Plant Prod., 2026, 48(4), 607- 624
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.49830.2275
Received: 2 June 2025
Accepted: 15 October 2025

Plant Productions
Research Article

Investigation of the effects of different application methods of amino acid–chelated micronutrient on growth, yield, and essential oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.)

Maryam Zolfaghari[1*], Fariba Moradi[2], Shohreh Zivdar[1]

1. Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. M.Sc. Graduate, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Citation: Zolfaghari, M., Moradi, F., Zivdar, S. (2026). Investigation of the effects of different application methods of amino acid–chelated micronutrient on growth, yield, and essential oil composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Plant Productions,* 48(4), 607 – 624.

Abstract

Introduction

Balanced plant nutrition, particularly through the application of micronutrients, is fundamental to improving crop growth, yield, and quality. In calcareous and alkaline soils commonly found in arid and semi-arid regions, micronutrient availability and plant uptake are significantly reduced, thereby limiting agricultural productivity. Amino acid–chelated fertilizers provide an efficient and environmentally sustainable source of micronutrients by enhancing their bioavailability and uptake, ultimately promoting optimal plant nutrition.

Materials and Methods

In this study, the effects of different application methods of amino acid–chelated fertilizers containing essential micronutrients on the growth, yield, phytochemical compounds, and essential oil quality of coriander (*Coriandrum sativum* L.), a medicinal plant were evaluated. The fertilizer treatments included foliar application, soil application, combined foliar and soil application, and an untreated control. The experiment was conducted in 2019 at the research farm of Shahid Chamran University of Ahvaz using a randomized complete block design with four treatments and four replications. Morphological traits, yield components, and essential oil content were measured at two distinct phenological stages, and the essential oil compounds were identified and quantified using gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS).

Results and Discussion

Analysis of variance revealed that amino acid–chelated fertilizer application had statistically significant effects on most measured traits of coriander. At the 5% significance level, amino

* **Corresponding Author:** Maryam Zolfaghari
E-mail: M.zolfaghari@scu.ac.ir

© 2026 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article 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 work is properly cited.

chelate treatments significantly increased plant height, number of umbels per plant, and fresh and dry biomass. Moreover, at the 1% significance level, thousand-seed weight, total seed yield, and essential oil content in both vegetative tissues and seeds were highly significantly affected by amino chelate application. The combined soil and foliar application produced the greatest improvements, resulting in the highest plant height (130 cm) compared with the control (113 cm), as well as maximum fresh (211 g) and dry (42 g) biomass. This treatment also significantly increased the number of umbels (100) and umbellets (806), whereas the control treatment recorded the lowest values. In addition, the combined application resulted in the highest essential oil percentage (0.35%) and essential oil yield (2.33 g m^{-2}) in coriander seeds. The enhancement of essential oil traits under amino chelate application was associated with improved micronutrient availability and stimulation of secondary metabolite biosynthesis. Gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS) analysis identified approximately 30 essential oil constituents, with eight major compounds including α-pinene, β-pinene, p-cymene, linalool, camphor, geranyl acetate, γ-terpinene, and camphene. Fertilizer application method significantly influenced the essential oil profile; foliar application increased monoterpene hydrocarbons such as α-pinene and β-pinene, whereas the combined treatment enhanced γ-terpinene content and uniquely induced the presence of camphene. The observed increases in umbels, umbellets, and biomass under amino chelate treatments was likely due to improved nutrient supply, enhanced photosynthetic efficiency, and greater assimilate production, leading to increased dry matter accumulation. These findings are consistent with previous studies on medicinal plants and highlight the effectiveness of amino acid–chelated fertilizers, particularly combined soil and foliar application, in improving growth, yield, and essential oil composition of coriander.

Conclusion

In conclusion, amino chelate fertilizers, particularly when applied through a combined method of foliar spraying and fertigation, are recommended as an effective approach to enhance the growth, yield, quality, and essential oil composition of coriander. By ensuring optimal nutrient supply and stimulating key biochemical processes, these fertilizers improve seed performance and promote the production of higher-quality essential oils.

Keywords: Biological yield, Essential oil profile, Foliar spraying, Micronutrient

تولیدات گیاهی، ۱۴۰۴، ۴۸(۴)،۶۰۷- ۶۲۴
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.49830.2275
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر روش‌های مختلف کاربردآمینوکلات عناصر ریزمغذی بر رشد، عملکرد و ترکیبات اسانس گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)

مریم ذوالفقاری[1*]، فریبا مرادی[2]، شهره زیودار[1]

۱- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده

**تغذیهٔ متعادل گیاهان، به‌ویژه از طریق فراهم آوردن عناصر ریزمغذی، نقش مهمی در بهبود رشد، عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی ایفا می‌کند. در خاک‌های آهکی و قلیایی مناطق خشک و نیمه‌خشک، جذب ریزمغذی‌ها با محدودیت مواجه است که این امر می‌تواند باعث کاهش کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی شود. کودهای آمینوکلات، به عنوان منابعی سازگار با محیط زیست و مؤثر در جذب ریزمغذی‌ها، از قابلیت بالایی برای ارتقای تغذیهٔ گیاه برخوردارند. در این مطالعه، اثر روش‌های مختلف کاربرد کود آمینوکلات حاوی عناصر ریزمغذی، شامل محلول‌پاشی برگی، کودآبیاری، کاربرد تلفیقی (محلول‌پاشی برگی و کودآبیاری) و شاهد (عدم کاربرد)، بر رشد، عملکرد، ترکیبات فیتوشیمیایی و کیفیت اسانس گیاه دارویی گشنیز بررسی شد. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۱۳۹۸اجرا شد. شاخص‌های مورفولوژیکی، عملکرد و درصد اسانس در دو مرحلهٔ فنولوژیکی اندازه‌گیری و ترکیبات اسانس با استفاده از کروماتوگرافی گازی – طیف‌سنج جرمی شناسایی شدند. نتایج نشان داد که کاربرد کود آمینوکلات اثر معنی‌داری بر بیشتر صفات مورد بررسی داشت. کاربرد آمینوکلات باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه، تعداد چتر در بوته و وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه شد. همچنین، تیمارهای مختلف آمینوکلات اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه، عملکرد دانه و میزان اسانس داشتند. بیشترین ارتفاع گیاه با میانگین ۱۳۰ سانتی‌متر مربوط به تیمار تلفیقی (کودآبیاری + محلول‌پاشی) بود که نسبت به تیمار شاهد (۱۱۳ سانتی‌متر) افزایش قابل‌توجهی نشان داد. هم‌چنین، بیشترین وزن تر (۲۱۱ گرم) و وزن خشک (۴۲ گرم) نیز در این تیمار مشاهده شد. تعداد چتر و چترک نیز با کاربرد آمینوکلات به طور معنی‌داری افزایش یافت؛ به گونه ای که بیشترین تعداد چتر (۱۰۰ عدد) و چترک (۸۰۶ عدد) به تیمار تلفیقی اختصاص داشت، در حالی که تیمار شاهد کمترین مقدار (۳۷/۰۷ و ۱۷۷/۴۵ به ترتیب تعداد چتر و چترک) را نشان داد. کاربرد آمینوکلات به ویژه به صورت تلفیقی، بیشترین تأثیر را در افزایش درصد اسانس (۰/۳۵ درصد) و عملکرد اسانس (۲/۳۳ گرم در مترمربع) داشت. آنالیز کیفی اسانس توسط کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی حدود ۳۰ ترکیب مختلف را شناسایی کرد که هشت ترکیب غالب

نویسنده مسئول: مریم ذوالفقاری
رایانامه: M.zolfaghari@scu.ac.ir

شامل آلفا-پینن، بتا-پینن، پارا-سیمن، لینالول، کامفور، ژرانیل‌استات، گاما-ترپینن و کامفن بودند. نوع کاربرد کود آمینوکلات بر پروفایل ترکیبات اسانسی اثر معنی‌داری داشت؛ به‌طوری که تیمار محلول‌پاشی موجب افزایش درصد ترکیبات مونوترپنی مانند آلفا-پینن و بتا-پینن و تیمار تلفیقی نیز باعث افزایش گاما-ترپینن و حضور منحصر به فرد کامفن شد. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد کودهای آمینوکلات، به‌ویژه در قالب تلفیقی محلول‌پاشی و کودآبیاری، به عنوان روشی مؤثر در افزایش رشد، عملکرد، کیفیت و ترکیب اسانس گیاه دارویی گشنیز توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: پروفایل اسانس، عملکرد بیولوژیک، عناصر ریزمغذی، محلول‌پاشی برگی

مقدمه

در نظام‌های کشاورزی پایدار، تغذیهٔ متعادل و هدفمند گیاهان، به‌ویژه با بهره‌گیری از عناصر غذایی ریزمغذی، یکی از مهم‌ترین راهکارهای افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات زراعی و باغی به شمار می‌آید. ریزمغذی‌ها مانند آهن، روی، مس و منگنز، اگرچه در مقادیر بسیار اندک مورد نیاز گیاه هستند، اما نقش حیاتی در تنظیم فعالیت‌های آنزیمی، متابولیک و فیزیولوژیکی گیاهان ایفا می‌کنند. این عناصر، به‌ویژه پس از تأمین عناصر درشت‌مغذی نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، تأثیر چشمگیری در ارتقای تولید و کیفیت محصول دارند و به همین دلیل به آن‌ها لقب عناصر خرد با اثرهای کلان داده شده است (Malakoti and Tehrani, 1999). در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌ویژه در ایران، قابلیت جذب این ریزمغذی‌ها به‌شدت کاهش یافته و گیاهان با کمبودهایی مواجه می‌شوند که به‌طور مستقیم بر رشد، عملکرد و کیفیت آن‌ها اثر می‌گذارد. وجود مقادیر زیاد کربنات و بی‌کربنات کلسیم و pH بالا در این خاک‌ها، سبب تثبیت و غیرقابل جذب شدن این عناصر می‌شود (Malakoti and Tehrani, 1999). از سوی دیگر، استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی در دهه‌های اخیر ضمن بر هم زدن تعادل عناصر غذایی در خاک، خسارات زیادی به محیط زیست وارد کرده است. در نتیجه، توجه به اشکال جدیدتر و سازگارتر کودهای کشاورزی، به‌ویژه منابع آلی و طبیعی، افزایش یافته است (Souri and Yarahmadi 2015). در این میان، محلول‌پاشی برگی به‌عنوان یک روش مکمل و کارآمد برای تغذیهٔ گیاهان در شرایط خاص از جمله خاک‌های فقیر یا قلیایی، اهمیت دارد. به‌ویژه در مورد ریزمغذی‌ها که تحرک محدودتری در خاک دارند، محلول‌پاشی به طور مستقیم و با سرعت بالا، مواد غذایی را در اختیار اندام‌های هوایی گیاه قرار می‌دهد و موجب بهبود فوری عملکرد می‌شود (Kamkar *et al.,* 2011; Zivdar *et al.,* 2015). یکی از پیشرفت‌های قابل‌توجه در زمینهٔ تغذیهٔ برگی، استفاده از کودهای آمینوکلات است.

آمینوکلات‌ها ترکیباتی هستند که از پیوند میان یک عنصر غذایی و یک یا چند اسیدآمینه تشکیل شده‌اند. در این کودها، عناصر غذایی با اسیدهای‌آمینه‌ای مانند گلیسین، گلوتامیک اسید یا آلانین کلات می‌شوند و بدین ترتیب پایداری و قابلیت جذب آن‌ها به‌شکل قابل توجهی افزایش می‌یابد. برخلاف کلات‌های شیمیایی مانند EDTA که ممکن است اثرات منفی زیست‌محیطی داشته باشند، آمینوکلات‌ها زیست‌تخریب‌پذیر، سازگار با محیط زیست و هم‌ساز با متابولیسم طبیعی گیاه هستند (Souri and Yarahmadi, 2015; Aslani and Soori, 2013). به علاوه، به‌دلیل اندازه کوچک مولکول و شباهت ساختاری با ترکیبات درونی گیاه، جذب و انتقال آن‌ها در سلول‌های گیاهی به‌صورت مؤثرتری صورت می‌گیرد. نتایج تحقیقی نشان داده است که

کاربرد برگی آمینوکلات‌ها نسبت به کاربرد خاکی کودهای ساده یا حتی برخی کلات‌های مصنوعی، تأثیر بیشتری در افزایش رشد، عملکرد و حتی ترکیبات فیتوشیمیایی گیاه دارد (Amin *et al.*, 2011). اهمیت این نوع تغذیه، زمانی دوچندان می‌شود که موضوع به گیاهان دارویی مربوط باشد. برخلاف محصولات زراعی متداول که تولید انبوه مدنظر است، در گیاهان دارویی کیفیت ترکیبات مؤثره از اهمیت به‌مراتب بیشتری برخوردار است. بسیاری از ترکیبات مانند اسانس‌ها، آلکالوئیدها، فلاونوئیدها و ترپنوئیدها، تحت تأثیر مستقیم شرایط تغذیه‌ای گیاه قرار دارند (MirJalili, 2003; Omid Beigi, 2003). مطالعات نشان داده‌اند که با تنظیم دقیق رژیم غذایی گیاهان دارویی، می‌توان نه‌تنها بر کمیت بلکه بر کیفیت و ترکیب شیمیایی متابولیت‌های ثانویه آن‌ها نیز تأثیر گذاشت (Hedayatpour *et al.,* 2015; Zolfaghari *et al.,* 2020).

یکی از گیاهان دارویی ارزشمند که در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی کاربرد فراوان دارد، گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) است. این گیاه یک‌ساله از خانوادهٔ چتریان، بومی نواحی مدیترانه‌ای و آسیای غربی بوده و در بسیاری از مناطق دنیا کشت می‌شود. در ایران نیز در بیشتر استان‌ها به ویژه استان‌های اصفهان، همدان، خراسان، خوزستان و فارس کشت می‌شود (Nezafat *et al.,*2023). ارتفاع آن بین ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر و دورهٔ رشد آن بسته به شرایط اقلیمی، بین ۸۰ تا ۱۲۰ روز متغیر است (Omidbeigi, 2009). گشنیز علاوه بر مصارف غذایی، به دلیل داشتن ترکیبات زیست‌فعال فراوان نظیر لینالول، لیمونن، پینن و ژرانیول، دارای خواص ضدمیکروبی، ضدقارچی، ضدنفخ، مسکن و آرام‌بخش می‌باشد (Kapoor *et al.,* 2004; Sefidkon, 2001). از بذر گشنیز در تهیهٔ نُقل و شیرینی استفاده می‌شود و ترکیبات اسانس آن در صنایع غذایی، بهداشتی، آرایشی و دارویی کاربرد فراوان دارد. میوه یا بذر گشنیز حاوی ترکیبات معطر و مؤثری مانند لینالول، آلفاپینن و گاماترپینن است که علاوه بر ارزش دارویی، به‌عنوان طعم‌دهندهٔ طبیعی در تولید محصولات غذایی و دارویی نیز استفاده می‌شود. همچنین، به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و ضدمیکروبی، اسانس استخراج‌شده از بذر گشنیز در فرمولاسیون بسیاری از محصولات آرایشی و بهداشتی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Davazdeh Emami and Majnoon Hoseini, 2008).کیفیت و کمیت این اسانس به‌شدت تحت تأثیر عوامل مدیریت در زمان تولید گیاه، به‌ویژه تغذیهٔ گیاه قرار دارد. تحقیقات نشان داده‌اند که با بهینه‌سازی ترکیب کودهای مصرفی، به‌ویژه استفاده از ریزمغذی‌ها به‌صورت کلات‌های آمینه، می‌توان محتوای اسانس و ترکیبات فیتوشیمیایی گیاه را به‌طور قابل توجهی افزایش داد (Davazdeh Emami and Majnoon Hoseini 2008; Zolfaghari *et al.,* 2020).

با توجه به اهمیت بالای گشنیز به‌عنوان یک گیاه دارویی چندمنظوره و نقش مؤثر عناصر ریزمغذی در تنظیم رشد، بهبود عملکرد و سنتز ترکیبات ثانویه، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کودهای آمینوکلات بر رشد، عملکرد، ترکیب فیتوشیمیایی، کمیت و کیفیت اسانس این گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۹–۱۳۹۸ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در استان خوزستان اجرا شد. موقعیت جغرافیایی محل آزمایش در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقهٔ شمالی، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقهٔ شرقی و ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا قرار داشت. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعهٔ مورد مطالعه قبل از اجرای آزمایش در جدول ۱- ارائه

شده است. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل محلول‌پاشی برگی کود آمینوکلات، کودآبیاری، کاربرد تلفیقی (محلول‌پاشی برگی + کودآبیاری) و شاهد (بدون کاربرد کود) بودند. کود آمینوکلات مورد استفاده با نام تجاری Royal T.E از شرکت Productos Biologicos کشور اسپانیا تهیه شد. بر اساس آنالیز اعلام‌شده توسط شرکت سازنده، ترکیب این کود شامل شامل ۰/۰۲ درصد بُر محلول، ۲/۵ درصد آهن محلول، ۰/۹ درصد روی، ۰/۸ درصد منگنز، ۲/۶ درصد نیتروژن کل و ۴/۵ درصد اسیدآمینه از نوع گلایسین بود.

پیش از کاشت، زمین مورد نظر شخم و دیسک زده شد و تسطیح شد. با توجه به آنالیز خاک و توصیه‌های کودی برای گیاه گشنیز، کودهای پایه شامل ۱۰۰ کیلوگرم ازت، ۸۰ کیلوگرم اکسید فسفر و ۸۰ کیلوگرم اکسید پتاس در هکتار به خاک اضافه شدند. سپس زمین به کرت‌هایی به ابعاد ۲×۲ متر تقسیم شد. فاصلهٔ بین کرت‌ها و همچنین بین بلوک‌ها، یک متر در نظر گرفته شد. بذرهای گشنیز از تودهٔ بومی منطقهٔ خوزستان تهیه و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر بین ردیف و ۱۵ سانتی‌متر روی ردیف در کرت‌ها کشت شدند. عملیات داشت شامل آبیاری منظم، وجین علف‌های هرز و تُنک کردن گیاهان بر حسب نیاز و به‌طور یکنواخت در طول دورهٔ رشد انجام شد. پس از سبز شدن و رسیدن گیاهان به ارتفاع ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر، تیمارهای کودی در سه نوبت و با فاصله ۲۰ روز اعمال شدند. محلول‌پاشی آمینوکلات با غلظت ۲ در هزار طبق توصیه شرکت تولیدکننده انجام شد. در مرحلهٔ اول، به هر بوته ۲۰۰ میلی‌لیتر، در مرحلهٔ دوم ۲۵۰ میلی‌لیتر، و در مرحلهٔ سوم ۳۰۰ میلی‌لیتر محلول داده شد. این افزایش حجم متناسب با رشد و توسعهٔ گیاه در طول زمان بود. برای افزایش نفوذ و جذب در تیمار محلول‌پاشی، از مادهٔ پخش‌کنندهٔ توین ۲۰ به مقدار ۳ گرم در لیتر استفاده شد. محلول‌پاشی در ساعات اولیه صبح، در شرایط بدون بارندگی و باد، به نحوی انجام شد که تمام اندام‌های هوایی گیاه کاملاً خیس شوند. در تیمار کودآبیاری، به‌منظور جلوگیری از اتلاف محلول و افزایش جذب، در کنار هر بوته گودال‌هایی کوچک حفر و محلول در آن‌ها ریخته شد. در تیمار تلفیقی، محلول به دو بخش مساوی تقسیم شده و نیمی از آن به صورت محلول‌پاشی برگی و نیم دیگر به صورت کودآبیاری اعمال شد. تیماردهی تا زمان تشکیل ساقهٔ گل‌دهنده گیاه ادامه یافت و شرایط آب‌وهوایی و بارندگی‌ها نیز در زمان‌بندی اعمال تیمارها لحاظ شد. نمونه‌برداری از گیاهان در دو مرحلهٔ فنولوژیکی انجام شد. مرحلهٔ اول در آستانهٔ گل‌دهی به‌منظور اندازه‌گیری شاخص‌های مورفولوژیک شامل ارتفاع گیاه، تعداد چتر و چترک در هر بوته، وزن تر و خشک پیکرهٔ رویشی انجام شد.

در مرحلهٔ اول نمونه برداری، از هر کرت ۱۰ بوته به‌صورت تصادفی برداشت و با برش در ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری از سطح خاک، به آزمایشگاه منتقل شدند. مرحلهٔ دوم نمونه‌برداری در پایان دورهٔ رشد، پس از زرد شدن گیاهان و رسیدن کامل دانه‌ها انجام شد. در این مرحله شاخص‌های وزن دانه در هر چتر، وزن هزار دانه، عملکرد دانه در واحد سطح و نیز درصد و عملکرد اسانس دانه اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری وزن تر و خشک بوته‌ها و دانه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام شد.

استخراج اسانس از دو بخش از گیاه گشنیز شامل اندام هوایی (شاخ و برگ) و دانه‌ها به طور جداگانه انجام شد. نمونه‌ها پس از خشک‌کردن در سایه و آسیاب کردن، با استفاده از دستگاه کلونجر به روش تقطیر با آب به مدت ۳ ساعت اسانس‌گیری انجام شد. پس از جداسازی اسانس، وزن آن اندازه‌گیری و درصد و عملکرد آن محاسبه گردید. جهت شناسایی ترکیبات تشکیل‌دهندهٔ اسانس، از دستگاه کروماتوگرافی گازی-

طیف‌سنج جرمی(GC-MS) استفاده شد. دستگاه کروماتوگرافی Agilent مدل 7890B، ستون مورد استفاده از نوع Hp-5.ms (با طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر، ضخامت لایهٔ فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر) بود. برنامهٔ دمایی دستگاه شامل دمای اولیهٔ ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد با زمان نگهداری یک دقیقه بود که با پنج درجهٔ سانتی‌گراد افزایش در هر دقیقه به دمای نهایی ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با زمان نگهداری سه دقیقه، رسید. درجه حرارت محفظهٔ تزریق نمونه ۲۸۰ سانتی‌گراد و آشکارساز (FID) ۳۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و گاز حامل هلیم بود که با سرعت یک میلی‌متر در دقیقه در طول ستون حرکت می‌کرد. زمان اسکن برابر یک ثانیه و انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون‌ولت بود.

جهت تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از این پژوهش، از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

صفات رشدی و عملکرد

نتایج آنالیز واریانس نشان داد تیمارهای مختلف آمینوکلات تأثیر معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی در گیاه دارویی گشنیز داشتند. کاربرد آمینوکلات بر ارتفاع گیاه، تعداد چتر در بوته و وزن تر و خشک اندام هوایی اثر معنی‌دار در سطح پنج درصد داشت (جدول ۲). همچنین این تیمارها اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه، عملکرد دانه، میزان اسانس اندام رویشی و اسانس دانه‌ها در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۴). نتایج بیانگر آن است که کاربرد کودهای آمینوکلات، به‌ویژه در قالب تلفیقی می‌تواند رشد، عملکرد و کیفیت متابولیت‌های ثانویه گشنیز را بهبود بخشد. نتایج نشان داد تیمارهای آمینوکلات در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری داشتند. بیشترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار تلفیقی (کودآبیاری+محلول‌پاشی) با میانگین ۱۳۰ سانتی‌متر بود که اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد (میانگین ۱۱۳ سانتی‌متر) داشت. اگرچه ارتفاع بوته در تیمارهای محلول‌پاشی (۱۲۵سانتی‌متر) و کودآبیاری (۱۲۹ سانتی‌متر) نیز نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان دادند، اما تفاوت آن‌ها با تیمار تلفیقی از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲).

صفات رویشی

نتایج نشان داد که کاربرد کود آمینوکلات، صرف‌نظر از روش مصرف، موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته‌های گشنیز گردید. تیمار تلفیقی (محلول‌پاشی + کودآبیاری) بیشترین اثر را بر ارتفاع گیاه داشت و نسبت به شاهد افزایش چشم‌گیری نشان داد. افزایش ارتفاع گیاه دارویی شوید در اثر مصرف آمینوکلات عناصر ریزمغذی توسط پژوهشگران گزارش شده است (Zolfaghari *et al.,* 2024). همچنین مصرف توأم آمینوکلات آهن و کود نیتروژنه منجر به رشد طولی بیشتر گیاهان شد (Jafari *et al.,* 2014) و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه نیز باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه گشنیز شد که با نتایج پژوهش حاضر هم‌راستا است (Reza Khani and Haj Seyed Hadi, 2017).

کاربرد آمینوکلات‌ها سبب افزایش قابلیت جذب و تحرک عناصر غذایی کم‌مصرف مانند آهن، روی، منگنز و بُر در گیاه می‌شود. این عناصر در ساخت کلروفیل، فرآیندهای فتوسنتزی، تقسیم سلولی و سنتز پروتئین نقش کلیدی دارند (Souri *et al.,* 2016; Malakoti and Tehrani 1999). وجود نیتروژن قابل جذب در ساختار اسیدهای آمینه این کودها، به‌ویژه گلایسین، نیز نقش مهمی در تحریک رشد رویشی ایفا می‌کند (Souri 2016.).

جدول۱-مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)

Table 1. Physical and chemical properties of the soil at the experimental site (0–30 cm depth)

Soil texture	pH	EC ($ds.m^{-1}$)	Organic matter (%)	Total nitrogen (N) (%)	Available phosphorus (P) ($mg\ kg^{-1}$)	Available potassium (K) ($mg\ kg^{-1}$)
Loamy sand	7.11	3.00	0.50	0.03	16.6	267

جدول۲- آنالیز واریانس اثر کاربرد آمینوکلات عناصر ریزمغذی بر ویژگی های رویشی گشنیز

Table 2. Analysis of variance for the effect of amino acid–chelated micronutrient application on growth traits of coriander

S.O.V	df	Plant height	Number of umbels	Number of umbellets	Fresh weight	Dry weight
Block	3	549*	3866	278243	18785*	751*
Treatments	3	2420**	29971**	3431171**	26607**	1064**
Error	15	142	1984	139300	6472	258
CV (%)	-	9.54	25.58	18.53	15.53	25.53

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد آماری است.

* and ** indicate significance at the 5% and 1% probability levels, respectively.

محققان بیان کردند که کودهای آمینوکلات با تأمین عناصر مورد نیاز گیاه و تحریک تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها، سبب افزایش رشد طولی می‌شوند (Strichland *et al.*, 2015). همچنین به نقش احتمالی این کودها در تحریک تولید هورمون‌های رشدی مانند اکسین از طریق فراهم کردن عناصر کلیدی نظیر روی اشاره کرده‌اند (Nagananda *et al.,* 2010). عنصر روی نقش اساسی در سنتز ترپتوفان، پیش‌مادهٔ تولید اکسین، ایفا می‌کند و آهن نیز به عنوان کوفاکتور در بسیاری از واکنش‌های آنزیمی و همچنین در فرآیند فتوسنتز اهمیت دارد (Fang *et al.,* 2008; Miller *et al.,* 1995).

مطالعات متعددی افزایش ارتفاع گیاهان دارویی را در نتیجهٔ کاربرد آمینوکلات یا ترکیبات کلاتهٔ آهن و عناصر کم‌مصرف گزارش کرده‌اند (Jafari *et al.,* 2014; Rezaei Chiyaneh *et al.,* 2015). افزایش ارتفاع گیاه در اثر کاربرد آمینوکلات را می‌توان به بهبود تغذیه گیاه و افزایش کارایی جذب عناصر ریزمغذی نسبت داد که در فرایندهای فیزیولوژیکی و رشد سلولی نقش کلیدی دارند. حضور اسیدآمینهٔ گلایسین در ساختار این کود نیز می‌تواند سبب بهبود انتقال عناصر به درون سلول‌های گیاهی و فعال‌سازی مکانیسم‌های رشد شود. این نتایج با یافته‌های سایر محققان نیز هم‌راستا است که گزارش کردند استفاده از آمینوکلات‌ها موجب افزایش رشد رویشی و عملکرد در گیاهان مختلف می‌شود (Souri, 2016).

بر اساس نتایج آنالیز واریانس، کاربرد کود آمینوکلات تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و وزن خشک گیاه گشنیز در سطح ۱ درصد داشت (جدول ۲). بیشترین میزان وزن تر (۲۱۱ گرم) و وزن خشک (۴۲ گرم) در تیمار کاربرد تلفیقی آمینوکلات مشاهده شد. همچنین در شاخص وزن تر، تیمارهای کودآبیاری (۱۸۱ گرم)، شاهد (۱۵۹ گرم) و محلول‌پاشی (۱۵۴ گرم) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). مطالعات پیشین در گیاه شوید نشان داد مصرف آمینوکلات آهن باعث افزایش معنی‌دار وزن تر برگ، ساقه و ریشه شد (Jafari *et al.,* 2014). همچنین کاربرد نانوکلات آهن روی زعفران تأثیر بیشتری نسبت به کلات معمولی داشت و بالاترین غلظت مورد استفاده (۱۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین افزایش وزن تر را ایجاد کرد (Baghaei and Maleki Farahani, 2013). در گیاه ریحان نیز کودهای کلات معمولی و نانوکلات آهن، وزن تر برگ و ریشه را به میزان قابل‌توجهی افزایش دادند (Peyvandi *et al.,* 2011). همچنین افزایش معنی‌دار وزن تر گیاه همیشه‌بهار پس از محلول‌پاشی کودهای آمینواسیدی گزارش شده است (Souri and Yarahmadi, 2015).

وجود درصد قابل‌توجهی از نیتروژن در کودهای آمینوکلات یکی از عوامل مؤثر در رشد و افزایش وزن تر و خشک گیاه است. نیتروژن به عنوان یکی از عناصر کلیدی در رشد گیاه، با افزایش جذب آب و افزایش آماس سلولی، به

توسعهٔ بهتر بافت‌های رویشی و افزایش مادهٔ خشک گیاه کمک می‌کند (Gorgini Shabankareh *et al.*, 2017).

افزایش وزن خشک گیاه –با افزایش تولید و ذخیرهٔ محصولات فتوسنتزی ارتباط مستقیم دارد، به این معنی که بهبود فتوسنتز و تولید ترکیبات آلی باعث افزایش تجمع مواد در بافت‌های گیاهی و در نتیجه افزایش وزن خشک می‌شود (Taiz and Zeiger, 2002). مهم‌ترین عامل مؤثر در افزایش وزن تر و خشک، افزایش فتوسنتز گیاه است که به طور مستقیم تحت تأثیر جذب بهتر عناصر ریزمغذی مانند آهن و روی قرار دارد. این عناصر به ویژه آهن نقش کلیدی در ساخت کلروفیل و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی دارند و بهبود فتوسنتز به رشد و عملکرد بهتر گیاه منجر می‌شود (Pande *et al.*, 2007).

تیمارهای مختلف آمینوکلات تأثیر معنی‌داری بر تعداد چتر و چترک بوته در سطح ۱ درصد داشت (جدول ۲). براساس مقایسه میانگین‌ها، بیشترین تعداد چتر (۱۰۰ عدد) و چترک (۸۰۶ عدد) در هر بوته مربوط به تیمار کاربرد تلفیقی آمینوکلات بود، در حالی‌که تیمار شاهد کمترین تعداد چتر (۳۷ عدد) و چترک (۱۷۷ عدد) را نشان داد (جدول ۳).

در این مطالعه، بیشترین تعداد چتر با ترکیب محلول‌پاشی برگی و کودآبیاری آمینوکلات به دست آمد. با وجود محدود بودن تحقیقات در زمینه تأثیر آمینوکلات‌ها و سایر کودهای کلات‌کننده بر تعداد چتر در گیاهان دارویی، برخی پژوهش‌ها نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند. در گیاه زیره سبز محلول‌پاشی آهن به فرم‌های نانو و معمولی باعث افزایش معنی‌دار تعداد چتر نسبت به شاهد شد؛ بیشترین افزایش تعداد چتر (به ترتیب ۲۵ و ۲۱ درصد) مربوط به غلظت ۴ گرم در لیتر نانوکلات و کلات‌آهن معمولی بود (Nasiri Dehsorkhi *et al.*, 2018). همچنین افزایش غلظت اسید هیومیک موجب افزایش معنی‌دار تعداد چتر گیاه زنیان شد و بهترین غلظت، ۳ کیلوگرم در هکتار ثبت شد (Barghamadi and Najafi, 2015). بررسی‌های محدود در زمینهٔ تأثیر آمینوکلات و کلات‌کننده‌ها بر تعداد چترک در گیاهان خانوادهٔ چتریان نشان داده است که استفاده از کودهای مبتنی بر نانومواد ریزمغذی نظیر آهن، منگنز و روی موجب افزایش تعداد چترک می‌شود (Ansari *et al.*, 2019). همچنین محلول‌پاشی هیومیک اسید در گیاه رازیانه اثر مثبت معنی‌داری بر تعداد چترک داشت (Kiani *et al.*, 2019). عناصری مانند آهن و روی نقش مهمی در افزایش تعداد چترک گیاهان خانوادهٔ چتریان ایفا می‌کنند؛ برای نمونه، محلول‌پاشی سولفات آهن و سولفات روی باعث افزایش تعداد چترک در گیاه شوید شده است (Miransari *et al.*, 2015).

در پژوهش حاضر، احتمالاً افزایش تعداد چتر در گیاه گشنیز به دلیل اثر آمینوکلات بر افزایش تولید آسیمیلات‌ها و نقش عناصر مهمی مانند آهن در فرآیند فتوسنتز است. جذب بهتر عناصر غذایی در تیمارهای آمینوکلات موجب افزایش فتوسنتز و تولید مادهٔ خشک شده و در نهایت تعداد چتر و گلدهی را افزایش می‌دهد.

جدول۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آمینوکلات عناصر ریزمغذی بر صفات رویشی گشنیز

Table 3. Mean comparison of amino acid–chelated micronutrient treatments on vegetative traits of coriander

Treatment	Plant height (cm)	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Number of umbels per plant	Number of umbellets per plant
Fertigation (A)	129 a	181 ab	36 a	67 ab	588 b
Foliar spray (B)	125 a	154 b	24 b	30 b	258 c
A + B	130 a	211 a	42 a	100 a	806 a
Control	113 b	159 b	23 c	37 b	177 c

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

Means with different letters in each column indicate significant differences at the 5% probability level based on Duncan's test.

جدول ۴- آنالیز واریانس اثر کاربرد آمینوکلات عناصر ریزمغذی بر صفات عملکرد و اسانس گشنیز

Table 4. Analysis of variance for the effect of amino acid–chelated micronutrient application on yield traits and essential oil yield of coriander

		Mean Squares (MS)					
S.O.V	df	Thousand seed weight	Seed yield per unit area	Number of seeds per umbel	Seed weight per umbel	Essential oil content	Essential oil yield
Block	3	1.51*	3844.40 ^{ns}	595.79 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.0018 ^{ns}	0.07 ^{ns}
Treatment	3	4.37**	486521.42 **	1479.02 ^{ns}	0.208 **	0.0151 **	7.45 **
Error	15	0.44	2137.33	792.61	0.004	0.0010	0.03
CV (%)	-	8.27	11.96	69.12	21.51	10.50	15.11

^{ns} عدم معنی‌داری و * و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد آماری است.

^{ns} = not significant, * and ** indicate significance at the 5% and 1% probability levels, respectively.

صفات عملکرد

بر اساس نتایج، نحوهٔ کاربرد کود آمینوکلات تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱ درصد) بر صفات وزن هزاردانه، عملکرد بذر در واحد سطح و وزن بذر در هر چتر داشت (جدول ۴). اما صفت تعداد بذر در هر چتر تحت تأثیر مصرف آمینوکلات قرار نگرفت.

وزن دانه در هر چتر

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که استفاده از کود آمینوکلات به طور قابل توجهی وزن دانه در هر چتر را افزایش داد. بیشترین مقدار این صفت مربوط به کاربرد تلفیقی آمینوکلات بود که وزن دانه در هر چتر را به ۰/۴۷ گرم رساند و این مقدار به طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود. همچنین، وزن دانه در هر چتر در تیمار محلول‌پاشی برگی (۰/۳۰ گرم) بیشتر از کود آبیاری (۰/۲۴ گرم) بود و کمترین مقدار وزن دانه مربوط به گیاهان شاهد با وزن ۰/۱۷ گرم بود (جدول ۵).

وزن هزاردانه

کاربرد کود آمینوکلات در اشکال مختلف، تأثیر مثبت و معنی‌داری بر وزن هزاردانهٔ گیاه گشنیز داشت. بیشترین وزن هزاردانه در تیمار کاربرد تلفیقی آمینوکلات به دست آمد (۸/۳۱ گرم) که تفاوت معنی‌داری با تیمار محلول‌پاشی برگی (۷/۷۸ گرم) نداشت. تیمار کود آبیاری در رتبهٔ بعدی قرار داشت (۷/۵۵ گرم) و کمترین مقدار وزن هزار دانه مربوط به گیاهان شاهد (۶/۸۵ گرم) بود (جدول ۵).

افزایش وزن هزاردانه ممکن است ناشی از افزایش دسترسی به عناصر غذایی مانند آهن و روی از طریق کود آمینوکلات باشد که این امر به افزایش فتوسنتز، تولید مادهٔ خشک بیشتر و تخصیص بهینهٔ آن به هر بذر منجر می‌شود (Monica and Cremonini, 2009).

عملکرد دانه در واحد سطح

بررسی میانگین‌ها نشان داد که گیاهان تیمار شده با کاربرد تلفیقی آمینوکلات بیشترین عملکرد دانه در واحد سطح را داشتند (۶۵۵ گرم در متر مربع) که این مقدار به طور معنی‌داری بالاتر از سایر تیمارها بود. عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی برگی آمینوکلات (۴۲۶ گرم در متر مربع) در جایگاه دوم قرار داشت و کمترین عملکرد به ترتیب در تیمارهای کود آبیاری (۲۴۰ گرم در متر مربع) و شاهد (۲۲۳ گرم در متر مربع) مشاهده شد (جدول ۵).

در این تحقیق، بیشترین افزایش عملکرد بذر در واحد سطح مربوط به کاربرد تلفیقی محلول‌پاشی برگی و مصرف کود آبیاری کود آمینوکلات بود. در زیرهٔ سبز، کاربرد کود نانوکلات آهن موجب افزایش عملکرد بذر و رابطهٔ مستقیم این صفت با غلظت کود تا ۴ گرم در لیتر شده است (Nasiri Dehsorkhi *et al.*, 2018). تأثیر مثبت نانوکلات آهن بر عملکرد زیرهٔ سبز تحت تنش خشکی نیز توسط سایر محققان

گزارش کردند (Baghai and Maleki Farahani, 2013). به طور کلی، کودهای آمینوکلات به دلیل تأمین عناصر مغذی مختلف، بهبود شرایط تغذیه گیاه و افزایش فتوسنتز، رشد رویشی و زایشی بهتری را سبب شده و عملکرد بذر را افزایش می‌دهند (Valadabadi *et al.,* 2007). همچنین، در این پژوهش استفاده از ترکیب محلول‌پاشی و مصرف کود آبیاری کود آمینوکلات باعث بیشترین افزایش وزن بذر در هر چتر شد. هرچند تاکنون تأثیر کودهای کلات‌کننده بر وزن بذر در هر چتر کمتر بررسی شده، اما این افزایش احتمالاً به دلیل افزایش فتوسنتز و تولید مادهٔ خشک و تخصیص بهینهٔ آن میان بذرهای هر چتر است که در نهایت موجب افزایش وزن بذر شده است. مطالعات پیشین نیز نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت کودهای آمینوکلات و کلات‌کنندهٔ آمینواسید بر صفات عملکردی مشابه بودند. در گیاه سویا بیشترین وزن هزار دانه در تیمارهای برگی کلات‌کنندهٔ آهن-گلوتامین و آهن-گلیسین گزارش شد (Jalali, 2020). استفاده از محرک‌های زیستی مانند اسیدآمینه می‌تواند عامل مهمی در موفقیت کشت گیاهان دارویی باشد؛ چراکه اسیدهای آمینه با افزایش رونویسی mRNA تا ۲/۵ برابر، فعال‌سازی هورمون‌های رشد زایشی، افزایش جذب و انتقال عناصر غذایی و افزایش میزان پروتئین گیاهی، وزن هزاردانه را افزایش دهند (Aminifard *et al.,* 2020). مطالعه‌ای نشان داد مصرف اسیدآمینه، تعداد و وزن بذر کدو را افزایش می‌دهد (Faten *et al.,* 2010). همچنین کاربرد اسیدآمینه باعث افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه بابونه شد (Fallahi *et al.,*2009). نتیجه بررسی‌ها نشان داد که تغذیه مناسب در خانواده چتریان تاثیر به‌سزایی در افزایش تعداد چتر و وزن بذر و در نهایت افزایش عملکرد دارد (Chegeni *et al.,* 2018).

گزارش ها حاکی از بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک با کوددهی اسیدآمینه است که شرایط مناسبی برای رشد بهتر گیاه فراهم می‌آورد؛ از این رو افزایش دانه در شرایط مصرف این کودها منطقی به نظر می‌رسد. افزایش عملکرد دانه می‌تواند در نتیجه افزایش فتوسنتز و تسهیم عناصر معدنی در برگ‌ها و افزایش فعالیت‌های هورمونی و آنتی‌اکسیدانی گیاه باشد (Natesan *et al.,* 2007). تأثیر مثبت محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر عملکرد ماش نیز گزارش شده است (Mai *et al.,* 2011).

محققان بیان کردند اسیدهای آمینه به عنوان منبع نیتروژن در تولید پروتئین گیاهی و کلروفیل نقش داشته و منجر به افزایش سطح برگ، رشد و عملکرد بوته و دانه در اثر محلول‌پاشی و کاربرد خاکی آمینواسیدها می‌شود. عنصر روی نیز با افزایش ذخیرهٔ کربوهیدرات‌های دانهٔ گرده، طول عمر دانهٔ گرده را افزایش داده و در نتیجه تعداد دانه را بیشتر می‌کند (Ghazi *et al.,* 2011). به همین دلیل تعداد دانه در چترک تحت تأثیر کودهای ریزمغذی آهن و روی محدود نشده است (Mai *et al.,* 2011). همچنین، محلول‌پاشی آهن و روی از ریزش بیش از حد دانه‌ها در گیاه آنیسون جلوگیری و باعث افزایش تعداد دانه شده است (Pirzad *et al.,* 2013). بررسی‌ها نشان می‌دهند برخی عناصر معدنی مانند روی در تشکیل و تسهیم محصولات فتوسنتزی نقش کلیدی دارند و کمبود آنها موجب اختلال در نمو گل‌ها، زنده ماندن دانهٔ گرده، تولید مادهٔ خشک و عملکرد دانه می‌شود (Singh *et al.,*2017). در پژوهشی محلول‌پاشی سولفات آهن و روی عملکرد دانهٔ گیاه اسفرزه را به طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد که این نتایج با یافته‌های این تحقیق همخوانی داشت (Rezakhani and Haj Seyed Hadi, 2017).

میزان و عملکرد اسانس دانه

تیمار آمینوکلات به صورت تلفیقی (محلول‌پاشی و کود آبیاری) بیشترین افزایش را در میزان و عملکرد اسانس دانهٔ گشنیز ایجاد کرد، به طوری که درصد اسانس به ۰/۳۵ و عملکرد آن به ۲/۳۳ گرم در متر مربع رسید. پس از آن، تیمار محلول‌پاشی آمینوکلات با درصد اسانس ۰/۳۱ و عملکرد ۱/۳۶ گرم در مترمربع قرار گرفت. کمترین میزان و عملکرد اسانس نیز به تیمارهای کود آبیاری آمینوکلات (۰/۲۸ درصد و ۰/۶۸ گرم در مترمربع) و شاهد (۰/۲۸ درصد و ۰/۶۴ گرم در متر مربع) تعلق داشت که این دو تیمار تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵).

جدول۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آمینوکلات عناصر ریزمغذی بر صفات عملکرد و اسانس گشنیز

Table 5. Mean comparison of amino acid–chelated micronutrient treatments on yield traits and essential oil of coriander

Treatment	Seed weight per umbel (g)	Thousand-seed weight (g)	Seed yield per area (g m^{-2})	Essential oil Percentage (%)	Seed essential oil yield (g m^{-2})
Fertigation (A)	0.24 ^{c}	7.55 ^{b}	240.20 ^{c}	0.28 ^{c}	0.68 ^{c}
Foliar Spray (B)	0.30 ^{b}	7.78 ^{ab}	426.73 ^{b}	0.31 ^{b}	1.36 ^{b}
A+B	0.47 ^{a}	8.31 ^{a}	655.19 ^{a}	0.35 ^{a}	2.33 ^{a}
Control	0.17 ^{d}	6.85 ^{c}	223.98 ^{c}	0.28 ^{c}	0.64 ^{c}

میانگین‌های با حروف متفاوت در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشند.

Different letters in each column indicate significant differences at the 5% level according to Duncan's multiple range test.

در این مطالعه، کاربرد تلفیقی کود آمینوکلات (محلول‌پاشی و کود آبیاری) بیشترین تأثیر را بر درصد و عملکرد اسانس داشت. این نتایج همسو با یافته‌هایی است که گزارش کردند محلول‌پاشی کود کلات‌کنندهٔ آمینوفورته سبب افزایش چشمگیر درصد و عملکرد اسانس گل بابونه شد (Haj Seyed Hadi and Rezaei Ghaleh, 2015). همچنین محلول‌پاشی کودهای آمینوفورته و هیومی‌فورته درصد و عملکرد اسانس ریحان را افزایش داد (Faten *et al.,* 2010). محلول‌پاشی آمینوفورته در مراحل آغاز گلدهی بابونه، موجب افزایش معنی‌دار درصد و عملکرد اسانس شد (Ansarifar *et al.,* 2012). در تحقیقات دیگر کاربرد کودهای کلات‌کننده در گیاه رزماری به افزایش درصد و عملکرد اسانس به ویژه در برداشت‌های پاییز منجر شد (Moradi Marjaneh, 2018).

از لحاظ سازوکار، تأثیر مثبت کودهای آمینوکلات بر افزایش درصد اسانس احتمالا ناشی از تأمین بهتر عناصر غذایی حیاتی مانند نیتروژن، فسفر، آهن و روی است که رشد گیاه را بهبود بخشیده و فرآیندهای تولید متابولیت‌های اولیه و ثانویه از جمله اسانس را افزایش می‌دهد. عملکرد اسانس نیز تابعی از درصد اسانس و حجم کلی پیکرهٔ گیاه است؛ بنابراین، آمینوکلات‌ها با افزایش حجم شاخه و برگ گیاهان و افزایش تولید بذر، عملکرد اسانس را ارتقا می‌دهند. اگرچه تأثیر دقیق کودهای آمینوکلات بر ترکیب بیوشیمیایی اسانس هنوز به طور کامل شناخته نشده، اما احتمالاً تأمین بهینهٔ عناصر ریزمغذی، افزایش فتوسنتز و تأمین انرژی لازم برای تولید ترکیبات آروماتیک را فراهم می‌کند (Moghadam *et al.,* 2016; Haj Seyed Hadi and Rezaei Ghaleh, 2015).

نتایج این پژوهش تأیید می‌کند که روش کاربرد کود آمینوکلات تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و ترکیبات اسانس گیاه دارویی گشنیز دارد. اسیدهای آمینه نقش کلیدی در بیوسنتز آنزیم‌ها، ویتامین‌ها و متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس‌ها و آلکالوئیدها دارند (Raeisi *et al.* 2014; Asadi *et al.,* 2018; Ghanbari *et al.,* 2014). مطالعات پیشین نیز اثر مثبت اسیدهای آمینه در افزایش عملکرد اسانس گیاهان دارویی گشنیز (Rezakhani and Haj Seyed Hadi, 2017)، بابونه (Haj Seyed Hadi and Rezaei Ghaleh , 2015) و نعناع فلفلی (Asadi *et al.,* 2018) را گزارش کرده‌اند.

استفاده از آمینوکلات‌های حاوی اسیدآمینه گلایسین در این مطالعه احتمالاً با بهبود جذب عناصر غذایی توسط ریشه و برگ، باعث افزایش اسانس در پیکرهٔ رویشی و بذر گیاه شد. امروزه استفاده از ترکیبات آلی و زیستی حاوی آمینواسیدها در کشاورزی مورد توجه است؛ زیرا اسیدهای آمینه با تأثیر بر سنتز پروتئین و متابولیسم گیاه، رشد و نمو آن را تنظیم می‌کنند، به‌ویژه محلول‌پاشی برگ که منبع مهمی برای بیوسنتز پروتئین‌ها به شمار می‌آید. از سوی دیگر، افزایش عملکرد اسانس دانه با کاربرد کودهای نیتروژنی مانند آمینوکلات‌ها مرتبط است، زیرا نیتروژن نقش مهمی در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید که حاوی اسانس بیشتری هستند دارد (Omidbeigi *et al.,* 2003). اسانس‌ها عمدتاً ترکیبات ترپنوئیدی هستند و برای سنتز این ترکیبات به انرژی و کوفاکتورهایی مانند ATP و NADPH

نیاز است که تأمین آن‌ها به حضور عناصر غذایی مانند نیتروژن بستگی دارد (Rahimzadeh *et al.*, 2016).

مطالعات دیگری نیز تأثیر مثبت کودهای آلی، شیمیایی و آمینواسید را در افزایش درصد و عملکرد اسانس گیاهان دارویی مانند بابونه، خاکشیر، ریحان و مرزه تابستانی نشان داده‌اند (Golzadeh*et al.*, 2012). به عنوان نمونه گزارش شد که محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی و بُر درصد اسانس برگ نعناع فلفلی را به طور معنی‌داری افزایش داد (Mehrabi *et al.*, 2013). همچنین محلول‌پاشی کلات آهن در گل محمدی سبب افزایش درصد اسانس شد که علت آن دسترسی بهتر اندام هوایی به عناصر و بهبود فتوسنتز بود (Layeghhaghighi *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای دیگر محلول‌پاشی روی و آهن، عملکرد اسانس گیاه گشنیز را نسبت به شاهد بهبود بخشید (Said-Al Ahl and Omer, 2009). نتایج مشابهی دربارهٔ گیاه علف لیمو (Aziz *et al.*, 2010) و نعناع فلفلی (Akhtar *et al.*, 2009) نیز گزارش شده است. بنابراین، افزایش عملکرد اسانس دانهٔ گشنیز در این تحقیق، بهبود جذب عناصر کم‌مصرف توسط آمینوکلات‌ها را تأیید می‌کند که با نتایج پژوهش‌ها همخوانی دارد (Sowmya *et al.*, 2023).

ترکیبات اسانس

بر اساس آنالیز کیفی اسانس دانهٔ گشنیز با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی، در مجموع حدود ۳۰ ترکیب مختلف در اسانس شناسایی شد. از میان این ترکیبات، هشت ترکیب به عنوان اجزای غالب اسانس معرفی شدند (جدول ۶). بررسی اثر تیمارهای مختلف کود آمینوکلات بر ترکیبات اسانس دانهٔ گشنیز نشان داد که نوع کاربرد کود تأثیر چشم‌گیری بر کیفیت و کمیت اجزای شیمیایی اسانس دارد. تیمار محلول‌پاشی موجب افزایش ترکیبات (۴۰/۸۹ درصد) آلفاپینن، بتاپینن و پاراسیمن شد. در مقابل، تیمار شاهد بیشترین لینالول (۳۶/۸۰ درصد)، کامفور و ژرانیل‌استات را داشت. تیمار تلفیقی ترکیباتی مانند گاماترپینن (۱۸/۲۷ درصد) را به‌طور قابل توجهی افزایش داد، در حالی که کامفور فقط در این تیمار شناسایی شد. همچنین تیمار کود آبیاری مقادیر مناسبی از اغلب ترکیبات را تولید کرد، اما به‌طور کلی پایین‌تر از محلول‌پاشی و شاهد بود. ترکیب آلفاپینن در تیمار محلول‌پاشی (۴۰/۸۹ درصد) به بیشترین مقدار رسید، کاربرد تلفیقی کمترین مقدار (۲۱/۹۷ درصد) را نشان داد. ترکیب کامفن فقط در تیمار تلفیقی (۲/۲۳ درصد) مشاهده شد. کاربرد آمینوکلات‌ها، به‌ویژه به‌صورت محلول‌پاشی، موجب افزایش برخی ترکیبات مانند آلفاپینن و پاراسیمن شد، در حالی که تولید ترکیباتی مانند لینالول و کامفور کاهش یافت. بنابراین، نوع و روش مصرف کود نقش مهمی در ترکیب اسانس گشنیز دارد.

این نتایج بیانگر آن است که با انتخاب نوع و روش مصرف مناسب کود آمینوکلات، می‌توان پروفایل اسانس گیاه دارویی گشنیز را به‌صورت هدفمند تغییر داد و بر تولید ترکیبات خاص تأثیر گذاشت. بنابراین، کاربرد مدیریتی مناسب این کودها می‌تواند در بهبود کیفیت اسانس و ارتقای ارزش دارویی و اقتصادی این گیاه مؤثر واقع شود.

تغییرات در ترکیب و درصد اجزای اسانس تحت تأثیر تیمارهای مختلف، نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت و کارایی بیولوژیک اسانس دارند. این تغییرات می‌توانند ناشی از تأثیر مستقیم کودهای آمینوکلات بر متابولیسم ثانویهٔ گیاه و تنظیم مسیرهای بیوشیمیایی ترکیبات معطر باشند (Moradi Marjaneh, 2018). بررسی‌ها نشان داده‌اند که تأثیر کودهای شیمیایی و آلی بر رشد، کیفیت و عملکرد گیاهان دارویی تابعی از شرایط ژنتیکی و محیطی است (Omidbeigi, 2009). همچنین حاصلخیزی خاک نقش بسزایی در سنتز متابولیت‌های ثانویه و افزایش وزن خشک گیاه دارد؛ چنانکه در مورد گیاه رازیانه ، افزایش میزان نیتروژن موجب رشد ۱/۵ برابری محصول میوه شد. با این حال، استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی خالص می‌تواند اثر منفی بر کیفیت اسانس داشته باشد و موجب کاهش غلظت ترکیبات مؤثر گردد (Sharifi Ashourabadi, 2001). علاوه براین محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی مانند آهن و روی در مراحل رشد رویشی و زایشی، به طور معنی‌داری موجب افزایش وزن خشک و تر گیاه و بهبود عملکرد دانه می‌شود. همچنین، استفادهٔ تلفیقی، اثرات مطلوب‌تری در بهبود کیفیت و کمیت اسانس داشته است (Said-Al Ahl and Omer, 2009).

جدول۶- اثر تیمارهای آمینوکلات عناصر ریزمغذی بر ترکیبات اسانس گشنیز

Table 6. Essential oil compounds in coriander seeds under different treatments

No.	Compound (%)	Retention time (min)	Fertigation of amino chelate (A)	Foliar spray of amino chelate (B)	A +B	Control
1	α-Pinene	6.45	31.04	40.89	21.97	25.60
2	Camphene	6.87	–	–	2.23	–
3	β-Pinene	7.47	7.49	7.50	4.83	4.80
4	para-Cymene	8.92	13.64	16.73	8.40	6.80
5	γ-Terpinene	10.01	15.61	18.20	18.27	15.43
6	Linalool	11.73	17.08	21.26	28.92	36.80
7	Camphor	19.17	1.32	0.93	0.69	9.27
8	Geranyl acetate	19.31	15.31	15.43	11.19	19.38

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدیریت بهینهٔ تغذیهٔ گیاه، به‌ویژه با استفاده از کودهای آمینوکلات عناصر ریزمغذی، تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود شاخص‌های رشد رویشی، عملکرد بذر، میزان و کیفیت اسانس گیاه دارویی گشنیز دارد. کاربرد این کودها، به‌ویژه به صورت تلفیقی (محلول‌پاشی و مصرف کود آبیاری)، منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد شاخهٔ فرعی، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و در نهایت عملکرد دانه شد. این بهبود در رشد رویشی، به دلیل تأمین عناصر غذایی ضروری از جمله نیتروژن، آهن و روی، باعث افزایش ظرفیت فتوسنتزی و تقویت فرآیندهای متابولیکی اولیه در گیاه گردید.

از سوی دیگر، افزایش رشد رویشی و به‌دنبال آن تولید بیشتر پیکرهٔ رویشی، زمینه‌ساز افزایش متابولیت‌های ثانویه مانند اسانس در این گیاه شد. به‌ویژه ترکیبات مهمی مانند آلفاپینن، لینالول و گاماترپینن که سهم قابل‌توجهی در کیفیت اسانس دارند، تحت تأثیر تیمارهای آمینو کلات بهبود یافتند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تغذیهٔ هدفمند با کودهای آمینوکلات نه‌تنها رشد کمی گیاه را ارتقاء می‌دهد، بلکه از نظر کیفی نیز بر ترکیب و اثربخشی اسانس تأثیرگذار است. در مجموع، کاربرد کودهای آمینوکلات به عنوان یک راهبرد مؤثر و زیست‌سازگار، می‌تواند به عنوان رویکردی کاربردی برای افزایش بهره‌وری گیاه دارویی گشنیز در شرایط زراعی پیشنهاد شود و گامی مؤثر در راستای توسعهٔ پایدار تولید گیاهان دارویی با کیفیت بالا به‌شمار می‌رود.

سپاس‌گزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز جهت فراهم نمودن امکانات این پژوهش تشکر و قدردانی می شود.

References

Akhtar, N., Sarker, M. A. M., Akhter, H., & Nada, M. K. (2009). Effect of planting time and micronutrient as zinc chloride on the growth, yield and oil content of *Mentha piperita*. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 44(1), 125–130. https://doi.org/10.3329/bjsir.v44i1.2721

Amin, A. A., Gharib, F. A. E., El-Awadia, M., & Rashad, E. S. M. (2011). Physiological response of onion plants to foliar application of putrescine and glutamine. *Scientia Horticulturae, 129*, 353–360. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.043

Aminifard, M. H., Gholami, M. H., Bayat, M., & Moradi Nezhad, F. (2020). The effect of fulvic acid and amino acid application on physiological characteristics, growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.) as a medicinal plant. *Journal of Agroecology*, 12(3), 373–388. https://doi.org/10.22067/jag.v12i374672 [In Persian].

Ansari, S., Nasiri, Y., Janmohammadi, M., & Sabbaghnia, N. (2019). Effects of organic and chemical fertilizers and conventional and nano micronutrients of iron, zinc, and manganese on yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare*). *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 29(1), 101–119. [In Persian].

Ansarifar, M., Noormohamadi, G., Seyed Hadi, M. R. H., & Riazi, G. (2012). Effect of organic nutrients on flower yield and oil content of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Medicinal Plants By-products*, 2, 177–181. 10.22092/jmpb.2012.108483 [In Persian].

Asadi, M., Nasiri, Y., Mola Ali Abasiyan, S., & Morshedloo, M. R. (2018). Evaluation of quantitative and qualitative yield of peppermint under amino acids, chemical and organic fertilizers. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(3), 257–275. [In Persian].

Aslani, M., & Soori, M. K. (2013). Investigation of the effects of several chemical fertilizers based on amino acids on the early growth of spinach. In *Proceedings of the 8th Horticultural Science Congress*, Hamadan, Iran (p. 551). [In Persian].

Aziz, E. E., Ezz El-Din, A. A., & Omer, E. A. (2010). Influence of zinc and iron on plant growth and chemical constituents of *Cymbopogon citratus* L. growth in newly reclaimed land. *International Journal of Academic Research*, 2(4), 278–283.

Baghaei, N., & Maleki Farahani, S. (2013). Comparative evaluation of nano- and micro-based iron chelate fertilizers on quantitative yield and photosynthate allocation of cultivated saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 2(1), 156–169. 10.22077/jsr.2013.442 [In Persian].

Barghamadi, K., & Najafi, Sh. (2015). Effect of different levels of Nitroxin and humic acid on some quantitative traits and essential oil content of the medicinal plant ajwain (*Carum copticum* (L.) C.B. Clarke). *Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries)*, 29(3), 332–341. [In Persian].

Chegeni, Z., Zolfaghari, M., Sedighi Dehkordi, F., & Mahmoodi Sourestani, M. (2018). The effect of mycorrhizal fungi, PGPRs and chemical fertilizer on yield and essential oil content of dill (*Anethum graveolens* L.) seed. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4), 93–104. [In Persian]

Davazdeh Emami, S., & Majnoon Hosseini, N. (2008). *Cultivation and production of some medicinal and spice plants*. Tehran: University of Tehran Press. [In Persian].

Fallahi, J., Koocheki, A., & Rezvani Moghaddam, P. (2009). Effects of biofertilizers on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria recutita*) as a medicinal plant. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(1), 211–222. https://doi.org/20.1001.1.20081472.1388.7.1.13.1 [In Persian].

Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., An, X., & Hu, Q. (2008). Effect of foliar application of zinc, selenium, and iron fertilizers on nutrients concentration and yield of rice grain in China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(6), 2079–2084. https://doi.org/10.1021/jf800150z

Faten, S. A., Shaheen, A. M., Ahmed, A. A., & Mahmoud, A. R. (2010). Effect of foliar application of amino acids as antioxidants on growth, yield and characteristics of squash. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6(5), 583–588.

Ghanbari, F., Sayyari, M., Saidi, M., & Amirinejad, A. (2014). The effect of 5-aminolevolinic acid on some physiological responses of coriander (*Coriandrum sativum* L.) under drought stress. *Plant Productions*, 37(1), 93–105. [In Persian].

Ghazi Manas, M., Banj Shafiee, Sh., Hajseyd Hadi, M. R., & Darzi, M. T. (2011). Effects of vermicompost and nitrogen on qualitative and quantitative yield of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 29*(2), 269–280. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.2855 [In Persian].

Golzadeh, H., Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., Fazeli, F., Qaderi, A., & Zarinpanjeh, N. (2012). Effect of BioStimulators compounds on quantitative and qualitative yield of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Journal of Medicinal Plants*, 1(41), 195–207. https://doi.org/20.1001.1.2717204.2012.11.41.28.4 [In Persian].

Gorgini Shabankareh, H., Sabouri, F., Saedi, F., & Fakhri, B. (2017). Effect of different levels of humic acid on growth indices and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Agricultural Research in Arid Regions*, 1(2), 166–176. [In Persian].

Haj Seyed Hadi, M. R., & Rezaei Ghaleh, H. (2015). Effects of different levels of vermicompost and foliar application of amino acids and urea on quantitative and qualitative yield of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Scientific-Research Bimonthly Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research of Iran*, 31(6), 1058–1070. [In Persian].

Hedayatpour, S., Noshkam, A., & Hadian, J. (2015). Effect of altitude on essential oil percentage of Khuzestani savory (*Satureja khuzistanica* Jamzad) in northern Khuzestan region. In *Proceedings of the 9th Horticultural Science Congress, Iran*. [In Persian].

Jafari, F., Golehin, A., & Shafiei, S. (2014). The effects of nitrogen and foliar application of iron amino chelate on yield and growth indices of dill (*Anethum graveolens* L.). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 5(17), 1–12. https://doi.org/20.1001.1.20089082.1393.5.1.12.4 [In Persian].

Jalali, M. (2020). Effect of iron-amino acid chelates on antioxidant capacity and nutritional value of soybean. *Plant Productions*, 43(4), 477–486. [In Persian].

Kamkar, B., Safahani-Langerodi, A. R., & Mohammadi, R. (2011). *The use of nutrients in crop plants* (500 p.). Mashhad: University of Mashhad Press. [In Persian]

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(3), 307–311.

Kiani, S., Sayadat, S. A. A., Moradi Talavat, M. R., & Poshtdar, A. (2019). Response of yield, yield components, and water use efficiency of some ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) to irrigation regimes and foliar application of humic acid. *Scientific-Research Bimonthly Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research of Iran*, 34(1), 166–181. [In Persian].

Layeghhaghighi, M., Hassanpour Asil, M., & Abbaszadeh, B. (2016). Effect of nano chelated iron on essential oil percentage and essential oil compounds of *Rosa damascena* Mill. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 32*(1), 138–147. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.106143 [In Persian].

Mai, W., Tian, X., Gale, W., & Lu, X. (2011). Tolerance to Zn deficiency and P-Zn interaction in wheat seedling cultured in chelator-buffered solutions. *Journal of Arid Land*, 3(3), 206–213. https://doi.org/10.3724/SP.J.1227.2011.00206

Malakoti, M. J., & Tehrani, M. M. (1999). *The role of micronutrients in increasing yield and improving quality of agricultural products: Trace elements with macro effects* (299 p.). Tehran: Tarbiat Modares University Press. [In Persian].

Mehrabi, S., Mehrafarin, A., & Naghdi Badi, H. (2013). Clarifying the role of methanol and amino acids application on savory (*Satureja hortensis* L.). *Annals of Biological Research*, 4(4), 190–195.

Miller, G. W., Huang, I. J., Welkie, G. W., & Pushmik, J. C. (1995). Function of iron in plants with special emphasis on chloroplasts and photosynthetic activity. In Abadia, J. (Ed.), *Iron nutrition in soils and plants* (pp. 19–28). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Miransari, H., Mehrafarin, A., & Naghdi Badi, H. (2015). Morphophysiological and phytochemical responses of dill (*Anethum graveolens* L.) to foliar application of iron sulfate and zinc sulfate. *Journal of Medicinal Plants*, 14(54), 15–29. https://doi.org/20.1001.1.2717204.2015.14.54.2.5 [In Persian].

MirJalili, M. H. (2003). Economic importance of aromatic plants in the world. *Bita, (156)*, 24–34. [In Persian].

Moghadam, A., Mahmoudi Sourastani, M., Ramzani, Z., Farkhian Firoozi, A., & Eskandari, F. (2016). Effect of foliar application of iron on the number and size of glandular trichomes and percentage and components of essential oil of holy basil (*Ocimum sanctum* L.) in the first and second harvests. *Scientific-Research Bimonthly Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research of Iran*, 32(1), 174–188. [In Persian].

Monica, R. C., & Cremonini, R. (2009). Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62(2), 161–165.

Moradi Marjaneh, A., Galavi, M., Ramezani, M., & Solouki, M. (2018). Evaluation of some qualitative traits of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) affected by foliar application of different nutrient compounds at various harvest times. *Journal of Crop Production*, 11(4), 119–134. [In Persian].

Nagananda, G. S., Das, A., Bhattacharya, S., & Kalpana, T. (2010). In vitro studies on the effects of bio-fertilizers (Azotobacter and Rhizobium) on seed germination and development of *Trigonella foenum-graecum* L. using a novel glass marble containing liquid medium. *International Journal of Botany*, 6(4), 394–403. https://doi.org/10.3923/ijb.2010.394.403

Nasiri Dehsorkhi, A., Ghanbari, A., & Varnaseri Ghandali, V. (2018). Effect of foliar application of chelate iron in common and nanoparticles forms on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(1), 229–241. https://doi.org/10.22067/gsc.v16i1.63206

Natesan, R., Kandasamy, S., Thiyageshwari, S., & Boopathy, P. M. (2007). Influence of lignite humic acid on the micronutrient availability and yield of black gram in an alfi-soil. *The Scientific World Journal*, 7, 1198–1206.

Nezafat, S., Mohebodini, M., Azarmi, R., Ebadi Segherloo, A., Fathi, R. (2023). Evaluation of genetic diversity of some native population of Iranian coriander (*Coriandrum sativum* L.) based on morphological and physiological. *Plant Productions.* 45(4), 449-461. doi: 10.22055/ppd.2023.37678.1984

Omid Baigi, R., Hassani, A., & Sefidkon, F. (2003). Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, *6*(2), 104–108. https://doi.org/10.1080/0972060X.2003.10643335

Omidbeigi, R. (2005). *Production and processing of medicinal plants* (Vol. 1, 2nd ed.). Tehran: Beh Nashr Publishing. [In Persian].

Omidbeigi, R. (2009). *Production and processing of medicinal plants* (Vol. 2, 5th ed.). Tehran: Beh Nashr Publishing. [In Persian].

Pande, P., Anwar, M., Chand, S., Yadav, V. K., & Patra, D. D. (2007). Optimal level of iron and zinc in relation to its influence on herb yield and production of essential oil in menthol mint. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *38*(5–6), 561–578. https://doi.org/10.1080/00103620701215627

Peyvandi, M., Parande, H., & Mirza, M. (2011). Comparison of nano Fe chelate with Fe chelate effect on growth parameters and antioxidant enzymes activity of *Ocimum basilicum*. *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal*, *1*(4), 89–98. https://doi.org/10.1001.1.22285458.1390.1.4.3.7 [In Persian].

Pirzad, A. R., Tousi, P., & Darvishzadeh, R. (2013). Effect of Fe and Zn foliar application on plant characteristics and essential oil content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, *15*(1), 12–23. [In Persian].

Raeisi, M., Farahani, L., & Palashi, M. (2014). Changes of qualitative and quantitative properties of radish (*Raphanus sativus* L.) under foliar spraying through amino acid. *International Journal of Biosciences*, *4*(1), 463–468. https://doi.org/10.12692/ijb/4.1.463-468

Rahimzadeh, R., Sohrabi, Y., Heidari, G. R., Pirzad, A. R., & Ghassemi Golezani, K. (2016). Effect of bio-fertilizers on the essential oil yield and components isolated from *Dracocephalum moldavica* L. using nanoscale injection method. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, *19*(3), 529–541. https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.935057

Rezaei Chiyaneh, E., Zehtab Salmasi, S., Pirzad, A., & Rahimi, A. (2015). Effect of foliar application of iron, zinc and manganese micronutrients on yield and yield components and seed oil of pot marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Horticultural Science*, *29*(1), 95–102. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.24618 [In Persian].

Rezakhani, A., & Haj Seyed Hadi, M. R. (2017). Effect of manure and foliar application of amino acids on growth characteristics, seed yield and essential oil of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *48*(3), 777–786. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.210745.654144 [In Persian]

Said-Al Ahl, H. A. H., & Omer, E. A. (2009). Effect of spraying with zinc and/or iron on growth and chemical composition of coriander (*Coriandrum sativum* L.) harvested at three stages of development. *Journal of Medicinal Food Plants*, *1*, 30–46.

Sefidkon, F. (2001). Essential oil of the aerial parts and fruits of *Coriandrum sativum*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *7*(1), 71–87.

Sharifi Ashourabadi, A. (2001). Investigation of the effects of organic and chemical fertilizers on fennel (*Foeniculum vulgare*) yield. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, (7), 3–26. [In Persian].

Singh, G., Sarvanan, S., Rajwat, K. S., Rathore, J. S., & Singh, G. (2017). Effect of different micronutrient on plant growth, yield and flower bud quality of broccoli (*Brassica oleracea*). *Current Agriculture Research Journal*, *5*(1), 108–115. https://doi.org/10.12944/CARJ.5.1.12

Souri, M. K. (2016). Aminochelate fertilizers: The new approach to the old problem; a review. *Open Agriculture*, *1*(1), 118–123. https://doi.org/10.1515/opag-2016-0016

Souri, M. K. (2016). Plants adaptation to control nitrification process in tropical region; case study with *Acrocomia totai* and *Brachiaria humidicola* plants. *Open Agriculture*, *1*(1), 144–150. https://doi.org/10.1515/opag-2016-0019

Souri, M. K., & Yarahmadi, B. (2015). Effect of foliar application of amino chelates on growth and development of marigold (*Calendula officinalis*). *Journal of Plant Production Technology*, *15*(2), 109–119. [In Persian].

Sowmya, R. S., Warke, V. G., Mahajan, G. B., & Annapure, U. S. (2023). Effect of amino acids on growth, elemental content, functional groups, and essential oils composition on hydroponically cultivated coriander under different conditions. *Industrial Crops and Products*, *197*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116577

Strichland, M. S., Leggett, Z. H., & Bradford, M. A. (2015). Biofuel intercropping effects on soil carbon and microbial activity. *Ecological Applications*, *25*(1), 140–150.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology* (3rd ed.). (690 p.). Sinauer Associates press.

Valadabadi, S. A., Alimohammadi, M., & Daneshian, J. (2007). The evaluation of nitrogen (N) and phosphorous (P) consumption on yield and growth of sweet corn (*Zea mays* L.). *Plant and Ecosystem*, 12, 53–65. [In Persian].

Zivdar, Sh., Arzani, K., Souri, M. K., Moallemi, N., & Seyyednejad, S. M. (2015). Effect of foliar application of potassium sulfate on some quantitative and qualitative characteristics of olive (*Olea europaea* L.) fruit and oil under Ahvaz environmental conditions. *Plant Productions*, *38*(3), 13–26. https://doi.org/10.22055/ppd.2015.11442 [In Persian].

Zolfaghari, M., Gharishvani, S., & Zivdar, Sh. (2024). Investigating the method of application of micronutrient aminochelate on growth, yield and essential oil amount of dill as a medicinal plant (*Anethum graveolens* L.). *Agricultural Science and Sustainable Production*. https://doi.org/10.22034/saps.2024.62539.3253 [In Persian].

Zolfaghari, M., Tolideh, S., Sedighi Dehkordi, F., & Mahmoodi Sourestani, M. (2020). Evaluation of growth, yield and essential oil of coriander (*Coriandrum sativum* L.) under mycorrhiza, vermicompost and chemical fertilizer treatments. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *32*(1), 35–46. https://doi.org/10.22034/saps.2021.42112.2556 [In Persian].