



Research Article

Vol. 24, No. 3, Fall 2026, p. 331-344

Investigating the Integrated Management of Sulfur Element and Organic Fertilizer on the Yield and Yield Components of Oilseed Flax (*Linum usitatissimum*) in the Ahvaz Conditions

L. Naseri Magham¹, E. Fateh^{1*}, A. Ayneband¹

1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(* - Corresponding author's Email: e.fateh@scu.ac.ir)

Received: 27 October 2025
Revised: 28 November 2025
Accepted: 21 December 2025
Available Online: 29 December 2025

How to cite this article:

Naseri Magham, L., Fateh, E., & Ayneband, A. (2026). Investigating the integrated management of sulfur element and organic fertilizer on the yield and yield components of oilseed flax (*Linum usitatissimum*) in the Ahvaz conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 24(3), 331-344. (In Persian)
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.96034.1428>

Introduction

Flax (*Linum usitatissimum*) is an annual plant with a stem height of 30 to 50 centimeters. Unlike fiber flax, oil flax has a stem with several branches. Oil flax seeds contain 22% protein, 6.5% crude fiber and 30 to 40% oil. They are of particular importance due to the presence of some essential amino acids such as lecithin 3.8%, methionine 2.3% and tryptophan 1.9%. One way to increase flax yield is to apply agronomic management practices such as appropriate planting date and optimal nutrient intake. On the other hand, although flax is adaptable to adverse environmental conditions and lands with low fertility levels, and accordingly its cultivation can be expanded in different agro-ecological conditions, the area under cultivation of this plant is very small. Considering the role of *Thiobacillus* bacteria in the oxidation and dissolution of nutrients, it seems that the use of these bacteria along with organic fertilizer can enable the use of available nutrients and lead to improvement of the physicochemical properties and biological activities of the soil. Accordingly, the purpose of this experiment is to study the effect of *Thiobacillus* bacteria and different levels of sulfur and organic fertilizer on flax yield and yield components.

Materials and Methods

This experiment was conducted at Shahid Chamran University, Ahvaz, in the 1401-1402 crop year to investigate the effect of *Thiobacillus* bacteria, sulfur application, and organic fertilizer on the yield and growth of oilseed flax under Ahvaz conditions. The experiment was conducted as a factorial design based on randomized complete blocks with 3 replications. The first factor included different levels of sulfur and *Thiobacillus* at 5 levels including: control (without the use of sulfur and *Thiobacillus*), 200 kg of sulfur per hectare, 400 kg of sulfur per hectare, 100 kg of sulfur per hectare with *Thiobacillus* bacterial inoculum, and 200 kg of sulfur per hectare with *Thiobacillus* bacterial inoculum. The second factor included the use of organic fertilizer at three levels: control (no use of organic fertilizer), 6 tons of vermicompost, and 6 tons of sugarcane bagasse compost. The measured traits included yield and yield components.

Results and Discussion

The results showed that, among the different organic fertilizer treatments, the control (no organic fertilizer) produced the lowest number of branches per plant (7.03), capsules per plant (185), and seeds per capsule (7.3). In contrast, the application of 6 t ha⁻¹ vermicompost resulted in the highest number of branches per plant (7.9),



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2025.96034.1428>

number of secondary branches (1.34), 1000-seed weight (1.6 g), and grain yield (3218 kg ha⁻¹). In the study of different levels of sulfur and *Thiobacillus* application, it was found that the lowest average number of branches (6.4 branches), number of secondary branches (26.2 branches), number of seeds per capsule (1.7 seeds), and weight of 1,000 seeds (5.8 g) were related to the control treatment (no use of sulfur and *Thiobacillus*). The highest number of branches (7.9 branches) and grain yield (3838 kg ha⁻¹) were related to the treatment of 200 kg sulfur ha⁻¹ + *Thiobacillus* bacterial inoculum. In the study of different levels of sulfur and *Thiobacillus* application, it was found that the lowest average number of branches (6.4 branches), number of secondary branches (26.2 branches), number of seeds per capsule (1.7 seeds), and weight of 1,000 seeds (5.8 grams) were related to the control treatment (no use of sulfur and *Thiobacillus*). The highest number of branches (7.9 branches) and grain yield (3838 kg ha⁻¹) were related to the treatment of 200 kg sulfur ha⁻¹ + *Thiobacillus* bacterial inoculum.

Conclusion

Therefore, the application of vermicompost among organic fertilizer levels and the treatment of 200 kg sulfur per hectare + *Thiobacillus* inoculum among sulfur and *Thiobacillus* levels had a positive effect, and the combined application of this treatment led to improved seed yield and yield components of oilseed flax.

Keywords: Bacteria, Bagasse, Compost, *Thiobacillus*, Vermicompost

مقاله پژوهشی

جلد ۲۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، ص ۳۳۱-۳۴۴

بررسی مدیریت تلفیقی عنصر گوگرد و کود آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد کتان روغنی

(*Linum usitatissimum*) در شرایط اهواز

لیلا ناصری مقام^۱، اسفندیار فاتح^{۱*}، امیر آینه بند^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰

چکیده

به منظور بررسی تأثیر باکتری *Thiobacillus*، کاربرد گوگرد و کود آلی بر عملکرد و رشد کتان روغنی (*Linum usitatissimum*) در شرایط اهواز، پژوهشی طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. این آزمایش به صورت طرح فاکتوریل برپایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گردید. عامل اول شامل سطوح مختلف گوگرد و *Thiobacillus* در پنج سطح شامل شاهد (بدون استفاده از گوگرد و *Thiobacillus*)، ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* بود. عامل دوم شامل استفاده از کود آلی در سه سطح شامل شاهد (عدم استفاده از کود آلی)، شش تن ورمی کمپوست و شش تن کمپوست باگاس نیشکر بود. نتایج نشان داد که در بین سطوح مختلف کود آلی، کمترین میانگین تعداد شاخه (۷/۰۳ شاخه)، تعداد کپسول در بوته (۱۸۵ کپسول)، تعداد دانه در کپسول (۷/۳ دانه)، مربوط به تیمار شاهد (عدم کاربرد کود آلی) بود. در مقابل در شرایط کاربرد تیمار شش تن ورمی کمپوست، بیشترین تعداد شاخه در بوته (۷/۹ شاخه در بوته)، انشعابات فرعی (۳۴/۱ شاخه)، وزن هزار دانه (۶/۱ گرم) و عملکرد دانه (۳۲۱۸ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. نتایج نشان داد که کاربرد ورمی کمپوست در بین سطوح کود آلی و تیمار ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد همراه با تلقیح باکتری در بین سطوح گوگرد، تأثیر مثبت و معنی داری داشت. کاربرد تلفیقی این تیمارها منجر به بهبود عملکرد دانه و اجزای آن شد.

واژه‌های کلیدی: باکتری، باگاس، *Thiobacillus*، کمپوست، ورمی کمپوست

مقدمه

کتان روغنی در شرایط نسبتاً سرد قادر به رشد می‌باشد. اما درجه حرارت بالاتر از ۳۲ درجه سانتی‌گراد سبب کوتاه شدن دوره گل‌دهی و در نتیجه کاهش عملکرد دانه می‌شود. مناسب‌ترین درجه حرارت برای رشد کتان ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد است. مجموع میانگین حرارت سالیانه کتان روغنی بین ۱۸۰۰-۱۶۲۰ درجه می‌باشد (Esmaili Behbahani et al, 2019). زمین جهت کشت کتان باید کاملاً قابل نفوذ باشد، خاک‌های رسی شنی دارای زهکشی و نسبتاً عمیق و همچنین خاک‌های لومی که دارای مواد غذایی کافی باشند برای کشت این گیاه مناسب است. pH خاک‌هایی که دارای حدود هفت و یا کمی اسیدی باشند برای کاشت آن مناسب هستند، ولی بهترین pH بین ۵/۵ تا ۷ می‌باشد. کشت کتان روغنی در خاک‌های هوموسی نتیجه بهتری داشته و به علت بالا بودن نیتروژن

کتان (*Linum usitatissimum*)، گیاهی یک‌ساله است که ارتفاع ساقه آن بین ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. برخلاف کتان‌های لیفی، ساقه کتان‌های روغنی دارای چندین انشعاب است (Deyholos, 2006). این گیاه روزبلند است و هرگاه طول روز ۱۴ تا ۱۸ ساعت باشد، گل‌دهی آن در مدت ۱۰ تا ۱۵ روز انجام و به اتمام خواهد رسید. البته در برخی از ارقام کتان، گیاهان روزخنش نیز دیده می‌شود. روزهای کوتاه، روند رشد و نمو آن را کند می‌کند (Tadayon)

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*) نویسنده مسئول:
(Email: e.fateh@scu.ac.ir)

هوموس، تعداد شاخه‌ها افزایش می‌یابد. افزودن فسفر به زمین موجب ازدیاد روغن شده و وجود اسید فسفریک تأثیر نسبی در زودرسی محصول دارد (Lafond et al., 2008).

دانه‌های کتان روغنی حاوی ۲۲ درصد پروتئین، ۶/۵ درصد فیبر خام و ۳۰ تا ۴۰ درصد روغن می‌باشد و به علت داشتن بعضی اسیدهای آمینه ضروری مانند لیسیتین ۳/۸ درصد، متیونین ۲/۳ درصد و تریپتوفان ۱/۹ درصد از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشند. مقدار روغن کتان‌های روغنی بین ۳۰ تا ۴۵ درصد است که از این مقدار، حدود ۵۴ تا ۷۰ درصد روغن دانه را اسید لینولئیک تشکیل می‌دهد و به همین علت روغن کتان سریع خشک شده و در صنایع رنگ‌سازی کاربرد دارد. سایر اسیدهای چرب شامل اسید لینولیک به‌میزان ۱۷-۱۵ درصد، اسید اولئیک ۱۲ تا ۲۱ درصد، اسید پالمیتیک سه تا پنج درصد و اسید استئاریک دارای دو تا چهار درصد می‌باشد. میزان اسیدهای چرب امگا ۳ در کتان بیش از سه برابر اسیدهای چرب امگا ۶ است (Pali & Mehta, 2014). همچنین به دلیل اینکه در مقایسه با سایر گیاهان زراعی دانه روغنی، کتان غنی از آلفا-لینولینیک اسید (به‌عنوان فراوان‌ترین منبع آنتی‌اکسیدان‌ها) و لیگنین است، تأثیر مفیدی در پیشگیری از بیماری‌ها و سلامت انسان دارند (Shojaeian et al., 2021).

یکی از راه‌های افزایش عملکرد کتان، اعمال مدیریت‌های زراعی مانند تاریخ کاشت مناسب و میزان بهینه مصرف عناصر غذایی است. از طرف دیگر، با وجود آنکه کتان با شرایط نامساعد محیطی و اراضی با سطح باروری اندک سازگاری دارد و بر این اساس می‌توان کشت آن را در شرایط مختلف زراعی-بوم‌شناختی گسترش داد، اما سطح زیر کشت این گیاه بسیار اندک است.

گوگرد، چهارمین عنصر غذایی اصلی گیاه پس از نیتروژن، فسفر و پتاسیم است و گیاهان آن را به شکل سولفات (SO_4^{2-}) جذب می‌کنند. گوگرد با شرکت در فرآیندهای متابولیکی متعدد، نقش مهمی در عملکردهای حیاتی گیاهان دارد. این عنصر برای سنتز اسیدهای آمینه خاصی ضروری است و نقش‌های عملکردی منحصربه‌فردی در آنزیم‌ها، ویتامین‌ها، لیپیدها و سایر اجزای مهم گیاهی دارد (Kopriva et al., 2019). گوگرد در خاک به دو صورت ترکیبات آلی و معدنی وجود دارد، اگرچه در بیشتر خاک‌های کشاورزی ترکیبات آلی غالب است. در خاک کشاورزی، درصد اشکال آلی گوگرد بسته به آب‌وهوا و نوع خاک بین ۵۰ تا ۹۸ درصد متغیر است (Hu et al., 2005). گوگرد موجود در زیست‌توده خاک دو تا سه درصد از کل ترکیبات آلی خاک را تشکیل می‌دهد، اما با وجود این درصد اندک، نقش مهمی در تبدیل گوگرد در خاک دارد (Haider & Schaffer, 2009). زیست‌توده ریزجانداران فعال‌ترین و در دسترس‌ترین شکل گوگرد آلی در خاک است. گوگرد غیرآلی در خاک عمدتاً به‌صورت سولفات و ترکیبات گوگردی با درجه اکسیداسیون کمتر مانند سولفیدها، پلی‌سولفیدها،

سولفات‌ها، تیوسولفات‌ها و گوگرد عنصری وجود دارد (Esmaili Behbahani et al., 2019). خاک کشاورزی حاوی مقادیر کافی اکسید گوگرد است و بیشترین سهم گوگرد معدنی در خاک را تشکیل می‌دهد. گوگرد در خاک از طریق فرآیندهای تثبیت، تحرک، کانی‌سازی، اکسیداسیون و احیاء در یک تبادل مداوم بین اشکال آلی و معدنی است که بر نسبت نسبی اشکال در خاک تأثیر می‌گذارد. سطح گوگرد آلی تا حد زیادی با مقدار کربن و نیتروژن در مواد آلی خاک مرتبط است (Prasad & Shivay, 2018). اکسیداسیون ترکیبات معدنی گوگرد در خاک می‌تواند طی فرآیندهای بیولوژیکی و شیمیایی رخ دهد. میزان وقوع این فرآیندها به محیط بستگی دارد. در خاک‌های تحت کشت، اکسیداسیون گوگرد عمدتاً از طریق مسیرهای زیست‌شناختی با مشارکت ریزجانداران اتفاق می‌افتد. بنابراین، درجه و سرعت این فرآیند به اندازه، ترکیب و فعالیت جمعیت میکروبی بستگی دارد. در خاک‌های تحت کشت اکسیداسیون، گوگرد عمدتاً توسط باکتری‌های جنس *Thiobacillus* و باکتری‌های هتروتروف انجام می‌شود (Yang et al., 2015). اعتقاد بر این است که *Thiobacillus* و جنس‌های مربوط به آن از طریق اکسیداسیون گوگرد، انحلال فسفر و حل کردن سایر مواد مغذی مانند روی، آهن و غیره، نقش مهمی در تولید محصول دارند. این باکتری‌ها در احیای خاک‌های قلیایی استفاده می‌شوند و مواد مغذی را در دسترس گیاهان زراعی قرار می‌دهند که تاکنون در خاک‌های قلیایی در دسترس نبودند.

در کشاورزی، کودها برای بهبود حاصلخیزی خاک استفاده می‌شوند، اما استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی و معدنی در کشاورزی سبب آلودگی‌های زیست‌محیطی غیرقابل جبران و همچنین مشکلات بهداشتی بسیاری شده است. بنابراین، به‌منظور کاهش و حذف اثرات نامطلوب کودهای شیمیایی بر سلامت انسان و محیط‌زیست، امروزه مباحثی تحت عنوان کشاورزی ارگانیک، کشاورزی پایدار یا کشاورزی زیست‌محیطی ایجاد شده است (Sharma & Chetani, 2017). کودهای آلی عمدتاً مقرون‌به‌صرفه هستند و نسبت به کودهای شیمیایی بیشتر در دسترس هستند. همچنین مواد آلی، اساس حاصلخیزی خاک است. از سوی دیگر، کودهای معدنی به دلیل هزینه بالا و اثرات منفی زیست‌محیطی خود در صورت مدیریت ضعیف شناخته شده‌اند (Solomon et al., 2012). کودهای آلی، نیازهای فرآیند بیولوژیکی گیاهان را تأمین می‌کنند و به‌طور هم‌زمان جمعیت آفات گیاهی را سرکوب می‌کنند. علاوه بر این، فعالیت ریزجانداران در خاک، قابلیت تبادل آنیون و کاتیون، مواد آلی و محتوای کربن خاک را افزایش می‌دهند. کودهای آلی، کیفیت و عملکرد محصولات کشاورزی را به‌روشی مشابه کودهای معدنی افزایش می‌دهند، اما باعث آلودگی محیط زیست نمی‌شود (Bhatt et al., 2019). برخی از مزایای مهم کودهای آلی

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر باکتری *Thiobacillus* و کاربرد گوگرد و کود آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد کتان روغنی در شرایط اهواز، طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه آموزشی پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در جنوب غربی اهواز و حاشیه غربی رود کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۲ متر از سطح دریا اجرا گردید. براساس آمار ۴۰ ساله هواشناسی، متوسط بارندگی سالانه در منطقه ۱۹۹/۵ میلی‌متر است. متوسط حداکثر دما ۴۶/۲ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل دمای ماهیانه ۶/۶ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب در تیرماه و دی‌ماه رخ می‌دهد. همچنین آمار هواشناسی در محدوده زمانی انجام آزمایش به‌صورت میانگین ماهانه در **جدول ۱** نشان داده شده است.

شامل بهبود بافت خاک، حفظ آب و مقاومت در برابر فرسایش است. کودهای آلی، نیتروژن را به‌شکل قابل استفاده فراهم می‌کنند که به گیاه کمک می‌کند تا رشد گیاه را بهبود بخشد و در عین حال نه باعث سوزاندن ریشه‌ها و نه از بین بردن ریزجانداران مفید در خاک می‌شود. کودهای آلی با تأمین نیازهای تغذیه‌ای گیاهان و افزایش تحمل گیاه، به پیشگیری از بیماری‌ها کمک می‌کنند (Asadu & Unagwu et al., 2012; Sharma & Chetani, 2017).

با توجه به نقش باکتری‌های جنس *Thiobacillus* در اکسیداسیون و انحلال عناصر مغذی، به نظر می‌رسد که کاربرد این باکتری‌های همراه با کود آلی بتواند امکان استفاده از مواد مغذی موجود را فراهم کرده و منجر به بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و فعالیت‌های زیست‌شناختی خاک شوند. بر این اساس، هدف از اجرای این آزمایش، مطالعه، تأثیر باکتری *Thiobacillus* و سطوح مختلف گوگردی و کود آلی بر عملکرد و اجزای عملکرد کتان می‌باشد.

جدول ۱- میانگین ماهانه شرایط آب‌وهوایی در طول فصل رشد در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲

ماه	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
Month	November	December	January	February	March	April	May	June
دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	32.1	26.5	25	26	29.7	36.1	46.9	49.9
دمای حداقل Minimum temperature (°C)	11.1	5.6	2.9	6.1	7.1	10.7	19.4	25.8
میانگین دمای روزانه Average temperature (°C)	19.4	15.3	14.2	15.5	18.3	24.3	33.5	39
بارندگی Precipitation (mm)	15.9	20.5	45.1	13.8	17.2	20	2	0

شد و سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. نتایج تجزیه آزمون خاک در **جدول ۲** ارائه شده است.

به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، قبل از شروع آزمایش، نمونه‌برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری قسمت‌های مختلف مزرعه انجام شد و پس از خشک کردن و خرد کردن ذرات درشت خاک، نمونه‌ها از الک دو میلی‌متری عبور داده

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical characteristics of the soil of the test site

عمق	بافت	پتاسیم	اسیدیته	فسفر	هدایت الکتریکی	نیتروژن	مواد آلی
Depth	Texture	Potassium (mg kg ⁻¹)	pH	Phosphorus (mg kg ⁻¹)	EC (dS m ⁻¹)	Nitrogen (%)	Organic carbon (%)
0-30 cm	Loamy-sand	130.8	7.45	11.3	3.2	0.098	0.43

گوگرد و *Thiobacillus*)، ۲- ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۳- ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۴- ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* و ۵- ۲۰۰ کیلوگرم

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل اول شامل سطوح مختلف گوگرد و *Thiobacillus* در پنج سطح شامل ۱- شاهد (بدون استفاده از

پس از عملیات برداشت، از میان بوته‌های برداشت‌شده هر کرت، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی برای شمارش اجزای عملکرد انتخاب شده و به‌صورت جداگانه و دقت در پلاستیک قرار داده شدند و به آزمایشگاه منتقل گردیدند و اندازه‌گیری صورت گرفت.

تجزیه‌ی آماری با استفاده از برنامه آماری SAS ver 9.4 و ترسیم نمودارها با استفاده برنامه‌های Word و Excel انجام شد. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

تعداد شاخه فرعی در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات حاکی از تأثیرپذیری صفت تعداد شاخه فرعی در بوته تنها از اثرات اصلی عوامل آزمایشی در سطح یک درصد بود (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین‌های به‌دست‌آمده، بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته مربوط به تیمار کاربرد شش تن ورمی‌کمپوست (۷/۹۷ شاخه در بوته) بود که نسبت به شاهد ۱۳/۵ درصد افزایش نشان داد و از این نظر برتری آماری معنی‌داری نسبت به سایر سطوح تیماری داشت. در مقابل، بین سطوح شاهد و شش تن کمپوست باگاس نیشکر (به‌ترتیب با میانگین ۷/۰۳ و ۷/۳ شاخه در بوته) اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴).

بررسی اثرات اصلی سطوح گوگرد و *Thiobacillus* نیز نشان داد که تمامی سطوح تیماری کاربرد گوگرد و *Thiobacillus* منجر به افزایش تعداد شاخه فرعی در بوته نسبت به شاهد شدند، به‌طوری که سطوح تیماری ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۶، ۲۳، ۲۰ و ۲۴ درصدی تعداد شاخه نسبت به شاهد شدند. تحت این شرایط مشاهده شد که کمترین میانگین تعداد شاخه فرعی در بوته مربوط به شاهد با میانگین ۶/۳۷ شاخه بود که از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با سایر سطوح تیماری داشت. در مقابل، تیمارهای ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار، ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* به‌ترتیب دارای ۷/۸۶، ۷/۶۶ و ۷/۹۱ شاخه بودند و از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. به نظر می‌رسد که وجود هم‌زمان گوگرد و باکتری *Thiobacillus* عامل کلیدی در تحریک رشد شاخه‌های فرعی است، نه صرفاً افزایش مقدار گوگرد. این امر احتمالاً به‌دلیل نقش مؤثر باکتری در فعال‌سازی گوگرد و تسهیل جذب عناصر غذایی می‌باشد.

نتایج این پژوهش به‌وضوح تأییدکننده تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست

گوگرد در هکتار همراه مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* بود. عامل دوم شامل استفاده از کود آلی در سه سطح شامل ۱- شاهد (عدم استفاده از کود آلی)، ۲- شش تن ورمی‌کمپوست و ۳- شش تن کمپوست باگاس نیشکر بود. در مجموع، سه تکرار، ۴۵ واحد آزمایشی در طرح وجود داشت که هر واحد آزمایشی شامل چهار پشته (سه پشته کاشت و یک پشته نکاشت) و با فاصله ۵۰ سانتی‌متری از یکدیگر بودند.

آماده‌سازی زمین با انجام شخم و دو مرتبه دیسک عمود بر هم و تسطیح با ماله در مزرعه تکمیل شد. پس از آن، کودهای پایه براساس آزمون خاک و کود ورمی‌کمپوست و گوگرد و *Thiobacillus* به نسبت‌های معین‌شده به خاک اضافه خواهد شد. به‌منظور تلقیح با *Thiobacillus*، از کود زیستی سولفورارور ۱ حاوی باکتری *Thiobacillus* استفاده شد. به‌منظور تلقیح با باکتری، برای هر ۵۰ کیلوگرم گوگرد یک کیلوگرم *Thiobacillus* استفاده گردید که بر این اساس برای تیمارهای آزمایشی، دو کیلوگرم گوگرد با ۴۰ گرم *Thiobacillus* مخلوط شد. تلقیح گوگرد با باکتری چند روز قبل از کاشت و در سایه انجام گردید و سپس بلافاصله براساس تیمارهای آزمایشی، مقادیر تعیین‌شده تیمارها به‌صورت نواری روی خطوط کشت قرار داده شد و سپس روی آن با خاک پوشانده شد. چند روز بعد از عملیات کوددهی، عملیات کشت با کاشت بذور در عمق دو سانتی‌متری خاک به‌صورت دستی انجام گردید. کشت گیاه دارویی کتان روغنی در تاریخ ۱۴۰۱/۰۸/۲۰ و اولین آبیاری مزرعه در ۲۲ آبان ۱۴۰۱ انجام شد. همچنین مقدار کود نیتروژن باقی‌مانده (براساس آزمون خاک) در دو مرحله ظهور جوانه انتهایی و ابتدای گل‌دهی (هر مرحله رشدی ۱۰۰ کیلوگرم) مصرف گردید. در طول دوره آزمایش، آفت و بیماری خاصی مشاهده نشد و مبارزه با علف‌های هرز صورت گرفت. عملیات برداشت محصول نیز در تاریخ ۱۴۰۲/۰۲/۱۰ انجام شد.

تعیین عملکرد دانه

به‌منظور برآورد عملکرد دانه، در زمان رسیدگی کامل (زمانی که ۷۰ درصد دانه‌ها در کپسول‌ها قهوه‌ای شدند)، با در نظر گرفتن حذف اثر حاشیه، سه مترمربع از هر کرت برداشت شد؛ سپس بوته‌های مربوطه جداگانه به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و مجدد توزین و وزن ماده خشک (عملکرد زیست‌توده) نمونه‌های آزمایشی محاسبه گردید. پس از جدا نمودن بذرها و توزین دانه‌های هر کرت، عملکرد دانه در واحد مترمربع محاسبه شد.

تعیین اجزای عملکرد دانه

مولد مریستمی، افزایش تقسیم سلولی و انتقال مواد فتوسنتزی و تنظیم‌کننده‌های رشد از منبع به مخزن با مصرف گوگرد، تعداد شاخه جانبی در سویا (*Glycin max L.*) افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که کود ورمی کمپوست از طریق تأمین تدریجی نیتروژن و سایر عناصر غذایی، اثراتی مشابه با کودهای شیمیایی نیتروژن داشته است.

تعداد کپسول در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که صفت تعداد کپسول در بوته تنها تحت تأثیر اثر اصلی سطوح گوگرد و *Thiobacillus* در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین، کمترین میانگین تعداد کپسول در بوته با میانگین ۱۷۶ عدد مربوط به شاهد (بدون استفاده از گوگرد و *Thiobacillus*) بود که تحت سطوح تیماری ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد، ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد، ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری به ترتیب با ۱۲، ۲۵، ۱۲ و ۱۵ درصد افزایش به میانگین ۱۹۷، ۲۱۹، ۱۹۸ و ۲۰۲ کپسول در بوته رسید که از این نظر اختلاف آماری معنی‌داری نسبت به یکدیگر نداشتند (جدول ۴).

تفاوت در تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول ارتباط مستقیم با میزان نفوذ نور به داخل تاج‌پوشش گیاهی دارد. به دلیل نقش گوگرد در ساخت آمینواسیدهای سیستئین، متیونین و سنتز اسیدهای چرب، دانه‌های روغنی به مقادیر متوسط سولفور واکنش نشان می‌دهند (Havlin et al., 1999). با توجه به اثر مستقیم تعداد کپسول به عنوان جزء مؤثر در تعیین عملکرد کاملینا (*Camelina sativa L.*)، می‌توان یکی از علل افزایش عملکرد دانه کتان روغنی را به افزایش تعداد کپسول در بوته نسبت داد. احتمالاً کاربرد گوگرد به همراه بیوسولفور، توانسته است از طریق کاهش pH خاک و حلالیت عناصر (Anandham et al., 2007) به افزایش رشد و نمو گیاه کتان روغنی کمک کند. نتایج حاکی از آن است که کاربرد گوگرد، اعم از اینکه به تنهایی یا همراه با باکتری *Thiobacillus* باشد، می‌تواند به طور معنی‌داری تعداد کپسول در بوته را نسبت به شاهد افزایش دهد. این یافته مؤید نقش مؤثر گوگرد در بهبود ویژگی‌های زایشی گیاه است. باین حال، از آنجاکه اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح مختلف تیمارهای گوگردی مشاهده نشد، به نظر می‌رسد که صرف تأمین نیاز پایه گیاه به گوگرد برای دستیابی به این پاسخ مطلوب کافی بوده و افزایش بیشتر مقدار مصرف گوگرد لزوماً منجر به افزایش تعداد کپسول نمی‌شود.

بر تعداد شاخه فرعی در بوته بود. این نتایج نشان می‌دهد که ورمی کمپوست از طریق فراهم نمودن مواد غذایی مورد نیاز گیاه و همچنین افزایش تولیدات فتوسنتزی به واسطه افزایش ظرفیت فتوسنتزی در افزایش رشد رویشی گیاه نظیر ارتفاع و تعداد شاخه‌های جانبی مؤثر می‌باشد. براساس منابع موجود، اکثر عناصر غذایی موجود در ورمی کمپوست از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم به سهولت برای گیاه قابل دسترس می‌باشد که می‌تواند نقش مؤثری در بهبود رشد و عملکرد گیاهان داشته باشد (Wu et al., 2012). همچنین ورمی کمپوست حاوی اسید هیومیک، هورمون‌های محرک رشد گیاه و انواع ویتامین‌ها و آنزیم‌ها می‌باشد (Arancon et al., 2004; Pramanik et al., 2007) که می‌تواند به طور مستقیم باعث بهبود رشد و نمو گیاهان گردد. علاوه بر این، ورمی کمپوست بر مواردی مانند بهبود ساختار شیمیایی، فیزیکی و زیستی بستر کاشت، و همچنین افزایش جذب و نگهداری آب تأثیر دارد. از این رو، افزایش خصوصیات رشدی و عملکردی کتان روغنی در اثر کاربرد کود ورمی کمپوست با توجه به موارد نام برده شده قابل استناد می‌باشد.

تعداد شاخه فرعی در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثرات اصلی و برهم‌کنش عوامل آزمایشی در سطح یک درصد تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی فرعی در بوته نداشتند (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین صفات، بیشترین تعداد شاخه فرعی فرعی در بوته مربوط به سطح تیماری کاربرد توأم شش تن ورمی کمپوست و ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد (۳۸ شاخه فرعی فرعی) بود که البته از نظر آماری اختلاف آماری معنی‌داری با سطوح تیماری ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* توأم با کاربرد شش تن ورمی کمپوست (به ترتیب با میانگین ۳۸ و ۳۷ شاخه فرعی فرعی)، ۲۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در شرایط عدم استفاده از کود آلی و تیمار ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری توأم با کاربرد شش تن کمپوست باگاس نیشکر نداشت. در مقابل، کمترین تعداد انشعاب فرعی با میانگین ۲۰ شاخه فرعی فرعی نیز مربوط به شاهد (عدم استفاده از گوگرد و کود آلی) بود (شکل ۱).

به طور کلی تحقیقات نشان داده است که تعداد شاخه‌های جانبی بوته به طور عمده به حاصلخیزی خاک و شرایط رشد بستگی دارد و در شرایط بهینه رشد، گیاهان شاخه‌های فرعی بیشتری تولید می‌کنند (Nemati & Azizi, 2013). دوی و همکاران (Devi et al., 2012) گزارش دادند که به علت نقش عنصر گوگرد در فرآیندهای رشد و نمو گیاه و ساختمان اسیدهای آمینه و فرآیند تفکیک بافت از سلول‌های

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی تحت تأثیر سطوح مختلف عوامل آزمایشی
Table 3- Results of variance analysis of experimental traits under the influence of different levels of experimental factors

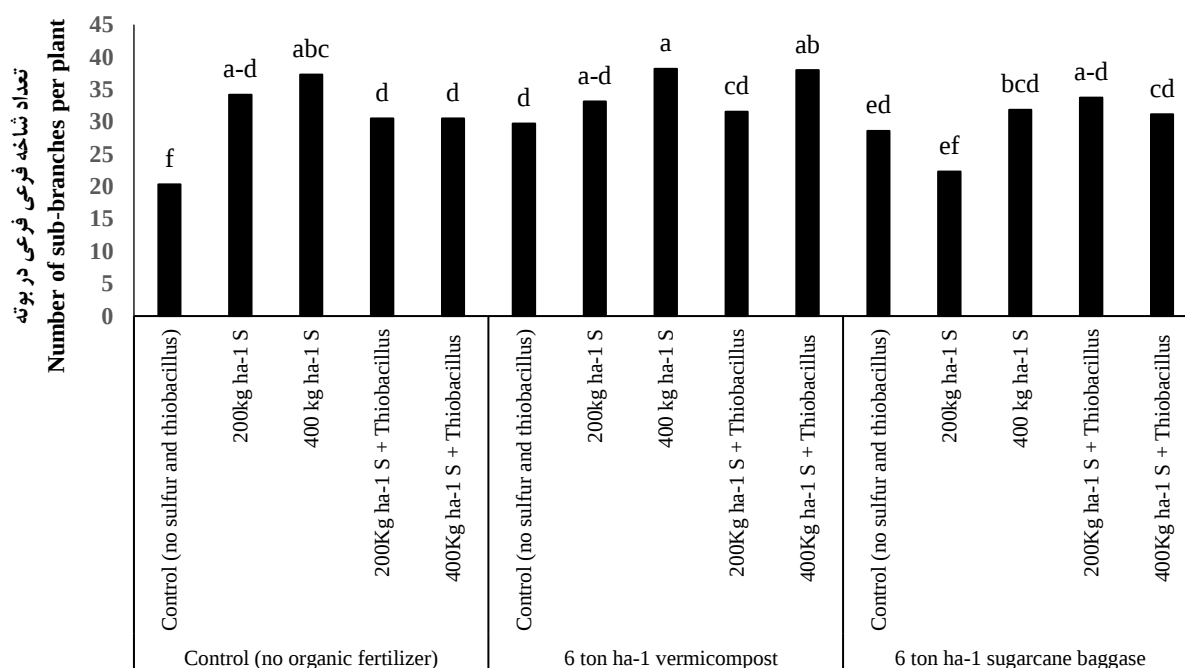
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares					
		تعداد شاخه فرعی در بوته Number of sub-branches per plant	تعداد شاخه فرعی در بوته Number of secondary branches per plant	تعداد کیسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد دانه در کیسول The number of seeds in the capsule	وزن هزار دانه Weight of 1000- seeds (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)
بلوک Block	2	0.56	12.2	1329	0.43	0.25	72379
سطوح کود آلی Organic fertilizer levels	2	3.56**	86**	1880 ^{ns}	0.35 ^{ns}	0.04 ^{ns}	169706 ^{ns}
سطوح گوگرد و Thiobacillus Sulfur and Thiobacillus levels	4	3.59**	116**	2171*	1.42**	0.26*	1597083**
کود آلی × گوگرد و Thiobacillus Organic fertilizer × sulfur and Thiobacillus	8	0.205 ^{ns}	53.9**	1097 ^{ns}	0.37*	0.19*	174698 ^{ns}
خطا Error	28	0.15	12.03	760	0.15	0.075	165281
ضرب تغییرات C.V (%)	--	5.3	14.3	13.9	5.2	4.5	12.9

** و * : به ترتیب نشانگر معنی دار بودن در سطح احتمال یک و پنج درصد و ns: عدم وجود اختلاف معنی دار می باشد.
** and *: Indicate significance at the 1% and 5% probability levels, respectively; ns: indicates no significant difference.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی عوامل آزمایشی از نظر صفات مورد بررسی
Table 4- Comparison of the average effects of the main experimental factors in terms of investigated traits

سطوح مختلف کود آلی Different levels of organic fertilizer	تعداد شاخه فرعی در بوته Number of sub-branches per plant	تعداد شاخه فرعی در بوته Number of secondary branches per plant	تعداد کپسول در بوته Number of capsules per plant	تعداد دانه در کپسول The number of seeds in the capsule	وزن هزار دانه Weight of 1000-seeds (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)
شاهد (عدم استفاده از کود آلی) Control (non-use of organic fertilizer)	7.03b	30.56b	185b	7.32a	6.03a	3166a*
شش تن ورمی کمپوست 6 tons of vermicompost	7.97a	34.12a	203ab	7.5a	6.14a	3218a
شش تن کمپوست باگاس نیشکر 6 tons of sugarcane bagasse compost	7.3b	29.53b	206a	7.61a	6.12a	3014a
سطوح گوگرد و Thiobacillus						
Sulfur levels and Thiobacillus						
شاهد (بدون استفاده از گوگرد و Thiobacillus) Control (without using sulfur and Thiobacillus)	6.37c	36.22c	176b	7.08c	5.84b	2711b
۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار 200 kg of sulfur per hectare	7.38b	29.87c	197ab	7.26c	6ab	3085b
۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار 400 kg of sulfur per hectare	7.86a	35.78a	219a	8.09a	6.24a	3059b
۱۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری Thiobacillus	7.66ab	31.94b	198ab	7.37bc	6.17a	2969b
100 kg of sulfur per hectare + Thiobacillus bacteria inoculum						
۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری Thiobacillus	7.91a	33.21a	202ab	7.68b	6.23a	3838a
200 kg of sulfur per hectare + Thiobacillus bacteria inoculum						

* Means sharing a common letter do not differ significantly at the 5% probability level according to the LSD test.
میانگین‌های دارای یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش عوامل آزمایشی از نظر صفت تعداد شاخه فرعی در بوته

Figure 1- Comparisons of the average interaction of the experimental factors in terms of the number of sub-branches in the plant

ستون‌های دارای یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

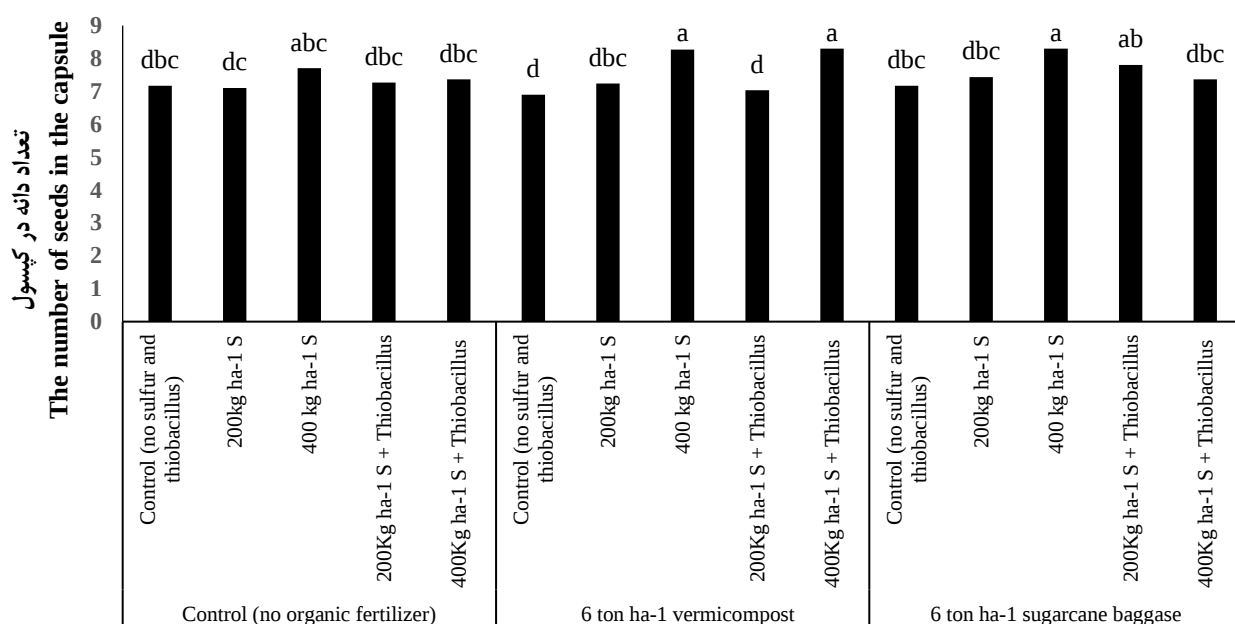
Columns with a common letter do not have a significant difference using the LSD test at the five percent probability level.

تعداد دانه در کپسول

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که صفت تعداد دانه در کپسول تحت تأثیر اثر اصلی سطوح گوگرد و *Thiobacillus* و برهم‌کنش کود آلی × گوگرد و *Thiobacillus* به‌ترتیب در سطح پنج و یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین صفات، بیشترین تعداد دانه در کپسول مربوط به سطوح تیماری ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* توأم با کاربرد شش تن ورمی‌کمپوست (به‌ترتیب با میانگین ۸/۲۷ و ۸/۳۰ دانه)، ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد و ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* توأم با کاربرد شش تن کمپوست باگاس نیشکر (به‌ترتیب با میانگین ۸/۳۰ و ۷/۸۰ دانه در کپسول) و تیمار ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد در شرایط عدم کاربرد کود آلی (۷/۷۰ دانه در کپسول) بود و از این نظر نسبت به سایر سطوح تیماری برتری آماری معنی‌داری داشتند (شکل ۲).

به‌طورکلی، نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر مثبت کاربرد ورمی‌کمپوست توأم با کاربرد سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* بر تعداد دانه در کپسول بود. بر این اساس، مشخص شده است که ظرفیت مخزن‌های گیاه توسط تعداد دانه در کپسول مشخص می‌شود؛ هرچه تعداد دانه‌ها بیشتر باشند، گیاه دارای تعداد مخزن‌های بیشتری برای مواد پرورده تولیدی است و هر

عاملی که این جزء را افزایش دهد باعث افزایش عملکرد نیز خواهد شد. گزارش‌هایی مبنی بر اینکه ورمی‌کمپوست قادر است که فسفر را به‌فرم قابل دسترس برای گیاه تبدیل کند، موجود است و افزایش دسترسی به فسفر از طریق کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش تشکیل اندام زایشی و در نتیجه افزایش بذر در گیاه خواهد شد (Arancon et al., 2004). عزیزی و نعمتی (Nemati & Azizi, 2013) نیز بیان کردند که به‌دلیل اینکه عناصر غذایی موجود در ورمی‌کمپوست برای گیاه بیشتر قابل دسترس است، ورمی‌کمپوست باعث بهبود خصوصیات رشدی، عملکرد و اجزای گیاه می‌شود. همچنین تحقیقات نشان داده است که کاربرد کودهای گوگردی، سطح سبز را افزایش داده و در ادامه باعث افزایش فتوسنتز گیاه شده که به‌نوبه خود در انتقال مواد فتوسنتزی و پُر شدن دانه تأثیر مثبتی دارد. با در نظر گرفتن حضور باکتری‌های *Thiobacillus* در کود زیستی بیوسولفور و توانایی آن‌ها در کاهش pH خاک و تولید هورمون‌های استیک اسید و سیتوکینین می‌توان احتمال داد که این باکتری‌ها از طریق افزایش رشد ریشه‌های جانبی، سطح برگ و ریشه سبب افزایش مواد فتوسنتزی شده که به‌نوبه خود باعث بهبود رشد رویشی و در ادامه افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در کپسول شده است (Poonia, 2000).



شکل ۲- مقایسه میانگین‌های برهم‌کنش عوامل آزمایشی از نظر صفت تعداد دانه در کپسول

Figure 2- Comparisons of the average interaction of the experimental factors in terms of the attribute number of seeds in the capsule

میانگین‌های دارای یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Averages with a common letter do not have a significant difference using the LSD test at the five percent probability level.

وزن هزار دانه

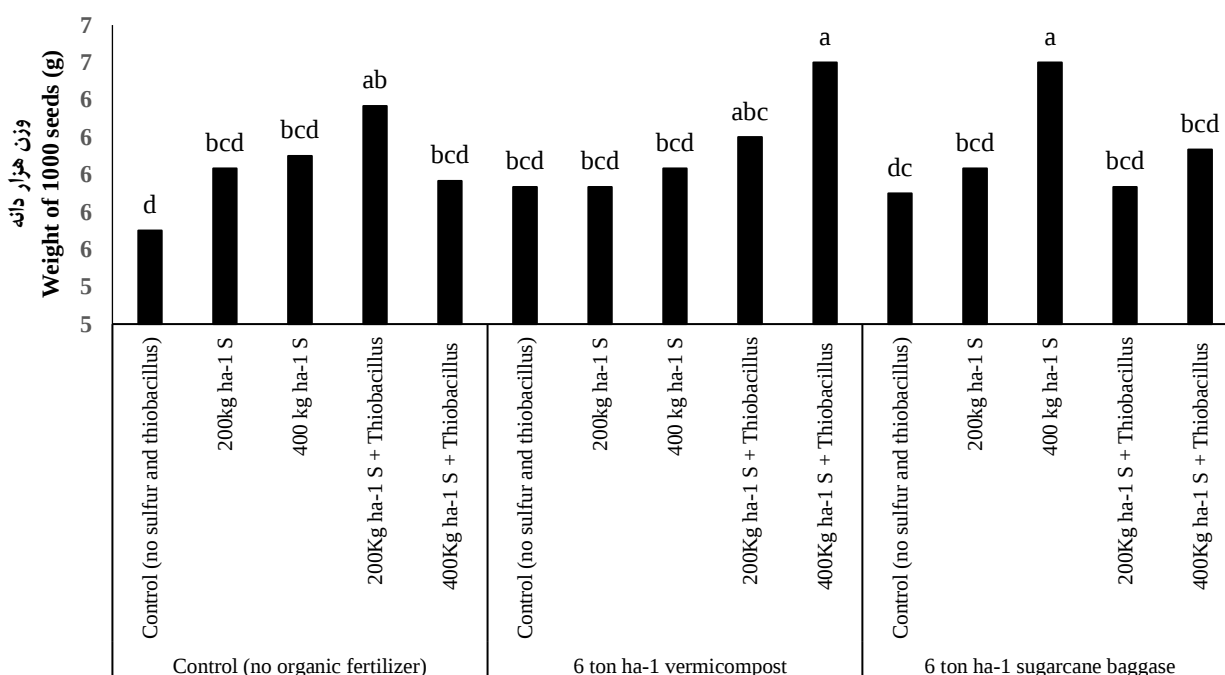
نتایج تجزیه واریانس صفت وزن هزار دانه در جدول ۳ نشان داده شده است. براساس نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی، میانگین وزن هزار دانه تحت تأثیر اثر اصلی سطوح گوگرد و *Thiobacillus* و برهم‌کنش کود آلی × گوگرد و *Thiobacillus* در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش عوامل آزمایشی نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه مربوط به سطوح تیماری ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* توأم با کاربرد شش تن ورمی کمپوست (۶/۶۰ گرم) و ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد توأم با کاربرد شش تن کمپوست باگاس نیشکر (۶/۶۰ گرم) بود که ۱۶ درصد افزایش را نسبت به تیمار عدم کاربرد کود (۵/۷۰ گرم) نشان داد. با این وجود این دو سطح تیماری اختلاف آماری معنی‌داری با سطوح تیماری ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* توأم با کاربرد عدم استفاده از کود آلی (۶/۳۷ گرم) و ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* توأم با کاربرد شش تن ورمی کمپوست (۶/۲۰ گرم) نداشت. به‌طور کلی نتایج نشان داد که کاربرد شش تن ورمی کمپوست و شش تن کمپوست باگاس نیشکر به‌ترتیب منجر به افزایش ۱/۸ و ۱/۴ درصدی وزن هزار دانه نسبت به تیمار عدم کاربرد کود آلی (شاهد) شد (شکل ۳). همچنین سطوح تیماری ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد، ۴۰۰ کیلوگرم

گوگرد، ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* به‌ترتیب منجر به افزایش ۳، ۷، ۶ و ۷ درصدی نسبت به شاهد (بدون استفاده از گوگرد و *Thiobacillus*) گردید (شکل ۳).

به‌طور کلی نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* توأم با کاربرد شش تن ورمی کمپوست بر وزن هزار دانه بود. در این راستا، جهانکار و وهاب (Jashankar & Wahab, 2014) دلیل تأثیر مثبت کمپوست بر وزن هزار دانه را به وجود موادی پیت‌مانند همراه با خلل و فرج، ظرفیت هوا دهی، زهکشی و ظرفیت نگهداری آب بالا که دارای سطوح زیاد برای جذب بالای مواد غذایی می‌باشند، دانستند. هنگامی که نیتروژن کافی در اختیار گیاه قرار گیرد، نیاز به عناصر غذایی اصلی دیگر مانند فسفر و پتاسیم نیز افزایش می‌یابد. این عنصر به رشد سریع گیاه (افزایش ارتفاع و تعداد شاخه‌های فرعی)، افزایش اندازه برگ، تعداد دانه و وزن هزار دانه کمک شایانی می‌کند. بنابراین نیتروژن، تمامی مشخصه‌های مؤثر بر عملکرد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رهمان و همکاران (Rehman et al., 2023) نتیجه گرفتند که ورمی کمپوست از طریق تحریک ریز جانداران مفید خاک و عرضه مداوم و پایدار عناصر معدنی به‌ویژه نیتروژن به گیاه موجب افزایش اجرای عملکرد می‌شوند.

کم مصرف مؤثر واقع شد و در نهایت افزایش وزن هزاردانه را فراهم ساختند (Hassan Belyani et al., 2019). رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2021) نیز بیان کردند که کاربرد توأم گوگرد + بیوسولفور و کاربرد کود شیمیایی گوگرد به صورت جداگانه باعث افزایش وزن هزار دانه کاملینا در مقایسه با شاهد به میزان ۱۵/۷ و ۱۵/۷ درصد شد.

همچنین نتایج این پژوهش حاکی از تأثیر مثبت و معنی دار گوگرد و باکتری *Thiobacillus* بر صفت وزن هزار دانه بود. در این راستا گزارش شده است که گوگرد پس از اکسید شدن در خاک علاوه بر نقش تغذیه ای مستقیم می تواند باعث کاهش موضعی pH خاک شود که این امر به دلیل تولید اسید سولفوریک می باشد. از این رو به صورت غیرمستقیم نیز بر افزایش جذب فسفر و دیگر عناصر غذایی



شکل ۳- مقایسه میانگین های برهم کنش عوامل آزمایشی از نظر صفت وزن هزار دانه

Figure 3- Comparisons of the average interaction of experimental factors in terms of thousand seed weight trait

میانگین های دارای یک حرف مشترک، اختلاف معنی داری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Averages with a common letter do not have a significant difference using the LSD test at the five percent probability level.

اختلاف آماری معنی داری وجود نداشت (جدول ۴).

از دلایل تأثیر مثبت تیمار گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* می توان به این مورد اشاره نمود که احتمالاً ترشح هورمون های محرک رشد گیاه و افزایش جذب عناصر غذایی توسط باکتری های مورد استفاده، به دلیل کاهش دادن pH خاک و جذب احتمالی بیشتر برخی از عناصر غذایی مثل فسفر و پتاسیم، سبب تحریک رشد گیاه، افزایش ماده خشک، افزایش عملکرد و اجزای عملکرد شده است. کودهای زیستی، علاوه بر افزایش فراهمی عناصر غذایی معدنی خاک از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، محلول کردن فسفر، پتاسیم و گوگرد، مهار عوامل بیماری زا و تولید هورمون های تنظیم کننده و محرک رشد گیاه، عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می دهند (Sturz & Christie, 2003). در واقع گزارش شده است که استفاده از بیوسولفور (باکتری های اکسید کننده گوگرد) نیز به علت افزایش جذب برخی عناصر معدنی سبب افزایش فتوسنتز و به تبع آن

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که صفت عملکرد دانه تنها تحت تأثیر اثر اصلی سطوح گوگرد و *Thiobacillus* در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). براساس نتایج تجزیه واریانس صفات آزمایشی، میانگین عملکرد دانه در تیمار شاهد (عدم کاربرد گوگرد و *Thiobacillus*) برابر با ۲۷۱۱ کیلوگرم در هکتار بود که تحت سطوح تیماری ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد، ۴۰۰ کیلوگرم گوگرد، ۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* به ترتیب با مقادیر ۱۴، ۱۳، ۱۰ و ۴۲ درصد افزایش به میانگین ۳۰۸۵، ۳۰۵۹، ۲۹۶۹ و ۳۸۳۸ کیلوگرم در هکتار رسید. بر این اساس مشاهده شد که تیمار ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* بالاترین عملکرد دانه را داشت و از این نظر برتری آماری معنی داری نسبت به سایر سطوح تیماری داشت. در مقابل، بین سایر سطوح تیماری

عملکرد دانه و اجزای عملکرد کتان روغنی شد. با توجه به اینکه در راستای کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای آلی و زیستی مورد توجه می‌باشد، در این پژوهش کودهای آلی ورمی کمپوست و کمپوست باگاس نیشکر و همچنین استفاده از باکتری *Thiobacillus* به‌عنوان کود زیستی در ترکیب با گوگرد توصیه می‌شود. همچنین اگرچه تیمار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد همراه با باکتری *Thiobacillus* از نظر عددی برتری جزئی نسبت به تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نشان داد، اما این تفاوت در سطح احتمال پنج درصد برای اغلب صفات مهم از قبیل عملکرد دانه تعداد شاخه فرعی و وزن هزار دانه از نظر آماری معنی‌دار نبود. بنابراین، با در نظر گرفتن اصل صرفه‌جویی در نهاده‌ها، تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد به همراه مایه‌تلقیح باکتری به‌عنوان گزینه بهینه و قابل توصیه ارائه می‌شود. به‌طور مشابه، اگرچه تیمار ورمی کمپوست عملکرد بهتری را از خود نشان داد، اما اختلاف آماری معنی‌داری بین آن و تیمار کمپوست باگاس نیشکر در شاخص‌های اصلی مانند تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول مشاهده نشد. از آنجاکه هزینه تهیه و تأمین کمپوست باگاس نیشکر به‌طور قابل توجهی پایین‌تر از ورمی کمپوست است، و با استناد به نتایج این تحقیق که برتری قطعی برای ورمی کمپوست اثبات نکرد، کمپوست باگاس نیشکر به‌عنوان یک گزینه مقرون‌به‌صرفه و قابل توصیه برای کشاورزان معرفی می‌گردد. انجام مطالعات دقیق‌تر اقتصادی (تحلیل هزینه-فایده) در آینده می‌تواند این استدلال را تقویت کند.

اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد دانه گردید. در این راستا، بابایی و همکاران (Babaei et al., 2013) بیان کردند که تأثیر مثبت گوگرد و مایه تلقیح *Thiobacillus* بر عملکرد سویا (*Glycin max* L.) می‌تواند به نقش مستقیم عنصر گوگرد در تغذیه گیاه از یک طرف و به تأثیر گوگرد بر pH خاک و انحلال عناصر در خاک‌های آهکی و قلیایی و در نهایت افزایش جذب این عناصر توسط گیاه از طرف دیگر مربوط باشد. نتایج نشان داد که در این پژوهش، وزن هزار دانه، تعداد شاخه و انشعابات فرعی، مهم‌ترین صفات مرتبط با افزایش عملکرد کتان روغنی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر حاکی از تأثیر مثبت کاربرد کود آلی به‌ویژه ورمی کمپوست بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد کتان روغنی بود، به‌طوری که بیشترین وزن هزار دانه و عملکرد دانه، در شرایط کاربرد تیمار شش تن ورمی کمپوست به دست آمد. همچنین در مقایسه سطوح مختلف گوگرد و *Thiobacillus* مشخص شد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* بود. به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار تیمارهای کاربرد ورمی کمپوست در بین سطوح کود آلی و تیمار ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + مایه تلقیح باکتری *Thiobacillus* در بین سطوح گوگرد و باکتری *Thiobacillus* بود که کاربرد تلفیقی این تیمار منجر به بهبود

References

- Anandham, R., Sridar, R., Nalayini, P., Poonguzhali, S., & Madhaiyan, M. J. M. R. (2007). Potential for plant growth promotion in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cv. ALR-2 by co-inoculation of sulfur-oxidizing bacteria and Rhizobium. *Microbiological Research*, 162(2), 139-153. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.02.005>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.014>
- Asadu, C. L. A., & Unagwu, B. O. (2012). Effect of combined poultry manure and inorganic fertilizer on maize performance in an ultisol of south-east Nigeria. *Journal of Soil Science*, 22(1), 79-87.
- Babaei, P., Golchin, A., Basharti, H., & Afzali, M. (2013). Effect of microbial sulfur fertilizer on nutrient uptake and yield of soybean in a calcareous soil. *Iranian Journal of Soil Research*, 26(2), 145-151. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijsr.2012.126366>
- Bhatt, M. K., Labanya, R., & Joshi, H. C. (2019). Influence of long-term chemical fertilizers and organic manures on soil fertility-A review. *Universal Journal of Agricultural Research*, 7(5), 177-188. <https://doi.org/10.13189/ujar.2019.070502>
- Devi, K. N., Singh, L. N. K., Singh, M. S., Singh, S. B., & Singh, K. K. (2012). Influence of sulphur and boron fertilization on yield, quality, nutrient uptake and economics of soybean (*Glycine max*) under upland conditions. *Journal of Agricultural Science*, 4(4), 112-120. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n4p1>
- Deyholos, M. K. (2006). Bast fiber of flax (*Linum usitatissimum* L.): Biological foundations of its ancient and modern uses. *Journal of Plant Sciences*, 54(4), 273-280.
- Esmaili behbahani, R., Fateh, E., & Ayneband, A. (2019). Evaluation of growth characteristics of Flax. (*Linum usitatissimum* L.) with application of organic and nitrogen fertilizers. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(1), 137-150. (In Persian)

9. Haider, K., & Schaffer, A., (2009). Soil Biochemistry. Science Publishers, Enfield. 116 pp.
10. Hassan Belyani, M., Tadayon, M. R., & Fadaei Tehrani, A. A. (2019). Investigating some growth and performance characteristics of camelina under the influence of biological and chemical fertilizers. *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products*, 10(1), 39-52. (In Persian). <http://dx.doi.org/10.47176/jcpp.10.1.209111>
11. Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (1999). Soil Fertility and Fertilizers Prentice Hall. New Jersely, p. 345-355.
12. Hu, Z. Y., Zhao, F. J., & McGrath, S. P. (2005). Sulphur fractionation in calcareous soils and bioavailability to plants. *Plant and Soil*, 268, 103-109. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-0229-0>
13. Jashankar, S. and Wahab, K. (2014). Effect of integrated nutrient management on the growth, yield components and yield of Sesame. Department of Agronomy, Annamalai University, Annamalainagar, 602-608.
14. Kopriva, S., Malagoli, M., & Takahashi, H. (2019). Sulfur nutrition: Impacts on plant development, metabolism, and stress responses. *Journal of Experimental Botany*, 70(16), 4069-4073. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz319>
15. Lafond, G. P., Irvine, B., Johnston, A. M., May, W. E., McAndrew, D. W., Shirliffe, S. J., & Stevenson, F. C. (2008). Impact of agronomic factors on seed yield formation and quality in flax. *Canadian Journal of Plant Science*, 88(3), 485-500. <https://doi.org/10.4141/CJPS07112>
16. Nemati, H., & Azizi, M. (2013). The effect of different levels of vermicompost and plant density on growth and development factors, seed yield and oil content of evening primrose medicinal plant. *Plant Products*, 36(2), 23-34. (In Persian)
17. Pali, V., & Mehta, N. (2014). Evaluation of oil content and fatty acid compositions of flax (*Linum usitatissimum* L.) varieties of India. *Journal of Agricultural Science*, 6(9), 198. <https://doi.org/10.5539/jas.v6n9p198>
18. Poonia, K. L. (2000). Effect of planting geometry, nitrogen and sulfur on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Eco-Physiology*, 3(1/2), 59-71. (In Persian)
19. Pramanik, P., Ghosh, G. K., Ghosal, P. K., & Banik, P. (2007). Changes in organic-C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. *Bioresource Technology*, 98(13), 2485-2494. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.017>
20. Prasad, R., & Shivay, Y. S. (2018). Sulphur in soil, plant and human nutrition. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 88, 429-434. <https://doi.org/10.1007/s40011-016-0769-0>
21. Rahimi, A., Khals Ro, Sh., Wafaahed, F., & Zarei, S. (2021). The effect of organic fertilizers and humic acid on the absorption of NPK elements in the medicinal plant fennel. The Fifth National Conference on the Development of New Technologies in Medicinal Plants, Chemistry and Biology of Iran, Tehran, Iran.
22. Rehman, S. U., De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., & Fanizzi, F. P. (2023). Vermicompost: Enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress. *Agronomy*, 13(4), 1134. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041134>
23. Sharma, A., & Chetani, R. (2017). A review on the effect of organic and chemical fertilizers on plants. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 5, 677-680. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2017.2103>
24. Shojaeian Kish, F., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M., Salehi, A., & Hamidian, M. (2021). Improvement of physiological characteristics and nutrient uptake of linseed (*Linum usitatissimum*) with biofertilizers application under irrigation withholding at different growth stages. *Journal of Plant Process and Function*, 12(44), 67-76. (In Persian). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.44.9.5>.
25. Solomon, W. G. O., Ndana, R. W., & Abdulrahim, Y. (2012). The comparative study of the effect of organic manure cow dung and inorganic fertilizer NPK on the growth rate of maize (*Zea mays* L.). *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 2, 516-519.
26. Sturz, A. V., & Christie, B. R. (2003). Beneficial microbial allelopathies in the root zone: The management of soil quality and plant disease with rhizobacteria. *Soil and Tillage Research*, 72(2), 107-123. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00082-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00082-5)
27. Tadayon, A., Tarabian, Sh., & Tedin, M. (2013). Effect of plant density on yield and quality of four commercial edible linseeds. *Bezra'i Agriculture*, 15(1), 15-26. <https://doi.org/10.22059/jci.2013.35719>
28. Wu, X. Q., Hou, L. L., Sheng, J. M., Ren, J. H., Zheng, L., Chen, D., & Ye, J. R. (2012). Effects of ectomycorrhizal fungus *Boletus edulis* and mycorrhiza helper *Bacillus cereus* on the growth and nutrient uptake by *Pinus thunbergii*. *Biology and Fertility of Soils*, 48, 385-391. <https://doi.org/10.1007/s00374-011-0638-1>
29. Yang, L., Zhao, F., Chang, Q., Li, T., & Li, F. (2015). Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. *Agricultural Water Management*, 160, 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.002>