

Evaluating the Effect of Integrated Nutrition on Quantitative Yield and Essential Oil Percentage of Lemon Balm (*Melissa officinalis*)

Mohammad Reza Mirzajani¹, Majid Majidian^{2*} and Gholam reza Mohsenabadi³

- 1- M.Sc. student of Agronomy, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
- 2- ***Corresponding Author:** Associate Professor, Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran (ma_majidian@guilan.ac.ir)
- 3- Assistant Professor, Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

Received: 30 April, 2018

Accepted: 27 January, 2019

Abstract

Background and Objectives

An important requirement of agronomic planning is to evaluate different plant nutrition systems in order to achieve high yield and quality, especially in medicinal plants. With the correct method of increasing soil fertilization and plant nutrition, it is possible to reduce the erosion and conservation of biodiversity, preserve the environment, and increase the efficiency of inputs. This research was carried out with the aim of improving the quantitative and qualitative performance of lemon balm with bio fertilizers such as mycorrhiza fungi, biophosphate fertilizer, and vermicompost.

Materials and Methods

The experiment was conducted in spring and summer of 2016 in a field covered by Agriculture Jihad of Guilan, located in Khoshkabijar District of Rasht, Iran. In this research, the experiment was conducted considering three factors: factorial contains mycorrhizal inoculation (M_1 = non-inoculated and M_2 = inoculated), phosphate biofertilizers (P_1 = 0, P_2 = 50 and P_3 = 100 kg ha⁻¹) and vermicompost (V_1 = 0, V_2 = 5 and V_3 = 10 tons ha⁻¹) layout based on a randomized complete block design with 18 treatments and three replications. Also, one plot was allocated to control in each replication and only chemical fertilizers (use of 90 kg ha⁻¹ of fertilizer of urea, triple super phosphate 90 kg ha⁻¹ and potassium sulfate 90 kg ha⁻¹) and data obtained from control plot, mycorrhizal, phosphate biofertilizers, and vermicompost were used based on a randomized complete block.

Results

According to the results of this experiment, the highest number of leaf yield, essential oil percentage, biological yield, essential oil yield, total chlorophyll and carotenoids in inoculation with mycorrhiza was obtained. The application of 100 kg of phosphate biofertilizers had a significant effect on all measured biofertilizers. Fertilizer treatment of 100 kg ha⁻¹ had the best result in all measured traits. Also, the best result was obtained with the use of 10 tons of vermicompost per hectare in biological yield (4808.2 kg ha⁻¹), essential oil (0.13%), and total chlorophyll (1.54 mg gr⁻¹FW). There were positive and synergic interactions between factors. For example, positive interaction between inoculation of mycorrhiza and phosphate biofertilizers on

leaf yield and essential oil yield, and synergic interaction between mycorrhiza and vermicompost on biological yield were observed.

Discussion

The results of this study show that the treatment of inoculums with mycorrhiza, consumption of 100 kg of phosphate biofertilizers and 10 tons of vermicompost per hectare could provide the best situation to achieve the highest quantitative (5290 kg ha^{-1}) and qualitative yield (0.26% essential oil) of lemon balm in a sustainable agricultural system.

Keywords: Chlorophyll, Mycorrhiza, Phosphate biofertilizers, Vermicompost

ارزیابی اثر تغذیه تلفیقی بر عملکرد کمی و درصد اسانس گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis*)

محمد رضا میرزاجانی^۱، مجید مجیدیان^{۲*} و غلامرضا محسن آبادی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲- *نویسنده مسئول: دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران (ma_majidian@guilan.ac.ir)

۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۰

چکیده

یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی به منظور حصول عملکرد بالا و کیفیت مطلوب به‌ویژه در گیاهان دارویی ارزیابی سیستم‌های مختلف تغذیه گیاه است. با روش صحیح افزایش حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه می‌توان ضمن حفظ محیط زیست، کاهش فرسایش و حفظ تنوع زیستی، کارآیی نهاده‌ها را افزایش داد. این پژوهش با هدف ارتقای عملکرد کمی و کیفی گیاه بادرنجبویه با مصرف کودهای زیستی نظیر قارچ میکوریزا، کود فسفات زیستی و ورمی کمپوست مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش در بهار و تابستان ۱۳۹۵ در مزرعه تحت پوشش سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان واقع در بخش خشک‌بیجار از توابع شهرستان رشت اجرا شد. در این تحقیق آزمایش به صورت فاکتوریل سه عاملی شامل قارچ میکوریزا (M) در دو سطح (عدم تلقیح = M_1 و تلقیح = M_2)، عامل کود فسفات زیستی (P) در سه سطح (صفر = P_1 ، $P_2 = 50$ و $P_3 = 100$ کیلوگرم در هکتار) و ورمی کمپوست (V) در سه سطح (صفر = V_1 ، $V_2 = 5$ و $V_3 = 10$ تن در هکتار) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با هجده تیمار و در سه تکرار انجام شد. همچنین، یک کرت به‌عنوان شاهد کود شیمیایی (مصرف کود شیمیایی اوره ۹۰ کیلوگرم در هکتار، سوپرفسفات تریپل ۹۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم ۹۰ کیلوگرم در هکتار) در هر تکرار قرار داده شد و مقایسه آن با تیمارهای میکوریزا، کود فسفات زیستی و ورمی کمپوست نیز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج این آزمایش، بیشترین عملکرد برگ، درصد اسانس، عملکرد زیستی، کلروفیل کل و کاروتنوئید در تلقیح با میکوریزا حاصل شد. کود فسفات زیستی در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در کل صفات اندازه‌گیری شده بهترین نتیجه را داشت. همچنین، بهترین نتیجه در استفاده از ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار در عملکرد بیولوژیک (۴۸۰۸/۲ کیلوگرم در هکتار)، درصد اسانس (۰/۱۳) و کلروفیل کل (۱/۵۴ میلی‌گرم در گرم برگ تازه) به‌دست آمد. اثرات متقابل هم‌افزایی مثبت نیز روی برخی صفات مذکور مشاهده گردید که می‌توان به اثر متقابل بین تلقیح میکوریزا و فسفات زیستی بر عملکرد برگ، همچنین هم‌افزایی میکوریزا و ورمی کمپوست در شاخص عملکرد زیستی اشاره کرد. طبق نتایج حاصل از این پژوهش، تیمار تلقیح با میکوریزا، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفات زیستی و ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار، می‌تواند شرایط مناسبی را جهت دستیابی به بیشترین عملکرد کمی (۵۲۹۰ کیلوگرم در هکتار) و کیفی (۰/۲۶ درصد اسانس) در گیاه بادرنجبویه در یک سیستم زراعی پایدار فراهم آورد.

کلیدواژه‌ها: کلروفیل، کود فسفات زیستی، میکوریزا، ورمی کمپوست

نعناعیان، جنس *Melisa* و گونه *officinalis* قرار دارد

مقدمه

(Zargari, 2015). قسمت‌های مورد استفاده بادرنجبویه برگ

گیاه بادرنجبویه در طبقه‌بندی کروئکوئست در تیره

حل کننده فسفات که عمدتاً شامل باکتری‌ها و قارچ‌ها می‌باشند، اشاره کرد که با تولید اسیدهای آلی موجب افزایش حلالیت فسفات‌های معدنی کم محلول نظیر سنگ فسفات می‌شوند همچنین بسیاری از آن‌ها با تولید آنزیم‌های فسفاتاز موجب آزاد شدن فسفر از ترکیب‌های آلی می‌گردند (Shahab *et al.*, 2009). نتایج تحقیق Goldani and Kamali (2016) نشان داد اثر ساده کودهای ورمی کمپوست، کمپوست و دامی بر صفات وزن تر گل اطلسی، طول، قطر و تعداد گل معنی‌دار بود. استفاده از ورمی کمپوست در کشاورزی پایدار، علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک (نظیر قارچ‌های میکوریزا و میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفات)، در جهت فراهمی عناصر غذایی موردنیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل نموده و سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Arancon *et al.*, 2004). استفاده از کودهای زیستی در کشاورزی پایدار برای افزایش کیفیت و پایداری عملکرد گیاهان دارویی گزینه مناسبی محسوب می‌شود و به نظر می‌رسد که در چنین شرایطی، حداکثر رشد و عملکرد از آن‌ها حاصل گردد (Gupta *et al.*, 2002). با توجه به اهمیت تولید و بهبود کیفیت بادرنجبویه، این پژوهش با هدف ارتقای عملکرد کمی و کیفی گیاه بادرنجبویه بین تیمارهای مختلف کودهای زیستی نظیر قارچ میکوریزا، کود فسفات‌زیستی و ورمی کمپوست مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش در بهار و تابستان ۱۳۹۵ در مزرعه تحت پوشش سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان واقع در ۹ کیلومتری بخش خشکیبجار از توابع شهرستان رشت واقع در طول جغرافیایی در ۴۱ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۵- متری از سطح دریا اجرا شد. به منظور آگاهی از عناصر غذایی در واحدهای آزمایشی قبل از کاشت از خاک و ورمی کمپوست مورد نظر

و سرشاخه‌های جوان آن می‌باشد (Khoshkhoy *et al.*, 2004). بادرنجبویه یک گیاه دارویی چندساله است، که برای رفع تنگی نفس، تقویت حافظه و بهبود آلزایمر کاربرد فراوان دارد بادرنجبویه، گیاه بومی اروپای مرکزی و جنوبی، شمال آفریقا و غرب آسیا است. در ایران نیز اطراف تهران، کرج، قزوین، گرگان، آذربایجان، کرمانشاه، لرستان و رشت می‌روید (Omidbaigi, 2011). یکی از مهم‌ترین اشکال دارویی این گیاه اسانس آن است که مایه‌ای بی‌رنگ یا به رنگ زرد روشن یا زرد مایل به خاکستری و دارای بوی بسیار مطبوع شبیه بوی لیمو می‌باشد و اسانس برگ گیاه قبل از گل‌دهی بیشتر است (Yanik and Gurbuz, 2014).

نتایج پژوهش Saderi *et al.* (2017) که روی بادرنجبویه انجام گرفت، نشان داد که همزیستی ریشه بادرنجبویه با دو گونه از میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار وزن تر اندام هوایی، سطح برگ و ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردید. آن‌ها علت این امر را به بهبود همزیستی میکوریزایی و تأثیر آن در جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه، مرتبط دانستند. نتایج مشابه‌ای نیز توسط Darzi (2007) و Bastami and Majidian (2015) به ترتیب در مطالعه بر روی گیاهان رازیانه و گشنیز گزارش شده است. همچنین، آزمایش گلخانه‌ای به منظور بررسی تأثیر قارچ‌های میکوریزای آربوسکولار توسط Zhang *et al.* (2017) بر روی ماگنولیا در جنوب چین انجام گرفت که باعث افزایش در ارتفاع، قطر و افزایش تولید ماده خشک گردید. قارچ میکوریزی با برقراری همزیستی با ریشه گیاهان، قادر است فسفر و آب را از بافت خاک جذب نموده و آن را در اختیار گیاه قرار دهد (Antunes *et al.*, 2008). (Engel *et al.*, 2016). در آزمایشی اثر مایکوریزا بر گیاه دارویی بادرنجبویه را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که کاربرد مایکوریزا باعث افزایش زیست‌توده و درجه کلونیزاسیون در بادرنجبویه شد.

از انواع کودهای زیستی می‌توان به میکروارگانیسم‌های

نتایج و بحث

عملکرد زیست توده

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس، عملکرد زیست توده توسط عامل کود فسفات زیستی و عامل تلقیح میکوریزایی در سطح یک درصد معنی دار گردید (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که عملکرد زیست توده در تلقیح با میکوریزا در مقایسه با عدم تلقیح در حدود ۵/۴ درصد بیشتر بود (جدول ۳). یافته‌های Gupta et al. (2002) نیز نشان داد که همزیستی قارچ میکوریزا و ریشه گیاه نعنای از طریق افزایش جذب آب و عناصر غذایی، موجب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب تولید فرآورده بیشتر و بهبود عملکرد زیست توده گردید. همچنین، نتایج تحقیقات Kapoor et al. (2002) بر روی شوید و نوعی زیره و پژوهش Li et al. (2014) بر روی جو موید این مطلب است که همزیستی مایکوریزایی سبب بهبود عملکرد زیست توده در گیاهان مذکور می‌گردد.

عملکرد زیست توده در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات زیستی در حدود ۸/۳ درصد بیشتر از عدم مصرف کود بود (جدول ۳). طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمارهای کودهای زیستی، ورمی کمپوست و شاهد تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد زیست توده بادرنجوبه داشت (جدول ۴). در پژوهش دیگری که توسط Oteino et al. (2015) در خصوص اهمیت مصرف میکروارگانسیم‌های حل کننده فسفات در خاک انجام شد، مشخص گردید که کاربرد این میکروارگانسیم‌ها همراه با سنگ فسفات، ضمن افزایش حلالیت فسفر و فراهمی مناسب، موجب بهبود رشد و عملکرد زیست توده گیاه رازیانه و حفظ سلامت خاک می‌گردد. طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) و جدول مقایسه میانگین‌ها، بین سطوح مختلف ورمی کمپوست عملکرد زیست توده معنی دار نشد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی بادرنجوبه

Table 2. Variance analysis of quantitative and qualitative traits of lemon balm

کاروتنوئید کل Carotenoid	کلروفیل کل Total Chlorophyll	درصد اسانس Essential oil	عملکرد تر برگ Leaf fresh yield	عملکرد زیست توده Biological yield	درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variation
0.03 ^{ns}	1.65 ^{ns}	0.07 ^{ns}	1755.72 [*]	9131122.35 ^{ns}	2	تکرار Replication
0.01 ^{**}	0.62 [*]	0.021 ^{**}	158.79 [*]	1095397.8 ^{**}	1	میکوریزا Mycorrhizal
0.12 ^{**}	7.9 ^{**}	0.009 ^{**}	12278.16 ^{**}	690283.63 ^{**}	2	کود فسفات زیستی Bio phosphate
0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	51.88 ^{ns}	8561.35 ^{ns}	2	ورمی کمپوست Vermicompost
0.002 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.00005 ^{ns}	168.24 [*]	1899.85 ^{ns}	2	میکوریزا × فسفات زیستی Mycorrhizal × Bio phosphate
0.001 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	1.74 ^{ns}	13384.8 ^{ns}	2	میکوریزا × ورمی کمپوست Mycorrhizal × Vermicompost
0.001 ^{ns}	0.008 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	6.72 ^{ns}	16457.91 ^{ns}	4	فسفات زیستی × ورمی کمپوست Bio phosphate × Vermicompost
0.001 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	1.18 ^{ns}	696.69 ^{ns}	4	اثر متقابل سه فاکتور Interaction three factor
0.001	0.13	0.0004	90.11	40462.72	34	خطا Error
22.6	14.3	16.3	10.8	4.2		ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)

**، * و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی دار.

**، * and ns: significant at a probability level of 1%, 5% and non significant.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات کمی و کیفی بادرنجبویه تحت تأثیر کودهای زیستی و ورمی کمپوست
Table 3. Mean Comparison of quantitative and qualitative traits of lemon balm as affected by biofertilizers and vermicompost

کاروتنوئید کل (میلی گرم در گرم برگ تازه) Carotenoid (mg gr ⁻¹ FW)	کلروفیل کل (میلی گرم در گرم برگ تازه) Total Chlorophyll (mg gr ⁻¹ FW)	اسانس (درصد) Essential oil %	عملکرد تر برگ (کیلوگرم در هکتار) Leaf fresh yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد زیست توده (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg ha ⁻¹)	تیمار Treatment
0.16 ^b	1.38 ^b	0.11 ^b	3668.29 ^b	4641.37 ^b	عدم تلقیح میکوریزا Non- inoculated = M ₁
0.19 ^a	1.65 ^a	0.15 ^a	3709.14 ^a	4926.22 ^a	تلقیح میکوریزا Inoculated = M ₂
0.09 ^c	0.83 ^c	0.10 ^c	3610.67 ^b	4612 ^b	عدم استفاده کود فسفات زیستی P ₁ = 0
0.17 ^b	1.46 ^b	0.13 ^b	3732.17 ^a	4742.2 ^b	کود فسفات زیستی ۵۰ کیلوگرم در هکتار P ₂ = 50
0.26 ^a	2.24 ^a	0.15 ^a	3768.33 ^a	4997 ^a	کود فسفات زیستی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار P ₂ = 100
0.17 ^a	1.52 ^a	0.13 ^a	3709.50 ^a	4766.4 ^a	عدم استفاده از ورمی کمپوست V ₁ = 0
0.17 ^a	1.48 ^a	0.12 ^a	3702.72 ^a	4776.6 ^a	ورمی کمپوست ۵ تن در هکتار V ₂ = 5
0.17 ^a	1.54 ^a	0.13 ^a	3898.94 ^a	4808.2 ^a	ورمی کمپوست ۱۰ تن در هکتار V ₃ = 10

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی داری از نظر آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each column, averages with at least one common alphabet have no significant difference in the Tukey test at the 5% probability level.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی بادرنجبویه تحت تأثیر کودهای زیستی و ورمی کمپوست و شاهد
Table 4. Variance analysis of quantitative and qualitative traits of lemon balm as affected by of biofertilizers and vermicompost and control

کاروتنوئید کل Carotenoid	کلروفیل کل Total Chlorophyll	درصد اسانس Essential oil	عملکرد تر برگ Leaf fresh yield	عملکرد زیست توده Biological yield	درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of variation
0.0063	0.02	0.0005	52.8	8814.33	2	تکرار Replication
0.02 ^{**}	1.54 ^{**}	0.01 ^{**}	1803.88 ^{**}	12212.13 ^{**}	18	تیمار Treatment
0.00 21	0.02	0.0002	6.64	6153.5	36	خطا Error
12.54	9.79	12.55	10.22	16.52		ضریب تغییرات (درصد) C.V. (%)

** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی دار.

** and ns: significant at a probability level of 1% and non significant.

مقایسه میانگین اثرات متقابل دو عامل تلقیح میکوریزایی و ورمی کمپوست نیز دارای اختلاف معنی داری نبود به نحوی که عملکرد زیست توده در تیمارهای شامل سطح تلقیح میکوریزایی در سطوح مختلف ورمی کمپوست دارای برتری قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با تیمارهای شامل عدم تلقیح در سطوح ورمی کمپوست بود که بیانگر کارایی سیستم همزیستی میکوریزایی در انتقال عناصر غذایی به گیاه میزبان است (جدول ۵). (Bastami and Majidian (2015) در تحقیق خود بر گیاه گشنیز، بیان کردند که تلقیح میکوریزا بیشترین تأثیر را نسبت به کود فسفات زیستی و کود دامی بر عملکرد زیست توده، عملکرد دانه و شاخص برداشت گیاه گشنیز داشت.

Doan *et al.* (2015) نیز در پژوهش خود بر روی عملکرد ذرت، آشکار کردند که مصرف ورمی کمپوست موجب افزایش قابل ملاحظه عملکرد زیست توده در مقایسه با تیمار شاهد گردید. آن‌ها اظهار داشتند که فضولات کرم‌های خاکی، حاوی عناصر معدنی پر مصرف و کم مصرف قابل استفاده فراوانی بود که موجب تغذیه مستقیم گیاهان و از طریق بهبود رشد و نمو، سبب افزایش عملکرد زیست توده آن‌ها شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین عملکرد زیست توده مربوط به تیمار عدم تلقیح میکوریزا، عدم کاربرد کود فسفات زیستی و ورمی کمپوست و بیشترین عملکرد زیست توده مربوط به تیمار تلقیح با میکوریزا، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفات زیستی و ۱۰ تن ورمی کمپوست به دست آمد (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات کمی و کیفی بادرنجبویه تحت تأثیر کودهای زیستی، میکوریزا، ورمی کمپوست و شاهد
Table 5. Mean comparison of quantitative and qualitative traits of lemon balm as affected by biological fertilizers, mycorrhiza, vermicompost and control

کاروتنوئید کل (میلی گرام در گرم برگ تازه) Carotenoid (mg gr ⁻¹ FW)	کلروفیل کل (میلی گرام در گرم برگ تازه) Total Chlorophyll (mg gr ⁻¹ FW)	اسانس (درصد) Essential oil %	عملکرد تر برگ (کیلوگرم در هکتار) Leaf fresh yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد زیست توده (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg ha ⁻¹)	تیمار Treatment
0.05 ^l	0.45 ^l	0.02 ^l	3507 ^l	3803 ^l	M ₁ P ₁ V ₁
0.12 ^f	1.02 ^{g-i}	0.09 ^{hi}	3687 ^f	3935 ⁱ	M ₁ P ₁ V ₂
0.17 ^d	1.51 ^{ef}	0.14 ^{fg}	3749 ^c	3999 ⁱ	M ₁ P ₁ V ₃
0.07 ^h	0.64 ^{ij}	0.03 ^k	3579 ⁱ	3833 ⁱ	M ₁ P ₂ V ₁
0.17 ^d	1.45 ^{e-h}	0.14 ^{fg}	3721 ^e	4010 ⁱ	M ₁ P ₂ V ₂
0.25 ^b	2.18 ^{b-d}	0.16 ^{de}	3768 ^{bc}	4319 ^h	M ₁ P ₂ V ₃
0.08 ^{gh}	0.75 ^{ij}	0.05 ^{jk}	3623 ^h	4390 ^{gh}	M ₁ P ₃ V ₁
0.20 ^c	1.7 ^{ef}	0.16 ^{de}	3746 ^{dc}	4594 ^f	M ₁ P ₃ V ₂
0.26 ^b	2.23 ^{cb}	0.18 ^{cd}	3779 ^b	4992 ^d	M ₁ P ₃ V ₃
0.09 ^g	0.83 ^{ij}	0.07 ^{ij}	3636 ^{hg}	4871 ^e	M ₂ P ₁ V ₁
0.15 ^e	1.33 ^{f-h}	0.11 ^{hi}	3728 ^{de}	4825 ^e	M ₂ P ₁ V ₂
0.20 ^c	1.76 ^{d-f}	0.19 ^{bc}	3744 ^{dc}	4914 ^{de}	M ₂ P ₁ V ₃
0.11 ^f	0.99 ^{hi}	0.09 ^{hi}	3657 ^g	4834 ^e	M ₂ P ₂ V ₁
0.17 ^d	1.48 ^{e-g}	0.12 ^{gh}	3745 ^{dc}	4886 ^e	M ₂ P ₂ V ₂
0.26 ^b	2.26 ^b	0.22 ^{ab}	3766 ^{bc}	5007 ^c	M ₂ P ₂ V ₃
0.15 ^e	1.33 ^{f-h}	0.11 ^{hi}	3660 ^g	5040 ^{bc}	M ₂ P ₃ V ₁
0.21 ^c	1.79 ^{c-f}	0.15 ^{ef}	3764 ^{bc}	5142 ^b	M ₂ P ₃ V ₂
0.41 ^a	3.51 ^a	0.26 ^a	3802 ^a	5290 ^a	M ₂ P ₃ V ₃
0.20 ^c	1.80 ^{b-e}	0.17 ^{de}	3764 ^{bc}	4468 ^g	شاهد (Control)

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی داری از نظر آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

عدم تلقیح میکوریزا = M₁، تلقیح میکوریزا = M₂، کود فسفات زیستی (P) در سه سطح (صفر = P₁ = ۳۵ و P₂ = ۷۰ و P₃ = ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و کود دامی (F) در سه سطح (صفر = F₁ = ۱۰ و F₂ = ۲۰ و F₃ = ۴۰ تن در هکتار).

In each column, averages with at least one common alphabet have no significant difference in the Tukey test at the 5% probability level.

M₁ = non-inoculated, M₂ = inoculated, P₁ = 0 Bio phosphate, P₂ = 50 kg ha⁻¹ Bio phosphate, P₃ = 100 kg ha⁻¹ Bio phosphate, V₁ = 0 Vermicompost, V₂ = 5 ton ha⁻¹ Vermicompost, V₃ = 10 ton ha⁻¹ Vermicompost.

عملکرد برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، عملکرد برگ بادرنجبویه، توسط عامل تلقیح میکوریزایی در سطح احتمال پنج درصد و کود فسفات زیستی در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بین سطوح تلقیح میکوریزایی تفاوت وجود دارد به نحوی که عملکرد برگ در تلقیح با میکوریزا (۳۶۶۸/۲۹) کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با عدم تلقیح (۳۷۰۹/۱۴) کیلوگرم در هکتار) بیشتر بود (جدول ۳). تحقیقات (Modafeh Behzadi et al. (2017 در مورد تأثیر میکوریزا و کود دامی بر عملکرد گیاه و سمه (*Indigofera tinctoria* L.) بیان می‌کند که به دلیل آزادسازی تدریجی عناصر غذایی برای رشد گیاه و سمه علاوه بر بهبود عملکرد کمی و کیفی، می‌تواند در درازمدت نیز علاوه بر کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی تحت تأثیر افزایش آبسویی و در نتیجه کاهش تلفات عناصر غذایی، موجب بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها و حرکت به منظور نیل به پایداری در بوم‌نظام‌های کشور شود. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که عملکرد برگ در اثر کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات زیستی (۳۷۶۸/۳۳) کیلوگرم در هکتار) بیشتر از کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار (۳۷۳۲/۱۷) کیلوگرم در هکتار) و بیشتر از شاهد (۳۶۱۰/۶۷) کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرات متقابل دو عامل تلقیح میکوریزایی و فسفات زیستی نیز دارای اختلاف معنی‌داری بود که بیانگر کارایی سیستم همزیستی میکوریزایی در انتقال عناصر غذایی به گیاه میزبان است (جدول ۶). در خصوص تفسیر این برهمکنش می‌توان اظهار داشت که بین میکوریزا و باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجود در کود فسفات زیستی یک رابطه هم‌افزایی و تشدیدکننده وجود داشته که موجب مشارکت و افزایش فعالیت هر دو میکروارگانیسم در خاک گشته و سپس از طریق افزایش جذب عناصر معدنی به‌ویژه فسفر و میزان فتوسنتز گیاه، می‌تواند موجب

افزایش عملکرد برگ گردد (Darzi, 2007). در این پژوهش ورمی کمپوست بر عملکرد برگ، میزان اسانس، کلروفیل و کاروتنوئید تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۲)، می‌توان بیان کرد با توجه به رابطه هم‌افزایی و تشدیدکننده بین کود فسفات زیستی و میکوریزا در گیاه بادرنجبویه ورمی کمپوست اثر کمتری داشته است. طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمارهای کودهای زیستی، ورمی کمپوست و شاهد تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد برگ بادرنجبویه داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین عملکرد برگ مربوط به تیمار عدم تلقیح میکوریزا، عدم کاربرد کود فسفات زیستی و ورمی کمپوست و بیشترین عملکرد برگ مربوط به تیمار تلقیح با میکوریزا، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفات زیستی و ۱۰ تن ورمی کمپوست به‌دست آمد (جدول ۵). نتایج تحقیقات (Nemati et al. (2015 در بررسی اثرات قارچ میکوریزا، باکتری‌های محرک رشد، آزوسپریلیوم، ازتوباکتر و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر عملکرد و اجزای عملکرد نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. بیشترین میزان عملکرد (۱۷۹/۸ درصد) از تیمار میکوریزا، ازتوباکتر و آزوسپریلیوم به‌دست آمد. علت آن جذب بیشتر عناصر غذایی، باعث حاصل شدن عملکرد بیشتر در این تیمار کودزیستی شده است.

میزان اسانس

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس، میزان اسانس توسط عامل کود فسفات زیستی و عامل تلقیح میکوریزایی در سطح یک درصد معنی‌دار گردید ولی سایر اثرات متقابل بین فاکتورهای مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر میزان اسانس نداشتند (جدول ۲). همزیستی میکوریزایی از طریق جذب کارآمد فسفر و تا حدودی نیتروژن توسط ریشه بادرنجبویه، موجب افزایش اسانس گردید. در تفسیر این نتیجه می‌توان اظهار داشت از آنجائیکه اسانس‌ها ترکیبات ترپنوئیدی بوده که واحدهای سازنده آن‌ها (ایزوپرنوئیدها) مانند ایزوپنتیل پیروفسفات و

آن‌ها بیان کردند تلقیح میکوریزا باعث افزایش غلظت اسانس در میوه‌ها تا ۴۳ درصد می‌شود اگرچه تفاوت معنی‌داری در اثربخشی دو گونه قارچ میکوریزا مشاهده نشد. مقایسه میانگین‌ها مبین اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف فسفات زیستی بود، به طوری که میزان اسانس در برگ در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات زیستی در مقایسه با عدم مصرف و تیمار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات زیستی به ترتیب در حدود ۴۵ و ۱۸ درصد بیشتر بود (جدول ۳).

دی‌متیل‌آلیل پیروفسفات، نیاز مبرم به ATP و NADPH دارند و با توجه به این موضوع که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیبات اخیر ضروری می‌باشد (Darzi, 2007) از این رو همزیستی میکوریزایی از طریق جذب کارآمد فسفر و تا حدودی نیتروژن توسط ریشه بادرنجبویه، موجب افزایش اسانس این گیاه دارویی شد. این نتایج با نتیجه تحقیق (Kapoor *et al.* (2002) که اثر ترکیب دو گونه قارچ میکوریزا بر غلظت و ترکیب اسانس گیاه گشنیز مورد مطالعه قرار دادند مطابقت دارد.

جدول ۶- مقایسه میانگین برخی صفات بادرنجبویه تحت تأثیر برهمکنش تلقیح میکوریزا و کود فسفات زیستی

Table 6. Mean Comparison of some lemon balm traits as affected by the interactions effect between inoculum mycorrhizal and phosphate fertilizer

کاروتنوئید کل (میلی‌گرم در گرم برگ تازه) Carotenoid (mg gr ⁻¹ FW)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم برگ تازه) Total Chlorophyll (mg gr ⁻¹ FW)	اسانس (درصد) Essential oil %	عملکرد تر برگ (کیلوگرم در هکتار) Leaf fresh yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار) Biological yield (kg ha ⁻¹)	تیمار Treatment
0.08 ^a	0.73 ^a	0.08 ^a	3595.7 ^c	4476.0 ^a	عدم تلقیح میکوریزا × عدم استفاده از کود فسفات زیستی M ₁ P ₁
0.16 ^a	1.4 ^a	0.1 ^a	3726.3 ^b	4605.3 ^a	عدم تلقیح میکوریزا × کود فسفات زیستی ۵۰ کیلوگرم در هکتار M ₁ P ₂
0.23 ^a	2 ^a	0.12 ^a	3772.7 ^a	4842.7 ^a	عدم تلقیح میکوریزا × کود فسفات زیستی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار M ₁ P ₃
0.11 ^a	0.93 ^a	0.12 ^a	3625.5 ^{bc}	4748.1 ^a	تلقیح میکوریزا × عدم استفاده از کود فسفات زیستی M ₂ P ₁
0.18 ^a	1.52 ^a	0.14 ^a	3738 ^{ab}	4879.2 ^a	تلقیح میکوریزا × کود فسفات زیستی ۵۰ کیلوگرم در هکتار M ₂ P ₂
0.29 ^a	2.48 ^a	0.17 ^a	3763.8 ^a	5151.3 ^a	تلقیح میکوریزا × کود فسفات زیستی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار M ₂ P ₃

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، تفاوت معنی‌داری از نظر آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

عدم تلقیح = M₁، تلقیح = M₂، صفر = P₁، ۵۰ = P₂، ۱۰۰ = P₃ و فسفر زیستی (کیلوگرم در هکتار).

In each column, averages with at least one common alphabet have no significant difference in the Tukey test at the 5% probability level.

M₁ = non- inoculated, M₂ = inoculated, P₁ = 0 Bio phosphate, P₂ = 50 kg ha⁻¹ Bio phosphate, P₃ = 100 kg ha⁻¹ Bio phosphate.

احتمال یک درصد بر میزان کلروفیل کل برگ بادرنجبویه معنی دار شد (جدول ۲). طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمارهای کودهای زیستی، ورمی کمپوست و شاهد تأثیر معنی داری بر میزان کلروفیل کل بادرنجبویه در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین میزان کلروفیل کل (۰/۴۵ میلی گرم در گرم برگ تازه) مربوط به تیمار عدم تلقیح میکوریزا، عدم کاربرد کود فسفات زیستی و عدم مصرف ورمی کمپوست و بیشترین میزان کلروفیل کل (۳/۵۱ میلی گرم در گرم برگ تازه) مربوط به تیمار تلقیح با میکوریزا، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفات زیستی و ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست به دست آمد. که به ترتیب در حدود ۳۰۰ درصد کمتر از شاهد و حدود ۹۵ درصد بیشتر از شاهد بود (جدول ۵). فتوستتزی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه است که وابسته به محتوای کلروفیل در گیاه می‌باشد. از این رو ممکن است همزیستی میکوریزی به عنوان یک محرک متابولیسمی عمل کند که سبب جابجایی قاعده‌گرایی محصولات فتوستتزی به سمت ریشه‌ها شده و بدین سان محرکی برای انجام فعالیت فتوستتزی بیشتر باشد. دیده شده است که در گیاهان میزبان هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین افزایش می‌یابد که افزایش این هورمون‌ها به ویژه سیتوکینین می‌تواند شدت فتوستتزی را توسط باز شدن روزنه‌های هوایی که بر جابجایی و تنظیم محتوای کلروفیل مؤثر است، بهبود بخشد (Peterson *et al.*, 2004). از طرفی قارچ میکوریزا به جذب منیزیم در گیاه کمک می‌کند و می‌تواند سنتز کلروفیل را افزایش دهد (Giri *et al.*, 2002).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس، نشان داد که تأثیر عوامل میکوریزایی و کود فسفات زیستی بر میزان کاروتنوئید برگ بادرنجبویه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). طبق نتایج تجزیه احتمال یک درصد بر میزان کاروتنوئید کل برگ بادرنجبویه داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کمترین میزان

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تیمارهای کودهای زیستی، ورمی کمپوست و شاهد تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر درصد اسانس بادرنجبویه داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها در بین شاهد و تیمارهای کودهای زیستی نیز دارای تفاوت معنی داری بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد حضور میکوریزا در کنار کود فسفات زیستی و ورمی کمپوست یک اثر تشدیدکننده بر میزان اسانس داشته باشد. نتیجه پژوهش Chowdhury *et al.* (2010) نیز نشان داد که کاربرد توأم قارچ میکوریزا و باکتری حل‌کننده فسفات همراه با سنگ فسفات موجب هم‌افزایی اثر آن‌ها بر فعالیت هر دو میکروارگانیسم گردید. به نظر می‌رسد که استفاده از کود فسفات زیستی، از طریق تأثیر مثبتی که بر روی فعالیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات و سایر میکروارگانیسم‌های مفید در خاک می‌گذارد، امکان دسترسی مطلوب به عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف را توسط گیاه دارویی بادرنجبویه فراهم آورده و متعاقب آن می‌تواند در بهبود میزان اسانس مؤثر باشد. همچنین حضور باکتری حل‌کننده فسفات، سبب بهبود فعالیت این باکتری و سایر میکروارگانیسم‌ها می‌گردد و موجبات حلالیت فسفر از دو منبع معدنی سنگ فسفات آلی و ورمی کمپوست را فراهم می‌کند و متعاقب آن دسترسی گیاه بادرنجبویه به فسفر را افزایش می‌دهد و از آنجا که فسفر یکی از اجزاء اصلی متشکله اسانس می‌باشد لذا کود فسفات زیستی می‌تواند به بهبود بیشتر میزان اسانس نیز منجر گردد.

نتیجه تحقیقات Kumar and Singh (2001) نشان داد که مصرف توأم یک باکتری حل‌کننده فسفات به نام *Pseudomonas striata* همراه با سنگ فسفات و ورمی کمپوست در یک محیط کشت، می‌تواند سبب افزایش حلالیت عناصر معدنی نظیر فسفر گردد و این عمل احتمالاً از طریق تولید اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز توسط باکتری مذکور صورت می‌گیرد.

کلروفیل کل و کاروتنوئید کل

طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، تأثیر عامل تلقیح میکوریزایی و کود فسفات زیستی در سطح

بهرتر گیاه، مثلاً عملکرد تر برگ، عملکرد زیست توده و کلروفیل در اثر مصرف این کودها است. نتایج مشابه این تحقیق قبلاً گزارش شده است (Tahami, 2010; Pise and Sabale, 2010). تغذیه مناسب گیاهان با کودهای مختلف، سبب تقویت مسیر درگیر در تولید متابولیت‌های ثانویه می‌شود. به نظر می‌رسد که عناصر غذایی در ساختمان آنزیم‌هایی که در مسیرهای بیوشیمیایی درگیر در سنتز مواد مؤثره گیاهی مؤثر هستند، دخیل است. آن‌ها همچنین اظهار داشتند که همان‌طور که کمبود مواد غذایی سبب کاهش عملکرد و به دنبال آن کاهش میزان مواد مؤثره است، عدم توازن در کاربرد کودها نیز اثر مشابه داشته و سبب کاهش میزان اسانس تولیدی خواهد شد.

نتیجه‌گیری

طبق نتایج حاصل از این پژوهش، کمیت و کیفیت گیاه دارویی بادرنجبویه تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی قرار می‌گیرد، براساس نتایج این آزمایش، بیشترین، عملکرد برگ، درصد اسانس و عملکرد زیستی در تلقیح با میکوریزا حاصل شد. کود فسفات زیستی در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در کل صفات اندازه‌گیری شده بهترین نتیجه را داشت. همچنین، بهترین نتیجه در

کاروتنوئید کل برگ تحت تأثیر تیمار عدم تلقیح میکوریزا، عدم کاربرد کود فسفات زیستی و ورمی کمپوست و بیشترین میزان کاروتنوئید کل برگ مربوط به تیمار تلقیح با میکوریزا، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفات زیستی و ۱۰ تن ورمی کمپوست به دست آمد (جدول ۵). که با نتایج به دست آمده توسط Hassan (2009) بر روی گیاه چای ترش مطابقت داشت. نتایج به دست آمده آن‌ها نشان داد استفاده از کودهای زیستی جداگانه یا همراه کودهای شیمیایی باعث بهبود عملکرد گیاه، میزان کلروفیل، آنتوسیانین و کربوهیدرات‌ها شد. افزایش درصد اسانس، یکی از اهداف اصلی بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی در زمینه گیاهان دارویی است.

همان‌گونه که جدول (۷) بررسی همبستگی صفات نشان می‌دهد، بین عملکرد زیست توده، تعداد ساقه‌های فرعی، عملکرد تر برگ، کلروفیل کل و کاروتنوئید کل و درصد اسانس همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود دارد. بالا بودن درصد اسانس در گیاهان تحت تیمار میکوریزا و کود فسفات زیستی را شاید بتوان به تأثیر عمومی و مثبت این کودها بر ویژگی‌های رشدی گیاه نسبت داد. به عبارت دیگر درصد و عملکرد بالای اسانس در گیاهان تحت تیمار میکوریزا و کود فسفات زیستی به خاطر نمو

جدول ۷- ضریب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در گیاه بادرنجبویه

Table 8. Simple correlation coefficient between traits in lemon balm

کاروتنوئید کل Carotenoid	کلروفیل کل Total Chlorophyll	درصد اسانس Essential oil	عملکرد تر برگ Leaf fresh yield	عملکرد زیست توده Biological yield	صفات Factors
				1	عملکرد زیست توده Biological yield
			1	0.55*	عملکرد تر برگ Leaf fresh yield
		1	0.95**	0.61*	درصد اسانس Essential oil
	1	0.95**	0.89**	0.62**	کلروفیل کل Total Chlorophyll
1	0.98**	0.94**	0.86**	0.63**	کاروتنوئید کل Carotenoid

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

** and *: Significant at a probability level of 1% and 5%.

کیفی (۰/۲۶ درصد اسانس) در گیاه بادرنجبویه در یک سیستم زراعی پایدار فراهم آورد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه گیلان که هزینه‌های اجرای این پایان‌نامه را فراهم نموده‌اند صمیمانه قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

نویسندگان اظهار داشتند که هیچ‌گونه تضاد منافی با هم ندارند.

استفاده از ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار در عملکرد بیولوژیک و درصد اسانس به دست آمد. اثرات متقابل هم‌افزایی مثبت نیز روی برخی صفات مذکور مشاهده گردید که می‌توان به اثر متقابل بین تلقیح میکوریزا و فسفات زیستی بر عملکرد برگ، همچنین هم‌افزایی میکوریزا و ورمی‌کمپوست در شاخص عملکرد زیستی اشاره کرد. از این رو تیمار تلقیح با میکوریزا، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفات زیستی و ۱۰ تن ورمی‌کمپوست در هکتار، می‌تواند شرایط مناسبی را جهت دستیابی به بیشترین عملکرد کمی (۵۲۹۰ کیلوگرم در هکتار) و

References

- Antunes, P. M., Miller, J., Carvalho, L. M., Klironomos, J. N. and Newman, J. A. (2008). Even after death the endophytic fungus of *schedonorusphoenix* reduces the arbuscular mycorrhizas of other plants. *Functional Ecology*, 22(5), 912-918.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., Welch, C. and Metzger, J. D. (2004). Influences of vermicomposts on field strawberries: Effects on growth and yields. *Bioresource Technology*, 93(2), 145-153.
- Bastami, A. and Majidian, M. (2015). Effects of mycorrhizal, phosphatic biofertilizer on photosynthetic pigments and yield in coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Plant Productions*, 38(4), 49-60. [In Farsi]
- Bredemeier, C. (2005). *Laser-induced chlorophyll fluorescence sensing as a tool for site-specific nitrogen fertilizer evaluation under controlled environmental and field conditions in wheat and maize*. Ph.D. Thesis, Technical University, Munich.
- Chowdhury, S. R., Tandon, P. K. and Chowdhury, A. R. (2010). Chemical composition of the essential oil of *cymbopogon flexuosus* (steud) wats. Growing in kumaon region. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 13(5), 588-593.
- Darzi, M.T. (2007). *Effect of biofertilizers application on qualitative and quantitative yield of fennel (Foeniculum vulgare Mill) in order to reach to a sustainable agroecosystem*. Thesis Ph.D., Tarbiat Modares University, Tehran.
- Doan, T., Henrydes, T., Tureaux, T. and Rumpel, C. (2015). Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in northern Vietnam, a three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment*, 51(4), 147-154.
- Engel, R., Szabo, K., Abranko, L., Rendes, K., Fuzy, A. and Takacs, T. (2016). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and polyphenol profile of marjoram, lemon balm, and marigold. *Agriculture and Food Chemistry*, 64(19), 3733-3742
- Giri, B., Kapoor, R. and Mukerji, K. G. (2002). VA Mycorrhizal techniques/vam technology in establishment of plants under salinity stress condition. *Techniques in Mycorrhizal Studies*, 16, 313-327.
- Goldani, M. and Kamali, M. (2016). Evaluation of culture media including vermicompost, compost and manure under drought stress in Iranian petunia (*Petunia hybrida*). *Plant Productions*, 39(3), 91-100.
- Gupta, M. L., Prasad, A., Ram, M. and Kumar, S. (2002). Effect of the Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal (VAM) fungus *glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha Arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology*, 81(1), 77-79.
- Hassan, F. A. S. (2009). Response of hibiscus sabdariffa plant to some biofertilization treatments. *Annals Agricultur Science*, 54(2), 437-445.

- Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K. G. (2002). Mycorrhization of coriander (*Coriandrum sativum* L.) to enhance the concentration and quality of essential oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(4), 339-342.
- Khoshkhoy, M., Tafazoli, A., Rahemi, M. and Sheibani, B. (2004). *Principles of agnosticism*. Shiraz: Shiraz University Press. [In Farsi]
- Kumar, V. and Singh, K.P. (2001). Enriching vermicompost by nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria. *Bioresource Technology*, 76(2), 173-175.
- Li, T., Lin, G., Zhang, X., Chen, Y., Zhang, S. and Chen, B. (2014). Relative importance of an arbuscular mycorrhizal fungus (*rhizophagus intraradices*) and root hairs in plant drought tolerance. *Mycorrhiza*, 24(8), 595-602.
- Mafakheri, S. (2017). Effect of some organic and chemical fertilizer on morphological and biochemical factors of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Plant Productions*, 40(3), 27-41. [In Farsi]
- Modafeh Behzadi, N., Rezvani Moghaddam, P. and Jahan, M. (2017). Investigating the effect of organic and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of *Indigofera tinctoria* L. in the Bam area. *Iranian Crop Research*, 16(1), 46-54. [In Farsi]
- Nemati, A., Golchin, A. and Sharti, H. B. (2015). Investigating the effects of biofertilizers on yield and yield components of tomato plants in a soil contaminated with cadmium. *Journal of Soil Research*, 29(1), 23-36. [In Farsi]
- Omidbaigi, R. (2011). *Approaches to production and processing of medicinal plants*. Mashhad: Astan Gods Razavi (Beh Nashr Press). [In Farsi]
- Oteino, N., Lally, D., Kiwanuka, S., Lloyd, A., Ryan, D., Germaine, K. and Dowling, N. (2015). Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic pseudomonas isolates. *Frontiers Microbiology*, 6(2), 745-749.
- Peterson, R. L., Massicotte, H. B. and Melville, L. H. (2004). *Mycorrhizas: Anatomy and cell biology*. Wallingford, Oxfordshire: Centre for Agriculture and Bioscience International Publishing.
- Pise, N. M. and Sabale, A. B. (2010). Effect of seaweed concentrates on the growth and biochemical constituents of *Trigonella foenum-graecum* L. *Journal of Phytology*, 2(4), 50-56.
- Saderi, S. Z., Abrishamchi, P., Ganjeali, A. and Radjabian, T. (2017). *Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth traits of Melissa officinalis* L. 5th National Conference of Iranian Society of Plant Physiology, Zanjan University, Zanjan. [In Farsi]
- Shahab, S., Ahmed, N. and Khan, N. S. (2009). Indole acetic acid production and enhanced plant growth. *African Journal of Agricultural Research*, 4(1), 1312-1316.
- Tahami, S. M. K. (2010). *Evaluation of the effects of organic, biological and chemical fertilizer on yield, yield components and essential of basil (Ocimum basilicum* L.). M.Sc. Thesis, Ferdowsi of Mashhad University, Mashhad. [In Farsi]
- Yanik, M. and Gurbuz, B. (2014). *Chemical diversity in essential oil compositions of leaf, herb and flower in lemon balm (Melissa officinalis* L.). *Turkish Journal of Agricultural and Natural Science*, 1(2), 210-214.
- Zargari, A. (2015). *Medicinal plants* (Vol. 3). Tehran: Tehran University Press. [In Farsi]
- Zhang, Y., Chen, Z., Pinyopusarerk, K. and Bush, D. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced growth of magnolia macclurei (dandy) figlar seedlings grown under glasshouse conditions. *Forest Science*, 63(4), 441-448.

