نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۲ شماره ۳ / سال ۱۴۰۱/ صفحات ۴۸-۳۳

Improvement of Growth and Physiological Characteristics of *Cuminum Cuminum* L. by a Combination of Vermicompost and Biofertilizer under Different Irrigation Regimes

Mohamad Pakdaman [1], Mohammad Reza Baziar [2*]

Received: 18 July 2021 Accepted: 23 December 2021
1- M.Sc. graduated of Medicinal Plant, Fasa Branch, Islamic Azad University, and Fasa, Iran
2- Assistant Professor of Agronomy, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran.
*Corresponding Author Email: Baziar.m@gmail.com

Abstract

Background and Objective: The world approach to produce the crops is toward the qualitative and quantitative increase in the performance of herbs via the managerial methods, such as applying the biofertilizers and reducing the use of the chemical fertilizers.

Materials and Methods: This research was done as a split-plot in completely random block design with three replications in Fasa County in 2021. The first factor of the irrigation intervals included: 25, 50, and 75 percent drainage of available moisture, and the second factor included 100 percent of chemical fertilizer needed, 10 tons of vermicompost per hectare, 10 tons of vermicompost per hectare along with the biofertilizer super nitroplus, super nitroplus fertilizer and the control treatment (no fertilizers).

Results: The results showed that in 25 percent moisture drainage level, the highest nitrogen of leaves, chlorophyll content and biological performance at 100% chemical requirement was obtained. But, in 25% moisture drainage, most of these characteristics in the vermicompost were accompanied with biofertilizer which did not show a significant difference compared to 100% chemical fertilizer. Biofertilizer increased catalase and peroxidase enzyme activity. Chemical fertilizer and vermicompost and biofertilizer also increased seed performance compared to treatment 8 to 12%. Applying only biofertilizer increased *Cuminum cyminum* L. percentage of the essence. But, the lowest amount of it was observed when chemical fertilizer and control.

Conclusion: To sum up, the results of this research showed that the vermicompost and biofertilizer in most cases can compete with chemical fertilizer, especially when drought tension showed a greater effect.

Keywords: Biological Yield, Grain Yield, Catalase, Chlorophyll A, Leaf Nitrogen

بهبود رشد و خصوصیات فیزیولوژیک زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) با تلفیق ورمی‌کمپوست و کود زیستی در فواصل مختلف آبیاری

محمد پاکدامن [۱]، محمد رضا بازیار [۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران
۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا، فسا، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: Baziar.m@gmail.com

چکیده

اهداف: رویکرد جهانی در تولید محصولات کشاورزی به سمت افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی از طریق روش‌های مدیریتی نظیر کاربرد کودهای زیستی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان فسا در سال ۱۳۹۹ انجام گردید. فاکتور اول فواصل آبیاری شامل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده و فاکتور دوم شامل ۱۰۰ درصد کود شیمیایی مورد نیاز، ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی سوپرنیتروپلاس، کود زیستی سوپرنیتروپلاس و شاهد (بدون کود) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در سطح ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، بیشترین نیتروژن برگ، محتوای کلروفیل a و عملکرد بیولوژیک در ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی بدست آمد. اما در ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی، بیشترین مقدار صفات فوق در ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی بود که نسبت به ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی اختلاف معنی‌داری نشان نداد. کود زیستی سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز شد. همچنین کود شیمیایی و ورمی کمپوست به همراه کود زیستی به ترتیب سبب افزایش ۸ و ۱۲ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد گردید. مصرف به تنهایی کود زیستی سبب افزایش درصد اسانس زیره سبز شد، اما کمترین میزان آن در کاربرد ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی و شاهد مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که ورمی‌کمپوست و کود زیستی در اکثر موارد قابل رقابت با تیمار کود شیمیایی بوده، به خصوص با افزایش تنش خشکی تاثیر بیشتری را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، کاتالاز، کلروفیل a، نیتروژن برگ

مقدمه

زیره سبز با نام علمی *Cuminum cyminum L* از خانواده چتریان[۱] گیاهی یک‌ساله و از مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین گیاهان دارویی است که می‌تواند در مناطق خشک و نیمه خشک ایران در شرایط کمبود آب و با حاصلخیزی کم خاک کاشته شود. به همین دلیل در سال‌های اخیر توجه بیشتری به کاشت زیره سبز شده است و سطح زیر کشت آن افزایش پیدا کرده است (مقدم و پیربلوتی ۲۰۱۷). از آنجا که تحقیقات کمی در

[۱] Apiaceae

زمینه افزایش تولید گیاهان دارویی انجام شده است، ارائه روش‌های مناسب تولید جهت افزایش کمیت و کیفیت گیاهان دارویی حائز اهمیت می‌باشد (اشرف و اروج ۲۰۰۶). در نتیجه بررسی بسترهای کشت و نقش آن‌ها در پیش‌بینی و ارزیابی رشد و عملکرد گیاهان دارویی بسیار ضروری است (حسین و همکاران ۲۰۰۶).

گیاهان دارویی به دلیل نیاز کم به عناصر غذایی برای شروع حرکت از کشاورزی متداول به سمت کشاورزی پایدار (دوره گذار یا انتقالی) بسیار مناسب‌اند. از سوی دیگر با توجه به مشکلات زیست محیطی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای آلی می‌تواند به عنوان راهکاری در افزایش عملکرد گیاهان دارویی باشد (عطارزاده و همکاران ۲۰۱۹a). کودهای با منشا آلی نیز جایگاه قابل‌توجهی در کشاورزی پایدار به‌منظور جایگزین نمودن نهاده‌های شیمیایی دارا می‌باشد (لیم و همکاران ۲۰۱۵). ورمی‌کمپوست که در نتیجه فرایندهای هضم و تبدیل ضایعات آلی مثل کودهای دامی و بقایای گیاهی ضمن عبور از دستگاه گوارش کرم‌های خاکی به وجود می‌آید، از جمله منابع اساسی تغذیه گیاهان در نظام‌های زراعی پایدار می‌باشد. استفاده از ورمی‌کمپوست در کشاورزی پایدار در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه عمل می‌کند (علی و همکاران ۲۰۱۵). ورمی‌کمپوست با تأکید بر ترکیبات هورمونی و مواد ترشح‌کننده باعث بهبود و افزایش عملکرد گیاه می‌شود. همچنین کاربرد ورمی‌کمپوست از طریق تأثیر بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و افزایش بیان ژن‌های مسئول سبب ایجاد تحمل در برابر تنش‌های محیطی می‌شود (ایونش ۲۰۲۰). ورمی‌کمپوست سبب افزایش عملکرد کیفی در گیاهان دارویی می‌شود. اگرچه سازوکار دقیق آن کاملاً روشن نیست، ولی احتمالاً اثر آن در ارتباط با تحریک ترشح اسیدهای آلی و بیان سنتز تنظیم‌کننده‌های رشد توانسته چنین نقشی را ایفا کند (چاترویدی و پاندی ۲۰۲۰). گزارش‌شده است که افزودن ورمی‌کمپوست در بستر کشت گیاه دارویی آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) سبب افزایش فتوسنتز، وزن خشک اندام هوایی و درصد اسانس گردید (عموآقایی و گل محمدی ۲۰۱۷). ورمی‌کمپوست با نشان دادن یک پتانسیل هم‌افزایی امیدوار کننده سبب افزایش خواص فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه دارویی نعناع وحشی (*Mentha arvensis* L.) شد که منجر به عملکرد بالا و کیفیت بهتر می‌شود (چاترویدی و پاندی ۲۰۲۰). همچنین کودهای زیستی متشکل از یک یا چند ریزجاندار مفید به همراه مواد نگهدارنده و یا فراورده‌های متابولیک آن‌ها هستند که به منظور تامین عناصر غذایی گیاهان استفاده می‌شوند (ویسی ۲۰۰۳). در واقع اصطلاح کودهای زیستی شامل ریزجانداران باکتریایی و قارچی به ویژه باکتری‌های محرک رشد گیاه گویند و مواد حاصل از آن‌ها از جمله مهم‌ترین کودهای زیستی محسوب می‌شوند (عطارزاده و همکاران ۲۰۱۹a). این گروه از کودها علاوه بر افزایش فراهمی زیستی عناصر خاک از طریق تثبیت زیستی نیتروژن، محلول کردن فسفر و پتاسیم و مهار عوامل بیماری‌زا، با تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (استرزو کریستی ۲۰۰۳). کاربرد کودهای زیستی مهمترین راهبرد در مدیریت تلفیقی تغذیه‌ی گیاهی برای سیستم کشاورزی پایدار با نهاده‌ی کافی به صورت تلفیق کودهای شیمیایی با کاربرد باکتری‌های مذکور می‌باشد (بوما و همکاران ۲۰۱۵).

مشکلات زیست محیطی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی و تأثیر سویی که بر چرخه زیستی و خود پایداری بوم نظام‌های زراعی دارند از یک سو و افزایش هزینه‌های تولید بدلیل کاربرد این کودها از سوی دیگر، بررسی تاثیر بسترهای آلی بر عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی و از جمله گیاه زیره سبز را ضروری ساخته است. بنابراین به منظور رسیدن به کشاورزی پایدار توجه به استفاده بیشتر از ترکیبات آلی جهت افزایش بهره‌وری، انگیزه پژوهش حاضر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی در شهرستان فسا با عرض جغرافیایی

۲۸ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و ارتفاع حدود ۱۳۸۴ متر از سطح دریا انجام گردید. شهر فسا دارای اقلیمی نیمه خشک و زمستان نسبتاً سرد و تابستان گرم می‌باشد. فاکتورهای آزمایش شامل فاکتور اول دور آبیاری شامل سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده و فاکتور دوم شامل ۱۰۰ درصد کود شیمیایی مورد نیاز، ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی سوپرنیتروپلاس، تلقیح کود زیستی سوپرنیتروپلاس و شاهد بدون کود می‌باشد. بذرها از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. ابتدا زمین توسط گاوآهن برگرداندار شخم زده شده و بعد از آن کلوخه‌ها توسط دیسک خرد و تسطیح کامل با ماله انجام و در نهایت فاروبندی صورت گرفت. بعد از آماده‌سازی کرت‌ها، مخلوط کردن کودهای شیمیایی و ورمی‌کمپوست در تیمارهای مورد نظر انجام گردید. مشخصات خاک محل آزمایش به شرح جدول ۱ بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت	P	K	Mn	Zn	Fe	Cu	pH	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (٪)
	($mg.kg^{-1}$)								
لوم رسی	۲/۲	۱۲۱	۲/۲	۰/۶۷	۴/۵	۰/۵۵	۷/۴	۱/۰۲	۰/۶۸

کاشت در تاریخ ۱ اسفند در کرت‌هایی به ابعاد ۳×۴ متر انجام و در هر کرت ۶ ردیف کشت گردید. تراکم در نظر گرفته شده ۵۰ بوته در متر مربع بود. کاشت بصورت جوی و پشته‌ای و در دو طرف پشته‌ها و فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر انجام شد (سعیدنژاد و رضوانی‌مقدم، ۲۰۱۰). در مدت زمان کاشت تا برداشت محصول کنترل علف‌های هرز بصورت وجین دستی انجام گرفت. قبل از کاشت، کودهای زیستی سوپرنیتروپلاس (۱ لیتر در هکتار) به صورت بذرمال استفاده شدند. به این صورت که ابتدا بذرهای مصرفی با توجه به مساحت مورد نیاز روی یک پلاستیک تمیز ریخته شدند. سپس کود سوپرنیتروپلاس به تدریج و با استفاده از آبپاش روی بذرها پاشیده شدند. کودهای زیستی مورد استفاده در این پژوهش از شرکت فن آوری زیستی مهر آسیا تهیه گردید. غلظت باکتری‌های گروه تثبیت کننده ازت و محرک رشد در کود زیستی سوپرنیتروپلاس 10^8 در هر گرم یا میلی لیتر و 10^8 اسپور و سلول زنده *Bacillus subtilis* می‌باشد. پس از اختلاط کامل، بذرهای تلقیح شده را در سایه پهن کرده و پس از خشک شدن آنها، بذر آماده کشت شد. لازم به ذکر است که تمامی عملیات اختلاط بذر با کود زیستی و خشک کردن آن در سایه و دور از تابش مستقیم آفتاب انجام گردید. در تیمار کود شیمیایی به مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار اوره به‌صورت تقسیط در سه نوبت (در مرحله شش برگی، ساقه‌دهی و شروع گلدهی) و ۴۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۴۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم استفاده شد. بعد از کاشت بذرها، تمام کرت‌های مذبور آبیاری گردید. آبیاری دوم برای تمامی تیمارها براساس تیمار آبیاری شاهد بصورت ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی انجام شد. پس از سبز شدن بوته‌های زیره سبز تیمارهای آبیاری اعمال شد. تیمارهای آبیاری براساس درصد تخلیه رطوبت آب قابل استفاده خاک در عمق توسعه ریشه اعمال شد. رطوبت تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده خاک به عنوان تیمار شاهد و سایر تیمارها شامل آبیاری تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده و تخلیه ۷۵ درصد آب قابل استفاده خاک بود. برای دستیابی به این تیمارها زمان‌های آبیاری مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی از طریق نمونه‌گیری‌های مکرر و روزانه خاک از عمق توسعه ریشه در وسط هر کرت در هر تکرار به منظور رسیدن به رطوبت لازم برای سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده انجام گردید. برای آبیاری کرت‌های آزمایشی از سامانه آبیاری که شامل یک پمپ الکتریکی و لوله پی

وی سی است و به صورت جوی پشته‌ای انجام گردید. مقدار آب مصرفی برای هر کرت با در نظر گرفتن رطوبت ظرفیت زراعی خاک، مساحت هر کرت و عمق توسعه ریشه بر حسب متر مکعب از طریق رابطه زیر محاسبه شد. آبیاری هر تیمار تا رسیدن به نقطه زراعی انجام شد. برای تعیین مقدار رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از دستگاه صفحه فشاری استفاده شد.

(رابطه ۱)
$$Ig = \frac{(\theta fc - \theta pwp) \times t \times \rho \times D \times A \times 100}{Ea}$$

در این رابطه، θfc میزان رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی خاک، θpwp میزان رطوبت خاک در نقطه پژمردگی، t درصد تخلیه رطوبت خاک (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد)، ρ وزن مخصوص ظاهری خاک، D عمق توسعه ریشه (متر)، A مساحت کرت (متر مربع)، Ig میزان آب آبیاری و Ea راندمان آب آبیاری می‌باشد (سانچز و همکاران ۱۹۹۸).

غلظت عناصر غذایی برگ

تعیین غلظت عناصر برگ در مرحله شروع گلدهی انجام گرفت. اندازه‌گیری نیتروژن برگ پس از هضم نمونه گیاهی براساس تیتراسیون بعد از تقطیر توسط دستگاه کجلدال مدل V40 اندازه‌گیری شد (لانگ ۱۹۵۸). برای اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم برگ، نمونه‌های برداشت شده با آب مقطر کاملاً شسته شدند و به مدت دو روز در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید. سپس یک گرم از نمونه خشک شده توزین شد و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خاکستر گردید. خاکستر مورد نظر بعد از اضافه کردن ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال روی هیتر قرار داده و با شروع جوشیدن، محلول حاصل از کاغذ صافی ۱۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس حجم نمونه‌ها توسط آب دوبار تقطیر شده به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. در عصاره به‌دست آمده، غلظت فسفر با استفاده از رنگ سنجی با معرف مولیبدات-واندات توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Vis 2100 در طول موج ۴۲۰ نانومتر و پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل 620G اندازه‌گیری شد (جونز و همکاران ۱۹۹۱).

صفات فیزیولوژیکی

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل a و b برگ‌های بالغ و کاملاً توسعه یافته در مرحله شروع گلدهی زیره سبز انتخاب گردید و با استفاده از روش آرنون (۱۹۴۹) عصاره برگی تهیه و سپس میزان جذب نور عصاره تهیه شده از نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Cintra 5, Australia) قرائت شد و با استفاده از رابطه ۲ و ۳ بدست آمد.

(رابطه ۲)
$$\text{Chlorophyll a} = (mgg^{-1}) = (12.7 \times OD_{663}) - (2.69 \times OD_{645}) \times V/1000 \times W$$

(رابطه ۳)
$$\text{Chlorophyll b} = (mgg^{-1}) = (22.9 \times OD_{645}) - (4.68 OD_{663}) \times V/1000 \times W$$

در این رابطه‌ها، V حجم نمونه، OD میزان جذب، W وزن تر نمونه است.

جهت اندازه‌گیری محتوای آب نسبی برگ‌ها از هر تیمار سه برگ جوان کاملا باز شده و شاداب انتخاب شد، همچنین نمونه‌برداری اول صبح و قبل از طلوع آفتاب انجام گرفت. محتوای آب نسبی برگ‌ها با استفاده از رابطه زیر مقدار آن محاسبه گردید.

محتوای آب نسبی برگ = ((FW - DW) / (TW - DW)) × ۱۰۰

که در آن FW وزن تازه‌ی بافت برگ، DW وزن خشک بافت برگ، TW وزن آماس یافته بافت برگ است. جهت نمونه‌برداری از برگ‌های جوان و سالم استفاده شد، به این صورت که در ابتدای روز توسط

قیچی قطعاتی تقریباً به یک اندازه از برگ جدا و با ترازو (دقت ۰/۰۰۱ گرم) وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن آماس یافته‌ی برگ، برگها در ظروف پتری‌دیش سربسته و حاوی آب مقطر در محلی تاریک با دمای ثابت به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. سپس رطوبت سطحی برگ‌ها با کاغذ واتمن شماره یک گرفته شد و وزن آماس محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک، برگ‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن شد. سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز به روش قناتی و همکاران (۲۰۰۲) به صورت افزایش جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر در دقیقه به ازای هر میکروگرم پروتئین در میلی‌گرم وزن تر برگ می‌باشد. سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز به روش ککمک و هورست (۱۹۹۱) در طول موج ۲۴۰ نانومتر و توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد و به ازای هر میکروگرم پروتئین در عصاره آنزیمی بیان گردید.

عملکرد کمی و کیفی

جهت اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک ابتدا اندام هوایی را از ریشه جدا کرده و پس از شستشو با آب مقطر، کاملا خشک گردید. در مرحله بعد آن‌ها را بطور جداگانه داخل پاکت قرار داده شد و سپس درون آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. بعد از خشک شدن به وسیله ترازو، وزن خشک آنها بطور جداگانه تعیین شد. برای تعیین عملکرد دانه پس از حذف دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدای کرت و نیم متر از انتهای کرت به عنوان اثر حاشیه‌ای بوته‌های موجود برداشت شده و عملکرد دانه محاسبه شد. همچنین در پایان فصل رشد اجزای عملکرد زیره سبز محاسبه شد. برای تعیین اجزای عملکرد در هنگام برداشت ۱۰ بوته بطور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه محاسبه شد. از دانه‌های برداشت شده در هر کرت به طور تصادفی ۵۰ گرم نمونه برداشت شده و برای تعیین درصد اسانس مورد استفاده قرار گرفت. به منظور استخراج اسانس از نمونه‌های تهیه شده از روش تقطیر با بخار آب توسط دستگاه کلونجر استفاده شده و درصد اسانس مربوط به هر نمونه تعیین گردید.

نتایج و بحث

محتوای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به محتوای نیتروژن برگ زیره سبز نشان داد که اثر فواصل آبیاری و کود بر محتوای نیتروژن برگ معنی‌دار بود. همچنین اثر برهمکنش فواصل آبیاری و کود محتوای نیتروژن برگ را در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر قرار داد (جدول ۲). در آبیاری ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، بیشترین میزان نیتروژن برگ در کود شیمیایی به میزان ۲/۶۲ درصد مشاهده گردید که نسبت به کود ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی (۲/۴۲ درصد) اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). در آبیاری ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی، استفاده از کود ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی مشابه با کود شیمیایی سبب افزایش معنی‌دار نیتروژن برگ نسبت به شاهد شده است. همچنین مصرف به تنهایی کود ورمی کمپوست و کود زیستی در سطح پایین‌تر توانسته غلظت نیتروژن برگ را بهبود دهد. با افزایش فواصل آبیاری به ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، کود شیمیایی در سطح پایین‌تر از کود ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی توانسته غلظت نیتروژن برگ را افزایش دهد (جدول ۳).

اثر فواصل آبیاری و کود بر محتوای فسفر برگ معنی‌دار بود، اما برهمکنش تیمارهای آزمایشی نتوانست فسفر برگ را تحت تاثیر قرار دهد (جدول ۲). افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش میزان فسفر برگ شد. همچنین میزان فسفر برگ با آبیاری بین ۲۵ تا ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). از سوی دیگر بیشترین

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد بررسی

منابع تغییر	درجه آزادی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلروفیل a	کلروفیل b	محتوای نسبی آب برگ	کاتالاز	آسکوربات پراکسیداز
تکرار	۲	۰/۰۷۵ *	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۴۸ ns	۰/۱۳۳ *	۰/۹۲۸ **	۸۹/۱ ns	۰/۱۶۶ **	۰/۹۵۵ **
فواصل آبیاری	۲	۰/۷۱۷ **	۰/۰۰۰۶ **	۰/۰۵۵ ns	۰/۱۸۵ ns	۰/۰۲۰ ns	۳/۸۳ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۰۱۸ ns
خطای a	۴	۰/۰۶۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۲	۰/۳۵۹	۰/۰۵۳	۲۲/۸	۰/۰۰۳	۰/۰۲۱
کود	۴	۱/۳۴۵ **	۰/۰۰۰۹ **	۰/۰۰۳ ns	۰/۱۸۱ *	۰/۱۹۱ **	۲۰۸/۶ **	۰/۰۵۶ **	۰/۲۶۰ **
فواصل آبیاری× کود	۸	۰/۰۴۲ *	۰/۰۰۰۰۲ ns	۰/۰۰۷ ns	۰/۱۶ **	۰/۰۷۸ **	۶۸/۴۵ *	۰/۰۱۷۵ **	۰/۰۷۳ **
خطای b	۲۴	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۱۱	۰/۰۶۴	۰/۰۲۱	۳۰/۳۹	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۶۷
ضریب تغییرات (%)	_	۶/۴	۱۳/۵	۸/۶	۱۰/۴	۱۵/۷	۸/۷	۱۰/۹	۷/۸

*، ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۰/۰۵ ، ۰/۰۱ و ns عدم تفاوت معنی دار می باشد.

میزان غلظت فسفر در برگ زیره سبز به ترتیب با میزان ۰/۲۴۰ و ۰/۲۳۲ درصد در تیمار ۱۰۰ درصد شیمیایی و کود ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی بدست آمد (جدول ۵).

اثر فواصل آبیاری و کود بر مقدار پتاسیم برگ معنی‌دار نبود، همچنین این صفت تحت تأثیر برهمکنش عوامل آزمایشی قرار نگرفت (جدول ۲).

تنش شدید خشکی از طریق اختلال در جذب و انتقال عناصر غذایی درون آوندهای گیاه می‌تواند محتوای عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار دهد (دوتانیا و منا ۲۰۱۵). در تایید این مدعا نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش میزان نیتروژن و فسفر برگ شد. از سوی دیگر استفاده از کودهای با منشا آلی در شرایط تنش خشکی، سبب افزایش جذب نیتروژن و فسفر از خاک شد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کودهای استفاده شده محتوای عناصر غذایی را افزایش داده است. استفاده از کودهای آلی با بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و فراهمی تدریجی عناصر غذایی سبب افزایش جذب عناصر غذایی شده است (مدیچ و همکاران ۲۰۲۰). استفاده از کودهای آلی بالاخص در شرایط تنش خشکی، سبب بهبود محیط رشد و جذب بهتر عناصر غذایی از جمله نیتروژن و پتاسیم برای سایر گیاهان می‌گردد (بهامین و همکاران ۲۰۱۹). محققان گزارش کردند که کودهای آلی و زیستی معمولا از طریق ترشح اسیدهای آلی و آنزیم های فسفاتاز، شکل‌های نامحلول معدنی و آلی عناصر غذایی را به شکل های قابل جذب تبدیل می کنند (عطارزاده و همکاران ۲۰۱۹b). در هر حال به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی، استفاده از کودهای آلی با افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی نسبت به کودهای شیمیایی موثرتر خواهد بود (مریدی و همکاران ۲۰۱۹).

کلروفیل a و b

اثر کود و اثر برهمکنش تنش خشکی و کود بر کلروفیل a و b در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در سطح ۲۵ درصد تخلیه رطوبت، بیشترین میزان کلروفیل a زیره سبز در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی با میانگین ۳/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده گردید، اما کمترین مقدار این صفت در شاهد با میانگین ۲/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بدست آمد (جدول ۳). در سطح فوق، کاربرد ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی با ترکیبات کود ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی و کود زیستی فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بود؛ اما با سطح شاهد تفاوت معنی‌داری داشت. در ۵۰ درصد تخلیه رطوبت، بیشترین میزان کلروفیل a در

ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی بود که نسبت به ورمی‌کمپوست و ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی اختلاف معنی‌داری نشان نداد، اما با کود زیستی و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۳). نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که در تیمار کودی ورمی‌کمپوست و ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی، توانسته سبب تعدیل تنش خشکی گردد. بطوری‌که در این تیمارهای کودی میزان کلروفیل a زیره سبز در ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد، اما کود ۱۰۰ درصد شیمیایی، کود زیستی و شاهد با افزایش تنش سبب کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل a گردید.

در سطح ۲۵ درصد تخلیه رطوبت، بیشترین میزان کلروفیل b برگ زیره سبز در شرایط ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی با میانگین ۱/۳۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مشاهده گردید که با ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی (۱/۱۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) معنی‌داری از لحاظ آماری نشان نداد (جدول ۳). در ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبت، بیشترین میزان کلروفیل b برگ در ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی بود که نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد، اما با سطوح دیگر کود زیستی و آلی اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش فواصل آبیاری و کود بر نیتروژن برگ، کلروفیل a، کلروفیل b، محتوای نسبی آب برگ و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز زیره سبز.

فواصل آبیاری	کود	نیتروژن برگ (٪)	کلروفیل a ($mg.g^{-1}$ FW) (leaf	کلروفیل b ($mg.g^{-1}$ FW) (leaf	محتوای نسبی آب برگ (٪)	کاتالاز (میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین)	آسکوربات پراکسیداز (میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین)
۲۵ درصد تخلیه رطوبت	۱۰۰ درصد شیمیایی	۲/۶۲ a	۳/۱۷ a	۱/۱۲ ab	۷۸/۳ a	۰/۱۹ g	۰/۸۶ g
	ورمی‌کمپوست	۲/۳۳ bcd	۲/۷۰ bcde	۰/۹۷ bcd	۷۷/۲ ab	۰/۲۴ fg	۰/۹۵ efg
	ورمی‌کمپوست+ کود زیستی	۲/۴۹ ab	۳/۰۰ abc	۱/۳۰ a	۸۰/۶ a	۰/۲۵ fg	۱/۰۲ defg
	کود زیستی	۲/۲۳ bcd	۲/۸۹ abcd	۰/۹۲ bcde	۷۱/۸ abc	۰/۲۹ ef	۱/۰۸ de
	شاهد	۱/۸۱ f	۲/۵۸ cde	۰/۸۳ cdef	۶۵/۰ cde	۰/۲۲ g	۰/۸۷ fg
۵۰ درصد تخلیه رطوبت	۱۰۰ درصد شیمیایی	۲/۳۲ bcd	۲/۶۸ bcde	۰/۸۳ cdef	۵۹/۶ def	۰/۳۰ ef	۱/۰۳ def
	ورمی‌کمپوست	۲/۳۶ bc	۲/۸۹ abcd	۱/۰۴ bc	۶۵/۲ cde	۰/۳۸ cd	۱/۱۸ cd
	ورمی‌کمپوست+ کود زیستی	۲/۴۳ ab	۳/۰۰ ab	۱/۰۸ abc	۶۷/۶ bcd	۰/۴۵ b	۱/۲۸ bc
	کود زیستی	۲/۱۰ cde	۲/۴۹ de	۰/۸۸ bcdef	۶۳/۴ cde	۰/۴۶ b	۱/۴۱ ab
	شاهد	۱/۳۹ g	۲/۵۸ cde	۰/۶۹ ef	۵۵/۸ ef	۰/۳۲ de	۱/۰۳ def
۷۵ درصد تخلیه رطوبت	۱۰۰ درصد شیمیایی	۱/۹۸ ef	۲/۴۶ de	۰/۷۶ def	۵۱/۷ f	۰/۳۵ cde	۱/۱۱ de
	ورمی‌کمپوست	۲/۰۹ de	۲/۶۸ bcde	۰/۸۶ cdef	۵۹/۶ def	۰/۴۸ b	۱/۳۴ b
	ورمی‌کمپوست+ کود زیستی	۲/۲۷ bcd	۲/۶۲ bcde	۱/۰۱ bcd	۵۴/۹ ef	۰/۵۹ a	۱/۵۲ a
	کود زیستی	۱/۸۶ ef	۲/۲۹ ef	۰/۸۳ cdef	۵۰/۲ f	۰/۵۹ a	۱/۵۴ a
	شاهد	۱/۱۱ h	۱/۹۹ f	۰/۶۶ f	۳۹/۹ g	۰/۳۹ c	۱/۱۵ cd

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

بررسی اثر فواصل مختلف آبیاری نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی از میزان محتوای کلروفیل گیاه زیره سبز کاسته شد. در واقع حمله رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش اکسیدکننده عاملی بر کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (خسرونژاد و همکاران ۲۰۱۸). از سوی دیگر به نظر می‌رسد مصرف منابع کودی آلی از طریق توسعه رشد ریشه و افزایش فراهم کردن سطح جذب عناصر غذایی، موجب افزایش محتوای کلروفیل در گیاه زیره سبز شده است. محققان اظهار داشتند که با افزایش فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو و غلظت نیتروژن برگ، کلروفیل برگ افزایش می‌یابد (حسین نژاد و همکاران ۲۰۱۶). بالطبع مصرف کود شیمیایی از طریق افزایش غلظت نیتروژن (عطارزاده و همکاران ۲۰۱۹b) می‌تواند تا حدودی سبب افزایش کلروفیل برگ گردد. افزایش محتوای کلروفیل به وسیله کودهای آلی و زیستی توسط سایر پژوهشگران هم گزارش شده است (وفادار و همکاران ۲۰۱۴ و باسیت و همکاران ۲۰۱۰). بنابراین استفاده از کودهای آلی قادر به حفظ تثبیت دی اکسید کربن و فتوسنتز بالاتر و محافظت از کلروپلاست در شرایط تنش‌های محیطی هستند (هان و لی ۲۰۰۵).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر فواصل آبیاری بر فسفر برگ و عملکرد دانه زیره سبز.

فواصل آبیاری	فسفر برگ (٪)	عملکرد دانه ($Kg.ha^{-1}$)
۲۵ درصد تخلیه رطوبت	۰/۲۳۲ a	۴۶۰ a
۵۰ درصد تخلیه رطوبت	۰/۲۲۸ ab	۴۳۹ a
۷۵ درصد تخلیه رطوبت	۰/۲۱۹ b	۳۹۴ b

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر کود بر فسفر برگ و عملکرد دانه زیره سبز

کود	فسفر برگ (%)	عملکرد دانه ($kg.ha^{-1}$)
۱۰۰ درصد شیمیایی	۰/۲۴۰ a	۴۳۶ a
ورمی‌کمپوست	۰/۲۲۴ bc	۴۳۵ a
ورمی‌کمپوست+ کود زیستی	۰/۲۳۲ ab	۴۴۹ a
کود زیستی	۰/۲۲۱ c	۴۲۴ ab
شاهد	۰/۲۱۳ d	۴۰۲ b

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

محتوای نسبی آب برگ

اثر کود و اثر برهمکنش تنش خشکی و کود بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در سطح ۲۵ درصد تخلیه رطوبت، محتوای نسبی آب برگ در شرایط ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی با میانگین ۸۰/۶ درصد مشاهده گردید که نسبت به شاهد (۶۵ درصد) افزایش معنی‌داری از لحاظ آماری

نشان داد، اما با ترکیبات دیگر کودهای آلی و زیستی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۳). همچنین در ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبت، بیشترین محتوای نسبی آب برگ در ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی بود که نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان داد، اما با سطوح دیگر کود زیستی و آلی اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). ترکیبات کود آلی و زیستی سبب حفظ محتوای نسبی آب برگ از طریق کنترل هدایت روزنه‌ای و تنظیم اسمزی می‌گردد که این را می‌توان به عنوان یک راهبرد کارآمد برای بهبود رشد گیاه در تنش‌های شدید خشکی در نظر گرفت (اورتیز و همکاران ۲۰۱۵). پژوهشگران دیگری هم نتایج مشابهی برای بهبود وضعیت جذب عناصر غذایی و توانایی بیشتر در جذب آب را در استفاده از کودهای زیستی گزارش کرده‌اند (اسمیت و رید ۲۰۰۸). گزارش شده است که کودهای با منشا آلی می‌تواند از طریق توسعه ریشه برای جذب و انتقال آب به ساقه و سرعت بخشیدن به هدایت آب در برگ‌های گیاه انجام گیرد (زآو و همکاران ۲۰۱۵). در نتیجه استفاده از ترکیبات کودهای آلی و زیستی با بهبود جذب عناصر غذایی، دسترسی بهتر و سریعتر به رطوبت و تنظیم اسمزی تا حدودی از عوارض تنش خشکی می‌کاهد (مریدی و همکاران ۲۰۱۹).

کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز

اثر کود و اثر برهمکنش تنش خشکی و کود بر آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در سطح ۲۵ درصد تخلیه رطوبت، آنزیم کاتالاز در کود زیستی با میانگین ۰/۲۹ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین مشاهده گردید که نسبت به شاهد و ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی (به‌ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۱۹ میکرومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) افزایش معنی‌داری از لحاظ آماری نشان داد، اما با ترکیبات دیگر ورمی‌کمپوست و زیستی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۳). همچنین در ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبت، بیشترین آنزیم کاتالاز در کود زیستی بود که نسبت به ترکیب کودی ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی اختلاف معنی‌داری نشان نداد، اما کمترین میزان آن در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی مشاهده گردید (جدول ۳). نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش تنش خشکی، سبب افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز زیره سبز شده است.

مشابه با آنزیم کاتالاز در سطوح مختلف آبیاری، بیشترین آنتی‌اکسیدانی آسکوربات پراکسیداز در کود زیستی بود که نسبت به ترکیب کودی ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی اختلاف معنی‌داری نشان نداد. پس از آن تیمار ورمی‌کمپوست دارای بیشترین فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز بود. همچنین کمترین میزان آن در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی مشاهده گردید (جدول ۳).

تنش‌های محیطی منجر به افزایش تولید و تجمع رادیکال‌های فعال می‌شود که به نوبه خود اکسید شدن پروتئین‌ها و لیپیدها را بدنبال دارد. در نتیجه تخریب غشاء سلولی سبب افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به خصوص در شرایط تنش‌های شدید محیطی می‌شود (گارسیا-کاپروس و همکاران ۲۰۱۹). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به عنوان یک سد دفاعی در برابر تنش‌های وارده به گیاه عمل می‌کند (پینگروپی و همکاران ۲۰۱۲). میزان افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان در گیاهان متحمل به تنش عموماً بیشتر بوده و ارتباط بسیار زیادی بین تحمل به تنش خشکی با فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان دارد (کوسرا و همکاران ۲۰۱۵). محققان گزارش کرده‌اند که میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در گیاهچه‌ی برنج تیمار شده با ترکیبات زیستی تحت تنش خشکی افزایش می‌یابد و این آنزیم‌ها می‌تواند میزان تولید گونه اکسیژن فعال را کاهش دهد (گوسین و همکاران ۲۰۱۴). محققان گزارش کردند که کودهای آلی با جذب عناصر غذایی سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدان و پایداری غشای پلاسمایی گیاهان میزبان می‌شود (عطارزاده و همکاران ۲۰۱۹a).

عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه

اثر تنش خشکی و کود بر عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه معنی‌دار بود، همچنین عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر اثر برهمکنش عوامل آزمایشی قرار گرفت (جدول ۶). در سطح ۲۵ درصد تخلیه رطوبت، عملکرد بیولوژیک زیره سبز در ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی نسبت به شاهد بدون کود افزایش ۲۷ درصدی نشان داد، اما نسبت به کود ورمی کمپوست به تنهایی و همراه با کود زیستی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۷). در ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبت، بیشترین عملکرد بیولوژیک در ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی بود که نسبت به ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی و ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نشان نداد، اما با کود زیستی و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده گردید (جدول ۷). در نتیجه چنانچه آبیاری زیره سبز بطور کامل انجام شود، ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی تأثیر بیشتری بر افزایش عملکرد بیولوژیک داشت، در حالی‌که با اعمال تنش کم آبی، ترکیبات آلی همراه با زیستی بیش از کود شیمیایی تاثیرگذار بود.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات مورد بررسی

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	چتر در بوته	دانه در بوته	وزن هزار دانه	درصد اسانس
تکرار	۲	۱۵۲۵۹ **	۵۵۴۲ **	۵۱/۴ **	۲۳۰۲/۲ **	۰/۳۱۰ **	۴/۳۸۲ **
فواصل آبیاری	۲	۶۲۶۶ *	۲۰۵۴۲ **	۰/۹۰۰ ns	۱۳۸۴/۶ **	۰/۰۶۹ *	۰/۹۶۱ **
خطای a	۴	۳۳۵۷۱	۲۴۰۹	۱/۳۶۶۶	۱۶۶/۶	۰/۰۴۰	۰/۳۴۰
کود	۴	۲۷۲۷۶ **	۲۷۹۱ **	۱۱/۸۳۷ **	۹۷۹/۶ **	۰/۲۸۳ **	۰/۶۱۷ **
فواصل آبیاری× کود	۸	۸۰۱۵ *	۲۷۱ ns	۴/۸۲ **	۵۷۴/۲ **	۰/۱۰۵ **	۰/۲۶۸ **
خطای b	۲۴	۱۳۷۰	۶۵۹	۰/۹۰۹	۱۰۸/۷	۰/۱۶۸	۰/۰۴۷۰
ضریب تغییرات (%)	_	۱۵/۱	۱۳/۷	۷/۵	۸/۷	۵/۲	۱۲/۲

*، ** به ترتیب نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۰/۰۵ ، ۰/۰۱ و ns عدم تفاوت معنی دار می‌باشد.

افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش عملکرد دانه شد. میزان عملکرد دانه با آبیاری بین ۲۵ تا ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). از سوی دیگر عملکرد دانه زیره سبز در سطوح مختلف کودی نسبت به شاهد (بدون کود) افزایش معنی‌داری نشان داد، هرچند که بین سطوح کود شیمیایی نسبت به کود آلی و زیستی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

تنش خشکی ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی سبب اختلال در جذب عناصر غذایی و صفات فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده در گیاه زیره سبز گردید. بنابراین کاهش عملکرد بیولوژیکی و دانه در تنش شدید خشکی دور از انتظار نبود. از سوی دیگر استفاده از ترکیبات کودی آلی و زیستی با افزایش رشد ریشه‌ها باعث افزایش فراهمی آب و عناصر غذایی شده و رشد رویشی و زایشی گیاه را افزایش داده و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک می‌گردد (عطارزاده و همکاران b۲۰۱۹). کودهای با منشا آلی به واسطه بهبود محتوای کلروفیل سبب افزایش تولیدات فتوسنتزی شده که در نتیجه سبب بهبود رشد گیاهان می‌گردد (چاتزیستیز و همکاران ۲۰۲۰). گزارش شده که کودهای زیستی از طریق بهبود جذب عناصر غذایی سبب تحریک رشد گیاهان می‌گردد (هان و لی ۲۰۰۵). همچنین عنوان شده است که کودهای زیستی از طریق تولید هورمون های تحریک کننده رشد گیاه به ویژه اکسین، سیتوکینین و جیبرلین رشد و نمو گیاهان را تحت تاثیر قرار داده و باعث افزایش شاخص‌های رشدی می‌شوند (لوسی و همکاران ۲۰۰۴). افزایش رشد و عملکرد دانه در گیاه دارویی زنیان (*Trachyspermum copticum*) به وسیله کودهای آلی و زیستی در شرایط تنش خشکی توسط

سایر پژوهشگران گزارش شده است (غائبی و همکاران ۲۰۱۸).

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش فواصل آبیاری و کود بر عملکرد بیولوژیک، چتر در بوته، دانه در بوته، وزن هزار دانه و درصد اسانس

فواصل آبیاری	کود	عملکرد بیولوژیک ($kg.ha^{-1}$)	چتر در بوته	دانه در بوته	وزن هزار دانه (g)	درصد اسانس
	۱۰۰ درصد شیمیایی	۱۰۴۶ a	۱۸/۰ a	۱۶۴ a	۲/۹ a	۳/۵ j
۲۵ درصد	ورمی‌کمپوست	۹۹۰ ab	۱۵/۶ bcd	۱۴۷ bcd	۲/۶ c	۳/۸ hij
تخلیه رطوبت	ورمی‌کمپوست+ کود زیستی	۱۰۲۴ ab	۱۶/۳ bc	۱۶۴ a	۲/۹ a	۴/۰ fghi
	کود زیستی	۸۶۳ cde	۱۵/۰ de	۱۵۷ ab	۲/۴ cd	۴/۴ def
	شاهد	۸۲۱ def	۱۴/۰ ef	۱۴۹ bcd	۲/۲ e	۳/۸ hij
	۱۰۰ درصد شیمیایی	۹۷۷ abc	۱۶/۳ bc	۱۵۲ abc	۲/۷ b	۳/۶ ij
۵۰ درصد	ورمی‌کمپوست	۹۱۹ bdc	۱۵/۳ cd	۱۴۲ cde	۲/۴ cd	۴/۰ fghi
تخلیه رطوبت	ورمی‌کمپوست+ کود زیستی	۱۰۰۱ ab	۱۶/۶ b	۱۵۷ ab	۲/۸ ab	۴/۲ efg
	کود زیستی	۸۱۴ ef	۱۳/۳ fg	۱۳۷ ef	۲/۴ cd	۴/۷ cd
	شاهد	۷۷۷ efg	۱۲/۳ g	۱۲۵ fg	۲/۲ e	۴/۱ ghf
	۱۰۰ درصد شیمیایی	۸۴۴ def	۱۳/۰ fg	۱۰۶ h	۲/۲ e	۴/۶ cde
۷۵ درصد	ورمی‌کمپوست	۸۴۷ def	۱۴/۰ ef	۱۲۱ g	۲/۳ de	۴/۸ bc
تخلیه رطوبت	ورمی‌کمپوست+ کود زیستی	۸۷۱ cde	۱۶/۰ bcd	۱۳۰ efg	۲/۵ cd	۵/۲ b
	کود زیستی	۷۲۸ fg	۱۲/۶ g	۹۲ i	۲/۳ de	۵/۷ a
	شاهد	۶۹۱ g	۱۰/۳ h	۷۶ j	۲/۰۳ f	۴/۹ bc

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

اجزای عملکرد

اثر آبیاری و کود و اثر برهمکنش آنها بر چتر در بوته، دانه در بوته و وزن هزار دانه زیره سبز معنی‌دار بود (جدول ۶). در ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، چتر در بوته زیره سبز در ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی ۱۸ عدد بود که نسبت به سطوح مختلف کودی دیگر و شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۷). همچنین پس از ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی، در بین تیمارهای کود زیستی و آلی بیشترین چتر در بوته در ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی با میانگین ۱۶/۳ عدد بود. در ۵۰ درصد تخلیه رطوبت، بیشترین چتر در بوته در ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی بود که نسبت به ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی اختلاف معنی‌داری نشان نداد. همچنین تعداد چتر در بوته زیره سبز در تیمار کودی ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی، در ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی نسبت به سطوح ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی اختلاف معنی‌داری را نشان نداد.

در ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبت، تعداد دانه در بوته زیره سبز در ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد، اما نسبت به ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۷). در ۷۵ درصد تخلیه رطوبت، بیشترین تعداد دانه در بوته در ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی بود که نسبت به مصرف به تنهایی ورمی کمپوست اختلاف معنی‌داری نشان نداد. همچنین کمترین تعداد دانه در بوته در شاهد بدست آمد (جدول ۷).

در شرایط ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبت، بیشترین وزن هزار دانه زیره سبز در تیمارهای کودی

۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی و ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی مشاهده شد. همچنین کمترین وزن هزار دانه زیره سبز در شاهد مشاهده گردید (جدول ۷). در ۷۵ درصد تخلیه رطوبت، بیشترین وزن هزار دانه در ورمی‌کمپوست همراه با کود زیستی بود که نسبت به تیمار مصرف به تنهایی ورمی کمپوست و کود زیستی اختلاف معنی‌داری نشان نداد.

بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه در اثر مصرف کود شیمیایی باعث افزایش قدرت رشد گیاه، افزایش تعداد چتر در بوته و در نتیجه آن افزایش تعداد دانه در بوته شده است. از سوی دیگر به‌دلیل استفاده از تیمارهای کودی زیستی و آلی که سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب و بهبود ساختمان گرانوله‌ای خاک، افزایش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و آزاد سازی عناصر غذایی موجود در کلوئیدهای خاک می‌شوند (گرینلر و همکاران ۲۰۰۸) که در نتیجه آن سبب افزایش رشد و تعداد چتر در بوته و در نهایت سبب افزایش تعداد دانه در بوته شده است. همچنین با افزایش تنش خشکی نقش ترکیبات آلی و زیستی موثرتر از کود شیمیایی بوده است. فروزنده و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که کود آلی ورمی‌کمپوست با آزادسازی عناصر به ویژه نیتروژن، سبب افزایش رشد و وزن هزاردانه نسبت به شاهد می‌گردد. محققان گزارش کردند که عملکرد و اجزای عملکرد اسفرزه با کاربرد کودهای آلی و شیمیایی افزایش معنی‌داری داشت (سینک و همکاران ۲۰۱۴).

درصد اسانس

اثر تنش خشکی و کود و اثر برهمکنش آنها بر درصد اسانس زیره سبز معنی‌دار بود (جدول ۶). در سطح ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، بیشترین درصد اسانس زیره سبز در کود زیستی با میانگین ۴/۴ بدست آمد که نسب به کود ورمی کمپوست همراه با کود زیستی اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۷). در سطح فوق، کمترین میزان درصد اسانس در کاربرد ۱۰۰ درصد نیاز شیمیایی و شاهد مشاهده شد. در ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، بیشترین درصد اسانس در کود زیستی بدست آمد که نسبت سطوح دیگر تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری نشان داد. همچنین در سطح پایینتر کود ورمی کمپوست همراه با کود زیستی، توانست سبب بهبود درصد اسانس در زیره سبز شود (جدول ۷). همچنین نتایج بدست آمده نشان داد که با اعمال تنش ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، سبب افزایش درصد اسانس زیره سبز گردید. تنش در اکثر گیاهان دارویی سبب افزایش تولید مواد ثانویه (اسانس) می‌گردد و از آن‌جایی که تشکیل و تجمع اسانس، در گیاهان تحت شرایط محیطی خشک تمایل به افزایش نشان می‌دهد پس بنابراین تنش خشکی یکی از عوامل اصلی در افزایش درصد اسانس در اکثر گیاهان دارویی است (بانیان و همکاران ۲۰۰۸). در توافق با برخی دیگر تحقیقات، افزایش برخی ترکیبات ثانویه، در تحمل با شرایط تنش خشکی مرتبط است (شیاپرو و همکاران ۲۰۱۹). از سوی دیگر کودهای آلی با افزایش جذب عناصر غذایی و بیوسنتز هورمون‌های گیاهی سبب بهبود رشد و افزایش ترکیبات فنلی در گیاهان می‌گردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (اعتصامی و ماهیشوری ۲۰۱۸). گزارش شده است که کودهای آلی سبب بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و فراهمی تدریجی عناصر غذایی می‌شود، بنابراین در تولید اسانس در گیاهان دارویی نقش بسزایی دارند (غائبی و همکاران ۲۰۱۸ و عطارزاده و همکاران ۲۰۲۰).

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که زیره سبز تا حدودی توانسته تنش ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی را تحمل نماید، اما تأثیر منفی تنش خشکی با افزایش آن (۷۵ درصد تخلیه رطوبت) شدت بیشتری پیدا کرده که در نهایت باعث کاهش تولید عملکرد بیولوژیک و دانه گردید. همچنین تاثیر مثبت استفاده از ورمی‌کمپوست و کود زیستی نیتروپلاس چه بصورت تلفیقی و چه بصورت تنهایی سبب افزایش رشد و بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی و فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی شده است. این تیمارها علاوه بر تامین نیازهای غذایی گیاه، سبب بهبود محتوای کلروفیل شده است. تیمارهای کود آلی و زیستی در اکثر موارد قابل رقابت با تیمار کود شیمیایی بوده، به خصوص با افزایش تنش خشکی تاثیر

بیشتری را نشان دادند که نشان دهنده لزوم توجه بیشتر به آنها در سیستم‌های کشاورزی می‌باشد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا، ایران که صمیمانه ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر می‌نماییم.

منابع مورد استفاده

Ali U, Sajid N, Khalid A, Riaz L, Rabbani MM, Syed JH and Malik RN. 2015. A review on vermicomposting of organic wastes. Environmental Progress and Sustainable Energy, 34: 1050-1062.

Amooaghaie R and Golmohammadi S. 2017. Effect of vermicompost on growth, essential oil, and health of *Thymus vulgaris*. Compost Science and Utilization, 25: 166-177.

Arnon DE. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase (*Beta vulgaris*). Plant Physiology, 24: 1-15.

Ashraf M and Orooj A. 2006. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum ammi* L.). Journal of Arid Environments, 64: 209-220.

Attarzadeh M, Balouchi H, Rajaie M, Movahhedi Dehnavi M and Salehi A. 2019b. Growth and nutrient content of *Echinacea purpurea* as affected by the combination of phosphorus with arbuscular mycorrhizal fungus and Pseudomonas florescent bacterium under different irrigation regimes. Journal of Environmental Management, 231: 182-188.

Attarzadeh M, Balouchi H, Rajaie M, Movahhedi Dehnavi M and Salehi A. 2020. Improving growth and phenolic compounds of *Echinacea purpurea* root by integrating biological and chemical resources of phosphorus under water deficit stress. Industrial Crops and Products, 154: 112763.

Attarzadeh M, Balouchi HR, Rajaie M, Movahhedi Dehnavi M and Salehi A. 2019a. Improvement of *Echinacea purpurea* performance by integration of phosphorus with soil microorganisms under different irrigation regimes. Agricultural Water Management, 221: 238-47.

Bahamin S, Koocheki A, Nassiri Mahallati M, Beheshti SA. 2019. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative productivity of maize under drought stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences, 12: 123-139.

Bannayan M, Nadjafi F, Azizi M, Tabrizi L and Rastgoo M. 2008. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. Industrial Crops and Products, 27: 11–16.

Baset MM, Shamsuddin Z, Wahab Z, Marziah M. 2010. Effect of plant growth promoting rhizobacterial (pgpr) inoculation on growth and nitrogen incorporation of tissue-cultured'musa'plantlets under nitrogen-free hydroponics condition. Australian Journal of Crop Science, 4(2): 85.

Bauma C, El-Tohamy W and Gruda N. 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. Scientia Horticulturae, 187: 131-141.

Cakmak I and Horst JH. 1991. Effects of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). Physiologia Plantarum, 83: 463- 468.

Chaturvedi S and Pandey R. 2020. Bioinoculant with vermicompost augments essential oil constituents and antioxidants in *Mentha arvensis* L. Journal of Plant Growth Regulation, 1-14.

Chatzistathis T, Papadakis I, Papaioannou A, Chatzissavvidis C and Giannakoula A. 2020. Comparative study effects between manure application and a controlled-release fertilizer on the growth, nutrient uptake, photosystem II activity and photosynthetic rate of *Olea europaea* L. (cv. ‘Koroneiki’). Scientia Horticulturae, 264: 109176.

Chiappero J, Del Rosario Cappellari L, Alderete LGS, Palermo TB and Banchio E. 2019. Plant growth promoting rhizobacteria improve the antioxidant status in *Mentha piperita* grown under drought stress

leading to an enhancement of plant growth and total phenolic content. Industrial Crops and Products, 139: 111553.

Dotaniya ML and Meena VD. 2015. Rhizosphere effect on nutrient availability in soil and its uptake by plants: a review. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 85: 1-12.

Etesami H and Maheshwari DK. 2018. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects. Ecotoxicology and Environmental Safety, 156: 225-246.

Forouzandeh M, Karimian MA and Mohkami Z. 2014. Effect of water stress and different types of organic fertilizers on essential oil content and yield components of *cuminum cyminum*. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, 4(3): 533-536.

García-Caparrós P, Mirza H and María Teresa L. 2019. Oxidative stress and antioxidant defense in plants under salinity', reactive oxygen, nitrogen and sulfur species in plants: Production, Metabolism, Signaling and Defense Mechanisms, 291-309.

Ghaebi A, Seghatoleslami M and Mousavi G. 2018. Ajowan (*Trachyspermum copticum*) responses to organic fertilizers and bio-fertilizers under drought stress. Journal of Medicinal plants and By-product, 7: 41-48.

Ghanati F, Morita A and Yokota H. 2002. Induction of suberin and increase of lignin content by excess boron in tabacco cell. Soil Science and Plant Nutrition, 48: 357-364.

Gryndler M, Sudova R and Rydlova J. 2008. Cultivation of high-biomass crops on mine spoil banks: Can microbial inoculation compensate for high doses of organic matter. Bioresource Technology, 99: 6391-6399.

Gusain OS, Singh US and Sharma AK. 2014. Enhance activity of stress related enzymes in rice (*Oryza sativa* L.) induced by plant growth promoting fungi under drought stress. African Journal of Agricultural Research, 9(19): 1430-1434.

Han H and Lee K. 2005. Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis, mineral uptake and growth of lettuce under soil salinity. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 1(3): 210-215.

Hosseinzadeh SR, Amiri H and Ismaili A. 2016. Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Photosynthetica, 54(1): 87-92.

Hussein MS, ELSherbeny MY, Khalil Naguib NY and Aly SM. 2006. Growth characters and chemical constituents of *Dracocephalum moldavica* L. plant in relation to compost fertilizer and planting distance. Scienta Horticulture, 108(3): 322 – 331.

Ievinsh G. 2020. Review on physiological effects of vermicomposts on plants. Biology of Composts, 58: 63-86.

Jones JR, Wolf JB and Mkks HA. 1991. Plant analysis: A paractical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro and Macro publishing Inc. Athens, Georgia.

Khalid KA, Hendawy SF and El-Gezawy E. 2006. *Ocimum basilicum* L. Production under Organic Farming. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 2(1): 25-32.

Khorasaninejad S, Alizadeh Ahmadabadi A and Hemmati K 2018. The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. Scientia Horticulturae, 239: 314-323.

Kosara F, Akrama NA and Ashraf M. 2015. Exogenously-applied 5-aminolevulinic acid modulates some key physiological characteristics and antioxidative defense system in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings under water stress. South African Journal of Botany, 96: 71-77.

Lang CA. 1958. Simple micro determination of kjeldahl nitrogen in biological materials. Analytical Chemistry, 30: 1692–1694.

Lim SL Wu TY, Lim PN and Shak KPY. 2015. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. Journal of the Science of Food and Agriculture, 95: 1143-1156.

Lucy M, Reed E and Glick BR. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. Antonie van Leeuwenhoek, 86(1): 1-25.

Meddich A, Oufdou K, Boutasknit A, Raklami A, Tahiri A, Ben-Laouane R, Ait-El-Mokhtar M, Anli M, Mitsui T and Wahbi S. 2020. Use of organic and biological fertilizers as strategies to improve crop biomass, yields and physicochemical parameters of soil. Nutrient Dynamics for Sustainable Crop Production. Springer, pp. 247-288.

Moghaddam M and Pirbalouti AG. 2017. Agro-morphological and phytochemical diversity of Iranian Cuminum cyminum accessions. Industrial Crops and Products, 99: 205-213.

Moridi A, Zarei M, Moosavi AA and Ronaghi A. 2019. Influence of PGPR-enriched liquid organic fertilizers on the growth and nutrients uptake of maize under drought condition in calcareous soil. Journal of Plant Nutrition, 42: 2745-2756.

Ortiz N, Armada E, Duque E, Roldan A and Azcon R. 2015. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: Effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. Journal of Plant Physiology, 174: 87–96.

Pyngrope S, Bhoomika K and Dubey RS. 2012. Oxidative stress, protein carbonylation, proteolysis and antioxidative defense system as a model for depicting water deficit tolerance in Indica rice seedlings. Plant Growth Regulation, 69: 149-165.

Saeid Nezhad AH and Rezvani Moghadam P. 2010. Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on morphological properties, yield, yield components and essence percentage of Cumin (*Cuminum Cyminum*). Journal of Horticulture Science, 24: 38-44.

Sanchez FJ, Manzanares M, De Andres EF, Tenorio JL and Ayerbe L. 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crop Research, 59: 225-235.

Singh D, Chand S, Anvar M and Patra D. 2003. Effect of organic and inorganic amendment on growth and nutrient accumulation by Isabgol (*plantago ovata*) in sodic soil under greenhouse conditions. International Journal of Plant Sciences, 25: 414- 419.

Smith SE and Read DJ. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. Third ed. Academic Press, London.

Sturz AV and Christie BR. 2003. Benificial microbial allelopathies in the root zone: the management of soil quality and plant disease with rhizobactria. Soil and Tillage Research, 72: 107-123.

Vafadar F, Amooaghaie R and Otroshy M. 2014. Effects of plant-growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungus on plant growth, stevioside, NPK, and chlorophyll content of Stevia rebaudiana. Journal of Plant Interactions, 9: 128-136.

Vessey JK. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. Plant and Soil, 255: 271-586.

Zhao R, Guo W, Bi N, Guo J, Wang L, Zhao J and Zhang J. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi affect the growth, nutrient uptake and water status of maize (*Zea mays* L.) grown in two types of coal mine spoils under drought stress. Applied Soil Ecology, 88: 41-49.