Vol. 7, No. 2, Autumn & Winter, 2026, p. 345-362

Plant Production and Genetics

https://doi.org/10.22034/PLANT.2026.146254.1207

Effect of application methods of combined and novel (macro-micro) fertilizers on improving agronomic traits and grain yield of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

Reza Amiri[*1], Mohammadhassan Kooshki[2]

1. Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran
2. Crop and Horticultural Science Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Borujerd, Iran
[*]Corresponding Author Email: r.amiri@areeo.ac.ir

Received: 01-07-2026 **revised:** 31-07-2026 **Accepted**: 17-08-2026

Abstract

Introduction: Common bean, due to its high protein content and abundant micronutrients, plays an important role in food security. Declining soil fertility and increasing environmental stresses have increased the need to revise plant nutrition strategies. The use of modern technologies, including nanofertilizers and the integration of organic and mineral nutrient sources, can improve productivity and production sustainability. Therefore, precise nutrient management and appropriate selection of fertilizer type, application method, and timing are essential for increasing bean yield.

Materials and Methods: This study was conducted in spring 2023 at the Borujerd Agricultural Research Campus as a factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications. The experiment aimed to evaluate the effects of two factors: (1) fertilizer application methods, including fertigation and foliar spraying, and 2) five types of combined fertilizers, namely Solopotash, Superhumic, Organo-macro-micro, ZFM Superplus (complete micro), and Amino ZFM (micro + amino acids), along with a control treatment, on the performance of the white bean cultivar Almas. Treatments were applied to the Almas white bean cultivar at the flower bud emergence stage. Plant height, plant dry weight, number of pods, number of seeds, 100-seed weight, grain yield, straw yield, and reproductive index (ratio of pod dry weight to total plant dry weight) were measured after full maturity and statistically analyzed.

Results: Straw yield per plant, plant dry weight, and pod weight per plant had the highest phenotypic coefficients of variation. Fertilizer application method significantly affected plant dry weight, harvest index, and straw yield per plant. Fertilizer type also significantly affected the number of pods per plant, 100-seed weight, plant dry weight, pod weight per plant, number of seeds per plant, and straw yield per plant. The interaction between fertilizer application method and fertilizer type was highly significant for all traits except 100-seed weight and grain yield. The mean grain yield was 5060 kg. ha^{-1}; Super Humic produced the highest grain yield (5477 kg. ha^{-1}), whereas the control produced the lowest (4448 kg. ha^{-1}). The control treatment under foliar spraying showed the lowest values for the studied traits, except for harvest index, reproductive index, and 100-seed weight. Organo Macro Micro applied through fertigation produced the highest values for plant dry weight, plant height, pod weight, number of pods, number of seeds, grain yield, and straw yield. Grain yield was positively correlated with all traits except harvest index and reproductive index, and showed positive and highly significant correlations with plant dry weight, pod weight, number of pods, number of seeds, and straw yield per plant.

Conclusion: The results demonstrated the positive effects of Super Humic and Organo Macro Micro fertilizers on most growth and yield-related traits of common bean. Fertilizer type and application method significantly affected the majority of traits, and their interaction was also influential for most characteristics. Application of Organo Macro Micro via fertigation and Solopotash via foliar spraying improved key agronomic traits. Overall, fertilizer application increased grain yield compared with the control. Therefore, appropriate selection of fertilizer type and application method plays an important role in increasing white bean yield, and targeted use of these combinations can improve fertilizer-use efficiency and production.

Keywords: Amino acid, Foliar application, Macro–micro nutrients, Nanofertilizer, Organic fertilizer

Citation: Amiri, R., & Kooshki, M. (2026). Effect of application methods of combined and novel (macro-micro) fertilizers on improving agronomic traits and grain yield of white bean *(Phaseolus vulgaris* L.) *Plant Production and Genetics*, *7*(2), 345-362. https://doi.org/10.22034/PLANT.2026.146254.1207

Copyrights:
Copyrights rights for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Plant Production and Genetics. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

جلد ۷، شماره۲، پاییز و زمستان، ۱۴۰۵، صفحات ۳۶۲-۳۴۵

تولید و ژنتیک گیاهی

https://doi.org/10.22034/PLANT.2026.146254.1207

اثر روش‌های کاربرد کودهای ترکیبی و نوین (ماکرو - میکرو) بر بهبود خصوصیات زراعی و عملکرد دانه لوبیا سفید (*Phaseolus vulgaris* L.)

رضا امیری*[۱]، محمدحسن کوشکی[۲]

۱. بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران

۲. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بروجرد، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: r.amiri@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۵/۰۵/۰۹ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۵ /۰۵/۲۶

چکیده

مقدمه: لوبیا به‌دلیل برخورداری از پروتئین و ریزمغذی‌های فراوان، نقش مهمی در امنیت غذایی دارد. کاهش حاصلخیزی خاک و افزایش تنش‌های محیطی، ضرورت بازنگری در راهبردهای تغذیه گیاهی را افزایش داده است. استفاده از فناوری‌های نوین، از جمله نانوکودها و تلفیق منابع آلی و معدنی، می‌تواند بهره‌وری و پایداری تولید را بهبود دهد. بنابراین، مدیریت دقیق تغذیه و انتخاب مناسب نوع، روش و زمان کاربرد کود برای افزایش عملکرد لوبیا ضروری است.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در بهار سال ۱۴۰۲ در پردیس تحقیقات کشاورزی بروجرد، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. هدف، بررسی اثر دو فاکتور: ۱) روش کاربرد کود شامل کودآبیاری و محلول‌پاشی و ۲) پنج نوع کود ترکیبی شامل سولوپتاس، سوپرهیومیک، ارگانو ماکرو میکرو، ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل) و آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه) و یک تیمار شاهد بر عملکرد لوبیا سفید رقم الماس بود. تیمارها در مرحله ظهور جوانه گل روی لوبیا سفید رقم الماس اعمال شدند. ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، تعداد غلاف، تعداد دانه، وزن صد دانه، عملکرد دانه، عملکرد کاه و شاخص زادآوری (نسبت وزن خشک غلاف به وزن خشک کل بوته) پس از رسیدگی کامل اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل شدند.

نتایج: عملکرد کاه در بوته، وزن خشک بوته و وزن غلاف‌ها در بوته بیشترین ضریب تغییرات فنوتیپی را داشتند. روش کاربرد کود بر وزن خشک بوته، شاخص برداشت و عملکرد کاه در بوته اثر معنی‌دار داشت. نوع کود نیز تعداد غلاف در بوته، وزن صد دانه، وزن خشک بوته، وزن غلاف‌ها در بوته، تعداد دانه در بوته و عملکرد کاه در بوته را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. اثر متقابل روش مصرف کود × نوع کود رای همه صفات، به‌جز وزن صد دانه و عملکرد دانه، بسیار معنی‌دار بود. میانگین عملکرد دانه ۵۰۶۰ کیلوگرم در هکتار بود؛ سوپرهیومیک با ۵۴۷۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین و شاهد با ۴۴۴۸ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را داشتند. ترکیب شاهد در محلول‌پاشی، به‌جز شاخص برداشت، شاخص زادآوری و وزن صد دانه، کمترین مقادیر صفات را نشان داد. ارگانو ماکرو میکرو در روش کودآبیاری بیشترین وزن خشک بوته، ارتفاع بوته، وزن غلاف‌ها، تعداد غلاف، تعداد دانه، عملکرد دانه و عملکرد کاه را ایجاد کرد. عملکرد دانه با همه صفات، به‌جز شاخص برداشت و شاخص زادآوری، همبستگی مثبت داشت و با وزن خشک بوته، وزن غلاف‌ها، تعداد غلاف، تعداد دانه و عملکرد کاه در بوته، همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار نشان داد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان‌دهنده اثر مثبت کودهای سوپر هیومیک و ارگانو ماکرو میکرو بر رشد وصفات مرتبط با عملکرد گیاه لوبیا بود. نوع و روش مصرف کود تأثیر معنی‌داری بر اغلب صفات داشت و اثر متقابل آن‌ها نیز بر بیشتر صفات تأثیرگذار بود. کاربرد ارگانو ماکرو میکرو در روش کودآبیاری و سولوپتاس در روش محلول‌پاشی موجب بهبود صفات کلیدی شد و در مجموع استفاده از کودها عملکرد دانه را نسبت به شاهد افزایش داد. درنهایت، می‌توان اظهار داشت انتخاب مناسب نوع کود و روش کاربرد آن نقش مؤثری در افزایش عملکرد لوبیا سفید دارد و استفاده هدفمند از این ترکیب‌ها می‌تواند کارایی مصرف کود و تولید را افزایش دهد.

کلید واژگان: اسید آمینه، کود آلی، ماکرو - میکرو، محلول‌پاشی، نانو کود

منبع: امیری، ر. و کوشکی، م. (۱۴۰۵). اثر روش‌های کاربرد کودهای ترکیبی و نوین (ماکرو - میکرو) بر بهبود خصوصیات زراعی و عملکرد دانه لوبیا سفید (*Phaseolus vulgaris* L.)، *مجله تولید و ژنتیک گیاهی*، ۷(۲)، ۳۶۲-۳۴۵. https://doi.org/10.22034/PLANT.2026.146254.1207

CC BY

مقدمه

تأمین غذای جمعیت رو به رشد جهان در دهه‌های اخیر با چالش‌های متعددی از جمله تغییرات اقلیمی، محدودیت منابع طبیعی و افزایش ناامنی غذایی مواجه شده است. در چنین شرایطی، افزایش پایدار تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه محصولات اساسی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر برای پاسخگویی به نیازهای تغذیه‌ای بشر محسوب می‌شود. اگرچه منابع حیوانی، تأمین‌کننده اصلی پروتئین و اسیدهای آمینه ضروری هستند، اما مصرف مداوم آن‌ها با برخی بیماری‌های مزمن مرتبط بوده و همین امر توجه به منابع پروتئینی گیاهی را افزایش داده است. در این میان، حبوبات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع پروتئین گیاهی، جایگاه ویژه‌ای در امنیت غذایی دارند.

دانه‌های خشک حبوبات به‌دلیل دارا بودن بیش از ۲۰ درصد پروتئین، ارزش تغذیه‌ای بالایی داشته و به‌عنوان دومین منبع غذایی پس از غلات شناخته می‌شوند (Calvo-Polanco *et al*., 2014). این گیاهان علاوه بر تأمین پروتئین، به‌دلیل دارا بودن اسید آمینه لیزین، می‌توانند کمبود این اسید آمینه را در غلات جبران کنند. همچنین حبوبات منبع غنی عناصر معدنی مانند آهن و کلسیم و برخی ویتامین‌ها بوده و نقش مهمی در سلامت انسان، به‌ویژه در جوامع کم‌درآمد ایفا می‌کنند. از دیدگاه زراعی، حبوبات دارای ویژگی‌های منحصر به‌فردی هستند که آن‌ها را به گزینه‌ای مناسب در نظام‌های کشاورزی پایدار تبدیل می‌کند. این گیاهان با دارا بودن سیستم ریشه‌ای عمیق، تحمل نسبی به تنش خشکی، و توانایی تثبیت بیولوژیک نیتروژن، نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی خاک و کاهش نیاز به کودهای شیمیایی دارند (Nasrollahzadeh Asl & Gorbannezhad, 2014). علاوه بر این، استفاده از حبوبات در تناوب زراعی موجب بهبود ساختار خاک، افزایش بهره‌وری محصولات بعدی و کاهش فرسایش خاک می‌شود. بر اساس آمار فائو، سطح زیرکشت حبوبات در جهان بیش از ۹۱ میلیون هکتار بوده و تولید آن‌ها حدود ۹۷ میلیون تن گزارش شده است (FAOSTAT, 2024).

در میان حبوبات، لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) به‌دلیل ارزش غذایی بالا و ترکیب مناسب پروتئین، کربوهیدرات و فیبر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Capurso *et al*., 2018; Kumari *et al*., 2025). دانه لوبیا حاوی حدود ۲۵ درصد پروتئین، ۶۰ درصد کربوهیدرات، مقادیر قابل توجهی فیبر، ویتامین‌ها (از جمله نیاسین و فولیت) و عناصر معدنی مانند آهن، روی و منیزیم است (Rosales *et al*., 2012; Mohamed *et al*., 2023). این ترکیبات نقش مهمی در بهبود سلامت انسان داشته و مصرف لوبیا با کاهش خطر ابتلا به بیماری‌هایی نظیر دیابت، بیماری‌های قلبی-عروقی و برخی سرطان‌ها مرتبط دانسته شده است (Jenkins *et al*., 2012; Mullins *et al*., 2021). بنابراین، مصرف حبوبات از جمله لوبیا توسط بسیاری از سازمان‌های بهداشتی توصیه می‌شود (Havemeier *et al*., 2017).

سطح زیرکشت لوبیا در دنیا حدود ۳۴ میلیون هکتار، تولید آن ۳۰ میلیون تن و میانگین عملکرد آن حدود ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار است (FAOSTAT, 2024). طبق آمار فائو در سال ۲۰۲۴، ایران با ۸۴ هزار هکتار سطح زیر کشت، در رتبه ۴۰ دنیا قرار دارد. کشورهای هند، برزیل و میانمار به‌ترتیب با ۱۱/۷، ۲/۶۳ و ۲/۵۴ میلیون هکتار، بیشترین سطح زیر کشت لوبیا در دنیا را به خود اختصاص داده‌اند. از نظر تولید، ایران با بیش از ۱۶۰ هزار تن، رتبه ۳۰ را در دنیا دارد. هندوستان (۷/۹۹ میلیون تن)، برزیل (۳/۰۲ میلیون تن) و میانمار (۲/۳۹ میلیون تن) رتبه‌های برتر را از نظر تولید جهانی دارند و در مجموع حدود ۴۵ درصد تولید لوبیا در جهان به این سه کشور اختصاص دارد (FAOSTAT, 2024). در سال زراعی ۱۴۰۴-۱۴۰۳ استان لرستان از نظر سطح برداشت لوبیا (بیش از ۱۴/۶ هزار هکتار) و میزان تولید (حدود ۳۲ هزار تن)، پس از استان‌های فارس و زنجان، در رتبه سوم کشور قرار داشت. سطح برداشت و میزان تولید کل کشور در این سال زراعی به‌ترتیب معادل ۱۰۰ هزار هکتار و ۲۳۵ هزار تن بود (Statistical Yearbook, 2026).

تغذیه گیاهی یکی از ارکان اساسی در مدیریت نظام‌های زراعی پایدار به‌شمار می‌رود که نقش تعیین‌کننده‌ای در دستیابی به عملکرد کمی و کیفی مطلوب محصولات ایفا می‌کند. ارزیابی و بهینه‌سازی سیستم‌های تغذیه گیاه، به‌ویژه در شرایطی که فشارهای محیطی و محدودیت منابع رو به فزونی است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. استفاده صحیح از راهبردهای حاصلخیزی خاک و مدیریت تغذیه، علاوه بر افزایش بهره‌وری نهاده‌ها، می‌تواند در حفظ کیفیت منابع خاک و آب، کاهش روند فرسایش، صیانت از تنوع زیستی و ارتقای پایداری اکوسیستم‌های زراعی مؤثر

واقع شود. با این حال، در دهه‌های اخیر، گرایش فزاینده به مصرف کودهای شیمیایی به‌منظور افزایش تولید محصولات کشاورزی، پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی گسترده‌ای را در سطح جهانی به دنبال داشته است که از جمله آن‌ها می‌توان به آلودگی منابع آب و خاک، برهم خوردن تعادل اکولوژیکی و کاهش پایداری سیستم‌های تولید اشاره نمود (Salama *et al*., 2022a).

مصرف بلندمدت و غیر اصولی کودهای شیمیایی علاوه بر تحمیل هزینه‌های اقتصادی قابل توجه، موجب افت تدریجی کیفیت فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌شود و درنهایت، کاهش حاصلخیزی پایدار خاک را به دنبال دارد. این روند همچنین می‌تواند با کاهش کیفیت تغذیه‌ای محصولات، اختلال در چرخه‌های طبیعی عناصر غذایی و گسترش آلودگی‌های محیطی همراه باشد. در چنین شرایطی، ضرورت بازنگری در راهبردهای مدیریت تغذیه گیاهی و حرکت به سوی رویکردهای پایدار بیش از پیش احساس می‌شود. از این‌رو، توسعه و به‌کارگیری تکنیک‌های نوین زراعی در مدیریت عناصر غذایی، از جمله اصلاح ترکیب، نوع و شیوه مصرف کودها، به‌عنوان یک ضرورت علمی و عملی مطرح است.

در سال‌های اخیر، رویکرد تلفیقی در مصرف کودهای آلی و معدنی به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته است (Alzamel *et al*., 2022; Ghosh *et al*., 2022). کاربرد هم‌زمان این دو گروه از کودها می‌تواند ضمن بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، کارایی مصرف عناصر غذایی را افزایش داده و شرایط مناسب‌تری را برای رشد گیاه فراهم سازد. در این راستا، افزایش ظرفیت نگهداری آب، بهبود ساختار خاک، ارتقای فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید و تسهیل چرخه عناصر غذایی از جمله پیامدهای مثبت کاربرد تلفیقی کودهای آلی و معدنی محسوب می‌شوند. به‌طور کلی، کودهای آلی که عمدتاً منشأ گیاهی یا حیوانی دارند، با بهبود خصوصیات خاک و افزایش ماده آلی، نقش مهمی در پایداری تولید ایفا می‌کنند و در کنار کودهای معدنی می‌توانند به تنظیم بهتر تأمین عناصر غذایی برای گیاه کمک نمایند (Kamble *et al*., 2016; Mohamed *et al*., 2023). نتایج حاصل از بررسی رشد و کیفیت لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت محلول‌پاشی کودهای آلی- کلات نشان داد که محلول‌پاشی این کودها باعث بهبود ارتفاع بوته، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، غلظت نیتروژن و پتاسیم برگ، تعداد و عملکرد غلاف در مقایسه با گیاهان شاهد گردید (Aslani & Souri, 2018). همچنین، کل مواد جامد محلول در غلاف، ویتامین C و محتوای پروتئین کل به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. بنابراین استفاده از عناصر غذایی به‌صورت کلات آلی و به‌ویژه محلول‌پاشی می‌تواند عملکرد بالاتر گیاه لوبیا سبز را تضمین کند (Aslani & Souri, 2018).

در میان ترکیبات آلی مورد استفاده در تغذیه گیاهی، اسید هیومیک به‌دلیل ویژگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی خاص خود از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (Shahidi *et al*., 2026). این ترکیب حاصل فرآیند تجزیه مواد آلی بوده و از منابع مختلفی همچون خاک، پیت، لیگنیت اکسیدشده و سایر مواد آلی استخراج می‌شود. اسید هیومیک با خاصیت کلات‌کنندگی خود، قادر است عناصر غذایی مختلف را در خاک پایدار کرده و قابلیت جذب آن‌ها را برای گیاه افزایش دهد. علاوه‌براین، بهبود ظرفیت نگهداری آب، افزایش تهویه خاک، اصلاح ساختار دانه‌بندی و ارتقای دسترسی عناصر غذایی از دیگر اثرات مثبت این ترکیب است. همچنین نقش آن در بهبود سلامت خاک، افزایش فعالیت زیستی و ارتقای مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی مورد تأکید قرار گرفته است (Zhi *et al*., 2024).

در کنار ترکیبات هیومیکی، استفاده از اسیدهای آمینه نیز در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از رویکردهای نوین در تغذیه گیاهی مورد توجه قرار گرفته است. اسیدهای آمینه به‌عنوان واحدهای سازنده پروتئین‌ها نقش کلیدی در فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی گیاه دارند و در شرایط تنش‌زا که سنتز طبیعی آن‌ها در گیاه مختل می‌شود، کاربرد خارجی آن‌ها می‌تواند کمبود را جبران نماید. این ترکیبات از طریق محلول‌پاشی یا کاربرد خاکی قابل استفاده بوده و از طریق بهبود فرآیندهای بیوشیمیایی، افزایش کارایی فتوسنتز و تحریک رشد گیاه، نقش مؤثری در ارتقای عملکرد دارند. همچنین گزارش شده است که اسیدهای آمینه می‌توانند در تنظیم جذب و متابولیسم نیتروژن نقش داشته و از این طریق بر افزایش سنتز پروتئین و بهبود کیفیت محصول اثرگذار باشند. نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از آمینوکلات‌ها باعث تحمل بیشتر گیاه به تنش شوری در گوجه‌فرنگی (Ghasemi *et al*., 2014)، باقلا

(Abdoelhamid *et al*., 2015) و ماش (Abdul-Qados, 2010) می‌شود.

از سوی دیگر، در دهه‌های اخیر فناوری نانو نیز وارد عرصه کشاورزی شده و نانوکودها به‌عنوان نسل جدیدی از کودهای کشاورزی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این ترکیبات با دارا بودن ویژگی‌هایی نظیر رهایش کنترل‌شده عناصر غذایی، افزایش راندمان جذب و کاهش تلفات ناشی از آبشویی، می‌توانند کارایی مصرف کود را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشند (Wang *et al*., 2016; Abd Elwahed *et al*., 2019). نانوکودها اگرچه خود به‌طور مستقیم منبع غذایی محسوب نمی‌شوند، اما به‌عنوان حامل عناصر غذایی عمل کرده و امکان دسترسی مؤثرتر گیاه به مواد مغذی را فراهم می‌کنند. این ویژگی‌ها موجب شده است که استفاده از آن‌ها به‌عنوان جایگزین یا مکمل کودهای متداول در سیستم‌های تولید مطرح باشد (Liu & Lal, 2015). بهبود کارایی جذب، افزایش راندمان به‌دلیل سرعت جذب بیشتر، عدم اتلاف کودها به وسیله آبشویی و جذب کامل کود توسط گیاه در تمام فصل رشد، از ویژگی‌های مطلوب این کودها محسوب می‌شود. بنابراین، استفاده از نانوکودها به‌دلیل دارا بودن قابلیت جذب بیشتر توسط گیاهان، نیاز به استفاده از کودها را کاهش می‌دهد (Verma, 2022). در پژوهشی روی رقم لوبیا سفید الماس گزارش شد که محلول‌پاشی با نانوکود کلات سوپر میکرو در سه مرحله، افزایش ۳۳ درصدی عملکرد دانه را به‌همراه دارد (Dashadi & Kooshki, 2023). بر اساس نتایج این مطالعه، اگرچه محلول‌پاشی سه مرحله‌ای برای دستیابی به عملکرد بهینه توصیه می‌شود، اما در صورت محدودیت در تعداد دفعات مصرف، مرحله گلدهی تأثیرگذارترین زمان جهت اعمال تیمار گزارش شده است (Dashadi & Kooshki, 2023).

در کنار نوع کود، شیوه کاربرد آن نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در کارایی تغذیه گیاه دارد. به‌طور کلی، روش‌های خاک‌کاربرد و محلول‌پاشی دو رویکرد اصلی در تأمین عناصر غذایی محسوب می‌شوند. در شرایطی که کارایی جذب عناصر از طریق خاک به دلایل مختلفی همچون pH نامناسب، شوری یا آهکی بودن خاک محدود می‌شود، محلول‌پاشی می‌تواند به‌عنوان یک روش سریع و مؤثر در تأمین نیازهای غذایی گیاه مورد استفاده قرار گیرد (Marschner, 2011). این روش با فراهم کردن مستقیم عناصر غذایی برای اندام‌های هوایی، ضمن افزایش سرعت جذب، می‌تواند در بهبود کارایی مصرف کود و کاهش اتلاف آن نقش مؤثری داشته باشد. با این حال، استفاده از محلول‌پاشی باید به‌عنوان مکمل تغذیه خاکی و نه جایگزین کامل آن در نظر گرفته شود.

در روش خاک‌کاربرد، کارایی مصرف بسیاری از کودها به‌ویژه در اقلیم‌های خشک و خاک‌های آهکی و شور نسبتاً پایین گزارش شده است (Ghasemi *et al*., 2013; Souri *et al*., 2017). با این وجود، استفاده از کودهای مبتنی بر اسیدهای آمینه که تحت عنوان آمینوکلات‌ها شناخته می‌شوند، در برخی مطالعات موجب بهبود کارایی جذب و رشد گیاه نسبت به کودهای شیمیایی متداول شده است (Souri *et al*., 2017). اگرچه این ترکیبات عمدتاً برای محلول‌پاشی طراحی می‌شوند، کاربرد خاکی آن‌ها نیز در مقایسه با کودهای NPK می‌تواند نتایج مطلوب‌تری در رشد گیاه ایجاد نماید (Souri & Yarahmadi, 2016). همچنین به‌کارگیری این کودها، به‌ویژه از طریق محلول‌پاشی، معمولاً اثرات منفی کمتری بر تعادل یونی و شوری خاک دارد. با این حال، تکنیک‌های بهینه‌سازی مصرف کود نظیر کاربرد نواری عمیق، استفاده از کودهای پوشش‌دار و فرمولاسیون‌های پلت می‌توانند به افزایش کارایی مصرف کمک کنند. از سوی دیگر، تغذیه برگی به‌عنوان روشی مکمل در تأمین سریع عناصر غذایی، به‌ویژه در مراحل بحرانی رشد مانند گلدهی و تشکیل میوه که به‌دلیل کاهش فعالیت ریشه جذب عناصر محدود می‌شود، اهمیت ویژه‌ای دارد. با توجه به گستردگی خاک‌های آهکی در کشور و کاهش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در این شرایط، محلول‌پاشی می‌تواند به‌عنوان راهکاری مؤثر در رفع سریع کمبودهای تغذیه‌ای مطرح شود (Torab Ahmadi *et al*., 2019)، هرچند نباید جایگزین کامل تغذیه خاکی در نظر گرفته شود.

با توجه به چالش‌های موجود در نظام‌های تولید کشاورزی، از جمله کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش محدودیت‌های محیطی و نیاز روزافزون به تولید پایدار، بهره‌گیری از راهبردهای نوین تغذیه گیاهی مبتنی بر تلفیق کودهای آلی، معدنی، زیستی و فناوری‌های نوین نظیر نانوکودها، می‌تواند نقش مهمی در بهبود عملکرد و پایداری تولید ایفا نماید. در این میان، انتخاب صحیح نوع کود، شیوه مصرف و زمان کاربرد آن از عوامل کلیدی در افزایش کارایی سیستم‌های تغذیه‌ای و تحقق اهداف کشاورزی پایدار به

شمار می‌رود. در همین راستا مطالعه حاضر با هدف: ۱) بررسی واکنش صفات مختلف لوبیا به روش‌های مختلف کاربرد کودهای ترکیبی ماکرو و میکرو، ۲) بررسی واکنش عملکرد دانه لوبیا نسبت به افزودن انواع کودهای ترکیبی ماکرو و میکرو و ۳) شناسایی و معرفی بهترین ترکیب تیماری حاصل از اثرمتقابل روش مصرف و نوع کود مصرفی اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پروژه در بهار سال ۱۴۰۲ در پردیس تحقیقات و آموزش کشاورزی بروجرد استان لرستان، به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار با هدف بررسی تأثیر روش‌های مختلف کاربرد کودهای ترکیبی ماکرو و میکرو بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه لوبیا سفید رقم الماس انجام شد.

عملیات تهیه زمین (تناوب با غلات) شامل شخم، دیسک‌زنی، کوددهی، تسطیح و فاروزنی انجام شد. میزان کودهای پرمصرف مورد نیاز بر اساس آزمون خاک (جدول ۱) تعیین و مصرف شد. در زمان کاشت، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره استفاده شد. همچنین، ۱۰۰ کیلوگرم اوره در مراحل ابتدای غلاف‌دهی و گلدهی مصرف شد. به کمک فاروئر، جوی و پشته‌هایی با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر ایجاد شد. هر واحد آزمایشی شامل ۴ خط کاشت ۵ متری با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین خطوط بود. فاصله بین بلوک‌ها یک متر و بین هر دو کرت، نیم متر در نظر گرفته شد. پس از توزیع تصادفی تیمارها به واحدهای آزمایشی، بذرها در عمق حدود ۵ سانتی‌متری در واحدهای آزمایشی به‌صورت دستی در تاریخ ۱۰ خرداد ۱۴۰۲ کاشت و تاریخ اولین آبیاری (۲۰ خرداد ۱۴۰۲) به‌عنوان تاریخ کاشت در نظر گرفته شد.

تیمارهای مورد آزمایش شامل دو روش مصرف کود (کودآبیاری و محلول‌پاشی) به‌عنوان فاکتور اول (فاکتور a) و پنج نوع کود ترکیبی شامل سولوپتاس، سوپرهیومیک، ارگانو ماکرو میکرو، ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل) و آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه) به‌همراه شاهد (آب) به‌عنوان فاکتور دوم (فاکتور b) در نظر گرفته شدند. در مرداد ۱۴۰۲ و مصادف با آغاز ظهور جوانه گل، تیمارهای مورد نظر (محلول‌پاشی و کودآبیاری) طبق دستورالعمل شرکت سازنده کود (شرکت فناور نانو پژوهش مرکزی با نام تجاری بیوزر) و به میزان دز توصیه شده، اعمال گردید (جدول ۲).

جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعه

بافت خاک	ذرات خاک (٪)			کربن آلی (٪)	ماده آلی (٪)	اسیدیته (pH)	EC ($ds.m^{-1}$)	ارزش خنثی‌سازی (TNV%)
	شن	سیلت	رس					
سیلتی رسی	۱۸	۴۳	۳۹	۰/۹۵	۱/۶۴	۷/۷۸	۰/۷۵	۱۰

ادامه جدول ۱

محتوای عناصر پرمصرف (ppm)		غلظت ریزمغذی‌ها (ppm)			
پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	آهن	منگنز	روی	مس
۲۱۳	۴/۲	۵/۳۸	۴/۳۴	۰/۶۳	۱/۲۱

جدول ۲- تیمارهای کودی و میزان مصرف آن‌ها

ردیف	نام کود	میزان مصرف در روش محلول‌پاشی	میزان مصرف برای اعمال همراه با آبیاری
۱	سولوپتاس	۲ در هزار (2 kg / 1000 Lit = 200 g / 100 Lit)	۲۰ کیلوگرم در هکتار
۲	سوپرهیومیک	۲ در هزار (2 kg / 1000 Lit = 200 g / 100 Lit)	۳ کیلوگرم در هکتار
۳	ارگانو ماکرو میکرو	100 cc / 100 Lit	۵ لیتر در هکتار
۴	ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل)	۳ در هزار (3 kg / 1000 Lit = 300 g / 100 Lit)	۳ کیلوگرم در هکتار
۵	آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه)	۲ در هزار (2 kg / 1000 Lit = 200 g / 100 Lit)	۲ کیلوگرم در هکتار

علف‌های هرز در مراحل دو تا چهار برگی و ابتدای گلدهی به‌صورت مکانیکی کنترل شدند. آبیاری به روش نشتی و به‌صورت نرمال (هر ۵ تا ۷ روز یکبار) در زمان نیاز گیاه در مراحل مهم فنولوژی آن انجام شد. برای دستیابی به تراکم مناسب (۳۰ بوته در مترمربع)، در اوایل تیرماه ۱۴۰۲ و در مرحله دو تا چهار برگی، عملیات تنک کردن انجام گرفت. بوته‌ها در طول دوره رشد خود با هیچ‌گونه آفت یا بیماری مواجهه نشدند و هنگام آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد از هیچ‌گونه علفکش، آفتکش و قارچکش شیمیایی استفاده نشد.

در طی فصل رشد، مراقبت‌ها، اعمال تیمارها و یادداشت‌برداری‌های روزانه به‌طور منظم صورت گرفت. پیش از برداشت، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفات مختلف شامل وزن خشک بوته، ارتفاع بوته، وزن غلاف‌ها در بوته، تعداد غلاف‌ها در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، عملکرد دانه در بوته، عملکرد کاه در بوته و شاخص برداشت در بوته اندازه‌گیری شد. از تقسیم وزن خشک کل اندام زایشی (غلاف) بر وزن خشک کل بوته، شاخص زادآوری یا تلاش بازآوری به‌دست آمد (Amiri *et al.*, 2021). زمانی که برگ‌های بوته لوبیا شروع به زرد شدن و ریزش کردند و اکثر غلاف‌ها (حدود ۹۰ -۸۰ درصد) رسیدند و دانه‌ها خشک شدند، بوته‌ها در تمامی کرت‌ها به‌طور کامل و پس از حذف حاشیه‌ها، به‌صورت دستی برداشت شدند. سپس در سطح مزرعه به‌صورت توده‌های کوچک باقی گذاشته شدند تا شاخه و برگ سبز آن‌ها کاملاً خشک گردید. پس از چند روز، بوته‌ها خرمن‌کوبی شدند و دانه‌ها از کاه جدا گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در هر کرت، تمام بوته‌های مربوط به هر کرت برداشت گردید و بعد از کوبیدن، وزن کل دانه‌های آن به‌عنوان عملکرد دانه در سطح مزبور در نظر گرفته شد و با تعمیم به هکتار به‌صورت کیلوگرم در هکتار تبدیل شد.

قبل از انجام تجزیه‌ها، نرمال بودن توزیع داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزارهای SAS ۹/۱ و MSTATC انجام شد. جهت مقایسات میانگین داده-های به‌دست آمده، از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد. برای محاسبه آمار توصیفی از نرم‌افزار SPSS ver.22 و برای محاسبه ضرایب همبستگی بین صفات از نرم‌افزار R ver.4.5.1 استفاده گردید.

نتایج و بحث

آمار توصیفی

بر اساس داده‌های جدول ۳، صفت عملکرد کاه در بوته در بین صفات مورد بررسی، بیشترین ضریب تغییرات (۱۹/۲۳ درصد) را به خود اختصاص داد. پس از آن، صفات وزن خشک بوته و تعداد غلاف‌ها در بوته با بیش از ۱۲ درصد، بیشترین میزان تغییرات فنوتیپی را داشتند. صفات شاخص زادآوری و وزن صد دانه دارای کمترین تنوع بر اساس آماره ضریب تغییرات بودند. بیشتر بودن میزان تغییرات عملکرد کاه در بوته را می‌توان به حساسیت بالای این صفت به شرایط تغذیه‌ای و نقش مستقیم آن در بازتاب رشد رویشی نسبت داد. این صفت عمدتاً تابع تولید زیست‌توده و رشد اندام‌های رویشی است و در این پژوهش نیز صفات مرتبط با رشد رویشی نظیر وزن خشک بوته تغییرات بالایی نشان دادند. از آنجا که تیمارهای کودی به‌ویژه از طریق تأمین عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف موجب بهبود رشد رویشی، افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک شدند، بنابراین انتظار می‌رود این صفت بیش از سایر صفات تحت تأثیر قرار گیرد. در مقابل، صفاتی مانند وزن صد دانه و شاخص زادآوری که تا حد زیادی تحت کنترل ژنتیکی بوده و وابستگی کمتری به شرایط تغذیه‌ای دارند، تغییرات کمتری را نشان دادند. بنابراین، بیشترین ضریب تغییرات عملکرد کاه در بوته را می‌توان ناشی از پاسخ‌پذیری بالای این صفت به تیمارهای کودی و وابستگی آن به رشد رویشی دانست.

جدول ۳- آمار توصیفی مربوط به صفات مورد مطالعه

صفت	میانگین	کمینه	بیشینه	دامنه	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
وزن خشک بوته (گرم)	۷۴/۲۴	۵۵/۰۰	۹۵/۲۰	۴۰/۲۰	۱۰/۰۴	۱۳/۵۳	۰/۰۴۲	-۰/۳۵۶
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	۱۲۰/۶۳	۹۹/۸۰	۱۴۵/۸۰	۴۶/۰۰	۱۰/۴۸	۸/۶۹	۰/۱۰۰	-۰/۱۱۸
وزن غلاف‌ها در بوته (گرم)	۴۹/۲۳	۳۸/۴۰	۶۰/۸۰	۲۲/۴۰	۵/۸۷	۱۱/۹۲	-۰/۰۴۹	-۰/۵۶۰
تعداد غلاف در بوته	۳۰/۰۸	۲۳/۰۰	۳۸/۰۰	۱۵/۰۰	۳/۶۳	۱۲/۰۸	۰/۰۰۹	-۰/۶۶۵
تعداد دانه در بوته	۱۱۷/۱۴	۹۱/۴۰	۱۴۰/۴۰	۴۹/۰۰	۱۴/۰۴	۱۱/۹۸	-۰/۱۵۲	-۱/۱۲۵
وزن صد دانه (گرم)	۳۲/۳۴	۲۸/۳۲	۳۶/۹۶	۸/۶۴	۲/۰۵	۶/۳۴	۰/۱۳۰	-۰/۵۱۴
عملکرد دانه در بوته (گرم)	۳۷/۷۹	۲۸/۱۴	۴۶/۲۸	۱۸/۱۴	۴/۳۰	۱۱/۳۷	-۰/۱۱۸	-۰/۲۳۰
عملکرد کاه در بوته (گرم)	۳۶/۴۵	۲۴/۹۴	۵۲/۱۶	۲۷/۲۲	۷/۰۱	۱۹/۲۳	۰/۴۰۱	-۰/۱۸۹
شاخص برداشت در بوته (٪)	۵۱/۱۸	۴۴/۶۰	۵۸/۴۳	۱۳/۸۳	۳/۹۰	۷/۶۳	۰/۲۴۹	-۰/۹۱۰
شاخص زادآوری (٪)	۶۶/۵۶	۵۸/۹۱	۷۲/۸۵	۱۳/۹۴	۳/۷۵	۵/۶۴	-۰/۱۴۶	-۰/۹۳۱
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	۵۰۶۱	۴۱۷۳	۶۰۷۵	۱۹۰۲	۵۵۰	۱۰/۸۶	۰/۰۱۱	-۱/۱۹۳

تجزیه واریانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تیمارها از نظر صفات اندازه-گیری شده، در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج، روش مصرف کود (فاکتور a) از نظر صفات وزن خشک بوته و شاخص برداشت در بوته دارای اختلاف معنی‌دار (سطح احتمال پنج درصد) و از نظر صفت عملکرد کاه در بوته، دارای اختلاف بسیار معنی‌داری (سطح احتمال یک درصد) بودند. همچنین نوع کود مصرفی (فاکتور b) دارای اثر معنی‌دار روی صفات تعداد غلاف در بوته و وزن صد دانه و اثر بسیار معنی‌دار روی صفات وزن خشک بوته، وزن غلاف‌ها در بوته، تعداد دانه در بوته و عملکرد کاه در بوته بود. تمام صفات مورد مطالعه بجز وزن صد دانه و عملکرد دانه، در سطح احتمال یک درصد به وسیله اثرمتقابل روش مصرف کود × نوع کود تحت تأثیر قرار گرفتند.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن خشک بوته	ارتفاع بوته	وزن غلاف‌ها در بوته	تعداد غلاف در بوته	تعداد دانه در بوته	وزن صد دانه
تکرار	۲	۲۳/۱۰ ns	۴/۷۴ ns	۷/۹۳ ns	۳/۸۶ ns	۱۰۹/۵۲ ns	۳/۶۳ ns
روش مصرف کود (a)	۱	۸۱/۶۰ *	۷۲/۸۲ ns	۱۲/۰۲ ns	۹/۶۱ ns	۲/۵۶ ns	۰/۲۲ ns
نوع کود (b)	۵	۲۰۱/۲۰ **	۱۴۶/۴۸ ns	۵۷/۸۱ **	۲۰/۸۸ *	۳۷۴/۱۷ **	۹/۶۸ *
اثر متقابل ab	۵	۳۹۳/۳۶ **	۳۰۲/۵۴ **	۱۱۸/۹۸ **	۳۳/۱۱ **	۵۶۲/۷۷ **	۱/۷۸ ns
خطای آزمایش	۲۲	۱۹/۵۶	۶۸/۸۹	۱۳/۳۶	۷/۹۶	۹۰/۴۴	۳/۷۴
ضریب تغییرات (٪)	-	۵/۹۶	۶/۸۸	۷/۴۲	۹/۳۸	۸/۱۲	۵/۹۸

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ادامه جدول ۴

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد دانه در بوته	عملکرد کاه در بوته	شاخص برداشت در بوته	شاخص زادآوری	عملکرد دانه
تکرار	۲	۲/۴۶ ns	۲۲/۹۱ ns	۱۰/۷۸ ns	۱۰/۵۹ ns	۳۵۶۵۹/۰۰ ns
روش مصرف کود (a)	۱	۰/۰۸ ns	۸۶/۹۲ **	۴۰/۶۴ *	۱۴/۰۵ ns	۳۸۳۷۸۰/۲۵ ns
نوع کود (b)	۵	۲۹/۹۳ ns	۸۲/۴۸ **	۹/۱۴ ns	۹/۳۵ ns	۹۳۳۸۵۱/۱۸ **
اثر متقابل ab	۵	۴۳/۷۶ **	۲۰۳/۲۴ **	۴۲/۱۵ **	۴۰/۸۷ **	۳۰۷۱۰۹/۱۸ ns
خطای آزمایش	۲۲	۱۲/۳۷	۷/۱۸	۹/۷۴	۹/۳۹	۱۷۷۶۶۰/۳۰
ضریب تغییرات (٪)	-	۹/۳۱	۷/۳۵	۶/۱۰	۴/۶۱	۸/۳۳

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

مقایسات میانگین

وزن خشک بوته:

تیمار ارگانو ماکرو میکرو در روش مصرف کودآبیاری، منجر به بالاترین وزن خشک بوته (۹۲/۸ گرم) شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. ترکیبات تیماری شاهد (۵۸/۲ گرم) و ارگانو ماکرو میکرو (۶۱/۰ گرم) در روش محلول‌پاشی، به‌طور معنی‌داری کمترین مقدار وزن خشک بوته را (۵). در تحقیقی، بررسی اثرات تغذیه خاکی پتاسیم-هیومیک و محلول‌پاشی برگی (نانوکود روی، اسیدآمینه و سیلیکات پتاسیم) تحت شرایط کم‌آبیاری نشان داد که اعمال رژیم آبیاری منظم و تغذیه ترکیبی خاکی-برگی، موجب بهبود چشمگیر عملکرد دانه، زیست‌توده و شاخص برداشت در لوبیا چیتی می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده مبنی بر افزایش زیست‌توده در تیمارهای تلفیقی، بیانگر کارایی بالای رویکردهای تغذیه همزمان در بهینه‌سازی رشد گیاه تحت شرایط تنش‌زا است (Shahidi *et al*., 2026).

ارتفاع بوته:

ترکیبات تیماری ارگانو ماکرو میکرو و سولوپتاس در روش مصرف کودآبیاری و نیز آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه) در روش محلول‌پاشی، به‌ترتیب با ۱۳۸/۱، ۱۲۹/۶ و ۱۳۳/۰ سانتی‌متر، به‌طور معنی‌داری بلندترین بوته‌ها را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). افزایش ارتفاع بوته در این تیمارها، به علت نقش مفید کودهای مورد استفاده در باروری خاک و تقویت ریشه گیاه و رشد بیشتر اندام‌های رویشی گیاه است. کوتاه‌ترین بوته‌ها مربوط به تیمار سوپرهیومیک در روش مصرف کودآبیاری (۱۱۰/۲ سانتی‌متر) و تیمارهای ارگانو ماکرو میکرو و شاهد در روش محلول‌پاشی (۱۱۴/۳ سانتی‌متر) بود. کمبود عناصر کم‌مصرف، بیوسنتز اکسین را مختل کرده و در اثر آن، میانگره‌ها و ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد. برتری تیمار ارگانوماکرو میکرو سولوپتاس در افزایش ارتفاع بوته احتمالاً به‌دلیل اثر هم‌افزایی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف، به‌ویژه نقش پتاسیم در افزایش طویل شدن سلولی و بهبود انتقال مواد فتوسنتزی، و همچنین تأثیر ریزمغذی‌ها در تحریک فعالیت‌های آنزیمی و سنتز هورمون‌های رشد نظیر اکسین است که در مجموع موجب افزایش طول میانگره‌ها و رشد رویشی گیاه شده است.

کود آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه)، ترکیب قدرتمندی از عناصر ریزمغذی آهن (Fe)، روی (Zn) و منگنز (Mn)، منیزیم (Mg)، مس (Cu)، بور (B)، مولیبدن (Mo) و اسیدهای آمینه است که موجب افزایش حاصلخیزی خاک و توسعه رشد ریشه و افزایش مقاومت به خشکی و شوری و افزایش مقاومت به سرمازدگی می‌شود. همچنین، اسیدهای آمینه در سنتز سایر ترکیبات آلی مانند پروتئین، آمین‌ها، آلکالوئیدها، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و ترپنوئیدها نقش دارند (Alhammad & Seleiman, 2023). اسیدهای آمینه علاوه بر فراهم کردن منبع کربن و انرژی و محافظت سلول‌ها از سمیت آمونیاک، به‌عنوان بافر عمل کرده و منجر به تحریک رشد سلولی می‌شوند. علاوه‌براین، بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که اسیدهای آمینه می‌توانند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی در رشد و نمو گیاه تأثیر بگذارند (Shafeek *et al*., 2018). در یک مطالعه نشان داده شد که محلول‌پاشی و به میزان کمتری روش خاک‌کاربرد کود تجاری آمینوکلات، سبب افزایش رشد، عملکرد و کیفیت گیاهان گوجه فرنگی، خیار و لوبیا شد (Souri *et al*., 2017).

وزن و تعداد غلاف‌ها در بوته:

بیشترین وزن غلاف‌ها در بوته، به‌ترتیب با مقادیر ۵۸/۷۳، ۵۵/۷۳ و ۵۳/۴۷ گرم مربوط به ترکیبات تیماری ارگانو ماکرو میکرو در روش مصرف کودآبیاری و سولوپتاس و سوپرهیومیک در روش محلول‌پاشی بود که اختلاف معنی‌داری با اغلب تیمارهای بررسی شده داشتند (جدول ۵). ترکیب تیماری ارگانو ماکرو میکرو در روش مصرف کودآبیاری بیشترین تعداد غلاف در بوته (۳۵/۳۳) را به خود اختصاص داد که البته اختلاف معنی‌داری با تیمارهای سوپرهیومیک (۳۱/۶۰) و ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل) (۳۱/۱۳) در روش مصرف کودآبیاری و نیز ترکیبات تیماری سولوپتاس (۳۳/۸۷) و ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل) (۳۱/۴۷) در روش محلول‌پاشی نداشت (جدول ۵). در یک بررسی، اثر محلول‌پاشی کود نانو کلات سوپرپلاس در مراحل مختلف رشد گندم دوروم مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد دارد (Firoozi *et al*., 2018). به نظر می‌رسد که عناصر ریزمغذی با تقویت سیستم

فتوسنتزی گیاه، سبب افزایش شدت فتوسنتز و انتقال ماده غذایی بیشتر به اندام‌های زایشی شده و در نتیجه، تعداد بیشتری از گل‌ها تلقیح و به غلاف تبدیل شده و بنابراین وزن و تعداد غلاف در بوته افزایش یافته است. گزارش شده است که محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف سبب افزایش سنتز برخی آنزیم‌های محرک رشد شده و در نتیجه با افزایش تلقیح گل‌ها، تعداد غلاف در لوبیا چیتی افزایش می‌یابد (Roshdi *et al*., 2012).

تعداد دانه در بوته:

ترکیبات تیماری سولوپتاس در روش محلول‌پاشی (۱۳۵/۳)، ارگانو ماکرو میکرو در روش مصرف کودآبیاری (۱۳۴/۷) و ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل) در هر دو روش محلول‌پاشی (۱۲۸/۱) و مصرف کودآبیاری (۱۲۵/۶)، به‌طور معنی‌داری دارای بیشترین تعداد دانه در بوته بودند (شکل ۱). تیمار شاهد در روش محلول‌پاشی دارای کمترین تعداد دانه در بوته (۹۶/۸۷) بود که البته اختلاف معنی‌داری با ترکیبات تیماری ارگانو ماکرو میکرو در روش محلول‌پاشی (۱۰۴/۹) و نیز سولوپتاس (۱۰۸/۹)، آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه) (۱۰۹/۵) و شاهد (۱۱۱/۱) در روش مصرف کودآبیاری، معنی‌دار نداشت. محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی نقش مهمی در کاتالیزوری فرآیندهای متابولیسمی و حفظ آماس سلولی در گیاه دارند و بدین‌ترتیب سلول به فعالیت‌های حیاتی خود ادامه داده و در نهایت، به تعداد دانه در غلاف و عملکرد دانه قابل قبول‌تری منجر می‌شود (Yousefipor *et al*., 2018). اثر متقابل کاربرد کودهای آلی و زیستی بر صفات تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه، تعداد روز تا رسیدگی بوته، درصد نیتروژن و کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن معنی‌دار بود. بنابراین مصرف توأم کودهای زیستی و آلی موجب بهبود کمی و کیفی صفات زراعی گیاه لوبیا سفید می‌گردد (Arab-Niasar *et al*., 2019).

عملکرد دانه در بوته:

بالاترین مقدار این صفت به ترکیب تیماری سولوپتاس در روش محلول‌پاشی (۴۳/۰۳ گرم) اختصاص داشت که اختلاف معنی‌داری با ترکیبات تیماری سوپرهیومیک، ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل) و آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه) در روش محلول‌پاشی و نیز ترکیبات تیماری سوپرهیومیک، ارگانو ماکرو میکرو و ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل) در روش مصرف کودآبیاری نداشت (شکل ۲). کمترین مقدار عملکرد دانه در بوته به تیمار شاهد در روش محلول‌پاشی (۳۲/۱۵ گرم) اختصاص یافت و اختلاف معنی‌داری با ترکیب تیماری ارگانو ماکرو میکرو در روش محلول‌پاشی و نیز ترکیبات تیماری سولوپتاس، آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه) و شاهد در روش مصرف کودآبیاری، نداشت (شکل ۲).

نتایج تأثیر نانوکود بر صفات زراعی-مورفولوژیکی، عملکرد و پایداری ژنومی لوبیا معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.) نشان داد که استفاده همزمان از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف به‌عنوان نانوکود برگی در مرحله رشد رویشی، به‌طور معنی‌داری پارامترهای رشد و عملکرد لوبیا را بهبود بخشید (Salama *et al*., 2022b). غلظت ۴۰ میلی‌گرم در لیتر ریز مغذی‌ها به‌عنوان نانوذرات، به بهبود رشد رویشی، تعداد گلدهی و ویژگی‌های عملکرد لوبیا معمولی منجر می‌شود (Salama *et al*., 2022b). نتایج مطالعه‌ای با عنوان اثرات مفید محلول‌پاشی کودهای آلی کلات بر تولید لوبیا فرانسوی در شرایط مزرعه در خاک آهکی، نشان داد که رشد گیاه با محلول‌پاشی کودهای آلی کلات بیومین، هومی‌فولین و دلفان‌پلاس بهبود یافت (Souri & Aslani, 2018). همچنین، بسیاری از پارامترهای رشد رویشی و همچنین عملکرد گیاه، محتوای مواد مغذی و کیفیت میوه با استفاده از این سه کود آلی تجاری بهبود یافتند. افزایش رشد گیاه و صفات مختلف عملکرد نیز در مطالعه روی گیاهان دیگر از جمله همیشه بهار (Souri & Yarahmadi, 2016) و گوجه‌فرنگی (Garcia *et al*., 2011) گزارش شده است.

عملکرد کاه و شاخص برداشت در بوته:

ترکیب تیماری ارگانو ماکرو میکرو در روش مصرف کودآبیاری (۵۰/۹۵ گرم)، به‌طور معنی‌داری، بیشترین عملکرد کاه در بوته را به خود اختصاص داد. بالاترین و پایین‌ترین مقدار شاخص برداشت در بوته به‌ترتیب مربوط به ترکیب تیماری عدم محلول‌پاشی (۵۵/۱۲ درصد) و کاربرد سولوپتاس در روش کودآبیاری (۴۷/۸۱ درصد) بود. اختلافات معنی‌دار زیادی بین ترکیبات تیماری از لحاظ این صفت وجود نداشت (جدول ۵). افزایش عملکرد کاه در تیمار ارگانو ماکرو میکرو را می‌توان به تأمین متعادل عناصر غذایی و تحریک رشد رویشی نسبت داد که منجر به افزایش تولید زیست‌توده شده است. با این حال، عدم اختلاف معنی‌دار در شاخص برداشت نشان می‌دهد که توزیع ماده

خشک بین اندام‌های رویشی و زایشی تحت تأثیر تیمارها تغییر چشمگیری نداشته است.

شاخص زادآوری و وزن صد دانه:

بالاترین و پایین‌ترین مقدار شاخص زادآوری به‌ترتیب متعلق به ترکیبات تیماری شاهد (۷۰/۷۹ درصد) و ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل) (۶۲/۶۳ درصد) در روش محلول‌پاشی بود. اختلافات معنی‌دار زیادی بین ترکیبات تیماری از لحاظ این صفت وجود نداشت (جدول ۵). مقایسه میانگین تیمارهای نوع کود از نظر صفت وزن صد دانه نشان داد که میانگین این صفت برابر ۳۲/۳۴ گرم بود که تیمار کود سوپرهیومیک با ۳۴/۲۴ گرم، بیشترین و تیمار ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل) با ۳۰/۵۴ گرم، کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند. اختلافات معنی‌دار زیادی بین ترکیبات تیماری از لحاظ این صفت وجود نداشت (شکل ۳). عدم تفاوت معنی‌دار در شاخص زادآوری و وزن صد دانه احتمالاً به کنترل ژنتیکی این صفات و حساسیت کمتر آن‌ها به شرایط تغذیه‌ای مربوط می‌شود.

عملکرد دانه:

مقایسه میانگین تیمارهای نوع کود از نظر صفت عملکرد دانه نشان داد که میانگین این صفت برابر ۵۰۶۰/۹۲ کیلوگرم در هکتار بود که تیمار کود سوپرهیومیک با ۵۴۷۷ کیلوگرم در هکتار، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد که با تیمارهای سولوپتاس، ارگانو ماکرو میکرو و آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴). کمترین مقدار عملکرد دانه نیز به تیمار شاهد با ۴۴۴۸ کیلوگرم در هکتار مربوط بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل) (۴۷۶۴ کیلوگرم در هکتار) نداشت (شکل ۴). بنابراین طبق نتایج، استفاده از عناصر غذایی مختلف، باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد گردیده است. آنالیز ترکیبات سوپر هیومیک عبارت است از پتاسیم (K_2O)، هیومیک اسید، فولویک اسید (Fulvic Acid)، هومین (Humin)، ماده آلی و کربن آلی. اسید هیومیک نفوذپذیری غشای سلولی را افزایش داده و بدین طریق ورود پتاسیم را تسهیل می‌کند که نتیجه آن، افزایش فشار داخل سلولی و تقسیم سلول است. از طرف دیگر، افزایش انرژی در داخل سلول به افزایش تولید کلروفیل و میزان فتوسنتز منجر خواهد شد و به دنبال آن یک فاکتور مهم در رشد یعنی جذب نیتروژن به درون سلول تشدید می‌گردد و تولید نیترات کاهش می‌یابد که در نهایت، این اثرات به افزایش تولید منجر می‌شود (Giasuddin *et al.*, 2007).

افزایش عملکرد دانه در تیمارهای کودی را می‌توان با توجه به تغییرات ایجاد شده در اجزای عملکرد دانه تبیین نمود. نتایج نشان داد که تیمارهای دارای عملکرد دانه بالاتر، عمدتاً از تعداد غلاف و تعداد دانه در بوته بیشتری برخوردار بودند. به‌طوری‌که ترکیب تیماری سولوپتاس در روش محلول‌پاشی با دستیابی به بیشترین عملکرد دانه در بوته (۴۳/۰۳ گرم)، دارای بیشترین تعداد دانه در بوته (۱۳۵/۳ عدد) بود (جدول ۵). همچنین، تیمار ارگانو ماکرو میکرو در روش کودآبیاری که از نظر عملکرد دانه در بوته در گروه تیمارهای برتر قرار داشت، بیشترین مقدار وزن خشک بوته (۹۲/۸ گرم)، وزن غلاف در بوته (۵۸/۷۳ گرم)، تعداد غلاف در بوته (۳۵/۳۳ عدد) و تعداد دانه در بوته (۱۳۴/۷ عدد) را به خود اختصاص داد (جدول ۵). این نتایج نشان می‌دهد که تأمین متعادل عناصر غذایی از طریق کودهای مورد استفاده، با افزایش رشد رویشی، بهبود تشکیل اندام‌های زایشی و افزایش تعداد غلاف‌های بارور، زمینه افزایش تعداد دانه در بوته و درنهایت افزایش عملکرد دانه را فراهم کرده است. از آنجا که وزن صد دانه تحت تأثیر تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری نشان نداد، به نظر می‌رسد تفاوت عملکرد دانه در این آزمایش بیشتر تحت تأثیر تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف در مقایسه با وزن دانه، بوده است.

در بررسی اثر محلول‌پاشی کود عناصر ریزمغذی در مراحل مختلف فنولوژیک بر عملکرد و کیفیت دانه لوبیا سفید (رقم الماس) پژوهشی در طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در پردیس تحقیقات و آموزش کشاورزی بروجرد انجام شد و طبق نتایج و بر اساس متوسط دو سال زراعی، بیشترین عملکرد دانه (۵۳۱۷ کیلوگرم در هکتار) به محلول‌پاشی در سه مرحله قبل از گلدهی، گلدهی و پر شدن دانه مربوط بود و کمترین مقدار عملکرد دانه (۳۹۸۵ کیلوگرم در هکتار) نیز به تیمار شاهد اختصاص داشت (Dashadi & Kooshki, 2023). نتایج مطالعه محققان نشان داد تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد دانه لوبیا چیتی بسیار معنی‌دار است؛ به‌طوری که بیشترین مقدار عملکرد دانه مربوط به محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد (عدم مصرف کود) بود

(Nasrollahzadeh Asl & Gorbannezhad, 2014). استفاده از ریزمغذی‌ها از طریق محلول‌پاشی برای افزایش کارایی استفاده از ریزمغذی‌ها و ارتقای عملکرد محصول بسیار مهم است، زیرا جذب عناصر غذایی سریع‌تر بوده و احتیاجات گیاه را به مقدار مورد نیاز تأمین می‌کند (Sapkota *et al*., 2021; Bana *et al*., 2022). در مطالعه‌ای نشان داده شد که ترکیب کودهای آلی و معدنی مؤثرتر از کودهای معدنی یا کود آلی به تنهایی در رشد و عملکرد لوبیا است (Kamble *et al*., 2016).

عناصر کم مصرف به ویژه آهن، روی، منگنز و مس برای رشد گیاهان ضروری بوده و در فعالیت‌های مختلف بیوشیمیایی سلول‌های گیاهی نقش بسیار مهمی دارند. هرگونه تنش تغذیه‌ای ناشی از کمبود این عناصر به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت انسان و حیوان تأثیر نامطلوبی بر جای می‌گذارد. محلول‌پاشی آهن و منیزیم روی اندام‌های هوایی گیاهان از طریق تأثیر بر کلروفیل و فتوسنتز گیاه، به افزایش عملکرد منجر می‌شود (Mallick *et al*., 2010). هر زمان که نانو ذرات در سطح برگ استفاده می‌شوند، از طریق منافذ روزنه یا از طریق کرک‌های موجود در سطح برگ، وارد و سپس به بافت‌های مختلف منتقل می‌شوند. پژوهشگران طی آزمایشی اعلام کردند که محلول‌پاشی عناصر کم مصرف به‌طور معنی‌داری عملکرد دانه لوبیا چیتی را افزایش داده است (Roshdi *et al*., 2012). نتایج مطالعه اثر کودهای زیستی و معدنی فسفره همراه با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد لوبیا چیتی نشان داد که تأثیر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر صفات ارتفاع بوته، تعداد انشعاب در بوته، تعداد نیام در بوته، شاخص برداشت و عملکرد دانه معنی‌دار بود (Nasrollahzadeh Asl & Gorbannezhad, 2014).

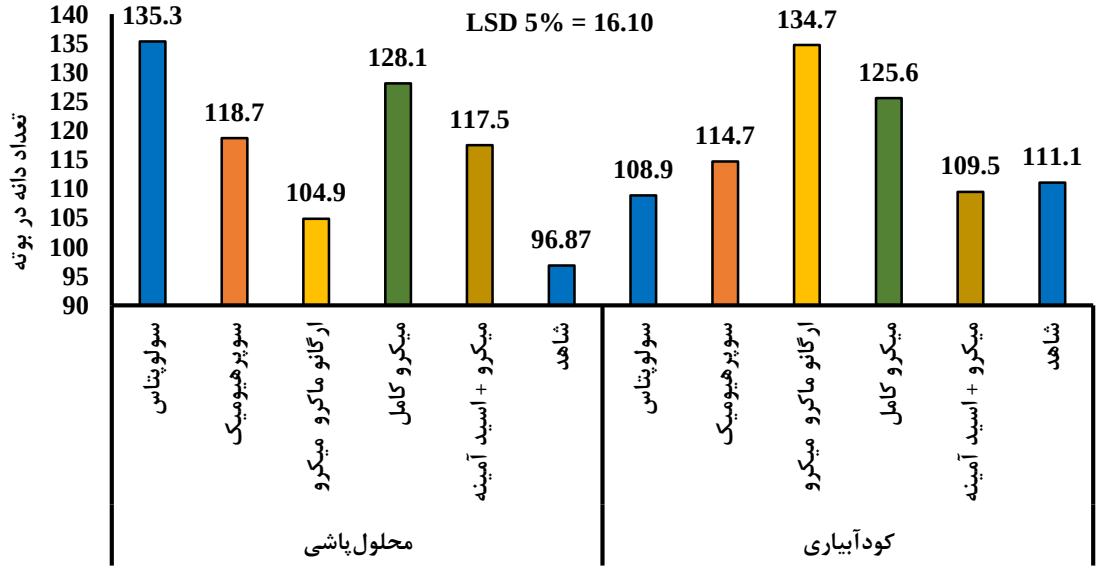
جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل روش مصرف کود × نوع کود بر صفات مورد مطالعه

روش مصرف کود	نوع کود	وزن خشک بوته (گرم)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	وزن غلاف‌ها در بوته (گرم)	تعداد غلاف در بوته
محلول‌پاشی	سولوپتاس	۷۹/۹۳	۱۱۸/۱	۵۵/۷۳	۳۳/۸۷
	سوپرهیومیک	۸۴/۰۷	۱۱۸/۷	۵۳/۴۷	۲۹/۵۳
	ارگانو ماکرو میکرو	۶۱/۰۰	۱۱۴/۳	۴۱/۷۳	۲۷/۲۷
	ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل)	۸۰/۶۷	۱۱۶/۹	۵۰/۴۰	۳۱/۴۷
	آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه)	۷۲/۵۳	۱۳۳/۰	۴۹/۴۰	۳۰/۵۳
	شاهد	۵۸/۲۰	۱۱۴/۳	۴۱/۲۰	۲۴/۷۳
کودآبیاری	سولوپتاس	۷۶/۹۳	۱۲۹/۶	۴۸/۲۷	۲۹/۲۰
	سوپرهیومیک	۷۴/۴۰	۱۱۰/۲	۵۰/۹۳	۳۱/۶۰
	ارگانو ماکرو میکرو	۹۲/۸۰	۱۳۸/۱	۵۸/۷۳	۳۵/۳۳
	ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل)	۷۲/۰۰	۱۱۷/۹	۴۸/۸۷	۳۱/۱۳
	آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه)	۶۷/۷۳	۱۱۷/۰	۴۵/۱۳	۲۷/۵۳
	شاهد	۷۰/۶۰	۱۱۹/۶	۴۶/۹۳	۲۸/۸۰
میانگین		۷۴/۲۴	۱۲۰/۶۳	۴۹/۲۳	۳۰/۰۸
LSD 5%		۷/۴۹	۱۴/۰۵	۶/۱۹	۴/۷۸

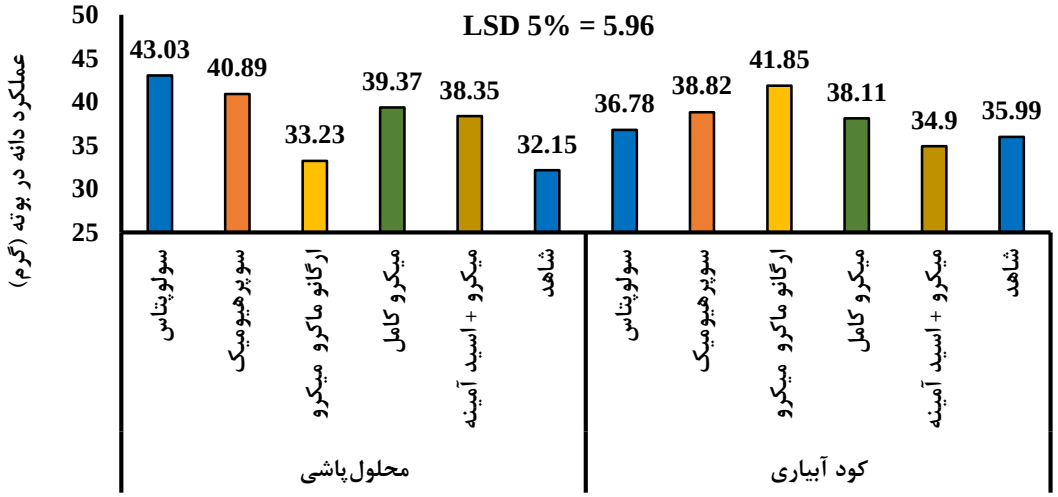
ادامه جدول ۵

روش مصرف کود	نوع کود	عملکرد کاه در بوته (گرم)	شاخص برداشت در بوته (٪)	شاخص زادآوری (٪)
محلول‌پاشی	سولوپتاس	۳۶/۹۰	۵۳/۷۲	۶۹/۷۳
	سوپرهیومیک	۴۳/۱۷	۴۸/۶۱	۶۳/۶۲
	ارگانو ماکرو میکرو	۲۷/۷۷	۵۴/۳۶	۶۸/۳۲
	ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل)	۴۱/۲۹	۴۸/۹۰	۶۲/۶۳
	آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه)	۳۴/۱۹	۵۲/۷۳	۶۸/۰۰
	شاهد	۲۶/۰۵	۵۵/۱۲	۷۰/۷۹
کودآبیاری	سولوپتاس	۴۰/۱۵	۴۷/۸۱	۶۲/۶۷
	سوپرهیومیک	۳۵/۵۸	۵۲/۱۶	۶۸/۴۲
	ارگانو ماکرو میکرو	۵۰/۹۵	۴۵/۰۹	۶۳/۲۸
	ZFM سوپرپلاس (میکرو کامل)	۳۳/۸۹	۵۲/۹۰	۶۷/۸۹
	آمینو ZFM (میکرو + اسید آمینه)	۳۲/۸۳	۵۱/۷۴	۶۶/۸۰
	شاهد	۳۴/۶۱	۵۰/۹۹	۶۶/۵۲
میانگین		۳۶/۴۵	۳۶/۴۵	۵۱/۱۸
LSD 5%		۴/۵۴	۴/۵۴	۵/۲۹

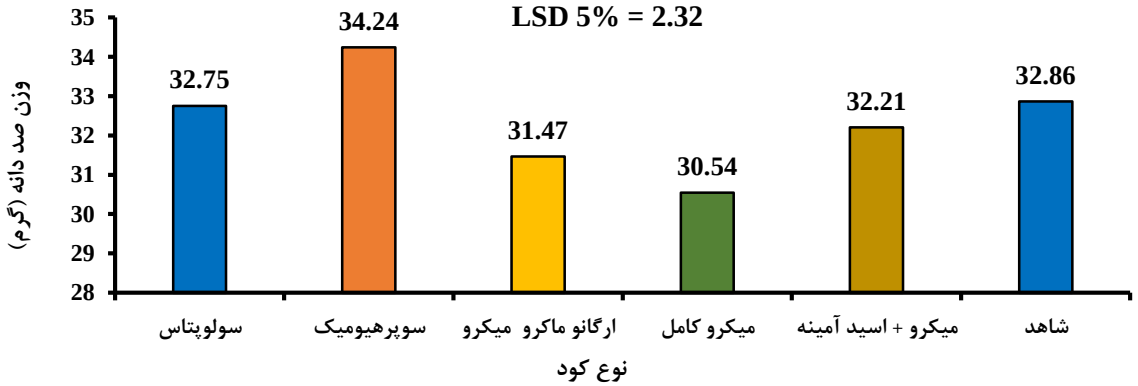
کود ارگانو ماکرو میکرو، ضمن داشتن ۱۳ عنصر پرمصرف (ماکرو) و کم‌مصرف (میکرو)، حاوی ۲۵ درصد ماده آلی نیز می‌باشد. ماده آلی بالای موجود در این کود باعث افزایش حاصلخیزی و بهبود شرایط فیزیکی خاک و نیز تسهیل در جذب عناصر تثبیت شده در خاک می‌شود. نتایج بررسی کارایی نیتروژن و عملکرد دانه لوبیا سفید تحت کاربرد تلفیقی کودهای آلی و زیستی نشان داد که استفاده از کودهای زیستی و آلی در مقایسه با عدم مصرف آن‌ها به افزایش معنی‌دار اکثر صفات مورد ارزیابی منجر شد (Arab- Niasar *et al*., 2019). طبق گزارش‌ها، استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست در ترکیب با کودهای معدنی، نه تنها پارامترهای رشد و عملکرد لوبیا را افزایش می‌دهد، بلکه دسترسی به مواد مغذی در خاک را نیز افزایش خواهد داد (Abou El-Hassan *et al*., 2017). همچنین، استفاده از کمپوست با ۵۰ درصد کود معدنی در گیاه لوبیا سبز، بالاترین عملکرد و برابر با دوز کامل کود معدنی را به‌همراه داشت (Abou El-Hassan *et al*., 2017).



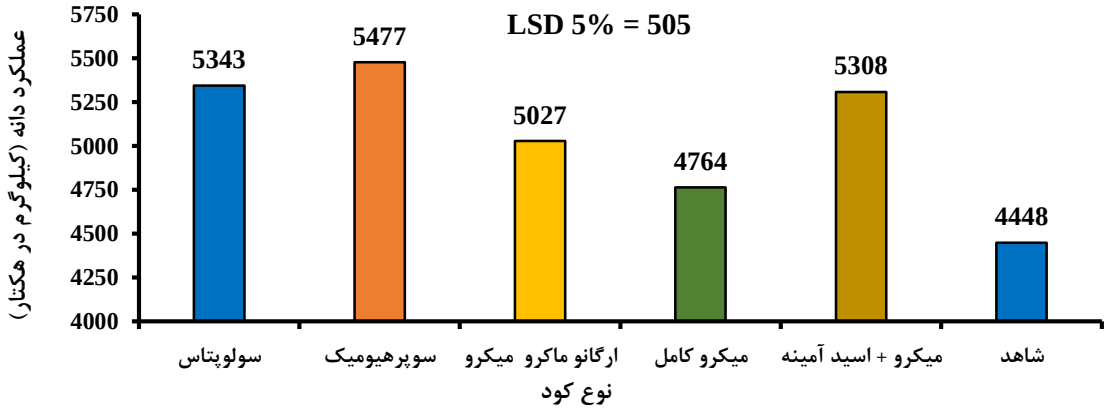
شکل ۱- اثر متقابل روش مصرف کود × نوع کود بر تعداد دانه در بوته



شکل ۲- اثر متقابل روش مصرف کود × نوع کود بر عملکرد دانه در بوته



شکل ۳- مقایسه میانگین تیمارهای نوع کود از نظر صفت وزن صد دانه

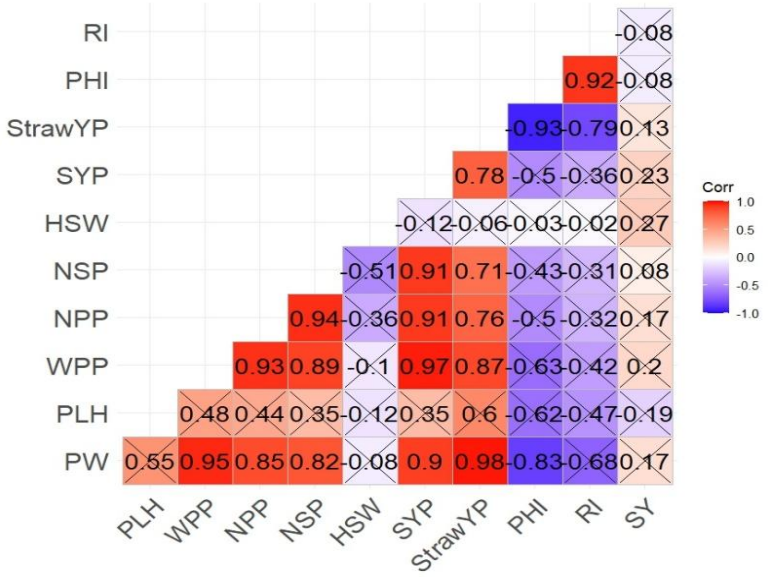


شکل ۴- مقایسه میانگین تیمارهای نوع کود از نظر صفت عملکرد دانه

همبستگی بین صفات

ضرایب همبستگی بین صفات نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبتی با تمام صفات مورد مطالعه بجز شاخص برداشت در بوته و شاخص زادآوری داشت (شکل ۵). عملکرد دانه در بوته دارای همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار با صفات وزن خشک بوته (۰/۹۰)، وزن غلاف‌ها در بوته (۰/۹۷)، تعداد غلاف در بوته (۰/۹۱)، تعداد دانه در بوته (۰/۹۱) و عملکرد کاه در بوته (۰/۷۸) بود. گزارش‌ها حاکی از همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته و همینطور همبستگی مثبت و

بسیار معنی‌دار بین وزن خشک بوته و وزن دانه در بوته بود (Davoodi *et al.*, 2017).



شکل ۵- نقشه دمایی به‌دست آمده بر اساس ضرایب همبستگی

وزن خشک بوته (PW)، ارتفاع بوته (PLH)، وزن غلاف‌ها در بوته (WPP)، تعداد غلاف در بوته (NPP)، تعداد دانه در بوته (NSP)، وزن صد دانه (HSW)، عملکرد دانه در بوته (SYP)، عملکرد کاه در بوته (StrawYP)، شاخص برداشت در بوته (PHI)، شاخص زادآوری (RI)، عملکرد دانه (SY)

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که صفات مختلف مورد مطالعه از نظر میزان تنوع فنوتیپی و پاسخ به تیمارهای کودی تفاوت قابل توجهی داشتند، به‌طوری‌که عملکرد کاه در بوته بیشترین تغییرات و شاخص زادآوری و وزن صد دانه کمترین تغییرات را نشان دادند. تجزیه واریانس، بیانگر تأثیر معنی‌دار روش مصرف و نوع کود بر بسیاری از صفات رشدی و عملکردی بود و اثر متقابل این دو عامل نیز در اغلب صفات نقش مهمی ایفا کرد. بر اساس مقایسات میانگین، کاربرد برخی کودها به‌ویژه ارگانو ماکرو میکرو در روش کودآبیاری و سولوپتاس در محلول‌پاشی، موجب بهبود قابل توجه صفاتی مانند وزن خشک بوته، تعداد و وزن غلاف‌ها و تعداد دانه شد. اگرچه تفاوت معنی‌داری در برخی صفات مانند شاخص برداشت، شاخص زادآوری و وزن صد دانه مشاهده نشد، اما استفاده از کودهای مختلف در مجموع باعث افزایش عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد. میانگین عملکرد دانه برابر ۵۰۶۰ کیلوگرم در هکتار بود. تیمار کود سوپرهیومیک با ۵۴۷۷ کیلوگرم در هکتار و تیمار شاهد با ۴۴۴۸ کیلوگرم در هکتار، به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند. در مجموع، ترکیب تیماری شاهد در روش محلول‌پاشی، بجز صفات شاخص برداشت در بوته، شاخص زادآوری و وزن صد دانه، کمترین مقادیر صفات مورد مطالعه را داشت. همچنین، ترکیب تیماری ارگانو ماکرو میکرو در روش مصرف کودآبیاری، بیشترین مقادیر صفات وزن خشک بوته، ارتفاع بوته، وزن غلاف‌ها در بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه در بوته و عملکرد کاه در بوته را به خود اختصاص داد. بنابراین، انتخاب نوع مناسب کود و روش کاربرد آن می‌تواند نقش مؤثری در بهبود رشد و افزایش عملکرد محصول لوبیا سفید داشته باشد.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

سپاسگزاری

نویسندگان از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، پردیس تحقیقات کشاورزی بروجرد، شرکت تولید بذر حبوبات دستچین ازنا، شرکت فناور نانو پژوهش مرکزی (نام تجاری بیوزر) و جناب آقای دکتر حمیدرضا دری (پردیس تحقیقات و آموزش لوبیای خمین) به جهت حمایت‌های مختلف، نهایت تقدیر و تشکر را دارند..
IR67924R

منابع

Abd Elwahed, M., Abd El-Aziz, M. E., Shaaban, E.A, & Salama, D. M. (2019). New trend to use biochar as foliar application for wheat plants (*Triticum aestivum*). *Journal of Plant Nutrition, 42*(10), 1180-1191. http://doi.org/10.1080/01904167.2019.1609503

Abdoelhamid, M.T., Sadak, M., & Schmidhalter, U. (2015). Effect of foliar application of aminoacids on plant yield and physiological parameters in bean plants irrigated with seawater. *Acta Biologica Colombiana, 20*(1), 140-152. https://doi.org/10.15446/abc.v20n1.42865

Abdul-Qados A.M.S. (2010). Effect of arginine on growth, nutrient composition, yield and nutritional value of mung bean plants grown under salinity stress. *Nature and Science, 8*(7), 267-278.

Abou El-Hassan, S., Abd Elwanis, M., & El-Shinawy, M. Z. (2017). Application of compost and vermicompost as substitutes for mineral fertilizers to produce green beans. *Egyptian Journal of Horticulture, 44*(2), 155-163. https://doi.org/10.21608/EJOH.2017.1596.1019

Alhammad, B.A., & Seleiman, M.F. (2023). Improving Plant Growth, Seed Yield, and Quality of Faba Bean by Integration of Bio-Fertilizers with Biogas Digestate. *Agronomy, 13*(3), 744. https://doi.org/10.3390/agronomy13030744

Alzamel, N. M., Taha, E., Bakr, A. A.E., & Loutfy, N. (2022). Effect of organic and inorganic fertilizers on soil properties, growth yield, and physiochemical properties of sunflower seeds and oils. *Sustainability, 14*(19), 12928. https://doi.org/10.3390/su141912928

Amiri, R., Pezeshkpour, P., & Karami, I. (2021). Identification of lentil desirable genotypes using multivariate statistical methods and selection index of ideal genotype under rainfed conditions. *Journal of Crop Breeding, 13*(39), 140-151. (In Persian). https://doi.org/10.52547/jcb.13.39.140

Arab-Niasar, L., Mirzakhani, M., & Nozad Namin, K. (2019). Evaluation of nitrogen efficiency and grain yield of white bean under combined application of organic and biological fertilizers. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29*(3), 1-11. (In Persian).

Aslani, M., & Souri, M.K. (2018). Growth and quality of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under foliar application of organic-chelate fertilizers. *Open Agriculture, 3*, 146-154. https://doi.org/10.1515/opag-2018-0015

Bana, R. S., Jat, G. S., Grover, M., Bamboriya, S. D., Singh, D., Bansal, R., Choudhary, A. K., Kumar, V., Laing, A. M., Godara, S., Bana, R. C., Kumar, H., Kuri, B. R., Yadav, A., & Teekam, S. (2022). Foliar nutrient supplementation with micronutrient-embedded fertilizer increases biofortification, soil biological activity and productivity of eggplant. *Scientific Reports, 12*, 5146. https://doi.org/10.1038/s41598-022-09247-0

Calvo-Polanco, M., Sánchez-Romera, B., & Aroca, R. (2014). Mild salt stress conditions induce different responses in root hydraulic conductivity of *Phaseolus vulgaris* over-time. *PloS One, 9*(3), e90631. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090631

Capurso, A., Crepaldi, G., & Capurso, C. (2018). Legumes and pulses. in: benefits of the mediterranean diet in the elderly patient. *Practical Issues in Geriatrics*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78084-9_12

Dashadi, M., & Kooshki, M.H. (2023). The effect of foliar application of micronutrient elements in different growth stages on the yield and quality of white bean seeds. Plant *Production and Genetics, 4*(2), 256-278. (In Persian). https://doi.org/10.22034/plant.2024.140463.1080

Davoodi, S.H., Rahemi-Karizaki, A., Nakhzari-Moghadam, A., & Gholamalipour Alamdari, E. (2017). Evaluation of response of yield, yield components and harvest index of bean (*Phaseolus vulgaris*) to terminal drought stress. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions, 1*(2), 155-165. (In Persian). https://doi.org/10.22034/csrar.01.02.03

FAOSTAT. (2024). https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL.

Firoozi, Y., Feizi, H., Mehraban, A., & Alipanah, M. (2018). Effects of foliar application time of nano-micronutrients on quantity and qualitative traits in rainfed durum wheat genotypes in Moghan. *Iranian Journal of Field Crops Research, 16*(1), 97-112. (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v16i1.59050

Garcia, A. L., Madrid, R., Gimeno, V., Rodriguez-Ortega, W. M., Nicolas, N., & Garcia-Sanchez, F. (2011). The effects of amino acids fertilization incorporated to the nutrient solution on mineral composition and growth in tomato seedlings. *Spanish Journal of Agricultural Research, 9*(3), 852-861. https://doi.org/10.5424/sjar/20110903-399-10

Ghasemi, S., Khoshgoftarmanesh, A. H., & Afyuni, M. (2014). Iron (II)–amino acid chelates alleviate salt-stress induced oxidative damages on tomato grown in nutrient solution culture. *Scientia Horticulturae, 165*, 91-98. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.037

Ghasemi, S., Khoshgoftarmanesh, A. H., Afyuni, M., & Hadadzadeh, H. (2013). The effectiveness of foliar applications of synthesized Zn-amino acid chelates in comparison with Zn sulfate to increase yield and grain nutritional quality of wheat. *European Journal of Agronomy, 45*, 68-74. https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.10.012

Ghosh, D., Brahmachari, K., Skalický, M., Roy, D., Das, A., Sarkar, S., Moulick, D., Brestiˇc, M., Hejnak, V., Vachova, P., Hassan, M. M., & Hossain, A. (2022). The combination of organic and inorganic fertilizers influences the weed growth, productivity and soil fertility of monsoon rice. *Plos One*, *17*(1), e262586. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262586

Giasuddin, A. B. M., Kanel, S., & Choi, H. (2007). Adsorption of humic acid onto nanoscale zerovalent iron and its effect on arsenic removal. *Environment Science and Technology*, *41*(6), 2022-2027. https://doi.org/10.1021/es0616534

Havemeier, S., Erickson, J., & Slavin, J. (2017). Dietary guidance for pulses: the challenge and opportunity to be part of both the vegetable and protein food groups. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1392*(1), 58-66. https://doi.org/10.1111/nyas.13308

Jenkins, D. J. A., Kendall, C. W. C., Augustin, L.S.A., Mitchell, S., Sahye-Pudaruth, S., Mejia, S.B., Chiavaroli, L., Mirrahimi, A., Ireland, C., Bashyam, B., Vidgen, E., de Souza, R. J., Sievenpiper, J. L., Coveney, J., Leiter, L. A., & Josse, R. G. (2012). Effect of legumes as part of a low glycemic index diet on glycemic control and cardiovascular risk factors in type 2 diabetes mellitus. *Archives of Internal Medicine*, *172*(21), 1653-1660. https://doi.org/10.1001/2013.jamainternmed.70

Kamble, M.Y., Kalalbandi, B.M., Kadam, A.R., & Rohidas, S.B. (2016). Effect of organic and inorganic fertilizers on growth, green pod yield and economics of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. HPR-35. *Legume Research*, *39*(1), 110-113. https://doi.org/10.18805/lr.v0iOF.6790

Kumari, M., Thakur, P. K., Kumari, P., Sood, R., Singh, M., & Rana J. C. (2025). Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) breeding. In: Dixit, G. P., Dikshit, H. K., Mishra, G. P., & Aski, M.S. *Fundamentals of Legume Breeding*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. https://doi.org/10.1007/978-981-96-7838-9_2

Liu, R., & Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*, *514*, 131-139. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.104

Mallick, S., Sinam, G., Mishra, R. K., & Sinha, S. (2010). Interactive effects of Cr and Fe treatments on plants growth, nutrition and oxidative status in *Zea mays* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *73*, 987-995. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.03.004

Marschner, P. (2011), Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Elsevier, 3rd Edition, Academic Press, London, 135-178.

Mohamed, A. S., Mohamed, M. H. M., Halawa, S.S., & Saleh, S. A. (2023). Partial exchange of mineral N fertilizer for common bean plants by organic n fertilizer in the presence of salicylic acid as foliar application. *Gesunde Pflanzen*, *75*, 2009-2020. https://doi.org/10.1007/s10343-023-00834-3

Mullins, A. P., & Arjmandi, B. H. (2021). Health benefits of plant-based nutrition: Focus on beans in cardiometabolic diseases. *Nutrients*, *13*(2), 519. https://doi.org/10.3390/nu13020519

Nasrollahzadeh Asl, A., & Gorbannezhad, H. (2014). Effect of biological and mineral phosphorus fertilizers together with microelement sprayings on yield and component of yield in pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Crop Ecophysiology*, *8*(4), 451-464. (In Persian).

Rosales, M. A., Ocampo, E., Rodriguez-Valentin, R., Olvera-Carrillo, Y., Acosta-Gallegos, J., & Covarrubias, A. A. (2012). Physiological analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars uncovers characteristics related to terminal drought resistance. *Plant Physiology and Biochemical*, *56*, 24-34. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.04.007

Roshdi, M., Boyaghchi, D., & Rezadoust, S. (2012). Effect of micronutrients on growth and yield of pinto bean under irrigation– cutback treatments. *Journal of Crop Production and Processing*, *2*(5), 131-142. (In Persian). http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-1675-fa.html

Salama D. M., Abd El-Aziz, M. E., Shaaban, E. A., Osman, S. A., & Abd El-Wahed, M. S. (2022a). The impact of nanofertilizer on agro-morphological criteria, yield, and genomic stability of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Scientific Reports*, *12*, 18552. https://doi.org/10.1038/s41598-022-21834-9

Salama, D. M., Abd El-Aziz, M. E., Osman, S. A., Abd Elwahed, M. S, & Shaaban, E. A. (2022b). Foliar spraying of MnO_2-NPs and its effect on vegetative growth, production, genomic stability, and chemical quality of the common dry bean. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, *29*(1), 26–39. https://doi.org/10.1080/25765299.2022.2032921

Sapkota, T. B., Jat, M. L., Rana, D. S., Khatri-Chhetri, A., Jat, H. S., Bijarniya, D., Sutaliya, J. M., Kumar, M., Singh, L., Jat, R. K., Kalvaniya, K., Prasad, G., Sidhu, H. S., Rai, M., Satyanarayana, T., & Majumdar, K. (2021). Crop nutrient management using Nutrient Expert improves yield, increases farmers' income and reduces greenhouse gas emissions. *Scientific Reports*, *11*(1), 1564. https://doi.org/10.1038/s41598-020-79883-x

Shafeek, M. R., Ali, A. H., Mahmoud, A. R., Helmy, Y. I., & Omar, N. M. (2018). Bio fertilizer doses and foliar application of amino mix to enhance the performance of pea plant under newly reclaimed land conditions. *Middle East Journal of Agriculture Research*, *7*(2), 254.263.

Shahidi, Gh., Akbari, Gh., Asadi, A. A., Akbari, Gh., & Ghafarian Mogharab, M. H. (2026). Response of yield components and grain yield of pinto bean to soil application of potassium-humic fertilizer and foliar spraying

under deficit irrigation. *Journal of Crops Improvement, 28*(1), 75-93. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2026.409022.2971

Souri, M.K., & Yarahmadi, B. (2016). Effect of amino chelates foliar application on growth and development of marigold (*Calendula officinalis*) plant. *Plant Production Technology, 7*(2), 109-119. (In Persian).

Souri, M. K., Yaghoubi Sooraki, F., & Moghadamyar, M. (2017). Growth and quality of cucumber, tomato, and green bean under foliar and soil applications of an aminochelate fertilizer. *Horticulture, Environment, and Biotechnology, 58*(6), 530-536. https://doi.org/10.1007/s13580-017-0349-0

Statistical Yearbook. (2026). Agricultural Statistical Yearbook 2024-2025, Volume 1: Crop Production. Center for Statistics, Information and Communication Technology, Deputy of Economic Planning, Ministry of Jihad Agriculture.

Torab Ahmadi, S., Abedy, B., & Saberali, S.F. (2019). Effect of foliar spray with a fertilizer containing amino acids and seaweed extract on quality and yield components of Ahmad Aghaei pistachio. *Pomology Research Journal, 4*(2), 95-106. (In Persian).

Verma, K. K., Song, X. P., Joshi, A., Tian, D. D., Rajput, V. D., Singh, M., Arora, J., Minkina, T., & Li, Y. R. (2022). Recent trends in nano-fertilizers for sustainable agriculture under climate change for global food security. *Nanomaterials, 12*(1), 173. https://doi.org/10.3390/nano12010173

Wang, P., Lombi, E., Zhao, F.-J., & Kopittke, P. M. (2016). Nanotechnology: a new opportunity in plant sciences. *Trends in Plant Science, 21*(8), 699–712. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.04.005

Yousefipor, M., Lack, Sh., Payandeh, K. (2018). Evaluation effect of combine application of biological and chemical phosphorus fertilizers and micronutrients on seed yield and morpho-physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Bi-Quarterly Journal of Plant Production, 8*(2), 107-119. (In Persian). https://doi.org/10.30495/jcep.2019.664840

Zhi, Y., Li, X., Wang, X., Jia, M., & Wang, Z. (2024). Photosynthesis promotion mechanisms of artificial humic acid depend on plant types: A hydroponic study on C3 and C4 plants. *Science of the Total Environment, 917*, 170404. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170404