

مطالعه اثر ورمی کمپوست و بیوچار بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب بادنجان (*Solanum melongena* L.) در شرایط مزرعه

محسن ابراهیمی^۱، محمد کاظم سوری^{۲*}، امیر موسوی^۳ و نوازاله صاحبانی^۴

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. دانشیار، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران، ایران

۴. دانشیار، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۳۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۳)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر ورمی کمپوست و دو نوع بیوچار (بیوچار خرما و پسته) بر عملکرد و کارایی مصرف آب بادنجان در شرایط مزرعه. آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. عامل اول ورمی کمپوست در دو سطح (صفر، ۱۵۰۰ گرم در مترمربع) و عامل دوم بیوچار در سه سطح (صفر، ۵۰۰ گرم بیوچار خرما و ۵۰۰ گرم بیوچار پسته در متر مربع) بود. نتایج نشان داد بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در ترکیب تیماری کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار خرما به دست آمد. بیشترین مقدار کلروفیل a و b مربوط به تیمار کاربرد ورمی کمپوست بود. همچنین نتایج نشان داد اثر بیوچار و اثر متقابل ورمی کمپوست و بیوچار بر تعداد میوه در بوته معنی دار بود. بیشترین تعداد میوه در بوته (۱۳/۶۳) در تیمار کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار خرما به دست آمد. کاربرد ورمی کمپوست باعث دست یابی به بیشترین وزن متوسط میوه شد. بیشترین عملکرد کل (۷۲۳۳ گرم در بوته) و کارایی مصرف آب (۱۱/۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب) در ترکیب تیماری مصرف ورمی کمپوست و بیوچار خرما مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: بیوچار پسته، بیوچار خرما، تعداد میوه در بوته، متوسط وزن میوه، وزن تر اندام هوایی.

Study effect of vermicompost and biochar on growth, yield and water use efficiency of eggplant (*Solanum melongena* L.) in field condition

Mohsen Ebrahimi¹, Mohammad Kazem Souri^{2*}, Amir Mousavi³ and Navazoloh Sahebani⁴

1. Ph. D. Candidate, Faculty of Agricultural and Food Industries, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3. Associate Professor, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, Iran

4. Associate Professor, University College of Aboureihan, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: Aug. 20, 2020- Accepted: Oct. 24, 2020)

ABSTRACT

In order to investigate effect of two kinds of biochars (date palm and pistachio biochars) on yield and water use efficiency of eggplant in field condition a factorial experiment based on randomized complete block design in three replications was carried out. The first factor was vermicompost in two levels (0 and 1500 g/m²) and the second factor was biochar in three levels (0, 500 g /m² date palm and 500 g/m² pistachio biochar). Results showed that the highest fresh and dry weight of aerial and root was obtained in the combination treatment of vermicompost and date palm biochar. The highest amount of chlorophyll a and b belonged to vermicompost treatment. The effect of biochar and interaction effect of vermicompost and biochar on fruit number per plant was significant. The highest fruit number per plant was obtained in application of vermicompost and date palm biochar. Application of vermicompost lead to the highest mean fruit weight. The highest total yield (7233 g/ plant) and water use efficiency (11.16 kg/m³) was observed in combination treatment of vermicompost and date palm biochar.

Keywords: Aerial fresh weight, date palm biochar, fruit number per plant, fruit mean weight, pistachio biochar.

* Corresponding author E-mail: mk.souri1974@gmail.com

مقدمه

بادمجان (*Solanum melongena*) گیاهی از تیره سیب زمینی‌سانان (Solanaceae)، که دارای رقم‌های زیادی است. تیره سیب زمینی‌سانان شامل گیاهان بوته‌ای بسیار حساس به یخ زدگی می‌باشد که در مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر یافت می‌شوند. بادمجان یکی از گیاهانی است که در فصل پاییز و زمستان در گلخانه و در بهار در هوای آزاد کشت می‌شود (Hassandokht, 2012).

یکی از روش‌های نگهداری آب در خاک افزودن مواد آلی می‌باشد. کود دامی یکی از ترکیبات آلی است که امروزه برای اصلاح ویژگی‌های خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک استفاده می‌شود. یکی از عیب‌های کود دامی این است که هر چند سال یک بار باید به خاک اضافه شود و معمولاً اکثر کودهای دامی دارای هدایت الکتریکی بالا می‌باشند که مصرف آن‌ها در دراز مدت باعث شوری خاک می‌شود. امروزه استفاده از ضایعات کشاورزی در جهت تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان یک اولویت تلقی می‌شود. از جمله این ضایعات می‌توان به سرشاخه‌های هرس‌شده درختان میوه از جمله پسته و برگ خرما اشاره کرد. در حال حاضر نه تنها استفاده مطلوبی از این ضایعات نمی‌شود، بلکه به دلیل سوزاندن آنها توسط اغلب مردم، مشکلات زیست‌محیطی ایجاد کرده است. طی سال‌های اخیر استفاده از ضایعات کشاورزی در موارد متعددی گزارش شده است. از جمله این موارد می‌توان به تولید کمپوست، بیوجار، ام‌دی‌اف و نئوپان اشاره کرد.

بیوجار زغال تهیه شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که طی فرآیند ترموشیمیایی (Pyrolysis) تولید می‌شود، این فرآیند، سوختن کند و آرام مواد آلی در شرایط کمبود اکسیژن یا نبود آن است (Beesley et al., 2011; Keiluweit, 2010). بیوجار ترکیب پایداری از کربن، ماده‌ای متخلخل و بسیار ریز دانه است که در دمای کم تا متوسط تحت شرایطی با اکسیژن محدود تولید می‌شود. طی این فرآیند نوعی سوخت زیستی بصورت مایع یا گاز هم تولید می‌شود که برای مصارف مختلف قابل استفاده است (Sohi et al., 2009). بسیاری از مطالعات نشان

داده‌اند که بیوجار یک ماده اصلاح‌کننده مفید برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، مؤثر در حفظ ماده آلی خاک، افزایش بهره‌وری کود استفاده‌شده و افزایش تولید محصول به ویژه برای خاک‌های مناطق نیمه گرمسیری و گرمسیری که طولانی‌مدت کشت‌شده‌اند، می‌باشد (Van Zwieten et al., 2010). اثر مثبت بیوجار در مناطق گرمسیری بیشتر می‌باشد (Rodrigues et al., 2010). مطالعات نشان دادند بیوجار سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شود (Basso et al., 2013). افزایش آب قابل‌دسترس در اثر افزودن بیوجار به دلیل تغییر است که بیوجار به دلیل سطح ویژه بالایی که دارد در توزیع اندازه ذرات و تخلخل خاک ایجاد کرده است (Sun et al., 2014). بیوجار منبعی مستقیم برای عناصر پتاسیم، کلسیم، فسفر، روی و مس می‌باشد و فراهمی عناصر غذایی بر اثر افزودن بیوجار به خاک، می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تغییر pH خاک و یا افزوده شدن مستقیم عنصر از بیوجار به خاک افزایش یابد. در آزمایشی کاربرد بیوجار شلتوک برنج به میزان صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۵۰ گرم بر کیلوگرم خاک، موجب افزایش وزن تر بوته، وزن خشک بوته، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، طول ساقه، تعداد برگ در گیاهان کاهو و کلم گردید و بیشترین تأثیر هم مربوط به بالاترین تیمار بیوجار بود (Carter et al., 2013). در تحقیقی کاربرد صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوجار موجب افزایش کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن کل، کلسیم، منیزیم، فسفر، پتاسیم و سدیم خاک و فسفر، نیتروژن و پتاسیم کاهو در خاک شد و بیشترین تأثیر مقدار ۱۰ تن در هکتار به خود اختصاص داد (Nigussie et al., 2012). نتایج تحقیقات نشان داده است استفاده از بیوجار باعث بهبود کیفیت خاک از طریق بهبود خواص فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی آن می‌شود که در نتیجه باعث افزایش تولید محصول می‌گردد. علاوه بر این، بیوجار می‌تواند اسیدیته، قلیائیت و شوری خاک را کنترل کند. همچنین بیوجار به وسیله حفظ کربن آلی و رطوبت خاک، در اصلاح خاک‌های ضعیف نقش مهمی ایفا و در نتیجه به بالارفتن عملکرد محصول

بسته‌بندی شدند تا فرآیند اکسیژن‌رسانی به بقایا محدود شود. سپس به مدت چهار ساعت در دمای ۵۶۰ درجه سلسیوس در داخل کوره الکتریکی قرار داده شدند تا بیوچار تولید شود (Hall et al., 1986). جدول ۱ برخی خواص شیمیایی بیوچار خرما و پسته را نشان می‌دهد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. عامل اول ورمی‌کمپوست در دو سطح (صفر، ۱۵۰۰ گرم در مترمربع) و عامل دوم بیوچار در سه سطح (صفر، ۵۰۰ گرم بیوچار خرما و ۵۰۰ گرم بیوچار پسته در مترمربع) بود. قبل از کاشت نشا میزان بیوچار مورد نظر طبق نقشه آزمایش به خوبی با خاک چاله کاشت مخلوط شد و پس از آن نشا کاشته شد. آبیاری به صورت قطره‌ای اعمال گردید، به این صورت که در کنار هر گیاه یک قطره‌چکان نتافیم با دبی ۴ لیتر در ساعت قرار داده شد. صفات مورد اندازه‌گیری شامل وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، کلروفیل a و b، تعداد میوه در بوته، وزن متوسط میوه، عملکرد کل و کارایی مصرف آب بودند. در مجموع پنج چین برداشت شد و مجموع پنج چین به عنوان عملکرد کل در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری کارایی مصرف آب، عملکرد کل بر حسب کیلوگرم به حجم آب مصرفی بر حسب مترمکعب تقسیم شد. حجم آب مورد استفاده با استفاده از ضرب کردن تعداد ساعت های آبیاری در کل فصل ضرب در دبی قطره چکان (۴ لیتر در ساعت) به دست آمد. تجزیه آماری با استفاده از نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و گراف‌ها با نرم‌افزار Excell رسم گردید.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های بیوچار خرما و پسته مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Some characteristics of date palm and pistachio biochar used in the experiment

	Date palm	Pistachio
pH	9.00	7.7
EC (DSm ⁻¹)	7.50	29.70
N (%)	0.74	0.20
P (%)	0.09	0.10
K (%)	0.83	0.95
Fe (ppm)	983.20	750.00
Zn (ppm)	32.4	30.20
Cu (ppm)	2.00	2.50
Mn (ppm)	139.30	150.00

کمک می‌کند (Palansooriya et al., 2019). در طی تحقیقات انجام‌شده (Li et al., 2018) مقادیر ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ تن در هکتار بیوچار به خاک اضافه شد. نتایج نشان داد افزودن بیوچار باعث افزایش تخلخل خاک می‌شود. همچنین مشاهده شد هدایت الکتریکی خاک با اضافه کردن بیوچار افزایش یافت، ولی pH خاک با افزودن بیوچار در یک فصل رشد تحت تأثیر قرار نگرفت. بالاترین کارایی مصرف آب و کود با مصرف ۴۰ تن در هکتار بیوچار به دست آمد. نتایج نشان داد افزودن تقریبی ۳۰ تن در هکتار بیوچار یک مقدار مناسب برای تولید گوجه فرنگی در منطقه مورد مطالعه بود.

نتایج تحقیقی نشان داد کاربرد بیوچار خرما باعث افزایش وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، وزن متوسط میوه و کارایی مصرف آب در خربزه شد (Bagheri et al., 2020a). همچنین در تحقیقی دیگر کاربرد بیوچار برگ خرما باعث افزایش رشد و کلروفیل a و b در خربزه گردید (Bagheri et al., 2020b).

با توجه به اهمیت اقتصادی بادمجان و چالش‌های موجود در کشت این محصول و کاهش مواد آلی خاک‌های ایران، این پژوهش به منظور تعیین تأثیر کاربرد جداگانه و تلفیقی بیوچار برگ خرما و سرشاخه‌های پسته و ورمی‌کمپوست بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب در بادمجان صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۷ در مزرعه کشاورزی واقع در اطراف شهرستان شیراز اجرا شد. این منطقه دارای طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۸ دقیقه، عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۹ دقیقه و ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا بود. میانگین بارندگی سالانه حدود ۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دما ۱۹ درجه سلسیوس بود.

در این آزمایش از بادنجان رقم شان‌تال (Semines, USA) استفاده شد. جهت آماده‌سازی زمین، ابتدا زمین به خوبی شخم زده شد و تسطیح گردید. جهت تهیه بیوچار از بقایای برگ درخت نخل و سرشاخه پسته استفاده شدند. بقایا پس از جمع‌آوری، هوا خشک و خردشده و سپس در ورقه‌های آلومینیومی

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر ورمی کمپوست، بیوچار و اثر متقابل ورمی کمپوست و بیوچار بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در سطح یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی در ترکیب تیماری کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار خرما به دست آمد که ۱/۶ برابر تیمار شاهد (عدم کاربرد ورمی کمپوست و

بیوچار) و ۱/۲ برابر ترکیب تیماری کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار پسته بود (شکل های ۱ و ۲). همچنین بر اساس نتایج مقایسه میانگین ها بیشترین وزن تر و خشک ریشه در ترکیب تیماری کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار خرما مشاهده شد که تقریباً ۱/۸ برابر تیمار شاهد (عدم کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار) و ۱/۱ برابر ترکیب تیماری کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار پسته بود.

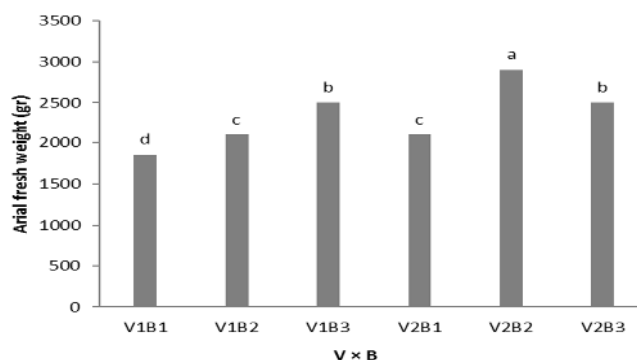
جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر ورمی کمپوست و بیوچار بر برخی صفات رویشی بادنجان.

Table 2. Results of variance analysis effect of vermicompost and biochar on some vegetative traits of eggplant.

Source of variation	df	Mean of squares					
		Arial fresh weight	Arial dry weight	Root fresh weight	Root dry weight	Chlorophyll a	Chlorophyll b
Replication	2	228200**	17879.17**	3826.72**	612.28**	3.39**	4.39**
Vermicompost	1	551250**	43218.00**	5033.39**	805.34**	10.12**	1.87**
Biochar	2	791250**	62034.00**	15212.72**	2434.04**	9.39**	2.28**
Vermicompost × Biochar	2	11250**	882.00**	39.39**	6.30**	0.01 ^{ns}	0.02 ^{ns}
Error	10	200	15.17	0.86	0.14	0.06	0.01
CV (%)		0.61	0.60	0.41	0.41	3.91	4.46

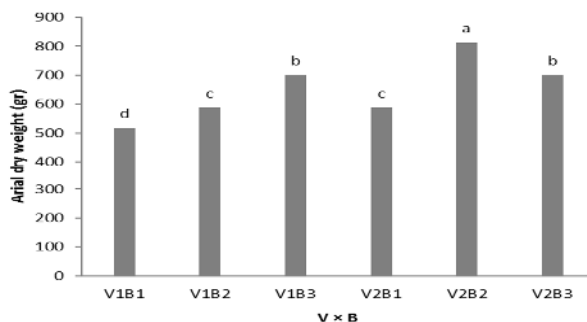
ns و **: به ترتیب نبود تفاوت معنی دار و تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

ns, **: Non-significantly difference and significantly difference at 5 and 1% of probability levels, respectively.



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی کمپوست و بیوچار بر وزن تر اندام هوایی بادنجان (V_1 = عدم کاربرد ورمی کمپوست، V_2 = کاربرد ورمی کمپوست، B_1 = عدم کاربرد بیوچار، B_2 = کاربرد بیوچار خرما، B_3 = کاربرد بیوچار پسته).

Figure 1. Mean comparison interaction effect of vermicompost and biochar on arial fresh weight of eggplant (V_1 = without vermicompost, V_2 = with vermicompost, B_1 = without biochar, B_2 = date palm biochar, B_3 = pistachio biochar).



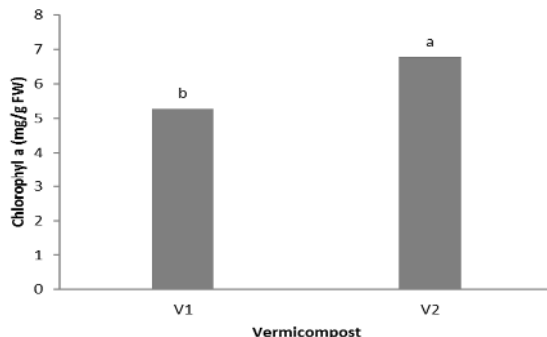
شکل ۲. مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی کمپوست و بیوچار بر وزن خشک اندام هوایی بادنجان (V_1 = عدم کاربرد ورمی کمپوست، V_2 = کاربرد ورمی کمپوست، B_1 = عدم کاربرد بیوچار، B_2 = کاربرد بیوچار خرما، B_3 = کاربرد بیوچار پسته).

Figure 2. Mean comparison interaction effect of vermicompost and biochar arial dry weight of eggplant (V_1 = without vermicompost, V_2 = with vermicompost, B_1 = without biochar, B_2 = date palm biochar, B_3 = pistachio biochar).

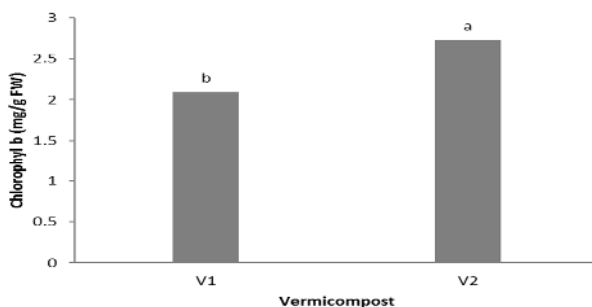
به نظر می رسد کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار، از طریق افزایش مواد آلی خاک و فراهمی بهتر عناصر غذایی برای گیاه، توانسته است بیوماس بیشتری تولید کند. ریشه های گیاهان در بسترهای حاوی بیوچار رشد خوبی دارند که می تواند به علت بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک ریزوسفر باشد. بنابراین کاهش مقاومت خاک به رشد ریشه در این محیط های کشت دیده می شود (Altland, 2006; Chan *et al.*, 2008). بیوچار می تواند نفوذپذیری آب خاک را بهبود بخشد و سبب تسهیل نفوذ ریشه و افزایش وزن و طول ریشه شود. سایر محققان (Chan *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2010) نیز افزایش رشد در تیمارهای بیوچار را به افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود ویژگی های فیزیکی خاک مانند کاهش چگالی ظاهری نسبت دادند. همچنین بیوچار موجب افزایش خصوصیات شیمیایی خاک مانند گروه های عاملی و ظرفیت تبادل کاتیونی (Kharea *et al.*, 2013) می شود و دسترسی گیاه به عناصر غذایی افزایش یافته و گیاه رشد بهتری می تواند داشته باشد

Lehmann & Joseph, 2009). بیوچار به طور قابل توجهی موجب افزایش کربن آلی و حاصلخیزی خاک (Kumar *et al.*, 2013)، افزایش رشد و نمو و عملکرد محصول (Spokas *et al.*, 2010) و افزایش ماده خشک (Van Zwieth *et al.*, 2010) می گردد.

اثر ورمی کمپوست و بیوچار بر میزان کلروفیل a و b معنی دار بود، اما اثر متقابل ورمی کمپوست و بیوچار معنی دار نبود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین ها بیشترین میزان کلروفیل a و b در تیمار کاربرد ورمی کمپوست مشاهده شد که ۱/۳ برابر تیمار شاهد (عدم کاربرد ورمی کمپوست) بود (شکل های ۳ و ۴). همچنین بر اساس نتایج مقایسه میانگین ها بیشترین میزان کلروفیل a در تیمار مصرف بیوچار خرما به دست آمد که ۱/۵ برابر تیمار شاهد (عدم کاربرد بیوچار) و ۱/۲ برابر بیوچار پسته بود. همچنین بیشترین مقدار کلروفیل b در تیمار کاربرد بیوچار خرما مشاهده شد که ۱/۷ برابر تیمار شاهد (بدون کاربرد بیوچار) و ۱/۳ برابر بیوچار پسته بود.



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر ورمی کمپوست بر کلروفیل a بادنجان (V₁= عدم کاربرد ورمی کمپوست، V₂= کاربرد ورمی کمپوست).
Figure 3. Mean comparison effect of vermicompost on chlorophyll a of eggplant (V₁= without vermicompost, V₂= with vermicompost).



شکل ۴. مقایسه میانگین اثر ورمی کمپوست بر کلروفیل b بادنجان (V₁= عدم کاربرد ورمی کمپوست، V₂= کاربرد ورمی کمپوست).
Figure 4. Mean comparison effect of vermicompost on chlorophyll b of eggplant (V₁= without vermicompost, V₂= with vermicompost).

در تحقیقی گزارش شد کاربرد بیوچار برگ خرما باعث افزایش کلروفیل a و b در خریزه شد (Bagheri *et al.*, 2020a). بیوچار با افزایش میزان کلروفیل، موجب بهبود فتوسنتز، افزایش مواد هیدروکربنی و تولید زیست توده بیشتر می شود که از جمله نتایج آن، افزایش سطح و تعداد برگ و به دنبال آن افزایش وزن و طول ریشه و شاخساره گیاه می باشد (Song & Guo, 2012). تحقیقات قبلی همچنین نشان داد بیوچار میزان کلروفیل را افزایش می دهد و در نتیجه، فتوسنتز و تولید هیدروکربن ها را بهبود می بخشد و بیوماس بیشتری تولید می کند، در نتیجه، سطح برگ، تعداد برگ و وزن و طول ریشه و شاخه افزایش می یابد (Kamman *et al.*, 2011). کاربرد ورمی کمپوست نیز از طریق افزایش مواد آلی خاک و بهبود شرایط جذب عناصر غذایی باعث افزایش قابل ملاحظه ای در میزان کلروفیل a و b بادمجان شد که در نهایت منجر به افزایش بیوماس و عملکرد گردید (Song & Guo, 2012). کاربرد بیوچار باعث افزایش محتوای کلروفیل، به دلیل تأثیر مستقیم آن در جذب منیزیم می باشد که جزء مهمی از رنگدانه کلروفیل a است (Abeer *et al.*, 2015). همچنین (Akhtar *et al.*, 2015) گزارش کردند بیوچار تولید شده از ترکیب پوسته برنج و دانه کتان به طور معنی داری تجمع نیتروژن در گیاه و در نتیجه شاخص سبزیگی گندم را افزایش داد. این نتایج با نتایج این آزمایش همخوانی دارد.

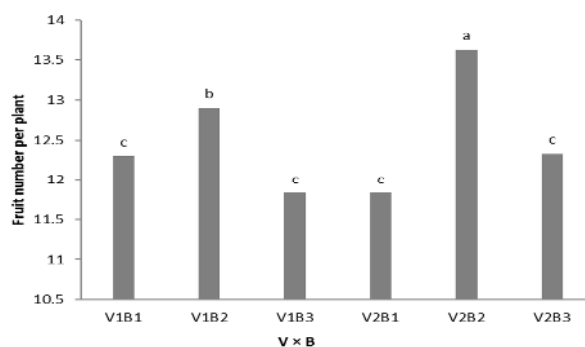
نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر بیوچار و اثر متقابل ورمی کمپوست و بیوچار بر تعداد میوه در بوته معنی دار بود، اما اثر ورمی کمپوست معنی دار نبود (جدول ۳). بیشترین تعداد میوه در بوته در تیمار کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار خرما به دست آمد (شکل ۵). با کاربرد توام ۱۵۰۰ گرم ورمی کمپوست در متر مربع و ۵۰۰ گرم بیوچار خرما در متر مربع می توان به بیشترین تعداد میوه در بوته دست یافت. تعداد میوه در بوته یکی از اجزای عملکرد محسوب می شود و با توجه به این که هرچه تعداد میوه های بوته زیاده تر باشد وزن کمتری خواهد داشت و از بازاری پسندی بیشتری برخوردار خواهد بود، بنابراین از نظر این صفت نیز کاربرد توام ورمی کمپوست و بیوچار نسبت به عدم کاربرد آن ها برتری داشت.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر ورمی کمپوست و بیوچار بر برخی صفات بادنجان.

Table 3. Results of variance analysis effect of vermicompost and biochar on some traits of eggplant.

Source of variation	d.f.	Mean of squares			
		Fruit number per plant	Fruit mean weight	Total yield	Water use efficiency
Replication	2	2.89	10633.50**	338656.89**	0.80**
Vermicompost	1	0.29 ^{ns}	2341.56**	858923.56**	2.05**
Biochar	2	2.84**	894.19*	811881.06**	1.93**
Vermicompost × Biochar	2	0.61*	40.94 ^{ns}	110881.06**	0.26**
Error	10	0.09	171.61	816.22	0.01
CV (%)		2.39	2.50	0.44	0.43

ns, *, **: به ترتیب نبود تفاوت معنی دار و تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. ns, *, **: Non-significantly difference and significantly difference at 5 and 1% of probability levels, respectively.

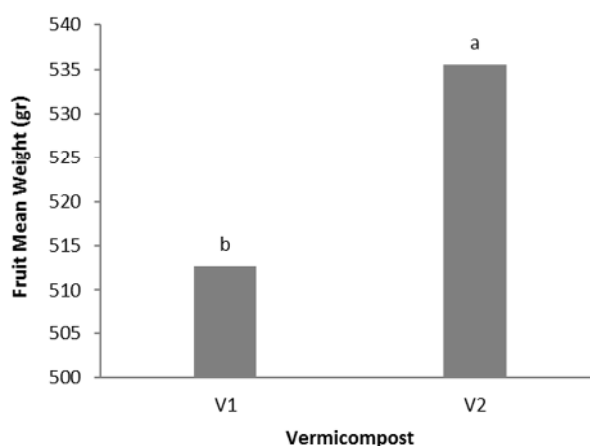


شکل ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی کمپوست و بیوچار بر تعداد میوه در بوته بادنجان (V₁=عدم کاربرد ورمی کمپوست، V₂=کاربرد ورمی کمپوست، B₁=عدم کاربرد بیوچار، B₂=کاربرد بیوچار خرما، B₃=کاربرد بیوچار پسته).

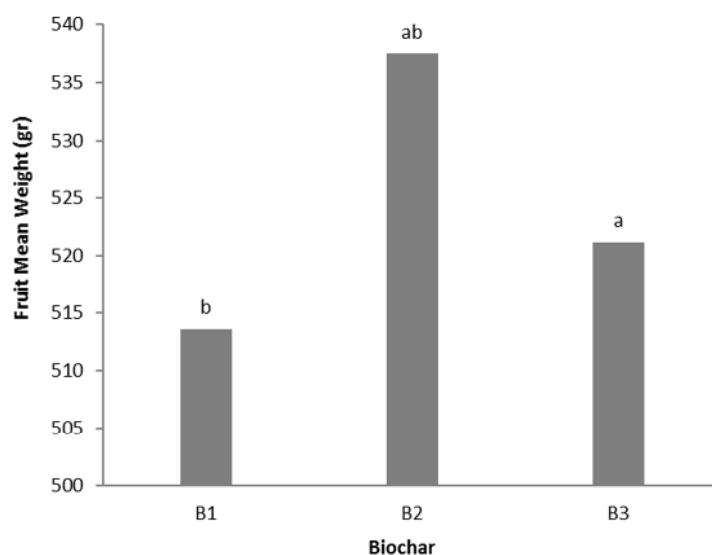
Figure 5. Mean comparison interaction effect of vermicompost and biochar on fruit number per plant in eggplant (V₁=without vermicompost, V₂=with vermicompost, B₁=without biochar, B₂=date palm biochar, B₃=pistachio biochar).

افزایش وزن متوسط میوه در تیمار بیوچار خرما را شاید بتوان به عناصر غذایی بیوچار خرما از جمله نیتروژن، آهن و روی نسبت داد که همان طور که در جدول ۱ آمده است مقادیر آن ها در بیوچار خرما بیشتر از بیوچار پسته است. این سه عنصر غذایی از عناصر بسیار مهم در تغذیه گیاهان از جمله بادنجان هستند. برخی محققین اعلام کردند مصرف بیوچار می تواند وزن متوسط میوه را افزایش بدهد که با نتیجه حاصله از این تحقیق مطابقت دارد (Akhtar *et al.*, 2014).

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر ورمی کمپوست و بیوچار بر وزن متوسط میوه معنی دار بود، اما اثر متقابل ورمی کمپوست و بیوچار معنی دار نبود (جدول ۳). کاربرد ۱۵۰۰ گرم ورمی کمپوست در متر مربع باعث دست یابی به بیشترین وزن متوسط میوه شد. کمترین وزن متوسط میوه در تیمار عدم مصرف ورمی کمپوست به دست آمد (شکل ۶). بیشترین وزن متوسط میوه متعلق به تیمار کاربرد بیوچار خرما و کمترین وزن متوسط میوه در تیمار عدم مصرف بیوچار به دست آمد (شکل ۷). علت احتمالی



شکل ۶. مقایسه میانگین اثر ورمی کمپوست بر وزن متوسط میوه بادنجان (V_1 = عدم کاربرد ورمی کمپوست، V_2 = کاربرد ورمی کمپوست).
Figure 6. Mean comparison effect of vermicompost on fruit mean weight of eggplant (V_1 = without vermicompost, V_2 = with vermicompost).



شکل ۷. مقایسه میانگین اثر بیوچار بر وزن متوسط میوه بادنجان

(B_1 = عدم کاربرد بیوچار، B_2 = کاربرد بیوچار خرما، B_3 = کاربرد بیوچار پسته).

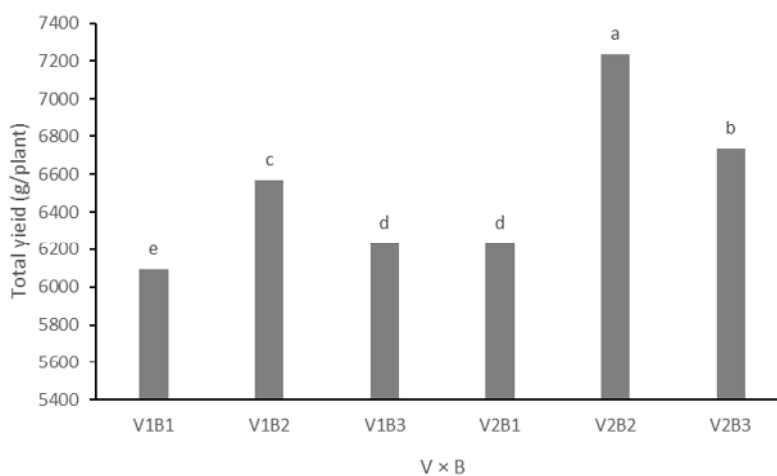
Figure 7. Mean comparison effect of biochar on fruit mean weight of eggplant (B_1 = without biochar, B_2 = date palm biochar, B_3 = pistachio biochar).

آزمایش‌های مختلف می‌تواند بدلیل تفاوت در ترکیب و ساختار انواع مختلف بیوچار باشد که به‌طور عمده به شرایط و مواد اولیه جهت تولید بیوچار بستگی دارد (Chatterjee *et al.*, 2012; Windeatt *et al.*, 2014). خواص خاک هم می‌تواند بر عملکرد بیوچار تأثیر بگذارد (Spokas *et al.*, 2012; Crane-Droesch *et al.*, 2013). علاوه بر این، کاربرد ترکیبی بیوچار و ورمی کمپوست باعث افزایش عملکرد بادمجان در مقایسه با کاربرد بیوچار یا ورمی کمپوست به تنهایی شد. مخلوط کردن کمپوست با بیوچار باعث افزایش واکنش پذیری سطح، افزایش بار مواد مغذی، تحریک کلونی سازی میکروبی و کاهش مواد مضر بیوچار می‌شود. ترکیب کمپوست با بیوچار می‌تواند بر کیفیت کمپوست نیز تأثیر بگذارد (Vandecasteele *et al.*, 2016).

برخی محققین گزارش دادند که کاربرد تیمارهای مختلف بیوچار (از صفر تا پنج درصد وزن خاک گلدان) بر گیاه گوجه فرنگی می‌تواند افزایش عملکرد کل میوه را در پی داشته باشد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت (Akhtar *et al.*, 2014). برخی تحقیقات قبلاً افزایش عملکرد ذرت با کاربرد بیوچار را به افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند کاهش چگالی ظاهری نسبت داده‌اند (Chan *et al.*, 2008, Zhang *et al.*, 2010).

اثر ورمی کمپوست، بیوچار و اثر متقابل ورمی کمپوست و بیوچار بر عملکرد کل معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد کل (۷۲۳۳ گرم در بوته) در ترکیب تیماری مصرف ۱۵۰۰ گرم ورمی کمپوست و ۵۰۰ گرم بیوچار خرما در متر مربع مشاهده شد که ۱/۲ برابر تیمار شاهد (عدم کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار) بود. کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار پسته با کاهش معنی‌دار هفت درصدی عملکرد نسبت به کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار خرما در رتبه بعدی قرار گرفت. کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار پسته باعث افزایش ۱/۱ برابری عملکرد نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار) بود (شکل ۸). شاید بتوان علت افزایش بیشتر عملکرد در تیمار بیوچار خرما را به عناصر غذایی بیوچار خرما از جمله نیتروژن، آهن و روی نسبت داد، که همان‌طور که در جدول ۱ آمده است مقادیر آن‌ها در بیوچار خرما بیشتر از بیوچار پسته است. این سه عنصر غذایی از عناصر بسیار مهم در تغذیه گیاهان از جمله بادنجان هستند. کمترین عملکرد کل در تیمار شاهد (عدم کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار) به دست آمد.

به طور کلی، در این تحقیق هر دو بیوچار خرما و بیوچار پسته عملکرد بادمجان را نسبت به تیمار شاهد (عدم کاربرد ورمی کمپوست و بیوچار) افزایش دادند. علت تفاوت تأثیر بیوچار بر رشد و عملکرد در



شکل ۸. مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی کمپوست و بیوچار بر عملکرد کل بادنجان (V_1 = عدم کاربرد ورمی کمپوست، V_2 = کاربرد ورمی کمپوست، B_1 = عدم کاربرد بیوچار، B_2 = کاربرد بیوچار خرما، B_3 = کاربرد بیوچار پسته).

Figure 8. Mean comparison interaction effect of vermicompost and biochar on total yield of eggplant (V_1 = without vermicompost, V_2 = with vermicompost, B_1 = without biochar, B_2 = date palm biochar, B_3 = pistachio biochar).

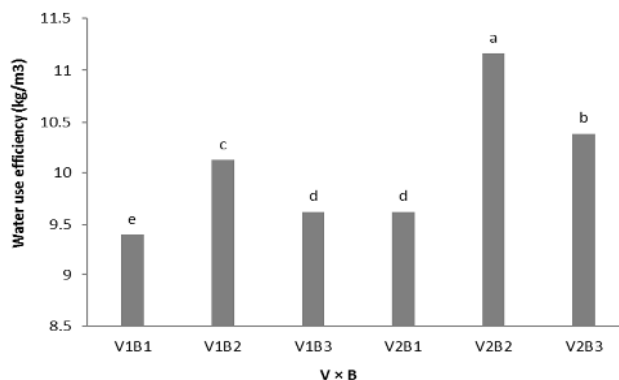
فرآیندهای نیترات‌ساز تسهیل می‌کند (Mukherjee *et al.*, 2013). همچنین بیوچار به دلیل افزایش هوادهی خاک از دنیترو فیکاسیون جلوگیری می‌کند و جذب و نگهداری آمونیوم را در خاک سبب می‌شود که منجر به کاهش قابل‌دسترس بودن نیتروژن برای دنیتروفیکاسیون می‌گردد (Sarah Carter *et al.*, 2013). میزان تأثیر مواد آلی در افزایش فراهمی فسفر در خاک به مقدار فسفر آن‌ها بستگی دارد. با توجه به کم بودن مقدار فسفر قابل‌جذب بیوچار برگ نخل خرما، این افزایش را می‌توان ناشی از اسیدهای آزاد شده از مواد آلی عنوان کرد. این اسیدها تثبیت فسفر در خاک را کاهش داده و آن را به‌صورت قابل‌جذب گیاه تبدیل می‌نمایند.

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر ورمی‌کمپوست، بیوچار و اثر متقابل ورمی‌کمپوست و بیوچار بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود. بیشترین کارایی مصرف آب (۱۱/۱۶ کیلوگرم بر متر مکعب) در ترکیب تیماری کاربرد ورمی‌کمپوست و بیوچار خرما به‌دست آمد که ۱/۳ برابر تیمار شاهد (عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و بیوچار) بود. کاربرد ورمی‌کمپوست و بیوچار پسته باعث افزایش ۱/۱ برابری کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد شد. کمترین کارایی مصرف آب در تیمار شاهد (عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و بیوچار) به‌دست آمد (شکل ۹).

امروزه به‌دلیل بحران آب در دنیا و به‌ویژه در کشورهای کم باران مانند ایران، کارایی مصرف آب اهمیت زیادی پیدا کرده است.

بیوچار به دلیل فراهم کردن شرایط دسترسی گیاه به عناصر غذایی باعث رشد رویشی بیشتر گیاه و در نتیجه عملکرد بالاتر خواهد شد (Lehmann & Joseph, 2009). قبلاً برخی محققین افزایش رشد رویشی و عملکرد دانه گیاه کینوا با کاربرد بیوچار را گزارش کردند (Kammann *et al.*, 2011). علاوه بر افزایش عملکرد که در اثر کاربرد هر دو نوع بیوچار رخ داد می‌توان به کاهش آفات و بیماری‌ها در اثر قوی شدن گیاهان نیز اشاره کرد. به‌طوری‌که تنها آفتی که در مزرعه مشاهده شد کنه تار عنکبوتی بود که با یک بار سم پاشی کنترل شد و این سم پاشی فاصله زمانی زیادی با زمان برداشت داشت و هیچ گونه آفت یا بیماری دیگر در مزرعه مشاهده نشد. بنابراین افزودن این مواد آلی (ورمی‌کمپوست و بیوچار) به خاک ضمن مزایایی که قبلاً ذکر شد می‌تواند به عنوان روشی برای تولید محصول ارگانیک بادنجان در هوای آزاد معرفی کرد.

به‌طور قطعی می‌توان دریافت که افزودن بیوچار به خاک با افزایش نگهداری آب، موجب کاهش آبشویی نیترات از خاک و افزایش قابل دسترسی نیتروژن در خاک می‌شود و این اثر حداقل برای پنج ماه پایدار است. بیوچار دارای قابلیت جذب آنیونی بوده و سطح ویژه بالایی دارد (Troeh & Thompson, 2005; Downie *et al.*, 2007) و بنابراین قادر است یون‌های نیترات را جذب کرده و موجب نگهداری آن در خاک شود. همچنین جاذبه الرطوبه بودن بیوچار و بالا بودن تخلخل ریز در ساختار آن این امکان را برای ریز جانداران و سایر



شکل ۹. مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی‌کمپوست و بیوچار بر کارایی مصرف آب بادنجان (V_1 = عدم کاربرد ورمی‌کمپوست، V_2 =

کاربرد ورمی‌کمپوست، B_1 = عدم کاربرد بیوچار، B_2 = کاربرد بیوچار خرما، B_3 = کاربرد بیوچار پسته).

Figure 9. Mean comparison interaction effect of vermicompost and biochar on water use efficiency of eggplant (V_1 = without vermicompost, V_2 = with vermicompost, B_1 = without biochar, B_2 = date palm biochar, B_3 = pistachio biochar).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه در ترکیب تیماری ورمی کمپوست و بیوچار خرما اندازه‌گیری شد. همچنین بیشترین کلروفیل a و b در اثر مصرف بیوچار خرما به‌دست آمد. کاربرد ورمی کمپوست باعث دستیابی به بیشترین میزان کلروفیل a و b و وزن متوسط میوه شد. بیشترین تعداد میوه در بوته، عملکرد کل (۷۲۳۳ گرم در بوته) و کارایی مصرف آب (۱۱/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب) در ترکیب تیماری مصرف ورمی کمپوست و بیوچار خرما مشاهده شد.

مصرف مواد آلی می‌تواند کارایی مصرف آب را افزایش دهد. از جمله مواد آلی که می‌توانند کارایی مصرف آب را افزایش دهند ورمی کمپوست و بیوچار می‌باشند. نتایج آزمایش‌های انجام‌شده در گیاه زینیا (*Zinnia elegance* 'Dreamland Red') نشان داد بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار مصرف ورمی کمپوست و ۷۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (Nazarideljou & Heidari, 2014). گزارش شده است بیشترین کارایی مصرف آب در گوجه‌فرنگی با مصرف بیوچار کلش گندم به‌دست آمد (Keabetswe et al., 2019).

REFERENCES

1. Abeer, H., Abdallah, E. F., Alqarawi, A. A. & Dilfuza, E. (2015). Bioremediation of adverse impact of cadmium toxicity on *Cassia italica* Mill by arbuscular mycorrhizal fungi. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23, 39-47.
2. Akhtar, S. S., Li, G., Andersen, M. N. & Liu, F. (2014). Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management*, 138, 37-44.
3. Akhtar, S. S., Andersen, M. N. & Liu, F. (2015). Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. *Agricultural Water Management*, 158, 61-68.
4. Altland, J. E & Locke, J. C. (2013). Effect of biochar type on macronutrient retention and release from soilless substrate. *HortScience*, 48, 1397-1402.
5. Bagheri, S., Hassandokht, M. R., Mirsoleimani, A. & Mousavi, A. (2020a). Effect of palm leaf biochar on melon plants (*Cucumis melo* L.) under drought stress conditions. *Advances in Horticultural Science*, 33(4), 1-5.
6. Bagheri, S., Hassandokht, M. R., Mirsoleimani, A. & Mousavi, A. (2020b). Effects of palm leaf biochar on the availability of soil nutrients, leaf nutrient concentration, and physiological characteristics of melon plants (*Cucumis melo* L.) under drought stress. *Acta Agrobotanica*, 73 (1), 1-12.
7. Beesley, L., Jimenez, E. M., Jose, L., Eyles, G., Harris, E., Robinson, B. & Sizmur, T. (2011). A review of biochars potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. *Environmental Pollution*, 159, 3269-3282.
8. Basso, A.S., Miguez, F.E., Laird, D.A., Horton, R. & Westgate, M. (2013). Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. *Global Change Biology Bioenergy*, 5, 132-143.
9. Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T. & Haefele, S. (2013). The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa* L.) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3, 404-418.
10. Chan, K.Y., Zwieten, L.V., Meszaros, I., Downie, A. & Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research*, 46, 437-444.
11. Hall, G., Woodborne, S. & Scholes, M. (2008). Stable carbon isotope ratios from archaeological charcoal as palaeoenvironmental indicators. *Chemical Geology*, 247(3): 384- 400.
12. Hassandokht, M.R. (2012). *Technology of vegetable production*. Selseleh Publication, Qom, Iran. (in Farsi)
13. Keabetswe, L., Shao, C. C., Cui, J., Lu, J. & Stimela, T. (2019). Combination of biochar and regulated deficit irrigation improves tomato fruit quality: A comprehensive quality analysis. *Folia Horticulturae*, 31(1). DOI: 10.2478/fhort-2019-0013.
14. Kammann, C. I., Linsel, S., Gobling, J. W. & Koyro, H. W. (2011). Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* and on soil-plant relations. *Plant and Soil*, 345, 195-210.
15. Keiluweit, M. (2010). Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environmental Science and Technology*, 44(4), 1247-53.
16. Kharea, P., Dilshada, U., Routb, P. K., Yadava, V. & Jaina, S. (2013). Plant refuses driven biochar: Application as metal adsorbent from acidic solutions. *Arabian Journal of Chemistry*, 226, 1-10.
17. Kumar, S., Masto, R. E., Ram, L. C., Sarkar, P., George, J. & Selvi, A. V. (2013). Biochar preparation from *Parthenium hysterophorus* and its potential use in soil application. *Ecology Engineering*, 55, 67-72.
18. Li, C., Xiong, Y., Qu, Z., Xu, X., Huang, Q. & Huang, G. (2018). Impact of biochar addition on soil properties and water-fertilizer productivity of tomato in semi-arid region of Inner Mongolia, China. *Geoderma*, 331, 100-108.

19. Lehmann, J. & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management*. Science Technology Earthscan, London and Sterling, VA USA.
20. Nazarideljou, M.J. & Heidari, Z. (2014). Effects of vermicompost on growth parameters, water use efficiency and quality of zinnia bedding plants (*Zinnia elegance* 'Dreamland Red') under different irrigation regimes. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 1(2), 141-150.
21. Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M. & Ambaw, G. (2012). Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 12, 369-376.
22. Palansooriya, K. N., Ok, Y. S., Awad, Y. M., Lee, S. S., Sung, J. K., Koutsospyros, A. & Moon, D. H. (2019). Impacts of biochar application on upland agriculture: *A Review*. *Journal of Environmental Management*, 234, 52-64.
23. Rodrigues, J. G., Edvardo, P. M J., Forner, B. & Angeles, F. (2010). Citrus rootstock response to water stress. *Scientia Horticulturae*, 126, 95-102.
24. Sohi, S., Capel, E. L., Evelyn, K. & Roland, B. (2009). Biochar, climate change and soil a review to guide future research. Newcastle University, 56 pp.
25. Song, W. & Guo, M. (2012). Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 94, 138-145.
26. Spokas, K. A, Baker, J. M. & Reicosky, D. C. (2010). Ethylene: potential key for biochar amendment impacts. *Plant and Soil*, 333, 443-452.
27. Sun, Z., Bruun, E.W., Arthur, E., De Jonge, L.W., Moldrup, P., Hauggaard-Nielsen, H. & Elsgaard, L. (2014). Effect of biochar on aerobic processes, enzyme activity, and crop yields in two sandy loam soils. *Biology and Fertility of Soils*, 50, 1087-1097.
28. Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J. & Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*, 327, 235-246.
29. Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Zheng, J. & D. Crowley (2010). Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 139, 469-475.