ناشی از آن، تأثیرات عمده‌ای در قرن جاری به‌جای خواهد گذاشت (۲ و ۳). اتخاذ شیوه‌های نامطلوب مدیریتی و کاربری‌های نامناسب اراضی باعث کاهش میزان ماده آلی خاک و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن هوا شده است (۴). بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان کربن آلی ۶۳/۲ درصد خاک‌های کشور کمتر از یک درصد بوده که حکایت از ناپایداری خاک‌های کشور دارد (۵). لذا انجام فعالیت‌هایی در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش ترسیب کربن در خاک و زیست‌توده و اتخاذ استراتژی‌های جدید و سیاست‌های مناسب برای مدیریت کشاورزی ضروری است. ماده آلی خاک نقش بسیار مهمی در چرخه کربن در سطح جهانی دارد و غلظت گاز دی‌اکسید کربن هوا را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (۶). حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد کربن آلی از بین رفته خاک‌ها را می‌توان از طریق اتخاذ شیوه‌های معقول در بخش کشاورزی دوباره ترسیب نمود (۴). ترسیب کربن در خاک‌های کشاورزی سبب تقویت و افزایش کیفیت و بهره‌وری خاک می‌گردد؛ بنابراین ترسیب کربن در خاک، مخصوصاً در خاک‌های متأثر انه‌تنها در کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای مؤثر است بلکه در حفظ و احتمالاً افزایش کیفیت خاک مفید است (۷). بنابراین یکی از گزینه‌های موجود برای زمین‌های با کاربری زراعی و جنگل، ترسیب کربن در خاک است. ترسیب کربن به‌دلیل پیشرفت امنیت غذایی، بهبود محیط‌زیست و کاهش جهانی گرم شدن یک استراتژی برد-برد است. ترسیب کربن همچنین با افزایش ذخیره ماده آلی خاک، دارای تأثیرات مستقیم بر خصوصیات خاک، محیط و کیفیت کشاورزی و تنوع گونه‌ای است که سبب افزایش حاصلخیزی خاک، باروری زمین برای تولید محصولات غذایی و امنیت غذایی می‌گردد (۴). این ابزار اقتصادی به جلوگیری یا کاهش تخریب اراضی نیز کمک می‌نماید. مدیریت بقایای گیاهی، روش مهم دیگری در ترسیب کربن و افزایش میزان ماده آلی خاک است.

مشکل وضعیت نامطلوب مواد آلی در خاک‌های شور دوچندان می‌شود. این در حالی است که افزایش مواد آلی از محدودیت‌های خاک‌های شور می‌کاهد (۸). بر اساس گزارش‌های منتشر شده، سهم کربن آلی خاک در تولید محصول در خاک‌هایی باکیفیت پایین‌تر، بیشتر است (۹). برای کاهش تخریب خاک و بهبود خاک‌های متأثر از املاح در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ضروری است که فاکتورها و فرآیندهایی تأثیرگذار در غلظت مواد آلی خاک (به‌ویژه در خاک‌های با رطوبت کم و ورودی پایین مواد آلی) به‌خوبی درک شود. بنابراین توجه به حفظ و افزایش میزان کربن آلی خاک‌ها برای پایداری، افزایش تولید و همچنین تولید محصول سالم، امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. راهکار علمی برای افزایش ذخیره کربن آلی خاک‌ها و کاهش غلظت دی‌اکسید کربن هوا، افزایش مدت‌زمان ماندگاری ماده آلی در خاک و کاهش سرعت تجزیه آن می‌باشد (۱۰ و ۱۱).

روش بررسی

این مطالعه به‌صورت کتابخانه‌ای و با مرور در منابع جامع و معتبر علمی انجام گرفت. برای این کار، مطالعات موثق انجام شده در داخل و خارج از کشور، مورد بررسی قرار گرفته و سایر اطلاعات مورد نیاز از طریق جستجوی کتابخانه‌ای، اینترنتی و بانک‌های اطلاعات داخلی و خارجی به دست آمد.

در این مطالعه ابتدا یک نمای کلی از وسعت و مشکلات خاک‌های متأثر از املاح و وضعیت کربن در آن خاک‌ها ارائه گردید. سپس ویژگی‌های بیوچار، نحوه و روش‌های مختلف تولید آن مورد بررسی قرار گرفت. در گام بعدی به پژوهش‌های انجام‌شده در مورد تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های خاک، ترسیب کربن، رشد و عملکرد گیاه و اصلاح خاک‌های متأثر از املاح پرداخته شد. در نهایت با جمع‌بندی نتایج حاصل از پژوهش‌های مختلف، شکاف‌های مطالعاتی در این زمینه مورد بررسی و پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آینده ارائه گردید.

یافته‌ها

۱-۱- خاک‌های متأثر از املاح و مشکلات مربوط به آن‌ها

خاک‌های شور خاک‌هایی هستند که غلظت بالایی از نمک‌های معدنی محلول در افق‌های خاک وجود دارد و این املاح محلول اثر معکوسی بر روی تولید محصول می‌گذارند (۱۲ و ۱۳). طبق بررسی انجام گرفته توسط فائو در ۱۱۸ کشور جهان در سال ۲۰۲۱، بیش از ۴۲۴ میلیون هکتار خاک سطحی (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) و ۸۳۳ میلیون هکتار خاک زیر سطحی (۳۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر) به درجات مختلف متأثر از نمک هستند. در این بررسی خاک متأثر از نمک خاکی است که قابلیت هدایت الکتریکی آن در عصاره اشباع (EC_e) بیشتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر، درصد سدیم قابل تبادل (ESP) بیشتر از ۱۵ درصد و pH آن بیشتر از ۸/۲ باشد. طبق این گزارش، ۸۵ درصد از خاک‌های سطحی متاثر از نمک، شور، ۱۰ درصد سدیمی و ۵ درصد شور-سدیمی می‌باشد. در خاک‌های متاثر از نمک زیر سطحی نیز ۶۲ درصد شور، ۲۴ درصد سدیمی و ۱۴ درصد شور-سدیمی هستند. براساس داده‌های فائو، بیش از دو سوم خاک‌های متاثر از نمک دنیا در نواحی خشک و نیمه‌خشک واقع شده‌اند بطوریکه ۳۷ در صد آنها در بیابان‌های خشک و ۲۷ در صد آنها در استپ خشک واقع شده‌اند (۱۴). براساس گزارش مترنیچ و زینک (۱۵) حدود ۹۵ میلیون هکتار از خاک‌های دنیا، متأثر از شوری اولیه هستند که به خاطر فرایندهای طبیعی در خاک و آب رخ داده است درحالی‌که ۷۷ میلیون هکتار از اراضی دنیا از شوری ثانویه ناشی از فعالیت‌های بشری و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی رنج می‌برند. نگرانی بزرگ دیگر این هست که ۲۳ درصد از زمین‌های قابل‌کشت در دنیا متأثر از شوری و بیش از ۱۰ درصد نیز شور-سدیمی می‌باشند، درحالی‌که ۳۴۰ میلیون هکتار از اراضی قابل‌کشت و زرع از سدیمی بودن رنج می‌برند (۱۶). در ایران، اراضی دارای خاک‌های با درجات مختلف شوری مساحتی معادل ۵۵/۶ میلیون هکتار (۳۴ درصد مساحت کل کشور) را دربر می‌گیرند که اکثر آن ها در فلات مرکزی و دشت‌های ساحلی جنوب و دشت خوزستان قرار دارند (۱۷). غلظت بالای نمک همانند اثر بر روی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی بر روی فعالیت میکروبی نیز اثرات معکوسی دارد که باعث کاهش حاصلخیزی خاک می‌گردد (۱۸). مسمومیت نمک و پتانسیل اسمزی زیان‌بار باعث کاهش رشد گیاه می شود که نتیجه آن کاهش در مقدار کربن ورودی به خاک و زوال بیشتر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این خاک‌ها می‌باشد (۱۹). بنابراین بیش از یک دوره طولانی شوری خاک، ذخیره کربن به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد (۱۳). کاربرد مواد آلی همانند بقایای محصولات کشاورزی، چوب، پسماند، کمپوست و غیره می‌تواند کربن و حاصلخیزی خاک‌های شور را هم کاهش و هم افزایش دهد (۸). به‌طورکلی کاربرد مواد آلی به‌عنوان استراتژی مدیریت مؤثر در کاهش اثرات منفی خاک‌های متأثر از املاح و بهبود رشد گیاه مورد توجه قرار گرفته است.

۲-۱- وضعیت کربن در خاک‌های متأثر از املاح

به‌طورکلی مواد آلی خاک بخش جدایی‌ناپذیر خاکدانه‌ها می‌باشد که در اتصال و چسبندگی خاکدانه‌ها به هم دخالت دارد. این امر باعث می‌شود مواد آلی خاک به‌طور فیزیکی توسط خاکدانه‌ها حفاظت شوند و از تجزیه سریع در امان باشند. در مناطق نیمه‌خشک، پایداری خاکدانه‌های خاک یکی از ویژگی‌های مهم خاک است که رشد گیاهان را کنترل می‌کند. وجود کربن آلی در خاک، خاکدانه‌سازی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش می‌دهد و تشکیل کربنات‌های ثانویه به‌عنوان بخشی از کربن معدنی خاک، در حضور کربن آلی خاک، کلسیم و منیزیم صورت می‌گیرد (۹). هدرروی و کاهش کربن آلی خاک به‌طور مستقیم در ارتباط با فاکتورهایی هستند که قابلیت دسترسی کربن آلی خاک به میکروارگانیسم‌ها و آنزیم‌های خاک را تحت تأثیر می‌گذارند. زمانی که خاک سدیمی مرطوب می‌شود، پراکندگی خاکدانه‌ها، قابلیت دسترسی کربن آلی خاک را افزایش می‌دهد و هدرروی کربن خاک تسریع می‌یابد، درحالی‌که در زمان خشک شدن خاک، قابلیت دسترسی مواد آلی خاک به خاطر افزایش چگالی خاک و کاهش ظرفیت نگهداری آب کاهش می‌یابد (۲۰ و ۱۳). پس از تجزیه مواد آلی خاک، افزایش مقدار اولیه قابلیت دسترسی سوبسترا می‌تواند با تأثیر بر روی جامعه میکروبی خاک، اثرات معکوس سدیم کلراید بر روی میکروارگانیسم‌ها را کاهش دهد (۲۱ و ۲۲). در یک

بررسی، وونگ و همکاران (۲۳) زیتوده میکروبی بالایی را در تیمارهای شوری بالا گزارش کردند. دلیل این افزایش در زیتوده میکروبی می‌تواند به خاطر افزایش تجزیه‌پذیری و دسترسی مواد آلی خاک (افزایش سوبسترا) باشد. در مطالعه‌ای دیگر، وونگ و همکاران (۲۴) گزارش کردند که در یک خاک شور-سدیمی، زیتوده میکروبی و سرعت تنفس میکروارگانیسم‌های خاک پس از افزودن مواد آلی به خاک افزایش می‌یابد. درحالی‌که پس از تغییر ناگهانی در قابلیت دسترسی سوبسترا و همچنین افزایش زیتوده میکروبی خاک، تنش شور-سدیمی بودن خاک، تجزیه سوبسترا و فراهمی آن کاهش یافت. متعاقباً با گذشت زمان، میکروب‌ها به شوری‌های بالای محیط سازگار شده و به تجزیه مابقی مواد آلی خاک ادامه دادند (۲۵ و ۲۶ و ۲۷). ستیا و همکاران (۱) گزارش کردند که هدایت الکتریکی بر روی خروج گاز CO_2 آزادشده از خاک‌های متأثر از شوری اثر منفی گذاشته است و لذا برای تخمین میزان گاز دی‌اکسید کربن آزادشده از این اراضی، محاسبه تأثیر این فاکتور نیاز است. به‌طورکلی، شوری زیاد اثر مشابهی بر روی رشد گیاه و فعالیت میکروبی خاک به خاطر سمیت یون و اثر اسمزی دارد و با گذشت مدت‌زمان بسیار زیاد، خاک‌های شور- سدیمی به‌دلیل فرآیندهای شور- سدیمی شدن، گسترش یافته و ذخیره کربن خاک کاهش می‌یابد (۲۸). در مطالعاتی که بر روی خاک‌های اسپانیا انجام گرفت، فعالیت میکروبی کم به خاطر کاهش تنفس میکروبی در اراضی تحت تنش شوری و با EC های بالا مشاهده گردید، همچنین به این نتیجه رسیدند که شوری، فعالیت و زیتوده میکروبی را کاهش داده و این کاهش به خاطر تغییر در ساختار جمعیت میکروبی از جمعیت غالب قارچی به جمعیت غالب باکتری بوده که باکتری‌ها نسبت به قارچ‌ها دارای تنوع، رقابت و همچنین فعالیت کمتری داشتند (۲۹ و ۳۰). پانخورست (۳۱) در آزمایش مشابهی نشان داد که سطوح کم مواد آلی در خاک‌های شور، حضور پوشش گیاهی را کاهش می‌دهد. عوامل و فرآیندهای فرساینده در اراضی متأثر از شوری، بسیار رایج هستند. در طول این فرآیندها، کربن آلی خاک می‌تواند از لایه رویی خاک حذف گردد و بخش بزرگی از کربن آلی خاک به خاطر چگالی کمتر آن بسیار مستعد حذف شدن می‌باشد (۳۲ و ۳۳). در خاک‌های تخریب یافته متأثر از شوری، افق B اغلب پس از حذف افق A در معرض فرسایش قرار می‌گیرد (۳۴). مواد فرسایش یافته یا در بخش انتهایی شیب تجمع می‌یابند یا به محیط‌های آبی مثل دریاچه‌ها و مخازن منتقل شده که این امر خود باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود. بخشی از مواد آلی موجود در آب با شرکت در ترسیب کربن از تجزیه محافظت می شوند (۳۲ و ۳۵). امینی و همکاران (۳۶) محتوای کربن آلی در خاک‌های متأثر از شوری را بررسی کردند و نشان دادند که کربن آلی خاک با افزایش هدایت الکتریکی، درصد سدیم قابل تبادل (ESP) و نسبت جذب سدیم (SAR) کاهش می‌یابد.

۳-۱- بیوچار و نحوه تولید آن

بیوچار مواد کربنی جامد ریزدانه و متخلخل شبیه به زغال بوده و وقتی زیتوده (برای مثال بقایای محصولات کشاورزی، چوب، پسماند و غیره) در طی فرآیند گرماکافت یا پیرولیز (سوزانیدن در یک محیط بدون اکسیژن و یا با اکسیژن محدود) تولید می شود بیوچار نامیده می شود. این مواد دارای پتانسیل بالایی برای بازیافت عناصر غذایی، تهویه خاک، مدیریت سیستم پسماند و عامل بلندمدت برای نگهداشت کربن به‌صورت مطمئن و اقتصادی است (۳۷ و ۳۸). تجزیه گرمایی زیتوده در یک محیط فاقد اکسیژن را گرماکافت می‌گویند (۳۹). بااین‌حال واژه بیوچار بدون تعریف مشخص واضح در زمان حاضر مطرح می‌شود. گاهی از بیوچار به‌عنوان زغال کشاورزی[1] نیز یاد می شود زیرا این زغال محصول تجزیه حرارتی دامنه وسیعی از مواد غنی از کربن متعلق به علفزارها، چوب‌های نرم و سخت، بقایای کشاورزی و جنگل است. وقتی مواد خام چوبی گرماکافت می‌شوند بیوچار تولید شده، درشت، مقاوم و مقدار کربن آن بالا بوده (بیش از ۸۰ در صد) و ماهیت لیگنینی مواد سخت موجود در بقایای بیوچار حفظ می‌شوند (۴۰). طبق گفته لهمان و

1- Agrichar

همکاران (۳۷) واژه بیوچار اخیراً توسعه پیدا کرده و در ارتباط با موضـــوعاتی مانند مدیریت خاک و نگهداشـــت کربن در خاک می‌با شد؛ بنابراین بیوچار واژه‌ای ا ست که معمولاً با زیتوده گیاه یا ضایعات آلی با محتوای کربن سیاه می‌باشد (۴۱). این تعریف می‌تواند تا حدود کمی شامل زغال و زغال چوب با شد، اما جدا از فســـیل تولید شـــده یا کربن ژئوژنیک می‌باشـــد (۳۷). وجه ا شتراک بیوچار با زغال این ا ست که عمدتاً از ا شکال آروماتیک کربن آلی تشـــکیل یافته و در مقایســـه با کربن موجود در مواد اولیه در شـــرایط مســـاعد و مناســـب آنچه در خاک وجود دارد، به‌راحتی به‌صـــورت گاز CO_2 به اتمســـفر برنمی‌گردد. تفاوت بیوچار با زغال چوب به هدف اســـتفاده بازمی‌گردد که بیوچار نمی‌تواند به‌عنوان ســـوخت اســـتفاده شـــود، اما برای جذب و نگهداری کربن اتمسفر در خاک به‌کاربرده می‌شود.

در تولید بیوچار غالباً دو ســـیســـتم گرماکافت[1] ســـریع و آهســـته اســـتفاده می‌شـــود. تفاوت این دو در میزان و مدت زمان حرارت می‌باشد. در گرماکافت سریع، زیتوده در غیاب اکسیژن، به مدت کوتاهی در حرارت نســـبتاً زیاد (۴۰۰-۷۰۰ درجه ســـلســـیوس) گر مادهی می‌شـــود که اکثراً برای تولید روغن های زیســـتی[2] اســـتفاده می‌شـــود (۳۹). این نوع گرماکافت نیاز به ریز کردن ذرات مواد اولیه داشـــته و همچنین نیاز به ســـیســـتمی دارد که بتواند بخارها را خیلی ســـریع از مجاورت مواد جامد دور نماید. برای د ستیابی به چنین سی ستم گرمادهی سریع، اندازه ذرات مواد اولیه باید به کمتر از ۲ میلی‌متر کاهش یابد که به انرژی بسیار زیادی نیاز دارد (۴۲). محصول ا صلی و سر شار از انرژی، ســـوخت زیســـتی، یک مایع قهوه‌ای تیره اســـت که از تراکم بخارهای گرماکافت ۶۰ تا ۷۰ درصـــد زیتوده اولیه به‌صـــورت سوخت زیستی و ۱۵ تا ۲۵ درصد به‌صورت بیوچار تشکیل شده اســـت (۴۳). گرماکافت آهســـته شـــامل تجزیه گرمایی زیتوده لیگنوســـلولزی در غیاب اکســـیژن در دمای حدود ۴۰۰ درجه سل سیوس و زمان طولانی ا ست که مقادیر ن سبتاً م ساوی گاز، سوخت مایع و بیوچار تولید می‌نماید. محصول نهایی در این نوع گرماکافت، بیوچار اســـت (۳۹). گرماکافت آهســـته نســـبت به روش‌های دیگر ترموشیمیایی مزایایی دارد که می‌توان کوچک و ارزان بودن واحدهای تولیدی، امکان اســـتفاده از انواع مختلف مواد اولیه، عدم نیاز به خرد و ریز کردن مواد اولیه را نام برد. بااین‌حال، تولید در مقیاس بزرگ این مشـــکل را دارد که انتقال گرما در مواد درشـــت بســـیار ضـــعیف بوده و مواد اولیه باید مدت‌زمان طولانی در کوره بمانند (۴۴). گرماکافت آهســـته در مقایســـه با گرماکافت ســـریع، مقدار بیشـــتری بیوچار و مقادیر کمتری ســـوخت تولید می‌نماید. واحدهای گرماکافت آهســـته را می‌توان برای تولید بیوچارهای باکیفیت بالا، بهینه نمود که این خود بـــه کـــاربرد نهـــایی، نوع مواد اولیـــه و جزئیـــات فرآینـــد ترمو شیمیایی بستگی خواهد دا شت (۴۵). عدم وجود فناوری و حرارت مناســـب برای تولید بیوچار، عدم وجود اســـتانداردهای درجه‌بندی بیوچار، فقدان فناوری اصلاح شیمی سطح بیوچار و غیره از عوامل محدودکننده صنعت گرماکافت آهسته می‌باشند. بااین‌حال، برای تولید بیوچار در حال حاضـــر پیرولیز آهســـته به‌عنوان فناوری مورد نظر برای تولید بیوچار با حداکثر عملکرد ا ستفاده می شود (۴۶ و ۴۷). بیوچار می‌تواند از منابع مختلف و در شـــرایط مختلف تولید شـــود؛ در جدول ۱، نوع بقایای گیاهی استفاده شده، شرایط تولید (دما و زمان گرماکافت) و ویژگی‌های مختلف بیوچار تهیه شـــده (درصـــد عناصـــر کربن، نیتروژن، هیدروژن و اکســـیژن و pH) در پژوهش‌های مختلف ارائه شـــده است.

1- Pyrolysis

2- Bio-oil

جدول ۱- شرایط تولید و ویژگی‌های عمومی بیوچارهای تهیه شده از بقایای گیاهان

Table 1. Production conditions and general characteristics of biochars prepared from plant residues

نوع بقایا	دمای گرماکافت (°C)	مدت‌زمان گرماکافت (دقیقه)	C (٪)	H (٪)	N (٪)	O (٪)	pH	منبع
ذرت	۴۰۰	۹۰	۵۱/۱	-	۱/۳۴	-	۹/۶	(۴۸)
	۵۰۰	۹۰	۴۸/۴	-	۰/۵۵	-	۱۰/۱	
گندم	۵۰۰	۳۶۰	۸۳/۴	۲۵۰	-	۱۰/۱	-	(۴۹)
گندم	۴۲۵	-	۴۶/۷	-	۰/۵۹	-	۱۰/۴	(۵۰)
تالفسکیو	۴۰۰	۶۰	۷۷/۳	-	۱/۲۴	۱۶/۷	-	(۵۱)
کاه و کلش	۵۰۰	۶۰	۸۲/۲	-	۱/۰۹	۱۳/۴	-	
برنج	۴۰۰	۶۰	۷۱/۳	-	۱/۴۶	-	-	(۵۲)
برنج	۴۵۰	۱۲۰	۷۰/۶	-	۰/۹۷	-	-	
پوسته بادام زمینی	۴۰۰ و ۵۰۰	۱۲۰	۷۶	۴/۵ و ۳	۲/۷	۱۰/۳	۷/۹ و ۸/۶	(۵۳)
پوست گردو	۳۵۰ و ۷۰۰	۱۸۰-۶۰	۶۶	۵ و ۱/۵	۰/۴	۲۸/۲	۵/۹ و ۷/۲	
چمن	۲۵۰ و ۵۰۰	۱۸۰-۶۰	۵۶	۶ و ۲/۴	-	۳۶/۴	۵/۴ و ۸	
برنج	۳۰۰	۶۰	۶۸	۵	۳/۳	۲۳	۹	(۵۴)
	۷۰۰		۹۱	۱/۳	۰/۶	۸	۱۰/۶	
کوکوپیت	۵۰۰	-	۸۴/۴	۲/۹	۱/۰۲	۱۱/۷	۱۰/۳	(۵۵)
گندم	۴۵۰	۶۰	۸۶/۴	۳/۵	-	-	۱۰/۱	(۵۶)
	۶۰۰	۶۰	۹۰/۳	۱/۳	-	-	۱۱/۳	
خاک اره اکالیپتوس	۳۵۰	-	۷۰/۴	۳/۸۱	-	۲۴/۰	-	(۵۷)
	۴۵۰	-	۷۸/۶	۳/۴۲	-	۱۶/۶	-	
	۷۵۰	-	۹۰/۹	۱/۵۲	-	۵/۶	-	
کاج (تراشه چوب)	۴۵۰	۱۵	۸۵/۲	۲/۷۸	-	۰/۳۷	۷/۵	(۵۸)

۱-۳-۱- تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های خاک

شواهد زیادی در مورد افزایش پتانسیل استفاده از بیوچار در زمینه‌های مختلف از قبیل اصلاح محیط‌زیست، کشاورزی، نگهداشت کربن، مقابله با تغییرات غیرقابل‌پیش‌بینی اقلیم و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از خاک‌ها وجود دارد (۵۹) با توجه به اینکه سرعت معدنی شدن بیوچار در خاک نسبت به زیتوده منشأ (مواد اولیه‌ای که بیوچار از آن تهیه می‌شود) آه سته می‌با شد (۶۰)، این باعث می شود که افزودن بیوچار در خاک با هدف نگهدا شت کربن و همچنین پتانسیل بالای آن در افزایش کیفیت خاک و کاهش انتشار آلاینده های محیطی می‌تواند جالب باشد (۶۱). بیوچار با افزایش ذخیره کربن در خاک، کربن را در خاک ترسیب می‌کند و باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. هدرروی کربن در خاکی که بیوچار استفاده‌شده بود، در طی یک آزمایش درازمدت و مدل‌سازی، حداقل بود که باعث کاهش انتشار کربن اتمسفری شد (۶۲). در سال های اخیر، با افزایش نگرانی ها در مورد تغییرات اقلیم به‌دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط فعالیت‌های بشر، تحقیقات در مورد تولید بیوچار و کاربرد آن در خاک اهمیت فراوانی پیدا کرده است (۶۳)، این امر به خاطر ترکیب آروماتیکی مقاوم به تجزیه است که می‌تواند به مدت زیادی کربن را در

خاک محبوس نمایند (۶۴، ۶۵ و ۳۷). طبق گفته لهمان و همکاران (۳۷) واژه بیوچار اخیراً توسعه پیدا کرده و در ارتباط با موضوعاتی مانند مدیریت خاک و نگهداشت کربن در خاک است. استفاده از بیوچار به‌عنوان یک افزودنی به خاک به‌طور همزمان با کاهش تغییرات آب‌وهوایی ناشی از فعالیت‌های بشر، به بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصولات کشاورزی منجر می‌شود (۶۶). درواقع اضافه کردن زغال چوب به خاک به‌منظور افزایش باروری خاک در فرهنگ‌های قدیمی دیده شده که بهترین نمونه می‌توان به تراپرتا[1] در یک خاک اندوسول کشت شده در آمازون آمریکا اشاره کرد. بااین‌حال، اثرات مفید استفاده از بیوچار ازنظر زراعی و زیست‌محیطی اخیراً نیز اثبات شده است (۶۷، ۴۶ و ۳۸). کاربرد بیوچار در خاک فقیر از نظر زراعی با توجه به منافع زراعی و زیست‌محیطی که دارد، به‌عنوان یک امکان خوب و کارا معرفی شده است (۶۸). تعدادی از بررسی‌ها و مطالعات به فواید بالقوه استفاده از بیوچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده آلی اشاره داشته‌اند. موضوعاتی مانند گرم شدن کره زمین از طریق تثبیت کربن در خاک، مدیریت زباله، تولید انرژی زیستی، افزایش فعالیت زیستی، سلامتی خاک و سودمندی تولید، برخی از اهداف استفاده از بیوچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده آلی در خاک را شامل می‌شود (۶۹، ۶۳ و ۷۰). بیوچار به‌عنوان یک ماده اصلاح‌کننده خاک به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه بسیاری از محققان در آمریکا، استرالیا، اروپا، ژاپن و برخی کشورهای درحال‌توسعه قرار گرفته است. استفاده از بیوچار و نقش آن در خاک توسط سوهی و همکاران (۴۶) و مکانیسم‌های بالقوه دستیابی به منافع کشاورزی از طریق کاربرد بیوچار در خاک توسط اتکینسون و همکاران (۷۱) مورد بررسی قرار گرفته است. بااین‌حال، اثرات زیان‌بار و خطرات و دیگر پیامدهای مربوط به فناوری کاربرد بیوچار هنوز به‌طور کامل مشخص نشده است (۷۲ و ۷۳). بیوچار علاوه بر منبع غنی از کربن، به‌عنوان یک اصلاح‌کننده آلی خاک ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را تغییر می‌دهد و درنتیجه باعث افزایش حاصلخیزی خاک و افزایش میزان تولید می‌شود (۷۴، ۷۵، ۷۱ و ۷۷). در جدول ۲، تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک با درنظر گرفتن منبع بیوچار، دمای تهیه و میزان مصرف آن در پژوهش‌های مختلف ارائه شده است.

۱-۱-۳-۱- تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

مشخص شده که افزودن بیوچار به خاک کیفیت آن را تغییر می‌دهد و اغلب بهبود کیفیت خاک را به همراه دارد (۳۷، ۳۸ و ۶۶). اولین مزیت استفاده از بیوچار، افزایش مواد آلی خاک است. روش‌های مختلفی برای افزایش مواد آلی خاک وجود دارند که عبارت‌اند از افزودن کودهای دامی، افزودن مالچ، کشت گیاهان پوششی، برگرداندن بقایای گیاهی به خاک، لکن بخش عمده این مواد در مقابل تجزیه میکروبی پایدار نبوده و به‌سرعت تجزیه شده و از خاک خارج می‌گردد (۳۷). با توجه به پایداری بیوچار در مقابل تجزیه میکروبی و زمان ماندگاری طولانی آن در خاک، مصرف بیوچار باعث افزایش سطح مواد آلی خاک به مدت طولانی و درنتیجه بهبود ویژگی‌های خاک، مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌گردد. کاربرد بیوچار باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مثل نفوذ، هدایت هیدرولیکی، خاکدانه‌سازی، پایداری خاکدانه‌ها، چگالی ظاهری و ظرفیت نگهداری آب شده است (۷۵، ۷۸، ۷۹، ۸۰ و ۶۶). به‌عنوان مثال جین وانگ و همکاران (۸۰) نشان دادند که کاربرد ۵ درصد بیوچار در خاک‌های با هوادیدگی بسیار بالا، خاکدانه‌سازی و هدایت هیدرولیکی را افزایش داد. به‌طور مشابه آسای و همکاران (۷۵) افزایش دوبرابری در هدایت هیدرولیکی اشباع پس از کاربرد ۱۶تن در هکتار بیوچار را گزارش کردند.

۲-۱-۳-۱- تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

افزودن بیوچار به‌عنوان یک ماده اصلاحی به خاک موجب افزایش بازهای تبادلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی می‌گردد (۸۱). بیوچار به خاطر سطح ویژه زیاد و تراکم بار سطحی بالا، توانایی خاک برای نگه‌داری عناصر غذایی و همچنین آب قابل‌استفاده گیاه را افزایش داده و شستشوی عناصر غذایی و کودها را کاهش می‌دهد (۴۴).

1- TerraPreta

نیگوسی و همکاران (۸۲) تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های خاک و جذب عناصر غذایی توسط کاهو را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد بیوچار موجب افزایش pH، قابلیت هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، فسفر قابل‌دسترس، ظرفیت تبادل کاتیونی و بازهای تبادلی می‌گردد. نتایج مطالعه ماستو همکاران (۲۰۱۳) افزایش pH خاک (۹ درصد)، شوری خاک (۵۰ درصد)، میزان مواد آلی خاک (۱/۱۷ در صد)، نیتروژن کل (۱۰ در صد)، فسفر (۶۵ درصد)، پتاسیم (۱۱۸ درصد) را بر اثر کاربرد بیوچار نشان داد. افزایش میزان عناصر ذکرشده به افزایش pH خاک و اثر آهکی بیوچار در قابلیت جذب فسفر و افزوده شدن مستقیم پتاسیم توسط بیوچار نسبت داده شد (۸۳). استنبیس و همکاران (۸۴) دریافتند که افزودن بیوچار به خاک به‌دلیل افزایش pH خاک، افزایش ظرفیت نگه‌داری آب، جذب قارچ‌ها و میکروب‌های مفید، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، نگه‌داری و ابقاء عناصر غذایی، باعث ارتقاء حاصلخیزی و بهبود کیفیت خاک می‌گردد. اخیراً، نتایج مطالعه لویی و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد استفاده از سطوح ۱۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بیوچار باعث افزایش ۲ تا ۵ درصدی pH خاک و ۱۶ تا ۵۱ درصدی کربن آلی خاک می‌گردد (۸۵). سطح ویژه بالای بیوچار فضای لازم برای تجمع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و پیوند آن‌ها با عناصر و فلزات خاک را فراهم کرده و ظرفیت نگهداری مواد غذایی خاک را بهبود می‌بخشد (۸۶). بهبود بهره‌وری زراعی خاک اصلاح‌شده با بیوچار را به‌دلیل سطح ویژه بالای مخلوط خاک و بیوچار دانستند. بیوچار می‌تواند ساختمان و تهویه خاک را در خاک‌های ریز بافت را بهبود دهد (۸۷). همچنین نولز و همکاران (۸۸) دریافتند که افزودن بیوچار باعث کاهش آبشویی نیترات و افزایش نیتروژن در محدوده ریشه می‌شود.

۳-۱-۳-۱- تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های زیستی خاک

مصرف بیوچار در خاک به علت تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک موجب ایجاد تغییراتی در فعالیت میکروبی خاک می‌گردد (۸۹). ساختار متخلخل بیوچار، سطوح ویژه بالا و توانایی آن برای جذب مواد آلی محلول، گازها و مواد معدنی محل مناسبی را برای سکونت میکروب‌ها، رشد و تکثیر آن‌ها مخصوصاً باکتری‌ها، اکتینومیست‌ها و قارچ‌های مایکوریز آربو سکولار فراهم می‌آورد (۹۰). هم‌چنین محتوای زیاد کربن و پایداری بیوچار، سطح مواد آلی خاک را افزایش می‌دهد که خود نقش اساسی در چرخه عناصر غذایی و بهبود منابع آب قابل‌دسترس برای گیاه، ظرفیت بافری و ساختمان خاک دارد (۸۴). بیوچار فعالیت انواع مختلف میکروب‌های مفید خاک را تحریک می‌نماید (۸۹). وجود خلل و فرج و توزیع اندازه آن‌ها در بیوچار با حفاظت میکروب‌ها در مقابل شکارشدن و خشکی و هم‌چنین تأمین نیاز کربنی، انرژی و عناصر معدنی محل مناسبی را برای ریزجانداران فراهم می‌آورد (۹۱). هم‌چنین خلل و فرج زیاد بیوچار اجازه نگهداری مقدار زیادی رطوبت را داده و بنابراین موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود علاوه بر آب، گازهای دیگری مثل دی‌اکسید کربن و اکسیژن در آب موجود در خلل و فرج بیوچار حل شده و فضای داخل خلل و فرج پر شده از هوا را اشغال می‌کند یا به سطح بیوچار جذب سطحی می‌شوند. بسته به میزان خلل و فرج پرشده از هوا، غلظت نسبی گازها، سرعت انتشار و میزان جذب سطحی آن‌ها، شرایط هوازی و غیر هوازی در خلل و فرج بیوچار به وجود می‌آید و این شرایط به نوبه خود بر میکروب‌های موجود در خلل و فرج اثر خواهد گذاشت (۹۲). بیوچار pH مختلفی داشته و بنابراین جمعیت میکروبی که در اطراف و روی ذرات بیوچار مستقر می شوند متغیر خواهد بود. افزودن بیوچار به خاک، چه اسیدی و چه قلیایی، ممکن است باعث تغییر معنی‌دار نسبت باکتری به قارچ (۹۳) و جمعیت میکروبی غالب خاک شده و همچنین با اثر بر فعالیت آنزیمی و فعالیت میکروبی موجب تغییر عملکرد و نقش خاک گردد (۹۱، ۹۴ و ۶۶). واتزینگر و همکاران (۹۴) پاسخ جامعه میکروبی خاک به افزودن بیوچار گندم و درخت بید را بررسی کردند و مشاهده کردند که افزودن بیوچار موجب افزایش زیتوده میکروبی و تغییر جامعه میکروبی گردید و جمعیت باکتری‌های گرم‌منفی و اکتینومایست‌ها بیشترین پاسخ را به افزودن بیوچار نشان دادند. افزایش زیتوده میکروبی در این تحقیق به افزایش غلظت فسفر و پتاسیم قابل‌دسترس، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش CEC، بهبود شرایط تغذیه‌ای و فیزیکی خاک و توانایی

سازگاری بیشتر باکتری‌های گرم‌منفی به تغییر شرایط محیطی نسبت داده شد. در این مطالعه بخشی کوچکی از کربن بیوچار (۲ درصد) مورد استفاده میکروب‌ها قرار گرفت و ازاین‌رو جمعیت قارچ‌ها و باکتری‌های گرم‌مثبت تجزیه‌کننده بیوچار افزایش نیافت.

جدول ۲ - تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در پژوهش‌های مختلف

Table 2. The effect of biochar on the physical, chemical and biological properties of soil in different studies

ویژگی‌های مورد بررسی	منبع بیوچار	دمای تهیه بیوچار (°C)	میزان مصرف (ton/ha)	تغییرات (٪)	منبع
پایداری خاکدانه جرم مخصوص ظاهری هدایت هیدرولیکی اشباع	بقایای ذرت	۳۵۰ و ۵۵۰	۱۰	(+۴)-(+۱۷) (-۱۰) (+۱۳۹)	(۹۵)
pH EC تجزیه کربن بومی خاک	بقایای گندم و اکالیپتوس	۴۵۰	۱۵۰	(+۱۰۰) (+۱۰۰)	(۹۶)
راندمان مصرف کود شیمیایی جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم CEC کربن آلی خاک pH خاک	ضایعات چمن تفاله پنبه	۴۵۰	۱۰، ۵۰، ۱۰۰	(+۱۶۶) (+۱۲/۵)، (+۱۰۰)، (+۶۸) (+۲۰۰) (+۲۵/۶) -	(۹۷)
کربن آلی خاک سطح ویژه جرم مخصوص ظاهری تصاعد گاز نیتروز اکسید	چوب بلوط	۶۵۰	۱۵	(+۷) (+۱۵) (-۱۳) (-۹۲)	(۹۸)
تشکیل خاکدانه‌های بزرگ هدایت هیدرولیکی اشباع درصد آب اشباع آب قابل‌دسترس	کود دامی	۵۰۰	۶۰	(+۱۴۵) (+۹) (+۷/۴) (+۱۰/۶)	(۹۹)
جرم مخصوص ظاهری pH خاک زیتوده بخش هوائی	پوسته برنج	۱۱۰۰	۴۰، ۸۰ و ۱۶۷	(-۳۰) (+۱۳) (+۹۰۳)	(۱۰۰)
خروج گاز CO_2 خروج گاز N_2O فعالیت آنزیم اوره‌آز	بقایای گندم	۴۵۰	۱۰ و ۲۵	(۰) (+۹۹-۶۶) (+۱۵۰)	(۱۰۱)
کربن زیتوده میکروبی تصاعد گاز CO_2 معدنی شدن نیتروژن نیتریفیکاسیون خالص	بقایای اکالیپتوس	۶۰۰	صفر، ۵ و ۲۵	(-۲۰) - (-۱۰۰) (-۱۳۰۰)	(۳۴)
تنفس میکروبی خاک	چمن زینتی	۵۰۰	۱۱، ۲۲، ۴۵	(+۷۰)	(۱۰۲)

pH هدایت الکتریکی ظرفیت تبادل کاتیونی کربن آلی	بقایای ذرت و پنبه	۴۰۰-۳۵۰	۲/۵ و ۵	(+۱۰) (+۹۰) (+۱۴) (+۳۳)	(۱۰۳)
تخلخل کل گذرپذیری هوا کربن آلی	بقایای برنج	۴۵۰	۱/۵	(+۲۷) (۷۰) (+۱۵)	(۱۰۴)

۲-۳-۱- تأثیر بیوچار بر رشد و عملکرد گیاه

همان‌طور که بیان شد، بیوچار با تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک موجب بهبود حاصلخیزی آن شده و درنهایت موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد. تودرول و همکاران (۱۰۵) اثر بیوچار بر ویژگی‌های خاک و رشد گیاه را مورد بررسی قرار دادند، نتایج این بررسی نشان داد مصرف بیوچار (حدود ۱ درصد) موجب افزایش جوانه‌زنی کاهو گردید که به افزایش نگهداری آب توسط بیوچار نسبت داده شده است. نتایج به‌دست‌آمده توسط ماژور و همکاران (۱۰۶) افزایش ۱۴۰ درصدی عملکرد و افزایش جذب کلسیم، منیزیم، پتاسیم، مس و منگنز نسبت به شاهد را نشان داد. مطالعه ژانگ و همکاران (۱۰۷) افزایش ۷/۵ و ۱۵ درصدی عملکرد ذرت را در اثر مصرف بیوچار نشان دادند. لاشاری و همکاران (۱۰۸) در مطالعه مشابهی گزارش کردند که ترکیب اصلاح‌کننده بیوچار تهیه‌شده از کمپوست کود گاوی و بقایای نخود همراه با محلول پیرولیگنوز می‌تواند در کاهش تنش شوری برای رشد گیاه ذرت و بهبود حاصلخیزی در اراضی کشاورزی متأثر از شوری کمک کند. همچنین تأثیر بیوچار بر روی رشد، فیزیولوژی و عملکرد گیاه گندم رشد یافته تحت تنش شوری و همچنین مکانیسم‌های دخیل در کاهش جذب یون سدیم توسط اختر و همکاران (۱۰۹) مورد مطالعه قرار گرفت که آن‌ها مفید بودن بیوچار بر روی رشد و عملکرد گندم را گزارش کردند. اختر و همکاران (۱۹) در مطالعه دیگری، گزارش کردند که کاربرد بیوچار در خاک‌های متاثر از نمک می‌تواند تنش شوری بر روی رشد سیب‌زمینی را کاهش دهد که دلیل این امر پتانسیل بالای جذب سدیم توسط بیوچار است. توماس و همکاران (۱۱۰) در یک آزمایش گلدانی مقادیری نمک به سطح بیوچار (تهیه‌شده از مواد لیگنوسلولزی) اضافه کردند و به این نتیجه رسیدند که بیوچار می‌تواند تنش شوری را در خاک کاهش دهد و با جذب شوری، باعث کاهش اثرات بد آن بر روی عملکرد گیاه گردد.

۳-۳-۱- نقش بیوچار در اصلاح خاک‌های متأثر از املاح

مطالعات انجام‌شده بر روی بیوچار در خاک‌های متأثر از املاح نشان داده‌اند که بیوچار ممکن است اثرات مثبتی بر روی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌های مشکل ساز داشته باشد (۱۱۱، ۱۱۰، ۱۰۹، ۱۰۸، ۱۹، ۱۱۲، ۱۱۳ و ۱۱۴). ذیلاً تأثیر بیوچار بر برخی ویژگی‌های خاک‌های متأثر از املاح به‌صورت خلاصه بررسی شده است.

۱-۳-۳-۱- حذف سدیم قابل‌تبادل

تجمع سدیم و اختلال در تغذیه پتاسیم از خصوصیات بارز گیاهان رشد کرده در خاک‌های متاثر از نمک است (۱۱۵). بنابراین، بهبود نسبت K/Na از طریق افزایش در دسترسی پتاسیم، رویکردی مفید برای افزایش رشد و عملکرد گیاه در خاک‌های شور در نظر گرفته می‌شود (۱۱۶). بیوچار بسته به ماده اولیه ممکن است غلظت پتاسیم را در خاک افزایش دهد و این افزایش در خاک‌های تحت تأثیر نمک باعث خنثی شدن اثرات نامطلوب سدیم می‌شود و این یکی از مهم‌ترین مزایای استفاده از بیوچار در خاک‌های شور است. افزایش غلظت نمک‌های محلول در خاک‌های متأثر از نمک با افزایش تنش اسمزی خاک، با کاهش جذب آب توسط گیاهان، تجمع مقادیر سمی یون‌های مختلف و اختلال در تعادل یون‌ها، روی رشد گیاه تأثیر می‌گذارد. از طرف دیگر تجمع سدیم تبادلی علاوه بر ایجاد اختلالات تغذیه‌ای، از نظر فیزیکی نیز برای رشد گیاه

شرایط بسیار نامساعدی ایجاد می‌کند (۱۱۷). بیوچار می‌تواند آبشویی نمک را تسریع کند و به این ترتیب زمان مورد نیاز برای کاهش غلظت نمک را به سطحی مناسب برای گیاهان در حال رشد کاهش دهد (۱۱۸). ظرفیت بالای کربن‌های فعال شده به منظور جذب نمک‌های مختلف مشاهده شده است و به همین دلیل از بیوچار در فرآیندهای صنعتی نمک‌زدایی استفاده گردیده است (۱۱۹). با این حال، استفاده بالقوه از بیوچار به عنوان یک اصلاح کننده خاک برای کاهش تنش ناشی از نمک در گیاه، توجه کمی شده است(۶۷).

افزودن کاتیون‌های دوظرفیتی نظیر Ca^{2+} و Mg^{2+} در خاک‌های شور-سدیمی برای حذف سدیم قابل‌تبادل، مهم و ضروری است و احتمالاً بیوچار بتواند نقش مثبتی را در این زمینه ایفا نماید. بیوچار این کار را با تأمین کاتیون های دوظرفیتی کلسیم و منیزیم و جایگزینی آن‌ها با سدیم قابل‌تبادل انجام می‌دهد. ماژور و همکاران (۱۰۶) در یک مطالعه‌ای دریافتند که قابلیت دسترسی کلسیم و منیزیم در یک خاک اکسی سول در کلمبیا، پس از افزودن بیوچار به میزان ۲۰ تن در هکتار، افزایش یافت. همچنین لایرد و همکاران (۴۴) نشان دادند که سطوح کلسیم پس از افزودن بیوچار تهیه‌شده از چوب بلوط در یک خاک کشاورزی در آمریکا افزایش یافت. در مورد مشابه دیگری، محققین نشان دادند که غلظت کاتیون های دوظرفیتی در خاک ها پس از افزودن بیوچار افزایش یافت (۶۹، ۱۲۰ و ۵۳). گزارش شده که تلفیق بیوچار در خاک متأثر از نمک می‌تواند استرس شوری در سیب زمینی را عمدتاً به دلیل پتانسیل بالای جذب نمک (Na^{+}) کاهش دهد (۱۲۱). در مطالعه دیگری، اختر و همکاران (۱۰۹) تأثیر بیوچار در سطوح مختلف شوری را بر عملکرد گندم بررسی کردند. نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار بر رشد و عملکرد گندم تحت شرایط شور تأثیر مثبت گذاشت. پتانسیل بالای جذب سدیم تبادلی توسط بیوچار را از مهمترین عامل کاهش اثر منفی شوری و افزایش عملکرد گندم گزارش کردند. با این حال، برخی از مطالعات اثر منفی بیوچار را بر روی بهره‌وری محصول گزارش کرده‌اند، اما اینها به طور خاص به نوع خاصی از بیوچار محدود می‌شوند (۷۹).

۲-۳-۳-۱- افزایش ماده آلی و فعالیت زیستی خاک

بیوچار می‌تواند کربن آلی خاک را اضافه کند و پایداری مولکول‌های آلی خاک را افزایش دهد که می‌تواند باعث حفظ مواد آلی خاک برای مدت طولانی در مقایسه با مولکول‌های آلی قابل تجزیه دیگر شود (۱۲۱). گزارش شده که کاربرد بیوچار کمپوست در خاک‌های شور، مقدار ماده آلی خاک و CEC را افزایش داد و سدیم قابل تبادل و pH خاک را کاهش داد (۷۹). این مطالعات نشان داد که افزودن بیوچار در خاک‌های شور منجربه بهبود فعالیت بیولوژیکی خاک و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رشد گیاه شد. کاربرد بیوچار حاصل از کمپوست کود مرغی[1] با محلول پیرولیگنیوز[2] در خاک شور باعث افزایش کربن زیست توده میکروبی و فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز، اینورتاز و فسفاتاز در خاک‌های تحت کشت ذرت می‌شود، طبق گفته لو و همکاران (۱۲۲) اثرات بیوچار بر میزان ماده آلی و فعالیت میکروبی و آنزیم‌های خاک در خاک‌های متاثر از نمک با میزان کاربرد و نوع بیوچار، زمان انکوباسیون و انواع آنزیم‌های خاک متفاوت است.

۳-۳-۳-۱- افزایش دسترسی عناصر غذایی

سطح ویژه بالای بیوچار فضای لازم برای تجمع کاتیون‌ها و آنیون‌ها و پیوند آن‌ها با عناصر و فلزات خاک را فراهم کرده و ظرفیت نگهداری مواد غذایی خاک را بهبود می‌بخشد (۱۲۳). برتنیکی و همکاران (۷۲) بهبود بهره‌وری زراعی خاک اصلاح شده با بیوچار را به‌دلیل سطح ویژه بالای مخلوط خاک و بیوچار دانستند. بیوچار می‌تواند ساختمان و تهویه خاک را در خاک‌های ریزبافت بهبود دهد (۸۷). لاشاری و همکاران (۱۲۴) نشان دادند بیوچار به‌طور معنی‌داری غلظت Na^{+}، K^{+}، Ca^{2+} و Mg^{2+} خارج‌شده در آب را هنگام شستشو تحت تأثیر گذاشتند. غلظت سدیم در خاک‌های غیر شور متأثر از افزودن بیوچار قرار نداشت درحالی‌که در خاک‌های شور، کاهش چشمگیری در غلظت سدیم مشاهده گردید که نشان‌دهنده پتانسیل بالای بیوچار در جذب سدیم در مقایسه با تیمار شاهد بود. همچنین افزایش مقادیر Ca^{2+} و Mg^{2+} در تیمارهای بیوچار گزارش‌شده

1- Biochar poultry manure compost

2- Pyroligneous solution

ا ست. آنها ن شان دادند که ف سفر قابل‌د سترس خاک‌های تیمار شده با بیوچار، افزایش یافت.

۴-۳-۳-۱- اسیدیته خاک

معمولاً بیوچار به علّت غالبیت عناصر قلیایی و قلیایی خاکی دارای pH قلیایی می‌باشد و بیوچارهای با منشأ چوبی دارای pH کمتری نسبت به بیوچارهای علفی می‌باشند (۱۲۵). با توجه به اینکه خاک‌های کشورمان ایران عمدتاً آهکی و قلیایی می‌باشد، افزودن بیوچار با pH قلیایی به این خاک‌ها ممکن ا ست اثر مطلوبی بر فراهمی برخی عنا صر خاک ندا شته با شد. بنابراین، بهتر ا ست برای تولید بیوچار برای افزودن به خاک‌های آهکی و قلیایی از گرماکافت در دماهای پایین‌تر ا ستفاده شود و یا از زیست توده‌هایی استفاده شود که pH بیوچار حاصل از آنها کمتر می‌باشد. به‌عنوان مثال، زلفی باوریانی و همکاران (۱۲۶) ن شان دادند که افزودن دو در صد جرمی از بیوچار تولید شده از کود مرغی در دمای ۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سل سیوس به یک خاک آهکی با pH ، ۷/۹ به‌ترتیب باعث کاهش و افزایش pH خاک شد و بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس اثر معنادار بر pH خاک نداشت. لاشاری و همکاران (۱۲۴) در مطالعه‌ای بر روی اراضی شور کشاورزی، ترکیب بیوچار کود حیوانی همراه با محلول پیرو لیگنوز نشان دادند که pH خاک شور- سدیمی خاک در خاک‌های تیمار شده با این مواد ن سبت به شاهد کاهش یافت و همچنین مقدار کربن آلی و فسفر قابل‌دسترس در خاک‌های تیمار شده بالا بود. نتایج تحقیقات ن شان داد که بیوچار موجب افزایش ۹ در صدی (۱۲۷) و ۲ تا ۵ درصدی (۱۲۸) pH می‌گردد. کاربرد بیوچار در خاک متاثر از نمک (حاوی ۳۰ گرم بر متر مربع) بر PH خاک تأثیر نگذاشت اما هدایت الکتریکی خاک را در مقایسه با شاهد افزایش داد (۱۱۰). به همین ترتیب، بیوچار تولید شده توسط فورفورال[1] (مایعی بی رنگ که در ساخت رزین مصنوعی استفاده می‌شود و با تقطیر سبوس به‌دست می‌آید) در خاک شور باعث کاهش pH شد، در حالی که کربن آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی و فسفر موجود در خاک افزایش یافت (۱۲۹).

۵-۳-۳-۱- افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

تأثیر بیوچار بر افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، به ویژگی‌ها و مدت زمان مصرف بیوچار در خاک بستگی دارد. به طوری که در برخی موارد افزایش دما سبب کاهش (۱۳۰). و در برخی موارد سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی بیوچار تولیدی شده است (۱۳۱). افزایش دمای گرماکافت تا حدودی با افزایش تخلخل و سطح ویژه و نیز افزایش گروه‌های کربوکسیل در بیوچار، سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی م ی‌ش ود (۱۳۲). افزایش ۱۴درصدی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در اثر افزایش ۳ درصدی بیوچار تهیه شده از کاه برنج در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس در یک خاک اسیدی گزارش شده است (۱۳۳).

۶-۳-۳-۱- گونه گیاهی

گزارش شده است که تأثیر بیوچار در رشد گیاهان در خاک‌های تحت تأثیر نمک وابسته به گونه‌های گیاهی کشت شده نیز می‌با شد چرا که ن شان داده شده که کاربرد بیوچار به طور قابل توجهی رشد گونه‌های گیاهی حساس به نمک را بهبود بخشیده ولی گونه‌های متحمل به نمک با کاربرد بیوچار هیچ بهبودی در رشد نشان ندادند (۱۱۰). برخی از مطالعات تفاوت نتایج کاربردهای بیوچار در خاک‌های متاثر از نمک را با توجه به روش مورد استفاده برای به‌دست آوردن آن گزارش کرده‌اند (۱۲۹). در مطالعه‌ای که توسط بوتنان و همکاران (۹۴) انجام شد، مشاهده شد که اعمال بیوچار مشتق از چوب اوکالیپتوس تولید شده در دمای بالا (۸۰۰ درجه سانتی گراد) در یک اولتی سول شنی منجربه کاهش رشد گیاه شد، در حالی‌که بیوچار تولید شده در دمای پایین‌تر (۳۵۰ درجه سانتی‌گراد) رشد گیاه را افزایش داد. به گفته آلماروی و همکاران (۱۳۴)، خصوصیاتی مانند مدت و در جه حرارت تولید بیو چار و همچنین میزان استفاده از آن با توجه به ویژگی‌های خاک (به عنوان مثال سطح حاصلخیزی) و فعالیت‌های بیولوژیکی خاک بسیار متغیر است.

1- Furfural

۷-۳-۳-۱- افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک

افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک‌های تیمار شده با بیوچار یکی دیگر از فاکتورهای مهم در کاهش اثرات ا سمزی و سمیت یون‌های املاح محلول اضافه در خاک‌ها می‌باشد. هامرا و همکاران (۱۱۴) نتایج مشابهی را در یک آزمایش گلخانه‌ای گزارش کردند زمانی که تکه‌های ریز بیوچار چوب مخروطیان را همراه با قارچ مایکوریزا آربوسکولار (AM) به خاک متأثر از شوری ا ضافه کردند، ن شان دادند که بیوچار تنش شوری را با جذب یون کاهش می‌دهد. علاوه بر آن بیوچار با افزایش ظرفیت نگهداری آب، باعث بهبود شرایط تغذیه‌ای می‌گردد که ممکن ا ست از متغیرهای مهم در تو ضیح اثرات مفید آن در خاک‌های متأثر از شوری با شد. درنهایت آن‌ها پس از م شاهده اثرات مفید استفاده از بیوچار با قارچ آربوسکولار مایکوریزا، استفاده توأم این قارچ با بیوچار در خاک‌های کشاورزی را پیشنهاد دادند. تودرول و همکاران (۱۰۵) اثر بیوچار بر ویژگی‌های خاک و ر شد گیاه را مورد بررسی قرار دادند، نتایج این بررسی نشان داد مصرف بیوچار ۱ درصد موجب افزایش جوانه‌زنی کاهو گردید که به افزایش نگهداری آب توسط بیوچار نسبت داده شده است. اثرات مثبت بیوچار برای رشد گیاهان در خاک‌های شور همچنین شامل کاهش ا سترس اکسیداتیو از طریق تخریب O^{2-} و کاهش غلظت H_2O_2 در تنش ا سمزی از طریق بهبود ظرفیت نگهداری آب و در نتیجه در دسترس بودن آب کافی برای رشد گیاه است (۱۳۵). همچنین گیاهان تحت تنش شوری، هورمون اسید آبسیزیک[1] (ABA) تولید می‌کنند که شاخص خوبی برای نشان دادن تنش ا سمزی ا ست و به عنوان یک مولکول سیگنال برای بستن روزنه در شرایط کمبود آب عمل می‌کند (۱۳۶). بنابراین کاهش تولید ABA می‌تواند به دلیل افزایش در دسترس بودن آب گیاهان ناشی از کاربرد بیوچار باشد که در نهایت منجر به افزایش هدایت روزنه‌ای می‌شود. علاوه بر این، افزایش دسترسی به آب و مواد مغذی با استفاده از بیوچار در شرایط شور می‌تواند جوانه زنی بذر را بهبود بخشد.

در اصلاح خاک‌های متأثر از شوری با بیوچار، در نظر گرفتن ویژگی‌های خاک و بیوچار ضروری است. بافت خاک، سطح شوری (و حتی سدیمی بودن)، غلظت عنا صر غذائی و محتوای کربن آلی خاک از ویژگی‌های مهم خاک هستند که قبل از شروع فرآیندهای اصلاح لازم است در نظر گرفته شود. همچنین نوع بیوچار (اسیدی یا قلیایی بودن) و منبع تهیه بیوچار از فاکتورهای مهم و تعیین‌کننده اثربخشی بیوچار به‌عنوان ماده آلی برای اصلاح خاک‌های متأثر از شوری می‌باشد (۳۶). اطلاعات موجود در مورد اصلاح خاک‌های متأثر از شوری با بیوچار متناقض هستند بنابراین مقایسه این‌ها باهم بسیار مشکل می‌باشد که دلیل این امر می‌تواند به تنوع بسیار زیاد انواع خاک و بیوچار استفاده‌شده در این مطالعات باشد. همچنین، فقدان تحقیقات بلندمدت در مزرعه برای بررسی مکانیسم‌های م شاهده شده در مطالعات آزمایشگاهی و گلدانی می‌باشد. به‌دلیل نبود اطلاعات کافی در مورد اثرات استفاده از بیوچار در خاک‌های شور- سدیمی، تحقیقات بی شتری در مورد اثربخش بودن و مکانیسم‌های پایدار و دایر بیوچار در خاک‌های متأثر از شوری نیاز هست. در جدول ۳ خلاصه‌ای از تغییرات احتمالی نا شی از کاربرد بیوچار در خاک‌های متأثر از املاح ارائه شده است.

1- Abscisic Acid

جدول ۳- تأثیر بیوچار بر برخی ویژگی‌های خاک‌های متأثر از املاح (۳۶).

Table 3. The effect of biochar on some properties of salt-affected soils

کلاس شوری خاک	EC_e ($dS.m^{-1}$)	pH	ESP (%)	SAR_e	پتانسیل تأثیر بیوچار
خاک شور	> ۴	۸-۶	< ۱۵	< ۱۳	کاهش یا افزایش EC بسته به نوع بیوچار استفاده‌شده افزایش اجزای کربن آلی خاک بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد گیاه
خاک سدیمی	< ۴	> ۸	> ۱۵	> ۱۳	افزایش کربن آلی کل خاک و متصل به خاکدانه‌ها افزایش ظرفیت نگهداری آب (WHC) و هدایت هیدرولیکی (K_s) افزایش کربن زیتوده میکروبی
خاک شور-سدیمی	> ۴	< ۸	> ۱۵	> ۱۳	افزایش اجزاء کربن آلی خاک افزایش یا کاهش pH خاک و SAR، بسته به طبیعت و نوع بیوچار که pH خاک را تحت تأثیر می‌گذارد. افزایش ظرفیت نگهداری آب (WHC) و هدایت هیدرولیکی (K_s)

نتیجه‌گیری

اخیراً تمرکز زیادی بر روی استفاده از بیوچار در سیستم‌های زراعی با هدف اولیه تثبیت کربن آلی در خاک و در نتیجه کاهش گازهای گلخانه‌ای شده است. هدف این مطالعه، ارائه یک توضیح جامع در مورد مطالعات انجام‌شده در این زمینه بود. این تحقیقات در خاک‌های متأثر از املاح که وسعت این اراضی با توجه به تغییرات اقلیم روزبه‌روز هم در حال گسترش می‌باشد، بسیار کم و همچنین پراکنده می‌باشد و با توجه به نگرانی در مورد گسترش مداوم اراضی متأثر از املاح در سراسر دنیا و تمرکز بر روی فرایندهای ترسیب کربن، در این مطالعه به ارزیابی اطلاعات موجود در مورد خاک‌های متأثر از املاح و اصلاح آن‌ها با بیوچار پرداخته شد. از بررسی نتایج پژوهش‌های صورت گرفته می‌توان موارد زیر را به‌عنوان جمع‌بندی و پیشنهاد برای پژوهش‌های آینده مطرح کرد:

۱- بهبود کیفیت خاک و ترسیب کربن دو مزیت کلی گزارش‌شده کاربرد بیوچار در خاک می‌باشد. نتایج پژوهش‌های انجام شده در این زمینه متفاوت هستند که به منبع تهیه بیوچار و روش تهیه آن، ویژگی‌های خاک و شرایط انجام آزمایش بستگی دارد.

۲- به‌طورکلی بیوچارهای تهیه‌شده از برخی بقایای آلی مثل کود گاوی و مرغی که حاوی مقادیر کافی عناصر غذایی هستند، به دلیل محتوای بالای نیتروژن و فسفر، اثرات بهتری بر روی بهبود کیفیت خاک نشان می‌دهند.

۳- تعادل بین ظرفیت جذب بالا و محتوای کربن پایین با افزایش گرما کافت باید در نظر گرفته شود. بیوچارهای تولید شده در دماهای بالا معمولاً سطح ویژه بالایی دارند و ممکن است به‌عنوان جاذب استفاده شوند. افزایش دمای گرماکافت با افزایش کربن آروماتیک می‌تواند باعث افزایش مقاومت به تجزیه میکروبی گردد. گرچه بیوچار گرماکافت شده در دماهای نسبتاً پایین به خاطر نسبت مولی بالای اکسیژن به کربن، تمایل بالایی برای جذب آب دارد و فعالیت بهتری در خاک نشان می‌دهد.

۴- معمولاً بیوچارها در خاک‌های شنی عملکرد بهتری نشان می‌دهند؛ بافت خاک به خاطر تأثیر بیوچار در افزایش pH، ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و برخی عناصر غذایی دیگر مانند نیتروژن، پتاسیم و فسفر که فقط در شرایط عادی خاک قابل‌توجه هستند، باید در نظر گرفته شود.

۵- بیوچارهایی که ترکیب شیمیایی مناسبی دارند

(نسبت اکسیژن به کربن کمتر از ۰/۲) به‌خوبی به‌عنوان یک عامل ترسیب کربن عمل می‌کنند. درحالی‌که اثرات بلندمدت بیوچار بر روی انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل متان، دی‌اکسید کربن، نیتروز اکسید (N_2O) باید در مطالعات آینده اساسی بررسی گردند.

این بررسی شکاف‌های اطلاعاتی مهمی را ارائه کرد که می‌تواند در ارتباط با مدیریت خاک‌های متأثر از املاح و اصلاح آنها با مواد آلی مفید واقع شود. این شکاف‌های اطلاعاتی عبارتند از: ۱- تشخیص تأثیر فرآیندهای اصلاح بر روی چرخه کربن و اجزاء کربن در اراضی متأثر از املاح و چگونگی افزایش تجمع اجزاء کربن در آن اراضی (اراضی که در آن‌ها اجزاء کربن آلی خاک بسیار ناچیز هست)، ۲- لزوم مطالعات درازمدت برای شناخت کامل مکانیسم تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های خاک‌های متأثر از املاح، ۳- بررسی رفتار بیوچار در خاک‌های شور با واکنش مختلف خاک، ۴- نیاز تحقیقات درازمدت بیشتر در مزرعه و آزمایش‌های گلدانی با بیوچارهای مختلف (ازنظر منشأ بیوچار) جهت تشخیص بیوچار ایده‌آل برای کاربرد در خاک‌های مختلف. اگرچه ارائه راه‌حل کاربردی با چند تحقیق میسر نیست ولی توسعه یافته‌های علمی در این زمینه می‌تواند سیاست‌های آینده را جهت‌دار کند.

References

1. Setia, R., 2011. Modelling Organic Carbon Turnover in Salt-affected Soils. University of Adelaide, School of Agriculture, Food and Wine.
2. Solomon, S., Daniel, J.S., Sanford, T.J., Murphy, D.M., Plattner, G.K., Knutti, R., Friedlingstein, P., 2010. Persistence of climate changes due to a range of greenhouse gases. Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 107(43), pp. 18354-18359.
3. Montzka, S.A., Dlugokencky, E.J. and Butler, J.H., 2011. Non-CO2 greenhouse gases and climate change. Nature, Vol. 476(7358), pp. 43-50.
4. Lal, R., 2002. Soil Carbon Dynamics in cropland and rangeland. Environmental Pollution, Vol. 114, pp. 353-362.
5. Shahbazi, K, Basharti, H., 2012. An overview of soil fertility in Iran. Journal of land management. Journal of Land Management. Vol. 1 (1), pp. 1-15. (In Persian)
6. Johnston, A.E., Poulton, P.R., Coleman, K., 2009. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. Advances in agronomy, Vol. 101, pp.1-57.
7. Parihar, C.M., Singh, A.K., Jat, S.L., Dey, A., Nayak, H.S., Mandal, B.N., Saharawat, Y.S., Jat, M.L. and Yadav, O.P., 2020. Soil quality and carbon sequestration under conservation agriculture with balanced nutrition in intensive cereal-based system. Soil and Tillage Research, Vol. 202, pp. 104653.
8. Esteban, W., Pacheco, P., Tapia, L., E. Bastías., 2016. Remediation of salt and boron-affected soil by addition of organic matter: an investigation into improving tomato plant productivity. Idesia, Vol. 34(3), pp. 25-32.
9. Golchin, A., 2015. Soil Organic Matter. Academic Jihad Publishing Organization. (In Persian)
10. Singh, B.P., Setia, R., Wiesmeier, M., Kunhikrishnan, A., 2018. Agricultural management practices and soil organic carbon storage. In Soil carbon storage (Pp. 207-244). Academic Press.
11. Lehmann, J., Hansel, C.M., Kaiser, C., Kleber, M., Maher, K., Manzoni, S., Nunan, N., Reichstein, M., Schimel, J.P., Torn, M.S., Wieder, W.R., 2020. Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity. Nature Geoscience, Vol. 13(8), pp. 529-534.

12. Rengasamy, P., 2006. world salinization with emphasis on australia. Journal of Experimental Botany, Vol. 57, pp. 1017-1023.
13. Wong, V.N.L., Greene, R.S.B., Dalal, R.C., B.W. Murphy., 2010. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: a review. Soil Use and Management, Vol. 26(1), pp. 2-11.
14. FAO. 2021. Global map of salt-affected soils (GSASmap). https://www.fao.org/global-soil-partnership/gsasmap/en (accessed 22 February 2022).
15. Metternicht, G.I., Zinck, J.A., 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. Remote Sensing of Environment, Vol. 85(1), pp. 1-20.
16. Sharma, d. K., Singh, R., Mandal, A.K., 2017. Mapping and Characterization of Salt Affected Soils For Reclamation And Management: A Case Study From The Trans-Gangetic Plains of India. In Sustainable Management of Land Resources (Pp. 145-173). Apple Academic Press.
17. Moameni, A., 2011. Geographical distribution and salinity levels of soil resources of Iran. Iranian Journal of Soil Research, Vol. 24(3), pp. 203-215. (In Persian)
18. Polonenko, D., Mayfield, C., Dumbroff, E., 1981. Microbial responses to salt-induced osmotic stress. Plant and Soil, Vol. 59, pp. 269–285.
19. Akhtar, S.S, Andersen M.N., Liu, F., 2015. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. Agricultural Water Management, Vol. 158, pp. 61-68.
20. Muneer, M., J.M. Oades., 1989. The role of Ca-organic interactions in soil aggregates stability I. Laboratory studies with 14C-glucose. Aust J Soil Res, Vol. 27, pp. 389-399.
21. Pathak, H., Rao, D.L.N., 1998. Carbon and nitrogen mineralization from added organic matter in saline and alkali soils. Soil Biol Biochem, Vol. 30, pp. 670-695.
22. Bischoff, N., Mikutta, R., Shibistova, O., Dohrmann, R., Herdtle, D., Gerhard, L., Fritzsche, F., Puzanov, A., Silanteva, M., Grebennikova, A., Guggenberger, G., 2018. Organic matter dynamics along a salinity gradient in Siberian steppe soils. Biogeosciences, Vol. 15(1), pp. 13-29.
23. Wong, V.N.L., Dalal, R.C., Greene, R.S.B., 2008. Salinity and sodicity effects on respiration and microbial biomass of soil. Biol Fert Soil, Vol. 44, pp. 943-953.
24. Wong, J.W., Lai, K.M., Fang, M., Ma, K.K., 1998.Effect of sewage sludge amendment on soil microbial activity and nutrient mineralization. Environment International, Vol. 24(8), pp. 935-43.
25. Zaharan, H.H., 1977. Diversity, adaptation and activity of the bacterial flora in saline environments. Biol Fert Soil, Vol. 25, pp. 211-223.
26. Wichern, F., Islam, M., Hemkemeyer, M., Watson, C., Joergensen, R.G., 2020. Organic amendments alleviate salinity effects on soil microorganisms and mineralisation processes in aerobic and anaerobic paddy rice soils. Frontiers in Sustainable Food Systems, Vol. 4, pp. 30-41.
27. Yang, J., Jiang, H., Liu, W., Huang, L., Huang, J., Wang, B., Dong, H., Chu,

R.K., Tolic, N., 2020. Potential utilization of terrestrially derived dissolved organic matter by aquatic microbial communities in saline lakes. The ISME journal, Vol. 14(9), pp. 2313-2324.

28. Datta, A., Setia, R., Barman, A., Guo, Y. and Basak, N., 2019. Carbon dynamics in salt-affected soils. In Research developments in saline agriculture (Pp. 369-389). Springer, Singapore.
29. Sadinha, M., Muller, T., Schmeisky, H., Joergensen., R.G., 2003. Microbial performances in soils along a salinity gradient under acidic conditions. Appl Soil Ecol, Vol. 23, pp. 237-244.
30. Raiesi, F., Sadeghi, E., 2019. Interactive effect of salinity and cadmium toxicity on soil microbial properties and enzyme activities. Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 168, pp. 221-229.
31. Pankhurst, C.E., Yu, S., Hawke, B.G., Harch, B.D., 2001. Capacity of fatty acid profiles and substrate utilization patternsto describe differences in soil microbial communities associated with increased salinity or alkalinity at three locations in South Australia. Biol Fert Soil, Vol. 33, pp. 204-217.
32. Lal, R., Follett, R.F., 2001. Fate of eroded soil organic carbon: emission or sequestration. In Lal R (ed) Soil carbon sequestration and greenhouse effect. Soil Sci Soc Am J, USA. 173-182.
33. Qu, W., Li, J., Han, G., Wu, H., Song, W., Zhang, X., 2019. Effect of salinity on the decomposition of soil organic carbon in a tidal wetland. Journal of Soils and Sediments, Vol. 19(2), pp. 609-617.
34. Dempster, D.N., Gleeson, D.P., Solaiman, Z.M., Jones, D.L., Murphy, D.V., 2012. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. Plant Soil, Vol. 354, 311–324.
35. McCarty, G.W., Ritchie, J.C., 2002. Impact of soil movement on carbon sequestration in agricultural ecosystems. Environ Pollut, Vol. 116, pp. 423-430.
36. Amini, S., Ghadiri, H., Chen, C., Marschner, P., 2016. Salt-affected soils, reclamation, carbon dynamics, and biochar: a review. Journal of Soils and Sediments, Vol. 16(3), pp. 939-953.
37. Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M., 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – a review. Mitig Adapt Strategies Glob Chang, Vol. 11, pp. 395-419.
38. Azimzadeh, Y., Najafi, N.A., 2017. Biochar: the material with unique properties for carbon sequestration and global warming mitigation, Journal of Land Management, Vol. 5(1), pp. 51-63. (In Persian)
39. Yang, H., K. Sheng., 2012. Characterization of biochar properties affected by different pyrolysis temperatures using visible-near-infrared spectroscopy. ISRN Spectroscopy.
40. Winsley, P., 2007. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. New Zealand Science Review, Vol. 64, pp. 5-10.
41. Kwapinski, W., Byrne, C.M., Kryachko, E., Wolfram, P., Adley, C., Leahy, J.J., Novotny, E.H., Hayes, M.H., 2010. Biochar from biomass and waste. Waste and Biomass

Valorization, Vol. 1(2), pp.177-89.

42. Cummer, K.R., Brown, R.C., 2002. Ancillary equipment for biomass gasification. Biomass and Bioenergy, Vol. 23, pp. 113-324.
43. Mohan, D., Pittman Jr, C.U., Bricka, M., Smith, F., Yancey, B., Mohammad, J., Steele, P.H., Alexandre-Franco, M.F., Gómez-Serrano, V., Gong, H., 2007. Sorption of arsenic, cadmium, and lead by chars produced from fast pyrolysis of wood and bark during bio-oil production. Journal of colloid and interface science, Vol. 310(1), pp. 57-73.
44. Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., Karlen, D., 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma, Vol. 158(3-4), pp. 436-42.
45. Mahtab, A., Rajapaksha, A.U., Lim, J.E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S., 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water- a review. Chemosphere, Vol. 99, pp. 19–33.
46. Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E., Bol, R., 2010. A review of biochar and its use and function in soil. Adv. Agron, Vol. 105, pp. 47-82.
47. Lehman, J., J. Stephen., 2009. Biochar for environmental management. Science and Technology. Earth Scan, Vol. 23, pp. 1-12.
48. Feng, Y., Xu, Y., Yu, Y., Xie, Z., Lin, X., 2012. Mechanisms of biochar decreasing methane emission from Chinese paddy soils. Soil Biol. Biochem, Vol. 46, pp. 80–88.
49. Chun, Y., Sheng, G., Chiou, C. T., Xing. B., 2004. Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars. Environ. Sci. Technol, Vol. 38(17), pp. 4649–4655.
50. Zhang, H., Lin, K., Wang, H., Gan, J., 2010. Effect of Pinus radiate derived biochars on soil sorption and desorption of phenanthrene. Environ. Pollut, Vol. 158(9), pp. 2821–2825.
51. Keiluweit, M., Nico, P. S., Johnson, M. G., Kleber, M., 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). Environ. Sci. Technol, Vol. 44(4), pp. 1247–1253.
52. Peng, X., Ye, L., Wang, C., Zhou, H., Sun, B., 2011. Temperatureand duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an ultisol in southern China. Soil Tillage Res, Vol. 112(2), pp. 159–166.
53. Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M., Rehrah, D., Watts, D.W., Busscher, W.J., Schomberg, H., 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. Ann. Environ. Sci, Vol. 3(2), pp. 195-206.
54. Park, J., Lee, Y., Ryu, C., Park, Y.-K., 2014. Slow pyrolysis of rice straw: Analysis of products properties, carbon and energy yields. Bioresour. Technol, Vol. 155, pp. 63–70.
55. Lei, O., R. Zhang., 2013. Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. J. Soils Sediments, Vol. 13(9), pp. 1561–1572.
56. Ronsse, F., Van Hecke, S., Dickinson, D., Prins, W., 2013. Production and characterization of slow pyrolysis

biochar: Influence of feedstock type and pyrolysis conditions. GCB Bioenergy, Vol. 5(2), pp. 104–115.

57. Domingues, R.R., Trugilho, P.F., Silva, C.A., Melo, I.C.N.D., Melo, L.C., Magriotis, Z.M. Sanchez-Monedero, M.A., 2017. Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. PloS one, Vol. 12(5), pp. 137-148.
58. Moreno-Jiménez, E., Aceña-Heras, S., Frišták ,V., Heinze, S., Marschner, B., 2018. The effect of biochar amendments on phenanthrene sorption, desorption and mineralisation in different soils. PeerJ, Vol. 27, pp. 258-264.
59. Gurwick, N.P., Moore, L.A., Kelly, C., P. Elias., 2013. A systematic review of biochar research, with a focus on its stability and its promise as a climate mitigation strategy. PLoS ONE, Vol. 8(9), pp. e75932.
60. Spokas, K.A., D.C. Reicosky., 2009. Impacts of sixteen different biochars on soil greenhouse gas production.Ann. Environ. Sci, Vol. 3, pp. 179-193.
61. Clough, A., J.O. Skjemstad., 2000. Physical and chemical protection of soil organic carbon in three agricultural soils with different contents of calcium carbonate. Aust. J. Soil Res, Vol. 38, pp. 1005–1016.
62. Mathews, J. A., 2008. Carbon-negative biofuels. Energy Policy, Vol. 36(3), 940–945.
63. Woolf, D., Amonette, J.E., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J., S. Joseph., 2010. Sustainable biochar on mitigate global climate change. Nat Commun, Vol. 1, p. 56.
64. Fang, Y., Singh, B., E. Krull., 2014. Biochar carbon stability in four contrasting soils. European Journal of Soil Science, Vol. 65, pp. 60-71.
65. Kuzyakov, Y., Bogomolova, I., B. Glaser., 2014. Biochar stability in soil: decomposition during eight years and transformation as assessed by compound-specific 14C analysis. Soil Biol Biochem, Vol. 70, pp. 229-236.
66. Khadem, A., Raisi, F., Basharti, H., 2017. A review of biochar effects on soil physical, chemical, and biological properties. Land Management Journal, Vol. 5(1), pp. 13-30. (In Persian)
67. Lehmann, J., S. Joseph., 2009. Biochar for environmental management: An introduction. In: Lehmann J, Joseph S, editors. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. London: Earthscan, 1-12
68. Igalavithana, A.D., Mandal, S., Niazi, N.K., Vithanage, M., Parikh, S.J., Mukome, F.N., Rizwan, M., Oleszczuk, P., Al-Wabel, M., Bolan, N., Tsang, D.C., 2017. Advances and future directions of biochar characterization methods and applications. Critical reviews in environmental science and technology, Vol. 47(23), pp. 2275-2330.
69. Chan, K., Zwieten, Van, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph. S., 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Soil Res, Vol. 45(8), pp. 629–634.
70. Zheng, Y., Han, X., Li, Y., Yang, J., Li, N., An, N., 2019. Effects of biochar and straw application on the physicochemical and biological properties of paddy soils in northeast China. Scientific reports, Vol. 9(1), pp. 1-1.
71. Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., Hipps,

N. A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. Plant Soil, Vol. 337(1–2), pp. 1–18.

72. Brtnicky, M., Datta, R., Holatko, J., Bielska, L., Gusiatin, Z.M., Kucerik, J., Hammerschmiedt, T., Danish, S., Radziemska, M., Mravcova, L., Fahad, S., 2021. A critical review of the possible adverse effects of biochar in the soil environment. Science of the Total Environment, Vol. 796, pp. 148756.
73. Kookana, R. S., Sarmah, A. K., Van Zwieten, L., Krull, E., Singh, B., 2011. Biochar application to soil: Agronomic and environmental benefits and unintended consequences. Adv. Agron, Vol. 112, pp. 103–143.
74. Rondon, M.A., Lehannes, J., Ramírez, J., Hurtado, M., 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (Phaseolus vulgaris L.) increases with bio-char additions. Biol Fert Soils, Vol. 43, pp. 699-708.
75. Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songykhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T., Horie, T., 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. Field Crops Research. 81-84.
76. Thies, J.E., M.C., Rilling. 2009. Characteristics of biochar: biological properties. In: Lehmann J. and Loseph S. (Eds). Biochar for environmental management. Science and Technology. Earthscan, London, Vol. 85-106.
77. Jones, D.L., Rousk, J., Edwards-Jones, G., DeLuca, T.H., Murphy, D.V., 2012. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. Soil biology and Biochemistry, Vol. 45, pp.113-124.
78. Uzoma, K., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., Nishihara, E., 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. Soil Use Manage, Vol. 27(2), pp. 205–212.
79. Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G., Paz-Ferreiro, J., 2013. Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions—a meta-analysis of literature data. Plant and soil, Vol. 373(1), pp. 583-594.
80. Jien, S.H., Wong, C.S., 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. Catena, Vol. 110, pp. 225–233.
81. Liang, Y.C., Yang, Y., Yang, C., Yang, L., 2003. Soil enzymatic activity and growth of rice and barley as influenced by organic matter in an anthropogenic soil. Geoderma, Vol. 115, pp. 149-160.
82. Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M., Ambaw, G.. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (lettuce sativa) growth in chromium polluted soils. American Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, Vol. 12, pp. 369-376.
83. Masto, R.M., Kumar, S., Rout, T.K., Sarkar, P., George, J., Ram, L.C., 2013. Biochar from water hyacinth (Eichornia crassipes) and its impact on soil biological activity. Catena, Vol. 111, pp. 64–71.
84. Steinbeiss, S., Gleixner, G., Antonietti, M., 2009. Effect of biochar amendment on soilcarbon balance and soil microbial activity Soil Biology and

Biochemistry, Vol. 41, pp. 1301-1310.

85. Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G., Paz-Ferreiro, J., 2013. Biochar's effect on cropproductivity and the dependence on experimental conditions-A meta-analysis of literature data. Plant Soil, Vol. 373(1–2), pp. 583–594.
86. Li, F., Cao, X., Zhao, L., Wang, J., Ding, Z., 2014. Effects of mineral additives on biochar formation: carbon retention, stability, and properties. Environmental science & technology, Vol. 48(19), pp. 11211-7.
87. Juriga, M., Šimanský, V., 2018. Effect of biochar on soil structure—Review. Acta Fytotech. Zootech, Vol. 1, pp. 11-9.
88. Knowles, O.A., Robinson, B.H., Contangelo, A., Clucas, L., 2011. Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. Science of the total Environment, Vol. 409(17), pp. 3206-3210.
89. Anderson, C.R., Condron, L.M., Clough, T.J., Fiers, M., Stewart, A., Hill, R.A., Sherlock, R.R., 2011. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogenand phosphorus. Pedobiologia, Vol. 54, pp. 309-320.
90. Castaldi, S., Riondino, M., Baronti, S., Esposito, F.R., Marzaioli, R., Rutigliano, F.A., Vaccari, F.P. Miglietta, F., 2011. Impact of biochar application to a Mediterranean wheat crop on soil microbial activity and greenhouse gas fluxes. Chemosphere, Vol. 85(9), pp. 1464-1471.
91. Warnock, D.D., Mummey, D.L., McBride, B., Lehmann, J., Rilling, M.C., 2010. Influences of nonherbaceos biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: results from growth chamber and field experiments. Applied Soil Ecology, Vol. 46, pp. 450-456.
92. Krull, E.S., Baldock, J.A., Skjemstad, J.O., Smernik, R.J., 2009. Characteristics of biochar: organo-chemical properties. Biochar for environmental management: Science and technology, Vol. 53, pp. 85-98.
93. Bamminger, C., Zaiser, N., Zinsser, P., Lamers, M., Kammann, C. Marhan, S., 2014. Effects of biochar, earthworms, and litter addition on soil microbial activity and abundance in a temperate agricultural soil. Biology and Fertility of Soils, Vol. 50(8), pp. 1189-1200.
94. Watzinger, A., Feichtmair, S., Kitzler, B., Zehetner, F., Kloss, S., Wimmer, B., Zechmeister-Boltenstern, S., Soja, G., 2014. Soil microbial communities responded to biochat application in temperate soils and slowly metabolized C 13-labilelled biochar: results from a short term incubation and pot experiment. European Journal of Soil Science, Vol. 65, pp. 40-51.
95. Herath, H.M.S.K., Camps-Arbestain, M.C., Hedley, M., 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an alfisol and an andisol. Geoderma, Vol. 209, pp. 188–197.
96. Farrell, M., Kuhn, T.K., Macdonald, L.M., Maddern, T.M., Murphy, D.V., Hall, P.A., Singh, B.P., Baumann, K., Krull, E.S., Baldock, J.A., 2013. Microbial utilization of biochar-derived carbon. Sci. Total Environ, Vol. 465, pp. 288–297.
97. Chan, K., Van Zwieten, L., Meszaros,

I., Downie, A., Joseph, S., 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Soil Res, Vol. 45(8), pp. 629–634.

98. Mukherjee, A., Lal, R., Zimmerman, A.R., 2014. Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. Science of the Total Environment, Vol. 487, pp. 26-36.
99. Ouyang, L., Wang, F., Tang, J., Yu, L., Zhang, R., 2013. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. Journal of soil science and plant nutrition, Vol. 13(4), pp. 991-1002.
100. Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T.B., Haefele, S., 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (Lactuca sativa) and cabbage (Brassica chinensis). Agronomy, Vol. 3(2), pp. 404-418.
101. Wu, F., Jia, Z., Wang, S., Chang, S.X., Startsev, A., 2013. Contrasting effects of wheat straw and its biochar on greenhouse gas emissions and enzyme activities in a Chernozemic soil. Biology and Fertility of Soils, Vol. 49(5), pp. 555-565.
102. Smith, J.L., Collins, H.P., V.L. Bailey., 2010. Effect of young biochar on soil respiration. Soil biology and Biochemistry, Vol. 42, pp. 2345-2347.
103. Pandian, K., Subramaniayan, P., Gnasekaran, P., Chitraputhirapillai, S., 2016. Effect of biochar amendment on soil physical, chemical and biological properties and groundnut yield in rainfed Alfisol of semi-arid tropics. Archives of Agronomy and Soil Science, Vol. 62(9), pp. 1293-310.
104. Zhang, Z., Zhu, Z., Shen, B,. L. Liu., 2019. Insights into biochar and hydrochar production and applications: A review. Energy, Vol. 2, pp. 189- 196.
105. Tood-Revell, K., 2011. The effect of fast pyrolysis biochar made from poultry litter on soil properties and plant growth. Master of Science Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University, USA.
106. Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., C. Goodale., 2010. Fate of soil-applied black carbon: downward migration , leaching and soil respiration. Biology, Vol. 16, pp. 1366-1379.
107. Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q, Li, L., Zheng, J., X. Zhang., 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil from Central China Plain. Plant and Soil, Vol. 351, pp. 263-275.
108. Lashari, M.S., Ye, Y., Ji, H., Li, L., Kibue, G.W., Lu, H., Zheng, J., G. Pan., 2014. Biochar–manure compost in conjunction with pyroligneous solution alleviated salt stress and improved leaf bioactivity of maize in a saline soil from central China: a 2-year field experiment. J Sci Food Agr, Vol. 95, pp. 1321–1327.
109. Akhtar, S.S., Andersen, M.N., F. Liu., 2015. Biochar mitigates salinity stress in otato. Journal of Agronomy and Crop Science, Vol. 201(5), pp. 368-378.
110. Thomas, S.C., Frye, S., Gale, N., Garmon, M., Launchbury, R., Machado, N., Melamed, S., Murray, J., Petroff, A., Winsborough, C., 2013. Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. Journal of Environmental

Management, Vol. 129, pp. 62-68.

111. Artiola, J.F., Rasmussen, C., R. Freitas., 2012. Effects of a Biochar-Amended Alkaline Soilon the Growth of Romaine Lettuce and Bermudagrass. Soil Science, Vol. 177, pp. 561-570.
112. Chaganti, V.N., Crohn, D., 2015. Evaluating the relative contribution of physiochemical and biological factors in ameliorating a saline-sodic soil amended with composts and biochar and leached with reclaimed water. Geoderma, Vol. 201, pp. 45-55.
113. Chaganti, V.N., Crohn, D.M., Šimůnek, J., 2015. Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline–sodic soil with moderate SAR reclaimed water. Agricultural Water Management, Vol. 158, pp. 255-265.
114. Hammer, E.C., Forstreuter, M., Rilling, M.C., J. Kohler., 2015. Biochar increases arbuscular mycorrhizal plant growth enhancement and ameliorates salinity stress. Applied Soil Ecology, Vol. 96, pp. 114-121.
115. Liu, J., J.K. Zhu., 1997. Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salt-hypersensitive mutant of Arabidopsis. Plant Physiology, Vol. 114, pp. 591-596.
116. Chakraborty, K., Bhaduri, D., Meena, H.N., K. Kalariya., 2016. External potassium (K+) application improves salinity tolerance by promoting Na+-exclusion, K+-accumulation and osmotic adjustment in contrasting peanut cultivars. Plant Physiology and Biochemistry, Vol.103, pp. 143-153.
117. Vasconcelos, A.C.F., Chaves, L.H.G., Gheyi, H.R., Fernandes, J.D., G.A. Tito., 2017. Crambe growth in a soil amended with biochar and under saline irrigation. Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol. 48(11), pp. 1291-1300.
118. Yue, Y., Guo, W.N., Lin, Q.M., Li, G.T., X.R. Zhao., 2016. Improving salt leaching in a simulated saline soil column by three biochars derived from rice straw (Oryza sativa L.), sunflower straw (Helianthus annuus), and cow manure. Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 71, pp. 467-475.
119. Zou, L., Morris, G., D. Qi., 2008. Using activated carbon electrode in electrosorptive deionization of brackish water. Desalination, Vol. 225, pp. 329-340.
120. Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., Fisher, D.S., 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. Agronomy journal, Vol. 102(2), pp. 623-633.
121. Yeboah, E., Ofori, P., Quansah, G.W., Dugan, E., S.P. Sohi., 2009. Improving soil productivity through biochar amendments to soils. African Journal of Environmental Science and Technology, 3(2), pp. 34-41.
122. Lu, H., Lashari, M.S., Liu, X., Ji, H., Li, L., Zheng, J., Kibue, G.W., Joseph, S. Pan, G., 2015. Changes in soil microbial community structure and enzyme activity with amendment of biochar-manure compost and pyroligneous solution in a saline soil from Central China. European Journal of Soil Biology, Vol. 70, pp. 67-76.
123. Xie, T., Sadasivam, B.Y., Reddy, K.R., Wang, Spokas, C. K., 2015. Review of the effects of biochar amendment on soil properties and carbon sequestration. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, Vol.

20(1), pp. 04015013.

124. Lashari, M.S., Liu, Y., Li, L., Pan, W., Fu, J., Pan, G., Zheng, J., Zheng, J., Zhang, X., Yu, X., 2013. Effects of amendment of biochar-manure compost in conjunction with pyroligneous solution on soil quality and wheat yield of a salt-stressed cropland from Central China Great Plain. Field Crops Research, Vol. 144, pp. 113-118.
125. Wong, Y., Y. Hu., X. Zhao., S. Wang., Xing, G., 2013. Comparisons of biochar properties from wood material and crop residues at different temperatures and residence time. Energy and Fuels, Vol. 27(10), pp. 5890-5899.
126. Zolfi Bavariani, M., Ronaghi, A., Karimian, N., Ghasemi, R., Yasrebi, J., 2016. Effect of poultry manure derived biochars at different temperatures on chemical properties of a calcareous soil. Journal of Water and Soil Sciences, Vol. 20(75), pp. 73-86. (In Persian)
127. Chorom, M., Rengasamy, P., 1997. Carbonate chemistry, pH and physical properties of an alkaline sodic soil as affected by various amendments. Australian Journal of Soil Research, Vol. 35, pp. 149–161.
128. Luo, Y., Durenkamp, M., Nobili, M.D., Lin, Q., Brookes, P.C., 2011. Short term soil priming effects and the mineralisation of biochar following its incorporation to soils of different pH. Soil Biol. Biochem, Vol. 43, pp. 2304–2314.
129. Egamberdieva, D., Li, L., Ma, H., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S.D., 2019. Soil amendment with different maize biochars improves chickpea growth under different moisture levels by improving symbiotic performance with Mesorhizobium ciceri and soil biochemical properties to varying degrees. Frontiers in Microbiology, Vol. 13, pp. 389-398.
130. Gaskin, J.W., Steiner, C., Harris, K., Das, K.C., Bibens, B., 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. Transactions of the ASABE, Vol. 51(6), pp. 2061-2069.
131. Singh, B., Singh, B.P., Cowie, A.L., 2010. Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. Soil Research, Vol. 48(7), pp. 516-25.
132. Bird, M.I., Wurster, C.M., de Paula Silva, P.H., Paul, N.A., De Nys, R., 2012. Algal biochar: effects and applications. Gcb Bioenergy, Vol. 4(1), pp. 61-69.
133. Jiang, T.Y., Jiang, J., Xu, R.K., Li, Z., 2012. Adsorption of Pb (II) on variable charge soils amended with rice- straw derived biochar. Chemosphere, Vol. 89(3), pp. 249-56.
134. Almaroai, Y.A., Usman, A.R., Ahmad, M., Moon, D.H., Cho, J.S., Joo, Y.K., Jeon, C., Lee, S.S., Ok, Y.S., 2014. Effects of biochar, cow bone, and eggshell on Pb availability to maize in contaminated soil irrigated with saline water. Environmental Earth Sciences, Vol. 71(3), pp. 1289-1296.
135. Saifullah, S.D., Naeem, A., Rengel, Z., R. Naidu., 2018. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. Science of The Total Environment, Vol. 625, pp. 320-335.
136. Duan, L., Dietrich, D., Ng, C.H., Chan, P.M.Y., Bhalerao, R., Bennett, M.J., Dinneny, J.R., 2013. Endodermal ABA signaling promotes lateral root

quiescence during salt stress in Arabidopsis seedlings. The Plant Cell, Vol. 25(1), pp. 324-341.