نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد دهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱
شماره صفحه: ۳۳۰-۳۱۲
http://dx.doi.org/10.22077/JSR.2022.4987.1178

مقاله پژوهشی:

ارزیابی اثر کودهای شیمیایی، ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد کمی و کیفی و کارایی مصرف نور در زعفران

الهام طالبی [۱]، سعیده ملکی فراهانی [*۲]، مریم میردورقی [۳]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
۳- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.
*نویسنده مسئول: *Email: maleki@shahed.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵

چکیده

به‌منظور بررسی آثار کودهای شیمیایی، ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد کمی، کیفی و کارایی مصرف نور در زعفران،آزمایشی در سال زراعی۱۳۹۳-۱۳۹۲در مزرعه پژوهشی زعفران دانشکده‌کشاورزی دانشگاه شاهد اجرا شد. آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. عامل اول کود شیمیایی نیتروژن (اوره) در ۳ سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰درصد مقدار توصیه کودی براساس آزمون خاک و عامل دوم: انواع مختلف کود غیر شیمیایی در ۴ سطح شاهد، ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، کود زیستی حاوی باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس(PGPR) و تلفیق PGPR و ورمی‌کمپوست بود.لازم به ذکر است که تیمارها به مدت ۴ سال بر گیاه زعفران اعمال شدند و این مطالعه در سال چهارم انجام شد. نتایج نشان داد که اثر متقابل کود نیتروژن و غیر شیمیایی بر اکثر صفات فیزیولوژیک رشد، صفت اکولوژی (کارایی مصرف تشعشع) و صفات رنگیزه‌های فتوسنتزی معنی‌دار شد. اما هیچ یک از تیمارهای کودی و اثر متقابل آن¬ها بر میزان ماده موثره کلاله، تعداد گل، وزن تر گلبرگ، وزن تر کلاله و.وزن تر گل معنی¬دار نگردید. مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل b در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد به ترتیب (۶۱۱ mg/ml) و (۵۶۹ mg/ml) مربوط به کود نیتروژن همراه با تیمارهای ورمی‌کمپوست، کود زیستی به دست آمد. همچنین بیشترین میزان کلروفیل کل در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد به ترتیب (۱۳۶۷ mg/ml) و (۱۳۰۱ mg/ml) مربوط به کود نیتروژن همراه با کود زیستی می‌باشد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ماده خشک کل بیانگر آن بود که استفاده از کود ورمی‌کمپوست در هر ۳ سطح کودشیمیایی نیتروژن تقریبا در هر نوبت اندازه‌گیری باعث افزایش میزان ماده خشک شد. بیشترین میزان کارایی مصرف تشعشع (۱/۰۲۷ گرم بر مگا ژول) مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست به همراه ۱۰۰ درصد کود نیتروژن بود که با بیشتر تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری نداشت. به طورکلی می‌توان بیان کرد که تیمار کودهای غیرشیمیایی (ورمی کمپوست) به همراه ۱۰۰ درصد کود نیتروژن به مراتب شرایط مناسب‌تری را برای بهبود رشد و افزایش کارایی مصرف تشعشع در زعفران فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: شاخص سطح برگ، کود زیستی، کارایی مصرف تشعشع، ماده خشک، نیتروژن.

مقدمه

از روش‌های مهم برای افزایش عملکرد، بالا بردن بهره‌وری استفاده از منابع طبیعی مانند آب و مواد غذایی خاک، تشعشع خورشید، دی اکسید کربن اتمسفر می‌باشد. در صورت نبود عوامل محدودکننده، نور یکی از منابع طبیعی مهم می‌باشد که با افزایش کارایی آن می‌توان سطح تولید محصولات را افزایش داد (Awal et al., 2006; Mondani et al., 2015a).

مفهوم کارایی مصرف نور در تجزیه و تحلیل رشد گیاه کاربرد وسیعی دارد (Kemanian et al., 2004). کارایی مصرف نور میزان ماده خشک تولید شده (گرم در مترمربع) به ازای هر واحد تابش جذب شده (مگاژول در مترمربع) توسط جامعه گیاهی می‌باشد (Monteith, 1977; Kazemi et al., 2011) که در مطالعات اکولوژیکی، فیزیولوژیکی و مدل‌های رشد گیاه اهمیت و کاربرد فراوانی دارد، بخصوص گیاهانی که رشد آنها توسط شرایط نامناسب اقلیمی، کمبود آب و مواد غذایی محدود نشده باشد (Ruimy et al., 1995; Rosati et al., 2004). مقدار تابش جذب شده توسط گیاه به عوامل متعددی از قبیل سطح برگ (که انعکاس نور را تحت تاثیر قرار می‌دهد)، شکل و نحوه قرارگیری برگ در کانوپی (Campillo et al., 2012) زاویه برگ، ضخامت و غلظت کلروفیل (که عبور نور را تحت تأثیر قرار می‌دهد)، ارتفاع خورشید و توزیع تابش مستقیم و پراکنده خورشید بستگی دارد (Campillo et al., 2012). جذب نور در کانوپی علاوه بر شاخص سطح برگ(LAI) به آرایش برگ‌ها در کانوپی نیز بستگی دارد . متداولترین روش برای توصیف آرایش برگها در کانوپی، زاویه برگها نسبت به ساقه است که توسط ضریب خاموشی نور (K) بیان می‌شود.

مدیریت کودی می‌تواند نقش موثری در افزایش پایداری تولید نیز داشته باشد (Chaji et al., 2013) و یکی از ارکان اصلی در کشاورزی پایدار استفاده از کودهای زیستی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی است. وجدانی آرام و همکاران (Vejdani Aram et al., 2018) در تحقیقی بیان کردند که کود زیستی بارور ۲، صرف نظر از مقدار مصرف کود شیمیایی فسفره، شاخص سطح برگ گندم را ۱ز ۱۴ تا ۵۴ درصد افزایش داد. این اثر مثبت بر شاخص سطح برگ همراه با تاخیر در پیری برگ‌ها، افزایش جذب نور و بهبود ۲/۶ تا ۱۱۱ درصدی کارایی مصرف نور کانوپی گندم را به‌دنبال داشت. کاربرد کودزیستی حاوی باکتری‌های محرک رشد، مقادیر طول و شاخص سطح برگ را افزایش داد(Rasoli et al., 2014).

نیتروژن به عنوان عنصر کلیدی برای بهره‌وری گیاه شناخته می‌شود. کمبود نیتروژن می‌تواند پاسخ‌هایی در پی داشته باشد: ۱- کاهش سطح برگ (جذب نور) و ثابت بودن مقدار نیتروژن برگ (ظرفیت فتوسنتزی) ۲- ثبات سطح برگ و کاهش محتوی نیتروژن برگ (Fletcher et al., 2013). در این رابطه هامر و رای (Hammer & Wright, 1994). و سندز (Sands, 1996) بیان داشتند در شرایطی که میزان نیتروژن به مقدار زیادی پایین است. تغییر در مقادیر نیتروژن می‌تواند باعث ایجاد تغییرات زیادی در Light Use efficiency شود.

زعفران (*Crocus sativus* L) گیاهی چندساله، نیمه‌گرمسیری و سرمادوست می‌باشد (Atefi, 2006). این گیاه عمدتاً در مناطق مدیترانه‌ای و غرب آسیا و در مناطقی که کم باران، دارای زمستان سرد و تابستانی گرم در ایران است گسترش می‌یابد (Sepaskhah & Kamgar Haghighi, 2009; Moayedi shahraki et al., 2010; Mirhashemi et al., 2015). زعفران در جهت بهره‌برداری از پتانسیل محیط، کسب حداکثر عملکرد و همچنین افزایش طول دوره تولید، علاوه بر شرایط اقلیمی منطقه و خاک مناسب، مستلزم تغییر نگرش در مدیریت صحیح عملیات زراعی است (Naderi Darbaghshshahi et al., 2009; Koocheki et al., 2011). ولی آنچه ضرورت ایجاد تغییر در نظام‌های زراعی متداول را توجیه می‌کند و حرکت به سوی سیستم‌های کشاورزی جایگزین از جمله سیستم‌های کشاورز پایدار و ارگانیک را تسریع می‌نماید، بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی به دلیل استفاده از مواد شیمیایی و اثرات سوء آن‌ها بر کیفیت مواد غذایی و تخلیه‌ی منابع غیرتجدید شونده و آلودگی منابع و خاک و به مخاطره افتادن سلامت انسان بر اثر تماس مستقیم با سموم شیمیایی و یا مصرف محصولات آلوده به سم و باقیمانده‌ی نیتریت و نیترات در محصولات و کاهش تنوع‌زیستی و فرسایش ژنتیکی و ایجاد مقاومت در آفات و بیماری‌های گیاهی و کاهش باروری خاک به علت افت

مواد آلی و عناصر غذایی آن می‌باشد (Ratti et al., 2001). روش صحیح حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه می‌تواند ضمن حفظ محیط زیست، افزایش کیفیت آب، کاهش فرسایش، حفظ تنوع زیستی و کارایی نهاده‌ها را افزایش دهد، همچنین با اجتناب از کاربرد غیرضروری و بی‌رویه‌ی مصرف عناصر غذایی هزینه تولید را به حداقل کاهش می‌دهدکه این امر می‌تواند راهی به سوی کشاورزی پایدار باشد (Farshid et al., 2012). به این منظور تلاش‌های گسترده‌ای با هدف یافتن راهکارهای مناسب جهت بهبود کیفیت خاک محصولات کشاوزی و حذف آلاینده‌ها آغاز شده است (NaghdiBadi et al., 2011).

گزارشات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهند کودهای زیستی میزان نیتروژن و کلروفیل را در گیاهان افزایش می‌دهند (Vessey, 2003). اثرات نیتروژن بر RUE در بسیاری از گونه‌های گیاهی در سطح وسیعی بررسی شده است (Parsa et al., 2008). با این حال اطلاعات در مورد اثر کودهای زیستی، آلی و شیمیایی بر RUE در گونه‌هایی مانند زعفران اندک می‌باشد. با توجه به مسائل مطرح شده فوق، هدف از اجرای این پژوهش بررسی تاثیر کودهای غیرشیمیایی اعم از کود زیستی و ورمی کمپوست به همراه مقادیر مختلف کود شیمیایی نیتروژن بر صفات کمی و کیفی و کارایی مصرف نور زعفران به منظور مدیریت پایدار بوم نظام زراعی از طریق تغذیه تلفیقی گیاهی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۳-۱۳۹۲ انجام شد. محل آزمایش در منطقه‌ای با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۲۶ متر از سطح دریا، قرار گرفته است. آزمایش به صورت فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار روی گیاه زعفران اجرا گردید. عامل اول کود شیمیایی نیتروژن (اوره) در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد مقدار توصیه کودی براساس آزمون خاک و عامل دوم شامل انواع مختلف کود غیر شیمیایی در چهار سطح شاهد، ورمی‌کمپوست به مقدار ۱۰ تن در هکتار، کود زیستی PGPR حاوی باکتری‌های سودوموناس و باسیلوس (تراکم ۱۰۸ سلول بر گرم) و تلفیق PGPR و ورمی‌کمپوست بود. لازم به ذکر است که تیمارها به مدت چهار سال بر گیاه زعفران اعمال شدند و این مطالعه در سال چهارم برای بررسی اثر تیمارهای کودی بر کارایی مصرف تشعشع و عملکرد کمی و خصوصیات زعفران انجام شد. خصوصیات خاک مزرعه قبل از انجام آزمایش در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک در (جدول ۱) آورده شده است. مساحت هر کرت ۱۰ متر مربع (۵×۲ متر) و تراکم کشت ۱۰۰ بوته در متر مربع با فاصله بین ردیف و روی ردیف و عمق به‌ترتیب ۲۰، ۱۰، ۱۵ سانتی‌متر در سال اول کاشته شد. به این ترتیب در هر کرت هشت ردیف کاشت وجود داشت. تمامی عملیات زراعی نظیر آبیاری، مبارزه با علف‌های هرز و سله شکنی‌های احتمالی در تمام تیمارها به صورت یکسان انجام شده است. طی ماه‌های مهر تا اردیبهشت کرت‌ها هر ۱۵ روز یک بار (۱ مهر، ۱۵ مهر، ۳۰ مهر، ۱۵ آبان، ۳۰آبان، ۱۵ آذر، ۳۰ آذر، ۱۵ دی، ۳۰ دی، ۱۵ بهمن، ۳۰ بهمن، ۱۵ اسفند، ۳۰ اسفند، ۱۵ فروردین، ۳۰ فروردین، ۱۵ اردیبهشت سال ۱۳۹۳-۱۳۹۲) بوسیله لوله آبیاری به صورت کرتی، آبیاری شدند. با توجه به نتایج حاصل از آزمون خاک، کودهای فسفر و پتاسیم مصرف نشدند. کود اوره در سال اول در زمان کاشت و در سال-های بعد در زمان آبیاری اول و در مرحله دوم در اسفند ماه به زمین و کرت‌های مربوطه اضافه شد. کود ورمی-کمپوست در زمان کاشت سال اول به زمین اضافه شد و کاملاً با خاک مخلوط شد و در سال¬های بعد اواخر شهریور تا اوایل مهر ابتدا عملیات شخم صورت گرفت و سپس به خاک اضافه شد. کود غیر شیمیایی از موسسه تحقیقات آب و خاک کرج در سال اول با بنه‌ها تلقیح شد (تراکم ۱۰۸ سلول بر گرم) و در سال‌های بعد همراه آب اول به صورت سوسپانسیون (عملیات تلقیح بنه ها با سوسپانسیون آماده باکتری های سودوموناس و باسیلوس در تراکم ۱۰۸ گرم بر لیتر آب مقطر انجام شد و بعد در سایه خشک شدند) به کرت‌های مربوطه اضافه شد. طی ماه‌های مهر تا اردیبهشت کرت‌ها هر ۱۵ روز یک بار بوسیله لوله آبیاری به صورت کرتی، آبیاری شدند. در طول ماه‌های مهر تا اردیبهشت برای حذف علف‌های هرز عملیات وجین به صورت دستی و طی چهار نوبت انجام شد. برای به حداقل رسیدن رقابت گیاه با علف‌های هرز بر سر آب و جذب کودها، وجین زمین قبل از نوبت‌های آبیاری صورت پذیرفت. با توجه به اینکه یکی از موارد

انتخاب بنه، سلامت آن بود، لذا هیچ یک از انواع بیماری‌ها در کرت‌ها مشاهده نشد. برای بررسی عملکرد زعفران در زمان گلدهی، با در نظر گرفتن اثر حاشیه، برای رسیدن به شاخص‌هایی همانند وزن تازه گل، تعداد گل در واحد سطح، وزن‌تر و خشک کلاله به عنوان عملکرد کمی، در اولین ساعات صبح در ماه‌های آبان تا نیمه آذر از کل سطح کرت‌ها و کلاله انجام شد. برای اندازه‌گیری محتوی کلروفیل نمونه‌های برگی طی چهار نوبت در ۹۲/۱۰/۱۸، ۹۲/۱۱/۱۷، ۹۲/۱۲/۲۰، ۹۳/۱/۱۸ با حذف اثر حاشیه از چهار ردیف میانی در هر کرت برداشت شد. جدا سازی کلاله سه شاخه قرمز به همراه دو سانتی‌متر خامه آن از گل به صورت دسته‌ای انجام شد. در آزمایش‌های اولیه آن‌ها را خشک کرده و در انتها وزن خشک برگ و بنه‌ها را پس از توزین، یادداشت شد. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، برگ‌ها و گل‌ها و بنه‌ها به ترتیب ۴۸ ساعت و ۷۲ ساعت در دمای ۵۰ درجه‌سانتی‌گراد در داخل آون (مدل Zn-800) قرار داده شد. وسایل استفاده شده در خشک کردن و بسته‌بندی استریل و یک بار مصرف بودند. جهت اندازه‌گیری وزن اندام‌های رویشی و زایشی (بنه، برگ، گل، کلاله) از ترازوی دیجیتال (Model GF-300; Devices Japan) با دقت ۰/۰۰۱ گرم استفاده شد. ابعاد برگ به‌وسیله سطح برگ سنج (Model Mk2; Delta-T Devices, vk) اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری طیف جذبی کلروفیل a، کلروفیل کل از روش (Arnon, 1949) استفاده شد. صفات مورد اندازه‌گیری در این آزمایش شامل سطح برگ، شدت تشعشع بالا سایه‌انداز، شدت تشعشع در پایین سایه‌انداز و ماده خشک تولیدی شامل بنه و برگ بوده است. که در سه مقطع زمانی شامل بهمن و اسفند سال ۱۳۹۲ و فروردین سال ۱۳۹۳ در بیستم هر ماه صورت پذیرفت.

به منظور اندازه‌گیری سطح برگ و ماده خشک تولیدی در هر یک از مراحل نمونه برداری مساحتی معادل یک مترمربع از هر کرت انتخاب و گیاهان با بنه از خاک درآورده شدند. سپس برگ‌ها جدا و سطح آنها با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدل LICOR اندازه‌گیری شد. به منظور محاسبه شاخص سطح برگ، مقادیر اندازه-گیری شده سطح برگ توسط دستگاه بر سطح نمونه-برداری تقسیم گردید. پس از آن اندام‌های مختلف شامل برگ و بنه در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت قرار داده شدند و وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید. همچنین در هر یک از مراحل نمونه‌برداری تخریبی، اقدام به اندازه‌گیری تشعشع بالا و پایین کانوپی در دو ردیف میانی هر کرت که پوششی دست نخورده را ایجاد کرده بودند، حد فاصل ساعت ۱۱ الی ۱۳ صورت پذیرفت. به منظور محاسبه کارایی مصرف تشعشع لازم است ضریب استهلاک نوری زعفران محاسبه گردد که بدین منظور از فرمول بیر-لامبرت (Koocheki & Sarmadnia, 2006) و حل آن بر مبنای متغیر k (ضریب استهلاک نوری) استفاده شد (رابطه ۱).

(رابطه ۱)

$$k=\frac{-\ln\frac{I}{I0}}{LAI}$$

که در آن I شدت تشعشع نفوذ کرده به پایین کانوپی و I0 شدت تشعشع رسیده به به بالای کانوپی است. هر دو بر حسب مگاژول تشعشع خورشیدی در مترمربع و LAI شاخص سطح برگ می‌باشند.

در گام بعد و به عنوان یکی دیگر از مراحل محاسبه کارایی مصرف تشعشع، بر پایه ضریب استهلاک نوری محاسبه شده و جایگذاری متغیرهای اندازه¬گیری شده در معادله بیر-لامبرت (رابطه ۲) اقدام به محاسبه شدت تشعشع جذب شده در هر یک از مراحل نمونه برداری گردید

(رابطه ۲)

$$I_{int}=I_{0.}(e^{(-K.LAI)})$$

که در آن I_{int}، شدت تشعشع دریافت شده توسط کانوپی است. در گام آخر و برای محاسبه مقادیر کارایی مصرف تشعشع، میزان ماده خشک کل تولیدی در هر یک از مراحل نمونه‌برداری بر میزان تشعشع دریافت شده توسط کانوپی در همان مراحل محاسبه شد که بر پایه (رابطه ۱) بدست آمد. RUE بر حسب گرم ماده خشک تولیدی به ازای یک مگاژول تشعشع خورشیدی دریافت شده به دست آمد (رابطه ۳).

(رابطه ۳)

$$RUE= g.m2\ (MJ^{-1})$$

عواملی که جهت تعیین چگونگی رشد اجزای عملکرد استفاده می‌شود، شاخص‌های رشد نامیده شده و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند (Karimi et al., 1991). جهت آنالیز رشد، اندازه‌گیری دو شاخص سطح برگ و وزن خشک الزامی است. به منظور محاسبه شاخص‌های رشد، اعم از سرعت رشد محصول (CGR)،

سطح مخصوص برگ (SLA) از معادله زیر استفاده شد (Koocheki & Sarmadnia, 2006).

$$CGR=\frac{w2-w1}{GA(t2-t1)}$$

SLA=LA/LDW

LA: سطح برگ و LDW: وزن خشک برگ می‌باشند.

به منظور تجزیه داده‌های حاصل از آزمایش در ابتدا و از طریق آزمون تجزیه باقیمانده، داده‌های پرت احتمالی موجود، شناسایی و حذف گردیدند. سپس با استفاده از آزمون نرمالیتی، از نرمال بودن خطاهای آزمایشی اطمینان حاصل شد، به‌طوری‌که هیچ‌گونه نیازی به تبدیل داده نبود.

نتایج و بحث

صفات فیزیولوژیک رشد

شاخص سطح برگ

نتایج حاصل از تجزیه‌ی واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تیمارهای کودی در گیاه زعفران از نظر صفت شاخص سطح برگ در ماه‌های بهمن و فروردین هیچ اختلاف معنی‌داری نداشت و فقط در ماه اسفند کود شیمیایی نیتروژنه در سطح یک درصد معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱). این درحالی است که اثر متقابل کود نیتروژن و غیر شیمیایی استفاده شده در آزمایش در هر سه نوبت اندازه‌گیری در سطح یک درصد ($p\leq$۰/۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح مختلف کود نیتروزنه و کود غیرشیمیایی نشان داد در بهمن ماه در شرایطی که امکان مصرف کود شیمیایی نیتروژنی وجود نداشت، با به کار بردن کود ورمی-کمپوست بیشترین مقدار شاخص سطح برگ (۰/۸۸) حاصل شد که از این نظر تفاوت معنی‌داری را با سایر سطوح کود غیر شیمیایی (یعنی کود زیستی و تلفیق ورمی‌کمپوست و کود زیستی) نشان داد (جدول ۳). در شرایطی که کود شیمیایی به مقدار ۵۰ درصد مقدار توصیه شده-ی کودی به کار برده شد، به کار بردن کودهای غیر شیمیایی تأثیر معنی‌داری را بر افزایش شاخص سطح برگ زعفران نگذاشت، به گونه¬ای که شاهد بیشترین شاخص سطح برگ را به مقدار ۱/۴۳ داشت. زمانیکه ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده‌ی کود شیمیایی اعمال شد، هیچ گونه تفاوت معنی‌داری از نظر آماری بین سطوح مختلف کود غیرشیمیایی با شاهد مشاهده نگردید. در اسفندماه، در شرایط عدم استفاده از کود نیتروژنی و همچنین با اعمال ۵۰ درصد مقدار توصیه شده¬ی کودی هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری از نظر آماری بین سطوح مختلف کود غیرشیمیایی با شاهد مشاهده نشد. ولی زمانی‌که ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده‌ی کود شیمیایی اعمال گردید. بیشترین شاخص سطح برگ به مقدار ۱/۳۳ با استفاده از تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی به همراه ورمی‌کمپوست حاصل گردید، که از این نظر تفاوت معنی‌داری را با سایر کودهای غیرشیمیایی نشان داد. در فروردین ماه مقارن با شروع پیری برگ‌ها، در شرایط عدم استفاده از کود نیتروژن، بیشترین شاخص سطح برگ زعفران در تیمار ورمی‌کمپوست به مقدار ۰/۹ حاصل شد که از این نظر تفاوت معنی‌داری با سایر سطوح غیر-شیمیایی داشت. اما زمانی‌که کود شیمیایی به مقدار ۵۰ درصد توصیه‌ی کودی اعمال گردید، به کار بردن کود زیستی سبب تولید بیشترین مقدار LAI به میزان ۰/۸۷ گردید. که از این نظر تفاوت معنی‌داری را با سایر سطوح کود غیر شیمیایی نشان داد. در این ماه نیز مشابه بهمن ماه زمانی که از ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده¬ی کود شیمیایی استفاده شد، هیچ‌گونه تفاوت آماری معنی‌داری بین سطوح مختلف کود غیر شیمیایی با شاهد مشاهده نشد (جدول ۳). سطح برگ تعیین کننده ظرفیت فتوسنتزی گیاه است و تغییر در سطح برگ که تحت تأثیر ژنوتیپ، تراکم بوته، آب وهوا و حاصلخیزی خاک قرار دارد (Ghimire et al., 2015). در ارتباط با کاربرد نیمی از کود شیمیایی توصیه شده، تیمار استفاده همزمان با باکتری ها نتایجی تقریباً برابر با کاربرد ورمی کمپوست را نشان داد و در صورت استفاده همزمان با هر دو کود غیر شیمیایی ارتقا یافته و بالاترین معدل‌ها را در کل سطوح ۵۰ درصد کود شیمیایی به خود اختصاص داد و مقادیر طول و شاخص سطح برگ زعفران را افزود (Rasoli et al., 2014).

سطح مخصوص برگ

طبق نتایج بدست آمده، سطح مخصوص برگ در بهمن و فروردین تنها تحت تاثیر اثر متقابل کود نیتروژن × کود غیر شیمیایی قرار گرفت و در سطح یک درصد (۰/۰۱ $\geq$p) تفاوت معنی‌داری داشت. در اسفند ماه، تحت تاثیر کود غیر-شیمیایی قرار گرفت و در سطح پنج درصد ($p\leq$۰/۰۵) معنی‌دار شد (جدول ۲). در تیمار عدم

استفاده از کود نیتروژن در بهمن و اسفند هیچ اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف کود زیستی مشاهده نشد، اما در کل تیمار کود زیستی بهتر از سایر تیمارها بود. در فروردین ماه، سطح مخصوص برگ در تیمار ترکیب ورمی کمپوست و کود زیستی بیشترین مقدار را داشت (جدول ۳). در تیمار استفاده از ۵۰ درصد کود نیتروژن، بیشترین مقدار سطح مخصوص برگ در بهمن (۰/۰۰۴۷) مربوط به تیمار شاهد بود. در اسفند ماه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف مشاهده نشد، ولی بیشترین مقدار آن (۰/۰۰۴۵) مربوط به تیمار کود زیستی بود و در فروردین ماه نیز بیشترین مقدار سطح مخصوص برگ (۰/۰۰۸) مربوط به تیمار کود زیستی بود (جدول ۳). در تیمار استفاده از ۱۰۰ درصد نیتروژن، بیشترین مقدار سطح مخصوص برگ در بهمن (۰/۰۱) مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست بود، در اسفند ماه، بیشترین مقدار سطح مخصوص برگ (۰/۰۰۵) مربوط به تیمار کود زیستی بود. در فروردین ماه بین تیمارهای مختلف کود غیرشیمیایی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، در کل تیمار ورمی کمپوست نسبت به سایر تیمارها بهتر عمل کرده بود (جدول ۳). سطح ویژه‌ی برگ (SLA) شاخصی از ضخامت برگ می‌باشد. به عبارت دیگر بالا بودن SLA به معنی سطح برگ بیشتر به ازاء واحد وزن برگ یا نازکتر بودن برگ است (Rahimi et al., 2011). یشترین تأثیر شرایط محیطی بر سرعت رشد در مقایسه با شدت فتوسنتز زمانی رخ میدهد که سطح ویژه برگ کاهش می‌یابد (Tardieu et al., 1999). هنگامی که سطح برگ به اندازه نهایی خود رسید، مازاد فتوسنتز به عنوان توده خشک در سطح مزوفیل توزیع می‌گردد و در نتیجه سطح ویژه برگ کاهش می‌یابد (Koundouras et al., 2008). طبق نتایج بدست آمده، سطح مخصوص برگ در تیمار کود زیستی بیشتر از سایر تیمارها بود. از آنجایی‌که رشد و نمو گیاه شدیداً وابسته به پارامترهای حاصلخیزی خاک می¬باشد، به نظر می-رسد که بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی بستر کشت به وسیله‌ی ورمی‌کمپوست و کودهای زیستی دلیل افزایش صفات رشدی گیاه نسبت به تیمار شاهد می باشد (Chanda et al., 2011).

ماده خشک کل

طبق نتایج بدست آمده، ماده خشک کل (بنه و برگ) در بهمن و فروردین و اسفندماه تحت تاثیر اثر متقابل کود نیتروژن × کود غیر شیمیایی قرار گرفت و در سطح ۱ ($p\leq۰/۰۱$) درصد تفاوت معنی‌داری داشت. در اسفند و بهمن ماه، تحت تاثیر کود نیتروژن در سطح ۱ درصد ($p\leq۰/۰۱$) و در فروردین در سطح ۵ درصد ($p\leq۰/۰۵$) معنی‌دار شد. همچنین در اسفند و فروردین ماه تحت تاثیر کود غیر شیمیایی در سطح ۱ درصد ($p\leq۰/۰۱$) و در بهمن ماه تحت تاثیر کود نیتروژن در سطح ۵ درصد ($p\leq۰/۰۵$) معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر متقابل کود نیتروژن و کود غیر شیمیایی را روی ماده¬ی خشک کل در بهمن ماه نشان داد. به‌صورتی که تحت این تیمار میزان ۱۰۰۵ گرم در مترمربع ماده خشک کل تولید نمود که از این نظر تفاوت معنی‌داری را با سایر انواع کود غیر-شیمیایی نشان داد (جدول ۳). در شرایطی که کود شیمیایی به میزان ۵۰ درصد مقدار توصیه شده‌ی کودی اعمال شد، بیش‌ترین مقدار وزن خشک کل در تیمار تلفیق کود زیستی و ورمی‌کمپوست بود که این تیمار تفاوت معنی‌داری را با تیمار شاهد نداشت. زمانی که از ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده‌ی کود شیمیایی استفاده شد به کار بردن کود های غیر شیمیایی تأثیر معنی‌داری را بر افزایش وزن خشک کل نداشت. به گونه‌ای که تیمار شاهد (عدم اعمال هر گونه کود غیر شیمیایی) بیشترین وزن خشک کل را به میزان ۱۲۴۳/۸ گرم در مترمربع ایجاد نمود که از این نظر تفاوت معنی‌داری با تیمار کود زیستی (۱۱۳۳/۳ گرم در متر مربع) نداشت (جدول ۳). در ماه اسفند در شرایطی که از کود شیمیایی نیتروژن استفاده نشد هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری از نظر آماری بین سطوح مختلف کود غیر شیمیایی با شاهد مشاهده نشد. در تیمار ۵۰ درصد کود نیتروژنی به کار بردن کود¬های غیر-شیمیایی تأثیر معنی‌داری را بر افزایش وزن خشک کل نگذاشت. به گونه‌ای که شاهد، بیشترین وزن خشک کل را به میزان ۱۶۵۶/۳ گرم در متر مربع داشت که از این نظر با سایر تیمارهای غیر شیمیایی تفاوت معنی‌داری را نشان داد. در شرایطی که از ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده‌ی کود شیمیایی استفاده شد و به کار بردن ورمی‌کمپوست به مقدار ۱۳۸۴/۴ گرم در متر مربع، بالاترین وزن خشک کل را داشت که از این نظر تفاوت معنی‌داری را با سایر

انواع کودهای غیر شیمیایی نشان داد. نتایج حاصل از اثر برهمکنش کودهای آلی و باکتریهای محرک رشد نشان داد که بیشترین عملکرد خشک کلاله و خامه از تیمار کود دامی همراه با کاربرد تلفیقی باکتری‌های محرک رشد (ازتوباکتر، PTCC 1658 سودوموناس آیروژینوس و باسیلوس سوبتیلیس) با عملکرد ۲/۸۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که، البته با تیمارهای کاربرد تلفیقی باکتری‌ها با ورمی‌کمپوست و کاربرد تلفیقی باکتری‌ها به‌تنهایی در یک سطح آماری قرار داشتند (Aalizadeh et al., 2021).

در فروردین ماه در شرایطی که امکان مصرف کود شیمیایی نیتروژنی وجود نداشت، تیمار کودی ورمی-کمپوست بیشترین مقدار وزن خشک کل را به مقدار ۲۴۱۹ گرم در متر مربع داشت که از این نظر تفاوت معنی¬داری را با تیمار ورمی‌کمپوست و تلفیق ورمی-کمپوست با کود زیستی نداشت (جدول ۳). زمانی که از ۵۰ درصد مقدار توصیه شده‌ی کودی استفاده شد، ورمی-کمپوست با مقدار ۲۲۰۱/۸ گرم در متر مربع بیشترین ماده خشک کل را داشت که از این نظر تفاوت معنی‌داری را با سایر انواع کود غیر شیمیایی نشان داد. در شرایطی که از ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده‌ی کودی استفاده شد، تیمار تلفیق ورمی‌کمپوست به همراه کود زیستی بالاترین میزان وزن خشک کل به مقدار ۲۳۵۵/۶ گرم در متر مربع را به خود اختصاص داد (جدول ۳). در این راستا محققان گزارش کردند که کاربرد PGPR ها به همراه کمپوست باعث افزایش عملکرد مادۀ خشک گیاه زعفران شد (Tanu et al., 2004; Abdelaziz et al., 2007; Gharib et al., 2008; Kandeel et al., 2002). این نتایج بیانگر نقش تغذیه‌ای و ایجاد شرایط مطلوب اکولوژیکی بسترهای کودی مورد استفاده بر شروع گلدهی و وزن گل می‌باشد (Asghari et al., 2017). باکتری‌های تثبیت‌کننده نیز علاوه بر تثبیت با تولید فیتوهورمون‌ها باعث تحریک رشد گیاه و جذب مواد غذایی و فتوسنتز می‌شوند. حاج سیدهادی و همکاران (Haj Seyed Hadi et al., 2017) اثر بررسی در باکتری‌های محرک رشد و آلی بر برخی صفات گیاه دارویی مرزه تابستانه (Satureja hortensis L.) گزارش کردند که، فرایند رشد گیاه به میزان زیادی وابسته به محتوای رطوبتی گیاه است. با کاربرد ورمی-کمپوست که سبب افزایش نگهداری رطوبت موجود در خاک می‌شود، شرایط مناسبتری برای رشد مرزه تابستانه و افزایش عملکرد بیولوژیک به وجود آمده است. بنابراین با توجه به قابلیت‌های متعدد ورمی-کمپوست در افزایش رشد گیاهان از قبیل غنی بودن از عناصر غذایی مختلف و حفظ رطوبت خاک، زمینه مناسب برای فعالیت باکتری‌های محرک رشد فراهم شده است و باکتری‌های محرک رشد نیز با در دسترس قرار دادن عناصر غذایی ورمی‌کمپوست برای گیاه و نیز تولید هورمون‌های مختلف رشدی افزایش گل‌آوری زعفران و در نهایت افزایش وزن خشک را به همراه داشته‌اند.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil of the test site in the crop year 2013-2014

عمق خاک Soil Depth(cm)	قابلیت هدایت الکتریکی دسی زمینس بر مترمربع Electrical conductivity dS/m²	اسیدیته pH	ظرفیت زراعی (درصد) Field capacity (%)	مواد خنثی شونده (درصد) T.N.V (%)	درصد اشباع (درصد) Saturation percentage (%)	کربن آلی (درصد) Organic Carbon (%)	آهن (میلی گرم در کیلوگرم) Fe (mg kg⁻¹)	روی (میلی گرم در کیلوگرم) Zn (mg kg⁻¹)	منیزیم (میلی گرم در کیلوگرم Mn mg kg⁻¹)	مس (میلی گرم در کیلوگرم) Cu (mg kg⁻¹)	فسفر (میلی گرم در کیلوگرم) P (mg kg⁻¹)	پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم) K (mg kg⁻¹)	نیتروژن کل (درصد) N (%)
0-30	6.85	7.5	25.4	19.3	40	0.73	4.52	0.98	15.92	1.38	25	507	0.07

.سرعت رشد گیاه (CGR)

سرعت رشد گیاه یک شاخص مهم و ساده‌ی تولید زراعی بر نسبت تولید وزن خشک است. طبق نتایج بدست آمده در این تحقیق، سرعت رشد گیاه در بهمن تحت تاثیر کود نیتروژن و اثر متقابل کود نیتروژن و کود غیر شیمیایی در سطح ۱ درصد ($p\leq$۰/۰۱) معنی‌دار شد. همچنین در اسفند تحت تاثیر کود غیر شیمیایی و اثر متقابل کود نیتروژن × کود غیر شیمیایی در سطح ۱ درصد (۰/۰۱ $\geq p$) معنی‌دار شد (جدول ۲). در تیمار بدون اعمال کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری بین سطوح تیمار کود غیر-

شیمیایی برای صفت سرعت رشد گیاه در بهمن وجود نداشت، در حالیکه در اسفند ماه، بالاترین سرعت رشد گیاه (۵۲/۸۲۷ گرم بر متر مربع در روز) مربوط به تیمار شاهد بود و کمترین سرعت رشد گیاه (۱۳/۶۸گرم بر متر مربع در روز) مربوط به تیمار کود زیستی بود (جدول ۳). در تیمار استفاده از ۵۰ درصد نیتروژن در بهمن تنها ترکیب ورمی‌کمپوست و کود زیستی با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار داشت و این تیمار کمترین سرعت رشد گیاه (۵/۴۴- گرم بر متر مربع در روز) را داشت، در اسفند کمترین سرعت رشد گیاه (۴- گرم بر متر مربع در روز) مربوط به تیمار شاهد بود. بیشترین مقدار این صفت (۱۲/ ۱۹در بهمن و ۲۵/۹۱ در اسفند) مربوط به تیمار ورمی کمپوست به تنهایی بود (جدول ۳). در تیمار اعمال ۱۰۰ درصد کود شیمیایی در بهمن، بیشترین سرعت رشد گیاه (۱۴/۱۳ گرم بر متر مربع در روز) مربوط به تیمار ورمی کمپوست و در اسفند (۴۴/۲۵ گرم بر متر مربع در روز) مربوط به تیمار ترکیب ورمی‌کمپوست و کود زیستی بود. کمترین سرعت رشد گیاه (۳/۹۴- در بهمن و ۱۱/۸۴ در اسفند) مربوط به تیمار کود زیستی بود (جدول ۳). سرعت رشد گیاه به بهترین شکل مفهوم رشد را می‌رساند و سرعت تولید را در واحد سطح زمین در زمان مشخص ساخته و اثر متقابل تنفس و فتوسنتز را نشان می‌دهد (Karimi & Siddique, 1991). به‌طور کلی همانطورکه در جدول‌های زیر مشخص است، استفاده از کود ورمی‌کمپوست به تنهایی یا در ترکیب با کود زیستی افزایش قابل ملاحظه‌ای در سرعت رشد گیاه داشته است، این می‌تواند به دلیل اثرات مثبت ورمی‌کمپوست بر خاک و گیاه باشد. استفاده از کودهای زیستی باعث افزایش جذب عناصر غذایی مثل فسفر، نیتروژن و برخی عناصر ریز مغذی، افزایش جذب آب، تولید هورمون‌های گیاهی، کاهش تاثیر منفی تنش‌های محیطی، تاثیر مثبت بر روی برخی میکروارگانیسم‌های خاکزی و همچنین بهبود خصوصیات کیفی و کمی محصولات زراعی مورد توجه و بررسی قرار گرفته‌اند، می‌شود (Smith et al., 1994). طبق نتایج بدست آمده، سرعت رشد گیاه در اکثر تیمارها در اسفند ماه نسبت به بهمن ماه بیشتر بود، سرعت رشد محصول در مراحل اولیه به دلیل کامل نبودن پوشش و کم بودن سطح برگ و پایین بودن درصد نور جذبی کمتر است، ولی با رشد و نمو گیاه افزایش سریعی در میزان آن رخ می‌دهد. زیرا سطح برگ توسعه می‌یابد و نور کمتری از لابه‌لای پوشش گیاه به سطح خاک نفوذ می‌کند. در گیاهان رشد محدود با ورود گیاه به فاز زایشی گسترش سطح برگ و به تبع آن سرعت رشد محصول کم می‌شود (Hakam Alipour & Seyed Sharifi, 2015).

سرعت رشد محصول زمانی به حداکثر می‌رسد که شاخص سطح برگ در آن زمان به حداکثر رسیده است، همچنین با دریافت نور بیشتر CGR تحریک می¬شود که باعث افزایش وزن خشک کل و شاخص سطح برگ می‌شود.

کارایی مصرف تشعشع

طبق نتایج بدست آمده، کارایی مصرف تشعشع تحت تاثیر اثر متقابل کود نیتروژن × کود غیر شیمیایی قرار گرفت و در سطح پنج درصد ($p\leq۰/۰۵$) تفاوت معنی-داری داشت. همچنین تحت تاثیر کود نیتروژن در سطح ۱ درصد ($p\leq۰/۰۱$) معنی‌دار و تحت تاثیر کود شیمیایی معنی‌دار نشد (جدول ۲). برای بررسی کارایی مصرف تشعشع باید شاخص سطح برگ و ماده‌ی خشک کل گیاه را مدنظر قرار دهیم. نتایج حاصل از مقایسه‌ی میانگین اثر متقابل کود نیتروژن و کود غیر شیمیایی نشان داد در شرایط عدم استفاده از کود شیمیایی نیتروژن و همچنین زمانی که از ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده¬ی کودی استفاده شد، هیچ-گونه تفاوت معنی¬داری در بین سطوح مختلف کود غیر شیمیایی با شاهد مشاهده نشد. با این حال زمانی که از ۵۰ درصد مقدار توصیه شده‌ی کود شیمیایی استفاده شد به کار بردن ورمی‌کمپوست بیش‌ترین کارایی مصرف تشعشع در بین تیمارهای مربوطه به میزان ۰/۹۶ گرم بر مگاژول تشعشع دریافتی در متر مربع به دست آمد که از این نظر تفاوت معنی‌داری را با سایر کودهای غیر شیمیایی نشان داد (جدول ۳). همانطور که نتایج بدست آمده نشان می‌دهد، در تیمار عدم استفاده از کود شیمیایی نیتروژن، شاخص سطح برگ، ماده خشک کل و کارایی مصرف نور در تیمارهای مختلف کود زیستی تفاوت معنی داری نشان ندادند، که این نتایج ارتباط شاخص سطح برگ و ماده خشک کل با مقدار کارایی مصرف نور را نشان می‌دهد، علیرغم عدم وجود تفاوت معنی‌دار در مقدار کارایی مصرف نور، در کل کارایی مصرف نور بیشتر در تیمار کود زیستی نسبت به سایر تیمارها بود (جدول ۳). با انجام آزمایشی بر روی دو رقم گندم در اتاقک رشد، مشخص شد که کمبود نیتروژن

موجب تسریع در پیر شدن اندام‌های رویشی به ویژه برگ به عنوان اندام فتوسنتز کننده می‌شود. در سطح ۵۰ درصد مقدار توصیه شده‌ی کودی نیتروژن، شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف کود زیستی تفاوت معنی‌داری نشان نداد. ولی مقدار ماده خشک کل در تیمارهای مختلف کود زیستی تفاوت معنی‌داری داشت و تیمار شاهد نسبت به سایر تیمارها مقدار ماده خشک تجمعی بیشتری تولید کرد. اما کارایی مصرف نور در این سطح از کود نیتروژن در تیمار ورمی‌کمپوست بهتر از سایر تیمارها بود و در تیمار کود زیستی کمتر از سایر تیمارها بود. که مقدارکم کارایی مصرف تشعشع در تیمار ورمی‌کمپوست و مقدار زیاد آن در تیمار کود زیستی می‌تواند به ترتیب دلیل افزایش و کاهش کارایی مصرف نور در این تیمارها باشد. علاوه بر این مقدار ماده خشک کل زیاد در ورمی کمپوست و مقدار کمتر آن در تیمار کود زیستی نیز می‌تواند علتی برای افزایش و کاهش کارایی مصرف این تیمارها باشد. در کل مقدار کارایی مصرف تشعشع ممکن است از ۰/۳ تا ۱/۵ گرم بر مگاژول تشعشع دریافتی در متر مربع متغیر باشد.

کاهش مقدار ضریب استهلاک (برگ‌های عمودی‌تر) که سبب نفوذ نور بیشتر به داخل تاج پوشش و افزایش جذب نور توسط برگ‌ها در مقادیر کم تابش می‌شود، باعث افزایش سرعت تبادل کربن می‌شود، این عوامل در کنار هم، کارایی مصرف نور در این گیاهان را افزایش می‌دهد (Kiniry et al., 2004). در تیمارهای ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده¬ی کودی، ورمی‌کمپوست در تولید ماده خشک کل، شاخص سطح برگ نسبت به سایر تیمارهای کود غیر¬شیمیایی برتری داشت (جدول ۳). مقدار کارایی مصرف نور در این سطح نیتروژن در تیمارهای مختلف کود زیستی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت. اما در کل بیشترین مقدار کارایی مصرف نور مربوط به تیمار کود زیستی است که با توجه به مقدار پتاسیم زیاد و ماده خشک کل پایین در این تیمار نسبت به سایر تیمارها، می‌توان دلیل جذب بیشتر نور در تیمار کود زیستی را به بالاتر بودن شاخص سطح برگ در این تیمار نسبت داد که باعث می‌شود نور در سطح برگ بیشتری توزیع شود و به تبع کارایی مصرف نور در این تیمار افزایش یابد. کمترین مقدار کارایی مصرف نور نیز مربوط به تیمار تلفیق ورمی کمپوست و کود زیستی بود که در این تیمار میزان ماده خشک کل و شاخص سطح برگ نیز کمترین مقدار بود که همین دلیل باعث کاهش کارایی مصرف نور شد. نتایج تحقیق سوتیروپلو و کارامونوس (Sotiropoulou & Karamanos, 2010) نشان دادند که افزایش کاربرد نیتروژن به طور معنی-داری بر وزن خشک کل اندام رویشی تاثیر داشت. همانطور که در نتایج مشخص است، افزایش مصرف کود نیتروژن‌دار آلی و شیمیایی در مقایسه با تیمار شاهد سبب افزایش کارایی مصرف نور شد.

تفاوت در کارایی مصرف نور می‌تواند به علت اختلاف در تخصیص مواد بین ریشه و اندام هوایی باشد و یا به سبب تفاوت در جذب تشعشع فعال فتوسنتزی باشد. بنابراین به نظر می رسد که استفاده از کود شیمیایی نیتروژن در مقادیر بالا همراه با استفاده از کودهای زیستی همچون ورمی کمپوست و باکتری می‌تواند با تامین نیاز غذایی خاک و آزادسازی یکنواخت‌تر منابع غذایی طی فصل رشد، نقش مطلوب‌تری در افزایش سطح برگ و ماده خشک تجمعی و به تبع آن کارایی استفاده از نور داشته باشد.

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر کودهای غیرشیمیایی و کود شیمیایی نیتروژن بر صفات در گیاه زعفران

Table 2. Analysis of variance of the effect of non-chemical fertilizers and nitrogen chemical fertilizers on traits in saffron plant

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares										
		سطح مخصوص برگ (SLA)			شاخص سطح برگ (LAI)			ماده خشک کل (TDM)			سرعت رشد گیاه (CGR)	سرعت رشد گیاه (CGR)
		بهمن (Feb.)	اسفند (Mar.)	فروردین (Apr.)	بهمن (Feb.)	اسفند (Mar.)	فروردین (Apr.)	بهمن (Feb.)	اسفند (Mar.)	فروردین (Apr.)	بهمن (Feb.)	اسفند (Mar.)
تکرار Repetition	2	1.53^{ns}	0.06^{ns}	0.000002^{ns}	0.08^{ns}	0.000009^{ns}	0.01^{ns}	11327^{ns}	123736^{*}	234288^{*}	70.3ns	74.498^{**}
کود نیتروژن nitrogen fertilizer	2	4.52^{ns}	0.05^{ns}	0.000003^{ns}	0.09^{ns}	0.000007^{ns}	0.4^{**}	166673^{**}	430227^{**}	361536^{*}	268.2^{**}	169.48^{ns}
کود غیر شیمیایی non-chemical fertilizer	3	2.14^{*}	0.03^{ns}	0.000002^{ns}	0.1^{ns}	0.00001^{ns}	0.09^{ns}	81393^{*}	201948^{**}	600337^{**}	90.6ns	271.8^{**}
کود نیتروژن* کود غیرشیمیایی nitrogen fertilizer* non-chemical fertilizer	6	9.58^{ns}	0.2^{**}	0.00001^{**}	0.3^{**}	0.00002^{**}	0.18^{**}	134326^{**}	113687^{**}	549896^{**}	295.8^{**}	752.1^{**}
خطای آزمایش Error	22	0.0000006	0.02^{ns}	0.000002	0.04	0.000004	0.04	27826	32203	80003	53.33	103.8
ضریب تغییرات CV(%)		19.17	30	35.56	30	53.12	20.3	18.44	15.98	15.67	107.4	45.98

ns، *و **: به‌ترتیب عدم وجود تفاوت معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and** :non-significant and significant at 5% and 1% , respectively

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کودهای غیرشیمیایی و کود شیمیایی نیتروژن بر صفات در گیاه زعفران

Table 2 (Continued)- Analysis of variance of the effect of non-chemical fertilizers and nitrogen chemical fertilizers on traits in saffron plant

منابع تغییر (S.O.V)	درجه آزادی df	کارایی مصرف تشعشع (RUE)	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کلی total Chlorophyll	پیکروکروسین Picrocrocin	سافرانال Safranal	کروسین Crocin	وزن تر گل Fresh wieght of flower	وزن تر کلاله Fresh wieght of stigma	وزن تر گلبرگ Fresh wieght of petal	تعداد گل No. of flower
تکرار Repetition	2	0.014^{ns}	0.027^{ns}	0.22^{ns}	0.011^{ns}	0.31^{ns}	2.78^{ns}	9.54^{ns}	2.32^{**}	2.73^{**}	2.31^{**}	0.48^{**}
کود نیتروژن nitrogen fertilizer	2	0.082^{**}	6.41^{**}	57352^{**}	48076^{**}	1.31^{ns}	0.15^{ns}	3.88^{ns}	0.86^{ns}	0.93^{ns}	0.85^{ns}	0.20^{ns}
کود غیر شیمیایی non-chemical fertilizer	3	0.034^{ns}	394^{**}	28204^{**}	18018^{**}	0.49^{ns}	0.95^{ns}	3.45^{ns}	0.54^{ns}	0.43^{ns}	0.54^{ns}	0.09^{ns}
کود نیتروژن* کود غیرشیمیایی nitrogen fertilizer* non-chemical fertilizer	6	0.046^{*}	611^{**}	20989^{**}	19661^{**}	0.45^{ns}	3.87^{ns}	8.41^{ns}	0.21^{ns}	0.23^{ns}	0.211^{ns}	0.04^{ns}
خطای آزمایش Error	22	0.016	0.13	0.366	0.17	0.51	3.54	9.04	0.31	0.36	0.30	0.06
ضریب تغییرات CV(%)		15.24	0.05	0.1	0.03	89	60	57.5	19.89	16	20.14	35.67

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود تفاوت معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and**: non-significant and significant at 5% and 1%, respectivel

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای غیر شیمیایی و کود شیمیایی نیتروژن بر صفات در گیاه زعفران

Table 3. Comparison of the mean interaction of non-chemical fertilizers and nitrogen chemical fertilizers on traits in saffron plant

سطوح کودی Fertilizer levels		سطح مخصوص برگ (مترمربع بر گرم) SLA			شاخص سطح برگ (LAI)			ماده خشک کل (TDM)			سرعت رشد گیاه (CGR)	سرعت رشد گیاه (CGR)	سرعت رشد نسبی (RGR)	سرعت رشد نسبی (RGR)	سرعت آسیمیلاس یون خالص (NAR)	سرعت آسیمیلاس یون خالص (NAR)
کود نیتروژن nitrogen (٪) fertilizer (%)	کود غیر شیمیایی non-chemical fertilizer	بهمن (Feb.)	اسفند (Mar.)	فروردین (Apr.)	بهمن (Feb.)	اسفند (Mar.)	فروردین (Apr.)	بهمن (Feb.)	اسفند (Mar.)	فروردین (Apr.)	بهمن (Feb.)	اسفند (Mar)	بهمن (Feb.)	اسفند (Mar.)	بهمن (Feb.)	اسفند (Mar.)
0	شاهد Control	0.0049^{a}	0.0041^{a}	0.0038^{ab}	0.572^{b}	0.7180^{a}	0.589^{b}	784.4^{ab}	834.2^{a}	2419^{a}	1.40^{a}	52.827^{a}	0.001^{a}	0.037^{a}	0.49^{a}	91.35^{a}
	کودزیستی Biofertilizer	0.005^{a}	0.0044^{a}	0.0021^{b}	0.548^{b}	0.7680^{a}	0.252^{c}	632.2^{b}	847.1^{a}	1250.8^{b}	6.71^{a}	13.68^{c}	0.009^{a}	0.011^{b}	9.32^{a}	40.11^{b}
	ورمی کمپوست vermicompost	0.0040^{a}	0.0041^{a}	0.0036^{ab}	0.88^{a}	1.0013^{a}	0.906^{a}	1005^{a}	1006^{a}	2173.4^{a}	0.06^{a}	38.882^{b}	-0.001^{a}	0.025^{ab}	0.20^{a}	42.74^{b}
	ورمی کمپوست* کودزیستی Vermicompost*Biofertilizer	0.0048^{a}	0.0041^{a}	0.0049^{a}	0.488^{b}	1.0227^{a}	0.62^{b}	706.8^{b}	102.2^{a}	1948.2^{a}	9.85^{a}	30.873^{b}	0.01^{a}	0.022^{ab}	9.15^{a}	52.63^{ab}
50	شاهد Control	0.0047^{a}	0.0037^{a}	0.003^{b}	1.43^{a}	1.44^{a}	0.46^{b}	1066.3^{a}	1656.3^{a}	1536.3bc	18.44^{a}	-4^{b}	0.014^{a}	-0.002^{a}	14.03^{a}	-9.34^{b}
	کودزیستی Biofertilizer	0.0031 ^{b}	0.0045^{a}	0.008^{a}	0.48^{b}	1.28^{a}	0.87^{a}	66.3^{b}	1204.9^{bc}	1661^{b}	16.831^{a}	15.204^{ab}	0.018^{a}	0.010^{a}	13.18^{a}	17.39^{ab}
	ورمی کمپوست vermicompost	0.0027^{b}	0.0035^{a}	0.004^{b}	0.50^{b}	1.088^{a}	0.42^{b}	812.5^{b}	1424.4^{ab}	2201.8^{a}	19.121^{a}	25.913^{a}	0.017^{a}	0.014^{a}	17.61^{a}	66.1^{a}
	ورمی کمپوست* کودزیستی Vermicompost*Biofertilizer	0.0023 ^{b}	0.0043	0.002^{b}	0.77^{b}	1.10^{a}	0.27^{b}	1111.4^{a}	937.2^{c}	1050.6^{c}	-5.44^{b}	3.78^{ab}	-0.005^{b}	0.003^{a}	-5.01^{b}	14.03^{ab}
100	شاهد Control	0.001^{b}	0.002^{b}	0.004^{a}	0.59^{a}	0.79^{b}	0.59^{a}	1243.8^{a}	1194.3^{ab}	1914.8^{ab}	-1.548^{a}	24.02^{ab}	-0.001^{a}	0.016^{ab}	-1.63^{a}	60.73^{a}
	کودزیستی Biofertilizer	0.002^{b}	0.005^{a}	0.003^{a}	0.73^{a}	0.87^{b}	0.30^{a}	1133.3^{a}	1007.1^{b}	1351.7^{b}	-3.94^{a}	11.48^{b}	-0.003^{a}	0.009^{b}	-6.25^{a}	37.60^{a}
	ورمی کمپوست vermicompost	0.01^{a}	0.004^{ab}	0.005^{a}	0.92^{a}	1.33^{a}	0.41a	932.2^{ab}	1384.4^{a}	1791.5^{ab}	14.13^{a}	13.57^{b}	0.012^{a}	0.008^{b}	9.68^{a}	41.65^{a}
	ورمی کمپوست* کودزیستی Vermicompost*Biofertilizer	0.002^{b}	0.003^{ab}	0.002^{a}	0.70^{a}	0.58^{b}	0.49^{a}	759.6^{b}	951^{b}	2355.6^{a}	5.98^{a}	44.25^{a}	0.007^{a}	0.026^{a}	10.19^{a}	81.50^{a}

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح ۱ ٪ می‌باشند

Means that have at least one common letter in each column have no significant difference with Duncan test at 1% level

ادامه جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل کودهای غیر شیمیایی و کود شیمیایی نیتروژن بر صفات در گیاه زعفران

Table 3. (Continued)- Comparison of the mean interaction of non-chemical fertilizers and nitrogen chemical fertilizers on traits in saffron plant

سطوح کودی Fertilizer levels		کلروفیلa Chlorophyll a	کلروفیلb Chlorophyll b	کلروفیل کلی total Chlorophyll	کارایی مصرف تشعشع (گرم بر مگا ژول) RUE
کود نیتروژن nitrogen fertilizer	کود غیر شیمیایی non-chemical fertilizer				
0	شاهد Control	743[a]	506[d]	1249[d]	0.7723[a]
	کودزیستی Biofertilizer	722[b]	597[c]	1319[c]	0.7779[a]
	ورمی کمپوست vermicompost	713[c]	709[a]	1423[a]	0.7110[a]
	ورمی کمپوست* کودزیستی Vermicompost*Biofertilizer	698[d]	695[b]	1393[b]	0.7373[a]
50	شاهد Control	731[a]	454[d]	1186[d]	0.9410[a]
	کودزیستی Biofertilizer	702[d]	664[a]	1367[a]	0.7196[a]
	ورمی کمپوست vermicompost	729[b]	611[b]	1341[b]	0.6323[c]
	ورمی کمپوست* کودزیستی Vermicompost*Biofertilizer	717[c]	498[c]	1216[c]	0.9606[a]
100	شاهد Control	715[c]	440[c]	1155[c]	1.009[a]
	کودزیستی Biofertilizer	731[a]	569[a]	1301[a]	0.806[a]
	ورمی کمپوست vermicompost	712[d]	361[d]	1073[d]	1.027[a]
	ورمی کمپوست* کودزیستی Vermicompost*Biofertilizer	724[b]	550[b]	1275[b]	0.812[a]

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد اختلاف معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح ۱ ٪ می‌باشند

Means that have at least one common letter in each column have no significant difference with Duncan test at 1% level

جدول۴. ضرایب همبستگی برخی از صفات زعفران

Table 4. Correlation coefficients of some traits of saffron

	شاخص سطح برگ (بهمن) LAI (Feb.)	شاخص سطح برگ (اسفند) LAI (Mar.)	شاخص سطح برگ (فروردین) LAI (Apr.)	ماده خشک کل (بهمن) TDM (Feb.)	ماده خشک کل (اسفند) TDM (Mar.)	ماده خشک کل (فروردین) TDM (Apr.)	سرعت رشد گیاه (اسفند) CGR (Mar.)	سرعت رشد گیاه (فروردین) CGR (Apr.)	کارایی مصرف تشعشع RUE	وزن تر کلاله Fresh wieght stigma	وزن تر گل Fresh wieght flower
شاخص سطح برگ (بهمن) LAI (Feb.)	1										
شاخص سطح برگ (اسفند) LAI (Mar.)	0.38*	1									
شاخص سطح برگ (فروردین) LAI (Apr.)	0.22ns	0.11ns	1								
ماده خشک کل (بهمن) TDM (Feb.)	0.49**	0.27ns	0.03ns	1							
ماده خشک کل (اسفند) TDM (Mar.)	0.15ns	0.78**	0.01ns	0.13ns	1						
ماده خشک کل (فروردین) TDM (Apr.)	0.13ns	0.36*	0.7**	0.07ns	0.34*	1					
سرعت رشد گیاه (اسفند) CGR (Mar.)	-0.21ns	0.45**	-0.003ns	-0.57**	0.73**	0.23ns	1				
سرعت رشد گیاه (فروردین) CGR (Apr.)	0.09ns	-0.16ns	0.69**	0.03ns	-0.32*	0.77**	-0.28ns	1			
کارایی مصرف تشعشع RUE	-0.21ns	0.45**	-0.003ns	-0.57**	0.73**	0.23ns	1**	-0.28ns	1		
وزن تر کلاله Fresh wieght stigma	0.08ns	-0.01ns	0.19ns	0.17ns	-0.2ns	-0.12ns	-0.28ns	0.04ns	-0.28ns	1	
وزن تر گل Fresh wieght flower	0.03ns	-0.01ns	0.17ns	0.03ns	-0.15ns	-0.2ns	-0.14ns	-0.07ns	-0.14ns	0.9**	1

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود تفاوت معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and**: non-significant and significant at 5% and 1% , respectively

صفات رنگیزه‌های فتوسنتزی

کلروفیل a

همانطور که در جدول تجزیه واریانس مشخص است، کاربرد کود نیتروژن و کودهای غیر شیمیایی و اثر متقابل آن‌ها بر صفت میزان کلروفیل a زعفران تاثیر معنی‌داری در سطح یک درصد ($p\leq$۰/۰۱) داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین مربوط به این صفت نشان می‌دهد که در سطح عدم مصرف کود شیمیایی بیشترین میزان کلروفیل a (۷۴۳mg/ml) مربوط به تیمار شاهد و کمترین مقدار آن (۶۹۸mg/ml) مربوط به تیمار کود نیتروژن بود. در سطح ۵۰ درصد توصیه شده‌ی کودی، بیشترین مقدار کلروفیل a (mg/ml ۷۳۱) مربوط به تیمار شاهد و کمترین مقدار آن در این سطح نیتروژن (۷۰۲mg/ml) مربوط به تیمار تلفیق ورمی‌کمپوست و کود زیستی است. در سطح ۱۰۰ مقدار توصیه شده‌ی کودی، بیشترین مقدار کلروفیل a (mg/ml ۷۳۱) مربوط به تیمار تلفیق کود زیستی و ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار آن (mg/ml ۷۱۲) مربوط به تیمار ورمی کمپوست است (جدول ۳). در ارتباط با کلروفیل مطالعه‌ای نشان داده است که بیشترین میزان مصرف کلروفیل a در زعفران از تیمار مصرف ۴ لیتر در هکتار کود محرک زیستی به دست آمد، با توجه به نقش عنصر نیتروژن در ساختمان کلروفیل افزایش غلظت کلروفیل در شرایط مصرف این نوع کود قابل انتظار می‌باشد (Khandan Deh Arbab et al., 2020).

کلروفیل b

طبق نتایج موجود در جدول تجزیه واریانس، کود نیتروژن، کود غیرشیمیایی و اثر متقابل این دو نوع تیمار تاثیر معنی‌داری در سطح یک درصد ($p\leq$۰/۰۱) بر میزان کلروفیل b زعفران در این آزمایش داشت (جدول ۲). در شرایط عدم مصرف کود شیمیایی، بیشترین میزان کلروفیل b (۷۰۹ mg/ml) مربوط به تیمار ورمی کمپوست و کمترین مقدار آن (۵۰۶ mg/ml) مربوط به تیمار شاهد است. در سطح ۵۰ درصد مقدار توصیه شده‌ی کودی، بیشترین مقدار کلروفیل b (mg/ml ۶۶۴) مربوط به تیمار تلفیق ورمی‌کمپوست و کود زیستی و کمترین مقدار آن (۴۵۴ mg/ml) مربوط به تیمار شاهد است. در سطح ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده‌ی کودی نیز همانطورکه در جدول مشخص است، بیشترین مقدار کلروفیل b (۵۶۹ mg/ml) مربوط به تیمار تلفیق ورمی‌کمپوست و کود زیستی است و کمترین مقدار آن (۳۶۱ mg/ml) مربوط به تیمار ورمی کمپوست به تنهایی است (جدول ۳). با افزایش مقدار کود نیتروژن بر مقدار کلروفیل b افزوده شد، اما شدت افزایش کلروفیل b زمانی که کود زیستی به همراه کود شیمیایی به کار رفت، بیشتر از کاربرد منفرد کودهای شیمیایی بود؛ به طوریکه در تیمار کاربرد نصف کود شیمیایی به همراه کود زیستی، مقدار کلروفیل b نسبت به کاربرد تنهایی این کود افزایش معنی‌دار یافت، نتایج نشان داد کلروفیل b به مواد مغذی مثل نیتروژن وابسته است و افزایش نیتروژن اثر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل b برگ زعفران دارد (Heidari et al., 2014).

کلروفیل کل

طبق نتایج تجزیه واریانس کود نیتروژن، کود غیرشیمیایی و اثر متقابل این دو تاثیر معنی‌داری در سطح یک درصد ($p\leq$۰/۰۱) بر میزان کلروفیل کل در زعفران در این آزمایش داشت (جدول ۲). همانطور که در نتایج مقایسه میانگین مشخص است، در سطح عدم مصرف کود شیمیایی نیتروژن، بیشترین مقدرا کلروفیل کل (mg/ml ۱۴۲۳) مربوط به تیمار ورمی‌کمپوست است و کمترین مقدار آن (mg/ml ۱۲۴۹) مربوط به تیمار شاهد می‌باشد. در سطح ۵۰ درصد مقدار توصیه شده¬ی کودی نیز مشخص شد که بیشترین مقدار کلروفیل کل (mg/ml ۱۳۶۷) در تیمار تلفیق ورمی-کمپوست و کود زیستی بدست آمده است و کمترین مقدار آن (mg/ml ۱۱۸۶) مربوط به تیمار شاهد است. در سطح ۱۰۰ درصد مقدار توصیه شده¬ی کودی نیز همانطور که در جدول ۳ مشخص است، بیشترین مقدار کلروفیل کل (mg/ml ۱۳۰۱) مربوط به تیمار تلفیق کود ورمی‌کمپوست و کود زیستی است و کمترین مقدار

آن (۱۰۷۳ mg/ml) نیز مربوط به تیمار کاربرد ورمی-کمپوست به تنهایی است (جدول ۳). کمبود نیتروژن تأثیر منفی در نمو دستگاه فتوسنتزی کارآمد دارد و زیست توده کل را کاهش می‌دهد. در آزمایش حاضر نیز مشخص شد که در شرایط مقادیر کم نیتروژن، استفاده از کودهای زیستی نیز تاثیری بر مقدار کلروفیل a نداشت، اما در شرایطی که مقدار ۱۰۰ درصد نیتروژن استفاده شد، بیشترین مقدار کلروفیل a در تیمار استفاده تلفیقی از ورمی‌کمپوست و کود زیستی بوجود آمد. همانطور که در نتایج مشخص است، کودهای زیستی در سطوح بالاتر نیتروژن توانسته¬اند تاثیر مثبتی بر مقدار کلروفیل زعفران داشته باشند و در بین انواع کاربرد این کودها نیز کود تلفیق ورمی‌کمپوست و کود زیستی نسبت به سایر تیمارها بهتر عملکرد و میزان کلروفیل بیشتری تولید کرده است (جدول ۳). که این نشان دهنده‌ی تاثیر مثبت کاربرد ترکیبی کود ورمی-کمپوست و کود زیستی است. بررسی‌های انجام شده نشان دهنده نقش مؤثر باکتری‌های حل کننده فسفات مانند سودوموناس و باسیلوس در بهبود جذب فسفر و در نتیجه افزایش رشد ریشه است. افزایش رشد در ریشه نیز موجب بهبود جذب عناصری که در کلروفیل نقش دارند، مانند منیزیم، منگنز و روی از طریق فرآیند جذب ریشه‌ای می گردد (Khan et al., 2009).

صفات عملکرد

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد نهایی نشان می‌دهد که اثر فاکتورهای عوامل آزمایشی کود نیتروژن و کود غیر شیمیایی در صفات مربوط به عملکرد نهایی شامل: وزن تر گلبرگ، وزن تر کلاله، تعداد گل و وزن تر گل معنی‌دار نبود (جدول ۲).

مواد موثره کلاله

اثر مصرف کود شیمیایی نیتروژن و کود زیستی بر شاخص‌های کیفی کلاله شامل مولفه¬های رنگ (کروسین)، طعم (پیکروکروسین) و عطر (سافرانال) معنی¬دار نبود (جدول ۲). تحقیق ما با پژوهش (Heidari et al., 2014)که به این نتیجه رسیدند که کود شیمیایی و کود زیستی تاثیر معنی‌داری بر صفات کیفی زعفران داشتند، مطابق نبود. در مطالعه‌ای دیگر بیشترین میزان کروسین به ترتیب در تیمارهای کودی، کود بیولوژیک بیونوترینت، کود دامی، استرپت ایران و شاهد مشاهده شد. بیشترین میزان پیکروکروسین در تیمار کود بیولوژیک بیونوترینت و کود دامی مشاهده شد (Poorreza & Amirshekari, 2020).

همبستگی صفات

تجزیه همبستگی بین صفت کارایی مصرف تشعشع و سایر صفات مورد بررسی در آزمایش حاضر نشان داد که شاخص سطح برگ اسفند، و وزن خشک کل در ماه¬های بهمن و اسفند و همچنین سرعت رشد گیاه در ماه اسفند رابطه معنی‌داری با کارایی مصرف تشعشع دارد. همچنین از میان صفات فوق الذکر، صفت وزن خشک کل در ماه اسفند از همبستگی بالایی با کارایی مصرف تشعشع برخوردار بودند (جدول ۴). این مسئله بیانگر تاثیر بیشتر این صفت در مقایسه با صفات دیگر بر کارایی مصرف تشعشع می‌باشد. از طرف دیگر بررسی‌ها نشان می‌دهد صفت وزن خشک کل در ماه بهمن با کارایی مصرف تشعشع رابطه منفی و با سایر صفات رابطه مثبت دارد. احسان‌زاده و همکاران (Ehsanzadeh et al., 2004) در مطالعه‌ای گزارش کردند که شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، ماده خشک کل همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان می‌دهند که مطابق با نتایج این تحقیق می‌باشد. در هر چهار سال آزمایش تجمع ماده خشک اندام هوایی زعفران با مجموع تابش فعال فتوسنتزی ارتباط خطی داشت (Mirhashemi, 2015). هر چند زعفران دارای فنولوژی و دوره رشد خاص می‌باشد، ولی با این وجود توانسته به نحو مطلوبی از تابش کل ورودی استفاده نماید به طوری که شاخص سطح برگ زعفران طی سالهای متوالی پس از کاشت بنه‌ها، همواره افزایش یافت، اما به دلیل باریک بودن برگها و در نتیجه عدم پوشش کامل کانوپی طی فصل رشد، حداکثر شاخص سطح برگ از ۱/۸۱ بیشتر نشد. از این رو در زعفران پایین بودن شاخص سطح برگ، اهمیت و

ضرورت محاسبه ضریب خاموشی نور را به ویژه در مراحل ابتدایی رشد توجیه مینماید. زیرا با افزایش سن مزرعه و شاخص سطح برگزعفران، ضریب خاموشی نور از بالاتر از یک در زعفران یکساله به زیر یک در زعفران دوساله کاهش یافت و به تبع آن میزان جذب و کارایی مصرف نور افزایش می یابد (Mirhashemi, 2015). تجزیه همبستگی بین صفت وزن تر گل و سایر صفات مورد بررسی آزمایش حاضر نشان داد که وزن تر کلاله همبستگی مثبت و معنی‌داری وزن تر گل دارد (جدول ۴). که با نتایج (Ghanbari & KhajoeiNejad, 2017) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

در این آزمایش نتایج جدول تجزیه واریانس بیانگر آن بود که اثر اصلی کود شیمیایی نیتروژن بر میزان ماده خشک گیاه در هر سه نوبت اندازه‌گیری، شاخص سطح برگ در اسفند، سرعت رشد نسبی مورد اندازه‌گیری در بهمن و اسفند، سرعت آسیمیلاسیون خالص در ماه اسفند، کارایی مصرف نور، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار گردید. همچنین اثر اصلی کود غیر شیمیایی بر ماده خشک کل در هر سه نوبت اندازه‌گیری، سرعت رشد گیاه و سطح مخصوص برگ مورد اندازه-گیری در اسفند معنی‌دار گردید. اثر متقابل کود شیمیایی و غیر شیمیایی بر اکثر صفات فیزیولوژیک، کارایی مصرف تشعشع، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل معنی‌دار شد. اما هیچ یک از تیمارهای کودی و اثر متقابل آنها بر میزان ماده موثره کلاله و عملکرد معنی‌دار نگردید. مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل b و کل در تیمار-های ۵۰ و۱۰۰ درصد کود نیتروژن به همراه تلفیق ورمی‌کمپوست و کود زیستی و تیمار ورمی‌کمپوست حاصل گردید. نتایج حاصل از اندازه-گیری ماده خشک کل در سه نوبت اندازه‌گیری بیانگر آن بود که استفاده از کود ورمی‌کمپوست در هر سه سطح کود شیمیایی نیتروژن تقریبا در هر نوبت اندازه‌گیری باعث افزایش میزان ماده خشک گردید. احتمالا افزودن ورمی‌کمپوست به خاک نه تنها تدارک عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش داده است، بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک محیط مناسب برای رشد ریشه، موجبات افزایش رشد اندام هوایی و تولید ماده خشک را نیز فراهم کرده است. بیشترین میزان کارایی مصرف تشعشع مربوط به تیمار ورمی-کمپوست به همراه ۱۰۰ درصد مقدار توصیه کودی نیتروژن حاصل گردید که میزان آن با اکثر تیمار¬های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری نداشت. بنابراین می¬توان اظهار داشت که تیمارهای مطلوب کودهای غیرشیمیایی در مقایسه با تیمار کود شیمیایی، به مراتب شرایط مناسب‌تری را برای بهبود فعالیت میکروارگانیزم-های مفید در خاک فراهم کرده و از طریق جذب مطلوب عناصر معدنی ماکرو و میکرو توسط ریشه، موجب ازدیاد رشد و به دنبال آن افزایش رشد شده است. بطورکلی با توجه به واقع شدن کشور ایران در یک منطقه کم آب دنیا ضروری است که تاثیر کودهای غیر-شیمیایی مختلف در مقایسه با کودهای شیمیایی بر عملکرد کمی و کیفی زعفران در شرایط حداقل آبیاری در چند سال اجرا و مورد مطالعه قرار گیرد.

منابع

Aalizadeh, M.B., Makarian, H., Ebadi, A., & Shafaroodi, A. (2021). Evaluation of the effect of different fertilizer treatments on yield and some reproductive traits of Saffron (*Crocus sativus* L.) in the climatic conditions of Ardabil. *Journal of Saffron Research*, *9*(1), 11-27. [in Persian].

Abdelaziz, M., Pokluda1, R. & Abdelwahab, M. (2007). Influence of compost, microorganisms and npk fertilizer upon growth, chemical composition and essential oil production of Rosmarinus officinalis *L. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *35*, 1842-4309.

Arnon D.T. (1949). Copper enzymes in isolation chloroplast phenoloxidase in Beta vulgaris. Journal *Plant Physiology*, *24*, 1- 15.

Asghari, R., Dadashi, M., Razavi, A., Feizi, H., & Bakhtiari, S. (2019). Effect of cow manure on yield and morphological and physiological

characteristics of saffron (*Crocus sativus L.*) under salinity stress. Journal *Saffron agronomy and technology*, *7*(2), 171-184. [in Persian].

Atefi, S. M. (2006). Safron (*Crocus sativus*): Chemistry, Quality Control and Processing. Beyn-Alnahrain Press. [in Persian].

Awal, M.A., Koshi, H. and & Ikeda, T. (2006). Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Journal *Agricultural and Forest Meteorology, 139*, 74-83.

Campillo, C., Fortes, R., & Prieto, M.H., 2012. Solar radiation effect on crop production. In Elisha B. Babatunde (eds.). Retrieved from: http://www.intechopen.com/books/solar-radiation/solar-radiation-effect-on-crop-production.

Chaji, N., Khorassani, R., Astaraei, A., & Lakzian, A. (2013). Effect of phosphorous and nitrogen on vegetative growth and production of daughter corms of saffron. *Journal of Saffron Research*, *1*(1), 1-12. [in Persian].

Chanda, G.K., Bhunia, G., & Chakraborty, S.K. (2011). The effect of vermicompost and other fertilizers on cultivation of tomato plants. *Journal of Horticulture and Forestry*, *3*(2), 42-45.

Ehsanzadeh, P., Yadollahi, A.A., & Maibodi, A.M.M. (2004). Productivity, Growth and Quality Attributes of 10 Iranian Saffron Accessions under Climatic Conditions of Chahar-Mahal Bakhtiari, Central Iran. Dept. of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran.

Farshid, R., Zamani, GH., Behdani, M.A., & Sahraei, A. (2012). Effect of salinity- and nitrogen application methods on wheat yield and yield components. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *10*(1), 18-24.

Ghanbari, J., & Khajoei –Nejad, Gh.R. (2017). Effect of organic and chemical fertilizers application on relationships among growth indices, corm characteristics, flower related attributes and yield of saffron (*Crocus sativus L.*) ecotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *19*(4), 297 -318. [in Persian].

Gharib, F. A., Moussa, L. A. & Massoud, O. N. (2008). Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. *International Journal of Agriculture and Biology*, *10*, 381-387

Ghimire, B., Timsina, D., & Nepal, J. (2015). Analysis of chlorophyll content its correlation with yield attributing traits on early varieties of maize (*Zea mays L.*). *Journal of Maize Research and Development*, *1*(1), 134-145.

Haj Seyed Hadi, M.R., & Darzi, M.T. (2017). Evaluation of vermicompost and nitrogen biofertilizer effects on flowering shoot yield, essential oil and mineral uptake (N, P and K) in summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal Agroecology*, *9*(4), 1149-1167. [in Persian].

Hakam Alipour, S., & Seyed Sharifi, R. (2015). Effect of seed inoculation with plant growth promoting bacteria (PGPR) and different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and some physiological parameters of barley (*vulgare Hordeum L.*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(4), 822-833.

Hammer, G. L., & Wright, G. C. (1994). A theoretical analysis of nitrogen and radiation effects on radiation use efficiency in peanut. *Australian Journal of Agricultural Research, 45*, 575-589.

Heidari, Z., Besharati, H., & Maleki Farahani, S. (2014). Effect of some chemical fertilizer and biofertilizer on quantitative and qualitative characteristics of Saffron. *Saffron agronomy and technology*, *2*(3), 187-189

Kandeel, A. M., Naglaa, S. A. T. & Sadek, A. (2002). Effect of biofertilizers on the growth, volatile oil yield and chemical composition of Ocimum basilicum L. plant. *Annals of Agricultural Sciences Journal*, *47*, 351-371.

Karimi, M. M., & Siddique, K. H. M. (1991). Crop growth and relative growth rates of old Saffron (*Crocus sativus L.*) under the influence of biological and chemical phosphorus fertilizers. *Quarterly medicinal plants*, *10*(40), 68-58.

Kazemi, M., Hasan Abadi, H., & Tavakoli, H. (2011). Potato Production Management. Amozesh va Tarvij Keshavarzi Press. p. 156. [in Persian].

Kemanian, A.R, Stockle, C.O., & Huggins, D.R. 2004. Variability of barley radiation-use efficiency. *Crop Science*, *44*, 1662–1672.

Khan, M. S., Zaidi, A., & Wani, P. A. (2009). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture: review. *Biomedical & Life Sciences*, *5*, 551-570.

Khandan Deh Arbab, S., Aminifard, M.H., Fallahi, H.R., & Kaveh, H. (2020). Effect of Different Levels of Novafol Bio-Fertilizer and Mother Corm Weight on Vegetative Growth, Flowering and Chlorophyll Content of Saffron. *Saffron agronomy and technology*, *7*(4), 441-455.

Kiniry, J. R. (1994a). Discussion: A note of caution concerning the paper by Demetriades-Shah et al., 1992. *Agricultural and Forest Meteorology*, *68*, 229-230

Koocheki, A., & Sarmadnia, GH.H. (2006). Crop physiol. *Tehran University Jihad Publications*. [in Persian].

Koocheki, A., Siahmarguee, A., Azizi, G., & Jahani, M. (2011). The effect of high density and depth of planting on agronomic characteristic of Saffron (*Crocus sativus L.*)

and corms behavior. *Journal Agroecology. 3*, 36-49. [in Persian].

Mirhashemi, S.M., Bannayan, M., Nezami, A., & Nassiri Mahallati, M. (2015). Evaluation of the Extinction Coefficient, Radiation Absorption and Use Efficiency of Saffron (*Crocus sativus L.*). *Saffron Agronomy and Technology, 3*(3), 203-216.

Moayedi Shahraki, E., Jami Al-Ahmadi, M., & Behdani, M. A. (2010). Study of energy efficiency of saffron (*Crocus sativus L.*) in Southern Khorasan. *Journal Agroecology, 2*, 55-62. [in Persian With English Summary].

Mondani, F., Nasiri-Mahalati, M., & Kooghaki, A. (2015a). Modeling of sunn pest (*Eurygaster integriceps Put.*) damage on winter wheat (*Triticum aestivum*) growth and yield under climate change condition. *Plant Production Technology, 6*, 61-75. [in Persian].

Monteith, J.L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of Royal Society of London* B, *281*, 277-294.

Parsa, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Ghaemi, A. (2008). Seasonal variation of radiation interception and radiation use efficiency in sugar beet (*Beta vulgaris L.*). *Iran. Journal Field Crop Research, 5* (2), 229–238. [in Persian].

Poorreza, A., & Amirshekari, H. (2020). Effects of Organic, Biological Fertilizers and Summer Irrigation on Quantitative and Qualitative Yield of Saffron (*Crocus sativus L.*) in Zaweh city. *Journal of. Saffron Research, 7*(2), 269-282. [in Persian].

Rahimi, A., Biglarifard, A., Mirdehghan, H., & Borghei, S. F. (2011). Influence of NaCl salinity on growth analysis of strawberry cv. Camarosa. *Journal Stress Physiology and Biochemistry, 7*, 145-156.

Rasoli, Z., Maleki Farahani, S., & Besharati, H. (2014). Reaction of some vegetative characteristics of saffron (*Crocus sativus L.*) to fertilizer sources. *Iranian Journal of Soil Research, 27*(1).

Ratti, N., Kumar, S., Verma, H. N., & Gautam, S. P. (2001). Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to Cymbopogon martinii var. motia by rhizobacteria, AMF and Azospirillum inoculation. *Microbiology Research, 156*, 145- 149.

Rosati, A., Metcalf, S.G., & Lampinen, B.D. (2004). A simple method to estimate photosynthetic radiation use efficiency of canopies. *Annals of Botany*, *93*, 567-574.

Ruimy, A., Jarvis, P.G., Baldocchi, D.D., & Saugier, B. (1995). CO2 fluxes over plant canopies and solar radiation: a review. *Advances in Ecological Research, 26*,1-68.

Sands, P. J. (1996). Modelling canopy production. 111. Canopy light-utilisation efficiency and its sensitivity to physiological and environmental variables. *Australian Journal of Plant Physiology, 23*, 103-1 14.

Sepaskhah, A. R., & Kamgar-Haghighi, A. A. (2009). Saffron irrigation regime. *International Journal of Plant Production, 3*, 1–16.

Smith, S. E., Nicholas, D. J. D., & Smith, F. A. (1994). Effect of early mycorhizal hnfection on nodulation fixation in aTrifolium subterraneum. *Australian Journal of Plant Physiology, 6*,305-316.

Sotiropoulou, D.E., & Karamanos, A.J. (2010). Field studies of nitrogen application on growth and yield of Greek oregano (*Origanum vulgare ssp. hirtum* (Link) and modern wheat cultivars. *Australian Journal Agriculthre Research, 42*,13-20.

NaghdiBadi, H. A., Omidi, H., Golza, A., Torabi, H. & Fotokian, M. H. (2011). Variations Crocin, Pykrvsyn and Safranal and agronomic traits area a consequence of changes in expansion rate?. *New Phytol*, *143*(1), 33-43.

Tanu, S., Anil Prakash, J. & Alok Adholeya, G. (2004). Effect of different organic manures/composts on the herbage and essential oil yield of Cymbopogon winterianus and their influence on the native AM population in a marginal alfisol Bioresource. *Technology*, *92*, 311-319.

Tardieu, F., Granier, C., & Muller, B. (1999). Modelling leaf expansion in a fluctuating environment: are changes in specific leaf area a consequence of changes in expansion rate?. *Journal New Phytologist*, *143*(1), 33-43.

Vejdani Aram, S., Ahmadvand, G., & Hajinia, S. (2018). The Effect of Biological and Chemical Phosphorus Fertilizers on Radiation Use Efficiency, P Concentration and Yield of Wheat Cultivar (Pishgam). *Journal of Crop Ecophysiology*, 12(46(2)), 171-190.

Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*, *255*, 571–586.

COPYRIGHTS

© 2022-2023 by the authors. Published by University of Birjand – Saffron Research Group. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)