تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۳ | شماره ۱ | فروردین ۱۴۰۱ (ص ۹۷-۸۵)

https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.335796.669162

(مقاله علمی - پژوهشی)

Investigation the Effects of Date Palm Leaves and It's Biochar on Yield and Water Use Efficiency of Forage Corn

PARIYA NASIMI[1], AHMAD KARIMI[1*], ZAHRA GERAMI[1]

1. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

(Received: Dec. 18, 2021- Revised: Jan. 26, 2022- Accepted: Jan. 30, 2022)

ABSTRACT

Biochar plays an important role in the optimal use of water in agriculture and improving plant yield and water use efficiency. Therefore, the aim of this study was to investigate the effects of palm leaf and it's biochar on yield, yield components and water use efficiency of forage corn in a sandy clay loam soil under the same conditions. Experiment with a completely randomized design with two types of modifiers of palm leaf and it's biochar at six levels (control, 0.5, 1, 2, 3 and 4.5% by weight of date leaf treatments C_0, D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, respectively and treatments C_0, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5) were performed in three replications as a greenhouse experiment. Characteristics of height, stem diameter, wet and dry weight of shoots, root weight and volume were measured .Water use efficiency base on dry matter yield were calculated. The results showed that the effects of date palm leaves and biochar on the yield and its components, water use efficiency based on the dry matter yield of shoots and roots are significant at the level of 1%. The most effect of biochar and date palm leaf dry matter on shoot dry matter yield has observed in B_5, wet plant yield in D_2, root dry matter in D_1, root volume and stem diameter in B_5 and maximum plant height in B_1 and B_2. Also, the highest water use efficiency of plant is related to B_5, which has increased the water use efficiency by 3.6% as compared to the control. It was while D_1 improved root water use efficiency. The results showed that use of 4.5% by weight of biochar improved the yield and water use efficiency of the shoot and biochar can be used by increasing the amount of yield and water use efficiency in forage corn by considering its optimal amount.

Keywords: Biochar, Consuming Water, Forage Corn, Water Consumption Efficiency, Yield.

*Corresponding Author's Email: karimiahmad1342@sku.ac.ir

اثرات برگ خرما و بیوچار حاصل از آن بر عملکرد و کارآیی مصرف آب ذرت علوفه‌ای

پریا نسیمی[۱]، احمد کریمی[۱*]، زهرا گرامی[۱]

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۷- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۶- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۱/۱۰)

چکیده

بیوچار نقش مهمی در استفادهٔ بهینه از آب در بخش کشاورزی و بهبود عملکرد گیاه و کارایی مصرف آب گیاهان دارد. ازاین‌رو، این پژوهش با هدف بررسی اثرات کاربرد برگ‌خرما و بیوچار حاصل از آن بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای در یک خاک لوم‌رسی شنی در شرایط یکسان بررسی گردید. آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با دو نوع ماده اصلاحی برگ خرما و بیوچار حاصل از آن هر کدام در شش سطح (شاهد، ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴/۵ درصد وزنی به ترتیب تیمارهای برگ خرما C_0، D_1، D_2، D_3، D_4 و D_5 و تیمارهای C_0، B_1، B_2، B_3، B_4، B_5) و در سه تکرار به‌صورت آزمایش گلخانه‌ای انجام گرفت. ویژگی‌های ارتفاع، قطر ساقه، وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه، وزن و حجم ریشه اندازه‌گیری شد و کارایی مصرف آب گیاه بر اساس عملکرد ماده خشک محاسبه شد. نتایج نشان داد بیشترین تأثیر بیوچار و ماده خشک برگ خرما در عملکرد ماده خشک اندام هوایی در تیمار B_5، عملکرد تر در تیمار D_2، ماده خشک ریشه در تیمار D_1، بیشترین حجم ریشه و قطر ساقه در تیمار B_5، قطر ساقه در تیمار B_5 و بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار B_1 و B_2 به دست آمد. همچنین بیشترین کارایی مصرف آب گیاه در تیمار B_5 به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد کارایی مصرف آب را ۳/۶ درصد افزایش داد. نتایج نشان داد که مصرف ۴/۵ درصد وزنی بیوچار سبب بهبود عملکرد و کارایی مصرف آب اندام هوایی گیاه شد و از بیوچار می‌توان با درنظرگرفتن مقدار بهینهٔ مصرف آن در افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در ذرت علوفه‌ای استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آب مصرفی، بیوچار، عملکرد، ذرت علوفه‌ای، کارایی مصرف آب.

مقدمه

استفاده از آب در بخش کشاورزی تقریباً سهم ۷۰ درصدی از کل برداشت آب‌های شیرین و بیش از ۹۰ درصد در اکثر کشورهای کمتر توسعه‌یافته را تشکیل می‌دهد که استفادهٔ بهینه از آب، نقش مهمی در حیات بشر ایفا می‌کند، زیرا علاوه بر منابع آب، باعث افزایش سطح زیر کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده و افزایش تولید را به همراه خواهد داشت (Baiamonte *et al.*, 2020). همچنین با رشد رو به افزون جمعیت و نیاز به تولیدات دامی، افزایش تولید در گیاهان علوفه‌ای ضروری است که برای دستیابی به تولید مطلوب در زراعت ذرت استفاده بهینه از منابع آب اجتناب‌ناپذیر است؛ بنابراین، گسترش فن‌آوری‌های نوآورانه کشاورزی جهت انجام اقدامات مؤثر برای مدیریت کم‌آبی، دستیابی به امنیت غذایی و افزایش تولیدات دامی، به اولویت اصلی تحقیقات تبدیل‌شده است (Wang *et al.*, 2017; Gao *et al.*, 2020).

بیوچار[۱] (زغال زیستی) برای افزایش بهره‌وری مصرف آب و بهبود عملکرد محصول در شرایط کمبود آب مورداستفاده قرار می‌گیرد. بیوچار یک ترکیب آلی غنی از کربن است که از منابع مختلف ماده آلی هر نوع زیست‌توده تحت شرایط فقدان اکسیژن یا حضور جزئی آن، که در اصطلاح گرماکافت گفته می‌شود، به دست می‌آید (Pandey *et al.*, 2020). تجزیه بسیار کند آن در خاک، بیوچار را از سایر مواد آلی متمایز می‌سازد ولی نقش آن در خاک همانند سایر مواد آلی گزارش شده است (Downie *et al.*, 2009; Atkinson *et al.*, 2010). استفاده از بیوچار در خاک‌های کشاورزی این پتانسیل را دارد که با تغییر خصوصیات فیزیکی (Nasimi *et al.*, 2019; Esvand Rajabi *et al.*, 2020; Osooli *et al.*, 2022)، شیمیایی و زیستی خاک موجب بهبود حاصلخیزی خاک شده و با افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و فراهمی عناصر غذایی موردنیاز گیاه سبب افزایش عملکرد گیاه و بهره‌وری از خاک‌ها شود (Case *et al.*, 2012; Mukherjee *et al.*, 2013; Obia *et al.*, 2016; Ouyang *et al.*, 2013; Tanure *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2020). تأثیر بیوچار بر عملکرد گیاه به فاکتورهای مختلف از جمله وضعیت

* نویسنده مسئول: karimiahmad1342@sku.ac.ir

1- Biochar

حاصلخیزی اولیه خاک، بافت خاک، دمای تهیه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار و حتی نوع گیاه بستگی دارد و می‌تواند باعث افزایش یا کاهش عملکرد گیاه شود (Laird, 2008).

در مطالعات انجام‌شده طیف وسیعی از مقادیر مصرف (۵ تا ۵۰ تن در هکتار) بیوچار گزارش شده که عموماً بر اثرات مثبت کاربرد مصرف آن بر عملکرد محصول دلالت دارند. بااین‌حال غالباً مصرف بیشتر بیوچار با نتایج بهتر همراه شده است (Major et al., 2010). تحقیق (Zhang et al., 2013) با کاربرد بیوچار حاصل از کاه و کلش گندم در دمای ۳۵۰ تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد (سطوح ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) در یک خاک آهکی فقیر از لحاظ عناصر غذایی و مواد آلی گزارش کردند که عملکرد دانه ذرت به ترتیب ۱۵/۸ درصد و ۷/۳ درصد افزایش پیدا کرد. مصرف کود اوره به همراه بیوچار، عملکرد را به میزان ۸/۸ و ۱۲/۱ درصد افزایش داد. Uzoma et al (2011)، در بررسی اثرات بیوچار کود گاوی بر عملکرد ذرت، جذب عناصر غذایی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شنی در شرایط گلخانه گزارش کردند که کاربرد بیوچار و افزایش سطوح کاربرد، به طور معنی‌داری رشد، عملکرد ذرت و کارایی مصرف آب را افزایش و باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود.

تحقیقات Jeffery et al., (2011) and Obia et al., (2016) نشان داد که تأثیرگذاری بیوچار بر افزایش رشد گیاه به خصوصیات بیوچار، نوع خاک، شرایط اقلیمی و نوع گیاه بستگی دارد. بهبود شرایط رطوبتی و افزایش ظرفیت خاک در نگهداری رطوبت ممکن است از دلایل اصلی افزایش رشد و عملکرد گیاه باشد (Chen et al., 2011; Jeffery et al., 2011). در تحقیقات انجام شده، اثرات کاربرد بیوچار بر عملکرد دانه و زیست‌توده، بسته به نوع رقم، خصوصیات بیوچار و شرایط تغذیه‌ای خاک متفاوت گزارش شده است. کاربرد بیوچار بدون کوددهی خاک، بر عملکرد محصول اثر نداشته و در بعضی تحقیقات بیوچار با کوددهی باعث کاهش عملکرد شده است (Van Zwieten et al., 2010; Gaskin et al., 2010).

Bagheri et al., (2021) با استفاده از بیوچار برگ خرما در چهار سطح صفر، ۰/۱۹، ۰/۲۴ و ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار در مترمربع، عملکرد طالبی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد تیمار ۰/۲۴ کیلوگرم بیوچار در مترمربع، کارایی مصرف آب، صفات وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، طول ریشه و وزن متوسط میوه را به ترتیب به میزان ۸۸، ۷۷، ۳۲، ۱۰۰، ۸۴، ۵۷ و ۸۴ درصد نسبت به تیمار بدون بیوچار و ۶۰ درصد نیاز آبی افزایش داد. همچنین Farhangi-Abriz et al., (2021) در یک مطالعه مروری نشان دادند بیوچار عملکرد دانه ذرت و گندم را در مقایسه با شاهد، به ترتیب ۲۸ و ۱۳ درصد افزایش داد و مؤثرترین نرخ کاربرد بیوچار بین ۱ تا ۱۰ تن در هکتار بوده که به طور قابل‌توجهی عملکرد بیولوژیکی را ۳۸ درصد بهبود بخشیده است. Ren et al., (2021) اثرات بیوچار بر سیستم ریشه و ویژگی‌های رشد تنباکو را با کاربرد سطوح مختلف کاربرد بیوچار شامل ۶۰۰، ۱۲۰۰، ۱۸۰۰، ۲۴۰۰ و ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بررسی کردند. نتایج نشان داد در مقایسه با شاهد، استفاده از ۱۸۰۰ کیلوگرم در هکتار بیوچار توانسته است سطح کل ریشه را ۹۱ درصد افزایش دهد.

کاربرد کود مرغی و بیوچار حاصل از آن در تحقیق Inal et al., (2015) سبب بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک و افزایش ۱۵ درصدی رشد لوبیا و ۱۲ درصدی ذرت نسبت به تیمار شاهد شد. Gunes et al., (2014) گزارش کردند که افزودن ۱۰ گرم در کیلوگرم بیوچار تولیدشده از کود مرغی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش ۱۸ درصدی رشد گیاه کاهو نسبت به شاهد شد. نتایج تحقیقات Uzoma et al., (2011) نشان داد که کاربرد ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار کود گاوی در یک خاک شنی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت به مقدار ۱ و ۱/۵ برابر در مقایسه با شاهد شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کاربرد بیوچار باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از جمله افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک، جذب سدیم و فراهمی بهتر عناصر غذایی خاک برای گیاه می‌شود، ولی اولاً این بررسی ها بسیار اندک هستند و ثانیاً اثرات بیوچار بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به نوع ماده آلی اولیه و شرایط گرماکافت آن بستگی دارد (Liu and Zhang, 2012). باتوجه‌به اینکه اغلب خاک‌های ایران دارای کمتر از یک درصد ماده آلی هستند (Mirzashahi and Bazargan, 2015)، این مسئله موجب ضعیف شدن کیفیت فیزیکی خاک به‌ویژه ازنظر نگهداری آب در خاک شده است که استفاده از بیوچار موجب بهبود کیفیت فیزیکی خاک می‌شود. تولید بیوچار از بقایای گیاهی و جانوری و ضایعات با مصرف انرژی (Khadem et al., 2017) صورت می‌گیرد که این عوامل محدودکننده در تولید بیوچار است.

با وجود میلیون‌ها اصله نخل و هرس سالانهٔ آن‌ها به وسعت بیش از ۲۰۰ هزار هکتار (Nasimi et al., 2020) در مناطق مختلف کشور به‌ویژه در مناطق جنوبی از جمله خوزستان، این امکان فراهم است که از این بقایا برای تولید بیوچار برگ خرما استفاده شود تا علاوه بر کاهش حجم بقایا و مدیریت آنها، کمک شایانی به افزایش تولید محصولات کشاورزی در شرایط محدودیت کمی و کیفی منابع آبی و خاکی منطقه خوزستان و سایر مناطق مشابه داشته باشد. همچنین بهره‌وری مجدد از بقایای درخت

خرما، موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک گردد. در تحقیقات انجام شده کمتر به بررسی اثرات بیوچار و ماده اولیه‌ای که از آن بیوچار حاصل می‌شود به‌صورت توام به این تأثیرات بر شاخص‌های رشد گیاهی پرداخته شده است؛ لذا این پژوهش با هدف بررسی اثرات سطوح مختلف کاربرد برگ خرما و بیوچار حاصل از آن بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه‌ای در یک خاک لوم رسی شنی در شرایط گلخانه‌ای انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش گلخانه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد انجام شد. خاک از دانشگاه شهرکرد، با موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و از عمق ۳۰ سانتی‌متری تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. خاک هوا خشک شده از الک چهار میلی‌متری برای پرکردن گلدان‌ها و برای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با دو نوع ماده اصلاحی برگ خرما و بیوچار حاصل از آن هر کدام در شش سطح با ۱۱ تیمار (شاهد، ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴/۵ درصد وزنی برگ خرما به ترتیب تیمارهای C_0، D_1، D_2، D_3، D_4 و D_5 و ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴/۵ درصد وزنی بیوچار حاصل از برگ خرما به ترتیب تیمارهای C_0، B_1، B_2، B_3، B_4، B_5) در سه تکرار انجام گرفت. باتوجه‌به تیمارهای مورد بررسی تعداد کل گلدان‌های پلاستیکی مورداستفاده ۳۳ عدد بودند. ازآنجائی‌که دو ماده بیوچار و برگ خرما مورد پژوهش قرار گرفته‌اند و برای هر دو ماده تیمار شاهد (بدون مصرف بیوچار و برگ خرما) داریم در اجرا یک شاهد و در آنالیزها برای هر کدام از دو ماده (بیوچار و برگ خرما) اثرات سطوح را نسبت به شاهد تجزیه واریانس انجام دادیم و ارائه نتایج چه به‌صورت جدول و چه به‌صورت شکل با لحاظ‌کردن تیمار شاهد برای هر ماده انجام شد.

ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک مانند جرم مخصوص ظاهری با استفاده از سیلندرهای استوانه‌ای، بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee et al., 1986)، اسیدیته (pH) و شوری (EC) در سوسپانسیون ۲ به ۱ آب به خاک (Thomas, 1996)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (Nelson and Sommers, 1996)، پتاسیم قابل جذب با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر، فسفر قابل جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر، ازت کل به روش کجلدال اندازه‌گیری شدند (Dewis and Freitas, 1984). برای تعیین مقدار آب قابل‌استفاده، رطوبت نمونه‌های خاک در مکش ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلو پاسکال (Kpa) به ترتیب در نقطه FC و PWP با استفاده از دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری شد. درصد رطوبت قابل‌استفاده گیاه (PAWC) از اختلاف رطوبت ظرفیت زراعی و پژمردگی محاسبه شد (Dane and Hopmans, 2002). مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده در آزمایش

ρ_b	θ_{FC}	θ_{PWP}	Sand	Silt	Clay	بافت	pH	EC	CEC	O.C	N	P	K
$g.cm^{-3}$	درصد وزنی			درصد		-	-	$dS.m^{-1}$	$Cmol.\ kg^{-1}$	درصد		ppm	
۱/۳۷	۲۱	۱۱	۵۱	۲۷	۲۳	S.C.L*	۷/۸	۰/۴۶	۱۲/۵	۱/۸۶	۰/۴۵	۶۲	۱۰

*: لوم رسی شنی

برای تهیه بیوچار، ابتدا برگ‌های خرما در معرض تابش مستقیم آفتاب به مدت یک ماه قرار داده شده و با استفاده از دستگاه خردکن، به قطعات کوچک‌تر از چهار سانتی‌متر خرد شدند. برگ‌های خرد شده در پاکت‌های آلومینیومی که دارای یک سوراخ به قطر حدود یک میلی‌متر بود، قرار داده و در یک کوره الکتریکی به مدت دو ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا فرآیند گرماکافت انجام شود. بیوچار تولیدی از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و در تیمارهای آزمایش مورداستفاده قرار گرفتند (Lehmann and Joseph, 2009). برای تیمار برگ درخت خرما، آنها را با دستگاه خردکن، خرد و پس از عبور از الک دو میلی‌متری مورداستفاده قرار گرفتند. برخی ویژگی‌های بیوچار و برگ خرما در جدول ۲ نشان‌داده‌شده است که جرم مخصوص ظاهری برگ خرما حدود دوبرابر بیوچار بود، ولی درصد کربن آلی در بیوچار به مقدار کمی نسبت به برگ خرما افزایش داشته است.

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های برگ خرما و بیوچار مورداستفاده در آزمایش

نوع ماده	ρ_b	EC	pH	CEC	OC	N	P	K
	$g.cm^{-3}$	$dS.m^{-1}$		$Cmol.\ kg^{-1}$	درصد		ppm	
برگ خرما	۰/۸۵	۷/۸	۷/۳	۱۳/۲	۳۷/۱۲	۲/۵۲	۵۰/۱۶	۴۷۲
بیوچار	۰/۴۳	۸/۹	۶/۷	۴۴/۲	۴۲/۶۲	۱/۰۶	۵۸/۱۲	۲۲۱۸

تیمارهای آزمایش (بیوچار و برگ خرما)، با خاک عبور داده شده از الک چهار میلی‌متری کاملاً مخلوط شد و با قراردادن شن

به ارتفاع دو سانتی‌متر در کف گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه ۲۲ و قطر کف ۱۸ به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر، مقدار سه کیلوگرم خاک در هر گلدان ریخته شد. برای هر گلدان پنج گرم از کودهای فسفر و پتاسیم از منبع سوپر فسفات و کلرور پتاسیم و ۲/۵ گرم کود ازته از منبع اوره منظور و با خاک مخلوط شدند. همچنین برای هر گلدان ۲/۵ گرم کود ازته، ۴۵ روز پس از کاشت به‌صورت محلول مصرف شد. به‌منظور بررسی اثر برگ خرما و بیوچار حاصل از آن بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب، بعد از گذشت دو ماه از مخلوط کردن بیوچار و برگ خرما با خاک و زمانی که رطوبت خاک به ظرفیت مزرعه رسید، بذر ذرت علوفه‌ای رقم SC640 (سینگل کراس ۶۴۰) در گلدان کشت شد. انکوباسیون به‌منظور تأمین تناوب خشکی و رطوبت در خاک برای انجام فرآیندهای فیزیکی شیمیایی و بهبود شاخص‌های کیفیت خاک که مؤثر در رشد و عملکرد گیاه هستند صورت گرفت. بذرها ابتدا خیس و چهار روز بعد از جوانه‌زنی، چهار بذر در هر گلدان در عمق پنج سانتی‌متری خاک قرار داده و روی بذرها را با خاک پوشانده و اقدام به آبیاری گلدان‌ها گردید. گلدان‌ها در گلخانه در دمای ۳۵- ۳۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۴۰ تا ۵۰ درصد و شدت نور ۱۰۰۰۰ لوکس به مدت ۲/۵ ماه نگهداری شدند. عملیات تنک کردن بوته‌ها یک هفته پس از جوانه‌زنی انجام و در هر گلدان یک بوته نگهداری شد. شکل شماره ۱ تصاویری از مراحل آزمایش از جمله تهیه برگ خشک خرد شده، بیوچار حاصل از برگ خرما، مخلوط کردن بیوچار و خاک، آماده‌کردن گلدان‌ها در گلخانه، کاشت و رشد ذرت علوفه‌ای و چگونگی تعیین حجم ریشه ذرت را نشان می‌دهد.

با داشتن رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم مقدار آب قابل‌استفاده بر اساس ۵۰ درصد کسر رطوبت محاسبه شده و باتوجه‌به رطوبت موجود در خاک در زمان آبیاری، میزان حجم آبیاری تعیین شد. رطوبت خاک روزانه گلدان‌ها با توزین روزانه تعیین شد که با مشخص‌بودن وزن خاک خشک در هر گلدان، وزن گلدان خالی و وزن شن کف گلدان، وزن رطوبت موجود در گلدان تعیین شده و براین‌اساس زمان آبیاری تعیین شد. برای دستیابی به این هدف رطوبت خاک به روش وزنی تعیین و با استفاده از رابطه (۱) مقدار آب آبیاری به نحوی محاسبه شد که رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه برسد.

$$dn = (\theta_{FC} - \theta_i) * \rho_b * D \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن θ_{FC} درصد وزنی رطوبت در ظرفیت زراعی، θi درصد وزنی رطوبت موجود در خاک، ρb جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D عمق توسعه ریشه (میلی‌متر) و d_n عمق خالص آبیاری بر حسب میلی‌متر است. مقدار آب مصرفی توسط گیاه، در هر تیمار آبیاری از طریق اندازه‌گیری اجزای بیلان آب با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$I + P + ET + D_d + R_0 \pm \Delta\theta = 0 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن: I عمق آبیاری بر حسب میلی‌متر، P میزان بارندگی بر حسب میلی‌متر، ET تبخیر و تعرق گیاه بر حسب میلی‌متر، Dd عمق آب زهکشی بر حسب میلی‌متر، Ro عمق رواناب بر حسب میلی‌متر و $\Delta\theta$ تغییرات ذخیره رطوبت خاک بر حسب میلی‌متر است. بارندگی، رواناب و زهکشی در این آزمایش صفر بود. تغییرات رطوبت خاک به‌صورت هفتگی از تفاوت رطوبت ابتدا و انتهای دوره در هر آبیاری در گلدان‌ها محاسبه و در پایان دوره رشد، مقدار آب مصرفی گیاه محاسبه شد. مدت زمان رشد گیاه ۷۴ روز بود که در این دوره گیاه ۱۹ نوبت آبیاری شد و در کل هفت لیتر آب مصرفی هر تیمار بود.

شکل ۱- تصاویری از مراحل آزمایش، الف: برگ خرما خرد و خشک شده، ب: بیوچار حاصل از برگ خرما، پ: مخلوط کردن بیوچار و خاک، ت: آماده‌کردن گلدان‌ها در گلخانه، ث: رشد ذرت‌های کاشته شده و ج: تعیین حجم ریشه ذرت.

قبل از دوره گل‌دهی، ارتفاع گیاه و قطر ساقه اندازه‌گیری و سپس گیاه از محل طوقه قطع و وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن ریشه و حجم ریشه اندازه‌گیری شد. وزن تر گیاه به‌وسیلهٔ ترازو در محل آزمایش و سایر اندازه‌گیری‌ها در آزمایشگاه انجام شد. برای اندازه‌گیری وزن ماده خشک، نمونه‌های گیاه در پاکت-های کاغذی به مدت ۴۸ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت در آون تهویه دار در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و سپس با توزین آنها عملکرد خشک هر تیمار به دست آمد (Nowroozi et al., 2017). حجم ریشه با استفاده از استوانه‌های مدرج با غوطه‌ور کردن در آب اندازه‌گیری شد. کارایی مصرف آب باتوجه‌به میزان آب مصرفی و مقدار عملکرد ماده خشک در هر تیمار محاسبه شد. کارایی مصرف آب از رابطه زیر تعیین شد.

$$WUE = D / W \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن: D مقدار ماده خشک تولیدی گیاه (کیلوگرم)، W مقدار آب مصرفی توسط گیاه (مترمکعب)، و WUE کارایی مصرف آب گیاه (کیلوگرم بر مترمکعب) است.

معنی‌داری تفاوت بین تیمارهای مختلف از طریق تجزیه واریانس داده‌ها (ANOVA) نتایج با استفاده از نرم‌افزار Statistica10 تعیین و مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح یک درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثرات برگ خرما و بیوچار آن بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای

نتایج تجزیه واریانس عملکرد (ماده خشک و تر) و اجزای عملکرد (عملکرد ماده خشک ریشه، حجم ریشه، قطر ساقه و ارتفاع گیاه) در جدول ۳ نشان می‌دهد اثر تیمارهای مورد آزمایش بر عملکرد و اجزای آن در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد تر اندام هوایی	عملکرد خشک اندام هوایی	عملکرد ماده خشک ریشه	حجم ریشه (سانتی‌متر مکعب)	قطر ساقه	ارتفاع گیاه
		گرم				سانتی‌متر	
تیمار	۱۰	۶۱۹۴/۲**	۶۲۱/۸**	۱۹۳/۹**	۱۰۹۸۹/۳**	۱/۲۲**	۴۸۹۴/۳**
خطا	۲۲	۱۱۹۸/۰	۱۰۷/۸	۴۴/۲	۵۸۰/۷	۰/۳۲	۲۱۲۸/۷
کل	۳۲	۷۳۹۲/۲	۷۲۹/۶	۲۳۸/۱	۱۱۵۷۰/۰	۰/۵۴	۷۰۲۳/۰

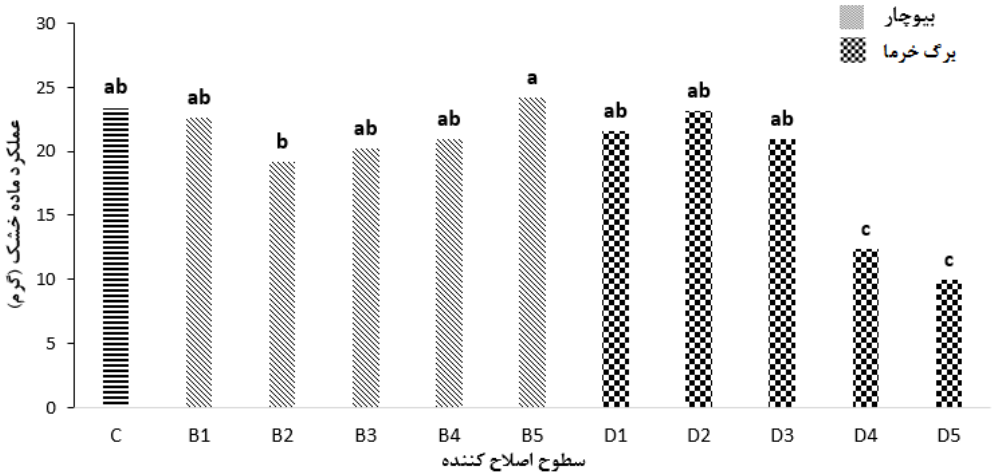
**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد آزمایش بر عملکرد ماده خشک اندام هوایی (شکل ۲) نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد ماده خشک گیاه با اضافه‌کردن ۴/۵ درصد وزنی بیوچار به خاک در تیمار (B_5) با مقدار ۲۴/۲ گرم به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۳/۴ درصد افزایش عملکرد دارد. کمترین عملکرد مربوط به B_2 با یک درصد وزنی بیوچار و نسبت به شاهد ۱۷/۹ درصد کاهش داشته است. مقدار عملکرد ماده خشک با کاربرد ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴/۵ درصد وزنی بیوچار نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری ($P>0/01$) ندارند. با افزایش بیوچار به سطح ۴/۵ درصد وزنی (B_5) عملکرد افزایش نشان داد اما روند مقدار عملکرد ماده خشک در تیمارهای دیگر، کاهشی است.

کمترین عملکرد ماده خشک اندام هوایی با کاربرد ۴/۵ درصد وزنی برگ خرما در تیمار (D_5) با ۱۰ گرم ماده خشک به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد ۵۷/۳ درصد کاهش عملکرد دارد. با کاربرد ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴/۵ درصد وزنی برگ خرما عملکرد ماده خشک اندام هوایی نسبت به شاهد به ترتیب ۷/۷، ۱/۳، ۱۰/۷، ۴۷ و ۵۷/۳ درصد کاهش نشان داد. کاهش عملکرد در D_1، D_2 و D_3 تفاوت معنی‌داری ($P>0/01$) با شاهد ندارند اما D_4 و D_5 با شاهد در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری دارند.

نتایج بیانگر این است که B_5 با ۴/۵ درصد وزنی بیوچار فقط توانسته است عملکرد گیاه را افزایش دهد که این افزایش اندک (۳/۴ درصد) و غیرمعنی‌دار بوده است و مقادیر کمتر از آن و افزودن برگ خرما در افزایش عملکرد تأثیری ندارد. با کاربرد برگ خرما در دو سطح D_4 و D_5 عملکرد ماده خشک گیاه به شدت کاهش یافت که منابع (Fischer et al., 2019) نشان می‌دهد اثر بیوچار بر عملکرد گیاه می‌تواند مثبت یا منفی باشد و اثرات بیوچار بر بهره‌وری گیاه و عملکرد محصول بر اساس نوع ماده اولیه، دمای پیرولیز و اندازه بیوچار متغیر است. همچنین علت می‌تواند در دسترس نبودن عناصر غذایی در اثر تجزیه نشدن برگ خرما در مدت زمان رشد گیاه که برای این ماده اولیه مناسب نبوده است. از نتایج می‌توان استنباط نمود که اگر سطح کاربرد مناسب بیوچار شناخته شود می‌توان از آن برای افزایش عملکرد محصول استفاده نمود. همچنین قابل‌ذکر است که در این پژوهش باتوجه‌به عدم وجود پژوهش در کاربرد بیوچار برگ خرما به نظر می‌رسد که

سطوح انتخاب شده کافی نبوده است و نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه بر روی خاک‌های با بافت متفاوت و با تیمارهایی با مقادیر متفاوت و بیشتر از مقادیر انتخاب شده و یا تغییر روش آماده‌سازی و اندازه ذرات بیوچار در این پژوهش، وجود دارد. همچنین باتوجه‌به تأثیرات مثبت و منفی بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک که در نهایت موجب افزایش و یا کاهش عملکرد گیاه می‌شود بررسی‌های بیشتر ضروری است.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد آزمایش بر عملکرد ماده خشک اندام هوایی

تیمارهای با حروف لاتین مشترک، بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

مقایسه میانگین اثر بیوچار بر اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای (جدول ۴) نشان داد که تیمار D_2 بیشترین و تیمار D_5 کمترین مقدار عملکرد تر اندام هوایی دارد که نسبت به شاهد به ترتیب ۴۵/۲ درصد افزایش و ۲۸/۸ درصد کاهش نشان داد. با افزایش سطح ماده اصلاحی برگ خرما از ۰/۵ تا ۲ درصد در D_1، D_2 و D_3، عملکرد تر اندام هوایی گیاه نسبت به شاهد به ترتیب ۳۵/۷، ۴۵/۲ و ۱۶/۸ درصد افزایش‌یافته است ($P<0/05$). تیمارهای D_4 و D_5 به ترتیب ۱۳/۵ و ۲۸/۸ درصد کاهش در عملکرد تر گیاه نسبت به شاهد به وجود آورد. علت می‌تواند در دسترس نبودن عناصر غذایی در مدت زمان رشد گیاه و یا نامناسب بودن اندازه ذرات برگ خرما عنوان کرد. Abbasalian et al., (2021) نیز بیان کردند مصرف کاه گندم، عملکرد بیولوژیک گیاه جو را در خاک لوم رسی و لوم شنی به ترتیب ۸۲ و ۷۳ درصد کاهش داد. همچنین نوع خاک و محصول و مدت زمان آزمایش نیز در منابع از عوامل اثرات معکوس بقایای گیاهی بر عملکرد ذکر کرده‌اند (Farhangi-Abriz et al., 2021).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد آزمایش بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای

	عملکرد تر اندام هوایی	عملکرد ماده خشک ریشه	حجم ریشه	قطر ساقه	ارتفاع گیاه
	گرم	سانتی‌متر مکعب	سانتیمتر		
C	۶۳/۶^{c}	۱۴/۶^{abc}	۴۴/۶^{dc}	۱/۲^{c}	۱۱۱/۶^{b}
B_1	۷۶/۳^{bc}	۱۳^{bcd}	۴۵/۰^{c}	۱/۵^{ab}	۱۳۴/۰^{a}
B_2	۸۶/۳^{ab}	۱۳/۵^{bcd}	۸۷/۶^{a}	۱/۴^{bc}	۱۳۴/۳^{a}
B_3	۷۴/۳^{bc}	۱۱/۳^{be}	۵۵/۰^{b}	۱/۷^{a}	۱۰۴/۳^{bc}
B_4	۷۳/۰^{bc}	۱۳/۱^{bcd}	۴۴/۰^{c}	۱/۵^{ab}	۱۰۹/۳^{bc}
B_5	۸۵/۳^{ab}	۱۳/۷^{bcd}	۷۹/۰^{a}	۱/۷^{a}	۱۰۷/۳^{bc}
D_1	۸۶/۳^{ab}	۱۶/۸^{a}	۵۷/۰^{b}	۱/۵^{ab}	۱۲۲/۳^{ab}
D_2	۹۲/۳^{a}	۱۴/۷^{ab}	۵۳/۰^{bc}	۱/۴^{bc}	۱۱۹/۰^{ab}
D_3	۷۴/۳^{bc}	۱۱/۹^{cd}	۴۵/۰^{c}	۱/۴^{bc}	۱۱۱/۰^{bc}
D_4	۵۵/۰^{de}	۹/۲^{ef}	۲۵/۳^{d}	۱/۴^{bc}	۱۰۵/۰^{bc}
D_5	۴۵/۳^{e}	۷/۸^{f}	۲۵/۳^{d}	۱/۰^{d}	۹۲/۳^{c}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتایج نشان داد با افزودن بیوچار برگ خرما به خاک، عملکرد تر گیاه در تیمارهای B_1، B_2، B_3، B_4 و B_5 به ترتیب ۲۰، ۳۵/۷، ۱۶/۸، ۱۴/۸ و ۳۴/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. تیمار B_2 و B_5 بیشترین افزایش در عملکرد تر گیاه را نسبت به شاهد ($P<۰/۰۵$) نشان داند. براین‌اساس باتوجه‌به اهداف کاشت گیاه و باتوجه‌به نتایج عملکرد ماده خشک گیاه می‌توان کاربرد ۴/۵ درصد بیوچار در تیمار B_5 که بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد تر و خشک گیاه را داشته است، توصیه نمود.

با افزایش سطح کاربرد بیوچار، قطر ساقه نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) دارد و تیمار B_3 و B_5 بیشترین مقدار و نسبت به تیمار شاهد ۴۱/۷ درصد افزایش‌یافته است. همچنین تیمار D_1، با کاربرد ۰/۵ درصد وزنی برگ خرما باعث بیشترین افزایش به مقدار ۲۵ درصد در قطر ساقه گیاه نسبت به تیمار شاهد شد ($P<۰/۰۵$). افزودن بیش از سه درصد برگ خرما به خاک باعث کاهش قطر گیاه شد که در تیمار D_5 با ۴/۵ درصد وزنی برگ خرما، ۱۶/۷ درصد کاهش در قطر گیاه مشاهده شد.

نتایج مقایسه میانگین ارتفاع گیاه نشان داد که بیشترین تغییرات مربوط به تیمارهای B_1 و B_2 و کمترین تغییرات مربوط به D_5 بود که تیمارهای B_1 و B_2، نسبت به شاهد (C) ارتفاع گیاه را به ترتیب ۲۰/۱ و ۲۰/۳ درصد افزایش و تیمار D_5 با داشتن ۴/۵ درصد وزنی برگ خرما، ۱۷/۳ درصد ارتفاع گیاه را نسبت به شاهد کاهش داد. همچنین با افزایش سطح بیوچار به جز در تیمار B_1 و B_2، و سطوح ماده اصلاحی برگ خرما به جز D_5، نسبت به شاهد از نظر ارتفاع گیاه اختلاف معنی‌دار ندارند ($P>۰/۰۵$). بیوچار با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک باعث می‌شود تا در فاصلهٔ بین آبیاری‌ها، سطح رطوبت در وضعیت مطلوب‌تری حفظ شود که این خود باعث افزایش عملکرد می‌شود (Nasimi et al., 2019; Esvand Rajabi et al., 2020). همچنین بهبود شرایط فیزیکی خاک مانند کاهش فشردگی خاک (کاهش جرم مخصوص ظاهری)، افزایش میانگین وزنی خاکدانه‌ها (Osooli et al., 2022) و افزایش فعالیت‌های زیستی به نفع فراهمی بیشتر عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی عناصر غذایی همگی باعث ایجاد شرایط مساعدتری در محیط ریشه شده که منجر به افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌شود (Akhtar et al., 2014). در بیشتر پژوهش‌ها افزودن انواع بیوچار به خاک باعث افزایش در عملکرد محصولات شده است (Jeffery et al., 2011). اما Lusiba et al., (2017) در مطالعه‌ای نشان داد که افزودن بیوچار موجب افزایش عملکرد دانه و کارآیی مصرف آب در خاک رسی شد. این در حالی بود که بیوچار اضافه‌شده به خاک لوم شنی بر اجزای عملکرد تأثیری نداشت. همچنین Joseph et al., (2021) نیز بیان کردند که بیوچار می‌تواند اثرات مثبت یا منفی روی عملکرد گیاه بگذارد.

مقایسه میانگین اثر تیمارها بر وزن ماده خشک ریشه گیاه نشان داد که تیمار D_1 بیشترین و تیمار D_5 کمترین اثر را داشتند. تیمار D_1 نسبت به شاهد ۱۵ درصد افزایش در وزن ماده خشک ریشه نشان داد. همچنین تیمارهای B_1، B_2، B_3، B_4 و B_5 با کاربرد ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب باعث کاهش ۱۲/۳، ۸/۲، ۲۹/۲، ۱۱/۵ و ۶/۶ درصد وزن ماده خشک ریشه گیاه نسبت به تیمار شاهد شدند که تمامی تیمارهای بیوچار و برگ خرما به جز D_4 و D_5 از نظر وزن ماده خشک ریشه با شاهد اختلاف معنی‌دار ندارند. مقایسه میانگین اثر بیوچار بر حجم ریشه گیاه نشان داد تیمار B_2 و B_5 دارای بیشترین حجم تولید ریشه به ترتیب با ۸۷/۶ و ۷۹ سانتیمتر مکعب در گیاه است. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش بیش از ۲ درصد وزنی برگ خرما حجم ریشه گیاه به طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد به‌طوری که در تیمار D_4 و D_5 با کاربرد ۳ و ۴/۵ درصد وزنی برگ خرما به ترتیب ۷۵ و ۷۶ درصد حجم ریشه تولیدی گیاه کاهش نشان داد. مطالعات نشان داده است مصرف زیاد برگ خرما و ماده اولیه و حتی بیوچار می‌تواند اثر معکوس داشته باشد و مانع رشد گیاه شود (Farhangi-Abriz et al., 2021). در مجموع نتایج نشان داد با کاربرد بیوچار و برگ خرما وزن خشک ریشه اختلاف معنی‌دار با شاهد نداشت اما با مصرف یک و ۴/۵ درصد وزنی بیوچار حجم ریشه افزایش یافت که Xiang et al., (2017) نیز گزارش کردند که کاربرد بیوچار اثرات مثبتی بر توسعه ریشه داشته است. به‌طوری‌که کاربرد بیوچار، زیست‌توده ریشه، حجم ریشه را به ترتیب ۳۲ و ۲۹ درصد افزایش داده است. Romdhane et al., (2018) نشان داد که اثر بیوچار بر توسعه ریشه ذرت به ویژگی تحمل به خشکی واریته ذرت بستگی دارد. ایشان گزارش کردند که بیوچار موجب افزایش حجم ریشه در واریته مقاوم به خشکی و کاهش زیست‌توده ریشه در واریته حساس به خشکی شد. همچنین می‌توان بیان کرد که تغییرپذیری pH بیوچار، محتوای خاکستر، ترکیب عنصری و پایداری آن، همچنین انواع خاک و محصول، و مدت زمان و طراحی آزمایش می‌تواند ناسازگاری ظاهری که بیوچار با عملکرد داشته است، را توضیح دهد (Farhangi-Abriz et al., 2021).

اثرات برگ خرما و بیوچار حاصل از آن بر کارایی مصرف آب (WUE)

باتوجه‌به طول دوره ۷۵ روز نگهداری گیاه در گلدان‌ها ۱۹ نوبت آبیاری انجام گردید و در هر تیمار مقدار آب مصرفی ۸/۵ لیتر در هر گلدان بود. با استفاده از عملکرد ماده خشک اندام هوایی به‌دست‌آمده در هر تیمار کارایی مصرف آب محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۵ نشان می‌دهد تیمار B_5 با کاربرد ۴/۵ درصد وزنی بیوچار بالاترین عملکرد و کارایی مصرف آب نسبت به شاهد را دارد و مقادیر آن به ترتیب ۲۴/۲ کیلوگرم و ۲/۹ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است.

نتایج تجزیه واریانس اثر اصلاح‌کننده بر کارایی مصرف آب اندام هوایی و ریشه بر اساس عملکرد ماده خشک (جدول ۶) نشان می‌دهد که اثر اختلافات در سطح احتمال یک درصد دارای تفاوت معنی‌دار است.

جدول ۵- نتایج میانگین عملکرد ماده خشک اندام هوایی و کارایی مصرف آب در تیمارهای آزمایش

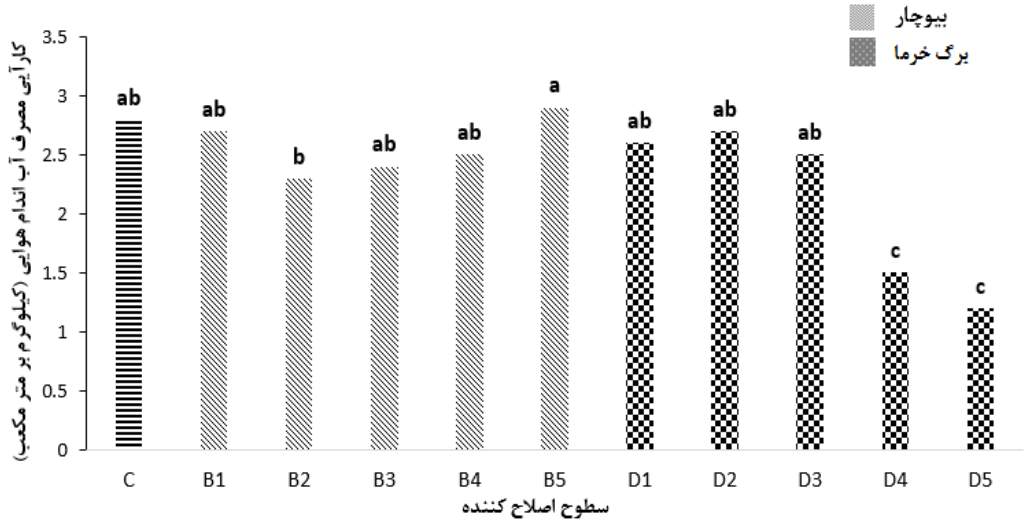
تیمار	C	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5
عملکرد (kg)	۲۳/۴	۲۲/۶	۱۹/۲	۲۰/۲	۲۰/۹	۲۴/۲	۲۱/۶	۲۳/۱	۲۰/۹	۱۲/۴	۱۰
کارایی مصرف آب ($kg.m^3$)	۲/۸	۲/۷	۲/۳	۲/۴	۲/۵	۲/۹	۲/۶	۲/۷	۲/۵	۱/۵	۱/۲

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کارایی مصرف آب اندام هوایی و ریشه

عوامل تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	
		WUE (shoot)	WUE (root)
بیوچار و برگ خرما	۱۰	۸/۸۱**	۲/۷۵**
خطا	۲۲	۱/۵۳	۰/۶۲
کل	۳۲	۱۰/۳۴	۳/۳۷

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

مقایسه میانگین کارایی مصرف آب اندام هوایی بر سطوح اصلاح‌کننده (شکل ۳) نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات مربوط به تیمار B_5 با ۴/۵ درصد وزنی ماده اصلاحی بیوچار که نسبت به شاهد کارایی مصرف آب را به میزان ۳/۶ درصد افزایش و تیمارهای D_4 و D_5 با ۳ و ۴/۵ درصد ماده اصلاحی برگ خرما با کمترین تغییرات، کارایی مصرف آب اندام هوایی را نسبت به شاهد (C) ۴۶/۴ و ۵۷/۲ درصد کاهش داده‌اند. نتایج کارایی مصرف همانند عملکرد ماده خشک اندام هوایی است و نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سطح ماده اصلاحی بیوچار به جز تیمار B_5، کارایی مصرف آب اندام هوایی کاهش‌یافته و اغلب با تیمار شاهد اختلاف معنی‌دار ندارند. همچنین با افزایش سطح ماده اصلاحی برگ خرما، تمامی تیمارها کارایی مصرف آب اندام هوایی پایین‌تر از شاهد (C) دارند و تیمارهای D_1، D_2 و D_3 با شاهد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد ندارند. تیمارهای D_1، D_2، D_3، D_4 و D_5 با داشتن ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴/۵ درصد وزنی برگ خرما، کارایی مصرف آب اندام هوایی را نسبت به شاهد به میزان ۷/۲، ۳/۶، ۱۰/۷، ۴۶/۵ و ۵۷/۲ درصد کاهش داد ($P>0/05$). باتوجه‌به این که در بررسی منابع ذکر شده که تأثیر بیوچار بر افزایش رشد گیاه و کارایی مصرف آب گیاه به خصوصیات بیوچار، نوع خاک، شرایط اقلیمی و نوع گیاه بستگی دارد و حتی می‌تواند موجب کاهش عملکرد نیز شود که در این مطالعه این عوامل بر کارایی مصرف آب گیاه تأثیر گذاشته است. همچنین نتایج Abbasalian et al., (2021)نشان داد با مصرف کاه گندم، بهره‌وری مصرف آب در گیاه جو را در خاک لوم رسی و لوم شنی، ۲۵ درصد کاهش‌یافته است.

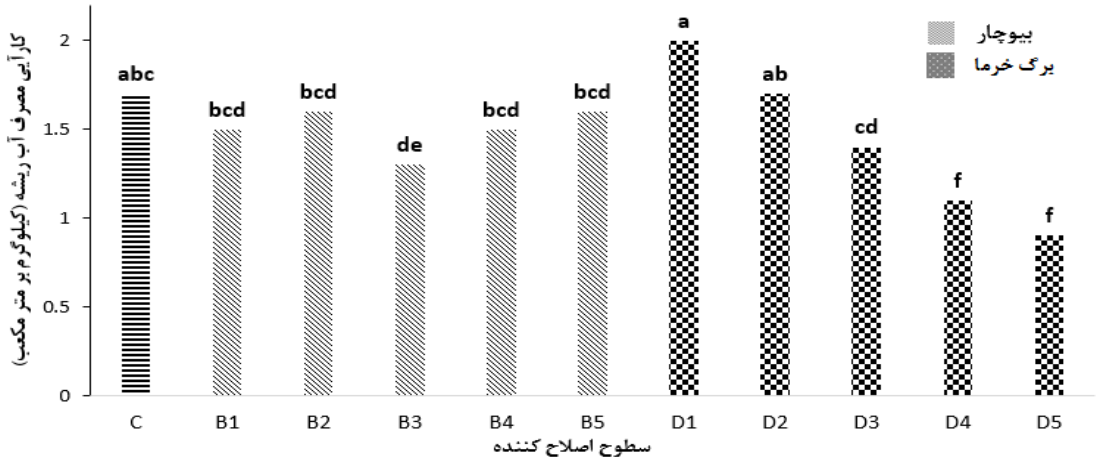


شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین کارایی مصرف آب اندام هوایی بر سطوح اصلاح‌کننده

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

نتایج کارایی مصرف آب ریشه در شکل ۴ نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات مربوط به تیمار D_1 و کمترین تغییرات مربوط به تیمار D_5 بود که نسبت به شاهد کارایی مصرف آب ریشه را به ترتیب ۱۷/۷ و ۴۷/۱ درصد افزایش و کاهش داده‌اند. با افزایش سطح ماده اصلاحی برگ خرما، کارایی مصرف آب ریشه به جز در تیمار D_1 کاهش‌یافته است و کارایی مصرف آب ریشه تیمار D_2 با ۱ درصد وزنی اصلاح‌کننده برگ خرما برابر با شاهد (C) بود. تیمارهای D_3، D_4 و D_5 با ۲، ۳ و ۴/۵ درصد وزنی برگ خرما به ترتیب ۱۷/۶، ۳۵/۳ و ۴۷/۱ درصد باعث کاهش کارایی مصرف آب ریشه شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سطح ماده اصلاحی بیوچار، کارایی مصرف آب در تمامی تیمارها کاهش‌یافته است که تیمارهای B_1، B_2، B_3، B_4 و B_5 با ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴/۵ درصد وزنی ماده اصلاحی بیوچار، کارایی مصرف آب ریشه را به میزان ۱۱/۷، ۵/۹، ۲۳/۶، ۱۱/۸ و ۵/۹ درصد کاهش داده‌اند.

در مجموع مقادیر تمامی تیمارهای بیوچار و برگ خرما به جز D_4 و D_5 از نظر مقدار کارایی مصرف آب اندام هوایی و ریشه با شاهد اختلاف معنی‌دار ندارند و تیمار B_5 با ۴/۵ درصد وزنی بیوچار توانسته است کارایی مصرف آب اندام هوایی گیاه ذرت علوفه‌ای را افزایش دهد. همچنین تیمار D_1 با ۰/۵ درصد وزنی ماده اصلاحی برگ خرما کارایی مصرف آب ریشه را بهبود ببخشد اما هیچ یک در سطح یک درصد تفاوت معنی‌دار با شاهد ندارد. یافته‌های تحقیقات Nowroozi et al., (2017) نشان داد کاربرد بیوچار برگ خرما باعث افزایش WUE شده است. همچنین پژوهش Uzoma et al., (2011) بر روی اثر بیوچار بر رشد و عملکرد ذرت، Akhtar et al., (2014) بر روی اثر بیوچار بر عملکرد کمی و کیفی گوجه‌فرنگی تحت شرایط کم آبیاری و Baronti et al., (2014) بر روی اثر بیوچار بر روابط آبی گیاه در انگور نشان از اثر مثبت بیوچار بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده است. این در حالی است که به علت نوع بیوچار و ماده اولیه آن و محتوی آنها، پایداری مواد اصلاحی، نوع خاک و محصول و در نهایت مدت زمان استفاده از آنها، بیوچار و مادهٔ اولیه آن می‌تواند اثر معکوس بر کارایی مصرف اندام هوایی و ریشه داشته باشد. همچنین Joseph et al., (2021) نیز بیان کردند که بیوچار می‌تواند اثرات مثبت یا منفی روی کارایی مصرف آب گیاه بگذارد.



شکل ۴- نتایج مقایسه میانگین کارایی مصرف آب ریشه بر سطوح اصلاح‌کننده

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر پایه آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

نتیجه‌گیری

درمجموع نتایج این تحقیق نشان داد که تیمار B_5 با اضافه‌کردن ۴/۵ درصد وزنی بیوچار سبب بهبود عملکرد و کارایی مصرف آب اندام هوایی و اغلب اجزای آن در گیاه ذرت علوفه‌ای شده است و تیمار D_1 با مصرف برگ خرما در سطح ۰/۵ درصد وزنی، موجب افزایش کارایی مصرف آب ریشه و ماده خشک ریشه شده است. در مجموع مصرف بیوچار نتایج بهتری برای افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در گیاه ذرت علوفه‌ای داشته است و در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران که با بحران آب مواجه هستند، بیوچار با اثر بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌تواند باعث افزایش تولید و کاهش مصرف آب شود. در این مناطق، اعمال مدیریت صحیح و به‌کارگیری فنون پیشرفته به‌منظور حفظ ذخیره رطوبت خاک و افزایش ظرفیت نگهداشت آب از جمله اقدامات مؤثر برای بهبود بهره‌برداری از منابع آب کشور

است و در این شرایط بحرانی دردسترس‌بودن آب، مدیریت منطقی آب برای افزایش بهره‌وری آن، یعنی نسبت بین سود کشاورزی و آب تأمین‌شده ضروری است. قابل‌ذکر است که بیوچار علاوه بر اثرات مثبت، می‌تواند اثرات منفی نیز بسته به نوع بیوچار، محتوی آن، نوع خاک و گیاه و مدت زمان استفاده از آن، داشته باشد که نتایج این تحقیق علاوه بر نتایج مثبت بیوچار، اثرات منفی آن را نیز بیان کرد. همچنین نتیجهٔ این تحقیق نشان داد مصرف ۴/۵ درصد وزنی بیوچار سبب بهبود عملکرد و کارایی مصرف آب شده است که باتوجه‌به وجود میلیون‌ها اصله نخل و هرس سالانهٔ آن‌ها در کشور، این امکان فراهم است که از این بقایا برای تولید بیوچار برگ خرما استفاده شود تا علاوه بر کاهش حجم بقایا و مدیریت آنها، کمک شایانی به افزایش تولید محصولات کشاورزی کرد. همچنین باتوجه‌به ثبات بیوچار در خاک و در امان بودن آن از تجزیه‌های بیولوژیکی و کاهش اثرات گازهای گلخانه ای می‌توان برای تولید انبوه آن برنامه‌ریزی نمود. همچنین امکان‌پذیر است که از ضایعات هرگونه مواد آلی که بسیاری از آنها برای دفنشان مشکل وجود دارد، آنها را به بیوچار تبدیل و از مزایای آن برخوردار گردید و به‌این‌علت باعث مدیریت بقایا شد. در نگاه اولیه نباید به‌صرفه اقتصادی کوتاه‌مدت توجه نمود. زیرا با تجزیه نشدن بیوچار، می‌توان آن را به‌عنوان عاملی بلندمدت برای ترسیب اقتصادی و مطمئن کربن و در دسترس قراردادن عناصر غذایی برای گیاه در نظر داشت. همچنین برای مطالعات تکمیلی و درک پتانسیل بیوچار به‌عنوان ماده اصلاحی برای مدیریت آب، پیشنهاد می‌شود، مطالعات بیشتر در زمینه انتخاب سطح مناسب بیوچار برگ خرما، اندازهٔ آن و بررسی چگونگی کاربرد آن انجام شود و نقش بیوچار بر عملکرد و کارایی مصرف آب در شرایط مزرعه مورد بررسی قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Abbasalian, H., Soiltani, J. Bahrami Samani, A. Hashemi Garmdareh, S. E. Borzouei, A. and Ahmadvand, M. (2021). The effect of biochar and Wheat Straw on irrigation water productivity in barley. *Journal of Water and Irrigation Management, in press*. (In Farsi)

Akhtar, S. S., Li, G. T. Andersen, M. N. and Liu, F. L. (2014). Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*, 138, 37–44.

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.

Bagheri, S., Hassandokht, M. and Mirsoleimani, A. (2021). Effect of palm leaf biochar application on some physiological and biochemical characteristics of melon plants (Cucumis melo cv. Samsouri) under drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, 10(45). (In Farsi)

Baiamonte, G., Minacapilli, M. and Crescimanno, G. (2020). Effects of biochar on irrigation management and water use effciency for three different crops in a desert sandy soil. *Sustainability*, 12, 7678.

Baronti, S., Vaccari, F. P. Miglietta, F. Calzolari, C. Lugato, E. Orlandini, S. Pini, R. Zulian, C. and Genesio, L. (2014). Impact of biochar application on plant water relations in Vitis vinifera (L). *European Journal of Agronomy*, 53, 38–44.

Case, S. D., Whitaker, J. McNamara, N. P. and Reay, D. S. (2012). The effect of biochar addition on N2O and CO2 emissions from a sandy loam soil. The role of soil aeration. *Soil Biology and Biochemistry*, 51, 125–134.

Chen, X., Chen, G. Chen, L. Chen, Y. Lehmann, J. McBride, M. B. and Hay, A. G. (2011). Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. *Bioresource Technology*, 102 (19), 8877–8884.

Dane, J. H. and Hopmans, J. W. (2002). *Water retention and storage*. In: Dane J.H. Topp G.C (eds): Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods. Madison Soil Science Societ of America.

Dewis, J. and Freitas, F. (1984). *Physical and chemical methods of soil and water analysis*. FAO soil bulletin 10, Oxford and 1BH publishing co. PVT. LTD. New Dehli Bombay Calcutta.

Downie, A., Crosky, A. and Munroe, P. (2009). *Physical properties of biochar*. In: Lehmann J. Joseph S. (Eds.) Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan. London.

Esvand Rajabi, F., Karimi, A. Motaghian, H. R. and Mohammadi, Jahangard. (2020). Comparison of biochar effects of cow manure and sugarcane residues on moisture content of sandy loam soil. *Iranian Water Researches Journal*, 14(3), 171-178. (In Farsi)

Farhangi-Abriz, S., Torabian, S. Qin, R. Noulas, C. Lu, Y. and Gao, S. (2021). Biochar effects on yield of cereal and legume crops using meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 775,145869.

Fisher, B., Manzoni, S. Morillas, L. Garcia, M. Johnson, M. S. and Lyon, S. W. (2019). Can biochar improve agricultural water use efficiency?. *Geophysical Research Abstracts*, 21, 7358.

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

Gaskin, J. W., Speir, R. A. Harris, K. Das, K. C. Lee, R. D. Morris, L. A. and Fisher, D. S. (2010). Effect

of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients. corn nutrient status. and yield. *Journal of Agronomy*, 102, 623-633.

Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1986). *Particle size analysis hydrometer methods*. In: D.L. Sparks et al., (Eds). Method of Soil Analysis. part 1. pp: 383-411. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison. WI. USA.

Gunes, A., Inal, A. Taskin, M. B. Sahin, O. Kaya, E. C. and Atakol, A. (2014). Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (Lactuca sativa L. cv) grown in alkaline soil. *Soil Use Manage*, 30, 182–188.

Inal, A. A., Gunes, O. Sahin, M. B. and Kaya, E. C. (2015). Impacts of biochar and processed poultry manure applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use Manage*, 31, 106–113.

Jeffery, S., Verheijen, F. G. A. Van Der Velde, M. and Bastos, A.C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agriculture. *Ecosystem and Environment*, 144, 175–187.

Joseph, S., Cowie, A. L. Van Zwieten, L. Bolan, N. Budai, A. Buss, W., Luz Cayuela, M., Graber, E. R. Ippolito, J. A. Kuzyakov, Y. Luo, Y. Sik Ok, Y. Palansooriya, K. N. Shepherd, J. Stephens, S. Weng, Z. and Lehmann, J. (2021). How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. *GCB Bioenergy*.

Khadem, A., Raesi, F. and Besharati, H. (2017). A Review of biochar effects on soil physical, chemical, and biological properties. Journal of Land Management, 5(1), 13-30. (In Farsi)

Laird, D. A. (2008). The charcoal vision: a win–win–win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal*, 100(1), 178-181.

Liu X. H., and Zhang, X. C. (2012). Effect of biochar on ph of alkaline soils in the loess plateau: results from incubation experiments. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14, 745–750.

Lusiba, S., Odhiambo, J. and Ogola, J. (2017). Effect of biochar and phosphorus fertilizer application on soil fertility: soil physical and chemical properties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(4), 477-490.

Major J., Rondon, M. Molina, D. Riha, S. J. and Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 333, 117–128.

Mirzashahi, K., and Bazargan, K. (2015). Soil organic matter management. *Technical Journal*, No. 535. (In Farsi)

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

Nasimi, P., Karimi, A. and Gerami, Z. (2020). Long-term effects of palm leaf biochar on the porosity and structure stability of a sandy clay loam soil. *Iranian Journal of Soil Research*, 34(2):199-215. (In Farsi)

Nasimi, P., Karimi, A. and Motaghian, H. R. (2019). Effects of biochar produced from date palm's leaves on saturated hydraulic conductivity and soil moisture coefficients of sandy clay loam soil. *Iranian Water Researches Journal*, 13(3), 161-171. (In Farsi)

Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1996). *Total organic carbon and organic matter*. In: D.L. Sparks et al., (Eds). Method of Soil Analysis. Part 3. 3rd Ed. pp. 961-1010. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America Madison WI. USA.

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

Obia, A., Mulder, J. Martinsen, V. Cornelissen, G. and Børresen, T. (2016). In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. *Soil and Tillage Research*, 155, 35–44.

Osooli, H., Karimi, A. Shirani, H. and Tabatabaei, S. H. (2022). Effect of type, amount and biochar particles size on porosity, penetration resistance and stability of aggregates in a calcareous soil. *Journal Water and Soil Resources Conservation*, 11(1), 113-127. (In Farsi)

Ouyang. L., Wang, F. Tang, J. Yu, L. and Zhang, R. (2013). Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13 (4), 991-1002.

Pandey, D., Daverey, A. and Arunachalam, K. (2020). Biochar: production, properties and emerging role as a support for enzyme immobilization. *Journal of Cleaner Production*, 255 (In Press).

Ren, T., Wang, H. Yuan, Y. Feng, H. Wang, B. Kuang, G. Wei, Y. Gao, W. Shi, H. and Liu, G. (2021). Biochar increases tobacco yield by promoting root growth based on a three-year field application. *Scientific Reports, 11, 21991.*

Romdhane, L., Pawad, Y. M. Radhouane, L. Dal Cortivo, C. Barion, G. Panozzo, A. and Vamerali, T. (2019). Wood biochar produces different rates of root growth and transpiration in two maize hybrids (Zea mays L.) under drought stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(6), 846-866.

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

Thomas, G. W. (1996). *Soil pH and soil asidity*. In. Sparks D.L. et al., (Eds). Method of Soil Analysis.

Part 3. 3rd Eds. pp 475-490. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America Madison WI. USA.

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 and Management*, 27, 205-212.

Van Zwieten, L. V., Kimber, S. Morris, S. Chan, K.Y. Downie, A. Rust, J. Joseph, S. and Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil*, 327, 235–246.

Wang, D., Fonte, S. J. Parikh, S. J. Six, J. and Scow, M. (2017). Biochar additions can enhance soil structure and the physical stabilization of C in aggregates. *Geoderma*, 303, 110–117.

Xiang, Y., Deng, Q. Duan, H. and Guo, Y. (2017). Effects of biochar application on root traits: a meta-analysis. *GCB bioenergy*, 9(10), 1563-1572.

Zhang, H., Xiao, R. Jin, B. Shen, D. Chen, R. and Xiao, G. (2013). Catalytic fast pyrolysis of straw biomass in an internally interconnected fluidized bed to produce aromatics and olefins: effect of different catalysts. *Bioresource Technology*, 137, 82–8.

Zhang, Q., Song, Y. Wu, Z. Yan, X. Gunina, A. Kuzyakov, Y. and Xiong, Z. (2020). Effects of six-year biochar amendment on soil aggregation, crop growth, and nitrogen and phosphorus use efficiencies in a rice-wheat rotation. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118435.