به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۳ ■ شماره ٤ ■ زمستان ۱٤۰۰
صفحه‌های ۸۳۸-۸۲۳
DOI: 10.22059/jci.2021.321216.2533

مقاله پژوهشی:

تأثیر کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه بر عملکرد دانه کنجد

عبدالرضا اخگر[1*]، پریسا ستوده[2]
۱. دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر رفسنجان، رفسنجان، ایران.
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر رفسنجان، رفسنجان، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد بر شاخص‌های عملکرد، درصد روغن و پروتئین و هم‌چنین غلظت عناصر در دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) یک آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در دانشگاه ولی عصر رفسنجان در سال ۱۳۹۳ به‌اجرا درآمد. فاکتورهای آزمایش شامل ورمی‌کمپوست در چهار سطح (صفر (V0)، یک (V1)، دو (V2) و چهار (V3) درصد) و باکتری‌های محرک رشد در پنج سطح (بدون باکتری (B0)، تلقیح با یک باکتری از گروه سودوموناس‌های فلورسنت دارای توان حل فسفات‌های معدنی (B1)، تلقیح با جدایه‌ای از باکتری‌های *آزوسپیریلوم* (B2) و *ازتوباکتر* (B3) با توان تثبیت نیتروژن، و تلقیح مخلوط سه باکتری (B4)) بودند. نتایج نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد، هر یک به‌تنهایی باعث افزایش معنی‌دار درصد روغن (به‌ترتیب تا ۸۰/۷ و ۱۵/٤ درصد)، غلظت پتاسیم، آهن و منگنز دانه کنجد شدند. هم‌چنین کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد توانست به‌طور معنی‌داری تعداد و وزن دانه، تعداد و وزن کپسول، میزان پروتئین دانه، غلظت نیتروژن، فسفر و مس دانه را افزایش دهد. در مجموع کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد، از طریق رابطه هم‌افزایی باعث افزایش عملکرد دانه کنجد و محتوای عناصر معدنی آن شدند.

کلیدواژه‌ها: *آزوسپیریلیوم*، *ازتوباکتر*، سودوموناس فلورسنت، کشاورزی پایدار، کود زیستی.

Effect of combined application of vermicompost and plant growth promoting rhizobacteria on seed yield in Sesame

Abdolreza Akhgar[1*], Parisa Sotodeh[2]
1. Associate professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture , Vali Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
2. Former M.Sc. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Vali Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
Received: May 3, 2021 Accepted: July 10, 2021

Abstract

To study the effect of vermicompost and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield indices, oil and protein percent and element concentration of seed in sesame (*Sesamum indicum* L.), a greenhouse experiment has been conducted in factorial based on completely randomized design with four replications at Vali-e-Asr university of Rafsanjan in 2014. Experiment factors include four levels of vermicompost (zero (V0), 1 (V1), 2 (V2), and 4 (V3) percent) and five bacterial levels (without bacteria (B0), inoculation with an isolate from fluorescent pseudomonads group, having ability to dissolve inorganic phosphate (B1), *Azospirillum* sp. (B2), *Azotobacter* sp. (B3), and with the ability to fix nitrogen and a mixture of three bacteria (B4)). The results show that the application of vermicompost and PGPR alone significantly increase oil percentage (up to 80.7% and 15.4%, respectively), potassium, iron, and manganese concentration in seed sesame. Also, simultaneous application of vermicompost and PGPR are significantly enhanced along with weight of seeds, number and weight of capsule, protein of seed and concentration of nitrogen, phosphorous and copper in seed sesame. In general, the combined application of vermicompost and growth-promoting bacteria, through a synergistic relationship, have increased the yield and the content of mineral elements of sesame seeds.

Keywords: *Azospirillum*, *Azotobacter*, biofertilizer. fluorescent pseudomonad, sustainable agriculture.

* نویسنده مسئول
Email: akhgar@vru.ac.ir

۱. مقدمه

استفاده از کودهای زیستی یکی از راه‌کارهای مؤثر در حفظ کیفیت مطلوب خاک محسوب می‌شود که باعث افزایش واکنش‌های مفید بین گیاه و میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر شده و توان گیاه را برای جذب بیش‌تر عناصر غذایی افزایش می‌دهد (Kokalis-Buerelle *et al*., 2006). از میان کودهای زیستی می‌توان به ورمی‌کمپوست و تولیدات حاصل از فعالیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن یا سایر عناصر غذایی که در خاک فعالیت دارند، اشاره کرد (Anwar *et al*., 2005). ورمی‌کمپوست علاوه بر قابلیت جذب آب با حجم بالا، شرایط مناسب جهت دانه‌بندی و قدرت نگه‌داری مواد غذایی موردنیاز گیاهان را فراهم می‌نماید (Singh, 2004). در پژوهشی که با هدف بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست بر رشد، عملکرد و وضعیت غذایی گوجه‌فرنگی انجام شد نشان داد که با کاربرد ۱۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، بیش‌ترین میزان جذب پتاسیم، مس، روی، آهن و منگنز به‌دست آمد (Azarmi *et al*., 2008).

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR) از جمله کودهای زیستی هستند که از طریق مستقیم و غیرمستقیم باعث افزایش رشد گیاه می‌شوند (Burdman *et al*., 2000, Khalid *et al*., 2006). مکانیسم‌هایی که باکتری‌های محرک رشد گیاه می‌توانند از طریق آن‌ها به‌طور مستقیم باعث بهبود و افزایش رشد و عملکرد گیاه شوند عبارتند از تولید هورمون‌های گیاهی مانند اکسین (Egamberdiyeva, 2005)، کم‌کردن اتیلن تنشی (Glick, 1995)، تثبیت بیولوژیک نیتروژن (Sahin *et al*., 2004)، تولید سیدروفور (Leong, 1986) و حل کردن فسفات‌های آلی و معدنی (Jeon *et al*., 2003).

نتایج پژوهشی چند ساله در اروگوئه، شیلی و آرژانتین نشان داد که می‌توان از ده جدایه جداسازی‌شده از خاک این مناطق (شش جدایه از جنس *سودوموناس*، سه جدایه از جنس *باسیلوس* و یک جدایه از جنس *جانی‌باکتر*) برای افزایش رشد یونجه استفاده کرد. این جدایه‌ها قادر به حل فسفات نامحلول، تولید سیدروفور و کنترل بیولوژیک بودند (Guinazu *et al*., 2013). نتایج پژوهش Youssef *et al*. (2004) نشان داد که در گیاه دارویی مریم‌گلی، *آزوسپریلیوم* سبب افزایش ارتفاع بوته و وزن تر و خشک اندام‌های گیاهی شد. در آزمایشی دیگر Biari *et al*. (2008) نشان دادند که تلقیح ذرت با *ازتوباکتر* موجب افزایش معنی‌دار وزن دانه در بوته، وزن کل بوته و مقدار نیتروژن، پتاسیم و روی در مقایسه با شاهد شد. هم‌چنین Rosety *et al*. (2006) اعلام کردند عملکرد دانه آفتابگردان تلقیح‌شده با یک جدایه از باکتری‌های PGPR نسبت به تیمار بدون تلقیح ۹ درصد افزایش داشت. Zahir *et al*. (2000) افزایش ۱۹/۸ درصدی عملکرد دانه را در اثر تلقیح بذر ذرت با باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* گزارش کردند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های گذشته مبنی بر تأثیرات مثبت ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر گیاهان مختلف، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربرد هم‌زمان این دو عامل بر عملکرد دانه کنجد (*Sesamum indicum* L.) اجرا شد.

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. تهیه باکتری

جدایه سودوموناس فلورسنت دارای توان حل فسفات‌های معدنی از کلکسیون باکتری گروه علوم خاک دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان و جدایه‌های *آزوسپیریلوم* و *ازتوباکتر* با توان تثبیت نیتروژن از بخش بیولوژی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج تهیه شد.

۲. ۲. آزمایش گلخانه‌ای

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر عملکرد دانه کنجد (رقم داراب)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل دو فاکتور ورمی‌کمپوست در چهار سطح (صفر (V0)، یک (V1)، دو (V2) و چهار (V3) درصد) و باکتری‌های محرک رشد در پنج سطح (بدون باکتری (B0)، تلقیح با جدایه‌ای از گروه باکتری‌های *سودوموناس فلورسنت* (B1)، تلقیح با جدایه *آزوسپیریلوم* (B2)، تلقیح با جدایه *ازتوباکتر* (B3) و تلقیح مخلوط سه باکتری (B4)) در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان با چهار تکرار به‌اجرا درآمد. ترکیب شیمیایی ورمی‌کمپوست استفاده‌شده در این پژوهش در جدول (۱) ارائه شده است.

۲. ۳. تهیه مایه تلقیح

جدایه‌های موردنظر به‌مدت ٤٨ ساعت درون محیط کشت مایع نوترینت براث (NB) کشت داده شدند و پس از تنظیم جمعیت باکتری‌ها در حد 10^8 CFU /ml (Troussellie *et al.*, 1998) به‌عنوان مایه تلقیح مورداستفاده قرار گرفتند.

۲. ٤. آماده‌سازی بذرها برای کشت

برا این منظور ابتدا بذرها به‌مدت ۳۰ ثانیه در الکل اتانول ۹٦ درصد قرار داده و سپس با محلول وایتکس ۱۰ درصد به‌مدت ۳ دقیقه ضدعفونی سطحی شدند. برای حذف وایتکس، بذرها چندین بار (۱۰ بار) با آب مقطر استریل شست‌وشو شدند. بذرهای ضدعفونی سطحی‌شده در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بر محیط آب- آگار نگهداری شدند تا جوانه‌دار شوند.

۲. ۵. کشت در گلدان‌ها

در این آزمون از گلدان‌های پلاستیکی چهار کیلوگرمی استفاده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده مانند بافت خاک به‌روش هیدرومتر (Bouyoucos, 1951)، pH گل اشباع به وسیله الکترود شیشه‌ای (Istek، کره)، قابلیت هدایت الکتریکی با استفاده از EC متر (Istek، کره)، نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کجلدال (Gerhardt، آلمان)، فسفر قابل استفاده به‌روش اولسن (Olson, 1954) و به‌وسیله‌ی اسپکتروفتومتر (PG Iinstrument T80 UV/VIS، استرالیا)، پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر (Jenway PFP7، انگلستان) تعیین شد (جدول ۲). قبل از پرکردن گلدان‌ها از خاک، ابتدا مقادیر کمپوست مربوط به هر تیمار کاملاً با خاک گلدان‌ها مخلوط شد. در هر گلدان تعداد هشت بذر کنجد جوانه‌دار شده کشت شد. هنگام کاشت، هر بذر با ۱ میلی‌لیتر از سوسپانسیون باکتری با جمعیت 10^8 CFU /ml تلقیح شد. برای گلدان‌های شاهد از ۱ میلی‌لیتر محیط کشت بدون باکتری استفاده شد. گلدان‌ها با آب مقطر و به‌روش وزنی در حد ۸۰ درصد رطوبت FC آبیاری شدند. پس از سبزشدن بوته‌ها، تعداد آن‌ها در هر گلدان به پنج عدد کاهش یافت. گلدان‌ها به‌مدت چهار ماه و تا رسیدن محصول در گلخانه نگه‌داری شدند.

جدول ۱. ویژگی‌های شیمیایی ورمی‌کمپوست

pH	EC	منگنز	روی	مس	آهن	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
	(dS m^{-1})	(mg kg^{-1})				(%)		
۷/۸۱	۱/٦۳	۸۲۰	۹۳	۲۸	۸۲۰۰	۱/۱۸	۱/۰۸	۰/۵۵

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

شن	سیلت	رس	بافت خاک	pH گل اشباع	EC	ماده آلی	فسفرقابل استفاده	پتاسیم تبادلی
(%)					(dS m^{-1})	(%)	(mg kg^{-1})	
۷۰	۱۶	۱٤	لوم شنی	۷/۵	۱/۱	۰/۲	۵	۳۳۷

۲. ٦. برداشت

چهار ماه پس از کشت، ابتدا تعداد کپسول‌های تشکیل‌شده روی بوته‌های کنجد در هر گلدان تعیین و سپس برداشت شدند. کپسول‌های برداشت‌شده پس از شست‌وشو، درون آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت ٤۸ ساعت قرار داده شدند تا خشک شوند. آن‌گاه وزن خشک کپسول، وزن دانه و تعداد دانه در هر گلدان تعیین و نمونه‌ها برای تهیه عصاره پودر شدند. عصاره‌گیری نمونه‌های پودرشده در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به‌روش خاکستر خشک انجام شد. عناصر آهن، روی، مس و منگنز به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (GBC Awanta، استرالیا)، فسفر به روش زرد به‌وسیله اسپکتروفتومتر (PG Iinstrument T80 UV/VIS، استرالیا)، و نیتروژن به‌وسیله دستگاه کجلدال (Gerhardt، آلمان) اندازه‌گیری شدند.

۲. ۷. استخراج روغن دانه

دو گرم از هر نمونه آسیاب‌شده (به‌حدی که نه خمیر شود و نه قطعات درشت باقی بماند) را درون کاغذ صافی پیچانده و روغن آن با استفاده از سوکسله و افزودن حلال n- هگزان استخراج شد. برای حذف حلال n- هگزان از نمونه‌ها، از دستگاه روتاری (Heidolph، آلمان) و دمای ۵۰ درجه سلسیوس استفاده شد. برای حصول اطمینان از خروج کامل حلال، نمونه‌های روغن به‌مدت دو ساعت در دمای ٤۵ درجه سلسیوس درون آون قرار داده شدند. درصد روغن نمونه‌ها پس از توزین روغن به‌دست‌آمده از هر نمونه محاسبه شد (Ghasemi *et al*., 2010).

۲. ۸. تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه واریانس تمامی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه 9.1.3) صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. هم‌چنین جدول‌ها و نمودارهای مربوطه با استفاده از برنامه‌های Word و Excel رسم شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد گیاه بر شاخص‌های عملکردی دانه کنجد

نتایج تجزیه واریانس تأثیر باکتری و ورمی‌کمپوست بر عملکرد کنجد در جدول (۳) نشان داده شده است. تیمارهای باکتری و ورمی‌کمپوست هر یک به تنهایی بر صفات اندازه‌گیری‌شده در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشتند. هم‌چنین اثر متقابل باکتری و ورمی‌کمپوست بر این صفات به‌جز درصد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود.

۳. ۲. تعداد دانه

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و باکتری بر تعداد دانه (جدول ٤) معنی‌دار بود. بیش‌ترین تعداد دانه از تیمار کاربرد چهار درصد ورمی‌کمپوست و باکتری *ازتوباکتر* (V3B3) به‌دست آمد که با تمام تیمارهای کاربردی تفاوت معنی‌داری داشت و تعداد دانه در گلدان را از ۱۸۷ عدد در گلدان در تیمار شاهد به ۵۵۰۸ افزایش داد.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس باکتری و ورمی‌کمپوست بر شاخص‌های عملکرد کنجد.

	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعداد دانه در گلدان	تعداد کپسول در گلدان	وزن دانه در گلدان	وزن کپسول در گلدان	پروتئین دانه	روغن دانه
باکتری	٤	٢٥٢٣٢٠٧**	٢٦/٢**	١/١٤**	٢/٢١**	٧٥/٦**	١١٧**
ورمی‌کمپوست	٣	٥١٨٣٧٠٧٣**	٥٨٧**	٢٨/٠**	٧١/٨**	٦٦٩**	٣٠٦٥**
ورمی‌کمپوست× باکتری	١٢	١٢١٣٥٧٤**	١٢/٥**	٠/٤٢٥**	٠/٧٧٨**	٣٥/٢**	٩/٥٦ns
خطا	٦٠	٥٨٩٤٨	٣/١٠	٠/٠٨٩	٠/٣٣٦	١/٩٨	٨/٥٢
ضریب تغییرات (%)	–	١١/٩	١١/٨	١١/٨	١٤/٨	٦/٢٥	٦/٠٨

**** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و عدم تفاوت معنی‌دار.**

در عدم کاربرد ورمی‌کمپوست استفاده از تیمارهای باکتریایی نتوانست تعداد دانه در گلدان را به‌طور معنی‌داری افزایش دهند، اما در تیمارهای عدم کاربرد باکتری، استفاده از سطوح مختلف ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در گلدان شد. گزارش شده است که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی میکروبی به همراه کودهای دامی سبب افزایش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله گندم شد (Yadav *et al*., 2002). هم‌چنین Azarpour *et al*. (2012) نشان دادند که کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و نیتروکسین (یک کود زیستی میکروبی حاوی سویه‌های مؤثر از باکتری‌های تثبیت‌کننده ازت و حل‌کننده فسفات) باعث افزایش تعداد دانه در سویا شد.

۳. ۳. وزن دانه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که برهم‌کنش بین ورمی‌کمپوست و باکتری به‌طور معنی‌داری باعث افزایش وزن دانه نسبت به شاهد شد. تیمار چهار درصد ورمی‌کمپوست و باکتری *ازتوباکتر* (V3B3) بیش‌ترین مقدار وزن دانه را نشان داد که با تیمارهای چهار درصد ورمی‌کمپوست به‌همراه *ازتوباکتر* و مخلوط باکتری‌ها (به‌ترتیب V3B2 و V3B4) اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری نداشت و به‌ترتیب باعث افزایش ۳۲۷، ۲۹۸ و ۲۹۰ درصدی وزن دانه در گلدان نسبت به شاهد شدند. گزارش شده است که کاربرد تلفیقی کمپوست و جدایه‌ای از گروه باکتری‌های *سودوموناس فلورسنت* باعث افزایش وزن دانه رازیانه نسبت به شاهد شد (Gomaa and Abou-Aly. 2001). Cavender *et al*. (2003) در پژوهشی مشاهده نمودند که کاربرد هم‌زمان میکوریزا و ورمی‌کمپوست موجب افزایش محسوس عملکرد سورگوم دانه‌ای شد. آن‌ها اظهار داشتند که این افزایش ناشی از اثر مستقیم ورمی‌کمپوست بر کلنیزاسیون میکوریزایی نبوده بلکه حاصل تأثیر عناصر غذایی موجود در ورمی‌کمپوست بر توسعه و گسترش مستقیم و غیرمستقیم شبکه قارچ و تحریک رشد ریشه گیاه میزبان بوده است.

همان‌طور که در جدول (٤) مشخص است در تیمار عدم استفاده از ورمی‌کمپوست کاربرد تیمارهای مختلف باکتریایی تأثیر معنی‌داری بر وزن دانه در گلدان نداشتند، اما در تیمار عدم کاربرد باکتری استفاده از ورمی‌کمپوست باعث افزایش وزن دانه نسبت به شاهد شد. Nanjappa *et al*. (2001) نشان داد که مصرف ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار وزن هزاردانه ذرت شد.

جدول ٤. مقایسه میانگین شاخص‌های رشد گیاه کنجد تحت سطوح ورمی‌کمپوست و باکتری

سطوح ورمی‌کمپوست	سطوح باکتری	تعداد دانه	تعداد کپسول	وزن دانه	وزن کپسول	پروتئین دانه
				(g pot^{-1})		(٪)
V0	B0	۱۸۷i	۵/۲۵g	۱/۰۱i	۱/۳۲i	۵/۲۰i
	B1	۲۱۰i	۹/۰۰f	۱/۰۳i	۱/٤۹hi	٦/٥٦i
	B2	۱۹٤i	۹/۵۰f	۱/۱۰i	۱/۵۹hi	۲۱/۷gh
	B3	۲۳٦i	۱۰/۲f	۱/۱۲i	۱/٦٦hi	۱۹/۷h
	B4	۲۵۳i	۹/۰۰f	۱/۰۷i	۱/٦۲hi	۱۲/۰h
V1	B0	۵٤۰f	۱۱/۰f	۱/۳۵i	۲/۳۵h	۲۲/۳fg
	B1	۱۹۸۸f	۱۵/۰de	۲/۷۳d-g	٤/۱۹efg	۲۲/۳ef
	B2	۱۸۸۷fg	۱٤/۰e	۲/۲۸gh	۳/۸٦efg	۲۱/۷ef
	B3	۱۵۸۹gh	۱٤/۵e	۲/۳۹fgh	۳/۵۱g	۲٤/۳def
	B4	۱٤۲۳h	۱٤/۰e	۲/۱۸h	٤/۰۵efg	۲۲/۵ef
V2	B0	۱۹۵٤f	۱۵/۲de	۲/۵۷e-h	۳/۸۰fg	۲٤/۷cde
	B1	۲۱۰٤ef	۱۷/۵cd	۲/۹۳cde	٤/۲۷efg	۲۵/٦bcd
	B2	۳۲۵۱d	۱۸/۵bc	۳/۷۰b	٤/۷۹de	۲٦/٦bcd
	B3	۲۲۲۱ef	۱۵/۷de	۳/۰۵c-f	٤/۵۲def	۲٦/۳bcd
	B4	۲۳۲٤e	۱۷/۵cd	۲/۸۱cd	٤/۷٤def	۲٦/۰bcd
V3	B0	۲۹۰۸d	۲۰/۰bc	۳/۲۳c	۵/۳٤cd	۲۷/۳bcd
	B1	۳٦۵۸c	۲۰/۲bc	۳/۷b	۵/۸۷bc	۲۷/۳bc
	B2	٤۰۷۳b	۲۰/۷b	٤/۰۱ab	٦/۲۵b	۳۱/۱a
	B3	۵۵۰۸a	۲٤/۲a	٤/۳۱a	۷/۰۸a	۲۸/۲b
	B4	٤۱۲٦b	۲۰/۰bc	۳/۹۳ab	۵/۹۱bc	۲۷/۷b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد به‌روش دانکن می‌باشند.

به عقیده آن‌ها ارزشمندترین ویژگی ورمی‌کمپوست در عملکرد آنزیم‌ها، میکروارگانیسم‌ها و هورمون‌های مختلف موجود در آن است. ورمی‌کمپوست دارای آنزیم‌هایی مانند پروتئاز، آمیلاز، لیپاز، سلولاز و کتیناز است که در تجزیه مواد آلی خاک و در نتیجه در دسترس قراردادن مواد مغذی مورد لزوم گیاهان نقش مؤثری دارد و با فراهم‌آوردن محیط رشد مناسب برای کنجد موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود.

در رابطه با تغییرات وزن دانه با نوع باکتری و سطوح مختلف ورمی‌کمپوست می‌توان بیان کرد که تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست در تیمارهای مختلف باکتری بر وزن دانه گیاه به‌طور مشخصی بیش‌تر بود. هم‌چنین مشاهده شد که کاربرد تیمارهای مختلف باکتری در افزایش تأثیر سطوح ورمی‌کمپوست بر وزن دانه مؤثر بود. با افزایش سطوح ورمی‌کمپوست کاربرد تیمارهای مختلف باکتریایی باعث افزایش وزن دانه شد.

۳. ٤. تعداد و وزن کپسول

نتایج برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و باکتری بر تعداد کپسول

در گلدان (جدول ٤) نشان داد کاربرد تمامی تیمارهای باعث افزایش معنی‌دار این شاخص زراعی نسبت به شاهد شد. بیش‌ترین تعداد کپسول از کاربرد چهار درصد ورمی‌کمپوست و باکتری *ازتوباکتر* (V3B3) به‌دست آمد که با تمام تیمارهای کاربردی تفاوت معنی‌داری داشت و مقدار این شاخص را نسبت به شاهد معادل ٣٦١ درصد افزایش داد. در تیمار عدم استفاده از ورمی‌کمپوست و کاربرد تیمارهای مختلف باکتریایی، غیر از تیمار مخلوط باکتری‌ها (B4) بقیه تیمارها باعث افزایش تعداد کپسول نسبت به شاهد شدند. هم‌چنین در تیمارهای عدم کاربرد باکتری استفاده از سطوح مختلف ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار این شاخص زراعی نسبت به شاهد شد. Rokhzadi *et al.* (2008) گزارش کردند که تلقیح بذور نخود (*Cicer arietinum* L.) با *ازتوباکتر* و *سودوموناس* باعث افزایش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته شد. Mahfouz & Sharaf-Eldin (2007) گزارش کردند که تعداد چتر در بوته رازیانه تحت شرایط استفاده از کودهای زیستی نسبت به عدم استفاده از این کودها افزایش معنی‌داری داشت. Darzi *et al.* (2006) نشان دادند که کاربرد کود دامی به همراه باکتری‌های محرک رشد (*ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم*) تعداد چتر در بوته گشنیز را افزایش داد. در پژوهشی که روی گیاه نخود انجام شد، مشخص گردید که مصرف سه تن ورمی کمپوست در واحد سطح، باعث افزایش چشم‌گیر تعداد غلاف در بوته در مقایسه با شاهد شد (Jat & Ahlawat, 2004a, 2006). Azarpour *et al.* (2012) نشان داد که استفاده از مخلوط کود زیستی (نیتروکسین) و ورمی‌کمپوست در گیاه سویا اثر مثبت و معنی‌داری بر تعداد غلاف در بوته این گیاه داشت.

نتایج تأثیر برهم‌کنش مقادیر ورمی‌کمپوست و باکتری بر وزن کپسول (جدول ٤) نشان داد که بیش‌ترین مقدار وزن کپسول نیز از کاربرد چهار درصد ورمی‌کمپوست و باکتری *ازتوباکتر* (V3B3) به‌دست آمد که با تمام تیمارهای کاربردی تفاوت معنی‌داری داشت. این تیمار توانست وزن کپسول در گلدان را از مقدار ١/٣٢ گرم در گلدان در شاهد به ٧/٠٨ افزایش دهد. در عدم کاربرد ورمی‌کمپوست استفاده از تیمارهای مختلف باکتریایی نتوانستند وزن کپسول در گلدان را به‌طور معنی‌داری افزایش دهند، اما کاربرد تیمارهای مختلف باکتریایی در اکثر موارد در افزایش اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر این شاخص زراعی مؤثر بود. در تیمارهای عدم کاربرد باکتری، استفاده از سطوح مختلف ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار وزن کپسول در گلدان شد. در هندوستان Jashankar & Wahab (2005) در پژوهشی نشان دادند که مصرف ٥ تن در هکتار NPK به‌همراه ترکیب ورمی‌کمپوست با باکتری *آزوسپیریلوم*، بیش‌ترین افزایش را در خصوصیات رشدی و عملکردی کنجد ایجاد کرد.

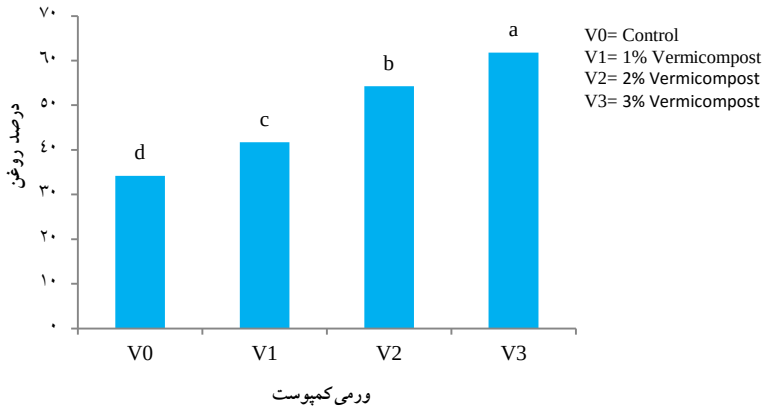
٣. ٥. درصد پروتئین دانه

براساس نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و باکتری (جدول ٤) بیش‌ترین درصد پروتئین دانه در تیمار چهار درصد ورمی‌کمپوست و باکتری *آزوسپیریلوم* (V3B2) مشاهده شد. این تیمار توانست پروتئین دانه را از ٥/٢ درصد در شاهد به ٣١/١ درصد افزایش دهد. در تیمارهای عدم کاربرد ورمی‌کمپوست فقط استفاده از تیمارهای باکتریایی B2 و B3 توانستند درصد پروتئین دانه را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دهند. در تیمارهای عدم کاربرد باکتری، افزایش سطوح ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار میزان پروتئین دانه شد. بدین ترتیب استفاده از ورمی‌کمپوست در تیمارهای مختلف باکتریایی میزان پروتئین دانه را به‌طور مشهودی افزایش داد و کاربرد تیمارهای باکتریایی باعث افزایش تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر پروتئین دانه شد.

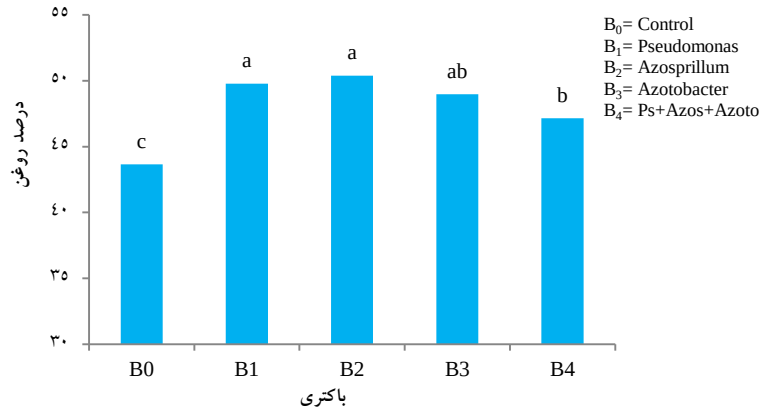
۳. ٦. درصد روغن دانه

کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست توانست درصد روغن دانه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزاش دهد (شکل ۱). بیش‌ترین مقدار روغن دانه از تیمار چهار درصد ورمی‌کمپوست (V3) با ۸۰/۷ درصد افزایش نسبت به شاهد به‌دست آمد. هم‌چنین تیمارهای یک و دو درصد ورمی‌کمپوست (به‌ترتیب V1 و V2) باعث افزاش معنی‌دار درصد روغن دانه به‌ترتیب معادل ۲۱/۹ و ۵۸/٦ درصد نسبت به شاهد شدند.

نتایج مقایسه میانگین تأثیر باکتری بر درصد روغن دانه (شکل ۲) نیز نشان داد که تمامی تیمارهای باکتریایی موجب افزایش معنی‌دار مقدار روغن دانه شدند. کاربرد باکتری *آزوسپریلیوم* (B2) با افزایش ۱۵/٤ درصدی، بیش‌ترین تأثیر را بر مقدار روغن دانه کنجد داشت، لیکن از نظر آماری این افزایش تفاوت معنی‌داری با تیمارهای باکتریایی B1 و B3 نشان نداد. هم‌چنین کاربرد باکتری‌های *سودوموناس*، *ازتوباکتر* و مخلوط باکتری‌ها (B1، B3 و B4) توانستند میزان روغن دانه را در کنجد نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب معادل ۱٤/۰، ۱۲/۲ و ۸/۰ درصد افزایش دهند.



شکل ۱. تأثیر ورمی‌کمپوست بر درصد روغن دانه کنجد



شکل ۲. تأثیر باکتری بر درصد روغن دانه کنجد

۳. ۷. تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد گیاه بر ترکیب شیمیایی دانه کنجد

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان داد که کاربرد باکتری بر غلظت نیتروژن، فسفر، آهن، منگنز و مس دانه کنجد در سطح یک درصد و بر غلظت پتاسیم دانه کنجد در سطح پنج درصد اثر معنی‌داری داشت. هم‌چنین کاربرد ورمی‌کمپوست اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت کلیه عناصر اندازه‌گیری‌شده نشان داد. برهم‌کنش باکتری و ورمی‌کمپوست نیز اثر معنی‌داری در سطح یک درصد بر غلظت نیتروژن، فسفر و مس دانه داشت.

۳. ۸. غلظت نیتروژن دانه

نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و باکتری بر غلظت نیتروژن دانه (جدول ٦) نشان داد بیش‌ترین غلظت نیتروژن دانه از تیمار کاربرد چهار درصد ورمی‌کمپوست به‌همراه تلقیح با باکتری *آزوسپیریلوم* (V3B2) به‌دست آمد که با تمامی تیمارهای به‌کاررفته تفاوت معنی‌داری داشت و درصد نیتروژن دانه را از ۰/۸۰۳ به ٤/۹۷ درصد افزایش داد. در تیمارهای عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و استفاده از تیمارهای مختلف باکتریایی، غلظت نیتروژن دانه به‌غیر از تلقیح با جدایه *سودوموناس* (B1)، در بقیه تیمارها افزایش نشان داد.

در تیمارهای عدم کاربرد باکتری مشاهده شد که افزایش سطوح ورمی‌کمپوست باعث افزایش معنی‌دار غلظت این عنصر در دانه کنجد شد. در پژوهشی که توسط Zaller (2007) در خصوص تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست بر گوجه‌فرنگی انجام گرفت، ملاحظه شد که عملکرد محصول و غلظت نیتروژن در میوه این گیاه نسبت به تیمار شاهد به طرز چشم‌گیری بهبود یافت. در یک پژوهش Zemrany *et al.* (2006) اظهار داشتند که مقدار نیتروژن دانه ذرت به‌واسطه تلقیح با *Azospirillum. lipoferum*افزایش یافت. Mirza *et al.* (2000) گزارش کردند که تلقیح برنج با باکتری *A. lipoferum* در شرایط گلخانه‌ای، باعث افزایش ۵۸/۹ درصدی نیتروژن دانه نسبت به شاهد شد. در پژوهشی دیگر گزارش شد که در نتیجه کاربرد کودهای پایه هم‌زمان با روی، با و بدون کود زیستی حاوی *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* نیتروژن دانه کانولا را به‌طور معنی‌دار و به‌ترتیب معادل ٤/۳۰ و ۳/۹۰ درصد افزایش داد (Yasari & Patwardhan, 2006).

۳. ۹. غلظت فسفر دانه

نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و باکتری بر غلظت فسفر دانه (جدول ٦) نشان داد بیش‌ترین غلظت فسفر دانه از تیمار چهار درصد ورمی‌کمپوست و جدایه *سودوموناس* دارای توان حل فسفات‌های معدنی (V3B1) به‌دست آمد که با تیمارهای V3B2 و V3B3 از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت و به‌ترتیب باعث افزایش ۱۸۹، ۱۵٦ و ۱۷۲ درصدی غلظت فسفر دانه نسبت به شاهد شد.

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس ورمی‌کمپوست و باکتری بر غلظت عناصر غذایی در دانه کنجد

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	مس
باکتری	٤	۱/۹۳**	۳/٤۰**	۰/۰۲۳*	٤۹/۵**	٥٦/۷ns	۱۳/۵۰**	۱۵/۷**
ورمی‌کمپوست	۳	۱۷/۱**	۲/۷۸**	۰/۳۵۰**	۱۸/۰٤**	۱۰٦/۷٤**	۱٤/۷۱**	۸۹/۹**
ورمی‌کمپوست× باکتری	۱۲	۹/۰۲**	۰/۰۷۷**	۰/۰۱۲ns	۱٤/۲ns	٤۰/۱ns	۳۲/۳ns	٦/۲٤**
خطا	٦۰	۰/۰۵۱	۰/۰۱۹	۰/۳۷۷	۱۳/۳	٤۹/٤	۱۹/۲	۰/۹۱۷
ضریب تغییرات (%)		٦/۲۵	۱٤/۱	۱۳/۲	۱۲/۸	۱۵/۹	۱٦/۵	۱۳/۸

ns، ** و * به‌ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ٦. مقایسه میانگین غلظت عناصر غذایی دانه کنجد تحت ورمی‌کمپوست و باکتری

تیمار	باکتری	نیتروژن دانه (%)	فسفر دانه (%)	مس دانه ($\mu g\ g^{-1}$)
V0	B0	٠/٨٠٣i	٠/٦٠٩g	٤/٤٠h
	B1	١/٠٥i	٠/٧٢٩fg	٨/٤٢g
	B2	٢/٤٨gh	٠/٦١٧g	٨/٤٠g
	B3	٢/١٥h	٠/٦٧٧fg	٣/٨٠h
	B4	١/٩٩h	٠/٦٧٤fg	٨/٣٧g
V1	B0	٣/٥٣fg	٠/٦٨٢fg	٩/٣٠fg
	B1	٣/٥٧ef	٠/٧٩٥fg	٩/٤٧efg
	B2	٣/٦٢ef	٠/٧٥٠fg	١١/٩d-g
	B3	٣/٨٨def	٠/٧٣٠fg	٩/٥٥efg
	B4	٣/٦٠ef	٠/٧٠١fg	٨/٩٢fg
V2	B0	٣/٩٥cde	٠/٧٥٥fg	١٢/٩cde
	B1	٤/٠٩bcd	١/٤٠bc	١٣/٣a
	B2	٤/٢٥bcd	٠/٨٧٠ef	١٢/٨ab
	B3	٤/٢١bcd	١/٠١de	١٠/٢def
	B4	٤/١٦bcd	٠/٨٥٣ef	١٠/٣def
V3	B0	٤/٣٧bcd	١/٠٩d	٩/٩٠d-g
	B1	٤/٣٧bc	١/٧٧a	١١/٤bcd
	B2	٤/٩٧a	١/٥٦ab	١٠/١def
	B3	٤/٥١b	١/٦٦a	١٠/٢٢٥def
	B4	٤/٤٤b	١/٣٣c	١١/٩abc

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد به‌روش دانکن می‌باشند.

Mohanty *et al.* (2006) نشان دادند که مصرف ورمی‌کمپوست در گیاه بادام‌زمینی باعث افزایش چشم‌گیر غلظت فسفر در دانه نسبت به تیمار شاهد شد. Turan *et al.* (2010) گزارش کردند که تلقیح گندم با مخلوطی از جدایه‌های OSU-142 + M-13 + *Azospirillum* sp.245 به‌طور معنی‌داری باعث افزایش مقدار عناصر و از جمله فسفر در دانه گندم شد.

با بررسی دقیق‌تر نتایج به‌نظر می‌رسد کاربرد باکتری B1در افزایش تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر غلظت فسفر دانه مؤثر بوده است. اثرهای مثبت و هم افزایی بین ورمی‌کمپوست و باکتری باعث افزایش فعالیت باکتری‌ها در خاک شده و با افزایش حلالیت فسفر در خاک میزان جذب آن توسط گیاه را افزایش می‌دهد (Abdul-Jaleel *et al.*, 2007). در مطالعه‌ای باکتری‌های *سودوموناس فلورسنس* به‌عنوان عوامل حل‌کننده فسفات‌های معدنی خاک توانستند میزان فسفر در دانه بادام‌زمینی را افزایش دهند (Dey *et al.*, 2004).

۳. ۱۰. غلظت مس دانه

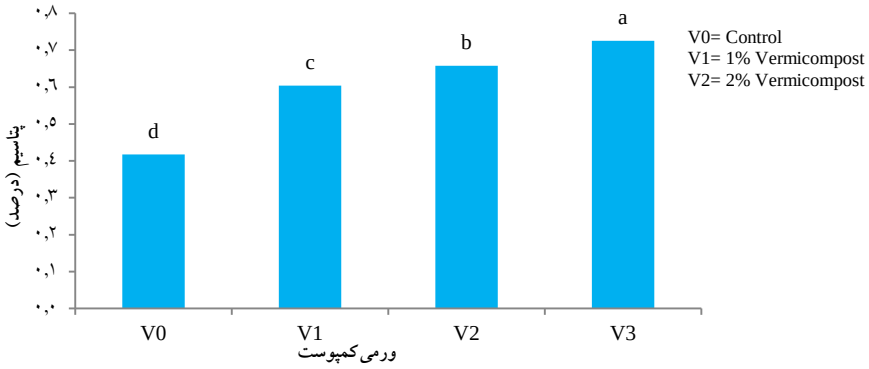
براساس نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش ورمی‌کمپوست و باکتری، بیش‌ترین غلظت مس دانه در تیمار دو درصد ورمی‌کمپوست به‌همراه باکتری *آزوسپیریلوم* (V2B2) مشاهده شد (جدول ٦). این تیمار باعث شد تا غلظت مس دانه از ٠/٨٠٤ در شاهد به ١٢/٨ میکروگرم بر گرم دانه افزایش یابد. Biari *et al.* (2008) نیز گزارش کردند که تلقیح باکتری‌های *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر* در ذرت سبب افزایش میزان مس در دانه شد. آن‌ها اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد باعث گسترش ریشه می‌شوند که به‌تبع آن وزن ریشه و جذب مواد غذایی افزایش می‌یابد. در آزمایشی Turan *et al.* (2010) اعلام کردند که تلقیح گندم با مخلوطی از باکتری‌های OSU-142 + M-13 + *Azospirillum* sp.245 به‌طور معنی‌داری مقدار عناصر کم مصرف و از جمله مس دانه را افزایش داد. به عقیده آن‌ها توانایی این باکتری‌ها در حل فسفات‌های معدنی خاک از طریق تولید اسید آلی و کلات‌کننده‌ها سبب افزایش فراهمی و جذب عناصر کم‌مصرف شده است.

۳. ۱۱. غلظت پتاسیم دانه

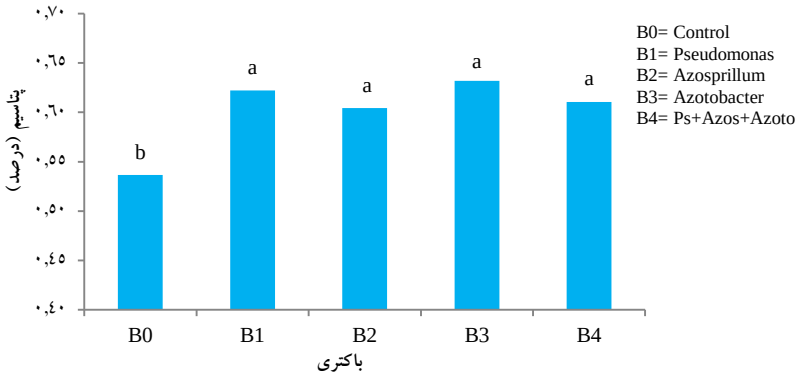
مقایسه میانگین تأثیر ورمی‌کمپوست بر غلظت پتاسیم دانه

کنجد (شکل ۳) نشان داد که کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست، اثر معنی‌داری بر میزان غلظت پتاسیم دانه نسبت به شاهد داشت. بالاترین غلظت پتاسیم دانه از تیمار چهاردرصد ورمی‌کمپوست (V3) با افزایشی معادل ۷۳/۹ درصد به‌دست آمد. تیمارهای یک و دو درصد ورمی‌کمپوست (V1 و V2) به‌ترتیب مقدار این عنصر را معادل ٤٤/۷ و ۵۷/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. Khalesro *et al.* (2012) نیز شاهد افزایش پتاسیم دانه انیسون با کاربرد ورمی‌کمپوست بودند. در پژوهشی دیگر که توسط Zaller (2007) در خصوص تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست انجام گرفت، ملاحظه شد که عملکرد محصول و غلظت پتاسیم در میوه گوجه‌فرنگی نسبت به شاهد به‌طرز چشمگیری بهبود یافت. آن‌ها بهبود فعالیت میکروبی، وجود تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و افزایش فراهمی عناصر معدنی نظیر پتاسیم در تیمار حاوی ورمی‌کمپوست را به‌عنوان دلایل عمده افزایش غلظت پتاسیم در مقایسه با تیمار شاهد دانستند.

مقایسه میانگین تأثیر باکتری بر غلظت پتاسیم دانه کنجد نشان داد که کاربرد هر چهار تیمار باکتریایی (B1، B2، B3 و B4) باعث افزایش معنی‌دار پتاسیم دانه به‌ترتیب معادل ۱۷/۷، ۱٦/۰، ۱۲/٦ و ۱۳/۸درصد نسبت به شاهد شدند (شکل ٤). Biari *et al.* (2008) افزایش میزان پتاسیم دانه ذرت را در اثر تلقیح با باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم* گزارش کردند.



شکل ۳. تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست بر غلظت پتاسیم دانه کنجد



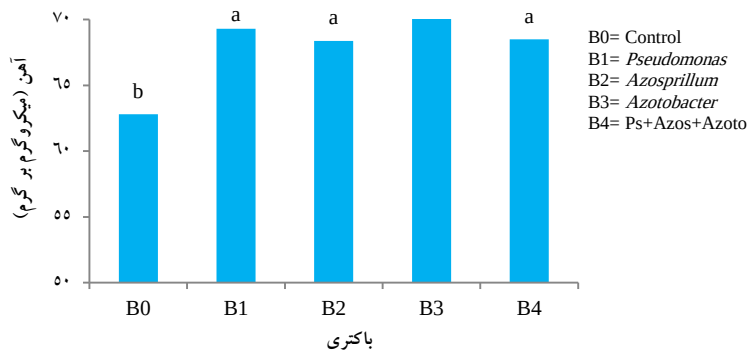
شکل ٤ . تأثیر کاربرد باکتری بر غلظت پتاسیم دانه کنجد

۳. ۱۲. غلظت آهن دانه

مقایسه میانگین تأثیر ورمی‌کمپوست بر غلظت آهن دانه نشان داد که کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست، اثر معنی‌داری بر میزان غلظت آهن دانه نسبت به شاهد داشت (شکل ۵). بالاترین غلظت آهن دانه از تیمار چهاردرصد ورمی‌کمپوست (V3) با افزایشی معادل ٤٦/٨ درصد به‌دست آمد. تیمارهای یک و دو درصد ورمی‌کمپوست (V1 و V2) به‌ترتیب مقدار این عنصر را معادل ٢٧/٧ و ٣٣/٤ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند.

نتایج مقایسه میانگین‌ها هم‌چنین نشان داد که کاربرد تمامی تیمارهای باکتریایی غلظت این عنصر را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (شکل ٦)، اما تفاوت معنی‌داری از این حیث با یکدیگر نداشتند. کاربرد تیمارهای B1، B2، B3 و B4 (به‌ترتیب *سودوموناس*، *آزوسپیریلوم*، *ازتوباکتر* و مخلوط سه باکتری) به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰/۳، ۸/۹، ۱۲/۰ و ۹/۱ درصدی غلظت آهن دانه نسبت به شاهد شدند. نتایج پژوهش Gunes *et al.* (2009) نیز افزایش معنی‌دار و قابل توجه غلظت آهن میوه توت‌فرنگی را با کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات *Bacillus* FS-3 در خاک‌های آهکی ترکیه نشان دادند. نتایج پژوهش Ekin (2011) نشان داد که کاربرد باکتری حل‌کننده‌ی فسفات *Bacillus* M-13 باعث افزایش معنی‌دار آهن دانه آفتابگردان نسبت به شاهد شد. باکتری‌ها و قارچ‌ها با اسیدی‌کردن محیط ریشه باعث حل‌شدن فسفات و عناصر ریز مغذی شامل آهن، منیزیم و منگنز می‌گردند (Villegas & Fortin, 2002).

شکل ۵. تأثیر ورمی‌کمپوست بر غلظت آهن دانه کنجد



شکل ٦. تأثیر باکتری بر غلظت آهن دانه

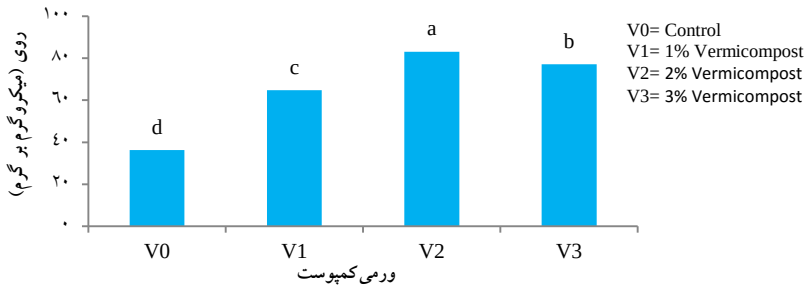
۳. ۱۳. غلظت روی دانه

مقایسه میانگین تأثیر ورمی‌کمپوست بر غلظت روی دانه نشان داد که کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست، اثر معنی‌داری بر میزان روی دانه نسبت به شاهد داشت (شکل۷). بیش‌ترین غلظت روی دانه در کاربرد تیمار دو درصد ورمی‌کمپوست (V2) مشاهده شد. این تیمار توانست غلظت روی دانه را به میزان ۱۲۹ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد.

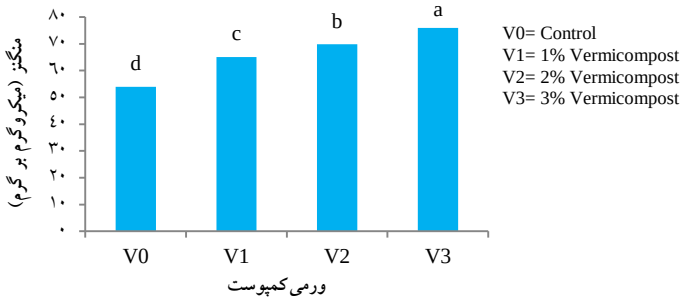
۳. ۱٤. غلظت منگنز دانه

کاربرد ورمی‌کمپوست توانست غلظت منگنز دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (شکل ۸). بیش‌ترین غلظت این عنصر از کاربرد تیمار چهاردرصد ورمی‌کمپوست (V3) به‌دست آمد و موجب افزایش ٤۱ درصدی نسبت به شاهد شد. تیمارهای یک و دو درصد ورمی‌کمپوست (V1و V2) نیز به‌ترتیب باعث افزایش ۲۰/٦ و ۲۹/٤ درصدی غلظت منگنز دانه کنجد شدند. گزارش‌های Warman & Havard (1998) نشان می‌دهد که عنصر منگنز، در غده سیب‌زمینی تحت تأثیر تیمار کود آلی قرار گرفت.

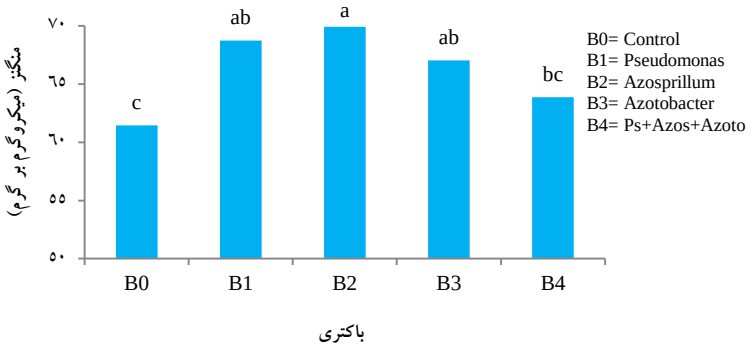
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد باکتری‌های B1، B2 و B3 باعث افزایش معنی‌دار و ۱۱/۸، ۱۳/۸ و ۳/۹ درصدی غلظت منگنز نسبت به شاهد شدند، لیکن تیمار B4 از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت (شکل ۹). نتایج پژوهش Ekin (2011) نشان داد که کاربرد باکتری حل‌کننده فسفات *Bacillus* M-13 غلظت منگنز دانه آفتاب‌گردان را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌دار و معادل ۸/۷ درصد افزایش داد. Biari *et al.* (2008) بیان کردند که تلقیح با یک جدایه PGPR سبب افزایش منگنز دانه ذرت شد. Turan *et al.* (2010) نیز گزارش کردند که تلقیح گندم با باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت‌کننده نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار منگنز دانه نسبت به شاهد شد.



شکل ۷. تأثیر ورمی‌کمپوست بر غلظت آهن دانه کنجد



شکل ۸. تأثیر ورمی‌کمپوست بر غلظت منگنز دانه



شکل ۹. تأثیر باکتری بر غلظت منگنز دانه

٤. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) هر یک به تنهایی اثرات مثبت و افزاینده‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد از جمله درصد روغن و نیز غلظت عناصر دانه کنجد داشتند. هم‌چنین در اکثر موارد کاربرد هم‌زمان ورمی‌کمپوست و باکتری‌های محرک رشد گیاه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد به‌ویژه درصد پروتئین دانه کنجد داشت. به‌نظر می‌آید این افزایش به‌طور عمده از طریق تأثیری است که این دو فاکتور بر افزایش فراهمی عناصر غذایی در خاک و در نتیجه بهبود تغذیه گیاه داشته‌اند. البته برای اظهار نظر قطعی لازم است کاربرد ورمی کمپوست و باکتری‌های محرک رشد گیاه هر یک به تنهایی و هم‌چنین به‌صورت هم‌زمان در شرایط مزرعه نیز بررسی شود.

٥. تشکر و قدردانی

از بخش بیولوژی مؤسسه خاک و آب کشور بابت در اختیارگذاشتن دو سویه باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن، تشکر و قدردانی می‌گردد.

٦. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

Abdul-Jaleel, C., Manivannan, P., Sankar, B., Kishorekumar, A., Gopi, R., Somasundaram, R., & Panneerselvam, R. (2007). Pseudomonas florescence enhances biomass yield and ajmalicine production in Catharanthus roseus under water deficit stress. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *60*, 7-11.

Anwar, M. (2005). Effect of organic manures and organic fertilizer on growth, herb and oil yield nutrient accumulation, and oil quality of french basil. *Journal of Plant Science*, *68*, 62 - 71.

Azarmi, R., Ziveh, P. S., & Satari, M. R. (2008). Effect of vermicompost on growth, yield and nutrition status of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *11*, 1797-1802.

Azarpour, E., Moradi, M. & Bozorgi, H. R. (2012). Effects of vermicompost application and seed inoculation with biological nitrogen fertilizer under different plant densities in soybean [*Glycine max* (L.) cultivar, Williams]. *African Journal of Agricultural Research*, *7*(10), 1534-1541.

Biari, A., Gholami, A., & Asadi Rahmani, H. (2008). Growth promotion and enhanced nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran. *Journal of Biological Sciences*, *8*(6), 1015-1020.

Bouyoucos, G. J. (1951). A calibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Agronomy Journal*, *43*, 434-438.

Burdman, S., Jurkevitch, E., Okon, Y., Subba Rao, N., & Dommergues, Y. (2000). Recent advances in the use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in agriculture. *Microbial Interactions in Agriculture and Forestry*, *2*, 229-250.

Cavender, N. D., Atiyeh, R. M., & Knee, M. (2003). Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of Sorghum bicolor at the expense of plant growth. *Pedobiologia, 47*, 85-89.

Darzi, M.T., Ghalavand, A., Rejali, F., & Sefidkon, F. (2006). Effects of Biofertilizers Application on Yield and Yield Components in Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 22*(4), 276-292. (In Persian).

Dey, R., Pal, K. K., Batt, D. M., & Chauhan, S. M. (2004). Growth promotion and yield enhancement of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research, 159*, 371-394.

Egamberdiyeva, D. (2005). Plant-growth-promoting rhizobacteria isolated from a Calcisol in a semi-arid region of Uzbekistan: biochemical characterization and effectiveness. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 168*, 94-99.

Ekin, Z. (2011). P-solubilizing bacteria and phosphorus fertilizer applications to sunflower improve seed set, seed filling efficiency and concentration of macro and micro nutrients of seeds. *Turkish Journal of Field Crops, 16*(2), 183-189.

Ghasemi, M., Arzani, K., Hassani, D., & Ghasemi, S. (2010). Fatty acids composition of some selected walnut (*Juglans regia* L.) genotypes in Markazi province. *Iranian Journal of Food Science and Technology, 7*(1), 31-37.

Glick, B. R. (1995). The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology, 41*(2), 109-117.

Gomaa, A. O., & Abou-Aly, H. E. (2001). Efficiency of bioferitlization in the presence of both inorganic and organic fertilizers on growth, yield and chemical constituents of anise plant (*Pimpinella anisum* L.). Proc. 5th Arabian Hort. Conf. Ismailia, Egypt, Zagazeg Univ. Press, Egypt, 12, 24-28.

Guinazu, L. B., Andres, J. A., Rovera, M., Balzarini, M., & Rosas, S. (2013). Evaluation of rhizobacterial isolates from Argentina, Uruguay and Chile for plant growth-promoting characteristics and antagonistic activity towards *Rhizoctonia* sp. and *Macrophomina* sp. in vitro. *European Journal of Soil Biology, 54*, 69–77.

Günes, A., Ataoglu, N., Turan, M., Eşitken, A., & Ketterings, Q. M. (2009). Effects of phosphate-solubilizing microorganisms on strawberry yield and nutrient concentrations. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 172*(3), 385-392.

Jashankar, S., & Wahab, K. (2005). Effect of integrated nutrient management on the growth, yield components and yield of Sesame. *Sesame and Safflower Newsletter, 20*, 602-608.

Jat, R. S., & Ahlawat, I. P. S. (2004). Effect of vermicompost, biofertilizer and phosphorus on growth, yield and nutrient uptake by gram (*Cicer arietinum*) and their residual effect on fodder maize (*Zea mays*). *Indian Journal of Agricultural Science, 74*, 359-361.

Jat, R. S., & Ahlawat, I. P. S. (2006). Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. *Journal of sustainable Agriculture, 28*, 41-54.

Jeon, J. S., Lee, S. S., Kim, H.Y., Ahn, T. S., & Song, H. G. (2003). Plant growth promotion in soil by some inoculated microorganisms. *Journal of Microbiology, 41*, 271-276.

Khalesro, Sh., Ghalavand, A., Sefidkon, F., & Asgharzadeh, A. (2012). The effect of biological and organic inputs on quantity and quality of essential oil and some elements content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 27*(4), 551-560. (In Persian).

Khalid, A., Arshad, M., & Zahir, Z. A. (2006). Phytohormones: microbial production and applications. *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems, 14*, 207-220.

Kokalis-Buerelle, N., Kloepper, J. W., & Reddy, M. S. (2006). Plant growth-promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous rhizosphere microorganisms. *Journal of Applied Soil Ecology, 31*, 91-100.

Leong, J. (1986). Siderophores: their biochemistry and possible role in the biocontrol of plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology, 24*, 187-208.

Mahfouz, S. A., & Sharaf-Eldin, M. A. (2007). Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel *(Foeniculum vulgare* Mill.). *International Agrophysics, 21*, 361-366.

Mirza, M. S., Rasul, G., Mehnaz, S., Ladha, J. K., So, R. B., Ali, S., & Malik, K. A. (2000). Beneficial effects of inoculated nitrogen-fixing bacteria on rice. In: Ladha J. K., & Reddy P. M. (eds). The Quest for Nitrogen Fixation in Rice (Los Baños: IRRI), 191-204.

Mohanty, S., Paikaray, N. K., & Rajan, A. R. (2006). Availability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (*Arachis hypogea* L.)-corn (*Zea mays* L.) sequence using radio tracer technique. *Geoderma, 133*, 225-230.

Nanjappa, H. V., Ramachandrappa, B. K., & Mallikarjuna, B. O. (2001). Effect of integrated nutrient management on yield and nutrient balance in maize. *Indian Journal of Agronomy, 46*, 698-701.

Olsen, S. R., Cole, C. V. Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate.Circ. 939. USDA, Washington, DC.

Rokhzadi, A., Asgharzadeh, A., Darvish, F., Nour-Mohammadi, G., & Majidi, E. (2008). Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on dry matter accumulation and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under field conditions. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, 3*, 253-257.

Rosety, D., Gaur, R., & Juhri , B. N. (2006). Plant growth stage, fertilizer management and bio inoculation of arbascular mycorrizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria affect rhizobacteria community structurein rain-fed wheat field. *Soil Biology& Biochemistry, 38*, 1111-1120.

Sahin, F., Cakmakci, R., & Kantar, F. (2004). Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N2 fixing and phosphate solubilizing bacteria. *Plant and Soil, 265*, 123-129.

Singh, R., Behl, R. K., Singh, K. P., Jain, P., & Narula, N. (2004). Performance and gene effects for wheat yield under inoculation of arbuscular mycorrhiza fungi and *Azotobacter chroococcum*. *Plant Soil and Environment, 50*, 409-415.

Troussellier, M., Bonnefont, J. L. Courties, C., Derrien, A., Dupray, E., Gauthier, M., Gourmelon, M., Joux, F., Lebaron, P., Martin, Y., & Pommepuy, M. (1998). Responses of enteric bacteria to environmental stresses in seawater. *Oceanologica Acta, 21*, 965-981.

Turan, M., Gulluce, M., Cakmakci, R. Oztas, T., & Sahin, F. (2010). The effect of PGPR strain on wheat yield and quality parameters. The 19th World Congress of Soil Science: Soil solutions for a changing world. Brisbane, Australia, 1-6 August, 140-143.

Villegas, J., & Fortin, J. A. (2002). Phosphorus solubilization and pH changes as a result of the interactions between soil bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on a medium containing NO^{3-} as nitrogen source. *Canadian Journal of Botany, 80(5)*, 571-576.

Warman, P.R., & Havard, K.A. (1998). Yield, vitamin and mineral contents of organically and conventionally grown potatoes and sweet corn. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 68*, 207-216.

Yadav, R. D., Keshwa, G. L,. & Yadva, S. S. (2002). Effect of integrated use of FYM, urea and sulphur on growth and yield of Isabgol (*Plantago ovata*). *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences, 25*, 668-671.

Yasari, E., & Patwardhan, A. M. (2007). Effect of *Aztobacter and Azospirillum* inoculations and chemical fertilizers on growth and productivity of canola (*Brassica napus* L.). *Asian Journal of Plant Sciences, 6*(1), 77-82.

Youssef, A. A., Edris, A. E., & Gomaa, A. M. (2004). A comparative study between some plant growth regulators and certain growth hormones producing microorganisms on growth and essential oil composition of *Salvia officinalis* L. *Plant Annals of Agricultural Science, 49*, 299-311.

Zahir, A. Z., Abbas, S. A., Khalid, A., & Arshad, M. (2000). Substrate depended microbially derived plant hormones for improving growth of maize seedling. *Pakistan Journal of Biological Sciences, 3*(2), 289-291.

Zaller, J. G. (2007). Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientica Horticulturae, 112*(2), 191-199.

Zemrany, H. El., Cortet , J., Lutz M. P., Chabert, A., Baudoin, E. K., Haurat J., Maughan, N., Fe´Lixf, D., De´fago, G., Bally, R., & Moenne-Loccoz, Y. (2006). Field survival of the phytostimulator *Azospirillum lipoferum* CRT1 and functional impact on maize crop, biodegradation of crop residues, and soil faunal indicators in a context of decreasing nitrogen fertilization. *Soil Biology and Biochemistry, 38*, 1712-1726.