

## مقاله پژوهشی

## بررسی تأثیر بیوچار تهیه‌شده از برگ نخل خرما بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی طالبی رقم سمسوری (*Cucumis melo cv. Samsouri*) تحت تنش کم آبی

سجاد باقری<sup>۱</sup>، محمدرضا حسندخت<sup>۲\*</sup>، عباس میرسلیمانی<sup>۳</sup>، امیر موسوی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

<sup>۲</sup> گروه علوم باغبانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

<sup>۳</sup> گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و طبیعی منابع داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، <sup>۴</sup> مؤسسه ملی مهندسی ژنتیک و بیوتکنولوژی، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۳، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۴/۱۵)

## چکیده

مشکل کمبود آب از مهم‌ترین محدودیت‌ها در تولید محصولات کشاورزی به‌خصوص سبزی‌های میوه‌ای به‌شمار می‌آید. طالبی توده سمسوری بومی ایران بوده و به‌دلیل دارا بودن ویژگی‌های مطلوب در سطح وسیعی در ایران کشت می‌گردد. گزارش شده که بیوچار (زغال تهیه‌شده از مواد آلی) می‌تواند موجب افزایش عملکرد و کاهش میزان آب مصرفی گیاه شوند. به‌منظور بررسی تأثیر بیوچار برگ خرما بر برخی صفات طالبی (*Cucumis melo L.*) تحت تنش کم‌آبی آزمایشی در مزرعه به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. کرت اصلی شامل تنش کم‌آبی در سه سطح (۶۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و کرت فرعی شامل بیوچار در چهار سطح (صفر، ۰/۱۹، ۰/۲۴ و ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار در مترمربع) بود. تیمار ۰/۲۴ کیلوگرم بیوچار در مترمربع و ۱۰۰ درصد نیاز آبی صفات وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه، طول ریشه، وزن متوسط میوه و کارایی مصرف آب را به‌ترتیب به میزان ۳۲، ۱۰۰، ۸۴، ۵۷، ۸۴ و ۸۸ درصد نسبت به تیمار بدون بیوچار و ۶۰ درصد نیاز آبی افزایش داد. تنش خشکی باعث افزایش میزان پرولین گیاه گردید، ولی با کاربرد بیوچار، اثر تنش کم‌آبی کمتر شد و میزان پرولین برگ کاهش یافت و بیشترین میزان پرولین نیز مربوط به تیمار بدون بیوچار و ۶۰ درصد نیاز آبی بود. بیشترین میزان نیتروژن برگ، پتاسیم برگ، منگنز برگ، طول شاخساره، سطح برگ و تعداد برگ در بوته، قطر میوه و قطر گوشت میوه مربوط به تیمار ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار در مترمربع و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۵۸، ۴۸، ۶۵، ۱۸، ۵۰، ۹۵، ۴۳ و ۵۵ درصد بود و تفاوت معنی‌داری با تیمار ۰/۲۴ کیلوگرم بیوچار در مترمربع ۸۵ درصد نیاز آبی نداشت. اثر متقابل تنش کم‌آبی و بیوچار نشان داد تیمار ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار در مترمربع و ۶۰ درصد نیاز آبی موجب افزایش آهن، روی و مس به میزان ۶۰، ۴۴ و ۶۶ درصد نسبت به تیمار بدون بیوچار با آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) شد. به‌طورکلی تیمارهای ۰/۲۴ و ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار در مترمربع موجب افزایش اکثر صفات شدند، هرچند بین این تیمارها نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. همچنین تیمار ۸۵ درصد نیاز آبی نیز توانست با کاربرد بیوچار، تنش کم‌آبی را جبران کند. بنابراین با کاربرد ۰/۲۴ کیلوگرم بیوچار در مترمربع و ۸۵ درصد نیاز آبی می‌توان با کاهش آب مصرفی در وقت و هزینه صرفه‌جویی کرد.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، تنش کم‌آبی، عناصر پرمصرف، عناصر کم‌مصرف

## مقدمه

طالبی (*Cucumis melo L.*) یکی از گیاهان تیره کدوسانان (*Cucurbitaceae*) است و نیازمند آب و هوای گرم و نور زیاد است (Sangeetha et al., 2006). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد گیاه و تولید محصول را به‌طور نامطلوبی تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. بیش از ۴۵ درصد از زمین‌های کشاورزی به‌طور دائم در معرض خشکی قرار دارند و ۳۸ درصد جمعیت دنیا، در آن مکان‌ها ساکن هستند (Ashraf and Foolad, 2007). لذا در آینده، بیشترین تلاش‌ها در جهت تولید محصول در شرایط کم‌آبی خواهد بود (Sinaki et al., 2007). در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که بخش عمده ایران را نیز شامل می‌شود، عدم وجود پوشش گیاهی کافی و مناسب سبب کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه فقر ماده آلی خاک می‌شود (Tate, 2000). بیش‌تر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران کم‌تر از یک درصد ماده آلی دارند (Asghari, 2011). کمبود مواد آلی موجب کاهش پایداری ساختمان خاک، پوسته پوسته شدن آن و در نهایت ایجاد خاکی سخت و متراکم می‌شود (Hemmat et al., 2010). یکی از راه‌های افزایش مقدار ماده آلی در خاک‌های زراعی، استفاده از کودهای آلی مانند کود حیوانی است، اما کاربرد این ماده نمی‌تواند جوابگوی نیازهای خاک‌های زراعی باشد (Mesa and Spokas, 2011). بیوپچار زغال تهیه‌شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی مانند کاه گندم، ذرت، سبوس برنج و تفاله نیشکر است که طی فرآیند ترموشیمیایی پیرولولسیس تولید می‌شود. این فرآیند سوختن کند و آرام مواد آلی در شرایط کمبود اکسیژن یا نبود آن است (Glaser and Birk, 2012). بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که بیوپچار 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 به‌ویژه برای خاک‌های مناطق نیمه‌گرمسیری و گرمسیری که طولانی مدت کشت شده‌اند است (Van Zwieten et al., 2010; Rodrigues et al., 2010). یکی از مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی خاک که به‌شدت

تولید محصول را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، آب در دسترس گیاه است. مطالعات اخیر نشان دادند که بیوپچار سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شود (Basso et al., 2013). بیوپچار منبعی مستقیم برای عناصر پتاسیم، کلسیم، فسفر، روی و مس است و فراهمی عناصر غذایی بر اثر افزودن بیوپچار به خاک، می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تغییر pH خاک و یا افزودن مستقیم عنصر از بیوپچار به خاک افزایش یابد. در آزمایشی کاربرد بیوپچار شلتوک برنج به میزان صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۵۰ گرم بر کیلوگرم خاک، موجب افزایش وزن تر و خشک بوته، وزن تر و خشک ریشه، طول ساقه، تعداد برگ در گیاهان کاهو و کلم شد و بیشترین تأثیر هم مربوط به بالاترین تیمار بیوپچار بود (Carter et al., 2013). با کاربرد صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار بیوپچار موجب افزایش پارامترهای pH، EC، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، سدیم، کلسیم، منیزیم خاک و فسفر، نیتروژن، پتاسیم کاهو در خاک شدند. بیشترین تأثیر مقدار ۱۰ تن در هکتار به خود اختصاص داد (Nigussie et al., 2012). کاربرد بیوپچار به میزان ۵۰۰ گرم از ۱۰ کیلوگرم خاک در گلخانه موجب افزایش رشد، سرعت فتوسنتز، کارایی مصرف آب و عملکرد گیاه طالبی در شرایط شوری شد (Elbashier et al., 2018). کاربرد صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد وزن بیوپچار مخلوط‌شده در کشت بدون خاک موجب افزایش سطح برگ، وزن خشک، تعداد گره و عملکرد گیاه فلفل و در گوجه‌فرنگی نیز موجب افزایش وزن گیاه و اندازه برگ شد (Graber et al., 2010). هر درخت خرما بسته به رقم و شرایط زراعی در طول سال، حدود ۲۵ - ۱۵ برگ خشک تولید می‌کند که هر کدام به‌طور متوسط ۲/۵ - ۱/۵ کیلوگرم وزن دارد. تعمیم این مقدار بقایای گیاهی به چند میلیون اصله نخل موجود در کشور رقم بزرگی بوده که نیاز به مدیریت بهره‌وری و استفاده بهینه را می‌طلبد. این ضایعات را می‌توان تبدیل به بیوپچار نمود و در خاک استفاده کرد. لذا هدف پژوهش حاضر، استفاده از بیوپچار برگ خرما، جهت افزایش ماده آلی خاک و کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی و مطالعه اثر آن بر برخی صفات گیاه طالبی رقم

سمسوری در شرایط مزرعه بود.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در مزرعه تجاری واقع در شهرستان زرین‌دشت با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۲۰ دقیقه با ارتفاع ۱۰۲۱ از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. کرت اصلی تنش کم‌آبی در سه سطح (۶۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) ( $I_1$ ،  $I_2$  و  $I_3$ ) و کرت فرعی بیوچار در چهار سطح (صفر، ۰/۱۹، ۰/۲۴ و ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار در مترمربع) ( $B_1$ ،  $B_2$ ،  $B_3$  و  $B_4$ ) بود. در این آزمایش از طالبی رقم سمسوری زودرس ورامین استفاده شد. جهت تهیه بیوچار از بقایای برگ درخت نخل موجود در نخلستان‌های شهرستان زرین‌دشت (استان فارس) استفاده شدند. بقایا پس از جمع‌آوری، هوا خشک و خرد شده و سپس در ورقه‌های آلومینیومی بسته‌بندی شدند تا فرآیند اکسیژن‌رسانی به بقایا محدود شود. سپس به مدت چهار ساعت در دمای ۵۶۰ درجه سلسیوس در داخل کوره قرار داده شدند تا بیوچار تولید شود (Hall et al., 2008). مشخصات شیمیایی بیوچار مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. در سال پیش از کشت، زمین زراعی مورد نظر به صورت آیش بود و جهت آماده‌سازی زمین، ابتدا زمین به خوبی شخم زده شد و تسطیح گردید. قبل از کاشت بذر، نمونه خاک از مزرعه جمع‌آوری شد و مشخصات شیمیایی اندازه‌گیری گردید (جدول ۲). میزان بیوچار مورد نظر در عمق ۱۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط و پس از آن بذرها در عمق ۲ تا ۳ سانتی‌متر کاشته شد. در مرحله ۴ تا ۵ برگگی ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (به صورت اوره)، ۴۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (به صورت سوپرفسفات تریپل)، ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (به صورت سولفات پتاسیم) به خاک اضافه گردید. در این آزمایش آبیاری به صورت قطره‌ای اعمال گردید، به این صورت که در کنار هر گیاه یک قطره‌چکان قرار داده شد تا میزان آب مصرفی گیاه اندازه‌گیری گردد. جهت برآورد میزان

نیاز آبی گیاه، داده‌های هواشناسی شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت حداقل، رطوبت حداکثر، میزان تابش خورشید و سرعت باد در سطح ۲ متری از اداره هواشناسی تهیه گردید و با وارد کردن این داده‌ها به برنامه کراپ وات میزان تبخیر و تعرق گیاه طالبی اندازه‌گیری شد و با استفاده از فرمول‌های مربوطه میزان آب روزانه مورد نیاز گیاه بدست آمد. بدین منظور پارامترهای تبخیر و تعرق بالقوه سطح استاندارد گیاه (ETO) که قدرت تبخیرکنندگی هوا است برآورد شده و سپس با معرفی ضریب گیاهی (Kc) برحسب نوع گیاه، مرحله و طول دوره رشد و تأثیر آن بر (ETO)، تبخیر و تعرق گیاهی (ETc) محاسبه شده است. نهایتاً با کم‌نمودن بارندگی مؤثر، نیاز خالص آب آبیاری (In) که همان کمبود رطوبت خاک است و بایستی با آبیاری جبران گردد برآورد شد.

$$\text{Etc} = \text{ETO} \times \text{Kc}$$

$$\text{Etc} = \text{تبخیر و تعرق واقعی گیاه} \text{ mm/day}$$

$$\text{Eto} = \text{تبخیر و تعرق گیاه مرجع} \text{ mm/day}$$

$$\text{Kc} = \text{ضریب گیاهی}$$

قبل از رسیدن میوه طالبی، پارامترهای طول ساقه، طول بوته، سطح برگ و تعداد برگ در بوته نیز اندازه‌گیری شدند و در زمان برداشت نیز پارامترهای وزن تر و خشک شاخه، وزن تر و خشک ریشه، طول ریشه، تعداد میوه در بوته، طول میوه، قطر میوه، قطر پوست میوه، قطر گوشت میوه، وزن متوسط میوه و عملکرد کل اندازه‌گیری شد. میزان پرولین، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز برگ نیز اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری سطح برگ چون امکان جدا کردن برگ در تمام مراحل وجود نداشت، ابتدا چندین برگ را جدا کرده و طول، عرض و طول در عرض آن‌ها محاسبه گردید. سپس با استفاده از کاغذ شطرنجی (میلی‌متری) مساحت آن‌ها را اندازه‌گیری و با استفاده از نرم‌افزار Excel رابطه بین مساحت بدست آمد و از رابطه ذیل، که دارای بالاترین ضریب رگرسیون ( $R^2$ ) بود، برای محاسبه سطح برگ استفاده شد:

$$Y = 1.03X + 44$$

$$Y \text{ (cm}^2\text{)} = \text{سطح برگ}$$

$$X \text{ (cm}^2\text{)} = \text{طول (cm)} \times \text{عرض (cm)}$$

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوپچار مورد استفاده در آزمایش

pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> ) (1:5)	N	P (%)	K	Fe Zn Cu Mn			
					(ppm)			
۹	۷/۵	۰/۷۴	۰/۰۹	۰/۸۳	۹۸۳/۲	۳۲/۴	۲	۱۳۹/۳

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه

pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> ) (1:5)	N	P	K
۷/۸	۰/۵۴	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۱۴

معنی دار گردید (جدول ۳ و ۴).

وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه و طول ریشه: کاربرد تیمار I<sub>3</sub>B<sub>2</sub> صفات وزن تر شاخساره (شکل ۱)، وزن خشک شاخساره (جدول ۵)، وزن تر ریشه (شکل ۲)، وزن خشک ریشه و طول ریشه (جدول ۵) را به ترتیب به میزان ۷۷، ۳۲، ۱۰۰، ۸۴ و ۷۱ درصد نسبت به تیمار شاهد (I<sub>1</sub>B<sub>1</sub>) افزایش داد و این تیمار (I<sub>3</sub>B<sub>2</sub>) نسبت به تیمارهای I<sub>3</sub>B<sub>4</sub> و تیمار I<sub>2</sub>B<sub>3</sub> تفاوت معنی داری نداشت. ریشه‌های گیاهان در بسترهای حاوی بیوپچار رشد خوبی دارند که می‌تواند به علت بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک ریزوسفر باشد. بنابراین کاهش مقاومت خاک به رشد ریشه در این محیط‌های کشت دیده می‌شود (Altland and Locke, 2013; Chen *et al.*, 2008). بیوپچار می‌تواند نفوذپذیری آب خاک را بهبود بخشد و سبب تسهیل نفوذ ریشه و افزایش وزن و طول ریشه شود.

**طول شاخساره، سطح برگ و تعداد برگ در بوته:** بیشترین میزان طول شاخساره، سطح برگ و تعداد برگ در بوته (جدول ۵) مربوط به تیمار I<sub>3</sub>B<sub>4</sub> به میزان ۱۸، ۵۰، ۹۵ درصد نسبت به تیمار شاهد (I<sub>1</sub>B<sub>1</sub>) بود، اگرچه این تیمار (I<sub>3</sub>B<sub>4</sub>) نسبت به تیمار I<sub>3</sub>B<sub>3</sub> تفاوت معنی داری نداشت. در این آزمایش با کاهش آبیاری و افزایش تنش گیاه طول شاخساره، سطح برگ و تعداد برگ گیاه کاهش یافت و با افزایش آبیاری و کاربرد بیوپچار و در نتیجه کاهش تنش میزان این‌ها افزایش پیدا کرد. گیاه در این شرایط به دلیل کاهش تعرق، اندازه سلول-های برگ خود را کاهش و موجب کوچک شدن برگ می‌شود.

طول شاخساره از یقه تا جوانه انتهایی با خطکش برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. تعداد دو بوته از خاک بیرون آورده شد و با جدا کردن ریشه و قسمت اندام هوایی، آنها را به صورت جداگانه با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۰۱ (توسط ترازوی Shimadzu مدل AEL-40SM) توزین و به عنوان وزن تر یادداشت شدند. اندازه‌گیری قطر پوست و گوشت میوه، بعد از قاچ کردن میوه با استفاده از خطکش صورت گرفت. برای اندازه‌گیری میزان پرولین، از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد. کارایی مصرف آبی به عنوان رابطه‌ای بین عملکرد گیاه و آب مصرفی گیاه در طول دوره تیمار محاسبه شد (Liu *et al.*, 2011).

$$WP = Y/V$$

WP: کارایی مصرف آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب

Y: میزان عملکرد برحسب کیلوگرم در بوته

V: کل آب مصرفی شامل آبیاری و بارندگی برحسب مترمکعب نیتروژن کل به روش کلجدال (دستگاه Kjeldahl-PECO (Bremner, 1996)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (توسط دستگاه Spectrophotometer JENWAY)، پتاسیم توسط دستگاه فلیم‌فتمتر اندازه‌گیری شد (Sparks and Helmke, 1996). آهن، روی، مس و منگنز با دستگاه جذب اتمی (PG 990، ساخت انگلستان) اندازه‌گیری شد (Lindsay and Norvell, 1978).

## نتایج و بحث

نتایج نشان داد که اثرات تنش کم‌آبی و بیوپچار و همچنین اثر متقابل تنش کم‌آبی و بیوپچار بر کلیه صفات فیزیولوژیکی

جدول ۳- ترکیب تیمارها

نشانه	ترکیب تیماری
I <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	۶۰ درصد نیاز آبی و بدون بیوچار
I <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	۶۰ درصد نیاز آبی و ۰/۱۹ کیلوگرم بیوچار بر مترمربع
I <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	۶۰ درصد نیاز آبی و ۰/۲۴ کیلوگرم بیوچار بر مترمربع
I <sub>1</sub> B <sub>4</sub>	۶۰ درصد نیاز آبی و ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار بر مترمربع
I <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	۸۵ درصد نیاز آبی و بدون بیوچار
I <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	۸۵ درصد نیاز آبی و ۰/۱۹ کیلوگرم بیوچار بر مترمربع
I <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	۸۵ درصد نیاز آبی و ۰/۲۴ کیلوگرم بیوچار بر مترمربع
I <sub>2</sub> B <sub>4</sub>	۸۵ درصد نیاز آبی و ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار بر مترمربع
I <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	۱۰۰ درصد نیاز آبی و بدون بیوچار
I <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۰/۱۹ کیلوگرم بیوچار بر مترمربع
I <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۰/۲۴ کیلوگرم بیوچار بر مترمربع
I <sub>3</sub> B <sub>4</sub>	۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار بر مترمربع

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر بیوچار و تنش کم آبی بر برخی صفات رویشی و زایشی طالبی

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییرات
طول ریشه	طول شاخساره	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک شاخساره	وزن تر شاخساره		
۳۵/۵**	۱۱۲/۵**	۱/۰**	۵۳/۳**	۳۲۵۳/۹**	۴۲۸۳۳/۵*	۲	بلوک
۷۲/۸**	۱۸۴/۲**	۲/۹**	۱۵۸/۶**	۶۹۵۴/۶**	۲۲۸۵۴۵/۶**	۲	تنش (a)
۰/۲	۱/۲	۰/۱	۱/۰۲	۱۵/۳	۹۱۸۳/۵	۲	r (year)
۲۰/۰**	۱۱۷/۸**	۱/۱**	۸۱/۰**	۳۰۷۱/۴**	۲۲۹۶۳۴/۷**	۳	بیوچار (b)
۴/۲*	۶۰/۹**	۰/۳**	۱۰/۰*	۳۵۸/۱**	۵۹۴۸۴/۶**	۶	a×b
۲/۳	۲۸/۵	۰/۱	۴/۰	۳۶۷/۰	۱۱۸۴۵/۳	۸	a×r (yaer)
۱/۷۷	۱۳/۴۷	۰/۰۸	۴/۱	۶۹/۷	۱۳۰۰۱/۴	۳۶	Error
۹/۱۵	۴/۵۸	۱۱/۲۵	۱۵/۳۸	۳/۸۷	۱۲/۱۵		CV %

\* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

میزان کلروفیل، موجب بهبود فتوسنتز مواد هیدروکربنی و تولید زی‌توده بیشتر می‌شود که از جمله نتایج آن، افزایش سطح و تعداد برگ و به دنبال آن افزایش وزن و طول ریشه و شاخساره گیاه می‌شود. احتمالاً در این آزمایش نیز افزایش کلروفیل موجب افزایش صفات رویشی شده است.

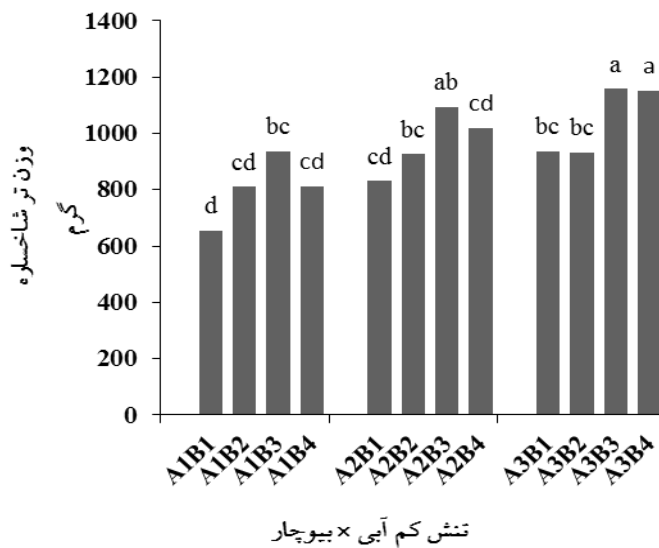
قطر میوه و قطر گوشت میوه: تیمار I<sub>3</sub>B<sub>4</sub>، قطر میوه و قطر

بیوچار با افزایش کارایی مصرف آب و در نتیجه کاهش تنش موجب افزایش سطح و تعداد برگ می‌گردد (Olympios, 1992). طول شاخساره به دلیل تأثیر بیوچار در افزایش فسفر قابل دسترس که موجب افزایش رشد ریشه و جذب مواد غذایی می‌شود، افزایش می‌یابد (Hossain et al., 2010). همچنین Song و Guo (۲۰۱۲) بیان کردند بیوچار با افزایش

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس مرکب صفات رویشی و زایشی طالبی

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییرات
عملکرد کل	وزن متوسط میوه	قطر گوشت میوه	قطر میوه	تعداد برگ در بوته	سطح برگ		
۲۳۵۳۷۹۰/۵**	۹۴۱۵۱/۶**	۰/۰۷	۱۰/۲	۱۶۲۶/۱**	۱۱۵/۱	۲	بلوک
۲۳۳۲۱۳۳۵/۹**	۹۳۲۸۵۳/۴**	۲/۵**	۳۵۱/۹**	۳۶۰۳/۲**	۴۱۳۵/۶**	۲	تنش (a)
۱۱۶۹۲۰۱/۳	۴۶۷۶۸/۰	۰/۰۹	۴/۱	۲/۲	۷۶/۵	۲	r (year)
۸۸۰۸۳۰/۴**	۳۵۲۳۵۳/۲**	۰/۶**	۸۲/۰**	۳۰۷۹/۳**	۶۱۲۹/۹**	۳	بیوچار (b)
۱۵۱۶۹۶۷/۱**	۶۰۶۷۸/۶**	۱۵/۰*	۲۵/۵**	۶۱۸/۲**	۱۰۸۷/۷**	۶	a*b
۷۲۲۴۲۱/۴	۲۸۸۹۶/۸	۰/۲	۶/۳	۴۷/۴	۶۰۸/۷	۸	a*r(yaer)
۲۰۶۴۱۴/۴	۸۲۵۶/۵	۰/۰۵	۴/۷	۱۱۷/۴	۲۴۴/۹	۳۶	خطا
۹/۳۸	۹/۱۷	۸/۰۲	۴/۶۱	۱۰/۱۰	۷/۷۰		CV %

\* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد



تنش کم آبی x بیوچار

شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و بیوچار بر وزن تر بوته طالبی

افزایش کربن آلی و حاصلخیزی خاک (Kumar et al., 2013).

افزایش رشدونمو و عملکرد محصول (Spokas et al., 2010)،

افزایش ماده خشک (Van Zwieten et al., 2010) می‌گردد.

وزن متوسط میوه و عملکرد میوه: تیمار I3B3 وزن متوسط

میوه (جدول ۵) و عملکرد میوه (شکل ۳) را به میزان ۸۴

درصد نسبت به تیمار I1B1 افزایش داد، ولی نسبت به

تیمارهای I2B3 و I2B4، I3B4 تفاوت معنی‌داری نداشت. سایر

محققان (Chan et al., 2008) نیز افزایش رشد و عملکرد ذرت

گوشت میوه (جدول ۵) را به میزان ۴۳ و ۵۵ درصد نسبت به

تیمار I1B1 افزایش داد، اگرچه با تیمار I3B3 تفاوت معنی‌داری

مشاهده نشد. در این آزمایش با کاربرد بیوچار قطر میوه، قطر

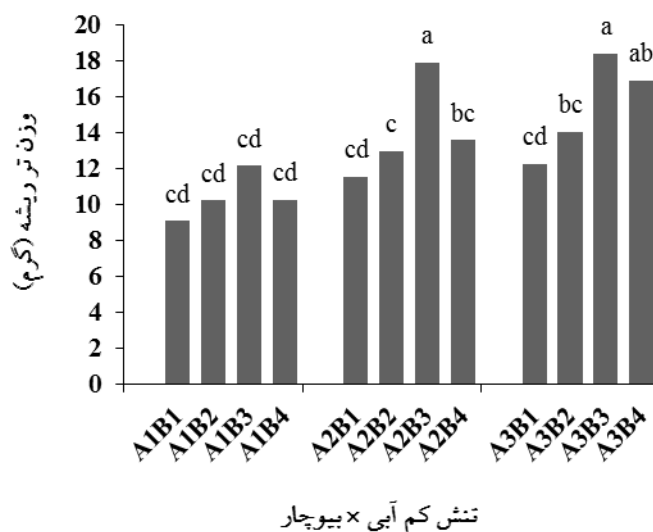
گوشت میوه و در نتیجه عملکرد افزایش یافت. که این افزایش

می‌تواند به دلیل عناصر غذایی موجود در برگ نخل خرما به

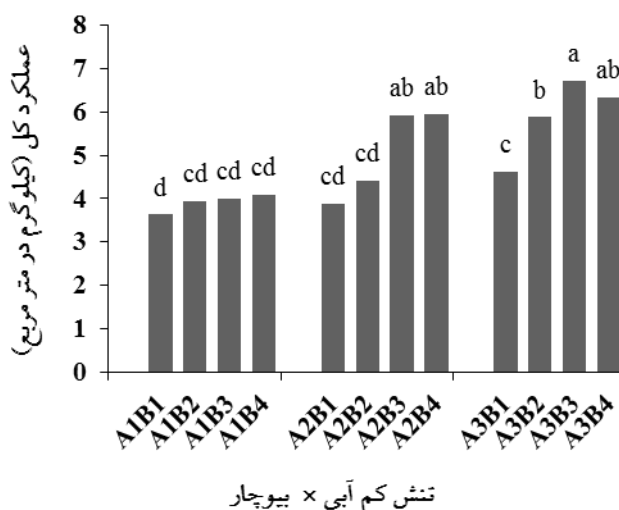
بیوچار تبدیل شده (مستقیم) و همچنین بهبود ویژگی‌های

فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک آن باشد (غیرمستقیم)

(Major et al., 2010). بیوچار به‌طور قابل توجهی موجب



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و بیوجار بر وزن تر ریشه طالبی



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و بیوجار بر عملکرد طالبی

نتایج نشان داد که اثرات تنش کم آبی و بیوجار و همچنین اثر متقابل تنش کم آبی و بیوجار بر مقدار پرولین برگ، کارایی مصرف آب و کلیه صفات شیمیایی، بجز اثر متقابل فسفر، معنی دار گردید (جدول ۶).

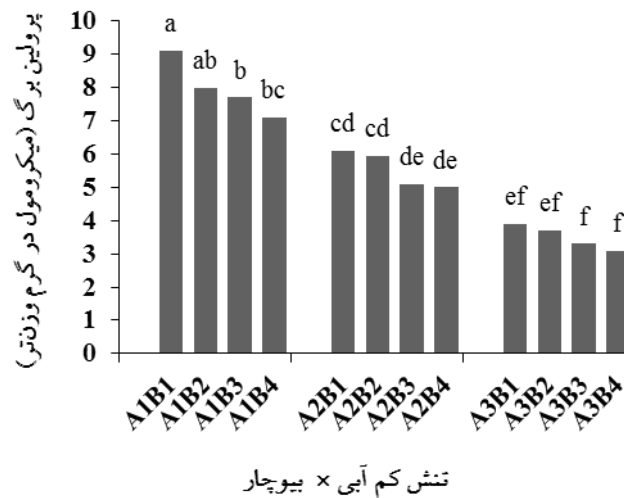
**پرولین:** در این آزمایش با افزایش مقدار تیمارهای بیوجار از B<sub>2</sub> به B<sub>4</sub> و افزایش نیاز آبی از I<sub>1</sub> به I<sub>3</sub> میزان پرولین نیز کاهش یافت، به طوری که کمترین میزان پرولین مربوط به تیمارهای I<sub>3</sub>B<sub>3</sub> و I<sub>3</sub>B<sub>4</sub> و بیشترین میزان پرولین نیز مربوط به تیمار I<sub>1</sub>B<sub>1</sub> بود و نسبت به سایر تیمارها تفاوت معنی داری

در تیمارهای بیوجار را به افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند کاهش چگالی ظاهری نسبت دادند. همچنین بیوجار موجب بهبود خصوصیات شیمیایی خاک مانند افزایش گروه‌های عاملی و ظرفیت تبادل کاتیونی (Kharea *et al.*, 2013) و دسترسی گیاه به عناصر غذایی شده که باعث می‌شود گیاه رشد بهتری داشته باشد (Lehmann and Joseph, 2009). Uzoma و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که کاربرد بیوجار سبب افزایش رشد و عملکرد ذرت در مقایسه با شاهد شد.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل بیوجار و تنش کم آبی بر برخی صفات رویشی و زایشی طالبی

تیمار	وزن خشک		طول ریشه	تعداد برگ در بوته	سطح برگ (سانتی متر مربع)	وزن خشک ریشه (گرم)	قطر میوه	قطر گوشت میوه	وزن متوسط میوه (گرم)
	شاخساره	شاخساره							
I <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	۱۸۸/۳ <sup>e</sup>	۱/۷۱ <sup>d</sup>	۱۰/۲ <sup>e</sup>	۷۶/۵ <sup>e</sup>	۱۶۷/۷ <sup>d</sup>	۱/۷۱ <sup>d</sup>	۳۶ <sup>e</sup>	۲/۱۵ <sup>e</sup>	۷۲۹ <sup>d</sup>
I <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	۱۹۳/۳ <sup>de</sup>	۲/۵۲ <sup>bc</sup>	۱۲/۷ <sup>d</sup>	۹۱/۵ <sup>de</sup>	۱۸۶/۹ <sup>cd</sup>	۲/۵۲ <sup>bc</sup>	۴۳/۳ <sup>d</sup>	۲/۷۶ <sup>cd</sup>	۷۸۸/۳ <sup>cd</sup>
I <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	۲۰۶ <sup>cd</sup>	۲/۳۴ <sup>bc</sup>	۱۳/۴ <sup>cd</sup>	۱۰۳/۴ <sup>bcd</sup>	۱۸۸/۳ <sup>cd</sup>	۲/۳۴ <sup>bc</sup>	۴۳/۳ <sup>d</sup>	۲/۶۴ <sup>d</sup>	۸۰۳/۳ <sup>cd</sup>
I <sub>1</sub> B <sub>4</sub>	۲۰۵/۲ <sup>cd</sup>	۲/۰۶ <sup>cd</sup>	۱۴/۱ <sup>bcd</sup>	۱۰۶/۵ <sup>bcd</sup>	۱۹۰/۲ <sup>cd</sup>	۲/۰۶ <sup>cd</sup>	۴۳/۴ <sup>d</sup>	۲/۸۴ <sup>bcd</sup>	۸۱۹/۳ <sup>cd</sup>
I <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	۲۰۰/۸ <sup>cde</sup>	۲/۵۰ <sup>bc</sup>	۱۴/۷ <sup>bed</sup>	۹۸/۵ <sup>cd</sup>	۱۹۳/۱ <sup>cd</sup>	۲/۵۰ <sup>bc</sup>	۴۶/۴ <sup>cd</sup>	۲/۸۱ <sup>bcd</sup>	۷۷۷/۲ <sup>cd</sup>
I <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	۲۱۶ <sup>bc</sup>	۲/۶۸ <sup>ab</sup>	۱۴/۲ <sup>bcd</sup>	۱۰۴/۲ <sup>bcd</sup>	۱۹۸/۸ <sup>c</sup>	۲/۶۸ <sup>ab</sup>	۴۶/۱ <sup>cd</sup>	۲/۸۳ <sup>bcd</sup>	۸۸۲/۴ <sup>cd</sup>
I <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	۲۳۸/۷ <sup>a</sup>	۳/۱۴ <sup>a</sup>	۱۵/۸ <sup>abc</sup>	۱۱۹/۷ <sup>ab</sup>	۲۱۲/۲ <sup>bc</sup>	۳/۱۴ <sup>a</sup>	۴۸/۲ <sup>bc</sup>	۳/۲۳ <sup>ab</sup>	۱۱۸۴ <sup>ab</sup>
I <sub>2</sub> B <sub>4</sub>	۲۰۹/۸ <sup>bc</sup>	۲/۴۴ <sup>bc</sup>	۱۵/۲ <sup>abc</sup>	۱۱۰ <sup>bcd</sup>	۲۰۷/۵ <sup>bc</sup>	۲/۴۴ <sup>bc</sup>	۴۶/۵ <sup>cd</sup>	۳/۱۹ <sup>abc</sup>	۱۱۹۱ <sup>ab</sup>
I <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	۲۱۳/۳ <sup>bc</sup>	۲/۷۷ <sup>ab</sup>	۱۴/۵ <sup>bcd</sup>	۱۰۳ <sup>bcd</sup>	۲۰۲/۴ <sup>c</sup>	۲/۷۷ <sup>ab</sup>	۴۷ <sup>c</sup>	۳/۱۴ <sup>abc</sup>	۹۲۶/۳ <sup>c</sup>
I <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	۲۲۲/۷ <sup>b</sup>	۲/۶۸ <sup>ab</sup>	۱۵/۹ <sup>abc</sup>	۱۰۶ <sup>bcd</sup>	۲۰۳/۱ <sup>c</sup>	۲/۶۸ <sup>ab</sup>	۴۶/۵ <sup>cd</sup>	۳/۱۶ <sup>abc</sup>	۱۱۷۶ <sup>b</sup>
I <sub>3</sub> B <sub>3</sub>	۲۵۰ <sup>a</sup>	۳/۱۵ <sup>a</sup>	۱۷/۵ <sup>a</sup>	۱۱۷/۴ <sup>abc</sup>	۲۳۳/۹ <sup>ab</sup>	۳/۱۵ <sup>a</sup>	۵۰/۷ <sup>ab</sup>	۳۰/۳ <sup>a</sup>	۱۳۴۴ <sup>a</sup>
I <sub>3</sub> B <sub>4</sub>	۲۴۹/۲ <sup>a</sup>	۲/۷۱ <sup>ab</sup>	۱۶/۱ <sup>ab</sup>	۱۳۲/۵ <sup>a</sup>	۲۵۲/۷ <sup>a</sup>	۲/۷۱ <sup>ab</sup>	۵۱/۷ <sup>a</sup>	۳/۳۵ <sup>a</sup>	۱۲۶۶ <sup>ab</sup>

†در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن ندارند.



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و بیوجار بر برولین برگ طالبی

اسموتیک، محلول‌هایی از جمله پرولین در برگ تجمع می‌یابند. کاهش پرولین در برگ‌های تحت تنش به‌علت کاهش سنتز و افزایش اکسیداسیون است. در آزمایشی که Rasuli و همکاران (۲۰۰۹) بر روی انگور انجام دادند مشاهده کردند که تنش خشکی میزان ظرفیت آب برگ را کاهش می‌دهد و در نتیجه

داشت (شکل ۴). بیوجار با کاهش تبخیر آب و نگهداری رطوبت در محیط ریشه به‌دلیل منافذ فراوان در سطح خود و یا بهبود بافت خاک موجب رشد بهتر ریشه و در نتیجه کاهش تنش می‌گردد. در شرایط تنش خشکی میزان پتانسیل آبی برگ به‌طور شدید کاهش می‌یابد که برای سازگاری با شرایط



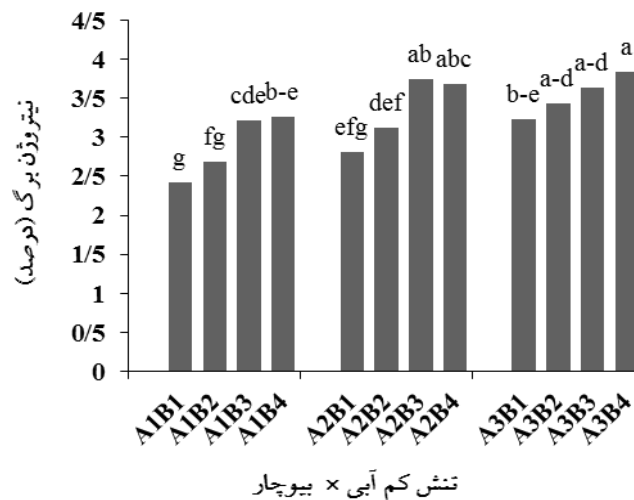
دلیل در شرایط کمبود آب میزان نیتروژن کاهش می‌یابد. بر این اساس و به‌طور قطعی می‌توان دریافت که افزودن بیوچار به خاک با افزایش نگهداری آب، موجب کاهش آبتی نترات از خاک و افزایش قابل دسترسی نیتروژن در خاک می‌شود و این اثر حداقل برای پنج ماه پایدار است. Knowles و همکاران (۲۰۱۱) نیز به نتایج مشابهی در خصوص کاهش آبتی نترات و افزایش نیتروژن در محدوده ریشه با افزودن بیوچار دست یافتند. بیوچار دارای قابلیت جذب آنیونی بوده و سطح ویژه بالایی دارد (Troeh and Thompson, 2005) و بنابراین قادر است یون‌های نترات 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 فرایندهای نترات‌ساز تسهیل می‌کند (Mukherjee et al., 2013). همچنین بیوچار به دلیل افزایش هوادهی خاک از دنیتریفیکاسیون جلوگیری می‌کند و جذب و نگهداری آمونیم را در خاک سبب می‌شود که منجر به کاهش قابل دسترسی بودن نیتروژن برای دنیتریفیکاسیون می‌گردد (Sarah Carter et al., 2013). محققین با کاربرد ۱۴ تن در هکتار بیوچار در گوجه‌فرنگی موجب افزایش نیتروژن خاک و گیاه گردیدند (Vaccari et al., 2015). به‌طور کلی گزارش‌های موجود در زمینه اثر تنش خشکی بر میزان عناصر غذایی در گونه‌های گیاهی متفاوت است. کاهش میزان نیتروژن در شرایط کم‌آبی و افزایش آن تحت تنش خشکی گزارش شده است (Feike and Mingzhu, 2014).

**پتاسیم برگ:** تیمار  $I_3B_4$  غلظت پتاسیم گیاه را به میزان ۶۵ درصد نسبت به تیمار  $I_1B_1$  افزایش داد. تیمار  $I_3B_4$  با تیمار  $I_3B_3$  تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۶). افزایش پتاسیم محلول در نتیجه کاربرد بیوچار به ترکیب آن‌ها به‌ویژه مقدار پتاسیم موجود در آن‌ها، سرعت آزادسازی پتاسیم و تأثیر مولکول‌های آلی بر آزادسازی پتاسیم از کانی‌های خاک ارتباط دارد (Jalali, 2006; Najafi-Ghiri, 2015). Larid و همکاران (۲۰۱۰) با افزودن بیوچار انواع مختلف چوب و کودهای دامی به خاک، افزایش مقدار پتاسیم را در خاک مشاهده نمودند

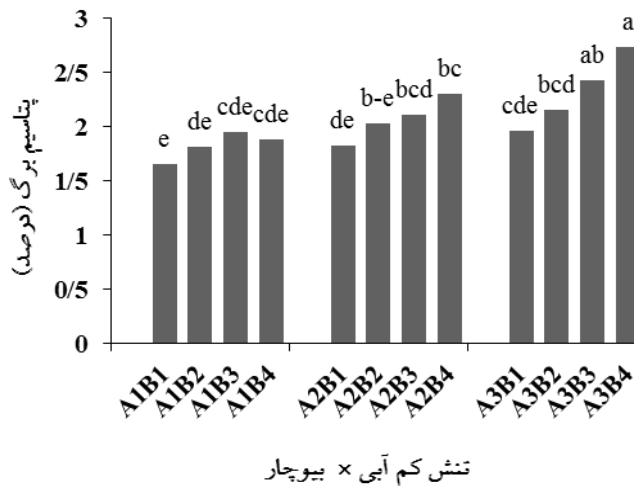
موجب افزایش پرولین می‌شود که با کاربرد بیوچار میزان پرولین کاهش می‌یابد. کاربرد بیوچار برگ نخل خرما موجب افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت می‌شود و این افزایش موجب کاهش تنش و در نتیجه کاهش پرولین می‌گردد (Nowroozi et al., 2017).

**کارایی مصرف آب:** تیمارهای  $I_3B_3$  و  $I_3B_4$  با افزایش ۸۸ و ۷۶ درصد کارایی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد ( $I_1B_1$ ) بیشترین مقدار را داشتند، ولی نسبت به تیمارهای  $I_2B_3$ ،  $I_3B_2$  و  $I_2B_4$  تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۶). کاهش منابع آب فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه را آسیب می‌رساند که این باعث کاهش ویژگی‌های رشد و عملکرد می‌شود. در این آزمایش با کاربرد بیوچار، کمبود آب مصرفی گیاه جبران شد و کارایی مصرف آب گیاه بدون کاهش رشدونمو بالا برده شد. تیمارهای  $I_3B_4$  و  $I_3B_3$  به میزان ۸۸ و ۷۶ درصد کارایی مصرف آب را نسبت به تیمار ( $I_1B_1$ )، افزایش دادند، ولی نسبت به تیمارهای  $I_2B_4$ ،  $I_2B_3$  و  $I_2B_4$  تفاوت معنی‌داری نداشتند. در این آزمایش بین تیمارهای رطوبتی ۸۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌خصوص در تیمارهای ۰/۲۴ و ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار در مترمربع تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد که نشان‌دهنده این واقعیت است که کاربرد بیوچار در تنش ۸۵ درصد نیاز آبی سبب کاهش معنی‌دار مصرف آب گیاه و در نتیجه اثر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب گیاه داشت. کاربرد بیوچار حاصل از ترکیب پوسته برنج و دانه کتان سبب افزایش کارایی مصرف آب در همه تیمارهای آبیاری در مقایسه با شرایط بدون بیوچار شد (Akhtar et al., 2014). همچنین کاربرد ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بیوچار کود گاوی کارایی مصرف آب ذرت در یک خاک شنی را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به میزان ۶، ۱۳۹ و ۹۱ درصد افزایش داد (Uzoma et al., 2011).

**نیتروژن برگ:** تیمار  $I_3B_4$  نیتروژن گیاه را به میزان ۵۸ درصد نسبت به تیمار  $I_1B_1$  افزایش داد، و تیمار  $I_3B_4$  نسبت به تیمارهای  $I_2B_3$ ،  $I_2B_2$ ،  $I_3B_3$ ،  $I_3B_2$  تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۵). نیتروژن عنصری متحرک محسوب می‌شود به همین



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و بیوچار بر نیتروژن برگ طالبی

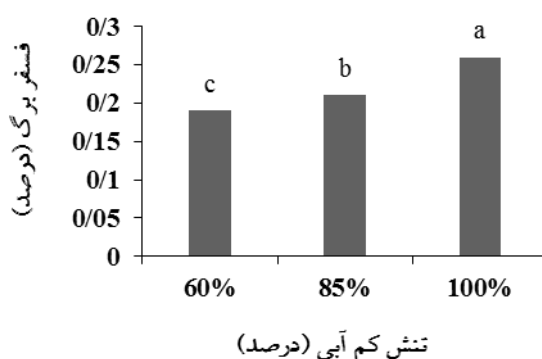


شکل ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و بیوچار بر پتاسیم برگ طالبی

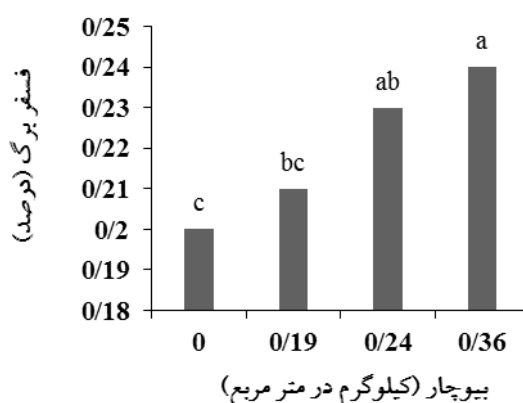
ظرفیتی) را به سطح خود جذب کرده و مانع از جدا شدن این یون‌ها می‌شوند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸).

**فسفر برگ:** کاربرد تیمارهای B<sub>2</sub> (۰/۱۹ کیلوگرم بیوچار بر مترمربع)، B<sub>3</sub> (۰/۲۴ کیلوگرم بیوچار بر مترمربع) و B<sub>4</sub> (۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار بر مترمربع) موجب افزایش به ترتیب ۵، ۱۵ و ۲۰ درصد فسفر گیاه نسبت به تیمار بدون بیوچار (B<sub>1</sub>) گردید. همچنین تیمارهای I<sub>2</sub> (۸۵ درصد نیاز آبی) و I<sub>3</sub> (۱۰۰ درصد نیاز آبی) فسفر گیاه را به میزان ۳۶ و ۱۰ درصد نسبت به تیمار I<sub>1</sub> (۶۰ درصد نیاز آبی) افزایش دادند (شکل‌های ۷ و ۸). میزان تأثیر مواد آلی در افزایش فراهمی فسفر در خاک به مقدار فسفر

(Laird *et al.*, 2010). Najafi-Ghiri (۲۰۱۵) افزایش بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پتاسیم تبادلی را در نتیجه کاربرد بیوچارهای مختلف حاصل از بقایای گیاهی در یک خاک آهکی گزارش کرد و مشاهده شد که درصد پتاسیم در گیاهان تحت تنش کمتر بوده و دلیل آن می‌تواند کاهش قابلیت دسترسی این عناصر در شرایط کمبود رطوبت باشد. به این صورت که در اثر وجود آب زیادتر، یون‌های یک ظرفیتی مانند پتاسیم در محلول خاک به‌طور نسبی بیشتر از یون‌های دو ظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم افزایش می‌یابد، اما به تدریج که خاک خشک می‌شود، کلونیدهای رس با قدرت بیشتری پتاسیم (یون‌های یک



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر تنش کم آبی بر فسفر برگ طالبی

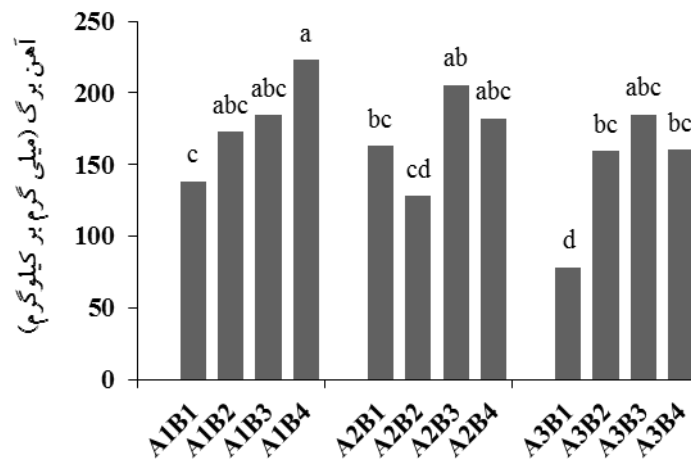


شکل ۸- مقایسه میانگین اثر بیوجار بر فسفر برگ طالبی

شد. با افزایش و قابل دسترس بودن فسفر در خاک، میزان فسفر در گیاه نیز افزایش می‌یابد. با این حال واکنش‌های گیاهان به قابلیت دسترسی فسفر و آب در خصوصیات ریشه و اندام هوایی هم متفاوت است (Fay et al., 2006).

**آهن، روی و مس برگ:** بررسی اثر متقابل تنش کم آبی و بیوجار نشان داد تیمار  $I_1B_4$  موجب افزایش آهن (شکل ۹)، روی و مس (جدول ۷) به میزان ۶۰، ۴۴ و ۶۶ درصد نسبت به تیمار  $I_1B_1$  گردید (شکل ۹). کمترین مقدار هم مربوط به تیمار  $I_3B_1$  بود. محققین بیان نموده‌اند که تنش کم آبی فعالیت ریشه‌های پیرتر را متوقف می‌کند و فقط نوک ریشه‌ها جذب عناصر غذایی را انجام می‌دهند که کاتیون‌های دو ظرفیتی مانند آهن نسبت به یک ظرفیتی بیشتر جذب می‌شوند و جذب آنیون‌ها نیز محدود می‌گردد (Martins et al., 2003). در آزمایشی کاربرد بیوجار موجب افزایش آهن در گیاه ریحان مقدس شد (صفرزاده شیرازی و همکاران، ۱۳۹۸). در مورد

آنها بستگی دارد. بیوجار علاوه بر آزادکردن مستقیم فسفر محلول و برخی عناصر غذایی ضروری، می‌تواند ظرفیت تبادل یونی خاک را افزایش دهد و ممکن است قابلیت دسترسی فسفر را با مهیاکردن ظرفیت تبادل آنیونی یا با تأثیر بر فعالیت کاتیون‌هایی که در تعامل با فسفر هستند تغییر دهد (Liang et al., 2006). در شرایط کمبود رطوبت، جذب فسفر کاهش می‌یابد البته خاک‌های مختلف به علت توانایی متفاوتی که از نظر تثبیت فسفر دارند، از این نظر متفاوت هستند. جذب عناصر غذایی و آب قابل دسترس توسط ریشه‌های گیاه ارتباط نزدیکی با هم دارند. روابط آبی تمام فرآیندهای فیزیولوژیک را که با حلالت و قابل دسترس بودن عناصر غذایی ارتباط دارند، تحت تأثیر قرار می‌دهد. تنش خشکی انتقال فسفر به شاخه‌ها را شدیداً محدود می‌کند (Feike and Mingzhu, 2014). کاربرد بیوجار به علت داشتن ظرفیت تبادل بالا و همچنین ظرفیت نگهداری آب، موجب نگهداشت این عنصر در خاک خواهد



تنش کم آبی × بیوجار

شکل ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش کم آبی و بیوجار بر آهن برگ طالبی

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل بیوجار و تنش کم آبی بر کارایی مصرف آب و غلظت برخی عناصر برگ طالبی

تیمار	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	روی (میلی گرم بر کیلوگرم)	مس (میلی گرم بر کیلوگرم)	منگنز
I1B1	۷/۱۹ c	۴۴/۰۷ bcd	۹/۵۱ d	۴۴ d
I1B2	۷/۷۵ c	۴۶/۸۷ bcd	۱۰/۱۸ d	۴۷/۱۷ d
I1B3	۷/۹۲ c	۵۴/۹۷ ab	۱۴/۳۸ ab	۵۱/۵۱ bcd
I1B4	۷/۸۸ c	۶۳/۷ a	۱۵/۷۵ a	۵۱/۹۸ bcd
I2B1	۷/۶۸ c	۳۸/۸۳ cde	۹/۹۸ d	۴۹/۶۸ cd
I2B2	۸/۷۳ bc	۳۵/۲ de	۱۰/۵۵ d	۵۰/۹ bcd
I2B3	۱۱/۷۷ ab	۵۱/۳ abc	۱۱/۹۲ bcd	۵۶/۸۸ abc
I2B4	۱۲/۰۱ ab	۴۵/۵ bcd	۱۳/۹۸ ab	۵۹/۱ ab
I3B1	۹/۰۲ bc	۲۵/۲۷ e	۸/۴۱ d	۵۰/۹ bcd
I3B2	۱۲/۰۱ ab	۴۲/۳۷ bcd	۱۱/۳۵ bcd	۵۲/۷۳ bcd
I3B3	۱۳/۵۵ a	۴۰/۰۳ bcd	۱۱/۰۱ bcd	۵۹/۳۷ ab
I3B4	۱۲/۶۹ a	۴۳/۵۳ bcd	۱۰/۸۵ cd	۶۵/۳۴ a

†در هر ستون میانگین هایی که دارای حروف مشابه هستند تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۱٪ آزمون دانکن ندارند.

کردند که تنش خشکی موجب افزایش عناصر روی، آهن و مس در گیاه مریم گلی لوله ای گردید. Zolfi Bavariani و همکاران (۱۳۹۵) با کاربرد بیوجار مرغی تهیه شده با دمای ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلیسیوس پی بردند که بیوجار تهیه شده در دمای ۴۰۰ درجه سلیسیوس بیشترین تأثیر در افزایش

عناصر روی و مس نیز احتمالاً در شرایط تنش خشکی، تر و خشک شدن متوالی و طولانی در خاک باعث رها شدن این عناصر از بین لایه های رسی شده و غلظت این ها در خاک افزایش می یابد که این پدیده جذب را افزایش می دهد ( Logan et al., 1977). Sodayizadeh و Mansoori (۱۳۹۳) بررسی

سال ۱۳۹۸ با کاربرد بیوچار موجب افزایش منگنز در گیاه ریحان مقدس گردیدند.

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی بیشترین تأثیر روی صفات مربوط به تیمارهای کاربرد ۰/۲۴ و ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار در مترمربع بود. بین تیمارهای ۰/۲۴ و ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار در مترمربع در اکثر صفات تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و همچنین تأثیر ۰/۲۴ کیلوگرم بیوچار در مترمربع بر صفات بیشتر بود، پس می‌توان با کاربرد ۰/۲۴ کیلوگرم بیوچار در مترمربع در وقت و هزینه صرفه‌جویی کرد. در تنش ۶۰ درصد نیاز آبی، به‌دلیل کاهش جذب عناصر، گیاه فرصت رشد را از دست داد و کمترین میزان رشدونمو داشت ولی میزان جذب عناصر آهن، روی و مس در شرایط تنش ۶۰ درصد نیاز آبی، نسبت به تنش ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشتر بود. تنش ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه رشدش کمتر بود، ولی با استفاده از بیوچار بخصوص با کاربرد ۰/۲۴ و ۰/۳۶ کیلوگرم بیوچار در مترمربع گیاه توانست کمبود رشد خود را جبران کند و تقریباً به حالت نرمال برسد. در تیمار آبیاری کامل نیز کاربرد بیوچار باعث افزایش جذب عناصر و رشد گیاه شد.

عناصر کم‌مصرف (آهن، روی، مس و منگنز) دارد. سرعت زیاد تجزیه کود مرغی و بیوچار تهیه‌شده از آن رهاسازی سریعتر عناصر موجود در ساختار آنها را سبب شده است (Steiner et al., 2007).

**منگنز برگ:** تیمار I<sub>3</sub>B<sub>4</sub> منگنز برگ را به میزان ۴۸ درصد نسبت به تیمار I<sub>1</sub>B<sub>1</sub> افزایش داد و کمترین میزان این عنصر نیز مربوط به تیمار I<sub>1</sub>B<sub>1</sub> بود (جدول ۷). منگنز و آهن از نظر جذب توسط گیاه رابطه عکس با یکدیگر دارند یعنی افزایش جذب منگنز باعث کاهش جذب آهن می‌گردد (Martins et al., 2003). تغییر در قابلیت استفاده عناصر غذایی کم مصرف در خاک تحت تأثیر ویژگی‌های مواد آلی و خاک است. با تجزیه مواد آلی، عناصر غذایی موجود در آن آزاد می‌شود، هر چند مکانیسم‌های متعددی مسئول افزایش یا کاهش نگهداری عناصر غذایی در خاک است (Van Herwijnen et al., 2007)، اما مطالعات نشان داد که اضافه‌نمودن بیوچار به خاک با تأثیر بر ظرفیت تبادل یونی و فعالیت‌های میکروبی بر قابلیت استفاده یون‌های غذایی مؤثر است (Atkinson et al., 2010). در آزمایشی تنش خشکی موجب افزایش روی و مس و کاهش منگنز گردید (Alizadeh et al., 2008). صفرزاده شیرازی و همکاران در

### منابع

صفرزاده شیرازی، ص.، زیبایی، ز و استوار، پ. (۱۳۹۸) اثر بیوچار پوسته برنج بر رشد و غلظت عناصر غذایی کم مصرف در گیاه ریحان مقدس (*Ocimum sanctum* L.) تحت تنش آبی. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی ۲: ۱۱۴-۱۰۱.

کافی، م.، گنجعلی، ع.، نظامی، ا. و شریعتمدار، ب. (۱۳۹۷) آب‌وهوا و عملکرد گیاهان زراعی. (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

- Akhtar, S. S., Andersen, M. N. and Liu, F. (2014) Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management* 138: 37-44.
- Altland, J. E. and Locke, C. (2013) Effect of biochar type on macronutrient retention and release from soilless substrate. *HortScience* 48: 1397-1402.
- Alizadeh, A., Majidi, A. and Mohammadi, Gh. (2008) Effect of water stress and soil nitrogen on nutrients absorption in corn plant ksc 704. *Journal of Research in Agricultural Science* 4: 51-59.
- Ashraf, M. and Foolad, M. R. (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany* 59: 206-216.
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D. and Hipps, N. A. (2010) Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils. *Plant and Soil* 337: 1-18.
- Basso, A. S., Miguez, F. E., Laird, D. A., Horton, R. and Westgate, M. (2013) Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. *Global Change Biology Bioenergy* 5: 132-143.
- Bates, L. S., Waldern, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 39: 205-207.

- Bremner, J. M. (1996) Nitrogen total. In: Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods (ed. Sparks, D. L.) Pp. 1085-1121. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
- Carter, S., Shackley, S. Sohi, S., Boun-Suy, T. and 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* L.). *Agronomy Journal* 3: 404-418.
- Chan, K. Y., Zwieter, L., Meszaros, V. I., Downie, A. and Joseph, S. (2008) Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research* 46: 437-444.
- Elbasher, M. M. A., Xiaohou, Sh., Albashir, A. S. A. and Mohammed, A. (2018) Effect of digestate and biochar amendments on photosynthesis rate, growth parameters, water use efficiency and yield of chinese melon (*Cucumis melo* L.) under saline irrigation. *Agronomy* 8: 1-11.
- Fay, I. O., Diouf, A., Guisse, M. S. and Diallo, N. (2006) Characterizing root response to low phosphorus in pearl millet. *Agronomy Journal* 98: 1187-1194.
- Glaser, B. and Birk, J. J. (2012) State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Indio). *Geochimica et Cosmochimica Acta* 82: 39-51.
- Graber, E. R., Harel, Y. M., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., David, D. R., Tsechansky, L., Borenshtein, M. and Elad, Y. (2010) Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertilized soilless media. *Plant and Soil* 337: 481-496.
- Hall, G., Woodborne, S. and Scholes, M. (2008) Stable carbon isotope ratios from archaeological charcoal as palaeoenvironmental indicators. *Chemical Geology* 247: 384-400.
- Helmke, P. A. and Sparks, D. L. (1996) Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. methods of soil analysis. part 3- chemical methods and microbiological properties. Soil Science of America and American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin 551-574.
- Hemmat, A., Aghilinategh, N. and Sadeghi, M. (2010) Shear strength of repacked remoulded samples of a calcareous soil as affected by long-term incorporation of three organic manures in central Iran. *Biosystems Engineering* 107: 257-261.
- Hossain, M. K., Strezov, V., Yin Chan, K. and Nelson, P. F. (2010) Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Chemosphere* 78: 1167-1171.
- Jalali, M. (2006) Kinetics of non-exchangeable potassium release and availability in some calcareous soils of western Iran. *Geoderma* 135: 63-71.
- Kharea, P., Dilshada, U. P., Routb, K., Yadava, V. and Jaina, S. (2013) Plant refuses driven biochar: Application as metal adsorbent from acidic solutions. *Arabian Journal of Chemistry* 226: 1-10.
- Knowles, O. A., Robinson, B. H., Contangelo, A. and Clucas, L. (2011) Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. *Science of the Total Environment* 409: 3206-3210.
- Kumar, S., Masto, R. E., Ram, L. C., Sarkar, P., George, J. and Selvi, V. A. (2013) Biochar preparation 373 from parthenium hysterophorus and its potential use in soil application. *Journal of Ecological Engineering* 55: 67-72.
- Laird, D. A., Fleming, P., Davis, D. D., Horton, R., Wang, B. and Karlen, D. L. (2010) Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158: 443-449.
- Lehmann, J. and Joseph, S. (2009) Biochar for environmental management. Science, Technology and Implementation, London and Sterling, VA USA.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J., Thies, J., Luizao, F. and Petersen, J. (2006) Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal* 70: 1719-1730.
- Liu, Y. F., Qi, H. Y., Bai, C. M. M., Qi, F., Xu, C., Hao, Q. J. H., Li, Y. and Li, T. L. (2011) Grafting helps improve photosynthesis and carbohydrate metabolism in leaves of muskmelon. *International Journal of Biological Sciences* 7: 1161-1170.
- Lindsay, W. and Norvell, W. A. (1978) Development of a dtpa soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42: 421-428.
- Logan, T. J., Goins, L. E. and Lindsay, B. (1997) Field assessment of trace element uptake by six vegetables from n-viro soil. *Water Environmental Research* 69: 28-33.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J. and Lehman, J. (2010) Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil* 333: 117-128.
- Martins, A. L. C., Batagha, O. C. Camargo, O. A. and Contarella, H. (2003) Corn yield and uptake of Cu, Fe, Mn and Zn from sewage sludge-amend soil with and without liming. *Revista de Ciencias Sociais* 27: 563-574.
- Mesa, A. C. and Spokas, K. A. (2011) Impacts of biochar (black carbon) additions on the sorption and efficacy of herbicides. *Herbicides Environment* 315-340.
- Mingzhu, H. and Feike, A. D. (2014) Drought effect on plant nitrogen and phosphorus: A meta-analysis. *New Phytologist* 204: 924-931.

- Mukherjee, A., Hamdan, R., Cooper, W. T. and Zimmerman, A. R. A. (2013) Chemical comparison of freshly-produced and field-aged biochars and biochar-amended soils. *Chemosphere, Solid Earth Discussions* 6: 731-760.
- Najafi-Ghiri, M. (2015) Effect of different biochars application on some soil properties and potassium pools distribution in a calcareous soil Iran. *Journal of Soil Science* 29: 351-358.
- Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M. and Ambaw, G. (2012) Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa* L.) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 12: 369-376.
- Nowroozi, M., Tabatabaei, H., Nori, R. and Mottaghian, H. (2017) Short-term effects of biochar produced from date palm's leaves on moisture retention in sandy loam soil. *Journal of Water and Soil Resources Conservation* 6: 138-149.
- Olympios, C. (1992) Soilless media under protected cultivation rockwool, peat, perlite and other substrates. *Horticultural Science* 323: 215-234.
- Rasuli, V. and Golmohammadi, M. (2009) Evaluation of drought stress tolerance in grapevine cultivars of qazvin province. *Seed and Plant Improvement Journal* 2: 349-359.
- Rodrigues, J. G., Edvarado, P. M. J., Forner, B. and Angeles, F. (2010) Citrus rootstock response to water stress. *Scientia Horticulturae* 126: 95-102.
- Sangeetha, M., Singaram, P. and Uma Devi, R. (2006) Effect of lignite humic acid and fertilizer on yield of onion and nutrient availability. *International Union of Soil Science* 21: 163-168.
- Sarah, C., Simon, Sh., Saran, S., Tan Boun, S. and Stephan, H. (2013) The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and Cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy* 3: 404-418.
- Sinaki, J. M., Heravan, E. M., Shirani, A. H., Noormohammadi, G. and Zarei, G. (2007) The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 2: 417-422.
- Sodayizadeh, H. and Mansoori, F. (2014) Effects of drought stress on dry matter accumulation, nutrient concentration and soluble carbohydrate of *Salvia macrosiphon* as a medicinal plant. *Arid Biome* 4: 1-9.
- Song, W. and Guo, M. (2012) Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 94: 138-145.
- Spokas, K. A., Baker, J. M. and Reicosky, D. C. (2010) Ethylene: Potential key for biochar 420 amendment impacts. *Plant and Soil* 333: 443-452.
- Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., MaceDo, J. L. V., Blum, W. E. H. and Zech, W. (2007) Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered central amazonian upland soil. *Plant and Soil* 291: 275-290.
- Tate, R. L. (2000) *Soil Microbiology*. John Wiley and Sons. New York, USA.
- Troeh, F. R. and Thompson, L. M. (2005) *Soils and Soil Fertility*. Blackwell Publishing, Iowa, US.
- Uzoma, K., 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 Manag* 27: 205-212.
- Vaccari, F. P., Maienza, A., Miglietta, F., Baronti, S., Di Lonardo, S., Giagnoni, L., Lagomarsino, A., Pozzi, A., Pusceddu, E., Ranieri, R., Valboa, G. and Genesio, L. (2015) Biochar stimulates plant growth but not fruit yield of processing tomato in a fertile soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 207: 163-170.
- Van Herwijnen, R., Hutchings, T., Al-Tabbaa, A., Moffat, A., Johns, M. and Ouki, S. (2007) Remediation of metal contaminated soil with mineral-amended composts. *Environmental Pollution* 150: 347-354.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K., Downie, A., Rust, J., Joseph, S. and Cowie, A. (2010) Effects of biochar from slow pyrolysis of paper mill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil* 327: 235-246.
- Zolfi Bavariani, M., Ronaghi, A., Karimian, N., Ghasemi, R. and Yasrebi, J. (2016) Effect of poultry manure derived biochars at different temperatures on chemical properties of a calcareous soil. *Journal of Water and Soil Science* 20: 73-86.

## Effect of palm leaf biochar application on some physiological and biochemical characteristics of melon plants (*Cucumis melo* cv. Samsouri) under drought stress

Sajad Bagheri<sup>1</sup>, Mohammad Reza Hassandokht<sup>2\*</sup>, Abbas Mirsoleimani<sup>3</sup>, Amir Mousavi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Horticulture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Horticultural Sciences, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup> Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran

<sup>4</sup> National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, Iran

(Received: 21/02/2021, Accepted: 06/07/2021)

### Abstract

In order to investigate the effect of palm leaf biochar on some characteristics of *Cucumis melo* L. under drought stress, a split plot experiment was conducted in a completely randomized block design with three replications for two consecutive years. The main plot included irrigation level (60, 85, and 100% water requirement) and subplot was biochar in four levels (0, 0.18, 0.24, and 0.36 kg/m<sup>2</sup>). Results showed that treatment of 0.24 kg/m<sup>2</sup> biochar and 100% water requirement increased the characteristics of shoot fresh weight up to 77%, shoot dry weight up to 32%, root fresh weight up to 100%, root dry weight up to 84%, root length up to 54%, and average fruit weight 84%, water use efficiency up to 88%, compared to the treatment without biochar and 60% water requirement. The biocharfree treatment with 60% water requirement accounted for the highest amount of proline due to high stress, and the proline content reduced with increasing biochar and decreasing stress in treatments. The highest level of leaf N, Mn and K, shoot length, leaf area, leaf number, fruit diameter and fruit flesh thickness in the treatment of 0.36 kg/m<sup>2</sup> biochar and 100% water requirement were higher up to 58%, 48%, 65%, 18%, 50%, 95%, 43% and 55%, compared to the treatment without biochar and 60% water requirement respectively and had no significant difference with the treatment of 0.24 kg/m<sup>2</sup> biochar and 85% water requirement. The highest rates of Fe, Zn and Cu were related to 0.36 kg/m<sup>2</sup> biochar and 60% water requirement as 60, 44 and 66% respectively compared to the treatment without biochar and 100% water requirement. Generally, the treatments of 0.24 and 0.36 kg/m<sup>2</sup> of biochar increased most of the characteristics, however no significant difference was observed between these treatments. Moreover, in 85% water requirement the drought stress conditions could compensate with the application of biochar. Thus, using 0.24 kg/m<sup>2</sup> of biochar and 85% of water requirement, recommended for the best result.

**Key words:** Biochar; Drought stress; Macronutrient; Micronutrient.

Corresponding author, Email: mrhassan@ut.ac.ir