تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد ششم، شماره اول، بهار ۱۴۰۳، ص ۱۸۵-۱۶۹

مقاله پژوهشی

# اثر میکوریزا، ورمی کمپوست و میکروارگانیزم‌های موثر بر کارایی مصرف عناصر و عملکرد کنجد

ملیحه سعیدی[۱]، غلامرضا خواجویی نژاد[۲*]، عنایت الله توحیدی نژاد[۲]، جلال قنبری[۲،۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت-اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۳- موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران
* مسئول مکاتبه: khajoei@uk.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۱ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.379518.1308**

## چکیده

با هدف ارزیابی نقش میکوریزا و میکروارگانیزم‌های موثر (EM) در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد و افزایش کارایی مصرف عناصر در سطوح مختلف ورمی‌کمپوست، آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ در منطقه رودبار جنوب، جیرفت اجرا شد. سطوح ورمی‌کمپوست (بدون کاربرد، کاربرد ۵ تن در هکتار و ۱۰ تن در هکتار) در کرت‌های اصلی، EM (کاربرد و عدم کاربرد EM) در کرت‌های فرعی و تلقیح با میکوریزا (عدم تلقیح و تلقیح با *Funneliformis mosseae*) در کرت‌های فرعی-فرعی به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در حالی‌که کاربرد میکروارگانیزم‌ها در شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های ذکر شده نداشت، در شرایط کاربرد ۵ تن ورمی‌کمپوست، کاربرد تلفیقی میکوریزا و EM و در شرایط کاربرد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست، کاربرد منفرد میکروارگانیزم‌ها منجر به افزایش معنی‌دار تعداد کپسول و تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه و کارایی مصرف عناصر شد. هم‌چنین، بیشترین کارایی مصرف ورمی‌کمپوست از کاربرد سطح ۵ تن ورمی‌کمپوست و تلفیق میکوریزا و EM حاصل و منجر به عدم تفاوت معنی‌دار عملکرد در مقایسه با شرایط کاربرد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست و عدم تلقیح میکروبی شد. به‌طور کلی، کاربرد میکروارگانیزم‌ها در هر دو سطح کاربرد ورمی‌کمپوست منجر به افزایش کارایی مصرف ورمی‌کمپوست شدند. همچنین، با افزایش سطح کاربرد ورمی‌کمپوست کارایی تلقیح میکروبی افزایش یافت. کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست همراه با تلقیح میکروبی بهترین نتیجه را در بر داشت. با این وجود، از نظر کارایی مصرف کود، کاربرد ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست و تلقیح تلفیقی میکوریزا و EM نیز می‌تواند مد نظر قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** اجزای عملکرد کنجد، تلقیح میکروبی، کارایی مصرف کود، کود آلی

## مقدمه

استفاده مداوم از کودهای شیمیایی و کودهای آلی برای افزایش حاصلخیزی خاک و عملکرد محصول، اغلب منجر به اثرات غیرمنتظره مضر زیست‌محیطی شده است (Tilman, 1998). سیستم‌های مدیریت تلفیقی عناصر غذایی برای بهبود بهره‌وری کشاورزی و حفاظت از محیط زیست یکی از مهم‌ترین جنبه‌های بهبود تغذیه در کنار کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی است (Adesemoye and Kloepper, 2009). تلقیح میکروبی یکی اجزای امیدبخش چنین سیستم‌های مدیریتی است که در جهت رفع مشکلات زراعی و زیست‌محیطی، نقش مهمی ایفا می‌کند. میکروارگانیزم‌های محرک رشد، موجب بهبود رشد گیاه، افزایش دسترسی و جذب مواد مغذی و حمایت از سلامت گیاهان می‌شوند. تلقیح میکروبی شامل تلقیح با عمده‌ترین گروه‌های میکروارگانیزم‌های مختلف شامل قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا، باکتری‌های محرک رشد و میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM)[۱] است (Adesemoye and Kloepper, 2009; Moon *et al*., 2011; Uzun *et al*., 2018; Yadav *et al*., 2021).

فعالیت‌های تحقیقاتی با هدف دستیابی به کارایی بالاتر کاربرد کودها، از جمله استفاده از میکروارگانیزم‌های مختلف به‌عنوان مکمل‌های کود، در دهه‌ی اخیر به‌طور پیوسته افزایش یافته است. مطالعات، اغلب برهمکنش مثبت بین تلقیح میکروبی در شرایط سیستم‌های مختلف تغذیه آلی و شیمیایی را نشان داده است که در بسیاری موارد، تلقیح می‌تواند جذب عناصر غذایی را توسط گیاه بهبود داده و در نتیجه افزایش کارایی استفاده از کودهای شیمیایی و آلی را به همراه داشته باشد (Adesemoye and Kloepper, 2009; Ghanbari

[1] Effective Microorganisms (EM)

and Khajoei-Nejad, 2021, 2022). با این حال، تأثیر تلقیح میکروبی بر افزایش کارایی کاربرد منابع کودی در گیاهان مختلف هنوز نیازمند بررسی دقیق‌تر است.

در میان گیاهان مهم روغنی، کنجد (*Sesamum indicum* L.) یکی از بهترین و غنی‌ترین روغن‌های خوراکی را فراهم می‌کند (Pathak *et al*., 2014). دانه حاوی ۵۰ تا ۶۰ درصد روغن است که به دلیل وجود آنتی اکسیدان‌های طبیعی مانند سزامولین، سسامین و سزامول، از پایداری بالایی برخوردار است (Anilakumar *et al*., 2010). ترکیب شیمیایی روغن کنجد که با سطح پایین اسیدهای چرب اشباع (SFAs) (کمتر از ۱۵ درصد) و وجود آنتی‌اکسیدان‌ها مشخص می‌شود، می‌تواند در بهبود سلامتی انسان بسیار مؤثر باشد (Dossa *et al*., 2017). کنجد به رغم اهمیت بالا، از حمایت علمی، صنعتی و سیاست‌گذاری بسیار اندک برخوردار شده است (Dossa *et al*., 2017). از این رو، اعمال تکنیک‌های به زراعی برای بهره‌وری بالاتر برای پاسخ مؤثر به تقاضای روزافزون روغن آن، حائز اهمیت است.

کاربرد ورمی‌کمپوست با بهبود خصوصیات مختلف خاک، موجب بهبود رشد گیاه و اجزای عملکرد کنجد شده است (Vasanth Pandiyan *et al*., 2020). هم‌چنین، نتایج مطالعه‌های مختلف بیانگر واکنش مثبت کنجد به تلقیح با گونه‌های مختلف میکوریزا به خصوص گونه *Funneliformis mosseae* بوده است (Askari *et al*., 2019; Gholinezhad *et al*., 2020; Gholinezhad and Darvishzadeh, 2021). در بررسی اثر میکوریزا (*Glomus mosseae*)، و کاربرد تلفیقی میکوریزا و منابع کودی مختلف، نتایج نشان داد که کاربرد میکوریزا به تنهایی و در ترکیب با کودهای آلی، گرانوله‌ی گوگردی و ورمی‌کمپوست باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد شد (Rezvani moghaddam *et al*., 2015). هم‌چنین، پتانسیل قارچ‌های میکوریزا برای تأثیرگذاری بر رشد، روابط آبی و تغذیه گیاه کنجد گزارش شده است (Gholinezhad *et al*., 2020; Gholinezhad and Darvishzadeh, 2021). قارچ‌های میکوریزا به عنوان مهم‌ترین مکانیزم، تغذیه فسفر را در گیاهان بهبود داده و منجر به افزایش تولید می‌شوند (Adesemoye and Kloepper, 2009; Bardi and Malusà, 2012). علاوه بر این، نقش میکوریزا در شرایط کاهش کوددهی بر عملکرد و میزان سود اقتصادی در کشت علوفه ذرت و سورگوم نشان داد که کاربرد میکوریزا و کوددهی با میزان ۵۰ درصد نیتروژن صفات گیاهی و پارامترهای عملکرد را نسبت به شاهد بهبود داد (Uzun *et al*., 2018). در گیاهان دیگر نیز کاربرد تلفیقی میکوریزا و کودهای آلی و شیمیایی، ضمن افزایش در عملکرد، با افزایش جذب و کارایی جذب نیتروژن و فسفر، کارایی مصرف عناصر نیتروژن و فسفر را نسبت به کاربرد هرکدام به تنهایی بهبود داد (Ghanbari *et al*., 2019; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022, 2021).

میکروارگانیزم‌های مؤثر حاوی انواع مختلف میکروارگانیزم‌های مفید و مقابله کننده با عوامل بیماری‌زا، به ویژه باکتری‌های فتوسنتز کننده (*Rhodopseudomonas* spp.)، باکتری‌های اسید لاکتیک (*Lactobacillus* spp.)، مخمر (*Saccharomyces* spp.)، اکتینومایست‌ها و هم‌چنین قارچ‌های تخمیری مانند *Aspergillus* و *Penicillium* و غیره است (Moon *et al*., 2011). به عنوان نوعی کود زیستی-آلی، کاربرد EM می‌تواند ضمن کاهش اثرات منفی کودهای شیمیایی، موجب بهبود حاصلخیزی خاک شده و چرخه عناصر غذایی را بهبود دهد (Cui *et al*., 2021). نقش میکروارگانیزم‌های مؤثر در بهبود عملکرد کنجد مورد بررسی قرار نگرفته است. بر اساس نتایج مطالعات مختلف، کاربرد EM، نتایج متفاوتی را به‌همراه داشته است و اثر آن بر عملکرد گیاه نیاز به بررسی بیشتر در شرایط مختلف و گیاهان مختلف دارد. به عنوان مثال، گزارش شده است که تأثیر افزودن EM بر حاصلخیزی خاک و رشد گیاه مشهود نیست (Mayer *et al*., 2010). در مطالعات دیگر گزارش شده که کاربرد EM تنها در صورت استفاده هم زمان با کود دامی منجر به افزایش جذب عناصر، رشد گیاه و کارایی کاربرد کود دامی می‌شود (Khaliq *et al*., 2006; Mayer *et al*., 2010; Jahanban and Lotfifar, 2012).

بر اساس موارد ذکر شده، نقش کاربرد هم‌زمان میکوریزا و EM در افزایش عملکرد کنجد و کارایی مصرف ورمی‌کمپوست بررسی نشده است. بنابراین این مطالعه با هدف بررسی نقش کاربرد تلفیقی میکروارگانیزم‌ها و سطوح مختلف ورمی‌کمپوست در افزایش عملکرد و بررسی امکان کاهش کل مقدار مصرف کود، انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### شرایط آزمایش و تیمارهای مورد بررسی

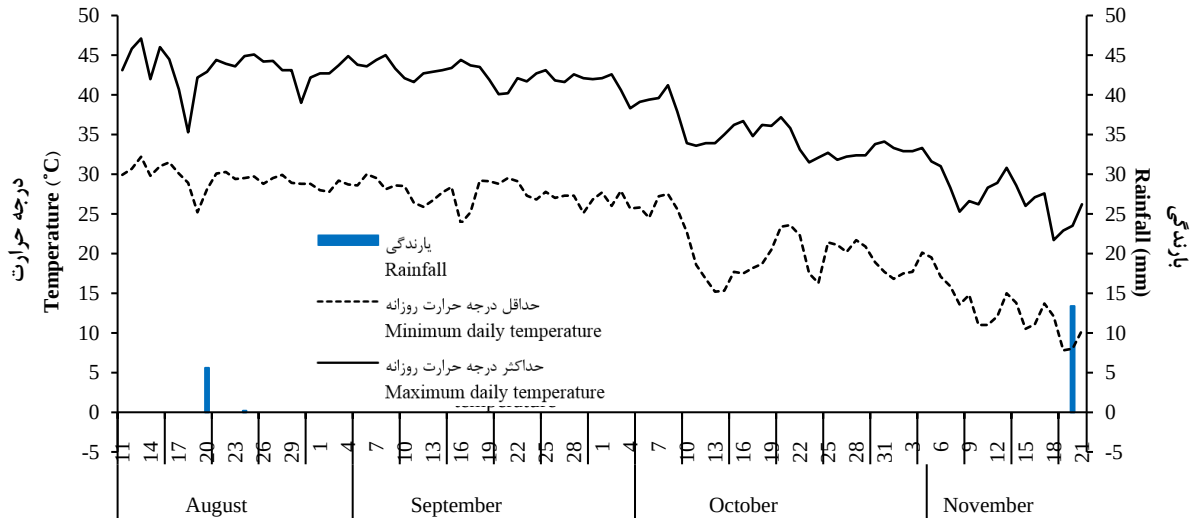
این آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱در منطقه رودبار جنوب، جیرفت، با موقیت جغرافیایی ۲۸/۰۲ درجه شمالی، ۵۸ درجه شرقی و ارتفاع ۴۷۰ متر از سطح دریا، انجام شد. جهت ارزیابی خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر انجام شد و سپس نمونه به آزمایشگاه تجزیه خاک منتقل و مورد تجزیه قرار گرفت. خصوصیات مختلف خاک و ویژگی‌های آب و هوایی محل اجرای آزمایش به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است.

این آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ ترکیب تیماری در سه تکرار اجرا شد. بذور رقم محلی کنجد از کشاورزان منطقه تهیه و در کرت‌هایی به مساحت سه متر مربع به ابعاد ۲×۱/۵ متر در تاریخ ۲۰ مرداد ۱۴۰۰ در عمق یک تا ۱/۵ سانتی‌متر کشت شدند. فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته و تراکم نهایی ۶۰ بوته در هر کرت حاصل شد.

**جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در منطقه رودبار جنوب، جیرفت**

**Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil of the experimental site in Rudbar-e Jonub region, Jiroft**

| بافت Texture | وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g cm$^{-3}$) | pH | قابلیت هدایت الکتریکی Ec (dS m$^{-1}$) | کربن آلی Organic carbon (%) | نیتروژن N (%) | فسفر P (mg kg$^{-1}$) | پتاسیم K (mg kg$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| لوم-شنی Sandy-Loam | 1.81 | 7.4 | 6.1 | 0.27 | 0.024 | 24.57 | 590 |




**شکل ۱- عوامل مختلف اقلیمی منطقه اجرای آزمایش در طول فصل رشد ۱۴۰۰-۱۴۰۱**

**Figure 1- Different climatic factors of the experimental area during the growing season of 2021-2022**

بعد از آماده‌سازی زمین در مرداد ماه ۱۴۰۰، سطوح مختلف ورمی کمپوست شامل (۱) ۱۰۰ درصد نیاز غذایی کنجد (۱۰ تن در هکتار؛ معادل ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۸۰ کیلوگرم در هکتار فسفر ($P_2O_5$) و ۷۶ کیلوگرم در هکتار پتاسیم ($K_2O$))، (۲) ۵۰ درصد نیاز غذایی (۵ تن در هکتار، معادل ۵۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۴۰ کیلوگرم در هکتار $P_2O_5$ و ۳۸ کیلوگرم در هکتار $K_2O$) و شاهد (بدون اعمال ورمی‌کمپوست) در کرت‌های اصلی اعمال و با خاک مخلوط شد. ورمی‌کمپوست کاربردی، دارای خصوصیات ۱/۶: EC، کربن آلی: ۱۴/۹۳ درصد، نیتروژن: ۱/۱ درصد، فسفر: ۰/۸ درصد و پتاسیم: ۰/۷۶ درصد بود. کاربرد میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM) در دو سطح (کاربرد و عدم کاربرد) در کرت‌های فرعی اعمال شد. کاربرد EM به صورت تلقیح بذر و به صورت تکمیلی به شکل کاربرد پای بوته‌ها، اعمال گردید. مایه تلقیح میکروارگانیزم‌های

مؤثر (حاوی باکتری‌های فتوسنتز کننده (*Rhodopseudomonas* spp.) ($۳/۳\times۱۰^{۴}$ CFU $ml^{-1}$)، باکتری‌های اسید لاکتیک (*Lactobacillus* spp.) ($۱/۳\times۱۰^{۷}$ CFU $ml^{-1}$)، مخمر (*Saccharomyces* spp.) ($۱/۳\times۱۰^{۴}$ CFU $ml^{-1}$)، اکتینومایست‌ها ($۲\times۱۰^{۲}$ CFU $ml^{-1}$) و همچنین قارچ‌های تخمیری ($۱/۵\times۱۰^{۲}$ CFU $ml^{-1}$) مانند *Aspergillus* و *Penicillium*) از شرکت امکان پذیر پارس (شیراز) تهیه شد. جهت اطمینان از تلقیح مؤثر خاک، میکروارگانیزم‌های مؤثر علاوه بر تلقیح بذر، در ابتدای مرحله زایشی (۴۰ روز پس از کاشت) به نسبت ۱۰:۱ (EM: آب) رقیق شده و به میزان ۱۲۰ میلی‌لیتر در هر کرت (براساس دستورالعمل شرکت سازنده)، در آب آبیاری اعمال شد. سطوح میکوریزا به عنوان عامل فرعی فرعی نیز به صورت عدم تلقیح و تلقیح خاک محل قرارگیری بذر، اعمال شد. مایه تلقیح میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) که به صورت تجاری از شرکت گیاهپزشکی ارگانیک (همدان) تهیه شد، در زمان کاشت در بستر بذر به میزان سه گرم برای هر بوته اعمال شد.

تمام کرت‌ها بلافاصله پس از کاشت آبیاری شدند و برنامه آبیاری براساس هر هفته یک‌بار انجام شد. وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی و عملیات داشت به‌طور یکنواخت برای تمام کرت‌ها انجام شد. پس از استقرار بوته‌ها، به منظور دستیابی به تراکم مورد نظر، بوته‌های کنجد تنک شدند.

## صفات مورد بررسی

در آخر فصل رشد (اول آذرماه ۱۴۰۰) جهت اندازه‌گیری صفات مختلف زراعی و اجزای عملکرد از ردیف میانی پنج بوته برداشت و صفات مختلف شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین عملکرد دانه، بوته‌های کنجد از سطح نیم متر مربع برداشت شده و پس از خشک شدن در هوای آزاد، دانه‌ها از بوته‌ها جدا شده و عملکرد دانه ارزیابی شد.

علاوه بر این، کارایی زراعی مصرف ورمی‌کمپوست و کارایی مصرف عناصر مختلف از روابط زیر حاصل شد:

کارایی زراعی ورمی کمپوست (AEV)[1] (گرم دانه تولیدی به ازای کیلوگرم کود مصرف شده) از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$AEV\ (g\ kg^{-1}) = (Y_t - Y_0)/FN \quad (۱)$$

$Y_t$ عملکرد (کیلوگرم در هکتار) به ازای مقدار معین کاربرد ورمی کمپوست (FN) در هر تیمار و $Y_0$ عملکرد (کیلوگرم در هکتار) لندازه‌گیری شده در تیمار شاهد (بدون کاربرد کود) (Xu *et al*., 2012).

کارایی مصرف عناصر (NUE) برای براساس رابطه زیر با توجه به عملکرد تولید شده (SY) به ازای عنصر مصرف شده در واحد سطح (عنصر موجود در خاک و عنصر اضافه شده توسط ورمی کمپوست (TN)) برای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد محاسبه قرار گرفت (رابطه ۲) (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022).

$$NUE = SY/TN \quad (۲)$$

جهت ارزیابی کارایی میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر در افزایش عملکرد تولیدی در شرایط مختلف کاربرد ورمی‌کمپوست، اثربخشی تلقیح میکروبی (MIE)[2] با استفاده از عملکرد دانه تولید شده در شرایط تلقیح ($Y_i$) و عدم تلقیح ($Y_0$) و از رابطه (۳) حاصل شد:

$$MIE = \frac{BYi - BY0}{BYi} \times 100 \quad (۳)$$

به منظور تعیین اختلاف آماری بین تیمارهای مورد بررسی، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.0 انجام شد و میانگین‌ها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (LSD، $P< ۰/۰۵$) مورد مقایسه قرار گرفتند. برای تهیه شکل‌ها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد.

## نتایج و بحث

### ویژگی‌های مورفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که ارتفاع بوته کنجد از بین تیمارهای مورد آزمایش تنها تحت تأثیر اثر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست قرار گرفت و سایر تیمارهای مورد بررسی و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته کنجد نداشت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته کنجد شد

[1] Agronomic efficiency of vermicompost (AEV)

[2] Microbial inoculation effect (MIE)

و بیشترین ارتفاع بوته از کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست حاصل شد. کاربرد ۵ تن در هکتار منجر به افزایش ۷ درصدی و کاربرد ۱۰ تن در هکتار منجر به افزایش ۱۵ درصدی ارتفاع بوته نسبت به عدم کاربرد شد (شکل ۲).

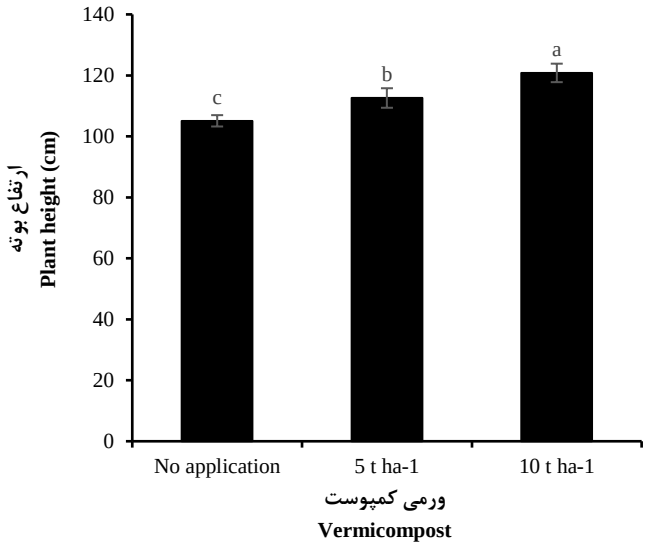
**جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد ورمی‌کمپوست، تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کارایی مصرف عناصر کنجد در منطقه رودبار**

**Table 2- Analysis of variance results for the effect of vermicompost application, inoculation with effective microorganisms and mycorrhiza on yield components, seed yield and nutrient use efficiency of sesame in Rudbar region**

| منابع تغییر Sorces of variation | درجه آزادی df | ارتفاع بوته Plant height | تعداد شاخه فرعی Number of branches | تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant | تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant | وزن هزار دانه 1000-seed weight | عملکرد دانه Seed yield | کارایی مصرف نیتروژن N use efficiency | کارایی مصرف فسفر P use efficiency | کارایی مصرف پتاسیم K use efficiency |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک Replication (R) | 2 | 149 | 0.041 | 19.0 | 136027 | 0.051 | 18289 | 0.0039 | 0.24 | 0.0006 |
| ورمی‌کمپوست Vermicompost (V) | 2 | $^{**}$741 | 0.75 $^{ns}$ | $^{*}$1280 | $^{**}$7161805 | 0.071 $^{ns}$ | $^{**}$2752344 | $^{**}$0.447 | $^{*}$6.32 | $^{**}$0.0896 |
| V×R | 4 | 30.2 | 0.43 | 91.0 | 413991 | 0.030 | 119148 | 0.024 | 0.83 | 0.0041 |
| میکروارگانیزم‌های مؤثر Effective microorganisms (EM) | 1 | 271 $^{ns}$ | 1.54 $^{ns}$ | 101 $^{ns}$ | 757861 $^{ns}$ | 0.020 $^{ns}$ | 321635 $^{ns}$ | 0.063 $^{ns}$ | 2.28 $^{ns}$ | 0.0110 $^{ns}$ |
| V×EM | 2 | 38.8 $^{ns}$ | 0.38 $^{ns}$ | 45.6 $^{ns}$ | 206498 $^{ns}$ | 0.014 $^{ns}$ | 88959 $^{ns}$ | 0.017 $^{ns}$ | 0.60 $^{ns}$ | 0.0030 $^{ns}$ |
| EM (V)×R | 6 | 62.6 | 0.95 | 73.3 | 385912 | 0.035 | 116621 | 0.023 | 0.74 | 0.0040 |
| میکوریزا Mycorrhiza (AM) | 1 | 34.4 $^{ns}$ | 0.68 $^{ns}$ | 171 $^{ns}$ | 809289 $^{ns}$ | 0.074 $^{ns}$ | $^{**}$467096 | $^{**}$0.094 | $^{**}$3.76 | $^{**}$0.0161 |
| V×AM | 2 | 44.0 $^{ns}$ | 0.21 $^{ns}$ | 21.1 $^{ns}$ | 123105 $^{ns}$ | 0.054 $^{ns}$ | 3754 $^{ns}$ | 0.001 $^{ns}$ | 0.021 $^{ns}$ | 0.0001 $^{ns}$ |
| EM×AM | 1 | 328 $^{ns}$ | 0.031 $^{ns}$ | $^{*}$196 | $^{*}$1386588 | 0.075 $^{ns}$ | $^{*}$231281 | $^{*}$0.045 | $^{*}$1.52 | $^{*}$0.0079 |
| V× EM×AM | 2 | 159 $^{ns}$ | 0.98 $^{ns}$ | $^{*}$185 | $^{*}$995737 | 0.049 $^{ns}$ | $^{*}$180316 | $^{*}$0.035 | $^{*}$1.16 | $^{*}$0.0061 |
| خطا Error | 12 | 92.6 | 0.34 | 42.2 | 240382 | 0.040 | 41898 | 0.0082 | 0.27 | 0.0014 |
| ضریب تغییرات (درصد) CV (%) | - | 8.53 | 14.0 | 14.0 | 14.2 | 7.04 | 10.4 | 10.3 | 9.51 | 10.4 |

$^{**}$: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، $^{*}$: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و $^{ns}$: غیر معنی‌دار

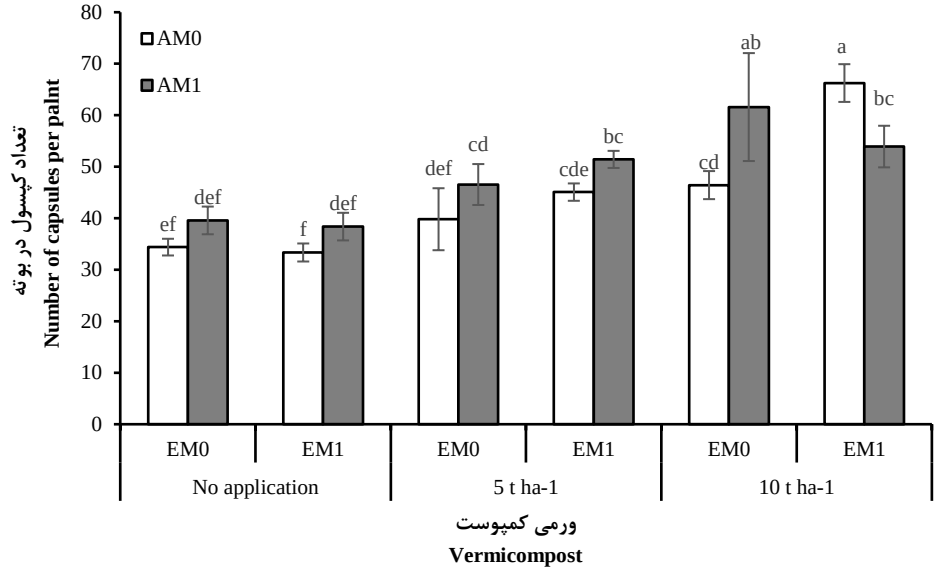
$^{**}$: significant at 0.01 probability level, $^{*}$: significant at 0.05 probability level, and $^{ns}$: not significant




**شکل ۲- اثر سطوح مختلف کاربرد ورمی‌کمپوست بر ارتفاع بوته کنجد**

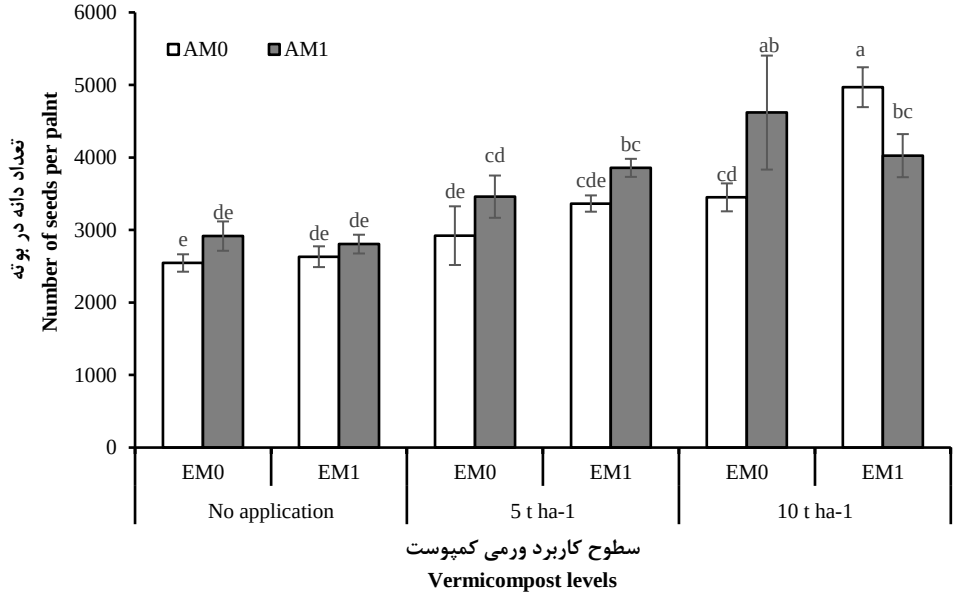
**Figure 2- Effect of different levels of vermicompost on plant height of sesame**

به طور کلی، کوددهی به دلیل افزایش حاصلخیزی و بهبود شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک، که باعث افزایش رشد ریشه می‌شود به رشد رویشی گیاه کمک می‌کند (Oliveira *et al.*, 2015). در همین ارتباط، محققین گزارش کرده اند که مصرف کمپوست و کود دامی منجر به افزایش رشد رویشی کنجد نسبت به شاهد شده که به دلیل بسیاری از آنزیم‌ها، تنظیم‌کننده‌های رشد و مواد مغذی موجود در کمپوست بوده که تأثیر مثبتی بر عملکرد نهایی برجا گذاشته است (Ganjineh *et al.*, 2019). نتایج هم‌چنین نشان داد که تیمارهای آزمایش و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی در بوته کنجد نداشت (جدول ۲).




**شکل ۳- تعداد کپسول در بوته کنجد تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد ورمی‌کمپوست و تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM0: عدم تلقیح و EM1: تلقیح) و میکوریزا (AM0: عدم تلقیح و AM1: تلقیح)**

**Figure 3- Number of capsules per plant in sesame affected by different levels of vermicompost application and inoculation with effective microorganisms (EM0: no inoculation and EM1: inoculation) and mycorrhiza (AM0: no inoculation and AM1: inoculation)**




**شکل ۴- تعداد دانه در بوته کنجد تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد ورمی‌کمپوست و تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM0: عدم تلقیح و EM1: تلقیح) و میکوریزا (AM0: عدم تلقیح و AM1: تلقیح).**

**Figure 4- Number of seeds per plant in sesame affected by different levels of vermicompost application and inoculation with effective microorganisms (EM0: no inoculation and EM1: inoculation) and mycorrhiza (AM0: no inoculation and AM1: inoculation)**

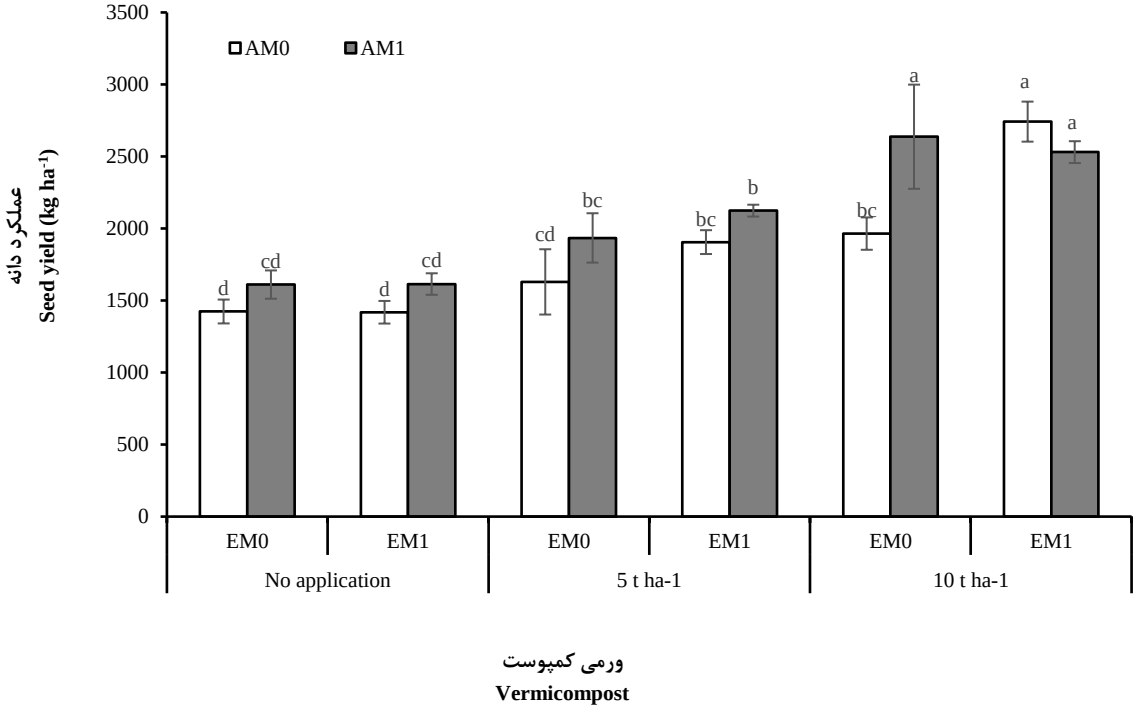
نتایج نشان داد که تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در بوته تحت تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست، اثر متقابل تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر و اثر متقابل کاربرد ورمی‌کمپوست و تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر قرار گرفتند (جدول ۲). این در حالی بود که از بین اجزای عملکرد، هیچکدام از تیمارهای مورد ارزیابی اثر معنی‌داری بر وزن هزاردانه نداشتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که در شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست، تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر اثر معنی‌داری بر تعداد کپسول و دانه در بوته نشان نداد. در شرایط کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تنها کاربرد تلفیقی میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر منجر به افزایش تعداد کپسول (۲۹ درصد) و تعداد دانه در بوته (۳۲ درصد) نسبت به عدم تلقیح میکروارگانیزم‌ها شد و کاربرد هر کدام به تنهایی تغییر معنی‌داری نسبت به عدم تلقیح ایجاد نکرد. این در حالی بود که در شرایط کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر بهترین نتیجه را در پی داشت و تفاوت معنی‌داری با تلقیح با میکوریزا نشان نداد اما منجر به افزایش معنی‌دار تعداد کپسول (۴۳ درصد) و تعداد دانه در بوته (۴۴ درصد) نسبت به عدم تلقیح در این شرایط شد (شکل‌های ۳ و ۴).

عملکرد دانه کنجد تحت تأثیر سطوح کاربرد ورمی‌کمپوست، تلقیح با میکوریزا و اثر متقابل کاربرد ورمی‌کمپوست، تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر قرار گرفت (جدول ۲). با روندی مشابه با اجزای عملکرد، در شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست، کاربرد میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر اثر معنی‌داری بر عملکرد نداشت. در شرایط کاربرد ۵ تن ورمی‌کمپوست، تنها کاربرد تلفیقی میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر منجر به افزایش معنی‌دار (۳۰ درصد) عملکرد دانه نسبت به عدم تلقیح شد. این در حالی بود که در شرایط کاربرد سطوح بالای ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر و اثر تلفیقی آن‌ها بر افزایش عملکرد دانه قابل مشاهده بود و نسبت به عدم تلقیح در این شرایط، عملکرد دانه را بین ۲۹ تا ۳۹/۵ درصد نسبت به عدم تلقیح در این شرایط بهبود دادند (شکل ۵).

با توجه به عدم تاثیر پذیری وزن هزاردانه از تیمارهای کودی و مشاهده روند مشابه در تعداد کپسول و تعداد دانه در بوته، به نظر می‌رسد این اجزا نسبت به وزن هزاردلنه از اثر بیشتری در تعیین عملکرد دانه کنجد برخوردارند. بنابراین، تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر به خصوص در تلفیق با کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست با اثر قابل توجه بر

تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در بوته، بر عملکرد دانه اثر مثبت داشته و منجر به بهبود عملکرد نسبت به کاربرد هر کدام به تنهایی شدند. برای اکثر ویژگی‌های مرتبط با عملکرد، اثر متقابل برای اعمال سطح ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر یافت شد که مشخصه اثر هم‌افزایی بین کوددهی آلی و تلقیح میکروبی است.

تلقیح میکروبی جزء امیدوارکننده‌ای برای حل مشکلات زراعی و زیست‌محیطی است، زیرا از ظرفیت ارتقای رشد گیاه، افزایش دسترسی و جذب مواد غذایی مورد نیاز گیاه و حمایت از سلامت گیاهان برخوردار است (Adesemoye and Kloepper, 2009).




**شکل ۵- عملکرد دانه کنجد تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد ورمی‌کمپوست و تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM0: عدم تلقیح و EM1: تلقیح) و میکوریزا (AM0: عدم تلقیح و AM1: تلقیح)**

**Figure 5- Seed yield of sesame affected by different levels of vermicompost application and inoculation with effective microorganisms (EM0: no inoculation and EM1: inoculation) and mycorrhiza (AM0: no inoculation and AM1: inoculation)**

در بررسی اثر گونه‌های مختلف میکوریزا بر بهبود عملکرد کنجد تحت شرایط تنش خشکی، گزارش شد که گونه *F. mosseae* نسبت به *R. intraradices* مؤثرتر بوده اما هر دو گونه نسبت به عدم تلقیح، موجب افزایش عملکرد کنجد شدند (Askari *et al.*, 2019). نتایج مشابه از اثر بهبود دهندگی میکوریزا (*Funneliformis mosseae*) بر عملکرد و بهره‌وری کنجد گزارش شده است (Gholinezhad *et al.*, 2020; Gholinezhad and Darvishzadeh, 2021; Yadav *et al.*, 2021). به طور مشابه، گزارش شده تلقیح میکوریزا گونه *Gigaspora albida* و کاربرد ورمی‌کمپوست منجر به افزایش تولید گیاه *Passiflora alata* شده است (Oliveira *et al.*, 2015). اثر مثبت کاربرد تلفیقی تلقیح میکوریزا و کودهای آلی بر رشد گیاهان مختلف گزارش شده است (Adesemoye and Kloepper, 2009; Oliveira *et al.*, 2015; Silva and Silva, 2020; Uzun *et al.*, 2018). کودهای آلی علاوه بر افزایش جمعیت میکروبی که برای قارچ‌های میکوریزا مفید هستند، باعث بهبود خواص مختلف خاک شده (Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2021) که می‌تواند باعث افزایش نفوذ و توزیع ریشه‌ها و رشد هیف‌های میکوریزا شود. کودهای آلی جدا از اینکه منبعی از مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر هستند، تکثیر هیف‌ها را به واسطه تجزیه مواد آلی تحریک می‌کند، که به عملکرد جامعه میکروبی خاک

و رشـــد گیاه کمک می‌کند، همانطور که در مطالعه‌ای دیگر (Oliveira *et al*., 2015) مشـاهده شـد. نتایج بررسـی برخی ویژگی‌های کیفی خاک نشـان داد که تخلخل، ظرفیت نگهداری آب، ظرفیت تبادل کاتیونی و عناصـر درشـت مغذی به طور معنی‌داری در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست افزایش یافته است. به دنبال این اثرات بهبود دهنده، ورمی‌کمپوسـت و ترکیب آن با کودهای شـیمیایی منجر به افزایش اجزای رشـد گیاه (ریشـه، اندام هوایی، شـاخص سـطح برگ، شـاخه، تولید ماده خشـک) و اجزای عملکرد (تعداد غلاف، وزن، طول، وزن دانه، تعداد دانه، عملکرد دانه) کنجد شد (Vasanth Pandiyan *et al*., 2020). در همین ارتباط گزارش شده که رشد قابل توجه گیاه در شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست به دلیل ترکیب عناصر غذایی آن نسبت بـه سـایر کودها بود. در تـایید این نتـایج، در مطـالعـه‌ای (Ganjineh *et al*., 2019)، بیشـترین عملکرد کنجد از تلفیق ورمی‌کمپوسـت بـا کـاربرد همزمـان *Azosperillum* و *Azotobacter*حاصل شد.

**جدول ۳- کارایی مصرف عناصر کنجد تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد ورمی‌کمپوست و تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM0: عدم تلقیح و EM1: تلقیح) و میکوریزا**

**Table 3- Nutrients use efficiency of sesame affected by different levels of vermicompost application and inoculation with effective microorganisms (EM0: no inoculation and EM1: inoculation) and mycorrhiza**

| سطوح ورمی‌کمپوست Vermicompost levels | میکروارگانیزم‌های مؤثر Effective microorganisms (EMs) | کارایی مصرف نیتروژن N use efficiency (g. g$^{-1}$) | | کارایی مصرف فسفر P use efficiency (g. g$^{-1}$) | | کارایی مصرف پتاسیم K use efficiency (g. g$^{-1}$) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | عدم تلقیح با میکوریزا Non-inoculation | تلقیح با میکوریزا AM-inoculation | عدم تلقیح با میکوریزا Non-inoculation | تلقیح با میکوریزا AM-inoculation | عدم تلقیح با میکوریزا Non-inoculation | تلقیح با میکوریزا AM-inoculation |
| عدم کاربرد | EM0 | 0.66$^{e}$ | 0.74$^{de}$ | 4.55$^{de}$ | 5.15$^{cde}$ | 0.267$^{d}$ | 0.302$^{cd}$ |
| No application | EM1 | 0.65$^{e}$ | 0.74$^{de}$ | 4.53$^{e}$ | 5.16$^{cde}$ | 0.266$^{d}$ | 0.302$^{cd}$ |
| ۵ تن در هکتار | EM0 | 0.73$^{de}$ | 0.87$^{cd}$ | 4.62$^{de}$ | 5.48$^{cd}$ | 0.303$^{cd}$ | 0.360$^{bc}$ |
| 5 t ha$^{-1}$ | EM1 | 0.86$^{cd}$ | 0.95$^{bc}$ | 5.40$^{cde}$ | 6.02$^{bc}$ | 0.354$^{bc}$ | 0.395$^{b}$ |
| ۱۰ تن در هکتار | EM0 | 0.86$^{cd}$ | 1.16$^{a}$ | 5.00$^{de}$ | 6.71$^{ab}$ | 0.363$^{bc}$ | 0.487$^{a}$ |
| 10 t ha$^{-1}$ | EM1 | 1.20$^{a}$ | 1.11$^{ab}$ | 6.98$^{a}$ | 6.44$^{ab}$ | 0.506$^{a}$ | 0.467$^{a}$ |

برای هر صفت، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف آماری معنی‌دار براساس آزمون LSD هستند.

For each trait, means with similar letter(s) show no statistically significant difference based on the LSD test.

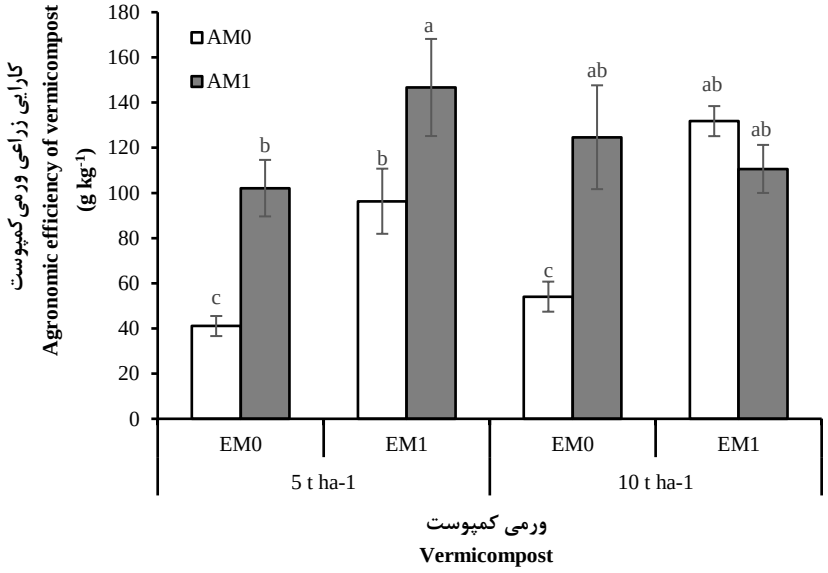
در مورد اثر EM بر خصوصیات مختلف رشد و عملکرد در گیاهان مختلف، گزارشات متفاوتی در دسترس است که براساس شـرایط اعمال آن در تلفیق با منبع کودی خاص و زمان مورد بررسی پس از اعمال تیمار، نتایج متفاوتی در پی داشته است. به عنوان مثال، نتایج مطالعه‌ای از کاربرد کود مرغی و EM در انواع مختلف خاک نشـان داد که نوع خاک و کوددهی بر عملکرد و ویژگی‌های شـیمیایی و میکروبی خاک اثر معنی‌داری داشـت درحالی‌که تأثیری از EM مشـاهده نشـد (Priyadi *et al*., 2005). در پژوهشـی چهار سـاله روی گیاهان مختلف، اثر میکروارگانیزم‌های مؤثر تنها در شـرایط تلفیق با کودهای آلی و تنها بر محصـول گندم در سـال چهارم آزمایش مثبت گزارش شـده و کاربرد EM به تنهایی، رشـد گیاه و پارامترهای مختلف خاک را به‌خصوص در سه سال اول آزمایش تحت تأثیر قرار نداد (Mayer *et al*., 2010). هم‌چنین، گزارش شـده است که تأثیر افزودن EM بر حاصـلخیزی خاک و رشـد گیاه مشـهود نیسـت (Mayer *et al*., 2010). با این حال، در بررسـی اثرات تلفیقی کاربرد EM با منابع تغذیه آلی و شـیمیایی بر عملکرد پنبه گزارش شـد که کاربرد منفرد مواد آلی و EM عملکرد و اجزای عملکرد پنبه را به طور قابل توجهی افزایش ندادند اما اسـتفاده تلفیقی آن‌ها منجر به افزایش ۴۴ درصـدی عملکرد نسـبت به شاهد شد (Khaliq *et al*., 2006). به طور کلی، اثرگذاری بهتر کاربرد EM در شـرایط کاربرد ورمی‌کمپوسـت می‌تواند تا حد زیادی با اثر مثبت تلقیح با EM بر جمعیت میکروبی خاک و میکروارگانیزم‌های مفید در شـرایط کاربرد کودهای آلی باشـد (Mayer *et al*., 2010). گزارش شده که کاربرد کودهای آلی از نظر افزایش تعداد باکتری‌های تثبیت کننده N در ریزوسـفر از

کود شیمیایی مؤثرتر بود. این نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از مواد آلی می‌توان جمعیت میکروبی خاک را افزایش داد و با تلقیح با کود زیستی، اثربخشی آن‌ها را افزایش داد. به این ترتیب می‌توان قابلیت دسترسی عناصر غذایی را برای گیاه افزایش داد و حداکثر عملکرد را به دست آورد (Jilani *et al.*, 2007).

## کارایی مصرف عناصر و کارایی زراعی ورمی‌کمپوست

کارایی مصرف عناصر پرمصرف شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم تحت تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست، تلقیح با میکوریزا و اثر متقابل ورمی‌کمپوست با میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا قرار گرفتند (جدول ۲). نتایج نشان داد که کارایی مصرف عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست تحت تأثیر تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا قرار نگرفت. مشابه با نتایج قبل، در شرایط کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تلقیح تلفیقی میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا منجر به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف عناصر نسبت به عدم تلقیح شد. این در حالی بود که در شرایط کاربرد سطح بالای ورمی‌کمپوست، کاربرد منفرد و تلفیقی میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا نیز منجر به افزایش معنی‌دار کارایی مصرف این عناصر نسبت به عدم تلقیح در این شرایط شد اما تفاوت معنی‌داری بین تلقیح میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر و تلقیح تلفیقی آن‌ها مشاهده نشد (جدول ۳).

نتایج نشان داد که کارایی زراعی ورمی‌کمپوست تحت تأثیر اثر متقابل سطوح کاربرد ورمی‌کمپوست، میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در شرایط کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تلقیح با میکوریزا کارایی زراعی ورمی‌کمپوست را در هر دو شرایط تلقیح و عدم تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر به ترتیب ۱۴۹ و ۵۸ درصد افزایش داد به‌طوری‌که بیشترین کارایی از تیمار تلفیقی میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا حاصل شد. این در حالی بود که در شرایط کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، تلقیح با میکوریزا، میکروارگانیزم‌های مؤثر و تلفیق آن‌ها به ترتیب ۱۳۱، ۱۴۴ و ۱۰۶ درصد کارایی زراعی ورمی‌کمپوست را نسبت به عدم تلقیح افزایش در این شرایط داد. با این وجود، نتایج نشان داد که تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر و میکوریزا به طور معنی‌داری کارایی زراعی ورمی‌کمپوست را در هر دو سطح کاربرد ورمی‌کمپوست بهبود داد (شکل ۶).




**شکل ۶- کارایی زراعی ورمی‌کمپوست تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد ورمی‌کمپوست و تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM0: عدم تلقیح و EM1: تلقیح) و میکوریزا (AM0: عدم تلقیح و AM1: تلقیح)**

**Figure 6- Agronomic efficiency of vermicompost affected by different levels of vermicompost application and inoculation with effective microorganisms (EM0: no inoculation and EM1: inoculation) and mycorrhiza (AM0: no inoculation and AM1: inoculation)**

اثرات مشابه در افزایش کارایی مصرف عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و هم‌چنین کارایی زراعی کاربرد ورمی‌کمپوست

مشاهده شده که در شرایط کاربرد تلفیقی بهترین نتایج را در پی داشته است. در بررسی برهمکنش بین اجزای میکروبی برای بهره‌وری بهتر از کودهای مختلف، هم‌افزایی محتمل است (Adesemoye and Kloepper, 2009) که تایید می‌کند با استفاده از میکروارگانیزم‌های مختلف، از طریق دستیابی به افزایش کارایی مصرف کودهای مصرفی، امکان استفاده از مقادیر کمتر کود وجود خواهد داشت. نتایج نشان داده است که تلقیح مشترک مایه تلقیح تجاری حاوی سویه‌های متعدد میکروبی توانسته است با افزایش کارایی مصرف عناصر و منابع کاربردی کودی موجب افزیش بهره‌وری و عملکرد شود (Adesemoye and Kloepper, 2009; Ghanbari and Khajoei-Nejad, 2022, 2021). نتایج مطالعه دیگری (Rezvani moghaddam *et al*., 2015) نشان داد که کاربرد تلفیقی میکوریزا و ورمی‌کمپوست نسبت به کاربرد هر کدام به تنهایی عملکرد دانه کنجد را به طور معنی‌داری افزایش داده است. هم‌چنین، نتایج نشان می‌دهد که تلقیح بذر با قارچ‌های میکوریزا همراه با میزان کاهش یافته کاربرد کودها می‌تواند راه‌حل مناسبی برای افزایش کارایی زیست محیطی و سودآوری در تولید علوفه باشد (Uzun *et al*., 2018). تلفیق نصف مقدار کود NP با EM می‌تولند عملکردی مشابه با میزان کامل کود NP را به همراه داشته باشد و از طریق کاهش مصرف کود، ضمن کاهش هزینه، کارایی مصرف کودها را به حداکثر رساند (Jilani *et al*., 2007).

علاوه بر این، نتایج نشان داد که شرایط کاربرد ۵۰ درصد ورمی‌کمپوست و کاربرد تلفیقی میکروارگانیزم‌ها تفاوت معنی‌داری با شرایط کاربرد ۱۰۰ درصد ورمی‌کمپوست بدون کاربرد میکروارگانیزم‌ها نشان نداد. این می‌تواند به دلیل افزایش کارایی زراعی کاربرد ورمی‌کمپوست با کاربرد تلفیقی میکروارگانیزم‌های کاربردی باشد (شکل ۶). امکان کاهش ۵۰ درصد کود شیمیایی در تولید فلفل (*Capsicum annuum* L.) با استفاده از کاربرد تلفیقی قارچ‌های میکوریزا (*F. mosseae* و *Bacillus sonorensis*) در شرایط مزرعه ارزیابی و قابلیت این میکروارگانیزم‌ها در کاهش میزان مصرف کودهای NPK به نصف مقدار، بدون تأثیر منفی بر رشد، تغذیه و عملکرد گزارش شده است (Thilagar *et al*., 2016). نتایج مشابه در افزایش کارایی در شرایط کاربرد ۵۰ درصد کودهای آلی و NP در مطالعه دیگر در گیاه ذرت گزارش شده است (Jilani *et al*., 2007). هم‌چنین کاربرد باکتری‌های محرک رشد نیز موجب افزایش کارایی مصرف نیتروژن و کارایی زراعی کاربرد کودهای شیمیایی (Khanamani *et al*., 2022) و دامی (Babakhani *et al*., 2023) شده است.

## کارایی تلقیح میکروبی

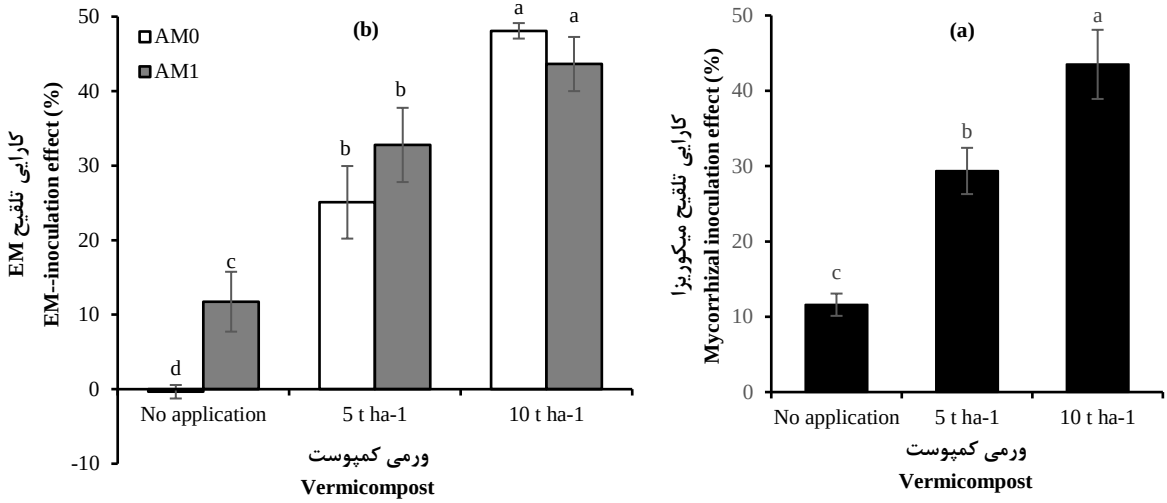
نتایج نشان داد که کارایی تلقیح میکوریزا تحت تأثیر سطوح کاربرد ورمی‌کمپوست قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست نسبت به عدم کاربرد به طور معنی‌داری کارایی تلقیح میکوریزا را بهبود داد. کارایی تلقیح در شرایط کاربرد ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست ۱۵۳ درصد و در شرایط کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست، ۲۷۵ درصد نسبت به عدم کاربرد (شاهد) بهبود یافت (شکل ۷-a).

کارایی تلقیح EM تحت تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست و اثر متقابل ورمی‌کمپوست و میکوریزا قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین کارایی تلقیح EM از کاربرد سطح ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست حاصل شد. در شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و عدم تلقیح با میکوریزا، کارایی تلقیح EM منفی بود، اما تلقیح با میکوریزا کارایی تلقیح EM را به طور معنی‌داری به حدود ۱۲ درصد در این شرایط افزایش داد. این در حالی بود که در شرایط کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست، تلقیح میکوریزایی اثر معنی‌داری بر کارایی تلقیح EM نداشت (شکل ۷-b).

کاربرد میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر در شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست اثر معنی‌داری بر بهبود عملکرد و اجزای عملکرد و کارایی مصرف عناصر نداشت. این ممکن است به دلیل کمبود مواد مغذی خاک و در نتیجه ناکارآمدی تلقیح میکوریزایی و میکروارگانیزم‌های مؤثر باشد. در تأیید این مطلب، نتایج نشان داد که کارایی تلقیح میکروارگانیزم‌های کاربردی در شرایط عدم کاربرد ورمی‌کمپوست به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در مقابل، در شرایط مقادیر بالای کاربرد ورمی‌کمپوست، بیشترین عملکرد از تلقیح با میکروارگانیزم‌های مؤثر و هم‌چنین تلقیح با میکوریزا حاصل شد (شکل ۵ و جدول ۳) که نتیجه افزایش کارایی تلقیح با افزایش میزان کاربرد ورمی‌کمپوست بود (شکل ۷). در تایید نتایج حاصله، گزارش شد که تلقیح EM به خصوص در شرایط کاربرد مقادیر بالای کودهای آلی باعث افزایش عملکرد برنج و بهره‌وری مزرعه شد (Iwaishi, 2001).

با توجه به اثر مثبت مشاهده شده برای کاربرد تلفیقی میکروارگانیزم‌ها با کودهای آلی در این مطالعه، به نظر می‌رسد کاربرد همزمان می‌تواند کارایی استفاده از ورمی‌کمپوست و هم‌چنین کارایی تلقیح میکروبی را به طور معنی‌داری بهبود بخشد و بر رشد و عملکرد گیاه اثر بهتری بر جا گذارد. همان‌طور که نتایج سایر مطالعات تأیید کننده این است که خاک‌هایی که مقادیر کافی کود در آن‌ها اعمال شده بود، کارایی تلقیح میکوریزایی را بهبود بخشیده است (Silva and Silva, 2020).

هم‌چنین، عدم پاسخ مناسب EM به شرایط کاربرد میزان پایین عناصر مختلف به این دلیل است که EM مخلوطی از میکروارگانیزم‌های مختلف است که تنها در حضور مقادیر کافی مواد آلی می‌تواند به خوبی عمل کند (Khaliq *et al*., 2006). در گزارشی عنوان شد که کاربرد EM درشرایط کاربرد مواد آلی در مقایسه با کاربرد آن همراه با کودهای معدنی، بر رشد گیاه مؤثرتر واقع شد (Khaliq *et al*., 2006). در واقع، به نظر می‌رسد کاربرد این میکروارگانیزم‌ها در بستر غنی از مواد آلی می‌تواند مؤثرتر واقع شود که در برنامه‌های تحقیقاتی می‌تواند مد نظر قرار گیرد. از طرف دیگر خاک محل مورد آزمایش محتوای ماده آلی پایینی داشته (جدول ۱) و به نظر می‌رسد کاربرد مقادیر کافی مواد آلی و تلفیق آن با میکروارگانیزم‌ها در چنین خاکی می‌تواند اثرات مثبت قابل توجهی را در پی داشته باشد. اثر افزایش ماده آلی و میکروارگانیزم‌ها می‌تولند با تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش فعالیت میکروبی را به همراه داشته باشد که منجر به بهبود محیط رشد گیاه می‌شود (Cui *et al*., 2021).




**شکل ۷- کارایی تلقیح میکوریزا در سطوح کاربرد ورمی کمپوست (a) و کارایی تلقیح میکروارگانیزم‌های مؤثر (EM) تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد ورمی‌کمپوست و تلقیح با میکوریزا (AM0: عدم تلقیح و AM1: تلقیح) (b)**

**Figure 7- Mycorrhizal inoculation effect affected by different levels of vermicompost application (a), and effective microorganisms (EM) inoculation effect affected by different levels of vermicompost application and mycorriza (AM0: no inoculation and AM1: inoculation) (b)**

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان از اثر مثبت کاربرد ورمی‌کمپوست و تلفیق آن با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر در جهت افزایش عملکرد و کارایی مصرف عناصر گیاه کنجد داشت. بهترین نتایج از کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و تلقیح با میکوریزا و میکروارگانیزم‌های مؤثر حاصل شد. تلفیق این تیمارها با اثر بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و کارایی مصرف عناصر را بهبود داد. با وجود اینکه بیشترین عملکرد و کارایی مصرف عناصر از کاربرد میزان ۱۰۰ درصد ورمی‌کمپوست حاصل شد، اما کاربرد تلفیقی میکروارگانیزم‌های مورد بررسی همراه با میزان ۵۰ درصد کاربرد ورمی‌کمپوست نیز تفاوت معنی‌داری با شرایط کاربرد ۱۰۰ درصد و عدم تلقیح میکروبی نشان نداد. در واقع، کاربرد این ترکیب تیماری منجر به حصول بیشترین کارایی زراعی کاربرد ورمی‌کمپوست شد که می‌تواند در مدیریت منابع کودی به‌خصوص در شرایط محدودیت دسترسی عناصر در مزرعه مد نظر قرار گیرد. البته باید توجه داشت که کاهش

میزان کودهای آلی در شـــرایط تلفیق با میکروارگانیزم‌ها بتواند تأمین کننده نیاز گیاه باشد. هم‌چنین، تلفیق میکروارگانیزم‌های مفید و کودهای زیســـتی به منظور کاهش اســـتفاده از کودهای شـــیمیایی جهت تولید محصـــول نیز می‌تواند برای دســـتیابی به اهداف کشاورزی پایدار مد نظر قرار گیرد.

**References**


Adesemoye, A.O. and Kloepper, J.W., 2009. Plant–microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *85*(1), pp.1-12. **doi: 10.1007/s00253-009-2196-0**

Anilakumar, K.R., Pal, A., Khanum, F. and Bawa, A.S., 2010. Nutritional, medicinal and industrial uses of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds-an overview. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, *75*(4), pp.159-168.

Askari, A., Ardakani, M.R., Paknejad, F. and Hosseini, Y., 2019. Effects of mycorrhizal symbiosis and seed priming on yield and water use efficiency of sesame under drought stress condition. *Scientia Horticulturae*, *257*, 108749. **doi: 10.1016/j.scienta.2019.108749**

Babakhani, V., Tohidi-Nejad, E., Khajoei-Nejad, G. and Ghanbari, J., 2023. Biomass Production and Nitrogen Use Efficiency in Dill-Fenugreek Intercropping in Response to Biofertilizers and Manure. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *32*(4), pp.1-18. [In Persian]. **doi: 10.22034/saps.2022.48673.2759**.

Bardi, L. and Malusà, E., 2012. Drought and nutritional stresses in plant: alleviating role of rhizospheric microorganisms. In Abiotic stress: New research. Nova Science Publishers Inc, Hauppauge. pp. 1–57.

Cui, Q., Xia, J., Yang, H., Liu, J. and Shao, P., 2021. Biochar and effective microorganisms promote Sesbania cannabina growth and soil quality in the coastal saline-alkali soil of the Yellow River Delta, China. *Science of the Total Environment*, *756*, 143801. **doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143801**

Dossa, K., Diouf, D., Wang, L., Wei, X., Zhang, Y., Niang, M., Fonceka, D., Yu, J., Mmadi, M.A., Yehouessi, L.W. and Liao, B., 2017. The emerging oilseed crop Sesamum indicum enters the “Omics” era. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1154. **doi: 10.3389/fpls.2017.01154**

Ganjineh, E., Babaii, F., Mozafari, A., Heydari, M.M. and Naseri, R., 2019. Effect of urea, compost, manure and bio-fertilizers on yield, percentage and composition of fatty acids of sesame seed oil (*Sesamum indicum* L.). *Cellular and Molecular Biology*, *65*(5), pp.64-72. **doi: 10.14715/cmb/2019.65.5.11**

Ghanbari, J. and Khajoei-Nejad, G., 2021. Integrated nutrient management to improve some soil characteristics and biomass production of saffron. *Industrial Crops and Products*, *166*, pp.113447. **doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113447**

Ghanbari, J. and Khajoei-Nejad, G., 2022. Relationships between growth indices, dry matter production, and nutrient use efficiency in saffron: Integrative effect of mycorrhizal inoculation and nutrient resources. *Journal of Plant Nutrition*, *45*(14), pp.2077-2095. **doi: 10.1080/01904167.2022.2063138**

Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., Van Ruth, S.M. and Aghighi, S., 2019. The possibility for improvement of flowering, corm properties, bioactive compounds, and antioxidant activity in saffron (*Crocus sativus* L.) by different nutritional regimes. *Industrial Crops and Products*, *135*, pp.301-310. **doi:**

**10.1016/j.indcrop.2019.04.064**

Gholinezhad, E. and Darvishzadeh, R., 2021. Influence of arbuscular mycorrhiza fungi and drought stress on fatty acids profile of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Field Crops Research*, *262*, 108035. **doi: 10.1016/j.fcr.2020.108035**

Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., Moghaddam, S.S. and Popović-Djordjević, J., 2020. Effect of mycorrhizal inoculation in reducing water stress in sesame (*Sesamum indicum* L.): The assessment of agrobiochemical traits and enzymatic antioxidant activity. *Agricultural Water Management*, *238*, 106234. **doi: 10.1016/j.agwat.2020.106234**

Iwaishi, S., 2001. Effect of organic fertilizer and effective microorganisms on growth, yield and quality of paddy-rice varieties. *Journal of Crop Production*, *3*(1), pp.269-273. **doi: 10.1300/j144v03n01_22**

Jahanban, L. and Lotfifar, O., 2012. Study of the effective organism (EM) application effect on efficacy of chemical and organic fertilizers in corn cultivation (Zea maiz s. C704). *Plant Products Technology (Agricultural Research)*, *11*(2), pp.43-52. [In Persian].

Jilani, G., Akram, A., Ali, R.M., Hafeez, F.Y., Shamsi, I.H., Chaudhry, A.N. and Chaudhry, A.G., 2007. Enhancing crop growth, nutrients availability, economics and beneficial rhizosphere microflora through organic and biofertilizers. *Annals of Microbiology*, *57*, pp.177-184. **doi: 10.1007/bf03175204**

Khaliq, A., Abbasi, M.K. and Hussain, T., 2006. Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan. *Bioresource Technology*, *97*(8), pp.967-972. **doi: 10.1016/j.biortech.2005.05.002**

Khanamani, A., Tohidi-Nejad, E., Khajoei-Nejad, G. and Ghanbari, J., 2022. Evaluation of efficiency in fenugreek-black cumin intercropping under application of growth-promoting bacteria and nitrogen fertilizer amounts. *Journal of Crops Improvement, 25*(1), pp.159-175. [In Persian]. **doi: 10.22059/jci.2022.336635.2661.**

Mayer, J., Scheid, S., Widmer, F., Fließbach, A. and Oberholzer, H.R., 2010. How effective are 'Effective microorganisms®(EM)'? Results from a field study in temperate climate. *Applied Soil Ecology*, *46*(2), pp.230-239. **doi: 10.1016/j.apsoil.2010.08.007**

Moon, Y.H., Lee, K.B., Kim, Y.J. and Koo, Y.M., 2011. Current status of EM (effective microorganisms) utilization. *KSBB Journal*, *26*(5), pp.365-373.

Oliveira, M.S., Campos, M.A. and Silva, F.S., 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost to maximize the production of foliar biomolecules in *Passiflora alata* Curtis seedlings. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *95*(3), pp.522-528. **doi: 10.1002/jsfa.6767**

Pathak, N., Rai, A.K., Kumari, R. and Bhat, K.V., 2014. Value addition in sesame: A perspective on bioactive components for enhancing utility and profitability. *Pharmacognosy Reviews*, *8*(16), pp.147. **doi: 10.4103/0973-7847.134249**

Priyadi, K., Hadi, A., Siagian, T.H., Nisa, C., Azizah, A., Raihani, N. and Inubushi, K., 2005. Effect of soil type, applications of chicken manure and effective microorganisms on corn yield and microbial properties of acidic

wetland soils in Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, *51*(5), pp.689-691. **doi: 10.1111/j.1747-0765.2005.tb00092.x**

Rezvani Moghaddam, P., Amiri, M.B. and Ehyaee, H.R., 2014. Effect of simultaneous application of mycorrhiza with compost, vermicompost and sulfural geranole on some quantitative and qualitative characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.) in a low input cropping system. *Journal of Agroecology*, *7*(4), pp.563-577. [In Persian]. **doi: 10.22067/jag.v7i4.51326.**

Silva, F.S.B. and Silva, F.A., 2020. A low cost alternative, using mycorrhiza and organic fertilizer, to optimize the production of foliar bioactive compounds in pomegranates. *Journal of Applied Microbiology*, *128*(2), pp.513-517. **doi: 10.1111/jam.14477**

Thilagar, G., Bagyaraj, D.J. and Rao, M.S., 2016. Selected microbial consortia developed for chilly reduces application of chemical fertilizers by 50% under field conditions. *Scientia Horticulturae*, *198*, pp.27-35. **doi: 10.1016/j.scienta.2015.11.021**

Tilman, D., 1998. The greening of the green revolution. Nature, *396*, pp.211–212. **doi: 10.1126/science.252.5002.26**

Uzun, P., Masucci, F., Serrapica, F., Varricchio, M.L., Pacelli, C., Claps, S. and Di Francia, A., 2018. Use of mycorrhizal inoculum under low fertilizer application: Effects on forage yield, milk production, and energetic and economic efficiency. *The Journal of Agricultural Science*, *156*(1), pp.127-135. **doi: 10.1017/s0021859618000072**

Vasanth Pandiyan, C., Balaji, K., Saravanan, S., Gunasekaran, S., Srinivasan, G.R., Kiresee Saghana, P.R. and Manivel, G., 2020. Effect of Vermicompost Application on Soil and Growth of the Plant *Sesamum indicum* L. Preprints, 2020020080. **doi: 10.20944/preprints202002.0080.v1**

Xu, G., Fan, X. and Miller, A.J., 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, *63*, pp.153–182. **doi: 10.1146/annurev-arplant-042811-105532**

Yadav, A., Saini, I., Kaushik, P., Ansari, M.A., Khan, M.R. and Haq, N., 2021. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and P-solubilizing Pseudomonas fluorescence (ATCC-17400) on morphological traits and mineral content of sesame. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(5), pp.2649-2654. **doi: 10.1016/j.sjbs.2021.03.024**

**Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 6, Issue 1, Spring 2024, P. 169-185**

# Influence of mycorrhiza, vermicompost, and effective microorganisms (EMs) on nutrient use efficiency and yield of sesame

**Malihe Saeidi[1], Gholamreza Khajoei –Nejad[2*], Enayatollah Tohidi –Nejad[2], Jalal Ghanbari[2,3]**

[1] M.Sc Student in Agronomy- Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[2] Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[3] Seed and Plant Certification and Registration Institute (SPCRI), Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran
[*]Corresponding Author: khajoei@uk.ac.ir

Received: 3 January 2023 Accepted: 31 January 2023 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.379518.1308**

## Abstract

**Introduction:** Sesame (*Sesamum indicum* L.) is one of the oldest oilseed crops widely grown in Africa and Asia and well adapted to harsh environments. Among the oilseed crops in the world, sesame is one of the most important because of its high-quality nutritional seeds and oil. Different soil additives including fertilizers and microorganisms are extensively applied in agricultural systems to enhance soil fertility and crop productivity. Recently, the application of effective microorganisms (EM) and arbuscular mycorrhiza fungi (AM) have been considered an eco-friendly way in increasing nutrient and fertilizer use efficiencies and minimizing the harmful environmental effects of fertilizers. However, findings are inadequate regarding the effects of adding vermicompost alone or in combination with AM and EM on the sesame plants. Therefore, this study aimed to investigate the effect of their integrated application on the agronomic efficiency of vermicompost (AEV), AM and EM inoculation effect (AMIE and EMIE), yield and yield components, and nutrient use efficiency (NUE) of sesame.

**Materials and Methods:** A field experiment with the aim of evaluating the effect of different vermicompost levels (no application, application of 50% of the recommended amount; 5 t $ha^{-1}$, and 100% of the recommended amount; 10 t $ha^{-1}$), EM application (without EM inoculation, and EM inoculation) and AM inoculation (no-inoculation and inoculation with *Funneliformis mosseae*) was conducted as split-split plot experiment at Rudbar-e Jonoub region, Jiroft, Iran, during the growing season of 2021-2022. Sesame seeds were procured from the local farmers and sown on August 11, 2021. When the plants were established, the plants were thinned and a final density of 20 plants per $m^2$ was obtained. At the end of the growing season (November 21, 2021), plants were harvested and various traits including plant height, number of branches, number of capsules per plant, number of seeds per plant, 1000-seed weight, and seed yield were measured. NUE, AEV, AMIE, and EMIE were also calculated.

**Results and Discussion:** The results showed that vermicompost application, EM, and AM inoculation interaction effect significantly affected yield components, seed yield, and NUE of sesame and AEV. While the use of microorganisms in no application of vermicompost showed no significant effect on the mentioned characteristics, combined application of AM and EM in the application of 5 t $ha^{-1}$ vermicompost, and individual application in the application of 10 t $ha^{-1}$ vermicompost, led to a significant increase in the number of capsules per plant, the number of seeds per plant, seed yield (2124, 2637, and 2741 kg $ha^{-1}$, respectively), and nitrogen, phosphorus, and potassium use efficiencies (between 49 to 95 percent compared with the control). The highest AEV was also obtained from the reduced level of application (5 t $ha^{-1}$) and integrated inoculation of AM and EM. In general, the application of microorganisms in both vermicompost application levels led to an increase in vermicompost use efficiency. On the other hand, the use of different vermicompost levels increased the efficiency of microbial inoculation and the highest inoculation efficiency was obtained at the

highest application level. Even though the highest yield and NUE were obtained from the application of 100% vermicompost, the integrated application of microorganisms with 50% of vermicompost did not show a significant difference with the 100% application and no microbial inoculation. In fact, this treatment combination led to achieving the highest agronomic efficiency of vermicompost, which can be considered in the management of fertilizer resources, especially in the limited availability of nutrient resources.

**Conclusion:** Overall, the integrated application of vermicompost and inoculation with AM and EM could be considered as an effective strategy to improve the growth, yield, nutrient use efficiency, and sesame productivity. Furthermore, the use of microbial inoculants improved the agronomic efficiency of vermicompost. Such information might help in decision-making to improve nutrient management in the fields.

**Keywords:** Fertilizer use efficiency, Microbial inoculation, Organic amendment, Yield components of sesame