Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 50, No 2, Summer 2019 (89 - 99)
DOI: 10.22059/ijfcs.2018.245698.654408

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۰، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۸ (ص۹۹- ۸۹)

کاربرد سطوح مختلف بیوچار و آبیاری بر رشد، محصول و اجزای محصول گیاه باقلا

سمانه پورمنصور[۱]، فاطمه رزاقی[۲*]، علیرضا سپاسخواه[۳]، سید علی اکبر موسوی[٤]

۱، ۲، ۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استادیار و استاد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

۲، ۳. مرکز مطالعات خشکسالی، دانشگاه شیراز، ایران

٤. دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

(تاریخ دریافت: ۹٦/۰۸/۲۷ - تاریخ پذیرش: ۹۷/۰٤/۳۰)

چکیده

در یک آزمایش گلخانه‌ای تاثیر ٤ سطح (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار) بیوچار تولیدشده از کاه و کلش گندم و ۳ سطح آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) در قالب طرح کاملاً تصادفی بر رشد و محصول گیاه باقلا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد زمانی که گیاه باقلا رشد کامل خود را کرده، بیشترین مقدار ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ، در تیمار بیوچار ۲۵ تن در هکتار مشاهده شده است. همچنین، بیشترین مقدار محصول باقلا در سطح ۲۵ تن در هکتار بیوچار به‌دست آمد. یافته‌های تیمار آبیاری نشان داد که با اعمال تنش آبی، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ کاهش یافته است. همچنین با اعمال تنش آبی، رشد و محصول باقلا نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌داری را نشان داد. لذا با توجه به نتایج، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از بیوچار (به‌عنوان یک ماده اصلاح‌کننده خاک) در سطوح پایین اثر مثبت بر محصول داشته باشد. همچنین استفاده از رژیم آبیاری در سطح ۷۵ درصد آبیاری کامل و به‌ازای سطح بیوچار ۲۵ تن در هکتار، به‌دلیل عدم کاهش معنی‌دار محصول گیاه باقلا، توصیه می‌گردد.

واژه های کلیدی: **بیوچار، کم‌آبیاری، شاخص سطح برگ، اجزای محصول باقلا.**

Different levels of biochar and irrigation influence on faba bean growth, yield and yield components

Samaneh Poormansour[1], Fatemeh Razzaghi[2*], Ali Reza Sepaskhah[3], Ali Akbar Moosavi[4]

1,2,3 Graduated Master of Science Student, Assistant Professor, and Professor of Water Engineering Department, School of Agriculture, Shiraz University, Iran

2, 3 Drought research center, Shiraz University

4 Associate Professor of Soil Science Department, School of Agriculture, Shiraz University, Iran

(Received: November 18, 2017 – Accepted: July 21, 2018)

ABSTRACT

Effect of four levels of biochar (0, 25, 50 and 75 ton ha^{-1}) produced from wheat straw and three levels of irrigation (100, 75 and 50 % of crop water requirement) on growth and yield of faba bean was determined in completely randomized design in the greenhouse. The result showed that after faba bean reached maturity, the maximum plant height and leaf area index obtained in 25 ton ha^{-1} biochar treatment. Also, maximum faba bean yield was also obtained in 25 ton ha^{-1} biochar. The result of irrigation regimes treatments showed that the crop height and leaf area index decreased by application of deficit irrigation. Faba bean growth and yield were also significantly declined under deficit irrigation. Therefore, it can be concluded that application of biochar (as a soil amendment) in low levels may have a positive effect on crop yield and its components. Further, under biochar application of 25 ton ha^{-1}, the use of deficit irrigation in 75% of crop water requirement is recommended as it did not cause any significant decline in crop yield.

Keywords: Biochar, deficit irrigation, leaf area index, faba bean yield components.

* Corresponding author E-mail: razzaghi@shirazu.ac.ir

مقدمه

در ایران محدودیت منابع آب از مهم‌ترین چالش‌های بخش آب بوده و به‌دلیل شرایط خاص جغرافیایی، میزان نزولات جوی به‌شدت متفاوت می‌باشد. از سوی دیگر، رشد روز افزون جمعیت، توسعه اراضی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، گسترش صنایع، توزیع ناهمگون زمانی و مکانی آب‌های شیرین به لحاظ کمی و محدودیت‌ها و مشکلات روز افزون کیفیت منابع آبی، تامین آب مطمئن را به یکی از چالش‌های اساسی قرن حاضر تبدیل کرده است. از این‌رو استفاده از راهکارهایی در جهت کاهش مصرف آب و استفاده بهینه از مقدار آب موجود، راه‌حل بسیاری از مشکلات خواهد بود. از جمله این راهکارها، استفاده از مواد آلی جهت افزایش جذب و نگهداری آب می‌باشد. لازم به ذکر است که در مناطقی که مواد آلی خاک به دلایلی کم باشد، به همان مقدار نیتروژن خاک که به‌عنوان یک عنصر ضروری پرمصرف برای رشد گیاه محسوب می‌شود، کاهش می‌یابد (Tate, 2000). به‌همین دلیل کشاورزان در تلاش بوده‌اند تا با تامین نیاز غذایی گیاه از طریق مصرف کود و بازگرداندن بقایای آلی گیاه به خاک، تولید محصول را تا حد امکان افزایش دهند (Mary *et al.*, 1996). عمده‌ترین منابع تامین‌کننده مواد آلی خاک عبارتند از فضولات دامی، بقایای گیاهی، لجن فاضلاب‌ها و کمپوست زباله‌های شهری که با توجه به اهمیت کشاورزی ارگانیک و کاهش مشکلات زیست‌محیطی در کشاورزی پایدار بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Arabzadeh *et al.*, 2013).

امروزه با سوزاندن موادآلی در شرایط بدون اکسیژن، ترکیبی آلی به‌دست می‌آید که بیوچار (زغال زیستی) نام دارد. بیوچار طی فرآیند ترموشیمیایی که نوعی تجزیه در دمای زیاد و در غیاب اکسیژن (یا حضور کم اکسیژن) است، تولید می‌شود (Glaser & Birk, 2012). بیوچار ماده‌ای متخلخل و غنی از کربن (۸۹ درصد) می‌باشد؛ که ساختار آن قادر به ذخیره‌سازی آب و عناصر غذایی است؛ به‌همین دلیل آن را به‌عنوان محافظ در برابر خشکی به‌ویژه در خاک‌های شنی در نظر می‌گیرند (Ippolito *et al.*, 2012). نتایج تحقیقات ناشی از کاربرد بیوچار نشان می‌دهد که بیوچار می‌تواند سبب افزایش تعداد ریزجانداران مفید خاک، کاهش چگالی ظاهری و افزایش تخلخل و هوادهی شود و در نتیجه حاصلخیزی خاک را بهبود بخشد (Glaser *et al.*, 2002). با افزودن بیوچار به خاک، مقدار ماده آلی در دسترس، ظرفیت نگهداری آب و جذب عناصر غذایی به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد (Downie *et al.*, 2009). با توجه به اینکه در خاک‌های شنی، خشکی اغلب تهدیدی جدی برای کشاورزی می‌باشد، استفاده از بیوچار در مقادیر کم می‌تواند ظرفیت نگهداشت آب در خاک را بالا برده و استفاده از آب را افزایش دهد.

یکی‌دیگر از روش‌های مدیریت بحران آب در کشاورزی، اتخاذ سیاست‌های کم‌آبیاری است. کم-آبیاری عبارت است از مصرف عامدانه و عالمانه کمتر آب، به‌منظور افزایش تولید در مجموعه اراضی تحت پوشش و یا به‌عبارت ساده‌تر، کم‌آبیاری «استفاده بهتر از واحد حجم آب» می‌باشد. کم‌آبیاری، یک راهکار بهینه برای به‌تولید محصول در شرایط کمبود آب است که همراه با کاهش محصول در واحد سطح و افزایش آن با گسترش سطح می‌باشد. در این روش، گیاه در یک مرحله خاص رشد و یا در تمام فصل رشد درمعرض تنش آبی قرار می‌گیرد. امروزه نیاز به تامین منابع غذایی غنی، لزوم افزایش سطح زیر کشت محصولات با ارزش غذایی بالا را بیشتر کرده است؛ در این میان حبوبات با دارا بودن پروتئین زیاد، شاخص کلسیمی کم و مقادیر کم چربی، جایگاه ویژه‌ای در رژیم‌های غذایی مردم به خود اختصاص داده‌اند. در بین حبوبات، باقلا با دارا بودن ارزش غذایی و شاخص پروتئین زیاد از جمله حبوبات ارزشمند در رژیم غذایی می‌باشد. گیاه باقلا با توانایی زیاد در تثبیت زیستی نیتروژن، سبب تقویت، حاصلخیزی شیمیایی و زیستی خاک می‌شود و از این نظر در کشت تناوبی با دیگر محصولات گیاهی، مناسب می‌باشد (Hasanvand *et al.*, 2015). از این‌رو، هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر سطوح مختلف بیوچار و آبیاری بر رشد،

محصول و اجزای محصول گیاه باقلا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی سطوح مختلف بیوچار و آبیاری بر پارامترهای رشدی گیاه باقلا، آزمایشی در گلخانه بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل ۴ سطح مختلف بیوچار B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} (به‌ترتیب شامل صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ تن در هکتار) و ۳ سطح آبیاری $I_{100\%}$، $I_{75\%}$ و $I_{50\%}$ (به‌ترتیب ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) بود. در این آزمایش به‌منظور تهیه بیوچار، کاه و کلش باقیمانده از برداشت محصول گندم در حرارت زیاد (۵۵۰°C) در شرایط کم‌اکسیژن سوزانده شد. بیوچار به‌دست آمده به‌همراه خاک (با بافت لومی‌شنی) با روش‌های استاندارد معمولی (Gavili *et al.*, 2016) مورد تحلیل قرار گرفتند (جدول ۱). برای جبران کمبود احتمالی عناصر خاک، کود مناسب تعیین و با توجه به نتایج آزمون خاک، به‌مقدار مورد نیاز به خاک اضافه شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری‌شده در خاک و بیوچار مورد استفاده

Table1: Some of physical and chemical properties of used soil and biochar

	Na	K	Mg	Ca	N	EC	pH	Bulk density
	mg l^{-1}		meq l^{-1}		%	dS m^{-1}		g cm^{-3}
Soil	2.18	0.65	5.10	2	0.02	0.66	7.44	1.53
Biochar	1.67	48.04	3.80	2.3	0.25	9.30*	8.18*	0.25

*پ‌هاش و قابلیت هدایت الکتریکی بیوچار در نسبت ۱:۱۰ بیوچار به آب

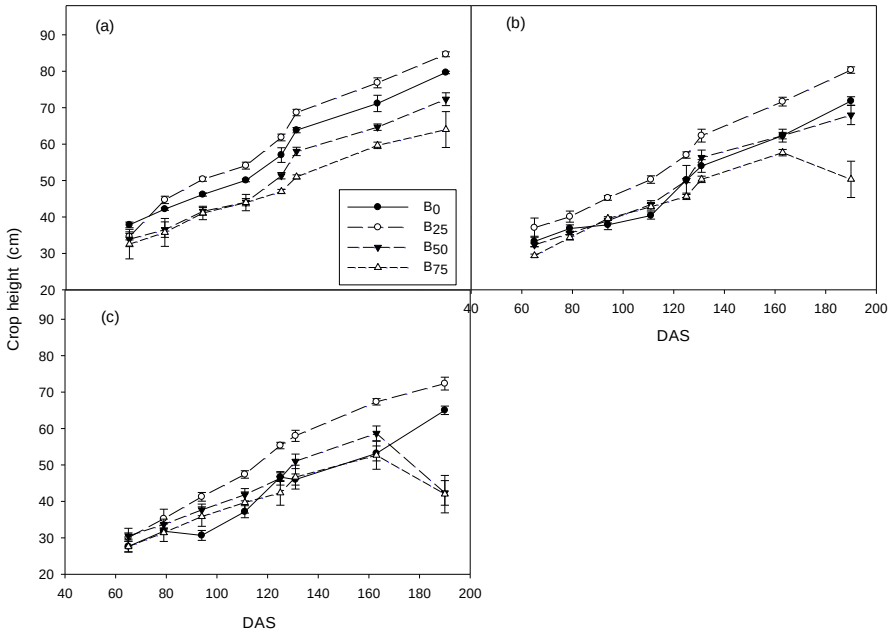
تعداد گلدان‌ها در این آزمایش ۴۵ عدد (ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر و قطر ۲۰ سانتی‌متر) و با گنجایش ۶ کیلوگرم خاک در نظر گرفته شد. خاک و بیوچار پس از عبور از الک ۲mm در سطوح تعیین‌شده با یکدیگر مخلوط شده و سپس گلدان‌ها با مخلوط خاک و بیوچار پر شد. گیاه مورد استفاده باقلا رقم برکت بوده که در پاییز کشت شد. تا مرحله استقرار کامل گیاه، کلیه گلدان‌ها تا حد ظرفیت زراعی آبیاری و پس از آن گلدان‌ها به‌صورت یک روز در میان توزین شده و بر اساس سطح تیمار آبیاری، آبیاری شدند. در طول دوره رشد، ویژگی‌های ارتفاع گیاه و شاخص سطح برگ و پس از برداشت محصول، تعداد غلاف باقلا، تعداد دانه باقلا، وزن ۱۰۰ دانه، وزن خشک دانه و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شدند. تجزیه‌های آماری نتایج این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

نتایج اندازه‌گیری ارتفاع بوته گیاه باقلا در طول فصل رشد تحت تیمارهای بیوچار و آبیاری نشان داد که تقریبا در تمام دوره رشد گیاه با افزودن ۲۵ تن در هکتار بیوچار (B_{25}) به خاک، ارتفاع بوته باقلا نسبت به شاهد (B_0) به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۱). در همین ارتباط Arif *et al.* (2012) بیان کردند کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش ارتفاع گیاه و طول بلال در گیاه ذرت شد. همچنین Kamara *et al.* (2015) نیز در تحقیقی که بر روی تاثیر بیوچار تولیدشده از ساقه برنج بر رشد و محصول برنج صورت دادند؛ گزارش کردند که ۵ گرم بیوچار بر کیلوگرم خاک سبب افزایش ارتفاع گیاه برنج شده است. از سوی دیگر لازم به ذکر است که با افزودن مقادیر بیشتر بیوچار (B_{75}) ارتفاع گیاه نسبت به شاهد (B_0) کاهش یافت که احتمالا دلیل اصلی آن اثرات منفی شور شدن خاک به‌واسطه افزودن مقادیر بالای بیوچار می‌باشد که روند رشد گیاه را دچار مشکل کرده است (Chaudhry *et al.*, 2016). مقایسه مقادیر میانگین‌ها در اندازه‌گیری‌های انجام‌شده ۱۱۱ روز پس از کاشت نشان داد که در تیمارهای B_{25} و B_{50} به‌ترتیب ارتفاع گیاه ۱۸/۹ و ۱/۵ درصد نسبت به B_0 افزایش یافت و در تیمار B_{75} کاهش ۱ درصدی نسبت به B_0 مشاهده

شد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که اعمال تنش خشکی (سطوح پایین آبیاری) نیز موجب کاهش ارتفاع گیاه شد، به‌طوری‌که تنش ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، ارتفاع بوته گیاه را در کل دوره رشد نسبت به شاهد کاهش داد. در اندازه‌گیری در روز ۱۱۱ پس از کاشت، نتایج مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری نشان داد که تیمارهای آبیاری $I_{75\%}$ و $I_{50\%}$ موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع گیاه به‌ترتیب به‌میزان ۱۲/۳ و ۱۸/۹ درصد نسبت به شاهد ($I_{100\%}$) شد (شکل ۱).



شکل ۱- تغییرات ارتفاع گیاه باقلا (cm) در سطوح مختلف بیوچار (B) و آبیاری (I) نسبت به روزهای بعد از کاشت (DAS). (a) سطح آبیاری ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه ($I_{100\%}$)، (b) سطح آبیاری ۷۵٪ نیاز آبی گیاه ($I_{75\%}$) و (c) سطح آبیاری ۵۰٪ نیاز آبی گیاه ($I_{50\%}$). خطوط عمودی میزان خطای استاندارد را نشان می‌دهد.

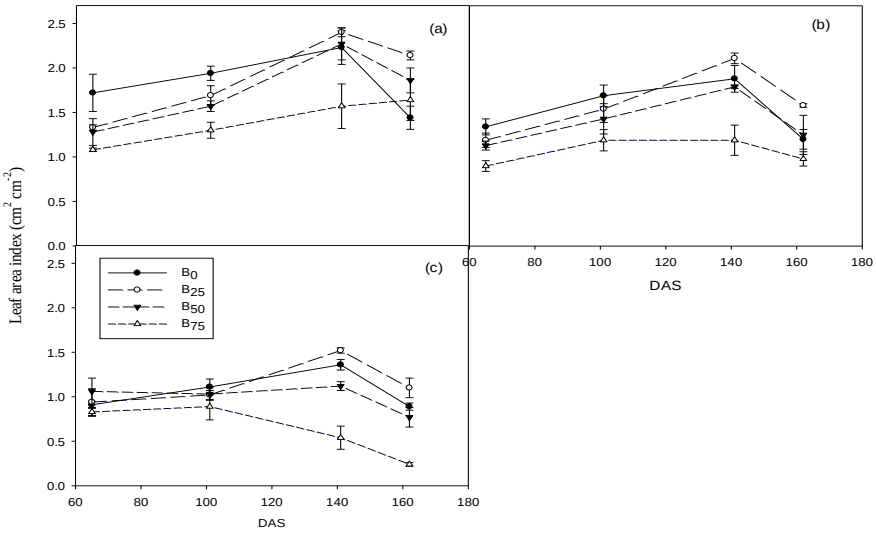
Figure 1: Variation of faba bean's height (cm) for different levels of biochar (B) and irrigation (I) during growth period (days after sowing (DAS)). (a) Irrigation level of 100% crop water requirement ($I_{100\%}$), (b) irrigation level of 75% crop water requirement ($I_{75\%}$), (c) irrigation level of 50% crop water requirement ($I_{50\%}$). Bars indicate standard error of the mean.

تنش خشکی از طریق کاهش فشار آماس سلولی سبب کاهش رشد و ارتفاع گیاه خواهد شد. به‌دلیل اینکه رشد سلول‌ها در ابتدا با پتانسیل آب گیاه در ارتباط است، کاهش فشار آماس سلولی روی تقسیم سلولی و طویل‌شدن سلول در گیاهان حساس به تنش اثر می‌گذارد (Levitt, 1980). بررسی اثر متقابل دو تیمار بیوچار و آبیاری همچنین نشان می‌دهد که در تیمار شاهد بدون بیوچار (B_0)، اعمال تنش آبی موجب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته گیاه باقلا شده ولی با افزودن بیوچار، اثرات منفی اعمال تنش آبی بر کاهش ارتفاع بوته کاهش یافته است؛ زیرا بیوچار به‌دلیل سطح ویژه و تخلخل زیاد خود، مقادیر بیشتری آب را در خاک نگه داشته و گیاه کمتر در معرض تنش رطوبتی قرار می‌گیرد. در همین ارتباط Curaqueo *et al.* (2014) با افزودن چهار سطح (صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) تولید شده از پوسته جو به خاک تحت کشت گیاه جو گزارش کردند که افزودن بیوچار موجب افزایش ارتفاع گیاه نسبت به شاهد شد و بیشترین افزایش ارتفاع گیاه نسبت به شاهد، با افزودن ۵ تن در هکتار بیوچار به‌دست آمد.

شاخص سطح برگ

اندازه‌گیری شاخص سطح برگ ($cm^2\ cm^{-2}$) گیاه در دوره‌های مختلف رشد گیاه صورت گرفت و نتایج آن

در شکل ۲ آورده شده است. با افزودن بیوچار به خاک، شاخص سطح برگ گیاه در ۶۵ و ۱۰۱ روز پس از کاشت روندی کاهشی داشته، زیرا احتمالا آب موجود در خاک، جوابگوی نیاز آبی گیاه در مراحل اولیه رشد می‌باشد. اما در ۱۴۱ و ۱۶۲ روز پس از کاشت نتایج نشان می‌دهد که در تیمار B_{25} شاخص سطح برگ نسبت به شاهد (B_0) افزایش می‌یابد. همچنین بررسی شکل ۲ نشان می‌دهد که در کلیه مراحل رشد گیاه در تیمار B_{75} شاخص سطح برگ گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است؛ که احتمالا دلیل آن شورشدن بیش از حد خاک به‌واسطه افزودن مقادیر بالای بیوچار می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در روز ۱۶۲ پس از کاشت، تیمارهای B_{25} و B_{50} به‌ترتیب شاخص سطح برگ را ۳۶/۵ و ۹/۷ درصد در مقایسه با شاهد (B_0) افزایش یافت؛ در حالی‌که در تیمار B_{75} شاخص سطح برگ ۱۸/۸ درصدی نسبت به شاهد کاهش یافت. از طرف دیگر نتایج نشان داد که در کلیه مراحل رشد، سطوح آبیاری ($I_{75\%}$ و $I_{50\%}$) موجب کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ نسبت به شاهد ($I_{100\%}$) شد؛ به‌طوری‌که در ۱۶۲ روز پس از کاشت، تیمارهای آبیاری $I_{75\%}$ و $I_{50\%}$ به‌ترتیب شاخص سطح برگ را ۳۴/۷ و ۶۱ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند. سطح برگ تعیین‌کننده میزان تابش جذب‌شده توسط گیاه، تعرق و تولید ماده خشک می‌باشد و لذا کاهش فتوسنتز از مهم‌ترین علل احتمالی کاهش شاخص سطح برگ بر اثر تنش خشکی می‌باشد (Tesfye *et al.*, 2006). در تحقیقی دیگر نیز Kammann *et al.* (2011) گزارش کردند که با کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ تن در هکتار بیوچار تولید شده از بقایای پوست بادام‌زمینی و در حالت آبیاری ۶۰ و ۲۰ درصد ظرفیت نگهداری رطوبت خاک، سطح برگ کل و زیست‌توده برگ در گیاه کینوا در هر دو تیمار آبیاری به‌طور معنی‌داری افزایش یافت.



شکل ۲- تغییرات شاخص سطح برگ گیاه باقلا ($cm^2\ cm^{-2}$) در سطوح مختلف بیوچار (B) و آبیاری (I) نسبت به روزهای بعد از کاشت (DAS). (a) سطح آبیاری ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه ($I_{100\%}$)، (b) سطح آبیاری ۷۵٪ نیاز آبی گیاه ($I_{75\%}$) و (c) سطح آبیاری ۵۰٪ نیاز آبی گیاه ($I_{50\%}$). خطوط عمودی میزان خطای استاندارد را نشان می‌دهد.

Figure 2: Variation of faba bean's leaf area index ($cm^2\ cm^{-2}$) for different levels of biochar (B) and irrigation (I) during growth period (days after sowing (DAS)). (a) Irrigation level of 100% crop water requirement ($I_{100\%}$), (b) irrigation level of 75% crop water requirement ($I_{75\%}$), (c) irrigation level of 50% crop water requirement ($I_{50\%}$). Bars indicate standard error of the mean.

تعداد غلاف باقلا

بیشترین و کمترین تعداد غلاف باقلا به‌ترتیب ۱۲ و ۳ در تیمار $B_{25}I_{75\%}$ و $B_0I_{50\%}$ مشاهده گردید (جدول ۲). همچنین در سطح آبیاری $I_{75\%}$ و $I_{50\%}$، افزایش بیوچار

از B_0 به B_{25} سبب افزایش معنی‌دار تعداد غلاف نسبت به B_0 و افزایش بیشتر آن سبب کاهش معنی‌دار نسبت به تیمار B_{25} شد، اما این روند برای سطح آبیاری ۱۰۰ درصد، مشاهده نگردید چراکه تفاوت معنی‌داری بین سطوح بیوچار مشاهده نشد. افزایش سطح بیوچار (با توجه به هدایت الکتریکی آن) سبب افزایش شوری خاک گردید و لذا در آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد، ریشه گیاه جهت جذب آب باید علاوه بر غلبه بر پتانسیل اسمزی بر پتانسیل ماتریک نیز غلبه کند و این مساله سبب کاهش تعداد غلاف در بیوچارهای زیاد (۷۵ تن در هکتار بیوچار) نسبت به بیوچارهای کم (۲۵ تن در هکتار بیوچار) گردید. اما در آبیاری ۱۰۰٪ با توجه به تامین نیاز کامل آبی، تفاوت معنی‌داری بین سطوح بیوچار مشاهده نگردید. از طرف دیگر، افزایش تعداد غلاف تیمار بیوچار ۲۵ تن در هکتار و در هر سه سطح آبیاری به‌دلیل افزایش میزان عناصر غذایی ناشی از افزایش بیوچار نیز می‌باشد. همان‌گونه که از بررسی اثر متقابل دو تیمار آبیاری و بیوچار مشاهده می‌شود با افزودن ۵۰ تن در هکتار بیوچار و علی‌رغم تنش خشکی در ۵۰ درصد نیاز آبی، تعداد غلاف باقلا با شاهد (بدون بیوچار و آبیاری کامل) اختلاف معنی‌داری ندارد و بیوچار، مقدار کم‌آبیاری را بدون تغییر در محصول جبران کرده است.

Akhtar *et al.* (2015) در تحقیقی اثر بیوچار را بر گیاه گندم بررسی و گزارش کردند که کاربرد ۵ درصد وزنی بیوچار تولیدشده از مخلوط چوب سخت و نرم در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، بر تعداد خوشه گندم در گلدان و تعداد سنبلچه در خوشه اثر مثبت دارد. Suppadit *et al.* (2012) نیز اثر بیوچار تولیدشده از بستر بلدرچین را بر محصول سویا بررسی و گزارش کردند که با افزایش بیوچار، تعداد غلاف سویا افزایش یافت.، در تحقیقی Pookpakdi *et al.* (1990) کاهش در تعداد غلاف در گیاه و اندازه دانه را به‌دلیل کمبود آب در مراحل زایشی سویا گزارش کردند.

جدول ۲: تعداد غلاف در گلدان، تعداد دانه در غلاف و وزن ۱۰۰ دانه باقلا (g) (میانگین ± خطای استاندارد) در سطوح مختلف بیوچار (B) و آبیاری (I).

Table 2: Number of pod per pot, number of seed per pod and 100 seed weight (g) (mean ± standard error) of faba bean for different levels of biochar (B) and irrigation (I).

Biochar levels	Irrigation levels	Number of pod per pot	Number of seed per pod	100 seed weight (g)
B_0	$I_{100\%}$	7±0.58 ^{bc}	17.67±1.45 ^{bc}	8.1±1.5 ^{a}
	$I_{75\%}$	6±0.58 ^{cd}	12.0±1.53 ^{ef}	70.9±2.5 ^{b}
	$I_{50\%}$	3±0.33 ^{d}	8.33±1.2 ^{f}	39.2±1./0 ^{d}
		5.44 ^{C}	12.67 ^{B}	63.7 ^{A}
B_{25}	$I_{100\%}$	10±0.58 ^{ab}	20.33±2.4 ^{ab}	81.6±1.7 ^{a}
	$I_{75\%}$	12±1.53 ^{a}	23.67±0.88 ^{a}	76.7±1.53 ^{ab}
	$I_{50\%}$	9±0.88 ^{ab}	17.0±1.53 ^{bcd}	40.7±0.9 ^{d}
		10.44 ^{A}	20.33 ^{A}	66.3 ^{A}
B_{50}	$I_{100\%}$	9±0.33 ^{ab}	20.33±1.2 ^{ab}	53.7±4.1 ^{c}
	$I_{75\%}$	8±0.88 ^{bc}	21.67±1.76 ^{ab}	44.1±3.3 ^{d}
	$I_{50\%}$	7±1.0 ^{bc}	17.33±1.86 ^{bc}	37.1±1.4 ^{d}
		8.22 ^{B}	19.78 ^{A}	45.0 ^{B}
B_{75}	$I_{100\%}$	8±1.2 ^{bc}	12.67±0.88 ^{def}	54.8±2.6 ^{c}
	$I_{75\%}$	7±0.33 ^{bc}	14.0±0.58 ^{cde}	41.4±3.5 ^{d}
	$I_{50\%}$	6±1.45 ^{cd}	8.67±1.2 ^{f}	26.4±1.5 ^{e}
		6.89 ^{BC}	11.78 ^{B}	40.7 ^{C}

*در هر ستون، حروف مشابه کوچک و بزرگ بر اساس آزمون دانکن به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی عدم اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین اثر متقابل تیمارها و اثر تیمار بیوچار می‌باشد.

In each column, similar small and capital letters indicate no significant difference at 0.05 probability levels between interaction effect of treatments and main effect of biochar, according to Duncan test.

تعداد دانه در غلاف

مقایسه برهمکنش‌های تیمارهای بیوچار و سطوح آبیاری نشان داد که بیشترین و کمترین تعداد دانه به‌ترتیب در تیمارهای $B_{25}I_{75\%}$ و $B_{75}I_{50\%}$ می‌باشد که مشابه با روند تعداد غلاف در هر گلدان می‌باشد (جدول ۲). همچنین در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد، افزایش بیوچار از صفر به ۵۰ تن در هکتار، تغییر معنی‌داری در میزان تعداد دانه نداشته است؛ اما افزایش بیشتر بیوچار به سطح ۷۵ تن در هکتار سبب کاهش معنی‌دار تعداد دانه نسبت به کلیه سطح بیوچار گردید که این مساله بیان‌کننده این است که در شرایطی که کمبود آب وجود ندارد، افزایش سطح بیوچار تا ۵۰ تن در هکتار تاثیری بر میزان تعداد دانه ندارد، اما در صورت کاربرد سطوح زیاد (۷۵ تن در هکتار) میزان تعداد دانه به‌دلیل افزایش شوری ناشی از کاربرد بیوچار کاهش می‌یابد. در سطح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، افزایش سطح بیوچار تا ۵۰ تن در هکتار سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه گردیده که ناشی از وجود عناصر مغذی در بیوچار و همچنین قابلیت نگهداری و ذخیره آب در بیوچار می‌باشد، در حالی‌که کاربرد ۷۵ تن در هکتار بیوچار، تعداد دانه در غلاف را نسبت به سطح صفر تن در هکتار تغییر نداد که به‌دلیل ایجاد شرایط غیر هوازی و همچنین افزایش شوری ناشی از کاربرد این سطح بیوچار می‌باشد. در همین ارتباط Vaccari *et al.* (2011) در نتایج حاصل از تحقیقات خود گزارش کردند که با کاربرد ۶۰ تن در هکتار بیوچار تولیدشده از چوب جنگلی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ درصد افزایش در محصول گندم مشاهده شد. تعداد دانه باقلا با کاهش میزان آب آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب در سطح بیوچار B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} سبب کاهش ۵۳، ۱۶، ۱۵ و ۳۲ درصدی گردیده است. کاهش کمتر تعداد دانه در تیمارهای ۲۵ و ۵۰ تن نشان‌دهنده اثرات مثبت کاربرد بیوچار می‌باشد هر چند که در مقادیر زیاد بیوچار (به‌علت افزایش شوری ناشی از کاربرد بیوچار و ایجاد شرایط بی‌هوازی در خاک) کاهش تعداد دانه با کاهش میزان آب آبیاری، افزایش یافته است. در تحقیقی گزارش شده است که تشکیل و رشد غلاف به تداوم فراهمی مواد پرورده وابسته است و هرگونه تنشی که فراهمی مواد پرورده را کاهش دهد منجر به کاهش محصول از طریق افزایش از بین بردن گلچه و بذر کلزا می‌شود (Dipenbrock, 2000).

وزن ۱۰۰ دانه

اثرات برهمکنش تیمارهای بیوچار و آبیاری نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین وزن ۱۰۰ دانه باقلا به‌ترتیب مربوط به تیمارهای $B_{25}I_{100\%}$ (۸۱/۶) و $B_{75}I_{50\%}$ (۲۶/۴) می‌باشد، هر چند که تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار $B_{25}I_{100\%}$ و $B_0I_{100\%}$ مشاهده نگردید (جدول ۲). از طرف دیگر، در هر سه سطح آبیاری، افزایش بیوچار تا سطح ۷۵ تن در هکتار سبب کاهش معنی‌دار وزن ۱۰۰ دانه باقلا نسبت به سطح شاهد بیوچار گردید، هرچند که افزایش تا سطح ۲۵ تن در هکتار تفاوت معنی‌دار در میزان وزن ۱۰۰ دانه نداشت. کاهش وزن ۱۰۰ دانه باقلا در اثر افزودن مقادیر بیشتر بیوچار (B_{75}) ناشی از اثرات نامطلوب شور شدن خاک می‌باشد. در همین ارتباط Alburquerque *et al.*(2013) نیز افزایش محصول گندم در اثر کاربرد سطوح ۰/۵، ۱ و ۲/۵ درصد وزنی دو نوع بیوچار (بقایای گندم و بقایای هرس‌شده درخت زیتون) و سطوح مختلف کود معدنی (صفر، ۴۰ و ۱۰۰ درصد محلول هوگلند[1]) را بررسی و گزارش کردند کاربرد بیوچار اثر کمی بر محصول گیاه در شرایط عدم استفاده از کودهای معدنی داشت. همچنین وزن ۱۰۰ دانه باقلا با کاهش میزان آب آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب در سطح بیوچار B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} سبب کاهش ۵۲، ۵۰، ۳۱ و ۵۲ درصدی گردیده است. کاهش کمتر وزن ۱۰۰ دانه در اثر کاهش میزان آب آبیاری در تیمار ۵۰ تن در هکتار بیوچار، بیانگر توانایی بیوچار در جذب و نگهداری آب و جبران کمبود آب آبیاری می‌باشد.. Fardad and Golkar (2002) اثرات کم-آبیاری (دور آبیاری ۷، ۱۴ و ۲۱ روز) را بر گیاه گندم

1 .Hoagland nutrient solution

بررسی و گزارش کردند کم‌آبیاری وزن ۱۰۰۰ دانه گندم را کاهش داد. در تحقیقی دیگر نیز Lack *et al.* (2008) در بررسی تاثیر سه رژیم آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد آبیاری کامل رطوبت قابل دسترس بر محصول و اجزای محصول ذرت مشاهده نمودند که تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه، مهم‌ترین صفات موثر در کاهش محصول ذرت، طی تنش خشکی بودند.

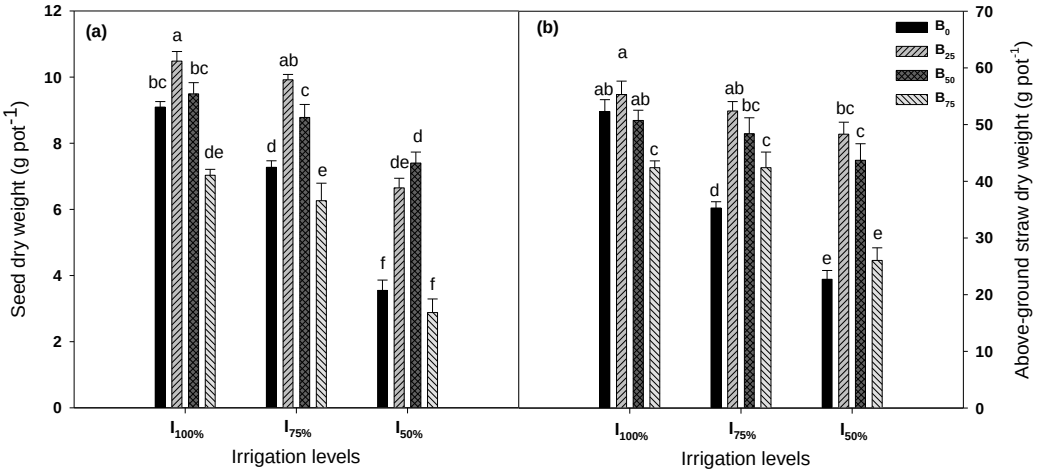
وزن خشک دانه

نتایج به‌دست آمده از وزن خشک دانه باقلا ($g\ pot^{-1}$) در شکل ۴ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار وزن دانه خشک باقلا به‌مقدار ۱۰/۵ گرم در تیمار $B_{25}I_{100\%}$ و کمترین آن به‌مقدار ۲/۹ گرم در تیمار $B_{75}I_{50\%}$ مشاهده گردید. از طرف دیگر در سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، افزایش بیوچار از صفر به ۲۵ تن در هکتار به‌ترتیب سبب ۱/۱، ۱/۴ و ۱/۹ برابری در وزن خشک دانه باقلا گردید، هرچند که افزایش بیوچار از صفر به ۷۵ تن در هکتار وزن خشک دانه را به‌ترتیب در سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، به‌مقدار ۲۳، ۱۴ و ۱۹ درصد کاهش داده است. مشاهده این روند بیانگر اثرات مثبت مقادیر کم بیوچار نسبت به مقادیر زیاد کاربرد بیوچار می‌باشد. در تحقیقات دیگری، افزایش محصول ذرت را به‌علت افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی مانند کاهش چگالی ظاهری و افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک تحت تیمارهای بیوچار دانسته‌اند (Khan et al., 2008; Zhang et al., 2010). در همین ارتباط Mirzaei *et al.* (2009) گزارش کردند تیمارهای کود گاوی، کود مرغی، ورمی-کمپوست و کمپوست زباله سبب افزایش وزن خشک گیاه گوجه‌فرنگی شد. بررسی نتایج نشان داد که کاهش میزان آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، سبب کاهش وزن خشک دانه باقلا در تیمارهای B_0، B_{25}، B_{50} و B_{75} به‌ترتیب به مقدار ۶۱، ۳۶، ۲۲ و ۵۹ درصد گردیده است. سطح بیوچار ۵۰ تن در هکتار کمترین مقدار کاهش در وزن خشک دانه باقلا را در اثر کاهش ۵۰ درصد نیاز آبی داشته است. اصولا کاهش محصول دانه ناشی از تنش خشکی به-علت اثرات منفی تنش بر روی سطح برگ، فتوسنتز پوشش گیاهی، سرعت رشد گیاه و اجزای محصول می‌باشد (Pannu and Singh, 1993). همچنین بررسی اثر متقابل تیمارهای آبیاری و بیوچار نشان داد که با کاربرد ۵۰ تن در هکتار بیوچار و در رژیم آبیاری ۷۵ درصد آبیاری کامل، مقادیر وزن خشک دانه باقلا با شاهد (آبیاری کامل) اختلاف معنی‌داری نداشته و این از اثرات مثبت کاربرد بیوچار در خاک می‌باشد که با بهبود شرایط خاک از نظر تهویه و افزایش آب قابل-دسترس و مواد غذایی در خاک سبب بهبود رشد و محصول در گیاه شده است. در همین ارتباط Katterer (2012) گزارش کردند سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزنی بیوچار موجب افزایش وزن خشک گیاه ذرت شد. آنها همچنین گزارش کردند تنش آبی خاک (۴۰ و ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه) موجب کاهش محصول در گیاه شد ولی با کاربرد بیوچار در خاک و علی‌رغم تنش خشکی ۴۰ درصد، وزن خشک و ارتفاع گیاه ذرت افزایش یافت.

وزن خشک اندام هوایی باقلا

نتایج وزن خشک اندام هوایی باقلا ($g\ pot^{-1}$) در سطوح مختلف بیوچار و آبیاری نشان داد که در کلیه سطوح آبیاری، تیمار B_{25} بیشترین وزن خشک اندام هوایی را داشته است (شکل ۴). در همین ارتباط در تحقیقی که Smider and Singh (2014) برای تعیین اثر بیوچار تولید شده از زباله سبز گیاه گوجه‌فرنگی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بر گیاه ذرت صورت دادند، گزارش کردند کاربرد ۵ و ۱۵ گرم در کیلوگرم بیوچار سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و محصول ماده خشک برگ ذرت شد. از طرف دیگر، در کلیه سطوح بیوچار، بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در سطح آبیاری ۱۰۰درصد مشاهده گردید و تنها در سطح آبیاری ۷۵ تن در هکتار، تفاوتی بین وزن خشک اندام هوایی دو تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد و ۷۵ درصد نیاز آبی مشاهده نشد. کاهش ۵۰ درصدی نیاز آبی سبب کاهش در وزن خشک اندام هوایی در

کلیه سطوح بیوچار گردید. در همین ارتباط Lawlor and Cornic (2002) گزارش کردند که در شرایط تنش آبی، کاهش ماده خشک می‌تواند به‌دلیل فشار آماس سلولی ناشی از کاهش سطح برگ گیاه باشد و همچنین کاهش نرخ فتوسنتزی به‌دلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب باشد. به‌طور کلی، مقایسه برهمکنش‌های بین دو تیمار بیوچار و آبیاری نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب به‌مقدار ۵۵/۳ و ۲۲/۷ گرم و در تیمارهای B25I100% و B0I50% رخ داده است. همچنین در بررسی اثر متقابل تیمارها مشاهده می‌شود که در تیمار بدون بیوچار، اعمال تنش رطوبتی موجب کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار شاهد شده است ولی با افزودن بیوچار به خاک این اثر منفی کاهش یافته و بیوچار به‌واسطه اثر مثبت بر نگهداری آب و مواد غذایی در خاک شرایط را برای گیاه بهبود بخشیده است.



شکل ۴- (a) وزن خشک دانه و (b) وزن خشک اندام هوایی ($g\ pot^{-1}$) باقلا در سطوح مختلف بیوچار (B) و آبیاری (I). حروف مشابه کوچک نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵٪ بین اثر برهمکنش‌های تیمارهای آبیاری × بیوچار می‌باشد. خطوط عمودی میزان خطای استاندارد را نشان می‌دهد.

Figure 4: (a) Variation of faba bean's seed dry weight and (b) above-ground straw dry weight ($g\ pot^{-1}$) for different levels of biochar (B) and irrigation (I) during growth period. Similar small letters indicate no significant differences ($p < 0.05$) between the interaction effects of treatments (irrigation ×biochar). Bars indicate standard error of the mean.

نتیجه‌گیری کلی

ارتفاع گیاه باقلا در طول دوره رشد گیاه با افزودن ۲۵ تن در هکتار بیوچار (B_{25}) به خاک، نسبت به شاهد (B_0) به طور معنی‌داری افزایش یافت. در تیمار B_{50} نیز ارتفاع گیاه افزایش یافت که البته اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. اما با افزودن مقادیر بیشتر بیوچار (B_{75})، ارتفاع گیاه نسبت به شاهد (B_0) کاهش یافت که احتمالا دلیل آن اثرات منفی شور شدن خاک به‌واسطه افزودن مقادیر زیاد بیوچار می‌باشد که موجب افزایش EC و pH خاک شده و روند رشد گیاه را دچار مشکل کرد. همچنین بررسی‌ها نشان داد که اعمال تنش خشکی ($I_{75\%}$ و $I_{50\%}$) نیز موجب کاهش ارتفاع گیاه شد، زیرا تنش خشکی از طریق کاهش فشار آماس سلولی، باعث کاهش رشد و ارتفاع گیاه خواهد شد. وزن خشک دانه، وزن ۱۰۰ دانه باقلا و وزن خشک اندام هوایی نیز با کاربرد مقادیر کم بیوچار، افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد داشت. همچنین با بررسی سطوح آبیاری، مشاهده شد که کم‌آبیاری تاثیر معنی‌داری بر وزن دانه و اندام هوایی باقلا داشته و به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد وزن دانه را کاهش داد. اصولا کاهش محصول دانه ناشی از تنش خشکی به‌دلیل اثرات منفی این تنش بر روی سطح برگ،

فتوسنتز پوشش گیاهی، سرعت رشد گیاه و اجزای محصول می‌باشد. لذا با توجه به نتایج تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد بیوچار در سطوح کم (۲۵ تن در هکتار) می‌تواند سبب افزایش تولید و محصول شود و با توجه به اینکه برخلاف کودهای شیمیایی نیاز به استفاده هر ساله از بیوچار نمی‌باشد، لذا به جهت اقتصادی می‌تواند به‌عنوان یک اصلاح-کننده خاک مناسب و یک ماده مغذی مورد استفاده قرار گیرد. از طرف دیگر، با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار در مقدار محصول $I_{100\%}$ و $I_{75\%}$، همراه با کاربرد ۲۵ تن در هکتار بیوچار می‌توان کاهش مصرف آب تا ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه ($I_{75\%}$) را توصیه نمود.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت مالی دانشگاه شیراز و همچنین حمایت مرکز مطالعات خشکسالی و قطب علمی مدیریت آب در مزرعه تشکر و قدردانی می‌نماید. علیرضا سپاسخواه به‌خاطر کرسی پژوهشی از صندوق حمایت از پژوهشگران و فن‌آوران قدردانی می‌نماید.

REFERENCES

1. Akhtar, S.S., Andersen, M.N. & Liu, F.L. (2015). Biochar mitigates salinity stress in potato. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201, 368-378.
2. Alburquerque, J. A., Salazar, P., Barrón, V., Torrent, J., del Campillo, M. D. C., Gallardo, A. & Villar, R. (2013). Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 475-484.
3. Arabzadeh, S., Shamsaldini, N., Abdollahi, A. & Karminejad Asl, F. (2013). Advantages of compost and vermicompost. In: Proceeding of 2nd National Congress on Sustainable Agricultural Development and Healthy Environment, 12 Sep. Hamedan Islamic Azad University, Hamedan, Iran, pp. 1-8.
4. Arif, M., Ali, A., Umair, M., Munsif, F., Ali, K., Inamullah, M. S. & Ayub, G. (2012). Effect of biochar FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield and yield components of maize. *Sarhad Journal of Agric*ulture, 28, 191-195.
5. Chaudhry, U.K., Shahzad, S., Naqqash, M.N., Saboor, A., Yaqoob, S., Salim, M. & Khalid, M. (2016). Integration of biochar and chemical fertilizer to enhance quality of soil and wheat crop (Triticum aestivum L.). Institute of Soil and Environmental Sciences. *University of Agriculture*, Faisalabad, Pakistan.
6. Curaqueo, G., Meier, S., Khan, N., Cea, M. & Navia, R. (2014). Use of biochar on two volcanic soils: effects on soil properties and barley yield. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14, 911-924.
7. Diepenbrock, W. (2000). Yield analysis of winter oilseed rape. *Field Crops Research*, 67, 35-49.
8. Downie, A., Crosky, A. & Munroe, P. (2009). Physical properties of biochar. In: J. Lehmann & S. Joseph (Eds), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. (pp. 13-32.) Earthscan.
9. Fardad, H. & Golkar, H. (2002). An economic evaluation of deficit irrigation on wheat yield in Karaj. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 33, 305- 312. (In Farsi)
10. Gavili, E., Mousavi, A.A. & Kamgar-Haghighi, A.A. (2016). Effect of cattle manure biochar and drought stress on the growth characteristics and water use efficiency of Spinach under greenhouse conditions. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30.2, 243-259. (In Farsi)
11. Glaser, B. & Birk, J. J. (2012). State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 82, 39-51.
12. Glaser, B., Lehmann, J. & 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, 219-230.
13. Hasanvand, H., Siadat, S.A., Moraditelavat, M.R., Mussavi, S.H. & Karaminejad, A. (2015). Yield and some morphological characteristics of two faba bean (Vicia faba L.) cultivars to different sowing dates in Ahwaz region. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25, 79-89. (In Farsi)
14. Ippolito, J. A., Novak, J. M., Busscher, W. J., Ahmedna, M., Rehrah, D. & Watts, D. W. (2012). Switch grass biochar affects two Arid soils. *Journal of Environmental Quality*, 41, 1123-1130.
15. Kamara, A., Kamara, H.S. & Kamara, M.S. (2015). Effect of Rice Straw Biochar on Soil Quality and the Early Growth and Biomass Yield of Two Rice Varieties. *Agricultural Sciences*, 6, 798-806.

16. Kammann, C. I., Linsel, S., Gößling, J. W. & Koyro, H. W. (2011). Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Wild and on soil–plant relations. *Plant and Soil*, 345, 195-210.
17. Katterer, T. (2012). Effects of applying biochar to soils from Embu, Kenya – Effects on crop residue decomposition and soil fertility under varying soil moisture levels. Bachelor Project. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden.
18. Lack, S.h., Naderi, A. Saidat, A., Ayenehband, A., Nour-Mohammadi, G.H. & Moosavi, S.h. (2008). The effects of different levels of irrigation, nitrogen and plant population on yield, yield components and dry matter remobilization of corn at climatical conditions of Khuzestan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11, 1-14. (In Farsi)
19. Lawlor, D. W. & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*, 25, 275-294.
20. Levitt, J. (1980). Responses of Plants to Environmental Stresses: Water, radiation, salt, and other stresses (2nd ed.). Academic Press.
21. Mary, B., Recous, S., Darwis, D. & Robin, D. (1996). Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant and Soil*, 181, 71-82.
22. Mirzaei, R., Kambozia, J., Sahabi, H. & Mahdavi, A. (2009). Effect of different organic fertilizers on soil physicochemical properties, production and biomass yield of tomato (Lycopersicon esculentum L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7, 257-268. (In Farsi)
23. Pannu, R. K. & Singh, D. P. (1993). Effect of irrigation on water use, water-use efficiency, growth and yield of mungbean. *Field Crops Research*, 31, 87-100.
24. Pookpakdi, A., Thiravirojana, K., Saeradee, I. & Chaikaew, S. (1990). Response of new soybean accessions to water stress during reproductive phase. *Kasetsart Journal, Natural Sciences*, 24, 378-387.
25. Peake, L. (2015). Biochar amendment to improve soil productivity with particular emphasis on the influence of soil type. Ph.D. Thesis. Faculty of Science University of East Anglia, England.
26. Smider, B. & Singh, B. (2014). Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 99-107.
27. Suppadit, T., Phumkokrak, N. & Poungsuk, P. (2012). The effect of using quail litter biochar on soybean (Glycine max [L.] Merr.) production. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72, 244-250.
28. Tate, R. L. (2000). *Soil Microbiology* (2nd ed.). John Wily and Sons Inc.
29. Tesfaye, K., Walker, S. & Tsubo, M. (2006). Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *European Journal of Agronomy*, 25, 60-70.
30. Vaccari, F. P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F. & Miglietta, F. (2011). Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy*, 34, 231-238.