University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Effects of Micronutrient and Vermicompost on the Quantitative Traits and Fatty Acid Composition of Borage (*Borago officinalis* L.)

Nabaz Abbasi[1] | Shiva Khalesro[2]✉ | Erfan Daneshi[3]

1. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: nabaz.abbasi@uok.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: sh.khalesro@uok.ac.ir
3. Cellular and Molecular Research Center, Research Institute for Health Development, Faculty of Medicine, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran. E-mail: daneshi.e@muk.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 13 May 2023
Received in revised form
21 October 2024
Accepted 15 November 2024
Published online 30 December 2024

Keywords:
Medicinal plant
Oil yield
Organic fertilizer
Sustainable agriculture

ABSTRACT

Objective: This study was conducted in 2018 to investigate the effect of vermicompost and micronutrients on the quantitative and qualitative characteristics of borage (*Borago officinalis* L.).

Methods: The field experiment with a factorial layout was conducted using a randomized complete block design with three replications at the Research Field of the University of Kurdistan. The experimental treatments included three levels of vermicompost (0, 5 and 10 ton/ha) and four levels of foliar application of micronutrient elements: control (no foliar application), iron sulfate (three parts per thousand), zinc sulfate (two per thousand) and manganese sulfate (three per thousand).

Results: The results showed that the highest values of plant height (57.0 cm), flowering branches (34.0), height of the first flowering branch (12.8 cm), leaves number (145.5), seed number per plant (217.6), 1000 seed weight (12.1 g), biological yield (621.0 kg/ha), seed yield (42.1 kg/ha) and dry flower yield (2.2 Kg/ha) were observed in the integrated treatment of vermicompost (10 t/ha) and zinc sulfate. Also, the highest amount of oil content (19.2 %), and oil yield (7.5 kg/ha) belonged to the integrated treatment of the third level of vermicompost and zinc sulfate. The main components of fatty acids were linoleic, oleic, and gamma-linolenic acid.

Conclusion: Overall, the integrated application of vermicompost and micronutrients especially zinc sulfate could enhance the yield and oil quality of *Borago officinalis* L.

Cite this article: Abbasi, N., Khalesro, Sh., & Daneshi, E. (2024). Effects of Micronutrient and Vermicompost on the Quantitative Traits and Fatty Acid Composition of Borage (*Borago officinalis* L.). *Journal of Crops Improvement*, 26 (4), 843-860. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.359178.2813

© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.359178.2813

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

تأثیر عناصر ریزمغذی و ورمی‌کمپوست بر خصوصیات کمی و ترکیب اسیدهای چرب گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.)

نبز عباسی[۱] | شیوا خالص‌رو[۲]✉ | عرفان دانشی[۳]

۱. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: nabaz.abbasi@uok.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: sh.khalesro@uok.ac.ir

۳. مرکز تحقیقات سلولی مولکولی، پژوهشکده توسعه سلامت، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: daneshi.e@muk.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

کلیدواژه‌ها:

عملکرد روغن

کشاورزی پایدار

کود آلی

گیاه دارویی

چکیده

هدف: این مطالعه با هدف بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست و عناصر ریزمغذی بر خصوصیات کمی و کیفی گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.)، در سال ۱۳۹۸ انجام شد.

روش پژوهش: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح ورمی‌کمپوست (صفر، پنج و ۱۰ تن در هکتار) و چهار سطح محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی شاهد (بدون محلول‌پاشی)، سولفات‌آهن (غلظت سه در هزار)، سولفات‌روی (غلظت دو در هزار) و سولفات‌منگنز (غلظت سه در هزار) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته گاوزبان (۵۷ سانتی‌متر)، تعداد شاخه گل‌دهنده (۳۴)، ارتفاع اولین شاخه گل‌دهنده (۱۲/۸ سانتی‌متر)، تعداد برگ (۱۴۵/۵)، تعداد دانه (۲۱۷/۶)، وزن هزاردانه (۱۲/۱ گرم)، عملکرد بیولوژیک (۶۲۱ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد دانه (۴۲/۱ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد گل خشک (۲/۱۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار تلفیقی محلول‌پاشی با سولفات‌روی و کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست مشاهده گردید. هم‌چنین بیش‌ترین محتوای روغن دانه (۱۹/۱۶ درصد) و عملکرد روغن (۷/۵ کیلوگرم در هکتار) متعلق به تیمار تلفیقی محلول‌پاشی سولفات‌روی و سطح سوم ورمی‌کمپوست بود. بیش‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده روغن به‌ترتیب مربوط به اسیدهای چرب لینولئیک، اولئیک و گامالینولنیک اسید بود.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، کاربرد توأم ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی به‌ویژه سولفات‌روی می‌تواند سبب افزایش عملکرد و بهبود کیفیت روغن گاوزبان اروپایی گردد.

استناد: عباسی، نبز؛ خالص‌رو، شیوا و دانشی، عرفان (۱۴۰۳). تأثیر عناصر ریزمغذی و ورمی‌کمپوست بر خصوصیات کمی و ترکیب اسیدهای چرب گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.). *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۶ (۴)، ۸۴۳-۸۶۰. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.359178.2813

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

با توجه به اثرات مخرب کودهای شیمیایی بر پایداری سیستم و کیفیت محصولات تولیدی، استفاده از نهاده‌های جایگزین در قالب سیستم‌های کشاورزی پایدار، امری ضروری است. در این میان اهمیت کیفیت گیاهان دارویی که به‌طور مستقیم با سلامت انسان در ارتباط هستند دوچندان می‌باشد. گاوزبان اروپایی با نام علمی (*Borago officinalis* L.) متعلق به گونه Boraginaceae، گیاهی دارویی، علفی و یک‌ساله متعلق به تیره گاوزبان می‌باشد. برگ‌های این گیاه ساده و پوشیده از کرک است و گل‌های آن به رنگ آبی یا کم و بیش ارغوانی می‌باشد. میوه این گیاه فندقه است که حالت چین‌دار و تخم‌مرغی دارد. فندقه‌های رسیده، تیره رنگ و فاقد آلبومن هستند. این گیاه دارای خواص دارویی متعددی است (دومینگز[1] و همکاران، ۲۰۱۸). مواد مؤثره آن به‌عنوان ضد اسپاسم، ضد فشار خون، مقوی و تسکین‌دهنده کاربرد دارد و برای درمان آسم، برونشیت،گرفتگی عضلات، تپش قلب و بیماری‌های کلیوی مفید است (گیلبرتسن[2] و همکاران، ۲۰۱۴). بذور گیاه گاوزبان دارای روغن است که روغن آن حاوی یکی از اسیدهای چرب غیراشباع کمیاب به نام گاما- لینولنیک اسید می‌باشد که ارزش دارویی بالایی دارد (اسدی- سامانی[3] و همکاران، ۲۰۱۴)، و در درمان اگزما، دیابت، بیماری‌های قلبی و اماس کاربرد دارد (لارنس[4]، ۲۰۱۹).

کود آلی ورمی‌کمپوست یک مجموعه فعال زیستی از تجمع آنزیم‌ها، باکتری‌ها، بقایای گیاهی، کود دامی و پسماندهای کرم خاکی است که در طی یک فرایند غیرحرارتی و هوازی تشکیل می‌شود. ورمی‌کمپوست علاوه بر این‌که باعث تجزیه مواد آلی موجود در خاک می‌شود، فعالیت‌های میکروبی را در بستر کشت گیاه افزایش می‌دهد. جذب رطوبت، ظرفیت نگهداری آب، تخلخل و قابلیت زهکشی در خاک حاوی ورمی‌کمپوست بیش‌تر بوده و هم‌چنین افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی نظیر نیترات، فسفر، کلسیم، آهن، منگنز، منیزیم و پتاسیم در فرم قابل جذب برای گیاه از جمله ویژگی‌های ورمی‌کمپوست می‌باشد. به عبارت دیگر در این نوع کود، فراهمی عناصر غذایی قابل دسترس برای گیاه بیش‌تر از سایر کودها است (جابین[5] و احمد[6]، ۲۰۱۹). از دیگر اثرات مثبت ورمی‌کمپوست بر خاک و گیاه می‌توان به جلوگیری از آبشویی نیتروژن، حفظ و نگهداری عناصر غذایی موجود در خاک، تعدیل اثرات منفی تنش خشکی، تنظیم pH خاک و افزایش تهویه خاک اشاره کرد (رضوانی و همکاران، ۱۴۰۰). آهن، روی و منگنز از عناصر ریزمغذی هستند که با تأثیر بر فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، نقش حیاتی را در گیاهان ایفا می‌کنند. علاوه بر این، افزایش محتوای رنگدانه‌ها، اسیدهای آمینه کل آزاد، کربوهیدارت‌ها، پروتئین‌ها و ریزمغذی‌ها، به‌واسطه استفاده از کودهای آهن، روی و منگنز گزارش شده است (ال- فولی[7] و همکاران، ۲۰۲۰).

در این راستا برای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار و رویکرد به سمت تولید گیاهان دارویی با کیفیت بالاتر، پژوهش حاضر جهت ارزیابی تأثیر ورمی‌کمپوست و عناصر ریزمغذی بر خصوصیات کمی و کیفی گاوزبان و ترکیبات روغن آن انجام شد.

1. Dominguez
2. Gilbertson
3. Asadi-samani
4. Laurence
5. Jabeen
6. Ahmad
7. El-Fouly

۲. پیشینهٔ پژوهش

در مطالعه‌ای، تأثیر برخی از محرک‌های زیستی و عناصر کم‌مصرف و اثر متقابل آن‌ها بر رشد رویشی، عملکرد، تولید اسانس و ترکیبات شیمیایی گیاه دارویی مرزنجوش موردبررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که محلول‌پاشی ریزمغذی‌ها موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، طول ریشه و میزان عناصر نیتروژن، پتاسیم، آهن، روی و منگنز شد (حنفی[1] و همکاران، ۲۰۱۸). در پژوهش دیگری که به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد عناصر ریزمغذی، آهن و روی بر گلدهی، عملکرد گل و تولید اسانس بابونه آلمانی انجام شد، نتایج نشان داد که با کاربرد محلول آهن+ روی تعداد گل، عملکرد گل، محتوای اسانس و عملکرد اسانس در مقایسه با شاهد از افزایش معنی‌داری برخوردار بود (نصیری[2] و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج پژوهشی حاکی از اثر مثبت ورمی‌کمپوست بر عملکرد گاوزبان اروپایی بود (رجایی و همکاران، ۱۳۹۷). در پژوهشی دیگر که به‌منظور بررسی ارزیابی تأثیر کودهای ورمی‌کمپوست و ورمی‌واش بر صفات گیاه شنبلیله انجام گرفت گزارش شد که استفاده از ورمی‌کمپوست موجب افزایش طول غلاف، عرض غلاف، عملکرد دانه، درصد اسانس و عملکرد دانه نسبت به ورم مایع شد. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر در تمام صفات به‌جز طول غلاف به‌ترتیب مربوط به مقادیر ۱۵ و پنج تن ورمی‌کمپوست در هکتار بود. به‌طور کلی، این آزمایش نشان داد که کلیه صفات ارزیابی‌شده در این مطالعه نسبت به کاربرد کودهای ورمی‌کمپوست و ورمی‌واش واکنشی مثبت داشتند، اما تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر گیاه شنبلیله نسبت به ورمی‌واش بیش‌تر بود (تدین[3] و همکاران، ۲۰۱۸). نتایج پژوهش دیگری حاکی از بهبود صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گل گاوزبان ایرانی تحت تأثیر کودهای آلی از جمله ورمی‌کمپوست بود (فرجی و پورسخی، ۱۳۹۷؛ یازرلو و همکاران، ۱۴۰۱). سایر پژوهش‌گران نیز افزایش محتوا و عملکرد روغن گاوزبان اروپایی تحت تأثیر ورمی‌کمپوست را گزارش کرده‌اند (ال-رحمان[4] و همکاران، ۲۰۲۳).

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان با ارتفاع ۱۸۶۶ متر از سطح دریا و مختصات جغرافیایی ۴۵/۳۷ درجه شرقی و ۳۵/۸ درجه شمالی انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (شاهد، سولفات‌آهن با غلظت سه در هزار، سولفات‌روی با غلظت دو در هزار و سولفات‌منگنز با غلظت سه در هزار) بود. قبل از کاشت و تهیه بستر بذر، از شش نقطه خاک مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت و پس از تهیه نمونه مرکب، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین گردید (جدول ۱). نتایج آنالیز ورمی‌کمپوست مورداستفاده نیز در جدول (۲) ذکر گردیده است. بذر گاوزبان اروپایی از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. پس از آماده‌سازی زمین، کاشت گیاه به‌صورت دستی در تاریخ ۱۳۹۸/۲/۲۴ انجام شد.

در هر کرت آزمایشی، شش ردیف گاوزبان به طول چهار متر و با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۲ سانتی‌متر کشت گردید (حسنوند و همکاران، ۱۳۹۹). فاصله بین کرت‌ها یک متر و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. ورمی‌کمپوست قبل از کاشت به خاک تیمارهای مربوطه اضافه گردید. اعمال تیمارهای محلول‌پاشی دو بار در طول دوره رویش (در مرحله ۶-۸ برگی و قبل از گلدهی) توسط سم‌پاش دستی انجام شد. آبیاری به‌صورت بارانی و هفتگی و

1. Hanafy
2. Nasiri
3. Tadayyon
4. El-Rahman

وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد. برای اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد، از هر کرت به‌صورت تصادفی پنج بوته انتخاب شد و جهت سنجش عملکرد، با درنظرگرفتن اثر حاشیه، یک مترمربع از هر کرت برداشت گردید.

روغن نمونه‌های بذری با استفاده از سوکسله و حلال هگزان استخراج گردید (لیال[1] و همکاران، ۲۰۰۹). برای آنالیز اسیدهای چرب از مخلوط نمونه‌های هر تیمار استفاده شد. ابتدا روغن نمونه‌ها به متیل‌استر تبدیل گردید. برای این کار یک گرم از روغن استخراجی در یک ارلن ۵۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و حرارت داده شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر متانول به آن اضافه گردید. پس از به جوش‌آمدن ۲۰ میلی‌لیتر محلول تری‌فلورید بور به آن افزوده شد و به‌مدت یک ساعت عمل رفلکس ادامه یافت. بعد از خنک‌شدن نمونه ۲۰ میلی‌لیتر هگزان اضافه گردید و به‌مدت ۱۵ دقیقه توسط مگنت به هم زده شد. سپس محتویات ارلن درون قیف دکانتور ریخته شد. بعد از تخلیه بخش زیرین، بخش فوقانی که متیل‌استر بود سه مرتبه با آب مقطر شست‌وشو داده شد. پس از رطوبت‌گیری نمونه‌ها با سولفات‌سدیم، برای تشخیص اسیدهای چرب، نمونه‌ها به دستگاه کروماتوگرافی گازی GC (مدل Agilent-6890، ساخت کشور امریکا) تزریق شدند. دستگاه مجهز به دریچه تزریق کاپیلاری، ستون کاپیلاری ویژه اسیدهای چرب، به طول ۶۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌لیتر وآشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای (FID)[2] بود. دمای اولیه آون ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد بود و به‌مدت ۵ دقیقه در این دما قرار گرفت و دمای نهایی ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد بود. گاز حامل، نیتروژن بود. دمای آشکارساز در ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد.

تجزیه آماری براساس مدل آماری طرح‌های مورداستفاده توسط نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)[3] استفاده شد. نمودارها توسط نرم‌افزار Excel رسم گردید.

جدول ۱. ویژگی‌های خاک محل آزمایش

مس	منگنز	آهن	روی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	ماده آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	بافت	
(میلی‌گرم بر کیلوگرم)						(درصد)		(دسی‌زیمنس برمتر)			
۱/۶۵	۸/۶۱	۵/۳	۲/۱	۳۲۰	۱۳/۵	۰/۰۹	۰/۷۶	۰/۴۴	۷/۴۲	لومی رسی	خاک

جدول ۲. ویژگی‌های ورمی‌کمپوست مورداستفاده در آزمایش

کلسیم	مس	منگنز	آهن	روی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	ماده آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	
(درصد)						(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	(درصد)		(دسی‌زیمنس برمتر)		
۲/۸	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۵۲	۰/۱۸	۰/۹۸	۰/۷۶	۰/۹	۱۶/۶۹	۱/۱۲	۷/۹۵	ورمی‌کمپوست

۴. یافته‌های پژوهش

اثر متقابل ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر صفات مورفولوژیک، اجزای عملکرد، عملکرد و روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

1. Leal
2. Flame Ionization Detector
3. Least Significant Difference

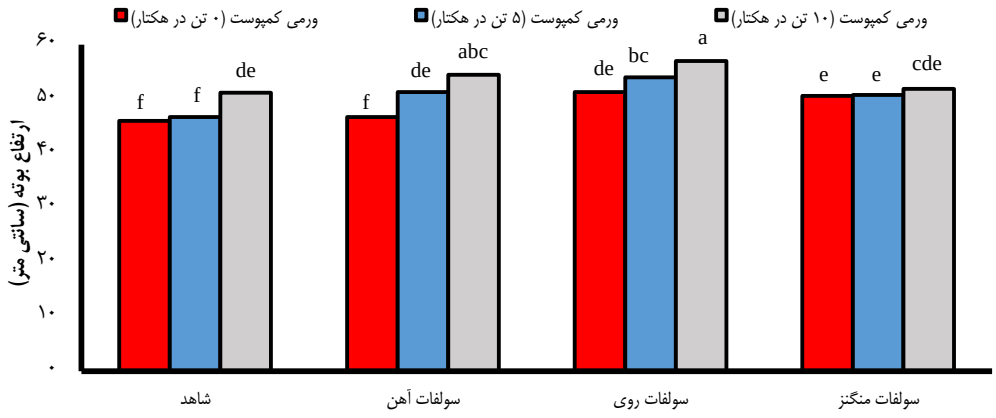
جدول ۳. تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر ویژگی‌های مورفولوژیک، عملکرد و روغن گاوزبان اروپایی

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		ارتفاع بوته	تعداد شاخه گل‌دهنده	ارتفاع اولین شاخه گل‌دهنده	تعداد برگ	تعداد دانه در بوته	وزن هزاردانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	عملکرد گل خشک	محتوای روغن	عملکرد روغن
تکرار	۲	۲/۶۹^{ns}	۳/۵۲^{ns}	۱/۳۶^{ns}	۱۱/۱^{ns}	۳۰/۳^{ns}	۰/۳*	۲۸۹/۳^{ns}	۰/۴۱^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	/۳۱*	۰/۰۰۸^{ns}
ورمی‌کمپوست	۲	۲۶/۸۶**	۴۳/۳۶**	۱۵/۳**	۲۴۳۷**	۱۱۹۹/۶**	۰/۵۸**	۹۹۳۰۹**	۴۷/۵**	۰/۶۷**	۰/۵۶**	۱/۰۲**
محلول‌پاشی	۳	۵۴/۱۴**	۴۹/۴۳**	۳۴/۵**	۱۶۲۸**	۵۱۲/۷**	۰/۶۲**	۲۹۶۵/۴**	۳۲/۹**	۰/۴۳**	۰/۴۷**	۱/۵۸**
اثر متقابل	۶	۲۶/۵۶**	۷۲/۳۲**	۱۰/۶**	۱۴۴۱**	۱۱۹۷**	۰/۵۵**	۷۳۷۸/۶**	۶۷/۱**	۰/۱۳**	۰/۵۸**	۲/۵۶**
خطا	۲۲	۳/۳	۱/۹۸	۰/۹۶	۷/۵	۱۷/۶۷	۰/۰۷۶	۱۸۲/۵	۱/۶۴	۰/۰۰۳	۰/۰۷	۰/۰۴۸
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۶	۵/۲	۹/۹	۲/۵	۲/۲	۲/۵	۱۳/۲	۱۳/۷	۱۳/۶	۱/۶	۱۳/۵

ns غیر معنی‌دار، * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

۴. ۱. ارتفاع بوته

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش حاضر ارتفاع بوته گاوزبان تحت تأثیر اثر متقابل محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و ورمی‌کمپوست در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته (۵۷ سانتی‌متر) در تیمار تلفیقی ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار و محلول‌پاشی سولفات‌روی مشاهده شد که با تیمار تلفیقی ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و سولفات‌آهن تفاوت معنی‌داری نداشت. کاربرد سولفات‌منگنز نیز در تلفیق با ورمی‌کمپوست سبب افزایش ارتفاع بوته گاوزبان در مقایسه با کاربرد جداگانه ورمی‌کمپوست بر این صفت گردید. کم‌ترین ارتفاع بوته معادل (۴۶ سانتی‌متر) در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۱).

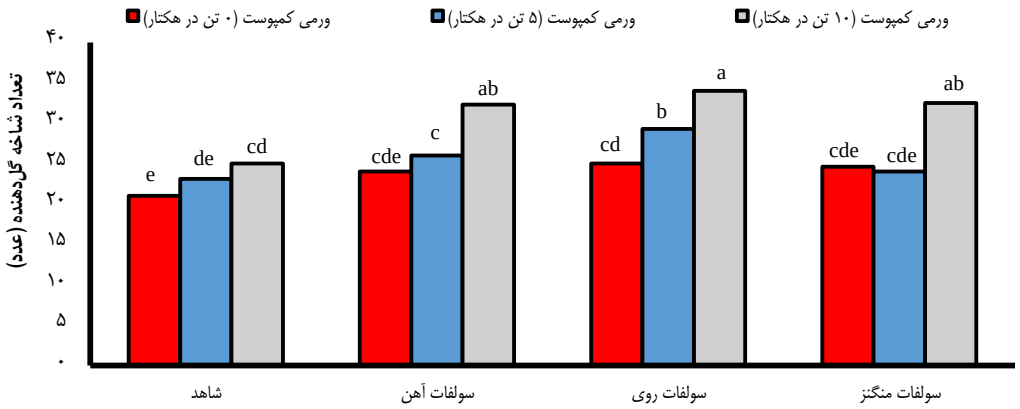


شکل ۱. اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر ارتفاع بوته گاوزبان

۴. ۲. تعداد شاخه گل‌دهنده

کاربرد ورمی‌کمپوست در همه تیمارهای محلول‌پاشی موجب افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده شد به نحوی‌که بیش‌ترین (۳۴ شاخه) و کم‌ترین (۲۱ شاخه) تعداد شاخه گل‌دهنده گاوزبان به‌ترتیب در تیمار کاربرد ۱۰ تن در هکتار

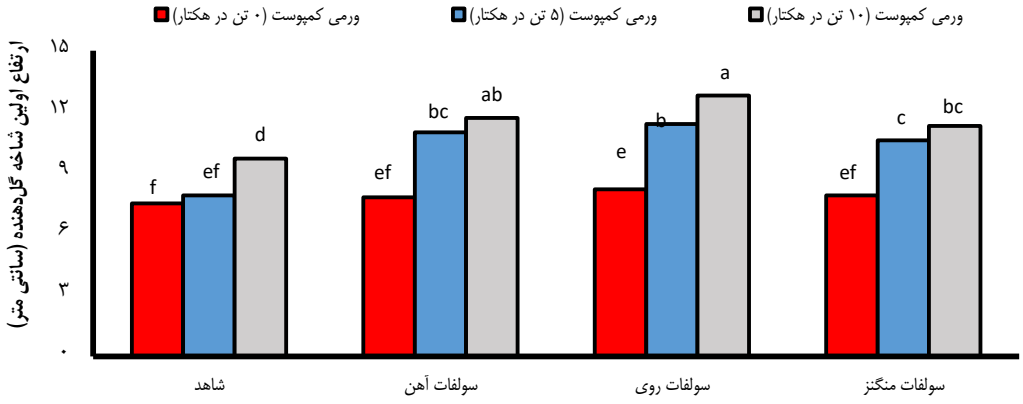
ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی سولفات‌روی و تیمار شاهد شد. کاربرد سولفات‌منگنز با سولفات‌روی در تلفیق با ۱۰ تن ورمی‌کمپوست فاقد اختلاف معنی‌دار با یکدیگر بودند و موجب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه گل‌دهنده در مقایسه با تیمار شاهد شدند. محلول‌پاشی سولفات‌منگنز در سطوح پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست فاقد اختلاف معنی‌دار به لحاظ آماری بودند (شکل ۲).



شکل ۲. اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر تعداد شاخه گل‌دهنده گاوزبان

۴. ۳. ارتفاع اولین شاخه گل‌دهنده

نتایج مقایسه میانگین داده‌های آزمایش نشان داد که در همه تیمارهای محلول‌پاشی با افزایش سطوح ورمی‌کمپوست مورداستفاده، ارتفاع اولین شاخه گل‌دهنده افزایش یافت. بالاترین ارتفاع اولین شاخه گل‌دهنده معادل (۱۲/۸ سانتی‌متر) در سطح سوم ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی سولفات‌روی و کم‌ترین ارتفاع اولین شاخه گل‌دهنده معادل (۷/۵ سانتی‌متر) در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۳).

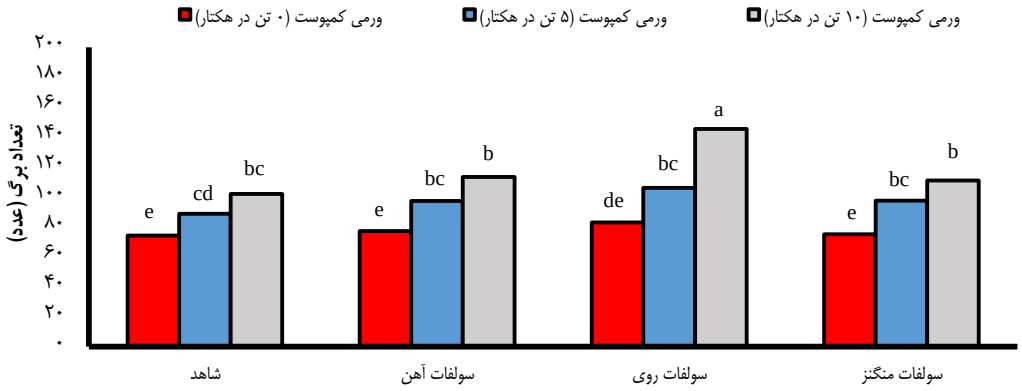


شکل ۳. اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر ارتفاع اولین شاخه گل‌دهنده گاوزبان

۴. ۴. تعداد برگ

افزایش سطوح کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش تعداد برگ در همه تیمارهای محلول‌پاشی شد، به نحوی‌که

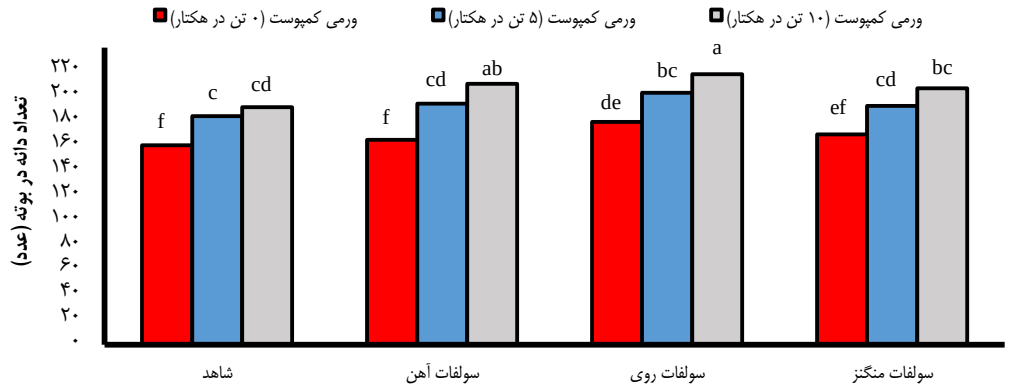
بیش‌ترین تعداد برگ در بوته گاوزبان معادل (۱۴۵/۵) به تیمار تلفیقی ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی با سولفات‌روی و کم‌ترین تعداد برگ بوته (۷۴/۳) در تیمار شاهد تعلق داشت (شکل ۴).



شکل ٤. اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر تعداد برگ گاوزبان

۴. ۵. تعداد دانه در بوته

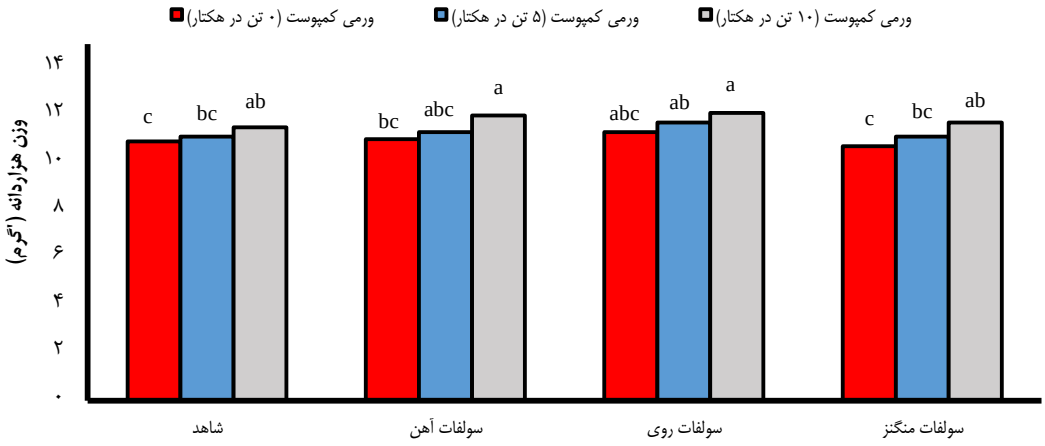
روند افزایشی تعداد دانه در همه تیمارهای محلول‌پاشی توأم با افزایش سطوح ورمی‌کمپوست مشاهده شد، به نحوی‌که در همه تیمارها کم‌ترین تعداد دانه در تیمار شاهد و بیش‌ترین تعداد آن در تیمارهای تلفیقی با کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست مشاهده شد که بیش‌ترین آن (۲۱۷/۶) به تیمار کاربرد توأم سطح سوم ورمی‌کمپوست و سولفات‌روی تعلق داشت. محلول‌پاشی سولفات‌آهن و منگنز در تلفیق با پنج تن ورمی‌کمپوست در هکتار فاقد اختلاف معنی‌دار بودند (شکل ۵).



شکل ۵. اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر تعداد دانه در بوته گاوزبان

۴. ۶. وزن هزاردانه

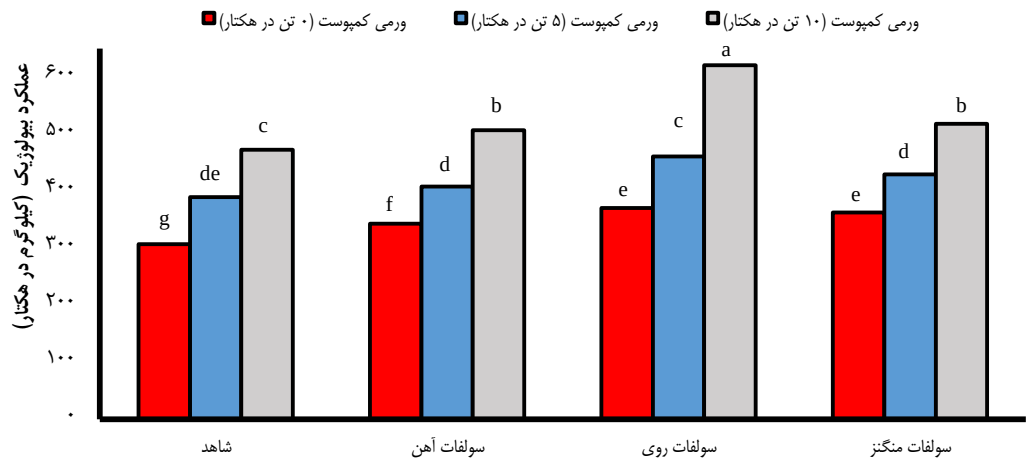
بررسی نتایج مقایسه میانگین داده‌های آزمایش حاضر نشان داد که بیش‌ترین وزن هزاردانه گاوزبان (۱۲/۱ گرم) در تیمار محلول‌پاشی سولفات‌روی و سطح سوم ورمی‌کمپوست مشاهده شد. البته وزن هزاردانه در تیمار محلول‌پاشی سولفات آهن و ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار معادل (۱۲ گرم) بود که با تیمار مذکور در گروه آماری مشابه قرار گرفتند (شکل ۶).



شکل ٦. اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر وزن هزاردانه گاوزبان

۴. ۷. عملکرد بیولوژیک

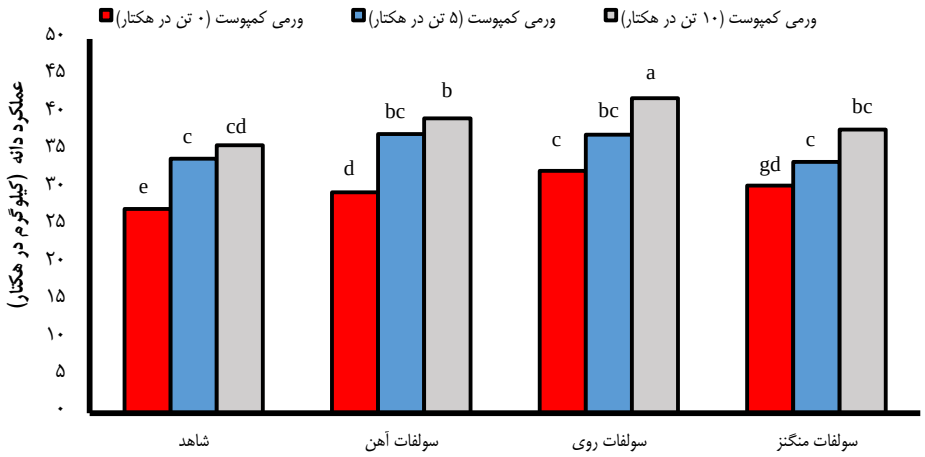
بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک متعلق به تیمار محلول‌پاشی سولفات‌روی و ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار بود. کاربرد ورمی‌کمپوست در هر دو سطح مورد آزمایش (پنج و ۱۰ تن در هکتار) موجب افزایش معنی‌دار عملکرد در مقایسه با عدم کاربرد ورمی‌کمپوست در همه تیمارهای محلول‌پاشی گردید. کم‌ترین عملکرد بیولوژیک نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۷).



شکل ۷. اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر عملکرد بیولوژیک دانه گاوزبان

۴. ۸. عملکرد دانه

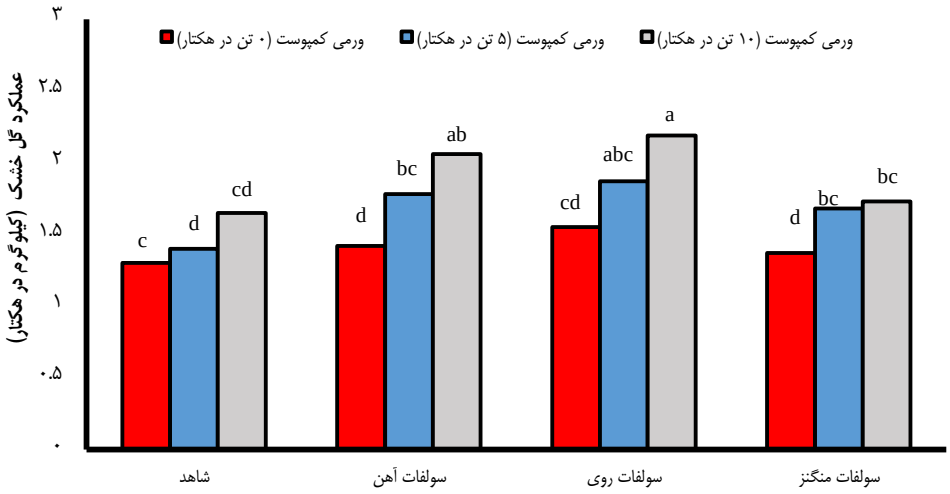
نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تلفیق ورمی‌کمپوست با محلول‌پاشی سولفات‌روی و منگنز و عدم محلول‌پاشی موجب افزایش عملکرد دانه در مقایسه با عدم کاربرد ورمی‌کمپوست شد. بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمار تلفیقی محلول‌پاشی سولفات‌روی و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۸).



شکل ۸. اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر عملکرد دانه گاوزبان

۴. ۹. عملکرد گل خشک

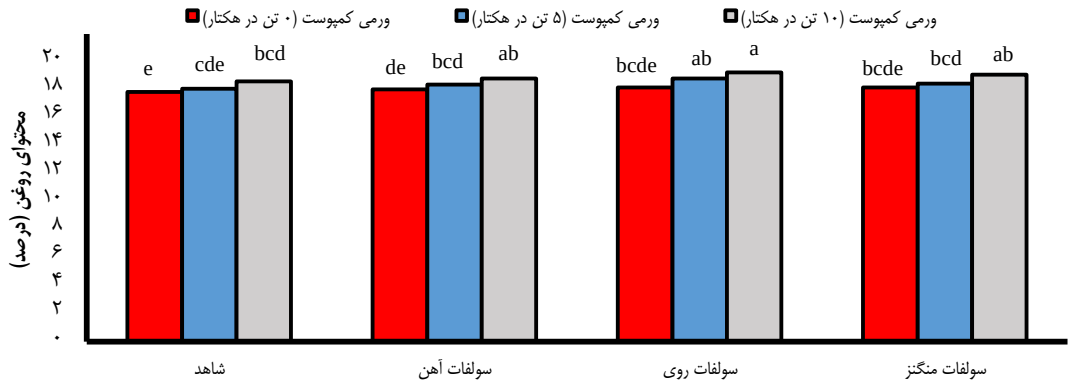
نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمایش حاضر نشان داد که افزایش سطوح ورمی‌کمپوست مورداستفاده در همه تیمارهای محلول‌پاشی موجب افزایش عملکرد گل خشک شد، به نحوی‌که بیش‌ترین عملکرد گل خشک معادل ۲/۱۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار محلول‌پاشی سولفات‌روی و سطح سوم ورمی‌کمپوست و کم‌ترین عملکرد گل خشک معادل ۱/۳ کیلوگرم در هکتار در تیمار شاهد حاصل گردید (شکل ۹).



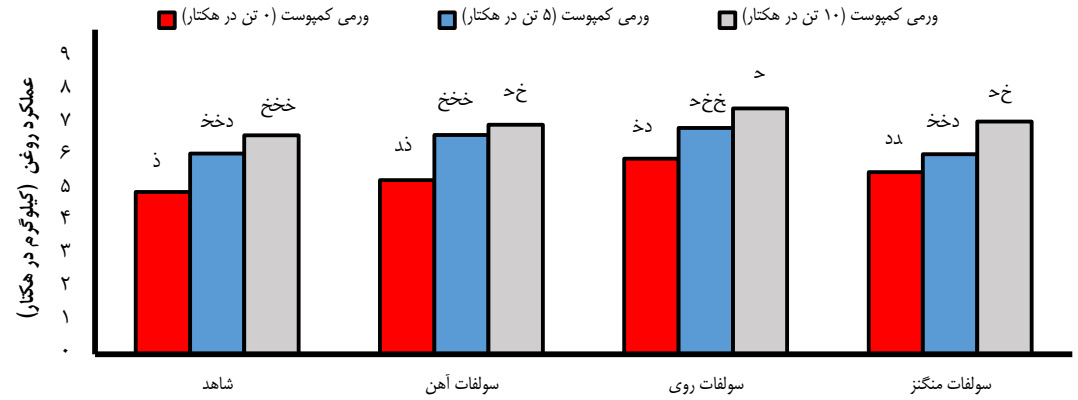
شکل ۹. اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر عملکرد گل خشک گاوزبان

۴. ۱۰. درصد و عملکرد روغن

با افزایش سطوح ورمی‌کمپوست در همه تیمارهای محلول‌پاشی مورد آزمایش درصد روغن دانه گاوزبان افزایش داشت. بررسی مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیش‌ترین درصد و عملکرد روغن در تیمار محلول‌پاشی سولفات‌روی و ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کم‌ترین آن‌ها در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل‌های۱۰ و ۱۱).



شکل ۱۰. اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر درصد روغن گاوزبان



شکل ۱۱. اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر عملکرد روغن گاوزبان

۴. ۱۱. آنالیز اسیدهای چرب

نتایج حاصل از آنالیز اسیدهای چرب روغن گاوزبان اروپایی نشان‌دهنده بهبود کیفیت روغن آن تحت تأثیر تیمارهای تلفیقی عناصر ریزمغذی و ورمی‌کمپوست بود. به‌طوری‌که بالاترین میزان اسیدهای چرب غیراشباع گامالینولنیک‌اسید و لینولئیک‌اسید به‌ترتیب با مقادیر ۱۶/۶۲ و ۳۴/۹۰ درصد از تیمار محلول‌پاشی سولفات‌روی در تلفیق با ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (جدول ۴). بیش‌ترین میزان اولئیک‌اسید نیز مربوط به تیمار تلفیقی ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و سولفات‌منگنز بود. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی و کاربرد ورمی‌کمپوست موجب کاهش اسیدهای چرب اشباع پالمیتیک‌اسید و استئاریک‌اسید گردید، به‌نحوی‌که بیش‌ترین مقدار آن‌ها آن در تیمار شاهد و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست مشاهده گردید (جدول ۴).

۵. بحث

ارتفاع بوته، صفتی است که بیش از هر عامل دیگر تحت تأثیر خصوصیات ژنتیکی گیاه است. با این‌حال، شرایط محیطی، تغذیه بهینه و رطوبت کافی، ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌نظر می‌رسد ورمی‌کمپوست که حاوی هورمون‌های محرک رشد گیاه، ویتامین‌ها و گروهی از آنزیم‌ها می‌باشد، به‌طور مستقیم رشدونمو گیاه را بهبود بخشیده و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی نیز در این امر دخیل بوده است. به‌طوری‌که اثرات هم‌افزایی آن‌ها موجب افزایش ارتفاع گیاه گردیده است.

جدول ٤. نتایج تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و محلول‌پاشی بر اسیدهای چرب روغن گاوزبان اروپایی

محلول‌پاشی	شاهد			سولفات آهن			سولفات‌منگنز			سولفات‌روی		
ورمی‌کمپوست	صفر	۵ تن	۱۰ تن	صفر	۵ تن	۱۰ تن	صفر	۵ تن	۱۰ تن	صفر	۵ تن	۱۰ تن
میریستیک‌اسید	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۰۹
پالمیتیک‌اسید	۱۱/۶۱	۱۱/۵۲	۱۱/۵۹	۱۱/۵۰	۱۱/۴۴	۱۱/۳۲	۱۱/۴۶	۱۱/۱۹	۱۱/۳۴	۱۱/۳۸	۱۱/۲۴	۱۱/۳۲
پالمیتولئیک‌اسید	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۱۹
اسید استئاریک	۵/۴۶	۵/۴۱	۵/۳۶	۵/۵۶	۵/۵۸	۵/۳۷	۵/۵۳	۵/۵۰	۵/۳۵	۵/۴۸	۵/۵۲	۵/۳۹
اسید اولئیک	۲۲/۴۰	۲۲/۶۶	۲۳/۵۱	۲۲/۷۶	۲۲/۷۰	۲۲/۵۵	۲۲/۸۳	۲۲/۶۷	۲۳/۵۸	۲۲/۵۱	۲۲/۶۲	۲۲/۷۴
اسید لینولئیک	۳۳/۸۰	۳۵/۱۸	۳۴/۷۵	۳۳/۷۵	۳۳/۸۰	۳۴/۸۳	۳۳/۸۵	۳۴/۷۴	۳۴/۸۰	۳۴/۸۲	۳۴/۳۸	۳۴/۹۰
اسید گامالینولنیک	۱۵/۱۷	۱۵/۲۱	۱۵/۱۷	۱۵/۲۴	۱۵/۳۰	۱۵/۶۶	۱۵/۳۰	۱۵/۷۳	۱۵/۶۴	۱۶/۰۳	۱۵/۸۶	۱۶/۲۶
آلفا لینولنیک‌اسید	۰/۴۷	۰/۴۶	۰/۴۷	۰/۳۴	۰/۴۵	۰/۲۹	۰/۴۷	۰/۳۴	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۲
گادولین‌اسید	۳/۹۸	۴/۲۵	۴/۰۳	۴/۲۱	۴/۱۰	۴/۲۴	۴/۲۰	۴/۲۱	۴/۲۰	۴/۲۲	۴/۳۱	۴/۲۹
بهینیک‌اسید	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۲۹
اروسیک‌اسید	۲/۷۰	۲/۸۰	۲/۷۱	۲/۷۵	۲/۸۰	۳/۴۲	۲/۸۴	۲/۹۱	۳/۴۰	۲/۷۷	۳/۱۴	۲/۹۹
نرونیک‌اسید	۱/۷۲	۱/۷۶	۱/۷۰	۱/۸۷	۱/۹۱	۱/۷۰	۱/۸۸	۱/۹۴	۱/۷۷	۱/۸۳	۱/۹۴	۱/۹۳

هم‌چنین، ورمی‌کمپوست موجب بهبود ساختار شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک شده و سبب افزایش جذب و نگهداری آب می‌گردد (پرامانیک[1] و همکاران، ۲۰۱۷) که این شرایط، بستر رشد بهتری را برای گیاه فراهم نموده است. در آزمایشی که با هدف بررسی اثر ورمی‌کمپوست بر رشد و عملکرد مرزه انجام شد، نتایج نشان داد که کاربرد ورمی‌کمپوست موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردید (رحیمی و باباخانزاده، ۱۳۹۹). افزایش ارتفاع بوته گیاه آویش باغی (اصل محمدی و همکاران، ۱۴۰۰) و بالنگوی شهری (شیخی‌سنندجی و پیرزاد، ۱۳۹۸) در محلول‌پاشی با سولفات‌روی گزارش شده است. فتاحی و همکاران (۱۳۹۹)، نیز افزایش ارتفاع بوته گیاه ریحان را در تیمار محلول‌پاشی با سولفات‌آهن گزارش کرده‌اند.

باتوجه به این‌که ورمی‌کمپوست منبع غنی از عناصر غذایی ازجمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشد که در دسترس گیاه قرار گرفته و جذب می‌شود که نتیجه آن بهبود رشد گیاه و افزایش شاخ و برگ می‌شود (وو[2] و همکاران، ۲۰۱۲). بهبود تعداد شاخه‌های گل‌دهنده گیاه در نتیجه کاربرد عناصر کم‌مصرف نظیر آهن، روی و منگنز ممکن است ناشی از افزایش شدت فتوسنتز و فعالیت‌هایی باشد که تقسیم سلولی را افزایش داده و موجب و طویل‌شدن آن‌ها می‌شود (یاسین[3] و همکاران، ۲۰۲۰)، بنابراین افزایش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده با محلول‌پاشی عناصر آهن، روی و منگنز توأم با ورمی‌کمپوست، نتیجه هم‌افزایی اثر این نهاده‌ها می‌باشد. افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه مرزه در تیمار کاربرد ومی‌کمپوست و عناصر کم‌مصرف گزارش شده است (رحیمی و باباخانزاده، ۱۳۹۹). در آزمایشی (انصاری و همکاران، ۱۳۹۸) که تأثیر کودهای آلی و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی (آهن، روی و منگنز) بر گیاه رازیانه موردبررسی قرار گرفت، نتایج نشان‌دهنده افزایش تعداد شاخه‌ها در مقایسه با تیمار شاهد بود. این نتایج همسو با نتیجه حاصل از پژوهش حاضر می‌باشد.

دسترسی گیاه به عوامل محیطی نظیر مواد غذایی بیش‌تر، موجب بهبود خصوصیات رشدی گیاه و افزایش ارتفاع شاخه‌های گل‌دهنده می‌شود (آرانکن[4] و همکاران، ۲۰۱۷)، از سوی دیگر ورمی‌کمپوست از طریق افزایش فعالیت

1. Pramanik
2. Wu
3. Yassen
1. Arancon

میکروارگانیسم‌های خاک و افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی در خاک می‌گردد. علاوه بر این آزادسازی تدریجی عناصر غذایی موجود در این کودها، باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه و از جمله ارتفاع اولین شاخه گل‌دهنده می‌شود. از نظر فیزیولوژی، در شرایطی که مواد غذایی به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار گیرد، آب جمع‌شده در سلول‌ها افزایش یافته و از طریق آماس به سلول‌های مجاور انتقال پیدا می‌کند و در نهایت منجر به افزایش ارتفاع شاخه‌های گیاه خواهد شد (دایلگرو[1] و دایلگرو، ۲۰۱۸).

در بررسی اثر سطوح ریزمغذی‌ها بر رشد و توسعه گیاهان گزارش گردید که با افزایش سطوح محلول‌پاشی عناصر آهن، روی و منگنز تعداد برگ در بوته افزایش می‌یابد (کوتگودا[2] و همکاران، ۲۰۱۹). از سوی دیگر، با توجه به این‌که ورمی‌کمپوست منبعی غنی از عناصر غذایی موردنیاز گیاه می‌باشد، می‌توان گفت این عناصر همراه با عناصر ریزمغذی محلول‌پاشی‌شده در سوخت و ساز گیاه شرکت کرده و موجب افزایش تعداد برگ در تیمارهای تلفیقی در مقایسه با تیمار شاهد گردیده است (پرامانیک[3] و همکاران، ۲۰۱۷). افزایش تعداد برگ در گیاه ریحان در کاربرد ورمی‌کمپوست توسط سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است است (محمدزاده توتونچی، ۱۳۹۹)، هم‌چنین در آزمایشی اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات بیوشیمیایی گیاه آویشن باغی موردمطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که تعداد برگ گیاه به‌طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد بیش‌تر گردید (اصل محمدی و همکاران، ۱۴۰۰).

به‌نظر می‌رسد عناصر ریزمغذی، آنزیم‌های دخیل در سنتز کلروفیل مانند کربنیک دهیدروژناز، تریپتوفان سنتتاز و غیره را فعال کرده و محلول‌پاشی آن‌ها باعث افزایش انواع کلروفیل می‌گردد و افزایش کلروفیل خود باعث افزایش میزان فتوسنتز شده و به‌دنبال آن تعداد دانه در بوته افزایش می‌یابد (راوی[4] و همکاران، ۲۰۱۸).

باتوجه به این‌که عناصر غذایی موجود در ورمی‌کمپوست به‌تدریج آزاد شده و در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و از سوی دیگر وزن دانه، تابع شرایط و طول دوره پرشدن دانه پس از گلدهی است، بنابراین این فاکتور تحت تأثیر مقدار اختصاص مواد فتوسنتزی جاری و ذخیره به دانه است که توسط عوامل ژنتیکی و محیطی کنترل می‌شود. کودهای آلی از طریق در دسترس قراردادن عناصر غذایی سبب افزایش آسیمیالسیون مواد فتوسنتزی در دوره قبل از گلدهی و پس از گل‌دهی با انتقال مجدد این مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن بر طول دوره پرشدن دانه تأثیر گذاشته و سبب بهبود وزن هزاردانه شده است (چاهارلنگ[5] و همکاران، ۲۰۱۹). مشخص شده است که روی، آهن و منگنز با تأثیر بر مقدار کلروفیل برگ‌ها و افزایش سنتز ایندول‌استیک‌اسید موجب تأخیر در پیری گیاه شده و طولانی‌شدن دوره فتوسنتز را به‌دنبال دارد. این امر باعث بهبود تولید کربوهیدرات‌ها و انتقال آن‌ها به گل‌آذین‌ها و دانه‌های در حال رشد می‌گردد. در نتیجه رقابت بین دانه‌های در حال تشکیل برای دسترسی به مواد غذایی کاهش می‌یابد. مجموعه این عوامل می‌تواند موجب افزایش وزن هزاردانه تحت تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی باشد (آرانکن[6] و همکاران، ۲۰۱۷).

پژوهش‌گران در مطالعات خود بیان داشتند افزودن ورمی‌کمپوست به خاک محتوی ماده آلی خاک را افزایش داده و در نتیجه آن خصوصیات فیزیکی و حاصلخیزی خاک افزایش می‌یابد و درنتیجه، میزان فعالیت میکروارگانیسم‌های موجود در خاک و فراهمی عناصر غذایی موردنیاز گیاه افزایش می‌یابد و این امر موجب افزایش میزان رشد و عملکرد گیاه

1. Dyulgero
2. Kottegoda
3. Pramanik
4. Ravi
5. Chaharlang
6. Arancon

می‌گردد (اخضری[1] و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش عملکرد بیولوژیک با کاربرد ریزمغذی‌ها را می‌توان به افزایش بیوسنتز اکسین در حضور آهن، روی و منگنز و افزایش غلظت کلروفیل، افزایش غلظت فسفوانول پیروات کربوکسیلاز (PEP_C)، و ریبولوز بی فسفات کربوکسیلاز (RBP_C)، کاهش انباشت سدیم در بافت‌های گیاهی و افزایش کارایی جذب نیتروژن و فسفر در حضور ریزمغذی‌ها نسبت داد که چنین عملکردهایی در گیاه باعث بهبود سوخت‌وساز بهتر و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک می‌گردد (امیانپوری[2] و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک در تیمار کاربرد ورمی‌کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد در گیاه مرزه (رحیمی و باباخانزاده، ۱۳۹۹). ذرت علوفه‌ای (بهروزی و همکاران، ۱۴۰۱) و گل‌گاوزبان ایرانی (رضوانی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹) نیز گزارش شده است.

ازآنجایی‌که اجزای عملکرد تحت تأثیر تیمار تلفیقی مذکور افزایش یافته، بنابراین انتظار می‌رود چنین نتیجه‌ای در مورد عملکرد دانه که برآیندی از داده‌های اجزای عملکرد است، حاصل گردد. علاوه بر این باتوجه به این‌که عناصر غذایی موجود در کودهای ورمی‌کمپوست به‌تدریج آزاد شده و در تمام طول دوره رشد در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و در نتیجه با بهبود شرایط رشد و طولانی‌شدن دوره انتقال مواد فتوسنتزی به دانه و افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی بهبود، عملکرد دانه در تیمارهای کاربرد ورمی‌کمپوست، حاصل خواهد شد (جوانمرد و همکاران، ۱۴۰۱). محلول‌پاشی برگ‌های گیاه با عناصر ریزمغذی روی، آهن و منگنز موجب افزایش غلظت این عناصر در برگ گیاه شده و به واسطه تأثیر این عناصر بر مقدار کلروفیل برگ و غلظت ایندول‌استیک‌اسید (IAA)، از طریق افزایش فتوسنتز، عملکرد ماده خشک گیاه را افزایش می‌دهد، از سوی دیگر ایندول‌استیک‌اسید مانع تخریب کلروفیل شده و در نتیجه موجب افزایش اجزای عملکرد می‌شود (امیانپوری و همکاران، ۲۰۱۵). افزایش عملکرد گاوزبان ایرانی (امیری و همکاران، ۱۳۹۵) نیز در کاربرد ورمی‌کمپوست گزارش شده است. علاوه بر این در پژوهشی افزایش عملکرد دانه آویشن باغی در تیمار محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی گزارش شده است (اصل محمدی و همکاران، ۱۴۰۰) که همگی منطبق بر نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌باشد.

باتوجه به قدرت بالای ورمی‌کمپوست در ذخیره رطوبت نقش مهمی در فراهمی آب موردنیاز گیاه ایفا می‌کند. از سوی دیگر با توجه به درصد بالای نیتروژن در ورمی‌کمپوست و افزایش آزادسازی نیتروژن در خاک عملکرد گل خشک را به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهد (اخضری و همکاران، ۲۰۱۸). روی نقش مهمی در ساختار آنزیم‌هایی که در ساخت تریپتوفان تأثیرگذار هستند، برعهده دارد. علاوه بر این روی موجب افزایش تولید اتیلن می‌شود که این هورمون نیز باعث افزایش گل‌دهی می‌شود (راوی[3] و همکاران، ۲۰۱۸). منگنز نقش مهمی در فعال‌سازی آنزیم‌های متعددی برعهده دارد و علاوه بر این در سنتز هورمون اکسین، تقسیم سلولی و باروری گیاه تأثیرگذار است (باست‌میا[4]، ۲۰۱۵). آهن نیز یکی از عناصر مهم برای تشکیل کلروفیل و فتوسنتز می‌باشد. بنابراین از طریق افزایش تولید اسیمیلات به‌طور غیرمستقیم می‌تواند در افزایش تولید گل و افزایش عملکرد گل خشک در گیاه ایفای نقش کند (ایرماک[5] و همکاران، ۲۰۱۹). در پژوهشی که با هدف مطالعه صفات مورفولوژیک مؤثر بر عملکرد گاوزبان ایرانی در شرایط کاربرد کودهای آلی انجام شد افزایش معنی‌دار عملکرد گل خشک در تیمار کاربرد ورمی‌کمپوست در مقایسه با تیمار شاهد گزارش گردید (امیری و همکاران، ۱۳۹۵)، این نتیجه همسو با نتیجه حاصل از پژوهش حاضر می‌باشد.

1. Akhzari
2. Amyanpoori
3. Ravi
4. Baset Mia
5. Irmak

درصد روغن ازجمله ویژگی‌های ژنتیکی رقم می‌باشد، اما باتوجه به این نکته که منشأ تولید روغن از ترکیبات حاصل از فرایند فتوسنتز است، لذا وجود عناصر غذایی کافی در طول دوره رشد گیاه موجب افزایش سنتز روغن در دانه می‌شود (حنیف[1] و همکاران، ۲۰۱۷). بهبود شرایط رشد گیاه می‌تواند باعث افزایش محتوای روغن شود، بنابراین در صورت استفاده از کودهای آلی شرایط مناسب‌تری برای رشد و توسعه ریشه و اندام‌های گیاهی فراهم می‌شود که نتیجه آن بهبود وضعیت جذب آب و عناصر غذایی و درنهایت افزایش درصد روغن می‌باشد (چیما[2] و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به این که عملکرد روغن از حاصلضرب محتوای روغن و عملکرد دانه محاسبه می‌شود، بنابراین هر عاملی که سبب افزایش آن‌ها گردد بر عملکرد روغن نیز تأثیر مشابهی خواهد داشت. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی به‌ویژه روی موجب افزایش فعالیت تعدادی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، افزایش فعالیت غشاهای لیپیدی و افزایش متابولیسم چربی‌ها شده و درصد روغن دانه ریحان را افزایش می‌دهد (چیما[3] و همکاران، ۲۰۱۷). هم‌چنین افزایش درصد روغن دانه بالنگوی شهری در محلول‌پاشی روی توسط سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (شیخی سنندجی و پیرزاد، ۱۳۹۸) که مؤید نتایج این پژوهش است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج آزمایش حاضر نشان دادکه کاربرد تلفیقی عناصر ریزمغذی آهن، منگنز و روی به‌صورت محلول‌پاشی و سطوح مختلف ورمی‌کمپوست موجب افزایش معنی‌دار صفات اندازه‌گیری‌شده در این آزمایش گردید. افزایش سطوح ورمی‌کمپوست مورداستفاده در همه تیمارهای محلول‌پاشی و شاهد موجب افزایش مقادیر صفات موردارزیابی شد، به نحوی‌که بالاترین عملکرد دانه، اجزای عملکرد، درصد و عملکرد اسانس، درصد و عملکرد روغن گاوزبان اروپایی، در تیمار تلفیقی محلول‌پاشی با سولفات‌روی و ده تن ورمی‌کمپوست در هکتار مشاهده شد. کیفیت روغن نیز تحت تأثیر تیمارهای تلفیقی بهبود یافت. پیشنهاد می‌شود واکنش این گیاه به سایر عناصر ریزمغذی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه کردستان به‌خاطر حمایت مالی این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

اصل محمدی، زینب؛ آرویی، حسین؛ مجیدی، عزیز و صالحی ساردویی، علی (۱۴۰۰). اثر محلول‌پاشی آهن و روی بر برخی صفات بیوشیمیایی گیاه آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) تحت کمبود نیتروژن. *پژوهش‌های گیاهی*، ۳۴ (۳)، ۶۵۸-۶۶۸.

امیری، محمد بهزاد؛ رضوانی مقدم، پرویز و جهان، محسن (۱۳۹۵). مقایسه کودهای آلی و شیمیایی در اراکم‌های مختلف گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & Mey) در شرایط مشهد. *علوم باغبانی*، ۳۰ (۳)، ۵۵۵-۵۷۳.

انصاری، صادق؛ نصیری، یوسف؛ جان محمدی، محسن و صباغ‌نیا، ناصر (۱۳۹۸). اثر کودهای آلی و شیمیایی و ریزمغذی‌های رایج و نانوی آهن، روی و منگنز بر عملکرد و اجزای عملکرد رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.). *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۹ (۱)، ۱۰۱-۱۱۹.

3. Hanif
4. Cheema
5. Cheema

بهروزی، دنیا؛ دیانت، مرجان؛ مجیدی، اسلام؛ میرهادی، محمد جواد و شیرخانی، علی (۱۴۰۱). تأثیر کم‌آبیاری، کودهای شیمیایی و ورمی‌کمپوست بر ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.). *به زراعی کشاورزی*، ۲۴ (۴)، ۱۰۸۴-۱۰۶۹.

جوانمرد، عبدالله؛ حقانی‌نیا، محمد؛ شکاری، فریبرز؛ خوشخوان، شیرین و استادی، علی (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد کودهای شیمیایی، کود سبز و ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه، کمیت و کیفیت روغن کلزا. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۲ (۳)، ۳۶۹-۳۸۹.

حسنوند، حدیث؛ سیادت، سید عطاءاله؛ بخشنده، عبدالمهدی؛ مرادی، محمد رضا و پشت‌دار، عادل (۱۳۹۹). تأثیر سالیسیلیک‌اسید بر عملکرد و جذب عناصر غذایی گل گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.). *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*، ۱۳ (۲)، ۵۳۱-۵۱۹.

رجایی، مهدیه؛ دهمرده، مهدی؛ خمری، عیسی و کشته‌گر، بهروز (۱۳۹۷). تأثیر الگوی کشت و ورمی‌کمپوست بر تغییرات عناصر غذایی خاک در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) و گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.). *بوم‌شناسی کشاورزی*، ۱۰ (۲)، ۵۴۷-۵۶۴.

رحیمی، عبدالرحمان و باباخانزاده سجیرانی، اسماعیل (۱۳۹۹). اثر ورمی‌کمپوست و برخی عناصر پرمصرف بر رشد، جذب عناصر غذایی و کمیت و کیفیت اسانس مرزه (*Satureja hortensis* L.). *پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۷ (۴)، ۱۴۹-۱۳۳.

رضوانی، حسین؛ فاضلی کاخکی، سید فاضل و خزاییان، رضا (۱۴۰۰). تأثیر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و اوره بر عملکرد کمی و کیفی کنجد (*Sesamum indicum* L.) در شرایط مزرعه در گرگان. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۱ (۳)، ۳۴۱-۳۵۶.

رضوانی مقدم، پرویز؛ شباهنگ، جواد؛ لشگری، اعظم و اقحوانی شجری، مهسا (۱۳۹۹). واکنش گیاه دارویی گل گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & C.A. Mey) به کودهای آلی و تراکم بوته. *بوم شناسی کشاورزی*، ۱۲ (۱)، ۱۷۸-۱۶۱.

شیخی سنندجی، دیبا و پیرزاد، علیرضا (۱۳۹۸). ارزیابی محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی روی و سیلیسیم بر خصوصیات زراعی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی بالنگوی شهری در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی. *زراعت دیم ایران*، ۸ (۱)، ۴۲-۲۱.

فتاحی سیاه کمری، سعید؛ محمد خانی، نیر و ثروتی، مسلم (۱۴۰۰). اثر کودهای نانوکلات (آهن و روی) و کود نیتروژن (زیستی و شیمیایی) بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکرد اسانس دو توده محلی گیاه دارویی *Ocimum basillicum* L. *اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۸ (۱)، ۱۰۶-۱۱۸.

فرجی، مریم و پورسخی، کتایون (۱۳۹۷). بررسی تأثیر کودهای آلی و زیستی بر خصوصیات مورفولوژیک و فیتوشیمیایی گل گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & C.A. Mey.). *تحقیقات گیاهان دارویی ومعطر ایران*، ۳۴ (۱)، ۶۱-۵۰.

محمدزاده توتونچی، پیمان (۱۳۹۹). تأثیر ورمی‌کمپوست و کود دامی بر صفات مورفولوژیک، عملکرد و میزان اسانس گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basillicum* L.). *علوم به زراعی گیاهی*، ۱۰ (۱)، ۹۱-۷۸.

یازرلو، فهیمه؛ نوری نیا، عباس‌علی و خوشبخت، شبنم (۱۴۰۱). تأثیر کودهای بیولوژیک و ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفولوژیکی گاوزبان ایرانی (*Echium amoenum*). *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۳۲ (۲)، ۱۲۷-۱۱۵.

References

Akhzari, D., Kalantari, N., & Mahdavi, S. H. (2018). Studying the effects of mycorrhiza and vermicompost fertilizers on the growth and physiological traits of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L.). *Desert*, *23*, 57-62. doi: 10.22059/jdesert.2018.66349.

Amiri, M. B., Rezvani Moghaddam, P., & Jahan, M. (2016). Comparison of organic and chemical inputs on different densities of *Echium amoenum* Fisch & Mey. in Mashhad conditions. *Journal of Horticultural Science*, *30*, 555-573. http:/doi.org/10.22067/JHORTS4.V30I3.49638. (In Persian).

Amyanpoori, S., Ovassi, M., & Fatahnejad, E. (2015). Effect of vermicompost and triple superphosphate on yield of corn (*Zea mays* L.) in Behbahan. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, *3*, 494-499.

Ansari, S., Narsi, Y., Janmohammadi, M., & Sabaghnia, N. (2019). Influence of organic and chemical fertilizers, common and nano iron, zinc and manganese on yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *29*(1), 101-119 (In Persian).

Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., & Metzger, J. D. (2017). Influence of vermicompost on field strawberries. *Bioresource Technology*, *93*, 145-153. doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.016

Asadi-Samani, M., Bahmani, M., & Rafieian-Kopaei, M. (2014). The chemical composition, botanical characteristic and biological activities of *Borago officinalis*: a review. *Asian Pacific Journal of Tropic Medicine*, *7*, 22-28. doi: 10.1016/S1995-7645(14)60199-1

Asle Mohamadi, Z., Mohammadkhani, N., & Servati. M. (2021). Effect of iron and zinc foliar application on some biochemical traits of Thymus (*Thymus vulgaris* L.) plant under nitrogen deficiency. *Journal of Plant Research*, *34*(3), 658-668. (In Persian).

Baset Mia, M. A. (2015). Nutrietion of Crop Plants. Published by Nova Science Publishers, Inc., New York. USA, 187 pages.

Behrouzi, D., Diyanat, M., Majidi, E., Mirhadi, M.J., & Shirkhani, A. (2022). Effect of deficit irrigation, fertilizers and vermicompost on forage maize (*Zea mays* L.). *Journal of Crops Improvement*, *24*(4), 1069-1084. https://doi.org/10.22059/jci.2021.328509.2594. (In Persian).

Chaharlang, M., & Shokuhfar, A. (2019). Assessment effect of vermicompost on quantitative and qualitative characteristics of mung bean (*Vigna radiata* L.) under different irrigation regime. *Journal of Crop Nutrition Science*, *5*, 33-44.

Cheema, M. A., Farhad, W., Saleem, F., Khan, H. Z., Vahid, M. A., Rasul, F., & Hammad, H. M. (2017). Nitrogen management strategies for sustainable maize production. *Crop and Environment*, *1*, 49-52.

Dominguez, D. M., Reina, M., Santos-Guerra, A., Santana, O., Agulló, T., López-Balboa, C., & Gonzalez-Coloma, A. (2018). Pyrrolizidine alkaloids from Canarian endemic plants and their biological effects. *Biochemical Systematics and Ecology*, *36*, 153-166. doi.org/10.1016/j.bse.2007.08.015

Dyulgerov, N., & Dyulgerova, B. (2018). Correlation and path coefficient analysis of productivity elements in coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Central European Agriculture*, *14*, 1512-1517. doi: 10.5513/JCEA01/14.4.1387

El-Fouly, M. M., Mobarak, Z. M., & Salama, Z. A. (2020). Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat *Triticum aestivum* L. *African Journal of Plant Science*, *5*, 314-322.

El-Rahman, A., Ali, A. F., & Amer, E. H. (2023). Physiological effects of organic and bio fertilizers on borage (*Borago officinalis* L.) plants. *Archives of Agriculture Sciences Journal*, *6*(2), 141-164.

Faraji, M., & Poursakhi, K. (2018). Effects of biological and organic fertilizers on morphological and phytochemical characteristics of Iranian borage (*Echium amoenum* Fisch., & C. A. Mey.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *34*(1), 50-61. http:/doi.org/10.22092/ijmapr.2018.111091.2065. (In Persian).

Fatahi Siahkamari, S., Aroiee, H., Azizi, M., & Salehi Sardoei, A. (2020). Effect of nano chelates (iron and zinc) and nitrogen (biofertilizer and chemical fertilizer) on some morphophysiological characteristics and essential oil yield of two Basil populations. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plant*, *8*(1), 106-118. http:/doi.org/20.1001.1.23223235.1399.8.1.7.7. (In Persian).

Gilbertson, P. K., Berti, M. T., & Johnson, B. L. (2014). Borage cardinal germination temperatures and seed development. *Industrial Crops and Products*, *59*, 202-209. doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.04.046

Hanafy, M. S., Ashour, H. A., & Sedek, F. M. (2018). Effect of some bio-stimulants and micronutrients on growth, yield and essential oil production of *Majorana hortensis* plants. *International Journal of Environment*, *7*, 37-52.

Hanif, M. A., Nawaz, H., Ayub, M. A., Tabassum, N., Kanwal, N., Rashid, N., Saleem, M., & Ahmad, M. (2017). Evaluation of the effects of zinc on the chemical composition and biological activity of basil essential oil by using Raman spectroscopy. *Industrial Crops and Products*, *96*, 91- 10. doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.058

Hasanvand, H., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A.M., Moradi, M.R., & Poshtdar, A. (2020). Effects of salicylic acid on yield and nutrient uptake of borage (*Borago officinalis* L.) under interrupting irrigation conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *13*(2), 519-531. http://dx.doi.org/10.22077/escs.2019.2035.1504. (In Persian).

Irmak, S., Nuran Çıl, A., Yücel, H., & Kaya, Z. (2019). The effects of iron application to soil and foliarly on agronomic properties and yield of peanut (*Arachis hypogaea*). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *10*, 417-422.

Jabeen, N., & Ahmad, R. (2019). Growth response and nitrogen metabolism of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to vermicompost and biogas slurry under salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, *40*, 104-114. https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1201495

Javanmard, A., Haghanian, M., Shekari, F., Khoshkhan, S., & Ostadi, A. (2022). The effect of green fertilizer, vermicompost, and chemical fertilizer on grain yield, oil content, and composition of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Agricultural Science and Sustainable Production*, *32*(3), 369-389. http:/doi.org/10.22034/SAPS.2022.49055.2770. (In Persian).

Kottegoda, N. I., Munaweera, N., Madusanka, N., & Karunaratne, V. (2019). A green slow-release fertilizer composition based on urea-modified hydroxyapatite nanoparticles encapsulated wood. *Current Science*, *101*, 73-78.

Laurence, R. (2019). Borage production for oil and gamma-linolenic acid. Rural Industries Research and Development Corporation-Australian Government. *A Report of Project* NO, Ut-33A. https://rirdc.infoservices.com.au/ items/04-040

Leal, F., Rodrigues, A. J., Fernandes, D., Cipriano, J., Ramos, J., Teixeira, S., Vieria, S., Carvalho, L.M., & Pinto-Carnide, O. (2009). *In vitro* multiplication of *Calendula arvensis* for secondary metabolites. *Acta hortic*alturae, *812*, 251–256. doi: 10.17660/ActaHortic.81233

Mohammadzadeh Toutounchi, P. (2020). Effect of vermicompost and manure on morphological traits, yield and essential oil content of basil (*Ocimum basilicum* L). *Journal of Plant Production*, *10*(1), 78-91. (In Persian).

Nasiri, Y., & Najafi, N. (2015). Effects of soil and foliar applications of iron and zinc on flowering and essential oil of chamomile at greenhouse conditions. *Acta Agriculturae Slovenica*, *105*, 33-41. doi: 10.14720/aas.2015.105.1.04

Pramanik, P., Ghosh, G. K., Ghosal, P. K., & Banik. P. (2017). 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. doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.017

Rahimi, A., & Babakhanzadeh Sajirani, E. (2021). Effect of vermicompost and some of macro nutrients on plant growth, nutrient uptake and quantity and quality of Savory (*Satureja hortensis* L.) essential oil. *Journal of Plant Production*, *27*, 133-149. doi:10.22069/jopp.2020.17126.2572. (In Persian).

Rajaei, M., Dehmardeh, M., Khammari, I., & Keshtegar, B. (2018). The effect of planting pattern and vermicompost on the changes in soil nutrients and use of environmental resources in intercropping of corn (*Zea mays* L.), peanut (*Arachis hypogaea* L.) and borage (*Borago officinalis* L.). *Journal of Agroecology*, *10*(2), 547-564. http:/doi.org/10.22067/jag.v10i2.62071. (In Persian).

Ravi, S., Channal, H. T., Hebsur, N. S., Patil, B. N., & Dharmatti, P. R. (2018). Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Karnataka Journal Agriculture Science*, *32*, 382-385.

Rezvani Moghaddam, P., Shabahang, J., Lashgari, A., & Aghhavani Shajari, M. (2020). Response of *Echium amoenum* L. as a medicinal plant to organic fertilizers and plant density. *Journal of Agroecology*, *12*, 161-178. http:/doi.org/10.22067/JAG.V12I1.51343. (In Persian).

Rezvani, H., Fazeli Kakhki, F., & Khazaeian, R. (2021). The Effect of different levels of vermicompost and urea on quantitative and qualitative characteristics of sesame in field condition in Gorgan. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *13*, 341-356. http:/doi.org/ 10.22034/SAPS.2021.41869.2550. (In Persian).

Sheykhi Sanandaji, D., & Pirzad, A. (2019). Evaluation of zinc and silicon micronutrients spraying on the agronomic, physiological and biochemical characteristic of *Lallemantia iberica* under rainfed and supplemental irrigation. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, *8*(1), 21-24. http:/doi.org/10.22092/IDAJ.2019.123944.240. (In Persian).

Tadayyon, A., Naeimi, M. M., & Pessarakli, M. (2018). Effects of vermicompost and vermiwash biofertilizers on fenugreek (*Trigonella foenum*) plant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *49*, 2396-2405. doi.org/10.1080/00103624.2018.1510950

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. doi.org/10.1007/s00374-011-0638-1

Yassen, A., Abou El-Nour, E. A. A., & Shedeed, S. (2020). Response of Wheat to foliar spray with urea and Micronutrients. *Journal of American Science*, *6*, 14-22.

Yazarloo, F., Nourinia, A. A., Khoshbakht, S. (2022). The effect of biological fertilizers and vermicompost on the morphological characteristics of Iranian echium (*Echium amoenum*). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *32*(2), 115-127. http:/doi.org/10.22034/SAPS.2021.45842.2677. (In Persian).