



## Investigation of Organic and Biofertilizer Sources and Harvesting Time on Quantitative and Qualitative Characteristics of Sage (*Salvia officinalis* L.)

Abdollah Javanmard<sup>1\*</sup>, Mohammad Reza Abasian<sup>2</sup>, Ali Ostadi<sup>3</sup> and Haniyeh Shabkhiz<sup>3</sup>

Received: 21-09-2021  
Revised: 29-01-2022  
Accepted: 02-02-2022  
Available Online: 02-02-2022

### How to cite this article:

Javanmard, A., Abasian, M. R., Ostadi, A., & Shabkhiz, H. (2023). Investigation of organic and biofertilizer sources and harvesting time on quantitative and qualitative characteristics of Sage (*Salvia officinalis* L.) *Journal of Agroecology*, 15(3), 481-504.

DOI: [10.22067/agry.2022.72527.1066](https://doi.org/10.22067/agry.2022.72527.1066)

### Introduction

In the conventional agricultural systems, the excessive use of chemical inputs, such as chemical fertilizers, increased the agricultural productivity. Detrimental implications from intensive farming practices and long-term use of chemical fertilizers have been well evidenced in the environment and human health. Intercropping systems and application of organic fertilizers and biofertilizers, including vermicompost and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), are recommended in developing sustainable agricultural systems. The objectives were to evaluate the effect of different fertilizer sources on the quantity and quality characteristics of *Salvia officinalis* L.

### Materials and Methods

The experiment consisted of two successive phases at the Miandoab, Iran, in 2019-2020. The first was the cultivation of spring green manure until the soft dough stage of barley and flowering stage of hairy vetch, then returned to the soil, and the second phase was the cultivation of the medicinal plant of sage. Two species, barley (*Hordeum vulgare* L.) and hairy vetch (*Vicia villosa*), were used as green manure. In the second phase, a field experiment study was carried out as a split plot in time based on a randomized complete block design (RCBD) with 16 treatments and three replications. The main plot factor was eight different fertilizer sources, including control (C), barley monoculture (B), hairy vetch monoculture (V), 75% V + 25% B, 50% V + 50% B and 25% V + 75% B, AMF: arbuscular mycorrhizal fungus (*Rhizophagus intraradices*) and vermicompost. Also the subplot factor was harvesting time (first and second harvest). In AM fungi treatments, 80 g of the soil containing mycorrhizal fungi hyphae and the remains of the root and spores was added to the soil in planting times. Also, vermicompost (2 t ha<sup>-1</sup>) was applied to the soil before planting. Analysis of variance of the data and mean comparison based on the least significant difference (LSD) test and interaction effect slicing of different fertilizer sources × harvesting time were carried out by using SAS 9.3 statistical software.

### Results and Discussion

Plant height, number of lateral branches, number of leaves, chlorophyll index, leaf dry weight, stem dry weight, essential oil percentage, and yield were significantly affected by the interaction of different fertilizer sources × harvesting times. The highest dry matter yield was achieved under AMF followed by 50% V + 50% B. Also the highest of chlorophyll index and essential oil percentage of sage in both harvesting time was obtained in 50% V

1- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

2- M.Sc. Student of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

3- Ph.D. Student of Agrotechnology–Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Iran.

(\*- Corresponding author's Email: [a.javanmard@maragheh.ac.ir](mailto:a.javanmard@maragheh.ac.ir))

+ 50% B. Also, the first harvesting time increased by 33.9, 10.7 and 40.7% of this trait in comparison with the second harvest. In addition, the maximum essential oil yield was observed in AMF followed by 50% V+ 50% B in the first harvest. Chemical analysis of the essential oil of sage demonstrated that *cis*-Thujone, 1, 8-cineole and camphor were the main dominant components in all treatments. The maximum *cis*-Thujone, 1, 8-cineole content was achieved in 50% V+ 50% B and the second harvest. Also, the highest of camphor was observed in 25% V+ 75% B treatment and first harvest. The roots of green manure plants can uptake nutrients from the lower soil layers and transfer them to the aerial parts of the plant. By incorporating green manure, the sage growth characteristics improved due to increasing soil microbiological processes and releasing of nutrients. Also, mycorrhizal fungus inoculation enhanced plant performance by increasing available phosphorus and nitrogen. Treating plots with 50% V + 50% B and AMF increases the essential oil percentage and compounds by releasing nitrogen and phosphorus into the soil. Also, the higher morphological traits, essential oil percentage, and yield in the first harvest than in the second harvest can be attributed to a longer growing period and optimal growth conditions (day length, sunlight, ambient temperature).

### Conclusions

Treating plots with green manure and AMF improves the morphological traits, quantity, and quality of sage essential oil by adjusting the soil's chemical properties. According to the quantity and quality indicators, the application of 50% V+ 50% B as green manure and AMF can be suggested as an efficient and eco-friendly agricultural strategy in sage cultivation.

**Keywords:** *cis*-Thujone, Dry matter yield, Essential oil, Green manure, Sustainable agriculture

## مقاله پژوهشی

جلد ۱۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۴۸۱-۵۰۴

# بررسی منابع کودی آلی و زیستی و زمان برداشت بر خصوصیات کمی و کیفی مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.)

عبدالله جوانمرد<sup>۱\*</sup>، محمدرضا عباسیان<sup>۲</sup>، علی استادی<sup>۳</sup> و حانیه شب‌خیز<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

## چکیده

به منظور ارزیابی اثر منابع کودی مختلف و زمان برداشت بر صفات مورفولوژیک، کمیت و کیفیت اسانس مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.)، آزمایشی در دشت میان‌دوآب به صورت اسپلیت پلات در زمان بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید. فاکتور کرت اصلی شامل عدم مصرف کودهای آلی و زیستی (به‌عنوان شاهد)، کشت خالص جو، کشت خالص ماشک، ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو، تلقیح با قارچ میکوریزا (*Rhizophagus intraradices*) و ورمی کمپوست بود. فاکتور کرت فرعی هم شامل چین اول و چین دوم بود. نتایج نشان داد که همه صفات رشدی و عملکردی مورد مطالعه به‌جز عملکرد ماده خشک تحت تأثیر معنی‌دار اثر متقابل منابع کودی × چین قرار گرفتند. همچنین براساس نتایج برش‌دهی اثر متقابل منابع کودی مختلف × چین مشخص گردید که کاربرد قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو روی صفات رشدی و عملکردی بیشترین تأثیر را داشتند. بیشترین عملکرد ماده خشک مریم‌گلی در نتیجه کاربرد قارچ میکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو نداشت. همچنین بیشترین شاخص کلروفیل و درصد اسانس مریم‌گلی در هر دو چین در تیمار کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد. علاوه‌براین، بیشترین عملکرد اسانس در نتیجه کاربرد قارچ میکوریزا در چین اول به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو در همان چین نداشت. آنالیز شیمیایی اسانس مریم‌گلی مشخص کرد که سیس-توجن، ۱ و ۸- سینئول و کامفور ترکیبات اصلی اسانس بودند. بیشترین میزان سیس-توجن و ۱-۸- سینئول در تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو از چین دوم به‌دست آمد. همچنین، بیشترین میزان کامفور در تیمار ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو در چین اول حاصل شد. بر اساس نتایج این پژوهش، استفاده از تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌عنوان کود سبز اثرات مثبتی روی گیاه مریم‌گلی داشت. همچنین کود زیستی قارچ میکوریزا نیز می‌تواند منجر به بهبود صفات کمی و کیفی مریم‌گلی گردد.

**واژه‌های کلیدی:** اسانس، سیس-توجن، عملکرد ماده خشک، کشاورزی پایدار، کود سبز

## مقدمه

گیاهان دارویی بخش مهمی از تنوع زیستی موجود در بسیاری از

۳- دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی-اکولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، ایران.  
(\*- نویسنده مسئول:

(Email: a.javanmard@maragheh.ac.ir

DOI: 10.22067/agry.2022.72527.1066

۱- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه مراغه، ایران.

کشورهای جهان را به خود اختصاص می‌دهد. به دلیل پتانسیل فوق‌العاده این گیاهان در طب مدرن و سنتی در سال‌های اخیر، کشت و کار این گیاهان اهمیت بیشتری پیدا کرده است (Govahi et al., 2017). خانواده نعناع (Lamiaceae) دارای ۲۰۰ جنس و ۳۳۰۰ گونه می‌باشد، یکی از گونه‌های این خانواده، مریم‌گلی با نام علمی *Salvia officinalis* است. برگ‌های مریم‌گلی حاوی انواع مختلفی از فلاونوئیدها و ترکیبات فنولیک می‌باشند و دارای خواص دارویی مهمی همچون فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی بوده و علاوه بر این، از برگ‌های مریم‌گلی در فرآوری مواد غذایی و عطرسازی استفاده می‌شود (El-Haddad et al., 2020). برخی ترکیبات موجود در اسانس مریم‌گلی نظیر ۱ و ۸ سینئول، بورنتول، کامفور و توجن دارای خصوصیات چون ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی، بهبود حافظه و آرایمر و ضد سرطان می‌باشند (Govahi et al., 2017).

بعد از انقلاب سبز استفاده از کودهای شیمیایی، به‌عنوان سریع‌ترین راه برای جبران کمبود عناصر غذایی خاک گسترش چشم‌گیری پیدا کرد. تلاش برای افزایش تولید در واحد سطح و مصرف زیاد و نامتعادل کودهای شیمیایی، علاوه بر کاهش بازدهی و افزایش هزینه‌های تولید، پیامدهای منفی زیست‌محیطی زیادی را به دنبال داشته است (Meena et al., 2018). به همین دلیل، امروزه استفاده از کودهای زیستی و آلی برای کاهش مشکلات ناشی از کودهای شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است.

امروزه رویکرد جهانی در تولید، به‌سمت کشاورزی پایدار و به‌کارگیری روش‌های مدیریتی پایدار و سالم است. ورمی‌کمپوست به‌عنوان یک کود آلی، حاوی عناصری همچون فسفات، کلسیم، پتاسیم، نیتروژن و منیزیم بوده که رشد و عملکرد گیاهان را بهبود می‌بخشد. به‌طوری‌که در پژوهشی در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*)، ورمی‌کمپوست باعث افزایش عملکرد زیست‌توده و بهبود کیفیت و عملکرد اسانس در مقایسه با شاهد شد (Prabha et al., 2007). در پژوهش دیگری، رشد و ترکیبات اسانس مریم‌گلی با کاربرد ورمی‌کمپوست و کمپوست افزایش یافت. علاوه بر این، افزایش درصد و عملکرد اسانس مریم‌گلی با کاربرد ورمی‌کمپوست بیشتر از کود آلی کمپوست بود (El-Haddad et al., 2020). نتایج تحقیقی نشان داد، استفاده از کودهای آلی می‌تواند ضمن بهبود ویژگی‌های کیفی اسانس گاو زبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch. & Mey.)، اثرات مخرب ناشی از مصرف کودهای شیمیایی را کاهش و سلامت محصول و پایداری تولید را در درازمدت تضمین نماید (Amiri et al., 2017).

کودهای سبز، گیاهانی هستند که برای مدت معین در زمین‌های زراعی کاشته و در مرحله‌ای از رشد (عموماً گل‌دهی یا خمیری دانه) به‌منظور حاصلخیزی و بهبود ساختمان خاک، به زمین برگردانده می‌شوند. برگشت کودهای سبز در خاک سبب افزایش ماده آلی و نیتروژن خاک گردیده و از طریق آزادسازی تدریجی عناصر غذایی، حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهند. علاوه بر این کاربرد لگوم‌ها به‌عنوان کود سبز به‌دلیل تثبیت نیتروژن اتمسفری و ایجاد شرایط مطلوب برای ریزجانداران مفید خاکزی می‌توانند به‌عنوان یکی از روش‌های کاهش وابستگی به کودهای معدنی مورد استفاده قرار گیرند. در پژوهشی مشخص شد که نیتروژن آزاد شده از طریق کود سبز گون (*Astragalus lentiginosus* L.)، ۱۷ درصد از نیاز نیتروژن گیاه برنج (*Oryza sativa* L.) را در طول فصل رشد تأمین کرد (Gao et al., 2020). در مطالعه‌ای کاربرد کودهای سبز یونجه

کاربرد کودهای زیستی نه تنها نقش مهم و اساسی در افزایش عملکرد گیاهان دارویی دارند، بلکه بر کیفیت مواد مؤثره نیز مؤثر می‌باشند (Omidbaigi, 2013). به‌طوری‌که همزیستی گیاهان دارویی با قارچ‌های میکوریزا آرباسکولار به‌عنوان یکی از انواع کودهای زیستی به افزایش متابولیت‌های اولیه و ثانویه در این گیاهان منجر می‌گردد. در گیاهانی همچون جعفری (*Petroselinum crispum*) و پونه (*Mentha pulegium*) افزایش سطوح متابولیت‌های ثانویه با کاربرد قارچ میکوریزا گزارش شده است (Gashgari et al., 2020). کاربرد قارچ *Rhizophagus intraradices* روی دو گونه ریحان (*Ocimum tenuiflorum* L.) منجر به افزایش درصد اسانس و وزن خشک برگ در هر دو گونه نسبت به عدم کاربرد قارچ میکوریزا شد و بیشترین میزان ترکیبات بتا کاربوفیلین و بتا الیمن در هر دو گونه ریحان با کاربرد قارچ میکوریزا حاصل شد (Thokchom et al., 2017).

۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو، قارچ میکوریزا (*Rhizophagus intraradices*) (۸۰ گرم در هر ردیف کشت) و ورمی کمپوست (دو تن در هکتار) و فاکتور کرت فرعی شامل زمان برداشت (چین اول و چین دوم) بود. قبل از اجرای آزمایش یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن انتخاب و مورد تجزیه قرار گرفت (جدول ۱). مجموع بارش ماهانه و میانگین دمای ماهانه در حین اجرای آزمایش در شکل یک نشان داده شده است.

کشت گیاهان به‌عنوان کود سبز و برگرداندن بقایای آن‌ها به خاک (مرحله خمیری نرم جو و گل‌دهی ماشک) به‌ترتیب در هفتم فروردین و پانزدهم تیرماه ۱۳۹۸ انجام شد. تیمارهای کود سبز شامل کشت خالص جو رقم والفجر (*Hordeum vulgare* L.)، کشت خالص ماشک (*Vicia villosa*) و مخلوطی از دو گیاه با روش جایگزینی (۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو) بود. تراکم مطلوب جو و ماشک به‌ترتیب ۴۰۰ و ۲۵۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. قبل از کاشت به‌منظور جلوگیری از آلودگی بذور جو و ماشک به بیمارهای قارچی، بذرها با سم بنومیل به‌میزان دو در هزار ضدعفونی شدند. قبل از برگرداندن تیمارهای کود سبز ماشک و جو، برداشت از مساحت یک مترمربع برای تعیین زیست‌توده برگشتی به خاک صورت پذیرفت. سپس در پانزدهم تیرماه ۱۳۹۸ اندام‌های هوایی جو و ماشک به قطعات ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری خرد و با تیلر در عمق ۱۵ سانتی‌متری به زمین برگردانده شدند.

در مطالعه‌ای دیگر روی بررسی اثرات انواع قارچ‌های میکوریزا در بهبود رشد، زیست‌توده و متابولیت‌های ثانویه گونه‌ای از مریم‌گلی (*Salvia miltiorrhiza* Bge) گزارش شد که همزیستی با قارچ‌های میکوریزا سبب افزایش رشد ریشه و متابولیت‌های ثانویه گردید (Wu et al., 2021). به‌طور کلی، افزایش عملکرد گیاهان همزیست با میکوریزا به توانایی جذب عناصری همچون فسفر نسبت داده می‌شود (Fadaee et al., 2018). علاوه‌براین، افزایش عملکرد گیاهان تلقیح شده با میکوریزا به افزایش جذب آب، حفظ محتوای نسبی آب برگ، افزایش انتقال مواد، افزایش کلروفیل برگ، بالا رفتن سرعت فتوسنتز و نقش مهم و فعال تر واکنش نوری نسبت داده می‌شود (Khalvandia et al., Gheidarlouei et al., 2020) ; (2019)

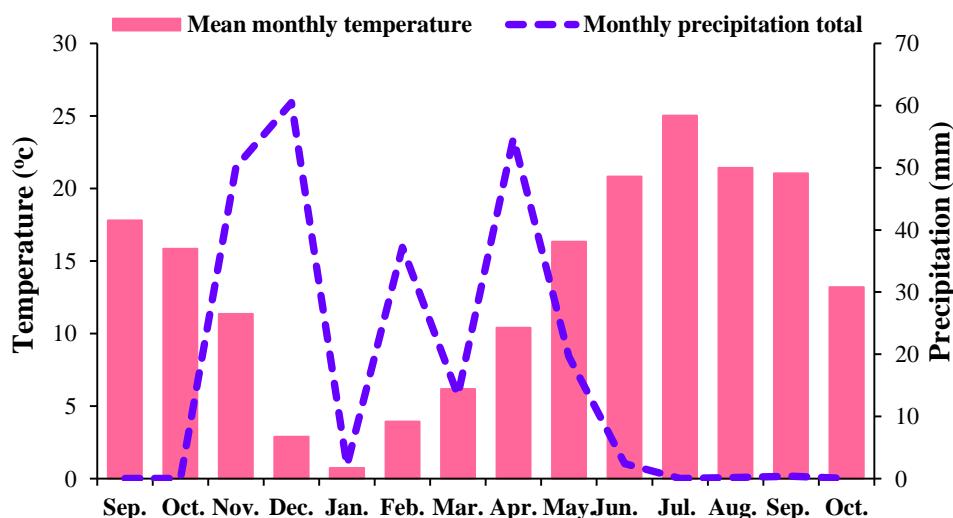
با توجه به اهمیت استفاده از کودهای آلی و زیستی در تولید گیاهان دارویی، این پژوهش با هدف بررسی اثرات منابع کودی مختلف (کود سبز، قارچ میکوریزا، ورمی کمپوست) بر صفات کمی و کیفی مریم‌گلی اجرا گردید.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در دشت میان‌دوباب با طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه و در ارتفاع ۱۳۱۴ متری از سطح دریا به‌صورت اسپلینت پلات در زمان بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار و سه تکرار در سال‌های زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید. فاکتور کرت اصلی شامل عدم مصرف کودهای آلی و زیستی (به‌عنوان شاهد)، کشت خالص جو، کشت خالص ماشک، ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو، ۵۰ درصد ماشک +

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک قبل از شروع آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)  
Table 1- Soil analysis results before beginning the experiment (depth 0-30 cm)

نیترژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg <sup>-1</sup> )	مقدار پتاسیم تبادلی Amount of exchangeable K (mg.kg <sup>-1</sup> )	شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m <sup>-1</sup> )	ماده آلی Organic matter (%)	بافت Texture
0.065	9.32	410	7.2	0.255	0.89	لومی رسی شنی Sandy clay loam



شکل ۱- مجموع بارش ماهانه و میانگین دمای ماهانه در حین اجرای آزمایش

Fig. 1- Monthly total precipitation and mean monthly temperature in during the experiment

میکوریزا مورد استفاده در این تحقیق (*Rhizophagus intraradices*)، از شرکت زیست فناور پیشتاز واریان کرج تهیه گردید. موقع کاشت ۸۰ گرم از خاک حاوی هیف‌های قارچ میکوریزا، بقایای ریشه و اسپور (۱۰۰۰ اسپور در هر ۱۰ گرم خاک)، در هر خط کشت استفاده گردید. همچنین ورمی‌کمپوست از شرکت تولیدی نوآوران کشت و صنعت ساینما که با استفاده از کود دامی، برگ چغندر و دیگر مواد آلی و گونه‌ای کرم خاکی به نام *Eisenia foetida* به دست آمده، تهیه گردید. خصوصیات شیمیایی ورمی‌کمپوست در جدول ۲ آورده شده است.

پس از اعمال تیمارهای کود سبز، برای تعیین خصوصیات شیمیایی خاک در فروردین ماه ۱۳۹۹ نمونه‌برداری از خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک صورت پذیرفت (جدول ۱۵). نشاهای مریم‌گلی در ۲۰ شهریورماه ۱۳۹۸ وقتی که ارتفاع آن‌ها ۱۵ سانتی‌متر بود به زمین اصلی انتقال و در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک با دست کشت شدند. هر کرت آزمایش شامل پنج خط کشت به طول چهار متر بود. فواصل بین کرت‌ها و بین بلوک‌ها به ترتیب ۱/۵ و ۲ متر در نظر گرفته شد. فواصل بین و روی ردیف‌های کشت مریم‌گلی به ترتیب ۷۰ و ۴۰ سانتی‌متر لحاظ گردید (Omidbaigi, 2011). قارچ

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده

Table 2- Chemical properties of the vermicompost fertilizer used

کلسیم Ca (mg.kg <sup>-1</sup> )	روی Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )	مس Cu (mg.kg <sup>-1</sup> )	کربن آلی Organic C (%)	هدایت الکتریکی EC (µmhos.cm <sup>-1</sup> )	شاخص واکنش pH	پتاسیم K (%)	فسفر P (%)	نیتروژن کل Total N (%)
8.75	66.6	3.84	7.13	1.64	7.84	0.27	0.47	1.6

برگ، وزن خشک ساقه، عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس صورت پذیرفت. برداشت مریم‌گلی در چین اول قبل از مرحله گل‌دهی در ۳۰ خردادماه صورت گرفت. همچنین چین دوم آن در ۱۵ مهرماه سال ۱۳۹۹ برداشت گردید. لازم به ذکر است، برداشت دو چین در ساعت ۱۲ ظهر صورت پذیرفت. برای تعیین وزن خشک، نمونه‌های برداشت شده از هر کرت را در سایه تا ثابت شدن وزن نگهداری شدند. همچنین برای استخراج اسانس از دستگاه کلونجر

مبارزه با علف‌های هرز در اوایل دوره رشد به صورت دستی صورت پذیرفت. اولین نوبت آبیاری بلافاصله بعد از کاشت به صورت قطره‌ای و در مراحل بعدی هر هفت روز یک بار صورت گرفت. شاخص کلروفیل نیز توسط دستگاه کلروفیل‌متر مدل Spad 502 Plus ساخت کشور ژاپن، از آخرین برگ کاملاً توسعه یافته در پنج بوته به طور تصادفی اندازه‌گیری شد. در نهایت، بعد از حذف اثرات حاشیه، برداشت در هر دو چین در مساحتی معادل دو مترمربع با هدف اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، وزن خشک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منابع کودی مختلف، اثر چین و اثر متقابل منابع کودی مختلف × چین بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). همچنین نتایج برش-دهی اثر متقابل منابع کودی × چین نشان داد که اثر منابع کودی بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد در هر سطح چین معنی‌دار بود (جدول ۶)، به طوری که در چین اول بیشترین ارتفاع بوته (۸۶/۴۰ سانتی‌متر) با کاربرد قارچ میکوریزا به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو نداشت. همچنین، در چین دوم بیشترین ارتفاع بوته (۶۶/۳۰ سانتی‌متر) در ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو و کاربرد انفرادی قارچ میکوریزا نداشت (جدول ۷). ارتفاع بوته مریم‌گلی با کاربرد قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو، به ترتیب ۸۳/۸ و ۸۸/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۴). علاوه بر این، ارتفاع بوته مریم‌گلی در چین اول ۳۳/۹ درصد بیشتر از چین دوم بود (جدول ۵). دلیل افزایش ارتفاع بوته در نتیجه کاربرد قارچ میکوریزا به جذب بهتر عناصر غذایی از قبیل نیتروژن، روی، فسفر و آمونیوم نسبت داده می‌شود (Ludwig-Müller, 2010). علاوه بر این، کودهای سبز می‌توانند با عرضه بیشتر نیتروژن در خاک (جدول ۱۵) منجر به افزایش ارتفاع بوته گردند. زیرا ریشه‌های گیاهان کشت شده به‌عنوان کود سبز از طریق جذب عناصر غذایی از لایه‌های پایینی خاک و انتقال آن به اندام‌های هوایی گیاه علاوه بر جلوگیری از آبلشویی عناصر، پس از برگرداندن این گیاهان به خاک و تجزیه آن‌ها این عناصر مجدداً در خاک بازیافت و جذب گیاهان بعدی می‌شوند (Meena et al., 2018). بیشتر بودن ارتفاع بوته در چین اول نسبت به چین دوم به بیشتر بودن طول دوره رشد و شرایط بهینه رشدی (طول روز، تابش آفتاب، دمای محیط) در چین اول (Amani Machiani et al., 2018) مربوط می‌شود. در پژوهشی با بررسی منابع کودی مختلف بر خصوصیات کمی و کیفی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) مشاهده شد که چین اول نسبت به چین دوم منجر به افزایش ۳۱/۵ درصدی ارتفاع بوته گردید (Bigonah et al., 2014). نتایج پژوهش راتی و همکاران (Ratti et al., 2001) در گیاه دارویی علف لیمو (*Cymbopogon citratus* L.) و کوپتا و همکاران (Gupta et al., 2004) روی گیاه نعناع وحشی (*Mentha arvensis*) با نتایج این پژوهش مطابقت داشت.

#### تعداد شاخه جانبی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منابع کودی مختلف، اثر

استفاده شد. اسانس‌گیری به مدت سه ساعت صورت گرفت، ابتدا اسانس‌های استخراج شده با سولفات سدیم خشک آبیگری و سپس داخل ویال شیشه‌ای در دمای چهار درجه سانتی‌گراد تا زمان آنالیز نگهداری شدند. درصد و عملکرد اسانس براساس معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه شدند (Morshedloo et al., 2017).

معادله (۱)

$100 \times (\text{وزن خشک نمونه (گرم)} / \text{وزن اسانس}) = \text{درصد اسانس}$

معادله (۲)

$\text{درصد اسانس} \times \text{ماده خشک کل} = \text{عملکرد اسانس}$

#### شناسایی ترکیبات اسانس

برای شناسایی ترکیبات اسانس از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل شده به طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) مدل Agilent 5977A ساخت کشور آمریکا، با ستون HP-5 MS (۵ درصد فنیل متیل پلی سیلوکسان، به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت ماده جاذب ۰/۲۵ میکرومتر) استفاده شد. محاسبه و شناسایی ترکیبات اسانس به کمک شاخص‌های بازداری<sup>۱</sup> خطی آن‌ها و مقایسه آن با شاخص‌های موجود در کتاب مرجع (Adams, 2007) و با استفاده از طیف‌های جرمی ترکیبات استاندارد و استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه کامپیوتری صورت گرفت (Morshedloo et al., 2018). برای جداسازی ترکیبات از دستگاه کروماتوگرافی گازی مدل Agilent 7990B ساخت کشور آمریکا با آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای<sup>۲</sup> و ستون VF-5MS استفاده شد. کمی‌کردن<sup>۳</sup> ترکیبات اسانس با استفاده از نرمال‌سازی سطح پیک و بدون استفاده از ضرایب اصلاح انجام شد (Amani Machiani et al., 2018). در نهایت، بعد از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس به‌صورت اسپلیت پلات در زمان و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ انجام شد. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد و در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی با استفاده از آزمون Lsmeans صورت پذیرفت (Soltani, 2015). همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

#### نتایج و بحث

##### صفات مریم‌گلی

##### ارتفاع بوته

- 1- Retention index
- 2 - Flame ionization detector (FID)
- 3 - Quantification

چین و اثر متقابل چین × منابع کودی مختلف بر تعداد شاخه جانبی مریم‌گلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج برش‌دهی اثر متقابل منابع کودی × چین نشان داد منابع کودی مختلف در هر سطح از زمان برداشت تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه جانبی مریم‌گلی داشتند (جدول ۶). در چین اول بیشترین تعداد شاخه جانبی (۳۶/۵۶) در ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاربرد قارچ میکوریزا، ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو و کشت خالص ماشک نداشت. در چین دوم، بیشترین تعداد شاخه جانبی (۲۳/۴۶) با کاربرد قارچ میکوریزا حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو نداشت (جدول ۷). تعداد شاخه جانبی مریم‌گلی با کاربرد ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و قارچ میکوریزا به‌ترتیب ۹۷/۶ و ۹۶/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد (جدول ۴). همچنین تعداد شاخه جانبی در چین اول ۷۱/۴ درصد بیشتر از چین دوم بود (جدول ۵). در پژوهش حاضر، از آنجا که کاربرد تیمارهای ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و قارچ میکوریزا منجر به افزایش نیتروژن کل و مقدار پتاسیم تبادلی گردید. لذا می‌توان بیان نمود که افزایش نیتروژن و پتاسیم تبادلی می‌تواند به بهبود صفات رشدی و عملکردی از قبیل تعداد شاخه جانبی منجر گردد (جدول ۱۵). نتایج این پژوهش با نتایج کاپور و همکاران (Kapoor et al., 2007) در گیاه درمنه (*Artemisia annua* L.) مطابقت داشت. در بین چین‌ها، چین اول دارای میانگین تعداد شاخه جانبی بیشتری بود (جدول ۵) که این می‌تواند ناشی از وجود تنها یک ساقه اصلی در گیاهان چین اول و ایجاد چندین ساقه اصلی تحت تأثیر از بین رفتن غالبیت ساقه اصلی در گیاه پس از برداشت چین اول باشد. با برداشت چین اول، گیاه برای رشد مجدد از بالای جوانه‌های باقی‌مانده شروع به رشد کرده و هر کدام از ساقه‌های به‌وجود آمده به‌عنوان ساقه اصلی می‌باشد که تولید تعداد کمتری شاخه جانبی نسبت به تک ساقه اصلی موجود در چین اول می‌کند (Modafe Behzadi et al., 2019).

### تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منابع کودی مختلف و اثر چین بر تعداد برگ در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل چین × منابع کودی مختلف در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج برش‌دهی اثر متقابل منابع کودی × چین نشان داد که اثر منابع کودی بر تعداد برگ در هر چین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). در چین اول، بیشترین تعداد برگ (۱۴۸۶) با کاربرد قارچ میکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو نداشت. همچنین، در چین دوم بیشترین

تعداد برگ در ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو حاصل شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کاربرد قارچ میکوریزا و ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو نداشت. همچنین، کمترین تعداد برگ در هر دو چین در شاهد (بدون کود آلی و زیستی) حاصل شد (جدول ۷). تعداد برگ مریم‌گلی با کاربرد قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کشت ماشک + ۵۰ درصد جو به‌ترتیب ۲۲۰/۹ و ۲۲۱/۴ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۴). علاوه‌براین، چین اول منجر به افزایش ۳۳/۱ درصدی تعداد برگ مریم‌گلی نسبت به چین دوم گردید (جدول ۵). با آزادسازی نیتروژن موجود در بقایای گیاهان کود سبز و جذب آن توسط مریم‌گلی، سنتز پروتئین افزایش یافته و با تأثیر بر فرآیند فتوسنتز و تقسیم سلولی منجر به ازدیاد رشد رویشی و تعداد برگ گیاه می‌شود (Rahmani et al., 2008; Meena et al., 2018). در پژوهشی با بررسی برگ پاپایا (*Carica papaya* L.)، چریش (*Azadirachta indica* A. Juss.)، گز روغنی (*Moringa oleifera* Lam.) و مسکویت (*Prosopis africana* Guill., Perr. & A.) به‌عنوان کود سبز روی بامیه (*Abelmoschus esculentus* L.) گزارش کردند که کود سبز تأثیر معنی‌داری بر تعداد برگ داشت، به‌طوری‌که بیشترین تعداد برگ با کاربرد کود سبز مسکویت به‌دست آمد و به‌طور میانگین کاربرد کود سبز منجر به افزایش ۳۷/۲ درصدی تعداد برگ نسبت به شاهد گردید (Adekiya et al., 2019). همچنین، قارچ میکوریزا علاوه‌بر توانایی جذب تدریجی عناصر غذایی، جذب آب و هدایت برگ را افزایش و با تنظیم فشار تورژسانس و با حفظ باز بودن روزنه‌ها، کارایی تثبیت کربن دی‌اکسید را افزایش (Wu et al., 2013) و از این طریق به نظر می‌رسد؛ می‌تواند به بهبود صفات رشدی از قبیل تعداد برگ منجر گردد. در پژوهشی روی مریم‌گلی قارچ *Septoglosum viscosum* منجر به افزایش ۲۲۸/۵ درصدی تعداد برگ نسبت به شاهد گردید (Tarraf et al., 2017). همچنین در پژوهشی با بررسی منابع کودی مختلف و زمان برداشت روی نعنای لعلی، کاربرد *Glomus mosseae* منجر به افزایش ۵۹/۹ درصدی تعداد برگ نسبت به شاهد گردید. علاوه‌براین، چین اول نسبت به چین دوم منجر به افزایش ۹۱/۲ درصدی تعداد برگ گردید (Ostadi et al., 2020).

### شاخص کلروفیل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منابع کودی مختلف و اثر چین بر شاخص کلروفیل در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل چین × منابع کودی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). برش‌دهی اثر متقابل منابع کودی × چین نشان داد، کاربرد منابع کودی مختلف در هر سطح از زمان برداشت تأثیر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل داشتند (جدول ۶).



جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر منابع کودی مختلف و زمان برداشت بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس مریم گلی

Table 3- Results of variance analysis (mean of squares) for the effect of different fertilizer sources and harvesting time on plant height, number of lateral branches, number of leaves, chlorophyll index, leaf dry weight, stem dry weight, dry matter yield, essential oil percentage and yield of *Salvia officinalis* L.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares									
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	عملکرد ماده خشک Dry matter yield	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield	
بلوک Block	2	0.71 <sup>ns</sup>	1.38 <sup>ns</sup>	45177.3 <sup>**</sup>	24.99 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>	0.61 <sup>ns</sup>	0.64 <sup>ns</sup>	0.11 <sup>ns</sup>	420.40 <sup>ns</sup>	
کود Fertilizer (F)	7	858.6 <sup>**</sup>	167.21 <sup>**</sup>	684725.33 <sup>**</sup>	287.70 <sup>**</sup>	6.83 <sup>**</sup>	2.47 <sup>*</sup>	14.60 <sup>**</sup>	3.22 <sup>**</sup>	31826.06 <sup>**</sup>	
خطای a Error a	14	9.96	2.24	6165.15	21.30	0.103	0.63	0.53	0.03	231.80	
چین Harvesting time (H)	1	3844.9 <sup>**</sup>	1821.6 <sup>**</sup>	803418.75 <sup>**</sup>	329.17 <sup>**</sup>	12.20 <sup>**</sup>	13.97 <sup>**</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	3.71 <sup>**</sup>	19764.08 <sup>**</sup>	
کود × چین F × H	7	44.03 <sup>**</sup>	16.70 <sup>**</sup>	7366.36 <sup>*</sup>	19.02 <sup>*</sup>	0.16 <sup>**</sup>	2.32 <sup>*</sup>	1.01 <sup>ns</sup>	0.24 <sup>**</sup>	2423.53 <sup>*</sup>	
خطای b Error b	16	7.3	2.7	2372.9	5.88	0.008	0.83	0.88	0.027	646.63	
ضریب تغییرات CV (%)		4.38	7.05	5.06	4.71	3.75	21.62	14.04	10.19	21.43	

<sup>\*\*</sup> ، <sup>ns</sup> و <sup>\*</sup>: Are significant at 1 and 5% levels of probability and non-significant, respectively.

جدول ۴- مقایسات میانگین ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، عملکرد ماده خشک، درصد و عملکرد اسانس مریم گلی تحت تأثیر منابع کودی مختلف

منابع مختلف کودی Different fertilizer sources	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن خشک برگ Leaf dry weight (ton.ha <sup>-1</sup> )	وزن خشک ساقه Stem dry weight (ton.ha <sup>-1</sup> )	وزن خشک ماده خشک Dry matter yield (ton.ha <sup>-1</sup> )	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.ha <sup>-1</sup> )
عدم مصرف کود No fertilizer	39.98	14.95	406.00	42.03	0.88	2.78	3.70	0.68	24.78
کشت خالص جو Barley monoculture	51.033	17.70	576.67	46.33	1.26	4.53	5.80	0.96	55.99
کشت خالص ماشک Vetch monoculture	64.76	25.25	1136.00	50.26	2.86	4.23	7.10	1.66	117.96
۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو 75% Vetch+ 25% barley	69.83	26.50	1210.67	53.63	3.13	4.45	7.71	2.19	166.82
۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو 50% Vetch+ 50% barley	75.48	29.55	1305.00	63.10	3.75	4.60	8.21	2.63	215.55
۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو 25% Vetch+ 75% barley	60.06	22.58	901.33	48.10	2.16	3.93	6.11	1.21	74.52
قارچ میکوریزا آرباسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	73.48	29.36	1302.67	59.26	3.66	4.85	8.51	2.48	214.42
زرمی کمپوست Vermicompost	58.65	21.38	853.67	48.88	1.96	4.43	6.40	1.20	79.14
LSD <sub>0.05</sub>	3.908	1.853	97.22	5.715	0.398	0.987	0.902	0.243	18.85

جدول ۵- مقایسات میانگین ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، درصد و عملکرد اسانس مریم گلی تحت تأثیر زمان برداشت

Table 5- Means comparisons of plant height, number of lateral branches, number of leaves, Chlorophyll Index, leaf dry weight, stem dry weight, essential oil percentage and yield of *Salvia officinalis* L. influenced by harvesting time

زمان برداشت Harvesting time	Plant height	Number of lateral branches	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	شاخص کلروفیل Leaf dry weight (ton.ha <sup>-1</sup> )	وزن خشک ساقه Stem dry weight (ton.ha <sup>-1</sup> )	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.ha <sup>-1</sup> )
چین اول First harvesting	70.61	29.57	1090.88	54.07	2.96	4.76	1.90	1.90	138.94
چین دوم Second harvesting	52.71	17.25	832.13	48.83	1.95	3.68	1.35	1.35	98.36
LSD <sub>0.05</sub>	1.653	1.01	29.81	1.484	0.056	0.559	0.101	0.101	15.56

جدول ۶- برش دهی اثر متقابل (میانگین مربعات) منابع کودی مختلف در هر سطح زمان برداشت در ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه، درصد و عملکرد اسانس مریم گلی

Table 6- Interaction effect slicing (mean of squares) of different fertilizer sources at each level of harvesting time in plant height, number of lateral branches, number of leaves, chlorophyll Index, leaf dry weight, stem dry weight, essential oil percentage and yield of *Salvia officinalis* L.

زمان برداشت Harvesting time	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares							عملکرد اسانس Essential oil yield
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن خشک ساقه Stem dry weight	درصد اسانس Essential oil (%)	
چین اول First harvesting	7	610.53**	131.49**	411741**	180.31**	4.34**	1.96 <sup>ns</sup>	2.47**	24308.0**
چین دوم Second harvesting	7	292.13**	52.43**	280351**	113.74**	2.67**	1.30 <sup>ns</sup>	1.00**	9941.3**

\*\* \* and <sup>ns</sup>: Are significant at 1 and 5% levels of probability and non-significant, respectively.  
\* و <sup>ns</sup>: به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی دار.

جدول ۷- مقایسات میانگین اثر متقابل منابع کودی مختلف بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، شاخص کلروفیل، وزن خشک برگ، درصد و عملکرد اسانس مریم گلی در هر سطح از زمان برداشت

تیمارها Treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد برگ Number of leaves	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن خشک برگ Leaf dry weight (ton.ha <sup>-1</sup> )	درصد اسانس Essential oil (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.ha <sup>-1</sup> )
عدم مصرف کود No fertilizer	44.03	18.86	472.67	45.53	1.10	0.80	26.48
کشت خالص جو Barley monoculture	58.13	21.86	688.33	49.66	1.70	1.003	61.93
کشت خالص ماشک Vetch monoculture	76.26	33.43	1271.0	53.76	3.36	1.86	131.70
۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو 75% Vetch + 25% barley	78.83	34.90	1365.67	56.96	3.66	2.57	186.58
۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو 50% Vetch + 50% barley	84.66	36.56	1455.0	64.26	4.26	3.17	253.96
۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو 25% Vetch + 75% barley	69.90	28.86	1018.0	50.10	2.66	1.26	71.17
قارچ میکوریزا آرباسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	86.40	35.26	1486.0	60.40	4.50	2.99	269.89
ورمی کمپوست Vermicompost	66.66	26.80	970.33	51.86	2.46	1.60	109.82
LSD <sub>0.05</sub>	4.135	3.36	112.7	4.56	0.41	0.368	36.15
عدم مصرف کود No fertilizer	35.93	11.03	339.33	38.53	0.66	0.56	23.09
کشت خالص جو Barley monoculture	43.93	13.53	465.0	43.00	0.83	0.91	50.06
کشت خالص ماشک Vetch monoculture	53.26	17.06	1001.0	46.76	2.36	1.46	104.23
۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو 75% Vetch + 25% barley	60.83	18.10	1055.67	50.30	2.60	1.81	147.08
۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو 50% Vetch + 50% barley	66.30	22.53	1155.0	61.93	3.23	2.10	177.14
۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو 25% Vetch + 75% barley	50.23	16.30	784.67	46.10	1.66	1.17	77.87
قارچ میکوریزا آرباسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	60.56	23.46	1119.33	58.13	2.83	1.97	158.96
ورمی کمپوست Vermicompost	50.63	15.96	737.0	45.90	1.46	0.80	48.46
LSD <sub>0.05</sub>	5.89	2.245	108.2	7.69	0.412	0.221	20.63

Table 7- Means comparisons of interaction effects of different fertilizer resources on plant height, number of lateral branches, number of leaves, chlorophyll index, leaf dry weight, essential oil percentage and yield of *Salvia officinalis* L. at each level of harvesting time

چین دوم  
Second  
harvesting

کودی × چین نشان داد، منابع کودی مختلف تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک برگ در هر سطح از زمان برداشت داشتند. اما برش‌دهی اثر متقابل بیانگر این بود که کاربرد منابع کودی مختلف تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ساقه در هر سطح از زمان برداشت نداشتند (جدول ۶). در هر دو چین بیشترین وزن خشک برگ با کاربرد تیمارهای میکوریزا و ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد (جدول ۷). وزن خشک برگ مریم‌گلی با کاربرد قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌ترتیب ۳۱۵/۹ و ۳۲۶/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۴). علاوه‌براین، وزن خشک برگ و ساقه در چین اول به‌ترتیب ۵۱/۸ و ۲۹/۳ درصد نسبت به چین دوم افزایش پیدا کردند (جدول ۵).

علاوه‌براین، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد ماده خشک مریم‌گلی فقط تحت تأثیر معنی‌دار تیمارهای کودی مختلف در سطح احتمال یک درصد واقع شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد ماده خشک مریم‌گلی (۸/۵۱ تن در هکتار) با کاربرد قارچ میکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو نداشت (جدول ۴). از آنجایی که بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ و شاخص کلروفیل با کاربرد ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و قارچ میکوریزا حاصل شد، بنابراین به تبع آن وزن خشک برگ، ساقه و عملکرد ماده خشک افزایش پیدا کرد. در پژوهشی با کاربرد کود سبز لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L. Walp.) روی نعنای وحشی گزارش شد که کود سبز منجر به افزایش ۲۰/۶ درصدی عملکرد تر نسبت به شاهد گردید (Singh et al., 2010). در مطالعه دیگری هم با ارزیابی اثر کود دامی و کودهای سبز شنبليله (*Trigonell* *Trifolium* *afoenum-graceum* L.)، شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum* L.) و ماشک گل‌خوشه‌ای بر کمیت و کیفیت کنجد (*Sesamum indicum* L.) گزارش شد که بیشترین عملکرد وزن خشک کل با کاربرد کود سبز شنبليله به‌دست آمد که منجر به افزایش ۳۴/۳ درصد عملکرد نسبت به شاهد گردید (Jalilian et al., 2021).

#### درصد و عملکرد اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که درصد و عملکرد اسانس تحت تأثیر اثرات منابع کودی، چین و اثر متقابل منابع کودی

در هر دو چین، بیشترین شاخص کلروفیل در تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کاربرد قارچ میکوریزا نداشت (جدول ۷). کاربرد ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌عنوان کود سبز منجر به افزایش ۵۰/۱ درصدی شاخص کلروفیل مریم‌گلی نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). علاوه‌براین، شاخص کلروفیل در چین اول ۱۰/۷ درصد بیشتر از چین دوم بود (جدول ۵). با توجه به اینکه هر مولکول کلروفیل دارای چهار اتم نیتروژن می‌باشد و با توجه به همبستگی مثبت کلروفیل با نیتروژن در دسترس گیاه (Varma et al., 2018) می‌توان بیان نمود با افزایش نیتروژن در دسترس از طریق کود سبز (جدول ۱۵)، شاخص کلروفیل گیاه افزایش پیدا کرده است. کاربرد کشت مخلوط ماشک پانونیکا (*Vicia panunica* L.) با جو به‌عنوان کود سبز باعث افزایش نیتروژن برگ و به دنبال آن افزایش شاخص کلروفیل نخود (*Cicer arietinum* L.) گردید (Ghalavand et al., 2009). همچنین، در پژوهشی با بررسی کودهای سبز شبدر قرمز (*Trifolium pretense* cv. Nemaro) و ماشک (*Vicia sativa* cv. Alexandros) بر تنباکو (*Nicotiana tabaccum*) گزارش شد که کاربرد این کودهای سبز به‌ترتیب به افزایش ۱۳۳/۶ و ۹۱/۱ درصدی شاخص کلروفیل نسبت به شاهد منجر شدند (Bilalis et al., 2009). علاوه‌براین، اثر قارچ میکوریزا بر افزایش شاخص کلروفیل، می‌تواند در ارتباط با بهبود جذب نیتروژن و افزایش نیتروژن برگ باشد، که سبب فراهمی پیش-سازهای کلروفیل شده و از سوی دیگر، باعث افزایش پروتئین و اسیدهای آمینه به‌عنوان پیش‌سازهای اصلی ساختمان و فعالیت کلروپلاست (Supratim et al., 2018) می‌گردد. همچنین با توجه به اینکه بیان شده که قارچ‌های میکوریزا به افزایش جذب منیزیم در گیاه کمک می‌کند (Bijhani et al., 2015) پس از این طریق نیز می‌تواند سنتز کلروفیل را افزایش دهد. نتایج پژوهش ما با نتایج سلواراج و همکاران (Selvaraj et al., 2009) در روی گیاه *Pogostemon patchouli* مطابقت داشت.

#### وزن خشک برگ، ساقه و عملکرد ماده خشک

نتایج واریانس (جدول ۳) نشان داد که وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه تحت تأثیر معنی‌دار اثر منابع کودی، چین و اثر متقابل منابع کودی × چین قرار گرفتند. نتایج برش‌دهی اثر متقابل منابع

× چین قرار گرفتند (جدول ۳). بر اساس نتایج برش‌دهی اثر متقابل، کاربرد منابع کودی مختلف در هر دو چین تأثیر معنی‌داری بر درصد و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۶). بیشترین درصد و عملکرد اسانس در هر دو چین در تیمارهای ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و کاربرد قارچ میکوریزا حاصل شد (جدول ۷). همچنین در چین اول درصد و عملکرد اسانس به‌ترتیب ۴۰/۴ و ۴۱/۳ درصد نسبت به چین دوم بیشتر بود (جدول ۵). اسانس‌ها ترکیب‌های ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آن‌ها (ایزوپرنوئیدها) مانند ایزوپنتنیل پیروفسفات و دی‌متیل‌آیل پیروفسفات، نیاز به ترکیباتی از قبیل ATP و NADPH دارند. با توجه به اینکه عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های نام‌برده ضروری می‌باشد (Ormeno & Fernandez, 2012)، لذا کود سبز احتمالاً با آزادسازی تدریجی نیتروژن به‌طور پیوسته نیتروژن مورد نیاز گیاه را تأمین و از این طریق با افزایش کلروفیل، فعالیت آنزیم روبیسکو و به دنبال آن فعالیت‌های فتوسنتزی و میزان اسانس (Meena et al., 2018) مریم‌گلی افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه در این پژوهش بیشترین میزان نیتروژن و فسفر خاک با کاربرد کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو حاصل شد (جدول ۱۵)، بنابراین افزایش درصد و عملکرد اسانس مریم‌گلی در این تیمار قابل توجیه می‌باشد. در پژوهشی با کاربرد یونجه و چاودار به‌عنوان کود سبز، افزایش ۹۳/۳ و ۱۳۵/۱ درصدی اسانس و عملکرد اسانس نعنای فلفلی مشاهده شد (Bidgoli & Mahdavi, 2018). همچنین بهبود اسانس مریم‌گلی با کاربرد قارچ میکوریزا به افزایش فعالیت فتوسنتزی و غدد تشکیل‌دهنده اسانس بر اثر افزایش سطح جذب و دسترسی به عناصر غذایی نسبت داده می‌شود. به نظر می‌رسد، همزیستی ریشه مریم‌گلی با قارچ میکوریزا از طریق فراهمی عناصر اصلی سازنده اسانس از جمله نیتروژن، فسفر (جدول ۱۵) (-Sharifi Rad et al., 2017) موجب افزایش درصد و عملکرد اسانس مریم‌گلی شده است. رابطه مستقیم بین قارچ میکوریزا و تغییرات کمی و کیفی در تولید اسانس بسیاری از گیاهان دارویی و معطر وجود دارد. به‌طوری‌که، تغییرات کمی و کیفی اسانس در ریحان و نعنای فلفلی با کاربرد قارچ میکوریزا گزارش شده است (Mucciarelli et al., 2006; Copetta et al., 2006). قارچ‌های میکوریزا باعث ایجاد تغییراتی در غلظت فیتوهورمون‌های سیتوکینین، ژبرلیک اسید و جاسمونیک اسید می‌شود که این فیتوهورمون‌ها، تشکیل غده‌های

ترشح‌کننده اسانس را بیشتر نموده و در نتیجه، سبب تولید بیشتر متابولیت‌های ثانویه می‌شوند (Kapoor et al., 2017). کمتر بودن میزان اسانس در چین دوم نسبت به چین اول را می‌توان به کوتاه بودن طول روز در چین دوم نسبت داد که تأثیر منفی بر غدد تشکیل‌دهنده اسانس و میزان اسانس تولید شده خواهد داشت (Aflatuni et al., 2006). تولید اسانس و به تبع آن تولید ترکیبات ترپنی در گیاهان دارویی تحت تأثیر منفی دماهای پایین و بارندگی قرار می‌گیرد. به طوری‌که بارندگی و کاهش دما در طی دوره رشد گیاه دارویی اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia* L.) منجر به کاهش اسانس شد که دلیل آن را به تخریب غدد ترشحی اسانس و کاهش اندازه آن‌ها نسبت دادند (Hassiotis et al., 2014). همچنین طبق نظر ورما و همکاران (Verma et al., 2015) فصل رشد و اندام گیاه به‌عنوان دو فاکتور اساسی تعیین‌کننده درصد و ترکیبات اسانس مریم‌گلی محسوب می‌شوند. به‌طوری‌که، بیشترین اسانس مریم‌گلی را به‌ترتیب در تابستان (۰/۴۳ درصد)، فصول بارانی (۰/۳۱ درصد)، بهار (۰/۲۵ درصد) و پاییز (۰/۲۲ درصد) مشاهده کردند.

### ترکیبات اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس ترکیبات اسانس مریم‌گلی حاکی از آن بود که اثر منابع کودی مختلف بر ترکیبات اسانس مریم‌گلی به استثنای ای‌کاریوفیلین معنی‌دار بود. ولی اثر چین فقط بر ترکیبات ۸-سینئول، کامفور، ویریدیفلورول و مانول معنی‌دار بود. علاوه‌براین، اکثر ترکیبات اسانس به‌استثنای ترنس‌توجن تحت تأثیر ترکیب تیماری منابع کودی و چین قرار گرفتند (جدول ۸). نتایج برش‌دهی اثر متقابل نشان داد که منابع کودی مختلف در هر سطح از زمان برداشت تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر ترکیب سیس-توجن داشتند (جدول ۱۱). بیشترین میزان سیس-توجن در هر دو چین با کاربرد تیمار کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو حاصل شد (جدول ۱۲). به‌طوری‌که با کاربرد کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو، سیس-توجن ۱۴/۲ درصد نسبت به عدم مصرف هر گونه کود آلی و زیستی افزایش پیدا کرد (جدول ۹). همچنین بر اساس نتایج حاصل از برش‌دهی، اثر سطوح مختلف منابع کودی در هر دو چین بر ترکیب ۸-سینئول در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری شد (جدول ۱۱). بیشترین میزان ۸-سینئول در چین اول و دوم به‌ترتیب در تیمارهای قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد

کاربوفیلین در تیمارهای ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو و قارچ میکوریزا به دست آمد. ولی در چین دوم بیشترین میزان این ترکیب به تیمار کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو تعلق داشت (جدول ۱۲).

علاوه بر این، بیشترین میزان ترنس-توجن در ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به دست آمد که تفاوت آن فقط با کاربرد قارچ میکوریزا و ورمی کمپوست معنی دار بود (جدول ۹).

ماشک + ۵۰ درصد جو به دست آمد (جدول ۱۲). علاوه بر این، نتایج برش دهی نشان داد که منابع کودی در هر سطح از زمان برداشت تأثیر معنی داری بر ترکیب کامفور داشتند (جدول ۱۱). در چین اول بیشترین میزان کامفور (۲۰/۳۹ درصد) در تیمار کود سبز ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو حاصل شد. اما در چین دوم بیشترین میزان کامفور به تیمار کود سبز ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو تعلق داشت (جدول ۱۲).

بر اساس نتایج برش دهی منابع کودی × چین، کاربرد تیمارهای کودی در هر سطح از زمان برداشت تأثیر معنی داری بر ترکیب ای-کاربوفیلین داشتند (جدول ۱۱). در چین اول بیشترین میزان ای-

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر منابع کودی مختلف و زمان برداشت بر ترکیبات اسانس (۱ و ۸ سینئول، سیس توجن، ترنس توجن، کامفور، ای کاربوفیلین، آلفا هیومولین، ویریدیفلورول و مانول) مریم کلی

Table 8- Results of variance analysis (mean of squares) for the effect of different fertilizer sources and harvesting time on essential oil component (1,8-Cineole, *cis*-Thujone, *trans*-Thujone, Camphor, (*E*)-Caryophyllene,  $\alpha$ -Humulene, Viridiflorol and Manool) of *Salvia officinalis* L.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares							
		۱ و ۸ سینئول 1,8-Cineole	سیس توجن <i>cis</i> -Thujone	ترنس توجن <i>trans</i> -Thujone	کامفور Camphor	ای کاربوفیلین ( <i>E</i> )-Caryophyllene	آلفا هیومولین $\alpha$ -Humulene	ویریدیفلورول Viridiflorol	مانول Manool
بلوک Block	2	24.68**	339.15**	4.66**	10.08*	5.31**	1.05 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	5.50*
کود Fertilizer (F)	7	5.97 *	31.20**	1.79 *	12.81**	1.11 <sup>ns</sup>	6.58 **	2.46 **	9.72 **
خطای a Error a	14	1.98	5.78	0.45	2.06	0.58	1.15	0.49	1.11
چین Harvesting time (H)	1	7.72**	15.98 <sup>ns</sup>	2.75 <sup>ns</sup>	37.80 *	0.31 <sup>ns</sup>	0.49 <sup>ns</sup>	1.45 **	4.47 *
کود × چین F × H	7	2.84**	11.38 *	1.49 <sup>ns</sup>	27.17**	3.82 **	1.17 **	1.53 **	2.28 *
خطای b Error b	16	0.64	4.08	1.12	5.39	0.26	0.19	0.12	0.59
ضریب تغییرات CV (%)		7.41	6.8	20.81	15.83	12.74	8.87	7.33	29.84

\*, \*\* و <sup>ns</sup>: به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی دار.

\*\* , \* and <sup>ns</sup>: Are significant at 1 and 5% levels of probability and non-significant, respectively.

داشتند (جدول ۱۱). بیشترین میزان آلفا هیومولین در هر دو چین در تیمار کود سبز جو حاصل شد (جدول ۱۲). به طوری که با کاربرد کود سبز جو، ترکیب آلفا هیومولین ۵۱/۸ درصد نسبت به عدم مصرف هر

همچنین، برش دهی اثر متقابل مشخص کرد که منابع کودی مختلف در هر سطح از زمان برداشت تأثیر معنی داری بر ترکیب های آلفا هیومولین، ویریدیفلورول و مانول در سطح احتمال یک درصد

موجب افزایش بعضی از ترکیبات اسانس و به تبع آن درصد اسانس گردد. در پژوهشی با بررسی تراکم کاشت و زمان برداشت (فروردین، خرداد و مهر) روی مریم‌گلی گزارش شد که بیشترین میزان سیس-توجن در برداشت مهر به‌دست آمد و علت آن را این‌گونه بیان کرده‌اند که دماهای پایین و طول روز کوتاه‌تر باعث تحریک و تجمع بیشتر سیس-توجن شد (Piccaglia et al., 1997). نتایج پژوهش با نتایج وو و همکاران (Wu et al., 2021) در گونه‌ای از مریم‌گلی و سینگ و همکاران (Singh et al., 2010) در نعنای وحشی مطابقت داشت. از آنجایی که ترکیبات اصلی اسانس مریم‌گلی را مونوترپن‌های اکسیژنه (۸ سینئول، سیس-توجن، ترنس-توجن و کامفور) تشکیل داده و بیشترین میزان این ترکیبات در تیمارهای کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو حاصل شدند. لذا به نظر می‌رسد، این کودهای سبز با آزادسازی بیشتر نیتروژن و فسفر (جدول ۱۵) به بهبود کیفیت اسانس مریم‌گلی منجر گردند (Santos Marques et al., 2018).

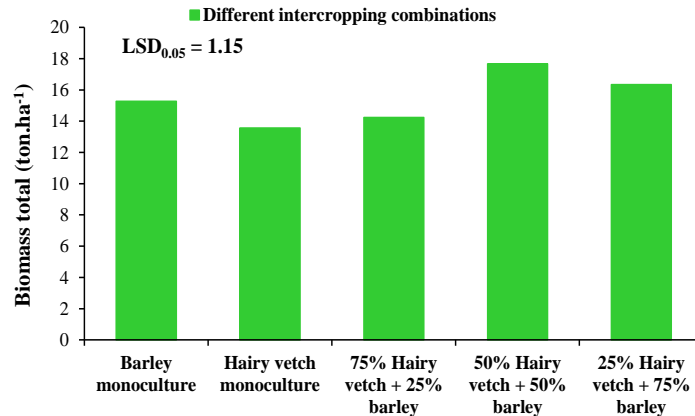
گونه کود آلی و زیستی افزایش پیدا کرد (جدول ۹). علاوه‌براین، در چین اول بیشترین میزان ترکیب ویریدیفلورول با کاربرد قارچ میکوریزا به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو و کشت خالص ماشک نداشت (جدول ۱۲). همچنین در هر دو چین، بیشترین میزان مانول در تیمار کود سبز ماشک به‌دست آمد (جدول ۱۲). به‌طوری که با کاربرد کود سبز ماشک، مانول ۲۷/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۹). به‌طور کلی، ترکیبات اسانس تحت تأثیر فاکتورهای محیطی مثل طول روز، دما، روشنایی و فاکتورهای زراعی مثل تیمارهای غذایی، آبی و غیره قرار می‌گیرند که می‌توانند تغییراتی را در نوع و مقدار ترکیبات اسانس به‌وجود آورند (Verma et al., 2015; Zheljzakov et al., 2009). علاوه‌براین، اگرچه متابولیت‌های ثانویه توسط ژنوتیپ‌های گیاهی کنترل می‌شوند، اما بیوستز آن‌ها به‌شدت توسط عوامل محیطی کنترل می‌شوند (Morshedloo et al., 2017). به‌طوری که قارچ میکوریزا از طریق جذب کارآمد فسفر و نیتروژن توسط ریشه گیاه میزبان، می‌تواند

جدول ۹- مقایسات میانگین ترکیبات اسانس (۱ و ۸ سینئول، سیس توجن، ترنس توجن، کامفور، آلفا هیومولین، ویریدیفلورول و مانول) مریم گلی تحت تأثیر منابع کودی مختلف

Table 9- Means comparisons of essential oil component (1,8-Cineole, *cis*-Thujone, *trans*-Thujone, Camphor,  $\alpha$ -Humulene, Viridiflorol and Manool) of *Salvia officinalis* L. influenced by different fertilizer resources

منابع مختلف کودی Different fertilizer sources	۱ و ۸ سینئول 1,8-Cineole	سیس توجن <i>cis</i> -Thujone	ترنس توجن <i>trans</i> - Thujone	کامفور Camphor	آلفا هیومولین $\alpha$ -Humulene	ویریدیفلورول Viridiflorol	مانول Manool
عدم مصرف کود No fertilizer	10.23	27.54	5.00	15.40	4.44	4.21	3.65
کشت خالص جو Barley monoculture	11.67	30.78	5.06	14.35	6.74	4.01	1.39
کشت خالص ماشک Vetch monoculture	11.36	27.07	5.80	13.64	4.69	5.25	4.66
۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو 75% Vetch+ 25% barley	9.50	29.64	5.23	16.57	5.89	5.25	1.63
۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو 50% Vetch+ 50% barley	12.23	33.58	5.71	13.68	3.78	4.84	0.84
۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو 25% Vetch+ 75% barley	9.54	27.84	5.12	16.86	5.22	5.70	2.33
قارچ میکوریزا آرباسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	11.32	31.90	4.07	12.85	5.48	5.60	3.04
ورمی کمپوست Vermicompost	10.72	29.17	4.74	13.94	3.71	4.41	3.07
LSD <sub>0.05</sub>	1.742	2.979	0.833	1.778	1.33	0.872	1.305





شکل ۲- مقایسه میانگین اثر ترکیب‌های کشت مخلوط بر مجموع زیست توده برگشتی به خاک

Fig. 2- Means comparison effect of intercropping combinations on biomass total incorporated into the soil

جدول ۱۰- مقایسات میانگین ترکیبات اسانس (۱ و ۸ سینئول، کامفور، ویریدیفلورول و مانول) مریم گلی تحت تأثیر زمان برداشت

Table 10- Means comparisons of essential oil components (1,8-Cineole, Camphor, Viridiflorol, and Manool) of *Salvia officinalis* L. influenced by harvesting time

زمان برداشت Harvesting time	۱ و ۸ سینئول 1,8-Cineole	کامفور Camphor	ویریدیفلورول Viridiflorol	مانول Manool
چین اول First harvesting	10.42	15.55	4.73	2.27
چین دوم Second harvesting	11.22	13.77	5.08	2.88
LSD 0.05	0.491	1.421	0.220	0.470

جدول ۱۱- برش دهی اثر متقابل (میانگین مربعات) منابع کودی مختلف در هر سطح از زمان برداشت در ترکیبات اسانس (۱ و ۸ سینئول، سیس

توجن، کامفور ای کاریوفیلین، آلفا هیومولین، ویریدیفلورول و مانول) مریم گلی

Table 11- Interaction effect slicing (mean of squares) of different fertilizer sources at each level of harvesting time in essential oil component (1,8-Cineole, *cis*-Thujone, Camphor, (*E*)-Caryophyllene,  $\alpha$ -Humulene, Viridiflorol and Manool) of *Salvia officinalis* L.

زمان برداشت Harvesting time	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares						
		۱ و ۸ سینئول 1,8-Cineole	سیس توجن <i>cis</i> -Thujone	کامفور Camphor	ای کاریوفیلین ( <i>E</i> )-Caryophyllene	آلفا هیومولین $\alpha$ -Humulene	ویریدیفلورول Viridiflorol	مانول Manool
چین اول First harvesting	7	5.31**	30.21**	30.95**	2.57**	5.28**	2.81**	4.19**
چین دوم Second harvesting	7	3.51**	12.38*	9.03*	2.36**	2.48**	1.19**	7.82**

\*\*، \* و ns: به ترتیب معنی دار در سطح یک و پنج درصد و عدم تفاوت معنی دار.

\*\*، \* and ns: Are significant at 1 and 5% levels of probability and non-significant, respectively.

جدول ۱۲- مقایسات میانگین اثر متقابل منابع کودی مختلف بر ترکیبات اسانس (۸۱ سینئول، سیس توجن، کامفور، ای‌کارپوفیلین، آلفا هیومولین، ویریدیفلورول و مانول) مریم‌گلی در هر سطح از زمان برداشت

Table 12- Means comparisons of interaction effects of different fertilizer resources on essential oil component (1,8-Cineole, cis-Thujone, Camphor, (E)-Caryophyllene,  $\alpha$ -Humulene, Viridiflorol, and Manool) of *Salvia officinalis* L at each level of harvesting time

تیمارها Treatments	۱,۸-سینئول 1,8-Cineole	سیس توجن cis-Thujone	کامفور Camphor	ای‌کارپوفیلین (E)-Caryophyllene	آلفا هیومولین $\alpha$ -Humulene	ویریدیفلورول Viridiflorol	مانول Manool
عدم مصرف کود No fertilizer	8.80	27.38	18.22	4.1	4.26	3.08	2.80
کشت خالص جو Barley monoculture	11.4	31.4	13.4	3.45	7.20	4.36	1.78
کشت خالص ماشک Vetch monoculture	10.8	25.75	15.9	2.21	4.98	5.4	4.31
۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو 75% vetch+ 25% barley	9.39	28.86	17.4	4.55	5.75	4.8	1.87
۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو 50% vetch+ 50% barley	11.72	33.35	15.6	3.27	2.76	4.59	0.55
۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو 25% vetch+ 75% barley	8.99	24.27	20.39	4.97	5.1	5.80	1.71
قارچ میکوریزا آرباسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	12.31	32.12	10.20	4.86	5.24	5.94	1.71
ورمی‌کمپوست Vermicompost	9.94	29.75	13.3	4.08	3.82	3.91	3.43
LSD 0.05	1.88	4.2	4.04	1.23	1.17	1.01	1.33
عدم مصرف کود No fertilizer	11.7	27.70	12.6	4.27	4.61	5.3	4.49
کشت خالص جو Barley monoculture	11.9	30.1	15.3	4.62	6.28	3.66	1.00
کشت خالص ماشک Vetch monoculture	11.95	28.39	11.38	4.39	4.4	5.14	5.01
۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو 75% vetch+ 25% barley	9.62	30.4	15.7	3.60	6.03	5.69	1.39
۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو 50% vetch+ 50% barley	12.74	33.81	11.79	5.17	4.8	5.07	1.12
۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو 25% vetch+ 75% barley	10.1	31.4	13.3	4.44	5.3	5.59	2.95
قارچ میکوریزا آرباسکولار Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	10.3	31.7	15.5	2.20	5.7	5.25	4.37
ورمی‌کمپوست Vermicompost	11.5	28.6	14.6	4.06	3.60	4.9	2.71
LSD 0.05	1.95	2.54	2.98	0.86	1.67	0.968	1.61

جدول ۱۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر ترکیب‌های کشت مخلوط بر مجموع زیست توده برگشتی به خاک  
 Table 13- Results of variance analysis (mean of squares) for the effect of intercropping combinations on biomass total of incorporated into soil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات
		Mean of squares
بلوک Block	2	2.03
ترکیب‌های کشت مخلوط Intercropping combinations	4	8.06 **
خطا Error	8	0.373
ضریب تغییرات CV (%)		3.96

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

\*\* : Significant at 1 % levels of probability.

جدول ۱۴ - نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر منابع کودی مختلف بر خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش پس از اعمال تیمارها  
 Table 14- Results of variance analysis (mean of squares) for the effect of different fertilizer sources on soil chemical properties of the experimental site after application of treatments

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات				
		کربن آلی Organic C (%)	شاخص واکنش pH	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg <sup>-1</sup> )	نیتروژن کل Total N (%)	مقدار پتاسیم تبادل‌پذیر Amount of exchangeable K (mg.kg <sup>-1</sup> )
بلوک Block	2	0.001	0.096	0.006	0.0004	544.50
ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط Different intercropping ratio	7	0.071**	0.453**	146.46**	0.0048**	41300.02**
خطا Error	14	0.002	0.020	2.545	0.0003	885.83
ضریب تغییرات CV (%)		4.59	1.89	7.51	13.06	4.68

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

\*\* : Are Significant at 1 % levels of probability.

#### برخی خصوصیات خاک پس از برگرداندن کود سبز

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، کربن آلی، شاخص واکنش، فسفر قابل جذب، نیتروژن کل و مقدار پتاسیم تبادل‌پذیر خاک تحت تأثیر معنی‌دار منابع کودی مختلف در سطح احتمال یک درصد قرار گرفتند (جدول ۱۴). بیشترین کربن آلی خاک در تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با کشت خالص ماشک و ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو نداشت (جدول ۱۵). علاوه‌براین، بیشترین شاخص واکنش خاک در تیمار ورمی کمپوست حاصل شد. بیشترین (۳۴/۲) میلی‌گرم کیلوگرم و کمترین (۱۰/۳) میلی‌گرم در کیلوگرم) فسفر قابل جذب نیز به‌ترتیب در

تیمارهای ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و عدم مصرف کود به‌دست آمد. همچنین، بیشترین نیتروژن کل و پتاسیم تبادل‌پذیر در تیمار ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو مشاهده شد (جدول ۱۵). با برگردان کود سبز به خاک فرآیندهای میکروبیولوژیکی و آزادسازی عناصر غذایی در خاک افزایش می‌یابد که از این طریق منجر به بهبود خصوصیات خاک از جمله ماده آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب می‌گردد. نیتروژن تثبیت شده توسط لگوم‌ها نیتروژن خاک را افزایش داده و از این طریق، با افزایش فعالیت میکروبی، باعث تسریع در تجزیه بقایای گیاهی می‌گردد (Meena et Amede et al., 2021 ; al., 2018). در پژوهشی با ارزیابی اثرات کودهای سبز ماشک

و *Yujiangdaye*) گون چینی (*Astragalus sinicus L.*)، ماشک گل خوشه‌ای، ماشک معمولی و چاودار به‌عنوان کود سبز گزارش شد که همه گونه‌های لگوم منجر به دسترسی بیشتر فسفر و پتاسیم در خاک نسبت به چاودار شدند (Solangi et al., 2019).

معمولی (*Vicia sativa L.*)، لوبین (*Lupinus polyphyllus L.*) و *Lablab purpureus L.* روی خصوصیات خاک گزارش شد که کود سبز منجر به بهبود کربن آلی خاک، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب نسبت به شاهد گردید (Amede et al., 2021). همچنین در پژوهشی دیگر با ارزیابی شش واریته (Minzi No.6, Ningbodaqiao, Wanzi No.1, Xiangzi No.1, Yijiangzi

جدول ۱۵- مقایسات میانگین اثر منابع مختلف کودی بر خصوصیات شیمیایی خاک بعد از اعمال تیمارها

Table 15- Mean comparisons for the effect of different fertilizer sources on soil chemical properties after application of treatments

منابع کودی مختلف Different fertilizer sources	کربن آلی Organic C (%)	شاخص واکنش pH	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg <sup>-1</sup> )	نیتروژن کل Total N (%)	مقدار پتاسیم تبادلی Amount of exchangeable K (mg.kg <sup>-1</sup> )
عدم مصرف کود No fertilizer	0.48	7.2	10.3	0.07	505
کشت خالص جو Barley monoculture	0.88	7.07	15.1	0.08	509
کشت خالص ماشک Vetch monoculture	0.92	7.48	21.5	0.12	633
۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد جو 75% Vetch+ 25% barley	0.94	7.51	23.4	0.14	707
۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو 50% Vetch+ 50% barley	0.97	7.97	34.2	0.19	853
۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد جو 25% Vetch+ 75% barley	0.82	7.24	19.8	0.11	549
قارچ میکوریزا Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF)	0.90	7.14	24.3	0.17	694
ورمی کمپوست Vermicompost	0.85	8.05	21.3	0.12	635
LSD <sub>0.05</sub>	0.07	0.25	2.79	0.03	52.12

خاک دو گیاه تحت تأثیر معنی‌دار ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط به‌عنوان کود سبز قرار گرفت (جدول ۱۳). بیشترین (۱۷/۷) تن در هکتار) و کمترین (۱۳/۶ تن در هکتار) زیست‌توده برگشتی به خاک به‌ترتیب در کود سبز ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو و کشت خالص ماشک به‌دست آمد (شکل ۲).

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد بیشترین میزان مجموع زیست‌توده برگشتی به خاک در ترکیب ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد جو به‌دست آمد. علاوه‌براین، کرت‌های تیمار شده با کود سبز و قارچ میکوریزا با تعدیل خصوصیات شیمیایی خاک منجر به بهبود صفات موفولوژیک و کمیت و کیفیت اسانس مریم‌گلی گردید. با توجه به شاخص‌های کمی و کیفی مورد مطالعه می‌توان تیمارهای ۵۰ درصد

در پژوهشی با بررسی تأثیر کودهای سبز کنف آفتابی (*Crotalaria juncea L.*)، لوبیا مخملی (*Mucuna aterrima Holland*)، لوبیا چشم‌بلبلی و گیاهان خودرو روی کمیت و کیفیت اسانس به‌لیمو (*Lippia alba Mill.*) گزارش شد، کاربرد کود سبز لوبیا مخملی منجر به افزایش ۱/۳، ۴/۲ و ۶/۶ درصدی ترکیبات بتا-میرسین، لیمونن و کارون نسبت به شاهد گردید (Santos Marques et al., 2018). بیشتر بودن میزان ترکیبات غالب اسانس در چین دوم ممکن است به‌دلیل در دسترس قرار گرفتن عناصر غذایی بیشتر کود سبز و بهبود شرایط فیزیکی و بیولوژیکی خاک باشد، زیرا اثرات کودهای سبز در درازمدت قابل مشاهده می‌باشد (Silva et al., 2007).

### مجموع زیست‌توده دو گیاه به‌عنوان کود سبز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مجموع زیست‌توده برگشتی به

ماشک + ۵۰ درصد جو و قارچ میکوریزا را به عنوان یک استراتژی کارآمد و دوستدار محیط زیست برای کشت مریم گلی پیشنهاد نمود.

## References

1. Adams, R.P. (2007). *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*. Allured Publishing Corporation: Carol Stream, IL, USA. 804 pp.
2. Adekiya, A.O., Agbede, T.M., Aboyeji, C.M., Dunsin, O., & Ugbe, J.O. (2019). Green manures and NPK fertilizer effects on soil properties, growth, yield, mineral and vitamin C composition of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(2), 218-223. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.05.005>
3. Aflatuni, A., Sari, E.K.J.U., & Hohtola, A. (2006). Optimum harvesting time of four *Mentha* species in Northern Finland. *Journal of Essential Oil Research*, 18(2), 134-138. <https://doi.org/10.1080/10412905.2006.9699043>
4. Amede, T., Legesse, G., Agegnehu, G., Gashaw, T., Degefu, T., Desta, G., Mekonnen, K., Schulz, S., & Thorne, P. (2021). Short term fallow and partitioning effects of green manures on wheat systems in East African highlands. *Field Crops Research*, 269, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108175>
5. Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., & Maggi, F. (2018). Evaluation of competition, essential oil quality and quantity of peppermint intercropped with soybean. *Industrial Crops and Products*, 111, 743-754. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.052>
6. Amiri, M.B., Rezvani Moghaddam, P., Jahan, M., Salehabadi, M., & Naseri, N. (2017). Effects of plant density and different organic and chemical fertilizers on some phytochemical characteristics of Iranian ox-tongue (*Echium amoenum* Fisch. & Mey.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 33(4), 649-662. (In Persian with English Summary)
7. Bidgoli, R.D., & Mahdavi, M.J. (2018). Effect of nitrogen and two types of green manure on the changes in percentage and yield of peppermint (*Mentha piperita*) essential oil. *Notulae Scientia Biologicae*, 10(2), 245-250. <https://doi.org/10.15835/nsb10210275>
8. Bigonah, R., Rezvani Moghaddam, P., & Jahan, M. (2014). Effects of different fertilizer managements on quantitative and qualitative characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.) as a medicinal plant. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), 574-581. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/GSC.V12I4.45140>
9. Bilalis, D., Karkanis, A., Efthimiadou, A., Konstantas, A., & Triantafyllidis, V. (2009). Effects of irrigation system and green manure on yield and nicotine content of Virginia (flue-cured) Organic tobacco (*Nicotiana tabacum*), under Mediterranean conditions. *Industrial Crops and Products*, 29(2-3), 388-394. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.07.007>
10. Bijhani, M., Yadollahi, P., Asgharipour, M.R., & Heydari, M. (2015). The effect of mycorrhizal inoculation of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) on its yield and some physiological characteristics under drought conditions. *Journal of Crop Ecophysiology*, 9(3), 337-352. (In Persian with English Summary).
11. Copetta, A., Lingua, G., & Berta, G. (2006). Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. *Mycorrhiza*, 16, 485-494. <https://doi.org/10.1007/s00572-006-0065-6>
12. El-Haddad, M.H., Zayed, M.S., El-Sayed, G.A.M., & Abd El-Satar, A.M. (2020). Efficiency of compost and vermicompost in supporting the growth and chemical constituents of *Salvia officinalis* L. cultivated in sand soil. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 9, 49-59. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2020.671209>
13. Fadaee, E., Parvizi, Y., Gerdakane, M., & Khan-Ahmadi, M. (2018). The effects of mycorrhiza (*Glomus mosseae* and *Glomus intraradiceae*) and phosphorus on growth and phytochemical traits of *Dracocephalum moldavica* L. under drought stress. *Journal of Medicinal Plants*, 2(66), 100-112. (In Persian with English Summary).
14. Gao, S., Zhou, G., Rees, R.M., & Cao, W. (2020). Green manuring inhibits nitrification in a typical paddy soil by changing the contributions of ammonia-oxidizing archaea and bacteria. *Applied Soil Ecology*, 156, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103698>
15. Gashgari, R., Selim, S., Abdel-Mawgoud, M., Warrad, M., Habeeb, T.H., Saleh, A.M., & AbdElgawad, H. (2020). Arbuscular mycorrhizae induce a global metabolic change and improve the nutritional and health benefits of

- pennyroyal and parsley. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03091-3>
16. Ghalavand, A., Mohammadi, K., Agha Alikhani, M., & Sohrabi, Y. (2009). Effect of organic, biological and chemical fertilizers on chickpea grain yield and quality. *Journal of Water and Soil Sciences*, 19(2), 213-234. (In Persian with English Summary).
  17. Gheidarlouei, S., Khademian, R., & Mafakheri, S. (2020). Response of *Anethum graveolens* L. to mycorrhiza symbiosis at different salinity levels. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 36(2), 329-347. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.341416.2691>
  18. Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjaf, F., & Sorooshzadeh, A. (2017). Comparing different soil fertility systems on some physiological characteristics, yield and essential oil of sage (*Salvia officinalis* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, 9(2), 445-457. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/JAG.V9I2.45974>
  19. Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M., & Kumar, S. (2004). 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, 77–79. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00109-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00109-2)
  20. Hassiotis, C.N., Ntana, F., Lazari, D.M., Poulis, S., & Vlachonassios, K.E. (2014). Environmental and developmental factors affect essential oil production and quality of *Lavandula angustifolia* during flowering period. *Industrial Crops and Products*, 62, 359-366. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.048>
  21. Jalilian, S., Mondani, F., Fatemi, G.A., & Bagheri, A. (2021). Effect of farmyard manure and green manure application on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) under organic conditions. *Applied Research in Field Crops*, 33(4), 62-86. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22092/AJ.2021.341662.1451>
  22. Khalvandia, M., Ameriana, M.R., Pirdashtib, H., Keramatib, S., & Hosseini, J. (2019). Essential oil of peppermint in symbiotic relationship with *Piriformospora indica* and methyl jasmonate application under saline condition. *Industrial Crops and Products*, 127, 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.072>
  23. Kapoor, R., Chaudhary, V., & Bhatnagar, A.K. (2007). Effects of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. *Mycorrhiza*, 17, 581–587. <https://doi.org/10.1007/s00572-007-0135-4>
  24. Kapoor, R., Anand, G., Gupta, P., & Mandal, S. (2017). Insight into the mechanisms of enhanced production of valuable terpenoids by arbuscular mycorrhiza. *Phytochemistry Reviews*, 16(4), 677-692. <https://doi.org/10.1007/s11101-016-9486-9>
  25. Ludwig-Müller, J. (2010). *Hormonal responses in host plants triggered by arbuscular mycorrhizal fungi*. In H. Koltai, & Y. Kapulnik (Eds.). *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer, Dordrecht, p. 169–190. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9489-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9489-6_8)
  26. Meena, B.L., Fagodiya, R.K., Prajapat, K., Dotaniya, M.L., Kaledhonkar, M.J., Sharma, P.C., Meena, R.S., Mitran, T., & Kumar, S. (2018). *Legume green manuring: An option for soil sustainability*. In R.S. Meena, A. Das, G. S. Yadav, & R. Lal (Eds.). *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*. Springer., Singapore, p. 387-408. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0253-4_12)
  27. Modafe Behzadi, N., Moghaddam, P.R., & Jahan, M. (2019). Effects of planting date and plant density on morphology and yield of indigo (*Indigofera tinctoria* L.) as a medicinal plant. *Journal of Agroecology*, 10(4), 1067-1079. (In Persian with English Summary). <https://doi.org/10.22067/JAG.V10I4.48405>
  28. Morshedloo, M.R., Craker, L.E., Salami, A., Nazeri, V., Sang, H., & Maggi, F. (2017). Effect of prolonged water stress on essential oil content, compositions and gene expression patterns of mono-and sesquiterpene synthesis in two oregano (*Origanum vulgare* L.) subspecies. *Plant Physiology and Biochemistry*, 111, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.11.023>
  29. Morshedloo, M.R., Maggi, F., Neko, H.T., & Aghdam, M.S. (2018). Sumac (*Rhus coriaria* L.) fruit: Essential oil variability in Iranian populations. *Industrial Crops and Products*, 111, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.002>
  30. Mucciarelli, M., Scannerini, S., Berteà, C., & Maffei, M. (2003). *In vitro* and *in vivo* peppermint (*Mentha piperita*) growth promotion by nonmycorrhizal fungal colonization. *New Phytologist*, 158, 591–597. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00762.x>

31. Omidbaigi, R. (2011). *Production and Processing of Medicinal Plants (Vol.2)*. Razavi Ghods Astan Publication, Mashhad, Iran. 438 pp. (In Persian).
32. Omidbaigi, R. (2013). *Production and Processing of Medicinal Plants (Vol.1)*. Razavi Ghods Astan Publication, Mashhad, Iran. 347 pp. (In Persian).
33. Ormeno, E., & Fernandez, C. (2012). Effect of soil nutrient on production and diversity of volatile terpenoids from plants. *Current Bioactive Compounds*, 8(1), 71-79. <https://doi.org/10.2174/157340712799828188>
34. Ostadi, A., Javanmard, A., Machiani, M.A., Morshedloo, M.R., Nouraein, M., Rasouli, F., & Maggi, F. (2020). Effect of different fertilizer sources and harvesting time on the growth characteristics, nutrient uptakes, essential oil productivity and composition of *Mentha x piperita* L. *Industrial Crops and Products*, 148, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112290>
35. Piccaglia, R., Marotti, M., & Dellacecca, V. (1997). Effect of planting density and harvest date on yield and chemical composition of sage oil. *Journal of Essential Oil Research*, 9(2), 187-191. <https://doi.org/10.1080/10412905.1997.9699457>
36. Pinzon-Torres, J.A., Contreras Porras, N.J., Durán García, D.C., & Elena Stashenko, J.R.M.M.Y. (2014). Green biomass production and quality of essential oils of palmarosa (*Cymbopogon martini* Roxb.) with application of synthesis fertilizers and organic fertilizers. *Acta Agronómica*, 63(4), 335-342. <https://doi.org/10.15446/acag.v63n4.42840>
37. Prabha, M.L., Jayraay, I.A., Jayraay, R., & Rao, D.S. (2007). Effect of vermicompost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, 9(2), 321-326.
38. Rahmani, N., Valadabadi, S.A., Daneshian, J., & Bigdeli, M. (2008). The effects of water deficit stress and nitrogen on oil yield of *Calendula officinalis* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 24(1), 103-108. (In Persian with English Summary)
39. Ratti, N., Kumar, S., Verma, H.N., & Gautam, S.P. (2001). Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. Motia by rhizobacteria, AMF and *azospirillum* inoculation. *Microbiology Research*, 156, 145-149. <https://doi.org/10.1078/0944-5013-00095>
40. Santos Marquesa, C.T.D., Silva Gamaa, E.V., Silva, F.D., Teles, S., Caiafa, A.N., & Lucchese, A.M. (2018). Improvement of biomass and essential oil production of *Lippia alba* (Mill) n.e. Brown with green manures in succession. *Industrial Crops and Products*, 112, 113-118. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.065>
41. Selvaraj, T., Mathan, C., & Rajeshkumar, N.C. (2009). Effect of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi on some growth parameters and phytochemical constituents of *Pogostemon patchouli* Pellet. *Maejo International Journal Science Technology*, 3(10), 222-234.
42. Sharifi-Rad, J., Sureda, A., Tenore, G.C., Daglia, M., Sharifi-Rad, M., Valussi, M., Tundis, R., Sharifi-Rad, M., Loizzo, M.R., Ademiluyi, A.O., Sharifi-Rad, R., Ayatollahi, S.A., & Iriti, M. (2017). Biological activities of essential oils: From plant chemoeology to traditional healing systems. *Molecules*, 70(22), 2-55. <https://doi.org/10.3390/molecules22010070>
43. Silva, G.T.A., Oliveira, W.R.D., Matos, L.V., Nóbrega, P.O., Krainovic, P.M., Campello, E.F.C., Franco, A.A., & Resende, A.S. (2007). Correlation between chemical composition and decomposition rate of green manure plants aiming the elaboration of a database. *Embrapa Agrobiologia-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, 21, 1-28.
44. Singh, M., Singh, A., Singh, S., Tripathi, R.S., Singh, A.K., & Patra, D.D. (2010). Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) as a green manure to improve the productivity of a menthol mint (*Mentha arvensis* L.) intercropping system. *Industrial Crops and Products*, 31, 289-293. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.11.004>
45. Soltani, A. (2015). Application of SAS in Statistical Analysis. Jahade Daneshghahi Mashhad Press. Mashhad, Iran. 182 pp. (In Persian).
46. Solangi, F., Bai, J., Gao, S., Yang, L., Zhou, G., & Cao, W. (2019). Improved accumulation capabilities of phosphorus and potassium in green manures and its relationship with soil properties and enzymatic activities. *Agronomy*, 9(11), 1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110708>
47. Supratim, B., Roel, C.R., & Sangeeta, N. (2018). AMF: The future prospect for sustainable agriculture. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 102, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.11.007>
48. Tarraf, W., Ruta, C., Tagarelli, A., De Cillis, F., & De Mastro, G. (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>

49. Thokchom, S.D., Gupta, S., & Kapoor, R. (2020). Arbuscular mycorrhiza augments essential oil composition and antioxidant properties of *Ocimum tenuiflorum* L. a popular green tea additive. *Industrial Crops and Products*, 153, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112418>
50. Varma, A., Prasad, R., Berlin/Heidelberg, Germany. 533 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68867-1>
51. Verma, R.S., Padalia, R.C., & Chauhan, A., (2015). Harvesting season and plant part dependent variations in the essential oil composition of *Salvia officinalis* L. grown in northern India. *Journal of Herbal Medicine*, 5(3), 165-171. <https://doi.org/10.1016/j.hermed.2015.04.004>
52. Wu, Y.H., Wang, H., Liu, M., Li, B., Chen, X., Ma, Y.T., & Yan, Z.Y. (2021). Effects of native arbuscular mycorrhizae isolated on root biomass and secondary metabolites of *Salvia miltiorrhiza* Bge. *Frontiers in Plant Science*, 12, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.617892>
53. Wu, Q.S., Srivastava, A., & Zou, Y.N. (2013). AMF-induced tolerance to drought stress in citrus: A review. *Scientia Horticulturae*, 164, 77-87. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.010>
54. Zheljzakov, V.D., Cerven, V., Cantrell, C.L., Ebelhar, W.M., & Horgan, T. (2009). Effect of nitrogen, location, and harvesting stage on peppermint productivity, oil content, and oil composition. *American Society for Horticultural Science*, 44(5), 1267-1270. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.5.1267>