Sustainable Agricultural Science Research Vol. 5, No. 2, Summer 2025, P: 1 -17

https://sanad.iau.ir/journal/sarj Online ISSN: 2783-2724

The Evaluation of Different Fertilizers on the Yield and Yield Components of Maize

Ali Lashkarizadeh[1] , Mohammad Reza Yavarzadeh[*2] and Hilda Shamsaldini[3]

[1]PhD Student, Department of Agriculture, Bam Branch, Islamic Azad University, Bam, Iran

[2]Assistant Professor, Department of Agriculture, Bam Branch, Islamic Azad University, Bam, Iran

[3]Assistant Professor, Department of Accounting, Bam Branch, Islamic Azad University, Bam, Iran

* Corresponding Author's Email: yavar175@yahoo.com

(Received: June. 30, 2025 – Accepted: September. 20, 2025)

ABSTRACT

Objective: Fertilizer is one of the most important factors affecting crop yield. Given the importance of balanced plant nutrition and increasing agricultural production needs, investigating the effects of organic and chemical fertilizers on crop yield and yield components is essential. This research investigated the effects of cattle manure, vermicompost, and NPK fertilizer on yield and yield components of corn cultivar 706.

Material and methods: This experiment was conducted as factorial design in randomized complete block design with three replications in 2023. Experimental factors included cattle manure at two levels (0 and 5 tons per hectare), vermicompost at two levels (0 and 6 tons per hectare), and NPK fertilizer at two levels (0 and 100 kg per hectare).

Results: Results showed that interactive effects of different fertilizers on grain yield, thousand-grain weight, number of grains per row, and plant height were significant at 1% probability level. The highest grain yield (17.1 tons per hectare) was obtained from combined treatment of 5 tons per hectare cattle manure with 6 tons per hectare vermicompost. The highest thousand-grain weight (546.7 g) was achieved from combined treatment of cattle manure, vermicompost, and complete chemical fertilizer.

Conclusion: Integrated application of organic and chemical fertilizers led to significant increase in corn yield. Vermicompost was the most effective factor in improving grain yield, and its application with NPK fertilizer is recommended for optimal production efficiency in corn cultivation.

Keywords: Chemical fertilizer, Grain yield, Maize, Organic fertilizer, Vermicompost

Cite this article: Lashkarizadeh, A., Yavarzadeh, M.R., Shamsaldini, H. 2025. The Evaluation of Different Fertilizers on the Yield and Yield Components of Maize. *Sustainable Agricultural Science Research*, 5(2). 1-17.

DOI: https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1210659

© The Author(s).

Publisher: Islamic Azad University of Kerman Branch Press.

DOI: https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1210659

پژوهش های علوم کشاورزی پایدار جلد ۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۴، ص ۱۷-۱

https://sanad.iau.ir/journal/sarj

ارزیابی کودهای مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

علی لشکری‌زاده، محمدرضا یاورزاده [۲*]، هیلدا شمس‌الدینی

۱- دانشجوی دکتری، گروه کشاورزی، واحد بم، دانشگاه آزاد اسلامی، بم، ایران

۲- استادیار، گروه کشاورزی، واحد بم، دانشگاه آزاد اسلامی، بم، ایران

۳- استادیار، گروه حسابداری، واحد بم، دانشگاه آزاد اسلامی، بم، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: yavar175@yahoo.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۹- تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۹)

چکیده

هدف: کود یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر عملکرد محصولات زراعی محسوب می‌شود. با توجه به اهمیت تغذیه متعادل گیاهان و افزایش روزافزون نیاز به تولید محصولات کشاورزی، بررسی تأثیر انواع مختلف کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد محصولات زراعی ضروری است. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست و شیمیایی NPK بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت رقم ۷۰۶ بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۴۰۲ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل کود گاوی در دو سطح (۰ و ۵ تن در هکتار)، ورمی‌کمپوست در دو سطح (۰ و ۶ تن در هکتار) و کود شیمیایی NPK در دو سطح (۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بودند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات متقابل کودهای مختلف بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف و ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه (۱۷.۱ تن در هکتار) از تیمار ترکیبی کود گاوی ۵ تن در هکتار به همراه ورمی‌کمپوست ۶ تن در هکتار حاصل شد. بالاترین وزن هزار دانه (۵۴۶.۷ گرم) از تیمار ترکیبی کود گاوی، ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی کامل به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی منجر به افزایش قابل‌توجه عملکرد ذرت گردید. ورمی‌کمپوست مؤثرترین عامل در بهبود عملکرد دانه شناخته شد و کاربرد آن به همراه کود NPK توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ذرت، کود آلی، کود شیمیایی، عملکرد دانه، ورمی کمپوست

استناد:

Lashkarizadeh, A., Yavarzadeh, M.R., Shamsaldini, H. 2025. The Evaluation of Different Fertilizers on the Yield and Yield Components of Maize. *Sustainable Agricultural Science Research*, 5(2). 1-17.
DOI: https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1210659

© The Author(s).

ناشر: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

DOI: https://doi.org/10.71667/SARJ.2025.1210659

مقدمه

یکی از مؤثرترین روش‌های موفق در رشد کشاورزی و تأمین غذایی بشر، حفظ و نگهداری و تقویت خاک است. در تقویت حاصلخیزی زمین‌های زراعی غیر از کودهای شیمیایی، عوامل بیولوژیک نیز بسیار مؤثر می‌باشند. با توسعه و پیشرفت صنعت کشاورزی، کودها و سموم شیمیایی به طور چشمگیری مورداستفاده قرار گرفته‌اند، اما تحقیقات بعدی در مورد اثرات نامطلوب آنها در حفظ تعادل محیط‌زیست و اکوسیستم‌های طبیعی، بسیاری از دانشمندان محیط‌زیست را در مورد وضعیت آینده جهان نگران کرده است. کودهایی به نام کودهای زیستی پا به عرصه کشاورزی جهان نهاده و نور بر مسیر توسعه پایدار کشاورزی تاباند (Saeednejad & Rezvani Moghaddam, 2010). در دهه‌های اخیر تولید محصولات کشاورزی عمدتاً متکی به مصرف نهاده‌های شیمیایی بوده که منجر به مشکلات عمده زیست‌محیطی شده است. تخریب منابع آب‌وخاک، زوال تنوع زیستی کشاورزی، آلودگی هوا و آب به‌وسیله آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و افزایش مقاومت آفات و بیماری‌ها به انواع سموم شیمیایی تنها بخشی از مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی رایج مبتنی بر مصرف نهاده‌های شیمیایی هستند (Altieri & Nicholls, 2020). یکی از راهکارهای رفع این مشکل استفاده از اصول کشاورزی پایدار در بوم نظام‌های زراعی می باشد (Pretty, 2018).

کشاورزی پایدار یک نظام تلفیقی مبتنی بر اصول اکولوژیک است. در این نظام به‌جای استفاده از نهاده‌های خارجی نظیر کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها از بقایای گیاهی، کودهای دامی، کودهای آلی و بیولوژیک و کنترل بیولوژیک آفات استفاده می‌شود تا ضمن ذخیره مواد غذایی در خاک، علف‌های هرز و آفات کنترل شده و همچنین تنوع زیستی در مزارع افزایش یابد. ازآنجاکه مدیریت خاک از عوامل اصلی در نیل به کشاورزی پایدار محسوب می‌شود، لذا جایگزینی تدریجی کودهای شیمیایی خصوصاً کودهای نیتروژن و فسفات با کودهای بیولوژیک، بشر را در دستیابی به این هدف و تولید پایدار محصولات کشاورزی یاری می نماید (Saliu, 2023). مصرف کودهای بیولوژیک بدون نگرانی از اثرات زیست‌محیطی، غالباً موجب بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و حاصلخیزی خاک‌ها را افزایش می‌دهد (Saeednejad & Rezvani Moghaddam, 2010).

استفاده از کود گاوی در مزارع راهکاری اقتصادی است که از نظر محیط زیستی نیز مشکل‌آفرین نمی‌باشد. کود گاوی از نظر مواد مغذی به‌اندازه‌ای غنی است که قابلیت جایگزین‌شدن به‌عنوان کودهای شیمیایی را دارد. کود گاوی بهترین اصلاح‌کننده شرایط خاک است که قابلیت افزایش کیفیت آن را دارد. کود از طریق افزایش مواد مغذی و آلی خاک، می‌تواند باعث افزایش تولید محصولات گردد. تأثیرات مثبت مواد مغذی موجود در این کود

به‌سرعت آشکار نمی‌شود، به همین دلیل در مورد افزایش تولید و کیفیت محصولات ارزش این کود در طول چند سال مشخص می‌شود (Fallah *et al.*, 2007).

در چند دهه اخیر مصرف نهاده‌های شیمیایی موجب معضلات زیست‌محیطی عدیده‌ای از جمله آلودگی منابع آب، افت کیفیت محصولات کشاورزی و کاهش میزان حاصلخیزی خاک‌ها گردیده است. کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای زیستی و آلی باهدف حذف یا تقلیل چشمگیر در مصرف نهاده‌های شیمیایی، یک راه‌حل مطلوب جهت غلبه بر این مشکل به شمار می آید (Habibi & Majidian, 2014). در بررسی تأثیر سطوح مختلف کود شیمیایی نیتروژن و ورمی کمپوست بر عملکرد و کیفیت ذرت گزارش کردند که اثر منبع و مقدار کود نیتروژن بر وزن تر بلال، عملکرد دانه کنسروی، میزان پروتئین دانه و ماده خشک قابل هضم معنی‌دار بود (Karimi *et al.*, 2011). اثر مصرف کودهای آلی و معدنی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت دانه‌ای سینگل کراس را گزارش کردند و نشان دادند که سطوح مختلف مصرف کودهای NPK بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، عملکرد بلال، طول و قطر بلال، وزن بلال، تعداد دانه در بلال و وزن هزار دانه تأثیر معنی‌داری داشت (Maleki Narg Mosi & Balouchi, 2012).

تأثیر کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین را بررسی کردند. نتایج آزمایش نشان داد که عملکرد دانه، تعداد ردیف در بلال، تعداد دانه در ردیف، وزن هزار دانه، پروتئین و فسفر موجود در دانه در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و ۷۵ کیلوگرم فسفر در هکتار با کاربرد کود زیستی نیتروکسین و فسفات بارور ۲ بیشترین افزایش را دارا بودند (Jasemi *et al.*, 2011). در بررسی اثر مقادیر کود نیتروژن بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت دانه‌ای رقم ۷۰٤ گزارش کردند که اثر نیتروژن بر صفات از قبیل عملکرد دانه، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال، ماده خشک در سطح پنج درصد و تعداد ردیف دانه، شاخص سطح برگ، عملکرد بیولوژیک، اندازه چوب‌بلال، وزن خشک برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

(Mahmoudi *et al.*, 2011) در ارزیابی تأثیر کاربرد ورمی کمپوست و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ذرت گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه، وزن هزار دانه، طول بلال و تعداد دانه در بین تیمارهای ورمی کمپوست مربوط به کاربرد ۲۰ تن ورمی کمپوست بود. بیشترین عملکرد دانه مربوط به کاربرد توأم کود نیتروژن به میزان ٦۰۰ کیلوگرم در هکتار و ورمی کمپوست به میزان ۲۰ تن در هکتار بود (Jafarzadeh *et al.*, 2011). به بررسی تأثیر کاربرد کودهای آلی (گاوی و ورمی کمپوست) بر خواص میکروبیولوژیک در یک خاک لوم شنی پرداختند که نتایج نشان داد ورمی کمپوست و کود دامی به ترتیب به میزان ۵ و ۲۵ گرم در کیلوگرم

خاک خشک تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر خصوصیات خاک داشته است. تأثیر کاربرد ورمی کمپوست‌های غنی شده بر درصد ظهور گیاهچه و وزن خشک بوته ذرت هیبرید سینگل کراس ۱٤۰٤ را گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری بین وزن خشک گیاه ذرت در ورمی کمپوست‌های مختلف بر درصد ظهور گیاهچه بذر ذرت در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار شد.

باتوجه‌به اهمیت ذرت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی و علوفه‌ای در جهان و ضرورت استفاده از روش‌های پایدار کشاورزی، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر کودهای گاوی، ورمی کمپوست و شیمیایی NPK بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت رقم ۷۰٦ می‌باشد (Jahani *et al*., 2011).

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱٤۰۲ در شهرستان بم، استان کرمان اجرا شد. طرح آزمایشی فاکتوریل ۲×۲×۲ در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود که فاکتورها شامل کود گاوی (۰ و ۵ تن در هکتار)، ورمی کمپوست (۰ و ٦ تن در هکتار) و کود شیمیایی NPK (۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. قبل از اجرای طرح، نمونه‌های خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری به‌صورت تصادفی از مزرعه برداشت و برای تجزیه شیمیایی و مکانیکی به آزمایشگاه ارسال شد. نتایج تجزیه خاک نشان داد که خاک دارای بافت رسی، pH برابر ۷/۸، هدایت الکتریکی ۳/۱ دسی‌زیمنس بر متر، درصد اشباع ۲۳، نیتروژن کل ۰/۰۳ درصد، فسفر قابل‌جذب ۲/٤ میلی‌گرم در کیلوگرم و پتاسیم قابل‌جذب ۱۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد.

بذر ذرت دانه‌ای رقم ۷۰٦ از سازمان جهاد کشاورزی استان البرز تهیه شد. کود گاوی مورداستفاده کاملاً پوسیده و با رطوبت مناسب بود. ورمی کمپوست تجاری استفاده شد. کود شیمیایی مورداستفاده از نوع کامل NPK 20-20-20 بود که حاوی ۲۰ درصد نیتروژن، ۲۰ درصد فسفر (P_2O_5)، ۲۰ درصد پتاسیم (K_2O)، ۵ درصد گوگرد، ۲ درصد منیزیم و عناصر کم‌مصرف شامل ۰/۲ درصد بر، ۰/۱۸ درصد آهن، ۰/۰٦۸ درصد منگنز، ۰/۰۲ درصد روی، ۰/۰۱۷ درصد مس و ۰/۰۰۵ درصد مولیبدن به‌صورت کلات EDTA می‌باشد.

ابتدا زمین با تراکتور شخم زده و پس از تسطیح، کرت‌بندی انجام شد. مساحت کل آزمایش ۳٦۷/۲ متر مربع بود که شامل ۲٤ کرت آزمایشی در سه تکرار (هر تکرار ۸ کرت) تنظیم گردید. ابعاد هر کرت ۲/۵ در ۳/۲ متر در نظر گرفته شد. هر کرت شامل ٦ ردیف کاشت با فاصله ٤۰ سانتی‌متر بین ردیف‌ها بود. فاصله بین کرت‌های یک تکرار ۱ متر و فاصله بین تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد.

کودهای آلی (کود گاوی و ورمی کمپوست) قبل از کاشت و طبق نقشه تیماری به‌صورت یکنواخت در سطح هر کرت پخش و با خاک مخلوط شدند. کود شیمیایی NPK نیز قبل از کاشت به خاک اضافه و با عمق ۱۰-۱۵ سانتی‌متری خاک مخلوط گردید. تمام

کودها به‌صورت دستی و با دقت مطابق میزان تعیین شده برای هر کرت اعمال شدند.

کاشت به‌صورت دستی و در هر ردیف انجام شد. بذرها در عمق ۳-٤ سانتی‌متری خاک قرار گرفتند. فاصله کاشت روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که با احتساب فاصله ٤۰ سانتی‌متری بین ردیف‌ها، تراکم نهایی حدود ۱۲۵۰۰۰ بوته در هکتار محاسبه شد. در هر حفره ۲-۳ دانه بذر قرار داده شد و پس از جوانه‌زنی و استقرار، تنک کردن انجام گرفت.

آبیاری کرت‌ها به روش غرقابی و به‌صورت مجزا برای هر کرت با دور ٤ روزه انجام شد. میزان آب مصرفی در هر نوبت آبیاری به‌گونه‌ای بود که خاک تا عمق ریشه کاملاً مرطوب شود. تنک کردن بوته‌ها ۱۰ روز پس از جوانه‌زنی و استقرار کامل گیاهچه‌ها انجام شد تا تراکم مطلوب حاصل شود. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی و دستی با استفاده از داس در طول دوره رشد انجام گرفت. هیچ‌گونه آفت یا بیماری خاصی در طول دوره رشد مشاهده نشد.

برای حذف اثر حاشیه‌ای، ۲۵ سانتی‌متر از اطراف هر کرت و یک ردیف کاشت از هر طرف حذف شد. از ردیف‌های باقی‌مانده در هر کرت، ۵ بوته به‌صورت تصادفی انتخاب شد. صفات اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: ارتفاع بوته (با خط‌کش)، قطر ساقه (با کولیس)، تعداد برگ در بوته (با شمارش)، طول چوب‌بلال (با خط‌کش)، تعداد ردیف در بلال (با شمارش)، تعداد دانه در بلال (با دستگاه شمارش بذر)، وزن هزار دانه (با ترازوی دیجیتال)، عملکرد دانه (بر اساس برداشت از سطح مؤثر) و عملکرد بیولوژیک (با ترازو).

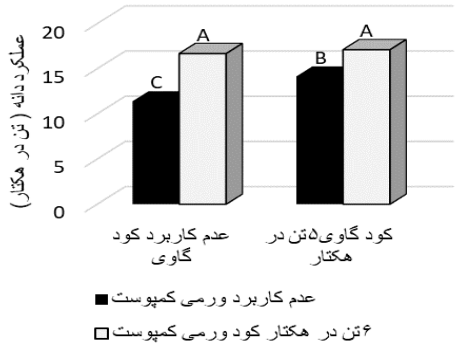
تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل کود گاوی و ورمی کمپوست بر عملکرد دانه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه (۱۷/۱ تن در هکتار) از تیمار کاربرد ترکیبی کود گاوی ۵ تن در هکتار به همراه ورمی کمپوست ٦ تن در هکتار و کمترین عملکرد (۱۱/۳۹ تن در هکتار) از تیمار شاهد حاصل شد (شکل ۱).

جدول۱- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد ذرت

منابع تغییر	درجه آزادی	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	ارتفاع بوته	تعداد دانه در ردیف
تکرار	۲	۹۲٤٤/۲۹۲**	۱/۳۸۱ ns	۱۲٦/۲٤٥**	۰/٦٦٥ ns
گاوی	۱	۹۲/۰٤۲ ns	۸/۹٦۸ **	۳۰۱/۳۷٥**	۱۸/٥۷۰ **
ورمی کمپوست	۱	۱۰۳۷٥/۰٤۲**	٦۷/٥٥٤**	۱۰۰۰/۰۰۱**	٥۰/۳۷۰**
گاوی × ورمی کمپوست	۱	۱٦٦۹٥/۳۷٥**	٦۱/۹۹۸**	۱۰۰۷/٦۰۲**	٤۷/۸۸٤**
NPk کود شیمیایی	۱	۱٥٤۲/۰٤۲**	۱۱/٤۹۰**	٥۷۰/٦٦۷ **	۲٥/۹۰۰ **
گاوی × شیمیایی	۱	۱۲۸۷/۰٤۲ **	۱۱/۱٦۲ **	٤۲٥/٦۰۷**	۱٦/۷۲۰ **
کمپوست × شیمیایی	۱	٦٤۳٥/۳۷٥**	۱۳/۸٦۲**	۱٦/۰۰ ns	۲۹/۷٥٤**
گاوی × کمپوست × شیمیایی	۱	۲۲٦۲/۰٤۲**	۰/٤٤۳ ns	۷۹/۳۰۷ ns	۰/۰۳٤ ns
خطا	۱٤	٤۱۸/٦۷۳	۰/۳۲۱	۸۲/۸٤	۲/۰۹٤
کل	۲۳				



شکل ۱- نمودار اثر متقابل کود گاوی و کود ورمی کمپوست بر عملکرد دانه گیاه ذرت

کود گاوی با بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، دسترسی عناصر غذایی را افزایش داده و نیتروژن آزاد شده به‌عنوان جزء کلروفیل و آنزیم RuBisCO ، کارایی فتوسنتز را بهبود می‌بخشد (Evans & Clarke, 2018). ورمی کمپوست نیز حاوی هورمون‌های گیاهی و عناصر کم‌مصرف قابل‌جذب بوده که تقسیم سلولی را تحریک می‌کند (Domínguez & Edwards, 2011). تعامل هم‌افزایی این دو کود، فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید ریزوسفر را تقویت می‌نماید. یافته‌های این تحقیق با نتایج (Olesen *et al.*, 2009) مبنی بر افزایش عملکرد دانه توسط کود دامی و (Liang *et al.*, 2005) در خصوص بهبود جذب عناصر غذایی همخوانی دارد. همچنین (Jahani *et al.*, 2011)؛(Jafarzadeh *et al.*, 2012) نیز تأثیر مثبت کودهای آلی بر رشد و خواص خاک را تأیید کرده‌اند. بر اساس نتایج، کاربرد ترکیبی کود گاوی و ورمی کمپوست از طریق تعامل هم‌افزایی و بهبود فرایندهای فیزیولوژیک گیاه، عملکرد دانه ذرت را به طور

معنی‌داری افزایش می‌دهد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل کود گاوی و کود شیمیایی بر عملکرد دانه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه (۱۵/۰٦ تن در هکتار) از تیمار کاربرد ترکیبی کود گاوی ۵ تن در هکتار به همراه کود شیمیایی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد (۱۳/۸۳ تن در هکتار) از تیمار عدم کاربرد کود گاوی همراه با کود شیمیایی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (شکل ۲)

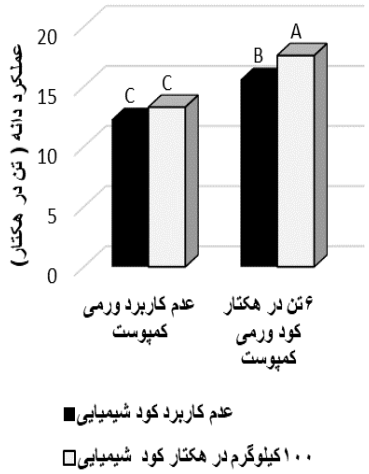
شکل ۲- نمودار اثر متقابل کود گاوی و کود شیمیایی بر عملکرد دانه گیاه ذرت

کود گاوی با آزادسازی تدریجی نیتروژن آمونیاکی و افزایش pH خاک، جذب فسفر معدنی را تسهیل نموده و فعالیت آنزیم نیتروژناز در ریشه را تقویت می‌کند (Singh & Reddy, 2011). همچنین، اسیدهای هیومیک موجود در کود گاوی باعث کلاته‌شدن عناصر کم‌مصرف شده و انتقال آن‌ها به داخل سلول را از طریق پروتئین‌های ناقل غشایی افزایش می‌دهد (Canellas *et al.*, 2015). کود شیمیایی نیز با تأمین آنی یون‌های نیترات و آمونیوم، سنتز کلروفیل a-و کلروفیل b-را در کلروپلاست‌ها تحریک نموده و ظرفیت فتوسیستم II را بهبود می‌بخشد. فسفر موجود در کود شیمیایی نقش کلیدی در تشکیل ATP و فعال‌سازی آنزیم‌های گلیکولیز دارد و پتاسیم نیز تنظیم فشار اسمزی و باز و بسته شدن روزنه‌ها را کنترل می‌نماید (Hopkins & Hüner, 2009).

یافته‌های این پژوهش با نتایج (Zheng *et al.*, 2019) مبنی بر افزایش بیومس برگ در اثر کود آلی و (Khan *et al.*, 2017) در خصوص بهبود متابولیسم کربن همخوانی دارد. (Rezaei *et al.*, 2016)؛ (Sadeghi *et al.*, 2019) نیز تأثیر مثبت کودهای تلفیقی بر شاخص‌های رشد گیاه را تأیید کرده‌اند. بر اساس نتایج، کاربرد ترکیبی کود گاوی و شیمیایی از طریق بهبود

متابولیسم نیتروژن و تقویت فرایندهای فتوسنتزی، عملکرد دانه ذرت را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل کود ورمی کمپوست و کود شیمیایی بر عملکرد دانه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین عملکرد دانه (۱۷/۵۸ تن در هکتار) از تیمار کاربرد ترکیبی کود ورمی کمپوست ٦ تن در هکتار به همراه کود شیمیایی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد (۱۲/۲٦ تن در هکتار) از تیمار عدم کاربرد هر دو نوع کود حاصل شد (شکل ۳). ورمی کمپوست حاوی مقادیر بالایی از اسیدهای آمینه و سیتوکینین‌های طبیعی بوده که تقسیم سلولی در نقاط رشد را تسریع نموده و طول دوره پر شدن دانه را افزایش می‌دهد (Arancon *et al.*, 2004). همچنین، آنزیم‌های هیدرولیتیک موجود در ورمی کمپوست باعث تجزیه ترکیبات فسفره خاک شده و دسترسی فسفر برای گیاه را بهبود می‌بخشد (Gutierrez-Miceli *et al.*, 2007). کود شیمیایی نیز با تأمین مستقیم نیتروژن نیتراتی، فعالیت آنزیم نیترات‌ردوکتاز در برگ را افزایش داده و سنتز پروتئین‌های ذخیره‌ای در دانه را تقویت می‌نماید (Campbell *et al.*, 1999).



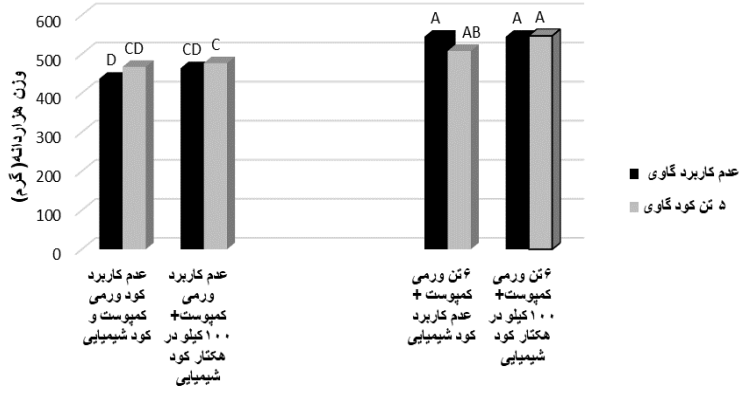
شکل ۳- نمودار اثر متقابل کود ورمی کمپوست و کود شیمیایی بر عملکرد دانه گیاه ذرت

یافته‌های این پژوهش با نتایج (Lazcano *et al.*, 2013) مبنی بر بهبود کیفیت دانه در اثر ورمی کمپوست و (Rajpar *et al.*, 2011) در خصوص افزایش شاخص برداشت همخوانی دارد. (Heydari *et al.*, 2018)؛ (Abdollahi *et al.*, 2021) نیز تأثیر مثبت کودهای زیستی بر اجزای عملکرد گیاهان زراعی را تأیید کرده‌اند. کاربرد ترکیبی ورمی کمپوست و کود شیمیایی از طریق بهبود متابولیسم فسفر و افزایش سنتز پروتئین، عملکرد دانه ذرت را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل کود گاوی، ورمی کمپوست و کود شیمیایی بر وزن هزار دانه ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین وزن هزار دانه (٥٤٦/٧ گرم) از تیمار کاربرد ترکیبی ٥ تن در هکتار کود گاوی به همراه ٦ تن در هکتار ورمی کمپوست و کود شیمیایی کامل و کمترین مقدار (٤٣٦/٧ گرم) از تیمار عدم کاربرد کودهای آلی با ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی حاصل گردید (شکل ٤).

افزایش وزن هزار دانه تحت تأثیر کاربرد ترکیبی کودهای آلی و شیمیایی ناشی از بهبود فرایندهای فیزیولوژیک متعددی است. کود گاوی از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و بهبود ساختار خاک، دسترسی عناصر غذایی ضروری را تسهیل می‌نماید (Agegnehu *et al*., 2016).

ورمی‌کمپوست حاوی طیف وسیعی از هورمون‌های گیاهی شامل اکسین، سیتوکینین و جیبرلین است که فعالیت مریستم‌های گیاهی را تحریک نمود ه و باعث افزایش تقسیم و تمایز سلولی در مراحل پرشدن دانه می‌شود (Domínguez & Edwards, 2011). همچنین این کود حاوی عناصر کم‌مصرف قابل‌جذب بوده که در فعالیت آنزیم‌های دخیل در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها نقش کلیدی دارند (Lazcano *et al*., 2013).



شکل ٤- نمودار اثر متقابل کود گاوی، کود ورمی کمپوست و کود شیمیایی بر وزن هزار دانه گیاه ذرت

تعامل هم‌افزایی کودهای آلی و شیمیایی منجر به تقویت فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید ریزوسفر شده که از طریق تولید اسیدهای آلی و آنزیم‌های خارج سلولی، حلالیت عناصر غذایی را افزایش می‌دهند. این فرآیند باعث بهبود جذب فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف می‌شود که نقش مستقیمی در تشکیل و پرشدن دانه‌ها دارند (Vanlauwe *et al*., 2010).

نیتروژن به‌عنوان عنصر کلیدی در ساخت پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، نقش اساسی در تشکیل و پرشدن دانه ایفا می‌کند. این عنصر از طریق افزایش سطح برگ و طول دوره فعالیت فتوسنتزی، موجب افزایش تولید

مواد آسیمیله‌ای شده که به دانه‌ها منتقل می‌شود (Bänziger *et al.*, 2000). فسفر نیز در فرایندهای انرژی‌زا و انتقال انرژی نقش حیاتی داشته و کمبود آن منجر به کاهش قابل‌توجه وزن دانه می‌شود. پتاسیم از طریق تنظیم فشار اسمزی سلول‌ها و کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها، کارایی مصرف آب و فتوسنتز را بهبود می‌بخشد. همچنین این عنصر در فعال‌سازی بیش از ٦٠ آنزیم دخیل در متابولیسم کربوهیدرات‌ها نقش دارد (Hawkesford *et al.*, 2012). یافته‌های این تحقیق با نتایج پژوهش‌های مشابه همخوانی دارد. (Mohammadi *et al.*, 2020) در بررسی تأثیر کودهای آلی بر عملکرد ذرت گزارش کردند که کاربرد ترکیبی کود گاوی و ورمی کمپوست موجب افزایش ١٥ درصدی وزن هزار دانه نسبت به تیمار شاهد شده است. (Adeleye *et al.*, 2010) نیز تأثیر مثبت کود گاوی بر افزایش وزن دانه ذرت را تأیید کردند. (Ahmadzadeh & Malakouti, 2016) در تحقیقی بر روی ذرت دانه‌ای نشان دادند که کاربرد ٢٠ تن در هکتار کود گاوی به همراه ٧٥ درصد کود شیمیایی توصیه شده، بیشترین وزن هزار دانه را حاصل نمود. (Liang *et al.*, 2013) گزارش کردند که کاربرد ترکیبی کودهای آلی و شیمیایی از طریق بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش فعالیت آنزیم‌های خاک، عملکرد و کیفیت محصول را بهبود می‌بخشد. کاربرد ترکیبی کود گاوی، ورمی کمپوست و کود شیمیایی از طریق تعامل همافزایی و بهبود فرایندهای فیزیولوژیک گیاه، وزن هزار دانه ذرت را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. این تأثیر مثبت ناشی از بهبود ساختار خاک، افزایش دسترسی عناصر غذایی، تحریک فعالیت میکروبی خاک و بهبود کارایی فتوسنتز است که در مجموع منجر به پرشدن بهتر دانه‌ها و افزایش وزن نهایی آن‌ها می‌شود.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل کود گاوی و ورمی کمپوست بر تعداد دانه در ردیف ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ١). بیشترین تعداد دانه در ردیف (٤٣/٧٧ دانه) از تیمار کاربرد ترکیبی ٥ تن در هکتار کود گاوی به همراه ٦ تن در هکتار ورمی کمپوست و کمترین مقدار (٣٦/٥ دانه) از تیمار عدم کاربرد کودهای آلی حاصل گردید (شکل ٥).

افزایش تعداد دانه در ردیف تحت تأثیر کاربرد کودهای آلی ناشی از بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است. کاربرد کودهای آلی و دامی موجب کاهش فشردگی خاک و افزایش تخلخل می‌شود که منجر به بهبود ساختمان خاک، افزایش تهویه و ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌گردد (Ghosh *et al.*, 2004). این تغییرات باعث افزایش میزان آب قابل استفاده گیاه در خاک شده و مجموعه این عوامل موجب رشد و گسترش بهتر ریشه، افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود رشد عمومی گیاه می‌شود.

شکل ۵- نمودار اثر متقابل کود گاوی و کود ورمی کمپوست بر تعداد دانه در ردیف بلال گیاه ذرت

کود گاوی از طریق آزادسازی تدریجی نیتروژن، فسفر و پتاسیم، تأمین پایدار عناصر غذایی را فراهم می‌نماید. نیتروژن به‌عنوان عنصر کلیدی در تشکیل کلروفیل و پروتئین‌ها، نقش اساسی در رشد رویشی و تکوین اندام‌های زایشی دارد (Blaise *et al.*, 2005). همچنین این عنصر در فعالیت مریستم‌های گیاهی و تقسیم سلولی در مراحل تشکیل و تکوین بلال نقش کلیدی ایفا می‌کند. ورمی کمپوست حاوی هورمون‌های گیاهی طبیعی شامل اکسین، سیتوکینین و جیبرلین است که تحریک‌کننده رشد و تکوین اندام‌های گیاهی محسوب می‌شوند (Domínguez & Edwards, 2011). این هورمون‌ها باعث افزایش تعداد گل‌آذین‌ها در بلال و در نتیجه افزایش تعداد دانه در هر ردیف می‌شوند. علاوه بر این، ورمی کمپوست حاوی عناصر کم‌مصرف قابل‌جذب است که در فعالیت آنزیم‌های دخیل در فرایندهای متابولیک گیاه نقش دارند.

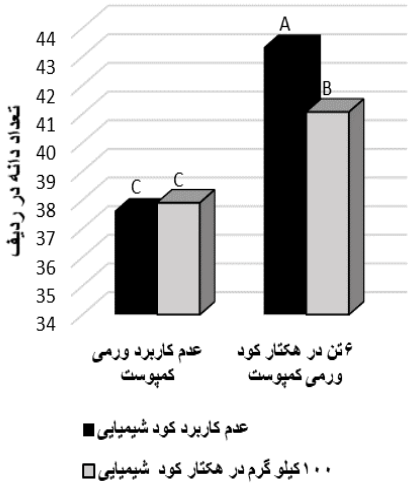
یافته‌های این تحقیق با نتایج پژوهش‌های مشابه همخوانی دارد. (Rahimi *et al.*, 2019) در بررسی تأثیر کودهای آلی بر اجزای عملکرد ذرت گزارش کردند که کاربرد ترکیبی کود گاوی و ورمی کمپوست موجب افزایش ۱۸ درصدی تعداد دانه در ردیف نسبت به تیمار شاهد شده است.

(Ahmadi & Karimi, 2017) در تحقیقی بر روی ذرت شیرین نشان دادند که کاربرد ٤ تن در هکتار ورمی کمپوست به همراه کود گاوی، بیشترین تعداد دانه در ردیف را حاصل نمود.) (Blaise *et al.*, 2005) گزارش کردند که کاربرد کودهای آلی از طریق بهبود ساختار خاک و افزایش فعالیت بیولوژیکی، تعداد و کیفیت دانه‌ها را بهبود می‌بخشد.

کاربرد ترکیبی کود گاوی و ورمی کمپوست از طریق تعامل همافزایی و بهبود فرایندهای فیزیولوژیک گیاه، تعداد دانه در ردیف ذرت را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. این تأثیر مثبت ناشی از بهبود ساختار خاک، کاهش فشردگی، افزایش تخلخل و ظرفیت نگهداری آب، تقویت فعالیت ریشه، افزایش دسترسی عناصر

غذایی و بهبود تغذیه گیاه در مراحل حساس تکوین بلال است که در مجموع منجر به تشکیل تعداد بیشتر گل‌آذین و افزایش تعداد دانه در هر ردیف می‌شود.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل کود ورمی کمپوست و کود شیمیایی بر تعداد دانه در ردیف بلال ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین تعداد دانه در ردیف (۴۳/۴۳ دانه) از تیمار کاربرد ٦ تن در هکتار کود ورمی کمپوست بدون استفاده از کود شیمیایی و کمترین مقدار (۳۷/٦۲ دانه) از تیمار شاهد حاصل شد (شکل ٦).



شکل ٦- نمودار اثر متقابل کود ورمی کمپوست و کود شیمیایی بر تعداد دانه در ردیف بلال گیاه ذرت

ورمی کمپوست حاوی هورمون‌های گیاهی طبیعی نظیر سیتوکینین و اکسین است که نقش کلیدی در تمایز گل‌چه‌ها و افزایش تعداد گل‌های مؤنث ایفا می‌کنند (Arancon *et al.*, 2006). این کود آلی از طریق بهبود جذب عناصر کم‌مصرف نظیر روی و بور، فعالیت آنزیم‌های دخیل در گرده‌افشانی و تشکیل دانه را تقویت می‌نماید (Domínguez & Edwards, 2011). همچنین ترکیبات هیومیک موجود در ورمی کمپوست قابلیت جذب عناصر غذایی را افزایش داده و آزادسازی تدریجی مواد مغذی را با نیاز گیاه تطبیق می‌دهد (Singh *et al.*, 2020).

کاربرد همزمان کود شیمیایی با ورمی کمپوست اثر تعاملی منفی نشان داد که احتمالاً به دلیل اختلال در تعادل عناصر غذایی و کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک باشد. مصرف بیش از حد کود شیمیایی منجر به افزایش رشد رویشی به ضرر

رشد زایشی می‌شود. یافته‌های این تحقیق با نتایج (Mahmoudi *et al*., 2011) مبنی بر برتری ورمی کمپوست در افزایش اجزای عملکرد ذرت همخوانی دارد. (Jafari *et al*., 2013) نیز تأثیر مثبت کودهای آلی بر تعداد دانه در ردیف را تأیید کرده‌اند. بر اساس نتایج، ورمی کمپوست به‌عنوان جایگزین مناسب کودهای شیمیایی در بهبود عملکرد کمی ذرت محسوب می‌شود.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل کود گاوی و کود ورمی کمپوست بر ارتفاع بوته ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین ارتفاع بوته (۱٦٥ سانتی‌متر) از تیمار عدم کاربرد کود گاوی به همراه کاربرد ٦ تن در هکتار کود ورمی کمپوست و کمترین ارتفاع (۱۳٤ سانتی‌متر) از تیمار شاهد حاصل شد (شکل ۷).

ورمی‌کمپوست از طریق تأمین نیتروژن آلی و عناصر کم‌مصرف قابل‌جذب، سنتز کلروفیل و فعالیت آنزیم نیتروژناز را تحریک می‌کند که منجر به افزایش رشد رویشی می‌شود (Pourhossein *et al*., 2022). این کود آلی حاوی هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین و جیبرلین است که نقش مستقیم در کشیدگی سلول‌ها و افزایش ارتفاع ساقه دارند (Jafari *et al*., 2013). همچنین ورمی‌کمپوست از طریق بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، جذب عناصر غذایی ضروری برای رشد نظیر فسفر و پتاسیم را تسهیل می‌نماید.

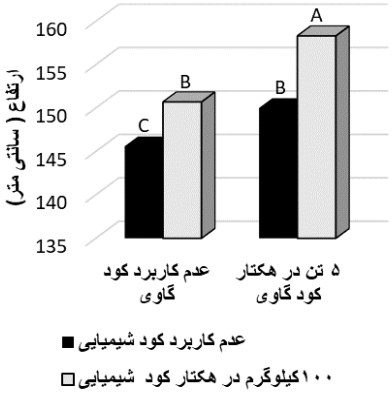
شکل ۷- **نمودار اثر متقابل کود گاوی و کود ورمی کمپوست بر ارتفاع گیاه ذرت**

اثر تعاملی منفی کود گاوی و ورمی‌کمپوست بر ارتفاع بوته نشان‌دهنده رقابت بر سر جذب عناصر غذایی و اختلال در تعادل هورمونی گیاه است (Jafarzadeh *et al*., 2012). کود گاوی با آزادسازی سریع نیتروژن معدنی، ممکن است منجر به مصرف بیش از حد این عنصر شده و تعادل کربن/نیتروژن را مختل کند (Ahmadzadeh & Malakouti, 2016). این وضعیت باعث کاهش کارایی جذب سایر عناصر غذایی و در نتیجه محدودیت رشد می‌شود.

گیاه ذرت برای حداکثر رشد ارتفاعی به نسبت بهینه‌ای از عناصر غذایی نیاز دارد و مصرف بیش از حد کود می‌تواند اثر منفی داشته باشد. یافته‌های این تحقیق با نتایج (Ahmadzadeh & Malakouti, 2016)؛ (Ahmadi & Karimi, 2017) مبنی بر تأثیر مثبت کودهای آلی بر رشد ذرت همخوانی دارد. بر اساس نتایج، کاربرد ورمی‌کمپوست به‌تنهایی بهترین استراتژی برای افزایش ارتفاع بوته ذرت محسوب می‌شود.

نتایج حاصل از تحلیل واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل کود گاوی و کود شیمیایی بر ارتفاع بوته آفتابگردان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بیشترین ارتفاع بوته (۱۵۸/۳ سانتی‌متر) از تیمار کاربرد ترکیبی ۵ تن در هکتار کود گاوی به همراه ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی و کمترین ارتفاع (۱٤٥/٦ سانتی‌متر) از تیمار عدم کاربرد کود گاوی همراه با ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی حاصل شد (شکل ۸).

کود گاوی با بهبود ساختار خاک و افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، دسترسی مداوم عناصر غذایی را تسهیل می‌نماید. نیتروژن آزاد شده از کود گاوی به‌عنوان جزء ساختاری کلروفیل و پروتئین‌های آنزیمی، فرآیند فتوسنتز و متابولیسم گیاه را تحریک می‌کند.



شکل ۸- نمودار اثر متقابل کود گاوی و کود شیمیایی بر ارتفاع گیاه ذرت

تعامل هم‌افزایی کودهای آلی و شیمیایی، فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید ریزوسفر را تقویت نموده و کارایی جذب و جابجایی عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد. یافته‌های این تحقیق با نتایج محققان مختلف

مطابقت دارد. کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست و کودهای زیستی موجب افزایش ارتفاع بوته آفتابگردان می‌شود. همچنین مطالعات انجام شده در ایلام نشان داده که کودهای شیمیایی و زیستی نیتروژن و فسفر بر خصوصیات مورفولوژیک آفتابگردان تأثیر معنی‌داری دارند. (Ahmadi *et al.*, 2019)؛ (Moradi *et al.*, 2020) نیز تأثیر مثبت تغذیه تلفیقی بر رشد رویشی گیاهان زراعی را تأیید کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد ترکیبی کودهای آلی و شیمیایی نقش بسیار مهمی در بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت ایفا می‌کند. این تحقیق نشان داد که استفاده از کودهای آلی به‌تنهایی یا در ترکیب با کودهای شیمیایی، موجب بهبود قابل‌توجه شاخص‌های مختلف عملکردی می‌شود.

ورمی کمپوست به‌عنوان برترین کود آلی در این مطالعه شناخته شد. این کود از طریق تأمین هورمون‌های گیاهی طبیعی نظیر اکسین، سیتوکینین و جیبرلین، فرایندهای رشد و تکوین گیاه را تحریک می‌کند. همچنین، حضور عناصر کم‌مصرف قابل‌جذب و آنزیم‌های هیدرولیتیک در ورمی کمپوست، باعث بهبود جذب عناصر غذایی و تقویت متابولیسم گیاهی می‌شود. این کود قابلیت تحریک تقسیم سلولی در مراحل حساس پرشدن دانه را داشته و منجر به افزایش کیفیت و کمیت محصول می‌شود.

کود گاوی نیز از طریق بهبود ساختار فیزیکی خاک و آزادسازی تدریجی عناصر غذایی، نقش مؤثری در افزایش عملکرد ایفا می‌کند. این کود با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، تخلخل و ظرفیت نگهداری آب، شرایط مطلوب‌تری برای رشد ریشه و جذب مواد غذایی فراهم می‌آورد. همچنین، کود گاوی با تقویت فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید ریزوسفر، چرخه عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد.

تعامل هم‌افزایی بین کودهای آلی و شیمیایی یکی از مهم‌ترین یافته‌های این تحقیق محسوب می‌شود. کودهای شیمیایی با تأمین سریع و مستقیم عناصر اصلی نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، نیازهای آنی گیاه را برآورده می‌سازند، درحالی‌که کودهای آلی با آزادسازی تدریجی مواد غذایی، تغذیه پایدار گیاه را تضمین می‌کنند. این تعامل منجر به بهبود فرایندهای فتوسنتز، افزایش سنتز کلروفیل و تقویت متابولیسم کربن و نیتروژن می‌شود.

نتایج نشان داد که کاربرد ترکیبی کودها نه‌تنها عملکرد دانه را افزایش می‌دهد، بلکه بر اجزای عملکرد نظیر وزن هزار دانه، تعداد دانه در ردیف و ارتفاع بوته نیز تأثیر مثبت دارد. این بهبود از طریق تحریک فعالیت آنزیم‌های کلیدی، بهبود جذب عناصر غذایی، تقویت سیستم ریشه و افزایش کارایی فتوسنتز حاصل می‌شود. در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که اتخاذ استراتژی تغذیه تلفیقی با استفاده از کودهای آلی و شیمیایی، رویکردی مؤثر و پایدار برای افزایش بهره‌وری در تولید ذرت محسوب می‌شود. این روش

نه‌تنها موجب بهبود عملکرد می‌شود، بلکه به حفظ سلامت خاک و کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی نیز کمک می‌کند.

REFERENCES

Abdollahi, R., Safari, M. and Ahmadi, H. 2021. Investigation of vermicompost effects on yield components of grain corn. *Journal of Soil and Water Sciences*. 35(2): 156-168. (In Farsi)

Ahmadi, A. and Karimi, H. 2017. Investigation of organic fertilizers effects on yield components of sweet corn. Iranian *Journal of Agricultural Research*. 15(3): 412-425. (In Farsi)

Ahmadzadeh, M. and Malakuti, M. J. 2016. Effect of organic and chemical fertilizer on yield and yield components of grain corn. *Journal of Soil Research*. 30(2): 245-258. (In Farsi)

Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. 2020. Agroecology: Challenges and opportunities for farming in the Anthropocene. Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura, 47(3), 204-215.

Amiri, S., Khodaverdiloo, H., & Rasouli-Sadaghiani, M. H. 2019. Growth promoting effects of vermicompost on maize: Role of plant growth regulators. *Journal of Plant Nutrition*, 42(11-12), 1291-1305.

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., & Metzger, J.D. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*, 93(2), 145-153.

Blaise, D., Campana, D., Zimmermann, C., Mascarello, N., Baschetto, M., & Zuin, L. 2005. Effect of organic manure on soil physical properties and yield of maize. *Agronomy Journal*, 97(5), 1361-1368.

Campbell, W.H., Song, P., & Barbier, G.G. 1999. Nitrate reductase for nitrite and hydroxylamine reduction. *Trends in Plant Science*, 4(2), 58-61.

Domínguez, J., & Edwards, C. A. 2011. Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting. In Vermiculture technology: earthworms, organic wastes, and environmental management (pp. 25-37). CRC Press.

Evans, J.R., Clarke, V.C. 2018. The nitrogen cost of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 70, 7-15.

Ghosh, P. K., Ajay, K. K., Bandyopadhyay, M. C., Manna, K. G., Mandal, A. K., & Hati, K. M. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping systems in vertisols of semi-arid tropics. I. Crop yields and system performance. *Bioresource Technology*, 95(1), 77-83.

Gutierrez-Miceli, F.A., Santiago-Borraz, J., Montes Molina, J.A., Nafate, C.C., Abud-Archila, M., Oliva Llaven, M.A., Rincon-Rosales, R., & Dendooven, L. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato. *Bioresource Technology*, 98(15), 2781-2786.

Heydari, S., Karimi, A. and Mohammadi, A. 2018. Effect of biological fertilizers on growth and yield of grain plants. *Iranian Journal of Agricultural Research*. 16(4): 78-89. (In Farsi)

Jafari, M., Ahmadi, K. and Rezaei, M. 2013. Investigation of organic fertilizers effects on yield and yield components of corn. *Journal of Field Crop Production*. 6(2): 45-62. (In Farsi)

Jafarzadeh, A. A., Mohammadi, J. and Soleiman-Pour, H. 2012. Effect of organic fertilizers application on soil microbiological properties. *Iranian Journal of Soil Science*. 26(2): 145-158. (In Farsi)

Jahani, M., Rezaei, M. and Ahmadi, A. 2011. Effect of vermicompost on germination and growth of corn. Research. (In Farsi)

Johnson, K. L., & Williams, R. M. 2023. Vermicompost application enhances grain quality and nutritional content in cereal crops. *Applied Soil Ecology*, 185, 104-115.

Lazcano, C., Gómez-Brandón, M., Revilla, P., & Domínguez, J. 2013. Short-term effects of organic and inorganic fertilizers on soil microbial community structure and function. *Biology and Fertility of Soils*, 49(6), 723-733.

Liang, B.C., MacKenzie, A.F., Schnitzer, M. 2005. Management-induced change in soil organic carbon. *Soil and Tillage Research*, 81, 307-318.

Liu, Y., Chen, X., Wang, L., & Zhang, M. 2023. Biochemical mechanisms of vermicompost in enhancing photosynthetic efficiency and carbon metabolism in corn plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 198, 107-118.

Mahmodi, A., Karimi, H. and Nouri, A. 2011. Evaluation of vermicompost and nitrogen fertilizer effects on corn yield. *Journal of Agricultural Ecology*. 3(1): 123-135. (In Farsi)

Mohammadi, R., Karimi, H. R. and Ahmadi, A. 2020. Evaluation of different organic fertilizers effects on growth and yield of corn. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 22(1): 45-62. (In Farsi)

Nasiri, B. and Malakuti, M. J. 2018. Effect of organic and chemical fertilizers on grain corn yield. *Journal of Soil and Water Sciences*. 32(4): 167-180. (In Farsi)

Olesen, J.E., Askegaard, M., Rasmussen, I.A. 2009. Winter cereal yields as affected by manure. European. *Journal of Agronomy*, 30, 119-128.

Pourhossein, Z., Ahmadi, F. and Nouri, S. 2022. Study of vermicompost effect on photosynthate accumulation in corn plant. *Journal of Crop Physiology*. 13(2): 67-81. (In Farsi)

Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., ... & Wratten, S. 2018. Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1(8), 441-446.

Rahimi, M., Najafi, N. and Hosseini, S. M. 2019. Evaluation of cattle manure and vermicompost effects on yield and yield components of corn. *Journal of Field Crop Production*. 12(2): 78-92. (In Farsi)

Rajpar, I., Bhatti, M.B., Hassan, Z.U., Shah, A.N., & Tunio, S.D. 2011. Humic acid improves growth, yield, and oil content of Brassica napus L. Pakistan Journal of Agriculture, *Agricultural Engineering and Veterinary Sciences*, 27(2), 125-133.

Rezaei, A., Mohammadi, H. and Karimi, A. 2022. Effect of vermicompost micronutrients on corn plant metabolism. *Journal of Plant Nutrition*. 8(1): 112-125. (In Farsi)

Richardson, A. E., Barea, J. M., McNeill, A. M., & Prigent-Combaret, C. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil*, 321(1-2), 305-339.

Saliu, F., Luqman, M., & Alkhaz'leh, H. S. 2023. A review on the impact of sustainable agriculture practices on crop yields and soil health. *International Journal of Research and Advances in Agricultural Science*, 2(3), 1-13.

Singh, A., Kumar, R., & Sharma, P. 2022. Microbial diversity and plant growth promoting activities in vermicompost: A comprehensive review. *Microorganisms*, 10(8), 1584.

Singh, R., Sharma, R.R., Kumar, S., Gupta, R.K., & Patil, R.T. 2020. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry. *Bioresource Technology*, 216, 576-583.

Vance, C. P., Uhde-Stone, C., & Allan, D. L. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New phytologist*, 157(3), 423-437.

Zhang, H., Voroney, R. P., & Price, G. W. 2021. Effects of vermicompost on soil microbial community structure and diversity: A meta-analysis. *Applied Soil Ecology*, 162, 103-115.