

Research Article

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

ISSN (P): 2588-526X
ISSN (E): 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. Naroie¹, J. Zamani^{2,*}, Sh. Kouhestani³ and F. Abbaszadeh Afshar²

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



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*

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

آسیه نارویی^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

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 اصلاح کننده حتماً باید در ارتباط با نوع خاک، نوع بیوچار و نوع گیاه مورد بررسی علمی و عملی قرار گیرد تا تأثیرات مثبت یا منفی آن مشخص شود. بر همین اساس این پژوهش در شرایط گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ 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 ۴۰ 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 تأثیر 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 تا حدی سبب کاهش غلظت منگنز در گیاه شده بود. نتایج نشان می‌دهد با وجود محاسن زیادی که از کاربرد بیوچارها در منابع علمی

* عهده دار مکاتبات

Email: zamani@ujiroft.ac.ir

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

مقدمه

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 بیوجار در رشد گیاه شناخته شده‌اند (۸، ۱۶، ۲۱). اثر بیوجار بر رشد و عملکرد گیاه به شدت به ویژگی‌های بیوجار، نوع ماده اولیه در تولید بیوجار، نوع گیاه و شرایط خاک بستگی دارد (۲). بنابراین روشن کردن اثر ترکیب بیوجار و خاک بر رشد گیاه برای انتخاب بیوجار مناسب یا توسعه بیوجار مهندسی با قابلیت‌های خاص برای تولید محصول خاص مهم است.

در تحقیقاتی که جونیز و همکاران^۱ (۱۸) انجام دادند گزارش شده است که در سال اول پس از کاربرد بیوجار بقایای ذرت و چمن سوئیچ، بیوجار 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 بیوجار به خاک، عملکرد رشدی گیاه در سال دوم به طور معنی‌داری افزایش یافت. این پژوهشگران دلیل این تغییر در طی زمان را، تجزیه بیوجار و آزادسازی برخی از عناصر مانند کربن، فسفر، پتاسیم، سدیم و کلسیم اعلام کردند. همچنین اضافه کردن بیوجار 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^۲ (۱۶) انجام شد، اعلام شد که بیوجار می‌تواند بسته به شرایط مطالعه سبب افزایش یا کاهش رشد گیاه شود و حتی گاهی تأثیر بیوجار بر رشد گیاه غیر معنی‌دار هم باشد.

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.

بیوجار 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، بیوجار 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، بیوجار 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 بیوجار از ۲۹۴٪ تا ۳۵٪ متغیر

1- Jones et al.

2- Jeffery et al.

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 بیوجار 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 (مدل Professional Meter PP-50 Sartorius)، بافت خاک به روش هیدرومتری، کربن آلی به روش والکلی و بلک، مقدار نیتروژن به روش کجلدال، فسفر به روش آلسن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (Perkin Elmer - Lambda 25)، پتاسیم به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم و قرائت با دستگاه فلیم‌فوتومتر 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.

بیوجارهای مورد استفاده در این پژوهش، بیوجار ضایعات برداشت پسته و بیوجار برگ خرما بودند. بیوجارهای تهیه شده در این تحقیق با توجه به آزمایش‌های انجام شده در مطالعه میری و همکاران^۳ (۲۷) در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت دو ساعت تولید شد. برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده از این بیوجارها در جدول ۲ ارائه شده است.

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت گلخانه‌ای با کاربرد دو بیوجار (بیوجار ضایعات برداشت پسته و بیوجار 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 بیوجار) نیز مورد ارزیابی قرار گرفت که در مجموع شامل ۴۰ گلدان (واحد آزمایشی) بود. مقایسه

پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که کاربرد بیوجار 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 بیوجار به عنوان یک اصلاح‌کننده 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^۱ (۳۳) نیز بیان کردند که بیوجار 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 فرآیند عناصر غذایی زیتوده خود را افزایش دهد. بیوجار می‌تواند به نحوه مؤثرتری توانایی خاک در نگهداری عناصر غذایی و آب را بهبود بخشد (۲۴). نوروزی و همکاران^۲ (۲۸) اثرات کوتاه مدت بیوجار 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 بیوجار موجب افزایش ۷/۹۶ و ۱۸/۶ درصدی آب قابل دسترس نسبت به تیمار بدون مصرف بیوجار شد.

بنابراین مفید یا مضر بودن کاربرد بیوجار 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 بیوجار (بیوجار برگ خرما و بیوجار ضایعات پسته) در دو خاک مختلف از نظر بافت (شنی و لوم شنی) بر رشد گیاه ذرت و نیز تأثیر کاربرد این دو بیوجار بر امکان جذب عناصر سنگین توسط این گیاه، به صورت گلخانه‌ای انجام شد.

1- Schmidt *et al.*

2- Nourouzi *et al.*

3- Miri *et al.*

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که کاربرد بیوجارهای مورد مطالعه موجب تأثیر بر رشد گیاه ذرت در هر دو خاک مورد مطالعه شد (جدول ۳) و افزایش سطوح کاربرد بیوجار در خاک‌ها تأثیر منفی آن را بیشتر کرد (شکل ۱). در این بین کاربرد بیوجار ضایعات پسته تأثیر منفی بیشتری بر رشد گیاه ذرت در مقایسه با بیوجار برگ خرما داشت و این تأثیر در خاک شنی بیشتر مشهود بود، به گونه‌ای که کاربرد سطوح ۲ درصد و بیشتر از بیوجار پسته موجب توقف رشد گیاه ذرت در خاک شنی شد و در خاک لوم شنی نیز کاربرد سطح ۵ درصد از این بیوجار 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 بیوجار برگ خرما در هر دو خاک تأثیر منفی معنی‌داری بر رشد گیاه نداشت، اما نتایج نشان داد که سطوح بالاتر از کاربرد بیوجار 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 بیوجار 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 بیوجار برگ خرما در این خاک به ترتیب حدود ۱۵، ۴۴ و ۳۱ درصد بود حال آنکه برای کاربرد ۳ درصد بیوجار پسته در این خاک به ترتیب حدود ۱۷، ۵۳ و ۳۷ درصد بود، که نشان‌دهنده تأثیر منفی بیشتر بیوجار 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 بیوجارها در خاک شنی مشاهده نشد و ارتفاع گیاه در خاک لوم شنی هم زیاد تحت تأثیر کاربرد بیوجارها قرار نگرفت. با در نظر داشتن این نتیجه، با توجه به کاهش جرم اندام

میانگین‌ها و آنالیزهای آماری بین تیمارها در هر خاک به صورت مجزا انجام و اثر متقابل خاک و بیوجار مدنظر نبود. ابتدا تیمارهای مورد مطالعه با خاک ترکیب شدند. برای این منظور نمونه خاک‌ها به همراه بیوجارها درون پلاستیک به منظور یکنواخت شدن و آنکویه 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 بیوجارها به حد کافی با خاک ترکیب، آنکویه و پایدار شوند. علاوه بر سطوح مورد نظر تیمارها، خاک بدون کاربرد بیوجار 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 بذری جوانه‌دار شده ذرت، رقم سیگل 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^۱ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD^۲ در سطح ۵ درصد مورد ارزیابی آماری قرار گرفت.

1- Statistical Analysis Software

2- Least Significant Difference (LSD) test

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 معنی داری 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، معنی دار نبودند.

هوایی در بین تیمارها می توان 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 ضعیف تری بوده اند (شکل ۱). نتایج بررسی تأثیر کاربرد بیوچارها بر شرایط pH در خاکها نشان داد که هر چند pH خاک شنی به طور معنی داری 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

جدول (۱) برخی از ویژگی های خاک های مورد استفاده در این مطالعه

Table (1) Some of the properties of studied soils

نوع خاک - Type of Soil		واحدها Units	ویژگی ها Parameters
خاک لوم شنی Sandy Loam Soil	خاک شنی Sandy Soil		
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	نیترژن (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 نیترژن (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	بیوچار پسته	Units	Parameters
DPL Biochar	PW Biochar		
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-Pb
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

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.

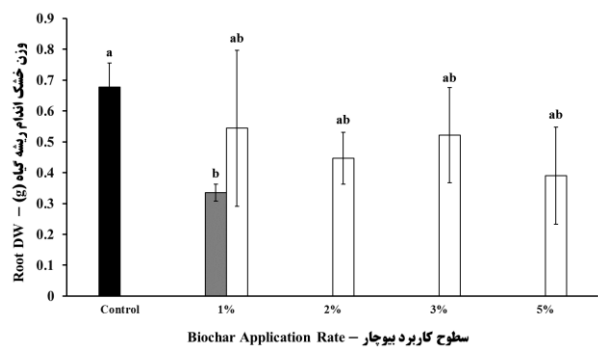
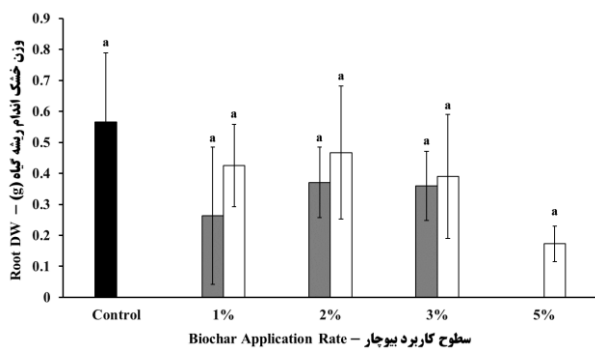
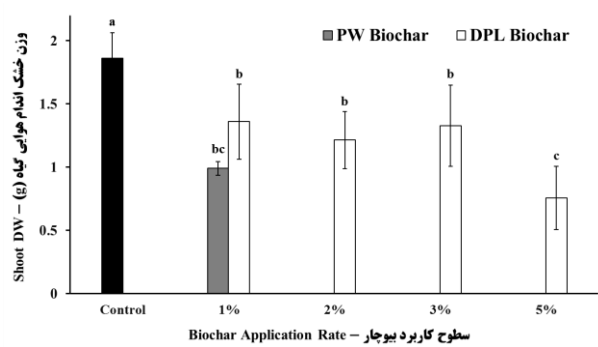
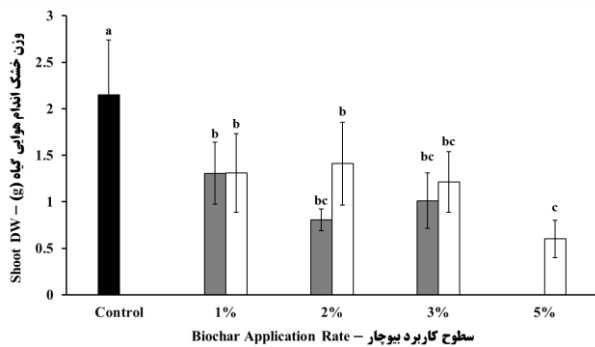
در مقابل کاربرد تمام بیوچار در خاک‌های مورد مطالعه افزایش مقدار شوری (EC) را در پی داشت و با افزایش سطوح کاربرد هر دو بیوچار، مقدار شوری به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (شکل ۲ b). این نتایج به گونه‌ای بود که مقدار شوری در تمامی تیمارها در سطوح بالایی (۳ و ۵ درصد کاربرد) در مقایسه با تیمار شاهد، معنی‌دار 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

جدول (۳) تجزیه واریانس داده‌های ویژگی‌های رشدی گیاه ذرت در دو خاک مورد مطالعه تحت تاثیر تیمارهای بیوجاری
 Table (3) Anova of maize (*Zea mays* L.) growth characteristic data in two studied soils as affected by treatments of biochar

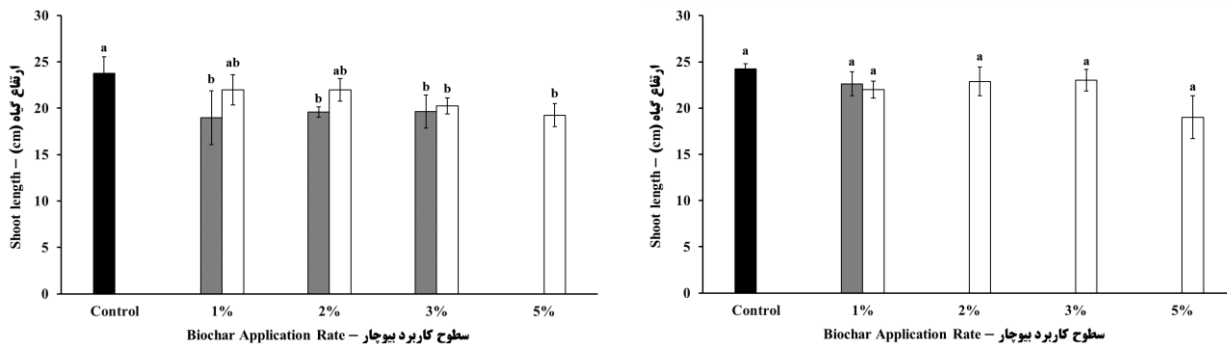
میانگین مربعات† Mean Square			درجه آزادی Degrees of Freedom	منابع تغییرات Source of variation	نوع خاک Soil type
ارتفاع گیاه Shoot lenght	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight			
12.567ns	0.060ns	0.564**		تیمار Treatment	شنی Sand
2.67	0.028	0.077		خطا Error	
22.29	0.485	1.252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

† **، * 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 $p \geq 0.05$).



ناروئی و همکاران: تأثیر بیوجار برگ خرما و...



شکل (۱) تأثیر کاربرد بیوجارهای 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 بیوجار برگ خرما و بیوجار 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

در این رابطه محققین متعددی تأثیر منفی کاربرد بیوجارهای مختلف را بر رشد گیاه گزارش کردند (۱۰، ۱۹، ۲۰، ۳۱)؛ آن‌ها عواملی نظیر نوع بافت خاک، نوع ماده اولیه در تهیه بیوجار، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و شرایط تهیه بیوجارها و نیز نوع گیاه را از عوامل مؤثر در تأثیر بیوجار بر رشد گیاه دانستند. به طور کلی تبدیل مواد به بیوجار 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 بیوجار 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 زرنند بسیار بالا و حتی تا بیش از ۲۰ دسی‌زیمنس نیز گزارش می‌شود)، شوری بیشتری را ایجاد می‌کنند.

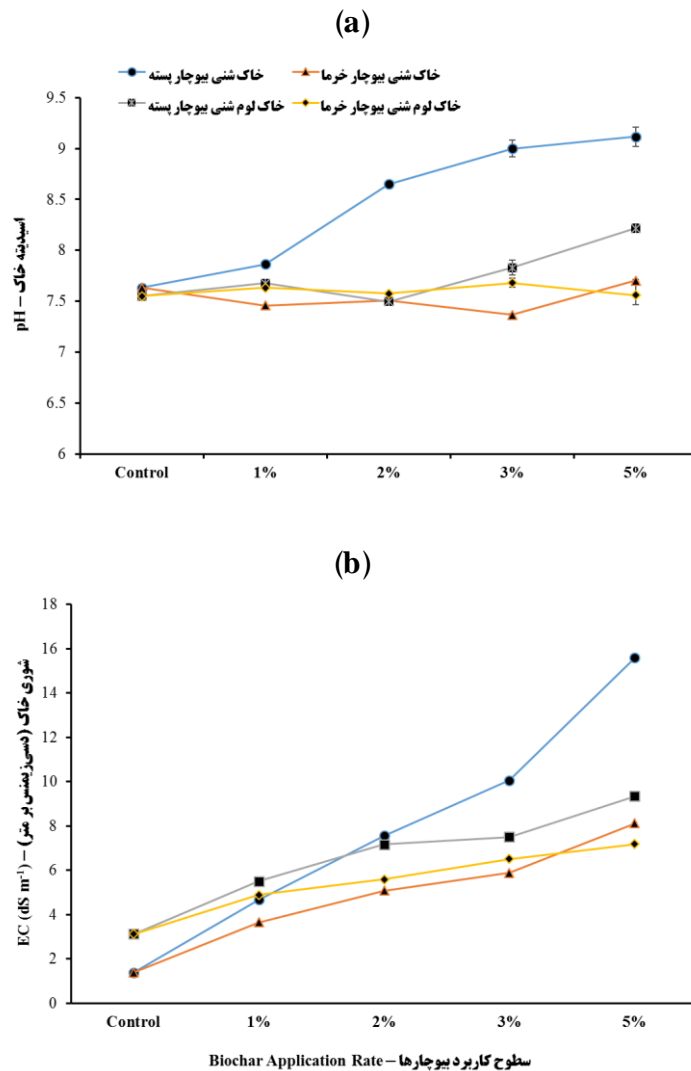
در ارتباط با جذب فلزات سنگین توسط گیاهان زنده مانده در تیمارهای مورد مطالعه، نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که جذب این عناصر در خاک شنی به جز در مورد آهن و نیکل در سایر فلزات مورد بررسی معنی‌دار نبود اما کاربرد بیوجارها در خاک لوم شنی موجب تغییر معنی‌داری در جذب عناصر بیشتری شد و جذب فلزات منگنز،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

شکل ۲ این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد. افزایش روند شوری خاک در اثر کاربرد سطوح بیوجارهای مورد مطالعه در هر دو خاک تأییدکننده 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 بیوجارها به ویژه بیوجار ضایعات برداشت پسته (جدول ۲) دلیل افزایش این شوری در خاک است. افزایش این ویژگی در خاک در اثر کاربرد مواد اصلاحی شور نظیر بیوجار 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.

معنی دار بود. این تیمار مقدار جذب عنصر منگنز را حدود ۲۳ درصد افزایش داد. به نظر می‌رسد که کاربرد سطوح بالاتر از بیوجارها 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 بیوجارها به ویژه در تیمارهای بیوجار برگ خرما، به مقدار جزئی افزایش نشان داده است.

در تیمار ۱ درصد بیوجار 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 بیوجار برگ خرما دریافت کرده بودند، نسبت به شاهد معنی دار نبود. کاربرد ۱ درصد بیوجار 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 بیوجار مورد مطالعه موجب افزایش معنی داری جذب منگنز در ذرت می‌شود اما جذب این عنصر در سطوح بالاتر کاربرد هر دو بیوجار روندی کاهشی دارد، هرچند در این رابطه تنها افزایش در اثر کاربرد ۱ درصد بیوجار خرما در مقایسه با شاهد



شکل (۲) تأثیر کاربرد بیوجارهای 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)

نارویی و همکاران: تأثیر بیوچار برگ خرما و...

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).

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 دوره زمانی طولانی‌تر دارد (۲۲). در واقع این نتایج می‌تواند این را نیز بیان کند که بیوچار اگر به

جدول (۴) 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

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

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

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 طولانی مدت مورد مطالعه قرار گیرد، چرا که شاید اثرات منفی آن‌ها را ناشی از افزایش شوری خاک را نیز کاهش دهند.

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. مطالعه 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 استفاده 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

References

- Ahmad, N. 2015. Soil water management systems for a drier Caribbean. *CARDI Review*. 16: 34-53.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- de Vries, 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 Agrárias*, 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 botany*. 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 effect 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 and nitrogen 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.