



Effect of Combining Organic-Chemical Fertilizers and Biofertilizers on Yield, Essential Oil Quality, and Efficiency of some Elements Absorption in Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)

Maedeh Ataeinejad¹, Mohammadreza Moradi-Telavat^{ID 1*}, Seyed Ataollah Siadat^{ID 1}, Ali Moshattati^{ID 1} and Ali Ghatel^{ID 1}

1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran

(*- Corresponding author's Email: moraditelavat@asnrukh.ac.ir)

Received: 27-12-2025
Revised: 29-04-2026
Accepted: 09-05-2026
Available Online: 04-04-2026

How to cite this article:

Ataeinejad, A., Moradi-Telavat, M., Siadat, S. A., Moshattati, A., & Ghatel, A. (2026). Effect of combining organic-chemical fertilizers and biofertilizers on yield, essential oil quality, and efficiency of some elements absorption in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Agroecology*, 18(1), 119-138. (In Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.97091.1266>

Introduction

Given the diversity of climate and vegetation in Iran, it has provided a great potential for entering the market of medicinal plants and herbal medicines (AmirTeimori et al., 2011). Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) is one of the oldest medicinal and spice plants in Iran and worldwide, and is widely used in the food, pharmaceutical, cosmetic, and health industries today (Omid Beigi, 2013). Managing fertilizer use, including chemical fertilizers, affects the performance of medicinal plants. Proper nutrition and absorption of essential elements, and improving their concentration in the seed, play a significant role in increasing the quantitative and qualitative performance of the medicinal plant fennel (Kapoor et al., 2004). The present study was designed and implemented with the aim of evaluating the effect of different chemical, organic, and biological nutritional systems on the yield and nutrient absorption of fennel.

Materials and Methods

The experiment was conducted in a split-plot randomized complete block design with three replications during the 2023-2024 crop year at the research farm of Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Khuzestan, Iran. In the main plots, the levels of Urea nitrogen fertilizer and sugarcane residue compost were: A₁: control, A₂: 150 kg.ha⁻¹ nitrogen; A₃: 112.5 kg.ha⁻¹ nitrogen + 8 t.ha⁻¹ sugarcane compost, A₄: 75 kg.ha⁻¹ nitrogen + 16 t.ha⁻¹ sugarcane compost, A₅: 37.5 kg.ha⁻¹ nitrogen + 24 t.ha⁻¹ sugarcane compost, and A₆: 32 tons/ha sugarcane compost. In the subplots, the seed inoculation treatment with Biofarm biofertilizer was investigated, with B₀ as the control and B₁ as the treatment. The studied traits included grain yield, biological yield, essential oil percentage and yield, nitrogen percentage and absorption, nitrogen efficiency indices, phosphorus, potassium, iron, and zinc percentage.



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

 <https://doi.org/10.22067/AGRY.2026.97091.1266>

Results and Discussion

The highest seed yield was obtained in the A₄B₀ and A₂B₁ treatment levels (998 and 938 kg.ha⁻¹). The highest percentage of essential oil was obtained in the A₂ treatment level (2.26%), and the highest yield of fennel essential oil was obtained in the A₂B₁ treatment level (13.22 kg.ha⁻¹). The highest percentage and absorption of nitrogen were obtained in the A₂ treatment level (2.35%) and (68.01 kg.ha⁻¹), respectively. The highest agronomic efficiency of nitrogen was obtained in the A₄B₀ treatment level (6.85 kg.kg⁻¹). The highest phosphorus and potassium content of the whole plant was obtained in the A₅ treatment level (50.8 and 193.75 mg.kg⁻¹), respectively, and the highest iron and zinc concentration of the whole plant was obtained in the A₆ treatment level (3.01 and 0.56 mg.kg⁻¹) of dry matter.

Conclusion

In the present experiment, the highest grain yield was obtained with the application of 75 kg.ha⁻¹ of nitrogen and 16 tons.ha⁻¹ of sugarcane compost, which showed no significant difference from the application of 150 kg.ha⁻¹ of nitrogen. Also, the highest biological and essential oil yields were obtained with the application of 150 kg.ha⁻¹ of nitrogen and biofertilizer. In fact, the application of chemical nitrogen fertilizer in combination with organic fertilizer (sugarcane compost) and the application of biofertilizer increased grain yield and essential oil, and increased the absorption of low- and high-consumption elements required by the fennel plant. It also had similar effects on yield to the application of chemical fertilizers, which can replace combined fertilizers.

Keywords: Biological fertilizer, Medicinal plant, Nitrogen, Sugarcane compost

مقاله پژوهشی

جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، ص ۱۱۹-۱۳۸

اثر تلفیق کودهای آلی-شیمیایی و کود زیستی بر عملکرد، کیفیت اسانس و کارایی جذب برخی عناصر در رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)

مأنده عطایی نژاد^۱، محمدرضا مرادی تلاوت^{۱*}، سید عطاءاله سیادت^۱، علی مشتقی^۱ و علی قاطعی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۹

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تأثیر سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای شیمیایی، آلی و زیستی بر عملکرد و جذب عناصر غذایی تو سط گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. در کرت‌های اصلی سطوح تلفیق کود نیتروژن و کمپوست بقایای نیشکر شامل A₁: شاهد، A₂: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن (اوره)، A₃: ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۸ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₄: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₅: ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۲۴ تن در هکتار کمپوست نیشکر و A₆: ۳۲ تن در هکتار کمپوست نیشکر، در کرت‌های فرعی نیز تیمار تلفیق بذر با کود زیستی بیوفارم شامل B₀: شاهد و B₁: تیمار بررسی شد. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد و عملکرد اسانس، درصد و جذب نیتروژن، شاخص‌های کارایی نیتروژن، درصد فسفر، پتاسیم، آهن و روی بود. بیش‌ترین عملکرد دانه در سطح تیمار A₄B₀ و A₂B₁ (به‌مقدار ۹۹۸ و ۹۳۸ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. بیش‌ترین درصد اسانس در سطح تیمار A₂ (به‌میزان ۲/۲۶ درصد) و بیش‌ترین عملکرد اسانس رازیانه نیز مربوط به سطح تیمار A₂B₁ (به‌میزان ۱۳/۲۲ کیلوگرم در هکتار) بود. بیش‌ترین درصد جذب نیتروژن در سطح تیمار A₂ (به‌ترتیب ۲/۳۵ درصد و ۶۸/۰۱ کیلوگرم در هکتار) بود. بالاترین مقدار کارایی زراعی نیتروژن مربوط به سطح تیمار A₄B₀ (به‌میزان ۶/۸۵ کیلوگرم بر کیلوگرم) بود. بیش‌ترین مقدار جذب فسفر و پتاسیم کل بوته در سطح تیمار A₅ (به‌ترتیب به‌مقدار ۵۰/۸ و ۱۹۳/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بیش‌ترین غلظت آهن و روی کل بوته در سطح تیمار A₆ (به‌ترتیب به‌مقدار ۳/۰۱ و ۰/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ماده خشک بود. در آزمایش حاضر، بیش‌ترین عملکرد دانه با کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر حاصل شد که اختلاف معنی‌داری با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن نداشت، همچنین بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک و اسانس با مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و با کاربرد کود زیستی به دست آمد. در واقع، اعمال کود شیمیایی نیتروژن در تلفیق با کود آلی کمپوست نیشکر و نیز کاربرد کود زیستی سبب افزایش عملکرد دانه و اسانس و افزایش جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف مورد نیاز گیاه رازیانه شد. همچنین اثرات مشابهی در افزایش عملکرد نسبت به کاربرد کودهای شیمیایی داشت که از این طریق می‌توان کودهای تلفیقی را با کودهای شیمیایی جایگزین کرد.

واژه‌های کلیدی: کمپوست نیشکر، کود بیولوژیک، گیاه دارویی، نیتروژن

مقدمه

نقش مهمی دارند. گیاهان دارویی از دیرباز برای درمان بیماری‌های مختلف استفاده می‌شدند (Lopes-Lutz et al., 2008). روی آوردن دنیا، به‌خصوص کشورهای پیشرفته به استفاده از داروهایی با منشأ طبیعی، موجب توسعه روزافزون تولید گیاهان دارویی، فرآوری، مصرف

کاشت گیاهان دارویی از گذشته تاکنون جایگاه ویژه‌ای در نظام‌های زراعی ایران دارد و این نظام‌ها از نظر ایجاد تنوع و پایداری

۱- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران
(*)- نویسنده مسئول: (Email: moraditelavat@asnrukh.ac.ir)

و تجارت آن در سطح دنیا شده است (Kashfi Bonab, 2010). این امر با توجه به تنوع اقلیمی و پوشش گیاهی ایران، توان بسیار خوبی را برای وارد شدن به بازار تجارت گیاهان دارویی و داروهای گیاهی فراهم کرده است (AmirTeimori et al., 2011). رازیانه با نام علمی *Foeniculum vulgare* Mill. از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی و ادویه‌ای ایران و جهان است که امروزه از آن در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی استفاده فراوانی می‌شود. رازیانه، گیاهی مدیترانه‌ای است و کشت این گیاه در مناطق با آب‌وهوای گرم موفقیت آمیز است. دمای حداقل برای جوانه‌زنی بذر این گیاه شش تا هشت درجه سلسیوس است، ولی درجه حرارت مطلوب برای جوانه‌زنی ۱۵ تا ۱۶ درجه سلسیوس می‌باشد (Omid Beigi, 2013).

کشاورزی پایدار شامل مدیریت موفق منابع طبیعی و حفظ آن‌ها است (Zortea et al., 2018). کشاورزی ارگانیک به عنوان یک اولویت مهم در سطح جهان، ناشی از افزایش تقاضا برای مواد غذایی سالم، ضرورت پایداری بلندمدت تأمین غذا و نگرانی از آلودگی محیط زیست ناشی از مصرف بی‌رویه مواد شیمیایی است. به نظر می‌رسد تغذیه اکولوژیک گیاهان دارویی از طریق کاربرد کودهای آلی و بیولوژیک، بیشترین تطابق را با اهداف تولید این گیاهان داشته و منجر به بهبود عملکرد کمی و کیفی آن‌ها گردد. (Ratti et al., 2001). حاصلخیزی خاک یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده رشد و عملکرد گیاهان دارویی به حساب می‌آید (Chatterjee, 2002). در واقع، با توجه به آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از استفاده از کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای آلی و زیستی می‌تواند برای حفظ حاصلخیزی اراضی مورد استفاده قرار گیرد.

مدیریت مصرف کودها از جمله کودهای شیمیایی بر عملکرد گیاهان دارویی تأثیر دارد. تغذیه و جذب مناسب عناصر پرمصرف و بهبود غلظت آن‌ها در دانه، نقش بسزایی در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی رازیانه دارد (Kapoor et al., 2004). عناصر غذایی نه تنها بر بهبود کمیت محصول از جمله گیاهان دارویی مؤثر هستند، بلکه کیفیت محصول را نیز تحت تأثیر قکرار می‌دهند. عنصر نیتروژن بر رشد، عملکرد و کیفیت گیاهان زراعی اثر زیادی دارد (Shafeei et al., 2023). کود نیتروژن باعث افزایش تعداد دانه در بوته گیاهان خانواده چتریان شده و در افزایش عملکرد دانه مؤثر است (Akbarinia et al., 2004). در آزمایش صفایی و همکاران (Shafeei et al., 2023)، کاربرد نیتروژن خالص تا ۱۲۰ کیلوگرم

سبب افزایش عملکرد دانه رازیانه شد، همچنین گزارش شد که کاربرد مقادیر بالای کود نیتروژن سبب کاهش درصد و عملکرد اسانس رازیانه شد. در آزمایش تبریزی (Tabrizi, 2005) روی گیاه اسفزه (*Plantago ovata* L.) و آزمایش میرشکاری و فرحوش (Mirshekari & Faravash, 2009) روی گیاه رازیانه، با افزایش کاربرد کود نیتروژن، عملکرد دانه این گیاهان افزایش یافت. کیانی و همکاران (Kiani et al., 2014) دریافتند که کاربرد مقادیر بالای کود نیتروژن سبب افزایش میزان اسانس گیاه رازیانه شد.

یکی از مهم‌ترین راهکارهای استفاده از ضایعات نیشکر در کشور، تولید بیوکمپوست می‌باشد که به عنوان کودآلی و جایگزین کودهای شیمیایی در گلخانه‌ها و مزارع استفاده می‌شود (Ismayana et al., 2013). کمپوست نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) یک ماده آلی پیت‌مانند است که سبب نرمی بافت خاک و افزایش تهویه و ظرفیت نگهداری آب می‌شود (Ali khani & Savagebi, 2014). کمپوست بقایای نیشکر تأثیر بسزایی در تأمین موادآلی، اثر بر غلظت عناصر ریزمغذی، افزایش ظرفیت تبادلات کاتیونی و اصلاح حاصلخیزی خاک دارد (Herwijnen et al., 2007; Alburquerque et al., 2007). عناصر ریزمغذی در گیاهان به مقدار کم استفاده می‌شوند، ولی اثرات مهمی بر جای می‌گذارند. این عناصر در صورت کمبود گاهی به عنوان محدودکننده جذب سایر عناصر غذایی و رشد می‌توانند عمل کنند (Malakouti & Tehrani, 1999). مکوندی و همکاران (Makvandi et al., 2025) گزارش کردند که کمپوست بقایای نیشکر سبب افزایش ماده آلی خاک شد. براساس آزمایش موقتیان و همکاران (Movaghatian et al., 2014)، کاربرد کمپوست بقایای نیشکر به همراه N₁₂₀-P₁₂₀-K₉₆ کود شیمیایی سبب افزایش عملکرد دانه رازیانه شد، به طوری که بیش‌ترین میزان عملکرد دانه رازیانه ۱۹۲/۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد، همچنین گزارش شد که استفاده از کودهای شیمیایی شامل ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن، ۱۲۰ کیلوگرم فسفر و ۹۶ کیلوگرم پتاسیم در هکتار در تلفیق با ۲۰ تن کمپوست ضایعات نیشکر در هکتار سبب افزایش مقدار نیتروژن و فسفر موجود در کمپوست و سبب افزایش رشد گیاه رازیانه شد. در سایر مطالعات انجام شده، نقش مثبت کودهای آلی در افزایش عملکرد اسانس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی رازیانه به اثبات رسیده است (Shahat et al., 2011).

با توجه به اثرات تخریبی کودهای شیمیایی نیتروژنه بر خاک‌های

زراعی، نیاز به اصلاح مصرف آن‌ها ضروری است. استفاده از کودهای زیستی از جمله باکتری‌ها و قارچ‌ها به عنوان راه حل بسیار مناسب می‌تواند در کاهش مصرف کودهای نیتروژنه مؤثر باشد (Vali Beigi & Adavi, 2017). نتایج آزمایش ولی‌بیگی و عدوی (Vali Beigi & Adavi, 2017) حاکی از آن بود که کاربرد کود زیستی/زئوباکتر و آزوسپیریلوم به همراه کود شیمیایی نیتروژنه می‌تواند راهکاری در جهت کاهش مصرف کود شیمیایی نیتروژنه باشد، ضمن آنکه از تخریب و آلودگی‌های زیستی ناشی از مصرف بالای این نهاده شیمیایی نیز جلوگیری می‌شود. در آزمایش شباهنگ و همکاران (Shabahang et al., 2013)، به منظور بررسی اثر هم‌زیستی میکوریزایی و سطوح کود نیتروژن بر اجزای عملکرد، عملکرد دانه و اسانس دو گونه دارویی رازیانه گزارش شد که تلقیح بذر رازیانه با میکوریزا به دلیل توسعه سیستم ریشه‌ای و فراهمی عناصر غذایی به ویژه فسفر باعث بهبود عملکرد کمی و کیفی هر دو گونه دارویی رازیانه در مقایسه با شاهد شد. همچنین مصرف نیتروژن نیز با افزایش رشد رویشی منجر به بهبود فتوسنتز و عملکرد کمی شد، ولی کاهش درصد اسانس را به دنبال داشت. در پژوهشی روی رازیانه، کاربرد کود زیستی سبب افزایش میزان کربوهیدرات، عملکرد اسانس و میزان آنتول اسانس شد (Mahfouz & Sharaf-Eldin, 2007).

به‌طور کلی، آزمایش حاضر در راستای اهداف کشاورزی پایدار و ارگانیک، با هدف تأثیر انواع سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای بر عملکرد دانه و اسانس و جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف توسط گیاه رازیانه و نیز کاهش مصرف کودهای شیمیایی به واسطه استفاده از کودهای آلی و بیولوژیک طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به صورت کرت‌های

خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در کرت‌های اصلی، سطوح تلفیق کود نیتروژن (از منبع اوره) و کمپوست بقایای نیشکر شامل A₁: شاهد، A₂: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، A₃: ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۸ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₄: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₅: ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۲۴ تن در هکتار کمپوست نیشکر و A₆: ۳۲ تن در هکتار کمپوست نیشکر بررسی شد. تعیین سطوح تیمارها با توجه به مطالعات قبلی که در منطقه انجام شده بود از جمله بهترین سطح مصرف کود شیمیایی نیتروژن در منطقه (Kiani et al., 2015; Moradi Telavat et al., 2019) و همچنین مدیریت مصرف کودهای آلی با توجه به میزان ذخایر نیتروژن در این کودها و پیش‌بینی روند آزادسازی ۲۰ تا ۴۰ درصد نیتروژن بسته به دما و رطوبت منطقه در طول فصل رشد صورت گرفت (Siadat & Moradi Telavat, 2018). خصوصیات خاک مورد آزمایش در جدول ۱ و خصوصیات کود کمپوست بقایای نیشکر در جدول ۲ ارائه شده است.

در کرت‌های فرعی نیز تیمار تلقیح بذر با کود زیستی بیوفارم شامل B₀: شاهد (عدم تلقیح بذر با بیوفارم) و B₁: تیمار (تلقیح بذر با بیوفارم) بررسی شد. کود زیستی مورد استفاده در این آزمایش (با نام تجاری بیوفارم)، شامل باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (زئوباکتر و آزو سپیریلوم) و باکتری تثبیت‌کننده فسفات (سودوموناس) بود که از شرکت فناوری زیستی مهرآسیا تهیه گردید. تعداد سلول زنده در هر گرم مایه تلقیح ۱۰^۸ عدد باکتری بود. با توجه به راهنمای استفاده از محصول، مقدار یک تا دو لیتر کود زیستی بیوفارم در هر هکتار مد نظر قرار داده شد. در تیمارهای کاربرد باکتری‌های محرک رشد، بذور در شرایط بدون نور و در زمان قبل از کاشت با مایه تلقیح باکتری به‌روش بذر مال آغشته شد و سپس بذرها در سایه خشک شده و بلافاصله کشت انجام گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی متر
Table 1- Physical and chemical properties of the soil at a depth of 0-30 cm

بافت (%) (لوم سیلتی) Texture (%) (Silty loam)			پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن N (%)	کربن آلی Organic C (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	عمق نمونه برداری Depth
Clay	Silt	Sand							
23	50	27	119	7.2	0.0217	0.51	7.9	5.08	0-30 cm

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی کمپوست بقایای نیشکر

Table 2- Physicochemical characteristics of sugarcane residue compost

پتاسیم	فسفر	نیتروژن	ماده آلی	اسیدیته	هدایت الکتریکی
K (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	N (%)	Organic matter (%)	pH	EC (dS.m ⁻¹)
2000	72	1	35.80	7.5	3.5

اسانس، مقدار ۵۰ گرم از دانه خشک رازیانه، به همراه یک لیتر آب مقطر، در دستگاه کلونجر قرار گرفت و به روش تقطیر با آب به مدت چهار ساعت فرآیند اسانس‌گیری انجام شد (Sefidkon, 2001). عملکرد اسانس نیز از حاصل ضرب مقدار اسانس در عملکرد دانه به دست آمد. جهت اندازه‌گیری درصد نیتروژن کل بوته‌ها از روش (Bremner, 1996) هضم با اسیدسولفوریک و بعد تیتراسیون با دستگاه کج‌لدال استفاده شد و برای محاسبه شاخص‌های کارایی نیتروژن از معادله‌های زیر استفاده شد (Lopez- Bellido & Lopez- Bellido, 2001; Fageria, 2009).

معادله (۱) = کارایی زراعی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)

عملکرد کرت بدون مصرف نیتروژن - عملکرد کرت با مصرف نیتروژن

مقدار مصرف نیتروژن

معادله (۲) = جذب نیتروژن در واحد سطح مزرعه (کیلوگرم در هکتار)

عملکرد ماده خشک × درصد نیتروژن کل بوته

100

معادله (۳) = بازیافت ظاهری نیتروژن (درصد)

جذب نیتروژن در واحد سطح بدون مصرف نیتروژن - جذب نیتروژن در واحد سطح با مصرف نیتروژن

مقدار مصرف نیتروژن

×100

معادله (۴) = کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)

عملکرد بیولوژیک بدون مصرف نیتروژن - عملکرد بیولوژیک با مصرف نیتروژن

جذب نیتروژن در واحد سطح بدون مصرف نیتروژن - جذب نیتروژن در واحد سطح با مصرف نیتروژن

جهت اندازه‌گیری فسفر کل بوته نیز از روش اولسن و سومر (Olsen & Sommer, 1982) و روش کلریمتری (رنگ زرد مولیبدات واناتات) به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد (Murphy & Riley, 1962). اندازه‌گیری پتاسیم کل بوته نیز توسط دستگاه فیلم‌فوتومتر به روش روحانی‌پور (Rouhanipour, 2010) انجام گردید. اندازه‌گیری عناصر روی و آهن بوته نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی صورت گرفت (Waling et al., 1989). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها، با استفاده از

کشت به صورت مسطح (کرتی) در عمق یک سانتی‌متری خاک، با تراکم ۱۳ بوته در مترمربع در تاریخ ۲۳ آبان سال ۱۴۰۲ انجام گردید. باتوجه به شرایط اقلیمی، مقدار بذر رازیانه برای هر هکتار ۸ تا ۱۰ کیلوگرم در نظر گرفته می‌شود (Lebaschy et al., 2010). آبیاری متناسب با نیاز گیاه، رطوبت خاک و شرایط آب‌وهوایی منطقه انجام گردید بر این اساس، با توجه به شرایط مطلوب آب‌وهوایی در سال اجرای آزمایش و وقوع بارندگی‌های مؤثر در ماه‌های پاییز و زمستان و اوایل بهار (فصل رشد گیاه در منطقه)، آبیاری چنددانی صورت نگرفت و فقط یک مرتبه آبیاری تکمیلی در فصل بهار (پس از تبخیر حدود ۱۰۰ میلی‌متر آب از تشتک تبخیر) به کار برده شد. وجین علف‌های هرز در چندین مرحله به صورت دستی انجام گردید. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در تاریخ ۱۵ خرداد ۱۴۰۳، برداشت به صورت دستی و کف‌بر با داس، از سطح زمین انجام شد. طول و عرض هر کرت فرعی سه متر و شامل شش ردیف کشت با فاصله ۴۰ سانتی‌متری از یکدیگر و به طول یک متر مدنظر قرار داده شد. فاصله دو بوته روی ردیف نیز ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بین هر واحد آزمایشی یک فاصله یک متری و بین هر بلوک فاصله ۱/۵ متری بود. از شش ردیف کشت شده، برداشت از ردیف‌های سوم و چهارم جهت ارزیابی صفاتی نظیر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد و عملکرد اسانس، درصد و جذب نیتروژن، شاخص‌های کارایی نیتروژن، درصد فسفر، پتاسیم، آهن و روی انجام گردید.

جهت اندازه‌گیری صفات جذب عناصر توسط گیاه رازیانه، پنج بوته به صورت تصادفی از ردیف‌های سوم و چهارم انتخاب و اندازه‌گیری‌های مذکور انجام شد. بلافاصله پس از برداشت نمونه‌ها از ردیف‌های مربوط به عملکرد نهایی (خطوط سوم و چهارم پس از حذف نیم‌متر حاشیه خطوط کاشت از بالا و پایین) وزن خشک آن‌ها تحت عنوان عملکرد بیولوژیک تعیین گردید.

پس از جدا کردن دانه‌های موجود در هر چتر و خشک شدن آن‌ها در هوای آزاد، وزن آن‌ها جهت تعیین عملکرد اقتصادی (عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار) اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین کمی

نرم افزار سیستم SAS نسخه ۹/۴ صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز توسط آزمون Duncan در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: اثر کود تلفیقی و اثر متقابل آن با کود زیستی بر عملکرد دانه به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار شد (جدول ۳). بیشترین میزان عملکرد دانه در سطوح تیمارهای ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر بدون اعمال کود زیستی (A_4B_0)، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص تحت تأثیر کود زیستی (A_2B_1) و ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۸ تن در هکتار کمپوست نیشکر تحت تأثیر کود زیستی (A_3B_1) به ترتیب به میزان ۹۹۸، ۹۳۸ و ۹۱۱ کیلوگرم در هکتار بود. کمترین میزان عملکرد دانه نیز مربوط به سطح شاهد بدون اعمال کود زیستی به میزان ۴۰۳ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴).

نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که در بذور تلقیح نشده، کاربرد کود نیتروژن تنها یا نیتروژن در تلفیق با کود آلی کمپوست نیشکر سبب افزایش معنی دار عملکرد دانه در مقایسه با شاهد شد، به طوری که عدم کاربرد کود کمترین عملکرد دانه و کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر بیشترین عملکرد دانه را به میزان ۲/۴۷ برابر نسبت به شاهد تولید کرد. در بذور تلقیح یافته با باکتری هم کاربرد نیتروژن تنها یا در ترکیب با کمپوست، عملکرد را نسبت به شاهد به طور معنی دار افزایش داد، به طوری که کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص سبب افزایش ۲/۳۳ برابر عملکرد و کاربرد ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۸ تن در هکتار کمپوست نیشکر بیشترین عملکرد دانه را به میزان ۲/۲۶ برابر نسبت به شاهد تولید کردند. این تیمارها ترکیبی از سطوح مناسب نیتروژن، کمپوست و یا اثر مثبت کود زیستی را داشته‌اند که منجر به تأمین بهتر نیازهای غذایی گیاه و بهبود شرایط رشد شده است. اعمال کود زیستی به تنهایی، عملکرد دانه بذور تلقیح شده را نسبت به بذور تلقیح نشده افزایش داد، اما با کاربرد مقادیر بالای کود کمپوست نیشکر (۲۴ و ۳۲ تن در هکتار) هم در حالت تلقیح و هم بدون تلقیح عملکرد دانه کاهش یافت. این موضوع احتمالاً ناشی از کاهش بیش از حد کود شیمیایی نیتروژن بوده است که نشان

می‌دهد، در تلفیق کودهای آلی و شیمیایی در آزمایش حاضر، لازم است که اتکای عملکرد محصول به کود شیمیایی و تأثیر فوری و قابل توجه این نوع کود مورد توجه قرار گیرد (Ayneband et al., 2020). کاربرد تلفیقی ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص + ۱۶ تن در هکتار کود آلی کمپوست نیشکر عملکرد مشابهی با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص به هنگام تلقیح بذور در افزایش عملکرد دانه رازیانه داشت، در واقع احتمالاً کود کمپوست با بهبود کلی شرایط خاک و تغذیه گیاه، بهینه سازی جذب نیتروژن را فراهم کرده و موجب شده است که با مقدار کمتری نیتروژن خالص، عملکرد بالایی حاصل شود. نتایج موقتیان و همکاران (Movaghathian et al., 2014) نشان داد که کاربرد کودهای کمپوست بقایای نیشکر به همراه $N_{120}-P_{120}-K_{96}$ کود شیمیایی سبب افزایش عملکرد دانه رازیانه شد، به طوری که بیشترین میزان عملکرد دانه رازیانه ۱۹۲/۲ کیلوگرم در هکتار شد و از نظر تأثیر کاربرد کود زیستی بیوسولفور نیز عملکرد دانه رازیانه افزایش یافت. براساس گزارش ماکو ندی و همکاران (Makvandi et al., 2024)، مصرف تلفیقی کود نیتروژن و کمپوست بقایای کمپوست نیشکر و باکتری‌های محرک رشد گیاه باعث بهبود صفات کیفی و عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) شد. طبق نتایج آزمایش شیمیسی و همکاران (Shamisi et al., 2022)، کودهای زیستی قارچ تریکودرما و باکتری باسیلوس سبب بهبود عملکرد و افزایش وزن دانه کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) شدند و نیز استفاده از ۳۰ تن در هکتار کمپوست نیشکر موجب افزایش شاخص برداشت گردید.

عملکرد بیولوژیک: اثر تلفیقی کود نیتروژن و کود کمپوست نیشکر بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد بیولوژیک با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (A_2) به میزان ۳۰۲۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. با کاربرد سطوح تیمارهای A_3 و A_4 یعنی ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص + ۸ تن در هکتار کمپوست نیشکر و ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر، عملکرد بیولوژیک به ترتیب به میزان ۲۳۷۳ و ۲۳۱۶ کیلوگرم در هکتار رسید، اما تأثیر این سطوح به اندازه تأثیر تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک نبود.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه گیری شده رازیانه تحت تأثیر سطوح تیمارهای کود تلفیقی و کود زیستی بیوفارم

Table 3- Results of the analysis of variance (mean squares) for the measured traits of fennel under different levels of integrated fertilizer treatments and biopharm

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	درصد اسانس Essential oil %	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	32604.22 ^{ns}	191110.00 ^{ns}	0.132 ^{ns}	0.542 ^{ns}
کود تلفیقی Combined fertilizer (Cf)	5	34451.93 ^{**}	2478252.11 ^{**}	0.371 ^{**}	172.942 ^{**}
خطای اصلی Main error	10	29475.60	134118.28	0.0388	2.390
کود زیستی Biofertilizer (B)	1	77951.46 ^{ns}	55763.33 ^{ns}	0.5383 ^{**}	25.406 ^{ns}
کود تلفیقی × کود زیستی Cf × B	5	167295.61 [*]	360091.57 ^{ns}	0.0659 ^{ns}	48.440 ^{**}
خطای فرعی Sub error	12	354.11	202546.19	0.035	9.106
ضریب تغییرات CV (%)		28.85	21.89	9.7	21.31

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

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح کود تلفیقی و کود زیستی بیوفارم بر عملکرد دانه و عملکرد اسانس

Table 4- Comparison of the average interaction effect of combined fertilizer and Biopharm biofertilizer levels on grain yield and essential oil yield

سطوح کود تلفیقی Compound fertilizer levels (A)	سطوح کود زیستی Biofertilizer levels (B)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.ha ⁻¹)
A ₁	B ₀	403g*	7.51fg
A ₂	B ₀	863bc	18.72bc
A ₃	B ₀	879bc	15.23de
A ₄	B ₀	998a	19.29b
A ₅	B ₀	643de	12.77e
A ₆	B ₀	483f	6.57g
A ₁	B ₁	496f	9.71f
A ₂	B ₁	938ab	22.13a
A ₃	B ₁	911b	19.47b
A ₄	B ₁	820c	16.04cd
A ₅	B ₁	705d	16.26cd
A ₆	B ₁	621e	10.11f

* در ستون و در هر گروه تیمار، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نسبت به هم ندارند.

A₁: شاهد، A₂: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، A₃: ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۸ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₄: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₅: ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۲۴ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₆: ۳۲ تن در هکتار کمپوست نیشکر خالص. B₁: تلقیح با کود زیستی، B₀: عدم تلقیح با کود زیستی

* In each column and each treatment group, the averages that have at least one letter in common are not significantly different at the 5% level through Duncan's test.

A₁: control, A₂: 150 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen, A₃: 112.5 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 8 tons.ha⁻¹ of sugarcane compost, A₄: 75 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 16 tons.ha⁻¹ of sugarcane compost, A₅: 37.5 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 24 tons per hectare of sugarcane compost, A₆: 32 tons per hectare of pure sugarcane compost. B₁: inoculation with biofertilizer, B₀: no inoculation with biofertilizer

در واقع، نتایج نشان می‌دهد که کود شیمیایی اثر بسزایی در افزایش عملکرد بیولوژیک نسبت به کود آلی دارد. کم‌ترین میزان عملکرد نیز در شاهد به میزان ۱۳۵۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده گردید. نتایج مقایسه میانگین برای کاربرد سطوح کود زیستی اختلاف معنی داری نشان داد و بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک در تلقیح کود زیستی به میزان ۲۱۶۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۵). باتوجه به نتایج، بهترین تیمار (A₂) با ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن، عملکرد بیولوژیک را به میزان تقریبی ۱۲۳/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. تیمارهای تلفیقی کمپوست و نیتروژن (A₃) و (A₄) به ترتیب حدود ۷۵/۶ درصد و ۷۱/۴ درصد افزایش را نشان دادند. تیمار کود زیستی (B₁) نیز حدود ۶۰/۳ درصد افزایش عملکرد بیولوژیک نسبت به شاهد داشت. کمتر بودن عملکرد در اثر مصرف سطوح بالای کمپوست در مقایسه با کودهای شیمیایی معمولاً به دلیل روند آهسته‌تر تجزیه کودهای آلی و در نتیجه آزادسازی بخش قابل توجهی از نیتروژن آزادشده در اواخر فصل رشد است که ممکن است وابستگی و نیاز عملکرد بیولوژیک گیاه به این عنصر کاهش یافته باشد.

کودهای آلی در صورتی که به صورت تلفیقی همراه با کودهای

شیمیایی مصرف شوند، می‌توانند تأثیر جبرانی داشته باشند. ترکیب کود آلی و شیمیایی، این امکان را فراهم می‌آورد که در دوره ابتدایی رشد گیاهان، کود شیمیایی، مواد غذایی قابل جذب را برای آن‌ها تأمین کرده و در دوره‌های بعدی رشد، کود آلی، مواد غذایی پرمصرف و کم‌مصرف لازم را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Blaise et al., 2005). باین حال در آزمایش حاضر، مصرف کود آلی کمپوست بقایای نیشکر، قادر به جایگزینی کامل کود شیمیایی نبود و دلیل آن هم می‌تواند به آزادسازی آهسته نیتروژن موجود در این کود تا انتهای فصل رشد باشد که با توجه به فصل رشد کوتاه رازیانه در منطقه که به دلیل گرمای هوا در اوایل بهار به اتمام می‌رسد، می‌تواند توجیه شود. به خصوص که در مراحل انتهایی رشد، این گیاه نیاز چندانی به نیتروژن آزاد شده ندارد. در خصوص کود زیستی، رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghadam et al., 2013) در پژوهش خود مشاهده نمودند که مصرف کودهای بیولوژیک (نیتراژین، نیتروکسین و ورمی کمپوست) سبب افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) شد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت داشت.

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر سطوح کود تلفیقی و کود زیستی بیوفارم بر عملکرد بیولوژیک و درصد اسانس

Table 5- Comparison of the average effect of combined fertilizer and Biopharm biofertilizer levels on biological yield and essential oil percentage

درصد اسانس	عملکرد بیولوژیک	سطوح کود تلفیقی و کود زیستی
Percentage of essential oil	Biological yield (kg.ha ⁻¹)	Compound fertilizer levels (A) and biofertilizer levels (B)
1.55d	1351d*	A ₁
2.26a	3021a	A ₂
1.93bc	2373b	A ₃
1.94bc	2316b	A ₄
2.14ab	1873c	A ₅
1.83c	1397d	A ₆
2.06a	2166a	B ₁
1.81b	1906b	B ₀

* در هر ستون و در هر گروه تیمار، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نسبت به هم ندارند.

A₁: شاهد، A₂: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، A₃: ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۸ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₄: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₅: ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۲۴ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₆: ۳۲ تن در هکتار کمپوست نیشکر خالص. B₁: تلقیح با کود زیستی، B₀: عدم تلقیح با کود زیستی

* In each column and each treatment group, the averages that have at least one letter in common are not significantly different at the 5% level through Duncan's test.

A₁: control, A₂: 150 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen, A₃: 112.5 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 8 tons.ha⁻¹ of sugarcane compost, A₄: 75 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 16 tons.ha⁻¹ of sugarcane compost, A₅: 37.5 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 24 tons per hectare of sugarcane compost, A₆: 32 tons per hectare of pure sugarcane compost. B₁: inoculation with biofertilizer, B₀: no inoculation with biofertilizer

درصد اسانس دانه: اثر تیمار کود تلفیقی (کود شیمیایی

نیتروژن و کود آلی کمپوست نیشکر) و اثر تیمار کود زیستی بیوفارم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میزان درصد اسانس با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (A_2) به‌میزان ۲/۲۶ درصد به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با کاربرد سایر مقادیر تیمارهای آزمایش داشت، اما با این‌وجود با کاربرد سطوح تیمارهای (A_4) و (A_5) یعنی ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر و ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۲۴ تن در هکتار کمپوست نیشکر نیز درصد اسانس به‌میزان ۱/۹۴ و ۲/۱۴ به دست آمد. کم‌ترین میزان درصد اسانس مربوط به شاهد به‌میزان ۱/۵۵ درصد بود. در مورد تیمار کود زیستی، بیش‌ترین درصد اسانس در تیمار تلقیح کود زیستی (B_1) به‌میزان ۲/۰۶ درصد بود که نسبت به شاهد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۵). در واقع، کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (A_2)، درصد اسانس را به ۱/۴۶ برابر نسبت به شاهد افزایش داد. یافته‌ها حاکی از آن است که هر دو ترکیب کودی مورد استفاده در تیمارهای A_5 و A_4 منجر به افزایش قابل توجه درصد اسانس به‌ترتیب به‌مقدار ۱/۳۸ و ۱/۲۵ برابر در مقایسه با شاهد شدند. تیمار تلقیح کود زیستی (B_1) نیز درصد اسانس را به ۱/۳۳ برابر شاهد رساند.

باتوجه به نتایج حاصل از آزمایش، کود شیمیایی به‌تنهایی و هم به‌همراه کود آلی سبب افزایش درصد اسانس رازیانه می‌شود. کودهای تلفیقی (شیمیایی و آلی) و بیولوژیک تأثیر معنی‌داری بر درصد اسانس رازیانه داشتند و جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی می‌شوند. در طی گزارشی، افزایش مصرف کود اوره در زراعت گیاه دارویی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) منجر به افزایش درصد اسانس، عملکرد رویشی و عملکرد اسانس گیاه دارویی بابونه شد (Omid Beigi & Hasani Malayeri, 2007). رضایی چیانه و همکاران (Rezaei Chianeh et al., 2014) گزارش کردند که ازآنجایی که اسانس‌ها ترکیبات ترپنوئیدی هستند، واحدهای سازنده آن‌ها نیاز مبرم به ATP و NADPH دارند و با توجه به این موضوع که حضور عناصری مانند نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری می‌باشد، ازاین‌رو باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت نیتروژن در

کنار باکتری تیوباسیلوس از طریق کاهش pH خاک و فراهم نمودن جذب عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن، فسفر و عناصر کم‌صرف (آهن، منگنز، روی و مس) موجب افزایش اسانس گیاه دارویی رازیانه شدند.

عملکرد اسانس دانه: اثر تیمار کود تلفیقی و نیز اثر متقابل

کود تلفیقی و کود زیستی بر عملکرد اسانس دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین عملکرد اسانس رازیانه مربوط به کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن خالص تحت تأثیر تیمار کود زیستی (A_2B_1) به‌میزان ۲۲/۱۳ کیلوگرم در هکتار بود، اما در سطوح تیمارهای ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۸ تن در هکتار کمپوست نیشکر تحت تأثیر تیمار کود زیستی (A_3B_1) و ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر بدون اعمال کود زیستی (A_4B_0) به‌ترتیب به‌میزان ۱۹/۴۷ و ۱۹/۲۹ کیلوگرم در هکتار نیز سبب افزایش عملکرد اسانس نسبت به شاهد شد. کم‌ترین میزان عملکرد اسانس در تیمار ۳۲ تن در هکتار کمپوست نیشکر بدون اعمال کود زیستی (A_6B_0) به‌میزان ۶/۵۷ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که این موضوع به‌دلیل کاهش معنی‌دار عملکرد دانه این تیمار در مقایسه با سایر سطوح که بخشی از کود مصرفی را به‌صورت شیمیایی دریافت کرده بودند، روی داد (جدول ۴).

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، کود شیمیایی تأثیر زیادی بر افزایش عملکرد اسانس رازیانه داشت، اما کاربرد کودهای آلی و زیستی از جمله کمپوست نیشکر و بیوفارم نیز بر افزایش عملکرد اسانس مؤثر بودند. خان و اعظم (Khan & Azam, 1999) به افزایش میزان اسانس رازیانه تحت تأثیر استفاده از کودهای شیمیایی اشاره کردند. مونا و همکاران (Mona et al., 2008) و کپور و همکاران (Kapoor et al., 2004) نیز گزارش کردند که کودهای آلی کمپوست سبب افزایش عملکرد اسانس رازیانه شد. در تحقیق فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2009) مشخص شد که گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) تحت تأثیر تیمار باکتری حل‌کننده فسفات و نیتروکسین (تلفیق از تو باکتر و آزوسپریلیوم) بیش‌ترین عملکرد اسانس را داشت.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس صفات جذب و کارایی نیتروژن تحت تأثیر سطوح تیمارهای کود تلفیقی و کود زیستی بیوفارم
Table 6- Results of variance analysis of nitrogen absorption and efficiency traits under the influence of combined fertilizer and Biopharm biofertilizer treatment levels

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	درصد نیتروژن بوته Plant nitrogen percentage	جذب نیتروژن در واحد سطح Nitrogen absorption per unit area	کارایی زراعی نیتروژن Nitrogen crop efficiency	کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن Physiological efficiency of nitrogen
تکرار Replication	2	0.01353455 ^{ns}	57.20760 ^{ns}	0.40318744 ^{ns}	192.813404 ^{ns}
کود تلفیقی Combined fertilizer (Cf)	5	1.92045267 ^{**}	2616.14805 ^{**}	6.27378018 ^{**}	1275.753866 ^{**}
خطای اصلی Main error	10	0.01106372	28.35443	0.40523781	54.019101
کود زیستی Biofertilizer (B)	1	0.01076406 ^{ns}	92.82509 [*]	21.33949616 ^{**}	2848.250742 ^{**}
کود تلفیقی × کود زیستی Cf × B	5	0.00603240 ^{ns}	28.00334 ^{ns}	4.22473606 ^{**}	157.985743 ^{**}
خطای فرعی Sub-plot error	12	0.00254497	17.56905	0.038607958	18.953213
ضریب تغییرات CV (%)		3.92	14.63	18.57	9.71

ns, * و **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و غیرمعنی دار.
ns, * and **: are non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

قابل قبولی (نزدیک به دو برابر شاهد) حفظ کند.

نیتروژن از اجزای اصلی پروتئین ها و از عنصرهای غذایی اصلی و ضروری و پرنیازترین عنصر برای رشد گیاهان به شمار می آید و بعد از کمبود آب، یکی از مهم ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان است (Lemaire et al., 2008). عناصر غذایی معدنی از جمله نیتروژن و فسفر، نقش مهمی در بهبود عملکرد کمی و کیفی دانه رازیانه دارند (Kapoor et al., 2004). در رشد و تولید گیاهان دارویی مقدار و زمان کاربرد نیتروژن اهمیت اساسی دارد (Losak & Richter, 2004). پژوهشگران گزارش کردند که استفاده از کود نیتروژنی، محتوای نیتروژن و عناصر دیگر را در پیازهای گل زنبق (*Iris germanica* L.) افزایش داد (Mahgoub et al., 2006). در تحقیقی روی گیاه دارویی رازیانه مشخص شد که استفاده از کودهای زیستی نیتروژنه به همراه ۵۰ در صد کود شیمیایی، عملکرد بهتری نسبت به استفاده یکنواخت کودهای معدنی داشته است (Mahfouz & Sharaf-Eldin, 2007). در آزمایش ازاز و همکاران (Azzaz et al., 2009) در رازیانه مشاهده شد که کاربرد باکتری های تثبیت کننده نیتروژن سبب افزایش قابل توجه عملکرد و اجزای عملکرد نسبت به شاهد گردید.

درصد نیتروژن بوته: با توجه به نتایج، تنها اثر کود تلفیقی

کود شیمیایی و کود کمپوست نیشکر بر درصد نیتروژن بوته در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۶). براساس نتایج مقایسه میانگین، بیش ترین درصد نیتروژن در سطح تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (A₂) و ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۸ تن در هکتار کمپوست نیشکر (A₃) به میزان ۲/۳۵ و ۱/۳۶ در صد و کم ترین در صد نیتروژن در سطح شاهد به میزان ۰/۷ در صد به دست آمد. نتایج مقایسه میانگین برای کاربرد سطوح کود زیستی اختلاف معنی داری نشان نداد، اما باین وجود بیش ترین میزان در صد نیتروژن در سطح تیمار اعمال کود زیستی (B₁) به میزان ۱/۳ درصد بود (جدول ۷). نتایج نشان داد که اعمال تیمار A₂ منجر به افزایش ۳/۴ برابری نیتروژن نسبت به شاهد گردید. در مقابل، تیمار تلفیقی (A₃) و کود زیستی (B₁)، هر کدام منجر به افزایش حدود ۱/۹ برابری درصد نیتروژن رازیانه نسبت به شاهد شدند. اگرچه غلظت نیتروژن در تیمارهای تلفیقی و زیستی پایین تر از کود شیمیایی خالص بود، اما عملکرد آنها همچنان دو برابر شرایط بدون کود بوده است. این یافته ها حاکی از آن است که اگرچه کود شیمیایی برای حداکثر جذب سریع ضروری است، اما تلفیق آن با کمپوست نیشکر یا استفاده از کود زیستی می تواند با کاهش مصرف نهاده ها، نیتروژن را تا حد

جدول ۷- مقایسه میانگین درصد و جذب نیتروژن رازیانه تحت تأثیر سطوح کود تلفیقی و کود زیستی بیوفارم

Table 7- Comparison of average percentage and nitrogen absorption of fennel under the influence of combined fertilizer and Biopharm biofertilizer levels

سطوح کود تلفیقی و کود زیستی Compound fertilizer levels (A) and biofertilizer levels (B)	درصد نیتروژن بوته Plant nitrogen percentage	جذب نیتروژن بوته در واحد سطح Plant nitrogen uptake per unit area (kg.ha ⁻¹)
A ₁	0.70d*	9.54d
A ₂	2.35a	68.01a
A ₃	1.36b	32.22b
A ₄	1.09c	24.30c
A ₅	1.13c	23.53c
A ₆	1.04c	14.23d
B ₁	1.30a	30.24a
B ₀	1.26a	27.03b

* در هر ستون و در هر گروه تیمار، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نسبت به هم ندارند.

A₁: شاهد، A₂: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، A₃: ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۸ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₄: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₅: ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۲۴ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₆: ۳۲ تن در هکتار کمپوست نیشکر خالص. B₁:

تلقیح با کود زیستی، B₀: عدم تلقیح با کود زیستی

* In each column and each treatment group, the averages that have at least one letter in common are not significantly different at the 5% level through Duncan's test.

A₁: control, A₂: 150 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen, A₃: 112.5 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 8 tons.ha⁻¹ of sugarcane compost, A₄: 75 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 16 tons.ha⁻¹ of sugarcane compost, A₅: 37.5 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 24 tons per hectare of sugarcane compost, A₆: 32 tons per hectare of pure sugarcane compost. B₁: inoculation with

جذب نیتروژن بوته: اثر هر یک از تیمارهای کود تلفیقی و

کود زیستی بر جذب نیتروژن بوته به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیش‌ترین میزان جذب نیتروژن در سطح تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (A₂) به‌میزان ۶۸/۰۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار آن در سطح شاهد به‌میزان ۹/۵۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. در مورد تیمار کود زیستی، بیش‌ترین میزان جذب نیتروژن در سطح تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص تحت تأثیر کود زیستی (A₂B₁) به‌میزان ۳۰/۲۴ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین میزان نیز در شاهد به‌میزان ۲۷/۰۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۷). بیش‌ترین جذب نیتروژن در تیمار A₂ (۶۸/۰۱ کیلوگرم در هکتار) ثبت گردید که نسبت به شاهد (۹/۵۴ کیلوگرم در هکتار) نشان‌دهنده افزایش حدود هفت برابری است. این رشد چشمگیر احتمالاً ناشی از ورود مستقیم و غلظت بالای نیتروژن (اوره) است که به‌سرعت در دسترس ریشه قرار می‌گیرد. در مورد اثر کود زیستی، اگر چه تیمار تلفیقی A₂B₁ (۳۰/۲۴ کیلوگرم) بالاترین مقدار را در گروه‌های دارای کود زیستی داشت، اما جذب آن (حدود ۳۰ کیلوگرم) همچنان کمتر از تیمار خالص A₂ بود. دلیل این امر احتمالاً کندتر

بودن فرآیند آزاد سازی نیتروژن توسط عوامل بیولوژیک در مقایسه با کود شیمیایی فوری است. با این حال، افزایش جذب در تیمار B₁ نسبت به شاهد (۲۷/۳ کیلوگرم) نشان می‌دهد که کود زیستی با بهبود فعالیت میکروبی و توسعه سیستم ریشه، توانست کارایی جذب نیتروژن موجود در خاک را حتی در سطوح پایین‌تر نیز ارتقاء دهد. مولاولی و همکاران (Mollavali et al., 2011) گزارش کردند که افزایش جذب نیتروژن می‌تواند به علت افزایش غلظت نیتروژن در محیط ریشه باشد. در تحقیقی روی گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum majorana* L.) مشاهده گردید که کودهای زیستی حاوی/زوتوباکتر و آزوسپریلیوم می‌توانند جایگزین کود شیمیایی نیتروژنه در زراعت این گیاه شوند و ضمن کاهش هزینه‌های تولید ناشی از مصرف کود شیمیایی، از وارد شدن آسیب به محیط زیست نیز جلوگیری کنند (Fatma et al., 2006).

کارایی زراعی نیتروژن: براساس نتایج، اثر کود تلفیقی و کود

زیستی در سطح احتمال یک درصد و نیز اثر متقابل آن‌ها بر کارایی زراعی در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بالاترین میزان کارایی زراعی نیتروژن مربوط به سطوح تیمارهای ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن

خالص + ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر بدون اعمال کود زیستی (A₄B₀) و ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۲۴ تن در هکتار کمپوست نیشکر بدون اعمال کود زیستی (A₅B₀) به ترتیب به میزان ۶/۸۵ و ۴/۲۴ کیلوگرم بر کیلوگرم بود و کمترین میزان کارایی زراعی نیتروژن مربوط به سطح تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار با اعمال کود زیستی (A₂B₁) به میزان ۲/۱۱ کیلوگرم بر کیلوگرم بود (جدول ۸). با توجه به نتایج به دست آمده، کود زیستی سبب کاهش کارایی زراعی نیتروژن شد. طیف نسبتاً وسیعی از عوامل ژنتیکی و راهکارهای مدیریتی می‌تواند بر کارایی نیتروژن در گیاهان تأثیر بگذارد (Guarda et al., 2004). در پژوهش مدهج و همکاران (Modhej

et al., 2008). بالاترین کارایی زراعی مصرف نیتروژن با مصرف اولین واحد کود حاصل شد و با افزایش واحدهای بعدی، افزایش کمتری حاصل شد که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد، به این دلیل که در آزمایش حاضر نیز با افزایش مقادیر نیتروژن، کارایی زراعی نیتروژن کاهش یافته است و با کاهش مصرف کود شیمیایی و افزایش مصرف کود آلی، کارایی زراعی نیتروژن افزایش یافته است. پژوهش‌ها نشان داده که هرچه مقدار نیتروژن اولیه در خاک بیشتر باشد، کارایی مصرف نیتروژن در مقادیر پایین‌تر تیمارهای کود کاهش می‌یابد (Noshad et al., 2015).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح کود تلفیقی و کود زیستی بر کارایی نیتروژن بوته رازیانه

Table 8- Comparison of the average interaction effect of combined fertilizer and biofertilizer levels on nitrogen efficiency of fennel plants

سطوح کود تلفیقی Compound fertilizer levels (A)	سطوح کود زیستی Biofertilizer levels (B)	کارایی زراعی نیتروژن Nitrogen crop efficiency (kg.kg ⁻¹)	کارایی فیزیولوژیکی نیتروژن Physiological efficiency of nitrogen (kg.kg ⁻¹)
A ₂	B ₀	2.52cd*	31.28c
A ₃	B ₀	3.51bc	57.38b
A ₄	B ₀	6.85a	67.79a
A ₅	B ₀	4.24b	66.43a
A ₂	B ₁	2.11d	21.24d
A ₃	B ₁	2.58cd	24.01d
A ₄	B ₁	2.65cd	50.62b
A ₅	B ₁	2.25d	39.86bc

* در هر ستون و در هر گروه، تیمار میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نسبت به هم ندارند.

A₁: شاهد، A₂: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، A₃: ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۸ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₄: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₅: ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۲۴ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₆: ۳۲ تن در هکتار کمپوست نیشکر خالص. B₁: تلفیق با کود زیستی، B₀: عدم تلفیق با کود زیستی

* In each column and each treatment group, the averages that have at least one letter in common are not significantly different at the 5% level through Duncan's test.

A₁: control, A₂: 150 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen, A₃: 112.5 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 8 tons.ha⁻¹ of sugarcane compost, A₄: 75 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 16 tons.ha⁻¹ of sugarcane compost, A₅: 37.5 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 24 tons per hectare of sugarcane compost, A₆: 32 tons per hectare of pure sugarcane compost. B₁: inoculation with

کارایی فیزیولوژیک نیتروژن: اثر کود تلفیقی و کود زیستی

در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها بر کارایی فیزیولوژیکی نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیش‌ترین میزان کارایی فیزیولوژیک نیتروژن مربوط به سطوح تیمارهای ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر بدون اعمال کود زیستی (A₄B₀) و ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۲۴ تن در هکتار کمپوست نیشکر بدون اعمال کود زیستی (A₅B₀) به ترتیب به میزان ۶۷/۷۹ و

۶۶/۴۳ کیلوگرم بر کیلوگرم بود که اختلاف معنی‌داری نسبت به هم نداشتند و کمترین میزان کارایی فیزیولوژیک نیتروژن مربوط به سطح تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص با اعمال کود زیستی (A₂B₁) به میزان ۲۱/۲۴ کیلوگرم بر کیلوگرم بود (جدول ۸). کارایی فیزیولوژیک نیتروژن، میزان تولید اندام اقتصادی (گل، دانه و ...) در هر واحد نیتروژن بازیافت‌شده در زیست‌توده می‌باشد. در کارایی فیزیولوژیک نیتروژن نیز مانند کارایی زراعی نیتروژن، با افزایش واحدهای کود نیتروژن، نیاز گیاه به این عنصر تأمین شده و واکنش

دارد. در تحقیقی روی گیاه دارویی رازیانه مشخص شد که استفاده از کودهای زیستی نیتروژن به همراه ۵۰ درصد کود شیمیایی، عملکرد بهتری نسبت به استفاده یکنواخت کودهای معدنی داشت (Mahfouz & Sharaf-Eldin, 2007).

آن به مقادیر بیشتر نیتروژن کاهش می‌یابد. در گزارش عامری و همکاران (Ameri et al., 2007)، افزایش استفاده از کود نیتروژن باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) شد که با نتایج آزمایش حاضر تطابق

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس صفات جذب و کارایی نیتروژن تحت تأثیر سطوح تیمارهای کود تلفیقی و کود زیستی بیوفارم
Table 9- Results of variance analysis of nitrogen absorption and efficiency traits under the influence of combined fertilizer and Biopharm biofertilizer treatment levels

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	فسفر Phosphorus	پتاسیم Potassium	روی Zinc	آهن Iron
تکرار Replication	2	0.518 ^{ns}	1377.763 ^{ns}	0.0204 ^{ns}	0.141 ^{ns}
کود تلفیقی Combined fertilizer (Cf)	5	4.825 ^{**}	4180.690 ^{**}	0.048 ^{**}	1.337 ^{**}
خطای اصلی Main error	10	0.869	553.488	0.007	0.108
کود زیستی Biofertilizer (B)	1	7.6199 ^{**}	22.168 ^{ns}	0.00025 ^{ns}	0.0743 ^{ns}
کود تلفیقی × کود زیستی Cf × B	5	0.316 ^{ns}	107.201 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.0307 ^{ns}
خطای فرعی Sub-plot error	12	0.0458	230.701	0.016	0.176
ضریب تغییرات CV (%)		18.45	10.20	27.91	17.44

ns, * and **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و غیرمعنی‌دار.
ns, * and **: are non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

گیاه می‌شود (جدول ۱۰). عبدال-لطیف و همکاران (Abd El-Latif et al., 2011) با پژوهش‌هایی که روی اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) انجام دادند، مشخص کردند که با افزایش سطح نیتروژن مصرفی، غلظت فسفر گیاه کاهش می‌یابد که با آزمایش حاضر مطابقت دارد. موقتیان و همکاران (Movaghathian et al., 2014) گزارش کردند که استفاده از کود شیمیایی در تلفیق کمپوست ضایعات نی‌شکر می‌تواند سبب افزایش مقدار نیتروژن و فسفر موجود در کمپوست شده و موجبات افزایش رشد گیاه رازیانه را نیز فراهم آورد. راتی و همکاران (Ratti et al., 2001) در پژوهشی روی گیاه دارویی علف لیمو (*Cymbopogon martini* L.)، مشاهده نمودند که مصرف یک گونه باکتری حل‌کننده فسفات همراه با یک نوع فسفات معدنی غیرمحللول به نام تری کلسیم فسفات موجب بهبود بارز غلظت فسفر ساقه نسبت به شاهد گردید.

فسفر بوته: براساس نتایج، اثر تیمارهای کود تلفیقی و کود زیستی به ترتیب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). بیش‌ترین مقدار فسفر کل بوته در سطح تیمار A₅ یعنی ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۲۴ تن در هکتار کمپوست نی‌شکر به میزان ۵۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک و کم‌ترین مقدار آن در سطح شاهد به میزان ۲۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک حاصل شد (جدول ۱۰). نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که با افزایش کاربرد کود آلی به همراه کود شیمیایی، میزان جذب فسفر بوته رازیانه بیشتر می‌شود که این امر می‌تواند ناشی از وجود فسفر در ترکیبات کود آلی کمپوست نی‌شکر باشد. در مورد تأثیر تیمار کود زیستی نیز بالاترین میزان فسفر جذب شده توسط گیاه ۴۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری داشت و در واقع نشان‌دهنده آن بود که کاربرد کود زیستی نیز سبب افزایش جذب عنصر فسفر توسط

جدول ۱۰- مقایسه میانگین فسفر، پتاسیم، روی و آهن بوته تحت تأثیر سطوح کود تلفیقی و کود زیستی بیوفارم

Table 10- Comparison of average phosphorus, potassium, zinc, and iron in plants under the influence of combined fertilizer and Biopharm biofertilizer levels

سُطوح کود تلفیقی و کود زیستی Compound fertilizer levels (A) and biofertilizer levels (B)	فسفر Phosphorus (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم Potassium (mg.kg ⁻¹)	روی Zinc (mg.kg ⁻¹)	آهن Iron (mg.kg ⁻¹)
A ₁	25.1c*	113.75c	0.52ab	1.57c
A ₂	42.3ab	141.00bc	0.38c	2.44b
A ₃	35.7bc	140.25bc	0.34c	2.50b
A ₄	34.9bc	146.17b	0.42bc	2.56b
A ₅	50.8a	193.75a	0.52ab	2.33b
A ₆	31.1bc	158.50b	0.56a	3.01a
B ₁	41.3a	30.24a	0.46a	2.44a
B ₀	33.2b	27.03b	0.46a	2.35a

* در هر ستون و در هر گروه تیمار، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نسبت به هم ندارند.

A₁: شاهد، A₂: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، A₃: ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۸ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₄: ۷۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₅: ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۲۴ تن در هکتار کمپوست نیشکر، A₆: ۳۲ تن در هکتار کمپوست نیشکر خالص. B₁: تلقیح با کود زیستی، B₀: عدم تلقیح با کود زیستی

* In each column and each treatment group, the averages that have at least one letter in common are not significantly different at the 5% level through Duncan's test.

A₁: control, A₂: 150 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen, A₃: 112.5 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 8 tons.ha⁻¹ of sugarcane compost, A₄: 75 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 16 tons.ha⁻¹ of sugarcane compost, A₅: 37.5 kg.ha⁻¹ of pure nitrogen and 24 tons per hectare of sugarcane compost, A₆: 32 tons per hectare of pure sugarcane compost. B₁: inoculation with

آمد.

آهن بوته: اثر تیمار کود تلفیقی بر میزان آهن رازیانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). بیش‌ترین مقدار جذب آهن رازیانه در سطح تیمار A₆ یعنی ۳۲ تن در هکتار کمپوست نیشکر به میزان ۳/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک و کم‌ترین مقدار آن در سطح شاهد به میزان ۱/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک حاصل شد. کاربرد کود زیستی اثر معنی‌داری بر افزایش جذب آهن نداشت، اما بیشتر از شاهد بود (جدول ۱۰). با توجه به اینکه کود آلی کمپوست نیشکر حاوی عناصر ریزمغذی از جمله روی و آهن است، کاربرد آن سبب افزایش جذب عنصر آهن توسط گیاه می‌شود. آهن یکی از عناصر ضروری و کم‌مصرف برای رشدونمو گیاهان است که در فرآیندهای فیزیولوژیک نقش مهمی دارد. بررسی‌های انجام‌شده نشان دادند که آهن نقش مهمی در متابولیسم گیاهان دارد و با کمبود آن، فعالیت برخی از آنزیم‌های گیاهی مختل می‌شود (Marschner, 1986; Brittenham, 1994; Miller et al., 1995).

روی بوته: اثر تیمار کود تلفیقی بر میزان جذب روی بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۹). بیش‌ترین میزان روی جذب‌شده بوته در سطح تیمار A₆ یعنی ۳۲ تن در هکتار کمپوست نیشکر به میزان ۰/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک و کم‌ترین

پتاسیم بوته: اثر کود تلفیقی بر میزان پتاسیم بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). بیش‌ترین مقدار پتاسیم جذب‌شده رازیانه در سطح تیمار A₅ یعنی ۳۷/۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص + ۲۴ تن در هکتار کمپوست نیشکر به میزان ۱۹۳/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک و کم‌ترین آن در سطح شاهد به میزان ۱۱۳/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک مشاهده شد. کاربرد کود زیستی اثر معنی‌داری بر افزایش جذب پتاسیم نداشت و تفاوت چندانی در مقایسه با شاهد نداشت (جدول ۱۰). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که کاربرد کودهای آلی در کنار کودهای شیمیایی و زیستی بر افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه مؤثر می‌باشد. افزایش جذب پتاسیم رابطه مستقیمی با افزایش رشد سبزینه‌ای گیاه دارد که خود وابسته به جذب نیتروژن در گیاه است (Khamdi et al., 2016). کربن آلی موجود در کمپوست، عناصر غذایی را به آرامی و به‌طور یکنواخت در خاک آزاد کرده و گیاه را قادر به جذب عناصر غذایی می‌نماید. در طی گزارش محفوظ و شرف-الدین (Mahfouz & Sharaf, 2007) روی گیاه رازیانه، بیش‌ترین مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم در بافت گیاهی زمانی که خاک با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن تلقیح گردید، حاصل شد. کمترین میزان نیتروژن، پتاسیم و فسفر در بافت گیاه در نمونه‌های تیماری با کودهای شیمیایی به دست

میزان آن در سطح تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به میزان ۰/۳۸ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک حاصل شد. کاربرد کود زیستی اثر معنی‌داری بر افزایش جذب روی نداشت و تفاوتی نسبت به شاهد نداشت (جدول ۱۰). نتایج آزمایش نشان داد که کاربرد کود کمپوست نیشکر به‌تنهایی سبب افزایش جذب روی رازیانه شد و کود شیمیایی جذب روی را کمتر کرد. روی یک عنصر ضروری برای گیاهان است که به‌عنوان یک کوفاکتور عملکردی، ساختاری و تنظیمی در ارتباط با متابولیسم ساکاریدها، فتوسنتز و ساخت پروتئین در گیاهان نقش دارد. تأثیر این عنصر بر تشکیل کلروفیل، توسعه کلروپلاست، افزایش سرعت فتوسنتز، جذب بیشتر عناصر غذایی و در کل تولید بیشتر کربوهیدرات‌ها و افزایش رشد عمومی و عملکرد گیاهان گزارش شده است (Marschner, 1993). با توجه به اینکه کود آلی کمپوست نیشکر حاوی عناصر ریزمغذی از جمله روی و آهن است، کاربرد آن سبب افزایش جذب عنصر روی توسط گیاه می‌شود.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج حاصل از این آزمایش، کاربرد تیمار ۷۵ کیلوگرم در

هکتار نیتروژن خالص و ۱۶ تن در هکتار کمپوست نیشکر برای افزایش عملکرد دانه رازیانه و نیز کاربرد کودهای زیستی به‌همراه کودهای شیمیایی (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) سبب افزایش عملکرد ا سانس دانه رازیانه شده و نیز کاربرد مقادیر بالای کمپوست نیشکر (۳۲ تن در هکتار) سبب افزایش غلظت عناصر روی و آهن توسط بوته رازیانه گردید. به‌طور کلی، اعمال کودهای آلی کمپوست نیشکر در تلفیق با کودهای شیمیایی و نیز کاربرد کود زیستی سبب افزایش عملکرد و نیز افزایش جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف مورد نیاز گیاه رازیانه شد. همچنین اثرات مشابهی در افزایش عملکرد نسبت به کاربرد کودهای شیمیایی داشت که از این طریق می‌توان کودهای تلفیقی را با کودهای شیمیایی جایگزین کرد.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی و فناوری و همچنین معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به‌دلیل مساعدت در امور این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Abd El-Latif, K. M., Osman, E. A. M., Abdullah, R., & Abd El-Kader, N. (2011). Response of potato plants to potassium fertilizer rates and soil moisture deficit. *Advances in Applied Science Research*, 2(2), 388-397.
2. Akbarinia, A., Ghalavand, A., Sefidcon, F., Rezayi, M., & SharifiAshorabadi, A. (2004). The effect of chemical fertilizer, manure on yield and essential oil content of seeds *Ajowan modulator*. *Research and Development*, 16(4), 32-42. (In Persian).
3. Albuquerque, J. A., Gonzalez, J., Garcia, D., & Cegarra, J. (2007). Effects of a compost made from the solid by-product ("alperujo") of the two-phase centrifugation system for olive oil extraction and cotton gin waste on growth and nutrient content of ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Bioresource Technology*, 98, 940-945. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.04.014>
4. Alikhani, H. A., & Savaqebi, G. (2014). Vermicomposting for sustainable agriculture. *Tehran University Jihad Journal*, 3, 265-267. (In Persian).
5. Ameri, A., Nassiri, M., & Rezvani, P. (2007). Effects of different nitrogen levels and plant density on flower, essential oils and extract production and nitrogen use efficiency of marigold (*Calendula officinalis*). *Iranian Journal of Agricultural Research*, 5(2). (In Persian with English abstract)
6. AmirTeimori, S., Shemshadi, K., & Khalilian, S. (2011). Place of Iran in export of fennel: the export comparative advantage approach. *Journal of Agricultural Economics Research*, 3(4), 81-95. (In Persian with English abstract). [20.1001.1.20086407.1390.3.12.5.6](https://doi.org/10.22034/saps.2021.13088)
7. Ayneband, A., Gorooii, A., Fateh, E., & Kakadezfoli, F. (2020). Comparison of compost fertilizer production from different crop residues and its effect on grain yield and some agronomic characters of wheat. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 31(2), 29-42. (In Persian with English abstract). [10.22034/saps.2021.13088](https://doi.org/10.22034/saps.2021.13088)
8. Azzaz, N. A., Hassan, E. A., & Hamad, E. H. (2009). The chemical constituent and vegetative and yielding characteristics of fennel plants treated with organic and biofertilizer instead of mineral fertilizer. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(2), 579-587.

9. Blaise, D., Singh, J. V., Bonde, A. N., Tekale, K. U., & Mayee, C. D. (2005). Effects of farmyard manure and fertilizers on yield, fiber quality and nutrient balance of rain fed cotton (*Gossypium hirsutum*). *Bioresource Technology*, 96, 345-349. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.03.008>
10. Bremner, J. M. (1996). Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical Methods. *Soil Science Society of America, Inc.* 1(5), 1085-121. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3>
11. Brittenham, G. M. (1994). New advances in iron metabolism iron deficiency and iron overload. *Current Opinion in Hematology*, 1: 101-106.
12. Chatterjee, S. K. (2002). Cultivation of medicinal and aromatic plants in India: a commercial approach. *ActaHorticulture (ISHS)*, 576, 191-202. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.576.28>
13. Fageria, N. K. (2009). The Use of Nutrients in Crop Plants. CRC Press, New York. <https://doi.org/10.1201/9781420075113>
14. Fallahi, J., Koocheki, A., & Rezvani Moghadam, P. (2009). Effects of biofertilizers on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria recutita*) as a medicinal plant. *Iranian Agricultural Research Journal*, 7(1), 135-127. (In Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20081472.1388.7.1.13.1>
15. Fatma, E. M., El-Zamik, T., Tomader, H. I., El-Hadidy, L., Abd El-Fattah, H., & Seham, S. (2006). Efficiency of biofertilizers, organic and inorganic amendments application on growth and essential oil of marjoram (*Majorana hortensis* L.) plants grown in sandy and calcareous soils. Agricultural Microbiology Department, Faculty of Agriculture, Zagazig University; Soil Fertility and Microbiology Department, Desert Research Center, Cairo, Egypt.
16. Guarda, G., Padovan, S., & Delogu, G. (2004). Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, 21(2), 181-192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2003.08.001>
17. Herwijnen, V., Hutchings, T., Al-Tabbaa, A., Moffat, A., Johns, M., & Ouki, S. (2007). Remediation of metal contaminated soil with mineral-amended composts. *Environmental Pollution*, 150, 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.01.023>
18. Ismayana, A., Indrasti, A. S., & Sane, T. (2013). Co-Composting process of bagasse and sludge from sugarcane industry with influence of difference initial C/N value and aeration. 2nd International Conference on Adaptive and Intelligent Agroindustry, 54-62. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/67800>
19. 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. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.028>
20. Kashfi Bonab, A. (2010). Comparative economic advantage of cultivation and trade of medicinal plants in Iran and its value in world markets. *Journal of Business Studies*, 8(44), 67-78. (In Persian with English abstract).
21. Khamdi, F., Mesgabashi, M., Hasibi, P., Farzaneh, M., & Enayatzamir, M. (2016). Influence of crop residue and nitrogen levels on nutrient content in grain wheat. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 28(4), 158-166. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22092/aj.2016.106753>.
22. Khan, M. M., & Azam, Z. M. (1999). Change in the essential oil constituents of *Foeniculum vulgare* in relation of basal and foliar application of nitrogen and phosphorus. *Journal of Plant Nutrition*, 11, 2205-2515. <https://doi.org/10.4141/P98-090>
23. Kiani, S., Siadat, S. A., Moradi Telavat, M. R., Abdali Mashhadi, A. R., & Sari, M. (2014). Effect of nitrogen fertilizer application on forage yield and quality of barley (*Hordeum vulgare* L.) and fennel (*Foeniculum vulgare* L.) intercropping. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16(2), 77-90. (In Persian with English abstract).
24. Kiani, S., Moradi Telavat, M. R., Siadat, S. A., Abdali Mashhadi, A. R., & Sari, M. (2015). Evaluation of qualitative and quantitative of forage yield in intercropping of barley and fennel at different levels of nitrogen. *Journal of Agricultural Crops*, 16(4), 973-986. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2015.53591>
25. Lebaschy, M. H., Sharifi Ashoorabadi, E., & Bakhtiary, M. (2010). The effects of plant densities on yields of *Foeniculum vulgare* Mill. under dry farming. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(1), 121-132. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6987>
26. Lemaire, G., Jeuffroy, M. H., & Gastal, F. (2008). Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy*, 28(4), 614-624. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.005>
27. Lopes-Lutz, D., Alviano, D. S., Alvino, C. S., & Kolodziejczyk, P. P. (2008). Screening of chemical composition,

- antimicrobial and antioxidant activities of *Artemisia* essential oils. *Phytochemistry*, 69, 1732-1738.
28. Lopez-Bellido, R. J., & Lopez-Bellido, L. (2001). Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: Effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Field Crops Research*, 71, 31-46. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00146-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00146-0)
 29. Losak, T., & Richter, R. (2004). Split nitrogen doses and their efficiency in poppy (*Papaver somniferum* L.) nutrition. *Plant, Soil and Environment*, 50(11), 484-488. <http://dx.doi.org/10.17221/4062-PSE>
 30. Mahfouz, S. A., & Sharaf-Eldin, M. A. (2007). Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *International Agrophysics*, 21, 361-366. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2007-987419>
 31. Mahgoub, H. M., Rawia, A., & Bedour, A. (2006). Response of Iris bulbs grown in sandy soil to nitrogen and potassium fertilization. *Journal of Applied Sciences Research*, 2(11), 899-903.
 32. Makvandi, M., Bakhshandeh, A. M., Moshtatti, A., Moradi Telavat, M. R., & Khodaei Joqan, A. (2024). The effect of combined use of nitrogen fertilizer and sugarcane residue compost on wheat grain qualitative traits and yield under terminal heat stress conditions in Ahwaz. *Journal of Crops Improvement*, 26(1), 51-74. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2023.358472.2810>
 33. Makvandi, M., Bakhshandeh, A.M., Moshtatti, A., Moradi Telavat, M. R., & Khodaei Joqan, A. (2025). The effect of nitrogen fertilizer and sugarcane residue compost on soil physicochemical properties and wheat grain yield under terminal heat stress in Ahwaz. *Journal of Plant Production*. 48 (3), 383-399. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/ppd.2025.48005.2209>
 34. Malakouti, M. J., & Tehrani, M. M. (1999). Effects of Micronutrients on the Yield and Quality of Agricultural Products: Micro Elements with Macro Impact. Publications of Tarbiat Modares University, Tehran. p. 398. (In Persian).
 35. Marschner, H. (1993). Zinc uptake from soil: 59-77. In: A. D. Robon (Ed.). Zinc in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 208 p. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0878-2_5
 36. Marschner, H. (1986). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, 889 p.
 37. Miller, G. W., Huang, L. J., Welkie, G. I. N., & Pushmik, J. C. (1995). Function of iron in plants with special emphasis on chloroplasts and photosynthetic activity: 19-28. In: T. Abadia (Ed.). Iron Nutrition in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 401 p. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0503-3_4
 38. Mirshekari, B., & Farahvash, F. (2009). Irrigation management and nitrogen fertilization in fennel in a semiarid climate quarterly. *Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 27(4), 541-550. (In Persian with English abstract). [10.22092/ijmapr.2012.4503](https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.4503)
 39. Modhej, A., Naderi, A., Emam, Y., Aynehband, A., & Normohammadi, G. (2008). Effect of different nitrogen levels on grain yield, grain protein content and agronomic nitrogen use efficiency in wheat genotypes under optimum and post-anthesis heat stress conditions. *Journal of Seed and Plant Production*, 25(4), 353-371. (In Persian with English abstract).
 40. Mollavali, M., Bolandnazar, S., & Tabatabaei, S. J. (2011). Effect of ammonium nitrate and potassium sulfate on concentration of some nutrients in onion. *Journal of Horticultural Sciences*, 25(1), 101-108. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i1.9755>.
 41. Mona, Y., Kandil, A. M., & Swaefy Hend, M. F. (2008). Effect of three different compost levels on fennel and salvia growth character and their essential oils. *Biological Sciences*, 4, 34-39.
 42. Moradi Telavat, M. R., Ghatei, A., Olfati, R., Ghasemi, Z., & Ahmadi, F. (2019). The effect of nitrogen application on the response of growth, yield and nitrogen uptake of fennel to different levels of planting density. 16th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding. Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Mullasani, Ahvaz. (In Persian).
 43. Movaghatian, A., Fateh, E., Ayneband, A., & Siahpoosh, A. (2014). Effect of different soil fertilizing methods on soil properties, nutrient uptake and quantitative and qualitative yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Miller.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 31(3), 512-526. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.101922>
 44. Movaghatian, A., Fateh, E., Ayneband, A., & Siahpoosh, A. (2014). Investigation of integrated mineral nutrient management on yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare*). *Journal of Herbal Products*, 37(2) 113-126. (In Persian with English abstract)

45. Murphy, J., & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27(1), 31-36. [https://doi.org/10.1016/0003-2670\(62\)80017-7](https://doi.org/10.1016/0003-2670(62)80017-7)
46. Noshad, H., Mohammadian, R., Khayamim, S., & Hamdi, F. (2015). Effect of amino acid containing organic fertilizers on nitrogen use efficiency and qualitative and quantitative properties of sugar beet. *Sugar Beet Scientific Journal*, 30(2), 167-181. (In Persian with English abstract). [10.22092/jsb.2015.11551](https://doi.org/10.22092/jsb.2015.11551)
47. Olsen, S. R., & Sommer, L. E. (1982). Phosphorus. In: A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Ed). *Methods of Soil Analysis: Chemical and Microbiological Properties*, Part 2. 2nd Ed. Agron. Monogr. No. 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 403-430. <https://doi.org/10.2131/agronmonogr9.2.2ed.c24>
48. Omid Beigi, R., & Hasani Malayeri, S. (2007). Investigating the effect of nitrogen and planting density on the fertility of the medicinal plant of Zardband variety of cow-chamomile. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 1-38(2), 309-303. (In Persian with English abstract).
49. Omid Beigi, R. (2007). *Approaches to Production and Processing of Medicinal Plants*. Astan Quds Razavi Publications, 397 p.
50. Omid Beigi, R. (2013). *Approaches to the Production and Processing of Medicinal Plants*. Publication of Astan Quds Razavi, Mashhad, Iran. 6(2), 423 p.
51. Ratti, N., Kumar, S., Verma, H. N., & Gautam, S. P. (2001). Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. Motia by rhizobacteria, AMF and *Azospirillum* inoculation. *Microbiological Research*, 156, 145-149. <https://doi.org/10.1078/0944-5013-00095>
52. Rezaei Chianeh, E., Pirzad, A., & Farjami, A. (2014). Effect of nitrogen, phosphorus and sulfur supplier bacteria on seed yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 24(4), 71-83. (In Persian with English abstract).
53. Rezvani Moghadam, P., AminGhafouri, A., Bakhshaei, S., & Jafari, L. (2013). The effect of organic and biofertilizers on some quantitative characteristics and essential oil content of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Agricultural Ecology*, 5(2), 105-112. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v5i2.24460>
54. Rouhanipour, A. (2010). Investigating the effect of silicon on corn (*Zea mays*) grown under salinity stress conditions and hydroponic culture. M.Sc. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
55. Sefidkon, F. (2001). Essential oil content and chemical composition of *Foeniculum vulgare* Mill. at different stage of plant growth. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 10(1), 85-104. (In Persian with English abstract).
56. Shabahang, J., Khorramdel, S., & Gheshm, R. (2013). Evaluation of symbiosis with mycorrhizal on yield, yield components and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) and ajowan (*Carum copticum* L.) under different nitrogen levels. *Journal of Agricultural Ecology*, 5(3), 289-298. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v5i3.29001>
57. Shafeei, S., Majidian, M., Mohsenabadi, G., & Kiuomarsi, H. (2023). Effect of nitrogen and manure application on agronomic traits and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Environmental Research and Technology*, 14(8), 147-161. (In Persian with English abstract). <http://dx.doi.org/10.61186/jert.43867.8.14.147>
58. Shahat, A. A., Ibrahim, A. Y., Hendawy, S. F., Omer, E. A., Hammouda, F. M., Abdel-Rahman, F. H., & Saleh, M. A. (2011). Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of essential oils from organically cultivated fennel cultivars. *Molecules*, 16(2), 1366-1377. <https://doi.org/10.3390/molecules16021366>
59. Shamisi, A., Khodayi Joghani, A., Lotfi Jalalabadi, A., & Qarineh, M. H. (2022). Assessing yield response of quinoa to sugarcane residue compost and *Trichoderma asperelloides* fungi and *Bacillus subtilis* bacteria inoculation. *Journal of Agricultural Sciences and Sustainable Production*, 32(4), 83-97. (In Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22034/saps.2022.48683.2760>
60. Siadat, S. A., & Moradi Telavat, M. R. (2018). *Practical Aspects of Organic Agriculture*. Agricultural Education and Extension Publications of Tehran, Tehran, Iran. 233 p. (In Persian).
61. Tabrizi, L. (2005). The effect of moisture and manure on quantitative and qualitative characteristics of Fleawort. MSc. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
62. Vali Beigi, A., & Adavi, Z. (2017). Effects of of nitrogen fertilizer and growth promoting rhizobacteria on yield and yield component of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Plant Ecophysiology*, 11(37), 162-153. (In Persian)

- with English abstract).
63. Waling, I., Van Vark, W., Houba, V. J. G., & Van der Lee, J. J. (1989). Soil and plant analysis, a series of syllabi. Plant analysis procedures, Part 7. Wageningen, the Netherlands: Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University.
64. Zortea, R. B., Maciel, V. G., & Passuello, A. (2018). Sustainability assessment of soybean production in Southern Brazil: A life cycle approach. *Sustainable Production and Consumption*, 13, 102-112. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2017.11.002>