Plant Prod., 2026, 48(4), 667- 684
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.48204.2219
Received: 26 October 2024
Accepted: 01 January 2025

Plant Productions

Research Article

Investigating the effects of organic and biological fertilizers on nutrient uptake, phytochemical and antioxidant activities and flower yeild of European borage (*Borago officinalis* L.)

Kiamars Azadinejad[1], Alireza Yadavi[2*], Amin Salehi[3], Hooshang Farajee [3], Pravin Rostampour[4]

1. M.Sc. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran
2. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
3. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.
4. Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

Citation: Azadinejad, K., Yadavi, A., Salehi, A., Farajee, H., Rostampour, P. (2026). Investigating the effects of organic and biological fertilizers on nutrient uptake, phytochemical and antioxidant activities and flower yeild of European borage (*Borago officinalis* L.). *Plant Productions*, 48(4), 667– 684.

Abstract

Introduction

To promote sustainable agriculture and optimize crop yield, the use of organic materials and biofertilizers is increasingly recommended as an alternative to chemical fertilizers, which are associated with adverse environmental impacts and reliance on non-renewable resources. Ecological cultivation of medicinal plants such as Borago officinalis ensures product quality and sustainability. Moreover, organic and biological fertilizers improve soil fertility and crop performance, making them particularly suitable for medicinal plant production systems.

Materials and Methods

To investigate the effects of ecological nutritional inputs on selected traits of Borago officinalis, a factorial experiment was conducted during 2018–2019 in Fahlian, Noorabad, Fars Province, Iran. The experiment followed a randomized complete block design with three replications. Treatments consisted of three levels of compost fertilizer (rice straw + sheep manure: 0, 5, and 10 t ha^{-1}) and four levels of biological fertilizers (control, Funneliformis mosseae mycorrhiza, *Bacillus subtilis*, and a combined application of mycorrhiza and bacteria). Measured traits included nutrient uptake (N, P, K, Fe, and Zn), phytochemical characteristics (total phenols, flavonoids, anthocyanins, and antioxidant activity), and flower yield.

* **Corresponding Author:** Alireza Yadavi
E-mail: Yadavi@yu.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.

Results and Discussion

Compost and biological fertilizers showed significant main effects on all measured traits. Although the interaction between compost and biofertilizer treatments was not significant for iron and zinc concentrations, total phenols, flavonoids, and antioxidant activity, it was significant for nitrogen, phosphorus, potassium, anthocyanin content, and flower yield. Increasing compost application from 0 to 10 t ha^{-1} resulted in substantial increases in iron and zinc concentrations, total phenols, flavonoids, and antioxidant activity. Among biofertilizer treatments, the combined application of mycorrhizal fungi and Bacillus subtilis produced the highest values for these traits. The greatest improvements in nitrogen (1.54%), phosphorus (0.46%), potassium (2.50%), anthocyanin content (0.49 mg g^{-1} flower dry weight), and flower yield (65.6 g m^{-2}) were observed with the combined application of 10 t ha^{-1} compost and both microbial inoculants. In contrast, the lowest values for nitrogen (1.09%), phosphorus (0.09%), potassium (1.03%), anthocyanin content (0.07 mg g^{-1} flower dry weight), and flower yield (21.8 g m^{-2}) occurred in the control treatment without compost and biofertilizers.

Conclusion

Effective fertilizer management is critical for optimizing both yield and quality in medicinal plants such as European borage. The results demonstrate that integrating compost at 10 t ha^{-1} with biological fertilizers (mycorrhizal fungi plus *Bacillus subtilis*) significantly enhances nutrient uptake, phytochemical composition, antioxidant activity, and flower yield. This integrated strategy promotes gradual and sustained nutrient release while reducing nutrient losses through leaching, thereby supporting optimal plant growth and productivity. The highest flower yield (65.6 g m^{-2}) obtained under this treatment highlights its compatibility with sustainable agriculture and medicinal plant cultivation. Given the negative impacts associated with chemical fertilizers and the clear benefits of organic and biological amendments, their application is strongly recommended for the cultivation of *Borago officinalis.*

Key words: Compost, Growth-promoting bacteria, Mycorrhiza, Phenol content

تولیدات گیاهی، ۱٤۰٤، ٤۸(٤)، ٦٦۷ - ٦۸٤
https://plantproduction.scu.ac.ir/
ISSN (P): 2588-543X; **ISSN (E):** 2588-5979
Doi: 10.22055/ppd.2025.48204.2219
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲

تولیدات گیاهی
مقاله پژوهشی

بررسی اثر کودهای آلی و زیستی بر جذب عناصر، فعالیت‌های فیتوشیمیایی، آنتی‌اکسیدانی و عملکرد گل گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.)

کیامرث آزادی نژاد [۱]، علیرضا یدوی [۲*]، امین صالحی [۳]، هوشنگ فرجی [۳]، پروین رستم پور [٤]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
۴- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

چکیده

در سال‌های اخیر، به منظور ترویج کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد محصول از طریق بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی در کشور، استفاده از مواد آلی و کودهای زیستی توصیه شده است. زیرا مصرف کودهای شیمیایی با اثرات مخرب زیست محیطی و همچنین وابستگی زیاد به منابع انرژی تجدیدناپذیر، با مفاهیم پایداری کشاورزی سازگاری ندارد. کشت اکولوژیک گیاهان دارویی کیفیت آن‌ها را تضمین نموده و احتمال اثرات نامطلوب بر کیفیت دارویی و عملکرد آن‌ها را کاهش می‌دهد. تغذیهٔ سالم گیاهان با کودهای آلی و زیستی موجب بهبود کیفیت خاک‌های کشاورزی و افزایش عملکرد گیاهان مختلف شده و بیشترین سازگاری را با هدف تولید گیاهان دارویی دارد. به منظور بررسی اثر نهاده‌های تغذیه‌ای اکولوژیک بر برخی ویژگی های گاوزبان اروپایی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱٤۰۰-۱۳۹۹ در روستای فهلیان، شهرستان نورآباد، از توابع استان فارس اجرا گردید. عامل اول شامل کود کمپوست (کاه و کلش برنج+کود گوسفندی) در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و عامل دوم شامل کودهای زیستی در چهار سطح (شاهد، قارچ میکوریزا *Funneliformis moseae*، باکتری *Bacillus subtilis* و قارچ میکوریزا+باکتری) بود. صفات مورد مطالعه شامل عناصرغذایی اندام هوایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و روی)، صفات فیتوشیمیایی گل ها (میزان فنل، فلاونوئید، آنتوسیانین و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی) و در نهایت عملکرد گل بود. اثرکمپوست و کودهای زیستی بر تمامی صفات مورد مطاله معنی دار بود. برهم‌کنش این دو فاکتور بر غلظت آهن و روی برگ، غلظت فنل و فلاونوئید گل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گل ها معنی‌دار نبود، اما بر صفات غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آنتوسیانین گل ها و عملکرد گل معنی‌دار شد. نتایج به دست آمده بیانگر افزایش معنی‌دار غلظت آهن، روی، فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گل گاوزبان اروپایی با افزایش سطوح کمپوست از صفر به ۱۰ تن در هکتار بود و در بین سطوح کود زیستی بیشترین میزان این صفات از تیمار تلفیقی کودهای زیستی میکوریزایی و باکتریایی حاصل شد. بیشترین میزان نیتروژن (۱/٥٤ درصد)، فسفر (۰/٤٦ درصد)، پتاسیم (۲/٤۸ درصد)، آنتوسیانین (۰/٤۹ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک گل) و عملکرد گل (٦٥/٦۰ گرم در متر مربع) نیز

* **نویسنده مسئول:** علیرضا یدوی
رایانامه: Yadavi@yu.ac.ir

در زمان کاربرد ۱۰ تن کمپوست در هکتار و کاربرد تلفیقی قارچ مایکوریزا و باکتری‌های باسیلوس سابتیلیس و کمترین میزان نیز از تیمار شاهد بدون کاربرد کمپوست و کودهای زیستی حاصل شد. طبق نتایج، گرچه منابع کودی ارگانیک و زیستی هر دو در تولیدگل گاوزبان اروپایی منجر به بهبود صفات مورد بررسی گردید، اما کاربرد تلفیقی کمپوست و کودهای زیستی (۱۰ تن کمپوست در هکتار و تلفیق دو کود زیستی میکوریزایی و باکتریایی)، اثر و کارآیی بیشتری در افزایش این صفات به ویژه عملکرد گل داشت. بنابراین با توجه به اثرات مخرب کودهای شیمیایی و همچنین آثار مطلوب مشاهده شده از کودهای زیستی و آلی به‌منظورگسترش کشاورزی پایدار، مصرف کودهای زیستی و آلی به‌منظور توسعهٔ کشت گل گاوزبان اروپایی توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: باکتری محرک رشد، کمپوست، محتوای فنل، میکوریزا

مقدمه

گل گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) گیاهی یکساله، علفی و کرکدار است که تمام بخش‌های این گیاه، به‌ویژه گل و بذر آن در صنایع داروسازی و طب سنتی استفاده می‌شود. روغن (۳۷-۲۷ درصد) بذرهای گاوزبان اروپایی، حاوی مقدار زیادی اسید چرب گامالینولنیک اسید (امگا ۶) می‌باشد که برای درمان بیماری های قلبی، دیابت و بیماری‌های ام اس استفاده می‌شود (Hasanvand *et al*., 2018).

حاصلخیزی خاک، تغذیه و کشت بوم شناختی گیاهان دارویی، کیفیت آن‌ها را تضمین کرده و احتمال آثار نامطلوب روی کیفیت دارویی و عملکرد را نیز کاهش می‌دهد و به علاوه نقش مهمی در بهبود عملکرد کمّی و کیفی گیاهان دارویی دارد (Khoram-Del *et al*., 2007).

انواع کودهای آلی از جمله کودهای دامی و کمپوست به‌دلیل خواص شیمیایی و فیزیکی مطلوب آن‌ها نه تنها مواد غذایی ضروری برای گیاه را به مزرعه عرضه می‌کنند، بلکه می‌توانند ظرفیت نگهداری مواد غذایی خاک، دسترسی به عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف، فعالیت ریز جانداران خاک، ساختار خاک و رشد گیاه در خاک را بهبود بخشند (Melese, 2016). استفاده بهینه از کودهای آلی و منابع بیولوژیک نه تنها دارای اثرات مثبت بر ویژگی های خاک است، بلکه دارای جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مفید بوده و می‌تواند جایگزین خوبی برای نهاده‌های شیمیایی باشد (Moradi and Taleshi., 2019). کودهای دامی به عنوان نوعی از کود آلی فعالیت‌های زیستی و ویژگی های فیزیکوشیمیایی خاک را بهبود بخشیده و ریز مغذی‌ها را تأمین کرده و باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود (Taghdisi Heydarian *et al*., 2018).

کودهای زیستی به عنوان یکی از طبیعی‌ترین و مطلوب‌ترین راه‌ها به منظور زنده و فعال نگه داشتن سامانهٔ حیاتی خاک مطرح هستند (Rahimzadeh *et al*., 2011). یافته‌های بسیاری از پژوهشگران نشان دهندهٔ این است که حضور ترکیبات زیستی در نظام‌های مختلف کشاورزی پایدار از طریق اثرات هم‌افزایی و تشدیدکننده‌ای که میان آن‌ها به وجود می‌آید می‌تواند با ایجاد یک بستر مناسب و به دنبال آن دسترسی مطلوب گیاه به عناصر غذایی، موجب رشد و افزایش زیست تودهٔ گیاه گردد (Sharma, 2002).

قارچ‌های میکوریزا با برقراری رابطهٔ همزیستی با بسیاری از گیاهان زراعی در افزایش جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر از خاک و نیز افزایش توان ریشه در جذب آب و در نتیجه بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و نیز تحمل به تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی نقش مفیدی دارند (Mohammadi *et al*., 2016). در تحقیقی بر گیاه بادرنجبویه مشخص شد که با کاربرد قارچ *Golmus mosseae* و *Golmus Intraradices* نسبت به عدم کاربرد، میزان فسفر در گیاه ۵۳ درصد افزایش یافت (Abbaszadeh and Zakarian, 2016). همچنین گزارش شد که میزان فسفر و پتاسیم گیاه شیرین بیان در اثر

همزیستی با دو گونهٔ قارچ مایکوریزا *G. mosseae* و *G. versiform* افزایش یافت (Liu *et al*., 2007).

باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه (PGPR) به باکتری‌های ریزوسفری همانند آزوسپیریلوم، ازتوباکتر، باسیلوس و سودوموناس اطلاق می‌گردد که از طریق تثبیت زیستی نیتروژن و تبدیل شکل‌های نامحلول فسفر به شکل‌های محلول و در اختیار قرار دادن آن در دسترس گیاه و همچنین از طریق سازوکارهای مختلف دیگری مانند تولید سیدروفورها، سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و تولید هورمون‌های گیاهی سبب تحریک رشد گیاه می‌گردند (Misko and Germida., 2002). باکتری‌های محرک رشد گیاه از طریق حل کردن فسفات‌های نامحلول، تثبیت نیتروژن، تأمین آهن از طریق تولید سیدروفورها، تولید تنظیم کننده‌های گیاهی مثل اکسین‌ها، سیتوکینین‌ها و جیبرلین و کم کردن اتیلن باعث بهبود و افزایش عملکرد گیاه می‌شوند (Vurukonda *et al*., 2016). مطالعه بر روی گیاه شنبلیله نشان داد که تلقیح باکتری‌های ریزوبیوم و حل‌کنندهٔ فسفر منجر به افزایش نیتروژن و فسفر قابل دسترس شده و سنتز پروتئین، کربوهیدرات‌ها و نشاسته و در نتیجه عملکرد گیاه شنبلیه افزایش یافت (Bairva *et al*., 2012). نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد تلفیقی باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه و قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش غلظت عناصر غذایی در گیاه دارویی نعناع فلفلی شد (Mahmoudzadeh *et al*., 2015).

امروزه کاربرد انواع کمپوست را به عنوان عاملی برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و استفاده از منابع طبیعی برای افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی به شمار می‌آورند. طبق بررسی‌های انجام شده کمپوست دارای بیش از ۱/۵ درصد نیتروژن است که می‌تواند منبع خوبی برای استفاده گیاهان باشد. همچنین می‌تواند بخشی از نیاز گیاهی به ویژه فسفر را تأمین کند (Olsen *et al*., 2015). در پژوهشی اثر کمپوست بر گاوزبان ایرانی مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد با کاربرد کمپوست میزان فنول کل ۵۱ درصد، روغن دانه ۱۰ درصد و پروتئین دانه به میزان ۳۴ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Behzad Amiri *et al*., 2017).

به طور معمول ترکیبات فنلی تحت تأثیر شرایط محیطی مانند شرایط تغذیه‌ای قرار می‌گیرند. در تحقیقی، بیشترین میزان ترکیبات فنلی گیاه پونه‌سای بینالودی (*Nepta binaludensis*) در شرایط تلقیح با قارچ *G. intraradices*. حاصل شد (Gangali *et al*., 2024). در بررسی دیگری، افزایش میزان فنل گیاه کنگر فرنگی در تلقیح با گونه‌های قارچ *G. mosseae* و *G. intraradices* در مقایسه با عدم تلقیح حاصل شد (Ceccarelli *et al*., 2010). قارچ مایکوریزا از طریق گسترش هیف و توسعهٔ ریشه، سطح جذب آب بیش‌تری برای گیاه فراهم کرده و به‌دنبال جذب آب بیش‌تر، مواد غذایی بیش‌تری نیز جذب می‌کند که در نهایت منجر به تولید و تجمع مادهٔ خشک بیش‌تری در گیاه نیز می‌گردد (Casson and Lindsey, 2003). در گیاه دارویی گل گاوزبان ایرانی، کاربرد کودهای زیستی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش میزان فلاونوئید شد (Naghdibadi *et al*., 2012).

برخی کشاورزان برای کشت زودهنگام و آماده‌سازی زمین جهت کاشت محصولات جدید، اقدام به آتش زدن بقایای گیاهی مزرعه می‌کنند و معتقدند که این کار برای کنترل آفات مفید است. با این حال، این اقدام در سال‌های اخیر، در فصل برداشت برنج علاوه بر کاهش حاصلخیزی خاک در بلند مدت، به یکی از چالش‌های زیست محیطی نیز تبدیل شده است. در این راستا، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر کود کمپوست حاصل از نهاده‌های درون مزرعه‌ای (کاه و کلش برنج) و کود دامی، همراه با کاربرد کودهای زیستی قارچی و باکتریایی، بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و کیفی گل گاوزبان اروپایی در راستای دستیابی به تولید اکولوژیک این گیاه است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مرکز جهاد کشاورزی روستای فهلیان شهرستان نورآباد ممسنی از توابع استان فارس به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول شامل کمپوست تهیه شده از کود دامی و کاه و کلش برنج (۴ درصد وزن کود تازه دامی) در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) و عامل دوم شامل کودهای زیستی در چهار سطح (شاهد، قارچ میکوریزا *Funneliformis moseae*، باکتری *Bacillus subtilis* و قارچ میکوریزا+باکتری) بود.

در ابتدا برای اجرای آزمایش، نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برای تعیین میزان عناصر غذایی ماکرو و میکرو انجام و اطلاعات آن در جدول ۱ ارائه شده است. پس از عملیات خاک‌ورزی، کرت‌هایی (۳۶ کرت) با ابعاد ۳×۳ متر، و هر کرت شامل پنج ردیف به فاصلهٔ ۵۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ هر بوته روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصلهٔ بین هر کرت یک متر، و فاصلهٔ بین تکرار دو متر در نظر گرفته شد. بذرهای گل گاوزبان اروپایی از شرکت پاکان بذر اصفهان و قارچ میکوریزایی آرباسکولار از کلینیک گیاهپزشکی اسدآباد همدان و سوسپانسون باکتری از مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب کرج تهیه شد. قبل از تلقیح، تراکم جمعیت باکتری‌ها به روش شمارش کلونی تعیین گردید به طوری که در هر میلی‌لیتر مایهٔ تلقیح، 10^8 سلول باکتری وجود داشت. برای تهیه نشا از گاوزبان، ابتدا بستر کشتی از پیت‌ماس، کوکوپیت و ماسه به نسبت ۱:۲:۱ در زمین زراعی تهیه و خزانه‌گیری انجام و سپس بذرهای گاوزبان با هیپوکلریت سدیم پنج درصد به‌مدت یک دقیقه ضدعفونی و در عمق یک سانتی‌متری کشت شد. کشت در تاریخ ۱۵ آبان ۱۳۹۹ انجام شد. در مرحلهٔ انتقال نشا (۴-۶ برگی)، قارچ میکوریزا آربوسکولار به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار (هر گرم نمونه قارچ میکوریزا حاوی حدود ۱۲۰ اسپور زنده بود) و به میزان ۵۰ گرم به ازای هر بوته در هنگام کاشت و داخل کپه‌های حفر شده برای کشت بذر به صورت نواری استفاده گردید، و همچنین ریشه‌های نشا آغشته به سوسپانسیون باکتری مربوطه شده و به کرت‌های اصلی انتقال داده شد.

به‌منظور تهیه کمپوست‌های مناسب برای اجرای آزمایش، ابتدا از کود دامی تازه (کودی که از جمع‌آوری آن در دامداری بیش از ۲۰ روز نگذشته بود) برای تعیین ویژگی های شیمیایی، نمونه‌ای تهیه و در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. سپس، ردیف‌هایی به طول دو متر، عرض ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر از کود دامی به صورت لایه لایه توزین شد. برای جلوگیری از تابش مستقیم نور خورشید بر هر ردیف کود دامی، سطح ردیف‌ها به وسیلهٔ کاه و کلش به‌طور کامل پوشانده شد. طول دورهٔ تبدیل کود دامی تازه به کمپوست‌های قابل استفاده ۸۵ روز بوده که در این مدت تأمین رطوبت مورد نیاز و شرایط هوازی، برای فعالیت ریزجاندارها در ردیف‌های کود دامی لحاظ گردید. در چند نوبت علاوه بر برهم زدن ردیف‌های کودی، دمای تودهٔ کود در عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متری به‌وسیلهٔ دماسنج جیوه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت تا از رسیدن دمای ردیف‌های کودی به مقدار مناسب (حدود ۵۵ تا ۶۰ درجه) برای از بین رفتن بذور علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها اطمینان حاصل شد. پس از طی شدن فرآیند عمل‌آوری تودهٔ کودی، قبل از استفاده از کمپوست‌ها در واحدهای آزمایشی مربوطه، نمونه‌ای از ردیف‌های کمپوستی تهیه و به منظور تعیین میزان نیتروژن باقی‌مانده به آزمایشگاه ارسال گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. برای اعمال کودهای آلی، میزان عناصر غذایی کمپوست مورد استفاده تعیین (جدول ۲) و سپس بر حسب تیمار مربوطه، در سطح کرت‌های مورد نظر به‌طور یکنواخت کود کمپوست پخش و بلافاصله با بیل دستی تا عمق ۳۰ سانتی‌متری وارد خاک و با آن مخلوط شد. طبق درصد فسفر و نیتروژن اندازه گیری شده کود کمپوست با کاربرد ۵ تن در هکتار میزان فسفر و نیتروژن اضافه شده به خاک برابر ۳۱ و ۶۲/۵ کیلوگرم در هکتار بود و با کاربرد ۱۰ تن در هکتار کود کمپوست این مقادیر دو برابر بودند. بهترین نیاز کودی گل گاوزبان اروپایی به به میزان ۷۵

کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره و به میزان ۷۵ کیلوگرم در هکتار فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل گزارش شده است (Ashori *et al*., 2014).

آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای صورت گرفت. سایر عملیات زراعی در دورهٔ داشت منطبق بر نیازهای گیاه و عرف منطقه و به‌طور یکسان در تمام تیمارها انجام شد. کنترل علف‌های هرز در این آزمایش با وجین دستی انجام شد. طول دورهٔ رشد ۵ ماهه و زمان گلدهی نیز اواخر اسفند بود. در مرحلهٔ گلدهی کامل، نمونه‌گیری از اندام هوایی (ساقه، برگ و گل) جهت اندازه‌گیری عناصر نیتروژن به روش Novozamsky *et al*, (1974) با دستگاه اسپکتروفتومتر، فسفر به روش Emami, (1996) با دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم با روش Peterson *et al*, (2002) با دستگاه فلیم فتومتر، و آهن و روی به روش Emami, (1996) با دستگاه جذب اتمی انجام شد. جهت تعیین صفات بیوشیمیایی گل‌ها، از هر یک از تیمارهای آزمایشی مقدار ۲۰ گرم گل خشک شده به آزمایشگاه منتقل و توسط دستگاه سوکسله عصاره‌گیری و در نهایت میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی، درصد فنل کل، درصد فلاونوئید کل و میزان آنتوسیانین کل آن تعیین شد. میزان فعالیت آنتی-اکسیدانی با استفاده از روش به دام اندازی رادیکال دی-فنیل پیکریل هیدرازیل (DPPH) تعیین شد (Shimada *et al*., 1992).

$$[AB - AS]/AB \times 100$$

AB= جذب بلانک

AS= جذب نمونه یا استاندارد

به منظور تعیین محتوای ترکیبات فنلی از روش فولین سیوکیوکالتیو و به کمک استانداردهای گالیک اسید در طول موج ۷۶۰ نانومتر در اسپکتروفوتومتر به دست آمد (Ordone, 2006). محتوای فلاونوئید کل با استفاده از روش رنگ- سنجی براساس جذب ترکیب کوئرسیتین به عنوان استاندارد در طول موج ۴۱۵ نانومتر در دستگاه اسپکتروفوتومتر به دست آمد (Chang, 2002). روش اختلاف pH برای تعیین میزان آنتوسیانین کل مورد استفاده قرار گرفت (Muanda *et al*., 2011). جهت تعیین عملکرد گل، مجموع گل‌های یک مترمربع از هر واحد آزمایشی پس از حذف اثر حاشیه‌ای در سه نوبت در مرحلهٔ گلدهی کامل برداشت شد.

آنالیز و محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS(نسخهٔ ۹/۴) و مقایسهٔ میانگین اثرات اصلی به روش LSDدر سطح احتمال پنج درصد و در صورت معنی‌دار بودن برهم‌کنش، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه L.S.Means انجام گردید.

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil

Texture	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	Organic matter (%)	N (%)	P	K	Fe ($mg.kg^{-1}$)	Zn	Cu
Loam	7.7	2.0	1.05	0.18	9.0	222	2.5	1.1	0.8

جدول ۲- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی کمپوست

Table 2. Physical and chemical properties of compost

pH	Organic carbon (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Fe	Mn	Zn ($mg.kg^{-1}$)	Cu
8	28.8	1.25	0.62	2.87	2600	289	65.3	19

نتایج و بحث

درصد عناصر برگ

اثر کمپوست و کودهای زیستی و همچنین برهم‌کنش آن‌ها بر درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ معنی‌دار شد (جدول ۳). بر اساس داده‌های حاصل از مقایسه میانگین برهم‌کنش عامل‌های مورد بررسی بر جذب برخی عناصر گیاه گل گاوزبان اروپایی (جدول ۴)، بیشترین درصد نیتروژن (۱/۵۴درصد)، فسفر (۰/۴۶درصد) و پتاسیم برگ (۲/۴۸ درصد) از تیمار کاربرد ۱۰ تن کمپوست در هکتار و تلفیق ریزموجودات مورد استفاده (قارچ میکوریزا+کود زیستی باکتریایی) حاصل شد و کمترین درصد این عناصر در تیمار عدم کاربرد کمپوست و کودهای زیستی (شاهد) مشاهده گردید. در سطح کاربرد ۱۰ تن کمپوست در هکتار، تیمارهای کاربرد جداگانه کودهای زیستی (میکوریزا و باکتری) در مورد نیتروژن برگ در یک گروه آماری قرار گرفتند و همچنین تیمار کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و تیمار باکتریایی تفاوت معنی‌داری را با هم نشان ندادند. در سطح کاربرد ۵ تن کمپوست در هکتار تیمارهای شاهد، میکوریزا و کود زیستی باکتریایی در یک گروه آماری قرار گرفتند و تیمار کاربرد جداگانه کود زیستی باکتریایی تفاوت معنی‌داری را با کاربرد تلفیقی این کودهای زیستی در بالا بردن نیتروژن برگ نشان نداد. در زمان عدم کاربرد کمپوست نیز تیمار تلفیقی کودهای زیستی با کاربرد هر کدام از این کودها به صورت جداگانه تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند ولی با شاهد در یک گروه آماری قرار نگرفتند که نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار سه سطح کود زیستی با شاهد در افزایش نیتروژن برگ در زمان عدم کاربرد کمپوست می‌باشد. مقایسه میانگین اثر کمپوست و کودهای زیستی بر فسفر برگ نشان می‌دهد که در هر سه سطح تیمار کمپوستی، بیشترین میزان فسفر برگ در زمان کاربرد تلفیقی کودهای زیستی مورد استفاده به دست آمد و در هر سه سطح، تیمارهای مورد استفاده هیچ کدام در یک گروه آماری قرار نگرفتند که نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار بین این تیمارها بود. در مورد پتاسیم برگ نیز بیشترین میزان پتاسیم در هر سه سطح کودی مربوط به تیمار تلفیقی کودهای زیستی و کمترین میزان مربوط به تیمار عدم کاربرد کود بود (جدول ۴). در سطح۱۰ تن کمپوست در هکتار، هیچ کدام از تیمارها در یک گروه آماری قرار نگرفتند و در سطح ۵ تن کمپوست در هکتار، تیمار تلفیقی کودهای زیستی و کاربرد جداگانه میکوریزا، تفاوت معنی‌داری را با هم نشان ندادند ولی تفاوت‌شان با بقیه تیمارها معنی‌دار بود. در سطح عدم کاربرد کمپوست، تیمار تلفیقی کودهای زیستی و کاربرد جداگانه باکتری و تیمار کاربرد جداگانه کودهای زیستی (میکوریزا و باکتری) تفاوت معنی‌داری را در افزایش میزان پتاسیم برگل گاوزبان اروپایی نشان ندادند.

اثر کمپوست و کودهای زیستی مورد استفاده بر میزان آهن و روی برگ معنی‌دار ولی برهم‌کنش این دو عامل بر صفات مذکور معنی‌دار نشد (جدول ۳). جدول مقایسه میانگین اثرات اصلی نشان داد که با افزایش سطوح کود آلی کمپوست از صفر به ۱۰ تن در هکتار، میزان آهن و روی برگ افزایش یافته به طوری‌که کاربرد ۱۰ تن در هکتار کمپوست نسبت به شاهد بدون کاربرد کمپوست افزایش ۸۲ درصدی در میزان آهن برگ و افزایش ۱/۲ برابری میزان روی برگ را به دنبال داشت (جدول ۵). هردو تیمارهای کاربرد کود کمپوست (۵ و ۱۰ تن) نسبت به شاهد بدون کاربرد از لحاظ آماری تفاوت معنی داری را برای میزان آهن و روی برگ نشان دادند اما بین ۵ و ۱۰ تن کمپوست از لحاظ میزان روی برگ تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول ۵). بین کاربرد تنهای کودهای زیستی قارچی و باکتریایی نسبت به شاهد بدون کود زیستی تفاوت معنی داری در میزان آهن برگ ایجاد نگردید اما کاربرد تلفیقی این کودها باعث افزایش معنی دار ۳۱/۷ درصدی میزان آهن برگ نسبت به شاهد بدون کود زیستی شد (جدول ۵).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کمپوست و کودهای زیستی بر عناصر برگ، ویژگی‌های فیتوشیمیایی، فعالیت آنتی اکسیدانی و عملکرد گل گاوزبان اروپایی

Table 3. Analysis of variance for the effect of compost and biological fertilizers on leaf elements, phytochemical traits, antioxidant activity and flower yield of European borage

S.O.V	df	Nitrogen percentage	Phosphorus percentage	Potassium percentage	Iron content	Zinc content	Phenol content	Flavonoid content	Anthocyanin content	Antioxidant activity	Flower yeild
Block	2	0.036	0.019	0.04	1433	923	94.9	5036	0.03	48.8	43.0
Compost (C)	2	0.013^{**}	0.017^{**}	2.72^{**}	5378^{**}	37235^{**}	784^{**}	7545^{**}	0.20^{**}	138^{**}	1873^{**}
Bio-fertilizer (B)	3	0.017^{**}	0.037^{**}	0.04^{**}	593^{*}	3571^{**}	151^{**}	1120^{**}	0.04^{**}	638^{**}	743^{**}
B × C	6	0.008^{**}	0.001^{*}	0.034^{*}	49.8^{ns}	162^{ns}	2.91^{ns}	29.8^{ns}	0.002^{**}	1.79^{ns}	18.2^{**}
Error	22	0.002	0.0003	0.009	123	318	2.61	24.9	0.0002	5.38	0.88
C.V (%)	-	3.06	6.41	5.60	15.48	12.07	5.00	3.92	4.80	3.45	2.18

ns، * و ** به ترتیب به معنای عدم معنی‌داری و معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد هستند.

ns, ** and * represent non significant, significant at 1 and 5% level of probability, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر برهمکنش کمپوست و کود زیستی بر جذب عناصر در برگ گاوزبان اروپایی

Table 4. Mean comparison for the interaction effect of compost and biofertilizers on the absorption of elements in European borage leaves

Treatments		Nitrogen percentage (%)	Phosphorus percentage (%)	Potassium percentage (%)
Compost (ton. ha^{-1})	Bio-fertilizer			
0	Control	1.09^{b}	0.09^{d}	1.03^{c}
	Mycorrhiza	1.27^{a}	0.17^{b}	1.18^{b}
	Bacteria	1.28^{a}	0.13^{c}	1.25^{ab}
	Mycorrhizal + Bacteria	1.30^{a}	0.22^{a}	1.37^{a}
5	Control	1.31^{b}	0.22^{d}	1.47^{c}
	Mycorrhiza	1.32^{b}	0.32^{b}	1.92^{a}
	Bacteria	1.33^{ab}	0.27^{c}	1.65^{b}
	Mycorrhizal + Bacteria	1.38^{a}	0.36^{a}	2.00^{a}
10	Control	1.2^{c}	0.28^{d}	1.76^{d}
	Mycorrhiza	1.43^{b}	0.43^{b}	2.28^{b}
	Bacteria	1.49^{ab}	0.38^{c}	2.10^{c}
	Mycorrhizal + Bacteria	1.54^{a}	0.46^{a}	2.48^{a}

میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%

جدول ۵- مقایسه میانگین برای اثرات کمپوست و کودهای زیستی بر عناصر جذب شده در برگ گاوزبان اروپایی

Table 5. Mean comparison for the effect of compost and biofertilizers on the absorption of elements in European borage leaves

Treatments	Iron content (mg. g^{-1})	Zinc content (mg. g^{-1})
Compost		
0	51.25^{c}	86.04^{b}
5	70.67^{b}	163.35^{a}
10	93.54^{a}	194.17^{a}
Bio-fertilizer		
Control	62.22^{b}	123.08^{c}
Mycorrhiza	70.33^{b}	153.61^{ab}
Bacteria	72.78^{ab}	143.89^{b}
Mycorrhizal + Bacteria	81.94^{a}	170.83^{a}

میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%

کاربرد جداگانه قارچ، باکتری و همچنین کاربرد تلفیقی آن ها همگی نسبت به عدم کاربرد کود زیستی افزایش معنی داری را در میزان روی برگ ایجاد کردند که بیشترین افزایش (۳۸/۸ درصد) مربوط به کاربرد تلفیقی قارچ مایکوریزا و کود زیستی باکتریایی بود و بین سطوح مختلف قارچ مایکوریزا، کود زیستی باکتریایی و تلفیق آن ها از لحاظ غلظت روی برگ تفاوت معنی داری وجود نداشت (جدول ۵). در این تحقیق نقش کمپوست و قارچ میکوریزا و کود زیستی باکتریایی در بالا بردن عناصر برگل گاوزبان اروپایی مثبت ارزیابی شد. در این پژوهش اثر کمپوست به همراه تلفیق کودهای زیستی باکتریایی و قارچی و یا کاربرد جداگانه این ریز موجودات بر میزان نیتروژن گل گاوزبان اروپایی نسبت به عدم کاربرد این کودها مثبت ارزیابی شد. در واقع میکوریزا از طریق افزایش جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن و برخی عناصر ریز مغذی، افزایش جذب آب و افزایش مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا سبب بهبود رشد، نمو و عملکرد گیاه میزبان در سامانه‌های کشاورزی پایدار می‌شوند و کمپوست دارای انواع مواد مغذی برای گیاهان بوده، و این عنصر را به موقع برای تغذیه گیاه آزاد می‌کند. باکتری‌های محرک رشد نیز از طریق مستقر شدن در اطراف ریشه گیاه نقش مهمی در تأمین نیاز گیاهان به عناصر غذایی دارند. نتایج مطالعه‌ای بر روی گیاه دارویی اکالیپتوس نشان داد که کاربرد دو گونهٔ قارچ میکوریزا به نام‌های *Glomu mosseae* و *G.deserricola* سبب بهبود معنی‌دار غلظت نیتروژن در این گیاه (به ترتیب ۲/۹۶ و ۳/۵۱ درصد) در مقایسه با عدم تلقیح (۱/۷۶ درصد) شد (Arriagada *et al*., 2007) که با نتایج حاضر همخوانی داشت. پژوهشگران در این آزمایش، بهبودی که در رشد، نمو و مقدار کلروفیل برگ و متعاقب آن وزن خشک گیاه که در اثر همزیستی میکوریزایی حاصل شده بود را به افزایش غلظت این عناصر نسبت دادند.

پژوهشگران دیگری گزارش کردند که بیشترین و کمترین میزان نیتروژن (۲۱/۲۶ گرم بر کیلوگرم و ۱۶/۹۳ گرم بر کیلوگرم) به ترتیب مربوط به تیمار ازتوباکتر و شاهد در نعناع فلفلی بود (Mahmoudzadeh *et al*., 2015) .این پژوهشگران اظهار داشتند که باکتری‌های ریزوسفری، میزان هورمون سیتوکینین گیاه میزبان را افزایش می‌دهند. این هورمون، سرعت انتقال نیترات از ریشه به شاخساره گیاه را افزایش می‌دهد. همچنین، قارچ‌های میکوریزایی اثر عمیقی بر فیزیولوژی ریشه گیاه گذاشته که سبب فعال ساختن گلوتامین سنتتاز، آرژیناز و اوره آز شده و از این طریق غلظت نیتروژن را در گیاه میزبان افزایش می دهند. آرژیناز و اوره آز از آنزیم‌های کلیدی در انتقال نیتروژن از میسلیوم به داخل ریشهٔ گیاه میزبان طی فرایند همزیستی می‌باشند. نیتروژن توسط میسلیوم‌های خارجی به فرم نیترات یا آمونیوم جذب و به وسیلهٔ گلوتامین سنتتاز به

ترکیبات آلی تبدیل می‌گردد. در رابطه با افزایش غلظت فسفر در تیمارهای مورد بررسی دلایل مختلفی بیان شده است، ازجمله ساخت اسیدهای معدنی (اسید کربتیک و اسید سولفوریک)، اسیدهای آلی (اگزالیک، سیتریک و لاکتیک) و تولید آنزیم‌های فسفاتاز و در نتیجه انحلال فسفات‌های آلی و معدنی را می‌توان نام برد (Tilak *et al*., 2005). بنابراین به نظر می‌رسد که همزیستی میکوریزایی و باکتریایی در کنار کاربرد کودهای آلی از طریق جذب مناسب فسفر و انتقال آن به گیاه گاوزبان و نیز افزایش وزن خشک گیاه موجب بهبود غلظت فسفر در برگ شد. در گیاه دارویی مریم گلی مشخص شد که با کاربرد قارچ میکوریزا جذب فسفر در یک خاک فقیر از فسفر افزایش یافت که دلیل آن توسعهٔ هیف‌های خارج ریشه‌ای بود که باعث افزایش سطح جذب‌کنندگی ریشه گردید (Tarraf *et al*., 2017). در تحقیق حاضر یک رابطه هم افزایی بین قارچ میکوریزایی و کود زیستی باکتریایی و کمپوست در محیط خاک به وجود آمده که از طریق بهبود تغذیهٔ فسفر می‌تواند منجر به افزایش غلظت فسفر در گاوزبان شود. پژوهش‌گران در آزمایشی دیگر بر روی بابونه آلمانی نشان دادند که تیمار تلقیح با باکتری‌های ازتوباکتر، آزوسپریلیوم و سودوموناس در مقایسه با عدم تلقیح باعث افزایشی در حدود ۴/۵۴ درصد بر فسفر شد. در این تحقیق مشخص شد که باکتری‌های ریزوسفری افزایندهٔ رشد گیاه علاوه بر تثبیت نیتروژن باعث آزادسازی هورمون‌های گیاهی از جمله جیبرلیک اسید و اکسین می‌گردند که باعث تحریک رشد گیاه، افزایش فتوسنتز و افزایش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و فسفر می‌گردد (Salehi *et al*., 2011). به نظر می‌رسد که افزایش غلظت پتاسیم در گل گاوزبان اروپایی در ارتباط با کاربرد باکتری باسیلوس سابتیلیس و قارچ مایکوریزا به توانایی این باکتری در افزایش پتاسیم قابل استفاده از خاک و همچنین بهبود همزیستی میکوریزایی می باشد که موجب گسترش و نفوذ مطلوب هیف‌های خارجی قارچ به منافذ باریک خاک شده و حجم خاک قابل دسترس گیاه را افزایش داده و به دنبال آن جذب عنصر پتاسیم که در لایه‌های پایین‌تر خاک قرار دارد، افزایش یافته است. باکتری باسیلوس سابتیلیس از طریق تجزیهٔ سیلیکات‌ها و انحلال کانی‌ها باعث آزادسازی پتاسیم و به دنبال آن باعث بیشترین افزایش در میزان پتاسیم اندام هوایی گردیده است. در گشنیز، غلظت پتاسیم دانه در تلقیح با میکوریزا و کود فسفات زیستی در مقایسه با تیمار عدم تلقیح حدود ۹۶ درصد افزایش یافت که در چنین شرایطی یک اثر تقویت‌کننده در تیمار تلقیح با میکوریزا و کود زیستی به طرز محسوسی نمایان می‌شود (Bastami and Majidian, 2016). با افزایش سطوح کمپوست میزان عناصر برگ گاوزبان افزایش یافت و اثر آن در افزایش این عناصر بیشتر از تیمارهای کود زیستی بود که طبق نتایج قبلی احتمالاً دلیل این امر آزادسازی تدریجی این عناصر از کود دامی می‌باشد. کمپوست کمبود مواد آلی در خاک را به بهترین شکل ممکن جبران کرده و یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای زنده نگه داشتن سیستم حیاتی خاک است. این کود دارای عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز می‌باشد (Sarlak, 2013). پژوهشگران گزارش دادند که کود دامی باعث افزایش میزان عناصر در دانه برنج شد که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت (Sengar *et al*., 2000).

صفات فیتوشیمیایی

اثر کودهای زیستی و آلی بر صفات فیتوشیمیایی گیاه گاوزبان معنی‌دار ولی برهم‌کنش آن‌ها تنها بر میزان آنتوسیانین برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسات میانگین نشان داد که کاربرد ۵ و ۱۰ تن کمپوست نسبت به عدم کاربرد کمپوست به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ۴۲ و ۶۸ درصدی میزان فنل گل گاوزبان و همچنین افزایش معنی‌دار ۳۲ و ۵۱ درصدی فلاونوئید گل گاوزبان را باعث شدند (جدول ۶). کاربرد کودهای زیستی به تنهایی و به صورت تلفیقی، همگی نسبت به عدم کاربرد کود زیستی افزایش معنی‌داری در میزان فنل و فلاونوئید گل گاوزبان ایجاد کردند که البته بیشترین افزایش فنل (۳۳/۶ درصد) و فلاونوئید (۲۴/۳ درصد) از کاربرد تلفیقی قارچ مایکوریزا و کود زیستی باکتریایی نسبت به عدم کاربرد کود زیستی

حاصل گردید (جدول ۶) . مقایسه میانگین برهم کنش کمپوست و کود زیستی بر میزان آنتوسیانین گل گاوزبان نیز نشان داد که با افزایش کاربرد کود کمپوست میزان این صفت روند افزایشی نشان داد و در هر سه سطح کاربرد صفر، ۵ و ۱۰ تن کود کمپوست کمترین و بیشترین میزان آنتوسیانین به ترتیب از عدم کاربرد کود زیستی و کاربرد تلفیقی قارچ مایکوریزا + باکتری حاصل شد به طوری که کاربرد همزمان قارچ مایکوریزا + باکتری نسبت به عدم کاربرد کود زیستی در سه سطح صفر، ۵ و ۱۰ تن کمپوست به ترتیب باعث افزایش ۱/۷ برابر، ۴۷/۵ درصد و ۸۰ درصدی میزان آنتوسیانین شدند (شکل ۱).

در رابطه با اثر مثبت عامل‌های مورد آزمایش بر صفات فیتوشیمیایی گل گاوزبان اروپایی نسبت به شاهد می‌توان گفت که کودهای زیستی و آلی با ایجاد تغییرات قابل توجه‌ای در فعالیت‌های آنزیمی و سازوکارهای فیزیولوژیک درگیر، منجر به تجمع متابولیت‌های ثانویه مانند کاروتنوئیدها و پلی‌فنل‌ها در گیاهان میزبان می‌شود. پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که متابولیت‌های ثانویه از جمله فنل‌ها نقش مهمی در تعامل مختلف بین گیاهان و محیط طبیعی بازی می‌کنند. فنل‌ها از اجزای مهم محافظ سلول‌های گیاهی هستند و ساختار شیمیایی مناسبی برای حذف رادیکال‌های آزاد فعال دارند. این ترکیبات فعالیت آنتی‌اکسیدانی مؤثرتری از آسکوربات و توکوفرول دارند که ناشی از فعالیت بالای هیدروژنی یا الکترون دهندگی آن‌ها می‌باشد (Kiarostami *et al.*, 2010). نتایج برخی مطالعات نیز نشان داده است که همزیستی میکوریزایی موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه مارچوبه (Nahiyan and Matsubara, 2012) و افزایش معنی‌دار رشد و تجمع آنتوسیانین در گیاه دارویی ریحان (Lee and Scagel, 2009) و نعناع (Bagheri *et al.*, 2014) شده است. به نظر می‌رسد ترکیبات فنلیک در همزیستی بین گیاهان و قارچ‌ها بیشتر شده و قارچ با ایجاد تغییرات قابل توجه در فعالیت‌های آنزیمی و سازوکارهای فیزیولوژیک درگیر منجر به تجمع متابولیت‌های ثانویه مانند کاروتنوئیدها و پلی فنل ها در گیاهان میزبان می‌شود (Bagheri *et al.*, 2014). از یکسو، چنین افزایشی دلیلی بر دخالت این ترکیبات در ایجاد همزیستی قارچ با گیاه می‌باشد. از طرف دیگر، افزایش متابولیت‌های ثانویه در گیاهان همزیست توسط ریز جاندارن به عنوان یک واکنش دفاعی و ضد میکروبی شناخته شده است که نشان‌دهندهٔ تحریک تولید آن‌ها توسط قارچ شبه میکوریز می‌باشد. همانطور که ذکر شد در تیمار کمپوستی، افزایش مادهٔ آلی خاک به دلیل تأثیر مثبت کود دامی مورد استفاده در کمپوست بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی خاک است. کود دامی در بیوسنتز موادی که القاءکننده مسیر هستند نقش دارد که باعث تولید بیشتر فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها می‌شود (Naguib *et al.*, 2012). فلاونوئیدها ترکیبات پلی فنلیک و از مهم‌ترین ترکیبات ثانویه گیاهان می‌باشند که با تغییر دادن پراکسیداسیون سینتیک به وسیله تغییر دستور تراکم لیپید و کاهش سیالیت غشا موجب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیداتیو می شوند (Arora *et al.*, 2002). آنتوسیانین‌ها نیز به عنوان یک گروه از فلاونوئیدهای محلول درآب می‌باشد و افزایش آنتوسیانین‌ها بیانگر افزایش مسیر اصلی تولید فلاونوئید است که در نقطهٔ پایانی در مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها سنتز می‌شوند. آنتوسیانین‌ها باخاصیت آنتی‌اکسیدانی از گیاه در برابرگونه‌های اکسیژن واکنش گر حفاظت می‌کنند (Qanati *et al.*, 2010). آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز به عنوان اولین آنزیم در مسیر فنیل پروپانوئید موجب تبدیل فنیل آلانین به ۴-کوماریل کوآنزیم A می‌شود که این ترکیب پیشساز فعال در تولید ترکیبات فلاونوئیدی است و از طرفی فنیل‌آلانین آمونیالیاز و کالون سینتاز هر دو در مسیر بیوسنتز آنتوسیانین‌ها استفاده می-شوند (Clive *et al.*, 1998). لذا به نظر می‌رسد نهاده‌های اکولوژیک مورد مطالعه احتمالاً از طریق سازوکارهایی نظیر انحلال ویتامین‌ها، ایزوآنزیم‌ها، هورمون‌ها و آنتی بیوتیک‌های طبیعی سنتز آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز را فعال و در نتیجه منجر به افزایش میزان فلاونوئید و آنتوسیانین در گاوزبان ایرانی شدند. پژوهشگران بیان کردند که کودهای زیستی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش میزان فلاونوئید در گیاه دارویی گل گاوزبان ایرانی می‌شود (Naghdibadi *et al.*, 2012).

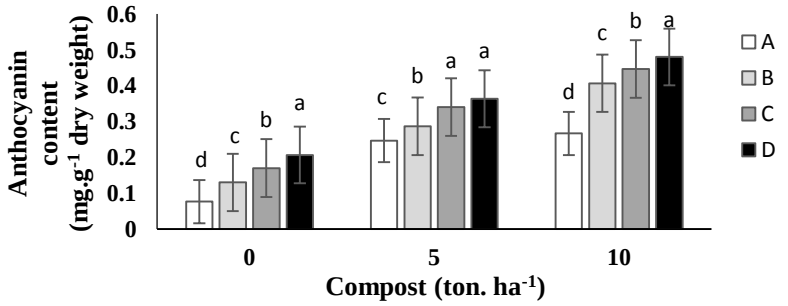
جدول ٦- مقایسه میانگین اثر کمپوست و کودهای زیستی بر برخی صفات فیتوشیمیایی و فعالیت آنتی اکسیدانی گاوزبان اروپایی

Table 6. Mean comparison for the effect of compost and biofertilizers on some phytochemical traits and Antioxidant activity of European borage

Compost	Phenol content mg. g^{-1} DW	Flavonoid content mg. g^{-1} DW	Antioxidant activity (%)
0	23.63^{c}	100.22^{c}	63.80^{c}
5	33.60^{b}	131.91^{b}	67.64^{b}
10	39.65^{a}	149.70^{a}	70.57^{a}
Bio-fertilizer			
Control	27.19^{d}	112.100^{d}	56.66^{d}
Mycorrhiza	30.90^{c}	125.20^{c}	65.32^{c}
Bacteria	34.76^{a}	131.66^{b}	71.01^{b}
Mycorrhizal + Bacteria	36.32^{a}	139.36^{a}	76.35^{a}

میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%



شکل ۱- اثر برهم‌کنش کمپوست و کود زیستی بر مقادیر آنتوسیانین گاوزبان اروپایی

A: شاهد B: مایکوریزا C: باکتری D: باکتری+ مایکوریزا.

Figure 1. Effect of compost and biofertilizer interaction on anthocyanin levels in European borage

A: Control, B: mycorrhiza: C: bacteria, D: bacteria + mycorrhiza.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر عامل‌های مورد بررسی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار ولی بر هم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول۳). مقایسه میانگین اثر کود کمپوست بر فعالیت آنتی اکسیدانی نشان داد که این صفت با افزایش سطوح کمپوست به‌کار برده شده روند صعودی نشان داد به طوری که کاربرد ۵ و ۱۰ تن کمپوست در هکتار به ترتیب باعث افزایش معنی‌دار ۶ و ۱۰/۶ درصدی فعالیت آنتی اکسیدانی نسبت به عدم کاربرد کود کمپوست شد (جدول ۶). کاربرد کودهای زیستی باکتریایی، قارچی و تلفیق آن ها همگی به طور معنی‌داری نسبت به عدم کاربرد کود زیستی این صفت را افزایش دادند و بین سطوح مختلف کود زیستی نیز از این لحاظ تفاوت معنی‌داری وجود داشت به طوری که نسبت به عدم کاربرد کود زیستی، استفاده از قارچ مایکوریزا، کود زیستی باکتریایی و قارچ مایکوریزا + باکتری افزایش ۱۵، ۲۵ و ۳۸ درصدی فعالیت آنتی اکسیدانی را به دنبال داشت (جدول ۶). مهار رادیکال آزاد DPPH به عنوان یک روش متداول برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان دارویی و معطر استفاده می‌شود (Jovanka *et al.*, 2013). افزایش تدریجی سطح کود آلی مانند کمپوست باعث افزایش غلظت عناصری نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در محیط کشت و در نهایت افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدان می‌شود. با استفاده از مدیریت مواد غذایی در بستر کشت و تغییر شرایط محیطی می‌توان میزان سنتز متابولیت‌های ثانویه و فعالیت آنتی‌اکسیدانی را بالا برد. در واقع با دستکاری شکل رشدی می‌توان میزان متابولیت‌های ثانویه و عملکرد را افزایش داد (Zheng *et al.*, 2006). در پژوهشی بر گیاه فلفل با کاربرد کود آلی کمپوست فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه فلفل افزایش یافت (Aminifard *et al.*, 2013).

کودهای زیستی با تولید اسیدهای آلی و به دنبال آن افزایش حلالیت عناصر کم مصرف، موجب بیشتر شدن قدرت

آنتی‌اکسیدانی گیاه می‌شود. در آزمایشی نقش قارچ مایکوریزا در افزایش ترکیبات بیوشیمیایی اندام هوایی و ریشهٔ سرخارگل بررسی و نتایج نشان داد که استفاده از قارچ مایکوریزا سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد (Araim *et al.*, 2009).

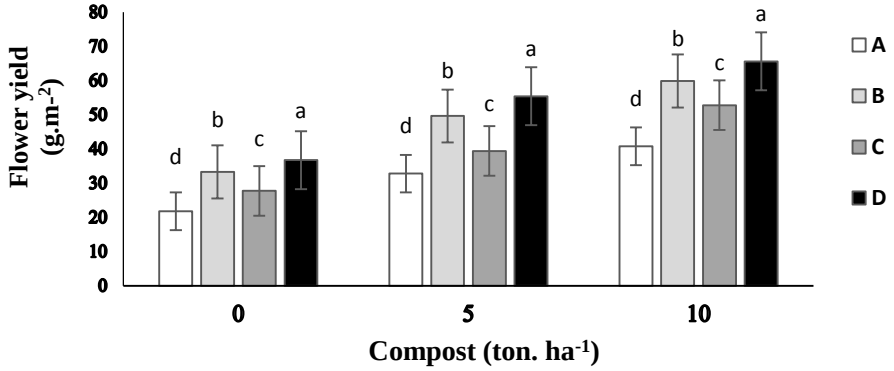
عملکرد گل

نتایج جدول تجزیه واریانس حاکی از معنی‌دار بودن اثر کمپوست و کودهای زیستی مورد مطالعه و بر هم‌کنش این عامل-ها، بر عملکرد گل گاوزبان اروپایی بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین بر هم‌کنش کود زیستی و کود کمپوست نشان داد که با افزایش کود کمپوست از صف به ۱۰ تن در هکتار میزان عملکرد گل گاوزبان روند صعودی پیدا کرد و در هر سطح کود کمپوست نیز کاربرد کودهای زیستی به صورت جداگانه و یا باهم همگی نسبت به عدم کاربرد کود زیستی افزایش معنی داری در میزان عملکرد گل گاوزبان اروپایی ایجاد کردند به طوری که در سطوح صفر، ۵ و ۱۰ تن در هکتار کمپوست، کاربرد قارچ مایکوریزا + کود زیستی باکتریایی به ترتیب افزایش ۶۸/۶، ۶۹ و ۶۱ درصدی عملکرد گل را نسبت به عدم کاربرد کود زیستی باعث شدند (شکل ۲). استفاده از کود آلی کمپوست بهبود ساختمان خاک و کاهش وزن مخصوص ظاهری آن را به همراه دارد، ضمن این که سبب افزایش نفوذپذیری خاک، افزایش میزان هوموس و ظرفیت بافری خاک و افزایش برخی آنزیم‌ها و درنتیجه سبب تشدید جمعیت و فعالیت میکروبی خاک می‌گردد (Doaei *et al.*, 2017)، در نتیجه احتمالاً مجموعه‌ای از عوامل مذکور در شرایط استفاده از این کودها منجر به افزایش عملکرد گل در گاوزبان می‌گردد. تولید و ترشح آنزیم فسفاتاز توسط ریسه‌های قارچ مایکوریزا باعث شده که فسفات غیر محلول و تثبیت شده در خاک به فرم محلول درآید و برای ریشه قابل جذب گردد. با توجه به این که منابع فسفر به صورت شیمیایی و زیستی توانسته سبب افزایش جذب عناصر غذایی گردد (جدول ۴)، در نتیجه سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و در نهایت بهبود رشد نظیر عملکرد گل می‌گردد. هم‌چنین افزایش عملکرد گل در گیاهان تلقیح شده با قارچ مایکوریزا و باکتری باسیلوس می‌تواند در نتیجه افزایش حجم ریشه و به دنبال آن جذب بیشتر عناصر غذایی (جدول ۴ و ۵) باشد.

به نظر می‌رسد که کودهای زیستی ازجمله باکتری محرک رشد می‌توانند از طریق فعالیت‌های متابولیکی خود، مواد معدنی و آلی خاک را از شکلی به شکل دیگر تغییر داده و قابلیت استفاده از مواد غذایی را برای گیاهان و دیگر موجودات زنده خاک تغییر دهند و گیاهان از طریق تارهای کشنده در ریشه خود مواد ضروری و قابل جذب خود را دریافت می‌کنند و باعث افزایش رشد اندام‌های گیاه می‌شود.

در رابطه با اثر کمپوست، پژوهشگران در تحقیقی برگاوزبان ایرانی مشخص نمودند با کاربرد کمپوست عملکرد گل خشک نسبت به شاهد به‌میزان ۱۴ درصد افزایش یافت (Behzad Amiri *et al.*, 2017). در یک پژوهش، اثر کودهای مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی آویشن بررسی و گزارش شد که کاربرد ۹ تن در هکتار کود کمپوست ویژگی‌های کمی گیاه مذکور را به میزان قابل توجهی بهبود بخشید (Csizinszky, 2002). در بررسی اثر کمپوست و کود نیتروژن بر صفات گیاهی نعناع مشخص شد که عملکرد روغن، عملکرد دانه و بیولوژیک تحت تأثیر کاربرد کمپوست افزایی معنی‌داری نشان دادند (Anwar *et al.*, 2005).

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده و اثر مثبت کاربرد مایکوریزا بر صفت مورد مطالعه، می‌توان اظهار داشت که احتمالاً مایکوریزا از طریق افزایش نگهداری عناصر غذایی و افزایش هورمون‌های تنظیم کننده رشد و همچنین افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها، باعث افزایش تجمع نیتروژن، فسفر و سایر عناصر مورد نیاز در گیاه می‌شود و اجزای عملکرد گیاه را بهبود بخشیده است (Olsen *et al.*, 2015). نتایج حاصل از تحقیق سایر پژوهشگران بر روی گیاه خارمریم نشان داد که برخی از ویژگی‌های رشدی از قبیل وزن خشک ریشه، وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه، تحت تأثیر تلقیح با قارچ مایکوریزا قرار گرفتند، به طوری‌که بیش‌ترین مقدار این صفات، از تیمار تلقیح با قارچ *Glomus mosseae* به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار برای این صفات در تیمار شاهد (بدون قارچ مایکوریزا) حاصل شد (*et al.*, Mazaraie 2017). همچنین نتایج تحقیق دیگری نشان‌دهندهٔ اثر معنی‌دار کود آلی بر عملکرد گل خشک در گیاه بابونه آلمانی بود (Salehi *et al.*, 2011).



شکل ۲- اثر برهمکنش کاربرد کمپوست و کودهای زیستی بر عملکرد گل گاوزبان اروپایی
A: شاهد B: مایکوریزا C: باکتری D: باکتری+ مایکوریزا.

Figure 2. Effect of compost and biofertilizers application interaction on flower yield of borage
A: Control, B: mycorrhiza: C: bacteria, D: bacteria + mycorrhiza.

نتیجه‌گیری

مدیریت کود یک عامل مهم در موفقیت کشت گیاهان دارویی بوده و در این بین شناسایی کودهای سازگار با طبیعت و مناسب برای گیاه می‌تواند اثرات مطلوبی بر شاخص‌های کمی و کیفی گیاه داشته باشد. با توجه به این که هدف از کشت گل گاوزبان اروپایی، عملکرد گل می‌باشد، بنابراین افزایش عملکرد گل با کاربرد کودهای آلی حائز اهمیت است. نتایج نشان داد که استفاده از کمپوست (۱۰ تن در هکتار) همراه با کودهای زیستی (مایکوریزا و باسیلوس) به‌طور معنی‌داری عملکرد گل، جذب عناصر غذایی و محتوای آنتوسیانین را در گل گاوزبان اروپایی افزایش می‌دهد. این ترکیب، با بهبود آزادسازی تدریجی عناصر مغذی و کاهش آبشویی، شرایط بهینه‌ای برای رشد گیاه فراهم کرد. بالاترین عملکرد گل (۶۵/۶ گرم بر مترمربع) در تیمار تلفیقی قارچ مایکوریزا+ کود زیستی باکتریایی به همراه ۱۰ تن کمپوست مشاهده شد که نشان‌دهندهٔ سازگاری این روش با کشاورزی پایدار و اهداف تولید گیاهان دارویی است.

سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله از دانشگاه یاسوج به خاطر حمایت مالی و از سرکار خانم مهندس یاسمین کرمی مسئول آزمایشگاه ژنتیک دانشکده کشاورزی به خاطر آماده‌سازی تجهیزات جهت اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه، صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

References

Abbaszadeh, B., & Zakarian, F. (2016). Elements uptake in Balm (*Melissa officinalis* L.) under the effect of mycorrhiza and Piriformospora indica and vermicompost. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 32(1), 47-59. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.106136 [In Persian].

Aminifard, M.H., Aroiee, H., Aziz, M., Nemati, H., & Jaafar Hawa, Z.E. (2013). Effect of compost on antioxidant components and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 14(2), 47-56. https://doi.org/10.5513/JCEA01/14.2.1232

Anwar, M., D. D., patra, S., chand, K., Aplesh, K., Naqvi, A.A., & Khanuja, S.P., (2005). Effect on organic manuers and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation and oil quality of ferench Basil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 36, 1737-1746. https://doi.org/10.1081/CSS-200062434

Araim, G., Saleem, A., Arnason, J.T., & Charest, C. (2009). Root colonization by an arbuscular mycorrhizal (AM) fungus increases growth and secondary metabolism of purple coneflower, *Echinacea purpurea* (L.) Moench. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 2255-2258. https://doi.org/10.1021/jf803173x

Arora, A., Sairam, R.K., & Srivastava, G.C. (2002). Oxidative stress and antioxidative system in plants. *International Journal of Current Science Research and Review*, 82(10), 1227-1235. http://www.jstor.org/stable/24107045

Arriagada, C.A., Herrera, M.A., & Ocampo, J.A. (2007). Beneficial effect of saprobe and arbuscular mycorrhizal fungi on growth of Eucalyptus globules co-cultured with Glycine max in soil contaminated with heavy metals. *Journal of Environment Management*, 84, 93-99. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.05.005

Ashori, D., Hosseini, A.N., & Safarzadeh, M.N. (2014). Effect of plant density and planting arrangement on yield and yield components of (*Echium amoenum* Fisch and Mey) in Guilan province. *Journal of Horticultural Science*, 28(2), 135-143. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.39339 [In Persian].

Bagheri, S., Ebrahimi, M.A., Davazdah Emami, S., & Minooyi Moghadam., J. (2014). Terpenoids and phenolic compounds production of mint genotypes in response to mycorrhizal bio-elicitors. *Technical Journal of Engineering and Applied Science*, 4, 339-348.

Bairva, M., Meena, S.S., & Mehta, R.S. (2012). Effect of bio-fertilizers and plant growth regulators on growth and yield of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *International Journal of Seed Spices*, 2(1), 28-33. https://doi.org/10.56093/

Bastami, A., & Majidian, M., (2016). Comparison between mycorrhizal fungi, phosphate biofertilizer and manure application on growth parameters and dry weight of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Medicinal Plant*, 7, 23-33. https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.7.2.23 [In Persian].

Behzad Amiri, M., Rezvani Moghaddam, P., & Jahan, J. (2017). Effects of organic acids, mycorrhiza and rhizobacteria on yield and some phytochemical characteristics in low-input cropping system. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 27(2), 45-61. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24764310.1396.27.1.4.4 [In Persian].

Casson, S.A., & Lindsey, K. (2003). Genes and signalling in root development. *New Phytologist*, 158, 11-38. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00705.x

Ceccarelli, N., Curadi, M., Martelloni, L., Sbrana, C., Picciarelli, P., & Giovannetti, M. (2010). Mycorrhizal colonization impacts on phenolic content and antioxidant properties of artichoke leaves and flower heads two years after field transplant. *Journal of Plant and Soil*, 335, 311-323. https://doi.org/10.1007/S11104-010-0417-Z

Chang, Y.L. (2002). Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 50, 3713-3717. https://doi.org/10.1021/jf020071c

Clive, L., Sze-Chung, S., & Nicholson, R. (1998). Reduction of light induced anthocyanin accumulation in inoculated sorghum mesocotyls implication for a compensatory role in the defense response. *Journal of Plant Physiology*, 116, 979-989. https://www.jstor.org/stable/4278174

Csizinszky, A.A. (2002). Reduced input production of herbs under sub-tropical conditions in Florida. International Horticultural Congress. 11-17 August, Toronto, Ontario, 196 pp. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.629.49

Doaei, f., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., & Balandary, A. (2017). The effect of organic and biological fertilizers application on biomass yield and poly-phenols contents of dwarf chicory leaves (*Cichorium pumilum* Jacq.). *Journal of Agroecology*, 9(4), 910-921. https://doi.org/10.22067/jag.v9i4.22651 [In Persian].

Emami, A. (1996). Methods of plant decomposition. Journal of Research Organization, Agricultural Extension Training, No. 982. Publications of Soil and Water Research Institute, first volume, p. 126. [In Persian].

Gangali, A., Rajabi, N. & Bayat, F. (2024). The effect of mycorrhizal inoculation on growth characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of (*Nepeta binaludensis Jamzad*). *Applied Biology*, *37*(3), 11-22. https://doi.org/10.22051/jab.2024.43026.1557 [In Persian].

Hasanvand, H., Siadat, S.A., Bakhshandeh, A.M., Moradi Telavat, M.R., & Poshtdar, A. (2018). Evaluation of yield and some physiological characterictics of borage (*Borago officinalis* L.) under plant density and sowing dates in Ahwaz region. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 34(1), 1-16. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2018.114962.2096 [In Persian].

Jovanka, M.D., Nemanja, S., Svetlana, R., Zivko, J., Aleksandar, M., & Vesna, M. (2013). Differential response of three contrasting Pea (*Pisum arvense, P. sativum and P. fulvum*) species to salt stress: assessment of variation in antioxidative defence and miRNA expression. *Journal of Crop Science*, 7(13), 2145-2153. https://doi.org/10.13140/2.1.4688.3846

Khoram-Del, S., Koochaki, A., Nassiri Mahalati, M., & Ghorbani, R. (2007). Application effects of biofertilizers on the growth indices of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crop Research*, 2(6), 285-294. https://doi.org/10.22067/gsc.v6i2.2435 [In Persian].

Kiarostami, K.H, Mohseni, R., & Saboora, A. (2010). Biochemical changes of *Rosmarinus officinalis* under salt stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 6(3), 114-122. http://www.jspb.ru/issues/2010/N3/JSPB_2010_3_114-122.pdf

Lee, J., & Scagel, C.F. (2009). Chicoric acid found in basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 115, 650-656. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.075

Liu, J., W.U, L., Wei, S., Xiang, X., CU, C., Jiang, P., Song, Z., Wang, T., & Yu, Z. (2007). Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, nutrient uptake and glycyrrhizin production of Licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Journal of Plant Growth Regulator*, 52, 29-39. https://doi.org/10.1007/s10725-007-9174-2

Mahmoudzadeh, M., Rassouli Sedghiani, M.H., & Asgari Lagayer, H. (2015). Effect of plant growth promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on growth characteristics and concentration of macronutrients in peppermint (*Mentha pipperita* L.) under greenhouse conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions Isfahan University of Technology*, 24(6), 155-167. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089082.1394.6.4.13.8 [In Persian].

Mathur, N., & Vyas, A. (1995). Changes in isozyme patterns of peroxidase and polyphenol oxidase by VAM fungi in roots of (*Ziziphus* species). *Plant Physiology*, 145(4), 498 - 500. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81777-3

Mazaraie, A., Sirousmehr, A.R., & Babaei, Z. (2017). Effect of mycorrhizal fungi on some morphological & physiological charactristics of milk thistle (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) under drought stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 33(4), 620-635. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.107860.1877 [In Persian].

Melese, W. (2016). Effect of farm yard manure application rate on yield and yield components of Lettuce (*Lactuca sativa*) at Jimma Southwestern Ethiopia. *International Journal of Research – Granthaalaya*, 4(8), 75-83. https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v4.i8.2016.2565

Misko, A. L., & Germida, J. J. (2002). Taxonomi and functional diversity of Pseudomonas isolated from the roots of field grown canola. *FEMs Microbiology Ecology*, 42, 399-407. https://doi.org/10.1016/S0168-6496(02)00355-0

Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Vanbreusegem, F. (2004). Reactive oxygen network of plants. *Trends Plant Science*, 9, 490-498. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.08.009

Moradi, M., & Taleshi, K. (2019). Effect of manure and biological fertilizer on yield and yield components of mung bean cv. Gohar in Khorramabad region. *Agroecology Journal*, 14(4), 45-55. [In Persian].

Muanda, F.N, Soulimani, R., Diop, B., & Dicko, A. (2011). Study on chemical composition and biological activities of essential oil and extracts from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *Journal of Food Science and Technology*, 44, 1865-1872. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.002

Naghdibadi, H., Omidi, H., Rezazadeh, S.H., & Zeinali Mobarakeh, Z. (2012). Morphological, agronomical and phytochemical changes in borage (*Borago officinalis* L.) under biological and chemical fertilizers. *Journal of Medicinal Plants*, 11(42), 145-156. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2717204.2012.11.42.34.2 [In Persian].

Naguib, A.M., El-Baz, F.K., Salama, Z.A., Hanaa, A.B., Hanaa, F.A., & Gaafar, A.A. (2012). Enhancement of phenolics, flavonoids and glucosinolates of Broccli (*Brassica oleracea* var. italica) as antioxidants in response to organic and bio-organic fertilizers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11(2), 135-142. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.03.001

Nahiyan, A.S.M., & Matsubara, Y. (2012). Tolerance to fusarium root rot and changes in antioxidative ability in mycorrhizal asparagus plants. *Journal of Horticultural Science*, 47(3), 356–360. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.3.356

Novozamsky, I., Van Eck, R., Van Schouwenburg, C.H., & Walinga, I. (1974). Total nitrogen determination in plant material by means of the indophenol blue method. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 22, 3-5. . https://doi.org/10.18174/njas.v22i1.17230

Olsen, D. J. R., Endelman, J. B., Jacobson, A. R., & Reeve, J. R. (2015). Compost carryover: nitrogen, phosphorus and FT-IR analysis of soil organic matter. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 101, 317–331. https://doi.org/10.1007/s10705-015-9680-y

Ordone, A.A.L. (2006). Antioxidant activities of sechium edule swartz extracts. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 97, 452-458 https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.024

Peterson, J.R, Flanagan, J., & Shmact, K.T. (2002). PAM application method and electrolyte source effects on plot-scale runoff and erosion. *Transactions of the ASAE*, 45(6), 1859-1867. https://doi.org/10.13031/2013.11437

Qanati, F., Bakhtiari, S., & Abdul Maliki, C. (2010). Effects of methyl jasmonate on secondary metabolites of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Biotechnol Tarbiat Modares*, 1(1), 20-30. [In Persian].

Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heydari, G., & Pirzad, A. (2011). Effect of biofertilizer application on some morphological characteristics and yield of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L). *Journal of Horticultural Sciences* (*Agricultural Sciences and Technology*), 25(3), 335-343. https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1390i0.11378 [In Persian].

Salehi, A., Ghalavand, A., Sefidkon, F., & Asgharzade, A. (2011). The effect of zeolite, PGPR and vermicompost application on N, P, K concentration, essential oil content and yield in organic cultivation of German Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(2), 188-201. *https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6394* [In Persian].

Sarlak, B. (2013). Vermicompost production technology (1st ed.). Noor Kamare publications, 156 p. [In Persian].

Sengar, S.S., Wade, L.J., Baghel, S.S., Singh, R.K., & Singh, G. (2000). Effect of nutrient management on rice in rain fed low land of southeast Madhya Pradesh. *Indian Journal of Agronomy*, 45(2), 315-322.

Sharma, A.K. (2002). Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India, P. 407.

Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K., & Nakamura, T. (1992). Antioxidative properties of xanthin on autoxidation of soybean oil in cyclodetrin emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 945-948. https://doi.org/10.1021/jf00018a005

Taghdisi Heydarian, S. Z., Khorassani, R., & Emami, H. (2018). The Effect of zeolite, manure and vermicompost on growth and micronutrients uptake by corn. *Journal of Water and Soil*, 32(4), 763-778. https://doi.org/10.22067/jsw.v32i4.68534 [In Persian].

Tarraf, W., Ruta, C., Tagarelli, A., De Cillis, F., & Mastro, G.De. (2017). Influence of arbuscular mycorrhizae on plant growth, essential oil production and phosphorus uptake of *Salvia officinalis* L. *Industrial Crops and Products*,102, 144-153. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.03.010

Tilak, K.V., Ranganayaki, K.K., Pal, R., De, A.K., Saxena, C., Shekhar, N., Shilpi Mittal, A.K., & Tripathi, B.N. (2005). Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Current Science*, 89, 136-150.

Vurukonda, S.S., Vardharajula, S., Shrivastava, M., & Skz, A. (2016). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research*, 184, 13–24.

Zheng, Y., Dixon, M., & Saxena, P.K. (2006). Growing environment and nutrient availability affect the content of some phenolic compounds in *Echinacea purpurea* and *Echinacea angustifolia*. *Planta Medica*, 72, 1407-1414.