Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2020.312593.668779 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۱، فروردین ۱۴۰۰ (ص ۲۳۶-۲۲۷)

The Effect of Different Levels of Pistachio Harvesting Wastes Biochar on Growth and Water Productivity of Maize (*Zea mays* L.)

FATEMEH MIRI[1], JAVAD ZAMANI[1*], MOHSEN ZAREBANADKOUKI[2]
1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
2. Chair of Soil Physics, University of Bayreuth, Bayreuth, Germany.
(Received: Oct. 26, 2020- Revised: Dec. 4, 2020- Accepted: Dec. 12, 2020)

ABSTRACT

The application of biochar in the soil in order to improve soil quality and also waste management, has received considerable interest in recent years. Success of such management requires expert knowledge about the impact of a given biochar on soil and plant properties, before its field application. For this purpose, the effect of five different levels of biochar (0, 1, 2, 3 and 5% w/w), produced from residual of pistachio, on growth and water productivity of maize plants in a sandy and a silt loam soil was investigated. The study was performed in 2018 as a greenhouse experiment with a completely randomized design. The results showed that the effect of biochar on plant growth is strongly soil dependent. The biochar application had a negative effect on the growth of maize in the sandy soil. Root and shoot dry biomass as well water productivity were reduced more than 90% by application of 2 and 3% of biochar as compared to the control (0%), and the plant growth was hindered by further increase of biochar (at 5%). Consequently, water productivity was also reduced significantly. This negative effect of biochar application in sandy soil was attributed to an induced salinity as a result of biochar application and the low water holding capacity of the soil. In contrast, the effect of biochar on salinity of silty loam soil was not remarkable and only at application rate of 5%, it was increased significantly as compared to the control. Although the application of biochar in silty loam soil did not show a significant effect on root biomass, plant height, and chlorophyl index but shoot biomass and water productivity were increased till the application rate of 2% compared to the control. In conclusion, the results showed that i) one should be cautious with application of biochar (originated from pistachio residual) in coarse-textured soils, ii) and also the efficient application rate of each biochar should be determined in each soil before its application.

Keywords: Agricultural Waste Management, Leaf Chlorophyll, Organic Wastes, Soil Amendment.

*Corresponding Author's Email: zamani@ujiroft.ac.ir
www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر سطوح مختلف بیوچار ضایعات برداشت پسته بر ویژگی‌های رشدی و بهره‌وری آب ذرت

فاطمه میری[۱]، جواد زمانی بابگهری[۱*]، محسن زارع‌بنادکوکی[۲]

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

۲. بخش فیزیک خاک، دانشگاه بایروت، بایروت، آلمان.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۵- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۱۴- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۲۲)

چکیده

استفاده از بیوچار در خاک با اهداف مدیریت بازیافت پسماندهای آلی و نیز بهبود وضعیت خاک، در سال‌های اخیر، مورد توجه جدی محققین قرار گرفته است، اما لازم است قبل از استفاده از بیوچار در خاک، تاثیرات آن بر ویژگی‌های خاک و نیز گیاه مدنظر قرار گیرد. به همین منظور، مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر ۵ سطح کاربرد بیوچار تولید شده از ضایعات برداشت پسته (صفر، ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی) بر رشد گیاه ذرت در دو خاک با بافت لوم سیلتی و شنی، در سال ۱۳۹۷ به‌صورت گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد که تأثیر کاربرد بیوچار، بسته به نوع خاک متفاوت است. کاربرد بیوچار بر ویژگی‌های رشدی گیاه ذرت در خاک شنی تأثیر منفی و معنی‌داری داشت و وزن خشک ریشه و اندام هوایی این گیاه در اثر کاربرد سطوح ۲ و ۳ درصد بیوچار بیش از ۹۰ درصد کاهش یافت و در سطح ۵ درصد، رشد گیاه تقریباً متوقف شد؛ به تبع آن، بهره‌وری آب نیز در این خاک با کاربرد بیوچار به شدت کاهش یافت. به دلیل کم بودن ظرفیت نگهداشت آب در خاک‌های شنی، شوری این خاک تحت تأثیر کاربرد بیوچار افزایش زیادی داشت که این موضوع موجب کاهش عملکرد گیاه شده بود. در مقابل، شوری خاک لومِ سیلتی چندان تحت تأثیر کاربرد بیوچار قرار نگرفت و تنها کاربرد ۵ درصد از بیوچار، افزایش معنی‌دارِ شوری را در پی داشت، بنابراین در خاک لوم سیلتی تأثیر کاربرد بیوچار هرچند بر وزن ریشه، طول گیاه و شاخص کلروفیل برگ (SPAD) در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود، اما وزن خشک اندام هوایی و بهره‌وری آب در این خاک با کاربرد بیوچار تا سطح ۲ درصد روندی افزایشی داشت. بنابراین می‌توان گفت، کاربرد بیوچار مورد مطالعه در خاک، به ویژه در خاک‌های درشت‌بافت باید با حساسیت بیشتری انجام شود و حد مفید کاربرد هر بیوچار در یک خاک باید با مطالعه اولیه آن تعیین شود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح خاک، پسماندهای آلی، کلروفیل برگ، مدیریت ضایعات کشاورزی.

مقدمه

بیوچار (یا زغال‌زیستی) ماده‌ای جامد، سیاه رنگ و غنی از کربن است که در نتیجه سوزاندن مواد آلی در شرایط بدون اکسیژن و یا با اکسیژن محدود، در دمای ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس تولید می‌شود (Verheijen *et al.*, 2010)، که به این فرایند گرماکافت[۱] گفته می‌شود. بیوچار به علت ویژگی‌های منحصر به فردی که دارد، در سال‌های اخیر مطالعات در زمینه استفاده از آن به عنوان یک اصلاح‌کنندهٔ خاک مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های بیوچار که توجه پژوهشگران، به ویژه پژوهشگران فعال در حوزه محیط زیست را به خود جلب کرده است، پایدار بودن کربن در این ماده می‌باشد (Lehmann *et al.*, 2006) که تجزیه کم این ماده، می‌تواند باعث کاهش ورود گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر و کاهش روند گرم شدن کره زمین شود.

زیست‌توده‌ها و مواد آلی مانند بقایای محصولات کشاورزی (نظیر کاه و کلش گندم، شلتوک برنج و پوست و ضایعات حاصل از محصولات کشاورزی نظیر پسته)، شاخ و برگ و چوب درختان، لجن فاضلاب، کودهای دامی و حتی تایر اتومبیل را می‌توان به بیوچار تبدیل کرد (Lehmann and Joseph, 2009). بیوچار می‌تواند موجب تأثیر بر شرایط خاک از طریق کاهش چگالی ظاهری (Gundale and Deluca, 2006)، بهبود فرایند خاکدانه‌سازی (Van Zwieten *et al.*, 2009؛ Pietikainen *et al.*, 2000؛ Joseph *et al.*, 2010)، افزایش نگهداری مواد مغذی و دسترسی به عناصر برای گیاه (Glaser, 2007؛ Liang *et al.*, 2006؛ Karhu *et al.*, 2011)، افزایش تخلخل (Lehmann *et al.*, 2011؛ Mukherjee and Lal, 2013) شود و نیز خواص هیدرولیکی خاک نظیر ظرفیت نگهداشت آب، درصد رطوبت در

* نویسنده مسئول: zamani@ujiroft.ac.ir

1 Pyrolysis

www.SID.ir

Archive of SID

مکش‌های مختلف، سرعت نفوذ آب به خاک و هدایت هیدرولیکی را تحت تأثیر قرار دهد (Major *et al*, 2009؛ Atkinson *et al*., 2010؛ Sohi *et al*., 2010؛ Yu *et al*., 2013). در این رابطه Yazdanpanahi *et al*. (2019) به بررسی تأثیر بیوچار طبیعی و بیوچار حاصل از کمپوست زباله شهری در چهار سطح صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد بر ویژگی‌های فیزیکی خاک برای مدیریت آبیاری پرداختند که نتایج این محققین نشان داد که افزودن بیوچارها به خاک موجب افزایش معنی‌دار ظرفیت زراعی و آب قابل‌دسترس و در نتیجه دوره آبیاری شد و نیز تأثیر کاهشی معنی‌داری بر هدایت هیدرولیکی اشباع، وزن مخصوص ظاهری و حقیقی خاک داشت. همچنین Moradi *et al*. (2017) نیز در تحقیقی به بررسی تأثیر کاربرد بیوچارهای حاصل از هرس سیب، هرس انگور و کاه و کلش گندم در سطوح ۱، ۲، ۴ و ۸ درصد کاربرد در یک خاک آهکی پرداختند، که نتایج آن‌ها نشان داد کاربرد این بیوچارها به ویژه سطح ۸ درصد موجب افزایش معنی‌دار مقدار pH، درصد کربن آلی و مقادیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در مقایسه با تیمارهای شاهد شد، اما تنها بیوچار کاه و کلش گندم به طور معنی‌دار موجب افزایش نسبی قابلیت هدایت الکتریکی شده بود و دو بیوچار دیگر در این زمینه اثر معنی‌داری نداشتند.

افزودن بیوچار به خاک همچنین می‌تواند با تأثیر بر مقدار دسترسی آب برای گیاه، عملکرد گیاه و نیز بهره‌وری آب را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین به نظر می‌رسد که اصلاح خاک با بیوچار زمینه را برای حفظ بیشتر آب و مواد مغذی برای تولید محصول بیشتر نیز فراهم می‌کند؛ هرچند گزارش‌هایی نیز از تأثیر منفی استفاده از بیوچار بر عملکرد گیاهان وجود دارد (Rajkovich *et al*., 2012)، اما استفاده از این ماده در اکثر مواقع سبب بهبود رشد و عمکلرد گیاهان (Uzoma *et al*., 2011) به ویژه در سطوح متوسط کاربرد، شده است. به‌طور کلی و در اکثر مواقع، تأثیر سطوح مختلف کاربرد بیوچار بر عملکرد گیاهان در مقادیر کم یک روند افزایشی و در مقادیر زیاد کاربرد، روند کاهشی است؛ که به نظر می‌رسد این موضوع به نوع بیوچار، نوع خاک و گونه گیاهی مورد مطالعه (Van Zwieten *et al*., 2009) بستگی دارد.

در برخی از مطالعات کاربرد بیوچار در خاک تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گیاهان نداشته است (Blackwell *et al*., 2007) و در برخی از تحقیقات حتی اثر منفی بیوچار و در بسیاری از تحقیقات نیز اثر مثبت بیوچار (Vaccari *et al*., 2011) بر عملکرد گیاه و حاصلخیزی خاک گزارش شده است. Van Zwieten *et al*. (2009) دریافتند که در خاک‌های اصلاح شده با بیوچار خرده کاغذ، عملکرد گیاهان مختلف متفاوت بوده، به عنوان مثال در اثر کاربرد این بیوچار، عملکرد گیاه سویا افزایش یافت، اما عملکرد گندم و تربچه کاهش نشان داد. Glaser *et al*. (2002) در یک مقاله مروری بیان کردند که مقدار استفاده بهینه از یک بیوچار ممکن است برای هر خاک و گونه‌های گیاهی مختلف، متفاوت باشد. Khanmohammadi *et al*. (2017) نیز با بررسی تأثیر لجن فاضلاب و بیوچار حاصل از آن بر رشد گیاه ذرت به این نتیجه رسیدند که کاربرد لجن، موجب بهبود رشد گیاه شد، اما وقتی این ماده به بیوچار تبدیل می‌شود تأثیر آن بر عملکرد گیاه کاهشی بود. همچنین Gao *et al*. (2020) با بررسی نتایج حاصل از ۴۳ مطالعه، گزارش کردند که درصد تأثیر کاربرد بیوچار بر بهره‌وری آب در گیاهان مختلف متفاوت است (از ۳۱۲/۵+ درصد تا ۳۵/۹- درصد) که این پژوهشگران بیان کردند، این تفاوت‌ها به ویژگی‌های خاک، ویژگی‌های بیوچار و نیز فاکتورهای مدیریتی بستگی دارد.

سالانه حدود ۱۵۰ هزار تن ضایعات خشک بعد از برداشت محصول پسته برجای می‌ماند (Foroogh Ameri, 1997؛ Taghizadeh-Alisaraei *et al*., 2017) و این مواد که ترکیبی از پوست نرم روی پسته و شاخ و برگ گیاه می‌باشند، به دلیل خاصیت فسادپذیری که دارند با تولید قارچ‌ها و جمعیت میکروبی، آثار نامطلوبی بر طبیعت و نیز آلوده کردن محصول پسته دارند (Hokmabadi, 2018؛ Bohluli *et al*., 2009). هرچند در سال‌های اخیر بررسی تبدیل ضایعات آلی (به ویژه ضایعات کشاورزی) به بیوچار و استفاده از آن به عنوان یک راهکار در مدیریت این ضایعات و افزایش تولید محصول، به طور متعددی مورد توجه و بررسی دانشمندان علوم مرتبط به محیط زیست بوده است، اما بررسی کاربرد بیوچار ضایعات برداشت پسته که یکی از محصولات مهم در کشور ایران می‌باشد، بر عملکرد گیاه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به همین منظور مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربرد بیوچار حاصل از برداشت پسته بر ویژگی‌های رشدی و بهره‌وری آب گیاه ذرت به صورت گلخانه‌ای در دو خاک با بافت متفاوت (شنی و سیلت لوم) انجام شد.

مواد و روش‌ها

پیش از انجام این مطالعه، در یک مطالعه‌ی مجزا، با بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچارهای تولید شده از ضایعات برداشت پسته در دماهای مختلف (Miri and Zamani, 2020)، تصمیم به تولید این بیوچار در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس شد. برای این منظور، از ضایعات پسته در فصل برداشت که حاصل پوست‌گیری میوه تازه پسته می‌باشند، استفاده شد. این ضایعات به طور عمده شامل پوسته سبز، خوشه، برگ و مقادیر جزئی مغز و پوسته چوبی و ضایعات نازک چوب می‌باشند، که از باغات

www.SID.ir

Archive of SID

پسته‌ی شهرستان زرند و از ترمینال ضبط پسته «شرکت پسته طلای سبز» جمع‌آوری، در معرض نور خورشید خشک و به آزمایشگاه دانشگاه جیرفت منتقل شد. سپس این ضایعات برای همگن‌سازی به وسیله آسیاب خرد و برای داشتن بقایای یکنواخت در تهیه بیوچار، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. برای تهیه بیوچار، نمونه‌ها به صورت کاملاً فشرده، در یک استوانه فلزی درب‌دار، در شرایط اکسیژن کم، درون کوره الکتریکی قرار داده شد؛ بعد از رسیدن دمای کوره به ۴۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت در این شرایط قرار داده شدند. همچنین به منظور کاهش ورود اکسیژن، درب کوره نیز به طور کامل بسته شد تا شرایط اکسیژن‌کم برای انجام فرایند پیرولیز فراهم شود.

برای آماده‌سازی خاک‌های مورد مطالعه در این تحقیق، نمونه‌برداری از خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از دو منطقه با دو بافت مختلف (شنی و لوم سیلتی) انجام شد. برای خاک لوم سیلتی نمونه‌برداری از یکی از مزارع کشاورزی اطراف شهرستان جیرفت در منطقه باستانی کنار صندل با مختصات جغرافیایی (30°56′26″N; 56°31′36″E) و برای خاک شنی نمونه‌برداری از شن‌های روان منطقه‌ی دهزوئیه شهرستان زرند با مختصات جغرافیایی (30°56′26″N ; 56°31′36″E) انجام شد. خاک‌ها پس از هوا خشک شدن از الک ۴/۷۵ میلی‌متری برای ترکیب با بیوچار و کشت گیاه، و همچنین بخشی از خاک برای انجام آزمایش‌های اولیه از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها شامل بافت خاک، pH، هدایت الکتریکی (EC)، مقدار کربن آلی و عناصر فسفر و نیتروژن با استفاده از روش‌های معمول و استاندارد در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. مقدار کربن آلی بیوچار به روش سوزاندن در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس کوره و وزن کردن و با استفاده از ضریب تبدیل ماده آلی به کربن در ضایعات آلی (ضریب ۱/۸۰۳) (Jiménez and García, 1992) تعیین شد و مقدار نیتروژن کل بیوچار به روش کجلدال (Bremner, 1996) اندازه‌گیری شد. مقدار نگهداشت آب در خاک‌ها و بیوچار نیز با استفاده از دستگاه صفحات فشاری (در فشار حدود ۱۰۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. جدول (۱) برخی ویژگی‌های بیوچار و خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های بیوچار و خاک‌های مورد استفاده

پارامتر	واحد	خاک شنی	خاک لوم سیلتی	بیوچار
شن	درصد	۸۹/۹	۲۲/۹	NA
سیلت	“	۱۰/۱	۵۳/۱	NA
رس	“	۰≈	۲۴	NA
کلاس بافت خاک	---	شنی	لوم سیلتی	---
ظرفیت نگهداشت آب	درصد	۱۸/۴۲	۳۳/۷۲	۱۸۲/۸
کربن آلی	“	۰/۶۱	۱/۳۳	۲۶/۳۷
نیتروژن کل	“	۰/۰۳۱	۰/۰۵۸	۲/۱۲
فسفر قابل جذب	$mg\ Kg^{-1}$	۰/۶	۳/۹	۵۵/۶
C:N	---	۱۹/۷	۲۲/۹۳	۱۲/۴۴
پ. هاش (pH)	---	۷/۸	۷/۱	۱۲/۷۳
قابلیت هدایت الکتریکی (EC)	$dS\ m^{-1}$	۲/۶۰	۴/۸۵	۲۸/۵

NA: Not Available

این مطالعه در سال ۱۳۹۷، در گلخانه‌های پژوهشی دانشگاه جیرفت و در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل مقدار بیوچار تولید شده در پنج سطح ترکیب با خاک‌ها (صفر، ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی) بودند. ابتدا با توجه به نوع تیمارها، خاک‌ها به همراه بیوچارها درون وان‌های پلاستیکی به‌منظور انکوباسیون به مدت یک ماه قرار داده شدند، که در این مدت، ضمن آبیاری با آبفشان، خاک درون ظرف‌ها به‌صورت روزانه کاملاً مخلوط شد تا بیوچار به‌طور یکنواخت با خاک‌ها مخلوط و آنکوبه شود. آنکوبه شدن خاک‌ها به منظور یکنواخت شدن مخلوط آن‌ها و نیز پایدار شدن آن در خاک انجام شد. خاک‌ها بعد از آن به داخل گلدان‌هایی با عرض و ارتفاع ۲۴ سانتی‌متر منتقل شدند و در هر گلدان تعداد ۱۰ عدد بذر ذرت جوانه‌دار شده، رقم سیگل کراس ۷۰۴، در عمق حدود ۱ تا ۲ سانتی‌متری کشت شد. پس از استقرار گیاهچه‌ها و در طول فصل رشد، مقدار آب مصرفی بر اساس نیاز گیاه و مقدار آب از دست داده در فرایند تبخیر و تعریق (توزین گلدان‌ها) به گیاه داده شد و آب مصرف شده برای هر گلدان یادداشت شد. کوددهی نیتروژن، فسفر و پتاسیم ۴ مرتبه با حل کردن ۱/۵ گرم در لیتر از کود معمول استفاده شده در منطقه (کود N-P-K (20-20-20+TE) به صورت محلول در آب آبیاری در طول دوره رشد

www.SID.ir

Archive of SID

و نیز یک مرتبه در ابتدای آزمایش بر اساس نیاز گیاه انجام شد. پس از گذشت ۳۰ روز و در مرحله‌ی برداشت گیاه، اندازه‌گیری طول گیاه، شاخص کلروفیل (SPAD) و وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه، انجام شد. همچنین با در نظر گرفتن مقدار آب مصرفی، نسبت بهره‌وری آب بیولوژیک (گرم ماده خشک بر لیتر آب مصرفی) نیز با استفاده از وزن کل گیاه رشد یافته در طول دوره آزمایش و از طریق رابطه ۱ محاسبه شد.

$$\text{بهره‌وری آب} = \frac{\text{وزن خشک گیاه (کیلوگرم)}}{\text{کل آب مصرفی (مترمکعب)}} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در پایان، تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از آزمایش، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج و بحث

تأثیر کاربرد بیوچار در خاک شنی

شکل (۱-الف) شرایط ظاهری و رشد ذرت در تیمارهای مورد مطالعه در خاک شنی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که به طور کلی کاربرد بیوچار، موجب کاهش رشد گیاه و وزن اندام هوایی و ریشه ذرت در خاک شنی شده است (شکل ۲). هرچند افزودن مقدار ۱ درصد بیوچار به این خاک تأثیر جزئی بر کاهش عملکرد گیاه داشت، اما به‌طور کلی با افزایش سطوح کاربرد بیوچار، وزن اندام هوایی، وزن ریشه و طول گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۲- الف، ب، ج)؛ این موضوع در حدی بود که در مقادیر بالای کاربرد بیوچار، رشد گیاه بعد از چند روز متوقف شد که این موضوع به خوبی در شکل (۱) قابل مشاهده است. به تبع این تاثیرات، این روند در مورد بهره‌وری آب نیز مشابه بود (شکل ۲-ه). به‌نظر می‌رسد وجود بیوچار در این خاک به دلیل شوری بالایی که دارد (جدول ۱)، و از آنجاییکه خاک‌های شنی به دلیل ظرفیت نگهداشت آب کم به‌راحتی تحت تأثیر مواد شور قرار می‌گیرند (Gibbs, 2002)، افزایش شوری خاک با افزودن بیوچار به این خاک با محدودیت در جذب آب در اثر پدیده‌ی اسمزی و احتمالاً از طریق ایجاد سمیت برای گیاه، سبب کاهش عملکرد گیاه و بهره‌وری آب شده است. تأثیر کاربرد بیوچار بر مقدار شوری خاک شنی در شکل (۳-الف) نشان داده شده است؛ همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، هرچند کاربرد ۱ درصد بیوچار تأثیر معنی‌داری بر مقدار شوری خاک نداشته است، اما سطوح بیشتر کاربرد این ماده، به‌طور معنی‌داری سبب افزایش مقدار شوری خاک شده بود، و کاربرد ۵ درصد از بیوچار، مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک را بیش از ۱۷۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد و آن را به حدود ۱۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر، یعنی در محدوده خاک‌های شدیداً شور از لحاظ رشد گیاه رساند (USDA-NRCS, 2014)؛ این شوری برای رشد ذرت‌های کشت شده قابل تحمل نبود و در اوایل دوره کشت، رشد گیاهان در این تیمار متوقف شد. حد قابل تحمل شوری برای گیاه ذرت در مراحل مختلف رشد متفاوت است، اما به طور کلی حد تحمل ذرت به شوری خاک حدود ۶ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد (Maas *et al.*, 1983) و در مقادیر بیشتر رشد گیاه (جوانه‌زنی و رشد و نمو) کاهش می‌یابد.

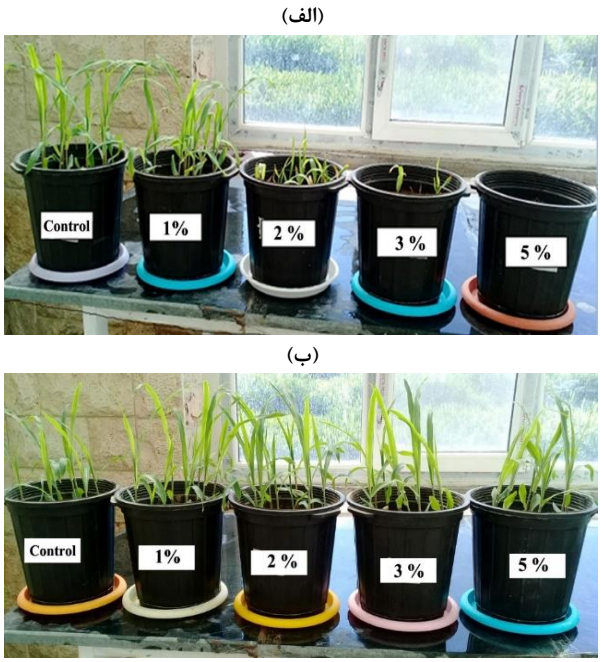
کاربرد مقادیر کم بیوچار نیز تأثیر منفی بر عملکرد گیاه در خاک شنی داشت. افزودن ۱ درصد از بیوچار مورد مطالعه به خاک، عملکرد اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت را به‌ترتیب حدود ۳۰ و ۴۴ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد بیوچار) کاهش داده بود و این نسبت در مورد مقادیر بالاتر کاربرد بیوچار بیش از ۹۰ درصد بود. در مقابل طول گیاه با کاربرد ۱ درصد از بیوچار مورد مطالعه کاهش معنی‌داری نداشت، که این موضوع نشان می‌دهد احتمالاً قطر ساقه گیاه ذرت با افزودن بیوچار به خاک شنی کاهش یافته است و در حقیقت بوته‌ها در این تیمار نسبت به شاهد نحیف‌تر (ضعیف‌تر) بوده‌اند. مقادیر بیشتر بیوچار، به مقدار زیادی سبب کاهش طول گیاه شده بود، به‌گونه‌ای که افزودن ۲، ۳ و ۵ درصد از بیوچار به خاک شنی موجب کاهش معنی‌دار ۷۳، ۸۷ و ۹۷ درصدی طول گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. نتایج همچنین نشان داد که کاربرد بیوچار ضایعات برداشت پسته در خاک شنی موجب کاهش درجه سبزینگی و سطح کلروفیل در گیاه شده است، که این موضوع در شکل (۱) و شکل (۲-د) قابل مشاهده می‌باشد. در مقادیر بالای کاربرد بیوچار، در زمان برداشت، برگ سبز مناسبی برای اندازه‌گیری شاخص SPAD در گیاه وجود نداشت اما بررسی نتایج در مورد این شاخص در تیمار ۱ درصد بیوچار نشان داد که این تیمار موجب کاهش معنی‌دار ۸ درصدی شاخص SPAD در مقایسه با تیمار شاهد شده است. به‌نظر می‌رسد تنش اعمال شده به گیاه ناشی از افزایش شوری خاک در پی افزودن بیوچار در خاک شنی، زیاد بوده است که با تأثیر بر فیزیولوژی گیاه، رشد آن را مختل کرده است. این موضوع خود سبب کاهش بهره‌وری آب مصرفی در این خاک شد و همانطور که در شکل (۲-ه) مشاهده می‌شود، روند تأثیر کاربرد بیوچار پسته بر بهره‌وری آب در گیاه ذرت در خاک شنی، روندی مشابه با عملکرد ریشه و اندام هوایی گیاه داشت و به شدت با افزایش سطوح کاربرد بیوچار در این خاک کاهش یافته بود. هرچند با توجه به ماهیت خاک شنی و بنا آنچه که در بخش مواد و روش‌ها گفته شد، مقدار آب بیشتری در خاک شنی برای آبیاری گیاهان استفاده شد، اما در این تحقیق آبیاری به گونه‌ای

www.SID.ir

Archive of SID

انجام شد که آبشویی حداقل باشد و آبیاری بیشتر در خاک شنی تأثیر کاهنده‌ای بر مقدار شوری خاک نداشت، که بتواند موجب کاهش اثرات مخرب شوری بر گیاه شود؛ فرضیه‌ی اولیه تحقیق حاضر این بود که کاربرد بیوچار می‌تواند موجب بهبود شرایط خاک و افزایش عملکرد گیاه در هر دو خاک شود، اما در حین انجام آزمایش مشاهده شد که کاربرد بیوچار در خاک شنی اثر نامطلوبی بر عملکرد گیاه ذرت دارد و به‌همین منظور و با هدف پیدا کردن دلیل این نتیجه مشخص شد که مقدار شوری خاک در اثر کاربرد بیوچار به مقدار معنی‌داری افزایش یافته است و این موضوع می‌تواند دلیل کاهش عملکرد گیاه باشد. از طرفی هرچند نگهداشت آب تحت تأثیر کاربرد بیوچار در خاک شنی زیاد شده بود (شکل ۳-ب) و مقدار آن در سطح ۲، ۳ و ۵ درصد کاربرد در مقایسه با شاهد حدود ۲۰، ۲۶ و ۳۳ درصد افزایش نشان داد، اما تأثیر منفی ناشی از تنش شوری در این خاک، کاهش عملکرد و در نتیجه کاهش بهره‌وری آب را در پی داشت.

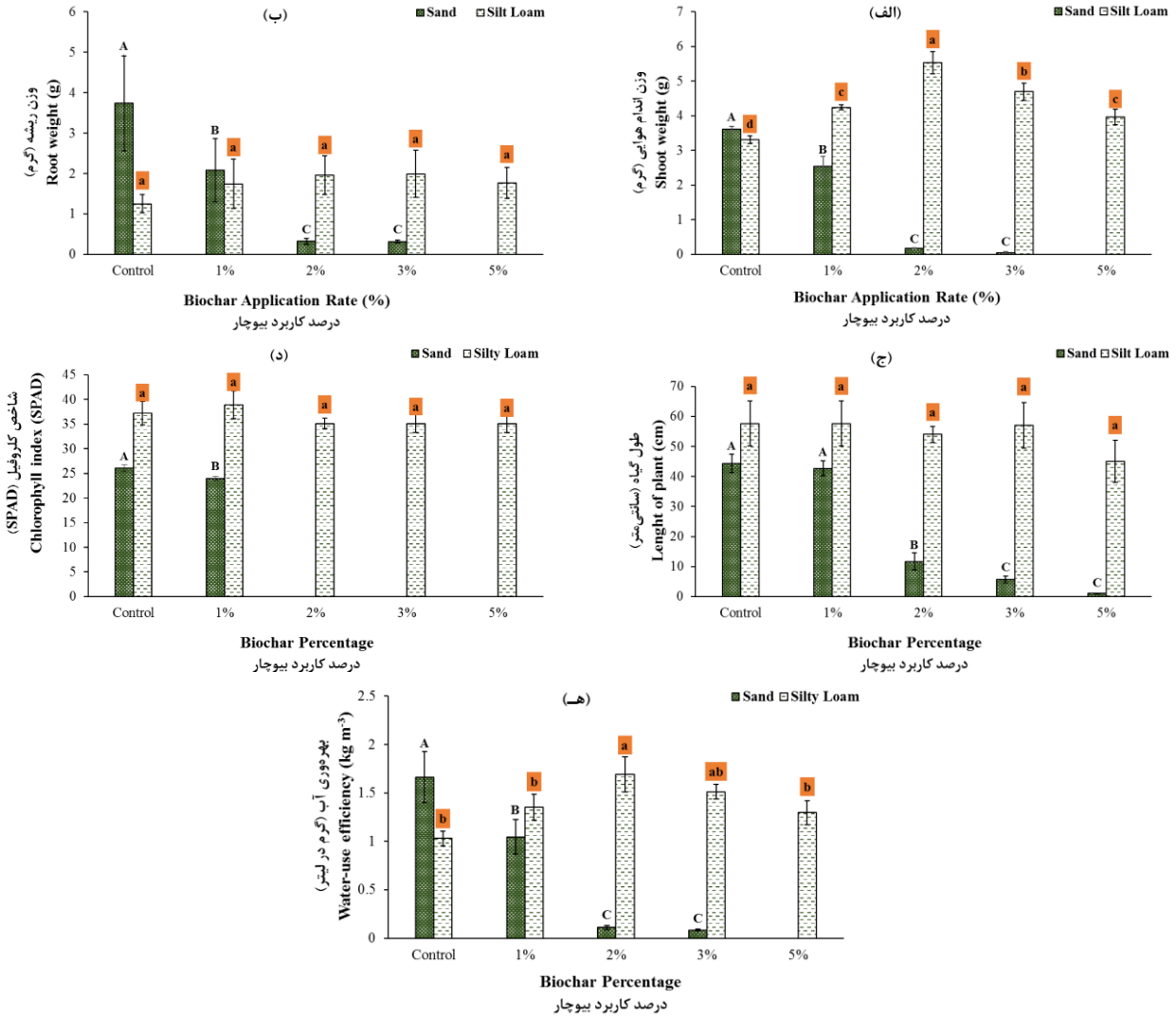
طبق گزارشات موجود، تأثیر بیوچار بر عملکرد گیاه به فاکتورهای مختلفی از جمله وضعیت حاصلخیزی اولیه خاک، بافت خاک، دمای تهیه بیوچار و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار و حتی نوع گیاه بستگی دارد و می‌تواند سبب افزایش یا کاهش عملکرد گیاه شود (Khadem *et al*., 2017). نتایج این بخش از پژوهش با نتایج Rajkovich *et al*. (2012) همخوانی داشت. Fernandes *et al*. (2019) نیز در بررسی کاربرد سطوح مختلف بیوچار کود مرغی در یک خاک، گزارش کردند افزایش سطح کاربرد این ماده در خاک، موجب افزایش مقدار شوری و نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم تبادلی (ESP) در خاک می‌شود، هرچند در سطوح بالای کاربرد این بیوچار، همچنان خاک مورد مطالعه در محدوده خاک‌های غیرشور قرار داشت. در این رابطه Khademi Jolgenejad *et al*. (2019) نیز با بررسی تأثیر بیوچار اجزای مختلف پسته شامل تفاله پسته (ضایعات برداشت)، پوست سخت پسته و چوب پسته به این نتیجه رسیدند تمامی بیوچارها به‌طور معنی‌داری سبب افزایش شوری خاک مورد مطالعه شده بودند. در این مطالعه، کاربرد بیوچار تفاله پسته بیشترین تأثیر را بر افزایش شوری خاک داشت و این تیمار مقدار این پارامتر را در اوایل دوره آزمایش (ماه اول) در حدود ۲ برابر در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) افزایش داده بود. همچنین Biederman and Harpole, (2013) در بررسی ۲۰ مقاله مختلف در رابطه با تأثیر کاربرد بیوچار بر باروری خاک و رشد گیاهان مختلف، گزارش کردند که ۸ مورد از این مطالعات تأثیر منفی کاربرد بیوچار بر باروری خاک را گزارش کرده بودند، ۱۰ مورد از تأثیر مثبت و ۲ مورد نیز بدون تأثیر بودند. انتخاب و استفاده از خاک کاملاً شنی (با مقدار شن حدود ۹۰ درصد) در این تحقیق، با هدف داشتن یک شرایط همگن در مشاهده تأثیر مستقیم ترکیب بیوچار با خاک بود. این خاک همچنین به‌عنوان یک منبع اصلاحی در بهبود شرایط خاک‌های سنگین در مزارع و باغات نیز استفاده می‌شود. اما خوب است که این پژوهش در مورد خاک‌های شنی زراعی نیز انجام شود، هرچند داده‌های این بخش از تحقیق، این موضوع را تایید کرد که در کاربرد بیوچارها به ویژه بیوچار مورد مطالعه در خاک‌های شنی باید حساسیت بیشتری داشت و تحقیقات گلخانه‌ای پیش از کاربرد بیوچارها در مقیاس مزرعه‌ای لازم و ضروری می‌باشد.



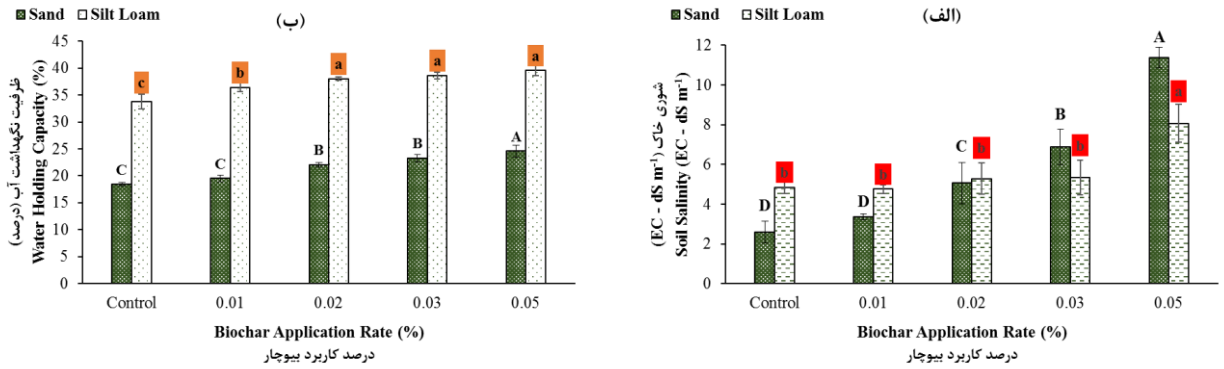
شکل ۱- شرایط ظاهری و رشد گیاهان ذرت در تیمارهای مورد مطالعه در پایان دوره آزمایش در خاک شنی (الف) و خاک لوم سیلتی (ب)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف کاربرد بیوچار بر وزن اندام هوایی (الف)، وزن ریشه (ب)، طول ساقه (ج)، شاخص کلروفیل (د) و بهره‌وری آب (ه) گیاه ذرت در دو خاک شنی (Sand) و لوم سیلتی (Silt Loam) (در هر خاک، میانگین‌ها با حروف انگلیسی یکسان تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند)



شکل ۳- شوری (الف) و ظرفیت نگهداشت آب (ب) تحت تأثیر کاربرد سطوح مختلف بیوچار پسته در دو خاک شنی (Sand) و لوم سیلتی (Silt Loam)
(در هر خاک، میانگین‌ها با حروف انگلیسی یکسان تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند)

تأثیر کاربرد بیوچار در خاک لوم سیلتی

نتایج این بخش از تحقیق نشان داد هرچند افزودن بیوچار ضایعات برداشت پسته در خاک لوم سیلتی تا حدودی سبب تأثیر بر مقادیر وزن ریشه، طول گیاه و میزان کلروفیل برگ شده بود، اما این تفاوت‌ها در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار نبود (شکل ۲). در مقابل کاربرد بیوچار موجب افزایش رشد گیاه و وزن اندام هوایی شد (شکل ۲-الف). روند تغییرات وزن اندام هوایی و وزن ریشه گیاه ذرت در خاک لوم سیلتی با کاربرد بیوچار در ابتدا یک

www.SID.ir

Archive of SID

روند افزایشی و سپس روند کاهشی بود، اما این موضوع تنها در مورد وزن اندام هوایی گیاه معنی‌دار و تفاوت‌های موجود در وزن ریشه تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه معنی‌دار نبود. همانطور که شکل (۲-الف) نشان می‌دهد، روند تغییرات وزن اندام هوایی گیاه در تیمارها یک روند افزایشی و سپس کاهشی بود، اما حتی در مقادیر ۵ درصد کاربرد بیوچار مورد مطالعه در این خاک، همچنان تفاوت بین وزن اندام هوایی گیاه ذرت با مقدار آن در تیمار شاهد معنی‌دار بود و این تیمار افزایش حدود ۲۰ درصدی وزن اندام هوایی را در مقایسه با تیمار شاهد در پی داشت. روند تغییرات بهره‌وری آب نیز تا حدود زیادی شبیه به وزن اندام هوایی گیاه بود؛ اما فقط افزایش ناشی از کاربرد ۲ درصد بیوچار در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود و (شکل ۲-ه)؛ این تیمار مقدار بهره‌وری آب در گیاه ذرت را حدود ۶۵ درصد افزایش داد و افزایش این شاخص در اثر کاربرد دیگر تیمارها در مقایسه با شاهد معنی‌دار نبود. به‌نظر می‌رسد که وجود بیوچار در این خاک ضمن افزایشِ در دسترس بودن آب و مواد غذایی برای گیاه، موجب بهبود شرایط رشدی گیاه ذرت شده است، اما سطوح بالاتر بیوچار، به دلیل تأثیر شوری بالای بیوچار (جدول ۱) موجب ایجاد سمیت یا کاهش جذب آب در اثر پدیده‌ی اسمزی شده است. تأثیر کاربرد سطوح مختلف بیوچار بر مقدار شوری خاک لوم سیلتی در شکل (۳-الف) نشان داده شده است. همانطور که این شکل نشان می‌دهد، هرچند افزایش سطح کاربرد بیوچار در خاک لوم سیلتی سبب افزایش مقدار شوری در این خاک شده است، اما تنها سطح پنج درصد بیوچار افزایش معنی‌داری مقدار شوری خاک را در پی داشته است و مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک را بیش از ۶۶ درصد افزایش داد (شکل ۳-الف). در مقابل کاربرد بیوچار موجب تأثیر مثبت بر نگهداشت آب در این خاک شد (شکل ۳-ب)، و نتایج این بخش از تحقیق نشان می‌دهد افزودن بیوچار به خاک لوم سیلتی افزایش معنی‌داری مقدار نگهداشت آب در تمامی سطوح مورد مطالعه را در پی داشته است، به طوری که سطح ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد به‌ترتیب موجب افزایش ۷/۸، ۱۲/۶، ۱۴/۵ و ۱۷/۲ درصدی این ویژگی در مقایسه با شاهد شده بود. تأثیر مثبت بیوچار بر نگهداشت آب در هر دو خاک می‌تواند ناشی از توان این ماده در نگهداشت آب و در حقیقت جاذب‌الرطوبت بودن بیوچار باشد. همانطور که در جدول (۱) نیز آورده شده است، هر گرم از بیوچار مورد مطالعه تقریباً می‌تواند حدود ۱/۸ گرم آب را در خود جذب کند.

Karter *et al.* (2013) نیز گزارش کردند، کاربرد سطوح ۲۵، ۵۰ و ۱۵۰ گرم در کیلوگرم بیوچار تولید شده از پوسته برنج، سبب افزایش وزی‌توده اندام هوایی و زی‌توده ریشه در گیاهان کاهو و کلم در مقایسه با شاهد (بدون مصرف بیوچار) شد، که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. نتایج این تحقیق همچنین با مشاهدات محققین دیگری نیز همخوانی داشت (Uzoma *et al.*, 2011). در مقابل در این رابطه Khanmohammadi *et al.* (2017) نیز با بررسی سطوح مختلف لجن فاضلاب و بیوچار حاصل از آن، به این نتیجه رسیدند که هرچند افزودن سطوح کم و متوسط بیوچار تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گیاه ذرت نداشت، اما افزایش سطوح کاربرد بیوچار به ۲۹ تن در هکتار موجب کاهش حدود ۱۲ درصدی عملکرد گیاه در مقایسه با شاهد شد.

به‌طور کلی تبدیل مواد آلی به بیوچار، موجب افزایش شوری آن‌ها می‌شود و این موضوع می‌تواند بسته به نوع ماده اولیه متفاوت باشد. به‌عنوان مثال Forouhar *et al.* (2018) در یک مطالعه، با تبدیل سه ماده کمپوست، لجن فاضلاب و کود گاوی به بیوچار، مشاهده کردند که تبدیل همهٔ این مواد به بیوچار موجب افزایش مقدار شوری آن‌ها شد و دلیل این موضوع را ناشی از تخریب حرارتی ترکیبات موجود در مواد اولیه و نیز حضور احتمالی خاکستر، در بیوچار اعلام کردند. این پژوهشگران بیشترین افزایش در مقدار شوری را در در اثر تبدیل کود گاوی به بیوچار مشاهده کردند و مقدار شوری این ماده بعد از تبدیل شده به بیوچار از حدود ۲۲ دسی‌زیمنس بر متر به حدود ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت. همچنین نتایج این پژوهشگران نشان داد، با وجود اینکه بیشترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به بیوچار حاصل از کود گاوی (۴۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر) بود، اما تأثیر آن بر مقدار شوری خاک کمتر از بیوچار حاصل از کمپوست (با هدایت الکتریکی ۹/۵ دس‌زیمنس بر متر) بود. بنابراین این موضوع نشان می‌دهد که اصول و تأثیر کاربرد بیوچارها بر خاک، می‌تواند متفاوت از ماده خام اولیه باشد و متعاقب آن این موضوع می‌تواند تأثیر متفاوتی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد. تحقیق حاضر نیز این موضوع را نشان داد که، این تاثیرات می‌تواند در خاک‌های مختلف هم متفاوت باشند.

نتیجه‌گیری

تأثیر بیوچار ضایعات برداشت پسته بر رشد گیاه در این تحقیق نشان داد که این ماده می‌تواند در سطوح پایین و متوسط در خاک‌های با بافت متوسط، موجب بهبود رشد گیاه شود. سطوح بالاتر بیوچار موجب تأثیر منفی بر شرایط رشد گیاه شده و این تأثیر منفی در خاک شنی بیشتر از خاک لوم‌سیلتی بوده است. نتایج این تحقیق در خاک لوم سیلتی نشان داد که علی‌رغم کاهش رشد گیاه در سطح ۵ درصد بیوچار نسبت به سطوح ۲ و ۳ درصد، عملکرد و بهره‌وری آب گیاه در این سطح از کاربرد

www.SID.ir

Archive of SID

بیوچار، همچنان بیش از شاهد بودند، اما با درنظر گرفتن هزینه‌های تولید بیوچار و نیز عملکرد بیشتر ذرت در مقادیر متوسط (۲ درصد)، این سطح از کاربرد بیوچار در این خاک‌ها بیشتر توصیه می‌شود. بنابراین می‌توان بخش زیادی از ضایعات برداشت پسته را با تبدیل به بیوچار در خاک (به ویژه در خاک‌های با بافت متوسط)، به عنوان اصلاح‌کننده استفاده نمود. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد که کاربرد بیوچار در خاک‌های مختلف می‌تواند تأثیر متفاوتی داشته باشد و به دلیل شوری موجود در بیوچارها که ناشی از آزاد شدن مواد محلول در فرایند پیرولیز می‌باشند، در استفاده از بیوچارها در خاک‌های سبک بافت، باید حساسیت و احتیاط بیشتری به خرج داد زیرا ظرفیت نگهداشت آب کم در خاک‌های سبک‌بافت، تأثیر منفی اضافه کردن این مواد بر مقدار شوری خاک و متعاقباً بر عملکرد گیاه کشت شده در آن‌ها را تشدید می‌کند. اما در مقابل، این ماده می‌تواند در خاک‌های با بافت ریزتر، با رعایت مقدار مصرف، موجب بهبود ویژگی‌های رطوبتی و در نتیجه افزایش عملکرد و بهره‌وری آب شود؛ هرچند می‌طلبد تحقیقات تکمیلی در مزرعه در این زمینه انجام شود. این تحقیق نشان داد که کاربرد بیوچار در خاک‌های با بافت متوسط با بهبود نگهداشت آب در خاک و احتمالاً اصلاح شرایط تغذیه‌ای خاک، می‌تواند موجب بهبود رشد گیاه شود، اما سطوح زیاد کاربرد آن می‌تواند از طریق تأثیر بر شوری خاک تاثیرات منفی بر رشد گیاه داشته باشد. اما در مورد خاک شنی مورد مطالعه، هرچند نگهداشت آب بهبود یافته بود، اما غالب بودن اثر منفی کاربرد بیوچار بر شوری خاک، به ویژه در سطوح ۲، ۳ و ۵ درصد، موجب تأثیر منفی زیاد بر عملکرد گیاه و درنتیجه بهره‌وری آب شد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D. and Hipps, N.A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils, A review. *Plant and Soil*, 337, 1-18.

Biederman, L.A. and Harpole, W.S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*, 5, 202–214.

Blackwell, P., Shea, S. , Storer, P.Z., Solaiman, Z., Kerkmans, M. and Stanley, I. (2007). Improving wheat production with deep banded oil mallee charcoal in Western Australia. In *First Asia Pacific Biochar Conference,Terrigal, Australia*, (Vol. 30).

Bohluli, A., Naserian, A., Valizadeh, R. and Eftekhari, F. (2009). The effect of pistachio by-product on nutrient apparent digestibility, rumination activity and performance of Holstein dairy cows in early lactation. *Journal of Crop Production and Processing*, 13(47), 167-179. (In Farsi).

Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-Total. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johmston, and M.E. Sumner (Eds.), *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. (pp. 1085-1121). Soil Science Society of America Book Series, Madison, WI 53711 USA.

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.

Foroogh Ameri, N. (1997). Study on the nutritive value and digestibility of dried and silage form of Pistachio epicarpe. M.S. issertation, Isfahan University of Technology. (In Farsi)

Forouhar, M., Khorassani, R., Fotovat, A., Shariatmadari, H. and Khavazi, K. (2018). The influence of different biochars and their feedstock on some soil chemical properties and nutrients over the time in a calcareous soil. *Journal of Water and Soil*, 32(2), 299-312. (In Farsi)

Gao, Y., Shao, G., Lu, J., Zhang, K., Wu, Sh. and Wang, Zh. (2020). Effects of biochar application on crop water use efficiency depend on experimental conditions: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 249–107763.

Gibbs, S. (2002). How to texture soils and test for salinity. Salt Action, Forbes. *Salinity notes*, No. 8.

Glaser, B. (2007). Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1478), 187-196.

Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35 (4), 219-230.

Gundale, M.J. and Deluca, T.H. (2006). Temperature and source material influence ecological attributes of ponderosa pine and Douglas-fir charcoal. *Forest Ecology and Management*, 231(1), 86-93.

Hokmabadi, H. (2018). Pistachio wastes in Iran and the potential to recapture them in value chain. *Pistachio and Health Journal*, 1(4), 1-12.

Jiménez, E. I. and García, V. P. (1992). Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse composts. *Bioresource Technology*, 41, 265-272.

Joseph, S.D., Camps-Arbestain, K.M. Lin, Y., Munroe, P., Chia, C.H., Hook, J., Van Zwieten, L., Kimber, S., Cowie, A., Singh, B.P., Lehmann, J., Foidl, N., SmernikI, R.J. and Amonette, J.E. (2010). An investigation into the reactions of biochar in soil. *Australian Journal Soil Research*, 48, 501-515.

Karhu, K., Mattila, T., Bergstrom, I. and Regina, K. (2011). Biochar addition to agricultural soil

www.SID.ir

Archive of SID

increased CH_4 uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140(1), 309-313.

Karter, J., Wimmer, B., Zehetner, F., Kloss, S. and Soja, G. (2013). Biochar application to temperate soils: effects on nutrient uptake and crop yield under field conditions. *Agricultural and Food Science*, 22, 390-403.

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 Farsi)

Khademi Jolgenejad, A., Fekri, M. and Mahmoodabadi, M. (2019). The effect of different pistachio wastes biochar application on some fertility properties of a Loam soil. *Iranian Journal od Soil and Water Research*, 50(1), 231-246. (In Farsi)

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.

Lehmann, J. and Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: *Science and Technology*. Earth Scan Pub. London.

Lehmann, J., Gaunt, J. and Rondon, M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems-a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(2), 403-427.

Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C. and Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836.

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizão, F.J., Petersen, J. and Neves, E.G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70 (5), 1719-1730.

Maas, E.V., Hoffman, G.J., Chaba, G.D., Poss, J.A. and Shannon, M.C. (1983). Salt sensitivity of corn at various growth stages. *Irrigation Science*, 4, 45-57.

Major, J., Steiner, C., Downie, A. and Lehmann, J. (2009). Biochar effects on nutrient leaching. In J. Lehmann, and S. Joseph (Eds.), *Biochar for Environmental management:* Science and Technology. (pp. 271-288). Earth Scan Pub. London.

Miri, F. and Zamani, J. (2020). Effects of pyrolysis temperatures on some properties of Biochar of pistachio waste. *Journal of Agricultural Engineering*, 43(1), 81-95. (In Farsi)

Moradi, N., Rasouli-Sadaghiani, M.H. and Sepehr, E. (2017). Effect of biochar types and rates on some soil properties and nutrients availability in a calcareous soil. *Journal of Water and Soil*, 31(4), 1232-1246. (In Farsi)

Mukherjee, A. and Lal, R. (2013). Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*, 3(2), 313-339.

Pietikainen, J., Kiikkila, O. and Fritze, H. (2000). Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. *Oikos*, 89, 231–242.

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.

Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E. and Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. Chapter2: In D.L. SPARKS (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 105). (pp. 47-82) Elsevier Inc. Academic Press, Burlington.

Taghizadeh-Alisaraei, A., Alizadeh Assar, H., Ghobadian, B. and Motevali, A. (2017). Potential of biofuel production from pistachio waste in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 510-522.

USDA-NRCS. (2014). Soil Electrical Conductivity, Soil Health - Guide for educators. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A. and Nishihara, E. (2011). Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use Manage*, 27, 205-212.

Vaccari, F.P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F. and Miglietta, F. (2011). Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 231-238.

Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K., Downie, A., Rust, J., Joseph, S. and Cowie, A. (2009). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*, 327, 235-246.

Verheijen, F.G.A., Jeffery, S., Bastos, A.C., Van Der Velde, M. and Diafas, I. (2010). *Biochar Application to Soils – A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions.* EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities. Luxembourg.

Yazdanpanahi, A., Ahmadaali, Kh., Zare, S. and Jafari, M. (2019). The effect of two different biochars on the soil physical properties affecting irrigation management in desert regions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(4), 965-975. (In Farsi)

Yu, L., Tang, J., Zhang, R., Wu, Q. and Gong, M. (2013). Effects of biochar application on soil methane emission at different soil moisture levels. *Biology and Fertility of Soils*, 49, 119-128.

www.SID.ir