Research Article

Agricultural Engin., 44(4) (2022) 399-413
DOI: 10.22055/agen.2022.39797.1629

ISSN (E): 2588-526X
ISSN (P): 2588-5944

The effect of biochar of date palm's leaves and pistachio harvesting wastes on the growth of maize (*Zea mays* L.) and heavy metals concentrations

A. Naroie [1], J. Zamani [2,*], Sh. Kouhestani [3] and F. Abbaszadeh Afshar [2]

1. Master Student of Soil Science, Department of Soil Science, Uniersity of Jiroft, Jiroft Iran
2. Assistant Professor of Soil Science, Department of Soil Science, Uniersity of Jiroft, Jiroft Iran
3. Assistant Professor of Water Engineering, Department of Water Engineering, Uniersity of Jiroft, Jiroft Iran

Received: 18 January 2022 Accepted: 19 February 2022

Abstract

Introduction: The application of biochar in soil as a method for disposal of organic wastes from environment has been considered by environmental scientists in recent years, due to the unique properties of these components. Biochar is a carbon-rich compound that is produced by burning different types of organic wastes under anaerobic or limited supply of oxygen, which called pyrolysis. Biochar due to its physicochemical properties such as porous structure, expanded specific surface area, high organic carbon content, active functional groups, and also high cation-exchange capacity could able to stabilize organic and mineral compounds. Many studies showed that the biochars enhance soil fertility and improve plant growth but if we want to recommend or apply a specific biochar as an amendment of soil, it's necessary to know about the effects of this biochar on the soil properties and growth of plant. So, the aim of this study was to find out the effect of two biochar (biochar of Date Palm's Leaves (DPL biochar) and biochar of Pistchio Harvesting wastes (PW biochar)) on the growth and heavy metals concentrations of Maize (*Zea mays* L.) under two different soil textures (Sandy and Sandy Loam).

Materials and Methods: This study was conducted in a greenhouse condition on the growth of maize in two types of soil (Sandy and Sandy Loam) with application of 5 levels (0, 1, 2, 3 and 5% w/w) of two different types of biocahr (DPL biochar and PW biochar). Maize were cultivated in treatments for 38 days and at harvesting the shoot and root dry weight and shoot height were measured. Also, the concentration of heavy metals (including Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Pb, and Cd) in plant shoots were evaluated.

Results and Discussion: The result showed that the growth of maize severely decreased due to the application of the biochar and the negative effect of PW biochar was more than DPL biochar. Meanwhile, the negative effect of PW biochar on plant growth in sandy soil was more than other one (i.e. Sandy Loam soil), which medium (2 and 3% w/w) and high (5% w/w) levels of this biochar caused the plant to stop growing. Also application of 5% of DPL biochar in Sandy Loam soil caused in a decrease of about 19, 69 and 72% in plant height, shoot dry weight and root dry weight of maize in compared with control (without biochar application in this soil), respectively and these ratios were about 15, 44 and 31% with application of 3% DPL biochar; while with

© 2021 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

application of 3% of PW biochar in sandy loam soil has decreased plant height, shoot dry weight and root dry weight of maize about 17, 53 and 37%, in compared to control respectively. These results approved the greater negative effect of PW biochar on plant growth. Assessment of soil salinity as the application of different levels of biochars showed that these materials increased salinity and thus had a negative effect on plant growth. In overall, the results of this study showed that the use of different biochars have different effects on plant growth, since most of biochars have high salinity, coarse-textured soils could more affected by salinity, because of the lower water holding capacity of this soils. Since, biochar is a stable substance, the results of the concentration of elements in the shoot of plants showed that the concentration of most elements not significantly affected by the application of biochar, however the increase in Fe concentration in sandy soil due to application of PW biochar, also Mn uptake in the effect of applying 1% of DPL biochar was observed. On the other hand, the results of this part of the research showed that DPL biochar at higher levels has even reduced the concentration of Mn in the plant. The results of this section also showed that the application of biochar in sandy loam soil, although it was significant on the concentration of heavy metals Pb and Cd in the plant and had slightly increased them, but their concentration was less than critical levels (dangerous) for human health.

Conclusion: The effect of biochar on improving plant growth can be greatly influenced by the combined effect of biochar properties and soil conditions. The results showed that despite the many benefits of the soil application of biochar in the different scientific literatures, it is necessary to study the effect of biochar on soil properties and plant growth before applying any type of biochar in the soil.

Key words: Pyrolysis, organic wastes, soil management, sustainable agriculture

مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) جلد ۴۴ شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

مقاله پژوهشی

تأثیر بیوچار برگ خرما و بیوچار ضایعات برداشت پسته بر رشد ذرت و غلظت فلزات سنگین

آسیه ناروئی[۱]، جواد زمانی بابگهری[۲*]، شاپور کوهستانی[۳] و فریده عباس‌زاده افشار[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
۲- استادیار گروه علوم خاک دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۸

پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

کلمات کلیدی:

گرماکافت،

پسماندهای آلی،

مدیریت خاک،

کشاورزی پایدار

* عهده دار مکاتبات

Email: zamani@ujiroft.ac.ir

چکیده

کاربرد بیوچار در خاک به عنوان یک روش در دفع مواد زائد از طبیعت، در سال‌های اخیر به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی که این ماده دارد توسط دانشمندان علوم خاک و دانشمندان محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است، اما کاربرد بیوچار در خاک به عنوان یک اصلاح‌کننده حتماً باید در ارتباط با نوع خاک، نوع بیوچار و نوع گیاه مورد بررسی علمی و عملی قرار گیرد تا تاثیرات مثبت یا منفی آن مشخص شود. بر همین اساس این پژوهش در شرایط گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با ٤ تکرار بر رشد گیاه ذرت در دو نوع خاک (شنی و لوم شنی) در ۵ سطح کاربرد از دو نوع بیوچار، بیوچار برگ خرما و بیوچار ضایعات برداشت پسته (صفر، ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی) انجام شد (مجموعاً شامل ٤٠ واحد آزمایشی). کشت گیاه در تیمارهای بیوچاری انجام و در زمان برداشت ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری شدند. همچنین غلظت فلزات سنگین (شامل آهن، روی، مس، منگنز، نیکل، سرب و کادمیوم) در اندام هوایی گیاه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که رشد گیاه ذرت در اثر کاربرد بیوچارها کاهش یافت و در این بین تأثیر منفی بیوچار پسته به ویژه در خاک شنی بر رشد گیاه بیشتر بود و سطوح متوسط و بالای این بیوچار سبب توقف رشد ذرت در خاک شنی شد. بررسی شوری خاک‌ها نشان داد که افزودن بیوچارها به خاک‌ها، موجب افزایش شوری و در نتیجه تأثیر منفی بر رشد گیاه شده بود. نتایج غلظت عناصر موجود در اندام هوایی گیاه نشان داد که غلظت اکثر عناصر سنگین چندان تحت تاثیر کاربرد بیوچار قرار نگرفت، هرچند افزایش جذب آهن در خاک شنی در اثر کاربرد بیوچار پسته و نیز افزایش جذب منگنز در اثر کاربرد سطح ۱ درصد بیوچار برگ خرما مشاهده شد، از طرفی بیوچار خرما در سطوح بالاتر تاحدی سبب کاهش غلظت منگنز در گیاه شده بود. نتایج نشان می‌دهد با وجود محاسن زیادی که از کاربرد بیوچارها در منابع علمی

مختلف بیان شده است، لازم است قبل از کاربرد بیوچارها در خاک، تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های خاک و رشد گیاه مورد ارزیابی قرار گیرد.

مقدمه

افزایش جمعیت جهان و زمین‌های محدود قابل کشت یک مشکل بزرگ برای تولید محصولات کشاورزی و امنیت غذایی می‌باشد (۳۲). بنابراین استفاده بیش از حد از زمین‌های قابل کشت و استفاده از مقادیر زیاد کودهای شیمیایی یا کودهای آلی برای تأمین مواد غذایی بیشتر، به یک چالش جهانی تبدیل شده است (۹). با این حال، تخریب خاک مانند اسیدی شدن(۱۲)، هدررفت مواد آلی خاک و کاهش مواد غذایی و افزایش آلودگی (۱۳) با افزایش جمعیت در قرن حاضر تشدید شده و این موضوع کشاورزی پایدار را تهدید می‌کند. افزایش اسیدی شدن خاک و کاهش مواد آلی ممکن است منجر به کاهش کیفیت خاک مانند اثر منفی بر ریزجانداران خاک (۷) و باعث کاهش پایداری سنگریزه‌ها و ظرفیت نگهداری آب شود (۵ و ۱۵)؛ این تأثیرات منفی می‌تواند رشد گیاه و تولید غذا را محدود کند.

بیوچار ماده‌ای جامد، سیاه رنگ و غنی از کربن پایدار است و می‌تواند از طیف وسیعی از زیست‌توده شامل ضایعات محصولات کشاورزی، مواد چوبی، کود دامی و سایر ضایعات آلی (به عنوان مثال لجن فاضلاب) (۲۳)، در اثر سوزاندن، در شرایط بدون اکسیژن یا با اکسیژن کم، در دماهای متوسط تا زیاد (۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس) تولید شود (۲۷)، یعنی به ذغال حاصل از سوزاندن زیست‌توده در این شرایط و تحت پیرولیز، بیوچار یا ذغال زیستی گفته می‌شود که به آن طلای سیاه برای کشاورزی نیز گفته می‌شود(۳۰). این ماده یک ترکیب جامد سیاه رنگ، متخلخل، غنی از کربن پایدار و نسبتاً ریز دانه است. به دلیل ویژگی‌های خاص از جمله سطح بالا و ساختار منافذ غنی، بیوچار می‌تواند به عنوان یک اصلاح‌کننده خوب برای بهبود رشد محصول با تعدیل شرایط خاک و با حفظ گروه‌های عملکردی خاک مورد استفاده قرار گیرد (۱۷).

محققین گزارش کردند که رشد و عملکرد گیاه در خاک‌های اصلاح شده با بیوچار از ٪۲۹۴+ تا ٪۳۵/۸- متغیر است (۱۴). علاوه بر این، افزایش ظرفیت نگهداری آب و مقدار استفاده از مواد مغذی به عنوان مهم‌ترین سازوکارهای کمک به بهبود خاک ناشی از بیوچار در رشد گیاه شناخته شده‌اند (۸، ۱۶، ۲۱). اثر بیوچار بر رشد و عملکرد گیاه به شدت به ویژگی‌های بیوچار، نوع ماده اولیه در تولید بیوچار، نوع گیاه و شرایط خاک بستگی دارد (۲). بنابراین روشن کردن اثر ترکیب بیوچار و خاک بر رشد گیاه برای انتخاب بیوچار مناسب یا توسعه بیوچار مهندسی با قابلیت‌های خاص برای تولید محصول خاص مهم است.

در تحقیقاتی که جونیز و همکاران[1] (۱۸) انجام دادند گزارش شده است که در سال اول پس از کاربرد بیوچار بقایای ذرت و چمن سوئیچ، بیوچار هیچ گونه تأثیر معنی‌داری بر عملکرد رشدی، قدرت جوانه زنی بذر و کلروفیل برگ گیاه ذرت نداشت، اما پس از بررسی‌های انجام شده به این نتیجه رسیدند که پس از گذشت یک سال از اعمال بیوچار به خاک، عملکرد رشدی گیاه در سال دوم به طور معنی‌داری افزایش یافت. این پژوهشگران دلیل این تغییر در طی زمان را، تجزیه بیوچار و آزادسازی برخی از عناصر مانند کربن، فسفر، پتاسیم، سدیم و کلسیم اعلام کردند. همچنین اضافه کردن بیوچار به میزان ۵ درصد وزنی به دلیل افزایش در حجم ریشه‌های تولیدی گیاه ذرت و افزایش ریشه‌های کمتر از یک میلی‌متر، موجب افزایش عملکرد گیاه ذرت شده است. این پژوهشگران عنوان کردند که به موجب افزایش ریشه‌های کمتر از یک میلی‌متر در گیاه، جذب فسفر، پتاسیم، کلسیم و آمونیوم در سال اول کشت گیاه ذرت افزایش پیدا کرد (۴). در یک متاآنالیز که توسط جفری و همکاران[2] (۱۶) انجام شد، اعلام شد که بیوچار می‌تواند بسته به شرایط مطالعه سبب افزایش یا کاهش رشد گیاه شود و حتی گاهی تأثیر بیوچار بر رشد گیاه غیرمعنی‌دار هم باشد.

1- Jones *et al.*
2- Jeffery *et al.*

پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که کاربرد بیوچار باعث جذب عناصری مانند سدیم (تنظیم‌کننده اسمزی) در اندام هوایی گیاه (۲۵)، افزایش وزن تر و خشک گیاه، ریشه و کلروفیل برگ (۱۱ و ۳۴)، افزایش محتوای نسبی آب برگ (۲۹)، افزایش ارتفاع گیاه، افزایش ظرفیت نگهداری و راندمان مصرف آب (۳۴)، تعداد برگ (۳) و افزایش عملکرد گیاه (۲۹) می‌شود. برخی مطالعات نشان داده است که کاربرد بیوچار به عنوان یک اصلاح کننده در خاک‌هایی که محتوای عناصر غذایی آن‌ها پایین است، می‌تواند باعث تحریک رشد گیاه و دستیابی به عملکرد مناسب شود (۱).

همچنین اشمیت و همکاران[1] (۳۳) نیز بیان کردند که بیوچار چوب با افزایش محتوای عناصر در خاک، به گیاهان این امکان را می‌دهد که نسبت اندام هوایی گیاه به ریشه افزایش یابد و با این فعالیت سطح فعال فتوسنتزی گیاه افزایش می‌یابد و بنابراین گیاه قادر است با بهبود فراهمی عناصر غذایی زیتوده خود را افزایش دهد. بیوچار می‌تواند به نحوه مؤثری توانایی خاک در نگهداری عناصر غذایی و آب را بهبود بخشد (۲۴). نوروزی و همکاران[2] (۲۸) اثرات کوتاه مدت بیوچار حاصل از برگ خرما را بر حفظ رطوبت خاک در خاک لوم شنی مورد بررسی قرار دادند؛ به طور کلی، تیمارهای ۶ و ۱۲ تن در هکتار از این بیوچار موجب افزایش ۷/۹۶ و ۱۸/۶ درصدی آب قابل دسترس نسبت به تیمار بدون مصرف بیوچار شد.

بنابراین مفید یا مضر بودن کاربرد بیوچار در خاک بسته به شرایط می‌تواند متفاوت باشد و استفاده از آن نیازمند بررسی، پیش از توصیه و کاربرد عملی در مزرعه، است. از این رو، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربرد دو نوع بیوچار (بیوچار برگ خرما و بیوچار ضایعات پسته) در دو خاک مختلف از نظر بافت (شنی و لوم شنی) بر رشد گیاه ذرت و نیز تاثیر کاربرد این دو بیوچار بر امکان جذب عناصر سنگین توسط این گیاه، به صورت گلخانه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق، خاک از دو منطقه (ایستگاه تحقیقاتی شهید بهشتی دانشگاه جیرفت و مزرعه آموزشی درون این دانشگاه) با دو بافت مختلف (شنی و لوم شنی)، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن از الک ۴ میلی‌متری برای ترکیب با بیوچار و همچنین بخشی از خاک‌ها برای انجام آزمایش‌های اولیه از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند EC و pH در عصاره گل اشباع توسط دستگاه pH متر و شوری‌سنج (مدلProfessional Meter PP-50 Sartorius)، بافت خاک به روش هیدرومتری، کربن آلی به روش والکلی و بلک، مقدار نیتروژن به روش کجلدال، فسفر به روش اُلسن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Perkin Elmer – Lambda 25)، پتاسیم به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم و قرائت با دستگاه فلیم‌فتومتر و عناصر کم مصرف خاک‌ها به روش عصاره‌گیری DTPA و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Perkin Elmer AAnalyst 400) اندازه‌گیری شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

بیوچارهای مورد استفاده در این پژوهش، بیوچار ضایعات برداشت پسته و بیوچار برگ خرما بودند. بیوچارهای تهیه شده در این تحقیق با توجه به آزمایش‌های انجام شده در مطالعه میری و همکاران[3] (۲۷) در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت دو ساعت تولید شد. برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده از این بیوچارها در جدول ۲ ارائه شده است.

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت گلخانه‌ای با کاربرد دو بیوچار (بیوچار ضایعات برداشت پسته و بیوچار برگ خرما) در چهار سطح کاربرد (۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی) در دو خاک (شنی و لوم شنی) با چهار تکرار انجام شد و تیمار شاهد (بدون کاربرد بیوچار) نیز مورد ارزیابی قرار گرفت که در مجموع شامل ۴۰ گلدان (واحد آزمایشی) بود. مقایسه

1- Schmidt *et al.*
2- Nourouzi *et al.*
3- Miri *et al.*

میانگین‌ها و آنالیزهای آماری بین تیمارها در هر خاک به صورت مجزا انجام و اثر متقابل خاک و بیوچار مدنظر نبود. ابتدا تیمارهای مورد مطالعه با خاک ترکیب شدند. برای این منظور نمونه خاک‌ها به همراه بیوچارها درون پلاستیک به منظور یکنواخت شدن و آنکوبه شدن به مدت یک ماه قرار داده شدند و در این مدت خاک‌ها ضمن آبیاری با آبفشان، یک روز در میان با زیر و رو شدن، به هم خورده تا بیوچارها به حد کافی با خاک ترکیب، آنکوبه و پایدار شوند. علاوه بر سطوح مورد نظر تیمارها، خاکِ بدون کاربرد بیوچار نیز به عنوان شاهد در این مدت برای حفظ شرایط یکسان، زیر و رو و به یک میزان آبیاری شد. خاک‌ها بعد از آن به گلدان‌های پلاستیکی سایز ۱۲ منتقل شدند و در هر گلدان تعداد دو عدد بذرِ جوانه‌دار شده ذرت، رقم سینگل گراس ۷۰۴، در عمق حدود ۲ سانتی‌متری خاک‌ها کشت شد. این تحقیق در گلخانه پژوهشی دانشگاه جیرفت انجام شد. حدود یک هفته پس از کشت گیاهان، فقط یک گیاه در داخل هر گلدان باقی گذاشته شد و در طول فصل رشد مقدار آب مصرفی بر اساس نوع خاک در تمامی گلدان‌ها یکسان در نظر گرفته شد و مقدار آب مصرفی برای هر گلدان یادداشت شد. کوددهی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به صورت محلول در آب آبیاری در طول دوره رشد و بر اساس نیاز گیاه انجام شد. پس از گذشت ۳۸ روز و در مرحله‌ی برداشت گیاه، اندازه‌گیری ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه، به عنوان ویژگی‌های رشدی، انجام شد. همچنین عناصر کم مصرف و سنگین در اندام هوایی گیاه ذرت (شامل آهن، روی، مس، منگنز، نیکل، سرب و کادمیوم) به روش هضم تر عصاره‌گیری و با استفاده از دستگاه جذب اتمی غلظت آن‌ها اندازه‌گیری شد.

نتایج تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS[1] و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD[2] در سطح ۵ درصد مورد ارزیابی آماری قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کاربرد بیوچارهای مورد مطالعه موجب تاثیر بر رشد گیاه ذرت در هر دو خاک مورد مطالعه شد (جدول ۳) و افزایش سطوح کاربرد بیوچار در خاک‌ها تأثیر منفی آن را بیشتر کرد (شکل ۱). در این بین کاربرد بیوچار ضایعات پسته تأثیر منفی بیشتری بر رشد گیاه ذرت در مقایسه با بیوچار برگ خرما داشت و این تأثیر در خاک شنی بیشتر مشهود بود، به گونه‌ای که کاربرد سطوح ۲ درصد و بیشتر از بیوچار پسته موجب توقف رشد گیاه ذرت در خاک شنی شد و در خاک لوم شنی نیز کاربرد سطح ۵ درصد از این بیوچار موجب توقف در رشد گیاه شد. گیاهان در این تیمارها تنها در حد رشد اولیه (جوانه) سر از خاک بیرون آوردند و بدون افزایش رشد در ادامه تحقیق از بین رفتند و مقادیر رشد در آن‌ها به هیچ وجه قابل اندازه‌گیری نبود.

هرچند مقادیر کم کاربرد بیوچار برگ خرما در هر دو خاک تأثیر منفی معنی‌داری بر رشد گیاه نداشت، اما نتایج نشان داد که سطوح بالاتر از کاربرد بیوچار برگ خرما هم موجب کاهش معنی‌دار رشد گیاه ذرت در مقایسه با شاهد (بدون کاربرد تیمار) شده است. در این رابطه کاربرد سطح ۵ درصد از بیوچار خرما در خاک لوم شنی به ترتیب کاهش حدود ۱۹، ۶۹ و ۷۲ درصدی در مقادیر ارتفاع گیاه، وزن اندام هوایی و وزن ریشه گیاه ذرت را در پی داشت. این مقادیر برای کاربرد ۳ درصد بیوچار برگ خرما در این خاک به ترتیب حدود ۱۵، ۴۴ و ۳۱ درصد بود حال آنکه برای کاربرد ۳ درصد بیوچار پسته در این خاک به ترتیب حدود ۱۷، ۵۳ و ۳۷ درصد بود، که نشان‌دهنده تأثیر منفی بیشتر بیوچار پسته در این خاک است (شکل ۱).

در این پژوهش مقایسه میانگین بین تیمارهایی انجام شد که گیاهان آن‌ها تا انتهای آزمایش زنده ماندند. بر همین اساس در این مطالعه، تفاوت معنی‌داری بین ارتفاع گیاهان زنده مانده در اثر کاربرد بیوچارها در خاک شنی مشاهده نشد و ارتفاع گیاه در خاک لوم شنی هم زیاد تحت تأثیر کاربرد بیوچارها قرار نگرفت. با در نظر داشتن این نتیجه، با توجه به کاهش جرم اندام

1- Statistical Analysis Software
2- Least Significant Difference (LSD) test

هوایی در بین تیمارها می‌توان گفت که قطر اندام هوایی (ساقه و برگ) نیز تحت تأثیر کاربرد بیوچارها کاهش یافته است و گیاهان رشد کرده در تیمارهای مورد مطالعه به ویژه در سطوح بالای کاربرد بیوچار، نسبت به تیمار شاهد، گیاهان ضعیف‌تری بوده‌اند (شکل ۱). نتایج بررسی تأثیر کاربرد بیوچارها بر شرایط pH در خاک‌ها نشان‌داد که هرچند pH خاک شنی به طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد بیوچار ضایعات پسته افزایش یافته بود، اما به طور کلی، pH دیگر تیمارهای بیوچاری به دلیل وجود خاصیت بافری در خاک، چندان تحت تأثیر کاربرد بیوچارها قرار نگرفت (شکل ۲ a). در این رابطه کاربرد سطوح ۲، ۳ و ۵ درصد از بیوچار ضایعات برداشت پسته مقدار pH خاک شنی را به طور معنی‌داری به ترتیب ۱۳/۳، ۱۷/۹ و ۱۹/۴ درصد نسبت به شاهد در این خاک افزایش داد و سایر مقادیر pH به جز افزایش حاصل شده در اثر کاربرد ۵ درصد بیوچار ضایعات برداشت پسته در خاک لوم شنی، نسبت به تیمار بدون کاربرد بیوچار، معنی‌دار نبودند.

جدول(۱) برخی از ویژگی‌های خاک‌های مورد استفاده در این مطالعه

Table (1) Some of the properties of studied soils

نوع خاک – Type of Soil		واحدها	ویژگی‌ها
خاک لوم شنی Sandy Loam Soil	خاک شنی Sandy Soil	Units	Parameters
60.52	90.61	%	شن (Sand)
14.00	7.39	“	سیلت (Silt)
25.48	2.00	“	رس (Clay)
Sandy Loam	Sand	--	بافت خاک (Soil Texture)
22.5	13.3	%	ظرفیت نگهداشت آب (Water holding capacity)
0.9	0.43	%	ماده آلی (Organic Matter)
286.5	118.2	mg kg^{-1}	نیتروژن (Total-N)
1.19	1.09	“	فسفر قابل جذب (Available Phosphorus)
123	121	“	پتاسیم قابل جذب (Available Potassium)
13.1	2.67	%	کربنات کلسیم معادل CCE
7.48	7.51	--	اسیدیته (pH)
3.46	1.07	dS m^{-1}	هدایت الکتریکی (EC)
18.13	20.97	--	نسبت کربن به نیتروژن (C:N)

جدول (۲) برخی از ویژگی‌های بیوچارهای مورد استفاده در این مطالعه

Table (2) Some of the properties of studied biochars

Type of Biochar† – نوع بیوچار		واحدها	ویژگی‌ها
بیوچار خرما DPL Biochar	بیوچار پسته PW Biochar	Units	Parameters
192.7	182.8	%	ظرفیت نگهداشت آب (Water holding capacity)
50.06	26.37	%	کربن آلی (Organic Matter)
3.86	2.12	“	نیتروژن (Total-N)
1222.6	1643.5	mg kg-1	فسفر کل (Total-P)
1.80	1.86	“	غلظت آهن کل Total-Fe
nd	nd	“	غلظت روی کل Total-Zn
0.01	0.01	“	غلظت کل مس Total-Cu
0.44	0.53	“	غلظت کل منگنز Total-Mn
nd	nd	“	غلظت کل نیکل Total-Ni
nd	nd	“	غلظت کل سرب Total-P
0.73	0.38	“	غلظت کل کادمیوم Total-Cd
8.57	9.56	--	اسیدیته (pH)
9.46	23.57	dS m-1	هدایت الکتریکی (EC)
12.97	12.44	--	نسبت کربن به نیتروژن (C:N)

† DPL: Date Palm's Leaves and PW: Pistachio Wastes

در مقابل کاربرد تمام بیوچار در خاک‌های مورد مطالعه افزایش مقدار شوری (EC) را در پی داشت و با افزایش سطوح کاربرد هر دو بیوچار، مقدار شوری به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (شکل ۲ b). این نتایج به گونه‌ای بود که مقدار شوری در تمامی تیمارها در سطوح بالایی (۳ و ۵ درصد کاربرد) در مقایسه با تیمار شاهد، معنی‌دار بود. اما در این بین بیوچار پسته در خاک شنی بیشترین تأثیر افزایشی در مقدار شوری خاک را داشت و سطح کاربرد ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد از این تیمار به ترتیب افزایش حدود ۲/۴، ۴/۵، ۶/۳ و ۱۰/۳ برابری در مقایسه با شاهد نشان داد که این موضوع خود می‌تواند دلیلی بر کاهش شدید عملکرد ذرت‌های کشت شده در این تیمارها باشد. در واقع افزودن بیوچارهای مورد مطالعه به خاک موجب افزایش شوری هر دو خاک شد اما در این بین تأثیر بیوچارها، به ویژه بیوچار پسته، بر شوری خاک شنی بیشتر از خاک لوم شنی (خاک ریز بافت‌تر) بود.

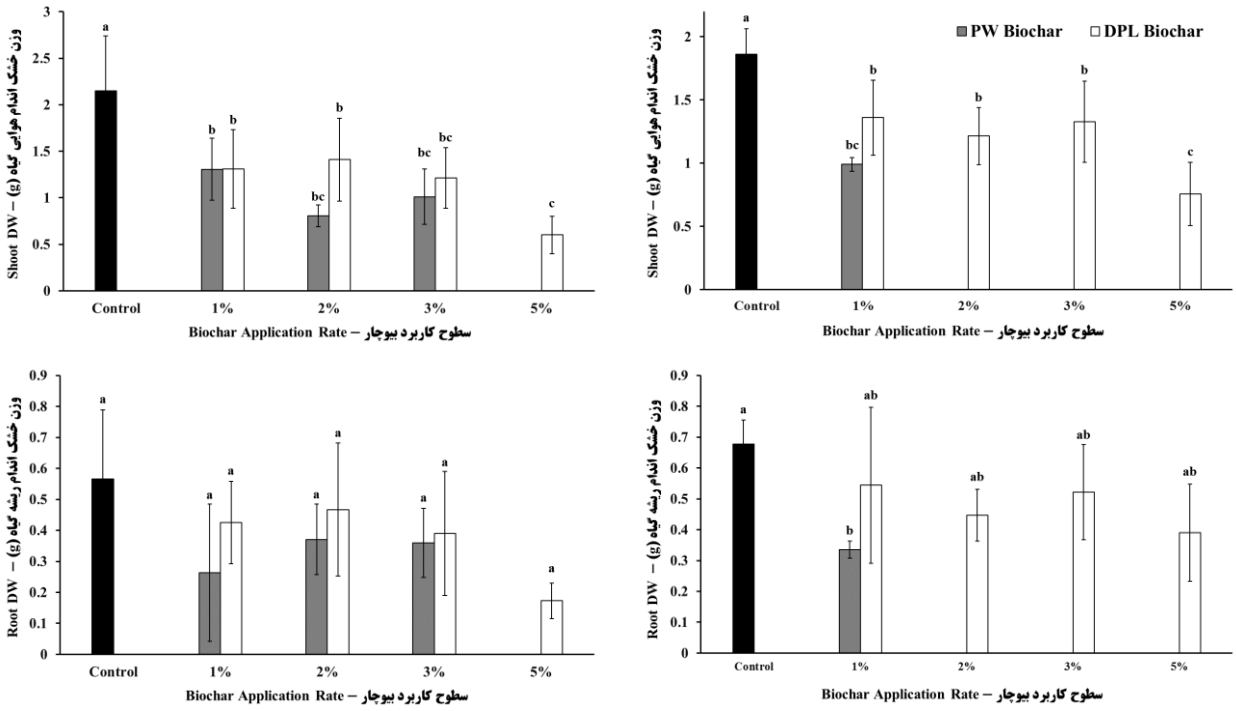
جدول(۳) تجزیه واریانس داده‌های ویژگی‌های رشدی گیاه ذرت در دو خاک موردمطالعه تحت تاثیر تیمارهای بیوچاری

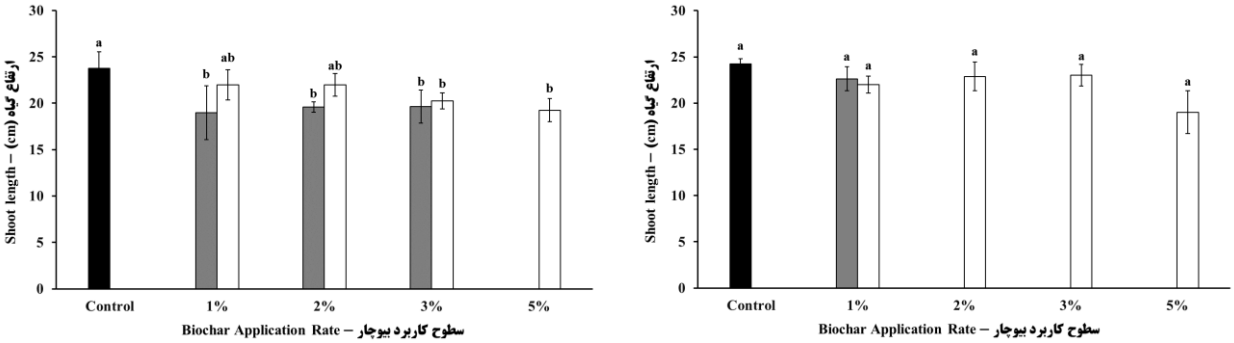
Table (3) Anova of maize (*Zea mays* L.) growth characteristic data in two studied soils as affected by treatments of biochar

نوع خاک Soil typee	منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی Degrees of Freedom	میانگین مربعات† Mean Square		
			وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	ارتفاع گیاه Shoot lenght
شنی Sand	تیمار Treatment		0.564**	0.060ns	12.567ns
	خطا Error		0.077	0.028	2.67
	میانگین Mean		1.252	0.485	22.29
	ضریب تغیرات CV%		22.23	34.53	7.34
لوم شنی Sandy Loam	تیمار Treatment	7	0.865**	2148.7ns	11.57*
	خطا Error	24	0.181	2157.2	3.58
	میانگین Mean		1.226	0.353	20.68
	ضریب تغیرات CV%		34.73	90.42	9.15

† *، ** و ns به ترتیب نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری در سطح ۵، ۱ و بدون اثر معنی‌دار ($p \geq 0.05$) می‌باشند.

† * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; ns, not significant (or $p \geq 0.05$).





شکل (۱) تأثیر کاربرد بیوچارهای مورد مطالعه بر شاخص‌های رشدی گیاه ذرت در دو خاک شنی (راست) و لوم شنی (چپ)
(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر کدام از خاک‌ها از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشند($p<0.05$)) – DPL Biochar و PW Biochar به ترتیب نشان‌دهنده‌ی بیوچار برگ خرما و بیوچار ضایعات برداشت پسته می‌باشند.

Figure (1) The effect of biochars on growth characteristics of maize (*Zea mays* L.) in Sandy (right) and Sandy Loam (left) soils (Means in each soil with the same letter are not significantly different from each other ($p < 0.05$).) – DPL Biochar is Date Palm's Biochar and PW Biochar is Pistacho Waste Biochar

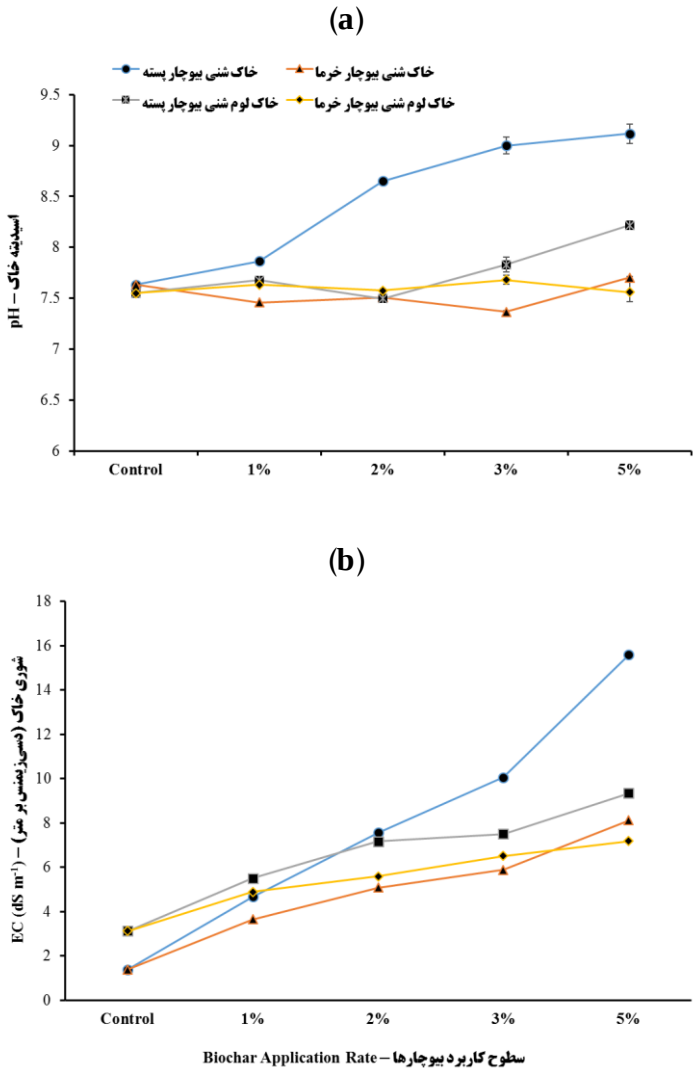
شکل ۲ این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد. افزایش روند شوری خاک در اثر کاربرد سطوح بیوچارهای مورد مطالعه در هر دو خاک تائیدکنندهٔ این موضوع است که شوری خاک یک عامل منفی در کاهش رشد گیاه در این مطالعه بوده است که این موضوع می‌تواند در اثر تأثیر شوری بر ویژگی‌های اسمزی و جذب آب (۲۶) و یا در اثر سمیت یونی (۲۷) حاصل شده باشد هرچند علت‌سنجی این نتایج شاید نیاز به مطالعات بیشتر داشته باشد، شوری بالای بیوچارها به ویژه بیوچار ضایعات برداشت پسته (جدول ۲) دلیل افزایش این شوری در خاک است. افزایش این ویژگی در خاک در اثر کاربرد مواد اصلاحی شور نظیر بیوچار در خاک‌های درشت‌بافت بیشتر اتفاق می‌افتد، دلیل این موضوع حجم منافذ کمتر در این خاک‌ها در مقایسه با خاک‌های ریزبافت‌تر می‌باشد. در واقع مقدار مشخصی از نمک در حجم کمتری از آب موجود در منافذ موجب افزایش شوری بیشتر نسبت به زمانی که حجم آب بیشتر است (خاک‌های ریزبافت‌تر)، می‌شود و این موضوع تشدید تأثیر شوری بر عملکرد گیاه را در این خاک‌ها در پی خواهد داشت. هرچند آبشویی خاک‌های درشت‌بافت بیش از خاک‌های ریزبافت است این شوری می‌تواند در شرایط طبیعی و یا با لحاظ جز آبشویی با سرعت بیشتری از خاک خارج شود که این موضوع می‌تواند کاهش شوری خاک را در پی داشته باشد.

در این رابطه محققین متعددی تأثیر منفی کاربرد بیوچارهای مختلف را بر رشد گیاه گزارش کردند (۱۰، ۱۹، ۲۰، ۳۱)؛ آن‌ها عواملی نظیر نوع بافت خاک، نوع ماده اولیه در تهیه بیوچار، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و شرایط تهیه بیوچارها و نیز نوع گیاه را از عوامل مؤثر در تأثیر بیوچار بر رشد گیاه دانستند. به طور کلی تبدیل مواد به بیوچار در طی فرایند پیرولیز به دلیل تخریب ساختار مواد اولیه و آزاد شدن عناصر موجب افزایش شوری آن‌ها می‌شود (۳۵)، در این بین ضایعات برداشت پسته وقتی به بیوچار تبدیل می‌شوند، احتمالاً به دلیل وجود ترکیبات محلول بیشتر در بقایای پسته با توجه به مقاوم بودن آن به شوری و رشد در خاک‌های با درجه شوری بالا (شوری خاک در مناطق پسته کاری زرند بسیار بالا و حتی تا بیش از ۲۰ دسی‌زیمنس نیز گزارش می‌شود)، شوری بیشتری را ایجاد می‌کنند.

در ارتباط با جذب فلزات سنگین توسط گیاهان زنده مانده در تیمارهای مورد مطالعه، نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که جذب این عناصر در خاک شنی به جز در مورد آهن و نیکل در سایر فلزات مورد بررسی معنی‌دار نبود اما کاربرد بیوچارها در خاک لوم شنی موجب تغییر معنی‌داری در جذب عناصر بیشتری شد و جذب فلزات منگنز، نیکل، سرب و کادمیوم تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۴). در مورد خاک شنی گیاهان رشد کرده

در تیمار ۱ درصد بیوچار ضایعات پسته جذب آهن و نیکل بیشتری نسبت به تیمار شاهد داشتند و تفاوت بین جذب این دو عنصر در سایر تیمارها یعنی خاک‌های شنی که بیوچار برگ خرما دریافت کرده بودند، نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. کاربرد ۱ درصد بیوچار ضایعات پسته به ترتیب موجب افزایش حدود ۳۶ و ۱۷ درصدی جذب آهن و نیکل توسط گیاه ذرت شد.

نتایج نشان داد که افزودن ۱ درصد از هر دو بیوچار مورد مطالعه موجب افزایش معنی‌داری جذب منگنز در ذرت می‌شود اما جذب این عنصر در سطوح بالاتر کاربرد هر دو بیوچار روندی کاهشی دارد، هرچند در این رابطه تنها افزایش در اثر کاربرد ۱ درصد بیوچار خرما در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود. این تیمار مقدار جذب عنصر منگنز را حدود ۲۳ درصد افزایش داد. به نظر می‌رسد که کاربرد سطوح بالاتر از بیوچارها با تأثیر بر فیزیولوژی و رشد گیاه و نیز شاید با اثرات ضدیت و رقابت منگنز با سایر عناصر موجب اختلال در جذب و کاهش غلظت آن در گیاه ذرت شده است. در ارتباط با سه عنصر دیگر یعنی نیکل، سرب و کادمیوم هرچند غلظت این سه عنصر در گیاهان رشد کرده در تمامی تیمارها زیر حد خطرناک برای استفاده از گیاه (۶) بود، اما به نظر می‌رسد که غلظت این سه عنصر تحت تأثیر کاربرد بیوچارها به ویژه در تیمارهای بیوچار برگ خرما، به مقدار جزئی افزایش نشان داده است.



شکل (۲) تأثیر کاربرد بیوچارهای مورد مطالعه بر مقدار pH (a) و شوری خاک (b) در تیمارهای مورد مطالعه

Figure (2) The effect of different treatments of biochars application on soil pH (a) and salinity (b)

غلظت کل عناصر سنگین در بیوچارها (جدول ۲) زیر حد خطرناک برای کاربرد به عنوان اصلاح‌کننده قرار داشت و استفاده از این مواد تأثیر منفی در این زمینه بر خاک و گیاه نداشته است و نتایج و غلظت عناصر سنگین در گیاه ذرت نیز این موضوع را نشان می‌دهد. اما به طور کلی بیوچار ماده‌ای پایدار است و تجزیه اجزای آن و آزادسازی عناصر موجود در آن نیاز به دورهٔ زمانی طولانی‌تر دارد (۲۲). در واقع این نتایج می‌تواند این را نیز بیان کند که بیوچار اگر به عنوان کود به خاک اضافه می‌شود حداقل در کوتاه مدت نمی‌تواند آنچنان موجب افزایش عناصر کم مصرف نظیر آهن، روی، مس و منگنز شود و از طرفی وجود عناصر سنگین در این نوع مواد نیز معمولاً خطرات چندانی ندارد مگر اینکه ماده اولیه مورد استفاده برای تولید آن‌ها موادی نظیر لجن فاضلاب‌های صنعتی باشند که تجمع عناصر سنگین در آن‌ها زیاد است (۳۶).

جدول(٤) غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی ذرت کشت شده در تیمارهای مورد مطالعه

Table(4) Concentration of heavy elements in shoot of maize grown in different treatments

تیمارها§	غلظت در اندام هوایی (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک) Concentration in Shoot (mg kg-1 DW)						
Treatments	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	نیکل Ni	سرب Pb	کادمیوم Cd
خاک شنی - Sandy Soil							
CS	50.38±3.29b	25.42±2.47a	15.83±0.41a	67.96±1.95a	49.46±1.06b	6.15±0.35a	0.4±0.02a
PS1	68.38±4.03a	27.08±2.17a	16.63±2.68a	70.21±4.76a	57.83±3.25a	6.12±0.45a	0.4±0.02a
PS2	--	--	--	--	--	--	--
PS3	--	--	--	--	--	--	--
PS5	--	--	--	--	--	--	--
DS1	44.79±0.48c	26.25±0.72a	14.88±0.81a	73.21±5.62a	51.17±1.40b	5.93±0.19a	0.4±0.01a
DS2	44.88±2.65c	25.00±2.04a	13.88±0.56a	70.42±4.80a	50.63±3.16b	5.83±0.23a	0.41±0.01a
DS3	46.29±0.90bc	22.92±1.38a	14.21±0.40a	68.50±3.90a	51.38±2.78b	6.07±1.00a	0.39±0.03a
DS5	46.46±1.93bc	22.92±2.47a	13.54±0.99a	62.75±3.31a	53.00±3.67b	6.07±0.47a	0.4±0.00a
میانگین مربعات† Mean Square	333.79**	11.78ns	5.75ns	49.14ns	35.29*	0.06ns	0.0001ns
CV	5.86	9.15	9.78	7.09	6.04	9.99	6.16
خاک لوم شنی - Sandy Loam Soil							
CL	47.08±0.93A	45.83±3.44A	16.63±0.72A	110.50±10.88BC	50.75±1.63CD	5.67±0.35B	0.387±0.02C
PL1	45.38±1.20A	37.79±1.80A	15.95±1.38A	124.67±2.38AB	51.54±1.54BCD	5.53±0.28B	0.391±0.02BC
PL2	45.79±0.25A	43.75±1.38A	16.33±0.20A	118.88±0.54ABC	55.97±0.09B	5.86±0.24B	0.444±0.00A
PL3	45.04±2.54A	45.83±6.29A	16.58±1.12A	105.79±9.02C	54.88±1.53BC	5.78±0.36B	0.447±0.02A
PL5	--	--	--	--	--	--	--
DL1	47.38±2.2A	44.58±2.47A	16.88±0.63A	123.17±10.54ABC	53.79±2.96BC	5.87±0.36B	0.392±0.04BC
DL2	47.13±5.39A	38.75±8.45A	15.96±1.27A	135.79±6.84A	47.58±5.09D	5.53±0.28B	0.393±0.04BC
DL3	48.46±0.61A	41.67±1.18A	17.79±1.48A	118.17±3.31ABC	63.33±5.31A	6.43±0.09A	0.437±0.01A
DL5	46.23±3.26A	37.08±3.41A	16.33±1.83A	105.50±17.36C	54.33±0.31BC	5.72±0.19B	0.428±0.01AB
میانگین مربعات Mean Square	5.49ns	52.35ns	1.41ns	428.41*	85.53**	0.33*	0.003**
CV	4.76	11.81	8.28	10.88	6.34	5.60	6.50

§ در بین تیمارها C: نشان‌دهنده‌ی شاهد (بدون کاربرد بیوچار)، S: نشان‌دهنده‌ی خاک شنی، L: نشان‌دهنده‌ی خاک لوم شنی، P: نشان‌دهنده‌ی بیوچار ضایعات برداشت پسته، D: نشان‌دهنده‌ی بیوچار برگ خرما و اعداد ۱، ۲، ۳ و ۵ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی سطوح ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد کاربرد بیوچار می‌باشند.

§ In treatments- C: represents control (without biochar application), S: represents Sandy soil, L: represents Sandy Loam soil, P: represents Pistachio waste biochar, D: shows Date palm leaves biochar and numbers 1, 2, 3, 5 represent biochar application levels as 1%, 2%, 3% and 5% respectively.

† *، ** و ns به ترتیب نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری در سطح ۵، ۱ و بدون اثر معنی‌دار ($p \geq 0.05$) می‌باشند.

† * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; ns, not significant (or $p \geq 0.05$).

نتیجه‌گیری

شاید بتوان کاربرد بیوچار را از لحاظ زیست‌محیطی یک راهکار مناسب برای دفن مواد زائد در خاک دانست، اما توجه به تأثیر آن بر ویژگی‌های خاک و رشد گیاهان نیز باید مدنظر قرار گیرد. مطالعهٔ حاضر نشان می‌دهد که برای توصیه کاربرد یک نوع بیوچار در خاک، باید مطالعات ابتدایی برای تعیین تأثیر آن بر ویژگی‌های خاک و نیز عملکرد گیاه مدنظر قرار گیرد و به طور کلی شوری بیوچارها می‌تواند آثار منفی بر خاک و در نتیجه رشد گیاه داشته باشد که در این بین حساسیت خاک‌های شور به تأثیر شوری حاصل از بیوچارهای مورد مطالعه بیشتر بود.

اثر بیوچار در بهبود رشد گیاه می‌تواند تا حد زیادی تحت تأثیر اثر ترکیبی خواص بیوچار و شرایط خاک قرار گیرد. یافته‌های مطالعه حاضر به درک سازوکارهای اساسی بیوچار در رشد گیاه و ترویج کاربرد مؤثر بیوچار، منفی ارزیابی شد. در این مطالعه مشخص شد که برای استفاده مؤثر از بیوچار در خاک‌های کشاورزی، قبل از استفادهٔ گسترده از بیوچار در خاک باید تأثیر بیوچار با توجه به شرایط خاک و گیاه مورد مطالعه قرار گیرد. در کل نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کاربرد بیوچارهای مورد مطالعه می‌تواند تأثیر متفاوتی بر رشد گیاه داشته باشد، و از آن‌جایی که این بیوچارها به ویژه بیوچار حاصل از ضایعات برداشت پسته دارای شوری زیادی بود، در این بین خاک‌های درشت بافت‌تر به دلیل ظرفیت نگهداشت آب کمتر، بیشتر تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرند و احتمالاً آثار منفی بیشتر بر این شوری در خاک و بر رشد و ویژگی‌های رشدی گیاهان داشته که این موضوع باید مدنظر مروجین کشاورزی قرار گیرد. این موضوع نیز باید مدنظر قرار گیرد که استفاده از اکثر بیوچارها به ویژه بیوچارهای مورد استفاده در این مطالعه به عنوان کود و تقویت‌کننده وضعیت تغذیه‌ای گیاه در کوتاه مدت چندان منطقی نیست، بنابراین پیشنهاد می‌شود اثرات این نوع بیوچارها در ترکیب با سایر مواد آلی اصلاحی نظیر کودهای دامی که خاصیت تغذیه‌ی بهتری دارند بر رشد گیاه در طولانی‌مدت مورد مطالعه قرار گیرد، چرا که شاید اثرات منفی آن‌ها را ناشی از افزایش شوری خاک را نیز کاهش دهند.

References

1. Ahmad, N. 2015. Soil water management systems for a drier Caribbean. CARDI Review. 16: 34-53.

2. Al-Wabel, M.I., Hussain, Q., Usman, A.R.A., Ahmad, M., Abduljabbar, A., Sallam, A.S., and Ok, Y.S. 2018. Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review. Land Degradation and Development 29(7): 2124-2161.

3. Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T.B., and 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*. 3(2): 404-418.

4. Dardanelli, J.L., Bachmeier, O.A., Sereno, R., and Gil, R. 1997. Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. *Field Crops Research*. 54(1): 29-38.

5. de Melo Carvalho, M.T., de Holanda Nunes Maia, A., Madari, B.E., Bastiaans, L., Van Oort, P.A.J., Heinemann, A.B., Soler da Silva, M.A., Petter, F.A., Marimon Jr, B.H., and Meinke, H. 2014. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. *Solid Earth*. 5(2): 939-952.

6. de Vries1, W., Schütze, G., Lots, S., Meili, M., Römkens, P., Farret, R., de Temmerman, L. and Jakubowski, M. 2002. Critical limits for cadmium, lead and mercury related to ecotoxicological effects on soil organisms, aquatic organisms, plants, animals and humans. Background document for the "Expert meeting on critical limits for heavy metals and methods for their application".- Berlin 2-4 December 2002, held under the UN-ECE Convention on long range transboundary air pollution.

7. Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Huang, X., Li, Z., Tan, X., Zeng, G. and Zhou, L. 2017. Potential benefits of biochar in agricultural soils. A review. *Pedosphere*. 27(4): 645-661.

8. Domene, X., Mattana, S., Hanley, K., Enders, A., and Lehmann, J. 2014. Medium-term effects of corn biochar addition on soil biota activities and functions in a temperate soil cropped to corn. Soil Biology and Biochemistry. 72:152-162.

9. Fan, M., Shen, J., Yuan, L., Jiang, R., Chen, X., Davies, W.J., and Zhang, F. 2012. Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China. *Journal of experimental botany*. 63(1): 13-24.

10. Fernandes, J.D., Chaves, L.H.G., Mendes, J.S., Chaves, I. B., and Tito, G. A. 2019. Alterations in soil salinity with the use of different biochar doses. Revista de Ciências Agrrias, 42(1), 89-98.

11. Goodarzian, Sh. 2017. Effect of biochar and superabsorbent on safflower plant growth under drought stress. M.Sc. thesis. Shahroud University of Technology. (In Persian)

12. Guo, J.H., Liu, X.J., Zhang, Y., Shen, J.L., Han, W.X., Zhang, W.F., Christie, P., Goulding, K.W.T., Vitousek, P.M., and Zhang, F.S. 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*. 327(5968): 1008-1010.

13. Huang, J., Xu, C-C., Ridoutt, B.G., Wang, X-C., and Ren, P-A. 2017. Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China. *Journal of Cleaner Production*. 159: 171-179.

14. Hussain, M., Farooq, M., Nawaz, A., Al-Sadi, A.M., Solaiman, Z.M., Alghamdi, S.S., Ammara, U., Ok, Y.S., and Siddique, K.H. 2017. Biochar for crop production: potential benefits and risks. *Journal of Soils and Sediments*. 17(3): 685-716.

15. Ibrahim, H.M., Al-Wabel, M.I., Usman, A.R.A., and Al-Omran, A. 2013. Effect of Conocarpus biochar application on the hydraulic properties of a sandy loam soil. *Soil science*. 178(4): 165-173.

16. Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A.C., Van Groenigen, J.W., Hungate, B.A., and Verheijen, F. 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters*. 12(5): 053001.

17. Jiang, Z., Lian, F., Wang, Z., and Xing, B. 2020. The role of biochars in sustainable crop production and soil resiliency. *Journal of experimental botan*y. 71(2): 520-542.

18. Jones, D.L., Murphy, D.V., Khalid, M., Ahmad, W., Edwards-Jones, G. and DeLuca, T.H. 2011. Short-term biochar-induced increase in soil CO2 release is both biotically and abiotically mediated. *Soil Biology and Biochemistry*.43(8): 1723-1731.

19. Khadem, A., Raisi, F., and Basharati, H. 2017. A review of biochar effects on soil physical, chemical, and biological properties. Journal of land Management, 5.1(1), 13-30. (In Persian).

20. Khanmohammadi, Z., Afyuni, M., and Mosaddeghi, M.R. 2017. Effect of sewage sludge and its biochar on chemical properties of two calcareous soils and maize shoot yield. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(2), 198-212.

21. Laird, D.A., Novak, J.M., Collins, H.P., Ippolito, J.A., Karlen, D.L., Lentz, R.D., Sistani, K.R., Spokas, K., and Van Pelt, R.S. 2017. Multi-year and multi-location soil quality and crop biomass yield responses to hardwood fast pyrolysis biochar. *Geoderma*, 289:46-53.

22. Liao, C.-S.; Xie, Z.-H.; Jien, S.-H. 2021. Decomposition and nutrient releasing of biochar compound materials in soil with different texture. *Processes*, 9, 1521.1-12.

23. Luo, X., Chen, L., Zheng, H., Chang, J., Wang, H., Wang, Z., and Xing, B. 2016. Biochar addition reduced net N mineralization of a coastal wetland soil in the Yellow River Delta, China. *Geoderma*. 282:120-128.

24. Ma, N., Zhang, L., Zhang, Y., Yang, L., Yu, C., Yin, G., Doane, T.A., Wu, Z., Zhu, P., and Ma, X. 2016. Biochar improves soil aggregate stability and water availability in a mollisol after three years of field application. PLOS ONE 11(5): e0154091.

25. Mansouri Pour, Y., Qasemi, Y., and Ronaghi, AS. A. 2015. Effect of three biochar on chemical composition of alfalfa in a calcareous soil contaminated with crude oil. The 2nd Scientific-Research Congress on the Development and Promotion of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran. (In Persian)

26. Marzvan, S., Mohammadi, M.H., and Shekari, F. 2019. The fffect of-equal osmotic and matric potential on water uptake and yield of corn in complete and partial root irrigation system. Iranian Journal of Soil and Water Research, 50(4): 793-806.

27. Miri, F., and Zamani J. 2020. Effects of pyrolysis temperatures on some properties of Biochar of pistachio waste. Journal of Agricultural Engineering. 43(1): 81-9. (In Persian).

28. Nourouzi, M., Tabatabaei, S.H., Nouri, M.R., and Motaghian, H. 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. (In Persian)

29. Poormansour, S., Razzaghi, F., Sepaskhah, A.R., and Moosavi, A.A. 2019. Different levels of biochar and irrigation influence on faba bean growth, yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(2): 89-99. (In Persian)

30. Raček, J. Ševčík, J., Chorazy, T., Kucerik, J., and Hlavínek, P. 2020. Biochar: the new black gold? Sludge Processing, available on: https://www.sludgeprocessing.com/features/biochar-the-new-black-gold

31. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R., and Lehmann, J. 2012. Corn growth andnitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48(3), 271-284.

32. Roberts, T. L. 2009. The role of fertilizer in growing the world's food. *Better Crops with Plant Food*. 93(2): 12–15.

33. Schmidt, H. P., Kammann, C., Niggli, C., Evangelou, M.W.H., Mackie, K. A., and Abiven, S. 2014. Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. Agriculture, Ecosystems and Environment, 191: 117-123.

34. Tanure, M. M. C., da Costa, L. M., Huiz, H. A., Fernandes, R. B. A., Cecon, P. R., Junior, J. D. P., and da Luz, J. M. R. 2019. Soil water retention, physiological characteristics, and growth of maize plants in response to biochar application to soil. *Soil and Tillage Research*, 192(6): 164-173.

35. Wang, Sh., Gao, B., Zimmerman, A.R., Li., Y., Mad, L., Harris, W.G., and Migliaccio, K.W. 2015. Physicochemical and sorptive properties of biochars derived from woody and herbaceous biomass. Chemosphere, 134: 257-262.

36. Wu, H., Che, X., Ding, Z. Hu, Z., Creamer, A.E., Chen, H. and Gao, B. 2016. Release of soluble elements from biochars derived from various biomass feedstocks. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 1905–1915.