دوماهنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران
جلد ۳۳، شماره ۵، صفحه ۸۵۲-۸۳۷ (۱۳۹۶)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2017.114596.2075

تأثیر کاربرد بیوچار بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط کم آبیاری

فاطمه عباس‌پور[۱]، حمیدرضا اصغری[۲*]، پرویز رضوانی مقدم[۳]، حمید عباس‌دخت[۴]، جواد شباهنگ[۵] و عادل بیگ بابایی[۶]

۱- دانشجوی دکترا، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، پست الکترونیک: hamidasghari@gmail.com

۳- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۵- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۶- استادیار، گروه شیمی فیزیک، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان رضوی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: تیر ۱۳۹۶ تاریخ اصلاح نهایی: شهریور ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۶

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر بیوچار بر صفات کمّی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط کم آبیاری، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح ۱۰۰٪ (I_1)، ۷۰٪ (I_2) و ۴۰٪ (I_3) نیاز آبی و کرت‌های فرعی شامل فاکتور بیوچار در سه سطح شامل بدون بیوچار (B_1)، ۱۰ تن در هکتار بیوچار (B_2) و ۲۰ تن در هکتار بیوچار (B_3)؛ و کود شیمیایی در دو سطح شامل بدون مصرف کود (F_1) و مصرف کود (F_2) بود. نتایج نشان داد که مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار در مقایسه با مصرف ۲۰ تن در هکتار، تعداد دانه در بوته و وزن دانه در بوته را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. کاربرد کود شیمیایی بر کلیه صفات سیاه‌دانه بجز وزن هزاردانه معنی‌دار بود. با وجود معنی‌دار نبودن اثر ساده بیوچار بر عملکرد دانه و بیولوژیک، اثر متقابل آن با کود شیمیایی و نیاز آبی معنی‌دار شد. در استفاده همزمان ۱۰ تن در هکتار بیوچار به‌همراه کود شیمیایی و آبیاری براساس ۷۰٪ نیاز آبی ($I_2B_2F_2$)، بیشترین میزان افزایش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک (به‌ترتیب با ۱۳۵۶ کیلوگرم در هکتار و ۵۷۷۶ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد. به این ترتیب کاربرد مقدار متعادلی از بیوچار به‌همراه کود شیمیایی به‌دلیل بهبود عناصر غذایی خاک و کاهش آبشویی نیتروژن، علاوه‌بر تأثیر بهینه بر عملکرد، میزان آب مصرفی در تولید سیاه‌دانه را نیز کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: آبشویی، عملکرد دانه، کود شیمیایی، نیاز آبی.

مقدمه

سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa* L. یک گیاه دارویی دو لپه، علفی و یک‌ساله متعلق به خانواده آلاله می‌باشد که به دو صورت وحشی و زراعی در ایران دیده می‌شود. سیاه‌دانه از دیرباز به‌عنوان ضد التهاب، پایین آورنده تب، ضد سرطان، ضد اسپاسم و محرک تولید شیر شناخته شده‌است. دانه سیاه‌دانه از لحاظ اسیدهای چرب لینولئیک (Linoleic acid)، اولئیک (Oleic acid) و

پالمیتیک (Palmitic acid) غنی است. موادی مانند تیمول (Thymol)، تیموکینون (Thymoquinone) و دی‌تیموکینون (Dithymoquinone) از روغن قرار سیاه‌دانه بدست می‌آید. تیموکینون ازجمله ترکیب‌هایی است که بخش عمده‌ای از اثرات دارویی سیاه دانه و ازجمله خواص ضد سرطانی آن را موجب می شود (Akhondian *et al.*, 2007؛ Boskabady *et al.*, 2007). گیاه سیاه دانه از دیرباز در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران کشت شده است. حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه با توجه به اصول کشاورزی اکولوژیک نقش مهمی در بهبود عملکرد کمّی و کیفی این گیاه دارویی دارد. یک تکنولوژی معمول برای افزایش حاصلخیزی خاک، مدیریت تلفیقی گیاهان است که شامل استفاده از انواع کودهای دامی یا آلی در خاک است. استفاده از مواد آلی به دلیل تجزیه سریع باید در مقادیر بالا و تکرار سالیانه باشد که علاوه‌بر هزینه های بالا، تجزیه سریع و معدنی شدن موادآلی، تأثیر معنی‌داری نیز بر گرمایش جهانی دارد (Sika, 2012).

از طرفی کمبود آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک یک فاکتور محدودکننده مهم برای کشاورزی است. در آینده‌ای نه چندان دور گرمایش جهانی و وقوع خشکسالی‌ها باعث تشدید کمبود آب خواهد شد. در این راستا شناخت روش‌هایی برای مقابله با کم آبی برای تولید محصول با کیفیت و کمّیت بالا و حفاظت از منابع آبی ضروریست. البته تخلیه خاک از عناصرغذایی و مواد آلی به‌دلیل حذف بقایا و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی نیز اثرهای مخربی را بر ظرفیت نگهداری آب خاک و توانایی گیاهان برای سازگاری با تغییرات آب و هوایی داشته است.

اگرچه راهکارهای متعددی ازجمله استفاده از روش‌های مدیریتی مانند تناوب، دوره‌های آیش و گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن برای مقابله با این مشکلات پیشنهاد شده است، ولی هیچ راه‌حل واحدی به‌تنهایی کارساز نبوده است (de Melo Carvalho *et al.*, 2014).

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه امکان استفاده از مواد آلی پایدار که به بیوچار معروف است، انجام شده است. بیوچار حاوی مقادیر بالایی از کربن بیولوژیک به شکل پایدار است. این ماده مزایای کودهای آلی را دارا بوده و در جهت اصلاح خاک هایی با عناصر غذایی کم بکار می‌رود. بیوچار یک ماده زیستی پیرولیز شده (گرماکافت) است. پیرولیز فرایند سوختن مواد آلی در حضور اکسیژن کم یا شرایط بدون اکسیژن است که منجر به تشکیل زغال غنی از کربن می‌شود که بسیار مقاوم به تجزیه است (Fiaz *et al.*, 2014؛ Howard, 2011). بیوچار می تواند برای قرن‌های متمادی در خاک باقی بماند و قابلیت بالایی برای بهبود تولیدات کشاورزی داشته باشد. به‌دلیل توانایی بالای این ماده در جذب و نگهداری عناصر غذایی و کودهای شیمیایی حتی نگهداری عناصری مانند فسفر و نیتروژن و جلوگیری از آبشویی آنها باعث افزایش رشد گیاهان می‌شود (Berek *et al.*, 2011). بیوچار بسیار پایدارتر از مواد آلی دیگری است که در خاک مصرف می شود. به دلیل دوام بسیار بالای آن در خاک (بیش از ۲۵۰۰ سال) تمام مزایای مربوط به کودهای آلی از قبیل نگهداری عناصر، حفظ آب و حاصلخیزی خاک را به تنهایی دارد. ازآنجایی‌که اساس کودهای شیمیایی، سوختهای فسیلی می باشد، بیوچار باعث سودمندی‌های غیرمستقیم در تغییرات آب و هوایی از طریق کاهش مصرف کودها می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد مصرف بیوچار همراه با کودهای معدنی باعث بهبود عملکرد از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی شود (Nigussie *et al.*, 2012؛ Fiaz *et al.*, 2014؛ Soderberg, 2013). مطالعات زیادی بر روی اثرات مثبت بیوچار بر روی محصولات زراعی و درختان انجام شده‌است. Laird و همکاران (۲۰۱۰) با کاربرد بیوچار حاصل از کودهای دامی کاهش چشمگیر در آبشویی عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، منیزیم و سیلیس را در خاک های زراعی مورد آزمایش مشاهده کردند. Gebremedhin و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تأثیر

بیوچار، کمپوست و کود شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) بیشترین تأثیر بیوچار را در کاربرد آن به همراه کود شیمیایی و کمپوست عنوان کردند. Chaudhry و همکاران (۲۰۱۶) نیز در آزمایش‌های خود به تأثیر بیشتر تیمارهای حاوی ترکیب کود شیمیایی و بیوچار نسبت به تیمارهای حاوی کود شیمیایی بدون کاربرد بیوچار اشاره کرده و دلیل این امر را جلوگیری از آبشویی عناصر غذایی در تیمارهای حاوی بیوچار عنوان کردند. در صورتی‌که تمام عناصر غذایی به‌مقدار کافی در خاک موجود بوده و خاک حاصلخیز باشد تفاوت کمی بین تیمارهای حاوی بیوچار و تیمارهای شاهد مشاهده شده‌است و تفاوت‌ها در خاک های تخریب شده و کم حاصلخیز بیشتر قابل مشاهده بوده‌است. در یک آزمایش وسیع در سطح شالیزارهای برنج (*Oryza sativa*) هیچ تأثیر مثبتی از بیوچار در خاک‌های حاصلخیز دیده نشد، در حالیکه در خاک های ضعیف ۱۶٪ تا ۳۵٪ افزایش در عملکرد دیده شد (Cornelissen *et al*., 2013). Uzoma و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که کاربرد ۱۰ تا ۲۰ تن در هکتار بیوچار در خاک‌های شنی سبب افزایش معنی‌دار در عملکرد ذرت شد. از این‌رو به نظر می‌رسد بیوچار با داشتن صفاتی مانند توانایی ویژه در جذب و نگهداری عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری آب بالا بتواند جایگزین کودهای شیمیایی در گیاهان شده و مقاومت گیاه به تنش‌های خشکی را افزایش دهد. در پژوهش انجام شده توسط Ibrahim و همکاران (۲۰۱۵) چهار سطح مختلف بیوچار با دو سطح نیاز آبیاری (آبیاری براساس ۸۰٪ نیاز آبی و آبیاری براساس ۱۰۰٪ نیاز آبی) بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنان نشان داد که تیمارهای حاوی بیوچار با آبیاری براساس ۸۰٪ نیاز آبی از عملکرد بالاتری نسبت به تیمارهای بدون بیوچار و آبیاری براساس ۱۰۰٪ نیاز آبی برخوردار بودند. آنان دلیل امر را افزایش ظرفیت نگهداری آب و مصرف آب کمتر و همچنین کاهش آبشویی عناصر غذایی در تیمارهای حاوی بیوچار عنوان کردند. البته تأثیر بیوچار در بهبود نفوذ آب در خاک و حفظ و نگهداری آب در خاک توسط محققان دیگری نیز گزارش شده‌است (Glaser *et al*., 2002 ؛Yu *et al*., 2013).

از آنجایی‌که نتایج مربوط به مطالعات بیوچار از تنوع بالایی برخوردار است، بنابراین بخشی از آن به دلیل مقادیر مختلف بیوچار، انواع مختلف آن، دماهای متفاوت تهیه آن و نوع خاک می‌باشد (Teat, 2014). همچنین تحقیقات در زمینه تأثیر بیوچار بر گیاهان دارویی و اثرات آن بر مواد مؤثره این گیاهان بسیار نادر است و با توجه به اهمیت گیاه سیاه‌دانه در صنایع داروسازی، غذایی، آرایشی و بهداشتی اطلاعاتی در زمینه اثر بیوچار بر این گیاه به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود ندارد. از این‌رو، این تحقیق بر روی گیاه سیاه‌دانه در اراضی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی مشهد انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۵- ۱۳۹۴ به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۱۸ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) اجرا شد. زمین مورد نظر در سال قبل از اجرای این آزمایش به‌صورت آیش بود. قبل از انجام آزمایش، از خاک این زمین نمونه‌برداری تصادفی انجام شد که نتایج آنالیز آن در جدول ۱ آمده است. تجزیه شیمیایی بیوچار نیز از طریق آزمایش مشخص شد (جدول ۲). کرت‌های اصلی شامل سطوح آبیاری در سه سطح شامل آبیاری براساس ۱۰۰٪ نیاز آبی (I_1)، آبیاری براساس ۷۰٪ نیاز آبی (I_2) و آبیاری براساس ۴۰٪ نیاز آبی (I_3) و کرت های فرعی شامل بیوچار در سه سطح شامل بدون بیوچار (B_1)، ۱۰ تن در هکتار بیوچار (B_2) و ۲۰ تن در هکتار بیوچار (B_3) و کود شیمیایی در دو

سطح شامل بدون مصرف کود (F_1) و مصرف کود شیمیایی (F_2) بود. میزان مصرف کود شیمیایی براساس آزمایش‌های خاک ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر (P_2O_5)، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K_2SO_4) و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (اوره) بود.

مراحل آماده‌سازی زمین در دی‌ماه سال ۱۳۹۴ انجام شد. ابعاد کرت‌های آزمایش ۳×۲ متر و فاصله بین کرت‌ها نیم متر و فاصله بلوک ها از یکدیگر یک متر بود. بیوچار از ضایعات چوب درخت گردو تهیه شد (Mukome *et al*., 2012). برای این منظور از کوره‌ای که فضای آن کاملاً بسته بود، استفاده شد تا اکسیژن وارد کوره نشود. دمای کوره بین ۴۰۰-۷۰۰ درجه سانتی‌گراد بود. بیوچار و کود شیمیایی فسفر قبل از کاشت با خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متری مخلوط شد. سیاه‌دانه در تاریخ ۱۳۹۵/۱/۱۹به صورت دستی در عمق ۲ سانتی‌متری کشت شد. هر کرت شامل ۸ ردیف به فاصله ۲۵ سانتی‌متر بود. گیاهچه‌های سیاه‌دانه در دو مرحله چهار و هشت برگی برای رسیدن به تراکم مورد نظر (۲۰۰ بوته در مترمربع) با فاصله روی ردیف دو سانتی متر تنک شدند. کود نیتروژن بعد از تنک در دو مرحله به تیمارهای مورد نظر اضافه شد. از وجین دستی برای کنترل علف‌های هرز استفاده شد. داده های مورد نیاز این پژوهش برای تعیین نیاز آبی شامل بارش، دماهای حداقل و حداکثر، سرعت باد، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی از طریق آمار درازمدت نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری گردید (جدول ۳). تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن مونتیث فائو (Khosroshahi, 2013) محاسبه شد. نیاز آبی گیاه سیاه‌دانه براساس حاصل‌ضرب تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ضریب گیاهی سیاه‌دانه (Ghamarnia *et al*., 2014) توسط نرم‌افزار آبیاری کراپ‌وات که یک نرم افزار مناسب برای مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری است و به‌وسیله فائو ارائه شده‌است، تعیین شد. میزان آب مصرفی در هر ماه در تیمارهای آبیاری براساس ۱۰۰٪ نیاز آبی در جدول ۴ ارائه شده‌است. مقدار آب مصرف شده در تیمارهای ۱۰۰، ۷۰ و ۴۰٪ نیاز آبی به‌ترتیب ۷۴۲۹، ۵۲۰۰/۲ و ۲۹۷۱/۶ مترمکعب در هکتار بودند. آبیاری به روش قطره‌ای و به‌صورت هفتگی انجام و برای اجرای مقدار آب تیمارهای آبیاری از کنتور حجمی استفاده شد. زمان اعمال تیمارهای آبیاری پس از توسعه کامل گیاه و قبل از شروع مرحله زایشی بود. دلیل انتخاب این زمان برای اعمال تنش، افزایش نیاز آبی گیاه در این مرحله و همچنین سپری شدن دوره بارندگی بود. برداشت در تاریخ‌های ۴ و ۵ مردادماه با زرد شدن برگها و فولیکولها انجام شد. به‌منظور مطالعه صفات مورد بررسی در این آزمایش قبل از برداشت محصول، از هر کرت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه های فرعی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته در ده بوته برداشت شده از هر کرت مورد اندازه گیری قرارگرفت. برای تعیین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن هزاردانه پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، بوته‌های موجود برداشت شد و بعد نمونه‌ها برای تعیین وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار گرفت و پس از توزین، در نهایت صفات مورد اشاره اندازه‌گیری گردید. تجزیه‌وتحلیل داده های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵٪ مورد مقایسه قرار گرفتند.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک موردآزمایش

اسیدیته	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	درصد اشباع خاک (٪)	نیتروژن کل (٪)	کربن آلی (٪)	پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)	فسفر قابل دسترس ($mg\ kg^{-1}$)	ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmolc\ kg^{-1}$)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)
۷/۶۵	۱/۹	۴۰/۱۶	۰/۰۷۹	۰/۸۳۷	۲۲۰	۱۲	۸/۹	۳۸	۴۱	۲۱

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار مورد استفاده

اسیدیته	هدایت الکتریکی ($\mu S/cm$)	ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmolc\ kg^{-1}$)	کربن (٪)	نیتروژن کل (٪)	فسفر (٪)	پتاسیم (٪)	مواد آلی فرّار و رطوبت (٪)
۹/۷	۲۰۰	۰/۲۶	۴۵/۴۴	۱/۲۷	۰/۰۱	۰/۲۱	۴۶/۹۵

جدول ۳- آمار هواشناسی منطقه مورد آزمایش در طول دوره رشدی سیاه‌دانه

ماه	حداقل دما ($^{\circ}C$)	حداکثر دما ($^{\circ}C$)	رطوبت (٪)	سرعت باد (km/day)	متوسط ساعات آفتابی ($hours$)	بارندگی (mm)
فروردین	۸/۸	۲۱/۷	۶۰	۲۰۷	۶/۸	۴۶/۲
اردیبهشت	۱۲/۷	۲۷/۱	۵۰	۱۹۹	۹/۳	۲۷/۲
خرداد	۱۶/۹	۳۲/۷	۳۸	۲۳۳	۱۱/۴	۴
تیر	۱۹	۳۴/۷	۳۵	۲۵۱	۱۲/۳	۱/۲

جدول ۴- میزان آب مصرفی در هر ماه در تیمارهای آبیاری براساس ۱۰۰٪ نیاز آبی

ماه	میزان آب مصرفی ($m^3.ha^{-1}$)
فروردین	۲۶۰
اردیبهشت	۱۴۸۷
خرداد	۲۸۱۱
تیر	۲۸۷۱
کل	۷۴۲۹

نتایج

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اعمال تیمارهای آبیاری در سطح احتمال ۵٪ تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته در سیاه‌دانه داشت (جدول ۵). مقایسه میانگین داده‌ها تأثیر بیشتر تیمارهای آبیاری براساس ۱۰۰٪ و ۷۰٪ نیاز آبی را بر ارتفاع بوته نشان داد (به‌ترتیب ۵۵/۴۷ و ۵۱/۰۷ سانتی‌متر) (جدول ۶). تیمار بیوچار تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت اما مصرف کود شیمیایی در مقایسه با عدم مصرف آن تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت (جدول‌های ۵ و ۶). به‌طوری که هیچ یک از اثر متقابل بین تیمارها بر ارتفاع بوته معنی‌دار نشد.

تعداد شاخه‌های فرعی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها تأثیر معنی‌دار آبیاری و کود شیمیایی را بر تعداد شاخه‌های فرعی نشان داد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر اصلی تیمارها نشان داد که آبیاری براساس ۴۰٪ نیاز آبی، تعداد شاخه‌های فرعی را به‌میزان ۳۲/۵٪ در مقایسه با تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی کاهش داد (جدول ۶). کاربرد بیوچار تأثیری بر تعداد شاخه‌های فرعی نداشت ولی استفاده از کود شیمیایی این صفت را تحت تأثیر قرار داد و تعداد شاخه‌های فرعی در تیمارهای حاوی کود، ۴۲/۹٪ در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۶). اثر متقابل آبیاری و کود شیمیایی، در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و کود شیمیایی، تأثیر بیشتر تیمارهای I_1F_2 (آبیاری ۱۰۰٪ نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) با ۳۳/۷۷ عدد و I_2F_2 (آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) با ۲۹/۹۴ عدد را در مقایسه با سایر تیمارها نشان داد (جدول ۷).

تعداد فولیکول در بوته

تعداد فولیکول در بوته نیز در سطح احتمال ۱٪ تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و کود شیمیایی قرار گرفت (جدول ۵). بیشترین تعداد فولیکول در بوته مربوط به تیمار آبیاری ۱۰۰٪ و ۷۰٪ نیاز آبی به ترتیب با مقادیر ۲۲/۹۴ و ۱۹/۳۰ عدد فولیکول بود (جدول ۶). اگرچه سطوح مختلف بیوچار تأثیر معنی‌داری بر تعداد فولیکول در بوته نداشت، اما باوجود این نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد فولیکول با مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار حاصل شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که مصرف کود شیمیایی در مقایسه با عدم مصرف آن تعداد فولیکول در بوته را ۲۵/۵٪ افزایش داد (جدول ۶).

تعداد دانه در بوته

اثر آبیاری، بیوچار، کود شیمیایی و اثر متقابل کود شیمیایی و آبیاری بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۵). بیشترین تعداد دانه در بوته در تیمارهای آبیاری ۱۰۰٪ و ۷۰٪ نیاز آبی به‌ترتیب برابر ۱۲۷۴/۵۲ و ۱۱۷۱/۶۲ عدد بود. در بین تیمارهای بیوچار، مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار با میانگین ۱۱۶۷/۱۴ عدد بیشترین تعداد دانه در بوته را داشت و تیمار شاهد و مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار به‌ترتیب در مکان‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۶). تیمار مصرف کود نیز در مقایسه با عدم مصرف آن با میانگین ۲۳/۶٪ از تعداد دانه بیشتری برخوردار بود. اثر متقابل آبیاری و کود شیمیایی نشان داد که تیمار I_2F_2 (آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) و

تیمار I_1F_2 (آبیاری ۱۰۰٪ نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) به‌ترتیب با داشتن ۱۴۳۰ و ۱۳۴۶ دانه در بوته بیشترین تأثیر را داشتند (جدول ۷).

وزن دانه در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن دانه‌ها در سطح احتمال ۵٪ تحت تأثیر تیمار آبیاری قرار گرفت و در تیمار ۴۰٪ آبیاری وزن دانه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، ولی آبیاری براساس ۷۰٪ نیاز آبی تأثیر معنی‌داری در کاهش وزن دانه‌ها در بوته نداشت (جدول‌های ۵ و ۶). جدول تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها (جدول‌های ۵ و ۶) تأثیر معنی‌دار بیوچار بر وزن دانه‌ها در بوته را نشان داد. در بین تیمارهای بیوچار، مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار بیشترین تأثیر را بر وزن دانه‌ها در بوته داشت و وزن دانه‌ها را به ۲/۴۵۲ گرم در مقایسه با ۲/۳۹۷ گرم در تیمار شاهد افزایش داد. تیمار ۲۰ تن در هکتار بیوچار از وزن دانه در بوته کمتری نسبت به تیمار شاهد برخوردار بود. اثر متقابل آبیاری و کود شیمیایی نیز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود و بیشترین مقدار در تیمار I_2F_2 (آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) حاصل شد (۳/۰۷ گرم) (جدول ۷). نتایج مربوط به اثر متقابل سه‌گانه تأثیر بیشتر تیمارهای $I_1B_1F_2$ (۱۰۰٪ نیاز آبی + بدون بیوچار + مصرف کود شیمیایی) با ۳/۳۲ گرم و $I_2B_2F_2$ (۷۰٪ نیاز آبی + ۱۰ تن در هکتار بیوچار + مصرف کود شیمیایی) با ۳/۱۹ گرم را نشان داد (جدول ۸).

وزن هزاردانه

جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که فقط کود شیمیایی بر وزن هزاردانه تأثیر معنی‌داری داشت، آبیاری و بیوچار بر وزن هزاردانه مؤثر نبود (جدول ۵). البته هیچ یک از اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نبودند. وزن هزاردانه در تیمار مصرف کود شیمیایی (۲/۴۸ گرم) بیشتر از تیمار بدون مصرف کود (۲/۳۹ گرم) بود (جدول ۶).

عملکرد دانه

جدول تجزیه واریانس داده‌ها تأثیر معنی‌دار آبیاری بر عملکرد دانه را نشان داد (جدول ۵). آبیاری براساس ۴۰٪ نیاز آبی، عملکرد را به‌طور قابل ملاحظه‌ای (۸۶۹/۸ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با تیمار آبیاری کامل (۱۲۳۹ کیلوگرم در هکتار) کاهش داد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل کود و بیوچار تأثیر بیشتر تیمار B_3F_2 (۲۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) با ۱۲۲۷ کیلوگرم در هکتار و B_2F_2 (۱۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) با ۱۱۸۴ کیلوگرم در هکتار را نسبت به سایر تیمارها نشان داد (شکل ۱). اثر متقابل سه‌گانه کود، بیوچار و آبیاری نیز معنی‌دار بود و تیمار $I_2B_2F_2$ (۷۰٪ نیاز آبی+ ۱۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) و $I_2B_3F_2$ (۷۰٪ نیاز آبی+ ۲۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) به‌ترتیب با مقدار ۱۳۵۶ و ۱۳۲۵ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد دانه را داشتند (جدولهای ۵ و ۸).

عملکرد بیولوژیک

اثر اصلی تیمار آبیاری، کود شیمیایی، اثر متقابل کود و آبیاری و اثر متقابل سه‌گانه کود، آبیاری و بیوچار بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثرهای اصلی، عدم تأثیر معنی‌دار تیمار آبیاری براساس ۷۰٪ نیاز آبی را با تیمار آبیاری براساس ۱۰۰٪ نیاز آبی نشان داد (جدول ۶). در بین تیمارهای مربوط به اثر متقابل کود شیمیایی و آبیاری، بیشترین مقادیر در تیمار I_2F_2 (آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) و I_1F_2 (آبیاری ۱۰۰٪ نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) به‌ترتیب ۵۳۰۰ و ۵۰۹۷ کیلوگرم بر هکتار بود (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه، نشان‌دهنده تأثیر بالاتر تیمارهای $I_2B_2F_2$ (۷۰٪ نیاز آبی+ ۱۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی)، $I_1B_2F_2$ (۱۰۰٪ نیاز آبی+ ۱۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) و $I_1B_3F_2$ (۱۰۰٪ نیاز آبی+ ۲۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) بر عملکرد بیولوژیک بود (به‌ترتیب ۵۷۷۶، ۵۱۸۸ و ۵۱۵۶ کیلوگرم بر هکتار) (جدول ۸).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه سیاه‌دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	تعداد شاخه‌های فرعی	تعداد فولیکول در بوته	تعداد دانه در بوته	وزن دانه در بوته	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
بلوک	۲	۲۶۵/۳۲ ns	۱۴۷/۷۹ ns	۱۷/۰۲ ns	۲۴۵۷۷/۵ ns	۰/۳۶۵ ns	۰/۰۲۳ ns	۳۳۸۴۸۸/۹ ns	۷۷۷۶۵۶۹/۹ ns
آبیاری	۲	۳۶۱/۸۴ *	۴۱۲/۷۱ *	۲۰۰/۵۸ **	۱۱۲۰۱۵۵/۹ *	۵/۲۱ **	۰/۰۴۳ ns	۶۷۸۵۹۰/۶ *	۸۸۴۴۶۵۹/۰۱ **
خطای اصلی	۴	۵۶/۷	۴۳/۰۷	۲۷/۹۵	۷۴۴۹۵/۸	۰/۲۴	۰/۰۱۹	۶۶۵۳۴/۸	۱۴۰۵۲۹۵/۰۹
بیوچار	۲	۴/۳۱ ns	۱۰/۵۳ ns	۲۱/۵ ns	۲۱۳۶۰۶/۷ *	۰/۴۶ *	۰/۰۰۱ ns	۱۸۸۷۲/۵ ns	۲۰۹۰۵۹/۷ ns
آبیاری×بیوچار	۴	۲۱/۹ ns	۱۴/۲۶ ns	۴/۱۸ ns	۴۸۸۳۶/۱ ns	۰/۳۵ ns	۰/۰۰۴ ns	۳۰۷۴۲/۶ ns	۱۸۴۴۶۲/۹ ns
کود شیمیایی	۱	۱۳۹/۵ **	۱۰۰۱/۰۴ **	۴۴۰/۳۲ **	۷۰۱۱۰۰/۲ **	۱/۵۷ **	۰/۱۶ **	۱۰۱۳۵۸/۶ ns	۲۰۴۳۶۱۰۷/۳ **
آبیاری× کود شیمیایی	۲	۷/۱۹ ns	۵۶/۷۷ *	۲۰/۹ ns	۲۹۵۴۱۶/۶ *	۱/۸۲ **	۰/۰۰۰۵ ns	۴۱۰۳۴/۹ ns	۹۸۱۵۱۶/۱ *
بیوچار× کود شیمیایی	۲	۰/۴ ns	۶/۲ ns	۰/۳۶۱ ns	۵۴۲۴۸/۸ ns	۰/۰۲۹ ns	۰/۰۰۶ ns	۱۶۸۰۱۷/۳۸ **	۴۱۹۶۶/۲ ns
آبیاری×بیوچار ×کود شیمیایی	۴	۵/۴ ns	۱۱/۱۹ ns	۱/۴۵ ns	۱۲۰۱۱۹/۲ ns	۱/۰۱۶ **	۰/۰۰۶ ns	۷۹۲۲۶/۶۷ *	۶۲۹۸۳۴/۲ *
خطای فرعی	۳۰	۹/۸۶	۱۷/۸۹	۱۴/۱۷	۶۱۸۵۵/۲	۰/۱۷۳	۰/۰۰۸	۲۶۵۳۹/۶۱	۲۷۳۵۹۷/۸
ضریب تغییرات (٪)		۶/۱۶	۱۷/۳۸	۱۹/۳	۲۳/۱۲	۱۷/۸۴	۳/۸۲	۱۴/۹۶	۱۲/۸۲

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵٪ و ۱٪ احتمال

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر اصلی آبیاری، بیوچار و کود شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد در گیاه سیاه‌دانه

فاکتور	سطوح	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	تعداد شاخه‌های فرعی	تعداد فولیکول در بوته	تعداد دانه در بوته	وزن دانه در بوته (گرم)	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم درهکتار)
آبیاری (٪)	۱۰۰(I_1)	۵۵/۴۷ a	۲۹/۳۳ a	۲۲/۹۴ a	۱۲۷۴/۵۲a	۲/۷۳ a	۲/۴ a	۱۲۳۹ a	۵۴۳۰/۴ a
	۷۰(I_2)	۵۱/۰۷ ab	۲۳/۹۳ ab	۱۹/۳ ab	۱۱۷۱/۶۲ a	۲/۵۴ a	۲/۳۱ a	۱۱۵۸ a	۴۴۳۱/۳ a
	۴۰(I_3)	۴۶/۵۱ b	۱۹/۷۸ b	۱۶/۲۷ b	۷۸۱/۰۱ b	۱/۷۲ b	۲/۳۱ a	۸۶۹/۸ b	۳۲۶۹/۸ b
بیوچار (تن درهکتار)	۰(B_1)	۵۰/۴۵ a	۲۴/۰۹ a	۱۹/۳۱a	۱۱۰۴/۸ ab	۲/۳۹۷ ab	۲/۳۵ a	۱۰۵۲ a	۴۰۲۳/۸ a
	۱۰(B_2)	۵۱/۲۷ a	۲۵/۱ ۲a	۲۰/۶۸ a	۱۱۶۷/۱۴ a	۲/۴۵۲ a	۲/۳۳ a	۱۱۰۸ a	۴۰۳۴/۹ a
	۲۰(B_3)	۵۱/۳۲ a	۲۳/۷۴ a	۱۸/۵۲ a	۹۵۵/۱ b	۲/۱۵ b	۲/۳۳ a	۱۱۰۷ a	۴۱۷۲/۷ a
کود شیمیایی (کیلوگرم در هکتار)	بدون کود (F_1)	۴۹/۴ b	۲۰/۰۴ b	۱۶/۶۵ b	۹۶۱/۷۷ b	۲/۱۶ b	۲/۳۹ b	۱۰۴۵/۶ a	۳۴۶۲ b
	با مصرف کود(F_2)	۵۲/۶ a	۲۸/۶۵ a	۲۲/۳۶ a	۱۱۸۹/۶ a	۲/۵ a	۲/۴۸ a	۱۱۳۲/۳ a	۴۶۹۲/۳ a

در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

I_1: آبیاری براساس ۱۰۰٪ نیاز آبی؛ I_2: آبیاری براساس ۷۰٪ نیاز آبی؛ I_3: آبیاری براساس ۴۰٪ نیاز آبی

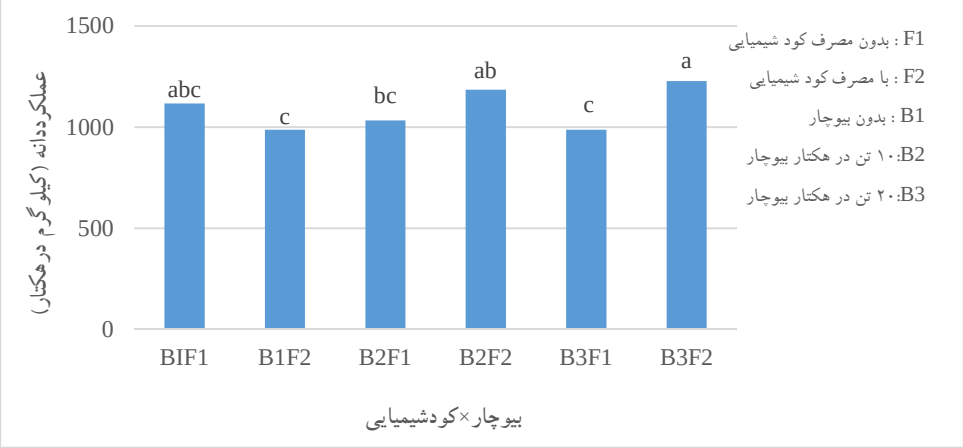
F_1: بدون مصرف کود شیمیایی؛ F_2: با مصرف کود شیمیایی

B_1: بدون مصرف بیوچار؛ B_2: ۱۰ تن در هکتار بیوچار؛ B_3: ۲۰ تن در هکتار بیوچار

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و کود شیمیایی بر اجزای عملکرد درگیاه سیاه‌دانه

آبیاری (٪)	کود شیمیایی (کیلوگرم در هکتار)	تعداد شاخه‌های فرعی	تعداد دانه در بوته	وزن دانه در بوته (گرم)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)
۱۰۰٪ نیاز آبی (I_1)	بدون مصرف کود (F_1)	۲۴/۸۹ b	۱۲۰۳ ab	۲/۷۸ a	۳۹۶۴ b
	با مصرف کود (F_2)	۳۳/۷۷ a	۱۳۴۶ a	۲/۶۸ a	۵۰۹۷ a
۷۰٪ نیاز آبی (I_2)	بدون مصرف کود (F_1)	۱۷/۹۲ c	bc ۹۱۳/۷	۱/۹۹ b	۳۵۶۲ b
	با مصرف کود (F_2)	۲۹/۹۴ a	۱۴۳۰ a	۳/۰۷ a	۵۳۰۰ a
۴۰٪ نیاز آبی (I_3)	بدون مصرف کود (F_1)	۱۷/۳۱ c	۸۳۸/۴ c	۱/۶۹ b	۲۸۶۰ c
	با مصرف کود (F_2)	۲۲/۲۴ b	۷۹۳/۷ c	۱/۷۴ b	۳۶۷۹ b

در هر ستون و فاکتور، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ندارند.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل بیوچار وکود شیمیایی بر عملکرد دانه در گیاه سیاه‌دانه

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها براساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ است.

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از بیوچار تأثیری بر ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های فرعی در سیاه‌دانه نداشت. Akom و همکاران (۲۰۱۵) با کاربرد سطوح مختلف بیوچار و کودهای شیمیایی NPK تفاوت معنی‌داری را بر ارتفاع ساقه در گیاه یام (*Dioscorea rotundata* Poir) مشاهده نکردند. Gebremedhin و همکاران (۲۰۱۵) نیز عدم تأثیر معنی‌دار بیوچار بر ارتفاع ساقه گندم را در آزمایش‌های خود گزارش کردند. سیاه‌دانه گیاهی یک‌ساله با دوره رویشی کوتاه و نیز عادت رشدی محدود است که این ویژگی رشد محدود بودن سیاه‌دانه در عدم تأثیر بیوچار بر خصوصیات رویشی این گیاه مؤثر است. در تحقیقات مختلف به طولانی بودن زمان تأثیر بیوچار بر رشد گیاهان اشاره شده‌است، به‌طوری که با گذشت زمان اثرات مثبت بیوچار بیشتر می‌شود (Schulz *et al.*, 2014).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه آبیاری، کود شیمیایی و بیوچار بر وزن دانه در بوته، عملکرد دانه و بیولوژیک در گیاه سیاه‌دانه

آبیاری (٪)	تیمارهای کودی	وزن دانه در بوته (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)
۱۰۰٪ نیاز آبی (I_1)	B_1F_1	۲/۵۲ acdef	۱۲۷۸ ab	۴۰۱۶ cd
	B_1F_2	۳/۳۲ a	۱۲۸۹ ab	۴۹۴۹ ab
	B_2F_1	۲/۷۸ abcde	۱۱۴۰ abcdef	۳۹۱۳ cde
	B_2F_2	۲/۴۹ cdef	۱۳۱۴ ab	۵۱۸۸ a
	B_3F_1	۳/۰۵ abc	۱۲۳۲ abc	۳۹۵۲ cde
	B_3F_2	۲/۲۳ defg	۱۱۸۲ abcd	۵۱۵۶ a
۷۰٪ نیاز آبی (I_2)	B_1F_1	۲/۱۱ efg	۱۱۳۱ abcdef	۳۵۳۱ cdef
	B_1F_2	۲/۸۶ abcd	۱۰۸۷ abcdef	۵۱۴۰ ab
	B_2F_1	۲/۰۲ fgh	۱۰۵۲ bcdef	۳۳۲۶ def
	B_2F_2	۳/۱۹ ab	۱۳۵۶ a	۵۷۷۶ a
	B_3F_1	۱/۸۶ fgh	۹۹۶/۷ cdefg	۳۸۳۰ cde
	B_3F_2	۳/۱۵ abc	۱۳۲۵ a	۴۹۸۵ ab
۴۰٪ نیاز آبی (I_3)	B_1F_1	۲/۱۵ efg	۹۴۱/۲ defg	۲۸۳۵ f
	B_1F_2	۱/۳۸ hi	۵۸۳/۷ h	۳۶۶۴ cdef
	B_2F_1	۲/۰۳ fgh	۹۰۶/۳ efg	۲۹۱۳ f
	B_2F_2	۲/۱۶ efg	۸۸۰/۷ fg	۳۰۹۴ ef
	B_3F_1	۰/۸۹ i	۷۳۳/۱ gh	۲۸۳۳ f
	B_3F_2	۱/۶۸ gh	۱۱۷۴ abcde	۴۲۸۰ bc

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

I_1: آبیاری براساس ۱۰۰٪ نیاز آبی؛ I_2: آبیاری براساس ۷۰٪ نیاز آبی؛ I_3: آبیاری براساس ۴۰٪ نیاز آبی

F_1: بدون مصرف کود شیمیایی؛ F_2: با مصرف کود شیمیایی

B_1: بدون مصرف بیوچار؛ B_2: ۱۰ تن در هکتار بیوچار؛ B_3: ۲۰ تن در هکتار بیوچار

برخلاف بیوچار استفاده از کود شیمیایی باعث افزایش ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های فرعی در بوته‌های سیاه‌دانه شد. این افزایش، تأثیر مثبت کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنی را بر رشد رویشی گیاهان نشان می‌دهد (Akom *et al.*, 2015). ارتفاع بوته و تعداد شاخه‌های فرعی در تیمار آبیاری براساس ۴۰٪ نیاز آبی به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای ۱۰۰٪ و ۷۰٪ نیاز آبی بود. این امر مربوط به کاهش فشار تورژسانس و کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلولی نسبت به شرایط بدون تنش است. به‌علاوه اینکه در شرایط کم آبی، جذب مواد و عناصر غذایی نیز کاهش یافته، بنابراین رشد و توسعه برگ‌ها محدود می‌گردد که منجر به کاهش جذب نور شده و ظرفیت کل

فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد، در نتیجه با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط کمبود آب، رشد گیاه کم می‌شود. Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۷) نیز به کاهش ارتفاع و رشد رویشی در گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) اشاره کرده و دلیل آن را کاهش محتوای آب و آماس سلول‌ها عنوان کردند. البته تأثیر بیشتر تیمارهای I_1F_2 (آبیاری ۱۰۰٪ نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) و I_2F_2 (آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) بر افزایش شاخه‌های فرعی سیاه‌دانه به‌دلیل فراهمی بیشتر آب و مواد غذایی و در نتیجه افزایش رشد رویشی در این تیمارها بود.

تعداد فولیکول در بوته علاوه‌بر اثر مستقیم، به‌طور غیرمستقیم از طریق تعداد دانه در بوته بر عملکرد تأثیر می‌گذارد. تعداد فولیکول در بوته تحت تأثیر آبیاری و کود شیمیایی قرار گرفت. تعداد فولیکول در بوته در تیمار آبیاری براساس ۴۰٪ نیاز آبی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. سیاه‌دانه گیاهی محدود رشد است، از این‌رو افزایش تنش خشکی سبب افزایش سرعت گذر از مرحله رویشی به زایشی می‌شود که این امر کمتر شدن تعداد شاخه‌های فرعی و تعداد فولیکول تولیدی در بوته را به‌همراه خواهد داشت (Mozzafari *et al*., 2000). علاوه‌بر آن تنش آبیاری می‌تواند منجر به عدم تلقیح و ریزش تعدادی از گل‌ها در گیاه شود. با وجود عدم تأثیر معنی‌دار بیوچار بر تعداد فولیکول در بوته، مصرف ۱۰ تن در هکتار بیوچار تأثیر بیشتری نسبت به مصرف ۲۰ تن در هکتار داشت. Ibrahim و همکاران (۲۰۱۵) نیز با اعمال دو سطح تیمار آبیاری و چهارسطح بیوچار بر روی گندم اثر معنی‌داری را بر تعداد سنبلچه در سنبله، ارتفاع بوته و طول سنبله مشاهده نکردند، ولی Rab و همکاران (۲۰۱۶) به تأثیر معنی‌دار بیوچار بر تعداد غلاف در لوبیای بالدار (*Vigna radiate*) اشاره کردند. آنان افزایش تعداد غلاف در بوته را در تیمارهایی که میزان متوسطی بیوچار مصرف شده بود، افزایش نسبت C به N در این تیمار و تأثیر آن در رشد زایشی گیاه عنوان کردند ولی در تیمارهایی با میزان مصرف بیوچار بالاتر، افزایش بیشتر نسبت C به N موجب غیرمتحرک شدن نیتروژن و آمونیوم شد (Rab *et al*., 2016؛ Ibrahim *et al*., 2015).

کاربرد کود شیمیایی تعداد دانه در بوته را افزایش داد. بررسی اثر متقابل آبیاری و کود شیمیایی نشان داد که بالاتر بودن تعداد دانه در بوته در تیمارهای حاوی کود شیمیایی و آبیاری براساس ۱۰۰٪ و ۷۰٪ نیاز آبی، می‌تواند به‌دلیل فراهمی آب و عناصر غذایی کافی و ایجاد شرایط مناسب برای فتوسنتز و تولید مواد لازم برای رشد تمامی دانه‌ها باشد. بیوچار نیز بر تعداد دانه در بوته مؤثر بود. این امر به‌دلیل توانایی بیوچار در جذب و نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی آنها و در نتیجه دسترسی بهتر گیاه به مواد غذایی و رشد بهینه آن می‌باشد. استفاده از ۱۰ تن در هکتار بیوچار، تعداد دانه در بوته بیشتری نسبت به ۲۰ تن در هکتار بیوچار داشت. بنابراین به نظر می‌رسد کاربرد مقدار متوسطی از بیوچار بدلیل ایجاد شرایط بهینه برای رشد گیاه، بهتر از مقادیر بالای آن باشد (Jemal & Abebe, 2016). محققان دیگری نیز به تأثیر بهتر مقدار متعادلی از بیوچار در مقایسه با مقادیر پایین و بالای آن اشاره کردند. البته تنظیم میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک در حد متعادل و در نتیجه رشد بهتر گیاه در تیمارهای مقدار متوسط بیوچار از دلایل بهتر بودن این تیمار نسبت به مصارف بالای بیوچار عنوان شده است (Dispenza *et al*., 2016؛ Jemal & Abebe, 2016).

کاربرد بیوچار و کود شیمیایی بر وزن دانه در بوته مؤثر بود. کاربرد بیوچار، ضمن تأمین بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، به‌دلیل دارا بودن سطح ویژه بالا، از طریق افزایش عرضه مواد غذایی منجر به بهبود وزن دانه در بوته گردید. کاربرد ۱۰ تن در هکتار بیوچار بر این صفت سیاه‌دانه نیز تأثیر بهتری نسبت به عدم کاربرد و مصرف ۲۰ تن در هکتار بیوچار داشت. در بررسی اثر متقابل آبیاری و کود شیمیایی، تیمار I_2F_2 (آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی+ مصرف کود شیمیایی) و در بین تیمارهای اثرهای متقابل سه‌گانه، تیمارهای $I_1B_1F_2$ (۱۰۰٪ نیاز آبی+ بدون بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) و $I_2B_2F_2$ (۷۰٪ نیاز آبی + ۱۰ تن در

هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) از وضعیت مطلوب‌تری نسبت به سایر تیمارها در وزن دانه در بوته برخوردار بودند. بنابراین می‌توان بیان کرد که استفاده از کود شیمیایی و بیوچار به همراه آبیاری مناسب، باعث فراهم شدن آب و مواد غذایی و توسعه بهتر ریشه شده، در نتیجه گیاه در انتهای دوره رشد خود (پر شدن دانه‌ها) با شرایط مطلوبی مواجه گردیده و همین عامل موجب افزایش وزن دانه‌ها در بوته شده است. Ibrahim و همکاران (۲۰۱۵) نیز نتایج مشابهی را در رابطه با تأثیر بیوچار و آبیاری بر وزن دانه در سنبله گندم گزارش کردند. Arif و همکاران (۲۰۱۲) نیز افزایش وزن دانه در ذرت را در تیمارهای حاوی بیوچار و کود دامی گزارش کرده و دلیل این امر را کاهش تبخیر آب و نگهداری رطوبت در محیط ریشه به‌دلیل منافذ زیاد بیوچار و یا بهبود بافت خاک در اثر کاربرد مواد آلی و در نتیجه رشد بهتر ریشه و جذب بهینه مواد غذایی عنوان کردند.

برخلاف تعداد دانه در بوته، وزن هزاردانه فقط با کاربرد کود شیمیایی تحت تأثیر قرار گرفت و بیوچار تأثیری بر این صفت نداشت. Rezvani Moghaddam و همکاران (۲۰۱۴) نیز به عدم تأثیر کودهای آلی بر وزن هزاردانه سیاه‌دانه اشاره کرده و دلیل آن را عدم وابستگی این صفت به عوامل محیطی عنوان کردند. این نتایج مغایر با گزارش‌های Chaudhry و همکاران (۲۰۱۶) بود که به افزایش وزن هزاردانه در گندم با مصرف بیوچار اشاره کردند.

از آنجایی که در هر یک از مراحل رشدی سیاه‌دانه بخشهای خاصی از اجزاء عملکرد دانه شکل می‌گیرند، بنابراین تأثیر تیمارهای آبیاری و کودی بر هر یک از اجزاء عملکرد در عملکرد نهایی دانه مؤثر خواهد بود. تیمار آبیاری براساس ۴۰٪ نیاز آبی کمترین عملکرد دانه را داشت. کاهش عملکرد در این تیمار با کم شدن رشد رویشی و سطح فتوسنتزکننده، کاهش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی، با کاهش تخصیص مواد به اندام‌های زایشی گیاه مرتبط بود. در مراحل زایشی نیز تنش آبی منجر به کاهش ظرفیت مخزن در گیاه شده، در نتیجه اُفت عملکرد در گیاه را درپی داشت (Shabanzadeh *et al*., 2011). گرچه نتایج مرتبط با عملکرد دانه حکایت از عدم تأثیر معنی‌دار بیوچار داشت ولی اثر متقابل بیوچار با کود شیمیایی نشان داد که کاربرد بیوچار به همراه کود شیمیایی اثرات بهتری نسبت به مصرف هر یک از این دو ماده به تنهایی داشت. مطالعات مختلفی تأثیر مضاعف بیوچار در ترکیب با کودهای آلی و معدنی را نشان داده است. افزایش عملکرد در تیمارهای حاوی بیوچار و کود به‌دلیل تأثیر بیوچار در نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آبشویی نیترات و در نتیجه دسترسی بهتر گیاه به عناصر غذایی می‌باشد. به‌طوری که مصرف همزمان بیوچار و کود شیمیایی بهتر از مصرف هر یک از این مواد به تنهایی بود. به‌علاوه اینکه بیوچار با بهینه کردن اسیدیته خاک شرایط مناسبی را برای جذب عناصر فراهم می‌کند (Arif *et al*., 2012؛ Gokila & Baskar, 2015؛ Chaudhry *et al*., 2016). تیمار $I_2B_2F_2$ (۷۰٪ نیاز آبی+ ۱۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) با تعداد مناسب وزن دانه در بوته و به‌ویژه داشتن بیشترین تعداد دانه در بوته بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. همچنین بالا بودن عملکرد در تیمارهای $I_2B_2F_2$ (۷۰٪ نیاز آبی+ ۱۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) و $I_2B_3F_2$ (۷۰٪ نیاز آبی+ ۲۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) تأثیر بیوچار را در کاهش میزان آب مصرفی نشان داد. گیاه در شرایط تنش خشکی متوسط نسبت به شرایط آبیاری مناسب از طریق کود شیمیایی و بیوچار، توانست شرایط کمبود آب قابل دسترس را به خوبی و بدون کاهش عملکرد تحمل نماید. بیوچار با داشتن منافذ فراوان در سطح خود به نگهداری بهتر آب کمک می‌کند، به این ترتیب می‌توان با استفاده از بیوچار به جای ۱۰۰٪ آبیاری از ۷۰٪ آب مورد نیاز برای کشت سیاه‌دانه استفاده کرد.

بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمارهای $I_2B_2F_2$ (۷۰٪ نیاز آبی+ ۱۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی)، $I_1B_2F_2$ (۱۰۰٪ نیاز آبی+ ۱۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) و $I_1B_3F_2$ (۱۰۰٪ نیاز آبی+

۲۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) مشاهده شد که با عملکرد دانه و وزن خشک بالا در این تیمارها مرتبط بود. کاربرد توأم کود شیمیایی و بیوچار به همراه آبیاری مناسب، به‌دلیل فراهمی بهتر آب و عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن سبب تحریک رشد رویشی و زایشی و بهبود وزن خشک گیاه و متعاقب آن افزایش عملکرد بیولوژیک گردید. Arif و همکاران (۲۰۱۲) نیز بالاترین عملکرد بیولوژیک را در تیمار بیوچار به همراه کود شیمیایی و کمترین عملکرد بیولوژیک را در تیمار بیوچار تنها گزارش کردند.

بالا بودن عملکرد دانه و بیولوژیک در تیمار $I_2B_2F_2$ (۷۰٪ نیاز آبی+ ۱۰ تن در هکتار بیوچار+ مصرف کود شیمیایی) نشان می‌دهد که آبیاری براساس ۷۰٪ نیاز آبی به همراه بیوچار ضمن کاهش تنش آبی، به توزیع متوازن مواد غذایی در اطراف ریشه گیاه نیز کمک می‌کند، در حالیکه در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی احتمال آبشویی عناصر غذایی به‌ویژه در تیمارهای بدون بیوچار بالاتر است (Chaudhry *et al.*, 2016).

با توجه به کمبود آب در کشور و اهمیت آن در تولید گیاهان دارویی مانند سیاه‌دانه، اعمال روش‌های مدیریتی که با حداقل آبیاری عملکرد مناسبی تولید کند، ضروری به نظر می‌رسد. بیوچار با تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند بر رشد رویشی و زایشی سیاه‌دانه تأثیر مثبت داشته باشد. نتایج آزمایش حکایت از تأثیر مثبت بیوچار بر کاهش آب مصرفی در سیاه‌دانه دارد. بیوچار با دارا بودن منافذ بالا باعث افزایش قدرت نگهداری آب در خاک می‌شود. به این ترتیب با مصرف بیوچار می‌توان میزان آب مصرفی را کاهش داده و آبیاری را براساس۷۰٪ نیاز آبی گیاه انجام داد که این امر به افزایش بازدهی مصرف آب نیز کمک می‌کند. مصرف بیوچار به همراه کود شیمیایی اثرات بهتری را بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک نسبت به مصرف بیوچار و کود شیمیایی به تنهایی داشت. این امر به منافذ و سطح ویژه بیشتر در بیوچار نسبت داده می‌شود که از هدررفت و آبشویی کودها جلوگیری کرده و به دستیابی بهتر گیاه برای عناصر غذایی کمک می‌کند. بنابراین به نظر می‌رسد که بکارگیری بیوچار ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کم شدن اثرهای سوء زیست محیطی، روش مناسبی برای تولید سالم و پایدار گیاهان دارویی باشد.

منابع مورد استفاده

- Akhondian, J., Parsa, A. and Rakhshandeh, H., 2007. The effect of *Nigella sativa* (black cumin seed) on intractable pediatric seizures. Medical of Science Monit, 13: 555-559.
- Akom, M., Boateng, C.H.O., Otoo1, 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: 211-222.
- Arif, M., Asad, A., Umair, M., Munsif, F., Kawsar, A., Inamullah, M., Saleem, M. and Gohar, A., 2012. Effect of biochar, FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield components of maize. Sarhad Journal of Agriculture, 28(2): 191-195.
- Berek, A.K., Hue, N. and Ahmad, A., 2011. Beneficial use of biochar to correct soil acidity. The Food Provider: 1-3.
- Boskabady, M.H., Javan, H., Sajady, M. and Rakhshandeh, H., 2007. The possible prophylactic effect of *Nigella sativa* seed extract in asthmatic patients. Fundamental and Clinical Pharmacology, 21: 559-566.
- Chaudhry, U.K., Shahzad, S., Naqqash, M.N., Saboor, A., Yaqoob, S., Abbas, M.S. and Saeed, F., 2016. Integration of biochar and chemical fertilizer to enhance quality of soil and wheat crop (*Triticum aestivum* L.). Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 9(1): 348-358.
- Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanuma, V., Alling, V., Breedveld, G.D., Rutherford, D.W., Sparrevik, M., Hale, S.E., Obia, A. and Mulder, J., 2013. Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. Agronomy, 3: 256-274.
- de Melo Carvalho, M.T., De Holanda Nunes Maia, A., Madari, B.E., Bastiaans, L., Van Oort, P.A.J., Heinemann, A.B., Soler da Silva, M.A., Petter, F.A., Marimon Jr., B.H. and Meinke, H., 2014. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. Solid Earth, 5: 939-952.
- Dispenza, V., Pasquale, C.D., Fascella, G., Mammano, M.M. and Alonzo, G., 2016. Use of biochar as peat substitute for growing substrates of *Euphorbia* ×

Nigella sativa L. Journal of Essential Oil Research, 12: 36-38.
- Mukome, F.N.D., Six, J. and Parikh, S.J., 2012. The effects of walnut shell and wood feedstock biochar amendments on greenhouse gas emissions from a fertile soil. Geoderma, 200(201): 90-98.
- Nigussie, A., Endalkachew Kissi, E., Misganaw, M. and Ambaw, G., 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. American-Eurasian Journal of Agriclture and Environment Science, 12(3): 369-376.
- Rab, A., Rabnawaz Khan, M., Ul Haq, S., Zahid, S., Asim, M., Afridi, M.Z., Arif, M. and Munsif, F., 2016. Impact of biochar on mungbean yield and yield components. Pure and Applied Biology, 5(3): 632-640.
- Rezvani Moghaddam, P., Seyedi, S.M. and Azad, M., 2014. Effects of organic, chemical and biological sources of nitrogen on nitrogen use efficiency in black seed (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 30(2): 260-274.
- Schulz, H., Dunst, G. and Glaser, B., 2014. No effect level of co-composted biochar on plant growth and soil properties in a greenhouse experiment. Agronomy, 4: 34-51.
- Shabanzadeh, S.H., Ramroudi, M. and Galavi, M., 2011. Influence of micronutrients foliar application on seed yield and quality traits of black cumin in different irrigation regimes. Journal of Crop Production and Processing, 1(2): 79-89.
- Sika, M.P., 2012. Effect of biochar on chemistry, nutrient uptake and fertilizer mobility in sandy soil. M.Sc Thesis, Department of Soil Science, Stellenbosch University, Stellenbosch.
- Soderberg, K., 2013. Effects of Biochar Amendment in Soils from Kisumu, Kenya. Independent project in Biology, Department of Soil and Environment, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Teat, A.L., 2014. Yield and physiological responses of the bioenergy crop *Miscanthus* × *giganteus* to fertilizer, biochar and drought. M.Sc Thesis, Department of Biology, Appalachian State University, North Carolina.
- 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 Manage, 27: 205-212.
- Yu, O.Y., Raichle, B. and Sink, S., 2013. Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. International Journal of Energy and Environmental Engineering, 4(1): 44-52.

lomi potted plants. Spanish Journal of Agricultural Research, 14(4): 1-11.
- Ebrahimi, M., Zamani, Gh.R. and Alizadeh, Z., 2017. A study on the effects of water deficit on physiological and yield-related traits of pot marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 33(3): 492-508.
- Fiaz, K., Malik, S.A, Younis, U., Danish, S., Raza Shah, M.H. and Niaz, S., 2014. Drought impact on Pb/Cd toxicity remediated by biochar in *Brassica campestris*. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 14(4): 845-854.
- Gebremedhin, G.H., Haileselassie, B., Berhe, D. and Belay, T., 2015. Effect of biochar on yield and yield Components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. Journal of Fertilizers and Pesticides, 6: 158-162.
- Ghamarnia, H., Miri, E. and Ghobadei, M., 2014. Determination of water requirement, single and dual crop coefficients of black cumin (*Nigella sativa* L.) in a semi-arid climate. Irrigation Science, 32(1): 67-76.
- 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.
- Gokila, B. and Baskar, K., 2015. Influence of biochar as soil amendment on yield and quality of maize. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences, 5: 152-155.
- Howard, H., 2011. The effect of biochar on the root development of corn and soybeans in Minnesota soil and sand. International Biochar Initiative, 24 June , <http://www.biochar-international.org/
- Ibrahim, O.M., Bakry, A.B., El kramany, M.F. and Elewa, T.A., 2015. Evaluating the role of bio-char application under two levels of water requirements on wheat production under sandy soil conditions. Global Journal of Advanced Resarch, 2(2): 411-418.
- Jemal, K. and Abebe, A., 2016. Determination of bio-char rate for improved production of Lemmon grass. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 4(2): 149-157.
- Khosroshahi, M., 2013. Estimating water requirement of *Prosopis juliflora* at different habitates of Persian Gulf-Aman Sea region of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(2): 300-315.
- 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(3-4): 443-449.
- Mozzafari, F., Ghorbanli, S., Babai, M. and Farzami, A., 2000. The effect of water stress on the seed oil of

Effects of biochar application on yield and yield components of black seed (*Nigella sativa* L.) under low irrigation conditions

F. Abbaspour[1], H.R. Asghari[2*], P. Rezvani Moghaddam[3], H. Abbasdokht[4], J. Shabahang[5] and A. Baig Babaei[6]

1- Ph.D. student, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
2*- Corresponding author, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
E-mail: hamidasghari@gmail.com
3- Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4- Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
5- Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
6- Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

Received: July 2017 Revised: September 2017 Accepted: October 2017

Abstract

A field experiment was conducted focusing on the effects of biochar on quantity characteristics of Black Seed (*Nigella sativa* L.) under water deficit conditions. The experimental design was split plot factorial in a randomized complete block design with three replications. Three levels of irrigation (I_1: 100%, I_2: 70% and I_3: 40% of water irrigation requirement) were assigned as main plots and the combination of three levels of biochar (B_1: 0, B_2: 10 and B_3:20 $t.ha^{-1}$) and two levels of chemical fertilizers (F_1: without and F_2: with chemical fertilizer) were allocated as sub plots. Results were shown that seed number per plant and seed weight per plant significantly increased by 10 $t.ha^{-1}$ biochar application compared with 20 $t.ha^{-1}$. Chemical fertilizer significantly affected the yield components of black seed except 1000-seed weight. The interaction between biochar, chemical fertilizer and water requirements significantly affected the seed yield and biological yield. The result revealed that the application of 10 $t.ha^{-1}$ biochar plus 70% water irrigation requirement and using chemical fertilizer ($I_2B_2F_2$) produced the highest seed yield and biological yield (1365 and 5776 $kg.ha^{-1}$, respectively). Application of biochar combined with chemical fertilizers could improve soil nutrient and water availability conditions and increased the yield of black seed.

Keywords: Leaching, seed yield, chemical fertilizer, water requirement.