Eco-phytochemical of Medicinal Plants
Print ISSN: 2322-3235
Online ISSN: 2783-4697
Islamic Azad University Gorgan Branch
Iranian Society of Medical Plants

Analysis of the Effect of Chemical, Organic and Biological Fertilizers on Improving Yield, Yield Components, and Quality Characteristics of Two Ecotypes of *Bunium persicum* Bioss

Somayeh Elyasi Rad[1], Seyed Gholamreza Moosavi[2*], Mohammadjavad Seghatoleslami[2], Fatemeh Nakhaei[2]

[1] Ph.D. student in Agronomy, Department of Agriculture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran.
[2] Agriculture, Medicinal plants and Animals Science Research Center, Birjand branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran, Email: moosavi@iaubir.ac.ir

Article type:
Research article

Article history
Received:2024-4-20
Revised:2024-5-18
Accepted:2024-5-30

Keywords
Plant Nutrition
Seed Yield
Total Chlorophyll
Bunium persicum Boiss.
Essential Oil Content

Abstract

Using plant nutrition systems, considering various climatic conditions and plant genotype characteristics can enhance the yield and quality of plant products, particularly medicinal plants. This research aimed to evaluate the effects of fertilizer sources on the yield, yield components, and some biochemical characteristics of two ecotypes of *Bunium persicum* Bioss ('Sagafi' and 'Birjand') during two agricultural years (2022-2023) at the Agricultural Research Center and Natural Resources of South Khorasan (Mohammadiyeh), Birjand, Iran. The experiment was conducted in a split-plot design within a randomized complete block design with three replications. The fertilizer treatments were composed of combinations of NPK_1 (70-60-80), NPK_2 (35-30-40), mycorrhizal fungi (AMF), and vermicompost (VC) as the main factor (12 treatment combinations), and two ecotypes were tested as the sub-factor. Plant height, number of umbels per umbel, number of seeds, thousand-seed weight, seed yield, total chlorophyll content, essential oil content (by Clevenger method), and essential oil yield (the result of multiplying the percentage of essential oil by seed yield) were measured. The results showed that fertilizer treatments significantly influenced the studied traits, with the combined use of fertilizer system (NPK_1+AMF+VC) leading to increased average traits in both experimental years. The 'Birjand' ecotype had 40.5% and 24.0%, higher than seed yields compared to the 'Sagafi' ecotype in the first and second years respectively. In both years, the application of the NPK_1+AMF+VC treatment resulted in the highest seed yield (19.2 and 83.3 g $plant^{-1}$, respectively). The highest total chlorophyll content was obtained in the combined treatment application in both ecotypes (24.83 and 26.55 µg g^{-1} FW, respectively). The application of NPK_2+VC in the 'Sagafi' ecotype showed the highest essential oil content in both years (3.56% and 3.91%). Stepwise regression results showed that the number of umbels/ umbel, number of seeds per plant, thousand-seed weight, and total chlorophyll were influential traits on essential oil content. The combined use of chemical, organic, and biological fertilizers improved the quantitative and qualitative traits of *B. persicum*, with the ecotypes showing different responses.

Cite this article as: Elyasi Rad, S., Moosavi, S.Gh.R., Seghatoleslami, M.J., Nakhaei, F. (2024). Analysis of the Effect of Chemical, Organic and Biological Fertilizers on Improving Yield, Yield Components, and Quality Characteristics of Two Ecotypes of *Bunium persicum* Bioss. *Eco-phytochemical of Medicinal Plants.,* 12(2): 59-74.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی
شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۳۲۳۵
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۹۷
دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان
انجمن گیاهان دارویی ایران ثبت ۱۸۹۶۳

تحلیل تأثیر کودهای شیمیایی، آلی و بیولوژیک بر ارتقاء عملکرد، اجزای عملکرد و ویژگی‌های کیفی دو اکوتیپ زیره کوهی (*Bunium persicum* Bioss.)

سمیه الیاسی‌راد[۱]، سیدغلامرضا موسوی[۲*]، محمدجواد ثقه الاسلامی[۲]، فاطمه نخعی[۲]

[۱] دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران.

[۲] مرکز تحقیقات کشاورزی، گیاهان دارویی و علوم دامی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران، رایانامه: moosavi@iaubir.ac.ir

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۲/۲۹
تاریخ‌پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۰

واژه‌های کلیدی:
تغذیه گیاه
زیره کوهی
عملکرد دانه
کلروفیل کل
محتوای اسانس

چکیده

استفاده از سیستم‌های تغذیه گیاهی، با توجه به شرایط اقلیمی مختلف و ویژگی‌های ژنوتیپی گیاهان، می‌تواند به عملکرد بهتر و افزایش کیفیت محصولات گیاهی، به‌ویژه گیاهان دارویی، کمک کند. این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات منابع کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد و برخی خصوصیات بیوشیمیایی دو اکوتیپ بیرجند و ثقفی زیره کوهی (*Bunium persicum* Bioss) در طی دو سال زراعی (۱۴۰۲-۱۴۰۱) در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی (محمدیه)، بیرجند به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای کودی از ترکیب منابع (NPK_1 (۷۰-۶۰-۸۰)، (NPK_2 (۳۵-۳۰-۴۰)، قارچ مایکوریزا (AMF) و ورمی‌کمپوست (VC) به‌عنوان عامل اصلی (۱۲ ترکیب تیماری) و دو اکوتیپ به‌عنوان عامل فرعی مورد آزمایش قرار گرفتند. ارتفاع بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، محتوای کلروفیل کل، محتوای اسانس (به روش کلونجر) و همچنین عملکرد اسانس (حاصل‌ضرب درصد اسانس در عملکرد دانه) اندازه‌گیری شدند. براساس نتایج، تیمارهای کودی به‌طور معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه تأثیر داشتند به‌طوری که استفاده از سیستم تلفیقی (NPK_1+AMF+VC) منجر به بالا رفتن میانگین اغلب صفات در هر دو سال آزمایش شد. اکوتیپ بیرجند در مقایسه با ثقفی دارای ۴۰/۵ و ۲۴/۰ درصد عملکرد دانه بالاتری به‌ترتیب در سال اول و دوم بود. در هر دو سال کاربرد تیمار NPK_1+AMF+VC منجر به ایجاد بالاترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ۲/۱۹ و ۳/۸۳ گرم در بوته) شد. بالاترین محتوای کلروفیل کل در کاربرد تیمار تلفیقی در هر دو اکوتیپ (به‌ترتیب ۲۴/۸۳ و ۲۶/۵۵ میکروگرم بر گرم وزن تر) به‌دست آمد. کاربرد NPK_2+VC در اکوتیپ ثقفی در هر دو سال بیشترین محتوای اسانس (۳/۵۶ و ۳/۹۱ درصد) را نشان داد. نتایج رگرسیون گام به گام نشان داد که تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و کلروفیل کل از صفات اثرگذار بر محتوای اسانس بودند. کاربرد ترکیبی کودهای شیمیایی، آلی و بیولوژیک باعث بهبود صفات کمی و کیفی زیره کوهی شد و اکوتیپ‌ها واکنش‌های متفاوتی نشان دادند.

استناد: الیاسی‌راد، سمیه؛ موسوی، سیدغلامرضا؛ ثقه الاسلامی، محمدجواد؛ نخعی، فاطمه (۱۴۰۳). تحلیل تأثیر کودهای شیمیایی، آلی و بیولوژیک بر ارتقاء عملکرد، اجزای عملکرد و ویژگی‌های کیفی دو اکوتیپ زیره کوهی (*Bunium persicum* Bioss.). *فصلنامه اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی*، ۱۲ (۲)، ۷۴-۵۹.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان

© نویسندگان.

Doi:
Dor:

مقدمه

زیره کوهی (*Bunium persicum* Bioss.) بومی مناطق کوهستانی شرق ایران، به‌ویژه خراسان و کرمان است که بذرهای این گیاه حاوی اسانس می‌باشد (Talezade et al., 2019). این گونه دارویی با چندین نام مانند زیره سیاه، زیره ایرانی و زیره وحشی شناخته می‌شود و علاوه بر ایران در مناطقی همچون مصر، پاکستان، افغانستان، قزاقستان و هند نیز دیده شده است (Chahota et al., 2017; Singh and Kumar, 2021). زیره کوهی سرشار از اسانس‌ها (بیش از ۷ درصد) هستند که حاوی مونوترپن آلدئیدها مانند کومین آلدئید، α-ترپینن-۷-آل و γ-ترپینن و سایر ترپن‌ها مانند γ-ترپینن، p-سیمین، بتاپینن و لیمونن است (Khan et al., 2023). دانه‌های زیره کوهی که برای اهداف تجاری استفاده می‌شوند، به‌طور عمومی از محیط‌زیست طبیعی آن جمع‌آوری می‌گردد. با این حال، به دلیل افزایش تقاضا، چنین روشی خسارات اصلاح‌ناپذیری به انبارهای ژنتیکی گیاه وارد می‌کند (Singh and Kumar, 2021). بر اساس برخی از مطالعات، زیره کوهی به‌عنوان یک گیاه امیدبخش برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران به دلیل نیاز کمتر به آب شناخته می‌شود (Khan et al., 2023). به‌همین دلیل انجام مطالعات به‌منظور کشت و کار مطلوب و افزایش عملکرد کمی و کیفی این گیاه و همچنین جلوگیری از منابع طبیعی لازم و ضروری است.

رشد و نمو گیاهان دارویی، از جمله تجمع مواد خشک و بیوسنتز اسانس، توسط فرآیندهای ژنتیکی کنترل می‌شود، اما عوامل محیطی نیز نقش مهمی ایفا می‌کنند. از جمله این عوامل می‌توان به فاکتورهای زراعی، تغذیه و آبیاری اشاره کرد که برای موفقیت کشت گیاهان دارویی بسیار اهمیت دارند (Li et al., 2020). مدیریت کوددهی (تغذیه گیاه) نیز یکی از عوامل اساسی در موفقیت کشت گیاهان دارویی است. استفاده از کودهای آلی در خاک‌های فقیر بهبود وضعیت تغذیه‌ای خاک و کیفیت آن را با افزایش ماده آلی افزایش می‌دهد که ممکن است به جای کودهای شیمیایی استفاده شوند (Nasrollahnejad et al., 2023; Ahmadi et al., 2023). قارچ‌های مایکوریزا (*Arbuscular mycorriza* fungi: AMF) می‌توانند با توسعه یک سیستم ریشه‌ای گسترده، بهبود بهره‌وری فتوسنتزی و هدایت آب، افزایش جذب عناصر غذایی، کاهش پاتوژن‌های خاکی و در نهایت کاهش تنش‌های محیطی، قدرت زنده ماندن گیاهان در طول فرآیند سازگاری را افزایش می‌دهند (Salehi et al., 2023). در مطالعاتی بیان شد که کاربرد منابع شیمیایی کودهای نیتروژنه و فسفره، افزایش میانگین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد چتر و چترک و همچنین ارتفاع بوته، درصد و عملکرد اسانس زیره سیاه را در پی داشت (Nourihoseini et al., 2016; Karami Borzabad et al., 2023).

قارچ مایکوریزا از طریق گسترش سیستم ریشه‌ای، بهبود کارایی فتوسنتزی و هدایت آب، جذب عناصر غذایی، از بین بردن پاتوژن‌های خاکی و کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی، به تقویت قدرت زنده‌مانی گیاهان در فرآیند سازگاری کمک می‌کنند (Salehi et al., 2023). همچنین، باکتری‌های محرک رشد گیاه با افزایش حلالیت ترکیبات نامحلول مانند پتاسیم از طریق تولید اسیدهای معدنی و آلی، افزایش سطح تماس ریشه و بهبود هم‌زیستی‌های مفید با گیاه میزبان در مراحل مختلف رشد، به بهتر شدن رشد گیاه کمک می‌کنند (Etesami and Alikhani, 2019). در پژوهشی کاربرد AMF به همراه کود NPK منجر به افزایش محتوای اسانس در گیاه علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) شد و کمترین محتوای

اسانس در عدم کاربرد کودهای شیمیایی و بیولوژیک به‌دست آمد (Salehi et al., 2023).

فعالیت‌های میکروبی در داخل کود ورمی-کمپوست (Vermicompost: VC) موجب افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و سایر عناصر کمیاب می‌شود. شناخت عوامل تغذیه‌ای که بر رشد و عملکرد گیاه تأثیر می‌گذارند و روش‌های بهینه‌سازی استفاده از آن‌ها، می‌تواند منجر به تولید گیاهان دارویی با درصد بالا و ترکیب معینی از مواد مؤثره شود. همچنین، مصرف تلفیقی کودها یکی از جنبه‌های مهم کشاورزی پایدار است. با توجه به اهمیت این گیاه دارویی و تغییرات پارامترهای کمی و کیفی در اکوتیپ‌های مختلف گیاهان دارویی، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات منابع کودهای شیمیایی (NPK)، آلی (VC) و بیولوژیک (AMF) بر عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای اسانس دو اکوتیپ زیره کوهی (بیرجند و ثقفی) اجرا شد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایشی و روش اجرای آن: به‌منظور ارزیابی اثرات منابع مختلف کودی بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد و همچنین برخی خصوصیات بیوشیمیایی در گیاه دارویی زیره کوهی، آزمایشی در طی دو سال ١٤٠٢-١٤٠١ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی (محمدیه)، بیرجند به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. در این پژوهش، ١٢ تیمار کودی از جمله (NPK_1 (٧٠-٦٠-٨٠)، (٣٥-٣٠-٤٠) NPK_2، AMF، VC، AMF + NPK_1، AMF + NPK_2، VC + AMF، NPK_1 +VC، NPK_2 +VC، NPK_1 +AMF + VC، NPK_2 +AMF + VC و عدم استفاده از کود (شاهد) به‌عنوان عامل اصلی و دو اکوتیپ زیره کوهی شامل بیرجند و ثقفی به‌عنوان عامل فرعی مورد آزمایش قرار گرفتند (جدول ١). پارامترهای اقلیمی منطقه اجرای آزمایش در طول فصل کاشت در جدول ٢ ارائه شده است.

جدول ١: کدگذاری سطوح تیمارهای کودی مورد آزمایش

تیمار	شاهد	NPK_1	NPK_2	AMF	VC	AMF+VC	NPK_1+ AMF	NPK_2+ AMF	NPK_1+ VC	NPK_2+ VC	NPK_1+ AMF+VC	NPK_1+ AMF+VC
کد	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12

علاوه بر این، مقادیر تیمارهای کودی براساس نتایج مربوط به تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی خاک و نیاز تغذیه‌ای گیاه زیره کوهی تعیین شد (Darakeh et al., 2021 and 2022). براساس نتایج آنالیز خاک، میزان شن، سلیت و رس به‌ترتیب ٦٢، ٢٦ و ١٢ درصد بود و همچنین میزان نیتروژن کل ٠/٠١٢ درصد، فسفر قابل دسترس ٥/٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و پتاسیم قابل دسترس ٣٢٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک به‌دست آمد. کود NPK در ترکیب با AMF و VC با مقدار ٥٠ درصد غلظت اولیه استفاده شد. کود AMF از مرکز تحقیقات آب و خاک کرج تهیه گردید. مخلوط کود AMF شامل تکه‌های ریشه، شن، اسپور و هیفه‌ها برای توزیع یکنواخت خاک به کار گرفته شد. قارچ *Glomus mosseae*، به‌عنوان یک گونه AMF، در منطقه ریزوسفر استفاده شد (٢٠ اسپور در هر گرم). بر اساس راهنمایی شرکت تولیدکننده (شرکت بهکام، ایران)، کود VC شامل فسفر (١/٣٤ درصد)، پتاسیم (١/٤٦ درصد)، نیتروژن (١/٣٩ درصد)، آهن (٧٤٤٥ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، روی (١٦٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، مس (٥٠ میلی‌گرم

بر کیلوگرم) و منگنز (٥٧٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. مقادیر مشخص شده به پلات‌های آزمایشی مشخص با نرخ ١٠ تن بر هکتار اعمال گردید (Saeidnejad and Rezvani Moghaddam, 2011). کود NPK با استفاده از سوپر فسفات و کلرید پتاسیم در هنگام کاشت اعمال شد. اوره در سه مرحله تقسیم شده به نسبت ٢ به ٥ از مجموع مقدار کود با اعمال کود پایه، ١ به ٥ در مرحله گیاهچه‌ای، و مابقی در مرحله گلدهی به‌عنوان تغذیه برگی استفاده شد (Pour et al., 2021). کاشت به‌صورت الگوی زیگزاگ و دو ردیفی با فاصله ٤ سانتی‌متری بین گیاهان روی ردیف و فاصله ٥٠ سانتی‌متری بین ردیف‌ها در تاریخ ٢٢ آذر ماه ١٤٠٠ انجام شد. آبیاری بلافاصله بعد از کاشت تا سبز شدن با روش سیفونی به‌صورت یکنواخت صورت گرفت. بعد از آن، سه مرتبه آبیاری با فواصل یک ماهه صورت گرفت، و چندین مرحله چیدمان دستی برای کنترل رشد علف‌های هرز انجام شد. هیچ کود شیمیایی، علف‌کش و قارچ‌کشی در طول دوره رشد از کاشت تا برداشت استفاده نشد.

جدول ٢: میانگین داده‌های اقلیمی محل اجرای آزمایش در طی دو سال

	میانگین دما (°C)	میانگین رطوبت نسبی (٪)	میانگین بارندگی (mm)
بهمن	٦	٣١/١	٠/٠
اسفند	١٠/٢٥	٣٧/٢	٠/٠
فروردین	١٣/٨٥	٣٢/٧	١١/٠
اردیبهشت	١٩/٨	٣١/١	٢/٥
خرداد	٢٣/١	٣٤/٣	٤٧/٥
تیر	٢٩/٨	٢٧/٣	٠/٠
مرداد	٣٠/٦٥	٢٧/٤	٠/٠
شهریور	٢٨/٨	٢٤/٢	٠/٠
مهر	٢٥/٠٥	٢٨/٠	٠/٠
آبان	٢٠/٧٥	٢٥/٥	٠/٠
آذر	١٢/٤٥	٣٨/١	٣/٥
دی	١٠/٥	٣٦/٠	١٧/٥
بهمن	٧/٩٥	٤٦/٦	٧٤/٠
اسفند	٧/٧	٤٣/٠	١٠/٠
فروردین	١٥/٨٥	٣٦/٤	٢٠/٥
اردیبهشت	١٩/١	٣١/١	٣/٥
خرداد	٢٣/٨	٣٠/٩	٦/٠
تیر	٢٦/٥٥	٢٧/٥	٠/٠

نحوه اندازه‌گیری صفات عملکرد و اجزای عملکرد: پنج بوته به‌طور تصادفی از هر کرت برای تعیین اجزای عملکرد در زمان برداشت انتخاب و ویژگی-هایی مانند ارتفاع بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک و بوته، وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. برای تعیین عملکرد دانه، بوته‌های باقی‌مانده پس از برداشتن دو ردیف جانبی و نیم متری از ابتدا و انتهای کرت به‌عنوان اثرات حاشیه‌ای، برداشت و

سپس عملکرد دانه و بیولوژیک آن اندازه‌گیری شد (Saeidnejad and Rezvani Moghaddam, 2011).

نحوه اندازه‌گیری کلروفیل کل: برای اندازه‌گیری مقدار کلروفیل کل، ابتدا ۰/۲۵ گرم از برگ تازه و پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در یک هاون مخلوط شدند. سپس نمونه‌ها با سرعت ٦۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. در ادامه، جذب نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر (مجهز به میکروسل کوارتز Jenway-6305) در طول موج‌های ٦٤٥ و ٦٦٣ نانومتر اندازه‌گیری شد. در نهایت، با استفاده از فرمول زیر، محتوای کلروفیل کل محاسبه گردید (Lichtenthaler and Buschmann, 2001).

معادله ۱

$$\text{Total chlorophyll } (\mu g/g\ FW) = (20.2 \times A_{645} + 8.02 \times A_{663})\ V/100\ W$$

که در آن V= حجم محلول صاف شده، A= جذب نور در طول موج‌های ٦٦٣ و ٦٤٥، W= وزن تر نمونه برحسب گرم

نحوه اندازه‌گیری محتوای اسانس و عملکرد اسانس: برای اندازه‌گیری محتوای اسانس دانه، مقدار ۵۰ گرم از دانه تولید شده در هر کرت انتخاب گردید. سپس نمونه‌ها کاملاً آسیاب شده و پودر حاصل در یک فلاسک یک لیتری قرار گرفت. در مرحله بعد ۷۵ میلی‌لیتر آب به فلاسک اضافه و مخلوط با استفاده از دستگاه کلونجر به مدت ٤ ساعت استخراج شد (Benjemaa et al., 2018). در نهایت، محتوای اسانس به روش وزنی و عملکرد اسانس براساس حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد اسانس محاسبه گردید (Bettaieb et al., 2011).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در ابتدا، فرضیه نرمال بودن مربوط به توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون‌های Kolmogorov-Smirnov و Shapiro-Wilk ارزیابی شد. براساس نتایج آزمون بارتلت نیز داده‌های مربوط به دو سال آزمایش، به‌صورت جداگانه تجزیه واریانس شدند. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. رگرسیون گام به گام که در آن محتوای اسانس به‌عنوان متغیر وابسته و سایر صفات به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد، با استفاده از نرم‌افزار آماری Minitab نسخه ۱۸ صورت گرفت.

نتایج

ارتفاع بوته: براساس نتایج به‌دست آمده اثر منابع کودی و اکوتیپ در هر دو سال آزمایش بر ارتفاع بوته معنی‌دار بودند ($p<0.01$) ولی اثر متقابل کود در اکوتیپ فقط در سال دوم آزمایش بر ارتفاع بوته معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد ($p<0.01$) به‌دست آمد (جداول ۳ و ٤). در سال اول، اکوتیپ بیرجند دارای ارتفاع بوته بلندتری (۲۰/٦ درصد) در مقایسه با اکوتیپ ثقفی بود. در بین سطوح کودی نیز، استفاده از کود شیمیایی NPK_1 منجر به ایجاد بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۵۲/۵۸ سانتی‌متر شد و کمترین میانگین این صفت مربوط به تیمار عدم کاربرد کود با میانگین ۳۸/۸۸ سانتی‌متر بود (جدول ۵). در سال دوم آزمایش، کاربرد F_{11} (AMF + VC + NPK_1) و همچنین F_9 (VC+ NPK_1) در اکوتیپ بیرجند منجر به ایجاد بلندترین ارتفاع بوته (٦۵/۷ و ٦۳/۷ سانتی‌متر) شدند. در حالی که کمترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار عدم کاربرد کود در اکوتیپ ثقفی (۳۱/۸ سانتی‌متر) بود.

جدول ٣: اثر کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات کیفی دو اکوتیپ زیره کوهی در سال اول

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)							
		ارتفاع بوته	تعداد چترک در چتر	تعداد دانه در چترک	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	کلروفیل کل	محتوای اسانس	عملکرد اسانس
بلوک	٢	٥٤/٧ ns	٥/٦٦ ns	٦/٩٧ ns	٢٣٩٠٨٠/٠ ns	٠/١٦ ns	١/٨٢ ns	٢/٦١ ns	٠/٦٢**	٣٦٨٤/٩ ns
کود (F)	١١	٧٧/٩٤**	٦/٧٤**	٨/٤٨ *	٥١٩٤٧٠/٤**	٠/٤٥**	٣/١١**	٨٨/٣٠**	٠/١٨*	٣٥٨١/٦**
خطا	٢٢	٢٣/٧٠	٢/١٩	٦/٠١	٢٤٠٦٧٤/١	٠/٠٧	١/٠٠	٤/١٧	٠/٠٧٢	١١٦٨/٠
اکوتیپ (E)	١	٢١٢٦/٦**	٢١/١٢**	٤٨٩/٣**	٤٤٤٠٤٧٨/١**	٠/٥٢**	٢٠/٦٢**	٤٣٠/١**	١/٣٦**	١٤١١٠/٥**
F × E	١١	٤/٢٣ ns	٠/٦٤ ns	٢/٨٠ ns	٦٨٠٣٥/٠ ns	٠/٠٥٦**	٠/٤٢ ns	٣٦/٨٢**	٠/٢٢**	٦٢٧/١*
خطای کل	٧١	١٥/٠٧	٠/٧٥	١/١٩	٧٤٢٢١/٢	٠/٠١٠	٠/٢١	٣/٧٥	٠/٠٧١	٢٥٢/٣
ضریب تغییرات(٪)	–	١٠/٢٩	١١/٨٧	١٣/٨١	٢٢/٥٦	١٦/٥٥	٢٢/٠٤	١١/٠٤	٨/٤٨	٢٣/٩٥

ns: غیر معنی‌دار؛ * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ٥ و ١ درصد.

جدول ٤: اثر کودهای شیمیایی و بیولوژیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات کیفی دو اکوتیپ زیره کوهی در سال دوم

منابع تغییرات	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)							
		ارتفاع بوته	تعداد چترک در چتر	تعداد دانه در چترک	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	کلروفیل کل	محتوای اسانس	عملکرد اسانس
بلوک	٢	١/٧٩ns	٥/١٠ ns	٧/٨٥ ns	٢٣٢١٧٥/٠ ns	٠/٠٠٥٩ ns	٠/٨٧ ns	٠/٧٣ ns	٠/٧٠**	٢٧١٨/٨ ns
کود (F)	١١	١٣٣/٤**	٨/٨٩**	١٨/٨٦**	٧٠٤٨٣٦/١**	٠/٤٧**	٥/٥٥**	٧٤/٣٤**	٠/٢١*	٧١٨١/٢**
خطا	٢٢	٢٣/٠٩	٢/٥٧	٤/٩٤	١٤٧٠٩٩/٥	٠/٠٤٢	٠/٨٤	٥/٨٩	٠/٠٨٣	١١٧٣/٧
اکوتیپ (E)	١	٣٤٤٣/١**	٥٣/٢١**	٨٤/٢٨**	٢٨٢١١١/٩ ns	٢/٠٧**	٨/٨٧**	١٢٩/٧**	٠/٠١٣ ns	٩٩١٧/٢**
F × E	١١	٤٦/٧٧**	٣/٣٩ ns	٩/٨٦**	١٧١٥٥٨/٠ ns	٠٢/٠٤ ns	٠/٧٩ ns	٣/٩٨ ns	٠/٢٥**	١٣٧١/٠ ns
خطای کل	٧١	١٤/٨٤	٢/٧١	٣/٨٣	٨٢٢٨٣/٥	٠/٠٤١	٠/٦٨	٢/٧٣	٠/٠٨٢	٧٨٢/٦
ضریب تغییرات(٪)	–	١٠/٥٤	١٢/٣٢	١٢/٣٣	٢٢/٣٨	١٠/٨٦	٢٢/٤١	١١/٣٥	٨/٧٥	٢٠/٢٦

ns: غیر معنی‌دار؛ * و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ٥ و ١ درصد.

تعداد چترک در چتر: براساس نتایج، تعداد چترک در چتر در اکوتیپ‌های مورد آزمایش و همچنین تحت تأثیر تیمارهای کودی، تفاوت معنی‌داری ($p<0.01$) در هر دو سال نشان داد (جداول ٣ و ٤). در هر دو سال، اکوتیپ ثقفی دارای میانگین تعداد چترک در چتر بالایی در مقایسه با اکوتیپ بیرجند بود به‌طوری که در سال اول و دوم به‌ترتیب ٨/٣٠ و ١٢/٣٨ درصد میانگین بالاتری داشت. در بین تیمارهای کودی کاربرد تلفیقی $AMF + VC + NPK_1$ در سال اول و NPK_1 در سال دوم منجر به ایجاد بالاترین میانگین تعداد چترک در چتر (به‌ترتیب ١٤/٧٥ و ١٣/٧٣ عدد) شدند. قابل ذکر هست که در سال دوم نیز تیمار تلفیقی $AMF + VC + NPK_1$ نیز در گروه مشترک با بالاترین تیمار قرار داشتند. عدم کاربرد کود در هر دو سال دارای کمترین میانگین این صفت به‌ترتیب ١٠/٠٣ و ١٠/٠٧ عدد بود (جداول ٥ و ٦).

تعداد دانه در چترک: تعداد دانه در چترک تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی (به‌ترتیب در سال اول و دوم $p<0.05$; 0.01) و اکوتیپ ($p<0.01$) تفاوت معنی‌داری در هر دو سال نشان داد. علاوه بر این، اثر متقابل منابع کود در اکوتیپ در سال دوم معنی‌دار ($p<0.01$) به‌دست آمد (جداول ٣ و ٤). براساس نتایج مقایسه میانگین، اکوتیپ بیرجند دارای ٢٥/٦ درصد تعداد دانه در چترک بالاتری در مقایسه با اکوتیپ ثقفی بود. علاوه بر این در سال اول، استفاده تلفیقی از منابع کودی منجر به بالا رفتن میانگین این صفت در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود شد (جدول ٥). در سال دوم آزمایش، استفاده از تیمار کودی F_2 (NPK_1) در اکوتیپ بیرجند منجر به ایجاد بالاترین میانگین تعداد دانه در چترک (٢٢/٧) عدد) شد در حالی که عدم کاربرد کود در اکوتیپ ثقفی، کمترین میانگین این صفت (١٠/٨٦ عدد) را نشان داد.

تعداد دانه در بوته: اثر منابع مختلف کودی و اکوتیپ در سال اول بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بودند در حالی که در سال دوم فقط منابع کودی اثر معنی‌داری در سطح احتمال ١ درصد ($p<0.01$) داشت (جداول ٣ و ٤). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، اکوتیپ بیرجند دارای ٣٤/١٢ درصد میانگین تعداد دانه در بوته بالاتری در مقایسه با اکوتیپ ثقفی داشت (جدول ٥). در هر دو سال، استفاده از تیمار تلفیقی F_{11} ($AMF + VC + NPK_1$) منجر به ایجاد بالاترین تعداد دانه در بوته (به‌ترتیب ١٥٤٨/٠١ و ١٧١٤/٠٧ عدد) گردید. در حالی که کمترین تعداد دانه در بوته مربوط به تیمار عدم کاربرد کود (به‌ترتیب ٦٠٤/٧٧ و ٥٦٨/٥٦ عدد) بود (جداول ٥ و ٦).

وزن هزار دانه: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر منابع مختلف کودی و همچنین اکوتیپ زیره کوهی بر وزن هزار دانه در هر دو سال معنی‌دار ($p<0.01$) بودند (جداول ٣ و ٤). استفاده از تیمار کودی F_{11} و F_2 به‌ترتیب در سال اول و دوم منجر به ایجاد بالاترین وزن هزار دانه (٢/١٩ و ٢/٣٣ گرم) شدند. در حالی که عدم کاربرد کود در هر دو سال کمترین وزن هزار دانه (به‌ترتیب ١/٣٦ و ١/٥١ گرم) را نشان داد. یافته‌ها نشان داد که اکوتیپ بیرجند به‌ترتیب ٩/٧١ و ١٥/٩٤ درصد وزن هزار دانه بالاتری در مقایسه با اکوتیپ ثقفی در سال اول و دوم داشت. (جداول ٥ و ٦).

جدول ٥: مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کودهای شیمیایی و بیولوژیک و همچنین اکوتیپ گیاهی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات کیفی زیره کوهی در سال اول

نام فاکتور/ سطوح فاکتور	ارتفاع بوته (cm)	تعداد چترک در چتر	تعداد دانه در چترک	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (g/plant)	عملکرداسانس (mg/plant)
ترکیبات کودی							
بدون مصرف کود	٣٨/٨٨±٧/٦٩^{d}	١٠/٠٣±٠/٩^{d}	١٥/٢٥±٣/٧^{c}	٦٠٤/٧٧±٢٥٦/٥٩^{c}	١/٣٦±٠/٢٧^{e}	٠/٨٦±٠/٤٧^{f}	٢٩/٠٤±٢١/٠٦^{f}
NPK_1	٥٢/٥٨±٧/٨^{a}	١١/٩٣±١/٢٨^{bc}	١٨/٣٨±٣/٥٧^{a}	١٣٧٧±٤٧٦/٢٨^{ab}	١/٩٤±٠/١٨^{b}	٢/٧٢±١/١^{abc}	٨١/٣٥±٢٨/٤١^{bc}
NPK_2	٤٧/٠٥±٥/٤٧^{abc}	١١/٤٧±١/٢٥^{c}	١٨/١٣±٣/٤^{ab}	١١١٩/٩±٣٥٨/٥٦^{ab}	١/٤٥±٠/١٦^{de}	١/٦٣±٠/٥٩^{def}	٤٩/٧٨±١٤/٣١$^{c-f}$
AMF	٤٤/٥٨±٧^{c}	١٢/٢٣±١/٨٧^{abc}	١٧/١٥±١/٦٥^{abc}	١٠٤٧/٠٣±٢٩٩/٠٥^{abc}	١/٤±٠/٢٧^{de}	١/٥±٠/٦٣^{def}	٤٤/٦٩±٢١/٦٥^{def}
VC	٤٤/٩٢±٧/٨٣^{c}	١٢/٥±١/٨٢^{abc}	١٥/٨٥±٣/٧٦^{bc}	٩٣٣/١٢±٣٨٣/٩٣^{bc}	١/٤٢±٠/٢٣^{de}	١/٣٩±٠/٧٨^{ef}	٤١/٥٣±٢٠/٨٦^{ef}
AMF + VC	٤٧/٨٥±٦/١٧^{abc}	١٣/٠٧±١/١٨^{abc}	١٨/٣٧±٣/٠٥^{a}	١٣٥٢/٧±٥٢١/٦٤^{ab}	١/٦٧±٠/١٤^{cd}	٢/٢٨±٠/٩٧$^{b-e}$	٦٧/٥٤±٢٩/٧١$^{b-e}$
$AMF + NPK_1$	٤٧/١٥±٦/١^{abc}	١٢/٦٣±٠/٧٤^{abc}	١٨/٢٣±٢/٧٧^{ab}	١٢٠٥/٦٢±٣٩١/٨٥^{ab}	١/٨١±٠/٣٣^{bc}	٢/٢٤±١$^{b-e}$	٦٨/٠٣±٢٨/٩٦$^{b-e}$
$AMF + NPK_2$	٤٨/٩±٧/٦^{abc}	١٢/٧٧±١/٧٦^{abc}	١٨/٧٥±٣/١٥^{a}	١٢٥٠/٧٥±٥٧٨/٧٦^{ab}	١/٤٦±٠/٣^{de}	١/٩٢±١/١٤^{cde}	٥٧/٥٤±٣١/٢٨$^{c-f}$
$VC+ NPK_1$	٤٩/٨٥±٧/٨٦^{abc}	١٣/٢±٠/٧٩^{ab}	١٧/٥٨±٣/١٤^{abc}	١٤٣١/٠٩±٤٨٢/٩٢^{ab}	٢/٠٥±٠/٢٣^{ab}	٢/٩٧±١/١٣^{ab}	٩٦/٢٧±٣٦/٧٧^{ab}
$VC+ NPK_2$	٤٥/٨٨±٧/٩٣^{bc}	١٣±١/٠٤^{abc}	١٧/٤٥±٣/٠٤^{abc}	١١٣٥/٧٧±٢٦٧/٣٨^{ab}	١/٦±٠/٢٤^{cde}	١/٨٤±٠/٦٣$^{e-f}$	٦٥/٢٩±٢٢/٧٤$^{b-e}$
$AMF + VC + NPK_1$	٥١/٦±٨/٥٤^{ab}	١٣/٧٣±١^{a}	١٩/٠٨±٤/٩٢^{a}	١٥٤٨/٠١±٦٩٨/٧٣^{a}	٢/١٩±٠/١١^{a}	٣/٣٨±١/٤٩^{a}	١١٥/٩±٥٨/٥٧^{a}
$AMF + VC + NPK_2$	٤٨/٣٧±٦/٥^{abc}	١٣/٠٧±١/٦٣^{abc}	١٨/٨٨±٤/٠٢^{a}	١٤٨٠/٠٣±٥٨٠/٥٣^{a}	١/٦٢±٠/٢٨^{cde}	٢/٥±١/٢٥$^{a-d}$	٧٨/٨٦±٤٠/٨٤^{bcd}
اکوتیپ گیاهی							
بیرجند	٥٢/٧٤±٦/١١^{a}	١١/٩٣±١/٢٦^{b}	٢٠/٣٧±٢/٤٧^{a}	١٤٥٥/٤٩±٤٩٤/٥١^{a}	١/٧٥±٠/٣٣^{a}	٢/٦٤±١/٢^{a}	٨٠/٣٢±٤١/١٩^{a}
ثقفی	٤١/٨٧±٤/١١^{b}	١٣/٠١±١/٦٢^{a}	١٥/١٥±١/٦٧^{b}	٩٥٨/٨١±٣٥٢/٨٦^{b}	١/٥٨±٠/٣٤^{b}	١/٥٧±٠/٧٧^{b}	٥٢/٣٢±٢٧/٢٧^{b}

میانگین‌های (±SD) دارای حروف مشابه در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) در سطح ٥ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول ٦: مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف کودهای شیمیایی و بیولوژیک و همچنین اکوتیپ گیاهی بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات کیفی زیره کوهی در سال دوم.

نام فاکتور/ سطوح فاکتور	تعداد چترک در چتر	تعداد دانه در بوته	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه (g/plant)	کلروفیل کل (µg/g FW)	عملکرد اسانس (mg/plant)
ترکیبات کودی						
بدون مصرف کود	١٠/٠٧±٢/١٤^{d}	٥٦٨/٥٦±٣٢٣/٨٧^{d}	١/٥١±٠/٣٧^{e}	٠/٩٤±٠/٧١^{d}	١٣/٣٤±١/٧١^{f}	٣٠/١١±١٩/٦٦^{f}
NPK_1	١٤/٧٥±١/٥٥^{a}	١٧٢٠/٤٦±٦٣٦/١٤^{a}	٢/٣٣±٠/٢٥^{a}	٤/٠٢±١/٦٤^{a}	٢٤/٤٩±٢/٧٢^{ab}	١٣٣/٩٨±٦٦/٨٧^{a}
NPK_2	١٢/٤٥±٢/٠٣^{bc}	١٠٩٠/٠٧±١٧٢/٢٨^{c}	١/٥٩±٠/٢^{e}	١/٧٥±٠/٤٢^{cd}	٢٤/٢٦±١/٩٣^{ab}	٥٧/٠٢±١٥/٨١^{def}
AMF	١٢/٣±٢/٩١^{c}	١٠٥٧/١١±٣٤٧/٩١^{c}	١/٦٦±٠/٢٦^{de}	١/٧٨±٠/٧^{cd}	١٩/٢٤±٢/٩٨^{e}	٥٤/٤±٢١/١٢^{def}
VC	١٢/٧±١/٧^{abc}	٩٤١/٢٦±٢٧٥/١٧^{cd}	١/٥٢±٠/٢٢^{e}	١/٤٨±٠/٥٨^{cd}	١٨/٠١±٢/٧٤^{e}	٤٧/٣٨±١٩/٣٧^{ef}
AMF + VC	١٣/٧٣±١/٩٧^{abc}	١٣٣٧/٥٧±٣٣٨/١٣^{abc}	١/٨٨±٠/٣^{cd}	٢/٥٢±٠/٧٧^{bc}	٢٢/١١±١/٨٥^{bc}	٧٧/٥١±٢٥/١١^{cde}
$AMF + NPK_1$	١٢/٦±٠/٩٩^{abc}	١٢٢٣/٤٦±٣٥٧/٥^{bc}	٢/٠٩±٠/٢٧^{abc}	٢/٦١±١/١^{bc}	٢٢/٦٧±٢/٤٥^{bc}	٨٤/١±٣٦/٠٦$^{b-e}$
$AMF + NPK_2$	١٢/٩٣±٠/٩١^{abc}	١٣٣٧/٦٥±٣١٠/٠١^{abc}	١/٨٧±٠/٢٥^{cd}	٢/٥٥±٠/٩٢^{bc}	١٩/٤٤±٣/١٥^{de}	٨٢/٣±٣٣/٢٥$^{b-e}$
$VC+ NPK_1$	١٤/٥٣±١/٤٢^{ab}	١٦٠٢/٥٧±٣٤٤/١٥^{ab}	٢/١٥±٠/٣^{ab}	٣/٥٣±١/٢٥^{bc}	٢٠/٥٢±٢/٥٣^{cde}	١١٩/٨٤±٤٦/٣٢^{ab}
$VC+ NPK_2$	١٣/١±١/٥٧^{abc}	١٢١١/٢±٣١٥/١٥^{bc}	١/٩٨±٠/٣^{bc}	٢/٤٤±٠/٩١^{bc}	٢٤/٤٤±١/٢٣^{ab}	٨٩/٨٨±٢٩/٣٩^{bcd}
$AMF + VC + NPK_1$	١٣/٧٢±٣/١٥^{abc}	١٧١٤/٠٧±٤٨٥/٣^{a}	٢/٢٤±٠/٣^{ab}	٣/٨٣±١/٠٧^{a}	٢٦±٢/٦٨^{a}	١٣٨/٦٧±٥١/٤١^{a}
$AMF + VC + PK_2$	١٣/٤٣±١/٤١^{abc}	١٥٧٠/٧٥±٢٠٣/٤٥^{ab}	٢/٠٤±٠/٢٣^{bc}	٣/٢٣±٠/٧١^{ab}	٢١/٩٥±٣/٠٣^{bcd}	١٠٥/٩±١٩/٧٥^{abc}
اکوتیپ گیاهی						
بیرجند	١٢/١٧±١/٨٣^{b}	١٣٤٣/٨٢±٤٧٩/١^{a}	٢/٠٧±٠/٣٤^{a}	٢/٩١±١/٣٩^{a}	٢٢/٧٢±٣/٩١^{a}	٩٦/٨٣±٥٠/٦٣^{a}
ثقفی	١٣/٨٩±٢/٠٧^{a}	١٢١٨/٦٣±٤٥٦/١٣^{a}	١/٧٤±٠/٣٣^{b}	٢/٢١±١/٠٥^{b}	٢٠/٠٣±٣/٨٧^{b}	٧٣/٣٥±٣٩/٤٢^{b}

میانگین‌های (±SD) دارای حروف مشابه در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) در سطح ٥ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

عملکرد دانه: در هر دو سال آزمایش، اثر تیمارهای مختلف کودی و همچنین اکوتیپ بر عملکرد دانه در سطح احتمال ١ درصد ($p<0.01$) معنی‌دار بودند (جداول ٣ و ٤). در هر دو سال کاربرد تیمار F_{11} منجر به ایجاد بالاترین عملکرد دانه (به‌ترتیب ٢/١٩ و ٣/٨٣ گرم در بوته) شد در حالی که کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار عدم کاربرد کود (به‌ترتیب ٠/٨٦ و ٠/٩٤ گرم در بوته) بود. قابل ذکر است که در هر دو سال، کاربرد تیمار F_2 نیز منجر به ایجاد بالاترین عملکرد دانه شد. نتایج نشان داد که اکوتیپ بیرجند در مقایسه با ثقفی دارای ٤٠/٥ و ٢٤/٠ درصد عملکرد دانه بالاتری به‌ترتیب در سال اول و دوم داشت (جداول ٥ و ٦).

محتوای کلروفیل کل: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر منابع کودی و همچنین اکوتیپ در هر دو سال بر محتوای کلروفیل کل برگ معنی‌دار بودند ($p<0.01$). علاوه بر این در سال اول آزمایش اثر متقابل منابع کودی در اکوتیپ بر محتوای کلروفیل کل در سطح احتمال ١ درصد معنی‌دار به‌دست آمد (جداول ٣ و ٤). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل اکوتیپ در منابع کودی نشان داد که کاربرد تلفیقی تیمار F_{11} در هر دو اکوتیپ منجر به ایجاد بالاترین محتوای کلروفیل کل (به‌ترتیب ٢٤/٨٣ و ٢٦/٥٥ میکروگرم بر گرم وزن تر) در سال اول آزمایش شد در حالی که کمترین کلروفیل کل در عدم کاربرد کود در اکوتیپ ثقفی با میانگین ٨/٥٢ میکروگرم بر گرم وزن تر مشاهده شد. در سال دوم، اکوتیپ بیرجند دارای بالاترین محتوای کلروفیل و اکوتیپ ثقفی دارای کمترین میانگین این صفت بودند. علاوه بر این، استفاده از تیمار تلفیقی F_{11} منجر به ایجاد بالاترین میانگین کلروفیل کل (٢٦ میکروگرم بر گرم وزن تر) شد در حالی که عدم کاربرد کود، کمترین میانگین این صفت (١٣/٣٤ میکروگرم بر گرم وزن تر) را نشان داد (جدول ٦).

محتوای اسانس: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر منابع کودی و اکوتیپ و همچنین اثر متقابل این دو بر محتوای اسانس در سال اول معنی‌دار بودند. در حالی که در سال دوم، اثر منابع کودی ($p<0.05$) و اثر متقابل منابع کودی در اکوتیپ معنی‌دار ($p<0.01$) به‌دست آمد (جدول ٣ و ٤). در سال اول، عدم کاربرد کود و تیمار F_{11} در اکوتیپ بیرجند و کاربرد F_2 (NPK_1)، F_3 (NPK_2) و F_{10} (NPK_2+VC) در اکوتیپ ثقفی منجر به ایجاد بالاترین محتوای اسانس شد. در حالی که در سال دوم عدم کاربرد کود در اکوتیپ ثقفی و کاربرد F_{10} بالاترین محتوای اسانس (به‌ترتیب ٣/٨٣ و ٣/٩١ درصد) را داشت. در سال اول کمترین محتوای اسانس (٢/٦٨ درصد) در تیمار کودی شیمیایی F_2 (NPK_1) در اکوتیپ بیرجند و در سال دوم در عدم کاربرد کد در اکوتیپ بیرجند (٢/٤٦ درصد) مشاهده شد (جدول ٧).

عملکرد اسانس: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عملکرد اسانس در هر دو سال تحت تأثیر منابع مختلف کودی و همچنین اکوتیپ زیره کوهی تفاوت معنی‌داری ($p<0.01$) داشت (جداول ٣ و ٤). براساس مقایسه میانگین داده‌ها، اکوتیپ بیرجند در هر دو سال، دارای عملکرد اسانس بالاتری در مقایسه با اکوتیپ ثقفی بود که در سال اول و دوم این افزایش به‌ترتیب ٣٤/٨٦ و ٢٤/٢٤ درصد ثبت شد. کاربرد تیمار تلفیقی F_{11} در هر دو سال منجر به ایجاد بالاترین میانگین عملکرد اسانس (به‌ترتیب ١١٥/٩ و ١٣٨/٦٧ میلی‌گرم در بوته) شد. علاوه بر این در سال دوم، کاربرد کود شیمیایی NPK_1 نیز دارای بالاترین میانگین این صفت بود. عدم کاربرد کود در هر دو سال کمترین عملکرد اسانس (به‌ترتیب ٢٩/٠٤ و ٣٠/١١ میلی‌گرم در بوته) را نشان داد (جداول ٥ و ٦).

جدول ۷: مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای کودی و اکوتیپ بر محتوای اسانس (٪) زیره کوهی در طی دو سال آزمایش

تیمارهای کودی	سال اول		سال دوم	
	بیرجند	ثقفی	بیرجند	ثقفی
بدون مصرف کود	۳/٤۸±۰/٤۱^{a}	۲/۸۹±۰/۱$^{c-f}$	۲/٤٦+۰/۱^{g}	۳/۸۳±۰/٤٥^{a}
NPK_1	۲/٦۸±۰/۱٤^{f}	۳/٥±۰/۰۸^{a}	۲/۹۸+۰/۰۸$^{c-g}$	۲/۹٤±۰/۱٦$^{c-g}$
NPK_2	۲/۷۳±۰/۱۱^{ef}	۳/٥٦±۰/۲٦^{a}	۳/۰۳+۰/۲٦$^{c-f}$	۳±۰/۱۲$^{c-f}$
AMF	۲/۷٦±۰/۳٤^{ef}	۳/۱٦±۰/۱۹$^{a-f}$	۲/٦۹+۰/۱۹^{efg}	۳/۰٤±۰/۳۷$^{c-f}$
VC	۲/۷۷±۰/۰۷^{ef}	۳/۳۳±۰/۱۱$^{a-d}$	۲/۸۳+۰/۱۱^{efg}	۳/۰٥±۰/۰۷$^{c-f}$
AMF + VC	۲/۸۲±۰/۰۸^{def}	۳/۰٤±۰/۱۹$^{a-f}$	۲/٥۸+۰/۱۹^{fg}	۳/۱۱±۰/۰۹$^{c-f}$
$AMF + NPK_1$	۲/۹±۰/۱۲$^{b-f}$	۳/۲٤±۰/۱۳$^{a-e}$	۲/۷٥+۰/۱۳^{efg}	۳/۱۹±۰/۱۳$^{b-e}$
$AMF + NPK_2$	۲/۸٦±۰/۱$^{c-f}$	۳/۲۳±۰/۰۸$^{a-e}$	۲/۷٥+۰/۰۸^{efg}	۳/۱٥±۰/۱۱^{cde}
$VC+ NPK_1$	۳/۱۱±۰/۲۲$^{a-f}$	۳/۳۷±۰/۱٦^{abc}	۲/۸٦+۰/۱٦^{efg}	۳/٤۲±۰/۲٤$^{a-d}$
$VC+ NPK_2$	۳/٥٥±۰/۱٥^{a}	۳/٥٦±۰/۱^{a}	۳/۰۳+۰/۱$^{c-f}$	۳/۹۱±۰/۱۷^{a}
$AMF + VC + NPK_1$	۳/۳۳±۰/۲٦$^{a-d}$	۳/٤۲±۰/۱٤^{ab}	۲/۹۱+۰/۱٤$^{d-g}$	۳/٦٦±۰/۲۹^{ab}
$AMF + VC + NPK_2$	۳/۱٤±۰/۱٤$^{a-f}$	۳/۱٤±۰/۰۷$^{a-f}$	۲/٦۷+۰/۰۷^{efg}	۳/٤٦±۰/۱٥^{abc}

میانگین‌های (±SD) دارای حروف مشابه در هر ستون، از نظر آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند. دو سال آزمایش به صورت جداگانه مقایسه میانگین شده‌اند.

تجزیه رگرسیون گام به گام: به‌منظور ارزیابی صفات اثرگذار در محتوای اسانس، تجزیه رگرسیون گام به گام انجام شد که در آن محتوای اسانس به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که چهار صفات تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و کلروفیل کل از صفات اثرگذار بر محتوای اسانس بودند که در مجموع ٤۳/۱٤ درصد از تغییرات محتوای اسانس قابل توجیه بود (جدول ۸).

جدول ۸: رگرسیون گام به گام محتوای اسانس دو اکوتیپ زیره کوهی به‌عنوان متغیر وابسته تحت تأثیر سطوح مختلف کودهای شیمیایی و بیولوژیک

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
ضریب ثابت	۱/۹۸۸	۰/۷۷٤	۲/٥۷	۰/۰۱٥
تعداد چترک در چتر(X1)	۰/۱۸۹٦	۰/۰۷۰۸	۲/٦۸	۰/۰۱۲
تعداد دانه در بوته (X2)	-۰/۰۰۰۲۹۷	۰/۰۰۰۱۸٥	-۱/٦۱	۰/۱۱۹
وزن هزار دانه (X3)	۰/٥۱٥	۰/۲٤٤	۲/۱۱	۰/۰٤۳
کلروفیل کل (X4)	-۰/۰۸۱٤	۰/۰۲٦۲	-۳/۱۰	۰/۰۰٤

R-sq = 43.14%

Y = 1.988 +0.1896 (X1) – 0.000297 (X2) + 0.515 (X3) -0.0814 (X4)

بحث

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات منابع مختلف کودهای شیمیایی، آلی و بیولوژیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای اسانس دو اکوتیپ زیره کوهی (بیرجند و ثقفی) اجرا شد که نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف کودی در اغلب صفات مورد مطالعه اعم از صفات مرتبط با رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و محتوای اسانس مشاهده شد. براساس نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین داده‌ها، کاربرد تلفیقی منابع کودی به‌خصوص

NPK، VC و AMF منجر به افزایش میانگین صفات مرتبط با عملکرد و اجزای عملکرد در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود شدند. به نظر می‌رسد که سیستم تلفیقی تغذیه گیاه با ایجاد شرایط مناسب برای میکروارگانیسم‌ها مفید خاک منجر به افزایش جذب و در دسترس قرار گرفتن عناصر کم‌مصرف و پرمصرف گردیده و در مجموع افزایش صفات رشدی و عملکردی را در پی داشته است. استفاده تلفیقی از کودهای آلی و بیولوژیک همچون AMF و VC عملکرد کمی و کیفی گیاهان مختلف را بهبود می‌بخشد. مثال‌هایی از این پیامدهای مثبت شامل گزارش‌هایی درباره گیاهان کینوا (Benaffari et al., 2022)، کاکتوس هندی (Lahbouki et al., 2022) و زیره سیاه (Darakeh et al., 2022) می‌باشد. استفاده از کودهای بیولوژیک و آلی می‌تواند فعالیت میکروبی در ریزوسفر را افزایش دهد که منجر به بهبود جوانه‌زنی، توسعه ریشه و جذب مواد غذایی شود، در نتیجه، عملکرد گیاهان افزایش می‌یابد (Iqbal et al., 2023). در این مطالعه، AMF تأثیرات بهبوددهنده قابل توجهی داشتند. به نظر می‌رسد که AMF کلونی‌های نزدیک به ریشه‌های گیاه و هیف‌های داخلی ریشه را تشکیل می‌دهند، که باعث رشد گیاه میزبان از طریق مکانیزم‌های متنوع می‌شود (Ghaderi et al., 2020).

یکی از عوامل مهمی که ارتفاع گیاه را تعیین می‌کند، تأمین مواد غذایی اساسی است، از جمله کودهای نیتروژنی که به‌طور تدریجی رشد گیاه را کنترل می‌کنند (Bayazidi-Aghdam et al., 2022). در مطالعاتی تأثیر کودهای بیولوژیک و شیمیایی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی گیاهان بررسی و گزارش شد که ترکیب کود بیولوژیک و کود شیمیایی باعث افزایش ارتفاع گیاه می‌شود، که با توجه به فرآیندهای فیزیولوژیکی و اکولوژیکی همخوانی دارد (Ghaderi et al., 2020). منابع مختلفی برای تأمین مواد مغذی گیاهان وجود دارند، که یکی از آن‌ها استفاده از کودهای شیمیایی است که رایج‌ترین منبع کودی در سیستم‌های کشاورزی است. استفاده بیش از حد و طولانی‌مدت از این منابع کودی تهدیدی برای سلامت محیط‌زیست و انسان محسوب می‌شود (Bayazidi-Aghdam et al., 2022).

براساس نتایج کاربرد NPK_1 به‌تنهایی، منجر به ایجاد بالاترین میانگین ارتفاع بوته، تعداد دانه در چترک، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه در هر دو سال شد. نتایج مشابهی در گیاه علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) مبنی بر اثر مثبت کاربرد کود شیمیایی NPK در افزایش صفات رشدی و عملکردی گزارش شده است (Salehi et al., 2023). استفاده از کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K)، معمولاً به‌عنوان کودهای NPK شناخته می‌شوند، با تأمین مواد غذایی ضروری منجر به افزایش رشد و عملکرد و در نهایت افزایش کیفیت محصول می‌شود. علاوه بر این، کودهای NPK نقش مهمی در افزایش سنتز متابولیت‌های ثانویه مانند آلکالوئیدها، فلاونوئیدها و ترپنوئیدها که اغلب مواد مؤثره مسئول خواص درمانی هستند، ایفا می‌نماید (Safaei et al., 2021).

استفاده از سیستم تلفیقی کوددهی در بالا رفتن محتوای کلروفیل کل نتایج شاخصی نشان داد. در گیاهان مختلفی گزارش شده است که کاربرد سیستم تلفیقی منابع کودی (آلی و بیولوژیک) منجر به افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شود که از آن جمله می‌توان به گیاه زیره سیاه (Darakeh et al., 2022) و اسطوخودوس (Sharafabad et al., 2022) اشاره کرد. کلروفیل یکی از اجزای کلروپلاست است که برای فتوسنتز مهم بوده و محتوی نسبی کلروفیل، رابطه‌ای مثبت با نرخ فتوسنتز دارد. غلظت‌های پایین رنگدانه-های فتوسنتزی به‌طور مستقیم می‌تواند پتانسیل

فتوسنتز و بنابراین تولید اولیه را محدود کند (Pan et al., 2021). کاربرد نیمی از کودهای شیمیایی در ترکیب با VC و کود بیولوژیک، بیشترین تأثیر را در افزایش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت (Jami et al., 2020). این افزایش اثر، احتمالاً به دلیل ارتباط مثبت بین غلظت فسفر و محتوای کلروفیل در گیاهان تلقیح شده با AMF است، که وظیفه AMF در تأمین فسفر مورد نیاز گیاه به‌عنوان دهنده انرژی در فتوسنتز تأیید شده است. براساس نتایج پژوهش حاضر، استفاده از AMF در سیستم تلفیقی، از نظر افزایش صفات کمی و کیفی بسیار کارآمد بود. هیف-های توسعه یافته AMF قادر به رشد در منافذ خاک بوده که ریشه‌های مویین و تارهای کشنده قادر به نفوذ در آن‌ها نیستند، در نتیجه دسترسی گیاه به عناصر غیر متحرک مانند فسفر افزایش می‌یابد. بنابراین شبکه هیف AMF قادرند راحت‌تر از ریشه گیاهان در خاک‌های متراکم نفوذ و باعث افزایش سیستم ریشه گیاهان گردند (Ghaderi et al., 2020).

در پژوهشی گزارش شد که استفاده از سیستم تلفیقی کود (NPK و VC) عملکرد کیفی اسانس در گیاه مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica* Jamzad) را کمتر تحت تأثیر قرار داد ولی منجر به افزایش عملکرد کمی اسانس در این گیاه دارویی در مقایسه با تیمار شاهد شد (Safaei et al., 2021). کاربرد VC در تلفیق با کود آلی و بیولوژیک در ارتباط با محتوای اسانس برتری واضحی را نشان داد. نتایج مشابه در مطالعاتی در گیاهان همچون گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) و آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) گزارش شده است (Bitarafan et al., 2017; Zolfagjhari et al., 2022). علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نسبت به دیگر کودهای آلی، VC به‌دلیل محتوای عناصر تنظیم کننده گیاهی (مثل ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و عوامل رشد) که از میکروفلورا در روده‌های کرم منشأ می‌گیرد، مزیت ممتازی دارد (Krasilnikov et al., 2022). با توجه به تأثیر عمیق پارامترهای باروری خاک بر رشد، توسعه و تولید متابولیت‌های گیاهی، بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی در محیط کشت از طریق استفاده از VC باعث افزایش سنتز متابولیت‌ها، به‌ویژه محتوای اسانس می‌شود (Zolfagjhari et al., 2022). کود VC سطوح قابل توجهی از نیتروژن (۵ برابر)، پتاسیم (۷ برابر) و کلسیم (۱/۵ برابر) دارا می‌باشد (Rehman et al., 2023). ترکیب متوسط عناصر غذایی در کود VC شامل نیتروژن (۲-۱/۵ درصد)، فسفر (۲/۲-۱/۸ درصد)، پتاسیم (۱/۵-۱ درصد) و کربن آلی (۱۷/۹۸-۰/۱۵ درصد) است، همچنین عناصر کمیاب ضروری مانند روی (Zn)، منیزیم (Mg) و آهن (Fe) که برای رشد گیاهان ضروری هستند (Tammam et al., 2023). به‌نظر وجود این ترکیبات، منجر به ایجاد اثرات مثبت VC بر صفات رشدی و عملکردی و افزایش آنها در مقایسه با تیمار شاهد شده است.

تفاوت‌های معنی‌دار میان دو اکوتیپ در صفات عملکرد، اجزای عملکرد و صفات بیوشیمیایی امکان نشانگر ویژگی‌های منحصربه‌فرد و تطابق نژادی این دو اکوتیپ است. احتمالاً تفاوت‌های ژنتیکی بین این دو اکوتیپ باعث شده است که اکوتیپ بیرجند در اغلب صفات دارای میانگین بالاتری باشد. به‌عنوان مثال، ممکن است اکوتیپ بیرجند دارای ژنوتیپ‌هایی باشد که موجب افزایش تولید فیتوپیگمان‌ها، بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش عملکرد گیاهی شده‌اند. همچنین، شرایط محیطی متفاوت مانند خاصیت‌های خاک، شدت نور، دما و رطوبت نیز می‌تواند به این تفاوت‌ها مؤثر باشد (Niazian et al., 2017). در پژوهشی مشابه، تفاوت معنی‌داری بین صفات رشدی و عملکردی در بین ٧٤ جمعیت زیره

کوهی در منطقه هندوستان گزارش شد (Khan et al., 2023). در مقایسه بین دو اکوتیپ، از نظر عملکرد دانه و همچنین محتوای اسانس

عدم استفاده از کود در اکوتیپ ثقفی در سال اول آزمایش، منجر به کمترین میزان اسانس شد. با این حال، تیمارهای کودی تلفیقی در سال دوم، بیشترین میانگین برای این صفت را نشان داد. نتایج مشابهی برای اکوتیپ بیرجند نیز به‌دست آمد. به عبارت دیگر، با توجه به سال آزمایشی، میزان اسانس، به‌عنوان یک مؤلفه مهم در کشت این گیاه دارویی، به‌طور قابل توجهی به شرایط محیطی وابسته بود. تغییرات در محتوای اسانس نیز در سایر گیاهان دارویی از مناطق اکولوژیک مختلف ایران گزارش شده است. تغییرات ژنتیکی، مکان‌های جمع‌آوری، عوامل اقلیمی، زمان برداشت و روش استخراج اسانس از عواملی هستند که می‌توانند بر تغییرات زیاد در محتوای اسانس یک گیاه دارویی اثرگذار باشند (Pour et al., 2021).

نتیجه‌گیری نهایی

براساس یافته‌های این پژوهش، منابع مختلف کودی تأثیر معناداری بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات بیوشیمیایی داشتند. در خصوص صفات کلیدی مانند عملکرد دانه و محتوای اسانس، کاربرد کود شیمیایی (NPK_1) به‌تنهایی یا در ترکیب با کودهای آلی (VC) و بیولوژیک (AMF) بیشترین میانگین را نشان داد. نتایج حاکی از آن است که استفاده ترکیبی از کودهای شیمیایی، آلی و بیولوژیک منجر به افزایش کارایی در صفات مورد بررسی شده است. اکوتیپ بیرجند برتری معناداری نسبت به اکوتیپ ثقفی نشان داد. در نهایت، اختلافات بارزی در پاسخ دو اکوتیپ به منابع مختلف کود مشاهده شد که بررسی ژنتیکی این اختلافات و تحلیل بیان ژنی در شرایط تنش‌های محیطی، می‌تواند زمینه‌ساز مطالعات آینده باشد.

References

Ahmadi, S., Sefidkon, F., Abbaszadeh, B., and Farhadi, M. 2023. Evaluation of the effect of nutrition on the quantity and quality of *Satureja khuzestanica* Jamzad. essential oils in ecological conditions of Khorramabad. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants. 11: 36-48.

Bayazidi-Aghdam, M.T., Jalilian, J., and Mohammadi, H. 2022. Evaluation of quantitative yield, essential oil yield, and nutrient content of thyme in response to fertilizer sources and different irrigation regimes. Journal of Crops Improvement. 24: 583-599.

Benaffari, W., Boutasknit, A., Anli, M., Ait-El-Mokhtar, M., Ait-Rahou, Y., Ben-Laouane, R., Ben Ahmed, H., Mitsui, T., Baslam, M., and Meddich, A. 2022. The native arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost-based organic amendments enhance soil fertility, growth performance, and the drought stress tolerance of quinoa. Plants. 11: 393.

Benjemaa, M., Neves, M.A., Falleh, H., Isoda, H., Ksouri, R., and Nakajima, M. 2018. Nanoencapsulation of Thymus capitatus essential oil: Formulation process, physical stability characterization and antibacterial efficiency monitoring. Industrial Crops and Products. 113: 414-421.

Bettaieb, I., Bourgou, S., Sriti, J., Msaada, K., Limam, F., and Marzouk, B. 2011. Essential oils and fatty acids composition of Tunisian and Indian cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds: a comparative study. Journal of the Science of Food and Agriculture. 91: 2100-2107.

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

Chahota, R.K., Sharma, V., Ghani, M., Sharma, T.R., Rana, J.C., and Sharma, S.K. 2017. Genetic and phytochemical diversity analysis in *Bunium persicum* populations of north-western Himalaya. Physiology and Molecular Biology of Plants. 23: 429-441.

Darakeh, S.A.S.S., Weisany, W., Diyanat, M., and Ebrahimi, R. 2021. Bio-organic fertilizers induce biochemical changes and affect seed oil fatty acids composition in black cumin (*Nigella sativa* Linn). Industrial Crops and Products. 164: 113383.

Darakeh, S.A.S.S., Weisany, W., Tahir, N.A.R., and Schenk, P.M. 2022. Physiological and biochemical responses of black cumin to vermicompost and plant biostimulants: Arbuscular mycorrhizal and plant growth-promoting rhizobacteria. Industrial Crops and Products. 188: 115557.

Etesami, H., and Alikhani, H.A. 2019. Halotolerant plant growth-promoting fungi and bacteria as an alternative strategy for improving nutrient availability to salinity-stressed crop plants.' in, Saline soil-based agriculture by halotolerant microorganisms (Springer).

Ghaderi, A., Noee, A., Ahmadi, K., and Saborifard, H. 2020. Evaluation the effects of *Thiobacillus* biological and chemical fertilizers on morphological and phytochemical characteristics of *Satureja hortensis* L. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants. 8: 13-29.

Iqbal, B., Li, G., Alabbosh, K.F., Hussain, H., Khan, I., Tariq, M., Javed, Q., Naeem, M., and Ahmad, N. 2023. Advancing environmental sustainability through microbial reprogramming in growth improvement, stress alleviation, and phytoremediation. Plant Stress. 100283.

Jami, N., Rahimi, A., Naghizadeh, M., and Sedaghati, E. 2020. Investigating the use of different levels of mycorrhiza and vermicompost on quantitative and qualitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Scientia Horticulturae. 262: 109027

Karami Borzabad, R., Baghbani-Arani, A., and Paykarestan, B. 2023. Effect of low irrigation and foliar application of Nano nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative traits of black cumin seeds (*Bunium persicum* L.). Iranian Journal of Field Crop Science. 54: 85-97

Khan, M.H., Dar, N.A., Alie, B.A., Mir, G.H., Al-Sadoon, M.K., Hefft, D.I., and Rather, R.A. 2023. Morpho-Biochemical characterization of Kalazeera (*Bunium persicum* Boiss. Fedts) germplasm grown in Global temperate ecologies. Saudi Journal of Biological Sciences. 30: 103633.

Krasilnikov, P., Taboada, M.A., and Amanullah, A. 2022. Fertilizer use, soil health and agricultural sustainability. In, 462. MDPI.

Lahbouki, S., Anli, M., El Gabardi, S., Ait-El-Mokhtar, M., Ben-Laouane, R., Boutasknit, A., Ait-Rahou, Y., Outzourhit, A., Wahbi, S., and Douira, A. 2022. Evaluation of arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost supplementation on growth, phenolic content and antioxidant activity of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology. 156: 882-892

Li, Y., Kong, D., Fu, Y., Sussman, M.R., and Wu, H. 2020. The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. Plant Physiology and Biochemistry. 148: 80-89

Lichtenthaler, H.K., and Buschmann, C. 2001. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV- VIS spectroscopy. Current protocols in food analytical chemistry, 1: F4. 3.1-F4. 3.8

Nasrollahnejad, Z., Hemmati, K., and Babarabie, M. 2023. The reaction of *Eryngium campestre* plant to glycine, nitroxine and humic acid and investigating the effect of its extract on dealing with *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* bacteria. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants. 11: 99-114.

Niazian, M., Sadat Noori, S.A., Tohidfar, M., and Mortazavian, S.M.M. 2017. Essential oil yield and agro-morphological traits in some Iranian ecotypes of ajowan (*Carum copticum* L.). Journal of Essential Oil Bearing Plants. 20: 1151-1156.

Nourihoseini, S.M., Khorassani, R., Astaraei, A., Rezvani Moghadam, P., and Zabihi, H. 2016. Effect of different fertilizer resources and humic acid on some morphological criteria, yield and antioxidant activity of black zira seed (*Bunium persicum* Boiss). Applied Field Crops Research. 29: 88-105.

Pour, A.P., Farahbakhsh, H., and Tohidinejad, E. 2021. Nitrogen, phosphorous and potassium levels affected growth indices, leaf gas exchange parameters and biomass production of henna (*Lawsonia inermis* L.) ecotypes. Industrial Crops and Products. 163: 113297.

Rehman, S.U., De Castro, F., Aprile, A., Benedetti, M., and Fanizzi, F.P. 2023. Vermicompost: Enhancing plant growth and combating abiotic and biotic stress. Agronomy. 13: 1134.

Saeidnejad, A., and Rezvani Moghaddam, P. 2011. Investigation the effect of compost, vermicompost, cow and sheep manures on yield, yield components and essence percentage of cumin (*Cuminum cyminum*). Journal of Horticultural Science. 24: 142-148.

Safaei, L., Sefidkon, F., and Aminazarm, D. 2021. The effects of NPK, manure and combination of chemical and manure fertilizers on yield and essential oil components in *Satureja khuzistanica* Jamzad. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research: Accepted.

Salehi, M., Nakhaei, F., Mosavi, S., and Baradaran, R. 2023. Evaluation of morpho-physiological responses of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf to the application of chemical and biological fertilizers under salinity stress in fars and Tehran climates. Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants. 11: 79-99.

Sharafabad, Z.H., Abdipour, M., Hosseinifarahi, M., Kelidari, A., and Rashidi, L. 2022. Integrated humic acid and vermicomposting changes essential oil quantity, and quality in field-grown *Lavandula angustifolia* L. intercropped with *Brassica nigra* L. Industrial Crops and Products. 178: 114635.

Singh, S., and Kumar, V. 2021. Biology, genetic improvement and agronomy of *Bunium persicum* (Boiss.) Fedtsch.: A comprehensive review. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 22: 100304.

Talezade, M., Nezami, A., Parsa, M., Nabati, J., and Tavakkol Afshari, R. 2019. Optimization of culture media for seedling establishment of *Bunium persicum* (Boiss.) B. Fedtsch. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 35: 551-564.

Tammam, A.A., Shehata, M.R.A.M., Pessarakli, M., and El-Aggan, W.H. 2023. Vermicompost and its role in alleviation of salt tress in plants–II. Impact of vermicompost on the physiological responses of salt-stressed plants. Journal of Plant Nutrition. 46: 1458-1478.

Zolfagjhari, M., Tolideh, S., Sedighi Dehkordi, F., and Mahmoodi Sourestani, M. 2022. Evaluation of growth, yield and essential oil of coriander (*Coriandrum sativum* L.) under mycorrhiza, vermicompost and chemical fertilizer treatments. Journal of Agricultural Science and sustainable Production. 32: 35-46.