University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

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

Effects of Application of Vermicompost, Nitroxin, Biosuperphosphate, and Biosulfur on Yield and Essential Oil Composition of Herb in Sustainable Cultivation of Coriander (*Coriandrum sativum* L.)

Hamed Ghasemi Tabasi[1]| Mohammad Taghi Darzi [2]✉ |Mohammadreza Haj Seyed Hadi[3]

1. Department of Agronomy, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
2. Corresponding Author, Department of Agronomy, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran. Email: mt.darzi@iau.ac.ir
3. Department of Agronomy, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran. Email: mr.hajseyedhadi@iau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: December 1, 2023
Received in revised form: January 22, 2024
Accepted: February 11, 2024
Published online: September 22, 2024

Keywords:
Biofertilizer, caryophyllene oxide, E-Caryophyllene, essential oil yield, organic fertilizer.

ABSTRACT

In order to study the effects of organic and bio-fertilizer application on yield and essential oil composition of the herb in sustainable cultivation of coriander (*Coriandrum sativum* L.), an experiment was conducted based on a randomized complete block design with twelve treatments and three replications in Tehran, Iran in 2019. The treatments were 1- vermicompost (10 t ha^{-1}), 2- nitroxin, 3- bio-superphosphate, 4- biosulfur, 5- vermicompost + nitroxin, 6- vermicompost + bio-superphosphate, 7- vermicompost + biosulfur, 8- nitroxin + bio-superphosphate, 9- nitroxin + biosulfur, 10- bio-superphosphate + biosulfur, 11- chemical fertilizer and 12- control (without fertilizer). The results showed that treatments had significant effects on studied traits, as the highest herb yield (3833.3 kg ha^{-1}) in integrated treatment of 10 t ha^{-1} vermicompost and nitroxin and the highest essential oil content (0.254%) and essential oil yield (7.70 kg ha^{-1}) in integrated treatment of nitroxin and bio-superphosphate were obtained. In an investigation of essential oil components, the highest caryophyllene oxide content (40.13%) in control, the highest trimethyl-2-pentadecanone content (37.89%) in combined treatment of vermicompost and bio-superphosphate, the highest n-decanal content (11.84%) and E-caryophyllene content (8.18%) in the integrated treatment of nitroxin and bio-superphosphate, the highest hexadecanoic acid content (7.95%) in treatment of bio-superphosphate and the highest dodecanal content (11.27%) in treatment of chemical fertilizer were obtained. In general, the results of this study showed that the application of some bio and organic fertilizers, specially integrated using nitroxin and bio-superphosphate in comparison to chemical fertilizer had a considerable role in increasing of yield and quantity and quality of essential oil of coriander herb.

Cite this article: Ghasemi Tabasi, H., Darzi, M.T., & Haj Seyed Hadi, M.R. (2024). Effects of application of vermicompost, nitroxin, biosuperphosphate, and biosulfur on yield and essential oil composition of herb in sustainable cultivation of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(3), 99-113. DOI: 10.22059/ijfcs.2024.368551.655046.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2024.368551.655046

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

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

تأثیر مصرف ورمی‌کمپوست، نیتروکسین، بیوسوپرفسفات و بیوسولفور بر عملکرد و ترکیب اسانس اندام رویشی در کشت پایدار گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)

حامد قاسمی طبسی[۱] | محمدتقی درزی[۲]✉ | محمدرضا حاج‌سیدهادی[۳]

۱. گروه زراعت، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران. رایانامه: mt.darzi@iau.ac.ir

۳. گروه زراعت، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران. رایانامه: mr.hajseyedhadi@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
ایی‌کاریوفیلن،
عملکرد اسانس،
کاریوفیلن‌اکساید،
کود آلی،
کود زیستی.

چکیده

به منظور بررسی اثر مصرف کودهای آلی و زیستی بر عملکرد و ترکیب اسانس اندام رویشی در کشت پایدار گیاه دارویی گشنیز، آزمایشی به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دوازده تیمار و سه تکرار در شهرستان تهران در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارها شامل ۱- ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، ۲- نیتروکسین، ۳- بیوسوپرفسفات، ۴- بیوسولفور، ۵- ورمی‌کمپوست + نیتروکسین، ۶- ورمی‌کمپوست + بیوسوپرفسفات، ۷- ورمی‌کمپوست + بیوسولفور، ۸- نیتروکسین + بیوسوپرفسفات، ۹- نیتروکسین + بیوسولفور، ۱۰- بیوسوپرفسفات + بیوسولفور، ۱۱- کود شیمیایی و ۱۲- شاهد (عدم مصرف کود) بودند. نتایج نشان داد که تیمارها تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه داشتند؛ به‌طوری‌که بیشترین عملکرد اندام رویشی (۳۸۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار تلفیقی ۱۰ تن ورمی‌کمپوست و نیتروکسین و بیشترین میزان اسانس (۰/۲۵۴ درصد) و عملکرد اسانس (۷/۷۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات حاصل شد. در بررسی اجزای اسانس، بیشترین میزان کاریوفیلن‌اکساید (۴۰/۱۳ درصد) در شاهد، بیشترین میزان تری‌متیل‌پنتادکانون (۳۷/۸۹ درصد) در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست و بیوسوپرفسفات، بیشترین میزان ان‌دکانال (۱۱/۸۴ درصد) و ایی‌کاریوفیلن (۸/۱۸ درصد) در تیمار تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات، بیشترین میزان هگزادکانوئیک‌اسید (۷/۹۵ درصد) در تیمار بیوسوپرفسفات و بیشترین میزان دودکانال (۱۱/۲۷ درصد) در تیمار کود شیمیایی به‌دست آمد. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد برخی کودهای آلی و زیستی، به ویژه مصرف تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات در مقایسه با کود شیمیایی، نقش بارزی در افزایش عملکرد و کمیت و کیفیت اسانس اندام رویشی گشنیز داشتند.

استناد: قاسمی طبسی، ح.، درزی، م.ت.، و حاج سیدهادی، م.ر. (۱۴۰۳). تأثیر مصرف ورمی‌کمپوست، نیتروکسین، بیوسوپرفسفات و بیوسولفور بر عملکرد و ترکیب اسانس اندام رویشی در کشت پایدار گشنیز (*Coriandrum sativum* L.). *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۵(۳)، ۹۹-۱۱۳. DOI: 10.22059/ijfcs.2024.368551.655046

CC BY NC

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان

۱. مقدمه

مصرف بلندمدت و بیش از حد کودهای شیمیایی رایج، علاوه بر ایجاد پیامدهای منفی زیست‌محیطی، موجب کاهش حلالیت عناصر ریزمغذی، تخریب ساختمان خاک و کاهش مواد آلی و فعالیت زیستی خاک و به دنبال آن باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی و افزایش هزینه‌های تولیدی شده است. ازاین‌رو در سال‌های اخیر توجه زیادی به استفاده از منابع کودی طبیعی و سالم شامل کودهای آلی و زیستی برای بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی و دارویی در نظام کشاورزی پایدار و ارگانیک، معطوف شده است (Kamayestani *et al*., 2015; Mohammadpour Vashvaei *et al*., 2019; Nasiri, 2022). گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) نیز گیاهی است علفی و یکساله که متعلق به خانواده چتریان (Apiaceae) بوده و به‌طور وسیعی در بسیاری از نقاط جهان کشت می‌شود. پیکره رویشی و دانه گشنیز حاوی ماده مؤثره اسانس بوده که مقدار آن تا یک درصد می‌رسد و ترکیبات اسانس در پیکره (برگ) و دانه، کاملا از هم متفاوت هستند (Bhuiyan *et al*., 2009; Matasyoh *et al*., 2009). ترکیبات اسانس دانه به‌طور غالب الکل‌های معطر بوده و شامل لینالول (ترکیب عمده)، ژرانیول، آلفا پینن و لیمونن می‌باشد (Deiderichen, 1996; Carrubba *et al*., 2002; Salehi Surmaghi, 2006). اجزای اسانس در پیکره رویشی گشنیز، عمدتا اسیدهای آروماتیک بوده و شامل دکانوئیک‌اسید، دودکانال، ان‌دکانال، کاریوفیلن‌اکساید و ایی‌کاریوفیلن می‌باشد (Bhuiyan *et al*., 2009; Matasyoh *et al*., 2009). اسانس این گیاه در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی کاربردهای فراوانی دارد و به همین علت از ارزش اقتصادی بالایی در تجارت جهانی برخوردار است (Gil *et al*., 2002; Msaada *et al*., 2009; Aghhavani Shajari *et al*., 2016; Mafakheri & Aminian Dehkordi, 2019).

از بین کودهای آلی و زیستی می‌توان به ورمی‌کمپوست و باکتری‌های *ازتوباکتر*، *آزوسپیریلوم*، *باسیلوس* و *تیوباسیلوس* اشاره کرد که با هدف حذف یا کاهش قابل ملاحظه در مصرف نهاده‌های شیمیایی به منظور افزایش عملکرد و کمیت و کیفیت اسانس گیاهان دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در یک پژوهش زراعی روی گیاه نعناع گربه‌ای آشکار شد که بیشترین عملکرد خشک اندام هوایی، عملکرد اسانس و کیفیت اسانس در تیمار مصرف توأم کودهای زیستی تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات (ازتوباکتر۱ و فسفات بارور۲) به‌دست آمد و با تیمار کود شیمیایی (۱۵۰ کیلوگرم اوره و ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل) هم تفاوت آماری نداشت (Boveiri Dehsheikh *et al*., 2017). در تحقیقی روی گیاه مرزه تابستانه نیز مشخص شد که مصرف تلفیقی نیتروکسین، بیوفسفر و بیوسولفور باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ماده خشک در مقایسه با شاهد شد و با تیمارهای مصرف ورمی-کمپوست (هفت تن در هکتار) و کود شیمیایی NPK (۶۰، ۶۰ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت؛ ولی از نظر میزان اسانس، برتری محسوس و معنی‌داری نسبت به کود شیمیایی داشت (Gholami Sharafkhane *et al*., 2015). همچنین در پژوهشی دیگر آشکار شد که مصرف کودهای زیستی نیتروکسین، بیوسولفور و فسفات بارور، موجب افزایش معنی‌دار میزان اسانس و درصد کامازولن بابونه در مقایسه با تیمارهای کود دامی و شاهد شد (Tohidi Nejad & Rastegari, 2019). آنها اذعان داشتند کاربرد کودهای زیستی با تولید مقادیر قابل توجهی از هورمون‌های محرک رشد، از طریق بهبود جذب آب و مواد غذایی، موجب افزایش رشد و کمیت و کیفیت اسانس شدند. یافته‌های یک پژوهش روی گشنیز هم نشان داد که مصرف تلفیقی کودهای آلی و زیستی (ورمی‌کمپوست و میکوریزا)، باعث افزایش عملکرد خشک پیکره رویشی در مقایسه با شاهد شد (Aghhavani Shajari *et al*., 2014).

نتایج یک پژوهش روی بادرنجبویه، نشان داد که کاربرد ترکیبی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات (ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس) موجب بهبود کیفیت اسانس یعنی افزایش درصد سیترونلال و بتاکاریوفیلن در اسانس نسبت به شاهد شد (Kazeminasab *et al*., 2016). آنها اظهار داشتند که حضور این باکتری‌ها در محیط ریشه گیاه از طریق ترشح مواد فعال بیولوژیکی مانند ویتامین‌های گروه B و تولید هورمون‌های محرک رشد، باعث افزایش رشد و بهبود کیفیت اسانس می‌شود. یافته‌های یک پژوهش روی گیاه مرزه نیز آشکار کرد مصرف تلفیقی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (آزوسپیریلوم) و حل‌کننده فسفات (سودوموناس) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس در مقایسه با مصرف جداگانه آنها و شاهد شد (Bashirifar *et al*., 2016). نتایج تحقیقات روی گیاهان دارویی زیره سبز و رازیانه نیز بیانگر آن بود که به‌ترتیب مصرف تلفیقی کودهای زیستی نیتروکسین و

بیوفسفر و مصرف ترکیبی کود زیستی باکتریایی (ازتوباکتر و سودوموناس) و قارچ میکوریزا سبب افزایش بارز عملکرد اسانس شد (Karimzadeh Asl & Baghbani Arani, 2019; Zamani *et al*., 2019).

هدف از انجام این پژوهش، مطالعه تأثیر جداگانه و تلفیقی ورمی‌کمپوست، نیتروکسین، بیوسوپرفسفات و بیوسولفور بر عملکرد و ترکیب اسانس پیکره رویشی گیاه دارویی گشنیز جهت کاهش کاربرد کود شیمیایی و تعیین تیمار مناسب کودهای آلی و زیستی از نظر دست‌یابی به بیشترین عملکرد و کمیت و کیفیت اسانس می‌باشد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در بهار سال ۱۳۹۸ در مرکز تحقیقات، آموزش و مشاوره فضای سبز شهرداری منطقه چهار تهران واقع در شرق تهران، ناحیه حکیمیه به اجرا در آمد. این منطقه در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و در ارتفاع ۱۱۹۱ متر از سطح دریا واقع شده است و میانگین دمای سالیانه ۱۷/۳ درجه سانتیگراد و متوسط بارندگی سالانه آن ۲۳۲/۸ میلی‌متر می‌باشد. ابتدا از خاک مزرعه، یک نمونه ترکیبی تصادفی (از عمق ۳۰-۰ سانتی متری)، جهت ارائه به آزمایشگاه خاکشناسی تهیه و مشخص شد که بافت خاک لوم رسی شنی و pH آن، ۸/۲۴ می باشد (جدول ۱).

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش و ورمی‌کمپوست.

	Texture	pH	EC (dSm^{-1})	O.M (%)	N (%)	P ($mgkg^{-1}$)	K ($mgkg^{-1}$)
Soil	Sandy-Clay Loam	8.24	1.10	1.4	0.14	22.1	304
Vermicompost	-	7.22	3.46	18.97	0.93	4800	2700

پژوهش بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دوازده تیمار و سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل ۱- ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، ۲- نیتروکسین، ۳- بیوسوپرفسفات، ۴- بیوسولفور، ۵- ورمی‌کمپوست + نیتروکسین، ۶-ورمی‌کمپوست + بیوسوپرفسفات، ۷- ورمی‌کمپوست + بیوسولفور، ۸- نیتروکسین + بیوسوپرفسفات، ۹- نیتروکسین + بیوسولفور، ۱۰- بیوسوپرفسفات + بیوسولفور، ۱۱- کود شیمیایی (۸۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار، به‌ترتیب نیتروژن و فسفر) و ۱۲- شاهد (بدون مصرف کود) بودند. کودهای زیستی مورد استفاده همراه با توصیه مقدار مصرف، از شرکت زیست فناوری مهرآسیا تهیه شد؛ به‌طوری‌که نیتروکسین (دو لیتر در هکتار)، محلولی حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به نام‌های *ازتوباکتر* (*Azotobacter chroococcum*) و *آزوسپیریلوم* (*Azospirillum lipoferum*) بودند که در هر میلی‌لیتر از آنها در حدود 10^8 باکتری فعال وجود داشت. محلول بیوسوپرفسفات (دو لیتر در هکتار) هم حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات (*Bacillus* sp.) بودند که در هر میلی لیتر از آنها در حدود 10^8 باکتری فعال وجود داشت. کود زیستی بیوسولفور (پنج کیلوگرم در هکتار) که حاوی باکتری *Thiobacillus* sp. بود (در هر گرم از آنها در حدود 10^9 باکتری فعال وجود داشت) همراه با گوگرد آلی بنتونیت‌دار (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) مصرف شد. همچنین برای تعیین مقدار ورمی‌کمپوست مصرفی، عنصر نیتروژن به عنوان معیار انتخاب شد. لذا با توجه به مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاه گشنیز و مقدار نیتروژن موجود در خاک و منبع ورمی‌کمپوست و با احتساب آزادسازی ۵۰ درصد نیتروژن کل در سال اول از کود آلی (Pimentel, 1993)، میزان مصرف ورمی‌کمپوست، ده تن در هکتار در نظر گرفته شد. برای تیمار کود شیمیایی، با توجه به آزمون خاک و نیاز گیاه، از کودهای اوره و سوپر فسفات تریپل استفاده شد. بذور گشنیز مورد استفاده در این تحقیق نیز، که یک اکوتیپ بوده از شرکت کشاورزی گیاه گستر اصفهان فراهم شد.

به منظور اجرای آزمایش، اندازه هر کرت به ابعاد ۲/۱ × ۳ متر حاوی شش ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۳۵ سانتی‌متر و روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر لحاظ شد. فاصله بین کرت‌ها ۷۰ سانتی‌متر و بین تکرارها دو متر درنظر گرفته شدند. کاشت گشنیز و اعمال تیمارهای آزمایشی در بهار انجام گرفت. ده روز قبل از کاشت، جهت اعمال تیمارهای ورمی‌کمپوست (جدول ۱)، ابتدا در

کرت‌های مورد نظر، مقدار ورمی‌کمپوست برآورد شده، ریخته شد و با شن‌کش به خوبی با خاک مخلوط شد سپس جوی و پشته، ایجاد شد. کاشت گشنیز در ۲۰ اردیبهشت انجام شد. به همین منظور در کرت‌های حاوی تیمار محلول‌های نیتروکسین و بیوسوپرفسفات، بذور مورد نیاز به مدت ۱۰ دقیقه با آنها تلقیح شدند. سپس در سایه و در معرض هوا خشک و در عمق دو سانتی‌متری خاک کشت شدند. در ضمن کرت‌های مذکور در مرحله ساقه‌دهی گشنیز هم توسط نیتروکسین و بیوسوپرفسفات محلول‌پاشی شدند. همچنین در کرت‌های حاوی کود زیستی بیوسولفور، به مقدار لازم پودر بیوسولفور به همراه گوگرد آلی بنتونیت‌دار، در زیر بذرها در هنگام کشت قرار داده شد. در کرت حاوی تیمار کود شیمیایی نیز تمام فسفر و نیمی از نیتروژن مورد نیاز در هنگام کاشت و نیم دیگر در مرحله ساقه‌دهی مصرف شدند. عملیات آبیاری که به صورت جوی و پشته‌ای بود، در ابتدا هر دو روز یکبار و پس از مستقرشدن بوته‌ها با توجه به شرایط اقلیمی منطقه در حدود هر پنج روز یکبار انجام شد. عملیات مبارزه با علف‌های هرز مزرعه در شش نوبت به روش مکانیکی و با دست صورت گرفت. آفت و بیماری خاصی نیز در طول دوره رشد مشاهده نشد.

در این تحقیق صفات عملکرد خشک پیکره رویشی، میزان اسانس پیکره رویشی، عملکرد اسانس و ترکیبات آن شامل درصد کاریوفیلن‌اکساید، ایی‌کاریوفیلن، ان‌دکانال، هگزادکانوئیک اسید، دودکانال و تری متیل پنتادکانون در اسانس مورد بررسی قرار گرفتند. برای تعیین عملکرد خشک اندام رویشی، از خطوط میانی هر کرت معادل یک متر مربع، بوته در مرحله پنج درصد گلدهی به روش دستی برداشت شد. سپس اندام‌های برداشت‌شده در هوای آزاد و در سایه خشک و توزین شدند و در پایان عملکرد خشک پیکره رویشی در واحد سطح محاسبه شد. به منظور تعیین میزان اسانس پیکره رویشی، از هر کرت آزمایشی یک نمونه ۵۰ گرمی پیکره رویشی خشک‌شده، تهیه کرده به مدت سه ساعت با استفاده از روش تقطیر با آب به وسیله دستگاه کلونجر (Clevenger)، اسانس گیری شد (Sefidkon, 2001; Kapoor *et al*., 2004). درصد اسانس نیز پس از رطوبت‌زدایی آب آن توسط سولفات‌سدیم خشک محاسبه شد. عملکرد اسانس نیز به کمک حاصل ضرب عملکرد خشک پیکره رویشی و درصد اسانس به‌دست آمد. جهت شناسایی اجزای تشکیل‌دهنده اسانس و تعیین درصد ترکیبات عمده موجود درآن (شامل کاریوفیلن‌اکساید، ایی‌کاریوفیلن، ان‌دکانال، هگزادکانوئیک‌اسید، دودکانال و تری‌متیل‌پنتادکانون) به‌ترتیب از دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی با طیف‌سنج جرمی (GC/Mass) و کروماتوگرافی گازی (GC) مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور استفاده شد. ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس با استفاده از زمان بازداری ترکیب‌ها، اندیس بازداری طیف جرمی و مقایسه این پارامترها با ترکیب‌های استاندارد یا اطلاعات موجود در کتابخانه شناسایی شدند (Adams, 2001).

جهت تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ استفاده و مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

۳. نتایج پژوهش و بحث

۳-۱. عملکرد اندام رویشی

اثر تیمارهای مختلف منفرد و تلفیقی بر عملکرد اندام رویشی در هکتار معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نیز، اختلاف قابل ملاحظه‌ای را بین آن‌ها نشان داد؛ به‌نحوی‌که بیشترین عملکرد اندام رویشی در تیمار مصرف تلفیقی ۱۰ تن ورمی‌کمپوست و نیتروکسین (۳۸۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که در مقایسه با سایر تیمارهای مورد بررسی از جمله کود شیمیایی (۲۴۹۱/۷ کیلوگرم در هکتار)، برتری معنی‌داری داشت (جدول ۳). همچنین عملکرد پیکره رویشی در تیمار تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات (۳۰۲۵ کیلوگرم در هکتار) در جایگاه دوم قرار داشت و نسبت به بقیه تیمارها از جمله کود شیمیایی برتری محسوسی داشت و با تیمار ورمی‌کمپوست (۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار)، تفاوت معنی‌داری نداشت. به نظر می رسد که این افزایش عملکرد پیکره رویشی در دو تیمار تلفیقی (تیمار ورمی‌کمپوست و نیتروکسین و تیمار نیتروکسین و بیوسوپرفسفات) نسبت به سایر تیمارها، به تأثیر مثبت و افزایشی کاربرد تلفیقی کودهای آلی و زیستی نامبرده بر بهبود جذب عناصر غذایی از خاک و متعاقب آن افزایش خصوصیات عملکردی نظیر تعداد چتر و وزن خشک بوته مربوط باشد. همچنین مصرف این کودهای آلی و زیستی در خاک، علاوه بر افزایش ظرفیت نگهداری آب و بالا بردن ظرفیت تبادلی خاک، عناصر معدنی مورد نیاز گیاه را بر خلاف کود شیمیایی، به تدریج در اختیار

گیاه قرار می‌دهد و شرایط تغذیه‌ای مطلوب را برای رشد گیاه فراهم می‌کند. در مطالعه حاضر، تیمارهای جداگانه کودهای زیستی مورد مطالعه، برتری معنی‌داری از نظر عملکرد رویشی با تیمار شاهد (بدون مصرف کود) نداشتند و زمانی که به صورت ترکیب با یکدیگر مصرف شدند، برتری قابل ملاحظه و معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند که بیانگر اثر مثبت و افزایشی آنها بر خواص خاک و در نهایت بر عملکرد پیکره رویشی می‌باشد. در همین رابطه و در همسویی با پژوهش حاضر، در آزمایشی روی گیاه زوفا مشاهده شد که مصرف تلفیقی ۱۲ تن ورمی‌کمپوست و کود زیستی (تلقیح بذر با ازتوباکتر و آزوسپیریلوم)، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اندام رویشی در مقایسه با شاهد شد (Darzi *et al*., 2022). در مطالعه‌ای زراعی روی گشنیز آشکار شد که مصرف تلفیقی کودهای آلی و زیستی نظیر ورمی‌کمپوست و میکوریزا، باعث افزایش عملکرد خشک پیکره رویشی در مقایسه با شاهد شد (Aghhavani Shajari *et al*., 2014). در پژوهشی روی گیاه نعناع گربه‌ای نشان داده شد که بیشترین عملکرد خشک اندام هوایی در تیمار مصرف توأم کودهای زیستی تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات به‌دست آمد و با تیمار کود شیمیایی هم تفاوت آماری نداشت (Boveiri Dehsheikh *et al*., 2017). آنها اظهار داشتند به احتمال زیاد باکتری‌های موجود در کودهای زیستی از طریق تولید هورمون‌های رشد و نیز کمک به افزایش جذب عناصری مانند نیتروژن و فسفر، موجب افزایش فتوسنتز و به دنبال آن افزایش تولید ماده خشک و عملکرد خشک اندام هوایی شده است. یافته‌های یک تحقیق روی بابونه نیز نشان داد که مصرف ترکیبی کودهای زیستی (ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد خشک گل در مقایسه با تیمار شاهد شد (Salehi *et al*., 2016). در یک پژوهش زراعی روی گیاه مرزه تابستانه آشکار شد که مصرف تلفیقی نیتروکسین، بیوفسفر و بیوسولفور باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ماده خشک در مقایسه با شاهد شده و با تیمارهای مصرف ورمی‌کمپوست و کود شیمیایی اختلاف معنی‌داری نداشت (Gholami Sharafkhane *et al*., 2015). آنها بیان داشتند که مصرف توأم کودهای زیستی از طریق بهبود وضعیت خاک و تأمین عناصر غذایی گیاه، موجب افزایش رشد و عملکرد ماده خشک شد. در تحقیق دیگری که درباره اثر کودهای آلی و زیستی روی بادرشبی بود، نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد خشک سرشاخه گلدار در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست و کود دامی و بعد از آن در تیمار تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات به‌دست آمد که با تیمار کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری نداشت (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2016).

در دو پژوهش دیگر مشاهده شد که کاربرد ۱۰ تن ورمی‌کمپوست موجب افزایش معنی‌دار عملکرد خشک اندام هوایی گیاه آویشن باغی و عملکرد خشک گل گیاه گل محمدی نسبت به شاهد و سایر تیمارهای کود آلی و زیستی شد (Bahadori & Ghorbanian, 2018; Rezvani *et al*., 2022). آنها اظهار داشتند افزودن ورمی‌کمپوست به خاک از طریق تأمین تدریجی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و نیز با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، محیط مناسب برای رشد ریشه ایجاد شده و در پی آن افزایش رشد اندام هوایی و بهبود عملکرد در آویشن باغی و گل محمدی مشاهده شد. در یک پژوهش مزرعه‌ای روی شوید نیز مشخص شد که کاربرد ترکیبی کود آلی (شش تن کود دامی) و زیستی (ازتوباکتر۱) باعث افزایش عملکرد پیکره رویشی در مقایسه با شاهد شد (Babakhani *et al*., 2023). همچنین در تحقیقی روی شمعدانی معطر آشکار شد مصرف ۲۰ تن ورمی‌کمپوست موجب بهبود بیشتر عملکرد سرشاخه در مقایسه با مصرف خالص کود شیمیایی (۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) شد (Rostampour *et al*., 2017). آنها این افزایش عملکرد را به همخوانی بیشتر نیتروژن قابل دسترس خاک با نیازهای گیاه در نظام تلفیقی و پایدار نسبت دادند.

۳-۲. درصد اسانس

تأثیر تیمارهای مختلف کودهای آلی، زیستی و شیمیایی بر درصد اسانس پیکره رویشی گشنیز معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها هم اختلاف قابل توجهی را بین آن‌ها نشان داد؛ به‌نحوی‌که میزان اسانس در تیمار کاربرد تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات (۰/۲۵۴ درصد) اختلاف معنی‌دار و مشهودی با تمام تیمارهای مورد ارزیابی از جمله کود شیمیایی (۰/۰۷۵ درصد) داشت و بعد از آن، بیشترین میزان اسانس در تیمار مصرف ورمی‌کمپوست (۰/۱۶۱ درصد) و شاهد (۰/۱۶۲ درصد) به‌دست آمد (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر کاربرد کودهای آلی و زیستی بر صفات مورد مطالعه در گشنیز.

S. O. V	d.f	Mean Squares								
		Herb yield	Essential oil percent	Essential oil yield	Caryophyllene oxide percent	E-Caryophyllene percent	Trimethyl-2-pentadecanone percent	n-Decanal percent	Hexadecanoic acid percent	Dodecanal percent
Replication	2	99536.1 ^{ns}	0.00009 ^{ns}	0.726 ^{ns}	0.333 ^{ns}	0.067 ^{ns}	0.750 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.396 ^{ns}	0.067 ^{ns}
Treatment	11	1030587 **	0.01074 **	10.21 **	248.9 **	6.89 **	144.4 **	45.33 **	12.92 **	15.90 **
Experimental error	22	53137.6	0.00014	0.254	11.78	0.565	12.02	1.209	0.475	1.54
C.V. (%)		9.34	11.18	18.74	13.88	12.24	18.00	19.33	14.14	16.65

^{ns} ، * و ** : به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر کودهای آلی و زیستی بر صفات مورد مطالعه.

Treatment	Herb yield (kg ha^{-1})	Essential oil percent (%)	Essential oil yield (kg ha^{-1})	Caryophyllene oxide percent (%)	E-Caryophyllene percent (%)	Trimethyl-2-pentadecanone percent (%)	n-Decanal percent (%)	Hexadecanoic acid percent (%)	Dodecanal percent (%)
Vermicompost (10 t ha^{-1})	b 3000.0	b 0.161	b 4.81	b 30.23	bcd 6.50	c 18.16	c 4.65	bc 4.50	b 6.65
Nitroxin (2 lit ha^{-1})	ef 1941.7	c 0.117	cde 2.26	c 14.20	cde 5.50	c 15.35	a 11.55	a 7.23	a 9.80
Biosuperphosphate (2 lit ha^{-1})	def 2091.7	de 0.076	ef 1.56	c 16.88	ab 7.20	c 16.79	b 7.30	a 7.95	bc 5.13
Biosulfur (5 kg ha^{-1})	def 2091.7	de 0.080	def 1.68	b 31.57	cde 5.18	c 16.79	c 4.70	f 1.33	bc 5.91
Vermicopost + Nitroxin	a 3833.3	f 0.052	cde 1.99	b 30.59	cde 5.32	c 16.89	de 2.02	cd 4.19	b 6.31
Vermicompost + Biosuperphosphate	cde 2275.0	c 0.116	cd 2.64	b 29.70	f 3.10	a 37.89	cde 2.68	e 2.74	a 8.96
Vermicompost + Biosulfur	de 2216.7	f 0.038	f 0.83	b 29.65	ab 7.80	b 24.29	c 4.65	de 3.06	b 6.56
Nitroxin + Biosuperphosphate	b 3025.0	a 0.254	a 7.70	c 13.63	a 8.18	c 15.42	a 11.84	a 7.07	a 9.52
Nitroxin + Biosulfur	bc 2666.7	e 0.074	cde 1.97	c 13.85	de 5.20	c 15.50	a 11.35	a 6.85	a 9.65
Biosuperphosphate + Biosulfur	de 2241.7	cd 0.097	cde 2.18	c 16.25	bc 6.70	b 25.63	cd 3.90	cde 3.56	bc 5.93
Chemical fertilizer (NP: 80, 60 kg ha^{-1})	cd 2491.7	de 0.075	cde 1.88	b 30.15	e 4.55	c 13.14	e 1.45	c 4.34	a 11.27
Control (without fertilizer)	f 1713.3	b 0.162	c 2.77	a 40.13	ab 7.86	c 15.27	de 2.14	b 5.66	c 3.71

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

همچنین کمترین میزان اسانس در تیمار مصرف تلفیقی ورمی‌کمپوست و بیوسولفور (۰/۰۳۸ درصد) مشاهده شد. در این آزمایش، تیمار مصرف تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات دارای برتری چشمگیر و بارزی از نظر میزان اسانس نسبت به سایر تیمارها و به‌ویژه تیمارهای حاوی ورمی‌کمپوست بوده که از نظر اقتصادی نیز قابل توجیه است و مبین تأثیر مثبت کودهای زیستی بر افزایش درصد اسانس گیاهان دارویی می‌باشد (Tohidi Nejad & Rastegari, 2019; Zafarani Moattar *et al*., 2021; Abdali Mashhadi *et al*., 2017). همچنین مشاهده شد اغلب تیمارهای آلی و زیستی از نظر میزان اسانس دارای برتری معنی‌دار و یا همسطح نسبت به تیمار کود شیمیایی بودند که نشان‌دهنده جایگزینی مناسب و به‌صرفه اقتصادی کودهای زیستی به‌جای کود شیمیایی می‌باشد. همچنین به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای آلی و زیستی در مقایسه با کود شیمیایی، به‌دلیل مطابقت‌داشتن با شرایط رشد طبیعی گیاه، سبب افزایش درصد و کیفیت اسانس شود (Hamisi *et al*., 2012). همسو با آزمایش حاضر، در پژوهشی روی گیاه مرزه نیز مشاهده شد که مصرف تلفیقی کودهای زیستی (نیتروکسین + بیوفسفر + بیوسولفور) سبب افزایش معنی‌دار میزان اسانس در مقایسه با تیمار کود شیمیایی NPK (۶۰، ۶۰، ۷۰ کیلوگرم در هکتار) شد (Gholami Sharafkhane *et al*., 2015).

در یک مطالعه زراعی روی گیاه بادرنجبویه نیز مشاهده شد که مصرف نیتروکسین (تلقیح خاک و گیاه) سبب افزایش معنی‌دار میزان اسانس در مقایسه با شاهد شد (Razipour *et al*., 2016). در پژوهشی روی گیاه آویشن باغی نیز مشاهده شد که مصرف نیتروکسین سبب افزایش معنی‌دار میزان اسانس در مقایسه با دو کود زیستی دیگر یعنی میکوریزا و بیوفسفر شد (Mohammadpour Vashvaei *et al*., 2015). آنها اظهار داشتند که کود زیستی از طریق کمک به جذب نیتروژن و فسفر و نقشی که این عناصر در تولید کلروفیل و تأمین آنزیم‌های مورد نیاز گیاه دارند، باعث افزایش میزان بافت‌های فتوسنتزی و نهایتا افزایش درصد اسانس شده است. در یک مطالعه زراعی نیز مشخص شد که مصرف کود زیستی میکوریزا باعث افزایش بارز و معنی‌دار میزان اسانس پیکره رویشی گشنیز در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی شد (Aghhavani Shajari *et al*., 2014). این محققان افزایش اسانس گیاه را به بهبود جذب آب و عناصر غذایی از طریق همزیستی میکوریزایی نسبت دادند. گزارش یک پژوهش حاکی از آن است که مصرف منفرد و تلفیقی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (ازتوباکتر و آزوسپیریلوم) و حل‌کننده فسفات (سودوموناس) موجب افزایش اسانس زیره سبز در مقایسه با شاهد (بدون مصرف) شد که همسو با نتیجه آزمایش حاضر می‌باشد (Saeid Nejad & Rezvani Moghaddam, 2010).

همچنین پژوهش روی گیاه مرزه تابستانی نیز آشکار کرد که مصرف کودهای زیستی نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس (حاوی باکتری‌های آزوسپیریلوم، سودوموناس و باسیلوس) در مقایسه با مصرف شاهد (عدم مصرف) سبب افزایش درصد اسانس شد (Haj Seyed Hadi & Darzi, 2022). آنها اظهار داشتند که باکتری‌های موجود در این کودهای زیستی از طریق بهبود جذب عناصر غذایی و رشد گیاه، در نهایت منجر به افزایش میزان اسانس گیاه می‌شوند. نتیجه یک تحقیق روی مرزه خوزستانی نیز مؤید این موضوع بود که مصرف کود زیستی میکوریزا سبب افزایش اسانس این گیاهان در مقایسه با تیمار کود شیمیایی (۵۰، ۲۵ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب نیتروژن، فسفر و پتاسیم) شد (Mohammadi *et al*., 2021). آنها اظهار داشتند که افزایش میزان اسانس در تیمار حاوی میکوریزا، می‌تواند به علت جذب بیشتر فسفر و تأثیر این عنصر در ساخت ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس باشد. در رابطه با اثر مثبت ورمی‌کمپوست روی افزایش اسانس نیز، تحقیقات جداگانه روی گیاهان دارویی نعناع فلفلی و شمعدانی معطر آشکار کرد که مصرف به‌ترتیب ۱۴ و ۲۰ تن ورمی‌کمپوست سبب افزایش معنی‌دار میزان اسانس در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی شد (Keshavarz *et al*., 2020; Rostampour *et al*., 2017). آنها بیان کردند کاربرد ورمی‌کمپوست از طریق بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای زیستی خاک و تأمین عناصر نیتروژن و فسفر برای گیاه، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای ریشه، باعث افزایش تولید ماده خشک و در نهایت بهبود میزان اسانس شد.

۳-۳. عملکرد اسانس

اثر تیمارهای مختلف کودی مورد آزمایش بر عملکرد اسانس پیکره رویشی معنی‌دار شد (جدول ۲)؛ به‌طوری‌که مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد اسانس در تیمار مصرف تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات (۷/۷۰ کیلوگرم درهکتار)، به‌طرز فاحش و معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها از جمله کود شیمیایی (۱/۸۸ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۳). در جایگاه دوم از نظر عملکرد

اسانس، تیمار کاربرد ورمی‌کمپوست (۴/۸۱ کیلوگرم در هکتار) قرار داشت که به‌طور معنی‌داری برتر از سایر تیمارها بود. تیمار شاهد (۲/۷۷ کیلوگرم در هکتار) هم به‌دلیل بالا بودن میزان اسانس آن و هم در نقطه مقابل، پایین‌بودن بارز مقدار اسانس سایر تیمارها، از نظر عملکرد اسانس در جایگاه بعدی قرار داشت؛ ولی با بیشتر آنها از نظر آماری در یک سطح قرار داشت. کمترین عملکرد اسانس هم در تیمار تلفیقی ورمی‌کمپوست و بیوسولفور (۰/۸۳ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که این وضعیت به کاهش بارز و فاحش میزان اسانس این تیمار نسبت به تیمار شاهد برمی‌شود که با وجود برتری محسوس عملکرد پیکره رویشی نسبت به شاهد هم نتوانسته از کاهش عملکرد اسانس جلوگیری کند. با توجه به برتری فاحش و معنی‌دار میزان اسانس در تیمار مصرف تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات نسبت به سایر تیمارها و عملکرد پیکره رویشی مناسب و قابل قبول آن، دور از انتظار نبود که عملکرد اسانس در تیمار مذکور، بیشتر از سایر تیمارها باشد و از نظر صرفه‌جویی در هزینه و صرفه اقتصادی هم قابل توجیه بود. در همین رابطه، در پژوهشی روی مرزه تابستانی مشاهده شد که مصرف تلفیقی نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجب افزایش عملکرد اسانس در مقایسه با تیمار کود شیمیایی شد؛ ولی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با آن نداشت (Rezvani Moghaddam *et al*., 2014).

یافته‌های یک مطالعه زراعی نیز نشان داد مصرف تلفیقی کودهای زیستی نیتروژنه و فسفره سبب افزایش عملکرد اسانس گیاه نعناع گربه‌ای در مقایسه با تیمار کود شیمیایی شد؛ ولی اختلاف آماری با آن نداشت (Boveiri Dehsheikh *et al*., 2021). آنها اظهار داشتند کاربرد تیمار تلفیق دو نوع کود بیولوژیک توانست با تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و نرخ تعرق گیاهان شده و این امر، در نهایت افزایش رشد اندام‌های رویشی و میزان و عملکرد اسانس را در پی داشته است. در پژوهشی دیگر مشخص شد کاربرد تلفیقی دو قارچ (پریفورموسپورا و تریکودرما) منجر به افزایش عملکرد اسانس نعناع فلفلی در مقایسه با مصرف جداگانه و تیمار شاهد شد و با تیمار کود شیمیایی (۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت (Vafayi Rostami *et al*., 2020). نتیجه یک تحقیق هم آشکار کرد که مصرف تلفیقی کود آلی (دامی) و کود زیستی میکوریزا منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس پیکره رویشی گشنیز در مقایسه با تیمار کود شیمیایی شد (Aghhavani Shajari *et al*., 2014). آنها اظهار داشتند که مصرف ترکیبی کود آلی و میکوریزا از طریق افزایش فعالیت میکروارگانیزم‌های مفید خاک و متعاقب آن افزایش میزان دسترسی به عناصر غذایی و بهبود رشد، موجب افزایش عملکرد اسانس شد. تحقیقات انجام‌شده روی گیاهان دارویی زیره سبز و رازیانه نیز حاکی از آن بود که به‌ترتیب مصرف تلفیقی کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر و مصرف ترکیبی کود زیستی باکتریایی (ازتوباکتر و سودوموناس) و قارچ میکوریزا سبب افزایش بارز عملکرد اسانس شد (Karimzadeh Asl & Baghbani Arani, 2019; Zamani *et al*., 2019). در تحقیقی روی گیاه مرزه نیز مشخص شد که مصرف تلفیقی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (آزوسپیریلوم) و حل‌کننده فسفات (سودوموناس) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس در مقایسه با مصرف جداگانه آنها و شاهد شد (Bashirifar *et al*., 2016). آنها اظهار داشتند احتمالا کاربرد ترکیبی این باکتری‌ها از طریق افزایش میزان هورمون‌های محرک رشد گیاه و سپس افزایش میزان رشد گیاه و جذب عناصر غذایی گیاه و بهبود در رشد آن سبب افزایش عملکرد اسانس می‌شود. مطالعه دیگری روی بابونه نشان داد مصرف کود آلی ورمی‌کمپوست (۱۵ تن در هکتار)، سبب افزایش محسوس و معنی‌دار عملکرد اسانس در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی (۲۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و فسفر) شد (Mirseyedi *et al*., 2020). آنها بیان داشتند اثر مثبت کاربرد کود آلی مذکور بر درصد اسانس و عملکرد گل، می‌تواند باعث افزایش عملکرد اسانس شود. تحقیقات زراعی روی گیاهان اسطوخودوس، آویشن باغی، آویشن دنایی و بادرنجبویه نیز نشان داد که به‌ترتیب مصرف تلفیقی ۱۰ تن کود دامی و کود شیمیایی، مصرف منفرد شش تن ورمی‌کمپوست، مصرف منفرد ۳۰ تن کود دامی و کاربرد ترکیبی ۲۰ تن کود دامی و نیتروکسین، سبب افزایش عملکرد اسانس شد (Naghizadeh & Moradi, 2021; Bitarafan *et al*., 2017; Askary *et al*., 2017; Razipour *et al*., 2016).

۳-۴. اجزای اسانس

بر اساس نتایج تجزیه کیفی اسانس، ۱۵ ترکیب در اسانس پیکره رویشی گشنیز در تیمارهای مختلف مورد بررسی، شناسایی شدند. ترکیبات غالب اسانس شامل کاریوفیلن‌اکساید، ایی‌کاریوفیلن، تری‌متیل‌پنتادکانون، ان‌دکانال، دودکانال و هگزادکانوئیک‌اسید

بودند که بیش از ۷۰ درصد اجزای اسانس را در گیاهـان تیمـار شـده تشکیل می‌دادند. با توجه به نتایج آزمایش، اجزای عمده اسانس، تحت تأثیر تیمارهای مختلف کود آلی، زیستی و شیمیایی قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که درصد کاریوفیلن‌اکساید در اسانس در تیمار شاهد (۴۰/۱۳ درصد) بیشتر از سایر تیمارها بود و بعد از آن تیمارهای مصرف بیوسولفور (۳۱/۵۷ درصد)، مصرف تلفیقی ورمی‌کمپوست و نیتروکسین (۳۰/۵۹ درصد) و کاربرد ورمی‌کمپوست (۳۰/۲۳ درصد) در جایگاه بعدی قرارداشتند که با تیمار کود شیمیایی (۳۰/۱۵ درصد) از این حیث، تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). کمترین میزان کاریوفیلن-اکساید در اسانس نیز در تیمار مصرف تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات (۱۳/۶۳ درصد) به‌دست آمد. همچنین نتایج حاکی از آن بود که تیمارهای مختلف حاوی کود آلی و زیستی، برتری بارز و معنی‌داری در رابطه با بیشتر ترکیبات غالب اسانس در مقایسه با تیمار کود شیمیایی داشتند؛ به‌طوری‌که بیشترین میزان تری‌متیل‌پنتادکانون در اسانس در تیمار مصرف تلفیقی ورمی‌کمپوست و بیوسوپرفسفات (۳۷/۸۹ درصد) و بیشترین میزان هگزادکانوئیک‌اسید در اسانس در تیمار کاربرد بیوسوپرفسفات (۷/۹۵ درصد) حاصل شدند که برتری آشکار و معنی‌داری نسبت به بیشتر تیمارها از جمله تیمار کود شیمیایی (به‌ترتیب ۱۳/۱۴ و ۴/۳۴ درصد) و شاهد (۱۵/۲۷ و ۵/۶۶ درصد) داشتند. همچنین بیشترین میزان دو ترکیب ایی‌کاریوفیلن و ان‌دکانال در اسانس به‌ترتیب به مقدار ۸/۱۸ و ۱۱/۸۴ درصد، در تیمار مصرف تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات حاصل شد که برتری چشمگیر و معنی‌داری نسبت به بسیاری از تیمارها و به‌ویژه تیمار کود شیمیایی (به‌ترتیب ۴/۵۵ و ۱/۴۵ درصد) داشت. به نظر می‌رسد کاربرد منابع غذایی آلی و زیستی از طریق فراهم‌کردن وضعیت مناسب برای آزادسازی و جذب مطلوب عناصر معدنی و افزایش بیوماس، منجر به افزایش بیوسنتز ترکیبات عمده اسانس در پیکره رویشی شده باشد (Kapoor *et al*., 2017). در ضمن با توجه به جدیدبودن گیاهان دارویی و حفظ ویژگی‌های طبیعی و ذاتی آنها و نیز تمایل کمتر به کودپذیری، به نظر می‌رسد کاربرد این نهاده‌های آلی و زیستی که دارای منشأ طبیعی هستند، علاوه بر سازگاری بالا با محیط زیست، موجب بهبود خصوصیات کمی و کیفی اسانس گیاهان دارویی می‌شوند (Mohammadpour Vashvaei *et al*., 2019).

یادآوری این نکته هم حائز اهمیت است که با توجه به کاربردهای متنوعی که از اسانس یک گیاه دارویی به عمل می‌آید، نمی‌توان خواص اسانس آن را به یک ترکیب نسبت داد. لذا با توجه به نوع استفاده از اسانس یک گیاه دارویی (بر اساس خواص دارویی، غذایی و آرایشی و بهداشتی) برخی از ترکیب‌های موجود در اسانس، از اهمیت بالاتری برخوردار می‌شوند. با این وجود، در استفاده از اسانس یک گیاه دارویی برای تولید یک فرآورده مورد نظر، معمولا اجزاء عمده اسانس از اهمیت بیشتری برخوردار هستند (Hamisi *et al*., 2012). در همین رابطه، در پژوهشی روی گیاه نعناع گربه‌ای مشاهده شد مصرف تلفیقی کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات (ازتوباکتر۱ و فسفات بارور۲) موجب افزایش بارز و معنی‌دار میزان ایزومرهای نپتالاکتون در اسانس در مقایسه با شاهد شد و با تیمار کود شیمیایی هم اختلاف معنی‌داری نداشت (Boveiri Dehsheikh *et al*., 2021). آنها اظهار داشتند مصرف ترکیبی این کودهای زیستی از طریق بهبود جذب عناصر غذایی و تغذیه مناسب و صحیح گیاه، سبب افزایش کیفیت اسانس این گیاه دارویی شد. همچنین در مطالعه زراعی دیگری روی مرزه، آشکار شد که مصرف تلفیقی کودهای زیستی تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات، موجب افزایش معنی‌دار میزان لیمونن و گاماترپینن در اسانس در مقایسه با سایر تیمارها و شاهد شد (Faraji Mehmani *et al*., 2015).

یک مطالعه زراعی روی گیاه بادرشبی نیز آشکار کرد که مصرف ترکیبی کودهای زیستی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات (تلقیح با بذر) موجب افزایش اجزاء اصلی اسانس یعنی ژرانیال و نرال در اسانس در مقایسه با تیمار کود شیمیایی (NPK به میزان ۸۰، ۷۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار) شد؛ ولی اختلاف معنی‌داری با آن نداشت (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017). در پژوهشی روی گیاه انیسون مشخص شد که مصرف ترکیبی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات (ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس) موجب افزایش بارز و معنی‌دار میزان آنتول در اسانس در مقایسه با شاهد شد (Khalesro *et al*., 2012). آنها دریافتند این باکتریها با تولید متابولیت‌هایی نظیر مواد تنظیم‌کننده رشد یا انواع ویتامین‌ها و نیز بهبود فراهمی عناصر غذایی، سبب افزایش رشد و نمو گیاه و در نهایت بهبود میزان و کیفیت اسانس می‌شوند. در یک تحقیق زراعی نیز آشکار شد مصرف کود زیستی میکوریزا سبب افزایش میزان ترکیب‌های تیمول، کارواکرول، ایی کاریوفیلن و بورنئول در اسانس آویشن دنایی در مقایسه با شاهد شد

(Shabkhiz *et al*., 2021). آنها اظهار داشتند مصرف این کود زیستی، باعث ایجاد تغییراتی در غلظت فیتوهورمون‌های گیاهی از قبیل اسیدجاسمونیک، اسیدجیبرلیک و سیتوکینین می‌شود که این فیتوهورمون‌ها تشکیل غده‌های ترشح‌کننده اسانس را بیشتر کرده، در نتیجه منجر به تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه می‌شوند. نتایج یک تحقیق دیگر نیز حاکی از آن بود که مصرف کودهای زیستی نیتروکسین، بیوفسفر و میکوریزا منجر به افزایش مقدار تیمول اسانس در گیاه آویشن باغی در مقایسه با شاهد شد (Mohammadpour Vashvaei *et al*., 2015). پژوهش روی گیاه بابونه نیز آشکار کرد که مصرف کودهای زیستی نیتروکسین، بیوسولفور و فسفات بارور، موجب افزایش بارز و معنی‌دار درصد کامازولن در مقایسه با تیمارهای کود دامی و شاهد شد (Tohidi Nejad & Rastegari, 2019). این پژوهشگران اظهار داشتند کاربرد کودهای زیستی حاوی باکتری‌های ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و باسیلوس علاوه بر تثبیت نیتروژن، با تولید مقادیر قابل توجهی از هورمون‌های محرک رشد، از طریق بهبود جذب آب و مواد غذایی، موجب افزایش رشد و کمیت و کیفیت اسانس شدند. همچنین در تحقیقی روی گیاه بادرنجبویه مشاهده شد که کاربرد ترکیبی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات (ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و سودوموناس) موجب بهبود کیفیت اسانس یعنی افزایش درصد سیترونلال و بتاکاریوفیلن در اسانس نسبت به شاهد شد (Kazeminasab *et al*., 2016). آنها اظهار داشتند که حضور این باکتری‌ها در محیط ریشه گیاه از طریق ساخت و ترشح مواد فعال بیولوژیکی مانند ویتامین‌های گروه B و تولید هورمون‌های محرک رشد، باعث افزایش رشد و بهبود کیفیت اسانس می‌شود. همچنین در یک مطالعه زراعی روی گیاه مرزه تابستانه مشاهده شد که بیشترین کیفیت اسانس (درصد گاما ترپینن) در تیمار کاربرد پنج تن ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (Haj Seyed Hadi & Darzi, 2022). آنها این افزایش کیفیت اسانس را به بهبود فعالیت بیولوژیکی خاک و فراهم‌کردن مطلوب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در اثر مصرف ورمی‌کمپوست نسبت دادند.

در تحقیقی روی نعناع فلفلی هم مشاهده شد که مصرف قارچ میکوریزا، باعث افزایش قابل ملاحظه و ۲۸ درصدی ترکیب اصلی اسانس (منتول) در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی (۲۰۰ و ۱۳۵ کیلوگرم اوره و سوپرفسفات تریپل) شد (Ostadi *et al*., 2019). آنها بیان داشتند قارچ میکوریزا باعث ایجاد تغییراتی در غلظت فیتوهورمون‌های گیاهی از قبیل اسیدجاسمونیک، اسیدجیبرلیک و سیتوکینین می‌شود که این فیتوهورمون‌ها هم تشکیل غده‌های تشکیل‌دهنده اسانس را بیشتر کرده؛ در نتیجه منجر به تولید بیشتر ترکیبات اسانس نظیر منتول می‌شود. پژوهشی روی گیاه همیشه‌بهار هم نشان داد مصرف کود زیستی سوپرنیتروپلاس، سبب افزایش درصد مورولول در اسانس در مقایسه با تیمارهای شاهد و کودشیمیایی شد؛ ولی تفاوت آماری معنی‌داری با تیمار کود شیمیایی نداشت (Hosseini Mazinani & Hadipour, 2014).

همچنین در دو مطالعه دیگر گزارش شد کاربرد کود زیستی فسفات بارور۲ و قارچ میکوریزا به‌ترتیب منجر به بهبود معنی‌دار کیفیت اسانس در مریم‌گلی (درصد آلفاتوجون، ۱ و ۸ سینئول و کامفور) و شوید (درصد کاروون) در مقایسه با تیمار شاهد شد (Sarafraz *et al*., 2022; Gheidarlouei *et al*., 2020). در چهار مطالعه دیگر آشکار شد کاربرد باکتری محرک رشد سودوموناس موجب افزایش میزان سیس‌توجون در اسانس مریم‌گلی، تلقیح با نوعی قارچ اندوفیت، سبب افزایش میزان پاراسیمن و گاماترپینن در اسانس مرزنجوش، مصرف قارچ میکوریزا باعث افزایش مقدار تیمول و گاماترپینن در اسانس آویشن باغی و مصرف نیتروکسین باعث افزایش میزان کامازولن در اسانس بابونه شد (Ghorbanpour *et al*., 2014; Aslani *et al*., 2022; Amani Machiani *et al*., 2021; Haj Ali Araghi *et al*., 2019). این محققان اظهار داشتند مصرف کودهای زیستی از طریق بهبود ویژگی‌های رشدی منجر به افزایش ترکیبات اسانس می‌شوند.

همچنین مقایسه میانگین‌های آزمایش نشان داد بیشترین درصد دودکانال در اسانس در تیمار کود شیمیایی (۱۱/۲۷ درصد) مشاهده شد که به نحو قابل توجه و معنی‌داری برتر از بیشتر تیمارهای کود آلی و زیستی به‌ویژه مصرف بیوسوپرفسفات (۵/۱۳ درصد) بود و با تیمارهای کاربرد کود زیستی نیتروکسین (۹/۸۰ درصد) و مصرف تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات (۹/۵۲ درصد)، اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان دودکانال در اسانس نیز، در تیمار شاهد (۳/۷۱ درصد) به‌دست آمد. با توجه به کاهش محسوس و معنی‌دار سایر اجزاء مهم اسانس، نظیر ایی‌کاریوفیلن، ان‌دکانال و تری‌متیل‌پنتادکانون در تیمار کود شیمیایی، محتمل به‌نظر می‌رسد که این تقلیل، با افزایش درصد دودکانال در اسانس جبران شده باشد. در همین ارتباط، در تحقیقی روی نعناع گربه‌ای

مشاهده شد که مصرف کود شیمیایی سبب افزایش میزان نپتالاکتون و متعاقب آن کاهش میزان کاریوفیلن‌اکساید در اسانس در مقایسه با تیمارهای کود زیستی و شاهد شد (Boveiri Dehsheikh *et al*., 2021). این موضوع در مطالعه Govahi *et al*. (2017) روی مریم‌گلی نیز مشاهده شد؛ به‌طوری‌که مصرف کود شیمیایی اوره سبب افزایش میزان آلفاتوجون و پیامد آن کاهش میزان کامفور در اسانس در مقایسه با تیمار مصرف ۱۰ تن ورمی‌کمپوست شد. همچنین در مطالعه دیگری نیز ملاحظه شد که مصرف کود شیمیایی منجر به افزایش مقدار منتون و پیامد آن کاهش میزان منتول اسانس نعناع فلفلی نسبت به تیمار کود زیستی میکوریزا شد (Ostadi *et al*., 2019). همگی این محققان نیز علت این امر را به وجود روابط معکوس در میزان ترکیبات اصلی اسانس، تحت تأثیر عناصر غذایی نسبت دادند. در پژوهشی روی بادرشبی هم مشاهده شد که مصرف کود شیمیایی، موجب افزایش معنی‌دار درصد ژرانیل‌استات در اسانس در مقایسه با مصرف کودهای آلی و زیستی شد (Darzi & Haj Seyed Hadi, 2017). آنها اظهار داشتند با توجه به کاهش سایر اجزای مهم اسانس، نظیر ژرانیال، نرال و ژرانیول در تیمار کود شیمیایی، محتمل به نظر می‌رسد که این کاهش، با افزایش ژرانیل‌استات در اسانس جبران شده باشد. در یک مطالعه روی گیاه گل‌محمدی نیز آشکار شد که مصرف کود شیمیایی (NPK به میزان ۱۲۰، ۱۲۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار) سبب افزایش میزان ژرانیول و به دنبال آن کاهش میزان سیترونلول در اسانس در مقایسه با تیمار مصرف ۳۰ تن کود آلی (دامی) شد (Rahmani *et al*., 2013). در تحقیقات مرتبط با تأثیر کودهای آلی، زیستی و شیمیایی روی گیاهان ریحان، شوید، به‌لیمو و آویشن افزایش برخی ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس در اثر کاهش دیگر اجزاء آن مورد تأیید قرار گرفته است (Anwar *et al*., 2005; Makkizadeh *et al*., 2012; Ebadi *et al*., 2016; Yadegari, 2022).

۴. نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که بیشترین میزان و عملکرد اسانس در پیکره رویشی گیاه گشنیز در تیمار مصرف تلفیقی کودهای زیستی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات به‌دست آمد که برتری محسوس و معنی‌داری بر سایر تیمارها از جمله تیمارهای حاوی ورمی‌کمپوست و تیمار کود شیمیایی داشت. همچنین بیشترین میزان دو ترکیب ایی‌کاریوفیلن و ان‌دکانال در اسانس در تیمار مصرف ترکیبی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات حاصل شد که برتری چشمگیر و معنی‌داری نسبت به غالب تیمارها از جمله تیمار کود شیمیایی داشت. میزان هگزادکانوئیک‌اسید در اسانس نیز در تیمار مصرف تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات، بالا و قابل توجه بوده و برتری معنی‌داری نسبت به تیمار کود شیمیایی داشت. بیشترین میزان دودکانال در اسانس هم در تیمار کود شیمیایی مشاهده شد؛ ولی اختلاف معنی‌داری با تیمار مصرف تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات نداشت. در مجموع یافته‌های آزمایش حاضر حاکی از برتری نسبی و قابل توجه تیمار مصرف تلفیقی نیتروکسین و بیوسوپرفسفات نسبت به سایر تیمارهای کود آلی و زیستی و نیز تیمار کود شیمیایی بوده و با توجه به پاسخ مثبت میزان، عملکرد و ترکیبات اسانس در گیاه دارویی گشنیز به کاربرد این منبع غذایی زیستی و نیز مقرون به‌صرفه اقتصادی‌بودن آن، می‌توان انتظار داشت که در این شرایط و بدون استفاده از کود شیمیایی، شاهد دست‌یابی به تولید سالم و پایدار عملکرد اسانس و کیفیت آن در این گیاه دارویی در یک نظام کشاورزی پایدار و ارگانیک باشیم.

۵. منابع

Abdali Mashhadi, A.R., Moradi Majd, M., Bakhshandeh, A., & Koochekzadeh, A. (2017). Effect of sulfuric acid and biofertilizers on camazulene, essential oil content and quantitative characteristics of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *48*(3), 855-864. (In Persian).

Adams, R.P. (2001). Identification of essential oil components by gas chromatography / mass spectrometry. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, USA.

Aghhavani Shajari, M., Rezvani Moghddam, P., Ghorbani, R., & Nasiri Mahallati, M. (2014). Effects of organic, bio and chemical fertilizers application on vegetative indexes and essential oil content of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Agroecology*, *6*(3), 425-443. (In Persian).

Aghhavani Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., & Nasiri Mahallati, M. (2016). Effects of application of organic, bio and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Horticultural Science*, *29*(4), 486-500. (In Persian).

Amani Machiani, M., Javanmard, A., Ostadi, A., Morshedloo, M.R., & Chabokpour, J. (2021). Effects of harvest time and mycorrhiza fungus application on quantitative and qualitative yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.) essential oil at different irrigation levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *36*(6), 1022-1037. (In Persian).

Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A.A., & 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 Analys*., *36*(13-14), 1737-1746.

Askary, M., Behdani, M.A., Parsa, M., Jami Alahmadi, M., & Mahmoodi, S. (2017). Effects of water stress and manure on stomatal conductance, relative water content, photosynthetic pigments and quantitative and qualitative yield of *Thymus vulgaris* (L.) and *Thymus daenensis* Celak. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *33*(5),793-811. (In Persian).

Aslani, Z., Hedayati, A., Hassani, A., & Barin, M. (2022). Effects of inoculation with *Piriformospora indica* on some vegetative, physiological, and biochemical parameters and essential oil content of *Origanum vulgare* (L.) ssp. *vulgar*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *38*(2), 253-265. (In Persian).

Babakhani, V., Tohidi Nejad, E., Khajoei Nejad, G.R., & Ghanbari, J. (2023). Biomass production and nitrogen use efficiency in dill-fenugreek intercropping in response to biofertilizers and manure. *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, *32*(4), 1-18. (In Persian).

Bahadori, F., & Ghorbanian, D. (2018). Evaluation of vermicompost and arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus intraradices*) efficiency on essential oil and dry herb yield of *Thymus vulgaris* in the field conditions. *Plant Production Technology*, *18*(2), 81-91. (In Persian).

Bashirifar, N., Aliasgharzad, N., & Zehtab Salmasi, S. (2016). Elemental composition, essential oil and thymol content of savory (*Satureja hortensis* L.) inoculated with *Azospirillum irakense* and *Pseudomonas putida* at different nitrogen levels. *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, *26*(2), 133-151. (In Persian).

Bhuiyan, N.I., Begum, J., & Sultana, M. (2009). Chemical composition of leaf and seed essential oil of *Coriandrum sativum* (L.) from Bangladesh chemical composition and antimicrobialactivity of the essential oil of *Coriandrum sativum*. *Bangladesh Journal of Pharmacology*, *4*, 150-153.

Bitarafan, N., Gholami, A., Abbas Dokht, H., Baradaran, M., & Khalighi Sigaroodi, F. (2017). Effects of vermicompost and mycorrhizal fungi on growth characteristics, essential oil and yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology*, *9*(1), 102-114. (In Persian).

Boveiri Dehsheikh, P., Mahmoodi Sourestani, M., Zolfaghari, M., & Enayati Zamir, N. (2017). The effects of biological, chemical fertilizers and humic acid on vegetative and physiological indices and essential oil content of catnip (*Nepeta cataria* L.). *Journal of Plant Production*, *24*(2), 61-76. (In Persian).

Boveiri Dehsheikh, P., Mahmoodi Sourestani, M., Zolfaghari, M., & Enayati Zamir, N. (2021). The effects of biological, chemical fertilizers and humic acid on some microbial parameters, elements and oil quantity and quality of catnip (*Nepeta cataria* L.). *Journal of Agroecology*, *13*(1), 73-88. (In Persian).

Carrubba, A., la Torre, R., Di Prima, A., Saiano F, & Alonzo, G. (2002). Statistical analyses on the essential oil of Italian coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruits of different ages and origins. *Journal of Essential oil Research*, *14*, 389-396.

Darzi, M.T., & Haj Seyed Hadi, M.R. (2016). The role of separated and integrated application of organic and biological inputs on N, P, K concentration, essential oil of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, *26*(3), 101-114. (In Persian).

Darzi, M.T., & Haj Seyed Hadi, M.R. (2017). The effects of manure, vermicompost, nitroxin and bio-superphosphat application on quantity and quality of essential oil of dragonhead. *Crops Improvement*, *19*(3), 543-560. (In Persian).

Darzi, M.T., Sadeghi Nekoo, B., & Haj Seyed Hadi, M.R. (2022). Effects of organic fertilizers on essential oil composition and yield in sustainable cultivation of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). *Journal of Agroecology*, *14*(1), 53-68. (In Persian).

Diederichen, A. (1996). Coriander: Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. International Plant Genetic Resources Institute.

Ebadi, M.T., Azizi, M., Sefidkon, F., & Ahmadi, N. (2016). Effects of organic and chemical fertilizers on leaf yield, percent and essential oil components of *Lippia citriodora* Kunth. *Journal of Horticultural Science*, *30*(2), 293-302. (In Persian).

Faraji Mehmani, A., Esmaeilpour, B., Sefidkon, F., Abbaszadeh, B., Khavazi, K., & Ghanbari, A. (2015). Effects of biofertilizers on growth criteria, quantitative and qualitative yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Agroecology*, *6*, 870-879. (In Persian).

Gheidarlouei, S., Khademiam, R., & Mafakheri, S. (2020). Response of *Anethum graveolens* (L.) to mycorrhiza symbiosis at different salinity levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *36*(2), 329-347. (In Persian).

Gholami Sharafkhane, E., Mohsen, J., Banayan Avval, M., Koocheki, A.R., & Rezvani Moghaddam, P. (2015). Effects of organic, bio and chemical fertilizers on some agroecological characteristics, yield and essential oil of *Satureja hortensis* (L.). *Journal of Agroecology*, *7*(2), 179-189. (In Persian).

Ghorbanpour, M., Hosseini, N., Khodaei Motlagh, M., & Solgi, M. (2014). Effects of rhizobacteria inoculation of *pseudomonas* on growth, quantity and quality of essential oil of sage (*Salvia officinalis* L.). *Journal of Medicinal Plants*, *13*(4), 89-100.

Gil, A., De La Fuente, E.B., Lenardis, A.E., Lopez Periera, M., Suarez, S.A., Bandoni, A., Van Baren, C., Di Leo Lira, P., & Ghersa, C.M. (2002). Coriander essential oil composition from two genotypes grown in different environmental conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*, 2870-2877.

Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjafi, F., & Sorooshzadeh, A. (2017). Comparing different soil fertility systems on some physiological characteristics, yield and essential oil of sage (*Salvia officinalis* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, *9*(2), 445-457. (In Persian).

Haj Ali Araghi, M., Darzi, M.T., & Haj Seyed Hadi, M.R. (2019). Integrated application of vermicompost and nitroxin and quantitative and qualitative characteristics of german chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, *29*(1), 85-99. (In Persian).

Haj Seyed Hadi, M.R., & Darzi, M.T. (2022). Evaluation of biofertilizers effects on quantitative and qualitative characteristics of essential oil in summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Iranian Journal of Horticultural Science*, *52*(4), 899-912. (In Persian).

Hamisi, M., Sefidkon, F., Nasri, M., & Lebaschi, M.H. (2012). Effects of different amounts of nitrogen, phosphor and bovine fertilizers on essential oil content and composition of *Tanacetum parthenium* (L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *28*(3), 399-410. (In Persian).

Hosseini Mazinani, M., & Hadipour, A.R. (2014). Improvement of quantitative and qualitative yield of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) with biofertilizers application. *Journal of Medicinal Plants*, *13*(2), 83-91. (In Persian).

Kamayestani, N., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M., & Rejali, F. (2015). Effects of separated and integrated application of bio and organic fertilizers on some quantitative and qualitative characteristics of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *13*(1), 62-70. (In Persian).

Kapoor, R., Anand, G., Gupta, P., & Mandal, S. (2017). Insight into the mechanisms of enhanced production of valuable terpenoids by arbuscular mycorrhiza. *Phytochemistry Reviews*, *16*(4), 677-692.

Kapoor, R., Giri, B., & Mukerji, K.G. (2004). Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare Mill* on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*, *93*, 307-311.

Karimzadeh Asl, K., & Baghbani Arani, A. (2019). The effect of different regimes of irrigation and biofertilizers on seed yield, essential oil content, some physiological traits and absorbtion of mineral elements in cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(3), 817-830. (In Persian).

Kazeminasab, A., Yarnia, M., Lebaschi, M.H., Mirshekar, B., & Rejali, 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*, *32*(4), 678-687. (In Persian).

Keshavarz, H., Modarres Sanavy, S.A.M., Sefidkon, F., & Mokhtassi Bidgoli, A. (2020). Effect of organic fertilizers and urea fertilizer on phenolic compounds, antioxidant activity, yield and yield components of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *17*(4), 661-672. (In Persian).

Khalesro, S., Ghalavand, A., Sefidkon, F., & 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*, *27*(4), 551-560. (In Persian).

Mfakheri, S., & Aminian Dehkordi, R. (2019). The response of coriander (*Coriandrum sativum* L.) herbs to some nutritional treatments. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *35*(5), 834-845. (In Persian).

Makkizadeh, M., Chaichi, M.R,, Nasrollahzadeh, S., & Khavazi, K. (2012). The effect of biologic and chemical nitrogen fertilizers on growth, yield and essential oil constituents of dill (*Anethum graveolens* L.). *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, *21*(4), 51-62. (In Persian).

Matasyoh, J.C., Maiyo, Z.C., Ngure, R.M., & Chepkorir, R. (2009). Chemical composition and antimicrobialactivity of the essential oil of *Coriandrum sativum*. *Food Chemistry*, *113*, 526-529.

Mirseyedi, S.K., Nasiri, Y., Morshedloo, M.R., & Khalili, M. (2020). Evaluation of organic, chemical, biological and amino acids application on quantitative and qualitative characteristics of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) at different harvesting. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *50*(4), 755-767. (In Persian).

Mohammadi, M., Sefidkon, F., Asadi Sanam, S., & Kalate Jari, S. (2021). Effects of nutritional treatments on morphological characteristics and essential oil yield of *Satureja khuzistanica* Jamzad. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *37*(2), 193-213. (In Persian).

Mohammadpour Vashvaei, R., Galavi, M., Ramroodi, M., & Fakheri, B.A. (2015). Effects of drought stress and biofertilizers inoculation on growth, yield and essential oil compositions of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Agroecology*, *7*(2), 237-253. (In Persian).

Mohammadpour Vashvaei, R., Ghanbari, A., Ramroodi, M., & Fakheri, B.A. (2019). Effects of different fertilization systems (bio and nano-bio) on growth, elements concentration, foliage and essential oil yield of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *49*(4), 67-86. (In Persian).

Msaada, K., Ben Taarit, M., Hosni, K., Hammami, M., & Marzouk, B. (2009). Regional and maturational effects on essential oils yields and composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruits. *Scientia Horticulturae*, *122*, 116-124.

Naghizadeh, M., & Moradi, R. (2021). Study on the radiation use efficiency and quantitative and qualitative yield in lavender and chamomile additive intercropping under the influence of cow manure and chemical fertilizer. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *37*(1), 13-29. (In Persian).

Nasiri, Y. (2022). Evaluation of morphological traits, yield, and essential oil changes of basil (*Ocimum basilicum* L.) under influence of organic fertilizers. *Journal of Agroecology*, *13*(4), 705-721. (In Persian).

Ostadi, A., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., & Mola Ali Abasiyan, S. (2019). Evaluation of quantitative and qualitative traits of the first and second cuttings of peppermint (*Mentha piperita* L.) under the influence of the integrated application of conventional, nano fertilizers and mycorrhizal. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *17*(2), 327-345. (In Persian).

Pimentel, D. (1993). Economics and energies of organic and conventional farming. *Journal of Agricultural and Environmental*, *6*, 53-60.

Rahmani, A., Mirza, M., & Tabaei Aghdai, S.R. (2013). Effects of different fertilizers (macro and micro elements) on quantity and quality of essential oil and other byproducts of *Rosa damascena* Mill. in Iran. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *29*(4), 747-759. (In Persian).

Razipour, P., Golchin, A., & Daghestani, M. (2016). Effects of different levels of cow manure and inoculation with nitroxin on growth and performance of *Melissa officinalis* (L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *32*(5), 807-823. (In Persian).

Rezvani, H., Golzadeh, A.B., Gholami, G.A., & Asiai, M. (2022). Effects of different levels of vermicompost on flower yield and its components in genotypes of damask rose (*Rosa damascena* Mill.) in Golestan province. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *53*(1), 75-85. (In Persian).

Rezvani Moghaddam, P., Bakhshaei, S., Amin Ghafouri, A., & Jafari, L. (2014). Effect of different managements of fertilization on production of summer savori (*Satureja hortensis* L.) in mashad condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(1), 27-33. (In Persian).

Rostampour, P., Salehi, A., Amiri Fahliani, R., & Mirshekari, A. (2017). Effect of different level of vermicompost and nitrogen fertilizer on yield and essential oil content of geranium (*Pelargonium graveolens*). *Iranian Journal of Horticultural Science*, *48*(3), 555-563. (In Persian).

Saeid Nejad, A.H., & Rezvani Moghaddam, P. (2010). Evaluation of biofertilizer and chemical fertilizer application on morphological traits, yield, yield components and essential oil percent in cumin (*Cuminum cyminum*). *Journal of Horticultural Science*, *24*(1), 38-44. (In Persian).

Salehi, A., Ghalavand, A., Sefidkon, F., Asgharzadeh, A., & Saeedi, K. (2016). Effects of zeolite, bio and organic fertilizers application on the growth, yield and yield components of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) in organic cultivation. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *32*(2), 203-215. (In Persian).

Salehi Surmaghi, M.H., (2006). Medicinal plants and phytotherapy (volume1). Publishing Corporation of nutrition world, Tehran, Iran. 403 p.

Sarafraz, M., Dehghanzadeh, H., & Hashemi, A.F. (2022). Effects of gibberellic acid and chemical and biological (Barvar-2) phosphorus on yield, yield components, and essential oil of *Salvia officinalis* (L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *38*(3), 490-503. (In Persian).

Sefidkon, F. (2001). Evaluation of qualitative and quantitative essential oil fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in different stages of growth. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *7*, 85-104. (In Persian).

Shabkhiz, H., Javanmard, A., Ostadi, A., & Morshedloo, M.R. (2021). Improving quantity and quality of *Thymus daenensis* Celak. essential oil with application of myco-root biofertilizer under different irrigation level. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *37*(3), 434-456. (In Persian).

Tohidi Nejad, E., & Rastegari, F. (2019). Effects of biological and organic fertilizers on morphological parameters and chamazulene yield of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress condition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *34*(6), 949-962. (In Persian).

Vafayi Rostami, S., Abbasi, R., Pirdashti, H., & Ghajar Sepanlou, S. (2020). Effect of *Piriformospora indica* and *Trichoderma harzianum* on morphological characteristics, yield and essential oil of peppermint (*Mentha piperita*) at different amount of phosphorus and irrigation. *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, *29*(4), 37-50. (In Persian).

Yadegari, M. (2022). Effects of NPK complete fertilizer, botamisol, and humic acid on morphophysiological characteristics and essential oil in three *Thymus* species under drought stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *38*(2), 301-321. (In Persian).

Zafarani Moattar, P., Amini, R., Shakiba, M.R., & Sarikhani, M.R. (2021). Effect of inoculation with PGPRs and mycorrhiza-like fungi on some growth traits and essential oil yield of moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) under water deficit stress. *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, *30*(4), 111-126. (In Persian).

Zamani, F., Amirnia, R., Rezaei Chiyaneh, E., & Rahimi, A. (2019). The effect of bacterial bio-fertilizers and mycorrhizal fungi on seed yield and chemical composition of essential oil from three fennel landrace. *Crops Improvement*, *20*(4), 831-848. (In Persian).