



اثر بیوجار ضایعات شاخ و برگ درخت پسته بر خصوصیات رشدی گیاه گلرنگ

زهرا عرب بافرانی^۱، *محمد جواد قانع بافقی^۲ و مصطفی شیرمردی^۳

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه اردکان، استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه اردکان،

استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه اردکان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: مدیریت و استفاده صحیح از ضایعات کشاورزی یکی از راهکارهای مهم توسعه پایدار بخش کشاورزی در ایران به حساب می‌آید. با توجه به این که بیش تر سطح کشور را اراضی خشک و نیمه‌خشک فرا گرفته و در این اراضی تجزیه سریع مواد آلی و کمبود آن در خاک یکی از مشکلات بخش کشاورزی و منابع طبیعی به حساب می‌آید، جلوگیری از سوزاندن و استفاده بهینه از این ضایعات هم کمبود مواد آلی خاک را جبران می‌کند و هم از آلودگی محیط زیست جلوگیری می‌نماید. با توجه به ماندگاری بالای بیوجار در خاک، استفاده از آن در زمین‌های کشاورزی جهت تأمین مواد آلی برای رشد گیاه و به‌عنوان اصلاح‌کننده برای بهبود خصوصیات خاک، می‌تواند راهکار مفیدی برای مدیریت پسماندهای آلی باشد. با توجه به گسترش کشت پسته در مناطق مرکزی ایران سالانه از هرس سرشاخه‌های آن مقادیر متناهی ضایعات حاصل می‌شود که معمولاً به منظور جلوگیری از گسترش آفات سوزانده می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی اثر بیوجار ضایعات پسته بر خصوصیات رشدی گیاه گلرنگ می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور بررسی اثر بیوجار بر خصوصیات رشدی گیاه گلرنگ، آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، انجام شد. تیمار بیوجار که از چوب درخت پسته در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در شرایط کم اکسیژن تهیه شده بود در چهار سطح صفر، ۱، ۲ و ۴ درصد وزنی مورد پژوهش قرار گرفت. در پایان دوره رشد، گیاهان جمع‌آوری شد و صفات سطح، طول و عرض برگ، تعداد برگ زرد، سبز و مجموع آن‌ها، فاصله میان‌گره، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، ارتفاع ساقه، مدت جوانه‌زنی از زمان کشت، محتوای نسبی آب برگ، درصد نشت یونی، شاخص کلروفیل برگ، غلظت سدیم، پتاسیم و فسفر و نسبت غلظت سدیم به پتاسیم اندازه‌گیری شد. داده‌ها در نرم‌افزار SAS آنالیز گردید و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اثر تیمار بیوجار بر صفات سطح برگ، وزن تر و خشک گیاه، وزن خشک ریشه، ارتفاع گیاه، کلروفیل برگ، درصد نشت یونی، محتوای نسبی آب برگ، غلظت سدیم، فسفر و پتاسیم و نسبت غلظت سدیم به پتاسیم معنی‌دار بود اما اثر این تیمار بر شاخص‌های طول و عرض برگ، تعداد برگ سبز و زرد و مجموع آن‌ها، وزن تر ریشه، فاصله میان‌گره و مدت زمان جوانه‌زنی از زمان کاشت معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که

* مسئول مکاتبه: mjghaneib@ardakan.ac.ir

بالاترین میزان سطح برگ (۴۱۳/۲۵ میلی‌متر مربع)، وزن خشک ریشه (۱/۱۷ گرم)، وزن تر (۳/۷۹ گرم) و خشک گیاه (۰/۸۹ گرم)، ارتفاع گیاه (۵۲/۲۵ سانتی‌متر)، محتوای نسبی آب برگ (۸۹/۲)، غلظت پتاسیم (۲/۸۱ درصد) و فسفر (۰/۲۴ درصد) در بالاترین سطح بیوجار (۴ درصد وزنی) به دست آمد. همچنین بالاترین شاخص سطح کلروفیل برگ (۵۳/۸) در تیمار یک درصد بیوجار و بالاترین درصد نشت یونی (۸۱/۷۵ درصد)، غلظت سدیم (۳/۳۵ درصد) و نسبت سدیم به پتاسیم (۱/۶۳) در تیمار شاهد مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: این پژوهش نشان داد کاربرد بیوجار می‌تواند خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و غلظت عناصر ضروری مانند فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه گلرنگ را بهبود بخشد و در این زمینه میزان مصرف بیوجار دارای اهمیت می‌باشد. با توجه به آنالیز بیوجار از نظر عناصر غذایی و محتوای کربن، به نظر می‌رسد که احتمالاً کاربرد بیوجار با بهبود وضعیت تغذیه‌ای این عناصر در خاک و همچنین افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک به دلیل داشتن محتوای بالای کربن آلی بیوجار، بتواند محیط مناسب‌تری برای رشد گیاه فراهم آورده و از این طریق باعث بهبود شاخص‌های رشدی شود. بنابراین در صورت استفاده صحیح از ضایعات پسته و سایر محصولات کشاورزی به صورت بیوجار می‌توان ضمن جلوگیری از آلودگی محیط زیست، بخشی از کمبود مواد آلی خاک‌های مناطق خشک را از این طریق جبران کرد.

واژه‌های کلیدی: بیوجار، صفات فیزیولوژیک، صفات مورفولوژیک، گلرنگ

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران با آن مواجه است، کمبود شدید ماده آلی است، که این امر موجب کاهش پایداری ساختمان خاک، پوسته پوسته شدن آن و در نهایت ایجاد خاکی سخت و متراکم می‌شود (۲۴). عدم وجود پوشش گیاهی کافی و مناسب منجر به کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک و به دنبال آن فقر ماده آلی در این مناطق شده است (۶۰). علاوه بر این مدیریت نامناسب بقایای گیاهی مانند سوزاندن کاه و کلش و بقایای آلی، باعث کاهش مواد آلی خاک و محروم شدن خاک از اثرات مثبت آن‌ها می‌شود (۶۴). کودهای آلی، ضمن افزایش مواد آلی و کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک، باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب و بهبود ساختمان خاک شده و با افزایش فعالیت‌های آنزیمی و میکروبی در کلوئید

خاک، برخی عناصر ضروری گیاه را نیز تأمین می‌کنند (۶، ۲۰، ۲۵ و ۴۸). در ارتباط با تأثیر کودهای آلی بر pH خاک، عدم تأثیر (۵۲)، افزایش (۱۳) و کاهش (۶۵) این پارامتر با کاربرد کودهای آلی گزارش شده است که این امر را به ماهیت کود مورد استفاده و pH کود ارتباط داده‌اند. از فواید دیگر کودهای آلی می‌توان کمک به تنوع زیستی، تشدید فعالیت‌های حیاتی، بهبود کیفیت و حفظ سلامت محیط زیست را نام برد (۴۹). مدیریت سنتی بقایای کشاورزی، لجن فاضلاب، زباله‌های شهری و کودهای دامی جهت تأمین ماده آلی خاک، می‌تواند تولید مواد سمی و پاتوژن را به همراه داشته باشد و با انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند متان و اکسیدهای نیتروژن به ترتیب ۲۵ و ۲۹۸ بار بیش‌تر از کربن دی‌اکسید منجر به تغییر اقلیم شوند، از طرفی دفن بقایا نیز پرمهزینه است و با ورود نیترات و سایر آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی

سکونت‌گاه تعداد زیادی از میکروارگانسیم‌های مفید خاک باعث بهبود وضعیت خاک و سلامتی گیاهان شود (۶). از دیگر فواید بیوپچار می‌توان به توانایی جذب عناصر به دلیل داشتن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا (۲۰)، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، حفاظت از خاک و گیاه در برابر بیماری‌ها، بهبود ساختار و پایداری خاک، افزایش نفوذپذیری و تعدیل pH خاک اسیدی، جلوگیری از آبهویی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، افزایش تخلخل و ظرفیت نگهداری آب، افزایش بهره‌وری از کود، کاهش مقاومت کششی خاک، بهبود بهره‌وری زراعی خاک به دلیل سطح ویژه بالای مخلوط خاک و بیوپچار اشاره نمود (۲۸). هم‌چنین بیوپچار با افزایش فسفر و نیتروژن قابل جذب، باعث افزایش عملکرد در بسیاری از گیاهان می‌شود (۲۸) و (۴۱). پژوهش‌های انجام شده نشان دادند که کاربرد بیوپچار باعث جذب عناصری مانند سدیم (تنظیم‌کننده اسمزی) در اندام هوایی گیاه (۳۷)، افزایش درصد فسفر و سدیم بذر (۱۹)، افزایش وزن تر و خشک گیاه (۹، ۱۵، ۴۷، ۴۸ و ۵۹) و ریشه (۹، ۱۵ و ۵۹)، افزایش کلروفیل برگ (۹، ۱۵ و ۵۹)، پایداری غشا و کاهش نشت یونی (۱۹)، افزایش فتوسنتز (۱۵)، افزایش محتوای نسبی آب برگ (۱۵ و ۴۶)، افزایش ارتفاع گیاه (۹، ۴۷ و ۵۹)، افزایش ظرفیت نگهداری و راندمان مصرف آب (۴۶ و ۵۹)، افزایش قطر ساقه (۵۹)، افزایش سطح (۵۹) و تعداد برگ (۹) و افزایش عملکرد گیاه (۴۶ و ۶۲) شد.

گلرنگ زراعی (Safflower) یا کاشفه (کاجیره) گیاهی یکساله، با نام علمی *Carthamus tinctorius* L. از خانواده Compositae، راسته Asteraceae، رده Gamopetales و زیر رده Dicotyledones اصلی عمیق و اکثراً دارای برگ‌های خاردار، ضخیم و کوتیکولی می‌باشد که این دو ویژگی توانایی تحمل اقلیم‌های گرم و خشک از جمله هندوستان، ایران و

سلامت انسان و محیط زیست را به خطر می‌اندازد، بنابراین تبدیل این مواد به محصولات پایدار و بی‌ضرر آلی امری ضروری است (۳۷ و ۵۶).

یکی از راه‌های مؤثر جهت تأمین مواد آلی خاک، تبدیل ضایعات کشاورزی و حیوانی به ترکیباتی است که ضمن تولید انرژی، باعث کاهش حجم و وزن مواد زائد و اثرات نامطلوب شیرابه می‌شود. این ترکیبات ضمن بالا بردن کارایی مصرف آب و کاهش تلفات آن، سلامت خاک و محیط زیست را به خطر نینداخته، به صورت جاذب رطوبت عمل کرده و بازدهی آب خاک را نیز افزایش می‌دهند. یکی از این ترکیبات بیوپچار نام دارد (۳۰). بیوپچار، ماده‌ای ریزدانه، متخلخل و غنی از کربن (۸۹٪) است که از گرماکافت^۱ زیست‌توده‌ها (مواد آلی) در شرایط اکسیژن محدود یا عدم اکسیژن در دمای بالا تهیه می‌شود و به عنوان عاملی برای بهبود باروری خاک، کارکردهای اکوسیستم و ترسیب کربن جهت کاهش تغییرات اقلیمی مطرح است (۳۸ و ۵۷). در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری در ارتباط با تأثیر بیوپچار بر گیاهان مختلف صورت گرفته و گسترش کشاورزی ارگانیک از یک سو و آلودگی‌های جوی از طرف دیگر باعث شده تا استفاده از آن در سطح جهان گسترش یابد (۹). استفاده از بیوپچار در زمین‌های کشاورزی جهت تأمین مواد آلی برای رشد گیاه و اصلاح‌کننده‌ای برای بهبود خصوصیات خاک، رونق زیادی یافته است (۱۹ و ۴۳). به دلیل این‌که سرعت تجزیه بیوپچار نسبت به سایر مواد آلی پایین‌تر است و می‌تواند صد تا هزاران سال در خاک باقی بماند، بنابراین دارای ظرفیت بالایی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای مانند کربن دی‌اکسید و متان (آزاد شده از ضایعات) است و می‌تواند کربن را به مدت طولانی ذخیره کند (۳۱ و ۵۵). بیوپچار می‌تواند به عنوان

1- Pyrolysis

دمای متوسط سالانه، ۱۹ درجه سانتی‌گراد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار سطح کاربرد بیوچار (صفر (شاهد)، ۱، ۲ و ۴ درصد وزنی-وزنی) بود. برای تهیه بستر کشت، خاک غیرشور از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. بیوچار مورد نیاز، از شاخ و برگ هرس شده درختان پسته در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در شرایط اکسیژن محدود تهیه شد. به این منظور شاخ و برگ درختان پسته در ظرف‌های در بسته حاوی یک سوراخ کوچک روی درب ظرف درون کوره قرار گرفت. مدت زمان رسیدن به دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد حدود ۳۰ دقیقه بود و در این دما تا خروج کامل ترکیبات فرار نگه داشته شد. پس از قطع حرارت تا سرد شدن بیوچار درب کوره بسته ماند و در نهایت پس از خرد کردن و عبور از الک ۲ میلی‌متر، با خاک مخلوط گردید و دو کیلوگرم از مخلوط خاک و بیوچار (با توجه به تیمار مربوطه) در گلدان ریخته شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند EC و pH در عصاره اشباع، بافت به روش هیدرومتری و کربن آلی به روش والکلی و بلک تعیین شد (جدول ۱). بذرهاي گلرنگ (رقم گلدشت) در گلدان‌هایی پلاستیکی با قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متری که با دو کیلوگرم از مخلوط خاک و بیوچار با توجه به تیمارها پر شده بودند کشت شد، به نحوی که سطح خاک تا لبه گلدان پنج سانتی‌متر فاصله داشت. در هر گلدان چهار بذر کشت شد و پس از جوانه‌زنی و رشد اولیه دو بوته حذف و دو بوته که رشد بهتری داشت باقی ماند. شدت نور گلخانه در محدوده ۴۰۰۰-۱۵۰۰ لوکس بود. میانگین دمای شبانه گلخانه 18 ± 4 و میانگین دمای روزانه 24 ± 4 درجه سانتی‌گراد حفظ شد. دو هفته پس از سبز شدن گیاهان، برای بهبود رشد گیاه،

دیگر نقاط خاورمیانه، شرق آفریقا و ترکمنستان را در این گیاه به وجود آورده است (۴۲). سطح زیر کشت گلرنگ در کشور حدود ۶۰۰۰ هکتار با متوسط عملکرد یک تن در هکتار است و بیش‌ترین سطح زیر کشت آن به ترتیب مربوط به استان‌های اصفهان، خراسان، یزد و آذربایجان است (۲۰). خصوصیات مطلوب این گیاه مانند مصارف طبی (۳۵)، صنعتی (۵۰) و غذایی از گلبرگ‌های آن (۶۱)، مقاومت نسبتاً بالا به شوری (۱۷)، سازگاری وسیع نسبت به درجه حرارت پایین زمستان و بالای تابستان، فصل رشد کوتاه در کشت تابستانه (۲۷)، کیفیت بالای روغن دانه و وجود بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع به‌ویژه اسید چرب لینولئیک و اولئیک (۱۷) از مواردی است که آن را به‌عنوان یک گیاه زراعی مطلوب در ایران مطرح ساخته است.

باتوجه به این‌که در حال حاضر در کشور ما بخش قابل‌توجهی از ضایعات آلی بخش کشاورزی سوزانده می‌شود که ضمن ایجاد مسائل محیط زیستی، از دست رفتن مقدار زیادی ماده آلی را در پی دارد. هم‌چنین نظر به اهمیت توجه به دانه‌های روغنی در کشور و پایین بودن محتوای مواد آلی خاک‌ها به‌ویژه در مناطق خشک، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر سطوح مختلف بیوچار حاصل از هرس درخت پسته بر خصوصیات مروفیزیلولوژیک گلرنگ که یک گیاه زراعی مناسب برای مناطق خشک می‌باشد انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در گلخانه دانشگاه اردکان واقع در شهر اردکان با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و با متوسط بارندگی سالانه ۶۲ میلی‌متر و

$$(1) \quad (\%) \text{ عملکرد بیوچار} = \frac{\text{وزن بیوچار (g)}}{\text{وزن خشک بقایا (g)}} \times 100$$

برای تعیین محتوای خاکستر بیوچار از روش استاندارد ASTM D-2866 استفاده شد. به این صورت که ابتدا ۵ گرم نمونه بیوچار خشک شده در آون را در بوتۀ چینی ریخته و به مدت ۸ ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در شرایط حضور اکسیژن قرار داده شد. پس از سرد شدن نمونه در دسیکاتور، وزن خاکستر اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه ۲ محتوای خاکستر بر حسب درصد تعیین شد (۵۸).

$$(2) \quad (\%) \text{ محتوای خاکستر} = \frac{\text{وزن خاکستر (g)}}{\text{وزن بیوچار (g)}} \times 100$$

صفات مورفولوژیک: جهت اندازه‌گیری شاخص‌های سطح، طول و عرض برگ، با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (LAM) (مدل Win Area_11 ساخت ایران) سطح برگ بر حسب میلی‌مترمربع و طول و عرض آن بر حسب میلی‌متر محاسبه شد.

در پایان دوره رشد، تعداد برگ زرد، سبز و تعداد کل برگ‌های هر بوته شمارش شد. وزن تر بوته و ریشه (به صورت مجزا)، پس از جداسازی اندام هوایی از ریشه، با استفاده از ترازوی حساس (چهار رقم اعشار) اندازه‌گیری شد. سپس به منظور اندازه‌گیری وزن خشک بوته و ریشه به صورت مجزا در پاکت‌های کاغذی قرار داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفت تا کاملاً خشک شوند، سپس با ترازوی حساس توزین شد. ارتفاع ساقه و فاصله میان‌گره (فاصله برگ دوم تا سوم) با خط‌کش اندازه‌گیری و بر حسب میلی‌متر گزارش شد.

کود (۲۰-۲۰-۲۰) NPK با غلظت دو گرم در لیتر در آب آبیاری حل و به گلدان‌ها اضافه شد. در پایان دوره رشد که حدود سه ماه طول کشید، گیاهان جمع‌آوری شد (این مدت زمان بر اساس ورود گیاه به فاز زایشی انتخاب گردید). در نهایت برای اندازه‌گیری صفات سطح، طول و عرض برگ، تعداد برگ سبز، زرد (زردی کامل پهنک ملاک بود) و مجموع آن‌ها، فاصله میان‌گره، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه، ارتفاع ساقه، مدت جوانه‌زنی از زمان کشت، محتوای نسبی آب برگ، درصد نشت یونی، شاخص کلروفیل برگ، غلظت سدیم، پتاسیم و فسفر و نسبت غلظت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی گیاه، گیاهان به آزمایشگاه منتقل گردید. آبیاری به روش وزنی در طول دوره رشد صورت گرفت. برای این منظور، گلدان‌ها در حد ظرفیت مزرعه (FC) آبیاری می‌شدند و با رسیدن رطوبت به ۷۰ درصد FC مجدداً آبیاری صورت می‌گرفت. برای آبیاری از آب شهری با هدایت الکتریکی ۴۲۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر استفاده شد. تنها یک نوبت کود (۲۰-۲۰-۲۰) NPK با غلظت دو گرم در لیتر در آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفت و در ادامه فصل رشد، کودی به کار نرفت. نیتروژن کل به روش کج‌لدال، پتاسیم قابل جذب با روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم یک نرمال (۲۶) و فسفر قابل جذب به روش اولسن (۶۳) اندازه‌گیری شد. در مورد بیوچار استفاده شده، EC و pH در عصاره ۱:۵ اندازه‌گیری شد (۶۴). کربن و نیتروژن بیوچار با استفاده از دستگاه کربن آنالایزر مدل CHNS Analyzer 2400 Series (شرکت Perkin Elmer) تعیین شد.

عملکرد بیوچار بر حسب وزن بیوچار تولیدشده در واحد وزن خشک ماده اولیه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۵۸).

جدول ۱- مشخصات خاک و بیوچار استفاده شده در این پژوهش.

Table 1. Soil and biochar characteristics used in this study.

بیوچار Biochar	خاک Soil	واحد اندازه‌گیری Unit	ویژگی Characteristic
9.97	7.8		pH
3.21	1.7	dS. m ⁻¹	EC
51.62	0.54	%	کربن آلی OC
-	32.6	%	رس Clay
-	49	%	سیلت Silt
-	18.4	%	شن Sand
-	Silty Clay Loam		بافت Texture
-	29.1	%	ظرفیت مزرعه Field Capacity (FC)
2.24	0.05	%	نیتروژن کل Total Nitrogen (N)
87.5	10.5	mg .kg ⁻¹	فسفر قابل جذب Available Phosphorus (P)
570	225	mg .kg ⁻¹	پتاسیم قابل جذب Available Potassium (K)
48.4	-	%	محتوای خاکستر Ash content
31.3	-	%	عملکرد بیوچار Biochar yield

قرار داده شدند. با استفاده از رابطه زیر، محتوای نسبی آب برگ محاسبه شد (۵۱).

$$RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} * 100 \quad (۳)$$

که در آن، FW وزن تر برگ بلافاصله بعد از نمونه‌برداری، TW وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر و DW وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون می‌باشد.

صفات فیزیولوژیک: به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC)^۱ ابتدا از هر بوته چهار برگ کاملاً توسعه یافته جدا و وزن تر آنها با استفاده از ترازوی حساس اندازه‌گیری شد. برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در ظرف محتوی آب مقطر (در دمای اتاق و نور کم) غوطه‌ور شدند. وزن برگ‌ها اندازه‌گیری و سپس برای اندازه‌گیری وزن خشک، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون

1- Relative Water Content

آسیاب برقی پودر شده و در کوره الکتریکی در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد به صورت خاکستر در آمد. سپس با استفاده از ۲۰ میلی‌لیتر HCl ۰/۱ نرمال و حرارت غیرمستقیم نمونه‌ها هضم و در بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری با آب مقطر به حجم رسانده شدند (۱). غلظت فسفر در نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل BT600 Plus, Canada) تعیین شد. جهت اندازه‌گیری غلظت پتاسیم و سدیم از دستگاه فلیم‌فوتومتر (مدل JENWAY PFP1 ساخت انگلستان) استفاده شد و در پایان نسبت غلظت سدیم به پتاسیم محاسبه شد.

تجزیه آماری: تجزیه واریانس داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر تیمار بیوچار در سطح یک درصد بر شاخص‌های سطح برگ، وزن تر و خشک گیاه، وزن خشک ریشه، ارتفاع گیاه، شاخص کلروفیل برگ، درصد نشت یونی، محتوای نسبی آب برگ، غلظت سدیم، فسفر و پتاسیم و نسبت غلظت سدیم به پتاسیم معنی‌دار بود اما اثر این تیمار بر شاخص‌های طول و عرض برگ، تعداد برگ سبز و زرد، جمع تعداد برگ، وزن تر ریشه، فاصله میان‌گره و مدت زمان جوانه‌زنی از زمان کاشت معنی‌دار نبود (جدول‌های ۲ و ۳).

درصد نشت یونی، با استفاده از روش لوتس و همکاران (۳۳) محاسبه شد. بدین‌منظور از آخرین برگ توسعه‌یافته هر بوته، دو قطعه با ابعاد ۰/۵ سانتی‌متری جدا شد و بعد از پاک‌سازی به وسیله آب مقطر، درون فالكون‌تیوب‌هایی حاوی آب مقطر ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت با سرعت ۱۰۰ دور در دقیقه روی شیکر قرار داده شدند. سپس هدایت الکتریکی اولیه آن‌ها به وسیله دستگاه EC متر (مدل Metrohm ۶۴۴)، اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در داخل اتوکلاو با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و هدایت الکتریکی ثانویه آن‌ها اندازه‌گیری شد. درصد نشت یونی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$\text{درصد نشت یونی} = \frac{EC_1}{EC_2} * 100 \quad (۴)$$

که در آن، EC_1 هدایت الکتریکی اولیه، EC_2 هدایت الکتریکی ثانویه.

جهت اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ از دستگاه کلروفیل‌سنج (مدل SPAD-502 PLUS) استفاده شد.

جهت اندازه‌گیری مدت جوانه‌زنی از زمان کاشت، روزانه تعداد جوانه‌ها شمارش شده و مدت زمان جوانه‌زنی آن‌ها از زمان کاشت محاسبه شد.

اندازه‌گیری غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و سدیم در اندام هوایی گیاه: برای اندازه‌گیری غلظت عناصر، ابتدا اندام هوایی گیاه بعد از شستشو با آب مقطر، به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس نمونه‌ها با استفاده از

جدول ۲- آنالیز واریانس اثر تیمار بیوچار بر روی صفات مورفولوژیک اندازه گیری شده در گیاه گلرنگ.

Table 2. Analysis of variance of the effect of biochar treatment on morphological traits measured in safflower.

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
جمع تعداد برگ	تعداد برگ زرد	تعداد برگ سبز	عرض برگ	طول برگ	سطح برگ	Degree of freedom	S. O. V
Total leaves	Yellow leaves	Green leaves	Leaf width	Leaf length	Leaf area		
11.1 ^{ns}	4.75 ^{ns}	8.08 ^{ns}	22.2 ^{ns}	40.71 ^{ns}	58713.6**	3	بیوچار Biochar
126.2	6.08	116.2	6.4	22.1	3672.2	8	خطا Error
						11	کل Total
37	32.8	46.4	24.7	28.8	25.4		CV (%)

^{ns}, * and ** were not significant, significant at the five and one percent level, respectively.

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
فاصله میانگره	ارتفاع گیاه	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک گیاه	وزن تر گیاه	(df)	Sources
Internodes distance	Plant height	Root dry weight	Root fresh weight	Dry weight	Fresh weight		
1.1 ^{ns}	265.4**	0.73**	1.6 ^{ns}	0.19**	6.22**	3	بیوچار Biochar
0.9	15.7	0.01	0.66	0.02	0.17	8	خطا Error
						11	کل Total
23.1	9.4	22.4	77.5	26.3	23.2		CV (%)

^{ns}, * and ** were not significant, significant at the five and one percent level, respectively.

جدول ۳- آنالیز واریانس اثر تیمار بیوچار بر روی صفات شاخص کلروفیل برگ، درصد نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ و غلظت عناصر در گیاه گلرنگ.

Table 3. Analysis of variance of the effect of biochar treatment on leaf chlorophyll traits, ion leakage percentage, relative leaf water content and elements concentration in safflower.

میانگین مربعات									
منابع تغییر	درجه آزادی (df)	شاخص کلروفیل برگ	نشت یونی (%)	محتوای نسبی آب برگ	مدت جوانه زنی از زمان کاشت	غلظت فسفر (%)	غلظت سدیم (%)	غلظت پتاسیم (%)	پتاسیم/سدیم
Sources	Degree of freedom	Leaf chlorophyll	Ion leakage (%)	Leaf relative water content	Germination time from planting	Phosphorus c. (%)	Sodium c. (%)	Potassium c. (%)	Sodium/Potassium
بیوچار	3	51.6**	919.2**	634.9**	4.93 ^{ns}	0.0041**	1.53**	0.29**	0.56**
خطا	8	4.8	6.54	4.66	1.26	0.00009	0.005	0.03	0.0007
کل	11								
Total									
CV (%)		4.44	4.42	3.77	13.8	4.77	2.98	7	2.78

^{ns}, * and ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطح پنج و یک درصد.

^{ns}, * and ** were not significant, significant at the five and one percent level, respectively.

صفات مورفولوژیک

۲ و ۴ درصد، وزن ریشه خشک را نسبت به شاهد (۰/۰۸ گرم به ازای هر بوته) افزایش دادند در حالی که کاربرد ۱ درصد بیوچار نتوانست تفاوت معنی داری در مقدار سطح برگ نسبت به شاهد باعث شود (شکل ۱). در پژوهش کازوتی تانور و همکاران (۲۰۱۹) نیز با افزایش سطوح بیوچار وزن ریشه خشک گیاه ذرت افزایش یافت.

وزن تر و خشک گیاه: نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح ۵ درصد نشان داد که افزودن بیوچار، باعث افزایش وزن تر و خشک گیاه شد. نتایج بیانگر آن است که بیشترین وزن گیاه تر (۳/۷۹ گرم) مربوط به تیمار ۴ درصد بود. تیمارهای ۲ و ۴ درصد، وزن گیاه تر را نسبت به شاهد (۰/۵۸ گرم) افزایش دادند در حالی که کاربرد ۱ درصد بیوچار نتوانست تفاوت معنی داری در وزن گیاه تر نسبت به شاهد نشان دهد (شکل ۱). در ارتباط با وزن خشک گیاه، بیشترین مقدار (۰/۸۹ گرم) مربوط به تیمار ۴ درصد بود. تیمارهای ۱ و ۲ درصد نتوانست تفاوت معنی داری در

سطح برگ: نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح ۵ درصد نشان داد که بیشترین سطح برگ (۴۱۳/۲۵ میلی متر مربع) مربوط به تیمار ۴ درصد بود. نتایج بیانگر آن است که تیمارهای ۱ و ۴ درصد، سطح برگ را نسبت به شاهد افزایش دادند در حالی که کاربرد ۲ درصد بیوچار نتوانست تفاوت معنی داری در مقدار سطح برگ نسبت به شاهد باعث شود (شکل ۱). این نتایج با یافته‌های پژوهش تانور و همکاران (۲۰۱۹) که در آن با افزایش سطوح بیوچار، سطح برگ گیاه ذرت افزایش یافت همخوانی دارد. افزایش سطح برگ یک فاکتور کلیدی در دریافت تشعشع خورشیدی و تبادل انرژی و آب در گیاه (۱۱) و در نتیجه افزایش بیومس گیاهی (۵۴) می‌باشد.

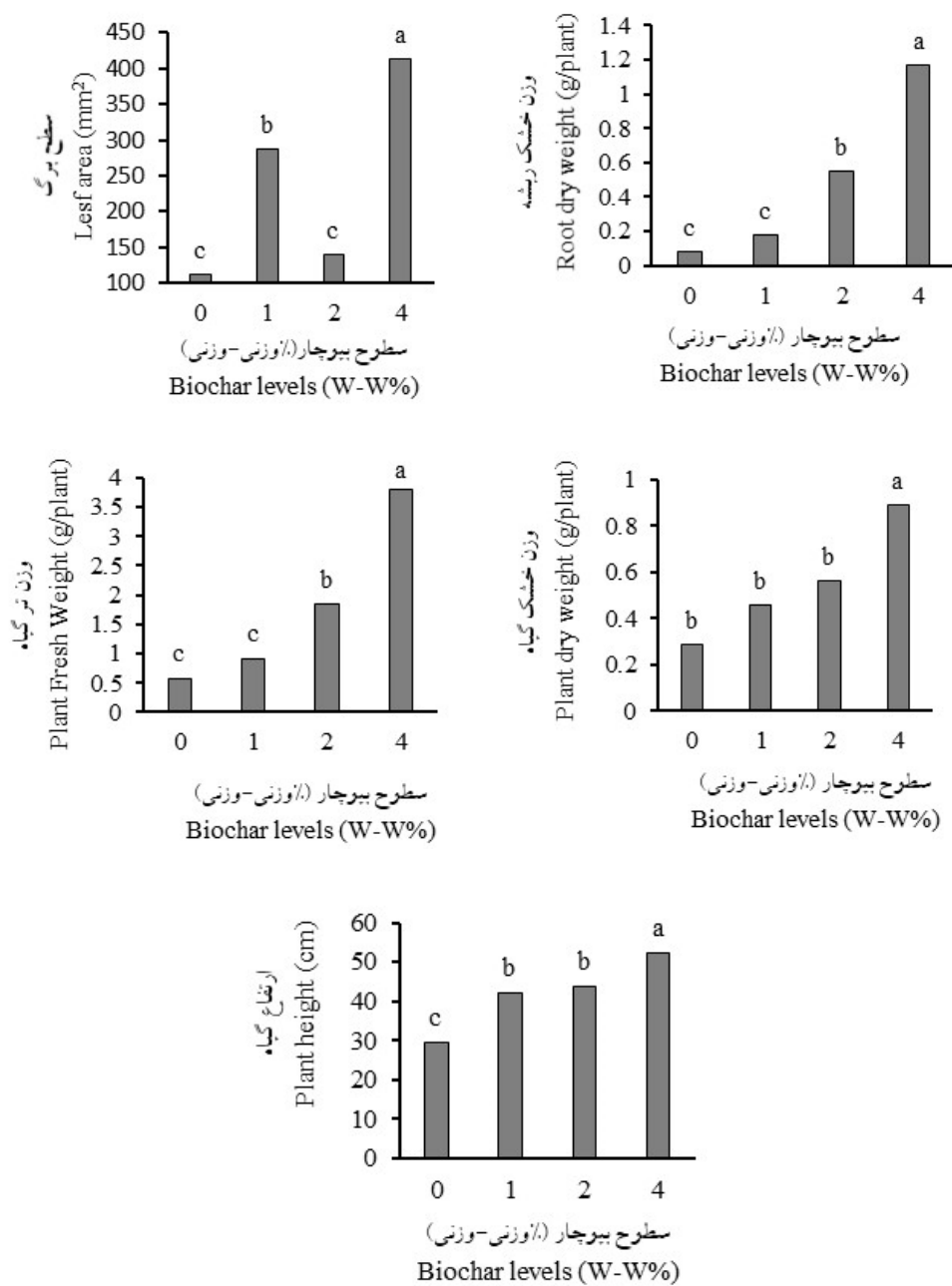
وزن خشک ریشه: نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح ۵ درصد نشان داد که بیشترین وزن ریشه خشک (۱/۱۷ گرم به ازای هر بوته) مربوط به تیمار ۴ درصد بود. نتایج بیانگر آن است که تیمارهای

همکاران (۲۰۱۵) و گبرمدهین و همکاران (۲۰۱۵) عدم تفاوت معنی‌دار بیوچار را به ترتیب بر ارتفاع ساقه گیاه یام و گندم را گزارش کردند (۶ و ۱۶). بین سطوح ۱ و ۲ درصد بیوچار تفاوت معنی‌داری در ارتباط با ارتفاع گیاه وجود نداشت (شکل ۱).

در سال‌های اخیر برخی مطالعات نشان داده است که کاربرد بیوچار به‌عنوان یک اصلاح‌کننده در خاک‌هایی که محتوای عناصر غذایی آن‌ها پایین است، می‌تواند باعث تحریک رشد گیاه و دستیابی به عملکرد مناسب شود (۲ و ۵). اضافه کردن بیوچار در این گونه خاک‌ها، باعث افزایش فتوسنتز، رشد گیاه (۲۹) و بیومس گیاهی (۲۱) شده است. مشابه با نتایج این پژوهش زینال و همکاران (۶۵) بیان کردند که وزن تر و خشک ساقه، ریشه و سطح برگ با اضافه کردن بیوچار افزایش معنی‌دار داشت. افزایش سطح برگ می‌تواند موجب افزایش سطح فعال فتوسنتزی شود (۱۴). حیدر و همکاران (۲۲) نیز گزارش کردند که با کاربرد بیوچار پارامترهای رشدی و عملکردی ذرت افزایش یافت. آن‌ها بیان داشتند که کاربرد بیوچار باعث افزایش سرعت انتقال الکترون در فتوسیستم II و در نتیجه تحریک فتوسنتز شده است. بهبود شاخص‌های رشدی گیاه با کاربرد انواع بیوچار در مطالعات زیادی نشان داده شده است. افزودن مستقیم عناصر غذایی به خاک، افزایش دسترسی و حفظ عناصر غذایی از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، بهبود خصوصیات فیزیکی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و تأثیرات مثبت بر میکروارگانیسم خاک از جمله دلایل تأثیر مثبت بیوچار ذکر شده است (۱۸ و ۳۲).

وزن گیاه خشک نسبت به شاهد (۲۹/۰ گرم) باعث شود (شکل ۱). گامارلداولا (۲۰۱۷)، تانور و همکاران (۲۰۱۹) و رحیمی و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دادند که کاربرد بیوچار باعث افزایش وزن گیاه تر و خشک نسبت به شاهد شد (۱۵، ۴۸ و ۵۹). در پژوهش جلالی‌پور و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیوچار باعث بهبود رشد گیاه شده و بیش‌ترین وزن گیاه خشک در تیمار ۱۵ گرم بر کیلوگرم بیوچار به‌دست آمد (۲۵). که این می‌تواند به دلیل قابلیت بیوچار در افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش تخلخل خاک، جذب و حفظ مواد مغذی و ایجاد زیستگاهی مطلوب برای میکروارگانیسم‌های مفید در خاک باشد (۳۲). هم‌چنین میا و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که با کاربرد 10 t ha^{-1} بیوچار، تثبیت بیولوژیک نیتروژن بیش‌ترین افزایش را داشت و در نتیجه زیست‌توده تولیدی نیز بیش‌ترین افزایش را نشان داد (۳۹). در حالی که در پژوهش رجیبی و همکاران (۲۰۱۵)، کاربرد سطوح مختلف بیوچار تأثیر معنی‌داری در وزن خشک اندام هوایی گیاه اسفناج نسبت شاهد نداشت (۵۰).

ارتفاع گیاه: نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح ۵ درصد نشان داد که استفاده از بیوچار تأثیر معنی‌داری در افزایش ارتفاع ساقه داشت، به این ترتیب که تیمارهای ۱ و ۲ و ۴ درصد، ارتفاع گیاه را نسبت به شاهد افزایش دادند به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع گیاه (۲۵/۵۲ و ۲۹/۵ سانتی‌متر) به ترتیب مربوط به تیمارهای ۴ درصد و شاهد بود. این نتایج با یافته‌های کارتر و همکاران (۲۰۱۳)، رجیبی و همکاران (۲۰۱۵) و تانور و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد (۲۵، ۵۰ و ۵۹) در حالی که آکوم و



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمار بیوجار بر روی صفات مورفولوژیک اندازه‌گیری شده در گیاه گلرنگ به روش دانکن. حروف لاتین مشترک بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

Figure 1. Comparison of the mean effect of biochar treatment on morphological traits measured in safflower by Duncan method. The same latin letters indicate no significant difference at the 5% level.

صفات فیزیولوژیک

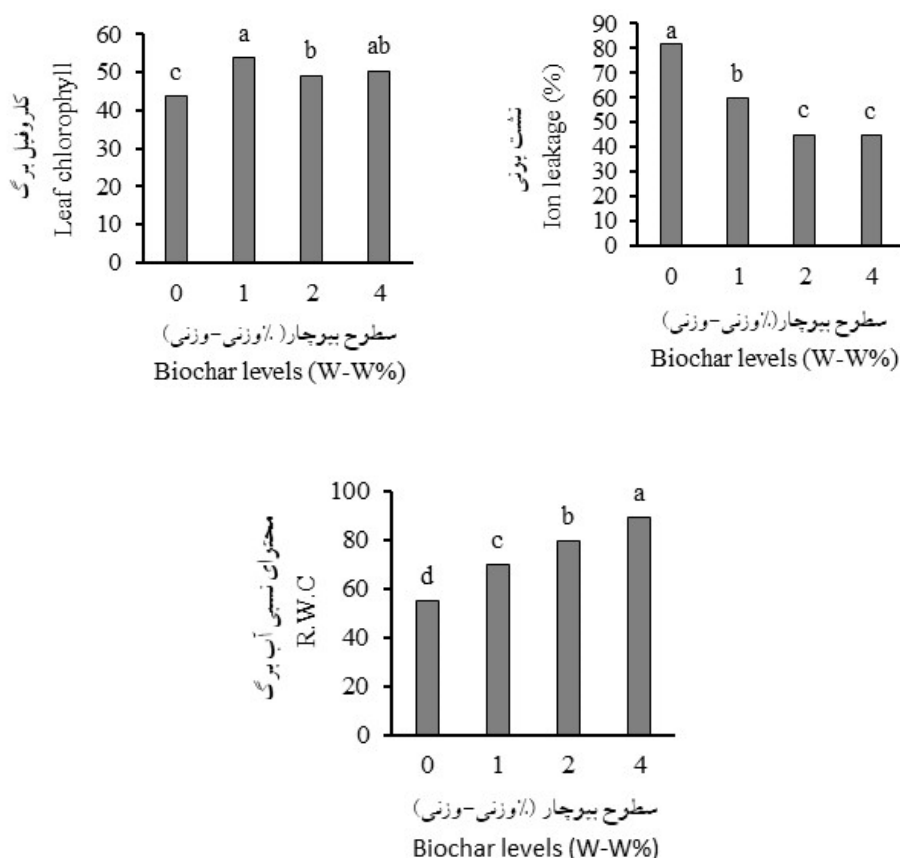
شاخص کلروفیل برگ: نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح ۵ درصد نشان داد که کاربرد بیوچار سبب افزایش معنی دار شاخص کلروفیل برگ نسبت به شاهد شد. بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل برگ (۵۳/۸ و ۴۳/۸۲) به ترتیب مربوط به تیمارهای ۱ درصد و شاهد بود. بین سطوح ۱ و ۴ درصد و همچنین ۲ و ۴ درصد بیوچار تفاوت معنی داری در ارتباط با مقدار کلروفیل برگ وجود نداشت (شکل ۲). در پژوهش صورت گرفته توسط گودرزیان (۲۰۱۷) و رجیبی و همکاران (۲۰۱۵) نیز کاربرد بیوچار باعث افزایش کلروفیل برگ شد (۱۹ و ۵۰). بین محتوای نیتروژن و شاخص سبزینگی همبستگی مثبت وجود دارد و از آنجا که اضافه کردن بیوچار به خاک باعث اضافه شدن نیتروژن به خاک و در نتیجه افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه شده، از این طریق سبزینگی نیز افزایش می یابد (۵۶).

این در حالی است که زینال و همکاران (۶۵) گزارش کردند که با کاربرد یک و نیم درصد بیوچار هیچ تغییری در مقدار SPAD که بیانگر محتوای کلروفیل است نسبت به شاهد مشاهده نشد.

درصد نشت یونی: نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح ۵ درصد نشان داد که با افزایش بیوچار، درصد نشت یونی کاهش یافت. بیشترین درصد نشت یونی (۸۱/۷۵٪) مربوط به تیمار شاهد بود. تیمارهای ۱، ۲ و ۴، درصد نشت یونی را نسب به شاهد به طور معنی دار کاهش دادند که کمترین میزان کاهش (۶۰٪) مربوط به تیمار ۱ درصد بود. با این وجود کاربرد ۲ و ۴ درصد بیوچار در خاک

تفاوتی در این پارامتر ایجاد نکرد (شکل ۲). این نتایج با پژوهش گودرزیان (۲۰۱۷) که کاربرد بیوچار باعث افزایش پایداری غشا و در نتیجه کاهش نشت یونی شد مطابقت دارد (۱۹). همچنین در یک پژوهش چهار ساله بر روی گیاه ذرت توسط ماجور و همکاران (۲۰۱۰)، مشخص شد بیوچار می تواند میزان آسیب دیدگی غشاء سلولی را کاهش دهد و قابلیت هدایت الکتریکی را کم کند و میزان پایداری گیاه را در نواحی خشک افزایش دهد (۳۶). نتایج بیانگر آن است که بیوچار از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و حاصلخیزی خاک، توسعه ریشه و قدرت نگهداشت مواد غذایی توسط گیاه می تواند باعث افزایش پایداری غشاء سلولی و مقاومت گیاه شود (۴۱).

محتوای نسبی آب برگ: نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح ۵ درصد نشان داد که با افزایش سطوح بیوچار، محتوای نسبی آب برگ نسبت به شاهد افزایش یافت (شکل ۲). این نتایج با یافته های گامارلداولا و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد (۱۵). به نظر می رسد بیوچار با جذب و ذخیره سازی آب در خاک، باعث بهبود محتوای نسبی آب در گیاه می شود (۱۹ و ۴۷). افزایش ظرفیت نگهداری آب به دلیل قابلیت جذب بالا و ساختار متخلخل بیوچار در خاک در مطالعات متعددی گزارش شده است (۴، ۷ و ۴۵). این بدان معنی است که خاک های اصلاح شده با بیوچار توانایی بالاتری در نگهداری آب داشته و در طول دوره رشد گیاه وضعیت رطوبتی مناسب تری برای گیاه فراهم می آورند.



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر بیوچار روی صفات فیزیولوژیک اندازه‌گیری شده در گیاه گلرنگ به روش دانکن. حروف لاتین مشترک بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

Figure 2. Comparison of mean of biochar effect on physiological traits measured in safflower by Duncan method. The same latin letters indicate no significant difference at the 5% level.

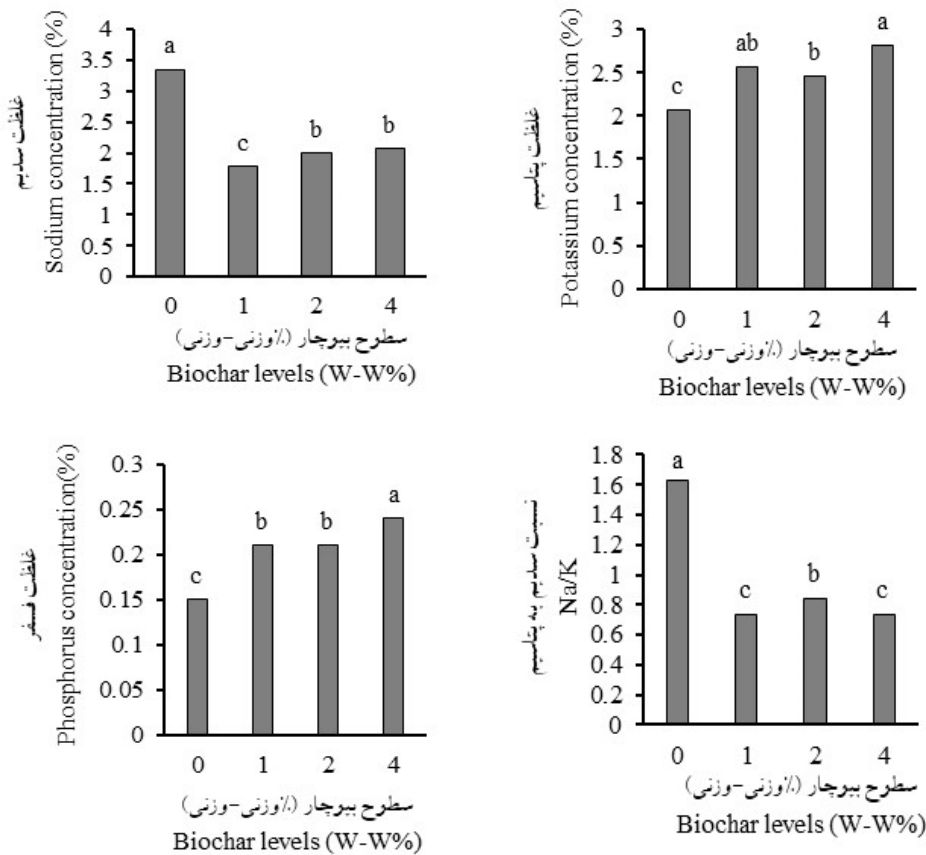
افزایش غلظت سدیم در اندام هوایی گیاه شد (۱، ۱۲ و ۳۷). این تناقض احتمالاً به دلیل تفاوت در محتوای سدیم بیوچار و خاک مورد استفاده در این پژوهش با پژوهش‌های مذکور بوده است. نتایج بیانگر آن است که با افزایش بیوچار غلظت پتاسیم در اندام هوایی گیاه به ترتیب ۵۱، ۴۰ و ۷۵ درصد نسبت به شاهد (۲/۰۶٪) افزایش یافت. بیشترین غلظت پتاسیم (۲/۸۱٪) مربوط به تیمار ۴ درصد بود. بین تیمارهای ۱ و ۲ درصد و همچنین تیمارهای ۱ و ۴ درصد بیوچار در خاک تفاوتی در این پارامتر ایجاد نکرد. (شکل ۳). در ارتباط با عنصر فسفر، بیشترین و کمترین غلظت فسفر (۰/۲۴٪ و ۰/۱۵٪) به ترتیب

عناصر: نتایج مقایسه میانگین به روش دانکن در سطح ۵ درصد نشان داد که کاربرد بیوچار باعث کاهش معنی دار سدیم در اندام هوایی گیاه شد. به این ترتیب که بیشترین و کمترین غلظت سدیم (۳/۳۵٪ و ۱/۷۸٪) به ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد و ۱ درصد بود. تیمارهای ۲ و ۴ درصد، غلظت سدیم را در مقایسه با تیمار مصرف ۱ درصد بیوچار افزایش دادند. بین تیمارهای ۲ و ۴ درصد بیوچار در خاک تفاوتی از نظر غلظت سدیم برگ گیاه مشاهده نشد (شکل ۳). در حالی که در پژوهش منصوری پور و همکاران (۲۰۱۵)، آگنهو و همکاران (۲۰۱۵) و همچنین گودرزیان (۲۰۱۷) کاربرد بیوچار باعث

گیاه افزایش یابد. بنابراین گیاه قادر است با بهبود فراهمی عناصر غذایی بیومس خود را افزایش دهد. در حالی که در گیاه شاهد که با بیوچار تیمار نشده به دلیل پایین تر بودن محتوای عناصر غذایی، گیاه بیش تر به توسعه ریشه پرداخته و تولید اندام هوایی کاهش می یابد. تولید بیومس در گیاهان تابع جذب عناصر از محیط رشد و انتقال آن ها به اندام هوایی می باشد (۵۳). در سیکل خشک شدن خاک، تغییر در سطح آب خاک می تواند بر جذب پتاسیم مؤثر باشد (۴۴). بیوچار می تواند به عنوان محلی برای انجام تبدلات یونی ایفای نقش کند و مقدار زیادی از کاتیون ها را باند کند (۱۰) و از این طریق منبعی برای نگهداری عناصری مانند پتاسیم باشد. به نظر می رسد با توجه به نتایج آنالیز بیوچار، بیوچار به کار رفته در خاک باعث اضافه شدن مقداری از عناصری غذایی مانند فسفر و پتاسیم به خاک شده است. علاوه بر این ممکن است بخشی از این عناصر از فاز آلی وارد فاز معدنی شده و در نتیجه برای گیاه قابل دسترس شده باشند. همچنین این احتمال وجود دارد که بیوچار به طور غیرمستقیم و از طریق ترکیباتی مانند اسیدهای آلی بر فراهمی عناصر تأثیر گذاشته باشد. برآیند کلی این مکانیسم ها در نهایت منجر به افزایش غلظت برخی عناصر و شاخص ها مانند محتوای کلروفیل شد (۲۳). این در حالی است که برخی از مطالعات نشان داده اند که با کاربرد بیوچار فسفر گیاه کاهش یافته است. افزایش pH خاک با کاربرد بیوچار و در نتیجه کاهش حلالیت فسفر و همچنین تثبیت موقت فسفر از دلایل این امر گزارش شده است (۳۴).

مربوط به تیمارهای ۴ درصد و شاهد بود. تیمارهای ۱، ۲ و ۴ درصد غلظت فسفر را به ترتیب ۶، ۶ و ۹ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. بین تیمارهای ۱ و ۲ درصد تفاوت معنی داری در این پارامتر ایجاد نکرد (شکل ۳). با توجه به کاهش سدیم و افزایش پتاسیم، در مجموع نسبت سدیم به پتاسیم کاهش یافت و باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه می شود. بیش ترین میزان نسبت سدیم به پتاسیم (۱/۶۳) مربوط به تیمار شاهد بود. بین تیمارهای ۱ و ۴ درصد تفاوت معنی داری در این پارامتر وجود نداشت و تأثیر آن ها نسبت به تیمار ۲ درصد کم تر بود (شکل ۳). آگنهو و همکاران (۲۰۱۵) و واکاری و همکاری (۲۰۱۱) نیز بیان کردند بیوچار باعث افزایش جذب عناصر مغذی نسبت به شاهد شد (۱ و ۶۲). بیوچار به دلیل داشتن سطوح تبدلی زیاد منجر به افزایش نگهداری عناصر غذایی خاک شده و کارایی استفاده از عناصر غذایی را افزایش می دهد. در پژوهش گودرزیان (۲۰۱۷)، بیش ترین درصد فسفر بذریه مربوط به تیمار ۲۰ تن در هکتار بیوچار بود و تیمارهای شاهد و ۱۰ تن در هکتار بیوچار در سطح پایین تری قرار گرفتند (۱۹). بیوچار باعث افزایش جذب عناصر غذایی و تعادل آن ها در گیاه شده و بدین ترتیب باعث افزایش جذب فسفر می شود (۸).

زینال و همکاران (۶۵) گزارش کردند که غلظت پتاسیم اندام هوایی در تیمار بیوچار بالاترین مقدار بود. اشمیت و همکاران (۵۳) نیز بیان کردند که بیوچار با افزایش محتوای عناصر در خاک، به گیاهان این امکان را می دهد که نسبت اندام هوایی به ریشه افزایش یابد و با این فعالیت سطح فعال فتوسنتزی



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر بیوچار روی غلظت عناصر سدیم، پتاسیم و فسفر و نسبت غلظت سدیم به پتاسیم در گیاه گلرنگ به روش دانکن. حروف لاتین مشترک بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح پنج درصد می باشد.

Figure 3. Comparison of mean of the biochar effect on the concentration of sodium, potassium and phosphorus and the ratio of sodium to potassium concentration in safflower by Duncan's method. The same latin letters indicate no significant difference at the 5% level.

ضروری برای گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم بهبود یافته و در نتیجه باعث بهبود شاخص های رشدی گیاه شده است. علاوه بر این احتمالاً افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک با کاربرد بیوچار، منجر به بهبود شاخص محتوای نسبی آب برگ شد. بنابراین با در دسترس بودن مقادیر فراوان ضایعات پسته و امکانات تهیه بیوچار، هم می توان از رها شدن بلااستفاده ضایعات در طبیعت و افزایش آفات و بیماری ها جلوگیری کرد و هم با توجه به وضعیت اقلیمی ایران و کمبود شدید مواد آلی، می توان استفاده از بیوچار را به عنوان یک ماده آلی پایدار در خاک توصیه کرد.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مصرف بیوچار باعث بهبود صفات مورفولوژیک سطح برگ، وزن ریشه خشک، وزن تر و خشک گیاه و ارتفاع گیاه شد. همچنین مصرف بیوچار صفات فیزیولوژیک مانند محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل را افزایش و درصد نشت یونی را کاهش داد. غلظت عناصر پتاسیم و فسفر با افزایش بیوچار، در اندام هوایی گیاه افزایش و غلظت سدیم و نسبت سدیم به پتاسیم کاهش یافت. هر چند شاخص های فیزیوشیمیایی خاک در پایان پژوهش اندازه گیری نشد اما با توجه به آنالیز بیوچار مورد استفاده در این پژوهش، به نظر می رسد که احتمالاً با کاربرد بیوچار در خاک، وضعیت عناصر

منابع

1. Agegnehu, G., Bass, A.M., Nelson, P.N., Muirhead, B., Wright, G., and Bird, M.I. 2015. Biochar and biochar-compost as soil amendments: effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 213: 72-85.
2. Ahmad, N. 2015. Soil water management systems for a drier Caribbean. *CARDI Review*, 16: 34-53.
3. Akom, M., Oti-Boateng, C., Otoo, E., and Dawoe, E. 2015. Effect of biochar and inorganic fertilizer in Yam (*Dioscorea rotundata* Poir) production in a forest agroecological zone. *Journal of Agricultural Science*; 7: 3. 211-222.
4. Artiola, J.F., Craig R., and Robert, F. 2012. Effects of a biochar-amended alkaline soil on the growth of Romaine lettuce and bermudagrass. *Soil Science* 177: 561-570.
5. Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T., and Horie, T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111: 81-84.
6. Balali, M., and Malakouti, M. 1998. Study of exchangeable K changes in agricultural soils of Iran. *Soil and Water*, 12: 3. 59-70.
7. 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. *Gcb Bioenergy*, 5: 2. 132-143.
8. Brussaard, L., and Ferrera-Cerrato, R. 1997. *Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems*. CRC Press. 176p.
9. Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T. and Haefele, S. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*, 3: 2. 404-418.
10. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Research*, 45: 629-634.
11. De Jesus, W.C., Do Vale, F.X.R., Coelho, R.R., and Costa, L.C. 2001. Comparison of two methods for estimating leaf area index on common bean. *Agronomy Journal* 93: 989-991.
12. Domene, X., Mattana, S., Hanley, K., Enders, A., and Lehmann, J. 2014. Medium-term effects of corn biochar addition on soil biota activities and functions in a temperate soil cropped to corn. *Soil Biology and Biochemistry*, 72: 152-162.
13. Eghball, B., Ginting, D., and Gilley, J. E. 2004. Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agronomy Journal*, 96: 442-447.
14. Enrique, G., Olmo, M., Poorter, H., Ubera, J.L., and Villar, R. 2016. Leaf mass per area (LMA) and its relationship with leaf structure and anatomy in 34 Mediterranean woody species along a water availability gradient. *Plos one*, 2: 1-18.
15. Gamareldawla, H.D., Agbnaa, B., She Donglia, Liu Zhipenge, Nazar A. Elshikh, shao Guanghenga, Luis Carlos Timm. 2017. Effect of irrigation and biochar on the growth, yeild and quality of tomato. 245: 667-675.
16. Gebremedhin, G.H., Bereket, H., Daniel, B., and Tesfaye, B. 2015. Effect of biochar on yield and yield components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 6: 2. 2-5.
17. Gengmao, Z., Yu, H., Xing, S., Shihui, L., Quanmei, S., and Changhai, W. 2015. Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity in safflower. *Industrial Crops and Products*, 64: 175-181.
18. Glaser, B., Lehmann, J., and Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal- a review. *Biology and Fertility of Soils* 35: 219-230.

19. Goodarzian, Sh. 2017. Effect of biochar and superabsorbent on safflower plant growth under drought stress. M.Sc. thesis. Shahroud University of Technology. (In Persian)
20. Guiley, A., Mousavi, Q.A.A., and 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: 2. 243-259.
21. Gul, B., Abideen, Z., Ansari, R., and Khan, M.A. 2013. Halophytic biofuels revisited. Biofuels, 4: 575-577.
22. Haider, G., Koyro, H., Azam, F., Steffens, D., Müller, C., and Kammann, C. 2015. Biochar but not humic acid product amendment affected maize yields via improving plant-soil moisture relations. Plant and Soil, 395: 141-157.
23. He, Z., He, C., Zhang, Z., Zou, Z., and Wang, H. 2007. Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress. Colloids Surf B: Biointerfaces, 59: 128-33.
24. 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: 3. 251-261.
25. Jalalipour, S.A., Gholam Ali Zadeh Ahangar, A., Laxian, A., and Ahmadzadeh, Gh.M. 2013. The effect of biofertilizer application on some quantitative characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in cadmium-contaminated soils. Second National Conference on Modern Issues in Agriculture, Saveh, Islamic Azad University, Saveh Branch. (In Persian)
26. Johnson, A.E., and Goulding, K.W. 1990. The use of plant and soil analysis to predict the potassium supplying capacity of soil. In: Development of K-Fertilizer Recommendation, 22nd Colloquium of International Potassium Institute. pp. 153-180.
27. Klages, K.H.W. 1942. Ecological crop geography. Macmillan. New York. 615p.
28. 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: 17. 3206-3210.
29. Koirala U., and Jha S. 2013. Macrophytes of the lowland wetlands in Morang district. Nepalese Journal of Biosciences, 1: 131-139.
30. Lehmann, J., and Joseph, S. 2009. Biochar for Environmental Management: Science and Technology; Earthscan: Sterling, VA, USA,. ISBN 978-1-84407-65-1.
31. Lehmann, J. 2007. Bio-Energy in the Black. Frontiers in Ecology and the Environment. 5: 7. 381-38.
32. Lehmann, J., Gaunt, J., and Rondon, M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 11: 2. 403-427.
33. Lutts, S.J., Kinet, M., and Bouharmont, J. 1995. Canges in plant response to NaCl during development of rice varieties differing in salinity resistance. Experimental Botany. 46: 1843-1852.
34. Ma, L., and Xu, R.K. 2010. Effects of regulation of pH and application of organic material adsorption and desorption of phosphorus in three types of acid soils, Journal of Ecology and Rural Environment, 26: 596-599.
35. Ma, Q., Ruan, Y.Y., Xu, H., Shi, X.M., Wang, Z.X., and Hu, Y.L. 2015. Safflower yellow reduces lipid peroxidation, neuropathology, tau phosphorylation and ameliorates amyloid β -induced impairment of learning and memory in rats. Biomedicine & Pharmacotherapy, 76: 153-164.
36. Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., and Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and soil, 333: 1-2. 117-128.

37. Mansouri Pour, Y., Qasemi, Y., and Ronaghi, A.S.A. 2015. Effect of three biochar on chemical composition of alfalfa in a calcareous soil contaminated with crude oil, Second Iranian Scientific Congress on Development and Promotion of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment, Tehran, Association for Development and Promotion of Fundamental Sciences and Technologies. (In Persian)
38. Mesa, A.C., and Spokas, K.A. 2011. Impacts of biochar (black carbon) additions on the sorption and efficacy of herbicides. *Herbicides and Environment*, 13: 315-340
39. Mia, S., Van Groenigen, J.W., Van de Voorde, T.F.J., Oram, N.J., Bezemer, T.M., Mommer, L., and Jeffery, S. 2014. Biochar application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 191: 83-91.
40. Mihaela, P., Josef, R., Monica, N., and Rudolf, Z. 2013. Perspectives of safflower oil as biodiesel source for South Eastern Europe (comparative study: Safflower, soybean and rapeseed). *Fuel*, 111: 114-119.
41. Mishra, P.C., and Patel, R.K. 2009. Use of agricultural waste for the removal of nitrate-nitrogen from aqueous medium. *Journal of Environmental Management*, 90: 1. 519-522.
42. Mundel, H.H., and Bergman, J.W. 2009. Safflower. P 423-448. In: J. Vollmann, and I. Rajcan (eds.), *Handbook of Plant Breeding 4 Oil Crops*, Springer, and New York.
43. Nevo, E., and Chen, G. 2010. Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. *Plant, Cell & Environment*, 33: 4. 670-685. (In Persian)
44. Nguyen, B.T., and Marschner, P. 2005. Effect of drying and rewetting on phosphorus transformations in red brown soils with different soil organic matter content. *Soil Biology and Biochemistry*. 37: 1573-1576.
45. Novak, J.M., Lima, I., Xing, B.S., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., Ahmedna, M., Rehrh, D., Watts, D.W., Busscher, W.J., and Schomberg, H. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*. 3: 195-206.
46. Pourmansour, S., and Rasaghi, F. 2016. The effect of different levels of biochar and deficit irrigation on water use efficiency in faba bean. Second National Congress of Irrigation Irrigation, Isfahan University of Technology. (In Persian)
47. Rabiei, H., Davari, M.R., Moghiminejad, S., and Armaghan, F. 2013. Biochar (semi-combustible biomass), soil modifier in sustainable agriculture. National Conference on Agricultural Science and Technology, 15: 42-34. (In Persian)
48. Rahimi, A., Abbaspour, A., Asghari, H.R., and Ghorbani, H. 2016. Adsorption kinetics of some pollutants by two types of rice bran and leaf biochar. M.Sc. thesis. Agriculture College. Shahroud University of Technology.
49. Rai, S.N., and Gaur, A.C. 1988. Characterization of *Azotobacter* spp. and effect of *Azotobacter* and *Azospirillum* as inoculant on the yield and N-uptake of wheat crop. *Plant and Soil*, 109: 1. 131-134.
50. Rajabi, H., Safarzadeh, S., Karimian, N.A., and Ronaghi, A.M. 2015. Effect of biochar and fertilizer on some physiological characteristics of spinach. International Conference on Sustainable Development, Strategies and Challenges Focused on Natural Resources, Environment and Tourism, pp. 24-26.
51. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., and Holaday, A.S. 1990. Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30: 1. 105-111.
52. Rousta, M.J., Golchi, A., Siadat, H., and Saleh Rastin, N. 2002. Effect of organic matter and mineral compounds on some chemical properties and biological

- activity of a sodic soil. *Soil and Water Sciences*, 16: 1. 34-45. (In Persian)
53. Schmidt, H.P., Kammann, C., Niggli, C., Evangelou, M.W., Mackie, K.A., and Abiven, S. 2014. Biochar and biochar-compost as soil amendments to a vineyard soil: Influences on plant growth, nutrient uptake, plant health and grape quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 191: 117-123.
54. Sinclair, T.R., Gilbert, R.A., Perdomo, R.E., Shine JR, J.M., Powell, G., and Montes, G. 2004. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. *Field Crops Research*, 88: 171-178.
55. Singla, A., Dubey, S.K., Singh, A., and Inubushi, K. 2014. Effect of biogas digested slurry-based biochar on methane flux and methanogenic archaeal diversity in paddy soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 197: 278-287.
56. Smeal, D., and Zhang, H. 1994. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25: 9-10. 1495-1503.
57. Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E., and Bol, R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, 105: 47-82.
58. 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.
59. Tanure, M.M.C., da Costa, L.M., Huiz, H.A., Fernandes, R.B.A., Cecon, P.R., Junior, J.D.P., and da Luz, J.M.R. 2019. Soil water retention, physiological characteristics, and growth of maize plants in response to biochar application to soil. *Soil and Tillage Research*, 192: 164-173.
60. Tate, R.L. 2000. *Soil Microbiology*. John Wiley and Sons. New York, USA. 536p.
61. Tso, P., Caldwell, J., Lee, D., Boivin, G.P., and DeMichele, S.J. 2012. Comparison of growth, serum biochemistries and n-6 fatty acid metabolism in rats fed diets supplemented with high-gamma-linolenic acid safflower oil or borage oil for 90 days. *Food and Chemical Toxicology*, 50: 6. 1911-1919.
62. Vaccari, F.P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., and Miglietta, F. 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy*, 34: 4. 231-238.
63. Watanabe, F.S., and Olsen, S.R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society of America, Proceedings*, 29: 677-678.
64. Zhang, L., and Sun, X. 2014. Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. *Bioresource Technology*, 171: 274-284.
65. Zhang, X., Guo, J., Vogt, R.D., Mulder, J., Wang, Y., Qian, C., Wang, J., and Zhang, X. 2020. Soil acidification as an additional driver to organic carbon accumulation in major Chinese croplands. *Geoderma*, 366: 114-234.



Effect of wood residues of pistachio biochar on Growth Characteristics of Safflower

Z. Arab Bafrani¹, *M.J. Ghaneib-Bafghi² and M. Shirmardi³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Nature Engineering, Ardakan University, ²Assistant Prof., Dept. of Nature Engineering, Ardakan University, ³Assistant Prof., Dept. of Horticultural Sciences, Ardakan University

Received: 03.16.2020; Accepted: 06.16.2020

Abstract

Background and Objectives: Proper management and use of agricultural waste is one of the important strategies for sustainable development of agriculture in Iran. Given that most of the country is covered by arid and semi-arid lands, rapid decomposition of organic matter and its deficiency in soil is one of the problems of agriculture and natural resources, preventing the waste from being burnt and making optimum use of it can both compensate for the lack of soil organic matter and reduce environmental pollution. Considering the high durability of biochar in soil, a useful strategy for organic waste management is use of biochar on agricultural land to provide organic matter for plant growth and as a modifier to improve soil properties. Due to the expansion of pistachio cultivation in central Iran, pruning of its branches results in considerable amounts of waste annually, which is usually burned to prevent pest spread. The aim of this study was to investigate the effect of pistachio waste on growth characteristics of safflower.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of biochar on growth characteristics of safflower, an experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. Biochar treatment prepared from pistachio wood at 500 °C under low oxygen conditions was studied at four levels of 0, 1, 2 and 4% by weight. At the end of the growth period, plants were collected and leaf area, leaf length and width, number of yellow, green leaves and total, internodes distance, fresh and dry weight of shoot and root, stem height, germination time from planting, relative leaf water content, Ion leakage percentage, leaf chlorophyll index, sodium, potassium and phosphorus concentration and sodium to potassium concentration ratio were measured. Data were analyzed in SAS software and mean comparisons were made using Duncan test at 5% level.

Results: The results showed that the effect of biochar treatment on leaf area, fresh and dry weight of plants, root dry weight, plant height, leaf chlorophyll, ion leakage percentage, leaf relative water content, sodium, phosphorus and potassium concentration and sodium to potassium concentration ratio were significant. However, the effect of this treatment on leaf length and width indices, number of green and yellow leaves and their total, root fresh weight, internodes distance and germination time was not significant. Mean comparison showed that the highest leaf area (413.25 mm²), root dry weight (1.17 g), fresh weight (3.79 g) and plant dry weight (0.89 g), plant height (0.25 g). 52 cm), relative leaf water content (89.2%), potassium concentration (2.81%) and phosphorus (0.24%) were obtained at the highest biochar level (4% by weight). Also, the highest leaf chlorophyll index content (53.8%) was observed in one percent biochemical treatment and the highest ion leakage (81.75%), sodium concentration (3.35%) and sodium to potassium ratio (1.63) were observed in control treatment.

* Corresponding Author; Email: mjghaneib@ardakan.ac.ir

Conclusion: This study showed that the use of biochar can improve the morphophysiological properties and concentration of essential elements such as phosphorus and potassium in the aerial parts of safflower and in this regard, the amount of biochar consumption is important. According to Biochar analysis in terms of nutrients and carbon content, it seems that Biochar application may improve the nutritional status of these elements in soil and also increase Soil moisture storage capacity due to high content of Biochar organic carbon, it Provide a more suitable environment for plant growth and thereby improve growth indicators. Therefore, if the pistachio and other agricultural products waste are used properly as biochar, compensates a part of the lack of organic matter in the soils of dry areas and environmental pollution can be prevented.

Keywords: Biochar, Morphological traits, Physiological traits, Safflower

Arc