مقاله پژوهشی

Research Article

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران | شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijmapr.2022.355278.3030
جلد ۳۹، شماره ۱، صفحه ۵۴-۳۸ (۱۴۰۲) | شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350905.1402.39.1.3.8

تأثیر روش‌های تغذیه گیاه بر عملکرد اقتصادی و اجزای اسانس سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)

جبرائیل ملکی[۱]، ابراهیم شریفی عاشورآبادی[۲*]، مهدی میرزا[۳]، حسین حیدری شریف‌آباد[۴] و محمدحسین لباسچی[۵]

۱- دانشجوی دکترا، گروه علوم زراعی و باغی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، بخش تحقیقات گیاهان دارویی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست الکترونیک: Sharifie2015@gmail.com

۳- استاد، بخش تحقیقات گیاهان دارویی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- استاد، گروه علوم زراعی و باغی، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۵- دانشیار، بخش تحقیقات گیاهان دارویی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۰ | تاریخ اصلاح نهایی: آذر ۱۴۰۰ | تاریخ پذیرش: بهمن ۱۴۰۰

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد اقتصادی و اجزای اسانس سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف کودهای شیمیایی NPK، کود دامی، تلفیق کودهای NPK با کود دامی و همچنین تلفیق کودهای شیمیایی و دامی همراه با تلقیح کود زیستی آزوریزوبیوم در مقایسه با تیمار شاهد بود. صفات عملکرد دانه، عملکرد اندام هوایی و درصد، عملکرد و ترکیب اسانس بررسی شدند. نتایج نشان داد، بیشترین عملکرد دانه (۱۲۷۰/۴۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن+ ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر+ ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم+ ۳۰ تن در هکتار کود دامی به‌دست آمد. بیشترین درصد (۰/۲۵٪) و عملکرد اسانس (۲/۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن+ ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر+ ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم+ ۳۰ تن در هکتار کود دامی+ آزوریزوبیوم و بیشترین درصد تیموکینون (۱۴/۹٪) در تیمار ۳۰ تن در هکتار کود دامی بدست آمدند. به‌طور کلی تیمارهای تلفیقی و زیستی، بیشترین تأثیر مثبت را بر عملکرد دانه و درصد اسانس سیاه‌دانه داشتند. استفاده از منابع کودی مناسب، نه تنها موجب افزایش عملکرد، مقدار اسانس و ترکیب تیموکینون در سیاهدانه شد بلکه پیامدهای ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی را کاهش داد. استفاده از روش‌های کوددهی تلفیقی گامی موثر جهت دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار است.

واژه‌های کلیدی: گیاهان دارویی، کود شیمیایی، کود دامی، کود زیستی، آزوریزوبیوم.

مقدمه

سیاه‌دانه با نام علمی (*Nigella Sativa* L.) گیاهی یک‌ساله از تیره آلاله (Ranunculaceae) است که در بسیاری از کشورهای حاشیه مدیترانه و خاورمیانه کشت می‌شود (Mazaheri *et al*., 2019). از خواص دارویی آن می‌توان به خاصیت ضد سرطانی، ضد حساسیت، ضد فشار خون و بیماری‌های قلبی عروقی، ضد باکتریایی و خاصیت افزایش ایمنی بدن در برابر بیماری‌ها اشاره کرد (El-Leel

Copyright: © 2023 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.

et al., 2019).

اسانس‌ها و ترکیب‌های معطر گیاهان دارویی به‌عنوان عطر، طعم‌دهنده غذا، ادویه، نگهدارنده غذا و همچنین ساخت داروهای گیاهی مصرف می‌شوند (Hadian *et al*., 2014). در زراعت گیاهان دارویی، مدیریت حاصلخیزی خاک یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده رشد و عملکرد کمّی و کیفی گیاه محسوب می‌شود. کاربرد صحیح و مناسب عناصر و مواد غذایی در طول دوره رشد گیاهان دارویی، نه‌تنها نقش عمده‌ای در افزایش عملکرد دارد بلکه در کمّیت و کیفیت مواد مؤثره آنها نیز بسیار مؤثر است (Goldani *et al*., 2016). تولید و مصرف بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی در کشاورزی رایج طی چند دهه اخیر مشکلات زیست محیطی بسیاری را به‌همراه داشته است. در این میان می‌توان به آلودگی منابع آب و خاک، کاهش کیفیت محصولات غذایی و بر هم خوردن تعادل زیستی خاک که صدمات جبران‌ناپذیری به اکوسیستم وارد می‌کند، اشاره کرد (Liu & Lal, 2015). استفاده مداوم از کودهای شیمیایی می‌تواند منجر به مسمومیت غذایی، خسارت فیزیکی و شیمیایی خاک، از بین رفتن تنوع زیستی، خطرهای شدید زیست محیطی و بازده نامطلوب اقتصادی شود (Alori *et al*., 2017). همچنین کاربرد طولانی‌مدت کودهای شیمیایی موجب افزایش اسیدی شدن و تخریب خاک و کاهش رشد گیاه می‌گردد (Gu *et al*., 2019). راه حل اساسی این مشکل، حرکت به سوی کشاورزی پایدار براساس استفاده هر چه بیشتر از نهاده‌های درونی مزرعه ازجمله جانداران مفید خاک‌زی به عنوان کودهای زیستی و همچنین تلفیق کودهای آلی و شیمیایی است (Heidari *et al*., 2014). مشخص شده است که کودهای آلی علاوه بر افزایش کربن آلی خاک، در بهبود کیفیت خاک نیز از اهمیت قابل توجهی برخوردار هستند (Blundell *et al*., 2020). کودهای آلی مانند کود دامی، با داشتن عناصر ضروری و مورد نیاز گیاه ضمن حذف یا کاهش کودهای شیمیایی، موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب و ظرفیت تبادل کاتیونی رشد، بهبود عملکرد و کیفیت محصول، به‌ویژه در تولید گیاهان دارویی می‌شوند (Pandey *et al*., 2016). اثر مثبت کود دامی بر عملکرد خاک به‌دلیل افزایش ذخیره کربن آلی خاک، محتوای عناصر غذایی و تعدیل pH خاک گزارش شده است که به‌دنبال آن رشد و عملکرد گیاهان نیز افزایش می‌یابد (Cai *et al*., 2019). بررسی‌ها نشان داده‌اند که استفاده از کودهای زیستی نیز می‌تواند کیفیت اسانس را بهبود ببخشد (Dadkhah, 2012). استفاده از کودهای آلی در تلفیق با ریزجانداران مفید خاک‌زی، به‌دلیل غنی بودن از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف و نیز با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی که متناسب با مرحله رشدی گیاه است، موجب افزایش میزان اسانس در گیاهان دارویی می‌شود (Carvalho *et al*., 2016). در این ارتباط، تلفیق کودهای آلی و زیستی با کودهای شیمیایی ضمن کاهش پیامدهای اقتصادی و زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، موجب افزایش ویژگی‌های رویشی، عملکردی و میزان اسانس زوفا (*Hyssopus officinalis*) شد (Rahmani *et al*., 2021). همچنین کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی، آلی و زیستی باعث بهبود عملکرد کمّی و کیفی گیاه دارویی چای ترش (*Hibiscus sabdariffa*) شد (Parsamotlagh *et al*., 2017). در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*)، تلفیق سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای باعث افزایش عملکرد و میزان اسانس شد. به‌طور کلی برتری تیمارهای حاصلخیزی تلفیقی در افزایش عملکرد ریحان، بیانگر کارایی و سودمندی سیستم‌های تلفیقی در مقایسه با تیمارهای شیمیایی و دامی است. برای حصول عملکرد کمّی و کیفی بالا، بهبود خواص فیزیکی و بیولوژیک خاک می‌تواند نقش به مراتب بیشتری نسبت به بهبود خواص شیمیایی آن داشته باشد (Tehrani Sharif *et al*., 2015). در تحقیق دیگری، با کاربرد کود دامی عملکرد اسانس گشنیز (*Coriandrum sativum*) بهبود یافت (Noorzad *et al*., 2014). تلفیق کودهای شیمیایی، آلی و زیستی افزایش کیفیت اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare*) را نیز در پی داشت (Younesian *et al*., 2013).

یکی از موارد مهم در برنامه‌ریزی زراعی به‌منظور حصول عملکرد بالا و با کیفیت مطلوب (به‌ویژه در مورد گیاهان دارویی) ارزیابی نظام‌های مختلف تغذیه گیاه است. در این ارتباط، کاربرد کودهای آلی و زیستی در تولید گیاه سیاه‌دانه با هدف کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و همچنین افزایش حاصلخیزی خاک، بهبود رشد و کیفیت گیاه از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از انجام این پژوهش، کاهش تدریجی مصرف کودهای شیمیایی و جایگزین کردن آن با منابع آلی و بیولوژیک و بررسی تأثیر آن بر عملکرد اقتصادی، درصد اسانس و همچنین ترکیب‌های موجود در اسانس گیاه دارویی سیاه‌دانه بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد اقتصادی و اجزای اسانس گیاه دارویی سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) آزمایشی در سال ۱۳۹۶ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد.

این آزمایش در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ایستگاه تحقیقات البرز، واقع در پنج کیلومتری جنوب شهرستان کرج، طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ و ۴۸ درجه شمالی، ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۱ متر، حداقل درجه حرارت ۲۰- و حداکثر درجه حرارت ۳۸ درجه سانتی‌گراد انجام شد. تیمارهای مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

کاشت و اعمال تیمارها

پس از آماده‌سازی زمین نسبت به کرت‌بندی اقدام شد. مساحت هر یک از کرت‌ها، ۱۲ مترمربع مشتمل بر شش ردیف به طول چهار متر و به فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود. فاصله بین دو کرت یک متر و فاصله بین دو تکرار سه متر در نظر گرفته شد. کود دامی به صورت کاملاً پوسیده و پس از مشخص شدن برخی از ویژگی‌ها و عناصر موجود در آن، با مقادیر مختلف و طبق تیمارهای مربوط به روش تغذیه تلفیقی و همچنین آلی در تاریخ بیستم فروردین به زمین داده شد و بعد به‌وسیله شن‌کش با خاک سطحی مخلوط گردید. کودهای شیمیایی نیز طبق تیمارهای روش‌های تغذیه شیمیایی و همچنین تلفیقی، به‌صورت ترکیبی از عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم، با نسبت ۱، ۱/۸ و صفر به زمین داده شد. نیمی از کود نیتروژن در مرحله تهیه زمین و نیم دیگر هنگامی که گیاه به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری رسید مصرف شد. برای اعمال تیمار کود شیمیایی، کنار هر خط کاشت شیاری در سراسر پشته به عمق ۵ سانتی‌متر ایجاد کرده، کودهای شیمیایی را داخل شیار ریخته و بلافاصله آبیاری انجام شد. کود زیستی مورد استفاده شامل باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن با نام علمی *Azorhizobium caulinodans* (به میزان ۳×۱۰^{۸} در هر میلی‌لیتر با نام تجاری نیترو کارا) از شرکت صنایع زیست فناوری کارا تهیه شد و مورد استفاده قرار گرفت. اعمال کود زیستی به صورت تلقیح بذرها با سوسپانسیون باکتری آزوریزوبیوم، قبل از کاشت و مطابق با تیمارهای مورد نظر انجام شد.

بعد از تعدیل دما در تاریخ هشتم اردیبهشت‌ماه، بذرها به روش خشکه‌کاری کشت و بلافاصله آبیاری شدند. فاصله بوته‌ها در هر ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود. برای اطمینان از دستیابی به تراکم مناسب، در موقع کاشت بیش از میزان لازم بذر مصرف گردید و بعد از استقرار بوته‌ها، در موقع تنک کردن فاصله بوته‌ها تنظیم شد. واکاری و تنک کردن بوته‌های مازاد در مرحله ۴-۲ برگی انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۲ و خصوصیات کود دامی مورد استفاده در جدول ۳ ارائه شده است. تا زمان استقرار بوته‌ها هر سه روز یک‌بار و بعد از آن به فاصله هر شش روز یک‌بار آبیاری گردید. در طول دوره آزمایش، وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

جدول ۱- تیمارهای روش‌های حاصلخیزی خاک

Table 1. Soil fertility methods treatments

Soil fertility methods	Treatment	Chemical fertilizer (kg.ha^{-1})			Manure (ton.ha^{-1})	Biofertilizer
		N	P	K		
Control	1	0	0	0	0	0
Chemical	2	40	32	40	0	0
	3	80	64	80	0	0
	4	120	96	120	0	0
	5	160	128	160	0	0
Chemical + Manure	6	120	96	120	10	0
	7	80	64	80	20	0
	8	40	32	40	30	0
Manure	9	0	0	0	40	0
	10	0	0	0	30	0
	11	0	0	0	20	0
	12	0	0	0	10	0
Biofertilizer	13	0	0	0	0	*Azorhizobium caulinodans*
	14	40	32	40	0	*A. caulinodans*
	15	40	32	40	30	*A. caulinodans*
	16	0	0	0	30	*A. caulinodans*

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه

Table 2. Some physicochemical characteristics of field soil

Texture	Grit (%)	Sand (%)	Clay (%)	EC (dS.m^{-1})	pH	OC (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
Loamy-Clay	32.8	39.9	27.3	2.83	7.75	0.65	0.062	12.12	225.4

جدول ۳- برخی ویژگی‌های کود دامی مورد استفاده

Table 3. Some manure characteristics

EC (dS.m^{-1})	pH	OC (%)	N (%)	P (%)	K (%)
7.03	8.75	25.28	3.08	1.11	0.94

برداشت

هنگام برداشت در تاریخ یکم شهریورماه، دو ردیف از طرفین و همچنین از ابتدا و انتهای هر کرت نیم متر به‌عنوان حاشیه حذف گردید. برای اندازه‌گیری عملکرد اندام هوایی و عملکرد دانه، برداشت از دو پشته میانی (پس از رعایت حاشیه و مساحتی در حدود ۳ مترمربع) انجام شد.

استخراج اسانس و شناسایی ترکیب‌ها

استخراج اسانس با روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر انجام گردید. شناسایی و اندازه‌گیری ترکیب‌های موجود در اسانس با استفاده از دستگاه‌های GC/MS و GC انجام شد.

مشخصات دستگاه کروماتوگراف گازی (GC): کروماتوگراف گازی فوق سریع (GC-FID) با مدل Thermo-UFM (ساخت کشور ایتالیا)، مجهز به آشکارساز FID و داده‌پرداز با نرم‌افزار Chrom-card 2006 استفاده شد. ستون DB-5 نیمه‌قطبی (به‌طول ۱۰ متر، قطر داخلی ۰/۱ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۴ میکرون) بکار برده شد. دمای محفظه تزریق

۲۸۰ درجه سانتی‌گراد و دمای آشکارساز ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. برنامه‌ریزی حرارتی ستون شامل افزایش دما از ۶۰ تا ۲۸۵ درجه سانتی‌گراد با سرعت افزایش ۴۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه بوده و بعد به مدت ۳ دقیقه در دمای ۲۸۵ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. گاز حامل، شامل هلیوم با سرعت جریان ۰/۵ میلی‌لیتر بر دقیقه بود.

مشخصات دستگاه کروماتوگراف گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS): از دستگاه کروماتوگراف گازی Varian 3400 متصل به طیف‌سنج جرمی Saturn II (ساخت آمریکا)، سیستم تله‌یونی با انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت، ستون DB-5 (به‌طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۲۵ میکرون) استفاده شد. گاز حامل هلیوم بود که با سرعت ۳۱/۵ سانتی‌متر بر ثانیه در طول ستون حرکت می‌کرد. فشار گاز سر ستون ۳۵ پوند بر اینچ‌مربع، برنامه‌ریزی حرارتی ستون شامل درجه حرارت ۶۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت افزایش ۳ درجه سانتی‌گراد در دقیقه، درجه حرارت محفظه تزریق ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد و دمای ترانسفرلاین ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. زمان اسکن برابر یک ثانیه، انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و ناحیه جرمی از ۴۰ تا ۳۴۰ بود.

پیک‌های خروجی براساس زمان بازداری با نمونه‌های استاندارد مقایسه و تعیین هویت شده و براساس سطح زیرمنحنی تعیین غلظت گردیدند (Yang *et al*., 2005).

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه دانکن انجام شد.

نتایج

عملکرد دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۴).

در روش تغذیه شیمیایی، بیشترین عملکرد دانه به میزان ۸۹۸/۱۲ و ۸۹۰/۸۶ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب مربوط به تیمار شماره ۴ (کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) و همچنین تیمار شماره ۵ (۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۱۲۸ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در استفاده از کود دامی خالص، بالاترین عملکرد دانه به میزان ۱۰۰۶/۰۳ کیلوگرم در هکتار در مصرف ۲۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی، حداکثر عملکرد دانه از تیمار شماره ۸ (۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی) به میزان ۱۲۷۰/۴۲ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی، بیشترین عملکرد دانه را تیمار شماره ۱۵ (۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) به میزان ۱۱۳۶/۲۹ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داد (جدول ۵).

بنابراین، عملکرد دانه در روش‌های تغذیه شیمیایی ۵۵/۶۵٪ و ۵۴/۳۷٪، کود دامی خالص ۷۴/۳۲٪، تلفیق کود شیمیایی با دامی ۱۲۰/۱۴٪ و تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی ۹۶/۸۹٪ افزایش را نسبت به شاهد نشان داد.

عملکرد اندام هوایی

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد اندام هوایی در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۴).

در روش تغذیه شیمیایی، بیشترین عملکرد اندام هوایی به میزان ۲۱۶۲/۶۷ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار شماره ۴ (کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن،

۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در استفاده از کود دامی خالص، بالاترین عملکرد اندام هوایی به میزان ۱۹۸۱/۶۷ و ۱۹۹۲/۳۳ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب در مصرف ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی، حداکثر عملکرد اندام هوایی از تیمار شماره ۸ (۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی) به میزان ۲۳۲۳/۳۳ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی، بیشترین عملکرد اندام هوایی را تیمار شماره ۱۵ (۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) به میزان ۲۴۳۱/۶۷ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داد (جدول ۵).

عملکرد اندام هوایی در روش‌های تغذیه شیمیایی ۲۴/۷۴٪، کود دامی ۱۵/۲۱٪ و ۱۵/۸۳٪، تلفیق کود شیمیایی با دامی ۳۵/۰۸٪ و تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی ۴۱/۳۸٪ افزایش را نسبت به شاهد نشان داد.

درصد اسانس

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر روش‌های حاصلخیزی خاک در سطح ۱٪ بر درصد اسانس معنی‌دار بود (جدول ۴).

در روش تغذیه شیمیایی، بیشترین مقدار اسانس به میزان ۰/۲۱٪ مربوط به تیمار شماره ۴ (کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در استفاده از کود دامی خالص، بالاترین مقدار اسانس به میزان ۰/۱۷٪ در مصرف ۱۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی، حداکثر درصد اسانس از تیمار شماره ۶ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم همراه با ۱۰ تن در هکتار کود دامی) برابر ۰/۲۲٪ و تیمار شماره ۸ (۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی) به میزان ۰/۲۱٪ بدست آمد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی، بیشترین درصد اسانس را تیمار شماره ۱۵ (۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم به همراه ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) به میزان ۰/۲۵٪ به خود اختصاص داد (جدول ۵).

عملکرد اسانس

طبق نتایج تجزیه واریانس، تأثیر روش‌های مختلف حاصلخیزی خاک بر عملکرد اسانس در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۴).

در روش تغذیه شیمیایی، بالاترین عملکرد اسانس به میزان ۱/۹۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار شماره ۴ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در استفاده از کود دامی خالص، بیشترین عملکرد اسانس، از ۲۰ تن در هکتار کود دامی، به میزان ۱/۵۵ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی، بیشترین عملکرد اسانس به میزان ۲/۷۱ کیلوگرم در هکتار از تیمار شماره ۸ (۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم با کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی) بدست آمد. در حاصلخیزی خاک به روش تلفیق شیمیایی، دامی و زیستی بالاترین عملکرد اسانس به میزان ۲/۸ کیلوگرم در هکتار از تیمار شماره ۱۵ (۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بدست آمد (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد و اسانس گیاه دارویی سیاه‌دانه

Table 4. ANOVA of soil fertility methods effects on yield and *Nigella sativa* essential oil

S.O.V	df	Seed yield	Biological yield	Essential oil percentage	Essential oil yield
Block	2	32584.22	124278.26	0.001	0.26
Soil fertility methods	15	78768.34**	97929.12**	0.003**	0.88**
Experimental error	30	18307.1	35778.88	0.001	0.16
C.V. (%)		15	9.35	17.37	23.91

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

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر عملکرد و اسانس گیاه دارویی سیاه‌دانه

Table 5. Means comparison of soil fertility methods effects on yield and *Nigella sativa* essential oil

Soil fertility methods	Treatment	Chemical fertilizer (kg.ha^{-1})			Manure (ton.ha^{-1})	Biofertilizer	Seed yield (kg.ha^{-1})	Biological yield (kg.ha^{-1})	Essential oil (%)	Essential oil yield (kg.ha^{-1})
		N	P	K						
Control	1	0	0	0	0	0	577.11e	1720e	0.13d	0.74e
Chemical	2	40	32	40	0	0	727.05de	1831.67de	0.17cd	1.2de
	3	80	64	80	0	0	713.41de	1863.67cde	0.18bcd	1.29de
	4	120	96	120	0	0	898.12bcd	2162.67abcd	0.21abc	1.93bcd
	5	160	128	160	0	0	890.86bcd	1943.67cde	0.18bcd	1.64bcd
Chemical + Manure	6	120	96	120	10	0	1051.18abc	2063bcde	0.22abc	2.28ab
	7	80	64	80	20	0	967.02bcd	2212abc	0.17cd	1.67bcd
	8	40	32	40	30	0	1270.42a	2323.33ab	0.21abc	2.71a
Manure	9	0	0	0	40	0	886.77bcd	1934.33cde	0.16cd	1.38cde
	10	0	0	0	30	0	834.65cd	1992.33bcde	0.15cd	1.29de
	11	0	0	0	20	0	1006.03bc	1981.67bcde	0.15cd	1.55bcd
	12	0	0	0	10	0	836.34cd	1941.33cde	0.17bcd	1.44cde
Biofertilizer	13	0	0	0	0	*Azorhizobium caulinodans*	812.11cde	1949.33cde	0.16cd	1.33de
	14	40	32	40	0	*A. caulinodans*	873.39bcd	2119abcd	0.17cd	1.51cd
	15	40	32	40	30	*A. caulinodans*	1136.29ab	2431.67a	0.25a	2.8a
	16	0	0	0	30	*A. caulinodans*	904.2bcd	1896.33cde	0.24ab	2.13abc

Similar letters in each column indicate the absence of significant differences between treatments (Duncan test).

اجزای اسانس

تیموکینون

طبق نتایج تجزیه واریانس، تأثیر روش‌های مختلف حاصلخیزی خاک بر مقدار تیموکینون در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۶).

در روش تغذیه شیمیایی، بیشترین تیموکینون به میزان ۱۰٪ مربوط به تیمار شماره ۳ (کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در استفاده از کود دامی خالص، بالاترین تیموکینون به میزان ۱۴/۹٪ در مصرف ۳۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی، حداکثر تیموکینون در تیمار شماره ۸ (۴۰ کیلوگرم

در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) با ۳۰ تن در هکتار کود دامی به میزان ۱۲/۲٪ بدست آمد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی، بیشترین تیموکینون را عدم کاربرد و کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به میزان ۱۰/۹٪ و ۱۱/۲٪ درپی داشت (جدول ۷).

میرسنول

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر میرسنول در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۶).

در روش تغذیه شیمیایی، بیشترین میرسنول به میزان ۸/۱٪، مربوط به تیمار شماره ۳ (کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) حاصل شد. در استفاده از کود دامی خالص، بالاترین میرسنول به میزان ۸/۶٪ در مصرف ۱۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی، بیشترین مقدار، به میزان ۸/۹٪ و ۸/۸٪ به‌ترتیب مربوط به تیمار شماره ۶ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم با ۱۰ تن در هکتار کود دامی) و تیمار شماره ۷ (۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در کنار مصرف ۲۰ تن در هکتار کود دامی) بود. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی، بیشترین میرسنول به میزان ۸/۹، ۸/۷ و ۸/۷ درصد به‌ترتیب مربوط به عدم کاربرد و کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم و ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و کاربرد ۳۰ تن در هکتار با آزوریزوبیوم در عدم مصرف کودهای شیمیایی بود (جدول ۷).

پارا–سیمن

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر روش‌های مختلف حاصلخیزی خاک بر پارا–سیمن در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۶).

در روش تغذیه شیمیایی، بیشترین پارا–سیمن به میزان ۴۷/۹٪ و ۴۸/۴٪ به‌ترتیب مربوط به تیمار شماره ۳ (کاربرد ۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) و تیمار شماره ۴ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در استفاده از کود دامی خالص، بالاترین پارا–سیمن به میزان ۵۱٪ و ۵۱/۸٪ به‌ترتیب در مصرف ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای اعمال شده وجود نداشت. در روش تلفیقی کود شیمیایی با دامی و زیستی، ترکیب پارا–سیمن به میزان ۵۲/۹، ۵۳/۳ و ۵۲/۸ درصد را به‌ترتیب تیمارهای عدم کاربرد و کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم در کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و کاربرد ۳۰ تن در هکتار با آزوریزوبیوم در عدم مصرف کودهای شیمیایی به خود اختصاص داد (جدول ۷).

آلفا–توژن

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر آلفا–توژن در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۶).

در روش تغذیه شیمیایی، بیشترین آلفا–توژن به میزان ۹، ۸/۹ و ۹ درصد به‌ترتیب مربوط به تیمار شماره ۲ (کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم)، تیمار شماره ۳ (۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۶۴ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) و تیمار شماره

۴ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در استفاده از کود دامی خالص، بالاترین آلفا-توژن به میزان ۸/۷٪ با مصرف ۱۰ تن در هکتار کود دامی بدست آمد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای اعمال شده وجود نداشت. در روش تلفیقی کود شیمیایی با دامی و زیستی، بیشترین آلفا-توژن به میزان ۱۰/۵٪ و ۱۰/۶٪ به‌ترتیب مربوط به تیمارهای عدم کاربرد و کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بود (جدول ۷).

پاراسیمن-۸-اُل

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر پاراسیمن-۸-اُل در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۶).

در روش تغذیه شیمیایی، بیشترین پاراسیمن-۸-اُل به میزان ۲٪ مربوط به تیمار شماره ۲ (کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در استفاده از کود دامی خالص، بالاترین پاراسیمن-۸-اُل به میزان ۲/۴٪ در مصرف ۱۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی، حداکثر صفت مذکور در تیمار شماره ۸ (۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم با ۳۰ تن در هکتار کود دامی) به میزان ۲/۲٪ بدست آمد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی، بیشترین پاراسیمن-۸-اُل را تیمار شماره ۱۴ (کاربرد آزوریزوبیوم و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم در عدم مصرف کود دامی) به میزان ۲٪ به خود اختصاص داد (جدول ۷).

لانگیفولن

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر لانگیفولن در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۶).

در روش تغذیه شیمیایی، بیشترین لانگیفولن به میزان ۶/۶٪ مربوط به تیمار شماره ۵ (کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۱۲۸ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) بود. در استفاده از کود دامی خالص، بالاترین لانگیفولن به میزان ۷/۷٪ در مصرف ۱۰ تن در هکتار کود دامی مشاهده شد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی، همه تیمارها موجب کاهش لانگیفولن نسبت به شاهد شده بودند، بااین‌حال حداکثر لانگیفولن در تیمار شماره ۸ (مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم با ۳۰ تن در هکتار کود دامی) به میزان ۳/۹٪ و تیمار شماره ۶ (۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۹۶ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم با ۱۰ تن در هکتار کود دامی) به میزان ۳/۵٪ بدست آمد. در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی، بیشترین لانگیفولن به میزان ۳/۹٪ از کاربرد آزوریزوبیوم خالص حاصل شد (جدول ۷).

سایر ترکیب‌های موجود در اسانس

اثر روش‌های حاصلخیزی خاک بر کارواکرول معنی‌دار نشد، در حالی که بر درصد لیمونن و سابینن در سطح ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۶). طبق نتایج بدست آمده، درصد لیمونن و سابینن با مصرف مواد حاصلخیزکننده خاک نسبت به شاهد کاهش پیدا کردند (جدول ۷).

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر اجزای اسانس گیاه دارویی سیاه‌دانه

Table 6. ANOVA of soil fertility methods effects on *Nigella sativa* essential oil compounds

S.O.V	df	myrcenol	*ρ*-cymene	*α*-thujene	*ρ*-cymene-8-ol	thymoquinone	longifolene	carvacrol	limonene	sabinene
Block	2	0.39	1.49	1.58	0.03	5.8	1.28	0.19	0.04	0.05
Soil fertility methods	15	2.19*	62.23**	4.26*	0.28*	11.51**	5.97**	0.03ns	0.11*	0.03*
Experimental error	30	1.06	17.14	1.8	0.14	2.96	1.16	0.02	0.09	0.02
C.V. (%)		12.96	8.47	15.31	21.37	16.83	26.76	11.63	15.89	10.87

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

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیر روش‌های حاصلخیزی خاک بر اجزای اسانس گیاه دارویی سیاه‌دانه

Table 7. Means comparison of soil fertility methods effects on *Nigella sativa* essential oil compounds

Soil fertility methods	Treatment	Chemical fertilizer ($kg.ha^{-1}$)			Manure ($ton.ha^{-1}$)	Biofertilizer	myrcenol (%)	*ρ*-cymene (%)	*α*-thujene (%)	*ρ*-cymene-8-ol (%)	thymoquinone (%)
		N	P	K							
Control	1	0	0	0	0	0	5.9c	38.1e	6.1c	1.6bcd	7.3e
Chemical	2	40	32	40	0	0	6.4bc	42.7cde	9ab	2abc	9.8cde
	3	80	64	80	0	0	8.1ab	47.9abcd	8.9ab	1.8abcd	10cde
	4	120	96	120	0	0	7.7abc	48.4abcd	9ab	1.5bcd	9.7cde
	5	160	128	160	0	0	7.3abc	44.6bcde	7.8bc	1.2d	8.6de
Chemical + Manure	6	120	96	120	10	0	8.9a	52.5ab	9.6ab	1.4cd	8.5de
	7	80	64	80	20	0	8.8a	52.4ab	9.7ab	1.7abcd	10.2cde
	8	40	32	40	30	0	7.2abc	51ab	9.6ab	2.2ab	12.2abc
Manure	9	0	0	0	40	0	7.5abc	51.8ab	7.1bc	1.5bcd	13.8ab
	10	0	0	0	30	0	7.6abc	51ab	7.2bc	2abc	14.9a
	11	0	0	0	20	0	8.2ab	50abc	8.2abc	1.6bcd	9.9cde
	12	0	0	0	10	0	8.6a	42.1de	8.7ab	2.4a	7.9de
Biofertilizer	13	0	0	0	0	*Azorhizobium caulinodans*	7.9ab	52.5ab	8.6ab	1.7bcd	9.9cde
	14	40	32	40	0	*A. caulinodans*	8.9a	52.9a	10.5a	2abc	10.9bcd
	15	40	32	40	30	*A. caulinodans*	8.7a	53.3a	10.6a	1.5cd	11.2bcd
	16	0	0	0	30	*A. caulinodans*	8.7a	52.8a	9.4ab	1.6bcd	10.6cde

Similar letters in each column indicate the absence of significant differences between treatments.

ادامه جدول ۷- ...

Continued Table 7. …

Soil fertility methods	Treatment	Chemical fertilizer (kg.ha^{-1})			Manure (ton.ha^{-1})	Biofertilizer	longifolene (%)	carvacrol (%)	limonene (%)	sabinene (%)
		N	P	K						
Control	1	0	0	0	0	0	4.5cde	1.4a	2.3a	1.6a
Chemical	2	40	32	40	0	0	2.9de	1.3a	1.8ab	1.5ab
	3	80	64	80	0	0	3.3de	1.4a	2.1ab	1.4abc
	4	120	96	120	0	0	3.2de	1.2a	2ab	1.5ab
	5	160	128	160	0	0	6.6ab	1.2a	1.8ab	1.4abc
Chemical + Manure	6	120	96	120	10	0	3.5cde	1.4a	2.1ab	1.5abc
	7	80	64	80	20	0	2.9de	1.3a	1.7ab	1.5ab
	8	40	32	40	30	0	3.9cde	1.3a	2.1ab	1.4abc
Manure	9	0	0	0	40	0	3.9cde	1.3a	2.1ab	1.4abc
	10	0	0	0	30	0	5bcd	1.4a	1.9ab	1.2c
	11	0	0	0	20	0	5.4bc	1.4a	1.9ab	1.4abc
	12	0	0	0	10	0	7.7a	1.2a	1.7ab	1.3bc
Biofertilizer	13	0	0	0	0	*Azorhizobium caulinodans*	3.9cde	1.2a	2ab	1.3abc
	14	40	32	40	0	*A. caulinodans*	2.8de	1.2a	1.7ab	1.3abc
	15	40	32	40	30	*A. caulinodans*	3de	1.3a	1.6b	1.3abc
	16	0	0	0	30	*A. caulinodans*	2.9de	1.4a	2ab	1.4abc

Similar letters in each column indicate the absence of significant differences between treatments.

بحث

در بین تیمارهای مورد بررسی، بیشترین عملکرد دانه مربوط به یکی از روش‌های تغذیه تلفیقی (کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به همراه ۳۰ تن در هکتار کود دامی) بود. با توجه به وجود عناصر غذایی در کودهای دامی و تأثیر این کودها بر بهبود فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف و محتوی رطوبتی خاک، افزایش عملکرد دانه منطقی به نظر می‌رسد (Weber *et al*., 2014). در این پژوهش، دلیل افزایش عملکرد دانه در اثر کاربرد کود دامی می‌تواند به‌دلیل فراهمی نیتروژن تا انتهای رشد و رهاسازی تدریجی آن و تطابق آن با نیازهای گیاه باشد (Moradi-Ghahderijani *et al*., 2017). کود دامی با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی در خاک و تأثیر بر ویژگی‌هایی مانند نفوذ آب در خاک، باعث ایجاد شرایط مطلوب‌تری برای رشد گیاه و افزایش عملکرد خواهد شد (Monemizadeh *et al*., 2016). کاربرد مخلوطی از کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به دلیل دسترسی بیشتر گیاه به عناصر غذایی موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود (Kogbe & Adediran, 2003).

در این تحقیق، بیشترین عملکرد اندام هوایی، در روش تلفیق کود شیمیایی با دامی و زیستی (۳۰ تن در هکتار کود دامی همراه با آزوریزوبیوم و مصرف ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم) مشاهده شد. این دستاورد با نتایج سایر محققان مبنی بر برتری روش‌های تلفیقی نسبت به روش‌های شیمیایی و آلی مطابقت دارد (Dadrasan *et al*., 2015). علت افزایش عملکرد ماده خشک در این تیمار از روش تلفیقی، احتمالاً در این است که کودهای زیستی سبب بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک شده و کودهای شیمیایی نیز موجب تأمین عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم مورد نیاز گیاه به‌ویژه در اوایل دوره رشد گیاه می‌شوند. نتیجه این هم‌افزایی، ایجاد شرایط مناسب‌تر برای رشد و نمو گیاه خواهد بود. در تحقیقات انجام شده، افزایش عملکرد اندام هوایی در اثر کاربرد آزوریزوبیوم را به بهبود دسترسی به نیتروژن و افزایش رشد رویشی گیاه نسبت داده‌اند که در نهایت سبب افزایش تجمع ماده خشک می‌شود (Kordi *et al*., 2017). افزایش عملکرد در استفاده از کود زیستی می‌تواند ناشی از وجود جمعیت میکروبی در خاک و به‌دنبال آن ایجاد چرخه مواد غذایی و افزایش حفظ سلامتی ریشه در طول دوره رشد (در رقابت با پاتوژن‌های گیاهی ریشه) و افزایش جذب مواد غذایی باشد (Fazeli-Rostampoor *et al*., 2011). طبق تحقیقات انجام شده، کودهای زیستی دارای توان تولید مواد تحریک کننده رشد گیاه هستند که به نوبه خود از طریق افزایش مواد فتوسنتزی، به افزایش عملکرد منجر می‌شوند (Farnia & Torkman, 2015). کاربرد کود زیستی (باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن) ضمن تأمین بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق افزایش عناصر معدنی، منجر به بهبود عملکرد می‌شود (Mirshekari *et al*., 2010). نتایج محققان نشان داده است که کود بیولوژیک به‌دلیل افزایش طول ریشه و فراهم کردن سطح جذب، سبب بهبود جذب عناصر معدنی مانند نیتروژن و فسفر شده و از این طریق موجب افزایش تعداد برگ، اندازه آنها و شاخص سطح برگ می‌شود (Dalla Santa *et al*., 2004).

بالاترین درصد اسانس نیز از روش تغذیه تلفیقی و زیستی (کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به‌همراه ۳۰ تن در هکتار کود دامی به همراه آزوریزوبیوم) و بالاترین درصد تیموکینون از روش تغذیه آلی (کاربرد فقط ۳۰ تن در هکتار کود دامی) بدست آمد. مواد مؤثره، اگرچه اساساً با هدایت فرایندهای ژنتیکی ساخته می‌شوند، ولی کمّیت و کیفیت آنها به‌طور بارزی تحت تأثیر عوامل محیطی (آب، اقلیم، نور و خاک) قرار می‌گیرند، به‌طوری که عوامل محیطی سبب تغییراتی در رشد و نمو گیاهان دارویی و نیز کمّیت و کیفیت مواد مؤثره آنها می‌شود (Younesian *et al*., 2013). براساس نتایج بدست آمده، مصرف باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن سبب افزایش میزان

اسانس می‌شود. به‌نظر می‌رسد که بهبود بارز میزان اسانس در استفاده از باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن، می‌تواند به علت جذب بیشتر نیتروژن و متعاقب آن دریافت بیوماس و تسریع در پر شدن دانه باشد (Migahed *et al*., 2004). همچنین به‌نظر می‌رسد اثرهای مثبت کود زیستی نیتروژنه از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی سبب افزایش فتوسنتز شده و این موضوع موجب تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و بهبود رشد می‌گردد که در نهایت موجب افزایش اسانس می‌شود (Nasrollahzadeh Asl, 2017). از دلایل افزایش درصد اسانس در اثر کاربرد نیتروژن، می‌توان به فتوسنتز بهتر و تنفس مناسب‌تر اشاره کرد. چون متابولیت‌های ثانویه از فتوسنتز گیاه به‌وجود می‌آیند و فتوسنتز و سبزینه‌گی بهتر، منجر به تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه و تولید اسانس بیشتر می‌شود (Alijani *et al*., 2010). نیتروژن در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید حاوی اسانس، بیوسنتز اسانس و مواد مؤثره گیاهان دارویی نقش مهمی ایفاء می‌کند (Dastborhan *et al*., 2011).

همانگونه که نتایج نشان داد، روش‌های حاصلخیزی خاک بر تعدادی از ترکیب‌های موجود در اسانس نیز مؤثر بود. نتایج بدست آمده از تأثیر کود دامی بر اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس بابونه کبیر حکایت از آن دارد که استفاده از کود دامی به‌دلیل مطابقت داشتن با شرایط طبیعی رشد گیاه، سبب افزایش درصد و کیفیت ترکیب‌های اسانس می‌شود (Barreyro *et al*., 2005). کودهای دامی با توجه به داشتن مزایای قابل توجه مانند نگهداری آب در خاک و داشتن مواد غذایی مقوی، میزان اسانس گیاه را از طریق افزایش رشد رویشی که بیشترین تأثیر را بر اسانس دارد، موجب می‌شوند (Hussein *et al*., 2006). از آنجا که اسانس‌ها ترکیب‌های ترپنوئیدی بوده و بیوسنتز واحدهای سازنده آنها (ایزوپرنوئیدها) نیازمند ATP و NADPH هستند، با توجه به این مطلب که وجود عناصری مانند نیتروژن برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروریست، ازاین‌رو تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه موجب افزایش اسانس گیاه می‌شود (Han & Lee, 2006).

در این تحقیق، بیشترین عملکرد اسانس نیز از روش تغذیه تلفیقی و زیستی (کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به‌همراه ۳۰ تن در هکتار کود دامی به‌همراه آزوریزوبیوم) بدست آمد. تسهیل جذب مواد غذایی توسط باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن و نقش پتاسیم در حفظ تعادل آبی و رشد سلول‌ها، باز و بسته شدن روزنه‌ها و افزایش چشمگیر نیتروژن در افزایش رشد رویشی و اندام سبزینه‌ای گیاه موجب افزایش عملکرد اسانس می‌شود (Puttanna *et al*., 2010؛ Saburi, 2014). با کاربرد کودهای زیستی و در اختیار قرار دادن نیتروژن برای گیاهان، ATP و NADPH بیشتری توسط گیاه تولید شده، در نتیجه انرژی بیشتری برای تولید واحدهای سازنده ترکیب‌های ترپنوئیدی که در تشکیل اسانس نقش دارند مهیا شده و از این طریق موجب افزایش عملکرد اسانس خواهد شد (Rydlova *et al*., 2016). با توجه به تأثیر مثبت ریزجانداران بر جذب عناصر و فراهمی عناصر پرمصرف در تیمارهای تلفیقی، افزایش فتوسنتز و افزایش اسانس در این تیمارها قابل مشاهده است (Abd EL-Azim *et al*., 2017).

به‌عنوان نتیجه‌گیری نهایی می‌توان گفت که حاصلخیزی خاک و تأمین عناصر غذایی گیاه، بر ویژگی‌های کمّی و کیفی گیاهان تأثیر به‌سزایی دارد. در این تحقیق، تیمار شماره ۸ (۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم فسفر و ۴۰ کیلوگرم پتاسیم همراه با ۳۰ تن در هکتار کود دامی) بیشترین تأثیر مثبت را در بهبود عملکرد اقتصادی، تیمار شماره ۱۵ (کاربرد ۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۳۲ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۴۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و ۳۰ تن در هکتار کود دامی به همراه باکتری آزوریزوبیوم) بالاترین اثر را در افزایش عملکرد اندام هوایی، عملکرد اسانس و درصد اسانس داشت و تیمار شماره ۱۰ (فقط کاربرد ۳۰ تن در هکتار کود دامی) که فاقد هر گونه کود شیمیایی بود،

بالاترین اثر را بر افزایش درصد تیموکینون در گیاه سیاه‌دانه نشان داد. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که تلفیق یا استفاده مناسب از منابع مختلف کودی، شرایط مناسبی را برای رشد و نمو گیاه مهیا کرده و ضمن کاهش پیامدهای اقتصادی و زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، موجب افزایش عملکرد اقتصادی، مقدار اسانس و ترکیب‌هایی مانند تیموکینون در گیاه سیاه‌دانه شده است. بنابراین استفاده از تیمارهای مناسب در روش تغذیه تلفیقی، می‌تواند گامی مؤثر در مسیر کشاورزی پایدار باشد.

References

- Abd El-Azim, W., Khater, M., Rania, M.R. and Badawy, M.Y.M., 2017. Effect of Bio-fertilization and different licoric extracts on growth and productivity of *Foeniculum vulgare* Mill. plant. Middle East Journal of Agriculture Research, 06(01): 1-12.
- Alijani, M., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S.A.M. and Mohammad Rezaye, S., 2010. The effects of phosphorous and nitrogen rates on yield, yield components and essential oil percentage of *Matricaria recutita* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 26(1):101-113.
- Alori, E.T., Dare, M.O. and Babalola, O.O., 2017. Microbial inoculants for soil quality and plant health: 281-307. In: Lichtfouse, E., (Ed.). Sustainable Agriculture Reviews. Springer, 328p.
- Barreyro, R., Ringuelet, J. and Agicola, S., 2005. Nitrogen fertilization and yield in oregan (*Origanum x applii*). Ciencia e Investigación Agraria, 32: 34-38.
- Blundell, R., Schmidt, J.E., Lgwe, A., Cheung, A.L., Vannette, R.L., Gaudin, A.C.M. and Casteel, C.L., 2020. Organic management promotes natural pest control through altered plant resistance to insects. Nature Plants, 6: 483-491.
- Cai, A.D., Xu, M.G., Wang, B.R., Zhang, W.J., Liang, G.P., Hou, E.Q. and Luo, Y., 2019. Manure acts as a better fertilizer for increasing crop yields than synthetic fertilizer does by improving soil fertility. Soil and Tillage Research, 189: 168-175.
- Carvalho, W.G., de Pinho Costa, K.A., Epifanio, P.S., Perim, R.C., Teixeira, D.A.A. and Medeiros, L.T., 2016. Silage quality of corn and sorghum added with forage peanuts. Revista Caatinga, 29(2): 465-472.
- Dadkhah, A.R., 2012. Effect of chimicals and bio-fertilizers on yield, growth parameters and essential oil contents of fennel (*Foeniculum vulgare* Miller). Journal of Medicinal Plants and By-Products, 2: 101-105.
- Dadrasan, M., Chaichi, M.R., Pourbabaee, A.A., Yazdani, D. and Keshavarz Afshar, R. 2015. Deficit irrigation and biological fertilizer influence on yield and trigonelline production of fenugreek. Industrial Crops and Products, 77: 156-162.
- Dalla Santa, O.R., Fernandez Hernandez, R. and Michelena Alvarez, G.L., 2004. *Azospirillum* sp. inoculation in wheat, barley and oats seeds greenhouse experiments. Brazilian Archives of Biology and Technology, 47(6): 843-850.
- Dastborhan, S., Zehtab-Salmasi, S., Nasrollahzadeh, S. and Tavassoli, A.R., 2011. Effect of biofertilizers and different amounts of nitrogen on yield of flower and essential oil and nitrogen use efficiency of German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 27(2): 290-305.
- El-Leel, O.F.A., Maraei, R. and Aly, A., 2019. Studying the response of *Nigella sativa* plants to different fertilizers. Analele Universității din Oradea, Fascicula Biologie. 24(1): 4-20.
- Farnia, A. and Torkaman, H., 2015. Effect of different biofertilizers on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.). Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 4(4): 75-79.
- Fazeli-Rostampoor, M., Seghatoleslami, M.J. and Mousavi, GH.R., 2011. Effect of water stress and polymer (superjazeb A200) on yield and water use efficiency of corn (*Zea mays* L.) in Birjand region. Journal of Agronomy, 2(1): 11-19.
- Goldani, M., Zare, H. and Kamali, M., 2016. The effect of different levels of nitrogen and phosphorus on aerial and underground growth indices of *Echinacea purpurea*. Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries). 30(3): 366-375.

Apium graveolens under calcareous soil. Arab Universities Journal of Agricultural Science, 12(2): 511-525.
- Mirshekari, B., Asadi Rahmani, H. and Mirmozafari Rodsari, A., 2010. The effect of seed inoculation with *Azospirillum* strains and coating with microelements on seed yield and essence of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 25(4): 470-481
- Monemizadeh, Z., Ghasemi, M. and Sadrabadi, R., 2016. Review on importance and Effects of organic fertilizers on cultivation of saffron (*Crocus sativus* L.). Journal of Land Management, 4(1): 55-77.
- Moradi-Ghahderijani, M., Jafarian, S. and Keshavarz, H., 2017. Alleviation of water stress effects and improved oil yield in sunflower by application of soil and foliar amendments. Rhizosphere, 4: 54-61.
- Nasrollahzadeh Asl, A., 2017. Effects of nitrogen and phosphate biofertilizers on morphological and agronomic characteristics of sesame (*Sesamum indicum* L.). Open Journal of Ecology, 7(2): 101-111.
- Noorzad, S., Ahmadian, A., Moghadam, M. and Daneshfar, E., 2014. The effect of drought stress on yield, yield components and essential oil of coriander under the influence of organic and chemical fertilizers. Journal of Crop Improvment, 16(2): 302-289.
- Pandey, V., Patel, A. and Patra, D.D., 2016. Integrated nutrient regimes ameliorate crop productivity, nutritive value, antioxidant activity and volatiles in basil (*Ocimum basilicum* L.). Industrial Crops and Products, 87: 124-131.
- Parsamotlagh, B., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R. and Azami Sardoei, Z., 2017. Investigation of some phytochemical traits of sour tea plant (*Hibiscus sabdariffa* L.) under the influence of different feeding systems and irrigation water. Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research, 33 (6): 940-928.
- Puttanna, K., Prakasa Rao, E.V.S., Singh, R. and Ramesh, S., 2010. Influence of nitrogen and potassium fertilization on yield and quality of rosemary in relation to harvest number. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 41(2): 190-198.
- Rahmani, A., Sharifi Ashurabadi, E., Ebrahimi, A. and Mirza, M., 2021. Investigation of the effect of soil
- Gu, X.B., Cai, H.J., Du, Y.D. and Li, Y.N., 2019. Effects of film mulching and nitrogen fertilization on rhizosphere soil environment, root growth and nutrient uptake of winter oilseed rape in northwest China. Soil and Tillage Research, 187: 194-203.
- Hadian, J., Esmaeili, H., Nadjafi, F. and Khadivi-Khub, A., 2014. Essential oil characterization of *Satureja rechingeri* in Iran. Industrial Crops and Products, 61: 403-409.
- Han, H.S. and Lee, K.D., 2006. Effect of inoculation with phosphate and potassium co-in solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Plant, Soil & Environment, 52: 130-136.
- Heidari, Z., Besharati, H. and Maleki Farahani, S., 2014. Effect of some chemical fertilizer and biofertilizer on quantitative and qualitative characteristics of saffron. Saffron Agronomy and Technology, 2(3): 187-189.
- Hussein, M.S., EL-Sherbeny, S.E., Khalil, M.Y., Naguib, N.Y. and Aly, S.M., 2006. Growth characters and chemical constituents of *Dracocephalum moldavica* L. plant in relation to compost fertilizer and planting distance. Science Horticulture (Amsterdam), 108(3): 322-331.
- Kogbe, J.O.S. and Adediran, J.A., 2003. Influenced of nitrogen, phosphorus and potassium application on the yield of maize in savanna zone of Nigeria. African Journal of Biological Sciences, 2: 345-349.
- Kordi, S., Shafagh Kolvanagh, J., Zehtab Salmasi, S. and Daneshvar, M., 2017. Evaluation of yield and some physiological traits of forage corn affected by chemical and biological nitrogen fertilizers intercropped with sweet basil. Journal of Central European Agriculture, 18(2): 477-493.
- Liu, R. and Lal, R., 2015. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. Science of the Total Environment, 514: 131-139.
- Mazaheri, Y., Torbati, M., Azadmard- Damirchi, S. and Savage, G.P., 2019. A comprehensive review of the physicochemical, quality and nutritional properties of *Nigella sativa* oil. Food Reviews International 35(4): 342-362.
- Migahed, H.A., Ahmed, A.E. and Abdel Ghany, B.F., 2004. Effect of different bacterial strains as biofertilizer agents on growth, production and oil of

fertility methods on yield and yield components of *Hyssopus officinalis* L. in different strata. Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(1): 83-97.

- Rydlova, J., Jelinkova, M., Dusek, K., Duskova, E., Vosatka, M. and Puschel, D., 2016. Arbuscular mycorrhiza differentially affects synthesis of essential oils in coriander and dill. Mycorrhiza, 26(2): 123-131.
- Saburi, M., 2014. Effects of amino acids and nitrogen fixing bacteria on quantitative yield and essential oil content of basil (*Ocimum basilicum*). Agriculture Science Developments, 3(8): 265-268.
- Tehrani Sharif, H., Sharifi Ashurabadi, A., Tajli, H.A. and Makizadeh Tafti, M., 2015. The effect of different nutritional systems on the quantitative and qualitative characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research, 31(2): 306-283.
- Weber, J., Kocowicz, A., Bekier, J., Jamroz, E., Tyszka, R., Debicka, M., Parylak, D. and Kordas, L., 2014. The effect of a sandy soil amendment with municipal solid waste (MSW) compost on nitrogen uptake efficiency by plants. European Journal of Agronomy, 54: 54-60.
- Yang, Y.C., Lee, H.S., Lee, S.H., J., Clark, M.C. and Ahn, Y.J., 2005. Ovicidal and adulticidal activities of *Cinnamomum zeylanicum* bark essential oil compounds and related compounds against Pediculus humanus capitis (Anoplura: Pediculicidae). International Journal for Parasitology, 35(14): 1595-1600.
- Younesian, A., Rezvani Moghaddam, P. and Gholami, A., 2013. The effect of biological, organic and chemical fertilizers on the quantity and quality of fennel essential oil (Fo*eniculum vulgare*). Plant Production Technology, 13(2): 72-63.

Effects of plant nutrition on economic yield and essential oil composition of *Nigella sativa* L.

J. Maleki[1], E. Sharifi Ashourabadi[2*], M. Mirza[3], H. Heydari Sharif Abad[4] and M.H. Lebaschy[3]

1- Ph.D. student, Department of Agronomy and Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran
2*- Corresponding author, Medicinal Plants Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: Sharifie2015@gmail.com
3- Medicinal Plants Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
4- Department of Agronomy and Horticulture, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industry, Science and Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran

Received: July 2021 Revised: December 2021 Accepted: January 2022

Abstract

To investigate the effects of soil fertility methods on economic yield and essential oil compositions of *Nigella sativa* L., an experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications. Experimental treatments included different levels of NPK chemical fertilizer, manure, NPK+ manure, and NPK+ manure+ inoculation of Azorizobium biofertilizer. Seed yield, aerial parts yield, and percentage, yield, and essential oil compounds were studied. The results showed that the highest seed yield (1270.43 $kg.ha^{-1}$) was obtained in the 40 $kg.ha^{-1}$ N+ 32 $kg.ha^{-1}$ P+ 40 $kg.ha^{-1}$ K+ 30 $ton.ha^{-1}$ manure treatment. The highest percentage (0.25%) and essential oil yield (2.8 $kg.ha^{-1}$) was obtained in the 40 $kg.ha^{-1}$ N+ 32 $kg.ha^{-1}$ P+ 40 $kg.ha^{-1}$ K+ 30 $ton.ha^{-1}$ manure+ Azurizobium treatment. The highest thymoquinone percentage (14.9%) was observed in the 30 $ton.ha^{-1}$ manure treatment. Overall, the integrated and biological treatments had the most positive effects on seed yield and essential oil percentage of *N. sativa*. The use of suitable fertilizer sources not only increased the yield, essential oil percentage, and thymoquinone content in *Nigella sativa*, but also reduced the consequences of excessive use of chemical fertilizers. The use of integrated fertilization methods is an effective step to achieve the sustainable agriculture goals.

Keywords: Medicinal plants, chemical fertilizers, manure, biofertilizer, *Azorhizobium*.