نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد چهاردهم، شماره ۴(۵۶)، زمستان ۱۳۹۹، صفحه ۵۷۰-۵۵۱

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2021.679980

نقش کاربرد کود زیستی فسفره و تریپل‌سوپر فسفات بر عملکرد، اجزای عملکرد، غلظت کادمیم و فسفر دانه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.)

نادیا نیسی[۱]، علیرضا شکوه‌فر[۲*] و خوشناز پاینده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۷ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۲

چکیده

هزینه بالای کودهای شیمیایی مورد استفاده در بخش کشاورزی و مشکلات محیط‌زیست ناشی از استفاده آنها، لزوم تجدیدنظر در روش‌های مرسوم تغذیه گیاهان را آشکار می‌سازد. مصرف تلفیقی کودهای زیستی همراه با کودهای شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار یکی از راه‌های اساسی به نظر می‌رسد. در همین راستا این پژوهش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه آزمایشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. فاکتور اول مقادیر مختلف کود تریپل سوپرفسفات در سه سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و فاکتور دوم کود زیستی فسفره در سه سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم در هکتار) بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح مختلف کود زیستی فسفره و تریپل سوپرفسفات بر تمام صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار شد ولی اثر متقابل تیمارها معنی‌دار نبود. بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، بالاترین عملکرد دانه، وزن هزار دانه، درصد روغن دانه، قطر طبق، تعداد دانه در طبق و غلظت فسفر دانه در شرایط کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپرفسفات به همراه ۲۰۰ گرم در هکتار کودزیستی فسفره به‌دست آمد. کمترین پوکی دانه نیز با کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپرفسفات به همراه ۲۰۰ گرم در هکتار کودزیستی فسفره حاصل شد. به‌نظر می‌رسد کود تریپل سوپرفسفات، به‌دلیل داشتن ناخالصی از جمله عناصر سنگین، باعث افزایش ۵۴ درصدی غلظت عنصر کادمیم در خاک می‌گردد، اما افزایش سطوح مصرف کود زیستی فسفر در خاک موجب کاهش ۴۵ درصدی تجمع غلظت کادمیم دانه می‌شود. با توجه به این نتایج کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپرفسفات و ۲۰۰ گرم در هکتار کود زیستی فسفره نسبت به سایر تیمارها باعث افزایش عملکرد کمّی و جذب عناصر در آفتابگردان شده است.

واژگان کلیدی: آلایندگی، کود زیستی، کود شیمیایی، غلظت روغن، قطر طبق.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲- گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. (نگارنده‌ی مسئول) alireza_shokuhfar@yahoo.com

۳- گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

مقدمه

حدود ۹۰ درصد روغن مصرفی ایران از طریق واردات تامین می‌شود که بیانگر وابستگی بالای کشور می‌باشد (Anonymus, 2018). روغن آفتابگردان به دلیل داشتن مقادیر فراوانی از اسیدهای چرب اشباع نشده نظیر لینولئیک و اولئیک مورد توجه می‌باشد. دانه آفتابگردان بسته به ارقام مختلف دارای ۲۶ تا ۵۰ درصد روغن می‌باشد (Khajehpor, 2012). طی سال‌های اخیر افزایش مصرف کودهای شیمیایی جهت کسب عملکرد بیشتر، مشکلات جدی زیست محیطی را به‌دنبال داشته است، لذا برای بهبود کیفیت خاک، محصولات کشاورزی و حذف آلاینده‌ها استفاده از کودهای زیستی پیشنهاد شده است که جهت حفظ تعادل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مفید هستند (Abdaslam *et al*., 2016). کودهای زیستی متشکل از باکتری‌ها و همچنین قارچ‌های مفیدی هستند که هر یک به‌منظور خاصی، مانند تثبیت نیتروژن و رهاسازی یون‌های فسفات، پتاسیم و آهن از ترکیبات نامحلول آنها تولید می‌شوند. این باکتری‌ها بیش از یک نقش داشته و علاوه بر کمک به جذب عنصری خاص باعث جذب سایر عناصر، کاهش بیماری‌های گیاه و بهبود ساختمان خاک و در نتیجه تحریک بیشتر رشد گیاه و افزایش کمّی و کیفی محصول می‌شوند (Ahmed *et al*., 2015). امروزه، مدیریت تلفیقی تغذیه گیاهان از کودهای زیستی به عنوان وسیله‌ای برای افزایش عملکرد گیاهان زراعی بوده و این فرآیند نیاز به مصرف کودهای شیمیایی را کاهش و به سالم‌سازی محیط زیست کمک می‌کند (Umesha *et al*., 2013). افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در نظام‌های مدیریت تلفیقی تغذیه را می‌توان به افزایش فراهمی عناصر غذایی به شکل قابل جذب و طولانی مدت برای گیاهان، بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و افزایش مواد آلی خاک، توسعه سیستم ریشه‌ای قوی و افزایش جذب آب نسبت داد چون کودهای آلی و شیمیایی به تنهایی برای تولید عملکرد پایدار کافی نیستند (Kazemalilou *et al.,* 2018). مدنی و همکاران (Madani *et al*., 2010) در تحقیقی روی کلزا اعلام کردند کاربرد توأم کودهای شیمیایی و کودهای آلی منجر به افزایش عملکرد زیستی کلزا گردید، این محققان اعلام کردند کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی، شرایط مناسب و ایده‌آلی برای رشد گیاه فراهم می‌کند و این دو کود به‌صورت مکمل با یکدیگر عمل می‌کنند. کودهای آلی با تولید هوموس عوارض نامطلوب کودهای شیمیایی را کاهش داده و کارآیی مصرف کودها را افزایش می‌دهند، همچنین کودهای زیستی با افزایش فعالیت باکتری‌های افزایش‌دهنده‌ی رشد گیاه، تأثیر کودهای آلی و شیمیایی را در تولیدات کشاورزی افزایش می‌دهند. یوسفی و همکاران (Yosefi *et al*., 2011) با بررسی اثر کاربرد کود زیستی و شیمیایی فسفر بر رشد و عملکرد ذرت گزارش دادند بالاترین میزان ارتفاع گیاه، وزن هزار دانه و عملکرد محصول در شرایط کاربرد ۱۰۰ گرم کود زیستی فسفره به همراه ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود تریپل سوپرفسفات بود. در همین راستا، جوانمرد و همکاران (Javanmard *et al*., 2014) نیز گزارش دادند کاربرد توأم کودهای شیمیایی و زیستی منجر به بهبود معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد ذرت گردید. یوسف‌پور و یدوی (Yousefpoor and Yadavi, 2014) گزارش دادند برهمکنش کود شیمیایی و نیتروکسین بر عملکرد دانه اثر معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که در سطوح

صفر، ۳۳ و ۶۶ درصد کود شیمیایی، تلقیح با نیتروکسین به‌ترتیب باعث افزایش ۳۱/۶۴، ۹/۷۸ و ۵/۷۳ درصدی در عملکرد دانه نسبت به عدم تلقیح شد اما در سطح ۱۰۰ درصد کود شیمیایی، کاربرد نیتروکسین تفاوت معنی‌داری از لحاظ این صفت ایجاد نکرد. کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد روغن اثر افزایشی معنی‌داری داشتند، بیشترین عملکرد روغن به تیمار مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی مورد نیاز و تلقیح با نیتروکسین تعلق داشت، کاربرد نیتروکسین همچنین باعث افزایش ۲/۶۳ درصدی در محتوای روغن دانه آفتابگردان شد. خدری عقله‌بوب و نصرالله‌زاده اصل (KhadiriAghleh Boob and Nasrollahzadeh Asl, 2017) با بررسی اثر کاربرد کود فسفره بارور۲ بر کنجد گزارش دادند کاربرد کود زیستی فسفره منجر به افزایش تعداد دانه، درصد روغن دانه و تعداد کپسول گردید. قاسمی و همکاران (Ghasemi *et al*., 2011) گزارش دادند که عملکرد دانه و وزن هزار دانه در ذرت زمانی بالاترین مقدار را داشت که کود زیستی با کود شیمیایی فسفره به‌صورت تلفیقی مورد استفاده قرار گرفت که علت آن را افزایش فسفر قابل دسترس برای ریشه گیاه در اثر افزایش حلالیت فسفر شیمیایی به وسیله باکتری‌های موجود در کود زیستی اعلام کردند. غلامی‌مهرآبادی و همکاران (Gholami Mehrabadi *et al*., 2012) با بررسی اثر مصرف تلفیقی کود شیمیایی و کود زیستی فسفره گزارش دادند در اثر مصرف تلفیقی عملکرد دانه حدود ۱۶ درصد نسبت به تیمار شاهد (مصرف فقط کود شیمیایی) افزایش یافت و مصرف کود شیمیایی فسفر تا ۵۰ درصد کاهش پیدا کرد. اکین (Ekin, 2010) در آزمایشی روی آفتابگردان گزارش دادند بیشترین قطر طبق و وزن دانه در شرایط کاربرد ۵۰ درصد کود شیمیایی و ۵۰ درصد کود زیستی به‌دست آمد، به‌عبارتی افزایش قابلیت دسترسی به‌عناصر غذایی با کاربرد توأم کودهای زیستی و شیمیایی و جذب بیشتر عناصر توسط گیاه در نتیجه‌ی افزایش رشد و فتوسنتز با افزایش سطح برگ گیاه از عوامل افزایش عملکرد در تیمارهای مصرف تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی بود. کود تریپل سوپرفسفات به دلیل داشتن ناخالصی از جمله عناصر سنگین همچون کادمیم باعث افزایش غلظت این عناصر در خاک می‌گردد، اما کودهای زیستی فسفر از جذب عناصر سنگین توسط گیاه جلوگیری کرده و در عین حال با افزایش سطوح کود زیستی فسفر از مصرف کودهای شیمیایی کاسته شده، لذا از غلظت کادمیم در گیاه کاسته می‌شود (Mar *et al*., 2012). هزینه بالای کودهای شیمیایی مورد استفاده در بخش کشاورزی و مشکلات محیطزیست ناشی از آنها لزوم تجدیدنظر در روش‌های تغذیه گیاهان را آشکار می‌سازد. به عبارتی خطرات و مشکلات ناشی از فلزات سنگین موجود در کودهای شیمیایی توجه کشاورزان، سازمان‌های مرتبط با محیط زیست، مصرف کنندگان و سیاست‌گذاران اجتماعی را روز به روز بیشتر به سمت خود جلب کرده است. در این میان استفاده از کودهای زیستی همراه با کودهای شیمیایی در راستای کشاورزی پایدار یکی از راه‌های اساسی و مفید به نظر می‌رسد، لذا این پژوهش جهت به‌دست آوردن الگویی مناسب از مصرف توام کود زیستی فسفر و تریپل سوپرفسفات جهت حصول عملکرد بالاتر در آفتابگردان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور و در سه تکرار در مزرعه آزمایشی و پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز در شهر ویس در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی با ارتفاع ۳۴ متر از سطح دریا انجام گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ درج شده است. فاکتور اول کود شیمیایی فسفر از منشاء تریپل سوپرفسفات در ۳ سطح (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و فاکتور دوم شامل کود زیستی فسفره در ۳ سطح (صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم در هکتار) بود. کودزیستی فسفره بر حسب نوع تیمارهای آزمایشی قبل از کاشت به خاک اضافه گردید.

کود فسفره تریپل سوپرفسفات قبل از کشت و به‌صورت نواری به فاصله‌ی ۵ سانتی‌متر پایین‌تر از محل کاشت بذر، قرار گرفت. برای اعمال کود زیستی فسفره نیز ابتدا کود مورد نظر (طبق مشخصات تیمار) در یک ظرف ۱۰ لیتری پر از آب حل گردید، سپس بذور آفتابگردان (رقم چرنیانکا تهیه شده از مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان) قبل از کاشت به مدت ۱۰ دقیقه در این ظروف قرار داده و با محلول کودی (به‌صورت بذرمال) آغشته و سپس اقدام به کاشت آنها شد (Payandeh *et al.,* 2019). کود زیستی فسفره تهیه شده از شرکت زیست فناور سبز (با نام تجاری بارور ۲) حاوی 10^{7} تا 10^{8} باکتری حل‌کننده‌فسفات (پانتوآ آگلومرانس سویه P5 و سودوموناس پوتیدا سویه P13) در هر گرم از محصول است که با تولید اسیدهای ارگانیک و آنزیم‌های فسفاتاز در اطراف ریشه باعث آزاد شدن یون فسفات می‌شوند (Payandeh *et al.,* 2019). ابتدا به‌منظور تحریک جوانه‌زنی علف‌های‌هرز و کنترل مطلوب‌تر آنها و تأمین رطوبت مناسب جهت انجام عملیات شخم، قبل از آماده‌سازی زمین، قطعات آزمایشی آبیاری قبل از شخم شدند. جهت خرد کردن کامل کلوخه‌ها و تسطیح زمین دو مرحله دیسک در جهت عمود بر هم انجام شد. هر کرت آزمایش شامل ۵ ردیف کاشت به فواصل ۶۰ سانتی‌متر و به طول ۶ متر و فواصل کاشت بذور آفتابگردان روی ردیف‌ها ۱۵ سانتی‌متر انجام شد. کاشت آفتابگردان رقم چرنیانکا در تاریخ ۱۵ بهمن سال ۱۳۹۷ در عمق ۳ تا ۵ سانتی‌متری خاک انجام شد. بلافاصله بعد از کاشت آبیاری به صورت جوی و پشته انجام شد و در طی دوره کاشت تا برداشت ۷ بار آبیاری انجام گرفت. از هفته سوم بعد از کاشت کنترل علف‌های‌هرز با وجین دستی انجام گرفت. از مرحله ۲ تا ۴ برگی (که گیاهچه ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر است) به بعد تنک کردن شروع گردید. برداشت به‌صورت دستی در تاریخ ۳۰ خرداد ماه ۹۸ انجام شد. برای اندازه‌گیری تعداد دانه هر طبق پس از جدا کردن دانه‌های موجود در ۱۰ عدد طبق، تعداد آنها توسط دستگاه شمارنده بذر، شمارش و میانگین آن به عنوان تعداد دانه در طبق برای هر کرت در نظر گرفته شد.

جهت محاسبه وزن هزار دانه، تعداد ۱۰ نمونه صدتایی بذر به‌صورت تصادفی انتخاب، وزن هزار دانه و سپس درصد پوکی تعیین گردید. برای تعیین عملکرد دانه، پس از حذف دو ردیف حاشیه و نیم‌متر از بالا و پایین هر کرت آزمایشی، از چهار خط میانی، محصول برداشت گردید (زمانی که پشت طبق‌ها از سبز به زرد تغییر کرد

و به رنگ مایل به قهوه‌ای درآمد). دانه‌های برداشت شده جهت اندازه‌گیری عملکـرد دانه مورد استفاده قرار گرفتند. اندازه‌گیری قطر طبق به وسیله خط‌کش سانتی‌متری انجام گردید (Yousefpoor and Yadavi, 2014).

برای تعیین درصد روغن بعد از تمیز کردن دانه‌های خشک شده، دانه‌ها وارد دیگ دو جداره شد که در این مرحله از ۳ دمای ۹۵، ۱۰۰ و ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۹۰ دقیقه استفاده شد سپس دانه‌های حرارت دیده خرد و به‌صورت پودر درآمدند و سپس به دستگاه پرس وارد شدند و روغن دانه‌ها زدوده شد (Bamgboye and Adejumo, 2007). برای اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین ابتدا دانه‌های گیاه ۳ مرتبه با آب مقطر به‌منظور حذف خاک و آلودگی و گرد و غبار شستشو و در دمای ۷۵ درجه سلسیوس و به مدت ۷۲ ساعت نمونه‌ها در آون خشک و سپس با استفاده از هاون کوبیده و به‌صورت ذرات ریز پودر درآمدند. نمونه‌های پودر شده در پاکت کاغذی ریخته و تا زمان اندازه‌گیری در یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. برای تعیین غلظت عنصر کادمیم نمونه‌های گیاه به روش هضم‌تر (۷۰ درصد اسید نیتریک، اسید پرکلریک و اسید سولفوریک) هضم شدند. پس از عصاره‌گیری و به حجم رساندن، نمونه‌های آماده شده با دستگاه کوره گرافیکی (Model: Perkin Elmer 600) اندازه‌گیری شدند (Soltanpour, 1991). مقادیر فسفر نیز به روش اسپکتروفتومتری (Ryan *et al,* 2001) اندازه‌گیری شد.

تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

قطر طبق: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر عامل تریپل سوپرفسفات و کود زیستی فسفره بر صفت قطر طبق در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار ولی اثر متقابل تیمارها غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح مختلف تریپل سوپرفسفات نشان داد بیشترین مقدار قطر طبق (۱۷/۷۳ سانتی‌متر) به تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپرفسفات و کمترین مقدار (۱۴/۱۵ سانتی‌متر) به تیمار شاهد تعلق گرفت (جدول ۳). همچنین، طبق نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف کود زیستی فسفره بیشترین مقدار قطر طبق (۱۷/۲۸ سانتی‌متر) به تیمار ۲۰۰ گرم در هکتار و کمترین مقدار (۱۴/۲۵ سانتی‌متر) به تیمار شاهد تعلق گرفت (جدول ۴). بسیاری از پژوهش‌گران گزارش دادند کودهای شیمیایی دارای عناصر غذایی نیتروژن، پتاسیم، فسفر باعث افزایش قطر طبق در آفتابگردان شده و در این میان کاربرد کود شیمیایی فسفره نقش مهم‌تری در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد از جمله قطر طبق داشته است (Ahmed *et al*., 2015). عثمان و آود (Osman and Awed, 2010) در آزمایشی گزارش دادند که با افزایش میزان مصرف کود فسفر، ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر طبق و وزن هزار دانه آفتابگردان افزایش یافت. شوقی‌کلخوران و همکاران (Shoghi Kalkhoran *et al*., 2012) گزارش کردند کاربرد کودهای زیستی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش قطر طبق در آفتابگردان گردید. علی و همکاران (Ali *et al*., 2014) نشان دادند فراهمی عناصر نیتروژن و فسفر (دو عنصر ضروری رشد) باعث افزایش رشد و افزایش فتوسنتز در طول مرحله‌ی رویشی آفتابگردان گردید و در نهایت باعث شد رشد طبق افزایش

یابد. یافته‌های این محققان با نتایج این پژوهش تطابق داشت لذا با افزایش سطوح مصرف کود تریپل سوپرفسفات و کود زیستی فسفره بر قطر طبق افزوده شد.

تعداد دانه در طبق: نتایج نشان داد اثر تریپل سوپرفسفات و کود زیستی فسفره بر صفت تعداد دانه در طبق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار ولی اثر متقابل عامل‌ها غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین، سطوح مختلف تریپل سوپرفسفات بیشترین تعداد دانه در طبق با (۹۷۳ عدد) در شرایط کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپرفسفات و کمترین تعداد (۷۵۴ عدد) در شرایط عدم مصرف تریپل سوپرفسفات حاصل شد (جدول ۳). همچنین، مقایسه سطوح مختلف کود زیستی فسفره نشان داد بیشترین تعداد دانه در طبق (۹۶۷ عدد) به تیمار مصرف ۲۰۰ گرم در هکتار و کمترین تعداد (۷۹۳ عدد) به تیمار شاهد تعلق گرفت (جدول ۴). علی و همکاران (Ali *et al*., 2014) در آزمایشی گزارش دادند با افزایش مصرف کود فسفر، عملکرد دانه و تعداد دانه در طبق افزایش یافت. تعداد دانه در طبق یکی از اجزای مهم عملکرد در آفتابگردان است که در کنار تعداد طبق در واحد سطح و وزن هزار دانه در تعیین عملکرد دانه نقش مهمی ایفا می‌کند. پرامانیک و برا (Pramanik and Bera, 2013) گزارش دادند کاربرد کودهای زیستی فسفره در زراعت آفتابگردان می‌تواند از طریق بهبود تغذیه سایر عناصر روی افزایش تعداد دانه پر در طبق اثرگذار باشد. عبدالسلام و همکاران (Abdaslam *et al*., 2016) گزارش دادند کاربرد باکتری‌های حل کننده فسفر در کشت آفتابگردان می‌تواند مسیر انتشار و جذب فسفر را کاهش داده و باعث سهولت دسترسی به عنصر فسفر برای گیاه شده و با بهبود تغذیه سایر عناصر روی تعداد دانه در طبق اثر مثبت دارند که این نتایج با یافته‌های این تحقیق مطابقت دارد.

وزن هزار دانه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر عامل تریپل سوپرفسفات و کود زیستی فسفر بر صفت وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف تریپل سوپرفسفات بیشترین مقدار وزن هزار دانه (۵۴/۷۵ گرم) به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپرفسفات و کمترین مقدار (۴۷/۸۴ گرم) به تیمار شاهد تعلق گرفت (جدول ۳). طبق نتایج مقایسه میانگین سطوح مختلف کودزیستی فسفره بیشترین مقدار وزن هزار دانه (۵۴/۱۱ گرم) در شرایط کاربرد ۲۰۰ گرم در هکتار کود زیستی فسفر و کمترین مقدار (۴۸/۱۲ گرم) در شرایط عدم مصرف کود زیستی فسفر حاصل شد (جدول ۴)، غلامی‌مهرآبادی و همکاران (Gholami Mehrabadi *et al*., 2016) و بیرانوند و همکاران (Beyranvand *et al*., 2013) نیز نتایج مشابهی گزارش کردند. اکین (Ekin, 2010) گزارش داد کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات باعث افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید. اثر کاربرد کود شیمیایی و کود زیستی فسفره روی ذرت بررسی و گزارش شده است که با افزایش مصرف فسفر ارتفاع بوته، تعداد دانه در بلال، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیستی افزایش یافته و کاربرد کود زیستی فسفره، مصرف کود شیمیایی فسفره را پنجاه درصد کاهش می‌دهد (Gholami Mehrabadi *et al*., 2016). قاسمی و همکاران (Ghasemi *et al*., 2011) نشان دادند که افزایش وزن هزار دانه در ذرت، زمانی بالاترین مقدار را

داشت که کود زیستی با کود شیمیایی فسفره به صورت تلفیقی استفاده شد که دلیل آن را افزایش مقدار فسفر قابل دسترس برای ریشه گیاه در اثر افزایش حلالیت فسفر شیمیایی توسط باکتری‌های موجود در کود زیستی اعلام کردند. علی و همکاران (Ali *et al*., 2014) نشان دادند افزایش محتوی فسفر خاک از صفر تا شصت کیلوگرم در هکتار به‌دلیل افزایش فسفر محلول، نقش مهمی در جذب عناصری از جمله پتاسیم و منیزیم دارد و باعث اختصاص بیشتر مواد غذایی و مواد فتوسنتزی به بذر و در نتیجه بزرگ‌تر شدن ابعاد دانه می‌گردد و به نظر می‌رسد که قسمتی از افزایش وزن هزار دانه می‌تواند به‌همین دلیل باشد. همچنین، افزایش غلظت فسفر محلول، میزان ذخیره فیتین بذر را افزایش می‌دهد. فیتین منبع اصلی ذخیره فسفر در اکثر بذرها، دانه‌ها و ترکیب مهمی برای جوانه‌زدن و رشد دانه است و اثر مهمی بر اندازه و وزن بذر دارد. در واقع سیستم تلفیقی کود زیستی و شیمیایی با گسترش و توسعه ریشه و افزایش طول دوره رویشی گیاه و در نتیجه افزایش سطح فتوسنتزکننده، سبب افزایش طول دوره پرشدن دانه و در نتیجه انتقال مواد فتوسنتزی بیشتری به دانه می‌گردد که در نهایت وزن هزار دانه، عملکرد و اجزای عملکرد افزایش می‌یابد (Abbadi and Gerendaas, 2011).

مانی‌کاندان و تامی‌ژینیان (Manikandan and Thamizhiniyan, 2016) در آفتابگردان گزارش دادند وزن هزار دانه بیانگر وضعیت و طول دوره رشد زایشی گیاه است و با آغاز گلدهی و مشخص شدن تعداد دانه در بوته، دانه‌ها شروع به دریافت و ذخیره مقداری از مواد فتوسنتزی می‌نمایند. افزایش وزن هزار دانه با توجه به افزایش طول پرشدن دانه قابل توجیه است و بیانگر تأثیر مثبت کود ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه از طریق افزایش مقدار مواد فتوسنتزی ذخیره شده در دوره طولانی‌تر دوره پرشدن دانه باشد. یافته‌های این محققین با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش تطابق دارد، لذا با افزایش سطوح مصرف کود زیستی فسفره و کود تریپل سوپرفسفات بر میزان وزن هزار دانه افزوده گردید.

میزان پوکی دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر کود تریپل سوپرفسفات و کود زیستی فسفر بر صفت میزان پوکی دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین، سطوح مختلف تریپل سوپرفسفات بیشترین میزان پوکی دانه با (۳۰/۸۷ درصد) در شرایط عدم کاربرد تریپل سوپر فسفات و کمترین میزان (۲۳/۰۸ درصد) از مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپر فسفات حاصل شد (جدول ۳). همچنین، مقایسه سطوح مختلف کود زیستی فسفره نشان داد بیشترین میزان پوکی دانه (۳۱/۱۵ درصد) به تیمار شاهد و کمترین میزان (۲۳/۰۵ درصد) به تیمار مصرف ۲۰۰ گرم در هکتار تعلق گرفت (جدول ۴). در گیاه آفتابگردان ارتقای عملکرد دانه عمدتاً تحت تاثیر افزایش تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه و نیز کاهش درصد پوکی دانه است (Sadozai *et al*., 2013). قاسمی و همکاران (Ghasemi *et al*., 2011) گزارش دادند درصد پوکی دانه در ذرت، زمانی کمترین مقدار را داشت که کود زیستی و شیمیایی فسفره به‌صورت تلفیقی استفاده شد. ژانگ و همکاران (Zhang *et al*., 2015) گزارش دادند افزایش جذب عنصر فسفر و انتقال آن به سلول‌های گیاه ذرت، باعث بهبود رشد، افزایش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی می‌گردد لذا در

مرحله پر شدن دانه، شیره پرورده کافی به دانه‌ها منتقل شده و باعث کاهش میزان پوکی دانه و افزایش تعداد دانه در بلال می‌گردد.

عملکرد دانه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر عامل تریپل سوپرفسفات و کود زیستی فسفر بر صفت عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین، بیشترین مقدار عملکرد دانه (۱۹۴۰ کیلوگرم در هکتار) به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپرفسفات و کمترین مقدار (۱۶۹۶ کیلوگرم در هکتار) به تیمار شاهد تعلق گرفت (جدول ۳). همچنین، بیشترین مقدار عملکرد دانه (۱۹۱۲ کیلوگرم در هکتار) در شرایط کاربرد ۲۰۰ گرم در هکتار کود زیستی فسفره و کمترین مقدار (۱۷۳۹ کیلوگرم در هکتار) در شرایط عدم مصرف کود زیستی فسفره حاصل شد (جدول ۴). زمانی و همکاران (Zamani *et al.*, 2014) و زینعلی و همکاران (Zeinali *et al.*, 2014) نیز نتایج مشابهی گزارش دادند. افزایش عملکرد دانه با توجه به نقش فسفر در ذخیره و انتقال انرژی، فعالیت برخی آنزیم‌ها، فتوسنتز، تنفس سلولی، ساخت ساکاروز و نشاسته، انتقال کربوهیدرات‌ها، همچنین افزایش قطر و طول ریشه، افزایش ریشه‌های خوشه‌ای و سطح تماس ریشه قابل توجیه است (Kazemalilou *et al.*, 2018). طبق گزارش داروش و همکاران (Darwesh *et al.*, 2013)، بیشترین تعداد غلاف در هر گیاه، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد روغن سویا را بر اثر تلقیح بذر با کودهای زیستی همراه با مصرف ۲۵ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپرفسفات و ۱۵ کیلوگرم در هکتار اوره به‌دست آوردند. مدنی و همکاران (Madani *et al.*, 2010) گزارش دادند با کاربرد کود زیستی فسفر بدون کاهش عملکرد، میزان مصرف کود شیمیایی فسفره از ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار به ۱۲۵ کیلوگرم در هکتار رسیده و عملکرد دانه در کلزا به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. شوقی‌کلخوران و همکاران (Shoghi Kalkhoran *et al.*, 2012) گزارش دادند تلقیح بذور آفتابگردان با نیتروکسین منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد زیستی شد. فرناندز و همکاران (Fernandes *et al.*, 2015) اثر کاربرد تلفیقی کود زیستی فسفر و کود شیمیایی فسفره (در ۳ سطح صفر، ۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم) بر شاخص‌های رشد و عملکرد سیب‌زمینی مورد بررسی قرار داده و گزارش دادند کاربرد ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی به‌همراه کود زیستی فسفره باعث تولید بیشترین عملکرد محصول شد. گروه دیگری از محققان گزارش دادند اثر متقابل کود زیستی فسفره به همراه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی تریپل سوپرفسفات منجر به بیشترین عملکرد در برنج گردید، لذا اثر متقابل مصرف کود زیستی فسفات با ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود شیمیایی تریپل سوپرفسفات بر روی دو رقم برنج، بیشترین عملکرد دانه را نسبت به تیمارهای کود شیمیایی بدون استفاده از کود زیستی نشان داد (Lan *et al.*, 2012). آنسا (Ansa, 2018) گزارش داد در سیستم تغذیه تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی، افزایش کود دامی از شش به سی تن در هکتار باعث افزایش عملکرد محصول آفتابگردان شد. همچنین، بوریرو و همکاران (Buriro *et al.*, 2015) در بررسی اثر کودهای آلی، شیمیایی و تلفیقی بر آفتابگردان به این نتیجه رسیدند عملکرد دانه در تیمارهای تلفیقی بیشتر از تیمارهای کود شیمیایی بود. نتایج این تحقیقات با

نتایج به‌دست آمده در این تحقیق تطابق داشت و در این آزمایش کاربرد تلفیقی کود زیستی فسفر و تریپل سوپرفسفات منجر به افزایش عملکرد دانه گردید و بیشترین میزان عملکرد دانه در شرایط مصرف ۱۰۰ کیلوگرم هکتار تریپل سوپرفسفات به همراه ۲۰۰ گرم در هکتار کود زیستی فسفره حاصل شد. فسفر در استقرار اولیه ریشه گیاه و بر فعالیت‌های مریستمی و تقسیم سلولی اثر بسیار مهمی دارد لذا گیاه تحت تیمار با مقدار فسفر بیشتر استقرار اولیه زودتری داشته و با افزایش دوره رشد رویشی و زایشی گیاه، اجزای عملکرد آن نیز افزایش می‌یابد. افزایش گسترش ریشه و تثبیت زیستی نیتروژن در ریشه در تیمار با کودهای زیستی فسفره عامل بسیار مهمی برای افزایش رشد اندام‌های هوایی گیاه است که از طریق فراهم نمودن عناصری از جمله فسفر، کلسیم، پتاسیم و به‌خصوص نیتروژن، باعث افزایش هرچه بیشتر سرعت رشد و عملکرد و اجزای عملکرد می‌گردد (Umesha *et al*., 2013). کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی باعث می‌شود گیاه در شرایط خوبی از نظر عناصر غذایی رشد کرده و طول دوره پر شدن دانه را در راستای استفاده بیشتر از منابع رشدی افزایش می‌دهد. اثر عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر و قابلیت باکتری‌ها در تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفات از عوامل تأثیرگذاری این کودها بر رشد و نمو و فنولوژی آفتابگردان می‌باشد لذا با افزایش فعالیت فتوسنتزی و حفظ شاخص سطح برگ باعث طولانی‌تر شدن دوره پرشدن دانه در راستای افزایش عملکرد دانه می‌شود (Buriro *et al*., 2015). مصرف تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی، به‌عنوان سیستم مدیریتی صحیح و منطقی می‌تواند باعث کاهش مصرف کودهای شیمیایی و نیز جلوگیری از اثرهای زیان بار آنها بر آب‌های سطحی و زیرزمینی، توازن تغذیه‌ای در گیاهان را حفظ کرده و عملکرد آنها را افزایش می‌دهد (Umesha *et al*., 2013). در پژوهشی اثر کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات کیفی آفتابگردان ارزیابی و نتایج نشان داد عملکرد دانه در آفتابگردان به‌طور معنی‌داری در تیمارهای تلفیقی کود دامی و کود مرغی همراه با کود شیمیایی افزایش یافت که علت آن می‌تواند به‌دلیل دسترسی بیشتر به عناصر غذایی در هنگام نیاز گیاه در طی مراحل حساس رشد گیاه (دوره پر شدن دانه) است (Ansa, 2018).

درصد روغن دانه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر عامل تریپل سوپرفسفات و کود زیستی فسفر بر صفت درصد روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح مختلف تریپل سوپرفسفات نشان داد بیشترین مقدار درصد روغن دانه (۴۰/۹۸ درصد) به تیمار مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپرفسفات و کمترین مقدار (۳۰/۰۱ درصد) به تیمار شاهد تعلق گرفت (جدول ۳). همچنین، بیشترین مقدار درصد روغن دانه (۳۹/۲۶ درصد) به تیمار ۲۰۰ گرم در هکتار و کمترین مقدار (۳۲/۶۲ درصد) به تیمار عدم مصرف کود زیستی فسفره تعلق گرفت (جدول ۴). خدیری آغله‌بوب و نصرالله‌زاده اصل (Khadiri Aghleh Boob and Nasrollahzadeh Asl, 2017) نیز نتایج مشابهی گزارش دادند. شوقی کلخوران و همکاران (Shoghi Kalkhoran *et al*., 2012) بیان کردند تلقیح بذر آفتابگردان با کود نیتروکسین باعث افزایش معنی‌دار محتوای پروتئین، روغن و بهبود کیفیت روغن آفتابگردان

شد، همچنین کاربرد کودهای زیستی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش درصد روغن در دانه آفتابگردان گردید. کروگر و همکاران (Krueger *et al*., 2015) گزارش داد کاربرد کود فسفره به مقدار شش گرم در مترمربع به همراه کود زیستی فسفره باعث تولید بیشترین عملکرد دانه و درصد روغن گیاه سویا شد. شیلودی و همکاران (Shillode *et al*., 2016) گزارش دادند استفاده از کودهای زیستی (ازتوباکتر و میکوریزا) در گیاه گلرنگ باعث افزایش درصد و مقدار عملکرد روغن گردید. مانی‌کاندان و تامیژانیان (Manikandan and Thamizhiniyan, 2016) با بررسی اثر تیمارهای مختلف تغذیه‌ای کودهای آلی، شیمیایی و تلفیقی بر گیاه آفتابگردان گزارش دادند بیشترین عملکرد دانه از مصرف تیمارهای تلفیقی به‌دست آمد و صفات کیفی آفتابگردان مانند درصد روغن و پروتئین در تیمارهای تلفیقی (کود آلی و شیمیایی) به‌طور معنی‌داری بیشتر از مصرف هریک از آنها به تنهایی بوده است. شوقی‌کلخوران و همکاران (Shoghi Kalkhoran *et al*., 2012) گزارش دادند با مصرف پنجاه درصد کود زیستی همراه با پنجاه درصد کود شیمیایی منجر به افزایش محتوای روغن دانه آفتابگردان گردید. نتایج این تحقیقات با یافته‌های این آزمایش تطابق دارد و با کاربرد تلفیقی کود زیستی و شیمیایی فسفره میزان روغن دانه افزایش یافت و نتایج نشان داد بیشترین روغن دانه با در شرایط مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات‌تریپل به همراه ۲۰۰ گرم در هکتار کود زیستی فسفره به دست آمد. با توجه به اینکه میزان روغن دانه با طولانی‌تر شدن دوره رسیدگی و خنک شدن دمای هوا طی مرحله پرشدن دانه بیشتر می‌شود، تأمین کامل عناصر مورد نیاز در آفتابگردان با بهبود عملکرد دانه اثر مستقیمی بر افزایش محتوای روغن دانه آفتابگردان دارد.

غلظت کادمیم دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر عامل تریپل سوپرفسفات و کود زیستی فسفر بر صفت غلظت کادمیم دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین بیشترین مقدار غلظت کادمیم دانه (۴/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپرفسفات و کمترین مقدار (۲/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به تیمار شاهد تعلق گرفت (جدول ۳). کادمیم موجود در کودهای شیمیایی فسفاته مصرفی در ایران از ۱۰ تا ۱۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بسته به روش استفاده از کود شیمیایی و درجه کیفیت کود است، بنابراین با افزایش مصرف مقدار کودهای شیمیایی فسفاته و حتی مصرف بهینه کودهای غیراستاندارد (با درجه غلظت بالای کادمیم) انتظار می‌رود مقدار کادمیم در دسترس گیاه زراعی افزایش پیدا کرده و لذا مقدار جذب و تجمع کادمیم توسط گیاه زیاد می‌شود (Khase sirjani, 2011)، توماس و همکاران (Thomas *et al*., 2012) نیز موارد مشابهی را گزارش دادند. هماخان و همکاران (Huma Khan *et al*., 2016) افزایش تجمع فلزات سنگین در ریشه‌ها را به کمپلکس شدن این فلزات با گروه‌های سولفیدرل ربط دادند که مانع انتقال فلزات به اندام‌های هوایی می‌شود. مقایسه میانگین سطوح مختلف کود زیستی فسفر نشان داد بیشترین مقدار غلظت کادمیم دانه (۴/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به تیمار شاهد و کمترین مقدار (۲/۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از تیمار مصرف ۲۰۰ گرم در هکتار کود زیستی حاصل شد (جدول ۴). در این تحقیق به نظر می‌رسد کاربرد کود زیستی بارور۲، سبب

آزادسازی فسفر تثبیت‌شده در خاک شده و با در اختیار قرار دادن این عنصر برای گیاه می‌تواند دلیلی برای کاهش کادمیم دانه باشد (Monjezi *et al.*, 2015). در همین راستا رستمی و همکاران (Rostami *et al.*, 2019) گزارش نمودند که با افزایش سطوح فسفر در حضور کادمیوم، میزان کادمیوم کاهش یافت که احتمالاً به‌علت تشکیل ترکیبات نامحلول این دو عنصر می‌باشد. لذا کاربرد باکتری حل‌کننده فسفر توانست اثرات مضر عنصر کادمیم را کاهش دهد. محدوده تغییرات کادمیم، در خاک‌های غیرآلوده ۰/۱ تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک معین شده است (Huma Khan *et al.*, 2016) بنابراین، بر اساس آزمون خاک تحقیق حاضر، غلظت کادمیم در محدوده سالم قرار می‌گیرد. یاداو و سینگ (Yadav and Singh, 2013) در مطالعه‌ای تاثیر کاربرد کودهای آلی بر تثبیت و کاهش جذب فلزات سنگین توسط گندم را ارزیابی و گزارش داد با استفاده از کودهای آلی به جای کودهای شیمیایی جذب کادمیم توسط گندم به‌میزان چشم‌گیری کاهش یافته و از غلظت کادمیم در دانه و ریشه به‌میزان قابل توجهی کاسته شد، در مقابل گائو و همکاران (Gao *et al.*, 2010) گزارش دادند کاربرد کود شیمیایی فسفره در کشت گندم منجر به بیشتر شدن غلظت کادمیم در دانه شد. سیبرز و همکاران (Siebers *et al.*, 2014) بیان کردند افزایش کاربرد کود فسفره منجر به افزایش غلظت کادمیم در کاهو، گندم و سیب‌زمینی شد، که نتایج این محققان با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مطابقت داشت و کاربرد کود زیستی فسفر منجر به کاهش غلظت کادمیم در دانه آفتابگردان گردید و کاربرد کود تریپل سوپرفسفات منجر به افزایش غلظت کادمیم دانه گردید. همچنین، محققان دیگری نشان دادند کاربرد کود آلی بیوچار منجر به کاهش معنی‌دار غلظت سرب و کادمیم دانه و ریشه آفتابگردان شد (Hejazizadeh *et al.*, 2014).

غلظت فسفر دانه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر کود تریپل سوپرفسفات و کود زیستی فسفر بر صفت غلظت فسفر دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار غلظت فسفر دانه (۶۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپرفسفات و کمترین مقدار (۴۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به تیمار شاهد تعلق گرفت (جدول ۳). همچنین، بیشترین مقدار غلظت فسفر دانه (۶۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در شرایط کاربرد ۲۰۰ گرم در هکتار کود زیستی فسفره و کمترین مقدار (۴۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به تیمار عدم‌مصرف کود زیستی فسفر تعلق داشت، به عبارتی کاربرد ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم در هکتار کود زیستی فسفره افزایش ۱۸/۵ و ۲۶/۹ درصدی در غلظت فسفر بذر گیاهان تلقیح شده نسبت به تیمار شاهد ایجاد کرده است (جدول ۴). باکتری باسیلوس موجود در کود فسفات بارور ۲ با تولید اسیدهای آلی باعث آزادسازی فسفر از فرم‌های غیرقابل دسترس برای گیاه شده و در نتیجه سبب افزایش فراهمی و جذب فسفر می‌گردد. سودوموناس نیز با ترشح آنزیم فسفاتاز باعث آزادسازی یون فسفات از ترکیبات حاوی فسفات نامحلول می گردد (Yadavi and Yuosefpur, 2015). در این رابطه درزی و همکاران (Darzi *et al.*, 2009) نیز گزارش کردند که کود فسفات زیستی از طریق افزایش فعالیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات در خاک و بهبود حلالیت فسفر در ریزوسفر، قادر به تأمین مناسب فسفر مورد نیاز گیاه رازیانه در

مراحل مختلف رشدی و بهبـود غلظـت فـسفر در دانه‌ی آن بوده است.

نتیجه‌گیری کلی

مدیریت تلفیقی تغذیه سبب افزایش سلامت خاک، کیفیت دانه، عملکرد دانه و در مجموع افزایش درآمد کشاورزان می‌شود. در این تحقیق، برهمکنش تیمارهای کود تریپل سوپرفسفات و کود زیستی فسفر بر صفات مورد مطالعه از نظر آماری معنی‌دار نبود و در واقع اثر این تیمارها بر روی صفات آزمایش یکسان بود و در یک کلاس آماری قرار داشتند. به نظر می‌رسد کود تریپل سوپرفسفات به دلیل داشتن ناخالصی از جمله عناصر سنگین باعث افزایش غلظت عنصر کادمیم در خاک می‌گردد، اما افزایش سطوح مصرف کود زیستی فسفره در خاک موجب کاهش تجمع غلظت کادمیم دانه می‌شود. کاربرد کود زیستی بارور۲، سبب آزادسازی فسفر تثبیت‌شده در خاک شده و با در اختیار قرار دادن این عنصر برای گیاه می‌تواند دلیلی برای کاهش کادمیم دانه باشد. طبق نتایج به‌دست آمده، بالاترین میزان عملکرد دانه، وزن هزار دانه، درصد روغن دانه، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، غلظت فسفر دانه و کمترین درصد پوکی دانه در شرایط کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تریپل سوپرفسفات به همراه ۲۰۰ گرم در هکتار کود زیستی فسفر به دست آمد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physical and chemical properties of field's soil

عمق خاک Depth of soil (cm)	بافت خاک Soil texture	pH	مواد آلی Organic Matter (%)	هدایت الکتریکی EC(dS.m^{-1})	روی Zn	آهن Fe	فسفر P	پتاسیم K	کادمیم خاک Soil Cd
					(mg.kg^{-1})				
0-30	Clay loam	7.51	0.89	2.87	1.82	12.1	8.1	175	0.85

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه گیری شده تحت تأثیر تریپل سوپرفسفات و کود زیستی فسفر

Table 2- Result of analysis of variance of measured traits affected superphosphate triple and biological phosphorus fertilizers

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	قطر طبق Head diameter	تعداد دانه در طبق No. seed per head	وزن هزار دانه 1000-seed weight	میزان پوکی Unfilled seed
تکرار (Replication)	2	8.94^{ns}	3606.92^{ns}	14.22^{ns}	17.66^{ns}
تریپل سوپرفسفات Superphosphate triple (S)	2	23.17*	108641.59**	108.48**	136.77**
کود زیستی فسفر Biological phosphorus fertilizers (B)	2	12.33*	83088.59**	71.33**	123.63**
اثرات متقابل (S × B)	4	3.26^{ns}	289.03^{ns}	18.65^{ns}	22.43^{ns}
خطا (Error)	16	11.03	10138.92	95.33	45.46
ضریب تغییرات (C.V.%)	-	6.35	11.75	3.57	10.16

ns ، * و ** به‌ترتیب بیانگر تفاوت غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

ns, ** and *: no significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۲

Table 2- Contimued

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	غلظت روغن دانه Seed oil concentration	غلظت کادمیم دانه Seed cadmium concentration	غلظت فسفر دانه Seed Phosphorus concentration
تکرار (Replication)	2	35224.83^{ns}	16.33^{ns}	0.316^{ns}	15114.82^{ns}
تریپل سوپرفسفات Superphosphate triple (S)	2	142038.40**	270.78**	18.426**	117019.41**
کود زیستی فسفر Biological phosphorus fertilizers (B)	2	84083.11**	105.91**	8.683**	51054.12**
اثرات متقابل (S × B)	4	5290.69^{ns}	22.57^{ns}	0.226^{ns}	1191.59^{ns}
خطا (Error)	16	9520.73	24.032	2.025	8321.13
ضریب تغییرات (C.V.%)	-	5.42	7.48	8.27	4.51

ns ، * و ** به‌ترتیب بیانگر تفاوت غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می باشد.

ns, ** and *: no significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف تریپل سوپرفسفات بر صفات اندازه‌گیری شده

Table 3- Mean comparison effect of different level of superphosphate triple on measured traits

تیمارها Treatment	قطر طبق Head diameter (cm)	تعداد دانه در طبق No. seed per head	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	میزان پوکی Unfilled seed (%)
تریپل سوپرفسفات (kg.ha^{-1}) Superphosphate triple (kg.ha^{-1})				
0	14.15^{b}	754.6^{c}	47.84^{c}	30.87^{a}
50	15.70^{ab}	844.1^{b}	50.74^{b}	26.72^{b}
100	17.73^{a}	973.1^{a}	54.75^{a}	23.31^{c}

*میانگین‌های دارای یک حرف مشترک، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

*Means in each column, following same letter(s) are not significantly different at 5% probability level by Duncan test.

ادامه جدول ۳

Table 3- Contimued

تیمارها Treatment	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	غلظت روغن دانه Seed oil concentration (%)	غلظت کادمیم دانه Seed cadmium concentration (mg.kg^{-1})	غلظت فسفر دانه Seed Phosphorus concentration (mg.kg^{-1})
تریپل سوپرفسفات (kg.ha^{-1}) Superphosphate triple (kg.ha^{-1})				
0	1696^{c}	30.01^{c}	2.19^{b}	497^{c}
50	1766^{b}	35.34^{b}	2.9^{ab}	589^{b}
100	1940^{a}	40.98^{a}	4.78^{a}	629^{a}

*میانگین‌های دارای یک حرف مشترک، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

*Means in each column, following same letter(s) are not significantly different at 5% probability level by Duncan test.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کودزیستی فسفر بر صفات اندازه گیری شده

Table 4- Mean comparison effect of different level of biological phosphorus fertilizers on measured traits

تیمارها Treatment	قطر طبق Head diameter (cm)	تعداد دانه در طبق No. seed per head	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	میزان پوکی Unfilled seed (%)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	غلظت روغن دانه Seed oil concentration (%)	غلظت کادمیم دانه Seed cadmium concentration (mg.kg^{-1})	غلظت فسفر دانه Seed Phosphorus concentration (mg.kg^{-1})
کود زیستی فسفر Biological phosphorus fertilizers (g.ha^{-1})								
0	14.25^{b}	793.6^{c}	48.12^{b}	31.15^{a}	1739^{b}	32.62^{b}	4.21^{a}	490^{c}
100	15.71^{ab}	810.4^{b}	49.95^{ab}	25.11^{b}	1751^{b}	34.45^{b}	2.90^{ab}	581^{b}
200	17.28^{a}	967.8^{a}	54.11^{a}	23.05^{b}	1912^{a}	39.26^{a}	2.29^{b}	622^{a}

*میانگین‌های دارای یک حرف مشترک، براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن (در سطح احتمال ۵ درصد) اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

*Means in each column, following same letter(s) are not significantly different at 5% probability level by Duncan test.

References منابع مورد استفاده

- Abbadi, J., and J. Gerendaas. 2011. Effects of phosphorus supply on growth, yield, and yield components of safflower and sunflower. *Journal of Plant Nutrition*. 34(12): 1769-1787.
- Abdaslam, S., E. P. Lal, and Ch. K. Singh. 2016. Effect of biofertilizers on growth and yield of sunflower comparison in indolybian natural condition. *Journal of Agriculture and Veterinary Science.* 6(2): 7-14.
- Ahmed, M.H., S.M. Mohamed, H.M. Moohamed, and H.M. Shahata. 2015. Effect of bio, nitrogen and phosphorus fertilizers on growth, yield and yield components of sunflower crop grown in El-Kharga oasis, new valley. *Assiut Journal Agricultural Science.* 46(2): 148-161.
- Ali, A.B., O.A. Altayeb, M. Alhadi., and Y. Shuang-En. 2014. Effect of different levels nitrogen and phosphorus fertilization on yield and chemical composition hybrid sunflower grown under irrigated condition. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*. 1(7): 1-7.
- Anonymus. 2018. Newsletters. Ministry of agriculture, Golestan Province. No. 149. (In Persian)
- Ansa, J.E.O. 2018. Comparative effects of poultry manure and NPK rates on sunflower (*Helianthus annuus* L.) production in rivers state, southern rainforest, Nigeria. *European Journal of Agriculture and Forestry Research*. 6(3): 24-30.
- Bamgboye, A.I., and A.O.D. Adejumo. 2007. Development of a sunflower oil expeller. *Agricultural Engineering International.* 6: 1-7.
- Beyranvand, H., A. Farnia, S. Nakhjavan, and M. Shaban. 2013. Response of yield and yield components of maize (*Zea maiz* L.) to different bio fertilizers. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research.* (1)9: 1068-1077.
- Buriro, M., M.N. Rais, A. W. Solangi, A. Soomro, A.W. Gandahi, and Sh. Kashani. 2015. Impact of organic and inorganic manures on sunflower yield and yield components. *Science International (Lahore).* 27(4): 3267-3270.
- Darwesh, D.A., P.M. Maulood, and Sh.A. Amin. 2013. Effect of phosphorus fertilizers on growth and physiological phosphorus use efficiency of three soy bean cultivars. *Journal of Agriculture and Veterinary Science.* 3(6): 32-36.
- Darzi, M.T., A. Ghalavand, and F. Rejali. 2009. The effects of biofertilizers application on N, P, K assimilation and seed yield in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 25(1): 1-19. (In Persian)
- Ekin, Z. 2010. Performance of phosphate solubilizing bacteria for improving growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in the presence of phosphorus fertilizer. *African Journal of Biotechnology.* 9(25): 3794-3800.
- Fernandes, A.M., R.P. Soratto, L.D. Aguila Moreno, and R.M. Evangelista. 2015. Effect of phosphorus nutrition on quality of fresh tuber of potato cultivars. *Bragantia Campinas*. 74(1): 102-109.
- Gao, X., D. Flaten, M. Tenuta, M. Grimmett, E. Gawalko, and C. Grant. 2010. Soil solution dynamics and plant uptake of cadmium and zinc by durum wheat following phosphate fertilization. *Plant Soil*. 338: 423-434.

- Ghasemi, S., K. Siavashi, R. Choukan, K. Khavazi., and A. Rahmani. 2011. Effect of biofertilizer phosphate on grain yield and its components of maize under water deficit stress conditions. *Journal of Seed and Plant Production*. 27(2): 219-233. (In Persian)
- Gholami Mehrabadi, A., M. Madaniand, and A. Malboobi. 2012. Response of maize hybrids to biological and chemical phosphorus fertilizer sources in Arak climate. 12th Iranian Crop Science Congress. 4-6 September. Karaj. Iran. (In Persian)
- Hejazizadeh, A., A. Gholamalizadeh Ahangar, and M. Ghorbani. 2014. Effect of biochar on lead and cadmium uptake from applied paper factory sewage sludge by Sunflower. *Journal of Water and Soil Science*. 26(1-2): 259-271. (In Persian)
- Huma Khan, N., M. Nafees., and A. Bashir. 2016. Study of heavy metals in soil and wheat crop and their transfer to food chain. *Sarhad Journal of Agriculture*. 32(1): 1-10.
- Javanmard, A., H. Mostafvi, and A. Khezri. 2014. Improving the efficiency of chemical fertilizers and the possibility of reducing their use by application of biofertilizers in corn production. *Research in Crop Ecosystems*. 1(4): 83-93. (In Persian).
- Kazemalilou S., N. Najafi, A. Reyhanitabar, and M. Ghaffari. 2018. Effects of integrated application of phosphorus fertilizer and sewage sludge on leaf chlorophyll index and some growth characteristics of sunflower under water deficit conditions. *Journal of Soil Management and Sustainable Production.* 7(4): 1-18. (In Persian).
- Kazemalilou S., N. Najafi, and A. Reyhanitabar. 2018. Increasing the yield and yield components of sunflower by integrated application of phosphorus and sewage sludge under optimum and limited irrigation conditions. *Journal of Water and Soil-Ferdowsi University of Mashhad*. 31(6): 1637-1650. (In Persian).
- Khadiri Aghleh Boob, A., and A. Nasrollahzadeh Asl. 2017. Effects of irrigation disruption and Barvar-2 phosphate biofertilizer on agronomic characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Ukrainian Journal of Ecology*. 7(4): 297-303.
- Khajehpor, M.R. 2012. Industrial crop cultivation. Isfahan Industrial University Publication. 582 p. (In Persian).
- Khase sirjani, A. 2011. Evaluation of biofertilizer containing phosphate solubilizing bacteria and enriched bacteria organic P-fertlizer in wheat production. *Soil Research Journal (Soil and water Science)*. 25(3): 217-224.
- Krueger, K., A. Susana Goggi, A.P. Mallarino, and R.E. Mullen. 2013. Phosphorus and potassium fertilization effects on soybean seed quality and composition. *Crop Science.* 53(2): 602-617.
- Lan, Z. M., X. J. Lin, F. Wang, H. Zhang, and C.R. Chen. 2012. Phosphorus availability and rice grain yield in a paddy soil in response to long-term fertilization. *Biology and Fertility of Soils.* 48: 579-588.
- Madani, H., Gh. Naderibrojerdi, H. Aghajani, and A. Pazoki. 2010. Comparison of the effects of phosphorus fertilizers and phosphate-solubilizing bacteria on seed

biologic yield and relative phosphorus content of tissues in autumn Rapeseed. *Journal of Agriculture and Plant Breeding*. 6(4): 93-104. (In Persian).

- Malakoti, M.J., M. Torabi, and S.J. Tabatabaee. 2000. Evaluation negetive effect of cadmium on crop production and methods for decrease Cd concentration. Bulletin No.67. Agriculture Education Publication. Karaj. Iran. (In Persian).
- Manikandan, S., and P. Thamizhiniyan. 2016. Effect of organic and inorganic fertilizer on phytochemical constituents in sunflower. *Journal of Applied and Advanced Research*. 1(4): 18-20.
- Mar, S., M. Okazaki, and T. Motobayashi. 2012. The influence of phosphate fertilizer application levels and cultivars on cadmium uptake by Komatsuna (*Brassica rapa* L. var. perviridis). *Journal Soil Science and Plant Nutrition*. 58(4): 492-502.
- Monjezi, H., M.R. MoradiTelavat, S.A. Siadat, A. Koochakzadeh, and H. Hamdi. 2015. Effect of sugarcane filter muds, chemical and biological fertilizers on absorption of some macro- and micro-elementsand heavy metals by canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Crop Production and Processing*. 5(17):193-202. (In Persian).
- Osman, E.B.A., and M.M.M. Awed. 2010. Response of sunflower (*Helianthus annus* L.) to phosphorus and nitrogen fertilization under different plant spacing at New Valley ASS. *Universal Bulletin Environment Research*. 13(1): 11-19.
- Payandeh, Kh., M. Mojaddam, and N. Derogar. 2019. Effect of mycorrhiza and phosphate solublizing bacteria on yield and yield components of corn (KSC 704) under different irrigation regimes. *Journal of Crop Ecophysiology*. 13(3): 359-376. (In Persian).
- Pramanik, K., and A.K. Bera. 2013. Effect of biofertilizers and phytohormone on growth, productivity and quality of sunflower (*Helianthus annuus* L). *Journal of Crop and Weed*. 9(2): 122-127.
- Rostami, F., A. Golchin, and M. Heydari. 2019. Effect of mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria on corn growth and cadmium uptake in cadmium spiked soils. *Iranian Journal of Soil and Water Research.* 50(10): 2413-2323. (In Persian).
- Ryan, P. R., E. Delhaize, and D. L. Jones. 2001. Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. Annual Review of Plant Physiology. *Plant Molecular, Biology*. 52: 527–560.
- Sadozai, Gh.U., M. Farhad, M. Ayyaz Khan, E. Ahmad Khan, M. Niamatullah, M.S. Baloch, A.A. Khakwani, and K. Wasim. 2013. Effect of different phosphorous levels on growth, yield and quality of spring planted sunflower. *Pakistan Journal of Nutrition.* 12(12): 1070-1074.
- Shillode, G.U., D.S. Patil, and S.R. Joshi. 2016. Soil properties and yield of safflower as influenced by different fertilizers. *Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences*. 4(2): 13-16.
- Shoghi Kalkhoran, S., A. Ghalavand, and S. Modares Sanavi. 2012. Effects of biofertilizer and green manure in combination with integrated nitrogen sources on quantitative and qualitative traits of sunflower. *Environmental Sciences.* 3: 35-52. (In Persian)

- Siebers, N., F. Godlinski, and P. Leinweber. 2014. Bone char as phosphorus fertilizer involved in cadmium immobilization in lettuce, wheat, and potato cropping. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 177(1): 75-83.
- Soltanpour, P.N. 1991. Determination of nutrient availability and element toxicity by AB-DTPA soil test and ICPS. *Advances in Soil Science.* 16: 165-190.
- Thomas, E., J. Omueti, and O. Ogundayomi. 2012. The effect of phosphate fertilizer on heavy metal in soils and amaranthus caudatus. *Agriculture and Biology Journal of North America.* 3: 145-149.
- Umesha, S., M. Divya, K. Prasanna, R. Lakshmipathi, and K. Sreeramulu. 2013. Comparative effect of organics and biofertilizers on growth and yield of maize (*Zea mays* L). *Current Agriculture Research Journal*. 3(29): 5-12.
- Yadav, K., and N. B. Singh. 2013. Effects of benzoic acid and cadmium toxicity on wheat seedlings. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 73(2): 168-174.
- Yadavi, A., and Z. Yuosepur. 2015. Effect of nitrogen and phosphorus sources on soil chemical properties and elements concentration in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Water and Soil*. 29(1): 210-224. (In Persian).
- Yosefi, K., M. Galavi, M. Ramrodi, and R. Mousavi. 2011. Effect of bio-phosphate and chemical phosphorus fertilizer accompanied with micronutrient foliar application on growth, yield and yield components of maize (Single Cross 704). *Australian Journal of Crop Science.* 5(2): 175-180.
- Yousefpoor, Z., and A. Yadavi. 2014. Effect of biological and chemical fertilizers of nitrogen and phosphorus on quantitative and qualitative yield of sunflower. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production.* 24(1): 95-112. (In Persian).
- Zamani, Z., H. Zeinali, J. Masood Sinaki, and H. Madani. 2014. Effect of N and P fertilizers on yield and metabolites of medicinal plant *Rubia tinctorum* L. under saline conditions. *Iranian Journal of Plant and Physiology*. 4(2): 949-955. (In Persian)
- Zeinali, H., A. Moslehiyazddly, L. Safai, Z. Jaberalansar, A. Akhondi., and Z. Eskandari. 2014. The effect of different amounts of nitrogen, phosphorus and potassium on quantitative and qualitative characteristics of chamomile. *Iranian Journal of Medical Aromatic Plant Science and Research*. 3(4): 511-518. (In Persian)
- Zhang, Y., M. Peng, J. Wang, Q. Gao, N. Cao, and Zh. Yang. 2015. Corn yield response to phosphorus fertilization in northeastern China. *Agronomy Journal*. 107(3): 1135-1140.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2021.679980

Effect of Bio Phosphate Fertilizer and Triple Super Phosphate Application on Yield, Yield Components, Phosphorus and Cadmium Concentration of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Seeds

Nadia Nisi[1], Alireza Shokohfar[2*], and Khoshnaz Payandeh[3]

Received: April 2020 , Revised: 9 September 2020, Accepted: 13 October 2020

Abstract

The high cost of chemical fertilizers used in agriculture and the environmental problems due to their use reveal the need to reappraise conventional plant nutrition practices. Integrated use of biofertilizers combined with synthetic fertilizers is one of the essential sustainable agricultural strategies. To this end, this study was carried out by using a factorial experiment based on randomized complete block design with three replications at the experimental field of Islamic Azad University, Ahvaz Branch during 2018 cropping season. The first factor was different amounts of triple superphosphate fertilizer with three levels (0, 50 and 100 $kg.ha^{-1}$) and the second factor was phosphorus biofertilizer also with three levels (0, 100 and 200 $g.ha^{-1}$). Result of analysis of variance revealed that the effect of different levels of biophosphorus fertilizer and triple superphosphate on all measured characteristics were significant but the interaction effect of treatments was not significant. Based on the results of this study, the highest seed yield, 1000 seed weight, seed oil percentage, head diameter and number of seed per head and lowest empty seed belonged to the use of 100 $kg.ha^{-1}$ triple superphosphate with 200 $g.ha^{-1}$ biophosphorus fertilizer. It seems triple superphosphate fertilizer to increase the concentration of soil cadmium by 54%, due to its impurities, including heavy elements, but increasing the levels of phosphorus fertilizer in the soil reduces the concentration of cadmium by 45%. According to these results, the application of 100 $kg.ha^{-1}$ of triple superphosphate and 200 $g.ha^{-1}$ of phosphorus fertilizer per hectare, compared to other treatments, may increase seed yield and absorption of elements of sunflower in this region.

Key words: Biological fertilizer, Chemical fertilizer, Contamination, Head diameter, Oil concentration.

1-M.sc. Graduated, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2-Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
3-Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
*.*Corresponding Author: alireza_shokuhfar@yahoo.com*