



A study on the effects of chemical and biological fertilizers on the essential oil content of sage (*Salvia officinalis* L.)

Bohloul Abbaszadeh^{1*} , Masoumeh layeghhaghighi² , Razieh Azimi³, Negar Valizadeh⁴ 

1. Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
2. Expert., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
4. Assistant Professor, Research Division of Natural Resources, East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran.

Citation: Abbaszadeh, B., layeghhaghighi, M., Azimi, R., Valizadeh, N.(2024). A study on the effects of chemical and biological fertilizers on the essential oil content of sage (*Salvia officinalis* L.). *Plant Productions*, 47(3),455-474.

Abstract

Introduction

The use of medicinal plants and their products has been expanded significantly in various countries. Sage, scientifically known as *Salvia officinalis*, is a valuable medicinal plant belonging to the mint family. Sage leaves contain various types of flavonoids and phenolic compounds and possess important medicinal properties such as antioxidant and anti-inflammatory activities. Additionally, sage leaves and flowering tops are used in food processing and perfumery. Some compounds present in sage essential oil, such as 1,8-cineole, borneol, camphor, and thujone, exhibit antimicrobial, antioxidant, memory-enhancing, anti-Alzheimer's, and anticancer properties. The application of biofertilizers not only plays a crucial role in increasing the yield of medicinal plants but also affects the quality of active compounds. One of the strategies in sustainable agricultural systems to enhance soil fertility is the minimal use of on-farm inputs, including biofertilizers, and their combined application with organic and chemical fertilizers. Furthermore, nutrient management is a vital factor in successful cultivation.

Materials and methods

A factorial experiment based on a randomized complete block design with three replications was conducted in the 2021-2022 growing season at the Research Farm of the Forest and Rangelands Research Institute of Iran to evaluate the effects of chemical and biological fertilizers on the

* **Corresponding Author:** Bohloul Abbaszadeh
E-mail: babaszadeh@rifr-ac.ir



percentage and composition of sage essential oil. Treatments included a control (no fertilizer), chemical fertilizers (150 kg/ha phosphorus from triple superphosphate and 300 kg/ha nitrogen from urea), and inoculation with mycorrhizal fungi (*Funneliformis mosseae* and *Rhizophagus irregularis*) and phosphate-solubilizing bacteria (*Pseudomonas fluorescens* strain 187).

Results and Discussion

Results showed that the application of chemical fertilizers significantly affected the yield and percentage of essential oil compounds including alpha-pinene, camphene, 1,8-cineole, alpha-thujone, and beta-thujone, as well as the total of hydrocarbon monoterpenes, oxygenated monoterpenes, and oxygenated sesquiterpenes. The yield of compounds such as alpha-pinene, 1,8-cineole, alpha-thujone, beta-thujone, and camphor was also significantly affected. The highest percentage of alpha-thujene (% 0.25) were obtained in the treatment with both urea and phosphate fertilizers. The highest percentage of linalool and camphor yield was obtained in the treatment with biofertilizers. The highest essential oil yield with averages of 97.57, 97.07, and 89.27 kg/ha belonged to the treatments N300P0 * *Funneliformis mosseae* + *Rhizophagus irregularis*+ *Pseudomonas fluorescens* strain 187, *Pseudomonas fluorescens* strain 187 * NOP150, and *Funneliformis mosseae* + *Rhizophagus irregularis* + *Pseudomonas fluorescens* strain 187* NOP150, respectively."

Conclusion

The results of this study indicated that sage, due to its abundant aerial biomass production, requires adequate fertilization to achieve high yields. However, the essential oil percentage of this plant was not affected by environmental factors such as fertilization and seemed to be more controlled by genetic factors. This finding can significantly contribute to the selection and introduction of cultivars with high essential oil percentages in the future. Furthermore, by combining chemical and biological fertilizers, it is possible to effectively influence the percentage and quantity of major essential oil compounds in sage and achieve the production of higher quality plants with a higher percentage of specific compounds.

Keywords: Biofertilizer, Nutrition, Phytochemistry, Sustainable agriculture.



بررسی اثرات کودهای شیمیایی و زیستی بر مقادیر مواد مؤثره اسانس گیاه مریم گلی (*Salvia officinalis* L.)

بهلول عباسزاده*^۱، معصومه لایق حقیقی^۲، راضیه عظیمی^۳، نگار ولیزاده^۴

- ۱- دانشیار، بخش تحقیقات گیاهان دارویی و محصولات فرعی، موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ۲- دکتر، بخش تحقیقات گیاهان دارویی و محصولات فرعی، موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
- ۳- استادیار، بخش تحقیقات گیاهان دارویی و محصولات فرعی، موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
- ۴- استادیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.

چکیده

استفاده از گیاهان دارویی و فرآورده‌های آن‌ها در کشورهای مختلف توسعه فراوانی یافته‌اند. مریم‌گلی با نام علمی *Salvia officinalis* از گیاهان دارویی باارزش تیره نعنائیان 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 برگ‌ها و سرشاخه‌های گلدار مریم‌گلی در فراوری مواد غذایی و عطرسازی نیز استفاده می‌شود. برخی از ترکیبات موجود در اسانس مریم‌گلی نظیر ۸،۱-سینئول، بورنئول، کامفور و توجن دارای خصوصیات ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی، بهبود حافظه، آلتزایمر و ضد سرطان می‌باشد. کاربرد کودهای زیستی نه تنها نقش مهم و اساسی در افزایش عملکرد گیاهان دارویی دارند، بلکه بر کیفیت مواد مؤثره نیز مؤثر هستند. یکی از راهکارها در سیستم‌های کشاورزی پایدار جهت افزایش حاصلخیزی خاک، استفاده حداقلی از نهاده‌های درون مزرعه‌ای، از جمله کودهای زیستی و کاربرد تلفیقی آن با کودهای آلی و شیمیایی می‌باشد. همچنین از عوامل ضروری موفقیت در کشت مدیریت کود می‌باشد. به منظور ارزیابی اثرات کاربرد مصرف کودهای شیمیایی و زیستی بر تغییرات درصد و ترکیبات اسانس گیاه مریم‌گلی آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل فاکتور اول، شاهد (عدم مصرف کود)، کودهای شیمیایی شامل کود فسفات (P) ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل و کود ازته (N) ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره) فاکتور دوم شامل عدم تلقیح و تلقیح با قارچ‌های میکوریزا، گونه‌های *Rhizophagus irregularis* و *Funneliformis mosseae* و باکتری‌های حل‌کننده فسفات

* نویسنده مسئول: بهلول عباسزاده

Pseudomonas fluorescens strain 187 بودند. نتایج نشان داد که استفاده از کودهای شیمیایی بر عملکرد و درصد ترکیبات اسانس آلفا-پنین، کامفن، ۸،۱-سینئول، آلفا-توجون و بتا-توجون، مجموع مونوترپن‌های هیدروکربنی، مجموع مونوترپن‌های اکسیژن‌دار و مجموع سزکوئی‌ترپن‌های اکسیژن‌دار، عملکرد ترکیب‌هایی نظیر آلفا-پنین، ۸،۱-سینئول، آلفا توجون، بتا توجون و عملکرد کامفر معنی‌دار بود. همچنین بیشترین درصد ترکیب آلفا-توجون (۰/۲۵٪) در تیمار کاربرد هر دو کودهای شیمیایی (اوره و فسفات) بدست آمد. بیشترین درصد لینالول و عملکرد کامفن نیز در تیمار کاربرد کودهای زیستی حاصل شد. بیشترین عملکرد اسانس با میانگین ۹۷/۵۷، ۹۷/۰۷ و ۸۹/۲۷ کیلوگرم در هکتار به ترتیب متعلق به تیمارهای *N300P0* Funneliformis mosseae + Rhizophagus irregularis + Pseudomonas fluorescens strain 187 *N0P150 Pseudomonas fluorescens strain 187 Funneliformis mosseae + Rhizophagus irregularis + Pseudomonas fluorescens strain 187** بود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مریم‌گلی به دلیل تولید اندام هوایی فراوان، نیازمند کوددهی مناسب برای دستیابی به عملکرد بالا است. با این حال، درصد اسانس این گیاه تحت تأثیر عوامل محیطی مانند کوددهی قرار نگرفت و به نظر می‌رسد بیشتر تحت کنترل عوامل ژنتیکی باشد. این یافته می‌تواند در آینده به انتخاب و معرفی ارقام با درصد بالای اسانس کمک شایانی کند. همچنین، با ترکیب کودهای شیمیایی و زیستی می‌توان به طور مؤثری بر درصد و مقدار ترکیبات اصلی اسانس مریم‌گلی تأثیر گذاشته و به تولید گیاهانی با کیفیت بالاتر و درصد بالای ترکیبات خاص دست یافت.

کلید واژه‌ها: تغذیه، کشاورزی پایدار، کود زیستی، فیتوشیمی.

مقدمه

(2020). برخی از ترکیبات موجود در اسانس مریم‌گلی نظیر ۸،۱-سینئول، بورنئول، کامفور و توجن دارای خصوصیات چون ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی، بهبود حافظه، آلتراimer و ضد سرطان می‌باشد (Govahi et al., 2017). در سیستم‌های کشاورزی متداول، اگرچه استفاده بیش از حد از نهاده‌ها باعث افزایش بهره‌وری کشاورزی می‌شود، ولی پیامدهای مضر آن بر محیط زیست و سلامت انسان که ناشی از شیوه‌های قدیمی و رایج کشاورزی و استفاده طولانی مدت از کودهای شیمیایی است، به خوبی مشهود می‌باشد (Bansal, 2017). کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی اثرات منفی متفاوتی بر محیط زیست از جمله تجمع سموم و کودها، فرسایش خاک، آلودگی خاک و آب، فرسایش ژنتیکی، شستشوی عناصر غذایی و کاهش تنوع زیستی کشاورزی دارد. اثرات مخرب کودهای شیمیایی، شرکت‌های سازنده آن‌ها را مجبور به پیدا کردن روش‌های نوینی نظیر جایگزینی آن‌ها با کودهای زیستی به منظور دستیابی به بهره‌وری مطلوب و رعایت اصول کشاورزی پایدار کرد (Sharma et al., 2013). حذف کامل کودهای شیمیایی از چرخه تولید کاملاً منطقی نیست

گیاهان دارویی و معطر قادر به سنتز گروه متنوعی از متابولیت‌های اولیه و ثانویه هستند که غالباً دارای اثرات مفید بر سلامت انسان و امنیت غذایی دارند. این گیاهان همچنین در زمینه‌های مختلف از جمله داروسازی، صنایع غذایی، عطرسازی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه گرایش و رویکرد جهانی به مصرف داروهای گیاهی و مواد طبیعی جهت اجتناب و یا کاهش اثرات سوء ناشی از مصرف روزافزون داروهای شیمیایی، در جهان در حال افزایش است. نعنائیان با داشتن ۴۶ جنس و ۴۱۰ گونه یکی از مهم‌ترین خانواده‌های گیاهی در فلور ایران هستند، که از این تعداد ۱۶۵ گونه انحصاری ایران است (Jamzad, 2020). 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 آنتی-اکسیدانی و ضد التهابی بوده و علاوه بر این، از برگ‌ها و سرشاخه‌های گلدار مریم‌گلی در فراورده‌های مواد غذایی و عطرسازی نیز استفاده می‌شود (El-Haddad et al.,

و باید با استفاده از کودهای زیستی و آلی یا تلفیق آن‌ها، میزان مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد (Khaosaad *et al.*, 2016). گزارش شده است که تولید متابولیسم‌های ثانویه گیاه به طور قابل توجهی به کاربرد نیتروژن (N) و اکسژن نشان می‌دهد (Singh *et al.*, 2007). زیرا نیتروژن عنصر مهمی در ساختار متابولیت‌های ثانویه و تولید آنزیم‌ها در گیاه می‌باشد (Noorani Azad *et al.*, 2016). از طرفی، نگرانی‌های ایجاد شده در زمینه سلامت انسان و محیط زیست در استفاده نامناسب از کودهای شیمیایی نظیر کود اوره که مصرف زیادی دارد، قابل چشم‌پوشی نیست (Afshar *et al.*, 2014). از طرفی، رویکرد جهانی در تولید گیاهان دارویی به سمت کشاورزی پایدار و به-کارگیری روش‌های مدیریت پایدار و ارگانیک می‌باشد. بنابراین کودهای زیستی نه تنها نقش مهم و اساسی در افزایش عملکرد گیاهان دارویی دارند، بلکه بر کیفیت مواد مؤثره نیز مفید می‌باشند. بکارگیری میکروارگانیسم‌های مفید خاک‌زی به عنوان کود زیستی می‌تواند تأثیر زیادی بر زنده و فعال نگه داشتن سیستم زیستی خاک داشته باشد (Mathur & Roy, 2021). به عبارتی کودهای زیستی انواع مختلفی از ریز موجودات آزادزی یا همزیست را شامل می‌شوند که اثرات مثبتی در تحریک و افزایش رشد گیاه دارند و در برخی از فرآیندهای مهم بوم‌نظام‌ها از قبیل فرآیندهای دخیل در کنترل بیولوژیکی پاتوژن-های گیاهی، چرخه عناصر غذایی و استقرار گیاهچه نقش دارند (Mathur & Roy, 2021). استفاده از کودهای زیستی ضمن افزایش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر، ازت و برخی عناصر ریز مغذی به افزایش جذب آب، تولید هورمون‌های گیاهی، آنزیم‌های طبیعی، انواع آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیباتی مانند سیدروفورها و گازهای فرار منجر شده و موجب رشد ریشه، توسعه بخش هوایی گیاه، مقاومت به عوامل بیماری‌زا و حمله نماتدها، کاهش تأثیر منفی تنش-های محیطی، تأثیر مثبت روی برخی میکروارگانیسم‌های خاک‌زی و بهبود عملکرد و کیفیت محصول گیاهان زراعی می‌گردد (Meena *et al.*, 2017; Anli *et al.*, 2020).

یکی از راهکارها در سیستم‌های کشاورزی پایدار جهت افزایش حاصلخیزی خاک، استفاده هرچه بیشتر از نهاده‌های درون مزرعه‌ای، از جمله کودهای زیستی و کاربرد تلفیقی آن با کودهای آلی و شیمیایی می‌باشد (Asadi *et al.*, 2023). در کنار مصرف کودهای شیمیایی و تلفیق آن‌ها با کودهای زیستی، استفاده از ارگانیسم‌های مفید خاک به عنوان کودهای زیستی به عنوان راه حل پایدار دیگری برای بهبود جذب مواد مغذی و بهره‌وری محصول در شرایط مختلف رشدی و کاهش مصرف کودهای شیمیایی شناخته شده است (Cavagnaro *et al.*, 2015; Abdelaal *et al.*, 2021; Mathur and Roy 2021). کودهای زیستی حاوی باکتری‌ها و قارچ‌های مفیدی هستند که مواد مغذی ضروری را در طی فرآیندهای بیولوژیکی از اشکال غیرقابل دسترس به اشکال در دسترس، تبدیل می‌کنند (Hafez *et al.*, 2021). قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار، می‌توانند با بیش از ۸۰ درصد گونه‌های گیاهی ارتباط همزیستی متقابل ایجاد کنند (Hernandez *et al.*, 2001). قارچ‌های میکوریزا بر جذب عناصر غذایی مثل فسفر، نیتروژن و همچنین جذب آب در شرایط تنش، تولید هورمون‌های گیاهی، تعدیل اثر تنش‌های محیطی، افزایش مقاومت نسبت به عوامل بیماری‌زا در گیاه، کاهش آسیب‌های ریشه‌ای، تأثیر بر دانه بندی خاک، تشدید فعالیت تثبیت بیولوژیک نیتروژن، همچنین بهبود خواص کمی مؤثر هستند. از مهمترین عناصری که توسط میکوریزا بطور فعال در سطح وسیع جذب می‌شود، عنصر فسفر است (Habibzadeh *et al.*, 2013). علاوه بر

مزرعه، از عمق صفر تا ۴۰ سانتی متری نمونه برداری به عمل آمد (IRMO, 2015). مشخصات فیزیکی شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۰-۴۰ سانتی متر) در جدول ۱ ذکر شده است. این پژوهش بصورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار در شرایط مزرعه اجرا شد. ۱۵ اسفند اقدام به کشت بذرها در سینی های کشت گردید. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، عملیات تهیه زمین و اعمال تیمارها در اواخر فروردین انجام شد. ابعاد کرت ها ۳×۳ متر، فاصله بین خطوط کشت ۴۵ سانتی متر، فاصله بین بوته ها بر روی خط ۴۰ سانتی متر و فاصله بین بلوک ها از یکدیگر ۲ متر و فاصله بین دو کرت از یکدیگر ۱/۵ متر بود. پس از آماده شدن زمین، اقدام به انتقال نشاها در مرحله ۸ الی ۱۲ برگی گردید. ۲ نوبت در هفته و پس از استقرار ۱ نوبت در هفته آبیاری شدند. در طول دوره رشد، وجین به صورت دستی و ۴ نوبت انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل فاکتور اول در چهار سطح شامل: Ch1-۱: شاهد (عدم مصرف کود) -۲ Ch2: کود فسفات ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل ۳-Ch3: کود ازته ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره ۴-Ch4: کود ازته ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره و کود فسفات ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل. فاکتور دوم نیز در ۴ سطح شامل: B1-۱: شاهد (عدم مصرف) -۲ B2: تلقیح با قارچ مایکوریزا، گونه های *Rhizophagus irregularis* و *Funneliformis mosseae* -۳ B3: تلقیح با باکتری های حل کننده فسفات *Pseudomonas fluorescens strain 187* -۴ B4: تلقیح با قارچ مایکوریزا، گونه های *Rhizophagus irregularis* و *Funneliformis mosseae* باکتری های حل کننده

فسفات *Pseudomonas fluorescens strain 187*

مقادیر هر یک از کودهای شیمیایی بر اساس آزمون خاک محل آزمایش تعیین گردید و به دلیل بالا بودن پتاسیم قابل جذب خاک، عدم مصرف کود پتاسیم توسط آزمایشگاه توصیه گردید. ۱۰۰ درصد مقادیر کود فسفات و ۵۰ درصد کود اوره در مرحله آماده سازی زمین و پس از

این، مایکوریزا می تواند مسیرهای متابولیک گیاهان را دوباره برنامه ریزی کند، که منجر به تغییر در متابولیت های اولیه و ثانویه می شود. گزارش شده است که تلقیح AMF باعث بهبود کمیت و کیفیت اسانس گیاهان دارویی و معطر مختلف مانند ریحان مقدس (*Ocimum tenuiflorum* L.)، مریم گلی (*Salvia officinalis* L.) و اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) شد (Golubkina et al., 2020; Thokchom et al., 2021; Ostadi et al., 2021). در مطالعه ای دیگر روی بررسی انواع قارچ های مایکوریزا در بهبود رشد، زیست توده و متابولیت های ثانویه گونه های از مریم گلی (*Salvia miltiorrhiza* Bge) گزارش شد که همزیستی با قارچ های مایکوریزا سبب افزایش رشد و ترکیبات اسانس گردید (Wu et al., 2021). بهبود کمی و کیفی عملکرد و ترکیبات اسانس، ارزش اقتصادی گیاهان دارویی را افزایش می دهد. در سیستم های کشاورزی متداول، افزایش عملکرد گیاهان رابطه مستقیمی با استفاده بیش از حد از نهاده های شیمیایی دارد. لازم به ذکر است که استفاده زیاد از کودهای شیمیایی، به ویژه دوزهای بالای کود نیتروژن، باعث کاهش عملکرد مواد مؤثره گیاهی می شود (Strzemski et al., 2021). بنابراین لزوم استفاده از کودهای جدید سازگار با محیط زیست برای افزایش کارایی عناصر غذایی و بهبود ویژگی های کمی و کیفی گیاهان دارویی و معطر ضروری به نظر می رسد. بر این اساس، تحقیق حاضر در راستای بهبود میزان تولید ترکیبات اسانس و شناسایی تیمارهای مناسب به منظور امکان تولید هدفمند ترکیبات اسانس مریم گلی اجرا شد.

مواد و روش ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشی گیاهان دارویی مجتمع تحقیقاتی البرز وابسته به مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور در ۵ کیلومتری جنوب شرقی کرج در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه شرقی در ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. بافت خاک مورد آزمایش لومی رسی و جهت بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

D= dry material weight
 Formula2: $W = (F * M * 11 / 100) + D$
 W=Optimal weight after drying
 F= wet sample weight
 M= humidity rate based on wet weight

استخراج اسانس

۸۰ گرم از نمونه‌های گیاه خشک شده در سایه، به روش تقطیر با آب به وسیله کلونجر به مدت ۲ ساعت اسانس‌گیری شدند. به منظور آب‌گیری اسانس‌ها، از سولفات سدیم بدون آب، استفاده شد و پس از توزین نمونه‌ها، به منظور تخمین کمیت و کیفیت اسانس‌ها به دستگاه‌های GC و GC-MS واقع در آزمایشگاه تجزیه شیمی گیاهی موسسه با کد شناسه ملی IR3166210900000503 تزریق شدند. درصد و عملکرد اسانس و عملکرد ترکیبات عمده اسانس در هکتار طبق فرمول‌های ۳، ۴ و ۵ محاسبه شد.

Formola3- Essential oil content of Savory = (distilled essential oil (g) / 80g) × 100

Formola4-Essential oil yield of Savory = dry yield of Savory (g/ha) × essential oil content

Formola5-Essential oil compound yield of Savory = Essential oil yield of Savory (g/ha) × percentage of essential oil compound

شناسایی ترکیب‌های تشکیل دهنده اسانس

پس از تزریق اسانس‌ها به دستگاه GC و یافتن مناسب‌ترین برنامه‌ریزی حرارتی ستون، جهت دستیابی به بهترین جداسازی ترکیبات، اسانس‌های حاصله با دی کلرو متان رقیق شده و به دستگاه GC/MS تزریق و طیف‌های جرمی و کروماتوگرام‌های مربوطه بدست آمد. سپس با استفاده از زمان بازداری، شاخص بازداری کوتاه‌س، مطالعه طیف‌های جرمی و مقایسه با ترکیب‌های استاندارد و استفاده از اطلاعات کتابخانه‌ای دستگاه (Adams, 2017)، ترکیب‌های تشکیل دهنده اسانس‌ها، مورد شناسایی قرار گرفت.

کرت بندی به کرت‌های مربوطه پخش و با خاک مخلوط گردید. ۵۰ درصد باقی مانده کود اوره نیز، یک ماه پس از انتقال نشاء به کرت‌های مربوطه اضافه و بلافاصله آبیاری شدند مایه تلقیح میکوریزایی که به صورت اندام فعال قارچی (شامل ۳۵-۳۰ عدد اسپور، هیف و ریشه در هر گرم خاک) بود، حاوی گونه‌ای قارچ VAM به نام‌های *Rhizophagus* و *Funneliformis mosseae irregularis* می‌باشد که از شرکت زیست فن آوران توران تهیه گردید. تیمار با قارچ‌های میکوریزایی در زمان انتقال نشاء از سینی کاشت به زمین اصلی انجام شد. به طوری که قبل از کاشت نشاء در مزرعه، در هر چاله کاشت ۱۰ گرم از کود زیستی که حاوی ۳۰۰ تا ۳۵۰ اسپور فعال قارچی بود، قرار داده شد. کود فسفات زیستی نیز از موسسه خاک و آب تهیه گردید، که بر اساس توصیه موسسه، حاوی سنگ فسفات معدنی (Rock Phosphate) و یک گونه از باکتری‌های حل کننده فسفات به نام *Pseudomonas fluorescens strain 187* می‌باشد. تیمار با باکتری‌ها، در زمان انتقال نشاء با خوابانیدن ریشه نشاءها در مایه تلقیح مایع با تعداد سلول زنده 10^8 در هر میلی لیتر به مدت ۲۰ دقیقه اعمال شد.

زمان برداشت گیاهان

در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، گیاهان از ۵ سانتیمتر بالای خاک برداشت شده و در سایه با جریان هوا خشک شدند، پس از رسیدن میزان رطوبت گیاهان به حدود ۱۱ درصد، اقدام به اسانس‌گیری از سرشاخه‌های گلدار شد.

ابتدا طی انجام پیش آزمایش‌ها، حداقل درصد رطوبت لازم برای کلیه نمونه‌ها تعیین گردید. به طوری که در پیش آزمایشات مشاهده شد، مناسب‌ترین درصد رطوبت برای داشتن حداکثر اسانس ۱۱ درصد بود، بنابراین در تمام تیمارها، خشک کردن نمونه‌ها طبق فرمول ۱ و ۲ تا زمانی که وزن آن‌ها به محتوای رطوبتی ۱۱ درصد بر پایه وزن تر برسد ادامه داشت (Rocha et al., 2011).

Formula 1: $A = \left(\frac{B}{B+D} \right) * 100$

A= moisture content based on wet weight (%)

B= moisture weight

Table 1. Physicochemical properties of experimental soil

O.M %	O.C %	P-Avail (ppm)	K-avail (ppm)	TN %	NMs %	Clay %	Silt %	Sand %	EC (dS/m)	SP %	Soil pattern
1.54	0 .88	9.3	176	0.08	11.2	26	29	45	0.7	7.5	Sand-Clay

درصد اسانس گردید. درصد لینالول و عملکرد کامفن با مصرف کود فسفر افزایش و با مصرف مقدار بالای نیتروژن کاهش یافت. در اثر مصرف کودهای شیمیایی عملکرد آلفا توجون افزایش یافت (جدول ۳). همچنین، درصد لینالول و عملکرد کامفن در اثر مصرف کودهای زیستی افزایش یافت (جدول ۴)

مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین عملکرد اسانس با میانگین ۹۷/۵۷، ۹۷/۰۷ و ۸۹/۲۷ کیلوگرم در هکتار به ترتیب متعلق به تیمارهای *Funneliformis mosseae* *N300P0 + *Rhizophagus irregularis* + *Pseudomonas fluorescens* strain 187 *Pseudomonas fluorescens* strain 187 NOP150*، *Rhizophagus* + *Funneliformis mosseae* *irregularis* + *Pseudomonas fluorescens* strain NOP150*187 بود. بررسی مجموع مونوترپن‌های هیدروکربنی نشان داد که تیمار *Funneliformis mosseae* + *Rhizophagus irregularis* + *Pseudomonas fluorescens* strain NOP150* با مقدار ۲۴/۸۴٪ بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند.

آنالیزهای آماری

تمام داده‌ها پس از انجام آزمون نرمال و همسان سازی، با استفاده از نرم افزار SPSS 18 تحت ANOVA ترکیبی قرار گرفتند. همچنین، اختلاف معنی‌دار بین میانگین‌ها با روش دانکن در $P \leq 0.05$ مقایسه شد. ضریب همبستگی پیرسون (PCC) بین صفات از میانگین‌ها محاسبه شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مصرف کودهای شیمیایی اثر معنی‌داری بر درصد، عملکرد و ترکیب اسانس گیاه مریم گلی داشت. استفاده از کودهای زیستی نیز به بر عملکرد اسانس، برخی ترکیبات اسانس و مونوترپن‌های هیدروکربنی اثر معنی‌دار داشت. همچنین، اثر متقابل بین این دو نوع کود بر بسیاری از ترکیبات اسانس نیز معنی‌دار بود (جدول ۲).

مصرف کودهای شیمیایی بر درصد ترکیب‌های کامفور، تیمول، ای-کاریوفیلین، آلفا هومولن، اسپاتولنول، کاریوفیلین اکسید، وریدی فلورول، مجموع مونوترپن‌های اکسیژن‌دار، مجموع سزکوئی‌ترین‌های هیدروکربنی، مجموع سزکوئی‌ترین‌های اکسیژن‌دار، عملکرد ترکیبات آلفا پینن، کامفن، ۸،۱-سینتول، آلفا توجون، بتا توجون و کامفور و مصرف کودهای زیستی بر درصد ترکیبات آلفا-پینن، کامفور، بورنتول، ای-کاریوفیلین، اسپاتولنول، وریدی فلورول، عملکرد کامفن، ۸،۱-سینتول، آلفا-توجون، بتا-توجون و کامفور اثر معنی‌دار داشت. اثر متقابل تیمارها بر درصد ترکیباتی مانند کامفور، بورنتول و تیمول، و همچنین بر عملکرد ترکیباتی همچون آلفا پینن و ۸،۱-سینتول، به‌طور معنی‌داری مشاهده شد. این معنی‌داری بر مجموع مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترین‌های اکسیژن‌دار نیز ثبت شد.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که مصرف کودهای شیمیایی اعم از فسفات و اوره منجر به افزایش

Table 2. Variance analysis of the effect of different types of fertilizers on the percentage, yield and composition of Sage essential oil

S.O. V	DF	Essential oil percentage	Essential oil yield	α -Thujene	α -Pinene	Camphene	β -Pinene	Myrcene	α -Terpinene	p-Cymene	Limonene	γ -Terpinene	Terpinolene	Monoterpene hydrocarbons	1,8-Cineole	Linalool	α -Thujone	β -Thujone	Camphor	Borneol
Block	2	0.023 ^{ns}	897.7 ^{ns}	0.023 ^{ns}	1.52 ^{ns}	3.91*	0.15 ^{ns}	1.98*	0.006**	1.54**	0.77 ^{ns}	0.9**	0.015**	0.15 ^{ns}	3.86**	0.8 ^{ns}	0.28*	6.73**	3.13**	0.62 ^{ns}
Chemical	3	0.217*	1532.4**	0.0007 ^{ns}	29.1**	0.48 ^{ns}	0.043 ^{ns}	0.66 ^{ns}	0.002**	0.008**	0.056 ^{ns}	0.001*	0.001**	24.68**	22.1**	0.007 ^{ns}	48.21**	10.6**	63.65**	0.7 ^{ns}
Biological	4	0.071 ^{ns}	3928.2**	0.002 ^{ns}	31.7**	0.11 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.42 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.0001**	0.003**	30.56**	20.29**	0.01 ^{ns}	36.46**	12.48**	18.88**	0.8*
Ch*Bio	9	0.015 ^{ns}	295.5**	0.02**	18.7**	0.19 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.86 ^{ns}	0.009**	0.014*	0.01 ^{ns}	0.016**	0.005**	44.27**	22.78**	0.004 ^{ns}	48.78**	17.58**	58.14**	2.47**
Error	30	1.99	9.471	0.002	0.88	0.107	0.107	0.45	0.0003	0.005	0.3	0.004	1.17	0.42	0.44	0.003	0.35	0.29	0.44	0.26
%CV	--	25.9	26.1	28.8	17.7	23.1	23.1	28.7	16.1	19.2	28.6	21.5	4.6	4.02	5.94	18.1	4.58	8.39	3.89	5.7

^{ns}, *, **significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

Continuation of Table 2. Variance analysis of the effect of different types of fertilizers on the percentage, yield and composition of Sage essential oil

S.O.V.	DF	Thymol	Oxygenated monoterpenes	(E) Caryophyllene	α -Humulene	Sesquiterpene hydrocarbons	Spathulenol	Caryophyllene oxide	Viridiflorol	Oxygenated sesquiterpenes	α -Pinene yield	Camphene yield	1,8-Cineole yield	α -Thujone yield	β -Thujone yield	Camphor yield
Block	2	0.05 ^{ns}	0.81 ^{ns}	0.19*	0.08 ^{ns}	9.16**	0.03**	2.96**	0.028**	4.9**	3730355 ^{ns}	1984242 ^{ns}	6390002 ^{ns}	127636358 ^{ns}	5611622 ^{ns}	21542543 ^{ns}
Chemical	3	0.56**	13.63**	0.134*	0.75**	1.1*	0.05**	1.08*	0.081**	2.03*	11320557**	3934528*	36010357**	13593834*	18596560**	128079436**
Biological	3	0.24 ^{ns}	3.9**	0.128*	0.13 ^{ns}	0.37**	0.014*	0.07 ^{ns}	0.027**	0.18 ^{ns}	42998974**	6938151**	71966290**	445255426**	35817943**	124259856**
Ch*Bio	9	1.3**	20.39**	0.51**	0.77**	2.30**	0.07*	2.49**	0.109**	4.5**	10725666**	2117785 ^{ns}	13307669*	47621186 ^{ns}	8389584**	58505169**
Error	30	0.1	0.51	0.041	0.69	0.27	0.004	2.36	0.001	0.59	1824268	1127442	4898740	43894796	1911915	10253348
%CV		27.03	3.94	5	4.9	21.8	17.9	29.9	10.04	29.8	28.9	28.5	28.8	26.4	28.06	26.9

^{ns}, *, **significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

Table 3. The effect of chemical fertilizers on the average of some attributes of Sage essential oil

Chemical fertilizers	Essential oil percentage	Linalool	Camphene yield	α -Thujone yield
Kg ha ⁻¹	%	%	g ha ⁻¹	g ha ⁻¹
NOP0	0.80b	0.29b	2298b	20494b
NOP150	0.99ab	0.34a	3660a	38013a
N300P0	1.09a	0.31ab	2850ab	27121a
N300P150	1.08a	0.29b	2690b	24646ab

The same letters in each column indicate the absence of significant differences between the means.

Table 4. The effect of biological fertilizers on the average of some characteristics of Sage essential oil

Biofertilizers	Linalool	Camphene yield
B	%	g ha ⁻¹
Control	0.27b	1823b
<i>Funneliformis mosseae</i> + <i>Rhizophagus irregularis</i>	0.32ab	2844a
<i>Pseudomonas fluorescens</i> strain 187	0.34a	3564a
<i>Funneliformis mosseae</i> + <i>Rhizophagus irregularis</i> + <i>Pseudomonas fluorescens</i> strain 187	0.3ab	3266a

The same letters in each column indicate the absence of significant differences between the means

ترکیبات مونوترپن های اکسیژن دار لینالول و آلفا-توجون و سزکوئی ترپنی α -Pinene yield همبستگی منفی معنی دار داشت. عملکرد اسانس با ترکیب ۸،۱-سینئول همبستگی مثبت معنی دار و با ترکیب ای-کاریوفیلین رابطه منفی معنی دار نشان داد. مشاهده شد که ترکیب کامفن با ترکیبات میرسن، پارا-سیمن، لیمونن، گاما-ترپینن، ترپینولن، ۸،۱-سینئول، لینالول و آلفا-توجون همبستگی مثبت معنی دار داشت. ترکیب کامفور با ترکیبات بورنئول، تیمول، مجموع مونوترپن های اکسیژن دار و ای-کاریوفیلین همبستگی مثبت معنی دار داشت.

بیشترین کامفور با ۲۵/۰۲ درصد، مجموع مونوترپن های اکسیژنه با ۷۹/۸۰ درصد و عملکرد کامفور با ۲۱۸۵۱ گرم در هکتار از تیمار NOP150 * *Funneliformis mosseae* + *Rhizophagus irregularis* بدست آمد. عملکرد ۸،۱-سینئول در تیمار N300P0 * *Pseudomonas fluorescens* strain 187 بیشترین مقدار بود. نتایج حاصل از بررسی همبستگی ساده صفات (جدول ۶) نشان داد که بین ترکیب درصد اسانس با ترکیبات مونوترپنی آلفا-توجن، آلفا-پینن، کامفن، بتا-پینن، میرسن، پارا-سیمن، و لیمونن، ترکیبات مونوترپن های اکسیژن دار Monoterpene، Terpinolene، 1,8-Cineole، hydrocarbons همبستگی مثبت معنی دار و با

Table 5. Comparison of the average interaction effect of treatments on the average of some attributes of Sage (*Salvia officinalis*) essential oil

treatment	Treat code	2	3	4	5	8	9	11	12	13	14	16	17
		Essential oil yield	α -Thujene	α -Pinene	Camphene	α -Terpinene	P-Cymene	γ -Terpinene	Terpinolene	Monoterpene hydrocarbons	1,8-Cineole	α -Thujone	β -Thujone
		kg ha ⁻¹	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Ch1B1	11	3401h	0.17b	3.27h	4.92bc	0.16b	0.42bc	0.34bd	0.18g	14.54g	7.86i	38.52e	5.5hi
Ch1B2	12	37.41h	0.24a	6.7d	4.58cd	0.13c	0.36de	0.41a	0.27a	18.78d	11.79d	43.41q	5.91fg
Ch1B3	13	65.1e	0.24a	9.26b	3.79eg	0.17ab	0.36de	0.36b	0.18g	19.71c	12.03dc	40.03d	5.37ij
Ch1B4	14	8051bd	0.14f	9.44de	4.17df	0.05ef	0.37de	0.19g	0.16i	16.04e	12.07dc	32.97j	5.76hg
Ch2B1	21	52.35gf	0.12de	2.9h	3.64fg	0.04·f	0.37de	0.25f	0.22d	12.68i	15.47b	35.49h	3.93l
Ch2B2	22	87.24ac	0.1e	3.06h	3.86eg	0.12c	0.31f	0.28ef	0.17h	12.34i	9.77g	35.11i	5.05jk
Ch2B3	23	97.07a	0.14cd	4.95f	5.02bc	0.13c	0.25g	0.3de	0.21e	16.59e	10.86e	32.91l	6.37e
Ch2B4	24	89.27ab	0.25a	11.38a	5.31ab	0.17ab	0.42bc	0.42a	0.22e	24.84a	10.83e	35.59h	12.34a
Ch3B1	31	43.15gh	0.25a	2.1i	3.89eg	0.18a	0.4bd	0.40a	0.27a	11.36j	9.48gh	43.64a	7.5d
Ch3B2	32	59.3ef	0.12de	3.85g	4.23df	0.12c	0.35ef	0.30de	0.24b	14.73g	12.3c	37.83f	4.2l
Ch3B3	33	82.45bc	0.14cd	3.16h	4.94bc	0.06de	0.54a	0.31ce	0.15j	16.58e	18.35a	32.21kl	6.11ef
Ch3B4	34	97.57a	0.14cd	4.97f	2.91h	0.13c	0.31f	0.35bc	0.24b	13.62h	10.29f	41.52b	4.89k
Ch4B1	41	51.62/gf	51.62gf	6.04e	4.37ce	0.12c	0.43b	0.31 cde	0.23c	16.66e	9.15h	40.96c	5.33ij
Ch4B2	42	62.93e	0.23a	8.72c	5.8a	0.07d	0.34ef	0.31ce	0.16i	21.33b	10.48ef	32.53k	10.36b
Ch4B3	43	77.75dc	0.13d	4.76c	3.61fg	0.06de	0.38ce	0.30ed	0.19f	14.55g	10.58e	37.43g	5.88fg
Ch4B4	44	77.75dc	0.16bc	5.22f	3.73gh	0.12c	0.35ef	0.34bd	0.22d	14.57g	7.16i	39.75d	8.56c

The same letters in each column indicate the absence of significant differences between the means.

Continuation of Table 5. Comparison of the average interaction effect of treatments on the average of some attributes of Sage essential oil

	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	31	33	34	
treatm ent	Tre at cod e	Camph or	Borne ol	Thym ol	Oxygenate d monoterpe nes	(E) Caryophyll ene	α - Humule ne	Sesquiterp ene hydrocarb ons	Spathule nol	Caryophyll ene oxide	Viridiflo rol	Oxygenate d sesquiterpe nes	α - Pine ne yield	1,8- Cineo le yield	β - Thujo ne yield	Camph or yield
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	g/ha	g/ha	g/ha	g/ha	
Ch1B1	11	19.25d	1.75cd	1.69b	75.13e	1.62a	1.57de	3.19b	0.59a	2.6b	0.63b	3.82b	1078g	2677g	1846g	6652f
Ch1B2	12	13.11j	1.2e	0.50f	76.23c	0.63h	0.77j	1.4e	0.24f	0.75g	0.18j	1.17f	2559e	4424f	2217g	4839g
Ch1B3	13	14.64i	1.54d	0.56ef	74.51f	0.84g	0.84ij	1.68e	0.24f	0.93g	0.21i	1.38f	6172b	7886de	3540e	9515de
Ch1B4	14	18.09e	4.34a	2.56a	76.02de	0.86fg	1.25gh	2.12d	0.37e	1.72cd	0.45e	2.45d	5187c	9719bc	4637d	14566c
Ch2B1	21	21.49c	1.97c	0.97d	79.57ab	1.2cd	1.67cd	2.87bc	0.40de	1.59de	0.46e	2.45d	1531fg	7908de	2067g	11317d
Ch2B2	22	25.02a	2.59b	1.66b	79.80a	1.03e	1.34fg	2.37d	0.45c	1.76cd	0.49d	2.7d	2671e	8518cd	4429d	21851a
Ch2B3	23	23.39b	1.93c	1.3c	76.18dc	1.08de	0.99i	2.19d	0.39e	1.84cd	0.27h	2.5d	4801c	10532b	6253b	20774a
Ch2B4	24	11.45k	10.06e	0.62ef	72.24h	0.51i	0.93j	1.44e	0.15g	0.98fg	0.23i	1.36f	10156a	9669bc	11010a	10216de
Ch3B1	31	8.72l	0.95e	0.27g	70.86i	0.39j	1.14h	1.52e	0.13g	0.85g	0.27h	1.25f	901g	4015f	3161ef	3783g
Ch3B2	32	16.96f	2.01c	1.13dc	74.73ef	1.08de	2.32a	3.52a	0.41ce	3.3a	0.62b	4.33a	2276ef	7343de	2540fg	10056de
Ch3B3	33	17.09f	1.79cd	1.14dc	77.03b	0.97ef	1.3g	2.27d	0.25f	1.31ef	0.30g	1.86e	2625e	15250a	5158cd	14211c
Ch3B4	34	16.99f	1.72.cd	0.71e	76.45c	1.36b	1.75c	3.15b	0.51b	2.67b	0.54c	3.72b	4848c	10064b	4768d	16577b
Ch4B1	41	16.42g	1.86cd	0.72e	74.71ef	1.25bc	1.46ef	2.73c	0.45c	1.7cd	0.45e	2.6d	3116de	4682f	2710fg	8435ef
Ch4B2	42	16.19g	2.33b	0.96e	73.15g	0.78g	0.84ij	1.62e	0.39e	1.61de	0.36f	2.36d	5500bc	6617e	6476b	10145de
Ch4B3	43	18.27e	1.85cd	1.18c	75.76d	1.09de	1.93b	3.06b	0.44cd	2.89b	0.68a	4.01ab	3719d	8447cd	4581d	14130c
Ch4B4	44	15.76h	1.75cd	1.15cd	74.44f	1.57a	2.b	3.51a	0.61a	2c	0.67a	3.28c	3624d	4854f	5835bc	11093d

The same letters in each column indicate the absence of significant differences between the means.

Table 6. Correlation of the effect of different types of fertilizers on the composition of Sage essential oil

	α -Thujene	α -Pinene	Camphene	β -Pinene	Myrcene	α -Terpinene	p-Cymene	Limonene	γ -Terpinene	Terpinolene	1,8-Cineole
	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	9	10	11
y1	1										
y2	0.25 ^{ns}	1									
y3	0.29 [*]	0.23 ^{ns}	1								
y4	0.46 ^{**}	0.19 ^{ns}	0.32 [*]	1							
y5	0.46 ^{**}	0.05 ^{ns}	0.41 ^{**}	0.49 ^{**}	1						
y6	0.56 ^{**}	0.13 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.35 [*]	0.20 ^{ns}	1					
y7	0.49 ^{**}	0.07 ^{ns}	0.41 ^{**}	0.75 ^{**}	0.46 ^{**}	0.25 ^{ns}	1				
y8	0.27 ^{**}	0.10 ^{ns}	0.31 [*]	0.39 ^{**}	0.06 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.61 ^{**}	1			
y9	0.66 ^{**}	0.13 ^{ns}	0.31 [*]	0.74 ^{**}	0.39 ^{**}	0.51 ^{**}	0.9 ^{**}	0.65 ^{**}	1		
y10	0.50 ^{**}	-0.09 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.52 ^{**}	0.31 [*]	0.52 ^{**}	0.50 ^{**}	0.17 ^{ns}	0.64 ^{**}	1	
y11	0.08 ^{ns}	0.09 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.32 [*]	-0.43 ^{**}	0.24 ^{ns}	0.22 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.10 ^{ns}	1
y12	0.49 ^{**}	0.12 ^{ns}	0.34 [*]	0.77 ^{**}	0.39 ^{**}	0.41 ^{**}	0.87 ^{**}	0.68 ^{**}	0.92 ^{**}	0.52 ^{**}	0.11 ^{ns}
y13	0.29 [*]	-0.10 ^{ns}	-0.2851	0.02 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.51 ^{**}	0.03 [*]	-0.23 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.62 ^{**}	-0.4 ^{**}
y14	0.52 ^{**}	0.54 ^{**}	0.41 [*]	0.29 [*]	0.32 [*]	0.30 [*]	0.25 ^{ns}	0.29 [*]	0.34 [*]	0.1 ^{ns}	-0.2 ^{ns}
y15	-0.42 ^{**}	-0.25 ^{ns}	-0.03 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.28 [*]	-0.36 [*]	0.09 ^{ns}	0.08 ^{ns}	-0.1 ^{ns}	-0.33 [*]	0.09 ^{ns}
y16	-0.33 [*]	0.05 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.02 ^{ns}	-0.33 [*]	-0.41 [*]	0.12 ^{ns}	0.16 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.3 [*]	0.11 ^{ns}
y17	-0.20 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	0.23 ^{ns}	0.17 ^{ns}	-0.06 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	0.38 ^{**}	0.44 ^{**}	0.25 ^{ns}	-0.1 ^{ns}	0.10 ^{ns}
y18	0.00 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.53 ^{**}	0.07 ^{ns}	0.12 ^{ns}	0.48 ^{**}	0.21 ^{ns}	0.44 ^{**}	0.27 ^{ns}	0.00 ^{ns}
y19	-0.09 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.29 [*]	-0.02 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.46 ^{**}	0.21 ^{ns}	0.35 [*]	0.33 [*]	0.05 ^{ns}
y20	-0.16 ^{ns}	-0.17 ^{ns}	-0.01 ^{ns}	0.02 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	0.16 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	0.1 ^{ns}	0.0 ^{ns}	-0.32 [*]
y21	-0.15 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.18 ^{ns}	0.01 ^{ns}	-0.05 ^{ns}	0.31 [*]	0.10 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.16 ^{ns}	-0.06 ^{ns}
y22	-0.29 [*]	-0.31 [*]	-0.15 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	-0.16 ^{ns}	-0.20 ^{ns}	0.19 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.02 ^{ns}	-0.28 [*]

عباس زاده و همکاران: بررسی اثرات کودهای شیمیایی و...

Continuation of Table 6. Correlation of the effect of different types of fertilizers on the composition of Sage essential oil

	Linalool	α - Thujone	β -Thujone	Camphor	Borneol	Thymol	(E) Caryophyllen e	α - Humul ene	Spathulenol	Caryophyllene oxide	Viridiflor ol
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
y12	1										
y13	-0.01 ^{ns}	1									
y14	0.28*	-0.16 ^{ns}	1								
y15	0.13 ^{ns}	-0.54**	-0.44**	1							
y16	0.06 ^{ns}	-0.48**	-0.15 ^{ns}	0.44**	1						
y17	0.40**	-0.42**	-0.04 ^{ns}	0.47**	0.60**	1					
y18	0.57**	0.001 ^{ns}	-0.09 ^{ns}	0.34*	0.06 ^{ns}	0.50**	1				
y19	0.40**	0.11 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.67**	1			
y20	0.18 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.24 ^{ns}	0.53**	0.27 ^{ns}	0.46**	0.62**	0.40**	1		
y21	0.34*	-0.05 ^{ns}	-0.18 ^{ns}	0.38**	0.48**	0.66**	0.63**	0.49**	0.65**	1	
y22	0.13 ^{ns}	0.04 ^{ns}	-0.23 ^{ns}	0.30**	0.25 ^{ns}	0.43**	0.45**	0.65**	0.77**	0.74**	1

^{ns}, *, **significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

بحث

اسانس گیاه دارویی مریم گلی اقدام کرد (Jafari *et al.*, 2015). نتایج این قسمت از تحقیقات ما متفاوت از نتایج (Afshar *et al.*, 2014) بود. همانطوری که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، هیدروکربن‌های مونوترپنی تحت تاثیر کودهای شیمیایی قرار گرفته‌اند که این تغییرات بیشتر بخاطر معنی دار شدن آلفا-پینن، گاما-ترپینن و ترپینولن بوده است. اختلاف معنی‌دار در اثر استفاده از انواع کودها بر ترکیبات مونوترپنی در تحقیقات (Tawfeeq *et al.*, 2016) بر رزماری نیز گزارش شده است. مشاهده گردید که بر خلاف ترکیبات مونوترپن هیدروکربنی، اکثر ترکیبات مونوترپن‌های اکسیژن دار در اثر مصرف کود اعم از شیمیایی و زیستی تحت تاثیر قرار گرفتند، به طوری که ۸،۱-سینول، آلفا-توجون، بتا-توجون، کامفور و تیمول تحت تاثیر قرار گرفتند. هر دو ترکیب سزکوئی‌ترپنی ای-کاروفیلین و آلفا-هومولن تحت تاثیر کودهای شیمیایی قرار گرفت، این در حالی بود که فقط ای‌کاروفیلین تحت تاثیر کودهای زیستی قرار گرفت و اثر متقابل تیمارها بر هر دو صفت موثر بود. همه ترکیبات سزکوئی‌ترین اکسیژن دار تحت تاثیر کودهای شیمیایی و اثر متقابل تیمارها قرار گرفتند. گزارش مشابه در ترکیبات رزماری مشاهده شد (Tawfeeq *et al.*, 2016). عملکرد ترکیبات عمده اسانس در هکتار شامل آلفا-پینن، کامفن، ۸،۱-سینول، آلفا-توجون، بتا-توجون و کامفور تحت تاثیر کودهای شیمیایی و زیستی معنی‌دار شدند که این مساله نشان می‌دهد استفاده از انواع کودها برای مدیریت نوع ماده موثره و میزان آن یکی از راه‌های عملی جهت تاثیر در مواد موثره در گیاه مریم گلی می‌باشد. کودها از طریق تاثیر بر فعالیت بیوسنتزی گیاهان می‌تواند بر مقدار و نوع ماده موثره اثر گذار باشد (Miguel *et al.*, 2007). همان‌طوری که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، درصد اسانس گیاه مریم گلی با مصرف انواع کودهای شیمیایی افزایش یافت. علت افزایش درصد اسانس به عوامل متعدد از جمله افزایش میزان سطح برگ گیاه و به دنبال آن افزایش میزان تعرق و در نتیجه افزایش تنش رطوبتی بستگی دارد (Fonseca *et al.*, 2000). در تحقیقات دیگر نیز افزایش درصد اسانس با مصرف کودهای شیمیایی گزارش

دلیل وجود اختلاف معنی‌دار در بین تکرارها تأثیرپذیری از عوامل تنش‌زای محیطی بوده و ارتباطی به دستگاه‌های آنالیز آزمایشگاهی که استاندارد هستند، ندارد. همچنین وجود اختلاف معنی‌دار در عملکرد اسانس (جدول ۲) با مصرف انواع کودها نشان دهنده تأثیر پذیری این صفت از عوامل محیطی می‌باشد. کمیت و کیفیت مواد مؤثره گیاهان دارویی می‌تواند تحت تاثیر عوامل محیطی قرار گیرد (Falk *et al.*, 2007). همچنین وجود اختلاف معنی‌دار در اثر متقابل تیمارها بیانگر پاسخ مثبت این گیاه به استفاده از کود مناسب بوده است و یا به عبارتی به کودپذیر بودن گیاه اشاره می‌نماید. با توجه به اینکه عملکرد اسانس متشکل از دو مولفه درصد اسانس و عملکرد سرشاخه گیاه می‌باشد، بنابراین افزایش هر دو یا یکی از این صفات می‌تواند منجر به افزایش عملکرد اسانس شود، استفاده از انواع کودها موجب افزایش عملکرد اندام‌های هوایی گیاه گردید (نتایج ارائه نشده است)، افزایش عملکرد اندام‌های هوایی در اثر مصرف انواع کودها توسط (Anas Tawfeeq, 2016) نیز ثبت شد. همچنین نتایج مبتنی بر بالا رفتن عملکرد اسانس در اثر استفاده از کودهای آلی در گیاهان دارویی گزارش شده است (Keshavarz Afshar *et al.*, 2014). این در حالی است که گزارش کاهش درصد روغن در اثر مصرف کودهای شیمیایی نیز ارائه شده است (Brennan *et al.*, 2000; Rathke *et al.*, 2005) و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که روش کوددهی و نوع آن بر درصد اسانس رزماری اثر معنی‌دار داشت به طوری که درصد اسانس با مصرف کود ارگانیک به دور روش اسپری کردن و مصرف در آب افزایش یافت اما در کودهای غیر ارگانیک فقط روش اسپری کردن درصد اسانس را بهبود داد. اختلاف معنی‌دار در بین تیمارهای کود شیمیایی و عدم معنی‌داری در کودهای زیستی به لحاظ درصد اسانس نشان می‌دهد که دامنه تغییرات این صفت در گیاه مریم گلی بر خلاف گیاهی مانند رزماری (Tawfeeq *et al.*, 2016) در اثر کود، بسیار کم بوده و برای تغییرات قابل توجه نیاز به تاثیرگذاری بیشتر تیمارها می‌باشد، بنابراین می‌توان با اعمال تیمارهای تغذیه‌ای مناسب نسبت به مدیریت تغییر درصد

تاثیر هر دو نوع کود نیتروژنی و فسفاتی افزایش چشمگیری داشت. درصد پارا-سیمن در تیمار Ch3B3 بیانگر افزایش این صفت با مصرف بیشترین سطح از کودهای نیتروژنی به همراه کود فسفاتی کم بود. مشاهده شد که درصد ترینولن با مصرف کودهای فسفاتی افزایش یافت، بنابراین می‌توان از این نتیجه نیز در دسته بندی واکنش ترکیبات به انواع کودها و مدیریت تولید ماده موثره استفاده کرد. بنظر می‌رسد برای حصول نتیجه مناسب‌تر و کاربردی‌تر، بهترین گزینه در بین درصد ترکیبات، مجموع هر دسته می‌باشد، به طوری که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، مجموع هیدروکربن‌های مونوترپنی در تیمار Ch2B4 (فسفر و ترکیب کودهای زیستی) بالاترین میزان تولید را داشت به طوری که این تیمار، از بین ۷ ترکیب مونوترپن هیدروکربنی، ۴ ترکیب آلفا-توجون، آلفا-پینن، آلفا-ترینن و گاما ترینن را افزایش داده است. ترکیبات منوترپنهای اکسیژن دار هم واکنشهای متفاوتی نشان دادند و روند مشخصی از واکنش آنها به انواع کودها مشاهده نشد به طوری که ۸،۱ سینتول در تیمار Ch3B3، آلفا-توجون در تیمار Ch3B1، بتا-توجون در تیمار Ch2B4، کامفور در تیمار Ch2B2، بورنتول و تیمول در تیمار Ch1B4 بیشترین درصد را داشتند و مجموع ترکیبات مونوترپنی اکسیژن‌دار در تیمار Ch2B2 بالاترین مقدار بود.

بنابراین اگر هدف از تولید گیاه مریم گلی یک ترکیب خاص از مونوترپن‌های اکسیژن دار باشد، باید از تیمار مربوطه استفاده کرد اما اگر هدف مجموع منوترپن‌های اکسیژن دار باشد، می‌توان تیمار Ch2B2 را پیشنهاد کرد. بررسی درصد سایر ترکیبات نشان داد که بیشتر آنها تحت تاثیر یک تیمار قرار گرفتند به طوری که آلفا-هومولن، و کاریوفیلن اکسید در تیمار Ch3B2 و وریدی‌فلورول در تیمار Ch4B4 بیشترین مقدار بودند. ای-کاریوفیلین و اسپاتولنول در شرایط بدون مصرف کود و تیمار Ch4B4 بیشترین بودند، تیمار Ch3B2 موثرترین تیمار بر مجموع سزکوئی‌ترین‌های اکسیژن‌دار و هیدروکربن‌های سزکوئی‌ترین بود. عملکرد ترکیبات عمده اسانس در حقیقت مربوط به بخش اقتصادی و تجاری گیاه بوده و در صورت نیاز به بهبود کیفیت گیاه تحت تاثیر عوامل

شده است (Tawfeeq *et al.*, 2016; Jafari, *et al.*, 2015).

با توجه به نتایج جدول ۳، اینطور مشاهده شد که درصد لینالول و عملکرد کامفن با مصرف کود اوره و سوپر فسفات تریپل بصورت جداگانه افزایش و با مصرف توام دو نوع کود کاهش پیدا کردند که نشان دهنده میزان کودپذیری پایین این صفات می‌باشد. اما عملکرد آلفا-توجون با مصرف هر دو نوع کود شیمیایی بصورت انفرادی و توام افزایش یافت که نشان می‌دهد در صورت نیاز به تولید گیاهانی با مقدار آلفا-توجون بیشتر، بهتر است از کودهای اوره و سوپر فسفات تریپل استفاده کرد. گیاهان در شرایط رطوبتی و تغذیه ای متفاوت، عکس العمل‌های منحصر بفرد خود را ارائه می‌کنند و تولید برخی از ترکیبات با مقادیر کم یک عنصر و برخی با مقدار زیاد آن تحریک می‌شود (Wright *et al.*, 2001)، بنابراین برای ارائه نسخه قطعی باید تحقیقات گسترده‌تری صورت گیرد. موثر بودن کودهای زیستی (جدول ۴) بر درصد لینالول و عملکرد کامفن نشان دهنده میزان کودپذیری پایین این صفات بوده و در صورت لزوم به داشتن گیاهانی با این صفات، بهتر است از کودهای زیستی بصورت جداگانه یا توام استفاده کرد. در تحقیقات بر زماری نیز چنین عکس‌العملی مشاهده شد (Anas Tawfeeq *et al.*, 2016). بررسی جدول مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۵) نشان داد که عملکرد اسانس در تیمار Ch3B4 بالاترین مقدار را داشت، که نشان می‌دهد عملکرد اسانس با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره به همراه کودهای زیستی میکوریزا و حل‌کننده فسفات بیشترین عملکرد را داشت. در نتیجه به نظر می‌رسد این صفت با مصرف بیشتر کودهای نیتروژنی به همراه کود فسفاتی افزایش می‌یابد. با توجه به این که درصد اسانس با مصرف کودهای شیمیایی افزایش و بدون تاثیر از کودهای زیستی بود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اثر این تیمارها از طریق افزایش سرشاخه بروز کرده است. مشاهده شد که درصد آلفا-پینن در تیمار Ch2B4 بالاتر از بقیه تیمارها بود که بنظر می‌رسد این صفت با مصرف بیشترین سطح از کودهای فسفاتی به همراه کود نیتروژنی، افزایش می‌یابد. همچنین درصد کامفن تحت

توجون، به دیگری (کامفور) یا تولید آنها از یک پیش ساز مشترک بوده و با توجه به این که این دو ترکیب در یک دسته (مونوترپن‌های اکسیژن‌دار) قرار دارند، بنابراین بررسی همبستگی این صفات با سایر صفات می‌تواند بسیار با اهمیت باشد. همان‌طوری که در جدول ۶ مشاهده می‌گردد، ترکیب کامفور با بسیاری از ترکیبات اعم از هیدروکربن‌های مونوترپنی، و مونوترپن‌های اکسیژن دار همبستگی منفی معنی‌دار و غیرمعنی‌دار (که نشان دهنده روند منفی بین این صفات می‌باشد) دارد، در حالی که با ترکیبات سزکوئی‌ترین‌های اکسیژن دار رابطه مثبت نشان داد و برعکس بتا-توجون با اکثر ترکیبات گروه سزکوئی ترین‌های اکسیژن دار رابطه منفی داشت.

نتیجه‌گیری

گیاه مریم‌گلی به دلیل تولید اندام هوایی زیاد، یک گیاه کود پذیر بوده و برای بدست آوردن عملکرد بالا نیاز به مصرف انواع کودها می‌باشد. درصد اسانس خیلی تحت تاثیر عامل کود یا به عبارتی عامل محیطی نبوده و به نظر می‌رسد این صفت بیشتر تحت کنترل عوامل ژنتیکی باشد که در صورت تایید این نتیجه در تحقیقات تکمیلی می‌توان به راحتی نسبت به گزینش و انتخاب و معرفی رقم این گیاه اقدام کرد. با اعمال کودهای مختلف می‌توان درصد و مقدار تولید ترکیب‌های عمده آن را مدیریت کرد و نسبت به افزایش کیفیت اسانس و تولید گیاهانی با درصد بالا از ترکیبات خاص اقدام کرد.

سپاس‌گزاری

بدینوسیله نویسندگان، از مسئولین محترم مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، بخاطر تأمین امکانات اجرای پروژه تقدیر و تشکر می‌نمایند.

زراعی یا فرآوری اصولاً به عملکرد ترکیبات عمده و یا ترکیب خاصی از ترکیبات عمده اهمیت داده می‌شود. در این تحقیق همان‌طوری که در جدول ۵ مشاهده می‌شود از ۴ ترکیب عمده گیاه مریم‌گلی، عملکرد دو ترکیب آلفا-پینن و بتا-توجون تحت تاثیر تیمار Ch3B2 بیشترین تولید را داشتند، بنابراین برای افزایش ۵۰ درصد ترکیبات عمده گیاه مریم‌گلی می‌توان تیمار Ch3B2 را پیشنهاد داد، همچنین عملکرد ترکیب ۸،۱ سینئول، تحت تاثیر تیمار Ch3B3 و عملکرد کامفور در اثر تیمار Ch2B2 افزایش معنی‌داری نسبت به بقیه تیمارها داشتند. بررسی رابطه بین صفات نشان داد که اکثر ترکیبات هیدروکربن‌های مونوترپنی با یکدیگر همبستگی مثبت معنی‌دار دارند و رابطه منفی معنی‌دار در بین هیچ یک از صفات مشاهده نشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، هر عاملی که باعث افزایش یکی از ترکیبات این دسته شود، می‌تواند روی بقیه ترکیبات نیز تاثیر مثبت داشته باشد. مشاهده شد که برخی از ترکیبات هیدروکربن‌های مونوترپنی با برخی از ترکیبات مونوترپن‌های اکسیژن‌دار همبستگی مثبت معنی‌دار و با برخی دیگر همبستگی منفی معنی‌دار داشتند، بنابراین بررسی دقیق این روابط و رابطه آنها با تیمارهای استفاده شده می‌تواند نقش بسزایی در مدیریت تولید ماده موثره داشته باشد. به‌عنوان مثال: آلفا-پینن و کامفن از ترکیبات اصلی هیدروکربن‌های مونوترپنی با ترکیب اصلی مونوترپنی اکسیژن‌دار بتا-توجون رابطه مثبت معنی‌دار داشت که بررسی تاثیر تیمارها در جدول ۵ نشان می‌دهد، هر سه ترکیب بیشتر تحت تاثیر عنصر فسفر و تیمارهای فسفردار قرار داشتند. در جدول ۶ مشاهده شد که هر دو ترکیب گروه ترکیبات هیدروکربن‌های سزکوئی‌ترینی (ای کاریوفیلن و هومولن) با پارا-سیمن همبستگی مثبت معنی‌دار داشتند، همچنین با ترکیب عمده مونوترپنی اکسیژن‌دار کامفور همبستگی مثبت معنی‌دار نشان دادند که با مراجعه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که میکوریزا عامل مشترک در افزایش هر دو ترکیب می‌باشد، در نتیجه برای مدیریت افزایش میزان این ترکیبات بخصوص مقدار کامفور می‌توان از کود زیستی میکوریزا استفاده کرد. وجود رابطه منفی معنی‌دار بین ترکیبات بتا-توجون و کامفور نشان دهنده تبدیل شدن یکی از اینها (بتا-

References

- Adams, R. P. (2017). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. 5 online ed. *Gruver, TX USA: Texensis Publishing*.
- Afshar, R. K., Chaichi, M. R., Assareh, M. H., Hashemi, M., & Liaghat, A. (2014). Interactive effect of deficit irrigation and soil organic amendments on seed yield and flavonolignan production of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.). *Industrial Crops and Products*, 58, 166-172.
- Anli, M., Baslam, M., Tahiri, A., Rasklami, A., Symanczik, S., Boutasknit, A., & Meddich, A. (2020). Biofertilizers as strategies to improve photosynthetic apparatus, growth, and drought stress tolerance in the date palm. *Frontiers in Plant Science* 11.
- Arbenz, M., Willer, H., Lernoud, J., Huber, B., & Amarjit, S. (2015). The world of organic agriculture—statistics and emerging trends (session at the BIOFACH 2015).
- Asadi, M., Nasiri, Y., Maggi, F., Rasouli, F., & Morshedloo, M. R. (2023). Biomass yield and essential oil chemical composition of mentha x piperita as affected by amino acids and different fertilizer resources. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(1), 668-682.
- Bansal, M. (2017). Organic farming: is it a solution to safe food?. In *Food Safety in the 21st Century* (pp. 515-525). Academic Press.
- Brennan, R. F., Mason, M. G., & Walton, G. H. (2000). Effect of nitrogen fertilizer on the concentrations of oil and protein in canola (*Brassica napus*) seed. *Journal of Plant Nutrition*, 23(3), 339-348.
- Daneshmandi, M. S., & Seyyedi, S. M. (2019). Nutrient availability and saffron corms growth affected by composted pistachio residues and commercial poultry manure in a calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(12), 1465-1475.
- El-Haddad, M. E., 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(1), 49.
- Falk, K. L., Tokuhisa, J. G., & Gershenzon, J. (2007). The effect of sulfur nutrition on plant glucosinolate content: physiology and molecular mechanisms. *Plant biology*, 9(05), 573-581.
- Fonseca, C. R., Overton, J. M., Collins, B., & Westoby, M. (2000). Shifts in trait-combinations along rainfall and phosphorus gradients. *Journal of Ecology*, 88(6), 964-977.
- Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M., Zamana, S., Sokolov, S., Molchanova, A., & Caruso, G. (2020). Yield, essential oil and quality performances of *Artemisia dracunculus*, *Hyssopus officinalis* and *Lavandula angustifolia* as affected by arbuscular mycorrhizal fungi under organic management. *Plants*, 9(3), 375.
- Govahi, M., Ghalavand, A., Nadjafi, F., & Soroosh Zadeh, 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)
- Habibzadeh, Y., Jalilian, J., Zardashti, M. R., Pirzad, A., & Eini, O. (2015). Some morpho-physiological characteristics of Mung Bean mycorrhizal plant under different irrigation regimes in field condition. *Journal of Plant Nutrition*, 38(11), 1754-1767.
- Hernandez, J.A., Angeles Ferrer, M., Jimenez, A., Ros Barcelo, A., & Sevilla, F. (2001) Antioxidant systems and O₂ /H₂O₂ production in the apoplast of pea Leaves. It's relation with salt- induced necrotic lesions in minor veins. *Plant Physiology*, 127:817-831.
- Hosseinzadeh, H., Haddadkhodaparast, M. H., & Arash, A. R. (2003). Antinociceptive, antiinflammatory and acute toxicity effects of *Salvia leriifolia* Benth. seed extract in mice and rats. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 17(4), 422-425.
- Imanshahidi, M., & Hosseinzadeh, H. (2006). The pharmacological effects of *Salvia* species on the central nervous system. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 20(6), 427-437.
- Jafari, G. M., Abbaszadeh, B., & Oraei, M. (2015). Effects of chemical and biological fertilizers on growth, yield and essential oil of *Salvia officinalis*. 31-37.

- Jamzad, Z. (2020). Lamiaceae, a valuable source of medicinal and ornamental plants in the flora of Iran. *Iran Nature*, 29-49.
- Karami, M., Hossini, E., Shahbi Majd, N., Ebrahimzadeh, M. A., & Alemy, S. (2015). *Salvia limbata*: botanical, chemical, pharmacological and therapeutic effects. *J Clin Excell*, 10(2), 1-4.
- Khandan Deh-Arbab, S., Amini fard, M.H., Fallahi, H.R., & Kaveh, H. (2020). Evaluating the effects of Growth promoting fertilizer containing seaweed extract and mother corm weight on antioxidant activity and stigma quality of saffron. *Plant productions*, 43(2), 213-226.
- Kelen, M., & Tepe, B. (2008). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial properties of the essential oils of three *Salvia* species from Turkish flora. *Bioresource technology*, 99(10), 4096-4104.
- Khaosaad, T., Vierheilig, H., Nell, M., Zitterl-Eglseer, K., & Novak, J. (2006). Arbuscular mycorrhiza alter the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp., Lamiaceae). *Mycorrhiza*, 16, 443-446.
- Lu, Y., & Foo, L. Y. (2002). Polyphenolics of *Salvia*—a review. *Phytochemistry*, 59(2), 117-140.
- Mathur, P., & Roy, S. (2021). Insights into the plant responses to drought and decoding the potential of root associate microbiome for inducing drought tolerance. *Physiologia Plantarum* 172: 1016-1029.
- Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K., & Dotaniya, M. L. (2017). Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review. *Ecological Engineering*, 107: 8-32.
- Miguel, M. G., Guerrero, C., Rodrigues, H., Brito, J., Duarte, F., Venâncio, F., & Tavares, R. (2007, July). Essential oils of *Rosmarinus officinalis* L., effect of harvesting dates, growing media and fertilizers. In *Int. Conf. on Energy, Environment, Ecosystem and Sustainable Development, Agios Nikolaos, Greece* (pp. 24-26).
- Moradzadeh, S., Siavash Moghaddam, S., Rahimi, A., Pourakbar, L., El Enshasy, H. A., & Sayyed, R. Z. (2021) Biochemical fertilizer improves the oil yield, fatty acid compositions, and macro-nutrient contents in *Nigella sativa* L. *Horticulturae*, 7: 345.
- Munné-Bosch, S., & Alegre, L. (2003). Drought-induced changes in the redox state of α -tocopherol, ascorbate, and the diterpene carnosic acid in chloroplasts of Labiatae species differing in carnosic acid contents. *Plant Physiology*, 131(4), 1816-1825.
- Munné-Bosch, S., & Alegre, L. (2003). Drought-induced changes in the redox state of α -tocopherol, ascorbate, and the diterpene carnosic acid in chloroplasts of *Labiatae species* differing in carnosic acid contents. *Plant Physiology*, 131(4), 1816-1825.
- Ostadi, A., Javanmard, A., Amani Machiani, M., & Kakaei, K. (2022). Optimizing antioxidant activity and phytochemical properties of peppermint (*Mentha piperita* L.) by integrative application of biofertilizer and stress-modulating nanoparticles under drought stress conditions. *Plants*, 12(1), 151.
- Pandey, V., Patel, A., & Patra, D. D. (2015). Amelioration of mineral nutrition, productivity, antioxidant activity and aroma profile in marigold (*Tagetes minuta* L.) with organic and chemical fertilization. *Industrial Crops and Products*, 76, 378-385.
- Patel, A., Pandey, V., & Patra, D. D. (2015). Influence of tannery sludge on oil yield, metal uptake and antioxidant activities of *Ocimum basilicum* L. grown in two different soils. *Ecological Engineering*, 83, 422-430.
- Rathke, G. W., Christen, O., & Diepenbrock, W. (2005). Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field crops research*, 94(2-3), 103-113.
- Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature plants*, 2(2), 1-8.
- Salehi, P., Sonboli, A., Ebrahimi, S. N., & Yousefzadi, M. (2007). Antibacterial and antioxidant activities of the essential oils and various extracts of *Salvia sahendica* in different phenological stages. *Chemistry of natural compounds*, 43(3).
- Sharma, R. C., Sarkar, S., Das, D., & Banik, P. (2013). Impact assessment of arbuscular mycorrhiza *Azospirillum* and chemical fertilizer application on soil health and ecology. *Communications in soil science and plant analysis*, 44(6), 1116-1126.

- Singh, M., Ganesha Rao, R. S., & Ramesh, S. (2007). Effects of N and K on growth, herbage, oil yield and nutrient uptake patterns in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) under semi-arid tropical conditions. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(3), 414-419.
- Strzemeski, M., Dzida, K., Dresler, S., Sowa, I., Kurzepa, J., Szymczak, G., & Wójciak, M. (2021). Nitrogen fertilisation decreases the yield of bioactive compounds in *Carlina acaulis* L. grown in the field. *Industrial Crops and Products*, Volume 170.
- Tawfeeq, A., Culham, A., Davis, F., & Reeves, M. (2016). Does fertilizer type and method of application cause significant differences in essential oil yield and composition in rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.)?. *Industrial Crops and Products*, 88, 17-22.
- 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, 112418.
- Vaya, J., & Aviram, M. (2001). Nutritional antioxidants mechanisms of action, analyses of activities and medical applications. *Current Medicinal Chemistry-Immunology, Endocrine & Metabolic Agents*, 1(1), 99-117.
- Walch, S. G., Tinzoh, L. N., Zimmermann, B. F., Stühlinger, W., & Lachenmeier, D. W. (2011). Antioxidant capacity and polyphenolic composition as quality indicators for aqueous infusions of *Salvia officinalis* L. (sage tea). *Frontiers in Pharmacology*, 2, 79.
- Wright, I. J., Reich, P. B., & Westoby, M. (2001). Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high-and low-rainfall and high-and low-nutrient habitats. *Functional Ecology*, 15(4), 423-434.
- Yousefzadi, M., Sonboli, A., Karimi, F., Ebrahimi, S. N., Asghari, B., & Zeinali, A. (2007). Antimicrobial activity of some *Salvia* species essential oils from Iran. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 62(7-8), 514-518.
- Zandvakili, O. R., Ebrahimi, E., Hashemi, M., Barker, A. V., & Akbari, P. (2017). The potential of green manure mixtures to provide nutrients to a subsequent lettuce crop. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(19), 2246-2255.