



Effect of Mung Bean Residues, Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizosphere Bacteria on the Yield and Essential Oil Composition of Spearmint (*Mentha spicata* L.)

Einollah Hesami^{1*}, Mohsen Jahan²

¹ Department of Agrotechnology, Sho. C., Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

² Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

* Corresponding Author's Email: einollahhesami@iau.ac.ir

(Received: May. 30, 2025 – Accepted: September. 2, 2025)

ABSTRACT

Objective: Plant residues, as organic matter sources, contribute to improving soil physical, chemical, and biological properties, thereby supporting plant metabolism. In medicinal plant production, avoiding chemical residues is crucial for preserving active compounds. Therefore, the use of organic and biofertilizers in mint (*Mentha* spp.) cultivation can improve yield and quality while reducing environmental risks. This study aims to evaluate their effects on the growth and performance of mint as a step toward sustainable cultivation.

Material and methods: This study was conducted to investigate the effects of different organic and biofertilizer treatments—including mung bean residues, arbuscular mycorrhizal fungi, and biosphere containing beneficial bacteria—on some quantitative and qualitative traits of spearmint (*Mentha spicata* L.) during the 2023–2024 cropping season at the Tropical and Subtropical Plants Research Center, Faculty of Agriculture, Shoushtar. The experiment was arranged as a split-plot based on a randomized complete block design with 12 treatments and three replications. The first factor was plant residues at three levels: no residue (control), 3.5 tons/ha, and 4.5 tons/ha of mung bean residue. The second factor included four levels of biofertilizer application: none, mycorrhiza, biosphere, and combined application. Soil samples were taken from 0–30 cm depth prior to the treatments for physical and chemical analysis. Planting was done in early spring in plots of 3 × 6 meters, and aerial parts were harvested at physiological maturity.

Results: This study investigated the effects of plant residues, arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), and bio-phosphate (biofertilizer) on plant growth, biomass production, chlorophyll content, essential oil yield, and menthon concentration. Analysis of variance showed that none of the main or interaction effects significantly influenced plant height, shoot dry weight, or leaf chlorophyll content. Nevertheless, treatments with 3.5 t/ha of plant residues combined with AMF and without bio phosphate produced the highest plant height (55 cm) and shoot dry weight (5710 kg/ha). Similarly, the highest essential oil yield (8012 g/ha) was recorded under the same treatment, representing a 42% increase compared to the control. In contrast, the lowest values for these traits were generally associated with treatments involving 4.5 t/ha of residues and bio phosphate without AMF. Bio phosphate had a significant effect on menthon content, where its application reduced menthon concentration from 1345 to 822 g/ha. Although not always statistically significant, differences in chlorophyll and growth traits suggest biologically meaningful trends.

Conclusion: Based on the results, although many treatment effects were not statistically significant, the observed trends were biologically meaningful. The use of plant residues and beneficial microorganisms such as Bio sulfur and arbuscular mycorrhizal fungi relatively improved physiological traits like plant height and chlorophyll content. Notably, Bio sulfur contributed to reducing a monotonous compound composition, thereby enhancing the essential oil quality. These findings suggest that the smart application of organic and biological inputs can optimize the quantitative and qualitative performance of medicinal plants, especially under the warm climate and low-fertility soils of Khuzestan

Keywords: Beneficial microorganisms, Bio fertilizer, Essential oil composition, Sustainable agriculture

Cite this article: Hesami, E. & Jahan M. 2025. Effect of Mung Bean Residues, Arbuscular Mycorrhizal Fungi, and Rhizosphere Bacteria on the Yield and Essential Oil Composition of Spearmint (*Mentha spicata* L.). *Journal of Sustainable Agricultural Science Research*, 5 (1), 1-17.

DOI: <https://doi.org/10.71667/sarj.2025.1208206>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.71667/sarj.2025.1208206>

Publisher: Islamic Azad University of Kerman Branch Press.

بررسی تأثیر بقایای گیاهی ماش، همزیستی قارچ میکوریز آربوسکولار و باکتری بیوفسفر بر عملکرد و ترکیب اسانس گیاه دارویی نعناع (*Mentha spicata* L.)

عین اله حسامی^{۱*} و محسن جهان^۲

۱- استادیار گروه علمی آگروتکنولوژی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۲- استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: einollahhesami@iau.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۹ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۱۱)

چکیده

هدف: بقایای گیاهی به عنوان منابع ماده آلی، با بهبود ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، متابولیسم گیاه را پشتیبانی می کنند. بنابراین، استفاده از کودهای آلی و زیستی در کشت نعناع (*Mentha spp.*) می تواند موجب بهبود عملکرد و کیفیت این گیاه شد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر این نهاده ها بر رشد و عملکرد نعناع به عنوان گامی در جهت کشت پایدار انجام شد.

مواد و روش ها: این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تیمارهای مختلف آلی و زیستی شامل بقایای ماش، قارچ میکوریزای آربوسکولار، بیوفسفر بر برخی صفات کمی و کیفی نعناع در فصل زراعی ۱۴۰۳ در مرکز تحقیقات گیاهان گرمسیری و نیمه گرمسیری دانشکده کشاورزی شوشتر انجام شد. آزمایش به صورت اسپیل پلات در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل بقایای گیاهی در سه سطح: بدون بقایا (شاهد)، ۳ / ۵ تن در هکتار، و ۴ / ۵ تن در هکتار بقایای گیاهی ماش بود. فاکتور دوم شامل چهار سطح عدم مصرف، مصرف قارچ میکوریز آربوسکولار، بیوفسفر، و مصرف توأم میکوریزا و بیوفسفر بود. نمونه برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر قبل از اعمال تیمارها جهت تجزیه فیزیکی و شیمیایی انجام شد. کشت در اوایل بهار در کرت هایی به ابعاد ۳ × ۶ متر انجام گرفت.

یافته ها: در این مطالعه تأثیر بقایای گیاهی، قارچ میکوریزای آربوسکولار و زیست کود بیوفسفر بر رشد گیاه، تولید بیوماس، محتوای کلروفیل، عملکرد اسانس و غلظت منتون بررسی شد. تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی و متقابل تیمارها بر ارتفاع بوته، وزن خشک و محتوای کلروفیل برگ از نظر آماری معنی دار نبود. با این حال، تیمار ترکیبی ۳ / ۵ تن در هکتار بقایای ماش به همراه میکوریزا و بدون بیوفسفر بیشترین ارتفاع بوته (۵۵ سانتی متر) و وزن خشک (۵۷۱۰ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد. همچنین، بالاترین عملکرد اسانس (۸۰۱۲ گرم در هکتار) در همین تیمار ثبت شد که نسبت به شاهد ۴۲ درصد افزایش داشت. در مقابل، کمترین مقادیر این صفات عمدتاً در تیمارهایی با ۴.۵ تن در هکتار بقایا و بیوفسفر بدون میکوریزا مشاهده شد. استفاده از بیوفسفر اثر معنی داری بر غلظت منتون داشت، به طوری که کاربرد آن، غلظت منتون را از ۱۳۴۵ به ۸۲۲ گرم در هکتار کاهش داد.

نتیجه گیری: بر اساس نتایج این تحقیق، هرچند بسیاری از اثرات تیماری از نظر آماری معنی دار نبودند، اما روندهای مشاهده شده از نظر زیستی قابل توجه بودند. استفاده از بقایای گیاهی و میکروارگانیسم های مفیدی مانند بیوسولفور و قارچ های میکوریزای آربوسکولار، موجب بهبود نسبی صفات فیزیولوژیکی نظیر ارتفاع بوته و محتوای کلروفیل شد. این یافته ها نشان می دهد که کاربرد هوشمندانه نهاده های آلی و زیستی می تواند عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی را به ویژه در شرایط اقلیمی گرم و خاک های کم بازده استان خوزستان بهینه سازد.

واژه های کلیدی: میکروارگانیسم های مفید، کود زیستی، ترکیب اسانس، کشاورزی پایدار

استناد:

Hesami, E., & Jahan M. 2025. Effect of Mung Bean Residues, Arbuscular Mycorrhizal Fungi, and Rhizosphere Bacteria on the Yield and Essential Oil Composition of Spearmint (*Mentha spicata* L.). *Journal of Sustainable Agricultural Science Research*, 5 (1), 1-17.

DOI: <https://doi.org/10.71667/sarj.2025.1208206>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.71667/sarj.2025.1208206>

ناشر: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان

مقدمه

تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، یکی از ارکان اصلی مدیریت حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات زراعی محسوب می‌شود. در این میان، کوددهی، چه از طریق تأمین مستقیم عناصر ضروری و چه از طریق تأثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه، نقش اساسی در رشد، نمو و تولید ماده خشک ایفا می‌کند (Sharma *et al.*, 2019). با این حال، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی طی دهه‌های اخیر، پیامدهای نامطلوبی نظیر آلودگی منابع خاک و آب، کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید، تغییر در pH خاک و افت کیفیت محصولات کشاورزی را در پی داشته است (Adesemoye *et al.*, 2009). در نتیجه، گرایش به استفاده از کودهای آلی و زیستی، به‌عنوان جایگزین‌هایی پایدار و سازگار با محیط‌زیست، رو به افزایش نهاده است. نظام‌های کشاورزی اکولوژیک که بر پایه کاهش مصرف کودهای شیمیایی بنیان نهاده شده‌اند، می‌توانند راهکاری مؤثر برای حفاظت از منابع طبیعی، بهبود سلامت اکوسیستم و ارتقاء کیفیت محصولات کشاورزی ارائه دهند (Bhardwaj *et al.*, 2014). کودهای زیستی، که شامل گروهی از میکروارگانیسم‌های مفید نظیر ریزوباکترهای محرک رشد گیاه (PGPR) قارچ‌های میکوریزا و سایر میکروفلورای خاک هستند، از طریق مکانیسم‌هایی چون تثبیت نیتروژن، حل‌کنندگی فسفر، تولید فیتوهورمون‌ها و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، موجب بهبود رشد و عملکرد گیاهان می‌گردند (Vessey, 2003). در کنار کودهای زیستی، ورمی‌کمپوست به‌عنوان یکی از کودهای آلی با کیفیت بالا، غنی از ترکیبات هیومیکی نظیر اسیدهای

هیومیک و فولویک بوده و به دلیل ساختار ماکرومولکولی خود، توانایی قابل توجهی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد (Arancon *et al.*, 2006). این ترکیبات می‌توانند از طریق افزایش محتوای کلروفیل، بهبود سنتز اسیدهای نوکلئیک، تحریک فعالیت آنزیمی و ارتقاء متابولیسم تنفسی، بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیرگذار باشند (Canellas *et al.*, 2015). در زمینه تولید گیاهان دارویی، استفاده از نهاده‌های طبیعی و زیست‌سازگار، اهمیت مضاعفی می‌یابد؛ چرا که حفظ کیفیت ترکیبات مؤثره و پیشگیری از باقی‌مانده‌های شیمیایی در محصول نهایی از الزامات اساسی این نوع تولیدات به‌شمار می‌رود (Zheljaskov & Jeliazkova, 1996). از این‌رو، کاربرد کودهای زیستی و آلی در کشت گیاهانی مانند نعناع (*Mentha spp.*) می‌تواند ضمن ارتقاء عملکرد و غلظت ترکیبات مؤثره، به کاهش مخاطرات زیست‌محیطی نیز کمک کند. با وجود این، اطلاعات موجود در زمینه استفاده گسترده از این نوع کودها در کشت نعناع هنوز محدود است و انجام مطالعات بیشتر در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی بر عملکرد و ویژگی‌های رشدی گیاه نعناع طراحی شده است، تا بتواند گامی مؤثر در راستای بهینه‌سازی تغذیه این گیاه دارویی و معرفی جایگزین‌های مناسبی برای کودهای شیمیایی بردارد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد تیمارهای مختلف کودهای آلی و زیستی شامل بقایای گیاهی ماش، قارچ میکوریز آربوسکولار و بیوفسفرحاوی

آربوسکولار، مصرف بیوفسفر، و مصرف توأم میکوریزا و بیوفسفر مصرف کودهای زیستی بر اساس دستورالعمل‌های رایج و مقادیر توصیه‌شده صورت گرفت (Smith & Read, 2008; Vessey, 2003). پیش از اجرای تیمارها، جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در اسفندماه سال ۱۴۰۰ انجام شد. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ ارائه شده است. آماده‌سازی زمین شامل شخم عمیق، دیسک‌زنی و تسطیح بود. کاشت نعنای در اوایل بهار انجام شد و عملیات داشت طبق توصیه‌های فنی رایج برای این گیاه صورت پذیرفت.

باکتری‌های مفید بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی گیاه دارویی نعنای (*Mentha spicata* L) در سال زراعی ۱۴۰۳ در مزرعه مرکز تحقیقات گیاهان گرمسیری و نیمه‌گرمسیری دانشکده کشاورزی دانشگاه شوشتر به اجرا درآمد. طرح آزمایشی به صورت اسپلت پلات در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول شامل بقایای گیاهی در سه سطح بود: بدون بقایا (شاهد)، بقایای ماش به میزان ۳ / ۵ تن در هکتار، و بقایای ماش به میزان ۴ / ۵ تن در هکتار. فاکتور دوم شامل کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح بود: عدم مصرف، مصرف قارچ میکوریز

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Characteristics	
Soil texture	clay loam
Electrical conductivity(Ds/m ⁻¹)	4.1
Phosphorus (ppm)	8.1
Potassium (ppm)	128
Total nitrogen (%)	0.12
Organic carbon (%)	0.32
pH	7.3

نمونه‌های برداشت‌شده در هوای آزاد خشک شدند و وزن خشک آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰.۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. به منظور تعیین درصد اسانس، از هر نمونه مقدار ۱۰۰ گرم برداشت شده و پس از آسیاب، ۵ گرم از پودر نمونه جهت استخراج اسانس به روش تقطیر با بخار آب، با استفاده از دستگاه کلونجر (Clevenger, 1928) مورد استفاده قرار گرفت. پیش از انجام تحلیل آماری، نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی گردید. پس از تأیید نرمال بودن توزیع داده‌ها،

عملیات آماده‌سازی زمین جهت کشت پیش‌کشت ماش در اسفندماه سال ۱۴۰۲ و برای کشت اصلی گیاه نعنای در مهرماه ۱۴۰۳ صورت پذیرفت. کاشت نعنای در قطعاتی به ابعاد ۶×۳ متر، مشتمل بر شش خط کاشت، اجرا گردید. فاصله بین کرت‌های طولی و عرضی به ترتیب برابر با ۱ و ۱ / ۵ متر و فاصله بین بلوک‌ها معادل ۲ متر در نظر گرفته شد. برداشت اندام‌های هوایی گیاه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی انجام شد و نمونه‌برداری از قسمت مرکزی هر کرت، پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، صورت گرفت.

تجزیه واریانس با بهره‌گیری از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹ / ۴) و Excel انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد صورت پذیرفت (Steel *et al.*, 1997).

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

بررسی تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که هیچ‌یک از اثرات اصلی و متقابل تیمارها تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه نداشتند. با این حال، بر اساس مقایسه میانگین‌ها، تیمار استفاده از بقایای گیاهی بدون تلقیح با بیوفسفر و همراه با مصرف قارچ میکوریزای آربوسکولار، بیشترین ارتفاع گیاه را با میانگین ۵۵ سانتی‌متر نشان داد. در مقابل، تیمار بدون بقایای گیاهی، همراه با تلقیح بیوفسفر و استفاده از قارچ میکوریزا، کمترین ارتفاع را با میانگین ۴۲ سانتی‌متر به خود اختصاص داد. بررسی میانگین‌ها نشان داد که گرچه تلقیح گیاه با بیوفسفر باعث افزایش ارتفاع گردید، اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. حضور بیوفسفر در ناحیه ریشه می‌تواند توانایی گیاه را در تولید و ترشح ترکیبات زیست‌فعال مانند اکسین‌ها، جیبرلین‌ها، ویتامین‌های گروه B، اسید نیکوتینیک، اسید پانتوتنیک، بیوتین و سایر ترکیبات مؤثر در رشد، فتوسنتز و تولید کلروفیل افزایش دهد (Tabrizi *et al.*, 2015; Khoramdel *et al.*, 2017).

همچنین، میکروارگانیزم‌های مفید با ترشح ترکیبات محرک رشد و کاهش اسیدیته خاک، موجب فراهمی بیشتر عناصر غذایی قابل جذب برای گیاه می‌شوند (Yousef *et al.*, 2018). تبریزی و همکاران (Tabrizi *et al.*, 2015) که اثر کودهای زیستی از جمله میکوریزا، ازتوباکتر، بیوفسفر، آزوسپیریوم و باکتری‌های حل‌کننده فسفات را بر گیاه دارویی زوفا بررسی کردند، نشان داد که تلقیح با بیوفسفر موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. این نتایج با یافته‌های (Khoramdel *et al.*, 2017) در مورد گیاهان سیاه‌دانه و زیره و نیز تحقیقات (Yousef *et al.*, 2015) درباره گیاه مریم‌گلی همخوانی دارد. هرچند نتایج آزمایش حاضر تفاوت معنی‌داری را نشان نداد، اما روند تغییرات تا حدی با نتایج تحقیقات مذکور هم‌راستا بود. در خصوص قارچ میکوریزای آربوسکولار نیز تفاوت معنی‌داری از نظر ارتفاع گیاه بین تیمارهای دارای قارچ و فاقد قارچ مشاهده نشد. با این حال، استفاده از قارچ مذکور افزایش جزئی در ارتفاع گیاه ایجاد کرد. این قارچ‌ها از طریق بهبود جذب آب و عناصر غذایی، ظرفیت فتوسنتزی گیاه را افزایش داده و منجر به تولید بیشتر مواد آلی و رشد بهتر گیاه می‌شوند (Gholami *et al.*, 2019; Ehteshami *et al.*, 2016). این مشاهدات با گزارش‌های پیشین در زمینه تأثیر مثبت قارچ‌های میکوریزا بر رشد و ارتفاع بوته مطابقت دارد.

جدول ۲ - تجزیه واریانس اثرات بقایای گیاهی، میکوریزای آربوسکولار و بیوفسفر بر میانگین مربعات صفات مورفولوژیک و کیفی گیاه

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	درصد اسانس	کلروفیل	وزن خشک	عملکرد اسانس	متون
تکرار	2	70	0.012	19.60	6823.21	12.102	0.201
بقایای گیاهی	2	4	0.401*	198.1	6643.12	6.932	0.092
خطای a	4	15	0.031	64.01	15423	3.544	0.071
میکوریزا آربوسکولار	1	18	0.0272	41.20	162.23	2.673	0.291
بیوفسفر	1	3	0.019	10.12	28021	3.084	0.572*
بقای گیاهی × میکوریزا آربوسکولار	2	16	0.058	18.02	8793	4.102	0.001
بقایای گیاهی × بیوفسفر	2	99	0.172	3.48	12934	12.325	0.601*
میکوریزا آربوسکولار × بیوفسفر	1	159	0.142	2.64	1226	2.430	0.112
بقایای گیاهی × میکوریزا آربوسکولار × بیوفسفر	2	61	0.016	16.01	16427	3.961	0.071
خطای b	18	104	0.111	21.3	18401	6.08	0.111
ضرب تغییرات %	21	22	18	29	35.01	35.97	

ns، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می باشند.

وزن خشک اندامهای هوایی

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) اثرات متقابل بقایای گیاهی، میکوریزای آربوسکولار و بیوفسفر بر وزن خشک اندامهای هوایی از نظر آماری معنی دار نبوده است. با این حال، بررسی و مقایسه میانگین تیمارها نشان می دهد که بیشترین مقدار وزن خشک اندامهای هوایی مربوط به تیمار مصرف ۳ / ۵ تن در هکتار بقایای گیاهی همراه با مصرف میکوریزای آربوسکولار و عدم تلقیح با بیوفسفر بود، که این تیمار با ثبت وزن ۵۷۱ گرم در مترمربع (معادل ۵۷۱۰ کیلوگرم در هکتار) عملکرد بالاتری را نسبت به سایر تیمارها نشان داد. در مقابل، کمترین وزن خشک اندامهای هوایی مربوط به تیمار مصرف ۴.۵ تن در هکتار بقایای گیاهی، بدون مصرف میکوریزای آربوسکولار و همراه با تلقیح با بیوفسفر

بود، که این تیمار وزنی معادل ۳۶۹ گرم در مترمربع (معادل ۳۶۹۰ کیلوگرم در هکتار) داشت. مطالعات کبتا و همکاران (Kabta et al., 2018) نشان داده است که زیست توده ریحان در شرایط تلقیح با سه گونه‌ی مختلف قارچ میکوریزای آربوسکولار افزایش یافته است. دلیل این افزایش عملکرد، بهبود راندمان مصرف آب، توسعه سیستم ریشه و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی توسط گیاه در اثر ارتباط همزیستی با قارچ‌های میکوریزا عنوان شده است. در همین راستا، تحقیقات انجام شده توسط حسنی و همکاران (Hasani et al., 2019)، امیرآبادی و همکاران (Amirabadi et al., 2020) و اردکانی و همکاران (Ardakani et al., 2021) نیز یافته‌های مشابهی را گزارش کرده‌اند که همگی بر نقش مثبت همزیستی میکوریزا در بهبود عملکرد گیاهان از طریق بهبود شرایط تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی تأکید دارند. بنابراین

می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه اثرات ترکیبی تیمارها در این آزمایش از نظر آماری معنی‌دار نبوده، اما از نظر عملی و کاربردی، تیمارهای ترکیبی خاصی، به ویژه ترکیب بقایای گیاهی در سطح بالا با میکوریزا و بدون تلقیح بیوفسفر، می‌تواند منجر به افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی شود که این امر اهمیت بررسی بیشتر در شرایط مزرعه‌ای را نشان می‌دهد.

کلروفیل

بررسی جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که از تیمارهای مورد بررسی تأثیر معنی‌داری بر غلظت کلروفیل برگ نداشتند. با این حال، بیشترین مقدار کلروفیل مربوط به تیمار مصرف ۵ / ۳ تن در هکتار بقایای گیاهی بدون مصرف قارچ میکوریزای آربوسکولار و عدم تلقیح با بیوفسفر بود. کمترین مقدار کلروفیل نیز در تیمار مصرف ۵ / ۴ تن در هکتار بقایای گیاهی همراه با تلقیح بیوفسفر و بدون استفاده از میکوریزا مشاهده شد. گرچه این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود، ولی از دیدگاه بیولوژیکی می‌تواند قابل توجه باشد. کلروفیل به عنوان مهم‌ترین رنگدانه فتوسنتزی، نقش کلیدی در فرآیند فتوسنتز ایفا می‌کند و مقدار آن شاخصی از وضعیت تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی گیاه محسوب می‌شود. به‌طور کلی، افزایش مقدار کلروفیل ممکن است بیانگر ظرفیت بالاتر فتوسنتز، رشد بهتر و تولید ماده خشک بیشتر باشد. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج تحقیقات پیشین همخوانی دارد. برای مثال، در مطالعه‌ای بر روی گیاه ریحان، استفاده از کمپوست موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل برگ شد (Hasani et al., 2019). همچنین، در پژوهشی توسط (Norinia et al., 2022)، کاربرد بقایای سویا به همراه کودهای آلی بر صفات

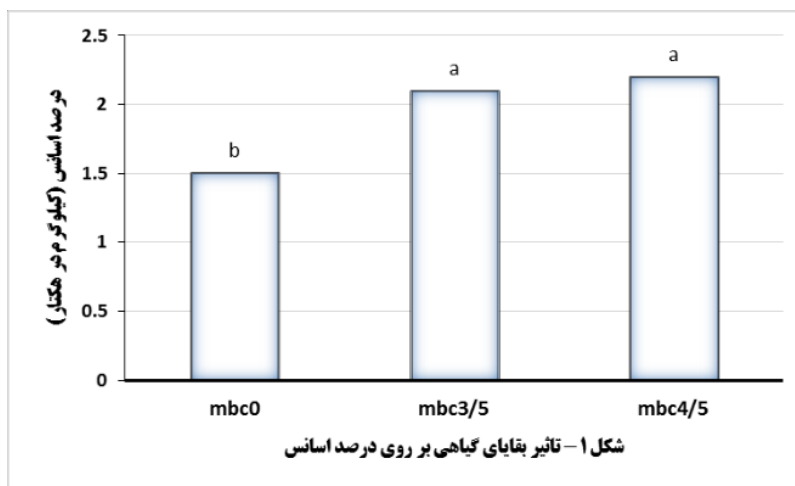
فیزیولوژیک بررسی شد که نشان داد این ترکیب اثر منفی بر کلروفیل نداشت و در برخی موارد حتی موجب افزایش آن نیز شد. در مطالعه‌ای دیگر، (Mahmodi et al., 2024) با بررسی اثر بقایای ماش در تناوب زراعی، گزارش کردند که این بقایا منجر به افزایش محتوای کلروفیل کل و بهبود شاخص‌های رشد در گیاهان بعدی گردید. این یافته‌ها نشان می‌دهد که اثر بقایای گیاهان لگومینوز بر کلروفیل گیاهان دارویی ممکن است بسته به نوع بقایا، گونه گیاهی، وضعیت خاک و نحوه مدیریت مزرعه متفاوت باشد. به‌طور کلی، افزایش غلظت کلروفیل را می‌توان به عواملی همچون افزایش فعالیت‌های میکروبی خاک، بهبود تولید تنظیم‌کننده‌های رشد توسط میکروارگانیسم‌ها، و فراهمی بیشتر عناصر غذایی قابل جذب نسبت داد. بقایای گیاهی پوسیده‌شده با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، بهبود ساختار خاک، تأمین عناصر ریزمغذی و تحریک فعالیت‌های زیستی، سبب بهبود توسعه ریشه، جذب بهتر مواد غذایی و در نهایت افزایش سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل می‌گردند (Hasani et al., 2019). در واقع، این ترکیب‌های آلی با بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، نقش بسزایی در ارتقای کارایی فتوسنتزی ایفا می‌کنند. نتایج این مطالعه همچنین با یافته‌های (Azizi et al., 2019) هم‌راستا است، که نشان دادند کاربرد مواد آلی می‌تواند منجر به افزایش کلروفیل برگ و به دنبال آن بهبود عملکرد گیاه گردد. بنابراین، هرچند تفاوت تیمارها از نظر آماری معنی‌دار نبود، اما روند تغییرات نشان داد که بقایای گیاهی می‌توانند به‌عنوان اصلاح‌کننده‌های مؤثر در ارتقای ویژگی‌های

عدم تلقیح بیوفسفر با ۳۳ / ۱ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین درصد اسانس نعناع را داشتند. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از بقایای گیاهی به‌تنهایی ممکن است تأثیر معنی‌دار آماری بر میزان اسانس نداشته باشد، اما در ترکیب با سایر تیمارها مانند میکوریزا یا بیوفسفر می‌تواند اثربخش باشد (Aira et al., 2005). افزودن بقایای گیاهی پوسیده شده به خاک نه‌تنها فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش می‌دهد، بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، زمینه ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه را فراهم کرده و در نتیجه باعث افزایش دسترسی گیاه به عناصر معدنی و در نهایت بهبود میزان اسانس می‌گردد.

فیزیولوژیک گیاه، به‌ویژه افزایش کلروفیل، مورد توجه قرار گیرند.

درصد اسانس

با بررسی داده‌های و جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر بقایای گیاهی ماش در سطح ۵ درصد باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار در درصد اسانس نعناع شد. با توجه به میانگین‌ها می‌توان گفت که تیمار با مصرف ۴.۵ تن در هکتار بقایای گیاهی ماش با مصرف میکوریزای آربوسکولار و عدم تلقیح با بیوفسفر با مقدار ۹۲ / ۱ درصد و تیمار بدون کاربرد بقایای گیاهی و با مصرف میکوریزای آربوسکولار و



کاربرد میکوریزای آربوسکولار، میزان اسانس افزایش یافت. در مقابل، تلقیح گیاه با بیوفسفر نیز نسبت به عدم تلقیح با این باکتری، افزایش در سطح اسانس ایجاد نمود، اگرچه این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. این مشاهدات بیانگر آن است که هم میکوریزا و هم بیوفسفر، به‌ویژه در شرایط تنش و محدودیت‌های تغذیه‌ای، می‌توانند نقش مثبتی در تولید متابولیت‌های

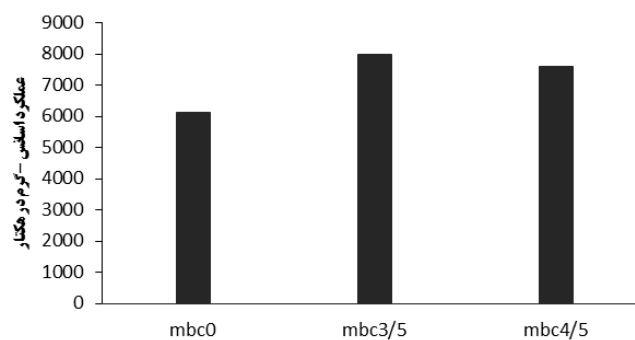
مطالعات مختلف نشان داده‌اند که بقایای گیاهی و کمپوست حاوی ترکیبات آلی غنی مانند اسیدهای هیومیک، آنزیم‌ها و جمعیت میکروبی فعال است که نه‌تنها تغذیه گیاه را بهبود می‌بخشند بلکه مقاومت گیاه را در برابر تنش‌ها افزایش می‌دهند (Edwards & Arancon, 2004). میکوریزای آربوسکولار در بررسی مقایسه‌ای میانگین‌ها نشان داد که در مقایسه با عدم

ثانویه نظیر اسانس ایفا کنند (Azcon-Aguilar & Barea, 1997). در مطالعه‌ای که روی گیاه دارویی نعناع (*Mentha sp.*) انجام گرفت، کپتا و همکاران گزارش کردند که تلقیح گیاه نعناع با گونه‌های قارچی VAM به نام *Glomus fasciculatum* به‌طور قابل ملاحظه‌ای میزان اسانس را افزایش می‌دهد. آن‌ها دریافتند که همزیستی قارچ میکوریزا با ریشه گیاه نعناع از طریق افزایش جذب عناصر مغذی به‌ویژه فسفر، سطح فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های دخیل در سنتز اسانس را ارتقاء داده و در نتیجه به‌طور مستقیم بر افزایش تولید اسانس تأثیرگذار است (Kapta et al., 2012).

عملکرد اسانس

در جدول تجزیه واریانس داده نشان داد (جدول ۲) برخی از عوامل باعث افزایش عملکرد اسانس شده‌اند و این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار بوده‌اند. به عبارت

دیگر، بررسی‌ها نشان داده است که عوامل مورد مطالعه توانسته‌اند به‌طور قابل توجهی میزان تولید اسانس را افزایش دهند. با این وجود، بیشترین و کمترین میزان عملکرد اسانس به ترتیب مربوط به تیمار مصرف ۳ / ۵ تن در هکتار بقایای گیاهی با مصرف میکوریزای آربوسکولار و عدم تلقیح با بیوفسفر با میزان ۸۰۱۲ گرم در هکتار اسانس و تیمار مصرف ۵ / ۴ تن در هکتار بقایای گیاهی ماش بدون مصرف میکوریزای آربوسکولار و با تلقیح با بیوفسفر با میزان ۷۶۰۲ گرم اسانس در هکتار بوده است. عملکرد اسانس تیمار ۵ / ۳ تن در هکتار بقایای گیاهی با مصرف میکوریزای آربوسکولار و عدم تلقیح با بیوفسفر بیشترین عملکرد را داشت، که نسبت به تیمار شاهد، افزایشی حدود ۴۲ درصدی در میزان تولید اسانس نشان داد. این افزایش قابل توجه بیانگر تأثیر مثبت و مؤثر این تیمار بر تولید اسانس گیاه مورد مطالعه است.



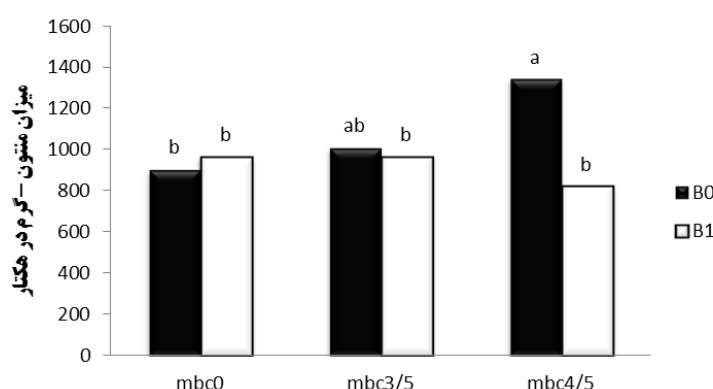
شکل ۲ - تأثیر میزان بقایای گیاهی بر عملکرد اسانس

تیمارها تأثیر مثبت بیشتری بر عملکرد اسانس داشته‌اند و باعث افزایش تولید اسانس در گیاه شده‌اند. مطالعات انجام شده توسط (Gupta et al., 2002)

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در این آزمایش، استفاده از سه عامل بقایای گیاهی ماش، کاربرد میکوریزا و عدم استفاده از بیوفسفر نسبت به سایر

بر میزان متون اسانس معنی دار بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار شامل ۴.۵ تن در هکتار بقایای گیاهی ماش همراه با تلقیح میکوریزای آربوسکولار و بدون مصرف بیوفسفر، با میانگین ۱۳۴۵ گرم در هکتار، بیشترین مقدار متون را تولید کرد. در مقابل، تیمار ۴.۵ تن در هکتار بقایای گیاهی ماش بدون مصرف میکوریزای آربوسکولار و با تلقیح بیوفسفر، با میانگین

نشان داده است که تلقیح ریشه گیاه نعنای با چهار گونه میکوریزای VAM سبب افزایش قابل توجه میزان اسانس این گیاه شده است. آنها گزارش کرده‌اند که تلقیح میکوریزا باعث بهبود کمیت و کیفیت اسانس نعنای در مقایسه با تیمارهای شاهد می‌شود (Gupta et al., 2002). همچنین تحقیقات (Kasrati et al., 2017) بیان کرده‌اند که استفاده از کودهای زیستی و معدنی



شکل ۳- اثر متقابل بقایای گیاه و بیوفسفر بر مقدار متون گیاه دارویی نعنای

۸۲۲ گرم در هکتار، کمترین میزان متون را داشت (شکل ۳). این نتایج نشان می‌دهد که عدم استفاده از بیوفسفر نسبت به استفاده از آن، تأثیر بیشتری در افزایش متون دارد. با توجه به اینکه متون یکی از ترکیبات مونوترپنی در اسانس‌ها است و افزایش بیش از حد آن می‌تواند بر کیفیت اسانس، به‌ویژه از نظر خواص دارویی و تجاری، تأثیر منفی داشته باشد، بنابراین کاهش آن از طریق کاربرد بیوفسفر می‌تواند از نظر کیفی مطلوب تلقی شود. کیفیت اسانس‌های گیاهان دارویی معمولاً بر اساس درصد متول آن‌ها ارزیابی می‌شود؛ هرچه نسبت متول به متون بیشتر باشد، کیفیت اسانس بالاتر خواهد بود (chizola et al., 2018). نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های پژوهش‌های پیشین هم‌راستا است؛ به‌عنوان مثال، استفاده از کودهای

می‌تواند تأثیر قابل توجهی روی ترکیب و مقدار اسانس در گیاهان دارویی از جمله نعنای داشته باشد (Kasrati et al., 2017). مطالعات (Ilic et al., 2022) نیز نشان داده‌اند که عملکرد اسانس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی اسانس گیاهانی مانند نعنای تحت تأثیر شرایط محیطی و تیمارهای مختلف قرار می‌گیرد (Ilic et al., 2022). همچنین گزارش کرده‌اند که نوع تیمار و زمان برداشت می‌تواند میزان اسانس و عملکرد آن را در گیاه نعنای به طور چشمگیری تغییر دهد (Ribeiro Bizzo et al., 2012).

متون

بر اساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲)، اثر اصلی بیوفسفر و نیز اثر متقابل بقایای گیاهی ماش و بیوفسفر در سطح ۵ درصد از نظر آماری

زیستی مانند بیوفسفر در گیاهان دارویی سبب بهبود صفات کمی و کیفی اسانس شده است (Khalid et al., 2020). همچنین، کاربرد بقایای گیاهی در غیاب بیوفسفر موجب افزایش سطح منوتون در اسانس شد که از نظر کیفی، اثر نامطلوبی بر خواص دارویی اسانس دارد. به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده هوشمندانه از کودهای زیستی نظیر بیوفسفر، به ویژه در ترکیب با بقایای گیاهی، می‌تواند راهبرد مناسبی برای بهینه‌سازی ترکیبات مؤثره اسانس گیاهان دارویی باشد.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج به دست آمده، گرچه بسیاری از اثرات تیمارها از نظر آماری معنی دار نبودند، اما روندهای مشاهده شده از نظر بیولوژیکی حائز اهمیت بودند. استفاده از بقایای گیاهی و میکروارگانیسم‌های مفید مانند بیوفسفر و میکوریزای آربوسکولار توانست

به صورت نسبی برخی صفات فیزیولوژیک مانند ارتفاع بوته و غلظت کلروفیل را بهبود بخشد. همچنین اثر بیوفسفر در کاهش ترکیب منوتون و در نتیجه بهبود کیفیت اسانس گیاه دارویی مورد مطالعه، قابل توجه بود. نتایج نشان داد که کاربرد هوشمندانه ترکیبات آلی و زیستی می‌تواند به بهینه‌سازی عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی کمک کند. از این رو، استفاده ترکیبی از بقایای گیاهی و کودهای زیستی راهبردی مؤثر در مدیریت پایدار تولید گیاهان دارویی محسوب می‌شود. با توجه به شرایط اقلیمی گرم و خاک‌های کم‌بازده خوزستان، استفاده از بقایای گیاهی و کودهای زیستی می‌تواند به بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش بهره‌وری گیاهان دارویی کمک کند. این راهکارها ضمن کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی، موجب پایداری تولید در نظام‌های زراعی منطقه خواهند شد..

REFERENCES

- Adesemoye, A. O., Torbert, H. A., & Kloepper, J. W. (2009). Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbial Ecology*, 58(4), 921–929. <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9531-y>
- Aira, M., Monroy, F., Domínguez, J., & Mato, S. (2005). How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure. *European Journal of Soil Biology*, 41(1–2), 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2005.03.001>
- Amirabadi, H., Ghorbani, R., & Sepehri, M. (2020). Symbiotic effects of mycorrhiza on medicinal plants: A case study on basil. *Plant Nutrition and Microbiology*, 12(3), 141–150.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C., & Metzger, J. D. (2006). Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*, 97(6), 831–840. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.014>
- Ardakani, M. R., Malakouti, M. J., & Khavazi, K. (2021). Biological fertilization and plant-microbe interactions: An approach for sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 29(4), 210–225.

- Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Subler, S., & Metzger, J. D. (2000). Earthworm-processed organic wastes as components of horticultural potting media for growing marigold and vegetable seedlings. *Compost Science & Utilization*, 8(3), 215–223. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2000.10701778>
- Azcon-Aguilar, C., & Barea, J. M. (1997). Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens – An overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza*, 6, 457–464. <https://doi.org/10.1007/s005720050141>
- Azizi, M., Amiri, M., & Zanganeh, H. (2019). Effects of organic amendments on leaf chlorophyll and yield performance of medicinal plants. *Journal of Plant Nutrition*, 42(15), 1780–1792.
- Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial Cell Factories*, 13(1), 66. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-66>
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 15–27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
- Chizzola, R., Hochsteiner, W., Hajek, S., & Hackl, G. (2018). Composition of essential oils of peppermint and spearmint and antimicrobial activity against selected pathogens. *Journal of Essential Oil Research*, 30(2), 110–116. <https://doi.org/10.1080/10412905.2017.1361120>
- Clevenger, J. F. (1928). Apparatus for the determination of volatile oil. *Journal of the American Pharmaceutical Association*, 17(4), 345–349.
- Edwards, C. A., & Arancon, N. Q. (2004). Interactions among organic matter, earthworms, and microorganisms in promoting plant growth. In *Earthworm Ecology* (2nd ed.). CRC Press.
- Gianinazzi, S., Gollotte, A., Binet, M. N., van Tuinen, D., Redecker, D., & Wipf, D. (2010). Agroecology: The key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza*, 20, 519–530. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0333-3>
- Gupta, M. L., Prasad, A., Ram, M., & Kumar, S. (2002). Effect of the vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology*, 85(3), 267–271.
- Hasani, M., Baghbani, F., & Pouryousef, M. (2019). Effects of compost application on chlorophyll content and growth parameters of basil (*Ocimum basilicum*). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 35(2), 210–219.
- Hasani, M., Rejali, F., & Fallahi, J. (2019). Effect of mycorrhiza on nutrient uptake and growth of basil under water deficit. *Iranian Journal of Soil Research*, 33(1), 55–65.
- Ilic, Z., Milenković, L., Tmušić, N., Stanojević, Lj., & Cvetković, D. (2022). Essential oil content, composition and antioxidant activity of lemon balm, mint and sweet basil from Serbia. *LWT - Food Science and Technology*, 154, 112795.
- Kabta, M., Sharma, A., & Singh, D. (2018). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on biomass production in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Applied Microbial Research*, 15(2), 88–94.

- Kapta, R., Sharma, A., & Choudhary, D. K. (2012). Effect of VAM fungi on essential oil content in *Mentha arvensis*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(18), 3489–3494.
- Kasrati, A., Alaoui Jamali, C., Spooner-Hart, R., Legendre, L., Leach, D., & Abbad, A. (2017). Chemical characterization and biological activities of essential oil obtained from mint *Timija* cultivated under mineral and biological fertilizers. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2017, 6354532.
- Khalid, A., Asghar, H. N., Akhtar, M. J., & Zahir, Z. A. (2020). Biofertilizers: a green technology to improve productivity of medicinal plants. *Plant and Soil*, 451, 1–23. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04349-3>
- Mahmoudi, A., Rahimi, M., & Naderi, A. (2024). Influence of mung bean residues on chlorophyll content and growth indices of subsequent crops in crop rotation systems. *Plant and Soil Science Journal*, 48(3), 133–142.
- Norinia, M., Karimi, B., & Soleimani, R. (2022). Effects of soybean residues and organic fertilizers on growth and physiological traits of medicinal plants. *Journal of Agroecology*, 14(1), 89–101.
- Ribeiro Bizzo, H., Santos, V. C., Pinto, M. A. S., & Deschamps, C. (2012). Essential oil content (%) and essential oil yield (L/ha) of mint genotypes at two harvests time.
- Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., & Gobi, T. A. (2019). Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. Springer Nature.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis (3rd ed.). *Academic Press*.
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H., & Dickey, D. A. (1997). Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd Edition, *McGraw-Hill*.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255(2), 571–586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>
- Zheljazkov, V. D., & Jeliazkova, E. A. (1996). Effect of nitrogen fertilization on peppermint and Scotch spearmint. *HortScience*, 31(5), 789–792.