Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 41, No. 2, Page 234-251 (2025)

DOI:10.22092/ijmapr.2025.366029.3451

Evaluation of the effects of biofertilizers on yield, quality, and quantity of essential oil of *Dracocephalum moldavica* L. under climatic conditions of Khuzestan

Fatemeh Borna[1*], Mostafa Rahmati-Joneidabad[2] and Sadegh Abd Rahmani[3]

1*. Corresponding author, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran, Email: Borna@asnrukh.ac.ir
2. Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
3. MSc student, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

Received: June 2024 Revised: February 2025 Accepted: March 2025

Abstract

Background and objectives: The use of chemical fertilizers to produce high-yield crops in the shortest possible time has raised public concerns regarding food sustainability, safety, and security. Consequently, alternatives such as biofertilizers are necessary to ensure food safety and sustainability. Biofertilizers are essential tools in sustainable agriculture and can enhance plant resilience to environmental stresses. Their application in the cultivation of medicinal plants, whose primary purpose is to promote public health, is steadily increasing. The medicinal plant *Dracocephalum moldavica* L., commonly known as dragonhead and a member of the mint family, contains essential oils throughout its tissues. In traditional medicine, it is used to treat mental fatigue, migraines, cardiovascular ailments, congestion, headaches, stomach pain, liver disorders, and as a sedative. This study aims to investigate the effects of biofertilizers on the growth and essential oil properties of dragonheads under the climatic conditions of Khuzestan.

Methodology: The influence of biofertilizers on the growth, yield, and both the quantity and quality of essential oil in dragonhead was assessed using a randomized complete block design with seven treatments and three replications. The study was conducted at the Department of Horticultural Science, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, in 2022. Following soil analysis and land preparation, seedlings were transplanted to the main field in March. All agronomic practices, including irrigation and weed control, were uniformly applied across treatments. The treatments consisted of a control (no fertilizer - C), inoculation with bio-potassium (K), bio-nitrogen (N), bio-phosphate (P), a combination of bio-nitrogen and bio-phosphate (NP), bio-nitrogen and bio-potassium (NK), and a combination of all three (NPK). The aerial parts of the dragonhead were harvested at the flowering stage. Evaluated traits included plant height, number of inflorescences, length of the main inflorescence, fresh weight, dry weight, essential oil content, dry weight yield, and essential oil yield. Essential oils were extracted through water distillation using a Clevenger apparatus, and their components were identified via gas chromatography (GC) and gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). Data were analyzed using SAS statistical software (version 9.1), and means were compared using Duncan's multiple

Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and 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 author and source are credited.

range test at a 5% significance level. Charts were created using EXCEL software.
Results: Analysis of variance indicated that biofertilizers significantly influenced all measured traits in dragonhead. Mean comparison results showed that the highest plant height (90.08 cm) was achieved with the P treatment. The NPK treatment produced the highest number of inflorescences (11.91), length of the main inflorescence (31.10 cm), fresh weight (50.31 g), dry weight (11.31 g), essential oil percentage (2%), dry weight yield (3393.5 kg/ha), and essential oil yield (69.19 kg/ha). The lowest values for plant height (71.50 cm), number of inflorescences (4.12), inflorescence length (17.75 cm), aerial fresh weight (15.68 g), dry weight (3.98 g), dry weight yield (1194.75 kg/ha), and essential oil yield (4.98 kg/ha) were observed in the K treatment, while the N treatment had the lowest essential oil percentage (0.44%). GC-MS analysis revealed that essential oil composition varied among treatments. The highest neral content (17.5%) was found in the P treatment; geraniol (7.9%) and neryl acetate (2.5%) were highest in the NPK treatment; geranial (32.1%) was most abundant in the K treatment; and geranyl acetate (73.2%) was highest in the NK treatment.
Conclusion: The findings suggest that the combined application of biofertilizers, particularly the NPK combination, optimizes both yield and essential oil production in dragonhead under similar environmental conditions. It is anticipated that, under such conditions, and without reliance on chemical fertilizers, cultivating this medicinal plant within a sustainable agricultural framework can yield healthy, high-quality, and environmentally friendly essential oils.

Keywords: Dragonhead, yield, sustainable agriculture, bio-fertilizer.

ارزیابی اثر کودهای زیستی بر عملکرد، کیفیت و کمیت اسانس *Dracocephalum moldavica* L. در شرایط اقلیمی خوزستان

فاطمه برنا[۱*]، مصطفی رحمتی جنیدآباد[۲] و صادق عبدرحمانی [۳]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

پست‌الکترونیک: Borna@asnrukh.ac.ir

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

تاریخ دریافت: خرداد ۱۴۰۳ تاریخ اصلاح نهایی: اسفند ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۴۰۳

چکیده

سابقه و هدف: استفاده از کودهای شیمیایی برای تولید محصولات با عملکرد بالا در کوتاه‌ترین زمان ممکن نگرانی عمومی را در مورد پایداری، ایمنی و امنیت مواد غذایی ایجاد کرده است. ازاین‌رو، جایگزین‌هایی مانند کود زیستی در تضمین ایمنی و امنیت غذایی نیاز است. کودهای زیستی ابزار مهمی در کشاورزی پایدار هستند و می‌توانند به گیاهان در مقابله با تنش‌های محیطی کمک کنند. کاربرد این کودها در کشت گیاهان دارویی که ماهیت آنها تضمین سلامت جامعه است رو به افزایش است. گیاه دارویی بادرشبی با نام علمی *Dracocephalum moldavica* L. از خانواده نعناعیان است که تمامی پیکر گیاه حاوی اسانس است. در طب سنتی از آن برای درمان ناتوانی‌های ذهنی، میگرن و مشکلات قلبی عروقی، احتقان، سردرد، معده درد، ناراحتی‌های کبدی و به‌عنوان آرام‌بخش استفاده می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کودهای زیستی بر روی گیاه دارویی بادرشبی در شرایط آب و هوایی خوزستان انجام شد.

مواد و روش‌ها: بررسی اثر کودهای زیستی بر رشد، عملکرد و کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی بادرشبی، به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی بـا ۷ تیمار و در سه تکرار در گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۱۴۰۱ انجام شد. پس از آنالیز خاک و آماده‌سازی زمین، بذرها نشاء شده و در اسفندماه به زمین اصلی منتقل شد. کلیه عملیات کاشت و داشت شامل آبیاری و کنترل علف‌های هرز به‌طور یکسان برای همه تیمارها اعمال شد. تیمارهـای آزمایشـی شـامل شاهد (بدون کود-C)، تلقیح با بیوپتاس (K)، تلقیح با بیوازت (N)، تلقیح با بیوفسفر (P)، تلقیح با بیوازت+بیوفسفات (NP)، تلقیح با بیوازت+ بیوپتاس (NK) و تلقیح با بیوازت+ بیوفسفر+ بیوپتاس (NPK) بودنـد. برداشت اندام‌های هوایی گیاه دارویی بادرشبی در مرحله گلدهی انجام شد. صفات مورد ارزیابی شامل ارتفاع بوته، تعداد گل‌آذین، طول گل‌آذین اصلی، وزن تر، وزن خشک، میزان اسانس، عملکرد وزن خشک و عملکرد اسانس بودند. استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و به‌وسیله دستگاه کلونجر انجام شد و ترکیبات مؤثره اسانس با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) شناسایی گردید. داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آمـاری SAS ۹,۱ تجزیـه واریانس شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد. رسم نمودارها با بهره‌گیری از نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

نتایج: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کودهای زیستی اثر معنی‌داری بر تمام صفات مورد بررسی گیاه دارویی بادرشبی داشتند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد، بیشترین ارتفاع بوته (۹۰/۰۸ سانتی‌متر) در تیمار P و تعداد گل‌آذین (۱۱/۹۱ عدد) و طول گل‌آذین اصلی (۳۱/۱۰ سانتی‌متر)، وزن تر (۵۰/۳۱ گرم)، وزن خشک (۱۱/۳۱ گرم)، درصد اسانس (وزنی/وزنی) (۲ درصد)، عملکرد وزن خشک (۳۳۹۳/۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد اسانس (۶۹/۱۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار تلقیح با بیوازت+بیوفسفر+ بیوپتاس (NPK) مشاهده گردید. کمترین ارتفاع بوته (۷۱/۵۰ سانتی‌متر)، تعداد گل‌آذین (۴/۱۲ عدد) و طول گل‌آذین اصلی (۱۷/۷۵ سانتی‌متر)، وزن

تر پیکر رویشی (۱۵/۶۸ گرم)، وزن خشک پیکر رویشی (۳/۹۸ گرم)، عملکرد وزن خشک (۱۱۹۴/۷۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد اسانس (۴/۹۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار تلقیح با بیوپتاس (K) و درصد اسانس (۰/۴۴ درصد)، در تیمار تلقیح با بیوازت (N) مشاهده شد. نتایج آنالیز اجزای اسانس با دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS) نشان داد بین تیمارهای مختلف از نظر اجزای اسانس اختلاف وجود دارد. به‌طوری‌که، بیشترین میزان نرال (۱۷/۵ درصد) در تیمار P، ژرانیول (۷/۹ درصد) در تیمار NPK، ژرانیال (۳۲/۱ درصد) در تیمار K، نریل استات (۲/۵ درصد) در تیمار NPK و ژرانیل استات (۷۳/۲ درصد) در تیمار NK وجود دارد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج، استفاده تلفیقی از کودهای زیستی، به‌ویژه NPK برای تولید حداکثر عملکرد و اسانس گیاه دارویی بادرشبی در شرایط اکولوژیکی مشابه پیشنهاد می‌گردد. پیش‌بینی می‌شود در این شرایط و بدون استفاده از کودهای شیمیایی، کشت این گیاه دارویی در یک سیستم کشاورزی پایدار منجر به تولید سالم، پایدار و اسانس با کیفیت شود.

واژه‌های کلیدی: بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.)، عملکرد، کشاورزی پایدار، کود زیستی.

مقدمه

استان خوزستان به دلیل برخورداری از شرایط اقلیمی متنوع، دارا بودن ۳۳ درصد از منابع آبهای سطحی کشور و وجود اراضی حاصلخیز و مستعد، همواره از لحاظ کشاورزی از ظرفیت و توانایی بالایی برخوردار بوده است، با وجود این، با شدت گرفتن مخاطرات خشکسالی و تغییر اقلیم در دهه اخیر و به‌موازات آن عدم مدیریت درست و آمایشی، منابع سرزمینی به‌ویژه آب با بحران و خطر جدی مواجه شده است (Banedj Shafiei *et al*., 2020). در سال‌های اخیر، توسعه کشت گیاهان دارویی در استان خوزستان به دلیل نیاز روزافزون به این گیاهان در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی و ظرفیت ویژه این منطقه، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. کشت گیاهان دارویی در این منطقه می‌تواند علاوه بر تأمین نیازهای دارویی و اقتصادی، گامی مهم در راستای کشاورزی پایدار و بهره‌برداری اصولی از منابع طبیعی باشد.

در راستای توسعه کشت پایدار گیاهان دارویی، جایگزینی کودهای شیمیایی با کودهای زیستی به دلیل پایداری بیشتر و کاهش اثرهای زیست‌محیطی، اهمیت زیادی یافته است (Egamberdieva *et al*., 2015; Liu *et al*., 2024). مطالعات نشان داده‌اند که کودهای شیمیایی می‌توانند اثرهای منفی مانند اسیدی شدن خاک، اتروفیکاسیون منابع آبی و کاهش کیفیت محصولات کشاورزی را به همراه داشته باشند (Wang *et al*., 2010; Youssef & Eissa, 2014). از سوی دیگر، کودهای زیستی با تأمین مواد مغذی از طریق میکروارگانیسم‌های مفید و افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی، راهکاری مؤثر و سازگار با محیط‌زیست برای بهبود عملکرد و کیفیت گیاهان دارویی ارائه می‌دهند (Kumar *et al*., 2022). این کودها علاوه بر بهبود جذب مواد غذایی و ارتقای کیفیت خاک، امکان کشت سالم و با کیفیت گیاهان دارویی را فراهم می‌کنند و به‌دلیل عدم ایجاد آلودگی، به‌ویژه در تولید گیاهان دارویی، رویکردی ایمن‌تر به‌شمار می‌آیند (Al-Karaki *et al*., 2004; Wu *et al*., 2005).

کاربرد این کودها در کشت گیاهان دارویی که ماهیت آنها تضمین سلامت جامعه است رو به افزایش است. مطالعات مختلف کاربرد کودهای زیستی بر کشت پایدار گیاهان دارویی زرین گیاه (*Dracocephalum kotschyi*) (Cham *et al*., 2021)، رازیانه (*Foeniculum vulgare*) (Abdallah *et al*., 2021)، زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) (Talaei & Amini Dehaghi, 2015)، نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) (Al-Amir, 2021) و بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) (Kazeminasab *et al*., 2016) را بررسی کرده است. مطالعات نشان داد استفاده از این کودها می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین یا مکمل برای کودهای شیمیایی، ضمن افزایش بهره‌وری گیاهان دارویی، اثرهای منفی زیست‌محیطی را نیز کاهش دهد (Khorshidi *et al*., 2011).

یکی از گیاهان دارویی پرکاربرد که کشت آن در شرایط

خوزستان در دست بررسی است، گیاه دارویی بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) است که به‌دلیل ترکیبات ارزشمند اسانس، در طب سنتی و صنایع دارویی کاربردهای فراوانی دارد. ترکیبات اصلی روغن فرار آن شامل ژرانیال، نرال، ژرانیل استات و ژرانیول است که خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدباکتریایی و آرام‌بخشی آن را تقویت می‌کنند (Omidbaigi *et al*., 2009; Borna *et al*., 2007) و برای درمان بیماری‌های مختلفی مانند فشار خون بالا، بیماری قلبی، تصلب‌شرایین، سردرد، معده درد و آسم به‌کار می‌رود (Dastmalchi *et al*., 2007; Wójtowicz *et* al., 2017; Aćimović *et al*., 2022).

مطالعات انجام شده بر روی بادرشبی، نشان داده است که استفاده از کودهای زیستی می‌تواند باعث افزایش کمیت و کیفیت اسانس و ترکیبات فعال آن شود (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017a). به عنوان مثال، مطالعات نشان داده‌اند که کودهای زیستی مانند ورمی‌کمپوست و بیوفسفات می‌توانند عملکرد اندام هوایی و میزان اسانس بادرشبی را به‌طور قابل توجهی افزایش دهند (Mafakheri *et al*., 2013; Rahimzadeh *et al*., 2011).

بر این اساس، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر کودهای زیستی بر عملکرد، کمیت و کیفیت اسانس گیاه بادرشبی در شرایط اقلیمی خوزستان انجام شده است. نتایج این تحقیق می‌تواند به بهبود فرایندهای کشت و افزایش بهره‌وری گیاهان دارویی در منطقه خوزستان کمک کند و راهکارهایی مؤثر برای توسعه کشاورزی پایدار و اقتصادی در این منطقه ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در ملاثانی با موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی انجام گردید. قبل از انجام آزمایش، از زمین مورد نظر نمونه خاک تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱). بذرهای بادرشبی از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه و در پائیز ۱۴۰۱ در سینی کشت پرورش داده شد و نشاء بادرشبی در اسفندماه در زمین اصلی در کرت‌های به ابعاد ۱×۱/۵ مترمربع کاشته شد. فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کلیه عملیات کاشت و داشت شامل آبیاری و کنترل علف‌های هرز به‌طور یکسان برای همه تیمارها اعمال گردید.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این پژوهش

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil used in this research

Soil properties	Value
Soil depth	0-30 cm
Soil texture	%
Sand	16.5
Silt	47.5
Clay	36
EC ($dS.m^{-1}$)	6.23
pH	8.30
Saturation percentage (%)	55.7
Sodium absorption ratio	4.1
Total N (%)	0.05
Available P ($mg.kg^{-1}$)	3.2
Available K ($mg.kg^{-1}$)	214
Organic matter (%)	0.76

آزمایش شامل اعمال کودهای زیستی بر روی بادرشبی بود که به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی بـا ۷ تیمار و در سه تکرار اجـرا شد. تیمارهـای آزمایشـی شـامل شاهد (بدون کود – C)، تلقیح با بیوپتاس (K)، تلقیح با بیوازت (N)،

تلقیح با بیوفسفر (P)، تلقیح با بیوازت+ بیوفسفات (NP)، تلقیح با بیوازت+ بیوپتاس (NK) و تلقیح با بیوازت+ بیوفسفر+ بیوپتاس (NPK) بودنـد. کودهای مورد استفاده با نام‌های ازتوبارور۱، فسفو بارور ۲ و پتابارور ۲ از شرکت زیست فناور سبز تهیه شدند. سپس براساس توصیه کودی مندرج بر روی بسته، به میزان ۵۰۰ میلی‌لیتر در هکتار همراه با آب آبیاری در دو مرحله در مرحله ۴ برگی و قبل از گلدهی کامل گیاه مصرف شد.

پارامترهای قابل اندازه‌گیری

صفات مورفولوژیک

برداشت اندام‌های هوایی گیاه دارویی بادرشبی در مرحله گلدهی (۷۰ درصد گلدهی) انجام و ارتفاع بوته، تعداد گل‌آذین، طول گل‌آذین اصلی و وزن تر گیاه بلافاصله اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در آون خشک شده و وزن خشک آنها اندازه‌گیری گردید.

اندازه‌گیری میزان عملکرد ماده خشک و اسانس در واحد سطح

براساس داده‌های وزن خشک و مقدار اسانس، میزان عملکرد ماده خشک گیاهی در واحد سطح براساس کیلوگرم در هکتار و مقدار اسانس در واحد سطح براساس کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید.

استخراج اسانس

استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و به‌وسیله دستگاه کلونجر انجام شد. بدین منظور، ۳۰ گرم نمونه خشک شده از هر کرت وزن گردید و پس از آسیاب شدن مختصر در ۶۰۰ میلی‌لیتر آب در داخل دستگاه کلونجر به مدت ۲ ساعت طبق فارماکوپه مجارستان جوشانده شد تا اسانس آن استخراج شود (Borna, 2006). سپس عملکرد اسانس اندازه‌گیری و اجزا اسانس با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنج جرمی اندازه‌گیری شد.

شناسایی ترکیبات تشکیل دهنده اسانس

دستگاه کروماتوگرافی استفاده شده در این آزمایش، دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل 19091S ساخت شرکت Agilent آمریکا متصل شده به دستگاه طیف‌سنج جرمی 7890A با ستون موئین HP-5MS به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۰/۲۵ میکرومتر بود. دمای انژکتور و خط انتقال MS روی ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. کل برنامه آنالیز دستگاه ۴۸ دقیقه در نظر گرفته شد. گرادیان دمایی ستون به این نحو تنظیم گردید که دمای ابتدایی آون ۴۰ درجه سانتی‌گراد و توقف در این دما به مدت ۵ دقیقه بود و بعد با سرعت ۵ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه به دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و پس از توقف یک دقیقه در این دما، سپس با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه، دما تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و ۵ دقیقه توقف در این دما داشت. از گاز هلیوم به عنوان گاز حامل با سرعت جریان ۰/۸ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده گردید. یادآوری می‌شود که حجم نمونه ۰/۵ میکرولیتر بود که پس از رقیق‌سازی با n- هگزان (به نسبت یک به دو) تزریق شد. شناسایی اجزا با کمک پارامتر اندیس بازداری و طیف‌هـای جرمی و مقایسه آنها با ترکیبات استاندارد و اطلاعـات موجـود در کتابخانه جرمی Wiley7n .L انجام شد.

تحلیل آماری

داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار آمـاری SAS ۹,۱ تجزیـه واریانس شده و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گردید. رسم نمودارها با بهره‌گیری از نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

نتایج

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس اثر کودهای زیستی مختلف روی صفات مورفولوژیک و مقدار اسانس گیاه بادرشبی در جدول

۲ ارائه شده است. مطابق یافته‌های تجزیه واریانس، اثر کودهای زیستی بر ارتفاع بوته در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. شکل ۱، میانگین ارتفاع بوته گیاه دارویی بادرشبی تحت تأثیر کودهای زیستی مختلف را نشان می‌دهد. در این راستا، بیشترین (۹۰/۰۸ سانتی‌متر) و کمترین (۷۱/۵۰ سانتی‌متر) ارتفاع بوته به ترتیب در تیمارهای P و K مشاهده گردید ($P < 0.05$). به‌طورکلی، استفاده از کودهای P، NP، NK و NPK سبب افزایش ارتفاع بوته در مقایسه با نمونه شاهد گردید؛ با این حال، این اختلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود ($P > 0.05$).

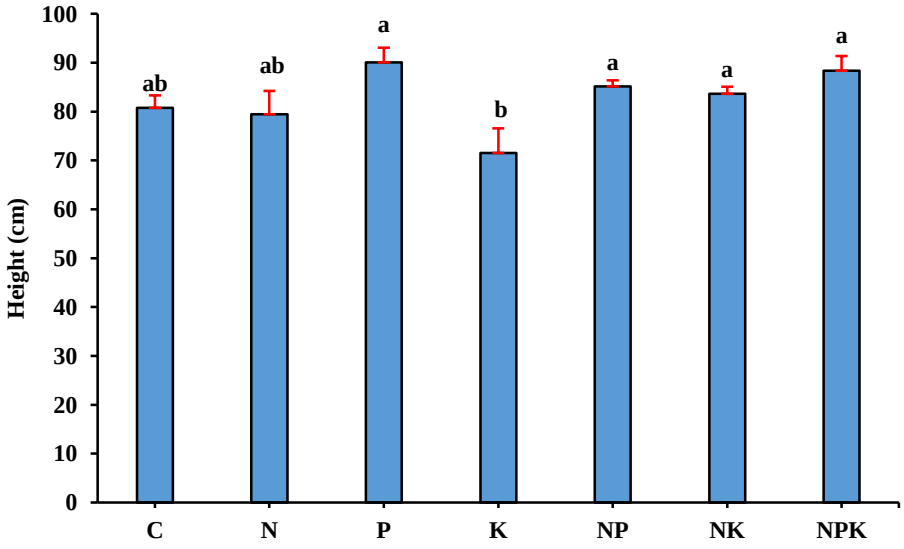
جدول ۲. تجزیه واریانس اثر کودهای زیستی بر برخی صفات مورفولوژیک و مقدار اسانس گیاه دارویی بادرشبی

Table 2. ANOVA of biofertilizers effects on some morphological characteristics and *Dracocephalum moldavica* essential oil content

S.O.V.	d.f.	M.S.							
		H	NI	LI	FW	DW	EO	DY	EY
Block	2	42.09	3.77	8.00	47.57	1.53	0.027	138518.57	1.69
Biofertilizer	6	116.70*	28.25*	89.69**	437.02**	19.31**	1.35**	1738550.09**	1425.11**
Experimental error	12	31.77	6.19	16.75	53.66	3.41	0.128	307785.84	56.11
C.V. (%)	-	6.81	32.15	16.55	20.91	23.03	26.21	23.03	22.66

* and **: significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

H: height, NI: number of inflorescences, LI: length of main inflorescence, FW: shoot fresh weight, DW: shoot dry weight, EO: essential oil percentage, DY: shoot dry yield, and EY: essential oil yield.



شکل ۱. مقایسه میانگین تأثیر کودهای زیستی بر ارتفاع بوته بادرشبی

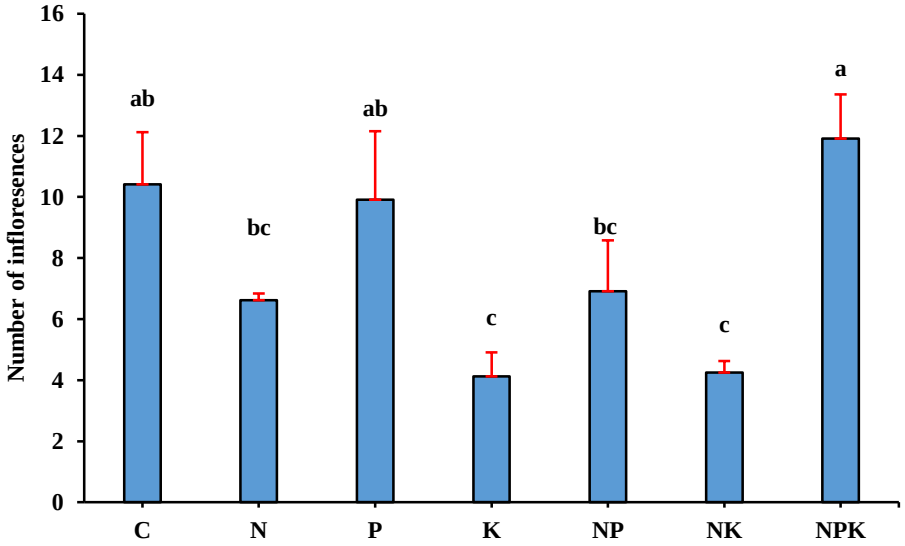
Figure 1. Means comparison of biofertilizers' effects on *Dracocephalum moldavica* height

Means with common letters are in the same statistical group at a 5% probability level (Duncan test).

C: Control (No Fertilizer), N: Bio-Nitrogen, P: Bio-Phosphorus, K: Bio-Potassium, NP: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus, NK: Bio-Nitrogen + Bio-Potassium, NPK: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus + Bio-Potassium

تعداد گل‌آذین و طول گل‌آذین اصلی

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر کودهای زیستی بر تعداد گل‌آذین بادرشبی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). علاوه بر این، طول گل‌آذین اصلی گیاه نیز تحت تأثیر کودهای زیستی قرار گرفت و این اثر در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (شکل ۲). میانگین نتایج تعداد گل‌آذین گیاه در شکل ۲ نشان داده شده است. تیمار NPK منجر به بیشترین تعداد گل‌آذین گردید و تعداد گل‌آذین در این تیمار برابر با ۱۱/۹۱ عدد بود. با این حال، اختلاف معنی‌داری بین تعداد گل‌آذین در تیمارهای NPK و شاهد مشاهده نگردید. علاوه بر این، کمترین تعداد گل‌آذین (۴/۱۲ عدد) در نمونه K مشاهده گردید که به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمارهای شاهد، P و NPK بود. به‌طورکلی، به استثناء تیمار NPK، سایر نمونه‌ها دارای تعداد گل‌آذین کمتری نسبت به نمونه کنترل بودند. اگرچه، تنها تعداد گل‌آذین در تیمارهای NK و K به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمار شاهد بود.



شکل ۲. مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی بر تعداد گل آذین بادرشبی

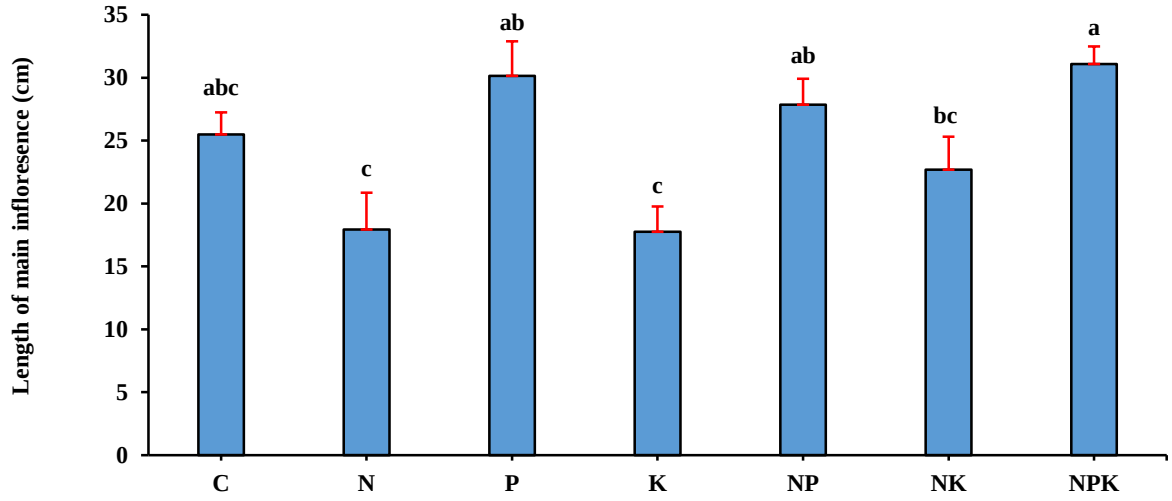
Figure 2. Means comparison of biofertilizers' effects on the number of *Dracocephalum moldavica* inflorescences

Means with common letters are in the same statistical group at a 5% probability level (Duncan test).
C: Control (No Fertilizer), N: Bio-Nitrogen, P: Bio-Phosphorus, K: Bio-Potassium, NP: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus, NK: Bio-Nitrogen + Bio-Potassium, NPK: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus + Bio-Potassium

مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی بر طول گل‌آذین اصلی نشان داد که بیشترین و کمترین طول گل‌آذین اصلی به ترتیب در نمونه‌های NPK (۳۱/۱۰ سانتی‌متر) و K (۱۷/۷۵ سانتی‌متر) مشاهده می‌شود (شکل ۳).

وزن تر و خشک

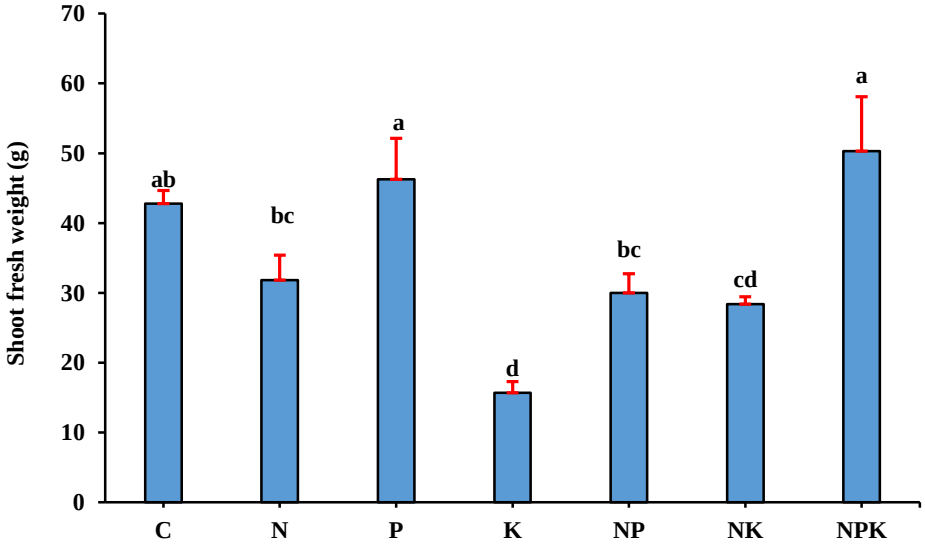
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کودهای زیستی استفاده شده اثر معنی‌داری بر وزن تر و وزن خشک گیاه در سطح ۱ درصد داشته است (جدول ۲). علاوه بر این، نتایج مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی بر وزن تر گیاه نشان داد که بالاترین وزن تر گیاه (۵۰/۳۱ گرم) در نمونه NPK بدست آمده است. همچنین، نمونه K کمترین وزن تر گیاه (۱۵/۶۸ گرم) را بخود اختصاص داده است (شکل ۴). به‌طورکلی، نمونه‌های NPK و P دارای وزن تر بالاتری نسبت به نمونه شاهد بودند ($p > 0.05$) و بقیه تیمارها وزن تر کمتری نسبت به نمونه شاهد داشتند و این اختلاف تنها در نمونه‌های K و NK معنی‌دار بود.



شکل ۳. مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی بر طول گل آذین اصلی بادرشبی

Figure 3. Means comparison of biofertilizers' effects on the length of *Dracocephalum moldavica* main inflorescence

Means with common letters are in the same statistical group at a 5% probability level (Duncan test).
C: Control (No Fertilizer), N: Bio-Nitrogen, P: Bio-Phosphorus, K: Bio-Potassium, NP: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus, NK: Bio-Nitrogen + Bio-Potassium, NPK: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus + Bio-Potassium

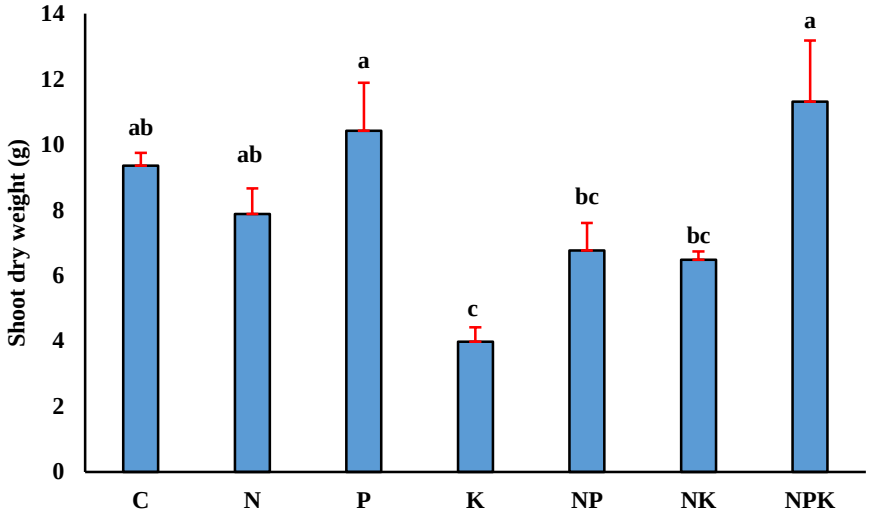


شکل ۴. مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی بر وزن تر اندام‌های هوایی بادرشبی

Figure 4. Means comparison of biofertilizers' effects on *Dracocephalum moldavica* shoot fresh weight

Means with common letters are in the same statistical group at a 5% probability level (Duncan test).
C: Control (No Fertilizer), N: Bio-Nitrogen, P: Bio-Phosphorus, K: Bio-Potassium, NP: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus, NK: Bio-Nitrogen + Bio-Potassium, NPK: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus + Bio-Potassium

نتایج این تحقیق نشان داد که مصرف کودهای زیستی تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک گیاه داشته است، به‌نحوی‌که بیشترین میزان وزن خشک (۱۱/۳۱ گرم) با تیمار NPK مشاهده شد و کمترین آن (۳/۹۸ گرم) در تیمار K بدست آمد (شکل ۵).



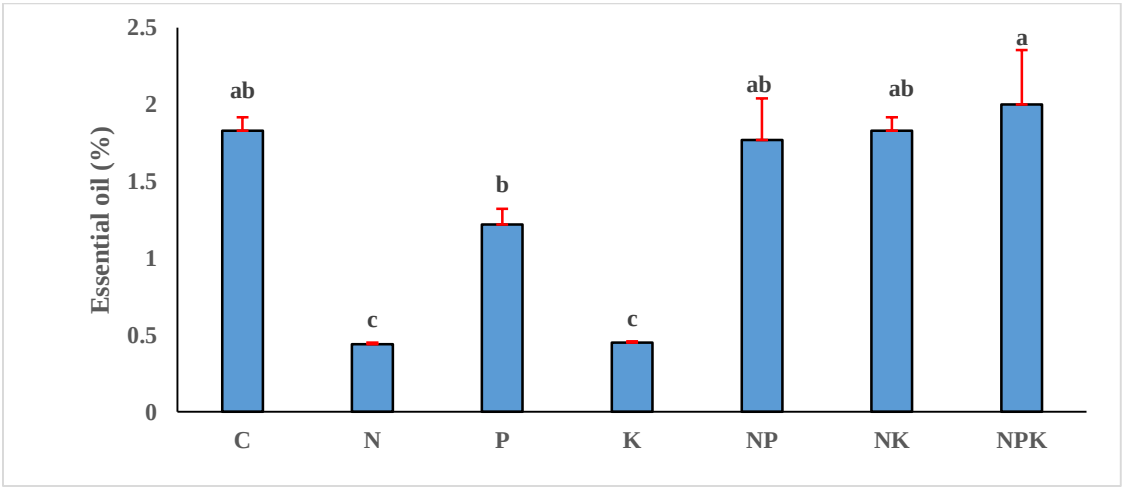
شکل ۵. مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی بر وزن خشک اندام‌های هوایی بادرشبی

Figure 5. Means comparison of biofertilizers' effects on *Dracocephalum moldavica* shoot dry weight

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).
C: Control (No Fertilizer), N: Bio-Nitrogen, P: Bio-Phosphorus, K: Bio-Potassium, NP: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus, NK: Bio-Nitrogen + Bio-Potassium, NPK: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus + Bio-Potassium

درصد اسانس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کودهای زیستی بر درصد اسانس گیاه دارویی بادرشبی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۲). مقایسه میانگین نتایج نشان داد که درصد اسانس در تیمارهای شاهد، N، P، K، NP، NK و NPK به ترتیب ۱/۸۳، ۰/۴۴، ۱/۲۲، ۰/۴۵، ۱/۷۷، ۱/۸۳ و ۲ درصد بود (شکل ۶). مطابق نتایج، بیشترین و کمترین درصد اسانس به ترتیب به تیمارهای NPK و N اختصاص داشته است ($P < 0.05$).



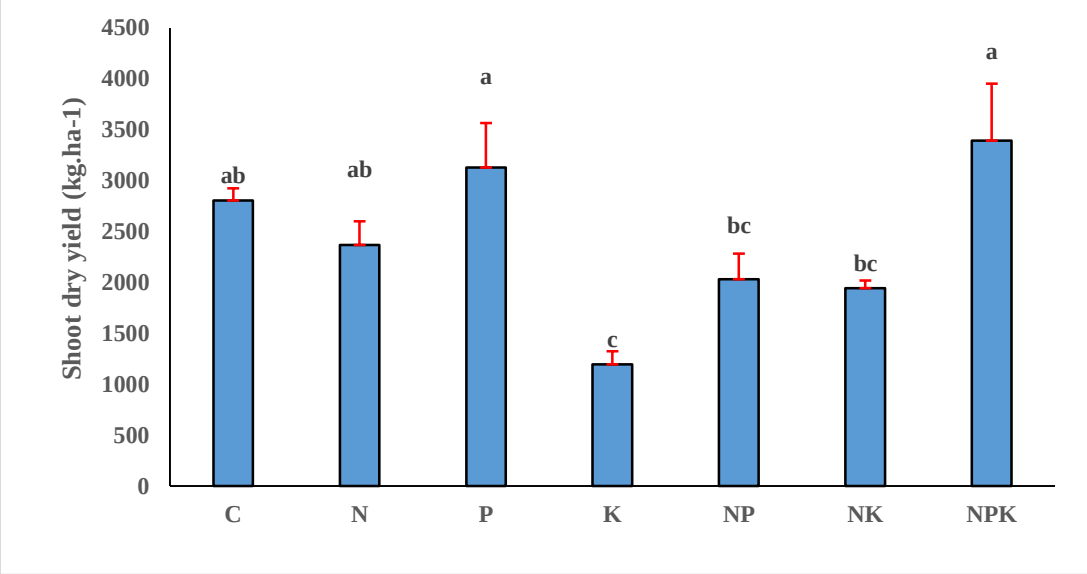
شکل ۶. مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی بر درصد اسانس بادرشبی

Figure 6. Means comparison of biofertilizers' effects on *Dracocephalum moldavica* essential oil percentage

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).
C: Control (No Fertilizer), N: Bio-Nitrogen, P: Bio-Phosphorus, K: Bio-Potassium, NP: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus, NK: Bio-Nitrogen + Bio-Potassium, NPK: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus + Bio-Potassium

عملکرد وزن خشک

عملکرد وزن خشک گیاه بادرشبی نیز تحت تأثیر استفاده از کودهای زیستی قرار گرفت و مطابق نتایج تجزیه واریانس، اثر کودهای زیستی بر عملکرد وزن خشک در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی مختلف بر عملکرد خشک گیاه نشان داد، اگرچه تیمارهای NPK (۳۳۹۳/۵ کیلوگرم در هکتار) و P (۳۱۲۶/۹۱ کیلوگرم در هکتار) دارای عملکرد وزن خشک بالاتری نسبت به نمونه شاهد (۲۸۰۵/۲۵ کیلوگرم در هکتار) بودند، اما اختلاف معنی‌داری بین این تیمارها در سطح ۵ درصد مشاهده نشد (شکل ۷). یادآوری می‌شود که کمترین عملکرد وزن خشک در نمونه K مشاهده شد (۱۱۹۴/۷۵ کیلوگرم در هکتار) و اختلاف معنی‌داری با تیمارهای شاهد، N، P و NPK داشت.



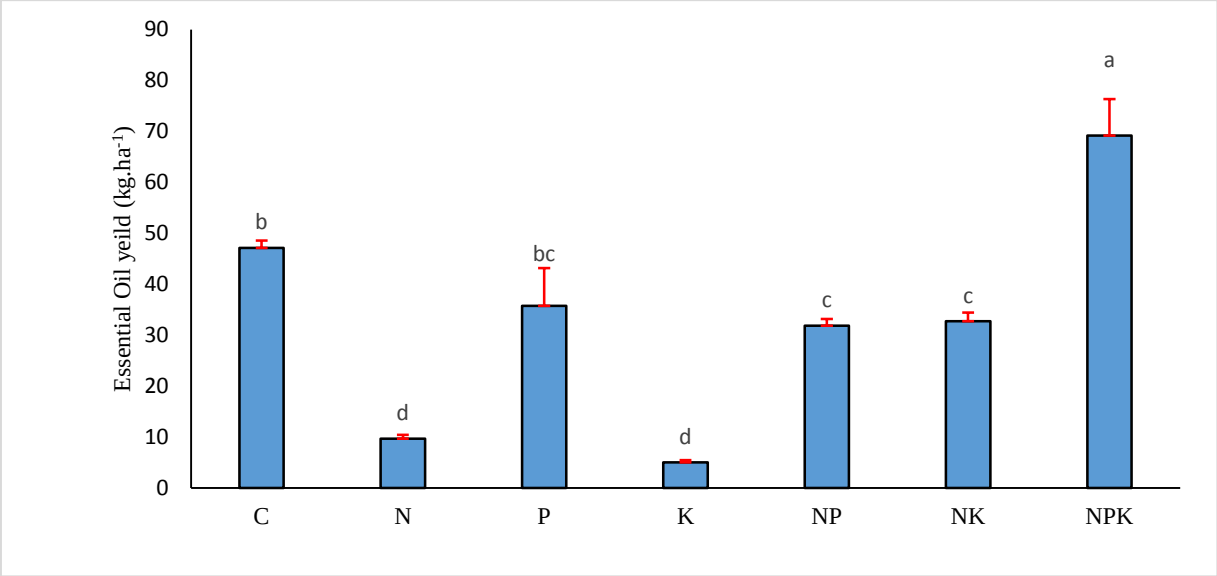
شکل ۷. مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی بر عملکرد خشک بادرشبی

Figure 7. Means comparison of biofertilizers' effects on *Dracocephalum moldavica* dry yield

Means with common letters are in the same statistical group at a 5% probability level (Duncan test).
C: Control (No Fertilizer), N: Bio-Nitrogen, P: Bio-Phosphorus, K: Bio-Potassium, NP: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus, NK: Bio-Nitrogen + Bio-Potassium, NPK: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus + Bio-Potassium

عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کودهای زیستی بر عملکرد اسانس در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مطابق نتایج مقایسه میانگین اثر کودهای زیستی بر عملکرد اسانس که در شکل ۸ ارائه شده است، بیشترین و کمترین عملکرد اسانس به ترتیب در نمونه‌های NPK (۶۹/۱۹ کیلوگرم در هکتار) و K (۴/۹۸ کیلوگرم در هکتار) مشاهده گردید ($P < 0.05$). به‌طورکلی، بجز نمونه NPK، سایر تیمارها عملکرد اسانس کمتری نسبت به نمونه شاهد نشان دادند؛ با این حال، اختلاف بین عملکرد اسانس در تیمارهای شاهد و P در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). با توجه به بیشترین بودن درصد اسانس در تیمار NPK و نیز عملکرد مناسب پیکره رویشی در همین تیمار و با در نظر گرفتن این موضوع که عملکرد اسانس حاصل‌ضرب درصد اسانس در عملکرد پیکره است، می‌توان انتظار بالاتر بودن عملکرد اسانس در این تیمار را داشت.



شکل ۸. مقایسه میانگین تاثیر کودهای زیستی بر عملکرد اسانس بادرشبی

Figure 8. Means comparison of biofertilizers' effects on *Dracocephalum moldavica* essential oil yield

Means with common letters are in the same statistical group at a 5% probability level (Duncan test).
C: Control (No Fertilizer), N: Bio-Nitrogen, P: Bio-Phosphorus, K: Bio-Potassium, NP: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus, NK: Bio-Nitrogen + Bio-Potassium, NPK: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus + Bio-Potassium

جدول ۳. اثر کودهای زیستی بر ترکیب اسانس گیاه دارویی بادرشبی

Table 3. Biofertilizers' effects on essential oil composition of *Dracocephalum moldavica*

No.	Compound	Calculated linear retention index	Retention index from Adams, 2017	C	N	P	K	NP	NK	NPK
1	6-Methyl-5-hepten-2-one	0987	0981	–	–	0.6	–	–	–	0.6
2	β-ocimene	1048	1044	–	–	0.1	–	–	–	0.1
3	trans-linalool oxide	1088	1084	–	–	t	–	–	–	0.1
4	linalool	1101	1095	0.3	–	0.7	0.2	–	–	1.2
5	cis-verbenol	1134	1137	–	–	0.7	–	–	–	0.5
6	decanal	1202	1201	–	–	0.1	–	–	–	0.1
7	nerol	1228	1227	–	–	0.0	–	–	–	–
8	neral	1243	1235	13.2	–	17.5	15.4	8.7	0.55	12.9
9	geraniol	1256	1249	–	–	4.2	–	–	–	7.9
10	geranial	1272	1264	26.2	20.1	28.3	32.1	24.9	21.53	20.8
11	methyl geranate	1328	1322	0.2	–	0.5	–	–	–	0.3
12	neryl acetate	1364	1359	1.4	–	2.1	1.6	1.2	–	2.5
13	geranyl acetate	1383	1379	28.4	68.7	31.5	38.1	45.3	73.18	44.6
14	trans-caryophyllene	1419	1417	–	–	0.5	–	–	–	0.3
15	germacrene D	1485	1484	0.4	–	1.0	0.3	–	–	0.6
16	caryophyllene oxide	1583	1582	t	–	0.3	–	–	–	0.2
17	farnesol(2Z,6Z)	1697	1698			0.2				0.5
	Total			70.2	88.8	88.3	87.7	80.0	95.3	93.1

C: Control (No Fertilizer), N: Bio-Nitrogen, P: Bio-Phosphorus, K: Bio-Potassium, NP: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus, NK: Bio-Nitrogen + Bio-Potassium, NPK: Bio-Nitrogen + Bio-Phosphorus + Bio-Potassium, t: trace = less than 0.05

اجزاء اسانس

نتایج اثر کودهای زیستی مختلف بر ترکیب اسانس گیاه دارویی بادرشبی در جدول ۳ ارائه شده است. تعداد ۹، ۲، ۱۷، ۶، ۴، ۳ و ۱۵ ترکیب مختلف به ترتیب در اسانس تیمارهای شاهد، N، P، K، NP، NK و NPK به‌وسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی شناسایی گردید و شاخص بازداری آنها با منابع (Adams, 2017) مطابقت داده شد. همانطور که ملاحظه می‌شود، استفاده از کودهای زیستی P و NPK سبب گردید که ترکیبات متنوع‌تری در اسانس بادرشبی شناسایی شوند؛ با این حال، تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای در غلظت این ترکیبات در بین تیمارهای مختلف مشاهده گردید. در این راستا، ترکیبات عمده و شناخته شده در اسانس بادرشبی از قبیل نرال، ژرانیول، ژرانیال، ژرانیل استات و نریل استات در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

مطابق نتایج، بیشترین میزان نرال در تیمار P (۱۷/۵ درصد) و بعد تیمارهای K (۱۵/۴)، شاهد (۱۳/۲ درصد) و NPK (۱۲/۹ درصد) مشاهده گردید. ترکیب ژرانیول تنها در تیمارهای NPK (۷/۹ درصد) و P (۴/۲ درصد) مشاهده شد. در ارتباط با ترکیب ژرانیال، بیشترین میزان آن (۳۲/۱ درصد) در تیمار K و بعد در تیمارهای P (۲۸/۳ درصد)، شاهد (۲۶/۲ درصد)، NP (۲۴/۹ درصد) و NPK (۲۰/۸ درصد) بدست آمد. نریل استات در اسانس تیمارهای N و NK شناسایی نگردید و بیشترین میزان آن (۲/۵ درصد) در تیمار NPK مشاهده شد. در مورد ترکیب ژرانیل استات، اسانس حاصل از نمونه‌های تیمار شده با کودهای زیستی، دارای میزان بیشتری از این ترکیب در مقایسه با نمونه شاهد بودند؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان ژرانیل استات در تیمار NK (۷۳/۲ درصد) مشاهده گردید.

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که مصرف کودهای زیستی N، P و K به‌صورت جداگانه و تلفیقی تأثیر معنی‌داری بر رشد، عملکرد و درصد اسانس گیاه دارویی بادرشبی دارد. مطابق نتایج، زمانی که از کود زیستی تلفیقی NPK استفاده شود، گیاه دارویی بادرشبی دارای ارتفاع بوته، تعداد گل‌آذین، وزن تر و خشک، درصد اسانس، عملکرد وزن خشک و عملکرد اسانس بالاتری نسبت به نمونه شاهد می‌باشد. همراستا با نتایج این پژوهش، Choobforoush Khoei و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که تحت تأثیر کودهای بیولوژیک و بدلیل فراهم بودن عناصر غذایی پرمصرف که در اختیار گیاه هستند، عملکرد گیاه افزایش پیدا می‌کند. افزایش عملکرد گیاه در حضور کودهای بیولوژیک ناشی از تولید ترکیبات مختلف، تسهیل جذب عناصر، تثبیت نیتروژن اتمسفری، حل کردن مواد معدنی مانند فسفات، تولید سیدروفور، تولید هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلین و اکسین است که سبب افزایش رشد گیاه در مراحل مختلف رشدی گیاه شده و یا از طریق ساخت آنزیم‌های دخیل در رشد و نمو گیاه، سبب افزایش رشد گیاه می‌گردد (Lucy *et al.*, 2004).

در مطالعه‌ای دیگر، مشخص گردید که استفاده از کودهای بیولوژیک سبب افزایش رشد گیاه دارویی مریم گلی می‌گردد (Youssef *et al.*, 2004). باکتری‌های موجود در کودهای بیولوژیکی قادر به افزایش رشد گیاه از طریق افزایش جذب نیتروژن، سنتز فیتوهورمون‌ها و انحلال مواد معدنی می‌باشند (Herman *et al.*, 2008). هماهنگ با یافته‌های این تحقیق، Kheiry و همکاران (۲۰۱۸) گزارش نمودند که حداکثر تعداد گل‌آذین نعناع فلفلی در تیمار ۴ لیتر در هکتار کود بیولوژیک نیتروکسین و ارتفاع گل‌آذین در تیمار ۴ کیلوگرم در هکتار کود بیولوژیک تیوباسیلوس به همراه ۶ لیتر در هکتار نیتروکسین بدست آمد.

در یک مطالعه Rezaei Chiyaneh و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که کودهای زیستی با افزایش جذب نیتروژن و افزایش کارایی این عنصر در فرایند فتوسنتز و تولید سطح سبز نقش بسزایی ایفا می‌کنند که منجر به افزایش رشد و گل‌دهی و افزایش تعداد گل‌آذین می‌شود. بنظر می‌رسد که حضور همزمان عناصر ازت، پتاسیم و فسفر در تیمار NPK سبب شده است که رشد گیاه و گل‌دهی و در نهایت تعداد گل‌آذین

بیشتر گردد. در این راستا، گزارش شده است که کود NPK سبب تقویت رشد گیاه دارویی زوفا می‌گردد (Naderi & Madani, H. 2014). همچنین Kheiry و همکاران (۲۰۱۸) گزارش نمودند که استفاده از کودهای زیستی سبب افزایش وزن تر گیاه نعناع فلفلی می‌گردد. علاوه بر این، Pirahmadi وهمکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که استفاده از ورمی‌کمپوست سبب افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک گیاه بادرشبی در مقایسه با نمونه شاهد می‌گردد. این محققان بیان کردند که افزودن ورمی‌کمپوست به خاک سبب افزایش عناصر غذایی مورد نیاز گیاه می‌شود و با بهبود شرایط فیزیکی و فرایندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک محیط مناسب برای رشد ریشه، منجر به افزایش رشد اندام هوایی و تولید ماده خشک می‌گردد (Pirahmadi *et al*., 2025).

همچنین بیان شده است که کودهای بیولوژیک باعث افزایش جذب عناصری مانند نیتروژن می‌شوند که این عنصر منجر به افزایش پروتوپلاسم و تقسیم سلولی و اندازه سلول و سطح برگ می‌شود. در نهایت با بالا رفتن فعالیت فتوسنتزی، رشد رویشی را در گیاه تشدید کرده و بدنبال آن وزن تر گیاه نیز بالا می‌رود (Rezaei Chiyaneh *et al*., 2015).

بنظر می‌رسد که حضور همزمان عناصر پتاسیم، فسفر و نیتروژن در تیمار NPK به تأثیرگذاری مثبت بر صفت میزان (درصد) اسانس منجر شده است. در این حالت، بنظر می‌رسد که مصرف میزان مناسبی از کود زیستی NPK، از طریق فراهمی جذب مطلوب فسفر و نیتروژن و عناصر کم مصرف، منجر به تولید بیومس کافی و در نهایت افزایش درصد اسانس شده است. همچنین در این مطالعه تیمار شاهد، احتمالاً به دلیل نبود تنش ناشی از عدم تعادل عناصر یا ویژگی‌های طبیعی خاک آزمایشی، در برخی موارد عملکرد بهتری از کودهای زیستی تک و دو عنصری داشته است. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده عدم کفایت برخی از کودهای زیستی تک‌عنصری یا ترکیب‌های خاص باشد که منجر به رقابت برای جذب عناصر شده است و رشد گیاه را کاهش داده است.

با این حال، تحقیقات بیشتری بایستی در این زمینه انجام شود. در این راستا، گزارش شده است که مصرف کود زیستی ورمی‌کمپوست موجب بهبود میزان اسانس در گیاهان دارویی بابونه، انیسون (*Pimpinella anisum* L.) و ریحان می‌گردد و این کار را از طریق بهبود شرایط فیزیکی و فرایندهای حیاتی خاک و ایجاد بستری مناسب برای رشد ریشه و دسترسی مطلوب به عناصر معدنی انجام می‌دهد (Khalesro *et al*., 2012; Anwar *et al*., 2005; Salehi *et al*., 2011). علاوه بر این، گزارش شده است که کاربرد به ترتیب ۴ و ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار سبب بهبود میزان اسانس در گیاهان شوید و انیسون می‌گردد و این اثر به فراهمی جذب بیشتر فسفر و نیتروژن که در اجزاء متشکله اسانس گیاهان مذکور حضور دارند نسبت داده شده است (Darzi *et al*., 2013). البته افزایش درصد اسانس گیاه دارویی زوفا در حضور کود NPK نیز گزارش شده است (Naderi & Madani, 2014). اثر کاربرد کود دامی، ورمی‌کمپوست، نیتروکسین و بیوسوپرفسفات بر کمیت و کیفیت اسانس دارویی بادرشبویه در مطالعه Darzi و Haj Seyed Hadi (۲۰۱۷a) بررسی شده است.

گزارش شده است که مقدار کافی نیتروژن در خاک منجر به افزایش میزان فتوسنتز، رشد گیاه و تولید بیوماس می‌گردد. علاوه بر این، کاربرد نیتروژن، سبب جذب و تجمع دیگر عناصر مانند پتاسیم و فسفر می‌شود (Baranauskienė *et al*., 2003). این حالت می‌تواند دلیل بالاتر بودن عملکرد وزن خشک در تیمار NPK باشد. محققان بیان نموده‌اند که تأثیر کود نیتروژنه از طریق افزایش میزان فتوسنتز و ذخیره کربوهیدرات که به ترتیب برای کاهش نیترات و غیر سمی شدن آمونیوم ضروری‌اند، بر عملکرد گل خشک گیاهان دارویی و معطر مؤثر می‌باشد (Franz, 1983).

تأثیر کودهای زیستی و ورمی‌کمپوست بر عملکرد اسانس گیاه دارویی بادرشبی در مطالعات گوناگون گزارش شده است (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017 b; Pirahmadi *et al*., 2025). این اثر به جذب مناسب و متعادل غذایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر در کود زیستی نسبت داده شد که سبب تولید ماده خشک لازم و کافی و در نهایت کسب بیشترین میزان و عملکرد اسانس گردید (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017

b; Pirahmadi *et al.*, 2025). علاوه بر این، ذکر این نکته ضروری است که اسانس‌ها ترکیباتی ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آنها به ATP و NDPH نیاز مبرم دارند. با توجه به اینکه حضور عناصری مانند نیتروژن و فسفر برای تشکیل این ترکیبات نیاز است، بنابراین حضور کود زیستی از طریق فراهم کردن جذب بیشتر نیتروژن و فسفر که در اجزا تشکیل دهنده اسانس حضور دارند، منجر به افزایش میزان و عملکرد اسانس پیکر رویشی گیاه می‌گردد (Anwar *et al.*, 2004). در این مطالعه تیمار شاهد، احتمالاً به دلیل نبود تنش ناشی از عدم تعادل عناصر یا ویژگی‌های طبیعی خاک آزمایشی، در برخی موارد عملکرد بهتری از کودهای زیستی تک و دو عنصری داشته است. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده عدم کفایت برخی از کودهای زیستی تک‌عنصری یا ترکیب‌های خاص باشد که منجر به رقابت برای جذب عناصر شده است و رشد گیاه را کاهش داده است. از سوی دیگر، تلفیق کودهای زیستی احتمالاً بدلیل اثر سینرژیستی ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌هاست.

در راستای نتایج این تحقیق در مورد اثر کودهای زیستی بر اجزای اسانس، ژرانیل استات، ژرانیال، نرال و ژرانیول به ترتیب مهمترین ترکیبات اسانس در پیکر رویشی بادرشبی شناسایی شده‌اند (Saeedi *et al.*, 2015). در مطالعه Darzi و Haj Seyed Hadi (۲۰۱۷b)، اثر کودهای آلی و زیستی بر کمیت و کیفیت اسانس دارویی بادرشبویه بررسی گردید. نتایج این محققان نشان داد که بالاترین درصد اسانس (۰/۵۴ درصد)، عملکرد اسانس (۹/۵۰ کیلوگرم در هکتار) و درصد ژرانیول (۷/۹۵ درصد) و لینالول (۰/۵۱۹ درصد) در اسانس در تیمار مصرف ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار و بیشترین درصد ژرانیال (۳۳/۲۴ درصد)، نرال (۲۴/۳۸ درصد) و نریل استات (۲/۵۶ درصد) در اسانس در تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار و کود زیستی (نیتروکسین و بیوسوپرفسفات) حاصل شد. گزارش شده است که آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از منابع آلی و زیستی متناسب با مراحل رشدی گیاه منجر به افزایش ماده مؤثره اسانس و بهبود کیفیت آن می‌گردد (Moradi *et al.*, 2011).

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی، با توجه به اهمیت گیاه دارویی بادرشبی در صنایع مختلف ازجمله دارویی، آرایشی، بهداشتی، غذایی و عطرسازی، تأکید بر استفاده صحیح از کودهای زیستی برای این گیاه ضروریست. بنابراین، استفاده از کود زیستی تلفیقی NPK برای به حداکثر رساندن تولید اسانس و افزایش عملکرد گیاه بادرشبی در شرایط اقلیمی خاص مورد مطالعه توصیه می‌شود. پیش‌بینی می‌شود در این شرایط و بدون استفاده از کودهای شیمیایی، کشت این گیاه دارویی در یک سیستم کشاورزی پایدار منجر به تولید سالم و پایدار اسانس با کیفیت شود. انجام آزمایش‌های تکمیلی برای بهبود ترکیب کودهای زیستی دوتایی یا تک‌عنصری و یافتن مقادیر بهینه این کودها نیز توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی به شماره ۱۴۰۲/۱۵ می‌باشد، ازاین‌رو نویسندگان مقاله برخود لازم می‌دانند از معاون پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی از طرح، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

References

- Abdallah, I., Amer, A. and El-Hefny, D., 2021. Influence of herbicides under biofertilizer application on fennel (*Foeniculum vulgare*) yield and quality with special reference to herbicide residues. Bulletin of the National Research Centre, 45: 77. https://doi.org/10.1186/s42269-021-00534-w
- Aćimović, M., Šovljanski, O., Šeregelj, V., Pezo, L., Zheljazkov, V. D., Ljujić, J. Tomić, A., Ćetković, G., Čanadanović-Brunet, J., Miljković, A. and Vujisić, L., 2022. Chemical composition, antioxidant, and antimicrobial activity of *Dracocephalum moldavica* L. essential oil and hydrolate. Plants, 11(7): 941. https://doi.org/10.3390/plants11070941

- Adams, R.P. 2017. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry, Allured Publishing Corporation, Carol Stream, IL, USA.
- Al-Amri, S.M., 2021. Response of growth, essential oil composition, endogenous hormones and microbial activity of *Mentha piperita* to some organic and biofertilizer agents. Saudi Journal of Biological Sciences, 28(10): 5435-5441. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.094.
- Al-Karaki, G., McMichael, B. and Zak, J., 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. Mycorrhiza, 14: 263-269. https://doi.org/10.1007/s00572-003-0265-2
- Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A. A., and Khanuja, S. P. S., 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36(13-14): 1737-1746. https://doi.org/10.1081/CSS-200062434
- Banedj Shafiei, S., Seid Akhlaghi, S.J., Seid Akhlaghi, S.A. and Ghasemi Arian, Y., 2020. Assessing the long-term water management in agricultural activity (case study, Khuzestan province). Iran Nature, 5(2): 45-51. https://doi.org/10.22092/irn.2020.121630
- Baranauskienė, R., Venskutonis, P.R., Viškelis, P. and Dambrauskienė, E., 2003. Influence of nitrogen fertilizers on the yield and composition of thyme (*Thymus vulgaris*). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(26): 7751-7758. https://doi.org/10.1021/jf0303316
- Borna, F., Omidbaigi, R. and Sefidkon, F., 2007. The effect of sowing dates on growth, yield and essential oil content of *Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 23 (3), 307-314. https://ijmapr.areeo.ac.ir/article_10103.html?lang=en
- Cham, R., Abtahi, S.A., Jafarinia, M. and Yasrebi, J., 2021. Study of biofertilizers effect on some physiological and biochemical traits of *Dracocephalum kotschyi* Boiss. under different soil moisture regimes, Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants, 9 (2): 106-122. https://doi.org/10.30495/ejmp.2021.694476
- Darzi, M. and Haj Seyed Hadi, M., 2017a. Effects of organic and bio-fertilizers on some quantitative and qualitative characters of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 32(6): 1060-1072. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109324
- Darzi, M.T. and Haj Seyed Hadi, M., 2017b. The effects of manure, vermicompost, nitroxin and bio-superphosphat application on the quantity and quality of essential oil of dragonhead. Journal of Crops Improvement, 19(3): 543-560. https://doi.org/10.22059/jci.2017.60459
- Darzi, M., Hadj Seyed Hadi and M., Rejali, F., 2013. Effects of vermicompost and phosphatic biofertilizer application on quantity and quality of essential oil in anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 29(3): 583-594. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6655
- Dastmalchi, K., Dorman, H.D., Laakso, I. and Hiltunen, R., 2007. Chemical composition and antioxidative activity of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) extracts. LWT-Food Science and Technology, 40(9): 1655-1663. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.013
- Egamberdieva D., Shrivastava S. and Varma A., 2015. Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants. Springer; Berlin/Heidelberg, Germany.
- Franz, Ch., 1983. Nutrient and water management for medicinal and aromatic plants. Acta Horticulture, 132(2), 203-215. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1983.132.22
- Herman, M.A.B., Nault, B.A. and Smart, C.D., 2008. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on bell pepper production and green peach aphid infestations in New York. Crop Protection, 27(6): 996-1002. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.12.004
- Kazeminasab, A., Yarnia, M., Lebaschi, M., Mirshekar, B., & Rajali, F. 2016. Effects of vermicompost and biofertilizers on essential oil composition of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under drought stress. *Iranian* Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 32(4), 678-687. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.107139.
- Khalesro, S., Ghalavand, A., Sefidkon, F. and Asgharzadeh, A., 2012. The effect of biological and organic inputs on quantity and quality of essential oil and some elements content of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 27(4): 551-560. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.4504
- Kheiry, A., Babakhani, R., Sanikhani, M. and Razavi, F., 2018. Effects of Nitroxine and Thiobacillus biofertilizers on morphological and phytochemical properties of *Mentha piperita* L., Journal of Plant Ecophysiology, 10(33): 34-42. https://doi.org/20.1001.1.20085958.1397.10.33.4.1
- Khorshidi, Y. R., Ardakani, M. R., Ramezanpour, M.

2009. Sowing dates affecting on the essential oil content of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) and its constituents. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 12(5), 580-585. https://doi.org/10.1080/0972060X.2009.10643761
- Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, G. and Pirzad, A., 2011. Effect of biofertilizers application on some morphological Characteristics and yield of Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Journal Of Horticultural Science, 25(3): 335-343. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.11378
- Rezaei Chiyaneh, I., Pirzad, A. and Farjami, A., 2015. Effect of nitrogen, phosphorus and sulfur supplier bacteria on seed yield and essential oil of Cumin (*Cuminum cyminum* L.), Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 24(4): 71-83. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_3289.html?lang=en
- Choobforoush Khoei, B., Roshdi, M., Jalili, F. and Ghaffari, M. 2014. The effect of biofertilizers on the yield and yield components of sunflower nuts in the Khoy region. Applied Field Crops Research, 27(103): 132-139. https://doi.org/10.22092/aj.2014.101214
- Saeedi, K., Sayedi, F. and Kiani, M., 2015. Evaluation of essential oil content and composition of some improved cultivars of chamomile, Moldavian dragonhead and fennel in Shahrekord climate conditions. Journal of Crops Improvement, 17(4): 1101-1109. https://doi.org/10.22059/jci.2015.55154
- Salehi, A., Ghalavand, A., Sefidkon, F. and Asgharzade, A., 2011. The effect of zeolite, PGPR and vermicompost application on N, P, K concentration, essential oil content and yield in organic cultivation of German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 27(2): 188-201. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6394
- Talaei, G. and Amini Dehaghi, M., 2015. Effects of bio and chemical fertilizers on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 30(6): 932-942. DOI: 10.22092/ijmapr.2015.11928.
- Wang, C., Chien, S. and Young, C., 2010. Present situation and future perspectives of biofertilizer for environmentally friendly agriculture. Extension Bulletin-Food and Fertilizer Technology Center, (634): 7. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:132807001
- Wójtowicz, A., Oniszczuk, A., Oniszczuk, T., Kocira, S., Wojtunik, K., Mitrus, M., Kocira, A., Widelski, J.

R., Khavazi, K., and Zargari, K., 2011. Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) to Pseudomonas flouresence and Azospirillum lipoferum under different nitrogen levels. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 10: 387-95. https://doi.org/aejaes/jaes10(3)/15.pdf
- Kumar, S., Sindhu, S. S., and Kumar, R., 2022. Biofertilizers: An eco-friendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. Current Research in Microbial Sciences, 3: 100094. https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100094
- Liu, C., Xie, J., Liu, H., Zhong, C., Pan, G., Zhang, S. and Jin, J., 2024. Microbial Fertilizer: A Sustainable Strategy for Medicinal Plants Production. Phyton-International Journal of Experimental Botany, 93(6), 1221-1236. https://doi.org/10.32604/phyton.2024.050759
- Lucy, M., Reed, E., and Glick, B. R., 2004. Applications of free-living plant growth-promoting rhizobacteria. Antonie van leeuwenhoek, 86: 1-25. https://doi.org/10.1023/B:ANTO.0000024903.10757.6e
- Mafakheri, S., Omidbaigi, R., Sefidkon, F. and Rejali, F., 2013. Effect of biofertilizers, vermicompost, *Azotobacter*, and biophosphate on the growth, nutrient uptake, and essential oil content of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Acta Horticulturae*, 1013: 395-402. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1013.49
- Pirahmadi, L., Nasiri, Y., Morshedloo, M. R. and Rasouli, F., 2025. The Effects of Amino Acid and Organic Fertilizers on Some Growth Characteristics and Yield of Dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Agrotechniques in Industrial Crops*, 5(3): 1-9. https://doi.org/10.22126/atic.2025.11326.1174
- Moradi, R., nasiri mahalati, M., Rezvani Moghaddam, P., Lakziyan, A. and Nezhadali, A., 2011 .The effect of application of organic and biological fertilizers on quantity and quality of essential oil of *Foeniculum vulgare* Mill. (Fennel). Journal Of Horticultural Science, 25(1): 25-33. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i1.9735
- Naderi, Gh. and Madani, H., 2014. The assessment effects of NPK fertilizer on vegetative growth and essential oil of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Journal of New Findings in Agriculture, 8(4): 353-361. https://sanad.iau.ir/fa/Journal/nfa/Article/1086572
- Omidbaigi, R., Borna, F., Borna, T., and Inotai, K.,

and Skalicka-Woźniak, K., 2017. Application of Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) leaves addition as a functional component of nutritionally valuable corn snacks. Journal of Food Science and Technology, 54, 3218-3229. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2765-7

- Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C. and Wong, M.H., 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma, 125(1-2), 155-166. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003
- Youssef, A.A., Edris, A.E. and Gomaa, A.M., 2004. A comparative study between some plant growth regulators and certain growth hormones producing microorganisms on growth and essential oil composition of *Salvia officinalis* L. plants. Plant Annals of Agricultural Science, 49: 299-311. https://scispace.com/papers/a-comparative-study-between-some-plant-growth-regulators-and-4ry0hdwrqd
- Youssef, M.M.A. and Eissa, M.F.M., 2014. Biofertilizers and their role in management of plant parasitic nematodes. A review. Journal of Biotechnology and Pharmaceutical Research, 5(1), 1-6. https://www.e3journals.org/cms/articles/1390491799_Youssef%20%20and%20%20Eissa.pdf